南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト

平成30年度

成果報告書

令和元年5月

文部科学省 研 究 開 発 局

国立研究開発法人 海洋研究開発機構

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委 託事業による委託業務として、国立研究開発法人 海洋研究開発機構が実施した平成30年度 「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」の 成果を取りまとめたものです。

実施機関

国立研究開発法人海洋研究開発機構 国立大学法人東北大学 国立研究開発法人防災科学技術研究所 国立大学法人名古屋大学 国立大学法人京都大学 国立大学法人東京大学地震研究所 国立研究開発法人産業技術総合研究所

無断複製等禁止

1. 東日本大震災教訓活用研究



2014年2月28日



2016 年 2 月 28 日 陸前高田



2018年2月28日



2014年8月19日



2016年8月23日





2015年4月3日



2017年4月3日



2018年8月19日

2018年4月3日

石巻

図1 復興の進捗にともなうまちの変化



図2 (a)2011 年東北地方太平洋沖地震の強震観測データ同化波動場(地震発生時刻から100,120,140,160秒後)と、(b)これを初期値とした未来(地震発生時刻から220秒後)の波動場の予測結果。

2. 地震·津波被害予測研究



 (b) 災害廃棄物処理のシナリオ別解析結果(仮置場面積,運搬車両数,処理・再生利用量)
 図3 愛知県碧南市を対象に、堤体の沈下解析、及び災害廃棄物処理のシナリオ別解析を 実施



図4 広域リスク評価におけるシナリオ地震が発生した場合の被害の様相を示す地域類型

3. 防災·減災対策研究



第11回東海地域研究会



第11回関西地域研究会



第8回四国地域研究会



減災エンス塾



第12回東海地域研究会



第12回関西地域研究会



第8回九州地域研究会





図5 地域研究会、イベントの様子

4. 災害対応·復旧復興研究



図6 東日本大震災による地域人口構造類型変化 (平成27年(2015年)国勢調査による)

5. 防災·災害情報発信研究



図7 災害情報プラットフォームの構築 事前計画や実対応にて検証・改良





図 10 住民の防災知識構造と社会構造 「南海トラ フ地震に関連する情報(臨時)」発表時の対応の判断 材料

巨大地震発生域調査観測研究、東日本大震災教訓活用研究、地震・津波被害予測研究、 およびそのほかハザード・リスク情報との成果運用に関する連携技術・手法について検討 と開発を継続した。地域研究会や防災教育等での活用を通じて、プラットフォームや各シ ステムを高度化した。DONET を介したリアルタイムデータの伝送や地震計ネットワークの 情報との連動に対応するための機能検討と開発を継続し、「南海トラフ広域地震災害情報プ ラットフォーム」ベータ版 (Ver.1) への連動強化を試みた。また広く防災活動等で利用さ れるために、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」を利活用した社会実験を関 西地域にて実施し、大阪府北部の地震と台風 21 号被害において地震動と高潮の想定情報利 活用に関して実際の被災者災害対応で検証した。データやシステムの整備とリスクコミュ ニケーション (RC)・人材育成手法の調査・検討と教材開発を継続実施し東海地域にて社会 実装を試みた。避難意図の規定変数を被災想定地域にて調査継続し、現状の RC の改善を図 るとともに、地域産業の事業継続計画に関する予備的な調査を行った。

上記の研究内容を反映し改良した「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」 Ver.1.2 を公開した。

6. プレート・断層構造研究



図 11 南西諸島北部域における再決定震源分布と P 波速度構造断面。断面図中の黒線は Slab1.0 モデルによるプレート形状 (Hayes et al., 2012)。





(a)の各図上部に示す通り、本解析により検出した深部低周波地震数(N(MF))は、気象庁 により当該日に検出された数(N(JMA))よりも有意に多い。その結果、(b)に示すように、 17日から20日頃にかけて活動のフロントが東に拡大する過程のほか、20日から22日頃に かけて緑線で示した東経133.8°以西において、高速で西方向に移動する微動活動(例: 青矢印)が半日周期で活発化したことが明瞭になった。

7. 海陸津波履歴研究



図13 駿河トラフ陸域延長部である富士川河口断層帯入山瀬断層を挟んだ隆起側(KNB)と 沈降側(SKBおよびFGB)におけるボーリング柱状図。



図14 日向灘から採取された海底堆積物コアの柱状図とコア写真。柱状図の灰色と写真の 黄色矢印がタービダイトの挟在層準。



図15 2017年12月13日18時~23時台の波形記録例。

各海底地震計の上下動成分に2-4Hz のバンドパスフィルターをかけている。記録されているイベントはほぼ浅部低周波微動のシグナルである。

9. データ活用予測研究



図16 南海トラフ域を対象に実施した同化の数値実験の問題設定の例。



図17 中規模モデルでの摩擦パラメータ(上からA、B-A、L)の推定結果例。(左)豊後水道 SSEパッチ。(右)東海SSEパッチ。ピンクまたは赤の実線で囲まれた領域は真の状態でSSE パッチ中心部分が10cm/yr以上の速度ですべっている期間(SSEの発生)を表す。

10. 震源モデル構築・シナリオ研究



図 18 (a) 検討した2つの地震シナリオ①、②の断層セグメント(強震動生成域)の 位置を赤□で、それぞれの破壊開始点を☆印で示す。(b)-(d)地震シナリオ①による地 震波動伝播の様子(地震発生から100、200、300秒後)。赤は上下動、緑は水平動の揺 れの強さを表す。



図 19 東海(静岡県、愛知県、三重県、静岡県)沿岸の津波痕跡高分布

まえがき

南海トラフを震源域とする東海・東南海・南海地震は、過去の地震等記録から、連動し て発生する可能性が高いと考えられ、連動発生した場合に推定される被害の甚大さや、将 来の発生確率の高さからも、きわめて切迫度の高い地震とされている。

このため、平成 20~24 年度の5年間で実施された文部科学省の科学技術試験研究委託 事業「東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究」(以下、「連動性評 価研究」という。)において、多数の機関の参加のもと、東海・東南海・南海地震の想定震 源域等における稠密な海底地震・津波・地殻変動観測、大規模数値シミュレーション研究、 強震動予測、津波予測、被害想定研究等が総合的に進められてきた。これにより、東海・ 東南海・南海地震の時間的及び空間的な連動性評価に資する知見の獲得や、連動に対応し た災害対策等の検討に必要な情報提供が実現した。その一方で、さらに広い範囲での連動 性評価研究や、災害対策を行う防災機関との連携の強化、減災教育や地域の人材育成を通 じた地域対応力の向上などが課題として残っていた。

また、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震を踏まえ、南海トラフ地震の長期評価手法の見直しが進められており、南海トラフの想定震源域は従来の評価より拡大された。政府の地震調査研究推進本部地震調査委員会の平成25年5月の発表によれば、見直し後の評価では、南海トラフでは最大クラスの地震としてM9.1の巨大地震が起きる可能性があることが示され、M8~M9クラス地震の今後30年以内の発生確率は70~80%程度(平成30年1月1日での算定)となっている。

本プロジェクトは、「連動性評価研究」の成果と新たに明らかになった課題及び南海ト ラフの想定震源域の拡大を踏まえ、将来発生が危惧される南海トラフ巨大地震へ備える研 究を理学・工学・社会学の連携で実施するものである。具体的には、長期評価の見直しに より拡大された震源域や、南西諸島海域までの連動発生を考慮に入れて求め、津波履歴や 地震の広帯域観測からプレート境界のすべり特性の時空間分布を明らかにする。さらに、 これらを用いて3次元不均質を含んだ高精度構造モデルから地震発生予測を行い、南西諸 島海域まで含んだ震源モデルを構築、地震動と津波のハザードを評価し、防災・減災対策 へ活かす。また、地震・津波のあらゆる被害予測とその対策、発災後の現実的な復旧・復 興対策を検討するとともに、地域研究会を通じて行政等と連携し、これにより、科学的知 見の獲得から成果の社会実装までを総合的に推進するものである。

xii

目次

1.	プロ	ジェ	.ク	ト根	Ŧ要		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	:	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1
2.	業務	の実	施伯	本制	J	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	5
3.	研究	成果	報台	生日																														
地域	速携	減災	研	兊	(防	災	分	野)																									
3.	1	東日	本之	大震	家災	教	訓	活	用	研	究		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	12
3.	1.	\bigcirc	ア・	一力	イ	ブ	シ	ス	テ	Д	の	構	築	•	利	活	用		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	15
3.	1.	2	復興	興	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	31
3.	1.	3	被領	害	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	35
3.	1.	4	強加	雲動	りと	冿	波	の	特	性	`	生	成	メ	力	Ξ	ズ	ム	に	関	す	る	評	価		•	•	•	•	•	•	•	•	47
3.	2	地震	ŧ• i	津波	被被	害	予	測	研	充		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	54
3.	2.	\bigcirc	津江	皮被	z害	予	測		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	57
3.	2.	2	地類	雲動	J	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	76
3.	2.	3	地	盤災	医害		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	81
3.	2.	4	建华	物被	ĸ害		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	95
3.	2.	5	ライ	イフ	ラ	イ	ン		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	104
3.	2.	6	広坊	或リ	ス	ク	評	価		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	121
3.	2.	\bigcirc	都ī	市災	害	と	経	済	被	害		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	130
3.	2.	8	災	害廃	棄	物	I	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	139
3.	3	防災	• 1	咸災	対	策	研	究		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	142
3.	4	災害	対応	志•	復	旧	復	興	研	究		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	163
3.	4.	1	影	響シ	/ナ	IJ	オ	構	築	シ	"	ユ	レ	_	シ	Э	ン	の	精	緻	化		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	165
3.	4.	2	事	前後	興	計	画	の	策	定	手	法	の	開	発		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	170
3.	4.	3	津	皮防	ī災	地	域	づ	<	り	の	実	践	的	構	築		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	173
3.	4.	4	事	前後	〔旧	•	復	興	計i	画	の	考	え	方	を	含	む	巻	域		ス	タ	_	プ	ラ	ン	と							
			地址	或ま	ち	づ	; <	ŋ	の	自	治	体	都	市	計	画	\sim	の	展	開	手	法	の	検	討									
			(]	三重	県	及	び	鈴	鹿	巿	の	事	例	研	究)		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	176
3.	5	防災	• }	災害	「情	報	発	信	研	究		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	182
3.	5.	(1)	南洋	毎ト	・ラ	フ	広	域	地)	震	災	害	情	報	プ	ラ	ッ	\mathbb{P}	フ	オ	_	ム	の	構	築		•	•	•	•	•	•	•	185
3.	5.	2	防约	災・	災	害	関	連	デ・	_	タ	の	収	集	•	整	備	、	及	び	利	活	用	シ	ス	テ	ム	開	発	開	始	と		
			人材	材育	「成	•	教	育	の	た	め	の	調	査		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	221
3.	5.	(3)	地育	雲活	動	度	お	よ	び	統	計	情	報	の	可	視	化		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	232
3.	5.	(4)	住日	民の	防	災	知	識	構	诰	Ł	社	会	構	诰	に	関	す	る	質	的	調	杳		•	•	•	•	•	•	•	•	•	244
-	-	~				- •		•		_	_							,	-	- `	•	., 4												
巨大	地震	発 生	域	調査	翻	測	研	究	(調	杳	観	測	分	野)																		
۰. ۱	6		/~ +	<u>-</u>	 		楼) 〕 上		70	-5-					<i>.</i>																		າດາ

З.	6	プレ	ノート・断層構造研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	262
3.	6.	(1)	海域におけるプレート・断層構造調査 ・・・・・・・・・・・・・	264
3.	6.	2	自然地震を用いた構造解析 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	270

3.	7	海陸	注津波履歴研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 288
3.	7.	\bigcirc	海域での津波履歴調査 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 290
3.	7.	2	陸域での津波履歴調査実施とサンプルデータ解析(南西諸島) ・・・ 301
3.	7.	3	陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析
			(高知県須崎市・土佐清水市) ・・・・・・・・・・・・・・ 305
3.	7.	4	陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析
			(高知県高知市春野町) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 309
3.	7.	5	陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析
			(三重県南伊勢町) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 314
3.	7.	6	陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析
			(駿河湾奥浮島ヶ原) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 316
3.	7.	\bigcirc	富士川河口域における地殻変動と断層位置の推定 ・・・・・・・ 319
3.	8	広帯	「域地震活動研究」・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 323
3.	8.	\bigcirc	南海トラフ西部の領域における広帯域自然地震観測 ・・・・・・ 325
3.	8.	2	南西諸島海溝域北部における低周波微動活動 ・・・・・・・・・ 332
3.	8.	3	日向灘・南西諸島沖における浅部超低周波地震活動の分布推定 ・・・ 336
3.	8.	4	広帯域観測 ブイシステムによる水圧観測 ・・・・・・・・・・ 338

巨大地震発生域調査観測研究(シミュレーション分野)

3.	9 データ活用予測研究 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3	41
3.	9. ① 地殻変動データ整備および東北地方太平洋沖地震の余効変動解析・・・ 3	44
3.	9.② 東北地方太平洋沖地震前後の地殻活動の特徴 ・・・・・・・・・ 3	52
3.	9.③ 予測システムの検証・予測試行実験 ・・・・・・・・・・・・・ 3	58
3.	9. ④ 余効すべり・過去のゆっくりすべり同化手法の開発 ・・・・・・ 3	61
3.	10 震源モデル構築・シナリオ研究 ・・・・・・・・・・・・・・ 3	78
3.	10.① 日本列島粘弾性モデル構築とその応用 ・・・・・・・・・・ 3	81
3.	10.② 地震サイクル計算手法の高度化 ・・・・・・・・・・・・・ 3	84
3.	10.③ 南海トラフ地震発生サイクルの再現・モデル検証 ・・・・・・ 3	87
3.	10.④ 地震発生シナリオの評価 ・・・・・・・・・・・・・・ 3	92
3.	10. ⑤ 巨大地震の震源モデル及び地殻・地盤モデル開発 ・・・・・・ 3	97
3.	10.⑥ 強震動・津波・地殻変動シミュレーションに基づく	
	地震・津波ハザードの評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4	07
3.	10.⑦ 1854 年安政東海地震津波における津波痕跡高の再評価 ・・・・・・ 4	25
4.	全体成果概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4	48
5.	成果の論文発表・口頭発表等 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4	57
6.	むすび ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4	74

7.	運営	家員会																														
7.	1	活動報告	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	475
7.	2	運営委員会	構	戓	員		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	475

1. プロジェクト概要

将来発生する南海トラフ巨大地震へ備える研究を理学・工学・社会科学の連携で実施す る。地震・津波の被害予測とその対策、発災後の現実的な復旧・復興対策を検討する。地 域研究会を通じて行政等と連携、成果の社会実装を目指す。東日本大震災の状況も含め情 報をデータベース化し、社会実装のための情報発信システムを構築し市民を広く啓発する。 これらの背景となる地下構造モデル、特に内閣府による最大級の地震断層モデルを念頭に、 南西諸島海域までの連動発生を考慮に入れて地下構造モデルを求め、津波履歴や地震の広 帯域観測からプレート境界のすべり特性の時空間分布を明らかにする。これらを用いて3 次元不均質を含んだ高精度構造モデルから地震発生予測を行い、南西諸島海域まで含んだ 震源モデルを構築、地震動と津波のハザードを評価、防災・減災対策へ活かす。

(1) 地域連携減災研究(防災分野)

2011 年東日本大震災の各種要素をデータベース化し、南海トラフ沿いの地域と比較 して、被害、事前対策、復興状況など、将来の南海トラフ巨大地震への備えの要素をあ ぶりだす。同時に、巨大地震の発生時期や発生の多様性を考慮した広域の地震・津波リ スク評価と地域防災・減災を念頭に高分解能な地域リスク評価も合わせて実施する。復 旧・復興対策にこれらのデータや予測を取り込み、地域研究会を活用して社会実装を目 指す。社会実装には情報発信が欠かせない。これまでの成果を取り込んだ Web サービス 「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」を構築し、市民を巻き込んだ防災・ 減災の啓発活動を実施、人材育成にも努める。

(a) 東日本大震災教訓活用研究

前半の4年間では、既存のアーカイブ活動と連携をしながら、東日本大震災での広 域で複合的な災害及びその対応、復旧・復興に関するアーカイブを作成・拡張し、課 題や教訓を整理する。さらに、プロジェクト指向型アーカイブを構築することにより、 東日本大震災の被災地と南海トラフ地震との被害発生の類似パターンを抽出し、南海 トラフ地震・津波における人的被害軽減戦略プログラムを策定する。東日本大震災の 基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータ収集の基礎的検討を行う。後半の 3年間では公表されたコンテンツを新たに収集・連携し、アーカイブシステムのβ版 を構築する。同アーカイブを用いて防災・減災・復興に資する生きる力を解明し、災 害時の生きる力醸成プログラムを作成する。さらに、東日本大震災の基礎自治体復興 計画の現状に対してアクションリサーチ手法を用いつつ課題の分析・抽出を行う。

(b) 地震·津波被害予測研究

将来人口推計して得た人口モデルや建物滅失率等を考慮した建物モデルを構築し、 地震の発生時期や発生の多様性等を考慮した広域の地震・津波ハザード・リスク評価 を行う。地域にとって影響の大きい建物や施設に対しては、地盤の非線形性を考慮し た地盤モデルの高度化等を行い、高分解能なリスク評価を行う。ハザード・リスク評 価結果の中から類型化手法により特徴的な災害パターンを抽出し、災害シナリオを作 成し、防災・災害情報発信研究(1-e)と連携し情報提供できるようにする。 (c) 防災·減災対策研究

「東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト」では、地域の防災・減 災にとってどのような災害シナリオを考えるべきなのか、地域研究会を開催して議論 を進められてきた。この地域研究会を発展させ、前半4年間は、地方自治体やライフ ライン事業者から課題を聞きつつ、プロジェクト関係者からの残された課題を含め、 最新の成果を地域の防災減災対策へインプットすることに重点を置き、後半3年間で は、具体的な社会実装に向けた提案・対策案をまとめる。また、地方自治体だけでは なく、内閣府をはじめとする府省への働きかけを強化し、国レベル、地方自治体レベ ルの両面から防災・減災対策の推進を図る。前半4年では、サブテーマ1で期待され る成果である被害予測やデータベース構築などを逐次、地方行政のシステムに実装に することを検討する。後半3年では、地域行政の防災対策に向けた実装を進めると共 に、社会的な活用を目指して、市民参加の防災・減災カフェや地元メディアとも連携 した防災・減災の啓発活動を推進する。

(d) 災害対応·復旧復興研究

将来の地域特性シミュレーション、詳細被害シミュレーション結果にもとづき、南 海トラフ巨大地震の各地域の影響についての「納得」プロセスの開発、さらには各地 域で想定される影響にもとづき事前の復旧・復興計画策定、災害対応計画の策定を行 う。得られた成果は防災・減災対策研究(1-c)、防災・災害情報発信研究(1-e)と 共有するとともに、被害想定、復旧・復興計画については東日本大震災教訓活用研究 (1-a)、地震・津波被害予測研究(1-b)の知見を利用する。

(e) 防災·災害情報発信研究

南海トラフ広域地震に関する情報が集約され、リアルタイムかつ統合的に発信され る Web サービスとして「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」を構築する。 プラットフォーム上では、各種地理空間情報や歴史資料、強震計・水圧計データ等の リアルタイムデータ、他の研究課題の調査結果、研究成果、ハザード評価、リスク評 価などの情報を統合して発信できるものとする。このプラットフォームを基盤とした、 あるいは連携した、防災・減災対策や復旧・復興等に資する各種利活用システム、防 災人材育成、教育教材、啓発ツールを開発し、防災・減災対策研究や復旧・復興対策 研究等に活用する。これらを効果的に進めるためのリスクコミュニケーション手法を 開発し、人材育成を図る。

(2) 巨大地震発生域調査観測研究

2-1 調査観測分野:

サブテーマ1の防災・減災対策の実効性を検証するためには、地震発生の連動の範囲 や地震や津波の時空間的な広がりを見積もる必要がある。内閣府が最大級の南海トラフ 地震を評価したが、改めて広がった地震発生域の地下構造の特性を明らかにする。また、 ほとんど知見のない九州から南西諸島海域にかけての沈み込み帯の構造を明らかにし、 地震発生の構造的な背景を明らかにする。海陸両方で津波履歴を調査し、地震発生間隔 の知見を新たに加える。また広帯域観測からプレート境界のすべり特性を解明する。こ れらの知見はサブテーマ2-2のシミュレーション分野へ受け渡す。

(a) プレート・断層構造研究

稠密な地下構造調査と稠密地震観測を実施することにより、地震発生帯のプレート 形状及び物性の詳細、陸側プレートとの相対的な位置関係等を把握する。また、南西 諸島域では大規模構造探査によりこれまで明らかになっていない地震発生帯プレー ト形状を明らかにする。得られた成果は海陸津波履歴研究(2-1-b)や広帯域地震活 動研究(2-1-c)の研究成果との整合性を確認し、シミュレーション研究(2-2-d、2-2-e) の項目に提供する。

(b) 海陸津波履歴研究

海域及び陸域の地層の中から過去の地震・津波の痕跡を検出する。陸域では掘削調 査などから津波浸水や地殻変動の履歴を、海域では海底調査から地震・津波の発生履 歴を解明し、その年代や拡がりから南海トラフ沿いにおける津波の履歴を解明する。 判明した津波履歴は適宜、シミュレーション研究(2-2-d、2-2-e)の項目に提供する。 また、防災分野における地域との連携の中で、津波履歴に関する資料があれば提供を 受ける。

(c) 広帯域地震活動研究

南海トラフから南西諸島海溝にかけて、広帯域海底地震観測により、トラフ付近の 低周波イベントの解明と地震活動の詳細な把握を行う。プレート境界のすべり特性の 解明、さらには巨大地震発生域の高精度推定に寄与する。得られた成果はシミュレー ション研究(2-2-d、2-2-e)の項目に提供する。

2-2 シミュレーション分野:

南海トラフ地震の広域地震・津波対策の高度化に向け、観測データを用いた地震発生 の予測を行うとともに、南海トラフ~南西諸島海溝で発生する巨大地震の震源モデルを 構築して、全国の地震動と津波のシミュレーションを行う。本研究の成果は、地震・津 波被害予測研究(1-b)の入力データとして用い、また、防災・減災・復旧・復興研究の 検討の条件として活用を図る。リスク評価や防災・災害情報発信として求められる解像 度のハザード情報を、その不確実性を含めて適切に提供するために、サブテーマ間の連 携を強く意識した研究を進める。

(d) データ活用予測研究

① 地殻変動観測データのコンパイルと解析、データベース化

HPCI 戦略プログラムにおいて京コンピュータで計算される多数の地震シナリオと その前後のゆっくりすべりのシミュレーション結果のデータベースと、GEONET・ DONET・水準測量や三辺・三角測量等の地殻変動データや相似地震のデータをコンパイ ルした観測データベースを構築する。

② プレート境界すべりの推移予測の妥当性検証と予測の試行

過去の地震やゆっくりすべりの観測データを逐次入力し、シミュレーションデータ ベースと比較する同化の模擬テストを行なう。また、次の豊後水道のゆっくりすべり や東北地方太平洋沖地震後の余効すべり等に対して予測の試行実験を行う。これらを 通して同化手法や予測の問題点を洗い出し、改善に必要な知見を得る。

逐次データ同化手法の改良

精度の異なる複数データを用いる場合の尤度評価やリアルタイムでデータを取り 込みながらモデルパラメタや初期値を更新できるように同化手法を改善するとともに、 地殻変動以外の観測データ(特に地震活動データ)の同化手法を開発する。

(e) 震源モデル構築・シナリオ研究

粘弾性を考慮した日本列島広域構造モデルを開発し、構造探査結果を随時取り入れ て3次元不均質構造モデルの改良を図る。本モデルを用いて、沈み込み帯の応力・強 度分布の推定とそれにもとづく地震発生予測を行う。誤差を考慮した予測結果を受け て、幅のある想定地震発生モデルに対して強震動と津波を評価する災害予測システム を開発する。更に、巨大地震発生前後の内陸地震の活発化や、巨大地震の発生後の余 震や誘発・連動地震の推移の評価手法を開発する。

巨大地震の震源モデルの構築

南海トラフの過去地震の震源再解析に加え、国内外を含む他の地震発生帯での巨大 地震の震源解析、並びに地震発生シミュレーションの結果等を参考にして、南海トラ フで発生する巨大地震の震源特性と連動様式の一般化(レシピ)を図るとともに、地 震発生サイクルの計算結果に基づき、発生しうる破壊伝播シナリオの検討を行う。ま た、津波堆積物や津波石の移動を考慮した津波シミュレーション法を開発し、周辺諸 国を含めて古文書等の記録を集めることによりデータが少ない過去地震の震源過程を 評価する。

② 地震ハザードの高精度評価

強震動・津波シミュレーション法の大規模並列化を進め、高分解能・広帯域化する とともに、プレート詳細形状・物性モデルと高分解能地殻・堆積層モデルを結合した 高分解能地下構造モデルを構築して、巨大地震シナリオの高度なハザード評価を行う。 震源や地下構造モデルの不確定性と地震シナリオの不確実性(多様性)に伴う短周期 強震動と長周期地震動の予測のバラツキを適切に評価し、防災に資することのできる 実用的なハザード評価を行う。南海トラフ地震と南西諸島海溝地震の連動可能性や、 相模トラフの地震や日本海溝の地震との最大連動の可能性、こうした地震津波による 広域津波について評価も行う。

2. 業務の実施体制

このプロジェクトは、海洋研究開発機構、東北大学、防災科学技術研究所、名古屋大学、 京都大学、東京大学、東京大学地震研究所、産業技術総合研究所が体制を構築し、関係す る研究機関・研究者の参加・協力を得て実施する。本プロジェクトの代表機関は海洋研究 開発機構(プロジェクト代表者:金田義行)とする。

また、研究を効果的に実施するために、関係する研究機関・研究者等により構成する「南 海トラフ広域地震防災研究プロジェクト運営委員会」(事務局は海洋研究開発機構)を設置 する。

		担当者
調査観測項目	担当機関	(◎は各項目
		代表者)
プロジェクト代表者	国立研究開発法人海洋研究開発機構	金田義行
地域連携減災研究(サブテーマ1)	国立大学法人名古屋大学	福和伸夫
代表者		
地域連携減災研究(サブテーマ1)	国立大学法人東北大学	◎今村文彦
(a) 東日本大震災教訓活用研究		佐藤翔輔
		蝦名裕一
		保田真理
		森實香純
		姥浦道生
	国立大学法人京都大学	牧紀男
	国立大学法人名古屋大学	福和伸夫
		飛田潤
		野田利弘
		護雅史
		田代喬
		都築充雄
		菅沼淳
		中井健太郎
		北川夏樹
	国立大学法人東京大学	古村孝志
地域連携減災研究(サブテーマ1)	名古屋大学減災連携研究センター	福和伸夫
(b) 地震・津波被害予測研究		利藤房男
		◎野田利弘
		長江拓也
		平山修久
		護雅史

		新井伸夫
		田代喬
		武村雅之
		都築充雄
		菅沼淳
		山﨑雅人
		浦谷裕明
		北川夏樹
		宮腰淳一
		石原宏
	名古屋大学災害対策室	飛田潤
	名古屋大学工学研究科	中井健太郎
	名古屋大学環境学研究科	平井敬
	名古屋大学地震火山研究センター	山中佳子
	東京大学工学系研究科	廣井悠
	国立研究開発法人海洋研究開発機構	今井健太郎
	徳島大学大学院	馬場俊孝
	東北大学災害科学国際研究所	今村文彦
	国立研究開発法人防災科学技術研究	藤原広行
	所	平田賢治
		河合伸一
		中村洋光
		森川信之
		前田宜浩
		佐伯琢磨
		先名重樹
		大角恒雄
		東宏樹
		内山庄一郎
	東京大学地震研究所	古村孝志
		原田智也
地域連携減災研究(サブテーマ1)	国立研究開発法人海洋研究開発機構	金田義行
(c) 防災 · 減災対策研究		◎高橋成実
		堀 高峰
		今井 健太郎
		兵藤 守
		中田 令子
		大林 涼子

	国立大学法人名古屋大学	福和 伸夫
		野田 利弘
		武村 雅之
		田代 喬
		利藤 房男
		護 雅史
		新井 伸夫
		平山 修久
		都築 充雄
		菅沼 淳
		山﨑 雅人
		倉田 和己
		北川 夏樹
		平井 敬
		飛田 潤
	国立大学法人京都大学	牧紀男
	国立研究開発法人防災科学技術研究	藤原 広行
	所	青井 真
		中村 洋光
		前田 宜浩
		田口 仁
		李 泰榮
		大角 恒雄
		東 宏樹
		崔 青林
		水井 良暢
	国立大学法人東北大学	今村 文彦
		佐藤 翔輔
		保田 真理
	国立大学法人東京大学	古村孝志
		原田 智也
	国立大学法人徳島大学大学院	馬場 俊孝
地域連携減災研究(サブテーマ1)	国立大学法人京都大学 防災研究所	牧紀男
(d) 災害対応・復旧復興研究	国立大学法人東京大学 生産技術研	加藤孝明
	究所	塩崎由人
	国立大学法人東京大学大学院 工学	村山顕人
	系研究科都市工学専攻	

地域連携減災研究(サブテーマ1)	国立研究開発法人防災科学技術研究	◎藤原広行
(e) 防災・災害情報発信研究	所	高橋成実
		臼田裕一郎
		田口仁
		李泰榮
		東宏樹
		崔青林
		水井良暢
		池田真幸
	国立研究開発法人海洋研究開発機構	金田義行
		高橋成実
		中野優
		今井健太郎
	国立大学法人名古屋大学	福和伸夫
		護雅史
		山中佳子
		武村雅之
		倉田和己
	国立大学法人東京大学	田中淳
		関谷直也
		定池祐季
		宇田川真之
		磯打千雅子
		三船恒裕
巨大地震発生域調査観測研究(調	国立研究開発法人海洋研究開発機構	金田義行
査観測分野) (サブテーマ 2-1) 代		
表者		
巨大地震発生域調査観測研究(調	国立研究開発法人海洋研究開発機構	金田義行
査観測分野)(サブテーマ 2-1)	地震津波海域観測研究開発センター	◎小平秀一
(a) プレート・断層構造研究		三浦誠一
		仲西理子
		山下幹也
		新井隆太
		石原靖
		高橋努
		山本揚二朗
	国立研究開発法人防災科学技術研究	汐見勝彦
	所 地震津波防災研究部門	上野友岳
		松澤孝紀

		浅野陽一
		木村武志
		木村尚紀
		田中佐千子
		松原誠
巨大地震発生域調査観測研究(調	国立研究開発法人産業技術総合研究	◎池原研
査観測分野) (サブテーマ 2-1)	所 地質情報研究部門	板木拓也
(b) 海陸津波履歴研究		杉崎彩子
		味岡拓
		宇佐見和子
	国立研究開発法人産業技術総合研究	宍倉正展
	所 活断層・火山研究部門	澤井祐紀
		行谷佑一
		松本弾
		谷川晃一朗
		伊尾木圭衣
		藤原治
	国立研究開発法人海洋研究開発機	金松敏也
	地震津波海域観測研究開発センター	
	国立大学法人高知大学 教育研究部	岩井雅夫
	法政大学 文学部	前杢英明
	国立大学法人東京大学大学院理学系	安藤亮輔
	研究科	
	一般財団法人地域地盤環境研究所	越後智雄
	国立大学法人筑波大学 生命環境系	藤野滋弘
巨大地震発生域調査観測研究(調	国立大学法人東京大学地震研究所	◎篠原雅尚
査観測分野) (サブテーマ 2-1)		小原一成
(c) 広帯域地震活動研究		塩原肇
		酒井慎一
		望月公廣
		山田知朗
		一瀬建日
		八木健夫
		阿部英二
		西本太郎
		池澤賢志
		大塚宏徳
	国立大学法人京都大学防災研究所	伊藤喜宏

	国立大学法人東京海洋大学	中東和夫
	国立大学法人九州大学	松島健
	国立大学法人京都大学防災研究所	山下裕亮
	国立大学法人東北大学災害科学国際	木戸元之
	研究所	
	国立大学法人東北大学大学院理学研	日野亮太
	究科	太田雄策
		鈴木秀市
	国立研究開発法人海洋研究開発機構	末次大輔
		高橋成実
		高橋努
		伊藤亜妃
		今井健太郎
		利根川貴志
		中島倫也
巨大地震発生域調査観測研究(シ	国立大学法人東京大学	古村孝志
ミュレーション分野)(サブテー		
マ 2-2) 代表者		
巨大地震発生域調査観測研究(シ	国立大学法人東北大学大学院理学研	日野亮太
ミュレーション分野)(サブテー	究科	太田雄策
₹ 2-2)		内田直希
(d) データ活用予測研究	国立大学法人京都大学大学院理学研	宮崎真一
	究科	
	国立大学法人京都大学防災研究所	西村卓也
		伊藤喜宏
	国立大学法人名古屋大学	鷺谷威
	減災連携研究センター	
	国立大学法人名古屋大学大学院	伊藤武男
	環境学研究科附属地震火山研究セン	
	ター	
	国立研究開発法人産業技術総合研究	行谷佑一
	所 活断層・火山研究部門	
	国立大学法人東京大学大学院理学研	安藤亮輔
	究科	
	国立研究開発法人海洋研究開発機構	◎堀高峰
	地震津波海域観測研究開発センター	中田令子
		兵藤守
		有吉慶介
	国立研究開発法人理化学研究所	平原和朗

巨大地震発生域調査観測研究(シ	東京大学地震研究所	◎古村孝志
ミュレーション分野)(サブテー	災害科学系研究部門	原田智也
マ 2−2)	東京大学地震研究所	市村 強
(e) 震源モデル構築・シナリオ研	巨大地震津波災害予測研究センター	
究	国立研究開発法人理化学研究所	平原和朗
	名古屋大学大学院 環境学研究科	橋本千尋
	国立研究開発法人防災科学技術研究	福山英一
	所	
	国立研究開発法人海洋研究開発機構	堀高峰
		今井健太郎
	東京大学大学院理学系研究科	安藤亮輔
	京都大学 防災研究所	岩田知孝
		関口春子
		浅野公之
	東北大学 災害科学国際研究所	今村文彦
		蝦名佑一
	国立研究開発法人産業技術総合研究	大谷真紀子
	所	

3. 研究成果報告

3.1 東日本大震災教訓活用研究

(1) 業務の内容

(a)業務題目 「東日本大震災教訓活用研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東北大学	教授	今村文彦
災害科学国際研究所	准教授	佐藤翔輔
	准教授	蝦名裕一
	プロジェクト講師	保田真理
	技術支援員	森實香純
大学院工学研究科	准教授	姥浦道生
国立大学法人京都大学	教授	牧紀男
防災研究所		
国立大学法人名古屋大学	教授	福和伸夫
減災連携研究センター	教授	野田利弘
	特任教授	護雅史
	特任教授	田代香
	寄付研究部門准教授	都築充雄
	特任准教授	菅沼淳
	特任助教	北川夏樹
災害対策室	教授	飛田潤
大学院工学研究科	准教授	中井健太郎
国立大学法人東京大学	教授	古村孝志
地震研究所		

(c)業務の目的

前半の4年間では、既存のアーカイブ活動と連携をしながら、東日本大震災での広域で 複合的な災害及びその対応、復旧・復興に関するアーカイブを作成・拡張し、課題や教訓 を整理する。さらに、プロジェクト指向型アーカイブを構築することにより、東日本大震 災の被災地と南海トラフ地震との被害発生の類似パターンを抽出し、南海トラフ地震・津 波における人的被害軽減戦略プログラムを策定する。東日本大震災の基礎自治体の復興計 画及びその策定に関するデータ収集の基礎的検討を行う。後半の3年間では公表されたコ ンテンツを新たに収集・連携し、アーカイブシステムのβ版を構築する。同アーカイブを 用いて防災・減災・復興に資する生きる力を解明し、災害時の生きる力醸成プログラムを 作成する。さらに、東日本大震災の基礎自治体復興計画の現状に対してアクションリサー チ手法を用いつつ課題の分析・抽出を行う。

(d) 7 か年の年次実施業務の要約

平成 25 年度:

プロジェクト指向型アーカイブの基本設計と震災の教訓に関する学術論文・調査 報告書の文献調査を行った。また東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策 定に関するデータ収集の基礎的検討を行った。

平成 26 年度:

アーカイブコンテンツの収集・連携を行うとともに、アーカイブシステムの a 版 を構築した。また、東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデ ータ収集を行った。

平成 27 年度:

震災教訓文献データベースのシステム利用評価、東日本大震災の津波の来襲状況 や被害について撮影・公開されている動画検索システムの試験実装、東日本大震災 の基礎自治体の復興計画及びその策定に関するデータ収集(宮城県)、東北沖海域に 発達する断層のうち海溝軸外海側の構造データの収集、復興していく市街地の様子 を定点で観測する「復興モニタリングシステム」の管理・改良・運用、東日本(静 岡県以北)の 自治体の東北地方における 地震波形データに関する関係機関と調 整・手続き、東日本大震災における液状化被害・河川堤防被害・造成地被害の発生 状況の整理、東北地方太平洋沖地震と M7 級地震の長周期地震動と比較を行った。 平成 28 年度:

実装したプロジェクト指向型アーカイブ(プロトタイプ)の改良およびユーザー 利用評価を行った。また、東日本大震災の基礎自治体の復興計画及びその策定に関 する課題の分析・抽出を行った。復興していく市街地の様子を定点で観測する「復 興モニタリングシステム」について観測の継続を行うと共にシステムの移設を行っ た。平成27年度に引き続き、東日本(静岡県以北)の自治体の東北地方における 地震波形データに関する関係機関と調整・手続きを行った。仙台市の上水道の被害 状況・復旧状況の分析と今後の対策の提言、免震住宅の被害と建物の強震観測の状 況に関する分析と課題の提示、ならびに、地盤や河川堤防の液状化・耐震効果に関 する検証事例整理と課題の提示を行った。東北地方太平洋沖地震における関東平野 の長周期地震動の生成要因を地震波形解析と波動伝播シミュレーションにより評 価し、震源域直上での表面波の励起と平野への伝播増幅特性が大きく寄与している ことを確認した。また、KiK-net 築館で観測された震度7の強震記録を熊本地震に おける KiK-net 益城における強震波形記録と比較し、揺れの継続時間と周期成分の 違いから、海溝型巨大地震の強震動の特性と被害に与える影響を検討した。

平成 29 年度:

これまでに開発してきたデータベースにおいて、その後発表された研究成果を追

加更新するとともに、そのユーザー利用評価調査を行った。また、東日本大震災の 基礎自治体復興計画の実現に関するデータ収集の基礎的検討を行った。復興してい く市街地の様子を定点で観測する「復興モニタリングシステム」について観測の継 続を行うと共にシステムの移設を行った。1)ライフライン、2)建築構造物および 3)地盤・土構造物について、平成25~28年度に実施した構造物被害調査結果を主 として1-b)に情報提供するとともに、ひきつづき当課題において当該情報の有効 性などを精査した。2011年東北地方太平洋沖地震の観測波形解析から得られた強震 動・長周期地震動の特性に関する知見に基づき、不均質地下構造モデルを用いた地 震波伝播シミュレーションにより、関東平野における長周期地震動の伝播・増幅と、 震源の方位による都心部での長周期地震動レベルの変動(バラツキ)要因を評価し た。

平成 30 年度:

初年度以降に公表されたコンテンツを新たに収集・連携し、アーカイブシステム の充実化を図るとともに、その利用頻度を可視化した。加えて、災害時の8つの「生 きる力」を向上させる人材育成プログラムの検証も行った。各自治体の復興計画の 実施状況とその課題に関して、特に被災者の意向変化の実態に着目して、データの 収集及び分析を行った。構造物等の被害については次の通りである。1)ライフライ ン(上水道)については、碧南市との議論や東日本大震災での事例検証を行う中で、 昨年度1-a)で取りまとめた上水道システムの減災対策に加え、新たに複数の対策を 提案した。2)建築構造物については、地震観測記録に基づき重要施設の機能継続に つながる構造モニタリングを検討した。3)地盤・土構造物については、現行のレベ ル2地震動に対する河川堤防の耐震点検フローの三次点検に必要とされる代表的な いくつかの解析手法について特徴を比較・整理した。南海トラフ巨大地震による、 大規模平野での長周期地震動の予測の実現に向け、2011年東北地方太平洋沖地震で 発生した長周期地震動の観測波形データに基づき、強震観測データ同化と地震波伝 播シミュレーションによる、即時予測の数値実験を行なった。

平成 31 年度:

利用プログラムの充実と共に、東日本大震災で被災した地域において実施されて いる研修・教育プログラム(自治体、学校)の事例把握・検証を行う。また、これ まで開発してきた教訓等に関するアーカイブシステムについて、その後、新たに得 られた知見や災害の事例をもとに、コンテンツの充実化を継続する。東日本大震災 の基礎自治体復興計画の実現に関するデータ収集を行うと共に、その実現に関する 課題の分析・抽出を行う。特に実現のための事業として土地区画整理事業に着目し、 効果と課題を抽出すると共に、その原因を明らかにする。構造物被害調査結果を利 用した他の研究課題との連携研究および総括を行う。また、平成25年度から実施し ている東日本大震災の復興プロセスのモニタリング手法のとりまとめを行うととも に、今後のモニタリングについての検討を行う。7カ年の取組みについて、可能な 限り、研究論文等にまとめるともに、社会への周知・発信を行い、今後の利活用の 波及につなげる。前年度の更新を受けて、平成28年度の実施内容を更新する。また、 東日本大震災の基礎自治体復興計画の実現に関するデータ収集(宮城県)を行う。 構造物被害調査結果を利用した他の研究課題との連携研究および総括を行う。

(e) 平成 30 年度業務目的

これまで開発してきた教訓等に関するアーカイブシステムを用いて、自治体・地域防 災や防災教育での利用プログラムを支援するシステムを開発する。既存のコンテンツに 加え、熊本地震に関する教訓データを追加する。東日本大震災からの基礎自治体レベル の復興計画の実施状況とその課題に関するデータの収集及び分析を行う。構造物等の被 害調査結果利活用のための戦略に関する検討を実施する。また、平成25年度から実施 している東日本大震災の復興プロセスのモニタリングを継続して行う。

(2) 平成 30 年度の成果

①アーカイブシステムの構築・利活用

(a) 業務の要約

初年度以降に公表されたコンテンツを新たに収集・連携し、アーカイブシステムの充実 化を図るとともに、その利用頻度を可視化した。加えて、災害時の8つの「生きる力」 を向上させる人材育成プログラムの検証も行った。また、各自治体の復興計画の実施状 況とその課題に関して、特に被災者の意向変化の実態に着目して、データの収集及び分 析を行った。

(b) 業務の成果

1)「東日本大震災教訓活用型アーカイブシステム」の基本設計

平成25年度に、東日本大震災の教訓を活用することに特化した「東日本大震災教訓 活用型アーカイブシステム」の基本設計を行った。基本設計においては、南海トラフ 広域地震津波災害の想定被災地における自治体の防災担当職員へのインタビュー調査 を実施した。その結果、主に次の3つのニーズがあることが明らかになった。以下、 平成25年度成果報告書(文部科学省研究開発局・独立行政法人海洋研究開発機構,2014) からの再掲となるが説明する。

- a) 東日本大震災で明らかになった、いわゆる「教訓」を簡便に詳細に検索・閲覧 したい。
- b) 東日本大震災における津波に関する動画(津波の来襲映像、津波のシミュレー ション動画)を検索・閲覧したい。
- c) 東日本大震災の被災自治体において、被災経験を踏まえて策定された各種計画、

設計・実施された訓練等の事例を参照したい。

a)のような回答をした地域では、すでに南海トラフ広域地震津波について活発な対 策活動が行われていた。このような組織・自治体においては、すでに一定の対策を講 じているために、より即効性が高い対策を講じようと、直近で発生した「東日本大震 災の教訓」、言い換えれば、東日本大震災の経験を踏まえて、津波災害への対応として 効果的な対策・対処方法、次の大津波被災地でも起こる可能性が高い問題やその解決 策に対して、高い関心が寄せられる傾向があった。具体的な例としては、三重県防災 対策部(2014)では、東日本大震災において「誰が何に困ったのかリスト」を作成し ている。防災・減災の実務者にとっては、「東日本大震災の教訓」を災害が起きる前に すべき備えや、発災時の効果的な対応として調べたいというニーズが高いことが分か った。

b)のような回答をした地域は、南海トラフ広域地震津波の対策を徐々に始めている ような地域であった。そのような地域では、過去に津波の経験があまりなく、地域住 民の意識があまり高くない傾向にあった。行政担当者としては、まず、動画というリ アリティのある映像を地域住民に見てもらうことで、津波に対する危機意識をもって もらいたい、という回答が得られた。実際に、住民からそのようなニーズが寄せられ ることもあるという。最初のステップとして、危険意識がそれほど高くない地域住民 に対して、津波の危険性を視覚的に訴えることで、津波防災・減災への対策・行動に 関心をもってもらいたいというニーズが存在することが分かった。

c)は、事前の防災・減災施策の具体例として、東日本大震災で大津波を経験した被 災自治体が現在、何をどのように準備しているのかを直接把握したいという実務に携 わる上での直接的なニーズであった。

以上は、行政や住民が求めるアーカイブの要件である。これに加えて、研究者は各 種の分析・解析のために、基本的には生データ(いわゆるローデータ)の利用を希望 することが想像される。

以上のインタビュー調査や考察を踏まえて、平成25年度に図3-1-①-1のよう な東日本大震災教訓活用型アーカイブシステムの基本設計(概念図)を作成した。



図 3-1-①-1 東日本大震災教訓活用型アーカイブシステムの基本設計 (概念図:3層アーカイブモデル)

東日本大震災の教訓を活用する上で、利用者の業種や専門性によって必要になるア ーカイブコンテンツの概念レベルを大きく3種類に分類した(3層アーカイブモデル)。 災害の経験をもとにして生成される情報は、(1) 生データとしての災害履歴(災害履 歴データベース)、(2) 学術論文や報告書などで報告された知見としての結論・理論(理 論データベース)、(3) 災害の経験や一般化された理論をもとに設計された各種計画・ 訓練事例(事例データベース)に分けることができる。これらは、利用者の業種・立 場(住民、行政、研究者)やコンテンツを扱うリテラシーや専門性によって、アクセ スの範囲が異なる。東日本大震災に関して収集したコンテンツを同一のインタフェー スで閲覧するのではなく、具体的な利用ケースに応じたインタフェースを用意するこ とで「東日本大震災の教訓」をより効果的・効率的に活用することが可能と考えた。 インタビュー調査から分類された3通りのニーズを3層アーカイブモデルに照らし合 わせると、行政担当者は「東日本大震災の教訓」を情報として検索するために中層の 理論データベースを参照する(上記 a))。災害履歴データベースにおいて、研究者が主 にローデータを活用する。津波に関する映像の検索・閲覧は下層の災害履歴データベ ースから、行政・住民が行う(上記 b))。さらに避難訓練等の設計において上層の事例 データベースを参照する(上記 c))といった例が考えられる。

平成 30 年度は、上記のデータベースのうち、理論データベースについて以下のよう な検討を行った。検討のうち、前者は、理論データベースに関する検討、後者は理論 データベースと災害履歴データベースに関する検討である。

・「震災教訓文献データベース」のコンテンツ追加

・「3.11 からの学びデータベース」「震災教訓文献データベース」「動画でふりかえる 3.11」の利用頻度調査

2)「震災教訓文献データベース」のコンテンツ追加

本プロジェクトにおいて平成26年度に、「東日本大震災の教訓」を集約した理論デ ータベース(教訓検索システム)を公開するウェブシステムとして「震災教訓文献デ ータベースー論文・報告書がしめす震災教訓の検索システムー」を公開した。同シス テムは、平成25年度に実施した東日本大震災、その他の地震災害に関する学術論文と 報告書の文献調査を行った「東日本大震災ほか災害に関する文献調査」(文部科学省研 究開発局・独立行政法人海洋研究開発機構,2014)の結果をシステムにインポートし たものである。図3-1-①-2に教訓検索システム「震災教訓文献データベース-論文・報告書がしめす震災教訓の検索システムー」のトップ画面を示す。ここでいう 「教訓」とは、学術論文・報告書から結語部分をもとに情報を整理した文章でフリー ワード(自然語)入力による検索ほか、タグ(統制語)で、トップ画面中央下部に表 示されているタグクラウドからキーワードを選択して検索することができる。タグク ラウドは、登録件数が多いものからフォントサイズを大きくして上位に表示している。

↑ トップページ	へ 調べ	3	震災教訓文献 データベースとは	日 関連リンク
7	リーキーワードを入力して検	索するか、下部のタグクラウド	Q 検 からキーワードを選択してく	索 ださい
作成者(論文:筆頭著者, 報告書:発行機関)	区分	雑誌名	学会名	<u>災害名</u>
作成者(論文:筆頭著者, 報告書:発行機関) 晋1音(3) 總(京) 伯	☑分 論文 調査報告	雑誌名 消費者アンケー	学会名 地域安全学会日	<u>災害名</u> 東日本大震災 防
作成者(論文:筆頭著者, 報告書:発行機関) 環境省 饗庭 伸 稲垣立彦 竹莲	<mark>区分</mark> 論文 調査報告 書	雑誌名 消費者アンケー ト調査結果 地域	⅔会名 地域安全学会 日 本災害復興学会	<mark>災害名</mark> 東日本大震災 阪 神・淡路大震災
作成者(論文:筆頭著者, 報告書:発行機関) 環境省 饗庭 伸 稲垣文彦 竹葉 職重 越山 健治	区分 論文 調査報告 書	#誌名 消費者アンケー ト調査結果 地域 安全学会論文集	**** 地域安全学会 日 本災害復興学会 地震工学会 日本	<u>災害名</u> 東日本大震災 阪 神・淡路大震災 新潟県中越地震
作成者(論文:筆頭著者, 報告書:発行機関) 環境省 饗庭 伸 稲垣文彦 竹葉 勝重 越山 健治 河本 骉子 井 /	区分 論文 調査報告 書	#基名 消費者アンケー ト調査結果 地域 安全学会論文集 復興 日本地震工 中の本集 日本	学会名 地域安全学会日 本災害復興学会 地震工学会日本 災害情報学会自	<u>災害名</u> 東日本大震災 防 神・淡路大震災 新潟県中越地震 新潟県中越地地
作成者(論文:筆頭著者, 報告書:発行機関) 環境省 饗庭 伸 稲垣文彦 竹葉 勝重 越山 健治 河本 尋子 井ノ □ 完成 村田明	区分 論文 調査報告 書	雑誌名 消費者アンケート調査結果地域安全学会論文集復興日本地震工学会論文集日本	学会名 地域安全学会日 本災害復興学会 地震工学会日本 災害情報学会自 然災害学会	災害名 東日本大震災 防神・淡路大震災 新潟県中越地震 新潟県中越地震 新潟県中越・西 東新潟県中越・西
作成者(論文:筆頭著者, 報告書:発行機関) 環境省 饗庭 伸 環境互交彦 竹葉 勝重 越山 健治 河本 尋子 井ノ 口 宗成 村田明 子 田村 圭子 新	区分 論文 調査報告 書	 #基名 消費者アンケー ト調査結果 地域 安全学会論文集 復興 日本地震工 学会論文集 日本 災害復興学会論 	学会名 地域安全学会 日 本災害復興学会 地震工学会 日本 災害情報学会 自 然災害学会	災害名 東日本大震災 防神・淡路大震災 新潟県中越地震 新潟県中越沖地 震新潟県中越・中越・中越・中越・中志志
成省(論文:筆頭著者, 語書:第行機関) 環境省 饗庭 伸 超垣文彦 竹葉 券重 越山 健治 可本 尋子 井ノ コ 宗成 村田明 子 田村 圭子 新 来 這 今子	区分 論文 調査報告 書	#基名 消費者アンケート調査結果地域安全学会論文集復興日本地震工学会論文集日本災害復興学会論文集 (災害復興学会論文集)、災害情報	学会名 地域安全学会日 本災害復興学会 地震工学会日本 災害情報学会自 然災害学会	災害名 東日本大震災 防神・淡路大震災 新潟県中越地震 新潟県中越沖地 震新潟県中越・中越 中越沖地震 海・東海・東海・東南
(論文:筆頭著者, 法書:完行機関) 環境省 饗庭 伸 電力 整山 健治 可本 尋子 井ノ コ 宗成村 圭子 新 豪 淳 金子佐 古	区分 論文 調査報告 書	#基名 消費者アンケート調査結果地域安全学会論文集 復興日本地震工学会論文集日本 災害復興学会論文集災害情報 文集災害情報 首次送客科学消	孝会名 地域安全学会 日 本災害復興学会 地震工学会 日本 災害情報学会 自 然災害学会	<u>災害名</u> 東日本大震災 防 神・淡路大震災 新潟県中越や地 震 新潟県中越・ 中越沖地震 東 海・東南海地震 阪神淡路大震災
	区分 論文 調査報告 書	#基名 消費者アンケート調査結果地域 安全学会論文集 復興合本地震工学会論文集 災害復興学会論 文集 災害情報 自然災害科学消費者アンケート	**** 地域安全学会日本 本災害復興学会日本 災害情報学会自 然災害学会	<u>32</u> 東日本大震災 豚 神・淡県中越災 新潟県中越地 震 新潟県中越・ 中越・東南 海・東南 下 御・ 家路大震災 昭 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二

図 3-1-①-2「震災教訓文献データベース」のトップ画面 (上から、メニュー、フリーワード検索ボックス、タグクラウド)

図 3-1-①-3に検索結果の例を示す。タグクラウドに表示されたキーワード(タ グ)から検索ができる。図 3-1-①-3はある著者名を選択して検索した例である。 検索結果一覧には、雑誌名、学会名、災害名、対象なども表示され、それらをキーに して欲しい情報の絞り込みが可能である。

🏫 トップページ		Q 調べる	震災教訓文献 データベースと	は	回風	目連リンク
豪 翔輔		Q、検索				
成者(論文:筆頭著者, 告書:発行機関) 佐藤 翔輔 (18)	Q 検索	結果一覧				
+	ID	文献名	フェーズ	対象	カテゴリ	場所
。 論文 (18) ま 名	p0341	東日本大震災における被災地外からの人 的支援量の関連要因に関する分析	直後・初動期 応急復旧期	ボランティア	支援団体	その他・非該 当
地域安全学会論文 集 (15) 自然災害利学 (2)	p0342	東日本大震災における被災地外からの人 的支援量の関連要因に関する分析	直後・初動期 応急復旧期	ボランティア	その他・非該 当	その他・非該 当
□ 然及書料子 (3) ★名 地域安全学会 (15)	p0343	東日本大震災における被災地外からの人 的支援量の関連要因に関する分析	直後・初動期 応急復旧期	ボランティア	その他・非該 当	その他・非該 当
自然災害学会(3) 著名	p0344	東日本大震災における被災地外からの人 的支援量の関連要因に関する分析	その他・非該 当	その他	その他・非該 当	その他・非該 当
東日本大震災 (11) 阪神・淡路大震 災 (7)	p0345	東日本大震災における被災地外からの人 的支援量の関連要因に関する分析	その他・非該 当	ボランティア	その他・非該 当	その他・非該 当
	p0438	東日本大震災について報じられたウェブ ニュースコーパスの基礎的解析	直後・初動期 応急復旧期	情報	その他・非該 当	その他・非該 当
	p0960	・ 地震によるライフライン停止と住宅損傷 を考慮した短期的避難需要の評価モデル: 生活支障の計量評価を利用した震害波及 過程の記載	直後・初動期	避難	その他・非該 当	その他・非該 当
メディアが及ぼす人的支援の星への影響は、 か、ポジティブなのか、といった質的な要素 て、人的支援量は十分であったか、不足して 必要がある。	市町村の名称といった表象的な内容だけでなく,発信された内容がネガティブなの 長も影響することが予想される、これについても同様に今後の課題としたい、あわせ こいたかについても,別途,分析・評価することで,あるべき人的支援量を検証する					
--	---	--				
作成者(論文:筆頭著者,報告書:発行機関):	2015/02/13					
著者:	佐藤 翔輔					
フェーズ:	その他・非該当					
対象:	ボランティア					
カテゴリ :	その他・非該当					
場所:	その他・非該当					
区分:	論文					
掲載誌名:	地域安全学会論文集					
掲載巻ページ:	No.19					
出版者:	地域安全学会					
災害種別:	東日本大震災					
▶ 関連URL						
. http://inco.io.act/inco.oka/um.co.staat	(uploade/2012/08/2012_8/1_cd.adf					

図 3-1-①-4「教訓」の表示例

図3-1-①-3の検索結果一覧の中から、一つの行(IDの割り振られた文献名) を選択して表示した画面例を図3-1-①-4に示す。ページのトップに論文中で結 語として記述されていた文章を、その下部にタグ付けした結果や書誌情報を表示して いる。なお、文献がウェブ上にあるものについては、文献(URL)へのリンクも示して いる。

平成 30 年度は、平成 27 年度から継続して同システムに登録する文献(教訓)を追加した。同システムリリース以降にも、震災に関連する論文は多数発行されているため、開発時点までに発行されている文献を対象に新たに登録作業を行ったものである。特に、内陸直下型の教訓を取り入れるために、2016 年熊本地震に関する文献も収集・登録対象とした。

図 3-1-①-5に、「震災教訓文献データベース」に登録した文献のうち、論文と その結語(教訓)の数を、各論文が発行された年で時系列変化として示した。平成 30 年度は、新たに 761 編の論文と 1,227 件の教訓(結語)を登録し、全体では 1,645 編、 教訓(結語)は 4,597 件となった(平成 30 年度の登録件数の占める割合、論文:46.3%、 教訓: 26.7%)。なお、平成 29 年度より追加対象となった熊本地震は、論文で 181 編、



図 3 - 1 - ① - 5 「震災教訓文献データベース」に登録した文献・教訓(結語)の 数(上段:教訓(結語)数、下段:文献数)

3)「3.11からの学びデータベース」「震災教訓文献データベース」「動画でふりかえる3.11」の利用頻度調査

本プロジェクトにおいては、理論データベースとして、「3.11 からの学びデータベ ース-IRIDeS から発信する東日本大震災の教訓空間-」、前述の「震災教訓文献デー タベース-論文・報告書がしめす震災教訓の検索システム-」、災害履歴データベース として「動画でふりかえる 3.11-東日本大震災公開動画ファインダー-」といった 3 つのデータベースを公開している(図3-1-①-6)。「3.11 からの学びデータベー ス」は、東北大学災害科学国際研究所の教員が、学術論文などの出典とともに、なる ベく平易にわかりやすく解説を行った「教訓」として掲載したもの、「震災教訓文献デ ータベース」は文献中の結語から教訓として見なして掲載したもの、「動画でふりかえ る 3.11」は既に公開されている震災映像を地図上にリンクしたものである。ユーザー による利用評価は、平成 28 年度、平成 29 年度の業務および、佐藤ら(2018)と Sato et al. (2018)で実施し、それぞれのシステムの有用性を既に示している。ここでは、 公開後から 2019 年 3 月までの、それぞれのアクセス件数について述べる



3.11 からの学び
 データベース

震災文献データベース

図3-1-①-6 3つのデータベースのトップページ画面

図 3 - 1 - ① - 7に, 3 つのデータベースのアクセス件数の時系列変化(月別)を 示した。「3.11 からの学びデータベース」と「震災教訓文献データベース」は2015年 2月に、「動画でふりかえる3.11」は2017年2月に公開を開始している。「動画でふ りかえる3.11」の公開月と翌月は、公開期間において著しくアクセス件数が多いため (それぞれ、約10万件,約32万件)、図の表示範囲から除外している。「3.11 からの 学びデータベース」は累計408,170件・月平均8,163件、「震災教訓文献データベー ス」は累計734,203件・月平均14,684件、「動画でふりかる3.11」は累計1,184,280 件・月平均45,549件、いずれのデータベースも高頻度のアクセスがみられる。それぞ れをY=aX+bの直線で回帰したところ、「3.11 からの学びデータベース」と「震災教 訓文献データベース」は正の傾き(それぞれ198.7,118.2)と、徐々にアクセス件数 が増加している。これは、前述したように、コンテンツを徐々に増やしていることが 影響していると考えられる。「動画でふりかえる3.11」は、著しくアクセス件数が多い 2017年2月・3月を除いて回帰しても、その傾きは負の値(-119.4)であった。同デ ータベースは、アクセス件数そのものは多いものの、徐々にアクセス件数が減少して いることから、今後はシステム改良を行うなどの対策を講じることとする。



図 3-1-①-7 「3.11 からの学びデータベース」「震災教訓文献データベース」 「動画でふりかえる 3.11」のアクセス件数の時系列変化

4) 災害時の8つの「生きる力」を向上させる人材育成プログラムの検証

Sugiura et al. (2015) は、東日本大震災で被災した宮城県沿岸の住民1,412名か ら得た質問紙調査をもとに、危機回避・困難克服に有利な個人の性格・考え方・習慣 を分析し、「生きる力」8因子を特定した。ここでいう「生きる力」8因子とは、調査 対象者から得られたデータにおいて、津波避難や復興対応といった危機回避・困難克 服の行動と有意な正の相関関係にあったもの、言い換えれば有利に働いた力である。 8つの因子は、もともと 40 項目あった設問を因子分析によって、「F1 人をまとめる 力」、「F2 問題に対応する力」、「F3 人を思いやる力」、「F4 信念を貫く力」、「F5 きち んと生活する力」、「F6 気持ちを整える力」、「F7 人生を意味付ける力」、「F8 生活を充 実させる力」に縮約されたものである。この研究にもとづいて、質問紙によって個人 の「生きる力」を測定する方法が構築されている。具体例としては、「F1 人をまとめ る力」は「人の心を動かす、気のきいた言葉が口から出てくる」、「問題解決のために は、自分から関係者を集めて話し合いをする」、「日頃、自分から声をかけて集団をま とめることが多い」(他2問)等の設問に全て0~5のうちあてはまるものを回答する ものである。他の7因子についても1因子あたり3~5個の同様の設問が用意されている。

災害時の「生きる力」を向上させるプログラム形態の一つとして、大学における半 期講義を事例対象にした。報告者のうち一人は、宮城県石巻市内にある石巻専修大学 で「復興の社会学」と、名取市にある尚絅学院大学で「災害社会学」を担当しており、 同カリキュラムの中での実践を試みた。両授業とも、各回完結型とし、次の内容を取 り上げた:1)災害の定義、2)防災・減災の意味、3)災害対応、4)災害過程、5)被 災者、6)復興の定義、7)生活再建7要素、8)生活復興感、9)阪神・淡路大震災の被 害・復興の特徴、10)新潟県中越地震災害の被害・復興の特徴、11)東日本大震災の 被害・復興の特徴、12)これまでの授業内容のフォローアップ。科目講師は、講義の 内容については、概ね文献(林(2003),立木(2016))を参考にして授業を行った。 両授業は、アクティブ・ラーニングの形式を採用した。以上の1)~11)では、授業冒 頭はワークショップ形式で、それぞれの内容について「知っていること」や「こうか もしれないと思ったこと」をグループ(4-8名)でまとめてもらい、それを発表して もらったのちに、担当教員から解説を行う講義形式をとった。発表においては、各グ ループから、まとめた結果を板書してもらい、受講者達が、自身のグループの結果と 他のグループのまとめた結果を比較分析・考察を行う形式をとった。毎回の授業では、 レポートを課した。レポートの内容は、当日の授業をふりかえるもの1~2題のほか、 前1週間の復興に関するニュースを出典とともに提出するものとした。

以上の 2016 年度前期と 2018 年度前期の授業にて、実施した。2016 年度で石巻専修 大は男性 45 名・女性 22 名、尚絅学院大学は男性 21 名・女性 5 名、2018 年度で石巻 専修大は男性 46 名・女性 21 名、尚絅学院大学は男性 19 名・女性 8 名のいずれも、2 学年の学生である。 なお、2016 年度分については先行研究(佐藤ら, 2017)で効果測 定済であり、2018 年度実施分は、その追加分析を行い、妥当性を検証する意図で実施 したものである。

ここでは、「生きる力」各因子につき寄与率が高かった3つの質問で問う簡易方式を 採用しており、各因子15点満点で算出される。この「生きる力」尺度のみ、受講前に も調査を行っている。







図 3-1-①-9 2018 年度授業における「生きる力」得点の受講前後の変化(差分)

図3-1-①-8と図3-1-①-9に、受講前と受講後の「生きる力」得点の差 分(クラス平均)を示した(それぞれ、2016年度、2018年度)。図中では、受講前と 受講後の「生きる力」得点の差について、有意水準1%と5%で対応のある t 検定を 行い、その結果が有意であった因子についてそれぞれ**、*を付している。2016年度、 2018年度ともいずれの変化も有意な差があり、同講義プログラムによる生きる力向上 の頑健性が高いことが分かる。対象者に面接調査を行ったところ、以下のような趣旨 の発言が得られた。

- A 人をまとめる力:グループワークで話し合いを重ねるうちに意見や人をまとめる力が身についた。
- ・B 問題に対応する力:グループワークで話し合いを重ねるうちに意見や人をまと める力が身についた。災害が起きたときに、とるべき行動や選択肢を知り、そ のことについて考えようになった。
- ・C 人を思いやる力:災害での被害の深刻さを知り、自分にできることを考えるようになった。
- ・D 信念を貫く力:授業とは関係ない
- ・E きちんと生活する力:災害時は人との関わりが重要であることを学び、日頃か らコミュニケーションをとるようになった。
- •F 気持ちを整える力:自分と被災者の生活を比べて、当たり前に暮らせていることにありがたみを感じ、前向きに考えられるようになった。
- ・G 人生を意味づける力:被災者の現状を知り、自分にできること、必要とされて いることは何かを考えるようになった。
- ・H 生活を充実させる力:災害時は健康であることが重要であることを知り、体を 意識的に鍛えるようにしている。

災害発生後の危機回避・困難克服にとって有利に働くことが明らかにされた個人の 性格・考え方・習慣である「生きる力」8因子は、復興を題材にした講義を受講した ことで有意に上昇したことが確認された。受講者の自由回答から「生きる力」の向上 の多くは、講義の「内容」に起因していることも確認され、復興の講義が「生きる力」 向上に影響を及ぼす可能性が示された。

5) 復興計画の実施状況とその課題に関するデータの収集及び分析一被災者の意向変化 に着目して

各自治体は、適正な事業規模を算定するため、住宅再建に関する被災者の意向調査 を数回にわたって行い、被災者の最新の意向の把握に努めた。そこで本研究は、再建 に至るまでに被災者の再建意向がどのように変化していたのかを明らかにするととも に、その要因について考察することを目的とする。具体的には、再建方法及び場所に 関する大船渡市全域での意向の推移について明らかにするとともに分析を行う。本研 究は、単に東日本大震災の復興過程において被災者の住宅再建意向がどのように変化 してきたのかを明らかにするだけではなく、今後起こりうる同様の震災の復興過程に おいて、自治体が意向調査の初期段階でその後の意向変化を予測する際の、有用な知

	送付件 数 Number of sending	有効数 Valid number	回収数 Number of collecte d	回収率 Collected rate	実施主体 Implementin g organization	調査員 Investigator	回収方法 Collection method
第1回 1st	2,875	2,713	1,876	69.1%	大船渡市 Ohunato city	コンサルタント会社 に委託 Outsourced to a consultancy company	郵送 Mail
第2回 2nd	2,487	2,487	1,879	75.6%	大船渡市 Ohunato city	コンサルタント会社 に委託 Outsourced to a consultancy company	郵送 Mail
第3回 3rd	2,276	2,276	1,609	70.7%	大船渡市 Ohunato city	大船渡市 Ohunato city	郵送 Mail
第4回 4th	1,567	1,567	1,544	98.5%	大船渡市 Ohunato city	大船渡市応急仮設 住宅支援協議会 Ofunato City emergency temporary housing support council	郵送、電話、訪 問 Mail, phone, visit
第5回 5th	802	802	797	99.4%	大船渡市 Ohunato city	大船渡市応急仮設 住宅支援協議会 Ofunato City emergency temporary housing support council	郵送、電話、訪 問 Mail, phone, visit
第6回 6th	306	306	306	100.0%	大船渡市 Ohunato city	大船渡市応急仮設 住宅支援協議会 Ofunato City emergency temporary housing support council	郵送、電話、訪 問 Mail, phone, visit

表 3-1-①-1 被災者住宅復興意向調査

用いたデータは、大船渡市が行った被災者住宅復興意向調査の結果である(表3-1-①-1)。その結果、まず住宅復興の方法については、当初は無回答が全体の半分 程度を占めていたが、それが時間の経過とともに徐々に意向が固まってきたこと、意 向が最終的に確定するまでに、早期の段階では「自力再建」から「防集」へ、「民間賃 貸」から「災害公営」へ、またその後の段階では逆に「防集」から「自力再建」へ、な どの多様な変化が見られたこと、その背景としては各種事業制度枠組みや支援策の内 容に関する被災者への情報提供や事業進捗に関する情報提供があったことが考えられ ること、最終盤においても「無回答」から「自力再建」や「災害公営」への変化が見 られたこと、その背景としては仮設住宅の閉鎖により被災者が意思決定を迫られたと いう事情があったことが考えられること、最終的な住宅復興の方法は、当初の意向と は大幅に異なっており、特に「自力再建」「災害公営」が割合的に特に大幅に増加した こと、等が明らかになった(図3-1-①-10)。

また住宅復興の場所についても、当初は無回答が全体の半分程度を占めていたが、 それが時間の経過とともに徐々に意向が固まってきたこと、最終的な住宅復興の場所 に関して利便性の高い地区の世帯減少率が低いこと、被災によって元の居住地区から 離れて仮住まいしたものの最終的には元の地区に戻った世帯も少なくないこと、仮住 まいを機に従前居住地区外の内陸に移転した世帯数は全体の1割弱と必ずしも多くは なかったこと、等が明らかになった(図3-1-①-11)。

このような意向の変遷については、以下の3期に分けて捉えることができる。

第一期は「意向確定期」であり、概ね被災後から 2013 年までが該当する、この時期 に、さまざまな事業の制度枠組みや被災者支援策の内容が固まり、それに関する情報 提供が数多く開催された説明会等を通じて被災者になされたことによって、その意向 が確定していった。当初は約半数を占めていた無回答が、これにより減少し、復興の 方法や場所に関する意思決定を行っていった。

第二期は「意向変化期」であり、第一期と重なりつつ、概ね 2012 年から 2015 年ま でが該当する。当初行った意思決定を、社会情勢の変化や復興事業の実施(遅延)状 況の変化により変更させていった時期である。この時期に特に、地価の高騰などを原 因とすると考えられる「自力再建」から「防集」への意向変化や、事業の遅延を原因 とすると考えられる「防集」から「自力再建」への意向変化、利便性の高さや住み慣 れ具合に重きを置くようになったことによると考えられる「内陸部」から「中心市街 地」等への意向変化等が発生していた。

第三期は「最終決断期」であり、さまざまな事情から意思決定を遅らせていた世帯 が、仮設住宅の閉鎖を契機として最終的な決断を行った時期である。この世帯には大 きく2つの類型があることがうかがえた。一つは自力再建を意図していたものの、地 価や建設費の高騰が落ち着くのを待っていた場合であり、そのような世帯は「無回答」 から「自力再建」へと意向を変化させていった。もう一つは家賃負担等の理由から仮 設住宅での居住を継続していた場合であり、そのような世帯は「無回答」から「災害 公営」へと意向を変化させていった。

以上のことから、政策的に重要であると示唆されるのは、以下の4点である。

一点目は、被災者意向の段階的な把握の重要性である。被災者の住宅復興の方法や 場所に関する最終的な意向は、当初の意向と比較して大きく変化していた。また、そ の変化も段階的に発生してきていた。したがって、被災者の意向を段階的に把握する ことは、各種事業の適切な規模や場所を決定するために、非常に重要な役割を果たし ているといえる。

二点目は、事業制度や被災者支援枠組みを早期に決定することの重要性である。今 回の復興プロセスにおいては、さまざまな事業制度や支援の枠組みが、被災後、徐々 に決められていった。もちろん、これらは被災者の意向を勘案して決定されなければ ならないという側面もあるため、すべてを事前確定的に決定しておくことは困難であ る。とはいうものの、これらが被災者の意思決定に影響を与えていることが示唆され たことから、この決定が早まれば被災者の意思決定も早まり、住宅復興自体も早まる と考えられる。

三点目は、現実的な事業スケジュールの提示の必要性である。事業スケジュールが 遅延することによって、それらの事業から別の復興の方法へと意向が変化することが 示唆されたことから、すべてが順調に行けばという希望的スケジュールではなく、一 定の遅延リスクも踏まえた現実的な事業スケジュールを予め提示することが、途中段 階での被災者の意思変更と事業からの離脱を防止するためには重要であると考えられ る。

四点目は、意思未決定の仮設住宅居住者に意思決定を促す取り組みを早期に始める ことの重要性である。最終盤での意思未決定者は、自力再建を遅らせている層と、公 営住宅入居を遅らせている層に分けられた。このうち特に後者の層に含まれる被災者 に対して早期の意思決定を促すことにより、またはこれら2つの層を早期の段階で峻 別することにより、早い段階で、特に公営住宅整備事業の量的枠組みの決定を行うこ とが可能になると考えられる。



図3-1-①-10大船渡市における住宅復興方法に関する意向の推移



図 3 - 1 - ① - 11 大船渡市における従前居住地及び住宅復興場所に関する意向の推 移

(c) 結論ならびに今後の課題

本業務では、これまで開発・公開してきているアーカイブシステムが高頻度で利用 されていることを確認した。今後は、これまで開発してきた教訓等に関するアーカイ ブシステムについて、その後、新たに得られた知見や災害の事例をもとに、コンテン ツの充実化を継続する。また、人材育成手法として災害時に必要とされる「生きる力」 因子を向上させる、いちプログラムを実装し、その効果を確認した。今後は、東日本 大震災で被災した地域において実施されている研修・教育プログラム(自治体、学校) の事例把握・検証を行う。

本調査においては、被災者の意思決定過程を「意向確定期」「意向変化期」「意向最 終決断期」の3段階に分けることができることを結論として得、そこから被災者意向 の段階的な把握の重要性、事業制度や被災者支援枠組みを早期に決定することの重要 性、現実的な事業スケジュールの提示の必要性、意思未決定の仮設住宅居住者に意思 決定を促す取り組みを早期に始めることの重要性の4点について指摘した。

今後の研究課題としては,各住宅復興の方法や場所に関する個別的な分析、個人属 性との関係性の分析等を通じて、より詳細な意思決定変化のメカニズムを明らかにす ることが挙げられる。

(d) 引用文献

文部科学省研究開発局・独立行政法人海洋研究開発機構,南海トラフ広域地震防災プロジェクト,平成25年度成果報告書,410p,2014.

三重県防災対策部、「誰が何に困ったのかリスト」、三重県新地震・津波対策行動計画・資料、http://www.pref.mie.lg.jp/D1B0USAI/84149007964.htm, 2014

- 佐藤翔輔,岡元徹,今村文彦:震災からの「教訓」を伝える2つのデータベースの実装と その評価:「3.11からの学びデータベース」と「震災教訓文献データベース」,災害情 報, No.16, pp. 95-104, 2018.1.
- Shosuke Sato, Toru Okamoto, Fumihiko Imamura: Development and Evaluation of a Search Support Portal for Public Videos Related to the Great East Japan Earthquake: "3.11 Video Portal - Great East Japan Earthquake Public Footage Finder", Journal of Disaster Research, Vol.13 No.2, pp. 313-320, 2018.3.
- Motoaki Sugiura, Shosuke Sato, Rui Nouchi, Akio Honda, Tsuneyuki Abe, Toshiaki Muramoto, Fumihiko Imamura: Power to live with disasters: Eight personal characteristics suggested by the survivors of the 2011 Tohoku Earthquake, PLOS ONE, 10(7), e0130349, 2015.7.
- 佐藤翔輔,杉浦元亮,邑本俊亮,今村文彦:被災地大学における「復興」を題材にした科 目の実践と事例分析-受講者の事後変化に着目して-,日本災害復興学会論文集,No. 11, pp.1-7, 2017.8

2復興

(a) 業務の要約

大規模災害により被災した市街地の復興を、「復興モニタリンスシステム」を通じて、 定点観測システムによる観測、アーカイブ化を引き続き行っている。

(b) 業務の実施方法

システムの維持管理作業を以下の通り、実施した。2018年11月10日-11日大槌町・石巻、2019年3月15日-17日大槌町、陸前高田、石巻。



カメラ内のデータ取得(MicroSDカード)

インターネット接続 ※表示は問題ない

大槌町役場屋上(カメラ設置)から大槌町の様子



図 3-1-②-1 大槌町役場屋上カメラの維持管理作業(2019 年 3 月 15 日実施)

本業務のモニタリングカメラの設置場所の現状と概要を表3-1-2-1に示す。

設置	設置先	設置	概要	
都市		台数		
大槌	UR 都市機構大	1	・10~15時(毎時0分に撮影)	
田丁	槌復興支援事務		(月、水、木、金、土、日)	
	所		 ・4時~16時(毎時0分に撮影)(火) 	
大槌	大槌町役場カメ	1	・10、14、20時に撮影	
田丁	ラ		(月、水、木、金、土、日)	
			・0 時~23 時(毎時0分に撮影)(火)	
陸前	みんなの家	1	・10~20時(毎時0分に撮影)	
高田			(月、水、木、金、土、日)	
市			・0 時~23 時(毎時0分に撮影)(火)	
			<2016 年 7 月 23 日にカメラを移設>	
	松川横町	1	・10、15、20時に撮影	
石巻	(東向き)		(月、水、木、金、土、日)	
			・0 時~23 時(毎時0分に撮影)(火)	
	松川横町	1	・10、15、20時に撮影	
	(西向き)		(月、水、木、金、土、日)	

表3-1-2-1 モニタリングカメラの設置場所の現状と概要

			・0 時~23 時(毎時0分に撮影)(火)
	アイトピア	1	・10、15、20時に撮影
	商店街		(月、水、木、金、土、日)
			 ・0時~23時(毎時0分に撮影)(火)
神戸	長田区御蔵地区	2	・10時、14時に撮影
市			

(c) 業務の成果

カメラの維持管理を行うことで東日本大震災ならびに阪神・淡路大震災の復興状況 の連続観測を継続的に実施し、復興事業の進捗にともなう、まちの連続的変化の記録 を行うことができた。

陸前高田(図3-1-2)-2陸前高田)については復興の進捗にともない、カメラ を設置していたみんなの家(集会所)が解体されたことから2017年7月23日にカメ ラの移設を行っている。移設場所は元の設置場所の上部に位置する民家であり、画角 は変化しているが撮影されている範囲は同様である。移設前までの観測においては都 市の基盤となる道路等の整備が行われていたが、移設後は基盤整備が完了し、商店や 住宅が再建されていく様子が観測されている。

大槌町(図3-1-2-2大槌)においては 2017 年-2018 年の比較から明らかな ように住宅の建設がなかなか進展しない様子が観測されている。石巻市(図3-1-2-2石巻)においては商店が建設される様子が観測されている。神戸市長田区(図 3-1-2-2神戸)では 2007 年から観測を行っているが震災から 10 年以降はあま り住宅再建が進んでいかないことが観測画像から分かる。



2018年2月28日 (設置場所変更)



2016年2月28日



2014年2月28日



2018年8月19日 (設置場所変更)



2016年8月23日 (8月19日観測データ欠測)



2014年8月19日



2015年4月3日



2017年4月3日 石巻



2018年4月3日



2007年7月30日



2017年7月30日 2018年7月30日 神戸



図3-1-22 復興の進捗にともなうまちの変化

(d) 結論ならびに今後の課題

復興モニタリングを開始して5年間が経過、復興事業の進捗・完了にともないカメ ラの設置位置の変更、観測の終了を余儀なくされた地域も存在する。

今後は観測データを用いた復興進捗状況の分析を実施していく予定である。

(e) 引用文献

なし

③被害

(a) 業務の要約

平成 25~29 年度に実施した本プロジェクト成果を利活用・補遺するとともに、本プ ロジェクト 1-b とも連携しながら、構造物等の被害調査結果利活用のための戦略に関 する検討を実施した。具体的には次の通りである。

1) ライフライン(上水道)については、昨年度までの取り組みでは碧南市水道課に ヒアリングを行い、現況における水道施設の諸元や、管路耐震化等の防災減災事業の 計画や実施状況について把握したほか、実行可能な減災対策について議論し取りまと めた。具体的にはまず、①昨年度 1-b で別途構築した碧南市水道システムの復旧シミ ュレーションモデルのうち、運搬給水車および管路修繕班の稼働可能数の精緻化を試 みた。さらに、②碧南市との議論や東日本大震災での事例検証を行う中で、昨年度 1a で考案した各種減災対策に加え、新たに複数の対策を考案した。

2) 建築構造物の被害について、2016 年熊本地震において重要施設の被災による機 能喪失の影響が災害復旧において重要だったこと、建物の健全性を示すモニタリング の活用状況などに基づき、市庁舎建物のモニタリングの試みや今後の利用方針を述べ た。

3)地盤・土構造物については、現行のレベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検フローの三次点検では、技術者の判断で解析手法を選択できるが、解析手法それぞれに適用性・予測精度・適用限界が存在するため、耐震性の観点からこれらを比較・整理した。

(b) 業務の実施方法

1) ライフライン(上水道)については、(c)業務の成果に含まれるため省略する。

2)建築構造物については、前年度までに述べた東日本大震災における地盤・建物の 強震観測状況、その後の構造ヘルスモニタリングの発展(日本建築学会強震観測小委 員会,2018 など)を背景とし、2016 年熊本地震における庁舎等の重要建物の被災によ る影響(日本建築学会 2016 年熊本地震災害調査委員会,2018 など)から、市庁舎建 物での強震観測と構造モニタリングについて実施・活用方針を検討する。

3)地盤・土構造物については、我が国の代表的な地震時を対象とした地盤変形解析 手法の特徴を列挙し、河川堤防の耐震性の観点からそれぞれの長所や短所を比較した。

(c) 業務の成果

1) ライフライン(上水道)

a) 復旧シミュレーションモデルのインプット条件精査

昨年度 1-b で構築したシミュレーションモデルでは、被災後の応急給水活動に使用 できる給水運搬車の台数目安(2m3 車換算)を「最大 108 台」、被害管路の復旧に当た る修繕班の稼働組数目安を「最大25組」と設定したが、これらの現実的な数量について精査した。

i)給水運搬車台数の精査

給水運搬車台数(2m3 車換算)については、自前の運搬車と遠方から応援に来るもの 等を差別化して「(ア)発災直後から稼働できる台数」、「(イ)発災後4日目に稼働で きる台数」および「(ウ)発災後8日目に稼働できる台数」をそれぞれ推量し、これら の合計値を最大の稼働台数とみなした。「(ア)発災直後から稼働できる台数」として は、碧南市で独自保有する数量(8.25台分.今後整備予定も含む)と日本水道協会主 導の支援による台数(1台分。同協会による試算結果(日本水道協会、2017)を元に 類推)を加えた9.25台分を想定した。「(イ)発災後4日目に稼働できる台数」として は碧南市と災害時の連携協定を締結している他自治体から派遣される2台分、「(ウ) 発災後8日目に稼働できる台数」としては被害の少なかった他の自治体や自衛隊によ る不確実な支援として3台分を想定した。

以上の想定台数を合算し、発災時に碧南市で稼働しうる運搬給水車を「最大 9.75 台 (2m3 車換算)」と見積もった。

ii)修繕班の稼働組数の精査

碧南市と協定を締結している工事会社を中心に、最大 10 組の修繕班が確保できる前 提でシミュレーション条件とすることを、同市との間で確認した。

b)減災対策の追加考案

表3-1-③-1の通り、昨年度考案の減災対策メニューに加え新たな対策を考案 した。以降では今年度考案した対策について説明する。

i)Case8:管路修繕に替えて仮設管路の敷設を実施

東日本大震災をはじめとした既往の災害では、液状化等で管路被害の集中した地域 で逐次管路を修繕するのではなく、露出の仮設配管を新設することで給水再開の早期 化を図った事例が数多く存在する。本検討では碧南市の上水道システムでも同様の施 策が効果的な地域が存在するかどうか検証した。

碧南市の管路のうち、特に被害率の高い口径 75mm 以下の管の被害件数・仮設管路の 敷設/修繕に係る日数と、当該管路が埋設されている地域の液状化危険度(PL値)との 関連について、表3-1-③-2にまとめる。この結果を勘案し、液状化の危険性が 極めて高い「PL>15の地域」および、その多くが「PL>15の地域」に隣接する「5<PL≤15 の地域」を合わせて仮設配管で対応することが効率的であるとの判断に至った。これ らの仮設配管の敷設を、Case8の対策とする。 表3-1-③-1 碧南市水道事業における減災対策案(※今年度新たに考案した対策)

想定した対象	策	前提条件				
	Case1	第2配水場に加えて、第1配水場を耐震化した場合				
	Case2	第1配水場の有効貯水量を、5,500 mから1万mに				
		増量した場合				
	Case3	小口径管路延長の大半を占める、経年塩ビ管の耐震				
市独白の協設敷備		化を実施した場合				
印張日の旭政奎加	Case4	口径 150mm 以上の耐震化を実施した場合				
		(昨年度報告書にて「200mm以上」と記載したが、				
		誤り。)				
	Case5	給水ブロックの細分化を実現し、細かいエリアでの				
		給水開始や遮断が可能となった場合				
浦進に上る協設敷備	Case6	愛知県水道との支援連絡管や、近隣市町村行政との				
生防による 旭政 金 佣		緊急時連絡管、応急給水支援設備を活用した場合				
需要者の自助による	Case7	水道需要者一人あたり 3L/日×3 日の飲料水を備蓄				
対策		した場合				
	Case8	復旧作業班(周辺からの応援)の確保・効率的な復旧				
	→廃止	作業班の配置をした場合				
		(周辺からの応援を含めた復旧作業班数は別途精緻				
急声的復口		化。作業班の効率的配置は Case5 で実施。)				
計画的復旧	Case8🔆	被害の集中するエリアで修繕に替えて仮設管路の敷				
		設を実施した場合				
	Case9💥	仮設給水栓を早期に立ち上げた場合				
	Case10×	市内に耐震性緊急貯水槽を設置した場合				
上記対策を複数実施	Case11	上記からいくつかを選択して実施した場合				

表3-1-3-2 φ75 m以下の管路の被害件数・作業所要日数とPL 値との関係

PL值区分	延長 (m)	被害件数 (件)	仮設配管日数	修繕所要日数
15 < PL	40,035.2	665.8	21	34
$5 < PL \leq 15$	24,873.4	261.1	13	14
$0 < PL \leq 5$	8,337.0	112.0	5	6
PL=0	121,116.2	459.2	61	23

※作業日数の算定に係る歩掛りは、下記の通りとする。

【仮設配管敷設】200m/日/班(碧南市へのヒアリング結果を踏まえ設定)

【管路修繕(応急復旧)】2箇所/日/班(厚生労働省健康局水道課、2015)

ii)Case9:仮設給水栓の早期立ち上げ

碧南市内には、愛知県所有のものも含め計 43 箇所の応急給水栓が存在し、これを開 放することで配水場に貯留されている水を使用することができる。碧南市の従来の計 画では、43 箇所中の17 箇所を早期(発災後4日目時点)に、残る26 か所を発災後8 日目時点で開放することとなっている。Case9では、43 箇所すべての給水栓を発災後 4日目時点に開放することで、発災直後の給水能力の向上を図る。

iii)Case10:耐震性緊急貯水槽の設置

碧南市では市内7箇所の避難所(広域避難場所)に緊急貯水槽を整備し、応急給水 拠点とすることを計画している(碧南市開発水道部、2009)。これらの整備を完了し、 仮設給水の拠点を7箇所増加させた場合をCase10とする。

2) 建築構造物

a) 背景と目的

東日本大震災では、東北・関東を中心に多数の建物で強震観測記録が得られた(H29 年度本プロジェクト報告書, 3.1.③.2))。また地震応答観測記録をベースとした建 物健全性モニタリングシステムがいくつかの建物で稼働し、安全性確保に加えて建物 の継続使用の判断基準となり得ることが注目され、強震観測の重要性が意識された(日 本建築学会強震観測小委員会, 2018)。

2016年熊本地震では庁舎等の重要施設の被災による機能喪失が課題となった(日本 建築学会,2018)。新耐震設計法に従って保有水平耐力計算がなされていても、靭性能 の大きい構造物では変形が大きくなる可能性がある。また震度6強~7レベルの地震 動に対しては、重要度係数を考慮して設計を行ったとしても、ある程度の構造損傷の 可能性はある。したがって、BCP等に基づく機能継続のためには、建物が使用できるか 否かの判断が重要になる。南海トラフ地震における広域大災害においては、きわめて 多数の被災建物の早期復旧は不可能であり、したがって災害前の備えとして耐震性の 向上に加えて被災度(健全度)を早期に把握する手段の整備が必須である。

このような背景から、これまでに東海地域の中低層建物を中心に強震計の設置を進 め、また地盤・建物の強震観測記録の収集・整理を行ってきた(H25~28年度本プロジ ェクト報告書, 3.2.④)。ここでは、碧南市庁舎において 2017年から開始した強震 観測の結果から、将来の被災度判定の可能性を考察する。なお本報告書3.2.④でも 同様の観測結果を使用しているが、その際の主目的は地震応答・被害予測に向けた構 造物の動的モデル化とそのための観測記録の活用であり、本項で述べる発災時の対応 のためのモニタリングと対をなすと考えられる。

b) 対象建物と強震観測の概要

対象とする碧南市庁舎の詳細は本報告書3.2.④に示している。SRC 造ラーメン(大梁の一部はS造)、地上10階(うち塔屋8~10階)、地下1階、杭基礎の建物である。 1997年に構造設計が行われており、保有水平耐力計算によっている。重要度係数 I=1.5、 目標値としては保有水平耐力/必要保有水平耐力=2.0とされている。

地震計は1階と9階に設置されている。いずれもスタンドアロンで3成分を計測す る普及型の地震計であり、1階はキネメトリクス社製ETNA地震計、9階はK-NET95地 震計である。時刻同期はなされていない。9階の設置位置は塔屋のエレベータ機械室 のため、データのあふれやトラブルに備えてトリガレベルの異なる2台の地震計を同 一カ所に併設した。このような地震計によれば、既存建物への設置が容易であり、高 層~中層の建物では十分な応答・損傷評価が可能であることが示されている(飛田ほか,2010)。また、中小地震による特性を蓄積することで長期にわたる劣化等の評価も行いうる。

c) 地震応答の分析

2019 年 3 月までの観測記録を表 3 - 1 - ③ - 3 に示す(本報告書の表 3 - 2 - ④ - 2 と記録は同じ)。1 階の地震計の欠測はトラブルあるいはトリガレベル以下の振幅のためである。両方の記録がある 3 地震から、2018 年 6 月 18 日の大阪府北部の地震について、加速度波形を図 3 - 1 - ③ - 1 に示す。

1階と9階の両方で記録がある場合は、それらの2階積分による絶対変位の差から 相対変位(変形)を求め、9階のセンサ設置高さで除して平均的な変形角を求めてい る。一方、9階のみが観測されている場合は、絶対変位から便宜的に層間変形角を求 めた。最大変形角を表3-1-③-3に合わせて示す。また、1階と9階の記録から 伝達関数のカーブフィットにより固有振動数を求めている。大阪府北部の地震につい て伝達関数と推定された固有振動数を図3-1-③-2に示す。相対変位(変形)や 伝達関数の振幅・位相などに明確な特性が見られ、本例のような比較的簡易な計測で あっても構造物の応答や変形などを十分に評価できることがわかる。

3 地震について、最大層間変形角と固有振動数の関係を図 3 - 1 - ③ - 3 に示す。 これらより、小地震でも層間変形角を適切に計算できること、固有振動数の振幅依存 性が明確であることなどがわかる。本データは小振幅の範囲にとどまるが、変形角の 評価により構造損傷につながる情報を得られることが確認できた。

年月日	時刻	震央	規模	碧南	1F 加	速度((gal)	9F 加	速度	(gal)	最大変	形角
			М	震度	EW	NS	UD	EW	NS	UD	EW	NS
2018.4.14	10:36	愛知県西部	3.6	2	—	—	—	18.5	9.9 4	41.1	9.7*10 ⁻⁶	2. 4*10-5
2018.4.14	10:36	愛知県西部	4.5	3	—	_	_	89.3	66.4	49.6	1. 2*10 ⁻⁴	2. 8*10 ⁻⁴
2018.6.18	7:58	大阪府北部	6.1	2	4.8	7.1	3.9	23.5	52.2	7.6	9.0 * 10 ⁻⁵	1.9*10 ⁻⁴
2018.8.14	20:51	静岡県西部	3.9	1	4.6	1.7	1.5	6.7	5.2	4.3	1.0*10 ⁻⁵	1.5*10 ⁻⁶
2018.10.7	10:14	愛知県東部	5.0	2	8.0	3.4	3.7	16.5	17.6	9.1	3. 6 * 10 ⁻⁵	3. 6 * 10 ⁻⁵
2018.11.2	16:54	紀伊水道	5.4	1	_	—	—	4.1	5.6	2.1	1.7*10 ⁻⁵	1.4*10 ⁻⁵
2018.11.5	8:19	紀伊水道	4.6	_	_	_	_	1.7	2.5	1.1	(変位がス	下安定)
2019.3.9	1:08	美濃中西部	4.5	1	_	—	—	7.7	8.4	6.5	1.0*10 ⁻⁵	1.8*10 ⁻⁵
2019.3.13	13:48	紀伊水道	5.2	1	_	—	—	5.9	8.6	1.6	(変位がス	下安定)

表 3-1-③-3 碧南市庁舎の地震観測記録と応答特性(2018~2019)





3) 地盤・土構造物

日本の国土は他国と比べて起伏に富んでいるため、可住地が狭く、都市機能(人口・ 資産)が沖積平野に集中している。特に、東京・名古屋・大阪の大都市は、関東平野・ 濃尾平野・大阪平野といった広大なゼロメートル地帯(地表標高が満潮時の平均海水 面よりも低い土地)を抱えている。これら地域の住民の生命や資産を洪水・氾濫・水 害から守るのが、河川堤防をはじめとする防護施設である。しかし、平野部は一般的 に地下水位が高いことに加えて、堆積年代が若いことから地盤が軟弱であることが多 く、地震時に液状化をはじめとする地盤災害が発生する危険性が高い。人口・資産が 集中した区域で河川堤防が被災し、決壊すると、甚大な浸水被害につながってしまう。 そのため、特に、南海トラフ巨大地震の発生が危惧される太平洋岸地域においては、 河川堤防の耐震性照査と照査結果に基づく適切な対策が急ピッチで進められている。

これまでの河川堤防の耐震性照査法に目を向けると、1995年の兵庫県南部地震以前 は、軟弱地盤上の堤防では、必要に応じて、地震外力に対する安定性を検討すること になっていたものの、基本的には土堤の安定性評価に地震外力は考慮されてこなかっ た(国土交通省、1985)。しかし、兵庫県南部地震を契機に、堤防の耐震性確保に関す る取り組みが進められ、河川構造物で一般的に用いられる水平震度(慣性力のみを考 慮時 K₁=0.2、液状化考慮時 K₁=0.15)を考慮した安全性照査、つまり、レベル1地震動 相当に対する安全性照査が確立された。しかし、この照査法(震度法)は、地震時の 動的な振動現象をこれと等価な静的水平力に置き換えて作用させる疑似的/簡便的な ものであり、繰返し振動に伴って進行する剛性低下や過剰間隙水圧の発生等の地盤の 乱れの影響は考慮することができていない。その後、仕様設計から性能設計へと移行 するにあたり、河川堤防設計指針(国土交通省、2007)、河川構造物の耐震性能照査指 針(案)・同解説(国道交通省、2007)が策定され、レベル2地震動を対象とした堤防 の耐震性能照査が開始された。つまり、大きな地震動レベル(発生確率は低いものの 極めて強い地震動)においては、盛土による堤防(土堤)は、その構造上、地震に対 して損傷をまったく許容しないことは不合理であること、一般に、地震による損傷を 受けても短期間で修復可能であることから、地震によって堤防に損傷を生じても「照査 外水位」に対して越流を生じない機能を保持することを、堤防の耐震性能と考えるよう

になっている。そのため、単に安定/不安定を判定するのではなく、各種外力シナリ オのもとで、河川堤防にどのような変状が生じるのかを正確に把握することが必要と なっている。

現行のレベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検フロー(国土交通省、2016)を 図3-1-③-4に示す。まず、一時点検では、既往の地震による堤防天端の最大沈 下量が許容沈下量を上回らないことを照査する。この最大沈下量は、図3-1-③-5に示すように、堤防高さの75%とされている。一次点検で「否」となった場合は、二 次点検として、基礎地盤および堤体の液状化による沈下を考慮した堤防天端の最大沈 下量を再計算し、それでも「否」となった区間においては、三次点検として、「地震時 地盤変形解析」に基づく性能照査を実施する。このように、過去の経験・計測や物性 に基づいて簡易的に実施する一次点検・二次点検で危険と判定された場合は、変形解 析による性能照査が必要となってくる。これら変形解析を実施することで、一次点検 や二次点検とは異なり、与えられた外力に対する河川堤防の変形量を定量的に求める。





最大沈下量 $S_{\text{max}} = 0.75 H$

図3-1-③-5 既往地震による堤防高さと沈下量の関係

今年度の1-bにおける実施項目および過年度の報告書(南海トラフ広域地震防災研 究プロジェクト、2018)では河川堤防の地震時変形挙動を求めるために GEOASIA (All Soils All States All Round Geo-Analysis Integration) を用いてきた。この 解析コードは、土骨格の弾塑性構成式に SYS カムクレイモデル (Asaoka, A. et al., 2002)を搭載した水~土骨格連成有限変形解析コード(Noda et al., 2008)であり、 ①砂から粘土、中間土や人工処理度まで、あらゆる土と地盤を対象とし、②変形から 破壊まで、あるいは液状化から圧密まで、あらゆる力学状態を対象とし、③静的と動 的を問わずあらゆる種類の外力を対象とする、つまり、解析対象を特定しないことが 最大の特徴の新しい解析技術である。レベル2地震動のような大きな揺れの場合、砂 質土だけでなく N 値が小さい軟弱な粘性土の地震被害も危惧されることに加えて、地 盤変状も大きくなることが想定されるため、この解析コードのような性能が重要とな ってくると考えられる。しかし、現状の地震時変形量を求めるための変形解析の際は、 土塊を剛体と仮定して円弧すべり解析(*Δu*法)、流体力学における最小エネルギー原 理を用いた永久変形解析法(東畑モデル)、静的 FEM 解析である ALID、動的 FEM 解析 である FLIP や LIQUA などがよく用いられる。ここでは、これら従来使われている解析 手法の特徴を列挙し、それぞれの適用性・予測精度・適用限界について考える。以下 に、各解析手法の特徴を示し、変形に対する比較性能を表3-1-3-4にまとめる。

a) 円弧すべり計算 (Δu 法)

→極限平衡法

b)東畑モデル

→流体力学に基づく解析

- c) ALID (Analysis for Liquefaction-Induced Deformation)
 →FEM 静的変形解析
- d) LIQCA (Computer Program for Liquefaction Analysis) →FEM 動的変形解析
- e) FLIP (Finite Element Analysis of Liquefaction Program) →FEM 動的変形解析

a) *Δ u* 法 (円弧すべり法):

慣性力を作用させないで液状化抵抗率 F_L より過剰間隙水圧比を算出し、有効上載圧 を低減させて円弧すべり計算を行い安全率 F_s で評価する方法である。数多くの被害事 例の上限を取るように沈下量と安全率の関係が設定されている。極めて簡便な手法で あるが、地震動の特性(周波数、継続時間など)が十分に考慮されていないことに加 えて、液状化の程度による土の特性変化は考慮されない(F_L <1.0 では土の特性は F_L に関係なく一定)。

b) 東畑モデル:

最小エネルギー原理に基づき、液状化後の自重による変位量を計算する方法。液状 化層を粘性流体とし、非液状化層を横方向の変形に抵抗する弾性体として考慮する。 液状化による流動は、液状化後の地震動の継続期間中に生じるものとし、地震動の継 続時間が考慮されるモデル。液状化の程度による土の特性変化は考慮されない。等体 積条件での解析であり、圧密による沈下は考慮されない。そのため、液状化層厚の3 ~5%程度の圧密沈下が生じると仮定し、別途このような仮定に基づく沈下量算出が 必要となる。

c) ALID:

液状化に伴って生じる流動を液状化後にゆっくりと生じる現象と想定し、線形の静 的有限要素法によって評価。液状化後の剛性低下は、液状化判定法(F_L法)等によっ て評価する。つまり、液状化判定によって地盤内のF_L分布を求め、液状化すると判定 された土についてはF_Lと繰返し三軸強度比 R_Lから液状化後の低下した剛性を求める。 F_Lに応じて土の剛性を徐々に低下さ、自重解析によって地震後に生じる残留変形量を 求める。F_L<1.0 で強度を一律にゼロとする Δu 法と比較すると、実際の土の特性を 反映しており、動的変形解析に比べて簡便である。ただし、地震動の特性が十分には 考慮されないことに加えて、非排水条件での解析であるため、圧密による沈下は簡易 的にしか考慮されない。液状化層厚の3~5%程度の圧密沈下が生じると仮定し、別途 このような仮定に基づく沈下量算出が必要となる。

d) FLIP:

任意方向の単純せん断を仮定したせん断応力~せん断ひずみ関係のモデルに過剰間 隙水圧の発生モデルを組み合わせた非連成の解析手法。地震時の過剰間隙水圧の発生、 剛性の低下を考慮し、地盤に作用する地震慣性力による地盤の変形を時刻歴で計算す ることができる。比較的多くの定数を設定する必要があり、そのために特殊な試験を 必要とする。試験結果から直接的に決まらない定数の設定もあり、結果に影響を及ぼ すため、解析者にはある程度の経験が必要となる。微小変形理論を用いているため、 堤防の沈下量が大きいほど沈下量が過大に評価される。基本的に非排水条件での解析 であるため、圧密による沈下は簡易的にしか考慮されない。液状化層厚の3~5%程度 の圧密沈下が生じると仮定し、別途このような仮定に基づく沈下量算出が必要となる。 最近は、地震後の圧密沈下を考慮できるモデルへの改良が進められている。

e) LIQCA :

有効応力に基づく弾塑性理論による方法。地震時の過剰間隙水圧の発生、剛性の低 下を考慮し、地盤の変形を時刻歴で計算することができる。地盤の透水現象も考慮さ れる原理的に実際の現象を忠実に表現しうるモデル。力の釣合い式と連続式を連成さ せて二相系の支配方程式を解く連成解析手法。ただし、比較的多くの定数を設定する 必要があり、そのために特殊な試験を必要とする。試験結果から直接的に決まらない 定数の設定もあり、結果に影響を及ぼすため、解析者にはある程度の経験が必要とな る。基本的には微小変形理論に基づいているが、有限変形理論に基づくプログラムも 開発が進められている。

			-		
手法	過剰間隙水圧 の発生	土の強度・剛性の低下	盛 土 自 重 に よ る 基 で 地 盤 の 変 形	盛土に作 用する慣 性力によ る変形	基礎地盤 の圧密沈 下
∆u 法	<i>F</i> _L から求める	過剰間隙水圧の発生を考 慮したせん断強度を用い る。極限平衡法であるた め、基本的に剛性変化は考 慮されない。	注)	注)	注)
東畑モデル	<i>F</i> Lから求める	液状化層は強度のない粘 性流体と仮定する。	0	_	\bigtriangleup
ALID	<i>F</i> Lから求める	F_L と F_c に応じて簡易的に 設定。	0	_	\bigtriangleup
FLIP	0	0	0	0	\bigtriangleup
LIQCA	0	0	0	0	0

表 3-1-3-4 各種法の比較(国土技術研究センター, 2002 などを参照)

注) *Δu* 法は基本的に、直接的に変形を算出する手法ではないが、経験的な関係をもとに、 基礎地盤の圧密沈下までを含めた変形量を推定する。

以上のように、土構造物の地震時安定性評価および地震後の残留変形評価を行う手 法は種々提案されており、技術者は目的や初期条件などに応じて選択している。しか しながら、上記解析コードはいずれも、砂質地盤の液状化を対象としており、粘性土 の地震被害は考慮されていない。レベル2地震動のような大きな揺れの場合、砂質土 だけでなくN値が小さい軟弱な粘性土の地震被害も危惧されるため、そのような検討 ケースの場合は、GEOASIAのような粘性土の地震時挙動も取り扱うことのできる解 析コードが必要とされる。なお、ここで挙げた手法を含めて、多くの手法が改良を加 え、更新され続けている。したがって、ここに示す解析手法のいずれかに適用を限定 するのではなく、それぞれに適用性・予測精度・適用限界があることを理解した上で、 目的と条件に応じて、技術者の判断で適切に利用することが望まれる。

(d) 結論ならびに今後の課題

1) ライフライン(上水道)については、本年度検討では昨年度検討では十分に反映 できていなかった、碧南市の実情を踏まえた応急給水に関わる対策案を取りまとめた。 これらの対策を講じた際の減災効果については、別途 1-b)で検証する。来年度は、今 後どのような順序・組み合わせで各対策を実施していくかについて、碧南市の意向を 踏まえながら同市への提言を行っていく。

2) 建築構造物については、市庁舎建物における強震観測の観測例と、それに基づく 構造モニタリングを検討し、地震災害時の機能被害を抑止する手法の可能性について 検討した。より具体的かつ簡易な観測データ活用法の検討が課題となる。

3) 地盤・土構造物については、我が国の現行のレベル2地震動に対する河川堤防の 耐震点検フローの三次点検として用いられる代表的な地震時地盤変形解析手法の特徴 を列挙し、それぞれの長所や短所を比較した。現状用いられている解析コードはそれ ぞれに長所・短所が存在するが、すべての解析コードが砂質地盤の液状化を対象とし ており、粘性土の地震被害は考慮されていない。レベル2地震動のような大きな揺れ の場合、砂質土だけでなくN値が小さい軟弱な粘性土の地震被害も危惧される。解析 コードごとに適用性・予測精度・適用限界があることを理解した上で、目的と条件に 応じて、技術者の判断で適切に利用することが望まれる。

(e) 引用文献

- 日本水道協会, 地震等緊急時対応特別調査委員会 応援体制検討小委員会 報告書, 2017.
- 厚生労働省健康局水道課,水道の耐震化計画等策定指針, 2015.
- 碧南市開発水道部水道課, 碧南市水道ビジョン, 2009.
- 日本建築学会強震観測小委員会編:第6回強震データの活用に関するシンポジウム「将 来の大地震に備えて」,72p.,2018.12.
- 日本建築学会 2016 年熊本地震災害調査委員会編: 2016 年熊本地震災害調査報告, 405p., 2018.6.
- 飛田潤, 福和伸夫, 平田悠貴, 長江拓也: 普及型強震計による高層建物の応答特性と 損傷のモニタリング, 構造工学論文集, Vol. 56B, pp. 229-236, 2010.3.
- 国土交通省,建設省河川砂防技術基準,

http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/inde x2.html, 1985.

国土交通省,河川堤防設計指針,

http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bousai/gijyutukaihatu/pdf/ teibou_sekkei.pdf, 2007.

- 国土交通省,河川構造物の耐震性能照査指針(案)・同解説: http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bousai/wf_environment/stru cture/index3.html, 2007.
- 国土交通省,河川堤防の耐震点検マニュアル,

http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bousai/wf_environment/stru cture/pdf/ref06-20160331.pdf, 2016.

- 文部科学省研究開発局・国立研究開発法人海洋研究開発機構,南海トラフ広域地震防 災プロジェクト平成29年度成果報告書, pp.75-84,2018.5.
- Asaoka, A., T. Noda, E. Yamada, K. Kaneda and M. Nakano, An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, Soils and Foundations, Vol 42. No.5, pp. 47-57, 2002.
- Noda, T., Asaoka, A., and Nakano, M.: Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model. Soils and Foundations, Vol. 48, No. 6, pp. 771–790, 2008.

国土技術研究センター,河川堤防の地震時変形量の解析手法:

http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/tech/material/emb-boo-1-04.pdf, 2002.

④強震動と津波の特性、生成メカニズムに関する評価

(a) 業務の要約

南海トラフ巨大地震による、大規模平野での長周期地震動の予測の実現に向け、2011 年東北地方太平洋沖地震で発生した長周期地震動の観測波形データに基づき、強震観 測データ同化と地震波伝播シミュレーションによる、即時予測の数値実験を行なった。 K-NET, KiK-netの実観測記録を用いて地震波動伝播の差分法計算の結果との同化を進 め、高速計算により都心(新宿地点)での未来(数十秒後)の長周期地震動の予測を 試みた。結果、地震発生時刻から数十秒間程度の強震観測データに基づき同化を終え、 これを初期値として将来の波動場を高速スパコンにより計算することで、実際の揺れ の8倍以上の速度で予測可能であることを確認した。

(b) 業務の成果

長周期地震動を形成する、周期3~10秒程度の表面波の伝播・増幅は、3次元的に 不均質な地下構造、特に表面波の波長に相当する地下数 km 程度の堆積層の影響を強く 受ける。複雑な基盤形状と堆積層を持つ関東平野においては、新潟、長野、伊豆など の地震では表面波が都心にマルチパスにより集まる結果、大振幅かつ長い波群を持つ 長周期地震動が強く生成するのに対し、宮城方向の地震では長周期地震動が弱いこと が確認されている(例えば、Furumura, 2014; 古村、2014; 向井・他、2018)。こうした、堆積平野の構造不均質性と長周期地震動生成の震源方位依存性は、他の大型平野 (大阪平野や濃尾平野など)でも起きることが想定される。南海トラフ地震による長 周期地震動評価に向けて、観測波形解析と地震波伝播シミュレーションに基づく評価

が必要である。また、南海トラフの地震では、伝播経路に沿って厚く堆積する付加体 に沿って表面波が誘導される結果、大振幅かつ長い波群が生成される特徴がある (Furumura and Hayakawa, 2007)。長周期地震動のこうした特徴は、地震の規模とサ イト増幅に基づく一般的な地震動予測式(GMPE)による事前評価には不確定性が大き

い。

そこで本研究では、K-NET, KiK-net の強震観測データを入力として、3次元差分法 により長周期地震動の波動場データ同化と、未来の波動場の予測に向けた数値実験を 通じて、実観測に基づく予測の可能性を検討した。データ同化手法としては、最適内 挿法(Optimal Interpolation Method)を採用した。本手法は、震度分布の即時予測 (Hoshiba and Aoki, 2015)や津波の即時予測(例えば、Maeda et al., 2015)など で広く活用されている。最適内挿法は、粗い観測点で記録された地震波形の空間補完 (内挿)を行って数値計算結果を補正し、各タイムステップ毎に観測と計算を同化さ せる手法である。この時、観測データが持つ誤差と、地下構造モデルの不確定性等に 伴う計算結果の誤差の大小を考慮して、観測データの最適な内挿が行われる。

地震観測点は主として地表に限られるため、データ同化も地表付近の波動場に対し てのみ行なうが、表面波(基本モード)のエネルギーは地表付近に集中するため地表 観測点のみの同化でも十分と考えられる。同化により地表波動場の振幅を修正するこ とで、表面波の伝播とともに、直ちに表面波の3次元波動場が再構築されるためでる。

長周期地震動の計算・同化領域は 480 km x 480 km x 55 km とし、防災科学技術研 究所の J-SHIS モデルに基づき地下構造モデルを設定した(図3-1-④-1)。差分 法計算では、3次元領域を 0.24 km の格子間隔で離散化し、長周期(>2.7秒)地震動 の波動伝播を評価した。

本数値実験では、2011年東北地方太平洋沖地震における都心(新宿地点)の長周期 地震動の予測を行った。地震の震源域の大部分は計算領域(図3-1-④-1)の外 にあるが、地震発生時刻から約50秒後から計算領域の北東側から揺れが始まる。差分 法計算の結果と実際の波動場の同化は、計算領域内の532点のK-NET, KiK-netの強震 観測波形を用いて行った。

地震発生から 100、120、140、及び 180 秒後までのデータ同化(図 a)を行い、それ ぞれの同化波動場を初期値として未来(地震発生から 160 秒後)の波動場をスパコン を用いた高速計算により予測した(図 3 - 1 - ④ - 2)。それぞれの同化波動場から求 められた新宿地点(TKY007)の予測波形と観測波形を図 3 - 1 - ④ - 3 a に示す。ま た、図 3 - 1 - ④ - 3 b には速度応答スペクトルの比較を載せる。予測の精度と猶予 時間にはトレードオフの関係があるが、長周期地震動の波形振幅と継続時間を含めて、 おおよそ予測できていることが確認された。

同化により求められた波動場は、津波データ同化(Maeda et al., 2015)の結果に

比べるとややバタついた結果になっている。これは、観測点近傍での表面波のサイト 増幅の影響が大きいことや、3次元地下構造モデルの不確定性によるデータ同化の限 界が考えられ、今後の改善に向けた課題と言える。

データ同化完了後に 100 秒後の地震波動場の予測に要した時間は、東大と筑波大が 共同運用する Oakforest-PACS 計算機スパコン (CPU: Intel Xeon Phi 7250)の並列計 算(2048 CPU)で 12.4 秒であった。これは、長周期地震動の伝播にかかる実時間より 8 倍高速であり、観測データの取得に合わせて予測を繰り返し進め、予測の精度を高 めることが可能である。また、南海トラフ全域を対象に計算領域を4倍に拡大(図3 -1-④-4;拡大モデル)した場合の計算でも 17.1 秒で計算が可能である。また、 差分法計算の解像度(格子サイズ)を2倍に広げ、長周期地震動の評価対象を 5.4 秒 以上に限定すれば、より小規模の(128 CPU)計算機クラスタでも同程度の時間で予測 可能と見積もられる。



図 3 - 1 - ④ - 1 長周期地震動のデータ同化・即時予測に用いた地下構造モデル (JSHIS による)。(a) 基盤深度分布(Vs=2.7 km/s 層の上面)、(b) K-NET GNMH13 と TKY007 地点の速度構造(Vp,Vs)。



図 3-1-④-2 (a) 2011 年東北地方太平洋沖地震の強震観測データ同化波動場 (地震発生時刻から 100, 120, 140, 160 秒後)と、(b) これを初期値とした未来 (地震発生時刻から 220 秒後)の波動場の予測結果。





図 3-1-④-3 (a) K-NET TKY007 (新宿)地点の予測地震動、地震発生時刻から 100, 120, 160, 180 秒までの同化結果を初期値として 350 秒までの波形を予測。緑は TKY007 地点での実観測波形。(b) 各予測波形から求めた速度応答スペクトル(黒線)と観測波形の速度応答スペクトル(緑線)の比較。



図3-1-④-4 高速スパコンの並列計算によ長周期地震動の予測にかかる時間。 横軸は並列計算に用いる CPU 数を表す。現モデル領域での計算時間と、拡大モデル (領域は原モデルの4倍)での計算時間を示す。

(c) 結論ならびに今後の課題

本研究より、2011 年東北地方太平洋沖地震の強震観測データ同化に基づく長周期地 震動の即時予測の有効性を示すことができた。南海トラフ巨大地震の発生直後の長周 期地震動の即時予測の実現に向け、たとえば DONET 等の海底ケーブル地震計を用いて、 海洋上の震源域近傍の評価地点において早期にデータ同化を終え、主要平野に向けた 波動伝播を、予め計算しておいた評価地点~予測地点のグリーン関数を用いて超高速 に評価するデータ同化・予測手法の高速化が可能である(大峡・古村・前田、2018

;本研究集会)。この手法は Wang et al. (2017)により津波データ同化・予測の目 的に開発(GFTDA; Green's Function-based Tsunami Data Assimilation) され、本 研究で進めたデータ同化・予測の手順と数学的に等価であることが示されている。デ ータ同化・予測の精度は地下構造モデルに強く依存し、特に観測点周辺のサイト増幅 特性の正しい評価が重要であることから、海域と陸域の浅部・深部地盤をシームレス に繋いた地下構造モデルの整備が必要である。

(d) 引用文献

Furumura, T., Maeda, T., and Oba, A., Early forecast of long - period ground motions via data assimilation of observed ground motions and wave propagation simulations, Geophysical Research Letters, https://doi.org/10.1029/2018GL081163, 2019.

- 古村孝志,関東平野の深部基盤構造と長周期地震動リスク,地学雑誌,123(4),434-450, doi:10.5026/jgeography.123.434,2014.
- Furumura, T., Radiation and development of short- and long-period ground motions from the 2011 Off Tohoku, Japan, Mw9.0 Earthquake, Journal of Disaster Research, J. Disast. Res., 9(3), p281-p293, doi:10.20965/jdr.2014.p0281, 2014.
- Furumura, T. Hayakawa, M. Nakamura, K. Koketsu, and T. Baba, Development of long-period ground motions from the Nankai Trough, Japan, earthquakes: Observations and computer simulation of the 1944 Tonankai (Mw8.1) and the 2004 SE Off-Kii Peninsula (Mw7) Earthquakes, Pure Appl. Geophys., 165(3), p585-p607, doi:10.1007/s00024-008-0318-8, 2008.
- Furumura, T. and Hayakawa, T., Anomalous propagation of long-period ground motions recorded in Tokyo during the 23 October 2004 Mw 6.6 Niigata-ken Chuetsu, Japan, earthquake. Bull. Seism. Soc. Am., 97(3), 863-880, doi: https://doi.org/10.1785/0120060166, 2007.
- Hoshiba, M. and Aoki, S., Numerical shake prediction for earthquake early warning: data assimilation, real - time shake mapping, and simulation of wave propagation. Bull. Seism. Soc. Am., 105(3), 1324 - 1338. doi: https://doi.org/10.1785/0120140280, 2015.
- Maeda, T., Obara, K., Shinohara, M., Kanazawa, T., and Uehira, K., Successive estimation of a tsunami wavefield without earthquake source data: A data assimilation approach toward real - time tsunami forecasting, Geophys. Res. Lett., 42(19), 7923-7932, doi: https://doi.org/10.1002/2015GL065588, 2015.
- 向井優理恵・古村孝志・前田 拓人,関東平野における長周期地震動強度の特徴的方位 依存性とその要因、東京大学地震研究所彙報,93,15-30,2018.
- 大峡充巳・古村孝志・前田拓人,超高速データ同化のための Green 関数を併用した長 周期地震動の即時予測実験,日本地震学会 2018 年秋期大会,S14-14, 2018.
- Wang, Y., Satake, K., Maeda, T., and Gusman, A. R. Green's Function-based Tsunami Data Assimilation: A fast data assimilation approach toward tsunami early warning. Geophys. Res. Lett., 44, 10,282–10,289. doi: https://doi.org/10.1002/2017GL075307, 2017.

(3) 平成 31 年度業務計画案

利用プログラムの充実と共に、東日本大震災で被災した地域において実施されている 研修・教育プログラム(自治体、学校)の事例把握・検証を行う。また、これまで開発し てきた教訓等に関するアーカイブシステムについて、その後、新たに得られた知見や災害 の事例をもとに、コンテンツの充実化を継続する。被災者の意向の変遷について、大船渡 市を事例として詳細に明らかにすると共に、特に意向が大きく変わり事業制度的に対応 できなかったと言われている土地区画整理事業について、その意向変化の実態について 明らかにする。これらの結果にこれまでの研究成果を総合することを通じて、自治体レベルの各種空間復興事業の効果と課題を総合的に明らかにする。

東日本大震災の復興プロセスのモニタリング手法のとりまとめを行うとともに、今後 のモニタリングについての検討を行う。

平成 25~30 年度の構造物被害調査結果を利用した他の研究課題との連携研究および総 括を行う予定である。具体的には次の項目を実施した上で、各項目で総括する。

1) ライフライン(上水道)については、碧南市が更新予定としている「碧南市水道ビジョン」の作案に資するような、同市にとって効果的な減災対策の実施計画を、同市の実 情(事業予算や設備更新計画等)を考慮しつつ検討していく。

2) 建築構造物については、重要構造物の被災と機能維持を重点に、地震応答予測、被 災予測および被災度モニタリングに関する資料調査と検討を行うとともに、実際の施設 における観測の展開を行う。

3) 地盤・土構造物については、過年度において取り上げていなかった大規模造成地の 被害について整理しつつ、課題の抽出等を行う。

南海トラフ地震等の巨大地震による長周期地震動の予測の高度化に向け、東北地方太 平洋沖地震の知見に基づき、南海トラフ地震を対象とした長周期地震動の即時予測の手 法開発を進める。

3.2 地震·津波被害予測研究

(1) 業務の内容

(a)業務題目 「地震·津波被害予測研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
名古屋大学減災連携研究セ	センター長・教授	福和伸夫
ンター	副センター長・教授	野田利弘
	寄附研究部門教授	利藤房男
	准教授	長江拓也
	准教授	平山修久
	特任教授	護雅史
	特任教授	新井伸夫
	副センター長・特任教授	田代喬
	寄附研究部門教授	武村雅之
	寄附研究部門准教授	都築充雄
	特任准教授	菅沼淳
	寄附研究部門准教授	山﨑雅人
	寄附研究部門助教	浦谷裕明
	特任助教	北川夏樹
	客員准教授	宮腰淳一
	研究員	石原宏
名古屋大学災害対策室	教授	飛田潤
名古屋大学工学研究科	准教授	中井健太郎
名古屋大学環境学研究科	助教	平井敬
名古屋大学地震火山研究セ	准教授	山中佳子
ンター		
東京大学工学系研究科	准教授	廣井悠
国立研究開発法人海洋研究	技術研究員	今井健太郎
開発機構		
徳島大学大学院	教授	馬場俊孝
東北大学災害科学国際研究	教授	今村文彦
所		
国立研究開発法人防災科学	部門長	藤原広行
技術研究所	総括主任研究員	平田賢治
	主任研究員	河合伸一
	主任研究員	中村洋光
	主任研究員	森川信之

	主任研究員	前田宜浩
	研究員	佐伯琢磨
	主幹研究員	先名重樹
	主幹研究員	大角恒雄
	契約研究員	東宏樹
	契約研究員	内山庄一郎
東京大学地震研究所	教授	古村孝志
	特任助教	原田智也

(c) 業務の目的

将来人口推計して得た人口モデルや建物滅失率等を考慮した建物モデルを構築し、 地震の発生時期や発生の多様性等の時間の概念を取り入れた広域の地震・津波ハザー ド・リスク評価を行う。地域にとって影響の大きい建物や施設等に対しては、地盤の 非線形性を考慮した地盤モデルの高度化等を行い、高分解能なリスク評価を行う。ハ ザード・リスク評価結果の中から類型化手法により特徴的な災害パターンを抽出し、 災害シナリオを作成し、防災・災害情報発信研究 1-e と連携し情報提供できるように する。

(d) 7 か年の年次実施業務の要約

平成 25 年度:

広域リスク評価に必要な人口や建物等のモデルの整備を行った。人口モデルは将 来人口推計を適用し、建物モデルは建物滅失率を考慮した。津波は既往被害事例を 網羅的に整理した。地域リスク評価に必要なハザード予測・構造物応答予測手法の 開発を行った。

平成 26 年度:

暫定的な広域リスク評価を実施した。地震発生の時期や規模等の各種要因のばら つきがリスク評価に与える影響度を把握した。津波被害を地形特性等の観点から分 類し、地域リスク評価に必要な火災、ライフライン被害、経済被害の予測モデルの 構築を行った。

平成 27 年度:

直線海岸を有する地域の木造建物被害関数の構築、高精度地震動予測手法の開発 とそれによる地震動のデータベース化、防波堤の地震時変形挙動と地盤・建物の動 的相互作用を考慮した建物応答予測に関する検討、発災後の電力需給ギャップの想 定と電力供給設備対策の現状抽出、開発被害予測手法による巨大地震時の上水道設 備の被害と復旧の予測、現在から将来における地震・津波の確率論的ハザード情報 を利用した建物被害と人的被害の広域リスク評価、帰宅困難者の移動が地域の避難 行動に及ぼす影響の量的把握、および全国 47 都道府県間動的応用一般均衡モデル による巨大地震時の製油所被災の経済被害の推計を実施した。
平成 28 年度:

徳島市を対象とした長期湛水のモデリング、中京地域の地震動を予測するWEBシ ステムの開発、盛土造成斜面の地震時変状メカニズムの解明、熊本地震で被災した 建物における地盤・建物の相互作用の影響の検討、基礎滑りを許すことによる建物 の耐震性向上に向けた要素実験とその分析、南海トラフ巨大地震時に想定される電 力需給ギャップ解消のための需要抑制の可能性の検討、長期断水が経済に及ぼす影 響の検討、道路閉塞と帰宅困難者の渋滞、消防運用を考慮した大都市における避難 シミュレーションの開発、全国207生活圏単位での南海トラフ地震による経済被害 予測を実施した。また、対策の有無による広域リスク評価結果を比較することで、

対策の効果を定量的に評価した。

平成 29 年度:

地域リスク評価については、特定地域として具体的に碧南市を対象にし、平成28 年度に構築した長周期地震動作成システムの拡張と地震動短周期成分の付加および 建物応答の映像化、河口付近の地盤と盛土の弾塑性モデル化と地震応答評価、高解 像度な津波氾濫過程解析に向けた環境整備と津波被害軽減に資する基礎的な対策手 法についての検討、市庁舎の常時微動計測による建物振動特性分析、災害廃棄物の 収集運搬と仮置場の確保を考慮した災害廃棄物処理フローモデルの構築、水道事業 の被害予測と設備の耐震化による被害軽減効果の定量的評価を行うとともに、碧南 市を含む圏域について、工業統計調査等に基づく市区町村単位の産業連関の可視化 を用いた評価、災害後の避難・移住行動を記述する数理モデルの構築、電力関連種 施設の位置情報を用いた重要道路の優先順位検討ツールの開発と評価の試行などを 実施した。広域リスク評価については、発災後の災害シナリオの高度化のため、直 接被害を受けない地域の間接被害の試算が可能な応用一般均衡モデルを利用し、間 接被害の算出方法について検討した。

平成 30 年度:

広域リスク評価は間接被害の算出手法を高度化し、評価を行った。また、特徴的 な災害パターンを類型化するための手法の検討を行い、広域での評価に向け一部地 域で類型化を試行した。具体的には、経済活動別GDPの構成比等を参考に、サー ビス業を「卸売・小売」「金融・保険」「不動産」「運輸・通信」「サービス」に細分 化し、応用一般均衡モデル(CGEモデル)を改訂した。次に、次年度に災害シナ リオを作成することを念頭に、その際のシナリオ地震を6シナリオ設定し、改良し たCGEモデルを利用して、南海トラフで発生する間接被害の試算を実施した。試 算の結果、間接被害額(GDP減少額)は60~140兆円と推定される結果となった。 また、各地域で、特徴的な災害パターンを類型化するため、過去の被害地震の被災 地の災害事象別(揺れ・津波等)の建物被害率や人口動態等の統計値を利用し、市 区町村単位で地域別の災害パターンを類型化する手法検討するとともに、設定した シナリオ地震が発生した場合の類型化を試行し、シナリオ地震の被災地を、被害の 様相として7類型に、社会・経済的特長として5類型に分類した。

地域リスク評価は、具体的なモデル地域とした碧南市等を対象に、地域活動の枢

要地域を中心とした減災戦略立案に向けた以下に示す検討や予備解析・試算などを 実施した。地震動の影響などを考慮した複合被害シナリオにおける津波氾濫解析と 長期湛水解析を実施し、より実像に近い津波被害予測を検討した。ここでは、想定 南海トラフ巨大地震に対する河川堤防の沈下量を水~土骨格連成有限変形解析によ り評価した結果を津波氾濫解析に組み込み、堤体基礎などの脆弱性が浸水域に与え る影響を調べた。また、発災時対応の中心となる碧南市役所建物のモニタリング及 び被害予測に向けた予備解析の実施、碧南市上水道システムの被害軽減シミュレー ションや災害廃棄物処理フローモデルを用いた対応策の提示、電力復旧のための道 路の優先順位付けツールの開発と試算、碧南市を含む周辺市町村間の経済的関係の 産業間取引レベルでの分析、ならびに国土復興シミュレーションツールの開発と試

平成 31 年度:

広域リスク評価は災害パターンの類型化手法を高度化して広域的に評価を行うと ともに、類型毎に災害シナリオを作成する。地域リスク評価は、モデル地区におけ る被害予測手法・減災戦略の社会実装に関して検討する。また、モデル地区におけ る津波被害予測と対応策を検討する。

上記に加えて、ハザード・リスク評価や災害シナリオ、および対策前後のリスク 評価によるリスク低減効果の評価結果を総括し、南海トラフ沿いに発生しうる巨大 地震に対して戦略的に備えるための基盤情報として本プロジェクト 1-e 等と連携し、 1-e による「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」(Ver. 2)を介して、 WebGIS でのマップ情報等の汎用的な形で、研究成果を外部に提供可能にする。

(e) 平成 30 年度業務目的

津波被害予測モデル地区において、当該地域の特性に合わせた津波被害軽減に資す る対策の検討を行う。間接被害の算出手法を高度化し広域的に評価を行う。特徴的な 災害パターンを類型化するための手法の検討を行い、広域での評価に向け一部地域で 類型化を試行する。具体的な地域を想定して、地域活動の枢要地域を中心とした BCP と減災戦略立案に向けた検討を実施する。

(2) 平成 30 年度成果

①津波被害予測

(a) 業務の要約

本業務では、愛知県の巨大産業を支えるサプライチェーンを擁する地域のひとつで ある碧南市を対象として、南海トラフ巨大地震による地震動に対する堤体基礎の沈下 量を数値解析によって評価した。この解析結果を津波氾濫解析に組み込むことで、堤 体基礎の脆弱性が氾濫過程や浸水域に与える影響について検討を行った。堤体基礎の 沈下や直立堤の崩壊を考慮することにより津波浸水域は大きく拡大することを定量的 に示すことができた。このことは、沿岸構造物の耐震化の重要性を示していることは もちろんのこと、強震動による海岸・河岸構造物や堤体基礎部の脆弱性が津波ハザー ド評価に与える影響を無視できないことを示している。

徳島県徳島市を対象として、巨大津波襲来後の長期湛水の予測手法の高度化に取り 組んだ。津波浸水条件に海洋潮汐変動を加えるとともに、浸水による排水機場の機能 停止を考慮した。その結果、2つの効果ともに浸水状況に大きな影響を与えることを 明らかにした。樋門開閉条件が長期湛水に与える効果についても検討した。当該地域 では地殻変動により時間帯によっては潮位より低くなる土地があるため、解析終了時 間の72時間後において、樋門開条件を用いた結果の浸水が相対的に大きくなる傾向に あることを明らかにした。

(b) 業務の成果

1) 堤体基礎の地震動脆弱性を考慮した津波氾濫解析

a) 背景

河口部を包含する沿岸域は、高度成長期にともなって高度な土地利用が展開され、 我が国の産業の振興・高度化や物流網の効率化に大きく貢献してきた。物流網拠点地 域は海・陸路の接続に関する利便性から、沖積平野や埋め立て地のような沿岸低平地 に展開され、それに伴って土地改変が行われる場合が多い。一方で、沿岸低平地は津 波による被害はもちろん、液状化現象をはじめとした地震動による地盤沈下や地盤構 造弱化などの脆弱化についても懸念されている。過去の南海トラフ巨大地震では強震 動の影響により、四万十川(高知県中村)河岸堤防の天端高に 3.5 mの沈下が生じる 激甚被害が生じた 1)。50 年以内に 90 %以上の確率で発生が危惧されている南海トラ フ巨大地震 ²⁾は、南海トラフ沿岸域では強震動と巨大津波の発生が想定されているた め 3)、これらによる被害想定を行う際には地震動による海岸・河岸構造物の脆弱化評 価は重要な検討事項である。このような状況において、海岸構造物に対しては液状化 解析ツール 4)を利用した解析結果を踏まえて、重要施設においては耐震化の整備が進 められている。一方、一部の港湾・漁港施設や中小河川などの護岸施設においては未 だ耐震化の整備途上にあり、巨大地震に対する現実的な地震・津波ハザード評価とそ れに対応した具体的対策を講じるためには、地震動による海岸・河岸構造物の基礎部 の脆弱性に関する評価とそれに基づいた氾濫解析が求められるが、これらを踏まえた 検討例は少ないのが現状である。

このような状況を鑑み、本業務では矢作川河口域において高度な土地利用展開され てきた愛知県碧南市をモデル地区として、南海トラフ巨大地震による地震動に対する 堤体基礎の沈下量を水~土骨格連成有限変形解析によって評価し、この解析結果を津 波氾濫解析に組み込むことで、堤体基礎の脆弱性が浸水域に与える影響について検討 を行うことを目的とする。

b)解析対象領域

本研究の対象領域である愛知県碧南市は、三河湾北部沿岸に位置し、周囲を水域で 囲まれている碧海台地と矢作川沖積地からなる平坦地であり、愛知県の巨大産業を支 えるサプライチェーンを擁する地域のひとつである。図3-2-①-1に愛知県碧南 市の位置と津波数値解析領域、図3-2-①-2に碧南市における地震応答解析の対 象測線位置を示す。本検討では図3-2-①-2中の測線T-1とT-2における河川堤防 を含む領域を解析対象とした。ボーリング結果をもとに作成した地層断面図を図3-2-①-3に示す。T-1において、沖積層は砂質土(As1およびAs2)と粘性土(Ac1お よびAc2)の互層となっており、その下部に洪積層(Dc)が存在する。地表付近の砂質 土層のM値は10以下と小さく、大地震発生の際は液状化の危険性が高いことが伺える。 また、砂質土層の下部に堆積する埋土層および粘性土層のM値は1~3程度であり、軟 弱な状態にあった。粘性土層厚は右岸側で20mと厚いのに対し、左岸側ではその層厚 は薄くなるのも特徴である。

T-2では沖積砂層(As)と洪積砂層(Ds)の下部に洪積粘土層(Dc)、基部に硬質な 洪積層(D)が存在する。このように、右岸・左岸、河川沿いに2km程度離れた位置で 地層分布は大きく変化していることがわかる。



図 3 - 2 - ① - 1 愛知県碧南市の位置と津波数値解析の対象領域。空間格子間隔は R1: 810 m、R2: 270 m、R3: 90 m、R4: 30 m、R5: 10 m、R6: 10/3 m である。



図3-2-①-2 碧南市における地震応答解析の対象測線位置



(b) 測線 T-2 の断面

図 3 - 2 - ① - 3 各測線における地層断面(図中の単位は m)

c) 堤体基礎部の地震動応答解析

内閣府³⁾による南海トラフ巨大地震の被害想定では、液状化による碧南市全域の地 盤沈下量は0.1~0.3 mとされている。一方で、耐震化の整備途上にある堤体基礎の定 量的な影響については不明である。

本研究では、碧南市中心部に流れる蜆川の堤体基礎を解析対象とし、地震動に対す る応答解析を行った。堤体基礎部の地震応答解析に使用した解析モデルは、水〜土骨 格連成有限変形解析コードGEOASIA⁵⁾であり、静的・動的変位を区別なく取り扱うこ とができる。また、同解析モデルには、土の骨格構造とその働きの差異を記述する弾 塑性構成式SYSカムクレイモデル⁶⁾が搭載されており、砂から粘土、両者が混在した中 間土までを同じ理論的枠組みの中で記述することが可能である。解析に用いる弾塑性 性状は現地で実施されたボーリング調査結果と室内物理試験結果に基づき推定した。 なお、本解析は河川堤防に対する耐震補強がされていない場合を示す。解析に用いた 弾塑性性状の一覧を表 3 - 2 - ① - 1 に示す。

解析に用いた有限要素メッシュの弾塑性性状パラメータは、ボーリング調査結果に 基づいて各地層区分に対応するように配置した。地表面は水平な地盤を初期状態とし、 有限要素メッシュを追加・削除することで河川堤防構築および河道掘削を行った。水 理境界については両側面および下端は非排水境界とし、地表面は大気圧境界、河床面 は水深に応じた水圧境界とした。

解析に用いた地震動の入力波形を図3-2-①-4に示す。当該地点付近で想定される地震動³⁾のEW成分を地盤底面の全有限要素節点の水平方向に入力した。現地では PS検層は行われていないが、道路橋示方書⁷⁾の推定式を用いて解析領域下端における せん断波速度Vs=340 m/sと推定した。図3-2-①-4(a)の加速度振幅は、このVs を用いて翠川⁸⁾およびSugito et al. ⁹⁾の方法に従い、工学的基盤における加速度振幅 となるように1.53倍に補正した。地盤下端節点は底面粘性境界を設け、地盤両側端要 素に側方境界要素単純せん断変形境界を設けた。なお、B層は飽和土として扱っており、 降雨が長期間続いている時のように地下水位面が地表付近にあるもっとも危険な状態 を想定している。図 3 - 2 - (1 - 4) の加速度の周波数特性については補正を行って いない。

図3-2-①-5に強震動解析による蜆川河岸堤体の剪断ひずみ分布と堤体高さの 変形を示す。図3-2-①-5(a)のT-1では地震発生直後(30秒後)からB層において 有効応力の低下により円弧状の剪断歪みが発生し、その箇所を中心として地盤剛性が 失われる。入力地震動の継続時間は120 sと長いためか、Ac1層において有効応力の低 下により剪断歪みの増加が確認できる。地震発生から180 sでは、剪断歪みはB層およ び表層のAc1層へと拡がっていることがわかる。盛土直下の沖積粘性土Ac1層も地震動 で乱され、大きな剪断歪みが発生する。従来では、地震による地盤被害のほとんどは 砂質土の液状化が中心で粘性土層の被害はほとんど発生しないといわれているが、T-1 のようにAc1層のような軟弱な粘性土層を有する場合、盛土直下のように局所的な上載 荷重を受けている場所ではせん断変形が卓越して地盤が乱され、有効応力が著しく低 下する結果、さらなる地盤沈下をもたらす。

図 3 - 2 - (1 - 5) (b)のT-2においては軟弱な粘性土(Ac)層がないため剪断歪みはB層が中心となっていることがわかる。

両岸の堤体高沈下量について、T-1においてはB層とAc1層で大きな沈下を生じている。 左岸と右岸で比較すると、Ac1層が厚い右岸ではその沈下量も大きい。T-2においてはB 層で大きな沈下を生じている。地震時に左岸で初期堤体高(3.0 m)の約40%(1.2 m)、 右岸で約45%(1.5 m)の沈下が生じ、T-2では両岸の初期堤体高(2.0 m)の約30% の沈下が生じることがわかった。明治以降に日本で発生した地震動による河川堤防の 沈下量と堤体初期高さの関係¹⁰によると、地震による河川堤防の沈下量は最大で初期 堤防高さの75%にまで達する。地震動の種類や規模、地盤の状態がそれぞれ異なるが 定性的には本解析結果と整合する。

	設定パラメータ	測線T-1における地層					測線T-2における地層					
		В	As1	As2	Ac1	Ac2	Dc	В	As	Ds	Dc	D
弾塑性	NCLの切片	1.66	1.65	1.66	2.15	2.83	1.99	1.66	1.66	1.67	1.86	1.66
	限界状態定数	1.58	1.58	1.58	1.52	1.45	1.54	1.58	1.58	1.58	1.55	1.58
	圧縮指数	0.047	0.046	0.048	0.15	0.3	0.12	0.047	0.047	0.05	0.091	0.047
	膨潤指数	0.0047	0.0046	0.0048	0.015	0.03	0.012	0.0047	0.0047	0.005	0.0091	0.0047
	ポアソン比	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
発展則	偏差塑性ストレッチング とそのノルムの割合	1.0	1.0	1.0	0.2	0.2	0.2	1.0	1.0	1.0	0.2	0.2
	構造劣化指数	1.34	1.35	1.33	0.57	0.17	0.74	1.34	1.34	1.3	0.94	1.34
	正規圧密土化指数	1.28	1.26	1.3	7.44	87.3	4.31	1.28	1.28	1.34	2.65	1.28
	回転硬化指数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	回転硬化限界面	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
初期値	構造の程度	2.7	2.53	1.55	4.06	4.04	3.47	2.63	2.45	1.81	3.66	2.03
	過圧密比	23.7	26.9	70.6	2.83	2.87	4.07	27.78	28.5	51.8	3.59	41.33
	応力比	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545
	異方性の程度	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表3-2-①-1 解析に用いた弾塑性性状の一覧



図 3 - 2 - ① - 4 解析に用いた地震動。(a)は EW 成分の加速度時刻歴、(b)は加速度の 周波数特性を示す。



(b) T-2

図3-2-①-5 強震動解析による蜆川河岸堤体の剪断歪み分布と堤体高さの変形。図 中の黒実線は初期の堤体高を示す。

d) 津波氾濫解析

津波氾濫解析には内閣府¹¹⁾により整備されている地形データ(R1:空間格子間隔 Δx =810 mからR5: Δx =10 m)を利用した。R6(Δx =10/3 m)は国土地理院による5m メッシュのDEMを基本データとし、海岸・河川構造物の線形やその標高値に修正を加え た。参照したデータは国土地理院基盤地図情報(道路縁、水涯線、建築物外周線)お よび航空写真(Googleマップ)であり、堤防天端高は蜆川水系河川整備計画と高浜川 水系河川整備計画(新川)、さらに現地調査を行って修正を行った。

地震動による堤体基礎の沈下量については、R6領域の蜆川沿岸堤体基礎標高に反映 させた。ただし、解析を実施した検査断面はT-1およびT-2のみのため、蜆川沿いの堤 体延長区間において地質構造図の構成がT-2とほぼ同様な伏見屋樋門付近のT-3までは T-2における沈下量を与え、T-2とT-1区間はより複雑な地層構造であったため、距離に 応じた線形補間を行って沈下量を与えた。なお、伏見屋樋門より北側では河岸構造物 は存在しないため、地震動による沈下量は考慮していない。

津波氾濫解析は非線形長波方程式に基づいた従来の数値モデル¹²⁾を用い、図3-2 -①-1に示す6領域において空間接続を行い、領域R6においては建物を地形と合成 等価粗度で表現する合成地形モデル¹³⁾により建物の影響を考慮した(図3-2-①-6)。津波の波源は内閣府¹⁴⁾の津波断層ケース 9とし、このモデルによる地殻変動によ る沈降量を考慮し、潮位は朔望平均満潮位(T.P. +1.0 m)とした。

構造物被害シナリオとして、波源断層による地殻変動は各ケース共通に考慮し、堤体基礎や直立堤の健全性が保たれ伏見屋樋門が閉まる場合をCase 0、堤体基礎の沈下 量を考慮した場合をCase 1、Case 1で伏見屋樋門が閉まらない場合をCase 2とした。 Case 3および 4はCase 1とCase 2の条件のうち、直立堤が対象延長区間において完全 に崩壊する場合とし、直立堤を取り除いた。

図 3-2-①-7に各被害ケースに応じた地震発生から6時間後までの最大津波浸水深分布を示す。当該沿岸に到達する津波高は2m程度であるため、Case1においては、 衣浦港では若干の浸水が認められるが、蜆川流域においては津波は直立堤を越流する ことがないため、市街地に津波は溢れないことがわかる。

Case 1においては伏見屋樋門より下流においては、蜆川における河岸堤体基礎天端 の沈下により、右岸側で津波の浸水が生じる。これは、右岸側基礎堤体の方が沈下量 が大きいためである。Case 2は伏見屋樋門が開門している条件である。この樋門より 上流では堤体基礎や直立堤が整備されていないため、この地点より上流から氾濫した 津波は左岸南部の低平地に流れ込むことになる。

Case 3では直立堤崩壊により、さらなる浸水域の拡大が生じていることがわかる。 蜆川右岸の市街地においては津波浸水深が1mを越える地域もあるため、津波による家 屋被害が懸念される¹⁵⁾。Case 3と4の比較から、直立堤が崩壊する場合、伏見屋樋門開 閉の影響は僅かであることがわかる。これは、護岸機能の消失により蜆川沿岸から津 波が越流することにより、伏見屋樋門周辺の津波流入量が減少したためと考えられる。



図3-2-①-6 碧南市中心市街地における合成地形モデルの適用例



図 3 - 2 - ① - 7 各被害ケースに応じた地震発生から6時間後までの最大津波浸水深 分布。

2) 潮汐の影響を考慮した徳島市街地への津波の流入・排水解析

a)背景

長期湛水とは津波によって流入した海水が長期に渡り陸地に留まる現象で、海岸付 近の低地かつ広域な地殻変動による沈降と液状化の危険性が想定される地域であれば どこでも発生する可能性がある。東北地方太平洋沖地震の際も、石巻市をはじめとす る沿岸部で長期湛水が発生した¹⁶⁾。湛水した地域では災害発生後に迅速に実施するこ とを求められる救助、捜索活動や物資輸送が難しくなるとともに、復旧作業の大きな 障害となる。したがって、この現象を正確に予測することは大変重要で、具体的には 孤立する可能性のある避難所の判別や、必要な備蓄量の推計などに利用できる。また、 堤防や排水ポンプの整備、もしくは被災後の排水ポンプ車の配置場所やそのルートな どの検討にも用いることができる。

本業務では、これまで長期湛水現象の予測のための解析手法の高度化に取り組んで きた。前年度までに検討した手法は次のとおりである(図3-2-①-8)。まず、通 常の津波の計算により対象地域の堤外周辺での水位時系列を記録する。これを境界条 件として堤内に海水を侵入させ、堤内地の流れ場の計算を行う。堤内地では、地表面、 排水路、下水路の三つの流れを考える。地表面では津波と同様の計算方法を採用する が、排水路やマンホールを設定したメッシュで地表面、排水路、下水路のそれぞれの 間で水のやり取りを行う。最終的には排水路に存在する排水機で領域外へ排水する。 この解析を愛知県碧南市と徳島県徳島市の一部地域を対象として行い、津波の流入か ら排水の一連の現象の予測を試行した。

これまでの我々の検討では津波以外の潮位変動を無視していた。しかし、海水面は 海洋潮汐によって絶え間なく変動している。津波ハザードマップは最悪を想定するた め潮位を満潮位で固定して作成するのが一般的であるが、長期湛水は現象が長期にわ たる。長期湛水の予測において海洋潮汐を無視することは妥当ではない。また、強制 的に堤外に水を排水する排水機を津波による浸水の深さに関わらず常に稼働させるモ デルで計算を行っていた。そこで今年度は、津波と海洋潮汐を考慮した境界条件を用 いること、排水機の停止水位を設定することの2点の改良を行った。

b) 解析手法

津波の流入および排水過程の計算は、堤外と堤内を分けて行っている。堤外地、つまり津波の計算は下の浅水波理論の式 (3-2-①-1)、(3-2-①-2)を利用した。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \qquad (3 - 2 - 1)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x^2}{D}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_x q_y}{D}\right) \\ = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{gn^2}{D_3^{\frac{7}{3}}} q_x \sqrt{q_x^2 + q_y^2} \\ \frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x q_y}{D}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_y^2}{D}\right) \\ = -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{gn^2}{D_3^{\frac{7}{3}}} q_y \sqrt{q_x^2 + q_y^2} \end{cases}$$
(3 - 2 - 1) - 2)

ここで、ηは静水面からの水位変化、tは時間、 q_x、 q_yはそれぞれx、 y方向の流量、 Dは全水深、 gは重力加速度、nはマニングの粗度係数である。堤外周辺の津波波形を 記録し、海洋潮汐変動を加えて、堤内地計算の境界条件とした。

堤内の計算には、AFREL (Application of Flood Risk Evaluation)を使用した。こ のモデルは雨水等の排水の計算に利用されているものである。三好・他¹⁷⁾は、本モデ ルを用いて徳島市上八万地区で台風による豪雨と、それに伴う河川氾濫が生じた際の 再現計算を行っており、観測された 10 点の浸水位とシミュレーション結果の差はこれ らの点についてはすべて 0.10 m以内に収まっていることを確認した。

本業務では河川氾濫のシミュレーションと同様に、堤外地の津波波形を境界条件と して入力することによって津波による氾濫を表現する。津波が堤防の高さを超えた時、 越流公式の式(3-2-①-3)によって堤内地に流入させた(図3-2-①-9)。

$$\begin{cases} h_2 < \frac{2}{3}h_1 \mathcal{O} \succeq \mathring{\mathcal{Z}}, \quad q = \pm 0.35h_1 \sqrt{gh_1} \\ h_2 \ge \frac{2}{3}h_1 \mathcal{O} \succeq \mathring{\mathcal{Z}}, \quad q = \pm 0.91h_2 \sqrt{g(h_1 - h_2)} \end{cases} \quad (3 - 2 - (1 - 3))$$

流入後の堤内地での地表面、排水路、下水路の流れは連成して解かれる。地表面の 流れは、前述の浅水理論で行うが、連続式が式(3-2-①-4)になる。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = q_{CHAN} + q_{SEWER} \qquad (3 - 2 - (1 - 4))$$

 q_{CHAN} は排水路との流量のやり取り、 q_{SEWER} は下水路との流量のやり取りを示す。 排水路は座標軸方向にのみ走っているものとみなし、メッシュの中心を通るものとす る。排水路を設定したメッシュでは、越流公式によって地表面レイヤーと流量のやり 取りをする(図3-2-①-10)。排水路内の流れの計算も式(3-2-①-2)を利 用するが、数値安定性向上のため移流項を無視している。また、排水路流れの Δx 、 Δy は地表面の流れ計算の格子間隔とは一致せず排水路の幅である。下水路も排水路と同 様に座標軸方向にのみ走っているものとみなし、メッシュ中心を通るものとする。地 表面と下水路の水のやり取りは、マンホールを設定したメッシュで行う。下水路への 流入には、次の越流公式である式(3-2-①-5)を利用する。

$$q = \frac{2}{3}h \sqrt{\frac{2}{3}gh} \qquad (3 - 2 - (1) - 5)$$

ここで、h はマンホールのあるメッシュの水深である。下水管路内の計算は数値安定

性のためスロットモデルを採用した。排水ポンプは設置したメッシュから指定先メッシュへ排水能力分だけ流量を移すことで数値モデル化している。ここで、排水機は浸水高さが停止水位を超えるとその機能を停止する。



図 3-2-①-10 排水路と地表面の水のやり取り

c)解析対象領域とその条件

本解析対象地域は図3-2-①-11に示された堤内地である。徳島市の東部海岸沿いの吉野川左岸に位置し、周辺を海に続く河川によって囲まれている。この地域には 13 機の排水機が存在する。なお、本解析領域では 1854 年安政南海地震後の長期湛水 に関する記述が実際に古文書(中財家文書『安政南海大地震有姿記』)で発見されてい る¹⁸⁾。それらは次のようである。

- ・水路が残らず埋まり排水が機能しなくなる。
- ・往来・渡し場・三瀬は地震で土地が下がり毎月大潮になり時には建物の中まで浸水 した。
- ・時々満ち潮の時は海水が流れ込んできた。
- ・新田地帯は1、2尺~3尺(約 30~90 cm)程下がり潮が入り込み海のようになった地帯もあった。
- ・堤が1尺(約 30 cm)下がり、用水が一緒になったようになり堤が池に落ちこんで 堤の松が水没した。
- ・その年の夏に沖の潮が高くなり窪地の悪水(排水)の流れが悪くなった。

波源モデルは内閣府想定ケース3を利用した。この波源モデルにより本解析対象地 域では0.71mから0.77mの沈降が地殻変動によって発生する。このため、地盤標高、 堤防の天端高、排水機場停止水位などすべての高さを地殻変動分だけ下げた。なお、 排水機場の停止水位は吉野川浸水想定区域図作成時に用いた値¹⁹⁾に準拠した。排水機 場の停止水位と地殻変動後の停止水位を表3-2-①-2に示す。

解析対象領域近傍の小松島港の朔望平均潮位は、朔望満潮位は T.P. +0.922 m、朔 望干潮位は T.P. -0.797 m である。これに基づき図 3 - 2 - ① - 12 の 12 時間周期の 潮汐変動を仮定した。

内閣府想定ケース3の地震による津波を計算し、その時系列波形を図3-2-①-13の青点の位置で出力した。先に計算した潮汐変動(図3-2-①-12)を足し合わ せて、青点における時系列水位変動とした。青点位置は離散的であるので、近傍2地 点を距離で按分することにより、流入地点堤外側の水位を算定した。この水位を基に、 越流公式(式3-2-①-3)により堤内に氾濫水を流入させた。地表の流れ計算の格 子間隔は25m であり、東西174メッシュ、南北202メッシュの合計35148メッシュで ある。解析時間は72時間とした。



図3-2-①-11 解析対象地域と排水機場の排水能力。薄緑が開水路、水色は堤外との 境界条件を与えるために、河川ではあるが流れを計算する場所。



図 3-2-①-12 仮定した海洋潮汐変動

	停止水位 T.P.(m)	地殻変動後 停止水位 T.P.(m)
今切川	3.01	2.18
近藤	2.59	1.75
百間場	2.47	1.63
宮島	2.70	1.87
鶴島	2.70	1.87
鈴江南	2.70	1.87
中島	2.73	1.90
旭野	2.50	1.67
小松	2.50	1.67
小松土地改良区(鴨洲)	2.50	1.67
下別宮西	2.50	1.67
亀ヶ岡	2.50	1.67
小松西	2.50	1.67

表3-2-①-2 排水機場の停止水位



図3-2-①-13 津波計算により出力した水位の時系列ポイント

d) 解析結果

内閣府想定ケース3の断層モデルから計算された研究対象地域での津波と海洋潮汐 を重ねあせた時系列波形と堤防の天端高を比較する(図3-2-①-14)。本解析の場 合、水位が地殻変動後の天端高を超えたのは対象領域の北側と東側で、西側と南側か らは津波は侵入しなかった。津波の浸水により排水機場の停止水位に達したのは排水 機場13か所のうち6か所であった。図3-2-①-15は市街地への浸水状況の時間 変化を表している。本研究で検討した①潮汐変動あり、かつ、浸水が排水機の停止水 位に達したら排水機の稼働を止める条件での解析に加えて、②潮汐変動あり、かつ、 停止水位に達しても排水機を停止しない条件の解析、潮汐を変動させず朔望平均満潮 位で固定し、浸水が停止水位に達したら排水機の稼働を止める条件の解析も示した。 それらの比較から、地震発生後数時間の浸水状況にほぼ違いはないが、時間が経過す るにつれて違いが大きくなっている。したがって、長期湛水の予測においては海洋潮 汐や排水機場の効果を無視できないことが明らかとなった。

本業務では津波に海洋潮汐変動を重ねた境界条件で海水を流入させて、浸水により 水位が上昇し停止水位に達したら排水機場が停止するという現実的なモデルで長期湛 水を予測した。最後に本計算モデルを用いて長期湛水対策におけるひとつの検討を行 った。解析対象地域内の中小河川には樋門が備えられている。本計算モデルを用いて、 津波襲来時およびその後に樋門を開けたほうがよいのか、それとも閉じておいていた ほうがよいのかについて検討した(図3-2-①-16)。樋門閉条件と開条件の結果を 比べると、図3-2-①-15 ほど大きな違いは確認できないが、解析時間終了の 72 時間後に違いが確認できる(図3-2-①-16 赤点線の丸)。樋門開条件のほうがや や浸水が大きい。これは地殻変動により地盤標高が下がったため、津波が襲来しない 条件でも潮位によっては陸上へ浸水してしまうためであると解釈される。



図3-2-①-14 水位と堤防高の関係の比較



図3-2-①-15 市街地への津波の流入・排水解析結果。(a) 潮汐変動あり、停止水位 で排水機停止、(b)潮汐変動あり、停止水位でも排水機不停止、(c)潮汐変動なし(満 潮位固定)、停止水位で排水機停止。



図3-2-①-16 市街地への津波の流入・排水解析結果。(a) 樋門閉条件、(b)樋門開条件。赤丸の範囲内では樋門開条件のほうの浸水がやや大きい。

(d) 結論ならびに今後の課題

愛知県碧南市をモデル地区として、想定南海トラフ巨大地震による地震動に対する 堤体基礎の沈下量を水~土骨格連成有限変形解析によって評価し、この解析結果を津 波氾濫解析に組み込むことで、堤体基礎の脆弱性が浸水域に与える影響について検討 を行った。

地震による地盤沈下の被害は砂質土層における液状化が主要因であるが、盛土直下 のように局所的な上載荷重を受けている粘性土層はせん断変形が卓越して地盤が乱さ れ有効応力が著しく低下するため、さらなる地盤沈下をもたらすことを示した。

津波氾濫解析において、蜆川流域の堤体基礎が沈下するが河岸構造物は機能する場 は右岸堤体基礎の沈下量が大きいために蜆川北部に浸水が集中し、蜆川中流域の樋門 の開閉の影響により蜆川南部にも浸水域が拡大する。このように、耐震化未整備区間 では強震動の影響によって護岸などの沈下が生じ、これにより津波浸水域は大きく拡 大することを定量的に示した。中小河川や一部の港湾施設を擁する地域においては、 これら構造物の耐震化の重要性を示していることはもちろんのこと、強震動による海 岸・河岸構造物や堤体基礎部の脆弱性が津波ハザード評価に与える影響を無視できな いことを示している。

巨大津波襲来後の長期湛水の予測手法の高度化に取り組んだ。今年度の解析におい ては、津波浸水条件に海洋潮汐変動を加えるとともに、浸水による排水機場の機能停 止を考慮した。その結果、2つの効果ともに浸水状況に大きな影響を与えることが判 明した。長期湛水予測を行う上で現実的な解析モデルが準備できたと考えられたため、 樋門開閉条件が長期湛水に与える効果についても調査した。その結果、当該地域では 地殻変動により時間帯によっては潮位より低くなる土地があるため、解析終了時間の 72時間後において、樋門開条件を用いた結果の浸水が相対的に大きくなった。

- (e) 引用文献
- 1) 中央気象台:昭和21年12月21日南海道大地震調査概報、pp. 22-75、1947.
- 2) 地震調査研究推進本部:活断層及び海溝型地震の長期評価結果一覧(2018年1月1日での算定) https://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/ichiran.pdf、参照2018-5-24.
- 3) 内閣府: 南海トラフの巨大地震モデル検討会、, http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/、参照2018-5-24.
- 4) 一般社団法人 FLIP コンソーシアム:http://www.flip.or.jp/flip_program.html、参照 2018-5-24.
- 5) Asaoka, A., T. Noda, E. Yamada, K. Kaneda and M. Nakano, An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, Soils and Foundations, Vol. 42, No. 5, pp. 47-57, 2002.
- 6) Noda, T., A. Asaoka and M. Nakano, Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, Soils and Foundations, Vol. 48, No. 6, pp. 771-790, 2008.

- 7) 公益社団法人日本道路協会:道路橋示方書·同解説 I 共通編、2017.
- 8) 翠川三郎:関東平野を対象とした震度分布予測、構造工学論文集、Vol. 33B、pp. 43-48、 1987.
- Sugito, M., Y. Furumoto and T. Sugiyama, Strong Motion Prediction on Rock Surface by Superposed Evolutionary Spectra, Proc. of the 12th WCEE, CD-ROM, Oakland, New Zealand, 2000.
- 10) 国 土 交 通 省 : 河 川 構 造 物 の 耐 震 性 能 照 査 指 針 ・ 解 説 、 http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bosai/wf_environment/structure/i ndex3.html、参照 2018-5-24.
- 11) 内閣府: 南海トラフの巨大地震モデル検討会/地形データ、, https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/1205、参照2018-5-24.
- 12) 後藤智明、小川由信: Leap-Frog 法を用いた津波の数値計算法、東北大学工学部土木工 学科資料、52p、1982.
- 13) 今井健太郎、今村文彦、岩間俊二:市街地における実用的な津波氾濫解析手法の提案、
 土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol. 69-2、pp. 311-315、2013.
- 14) 内閣府:南海トラフの巨大地震モデル検討会/津波断層モデル(8)初期水位データ_07 系
 _0810-99)、https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/120807、参照 2018-5-24.
- 15) 今井健太郎、大林涼子、甲斐芳郎、行谷佑一、高橋成実:直線海岸を有する沿岸地域に おける木造建物の津波被害関数の特徴、日本地震工学会第12回年次大会梗概集、P2-2、 CD-ROM、2016.
- 16) 東北地方整備局:津波による湛水は92%解消しました ~緊急排水対策は最終段階へ~、http://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/kisya/saigai/images/34655_1.pdf、参照 2017-10-18.
- 17) 三好学、田村隆雄、安芸浩資、藤田真人:徳島市上八万地区における降雨量と内水氾濫による浸水被害との関係、土木学会四国支部平成25年自然災害フォーラム論文集、pp.69-77、2013.
- 18) Baba T., J. Taniguchi, N. Kusunoki, M. Miyoshi, H. Aki: Preliminary study on long-term flooding after the tsunami, J. Disaster Research, 12, 741-747, doi:10.20965/jdr.2017, p0741, 2017.
- 19) 平成 27 年度 吉野川・旧吉野川氾濫解析業務:国土交通省 徳島河川国道事務所、
 P. 3-240-P. 3-266、2016.

②地震動

(a) 業務の要約

地盤震動の研究としては、3次元有限差分法によるグリーン関数の補間を利用した 強震動評価法を新たに提案し、広帯域の地震用を効率的に予測する方法を確立した。 また、これを用いて、南海トラフの東側の震源域が破壊したときの地震動を2ケース について評価した。

(b) 業務の実施方法

本業務の実施方法について説明する。地震動は、震度への影響が小さい背景領域は 考慮せず、強震動生成域(以下、SMGAと表記する)のみの強震断層モデルで評価する。 SMGA を構成するすべての要素断層について、全地表面に対するグリーン関数をあらか じめ計算しておき、震源過程に応じて適切に合成することで地震動を評価する。一部 の要素断層によるグリーン関数のみ3次元有限差分法により計算し、残りは観測点か らの距離に応じてグリーン関数の補間を行い、必要な精度を確保しつつ、効率的に地 震動を予測することとする。図3-2-2-2-1に計算方法を示す。(a)は評価地点近 傍の SMGA である。これは評価地点の地震動に大きな影響を与えるため、すべての要素 断層についてグリーン関数を理論的に計算する。これを理論グリーン関数と呼ぶ。(b) は評価地点からある程度離れた SMGA である。この場合、各要素断層からの地震波の伝 播経路は近接しており、要素断層ごとのグリーン関数の波形の差は小さいと考えられ る。そのため、SMGA の四隅の要素断層によるグリーン関数を理論的に計算しておき、 残りの要素断層によるグリーン関数はそれらの補間により求める。これを補間による グリーン関数と呼ぶ。(c)は評価地点から非常に遠い SMGA である。この場合、要素断 層ごとのグリーン関数の波形の差はほぼ無いものと考えられる。そのため、SMGA を代 表する要素断層ひとつによるグリーン関数のみを理論的に計算しておき、他の要素断 層に対してもこれを代用する。その際、地震動の評価地点と要素断層間の距離による 補正、走時の補正等を行わず、破壊時刻の分だけ時間シフトさせ合成する。

図3-2-②-1の(b)の場合に着目して、図3-2-②-2に9つの要素断層からなる SMGA におけるグリーン関数の補間の模式図を示す。SMGA の四隅の要素断層① ~④によるグリーン関数が既知のとき、残りの要素断層によるグリーン関数を補間により求める。はじめに、グリーン関数 *G*(*t*)のフーリエ変換 *F*(*ω*)を次のように表す。

$$G(t) \Leftrightarrow F(\omega) = \alpha(\omega)e^{i\phi(\omega)} \qquad (3 - 2 - 2 - 1)$$

また、フーリエ位相 $\phi(\omega)$ の ω に対する変化率である群遅延時間¹⁾を $t_{gr}(\omega)$ と表す。 群遅延時間は波群の到達時刻を表す。ここでは波動伝播を考慮するため、位相情報の 補間には群遅延時間 $t_{gr}(\omega)$ を、振幅情報の補間にはフーリエ振幅 $\alpha(\omega)$ を用いる。SMGA の四隅の要素断層①~④によるグリーン関数の $\alpha(\omega)$ と $t_{gr}(\omega)$ を使用して要素断層⑤~ ⑨のグリーン関数の $\alpha(\omega)$ と $t_{gr}(\omega)$ を以下のように表す。

- $\alpha(\omega) = Z_1 \alpha_1(\omega) + Z_2 \alpha_2(\omega) + Z_3 \alpha_3(\omega) + Z_4 \alpha_4(\omega) \qquad (3 2 2)$
- $t_{\rm gr}(\omega) = Z_1 t_{\rm gr1}(\omega) + Z_2 t_{\rm gr2}(\omega) + Z_3 t_{\rm gr3}(\omega) + Z_4 t_{\rm gr4}(\omega) \qquad (3 2 (2) 3)$

 $Z_1^{\sim}Z_4$ は図 3 - 2 - ② - 2 中の x、y、L_x、L_yを使って次のように表す。

$$Z_{1} = \frac{L_{x} - x}{L_{x}} \frac{L_{y} - y}{L_{y}}, Z_{2} = \frac{L_{x} - x}{L_{x}} \frac{y}{L_{y}}, Z_{3} = \frac{x}{L_{x}} \frac{L_{y} - y}{L_{y}}, Z_{4} = \frac{x}{L_{x}} \frac{y}{L_{y}}$$
(3 - 2 - 2) - 4)

 $\alpha(\omega)$ と $t_{gr}(\omega)$ の添字は図 3 - 2 - ② - 2 中の要素断層の番号に対応している。補間に よるグリーン関数の位相は次式で計算する。

$$\phi(\omega) = \int_0^{\omega} t_{\rm gr}(\zeta) d\zeta \qquad (3 - 2 - (2) - 5)$$

α(ω)について、理論的には、実体波や表面波の幾何減衰を考慮して、震源と評価地点 との距離もしくはその平方根を用いた式とすべきである。また、t_g(ω)についても、理 論的には地震波の走時の違い等を考慮した補間の方法をとるべきである。しかしなが ら、ここでは、SMGA の一辺の長さに比べて評価地点と SMGA との距離が十分大きいこ とを前提に、以上の方法で補間を行う。

(c) 業務の成果

本業務の成果について説明する。3次元有限差分法により理論グリーン関数を計算 する領域、評価地点、各 SMGA の位置を図3-2-②-3に示す。震源モデルは、内閣 府のもの²⁾を参考に設定した。はじめに、SMGA②の四隅にあたる要素断層 A、C、G、I によるグリーン関数を理論的に計算し、その他の要素断層 B、D、E、F、Hによるグリ ーン関数を補間により求める。図3-2-②-4に各要素断層によるグリーン関数を 示す。それぞれについて補間結果と理論計算結果を重ね描き、鈴木・他³⁾による波形 と包絡形の適合度 GOF と E-GOF も示した。これらの指標は、それぞれ 0.003~10 の値 をとり、値が大きいほど波形もしくは包絡形の適合度が高いことを示す。要素断層 B、 D、F、H、さらに E においては、SMGA からの四隅の距離とともに適合度が低下する傾 向が見られる。

続いて、図3-2-2-2-5に各 SMGA の破壊による評価地点での地震動を示す。破壊 開始点は各 SMGA の南端とした。いずれの SMGA についても、理論計算との適合度が高 い。また、評価地点から離れた SMGA ほど適合度が低くなる傾向がある。これは震源距 離とともに地震波の分散が大きくなるためであると考えられる。本手法が適用可能な 範囲においては、地震波の分散が小さいほど、つまり評価地点に近い SMGA ほど補間に よるグリーン関数を用いた波形合成の精度は高い。しかし、SMGA が評価地点の至近に 位置している場合は、地震波の伝播経路の違いが大きいため、グリーン関数の補間を 行うことは適切ではない。一方、評価地点から遠い SMGA については地震動の振幅が小 さく、多少の精度の低下は許容できる。

さらに、南海トラフ巨大地震では複数の SMGA が連動して破壊する。ここでは破壊開 始点の位置による地震動の違いについて比較する。図3-2-②-6に、想定した震 源過程を示す。震源域全体の破壊開始点を黒の星印★で、各 SMGA の破壊開始点を白の 星印☆で示す。破壊伝播速度は2.7 km/s とした。図3-2-②-7に各ケースの評価 地点での速度波形を、図3-2-②-8に速度応答スペクトル(減衰定数5%)を示す。 破壊伝播が評価地点に近づく方向へ進行するケース1では、ディレクティビティ効果 による指向性パルスが大きく、応答スペクトルの値も大きい。一方、SMGA②以外は評 価地点から遠ざかる方向へ破壊伝播が進行するケース2では、指向性パルスは小さく、 地震動の継続時間が長い。いずれの場合も理論計算との適合度は高く、補間によるグ リーン関数を使用することで種々の震源過程を適切に比較検討できることが分かった。

(d) 結論ならびに今後の課題

3次元有限差分法によるグリーン関数について、必要に応じて補間を施しながら波

形合成を行うことにより、効率的に地震動を評価する手法を確立した。これを用いて、 南海トラフの東側の震源域について2ケースの地震動を評価し、適切に地震動波形を 計算することができることを確認した。今後は、広域の地震動を面的に評価すること を目指す。具体的には、愛知県碧南市を中心とした地域について地震動評価を行い、 震源過程のゆらぎによる地震動レベルの変動幅を明らかにすることを考える。

(e)引用文献

- 佐藤忠信、吉田郁政、大島義信:地震動位相のモデル化について、土木学会論文 集 A1(構造・地盤工学)、Vol. 70、No. 4、pp. I_273-I_284、2014
- 2) 内閣府、南海トラフの巨大地震モデル検討会、首都直下地震モデル検討会:南海 トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告、2015
- 3) 鈴木文乃、加藤研一、渡辺哲史:地震観測波形とシミュレーション波形の適合度 評価 Frequency domain error の改良と V&V での適用、日本建築学科構造系論文 集 第83巻 第752 号、pp.1435-1444、2018







図3-2-2-2 強震動生成域内でのグリーン関数の補間の模式図



図3-2-2-3 理論計算の範囲と強震動生成域の位置



図3-2-2-2-4 SMGA2の各要素断層による評価地点でのグリーン関数





図3-2-2-6 地震動評価の対象とした震源過程



図3-2-2-7 各ケースの評価地点における地震動



図 3-2-2-8 速度応答スペクトル

③地盤災害

(a) 業業務の要約

平成 30 年度は、碧南市蜆川下流域を対象とし、簡易モデルによる地震時変状予測を 実施した。本年度は、減災戦略の立案に資するために、現地調査結果を参考に、下流 域に加えて中流域の現況河川堤防を、矢板を考慮する形でモデル化し、L1 地震動およ びL2 地震動に対する、異なる外力シナリオ下での地震時地盤変状予測を実施した。L1 地震動の場合、表層の砂質土は液状化するものの、堤防の沈下量は両断面ともに堤防 高の 20%弱と小さく、地震時に健全性を保つ。一方、L2 地震動の場合は、最大加速度 が大きいことに加えて、継続時間が長く、長周期成分を多く含むため、軟弱粘土層も 乱されて剛性を失い、堤防の沈下量は堤防高の 36%~50%程度と L1 地震動に比べて大 きくなるものの、内閣府等における浸水被害予測で用いられる堤防高 75%喪失にまで は至らない可能性があることを確認した。なお,本解析ではL1 地震動では健全性を保 っていた河川堤防が、L2 地震動のように長周期で長時間の揺れが続くと、堤防直下の 偏荷重を受けている場所においては、軟弱な粘性土が乱され、地震中の揺すりこみ沈 下が発生することを示した。このことは、細粒土であっても、特に比較的粒径の大き いシルト分が支配的で、N 値が小さく軟弱な状態にある粘性土層では大きな揺れによ る地震被害に注意が必要であることを示唆している。

(b) 業務の実施方法

使用した解析コードは、土の骨格構造とその働きの差異によって砂から粘土、両者 が混在した中間土を同じ理論的枠組みの中で記述する土骨格の弾塑性構成式 SYS カム クレイモデル(Asaoka, A. et al., 2002)を搭載した水~土骨格連成有限変形解析コー ド *GEOASIA*(Noda, T. et al., 2008)で、静的も動的も区別なく扱うことができる。蜆 川中流域と下流域の河川堤防を対象に、原位置調査結果をもとに弾塑性モデル化し、 地震応答解析を実施した。

(c) 業務の成果

図3-2-③-1は、愛知県が公表する理論上最大モデル(愛知県)による、碧南市の津波最大浸水深分布図である(碧南市)。蜆川や矢作川下流域は干拓地で土地が低く、津波発生時の浸水深が大きく想定されている。しかしながら、この浸水深分布図は、河川堤防が一律75%喪失したという仮定に基づいている。この仮定は、過去に被災した数多くの河川堤防被害の最大値を包絡して求めた数値(国土交通省,2012)であり、安全側評価を行っていることが考えられる。

平成30年度は、碧南市蜆川下流域を対象とし、簡易モデルによる地震時変状予測を 実施した。本年度は、減災戦略の立案に資するために、防災対策河川工事のために実 施された現地調査結果(愛知県,2017)を参照して矢板を考慮する形でモデル化し、 地震応答解析を実施した。平成30年度は下流域のみを対象としていたが、縦断方向に 地層構成が異なることを考慮して、下流域に加えて、中流域も対象としている。さら に、平成30年度は、内閣府が公開の当該地点周辺における南海トラフ地震(内閣府) を入力地震動としていたが、この地震動に長周期成分を含む想定地震動を新たに作成 し(福井ら,2017)、入力地震動としている。このL2地震動に加えて、L1地震動も用 いて、異なる外力シナリオ下での河川堤防の変状予測を行った。使用した解析コード は、土の骨格構造とその働きの差異によって砂から粘土、両者が混在した中間土を同 じ理論的枠組みの中で記述する土骨格の弾塑性構成式 SYS カムクレイモデル(Asaoka, A. et al., 2002)を搭載した水~土骨格連成有限変形解析コード *GEOASIA*(Noda, T. et al., 2008)であり、静的も動的も区別なく扱うことができる。



図 3-2-3-1 津波最大浸水深分布図(碧南市)

蜆川下流域周辺の地層縦断図(愛知県,2017)を図3-2-③-2に示す。表層は埋 立土であり、その下部に堆積する沖積層と洪積層の境界は下流域ほど深い。本業務では、 沖積層の薄い中流域のNo.4地点、および沖積層の厚い下流域のNo.1地点を代表断面と して、横断面の地震応答解析を実施した。



図 3-2-3-2 蜆川の地層縦断図 (愛知県, 2017 に加筆)

ボーリング結果(愛知県,2017)をもとに作成した No.4 地点の地層断面図を図3-2-③-3に、No.1 地点の地層断面図を図3-2-③-4に示す。No.4 地点は砂質土が支配的であり、左岸ほど沖積層が厚い。土質ごとに比べてみると、表層付近の埋土層および砂層1のN値が小さく、緩い状態にあり、液状化の危険性が高いと考えられる。 一方、No.1 地点は表層の砂質土の下に粘性土が堆積しており、特に右岸で粘土層が厚い。粘土層1はN値が0~2と非常に小さく軟弱な状態にある。



図 3-2-3-3 No.4 地点の地層断面図



図 3-2-3-4 No.1 地点の地層断面図

解析に用いた弾塑性性状の一覧を表 3-2-③-1およびに表 3-2-③-2に示 す。弾塑性性状は、原位置で実施された地盤調査結果(物理試験結果)から決定してい る。

		В	As	Ds	Dc	D
弾 塑 性	NCL の切片 N	1.66	1.66	1.67	1.86	1.66
	限界状態定数 M	1.58	1.58	1.58	1.55	1.58
	圧縮指数 ã	0.047	0.047	0.050	0.091	0.047
	膨潤指数 	0.0047	0.0047	0.0050	0.0091	0.0047
	ポアソン比 v	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
発展則	$-D_v^{p} \ge D_s^{p}$ の割合 c,	1.0	1.0	1.0	0.2	0.2
	構造劣化指数 a(b = c = 1.0)	1.34	1.34	1.30	0.94	1.34
	正規圧密土化指数 m	1.28	1.28	1.34	2.65	1.28
	回転硬化指数 br	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	回転硬化限界面 m。	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
初期値	構造の程度 1/R [*] ₀	2.63	2.45	1.81	3.66	2.03
	過圧密比 1/R ₀	27.78	28.50	51.80	3.59	41.33
	応力比 η₀	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545
	異方性の程度 50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表3-2-③-1 解析に用いた弾塑性性状の一覧(No.4地点)

		В	As1	A s2	Ac1	Ac2	Dc
弾塑性	NCL の切片 N	1.66	1.65	1.66	2.15	2.83	1.99
	限界状態定数 M	1.58	1.58	1.58	1.52	1.45	1.54
	圧縮指数 ã	0.047	0.046	0.048	0.15	0.30	0.12
	膨潤指数 $\tilde{\kappa}$	0.0047	0.0046	0.0048	0.015	0.03	0.012
	ポアソン比 v	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
発展則	- D ^v と D ^v の割合 c,	1.0	1.0	1.0	0.2	0.2	0.2
	構造劣化指数 a(b=c=1.0)	1.34	1.35	1.33	0.57	0.17	0.74
	正規圧密土化指数 m	1.28	1.26	1.30	7.44	87.3	4.31
	回転硬化指数 br	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	回転硬化限界面 m,	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
初期値	構造の程度 1/R [*] ₀	2.70	2.53	1.55	4.06	4.04	3.47
	過圧密比 1/R ₀	23.7	26.9	70.6	2.83	2.87	4.07
	応力比 n ₀	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545	0.545
	異方性の程度 50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表3-2-③-2 解析に用いた弾塑性性状の一覧(No.4地点)

解析に用いた有限要素メッシュ図(河川堤防構築、河道掘削後)を図3-2-③-5 および図3-2-③-6に示す。河川堤防や河床の形状は計画横断面図から決定した。 初期状態は地表面が水平な地盤とし、有限要素メッシュを追加・削除する方法で、河川 堤防構築および河道掘削を行った。現況堤防として、左岸川表側には矢板が打設されて いるため、線形弾性体としてモデル化している。水理境界としては、側面および底面は 非排水境界、地盤および堤防の表面波大気圧境界(常に水圧ゼロ)とした。両側面には 側方要素単純せん断境界を採用し、波の反射に対処している。また、地震中は底面に粘 性境界を設け、モデル化した地盤より深部への波の逸散減衰を再現している。初期値に 関しては、層内で構造の程度、過圧密比、応力比、異方性の程度は均質であると仮定し、 土被り圧に応じて間隙比を分布させた。一般的に盛土部は不飽和状態にあると考えられ るが、本解析において、盛土は飽和土として扱っている。これは豪雨直後の状態に相当 し、河川堤防の耐震性評価としては、安全側評価に相当すると考えられる。





入力地震動を図3-2-③-7および図3-2-③-8に示す。L1 地震動としては、 国土交通省国土技術政策総合研究所で公開されている地方港湾の常滑港における L1 地震動(国土交通省国土技術政策総合研究所)を用いた。L2 地震動としては、内閣府 が公開の当該地点周辺における南海トラフ地震に長周期成分を新たに含めた想定地震 動である(福井ら, 2017)。L2 地震動はL1 地震動に比べて、最大加速度が大きく継続 時間が長いことに加えて、1 秒以上の長周期成分を多く含んでいる。





図 3-2-3-8 入力地震動(L2 地震)

No.4 地点、L1 地震動の場合

No.4 地点に対して、L1 地震動を入力した時の、地震発生から 170 秒後(地震終了直後)の平均有効応力分布を図 3-2-③-9に、せん断ひずみ分布を図 3-2-③-10 に示す。地表面付近では平均有効応力がほぼゼロとなって液状化している。せん断ひずみを見ると、堤防および表層付近の埋土・砂1層で大きくなっているが、堤防周辺や地盤深部ではほとんどせん断ひずみが発生していない。



図3-2-③-10 せん断ひずみ分布 (No.4 地点、L1 地震動)

堤防法尻における水平変位を図3-2-③-11に、堤防中央部における沈下量を図 3-2-③-12に示す。右岸・左岸ともに、堤防法尻のストレッチングはほとんど生 じていない。また、天端高は左岸で0.5m(初期堤防高の16%喪失)、右岸で0.6m(20%) 減少しているが、その大部分が盛土で発生している。本解析では盛土部を飽和土とし てモデル化している(豪雨などの影響で盛土に十分水が浸透しているような状態)た め、変形は大きめに生じているものの、堤防の変形は小さく、L1地震動では河川堤防 は健全性を保つ。



図 3-2-③-11 堤防法尻の水平変位(No.4 地点、L1 地震動)



図 3-2-③-12 堤防中央部における沈下量(No.4 地点、L1 地震動)

<u>No.1 地点、L1 地震動の場合</u>

No.1 地点に対して、L1 地震動を入力した時の、地震発生から 170 秒後(地震終了直後) の平均有効応力分布を図3-2-③-13 に、せん断ひずみ分布を図3-2-③-14 に 示す。中流の No.4 断面と同じく、埋土および砂1層の平均有効応力が低下して液状化 を示し、堤防および堤防直下の砂1層でせん断ひずみが発生する。堤防直下の軟弱な粘 土1層でもせん断ひずみが発生しているが、その程度は小さい。



図 3-2-3-13 平均有効応力分布(No.1 地点、L1 地震動)



図 3-2-3-14 せん断ひずみ分布 (No.1 地点、L1 地震動)

堤防法尻における水平変位を図3-2-③-15に、堤防中央部における沈下量を図3-2-③-16に示す。中流のNo.4断面と同じく、右岸・左岸ともに、堤防法尻のストレッチングはほとんど生じていない。天端高は左岸・右岸ともに 0.75m (初期堤防高の18%喪失)減少している。堤防の変形は小さく、L1地震動では河川堤防は健全性を保つ。



図 3-2-③-15 堤防法尻の水平変位(No.1 地点、L1 地震動)



図 3-2-③-16 堤防中央部における沈下量(No.1 地点、L1 地震動)

No.4 地点、L2 地震動の場合

No.4 地点に対して、L2 地震動を入力した時の、地震発生から 170 秒後(地震終了直後) の平均有効応力分布を図3-2-③-17 に、せん断ひずみ分布を図3-2-③-18 に 示す。L1 地震動に比べて、埋土および砂1層の平均有効応力低下の程度が大きくなり、 液状化が甚大化している。それに伴い、堤防自身と堤防直下のせん断ひずみは L1 地震 動と比べて増大する。



図 3-2-③-17 平均有効応力分布(No.4 地点、L2 地震動)



図 3-2-③-18 せん断ひずみ分布 (No.4 地点、L2 地震動)

堤防法尻における水平変位を図3-2-③-19に、堤防中央部における沈下量を図3 -2-③-20に示す。L1地震動とは異なり、右岸・左岸ともに堤防法尻での水平変位 が発生する。矢板のない右岸では川表・川裏両方に拡がっていくが、矢板の打設してあ る左岸では、川裏側へ拡がっていく。川表への水平変位が抑制されている半面、川裏側 の水平変位量は大きくなる。天端高は左岸で1.2m(初期堤防高の40%喪失)、右岸で1.1m (36%)減少している。堤防自身に加えて砂1層での沈下量が大きくなっている。これ は、砂層の液状化が甚大化し、地震中に剛性低下による揺すりこみ沈下が生じたためで
ある。L1 地震動と比べて、堤防の沈下量は大きくなるが、内閣府が浸水被害予測で用いる堤防高 75%喪失にまでは至らない可能性があることがわかった。



図 3-2-③-19 堤防法尻の水平変位(No.4 地点、L2 地震動)



図 3-2-3-20 堤防中央部における沈下量(No.4 地点、L2 地震動)

<u>No.1 地点、L2 地震動の場合</u>

No.1 地点に対して、L2 地震動を入力した時の、地震発生から 170 秒後(地震終了直後) の平均有効応力分布を図3-2-③-21 に、せん断ひずみ分布を図3-2-③-22 に 示す。L1 地震動のように埋土および砂1層だけでなく、粘土1層においても平均有効応 力が大きく減少し、剛性を失っている。また、堤防直下の粘土1層では大きなせん断ひ ずみが発生しており、粘性土であっても、軟弱かつ偏荷重を受けている場所(堤防直下) では、長時間強い揺れが継続すると、地盤が乱されて被害が発生する。



図 3-2-③-21 平均有効応力分布(No.1 地点、L2 地震動)



図 3-2-③-22 せん断ひずみ分布 (No.1 地点、L2 地震動)

堤防法尻における水平変位を図3-2-③-23に、堤防中央部における沈下量を図3 -2-③-24 に示す。No.4 地点と同様に、右岸・左岸ともに堤防法尻での水平変位が 発生する。矢板のない右岸では川表・川裏両方に拡がっていくが、矢板の打設してある 左岸では、川裏側へ拡がっていく。川表への水平変位が抑制されている半面、川裏側の 水平変位量はおおきくなる。天端高は左岸で1.7m(初期堤防高の42%喪失)、右岸で1.9m (47%)減少している。特に軟弱粘土層の厚い右岸で沈下量が大きくなっているが、内 閣府等における浸水被害予測で用いられる堤防高75%喪失にまでは至らない可能性があ ることがわかった。



図 3-2-③-23 堤防法尻の水平変位(No.1 地点、L2 地震動)



図 3-2-③-24 堤防中央部における沈下量(No.1 地点、L2 地震動)

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務の結論を述べる。現地調査結果を踏まえて、碧南市蜆川の中流域および下流

域の現況の河川堤防を、矢板を考慮する形でモデル化し、L1 地震動および L2 地震動 に対する地震時地盤変状予測を実施した。本解析で想定した L1 地震動の場合、表層の 砂質土は液状化を示すものの、堤防の沈下量は No.4 地点・No.1 地点ともに堤防高の 20%弱と小さく、地震時に安定を保つ。一方、L2 地震動の場合は、堤防の沈下量は 36% ~50%程度と L1 地震動に比べて大きくなる。最大加速度が大きいことに加えて、継続 時間が長く、長周期成分を多く含むため、偏荷重を受けている堤防直下の軟弱粘性土 層が乱されて剛性を失い、大きな地盤変状が生じた。なお、No.4 地点・No.1 地点とも に、L1 地震動と比べて L2 地震動の方が堤防沈下量は大きくなるが、内閣府が浸水被 害予測で用いる堤防高 75%喪失にまでは至らない可能性があることが確認された。

新潟地震(1964)やアラスカ地震(1964)で、砂質地盤の液状化被害が注目されて 以降、粘性土地盤は地震被害が発生しない/考えなくてよいとされてきた。粘性土は N値ゼロの場合や砂/シルト分を多く含む場合でさえ、「粘性土」と分類された途端、 その地盤の地震被害は発生しない/考えなくてよいとされ、粘性土は事実上「弾性体」 としてモデル化されてしまう。本解析では、L1 地震動では健全性を保っていた河川堤 防が、L2 地震動のように長周期で長時間の揺れが続くと、堤防直下の偏荷重を受けて いる場所で軟弱な粘性土が乱され、地震中の揺すりこみ沈下が発生することを示した。 このように、細粒土であっても、特に比較的粒径の大きいシルト分が支配的で、N値 が小さく軟弱な状態にある粘性土層では大きな揺れによる地震被害に注意が必要であ ることを示唆している。

- (e) 引用文献
 - Asaoka, A., T. Noda, E. Yamada, K. Kaneda and M. Nakano, An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, *Soils and Foundations*, Vol 42. No. 5, pp. 47-57, 2002.
 - Noda, T., A. Asaoka and M. Nakano, Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, *Soils and Foundations*, Vol. 48, No. 6, pp. 771-790, 2008.
 - 愛知県、
 http://www.pref.aichi.jp/bousai/2014higaiyosoku/2014higaiyosoku.htm
 - 4) 碧南市、
 http://www.city.hekinan.lg.jp/soshiki/shiminkyoudou/bosai/6/1067.html
 - 5) 国土交通省、レベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル、2012.
 - 愛知県、平成 28 年度緊急防災対策河川工事の内地質調査業務委託(堤防耐震対策)報告書、2017.
 - 内閣府、南海トラフの巨大地震モデル検討会、
 http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/
 - 福井優太、倉田和己、平井敬、福和伸夫:仮想現実技術と振動台を組み合わせた 超高層建物の地震応答体験環境の構築、日本建築学会 2017 年度大会学術講演梗 概集 2017 (構造 II) pp. 407-408、2017.

9) 国土交通省国土技術政策総合研究所、 http://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/sisetu.html

④建物被害

(a) 業務の要約

大規模地震災害時の地域対応において影響の大きい市庁舎等の重要構造物を想定し、 強震観測による応答・被害予測の検討を行った。モデル地域の市庁舎(10 階建て SRC・ S 混合構造、杭基礎)について、地震観測記録に基づく詳細な振動特性評価を行った。

(b) 業務の成果

1) 南海トラフ地震の被災地域に立地する庁舎建物の地震時振動特性評価

a) 背景と目的

2016年4月14日及び16日に発生した熊本地震では、宇土市、益城町をはじめ熊本 県内の7つの自治体で庁舎の損壊等による機能移転を余儀なくされた。このため災害 対応に支障を生じる結果となり、復旧・復興への影響も大きく、庁舎建物の耐震対策 の重要性を改めて知ることとなった。最近建設される庁舎・病院等の重要建物には免 震が採用されるケースが増えているが、上記の被災建物はいずれも中低層RC造耐震構 造であり、このような一般的な建物の応答・被災の想定に向けた検討が必要である。

ここでは実在する愛知県内の自治体庁舎を対象として、南海トラフの地震に対する被 害予測のため、多点同時の地震観測を行い、中小地震時の建物の詳細な振動特性を把 握した。

b) 対象建物と地震観測の概要

写真3-2-④-1に建物外観を、表3-2-④-1に建物概要、図3-2-④-1に断面図を示す。当該建物は2000年1月竣工で、地上10階(塔屋8~10階)、地 下1階、最高高さ59.9m、建物高さ32.9mである。構造種別は柱がSRC造、大梁は SRC造とS造を併用した混合構造である。平面形状は地下階~3階が64.8m×54.5m (東西方向×南北方向)、3~7階は64.8m×18.5mであり、南北方向でセットバック している。8~10階にあたる搭屋は東端にあり、それ以外の7階屋上にはS造の屋根 型構造が載っている。1階以上は両方向ともラーメン構造で、東西方向では地下1階 から7階まで9スパン、南北方向では地下1階から1階までが5スパン、2階が3ス パン、3~7階は1スパンとなっている。また2階に21.6m×18.5m、3階に36m ×18.5m、8階に14.4m×18.5mの吹抜がある。階高は地下1階が6m、1、2階は 5m、3~6階は4.25m、7階は4.5mである。基礎は、杭径1300~2000 φの杭72 本の場所打ちコンクリート杭による杭基礎構造である。

図3-2-④-1に示したように、地震計は1階と9階の2か所に設置した。9階 はエレベーター機械室であるため、ノイズの影響に配慮して、トリガーレベル(2Gal と5Gal)の異なる2台の地震計を設置した。なお、当庁舎には地表位置(GL)に震度計 が設置されており、この観測記録も分析に用いることとしている。観測は、2017年12 月より開始した。

c) 地震観測記録の分析

表 3-2-(4)-2に観測開始時点より 2019 年 3月 25 日までに記録された地震の諸 元を示す。表に示したように、観測開始から、9 地震が観測されている。ただし、2018 年 10 月 14 日以降の地震については、震度計の記録が未回収であるため、今後回収し、 分析を進めることとしている。また、表中に「×」で示しているが、地震によっては 最大加速度がトリガレベルに達しなかったため、記録が得られていない地震計もある。 対象建物で観測された地震の震源と最大加速度分布図(http://www. kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/)¹⁾を図 3-2-(4)-2に示す。図中の★は震央、〇 は対象建物位置である。観測された地震は、愛知県内、およぼその周辺で発生した地 震が5 地震、紀伊水道の地震が3 地震、及び大阪府北部の地震である。ただし、地震 (1-3)は、震源深さが6 km~13 km と他に比べると浅い。また、碧南市の計測震度は0 ~3で、半数以上が1 ないし2で地震動としては比較的小さい。

以降では、①~③の3地震について詳細な分析を行った。3地震のうち、2地震(①、 ②)は、愛知県内で発生しており、震央、震源深さがほぼ同じであるがマグニチュー ドが②の方が大きい。もう1つの地震(③)は、2018年の大阪府北部の地震である。 これらの地震に対する碧南市の震度は2~3であった。



写真3-2-④-1 観測対象とした庁舎建物の外観(南側より)

	表 3 - 2 - ④ - 1 計測対象建物の概要
面積:	建築面積 4,524.29 m ² 、 延床面積 18,008.59 m ²
階数:	地上 10 階(搭屋 8~10 階)、地下 1 階
高さ:	最高高さ 59.9m、 建物高さ 32.9m
基礎:	杭基礎、基礎深さ(基礎版)GL-10.9m
重要度係数:	1.5 (目標値 2.0)
地盤種別:	第2種地盤
	竣工: 2000年1月



(a) 南北断面図

(b) 東西断面図

図3-2-④-1 対象建物の断面図、地震計(及び震度計)の位置

表 3 -	2 - (4) -	2	対象建物	で観測され	た地震の諸元	と記録が得	られた地震計
-------	-----------	---	------	-------	--------	-------	--------

	発生日	時間	帶市地方	北緯	東経	深さ	震源との距離	規模	三十 70 m	珀志士の便府	<u></u>	1 222	9階	9階
_	y.m.d	h:m	展天地名	度	度	km	km	М	取入展及	右用印の展及	GL	1泊	2gal	5gal
1	2018.04.14	10:36	愛知県西部	34.825	137.127	6	13.2	3.6	3	2	0	×	0	0
2	2018.04.14	15:13	愛知県西部	34.823	137.127	6	13.3	4.5	4	3	0	×	0	0
3	2018.06.18	7:58	大阪府北部	34.843	135.622	13	128.6	6.1	6 弱	2	0	0	0	0
4	2018.08.14	20:51	静岡県西部	34.752	137.497	37	59.0	3.9	3	1	0	0	0	0
5	2018.10.07	10:14	愛知県東部	35.037	137.573	42	67.6	5.0	4	2	未	0	0	0
6	2018.11.02	16:54	紀伊水道	33.695	135.195	50	219.8	5.4	4	1	未	×	0	0
2	2018.11.05	8:19	紀伊水道	33.727	135.283	45	210.4	4.6	3	-	未	×	0	×
8	2019.03.09	1:08	岐阜県美濃中西部	35.4	136.7	40	75.7	4.5	4	1	未	×	×	0
9	2019.03.13	13:48	紀伊水道	33.8	134.9	50	234.9	5.2	4	1	未	×	×	0



図3-2-④-2 対象建物で観測された地震の震源と最大加速度分布図¹⁾



図3-2-④-3 観測された加速度波形(①愛知県西部の地震)



図3-2-④-4 観測された加速度波形(②愛知県西部の地震)



図3-2-④-5 観測された加速度波形(③大阪府北部の地震)

図3-2-④-3~5に各地震で観測された加速度波形を示す。地震①については、 図3-2-④-3から、水平2方向については、最大加速度が地表に比べて9階で低 減しており、地盤一建物間の入力損失効果が認められた。その一方で上下成分につい ては、明確な効果は認められなかった。地震②については、、図3-2-④-4から、 特に EW 方向では明瞭な入力損失効果が認められるものの、地震①に比べるとその効果 は相対的には小さい。同じ場所で発生した地震であるが、マグニチュードの違いによ り発生した地震波の振動数特性が異なっていたことが考えられる。地震③については、 図3-2-④-5から、地震①、②と異なり、1階で加速度が若干低減しているが、 9階は、特に水平動で地表に比べて大きく増幅していることわかる。また、遠方の浅 い場所で発生した地震であることから、継続時間も地震①、②と比べて、特に建物内 で非常に長くなっている。図3-2-④-6、及び図3-2-④-7に、地表で観測 された加速度波形から算定した擬似速度応答スペクトル(減衰5%、地震別)及び擬似 速度応答スペクトル(減衰5%、方向別)を示す。いずれも最大加速度で基準化してい る。図3-2-④-6において、②と③を比較すると、③については、上下と水平方 向でスペクトル形状が非常に似ており、マグニチュードが大きく、かつ観測からやや 離れた地震であることから、①,②に比べて、表面波が多く含まれた記録が得られた と推測される。一方、図3-2-④-7において、成分別で比較すると、マグニチュ ードが大きい地震ほど、特に水平成分の卓越周期が長周期化するともに、速度振幅が 大きくなることが分かる。さらに、②と③を比較すると、遠方でマグニチュードが大 きい地震では、卓越周期がさらに長周期化するともに速度振幅が大きくなっている。 以上から、同程度の震度であっても、



 ①愛知県西部の地震
 ②愛知県西部の地震
 ③大阪府北部の地震
 図3-2-④-6 観測された加速度波形から算定した擬似速度応答スペクトル(減 衰 5%、地表、地震別、最大加速度で基準化)



 ①NS成分
 ②EW成分
 ③UD成分
 図3-2-④-7 観測された加速度波形から算定した擬似速度応答スペクトル (減衰 5%、地表、成分別、最大加速度で基準化)



 図3-2-④-8 観測された加速度波形から算定した擬似速度応答スペクトル(減 衰 5%、9 階、成分別、最大加速度で基準化)

地震規模や発生場所等によって、建物に入力される地震動特性は大きく異なることが 明らかとなった。今回、常時微動計測による本対象建物の一次固有周期はNS方向で約 0.7秒、EW方向で約0.6秒であることを考慮すると、地表最大加速度が同じ場合でも、 ①や②のタイプよりも③のタイプの地震の方が、上部建物がよく揺れる可能性がある ことが分かる。図3-2-④-8に9階における観測記録をそれぞれ地表の最大加速 度で基準化した波形から算定した擬似速度応答スペクトル(減衰5%)を成分毎に示す。 この計算では、基礎構造による入力損失効果が含まれていることに注意が必要である。 この結果からも、上述の傾向が表れていることが分かる。なお、ここではあくまで地 殻内地震だけを扱った検討であることに留意が必要である。

図3-2-④-9に、地表に対する9階の伝達関数(水平2方向)について、3地 震を重ねて示す。また、表3-2-④-3に伝達関数から推定した建物の固有振動数、 減衰定数を9階の最大加速度応答をまとめて示す。また、表3-2-④-4は建物の 固有振動数、減衰定数の常時微動と地震記録での比較である。これらの結果から、微 動計測結果による建物の固有振動数がもっとも高く、9階の水平方向の加速度応答が 大きい地震ほど低振動数化している傾向が認められる。また、地震観測からもNS成分 で1.5~2Hz付近にねじれ振動が表れている(桃色破線)。

図 3-2-④-10 に③大阪府北部の地震における有効入力動(1F/GL)を示す。この結果から、地表の地震動に比べて1階の地震動が低振動数側から4Hzにかけて徐々に低減(1以下)しており、地下室の存在による入力損失効果が認められる。



(a) EW 成分

(b) NS 成分

図 3-2-④-9 地表に対する 9 階の伝達関数の比較

表 3	-2 -	-4 - 3	9階の	り最大カ	11速度応答	と建物の)固有振動数、	減衰定数の	の関係
-----	------	--------	-----	------	--------	------	---------	-------	-----

		EW		NS			
とも	9階の最大加速度	固有振動数	減衰定数(1/2 h)	9階の最大加速度	固有振動数	減衰定数(1/2 h)	
地展	(cm/s/s)	(Hz)	(%)	(cm/s/s)	(Hz)	(%)	
①愛知県西部 の地震	18.5	1.52	2.24	9.9	1.36	2.81	
②愛知県西部 の地震	89.3	1.32	2.10	66.4	1.31	0.78	
③大阪府北部の地震	23.5	1.47	1.34	52.2	1.32	0.87	

	E	W	NS		
	固有振動数	減衰定数(1/2h)	固有振動数	減衰定数(1/2h)	
	(Hz)	(%)	(Hz)	(%)	
①愛知県西部の地震	1.52	2.24	1.36	2.81	
 ②愛知県西部の地震 	1.32	2.10	1.31	0.78	
③大阪府北部の地震	1.47	1.34	1.32	0.87	
微動(8F/GL)	1.6	2.85	1.4	2.17	

表3-2-④-4 建物の固有振動数、減衰定数の常時微動と地震記録での比較



図 3-2-④-10 有効入力動(1F/GL)(③大阪府北部の地震)

d) まとめ

ここでは、実在する愛知県内の自治体庁舎を対象として多点同時の地震観測を行い、 中小地震時の建物の詳細な振動特性分析を行った。これより、震源特性や震源位置等 によって、上部建物応答に違いが現れること、建物内の最大加速度が大きいほど建物 の一次固有振動数が低振動数化する、いわゆる振幅依存性が認められること、NS 方向 ではねじれ成分の増幅があること等が明らかになった。

(c)結論ならびに今後の課題

実在する愛知県内の自治体庁舎を対象として、南海トラフの地震に対する被害予測 のため、地震観測記録に基づき、中小地震時の建物の詳細な振動特性分析を行った。 今後は、これらの分析結果も参考に当該建物のモデル化を行い、南海トラフ地震に対 する被害予測を実施する予定である。

(d)引用文献

1) 防災科学技術研究所:強震観測網(K-NET,KiK-net)、http://www.kyoshin. bosai.go.jp/kyoshin/ ⑤ ライフライン

(a) 業務の要約

平成 30 年度は、南海トラフ巨大地震によるライフライン被害の早期復旧についての 検討を目的として、電力については、具体的な地域での電力の早期復旧におけるボト ルネックについて議論するとともに、そのうちの道路について、電力復旧の観点から の道路・区間に対する優先順位付けについて検討した。また、上水道については、具 体的な地域の水道網を対象に、現状の施設が被災した場合ならびにハード/ソフト対策 を講じた場合の施設被害を推計し、両者の比較を行った。

(b) 業務の実施方法

本章では、電力および上水道に着目して、南海トラフ巨大地震による電力復旧方策の検討と上水道被害の推計を行った。

電力については、産官学の連携の場(プラットフォーム)を活用し、電力復旧に係 るボトルネックについて議論するとともに、中でも電力復旧に不可欠な道路について、 具体的な地域における電力復旧の観点から、道路・区間に対する優先順位付けの方策 等について検討した。また、上水道については、昨年度までに構築した被害予測手法 を活用して具体的な地域の上水道システムの被害や断水による需要者への影響を想定 するとともに、別途サブテーマ 1-a で考案した各種の対策を実施した場合の減災効果 について検証した。

(c) 業務の成果

1) 電力

a) 南海トラフ地震による電力需給ギャップ対策の方向性

前報までの考察により、南海トラフ地震発災時における電力需給シミュレーション 事例について調査した結果、季節・時間帯によっては2週間から1か月程度の電力需 給ギャップが生じ、需供双方によるギャップ抑制の対応が必要になることが解った。 また、需給ギャップ解消のための地域連携の取組み事例として、西三河防災減災連携 研究会において地域連携の現状と課題に関するワークショップを実施した結果、行政 やインフラ事業者等の双方が互いに被害復旧に関する知見や対応方針を共有しておく ことが重要であることがわかり、そのための産官協働で課題解決を考える枠組構築の 有効性が把握できた。とりわけ、南海トラフ巨大地震のような広域災害においては、 復旧リソースが限られることが明白であることから、具体的地域における組織間相互 の対策方針の整合や復旧の優先順位等についての意見交換および合意形成をしておく ことが有効となる。

b)電力復旧に供する重要道路の抽出検討

上述のように、膨大な復旧リソースが求められる南海トラフ巨大地震による復旧活動については、各組織間でその復旧方針や優先順位などについてあらかじめ議論して おくことが重要である。また、これら議論を進め、実効性をともなったものとするた めには、具体的な地域を特定し、その地域の特性を踏まえるとともに、地域に根差す 様々な組織が共通して抱える課題を具体的に設定することが有効となる。

前報までの平成23年東北地方太平洋沖地震や平成28年熊本地震における電力の復 旧過程でも見たように、電力設備・ネットワークの早期復旧には、被災設備・箇所へ の人材・物資を早期に投入することが求められ、そのための道路啓開が重要となる。 また、ある観点からの道路・区間への優先順位付け方策として実施した試検討からは、 復旧活動のタイミング(タイムライン)によっては、要求される観点(人命救助、維 持、再建など)が変化するとともに、具体的な地点で、その地域に根差したより実際 的なデータを用いて検討を行うことが重要となる。

これらを踏まえ、本検討では、具体的地域として碧南市において、復旧活動に欠く ことのできない重要な社会基盤である道路の早期啓開を具体的検討課題として、発災 直後の電力供給の観点から、ある道路・区間等に対する優先順位付けの方策について の検討を実施した。

なお、ある道路・区間に対する優先順位付けは、発災後の限られたリソースの中で の効果的な人材・資機材の投入先の選択・選定に供するだけでなく、事前対策として、 その優先順位に従って順次対策を講じていくことができるなど、限られた資金の中で 効果的な対策を進める上でも有意義なものと考えられる。

c)道路・区間の優先順位付けの方法および検討

道路は、主に人・モノを、ある地点(始点)から他のある地点(終点)へ運ぶため に用いられ、両地点を結ぶルートは、多くの場合、複数のルートを選択することがで きる。発災直後などの非常時においては、始点・終点間を結ぶ複数のルートから、被 災状況(通行の可否)を第一義的に加味してルートが選択されるが、平時においては、 これら複数のルートの内、移動時間や通行性などから効率的なルートが選択されてい る。このような平時において選択される道路・区間が、非常時にも使用できるのであ れば、より効率的・効果的な復旧・復興作業につながることと期待される。

本検討では、碧南市において、発災直後にも特に機能維持、延いては、電力の供給 が求められる施設として、災対本部(市役所)、警察・消防に加え、碧南市地域防災計 画(碧南市,2016)より、救急医療施設、下水排水機場施設、避難所施設をピックア ップして(以下、「重要施設」と記す。表3-2-(5)-1~表3-2-(5)-4)、これ ら施設への電力供給を観点に、電力設備復旧のための人材・資機材の運搬に供するル ートを平時の考え方で選択し、これら選択された多数のルートの重なり合う道路・区 間を、より重要度が高い道路・区間と考え、重なり合いに応じて、優先順位付けする こととした。

災対本部や警察・消防といった公共施設や救急医療施設などの重要施設では、非常 用発電機設備を導入するなど、停電への対策が進められているところもあるが、燃料 の備蓄量には限界もあり、やはり、これら施設の機能が十分に発揮されるためには、 商用電源の早期復旧が求められる。また、これら重要施設への電力供給を確保するた めには、当該施設の受電設備だけでなく、当該設備までの電力ネットワークが機能し なければならない。電力ネットワークでは、電力の性質として、発電所で作られた電 気が送電網を介して終端利用者へ運ばれる際、電気ロス低減および公衆保安などから、 発電所から終端利用者への流れの中で順次電圧を下げて届けられる。このような変圧 を行う主な電力施設が変電所であり、電力供給ネットワーク全体の中でもひとつの基 幹部となる。このことから、終端利用者への電力供給を確保するには、当該利用者へ の電力供給の基幹部となる変電所の機能維持・早期回復が、電力復旧の要となるとと もに、基幹部となる変電所と当該利用者との間の配電ルートの確保が重要な一要素と なる。

これらを踏まえ、本検討では、重要施設および碧南市内の各変電所を電力復旧のた めの人材・資機材等の運搬先(終点)として選定し、人材・資機材の運搬元となる電 力設備復旧部隊の拠点(始点)を、碧南市を管轄する中部電力・刈谷営業所として選 定して(中部電力 Web ページ:営業所・サービスステーション(愛知県): https://www.chuden.co.jp/corporate/company/officelist/eigyosho/eig_aichi/ind ex.html)ルート検索および重要となる道路・区間の検討を行うとともに、各変電所一 各重要施設間についても同様の検討を行った。なお、碧南市周辺の各変電所について は、住宅地図等から検索し、各重要施設と電力供給元となる変電所との関係は、各重 要施設から距離的に最も近い変電所と仮定して検討を行った。

始点・終点間のルート選定については、カーナビなどで経路探索に用いられるダイ クストラ法(Dijkstra, 1959)によりルートを特定した。なお、その際、高速道路・ 有料道路はルート検索対象から除外した。そして、各始点・終点間のルートが重なり 合う部分の重複数を算定し、重複数が多い道路・区間をより重要な道路・区間として 抽出した(図3-2-⑤-1)。

図3-2-⑤-1~3は、上記方法で検索されたルートのうち重複数の多い道路・ 区間がより太く、また青→紫→赤と着色して表示したものである。

碧南市は、東は矢作川に、西は衣浦湾に挟まれた半島の形状で、その地整的に南北を繋ぐルートが重要となることは明らかであるが、本検討(図3-2-⑤-1~2)からも、刈谷市から碧南市を結ぶ南北のルートが相対的に重要となる結果となっている。また、碧南市と刈谷市を結ぶ主な南北のルートとしては、R247、R419があり、これらは、第一次緊急輸送路として指定されているが、ハザードとの関係を見ると、液状化危険度の比較的高いエリアを通っている。一方で、本検討結果は、比較的液状化危険度の低いエリアを通り、南北を結んでいるが、当該ルートは、大部分が刈谷市・高浜市・碧南市における第三次緊急輸送路とされているものの、高浜市・碧南市間の一部分などでは緊急輸送路とはされていない区間もある。道路というものの性質上、首尾繋がることで使いうるものである以上、このような区間がきちんと繋がり、非常時にもきちんと使いうるということには大きな意義があると思われる。

また、電力ネットワークの基幹となる変電所と重要施設との間のルートについて検 討した(図3-2-⑤-3)が、これらはあくまで、電力復旧における例示的な検討 と言える。それは、上記のように、変電所と重要施設との間のルートをカーナビシス テムと同様に検索しているが、現実的に電気が運ばれる配電線が走るルートとは異な っているためである。現実において、ある変電所からある終端利用者までの配電ルー トは、公衆保安上、広く一般に知れ渡ることは現実的ではないし、またその必要も無 い。しかしながら、非常時における現実的な機能維持や早期復旧を考える場合には、 このような情報も重要なものとなることから、このような情報を扱いうる場、つまり、 機微な情報も取り扱えるような信頼感を持った関係者間のみでの検討の場を構築する ことが重要と言える。

$ \overline{x} = 3 - 2 - (5) - 1 $	碧南市内の医療機関	(碧南市,2016より)
--------------------------------------	-----------	--------------

名称 碧南市民病院	代表者 梶田正文	住所	電話	診療科目 内小精神内外整脳	救	病末
碧南市民病院	梶田正文	THE BELO C		内小精神内外整脳		
		平和町 3-6	48-5050	眼 小外 皮泌 産婦 耳 リハ 放 麻 歯口 ア 呼	0	7床
岡村産婦人科	岡村 誠	沢渡町29	41-2726	産婦		
奥田医院	奥田雪雄	若宮町4-4	41-1025	耳		
長田医院	長田和久	源氏町4-36	42-1200	外胃整皮		
長田眼科	長田三和子	源氏町4-8	41-0824	眼		
上平整形外科·内科	上平喜習	野田町52	41-4555	整外内呼ア		
加藤病院	加藤丈太郎	松本町158	41-6211	外胃肛内皮泌整	0	2床
神谷医院	神谷 研	中町1-51	41-0818	皮整		
医療法人愛生館 小林記念病院	小林武彦	新川町3-88	41-0004	外 整 泌 内 麻 呼 消	0	6床
さいとう医院	齋藤圭治	雨池町1-38	41-5800	循呼小外皮		
さかべ医院	坂部 慶幸	志貴町2-86	41-1923	内呼消循小		
作塚杉浦クリニック	杉浦勇人	作塚町3-10	42-5327	内消外肛皮小		
新川中央病院	安達一眞	松江町6-83	48-0009	整脳外皮内胃形	0	5床
SDC鈴木糖尿病内科	鈴木哲朗	東山町3-71	42-5800	内 糖		
杉浦医院	杉浦晴彦	音羽町2-6	41-0019	内		
板倉医院	板倉尚子	浅間町1-89	41-0900	小内		
高橋医院	高橋三俊	末広町2-31	42-2333	産婦 内 小		
医療法人杉田会 にしばたクリニック	高原 理	札木町2-74	42-2000	内間消小皮小		
みどりの香クリニック	近藤浩晃	向陽町1-41	43-3773	内循消小皮呼		
永井小児クリニック	永井 秀	栄町2-69	41-0202	小		
平岩医院	平岩堅太郎	中山町6-55	48-3434	内循眼		
碧南クリニック	栗田聡子	植出町1-28	48-5155	内		
堀尾医院	堀尾 静	新川町5-108	48-0633	内外肛		
山中従天医館	山中寬紀	東浦町2-85	41-0707	内胃肝		
いくた整形外科	生田 譲	中山町3-31	48-5655	整リハ		
オオノ眼科クリニック	榆孝子	野田町130	46-3733	眼		
小林クリニック	小林 学	立山町1-10	43-0388	内外呼皮 小整		
原田医院	原田 公	湖西町1-50	46-3655	内 消 胃		
田中眼科	田中浩人	伏見町3-21	43-5331	眼		
耳鼻咽喉科 ふじうらクリニック	藤浦一喜	二本木町2-50	43-4567	耳ア		
もぎ内科クリニック	茂木仁志	中山町1-25	46-6660	内呼ア小		
わしづかクリニック	西中康人	旭町4-32-1	45-2535	内循小アリハ		
小町こどもクリニック	小町昭彦	三宅町1-80	46-5885	小ア		
あおい皮フ科クリニック	三谷有史	白砂町3-27	91-7201	皮形ア		
エンゼルこどもクリニック	山路和孝	市沢渡町92	45-2525	小		
エンセルこどもクリニック 山路和孝 市沢渡町92 45-2525 小 内…内科 婦…婦人科 消…消化器科 産婦…産婦人科 リウ…リウマチ科 外…外科 精…精神科 循…循環器科 神内…神経内科 耳…耳鼻いんこう科 眼…眼科 胃…胃腸科 泌…泌尿器科 脳…脳神経外科 皮泌…皮膚泌尿器科 小…小児科 神…神経科 呼…呼吸器科 小…小児外科 リハ…リハビリテーション科 皮…皮膚科 放…放射線科 肛…こう門科 ア…アレルギー科 歯口…歯科口腔外科						

	ポンプ場名	設置場所	口径(mm)	排水量(m³/分)	台数	型式
4	根目が一般	梅沢町の丁日	800	81	2	横軸斜流
1	堀川ハンノ場	温供町21日	1,100	162	2	立軸斜流
2	源氏町ポンプ場	源氏町1丁目	500	40	1	水中ポンプ
3	汐田町ポンプ場	汐田町1丁目	350	20	1	水中ポンプ
4	ーッ橋ポンプ場	岬町2丁目	1000	133	4	立軸斜流
5	毎日ポンプ相	毎川町6丁日	800	72	1	立軸斜流
o	和川小ンノ場	利川町01日	350	18	1	立軸軸流
C	吹上ポンプ場	ゆ し町 4 丁 日	400	25	2	水中ポンプ
0		火工町41日	500	36	1	水中ポンプ
7	権現ポンプ場	権現町4丁目	400	25	1	水中ポンプ
8	雨池ポンプ場	雨池町2丁目	1,000	150	5	立軸斜流
			800	69	2	横軸軸流
9	伏見屋排水機場	雨池町2丁目	500	25	1	横軸軸流
			1,350	250	1	横軸軸流
10	平七ポンプ場	平七町5丁目	600	45	2	ゲートポンプ
11	陣屋ポンプ場	湖西町5丁目	700	58	2	ゲートポンプ

表3-2-⑤-2 碧南市内の下水道排水機場(碧南市,2016より)

No.	施設名	所在地	電話	構造	面積 m ²	収容可 能人員	備考
1	新川小学校体育館	新川町2-1	41-0998	鉄筋IF	1,120	560人	
2	新川公民館	新川町2-1-1	41-2103	鉄筋F	135	67	ホール
3	羽久手保育園	鶴見町6-17	41-1475	鉄筋2F	130	65	遊戲室
4	碧南工業高等学校体育館	丸山町3-10	42-2500	鉄骨1F	1,270	635	
5	中央小学校体育館	向陽町3-19	42-8700	鉄骨1F	1,009	504	
6	中央中学校体育館	植出町5-2	42-3223	鉄筋IF	1,368	684	
7	保健センター	天王町1-70	48-3751	鉄筋4F	105	52	ロビー
8	大浜公民館	中町1-53	42-1182	鉄航2F	187	93	ホール
9	大浜小学校体育館	浜田町1-1	41-0990	鉄筋IF	1,177	588	
10	南部市民プラザ	塩浜町7-135	42-8211	鉄筋2F	1,158	579	アリーナ
11	棚尾小学校体育館	春日町1-5	41-0993	鉄骨1F	1,163	581	
12	棚尾公民館	汐田町2-28	41-0892	鉄筋4F	223	111	ホール
13	前浜集落センター	前浜町1-80	42-9616	鉄筋F	348	174	大研修室
14	川口農業センター	川口町1-24-2	42-9766	鉄筋F	272	136	大研修室
15	日進小学校体育館	日進町4-1	41-0995	鉄骨鉄筋IF	650	325	
16	日進公民館	日進町2-92	48-2678	鉄筋F	169	84	ホール
17	東部市民プラザ	照光町5-3	46-1188	鉄骨鉄筋IB2F	1,143	571	アリーナ
18	東中学校体育館	天神町3-88	41-0994	鉄筋IF	1,135	567	
19	鷲塚小学校体育館	旭町2-30	41-0996	鉄骨鉄筋IF	925	462	
20	鷲塚公民館	旭町2-66	48-5412	鉄筋2F	170	85	ホール
21	荒子保育園	笹山町3-29	42-0138	鉄筋2F	162	81	遊戱室
22	西端小学校体育館	上町3-1	48-1542	鉄航2F	700	350	
23	西端区事務所	半崎町3-60	48-1217	鉄筋IF	116	58	ホール
24	農業者站动行	神田町2-6	42-5888	鉄筋IF	711	355	
25	勤労者体育センター	新川町2-1-1	41-2103	鉄筋IF	720	360	
26	新川中学校体育館	新川町1-1	41-0997	鉄筋IF	1,298	649	
27	新川保育園	金山町1-27-4	41-1476	鉄的2F	104	52	
28	碧南市文化会館	源氏神明町4	42-3511	鉄筋F	1,250	625	
29	天道保育園	末広町2-31	41-0077	鉄筋2F	120	60	
30	南中学校体育館	春日町1-1	41-0991	鉄的2F	1,089	544	
31	碧南市臨海体育館	浜町2-3	48-5311	鉄骨鉄筋F	1,775	887	
32	棚尾ふれあい館	棚尾本町5-35	46-4746	鉄骨2F	149	74	
33	防災の家	鴻島町6-67	42-8566	鉄骨1F	82	41	
34	西端下区民館	油渕町1-1		鉄骨1F	206	103	
35	西端保育園	札木町3-202	42-2566	鉄筋2F	126	63	
		合 計			22, 465	11, 225	

表 3-2-5-3 碧南市の指定する避難所(碧南市,2016より)

No.	福祉避難所名	住所(碧南市)	電話番号	受入人数 (人)	受入場所
1	時間養護老人ホーム川口結いの家	UL D HT 1-179	46-5210	6	地域集いの部屋(1F)
1	村前後護老八小一五川口船(10)家	/при иј I-170	40 0210	6	レクレーションルーム(4F)
2	特別養護老人ホームひまわり	鷲林町4-109-1	41-0865	20	地域交流センター(1F)
3	特別養護老人ホームシルバーピアみどり苑	油渕町3-50	48-7111	6	機能訓練室(1F)
4	ふれあい福祉園ガイア	中山町1-7	48-3980	20	生活指導室、会議室 2室、プレイルーム、廊下 の一部(全て2F)
5	碧南ふれあい作業所	中山町1-16-1	46-2941	40	室内運動場(3F)
6	あおみJセンター	相生町4-110	46-8295	4	作業室(1F)
7	碧南市養護老人ホーム	鷲林町4-109-1	41-0895	2	集会室・食堂(1F)

表 3-2-5-4 碧南市・福祉避難所(碧南市, 2016 より)



図3-2-5-1 碧南市周辺における検討結果①(営業所-重要施設)



図3-2-5-2 碧南市周辺における検討結果②(営業所-変電所)



図3-2-5-3 碧南市周辺における検討結果③(変電所-重要施設)

2) 上水道

a) はじめに

地震による上水道システム被害(断水の発生)を想定する手法として、「南海トラ フ巨大地震対策検討WG」の最終報告(内閣府、2013)における上水道の被害想定手法 がある。この手法では、上水道の被害量に影響する要素として、水道管の諸元(管種 や口径等)や、津波や停電による浄水場の停止等が考慮されているが、簡易的な予測 に留まっている。本研究は、水供給システムの特徴である連続性(取水〜浄水〜送配 水に関わる施設・管路等の全ての設備が無被害で供給可能)や、ネットワーク(隣接 市町村や他系統からのバックアップ等)等を考慮した、上水道被害想定手法の高度化 を目指すものである。

平成 25、26 年度では、上述した内容を含む、国および自治体の上水道被害想定手 法が抱える課題を明らかにし、それらを克服する高度化した被害想定手法の構築を試 みた。平成 27 年度は、構築した被害想定手法を用いて、愛知県内のある市町村を対象 に、南海トラフ巨大地震時における上水道設備の被害想定および復旧予測を実施した。 これらの検討を通じ、浄水場や配水池等の構造物や上流側の施設にもたらされる被害 を考慮した、より正確な被害予測が可能となった他、断水による需要者への影響を定 量的に評価することが可能となった。平成 28 年度では減断水による影響を水の需要者 の視点で評価すべく、仮想評価法(CVM)を用いた環境の金額的評価を実施した。

上記の検討に加えて必要となるのが、被災による施設被害や需要者への影響を低減 するための減災計画策定に資する知見である。平成29年度では、実際の水道事業体(碧 南市水道課)と議論・考案した減災対策のうち、管路や施設の耐震化をはじめとする 各種ハード対策を講じた際の減断水の低減効果について検証した。

本年度業務では主に、応急給水栓の効率的な運用、被災した管路の効率的な復旧、 市民に水の備蓄を促す啓発活動等のソフト的対策がもたらす減災効果について明らか にする。

b)検討対象の減災対策案と本年度の取り組み範囲

サブテーマ 1-a にて考案(詳細は、同サブテーマの報告書を参照)した碧南市水道 の減災対策案と、1-b でシミュレーションを行う年度について表3-2-⑤-5の通 り整理する。なお、サブテーマ 1-a の今年度業務では、上水道システムの復旧シミュ レーションのインプット条件である運搬給水車の稼働台数、ならびに管路修繕班の組 数について見直しを行っている。それに伴い、昨年度検証した Case0~Case4 について もこれらの条件下で再度シミュレーションを実施していることを補足する。

表3-2-⑤-5 碧南市水道事業における減災対策案(サブテーマ1-a)で考案)

想定した対策		サブ 1-b) 検討在度	前提条件
 なし(現況)	Case0	H29%	2 つの配水拠点の内、主要な第2配水場のみ 耐震性あり、の条件
	Case1	H29 ※	第2配水場に加えて、第1配水場を耐震化し た場合
	Case2	H29 ※	第1配水場の有効貯水量を、5,500 m ³ から1 万m ³ に増量した場合
市独自の施設整備	Case3	H29 ※	小口径管路延長の大半を占める、経年塩ビ管 の耐震化を実施した場合
	Case4	H29 ※	 口径 150mm 以上の耐震化を実施した場合 (昨年度報告書にて「200mm 以上」と記載 したが、誤り。)
	Case5	H30	給水ブロックの細分化を実現し、細かいエリ アでの給水開始や遮断が可能となった場合
連携による施設整備	Case6	H30	愛知県水道との支援連絡管や、近隣市町村行 政との緊急時連絡管、応急給水支援設備を活 用した場合
需要者の自助による 対策	Case7	H30	水道需要者一人あたり 3L/日×3 日の飲料水 を備蓄した場合
乳面的復口	Case8	H30	被害の集中するエリアで修繕に替えて仮設 管路の敷設を実施した場合
計画的復口	Case9	H30	仮設給水栓を早期に立ち上げた場合
	Case10	H30	市内に耐震性緊急貯水槽を設置した場合
上記対策を複数実施	Case11	H31	上記からいくつかを選択して実施した場合

※今年度のサブテーマ 1-a でインプット条件を見直し、再度シミュレーションを実施。

c)シミュレーション結果の考察

本項では、Case1~Case10の各対策を行った場合の減災効果を、「完全復旧までの期間を短縮する効果」と「ある時点における給水水準を向上する効果」に分けて、Case0 (現況)と対比しながら示す。

i)完全復旧までの所要期間を短縮する効果:表3-2-5-6

Case3~Case5 では耐震化で管路被害の発生件数が減少し、それに伴い復旧に要する 日数の短縮が認められる。一方 Case8 では被害件数は Case0 と相違ないが、仮設管路 の敷設による復旧速度の向上が影響して復旧日数が短縮されていることがわかる。

	管路被害件数	復旧日数
Case0:現況	2,146件	123日
Case3:経年塩ビ管の耐震化	1,691件	100日
Case4:口径150mm以上の耐震化	2,000件	107日
Case5:ブロック細分化に伴う管路耐震化	2,091件	120日
Case8:仮設管路の敷設による応急復旧	2,146件	104日

表3-2-5-6:完全復旧までの所要期間を短縮する対策とその効果

ii)ある時点における給水水準を向上する効果:図3-2-5-4~9

Case1、Case2、Case6、Case7、Case9、Case10 ではそれぞれの時点(主に発災後 初期)における応急給水可能量の改善を図ることで、給水水準の増大を果たしてい る。



図3-2-5-4: Case1 実施時の給水水準増大効果



図 3-2-5-5: Case2 実施時の給水水準増大効果



図3-2-5-6:Case6 実施時の給水水準増大効果



図 3-2-5-7: Case7 実施時の給水水準増大効果



図 3-2-5-8: Case9 実施時の給水水準増大効果



図 3-2-5-9: Case10 実施時の給水水準増大効果

(d) 結論ならびに今後の検討方針

上記「1)電力 c) 道路・区間の優先順位付けの方法および検討」では、碧南市にお いて、発災直後にも特にその機能維持が求められる施設への電力供給を観点に、重要 な道路・区間について検討した。本検討では、災対本部や警察・消防といった公共施 設に加え、救急医療施設、下水排水機場施設、避難所を対象としたが、実際の災対オ ペレーションとして、これらで十分か、取捨選択の如何など、実情に則したものとす る必要がある。また、具体的な対象施設への配電ルートについても同様である。この ような個別具体の情報は、広く一般に知られるとかえって社会的に悪影響を及ぼすこ ともあるが、災害対応を検討する上ではなくてはならないものでもある。そのため、 このような情報を扱い得る場、つまり、機微な情報も取り扱えるような信頼感を持っ た関係者間のみでの検討の場を構築すること進めるとともに、そのような場で具体的 情報を活用しながら検討を進めることが重要である。

また、上水道に関する本年度の検討では、Case1~Case10 までの各個の対策を講じ た際の減災効果について検証し、それぞれが異なる形で減断水の低減をもたらすこと を確認した。今後の検討では、これらの対策を複合的に実施した際の減災効果検証や、 費用対効果を考慮した上での対策の優先順位付け等について碧南市と議論しながら取 り組む。

- (e) 引用文献
- 1) 碧南市,碧南市地域防災計画, 2016, Available at: http://www.city.hekinan.lg.jp/ soshiki/shiminkyoudou/bosai/3/1061.html
- Dijkstra, E. W., 「A Note on Two Probles in Connexion with Graphs」. Numerische Mathematik, Vol. 1, No. 1, pp. 269-271, 1959.
- 3) 内閣府:南海トラフ巨大地震の被害想定項目及び手法の概要~ライフライン被害,交通

施設被害,被害額など~,2013.

⑥広域リスク評価

(a) 業務の要約

本業務では、発災後の災害シナリオ高度化のため、平成 29 年度に利用した応用一 般均衡モデルの非製造業の産業部門を細分化するとともに、南海トラフの地震・津波 が発生を想定した6つのシナリオを対象に間接被害を試算した。さらに、被災地の災 害パターンについて過去の被害地震を参考に類型化する手法を検討するとともに、設 定したシナリオが発生した場合を想定して検討した手法を適用して被災地の災害パタ ーンの類型化を試行した。

(b) 業務の実施方法

間接被害予測手法の高度化は、東日本大震災の各種経済指標等を参考に、平成 29 年度に利用した8地域23部門の応用一般均衡モデルの非製造業を細分化した。その上 で、南海トラフの地震・津波が発生した場合に、社会・経済的に厳しい状況に置かれ ると考えられる6つのシナリオを設定し、設定したシナリオに従って地震・津波が発 生した場合の間接被害を試算した。

災害パターンの類型化は、1995年兵庫県南部地震以降の被害地震における被災地の 被害状況や当時の社会・経済状況等を調査し、被災地の特徴を示す指標値を設定した。 設定した指標値を利用して類型化する手法を検討するとともに、被害地震の被災地に 適用してその妥当性を確認した上で、設定したシナリオが発生した場合の被災地の類 型化を試行した。

(c) 業務の成果

a)間接被害予測手法の高度化

平成29年度に利用した8地域23部門の応用一般均衡モデルの産業分類は図3-2 -⑥-1のようになっており、製造業は日本標準産業分類(総務省,2013)の中分類相 当、非製造業は第1次産業が1分類、第2次産業は2分類、第3次産業は3分類にし か分類されていない。2010年度・11年度の岩手県・宮城県の圏域別の市町村民経済計 算(岩手県政策地域部,2018及び宮城県震災復興・企画部,2018)を確認すると、津波 被災地では製造業だけでなく非製造業の落ち込みも大きいこと、一部の非製造業では 津波被災地以外の落ち込みが大きいこと、東京都の第三次産業活動指数(東京都, 2018)も1~2割低下していることを確認した。さらに、国民経済計算(内閣府,2018) から8地域23部門モデルのサービス業に該当する部分の構成比は約7割を占め、同部 門内の取引関係がモデルに反映されていないことから、各産業間の取引関係を適切に 反映させることを目的に、非製造業の産業部門の細分化を実施した。具体的には、図 3-2-⑥-1に示すように、23部門モデルのサービス業を「卸売・小売」「金融・ 保険」「不動産」「運輸・通信」「その他サービス」に5分割し、8地域27部門モデル に改良した。

第1次産業				
	農林水産業	金属製品	サービス	細分化
第2次産業	ふ 鉱業	一般機器		
(除製造業)	飲食料品	電気機器		卸売・小売
第2次産業	> 繊維	自動車		金融・保険
(毀垣集)	製紙・印刷	輸送機器関連部品		不動産
	化学	その他輸送機器		運輸・通信
	石油・石炭	精密機器		
	プラスチック	その他製造業		<u> </u>
	窯業・土石	建設業 <	第2次産業	
	鉄鋼	電力		
	非鉄金属	ガス・水道 🗧	第3次産業	



図3-2-⑥-2 岩手県・宮城県の産業別市町村内総生産の増減率

b) 間接被害の試算

南海トラフで地震・津波が発生した場合に、社会・経済的に厳しい状況に置かれる と考えられるシナリオを設定するとともに、設定したシナリオが発生した場合の間接 被害を試算した。

シナリオの設定にあたっては、南海トラフでの過去の地震の発生状況や南海トラフ 沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討ワーキンググループ(以降、「WG」と称 す)(中央防災会議,2017)の報告等を参考にシナリオを設定した。WGでは、南海ト ラフで観測される可能性が高く、かつ大規模地震につながる可能性があり、社会が混 乱するおそれがある典型的なケースとして4つのケースを想定している。これらのケ ースは、(1)南海トラフで半割れ(東側)の地震が発生した場合、(2)南海トラフで規 模の想定よりも小さいM7クラスの地震が発生した場合、(3)なんらかの前兆現象が観 測された場合、に分類できることから、これらの現象が発生した後の南海トラフ等の 地震活動も想定してシナリオを設定した。さらに、WGでは想定していない首都圏で の地震発生後の発災、南海トラフの西側で先に地震が発生した場合、昭和の南海トラ フの地震のように、2つの半割れの地震の間に内陸で地震が発生した場合など、社会・ 経済的に厳しい状況が発生するシナリオを6つ設定した。設定したシナリオを図3-2-⑥-3に示した。

《シナリオ1》
 南海トラフ東側で地震(Mw8.3)が発生し、その2か月後に西側で地震(Mw8.7)が発生。
 《シナリオ2》
 紀伊半島沖で地震(Mw7.3)が発生し、その半年後に南海トラフ全域で地震(Mw9.1)が発生。
 《シナリオ3》
 東海地震の震源域で前兆現象が観測され、政府から「南海トラフ地震に関連する情報」が発表されたが、何も発生せずに、2年後に南海ラフ全域で地震(Mw9.1)が発生。
 《シナリオ4》
 都心南部直下地震(Mw7.3)が発生し、その2か月後に南海ラフ全域で地震(Mw9.1)が発生。
 《シナリオ5》
 南海トラフ西側で地震(Mw8.7)が発生し、その2年後に東側で地震(Mw8.3)が発生。
 《シナリオ6》
 南海トラフ東側で地震(Mw8.3)が発生し、その1か月後に猿投 – 高浜断層帯(Mw7.1)で地震が発生、さらに、その1年11か月後に西側で地震(Mw8.7)が発生。

図 3-2-⑥-3 設定したシナリオ

図3-2-⑥-3に示した各シナリオの間接被害を試算した。試算には a)項に示した 8 地域 27 部門の応用一般均衡モデルを利用した。本業務で利用した応用一般均衡モデルの家計、企業、地域間交易の構造を図3-2-⑥-4に示した。



(c) 地域間交易図3-2-⑥-4 家計、企業、地域間交易の構造

各シナリオの地震ハザードは、全国地震動予測地図(地震調査研究推進本部地震調 査委員会,2018)の簡便法と同様に、距離減衰式により推定した。津波ハザードは南 海トラフで発生する地震のみを対象に、遡上シミュレーションにより算出した50mメ ッシュ単位の浸水深データを用いた。なお、遡上計算にあたって堤防は考慮していな い。地震動による資本の毀損は中野ほか(2013)により算出し、津波による資本の毀損 は、浸水したメッシュ内の資本は100%毀損と仮定して、地震・津波による各地域の資 本の毀損率を設定した。

各シナリオの間接被害額を図3-2-⑥-5に示す。シナリオが複数の地震で構成 される場合は、最初の地震発生を起点とし最後の地震が発生した1年後を終点とした 期間を間接被害額の算出期間とした。試算の結果、間接被害額が最も大きくなったの は、南海トラフの地震(東側および西側)と猿投ー高浜断層帯の地震が発生したシナ リオ6の約141兆円、次いで、都心南部直下地震と南海トラフの地震(全域)が発生 したシナリオ4で約112兆円となった。また、南海トラフの地震(全域)が発生する シナリオ2・3は、ともに約85兆円前後であった。シナリオ6で間接被害額が最も大 きくなったのは対象期間が36か月間と長かったためである。12か月平均で見た場合 は、シナリオ4が約96兆円と最大となった。

鉱工業生産指数の推移を図3-2-⑥-6に示す。シナリオ4では、都心南部直下 地震によって関東地域の鉱工業生産指数は地震前の80%程度まで低下し、その回復途 上で南海トラフの地震(全域)によって、北海道・東北も含め全国的に低下する。特 に、四国・中部・近畿は地震前の50%以下、関東も50~60%程度の水準まで低下し、経 済的にはかなり厳しい状況が想定される結果となった。また、シナリオ6では、中部 の鉱工業生産指数は南海トラフの地震(東側)発生後に3割弱低下し、さらに猿投-高浜断層帯の地震により地震前の4割強まで低下する。その1年11か月後の南海トラ フの地震(西側)発生前は地震前の90%程度まで回復するが、南海トラフの地震(西 側)により再度落ち込み、回復に向かうものの、最初の地震から3年経過しても地震 前の90%程度の水準に留まる結果となった。





c) 災害パターンの類型化の検討

本業務では、地域の特徴によって被害や復旧・復興状況が変化することから、これ を災害シナリオに生かすことを念頭に置き、地震・津波による被害の特徴や被害がも たらす社会的影響を地域毎に類型化する手法を検討した。具体的には、地震・津波に よりどのような災害の種類で被害を受けるかを示す『被害の様相』や、人口動態や社 会・経済的な地域性を示す『社会・経済的特徴』において、それぞれ類型を定義し、 2つの類型の組合せによって、地域で発生する災害パターンや復旧・復興状況等を市 区町村単位で示す手法を検討した。

『被害の様相』は、1995年兵庫県南部地震、2004年新潟県中越地震、2011年東北 地方太平洋沖地震、2016年熊本地震の被災地(住家全壊棟数 100棟以上の市区町村と した)を対象に、協会、都道府県、市町村等が被災後に発行した災害記録誌等を調査し、 「地震動」「液状化」「火災」「土砂災害」「津波」の要因別住家全半壊率を市区町村単 位で推定した。図3-2-⑥-7にその一例として 2011年東北地方太平洋沖地震の被 災市区町村の要因別全半壊率を示す。



図3-2-⑥-7 東北地方太平洋沖地震の被災市区町村の要因別全半壊率

『社会・経済的特徴』については、過去の被害地震における発災後の被災地の状況 を示すキーワードとして、「人口減少」「孤立化」「全村避難」「計画停電」「帰宅困難」 「サプライチェーン寸断」などを考えた。これらの特徴を示す統計情報として、「人口 増減率」「75歳以上人口率」「持家率」「他地域から電車・バスでの通勤人口」「第一次 産業人口の割合」「製造業の割合」を考え、これらの市区町村単位の統計値を『社会・ 経済的特徴』を示す値として利用することとした。

類型化にあたっては、要因別全半壊率や「社会・経済的特徴」を示す統計値を標本 データとして利用して、それぞれクラスター分析(ward 法)を実施し、「被害の様相」 を7類型、「社会・経済的特徴」を5類型に分類した。得られた各類型の特徴を、標本 データの中央値や四分位偏差を利用してレベル分けをし、各類型の特徴として整理し た結果を表3-2-⑥-1に示した。

表3-2-⑥-1 地域類型とレベル分けの基準

	地震動	液状化	火災	土砂 災害	津波
CLS1	L3	L2	L2	L1	L1
CLS2	L4	L1	L4	L1	L1
CLS3	L2	L1	L1	L1	L1
CLS4	L4	L1	L1	L4	L1
CLS5	L2	L1	L1	L1	L3
CLS6	L2	L1	L1	L1	L4
CLS7	L2	L4	L1	L1	L2

(被害の様相を示す地域類型)

(被害の様相のレベル分けの基準)

	レベル分けの基準	意味合い
L4	災害の種類iの中央値I _m が次の条件を 満たす場合 I _m ≧1	極めて被害が出や すい
L3	災害の種類iの中央値 I_m が次の条件を 満たす場合 $0 \leq I_m < 1$	被害が出やすい
L2	災害の種類 i の中央値 I_m 、四分位偏差 I_q が以下の条件を満たす場合 $I_m < 0, I_q > 0$	被害が出る可能性 がある
L1	災害の種類iの四分位偏差I _q が以下の 条件を満たす場合 I _q =0	被害が相対的に出 難い

(社会・経済的特徴を示す地域類型) (社会・経済的特徴のレベル分け基準)

	人口 増加率	75歳以 上割合	持家率	通勤通学 人口	1次産業 人口	製造業 人口
CLS-A	やや高い	やや低い	やや低い	やや低い	やや低い	やや高い
CLS-B	やや高い	やや低い	やや低い	やや低い	やや低い	低い
CLS-C	高い	やや低い	低い	高い	やや低い	やや低い
CLS-D	やや低い	高い	高い	やや低い	高い	やや低い
CLS-E	やや低い	やや高い	やや高い	やや低い	やや高い	やや高い

	レベル分けの基準		
高い	統計情報iの中央値I _m が次の条件を満たす 場合 I _m ≧1		
やや高い	統計情報iの中央値I _m が次の条件を満たす 場合 0≦I _m <1		
やや低い	統計情報iの中央値I _m が次の条件を満たす 場合 -1≦I _m <0		
低い	統計情報iの中央値Imが次の条件を満たす 場合 Im<-1		

No	市区町村	総合類型	被害の様相	社会·経済的特徴
1	神戸市長田区	CLS2-A	地震動と火災による被害が極めて出やすい地域	人口増加率、製造業従事者割合がやや高く、75歳以上人口割 合、持ち家率、1 次産業従事者割合はやや低い地域。
2	山古志村	CLS4-D	地震動と土砂災害による被害が極めて出やすい地 域	人口増加率、製造業従事者割合はやや低く、75歳以上人口割 合、持ち家率、1次産業従事者割合の高い地域。
3	陸前高田市	CLS6-D	津波による被害が極めて出やすい地域	人口増加率、製造業従事者割合はやや低く、75歳以上人口割 合、持ち家率、1 次産業従事者割合の高い地域。
4	浦安市	CLS7-B	液状化による被害が極めて出やすく、津波の被害 も出る可能性のある地域	人口増加率がやや高く、75歳以上人口割合、持ち家率、1 次産 業従事者割合がやや低く、製造業従事者割合は低い地域。
5	千代田区	CLS3-C	地震動による被害が出る可能性のある地域	人口増加率、公共交通機関の通勤通学者割合が高く、75歳以上 人口割合、1 次産業・製造業従事者割合はやや低く、持ち家率は 引くい地域。
6	益城町	CLS1-E	地震動による被害が出やすく、液状化や火災による 被害が出る可能性のある地域	人口増加率はやや低く、75歳以上人口割合、持ち家率、1 次産 業・製造業従事者割合のやや高い地域。

表3-2-⑥-2 過去の被害地震の被災地の類型結果抜粋(地震発生当時の類型)

また、表3-2-⑥-2には、クラスター分析によって得られた過去の被害地震の 被災地の類型結果の抜粋を示したが、それぞれの市区町村において、被災時の被害の 特徴や社会・経済的特徴を示すことができており、陸前高田市では津波の被害が出や すい地域であることや、東京都千代田区では帰宅困難者が発生する素因を表現できて いること等を確認した。

d) 類型化の試行

過去の被害地震の被災地から得られた2種類の地域類型を利用して、図3-2-6 -3に示したシナリオを構成する6つのシナリオ地震が発生した場合の類型化を試行 した。過去の被害地震の被災地における被害の様相、社会・経済的特徴を示す地域類 型は定義されているが、設定したシナリオ地震が発生した場合の被災市区町村がどの 類型に属するかを判別する必要がある。ここでは、類型の判別は清水ほか(2016)と同 様に、地域類型を定義する際に利用した全半壊率や統計値をサンプルデータとし、マ ハラノビス距離を利用した判別分析により、各シナリオ地震の被災地の類型化を実施 した。判別分析に利用するデータについては、被害の様相の類型化では、シナリオ地 震の地震・津波のハザード評価から算出された地震・液状化・火災・土砂災害・津波 による全半壊棟数を市区町村単位で集計して全半壊率に換算した値を利用した。社 会・経済的特徴を示す統計値は、2015年国勢調査等の最新の統計情報を収集・整理し たものを利用した。

地域類型の例として南海トラフの地震や都心南部直下地震が発生した場合の被害の 様相の類型分布を図3-2-⑥-8に、社会・経済的特徴の類型分布を図3-2-⑥ -9に示すとともに、シナリオ地震の被災地における各類型の構成比を図3-2-⑥ -10に示した。


(南海トラフ西側の地震)

(都心南部直下地震)

図3-2-⑥-8 シナリオ地震が発生した場合の被害の様相を示す地域類型



図3-2-⑥-9 社会・経済的特徴を示す類型分布



図3-2-⑥-8から、シナリオ地震の被害分布の違いにより、被害の様相を示す 類型分布も変化していることがわかる。基本的には、南海トラフの地震の場合、震源 域に近い沿岸市区町村では津波被害に特徴のある「CLS5」「CLS6」に分類される。また、 都市部では「CLS2」に分類される市区町村も点在しており、これらの地域では地震動・ 火災の被害が発生することが予想される。南海トラフ東側の地震(Mw8.3)や全域の地震 (Mw9.1)では大阪市の一部では「CLS2」に分類される結果となり、木造密集地域が分布 している影響と考えられる。また、南海トラフ全域の地震で地震動被害に特徴のある 「CLS1」となった市区町村数は 200 を超えており、津波被害が極めて大きい「CLS6」 も6つのシナリオの中で最大となっていて、その影響の大きさが伺える結果となった。 一方、図3-2-⑥-10からは、南海トラフの地震では、都心南部直下地震と比較 して、「CLS-D」「CLS-E」といった人口減少や高齢化が進んだ地域・1 次産業の構成比 の高い地域が被災地となる割合が高く、その傾向は南海トラフ東側よりも西側の地震 で顕著であること、逆に、都心南部直下地震や猿投ー高浜断層帯では逆の傾向がみら れ、被災後の復旧・復興等の状況が異なる可能性が定量的にも示された。

(d) 結論ならびに今後の課題

本業務では、発災後の災害シナリオ高度化のため、平成29年度に利用した応用一般 均衡モデルの高度化と、間接被害の試算を行った。さらに、被災地の災害パターンを 類型化する手法の検討を実施した。本業務で得られた成果と今後の課題を以下に示す。

 南海トラフにおける過去の地震発生状況や中央防災会議のWGの報告等を参考に、 社会・経済的に厳しい状況が発生するシナリオを6つ設定した。また、東日本大 震災の各種経済指標等を参考に、平成29年度に利用した8地域23部門の応用一 般均衡モデルを、非製造業の産業部門を細分化した8地域27部門モデルに改良す るとともに、設定したシナリオによる間接被害を試算した。シナリオが複数の地 震で構成されるため最初の地震発生を起点、最後の地震が発生した1年後を終点 した期間の間接被害を試算すると、南海トラフの地震(東側および西側)と猿投 ー高浜断層帯の地震が発生したシナリオ6の約141兆円(36か月間)が最大とな り、次いで、都心南部直下地震と南海トラフの地震(全域)が発生したシナリオ 4で約112兆円(14か月間)という結果を得た。

2) 過去の被害地震の被災地の要因別全半壊率や社会・経済的特徴を示す統計値から地 域類型を定義するとともに、6つのシナリオを構成する各地震が発生した場合の類型 化を試行した。今年度の類型化の定義は全半壊率や統計情報のみから定義したが、南 海トラフの地震・津波のような広域災害の場合、その影響は広域に及ぶため、上記1) で試算した間接被害を今後取り込んだ類型化について検討する必要がある。また、災 害シナリオの作成にあたっては、類型化に利用した統計値が被災地の復旧・復興状況 に与えた影響をより具体的に把握し、シナリオ作成に生かす必要がある。

3) 南海トラフで発生する地震の多様性を考えた場合、南海トラフで発生する地震を大 きくとらえ、地震・津波の発生状況の類型化についても検討する必要がある。 (e) 引用文献

- 総務省,日本標準産業分類,2013, http://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/index/seido/sangyo/index.htm.
- 2) 岩手県政策地域部, 平成 27 年度岩手県市町村民経済計算年報, 2018.
- 3) 宮城県震災復興·企画部, 平成 27 年度宮城県市町村民経済計算, 2018.
- 4) 東京都,第3次産業活動指数,2018, http://www.toukei.metro.tokyo.jp/ssisuu/ss-index.htm.
- 5) 内閣府, 国民経済計算(GDP 統計), 2018, https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/menu.html.
- 6) 中央防災会議 南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応検討ワーキング グループ,南海トラフ沿いの地震観測・評価に基づく防災対応のあり方について (報告),2017.
- 7) 地震調査研究推進本部地震調査委員会:全国地震動予測地図 2018 年版, https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/shm_re port_2018/.
- 8) 中野一慶,梶谷義雄,多々納裕一,地震災害による産業部門の操業能力の低下を 対象とした機能的フラジリティ曲線の推計,土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol. 69, No. 1, pp. 57-68, 2013.
- 9) 清水智,若浦雅嗣,小丸安史,藤原広行,中村洋光,森川信之,早川譲,地域に おける地震災害の類型化手法の検討,日本地震工学会論文集,第16巻,第3号, pp.169-182,2016.

⑦都市災害と経済被害

(a) 業務の要約

都市災害について、2018年度は復興シミュレーションの基礎分析として、住まいを 失った世帯が住宅を再取得する段階で、どのような移動を行うかに関する意向調査の 分析を行った。

経済被害について、2018年度は愛知県の市区町村間交易マトリックスの推計および 愛知県市区町村間産業連関表の作成を試行した。また 2017年度に整備した愛知県の各 市区町村の地域産業連関表と整合的となるよう制約付誤差最小化問題を定式化し、整 合的な愛知県市区町村間産業連関表を構築した。

(b) 業務の実施方法

1) 都市災害

2018年度は、2017年度までに作成した復興期の居住地選択モデルからシミュレーションを構築するためのアンケート調査分析を行った(なおアンケート調査自体は既に 2017年12月に行っており、この調査の詳細な分析を本年度は行っている)。

2) 経済被害

2018 度は、経済学における「グラビティモデル」を応用し、愛知県の市区町村間に

おける財別地域間交易マトリックスを推定した。また 2017 年度までに構築した愛知県 を含む東海4県を対象とした地域産業連関表と 2018 年度に構築した地域間交易マト リックスとの経済収支の整合性を確保するため制約付き誤差最小化問題を定式化し、 愛知県の市区町村産業連関表と地域間交易マトリックスが整合的な愛知県地域間産業 連関表を開発した。

(c) 業務の成果

1) 都市災害

本業務は2017年度以降、大規模災害が発生した後の復興期における人口移動予測技術の構築を行っている。昨年度は、仮住まい住宅から恒久住宅に生活の場を移す移住行動に伴って生じる人口移動を予測するための数理モデルを構築した。本年度はこれをもとにして、アンケート調査の分析を行った。実施期間は2017年12月10日から12月28日で、愛知県名古屋市、岐阜県岐阜市、三重県津市に各500世帯、計1,500世帯を無作為にポスティングし、郵送にて回答を頂いた。回収票数は311部で回収率20.7%、有効票数は294部であった。調査票は、都道府県ごとに内容の一部を変えて配布した。

本調査票は3パートから構成されている。

第1パートとして、回答者の個人属性を尋ねる設問を設け、「居住地」「世帯形態」 「世帯主の年齢」「世帯主の職業と業種」「職場および学校の所在地」「世帯年収」「自 宅特性」の回答を得た。図3-2-⑦-1に回答者の世帯形態、図3-2-⑦-2に 世帯主の年齢、図3-2-⑦-3に職業、図3-2-⑦-4に有職者の業種、図3-2-⑦-5に自宅形態を示す。世帯形態の定義は、「単独世帯」は世帯人員1人の世帯、 「夫婦世帯」は世帯人員が夫婦2人の世帯、「核家族」は夫婦または片親と未婚の子供 がいる世帯、「二世代世帯」は夫婦と親もしくは結婚している子供夫婦がいる世帯、「三 世代世帯」は夫婦とその子供、および親がいる世帯である。

図3-2-⑦-6は、現在住んでいる場所の「良さ」を3つまで回答した結果であ る。現在の居住地を選んだ理由を把握するためにこの設問を設けた。「買い物等の生活 利便性が高い」との回答数(195人)が最も多く、次いで「居住環境が良い」(156人)、 「通勤・通学に便利」(107人)と続く。一方で「医療・福祉環境が良い」(32人)「教 育環境が良い」(14人)は回答人数としては少ない。その他の内容は、「配偶者の職場 が1Fだから」「会社の事務所が近い」「不便だが高齢者の方々とのお付き合いが良い」 「安い」との回答であった。

第2パートに、仮に自宅が被災して数年が経過し、仮設住宅を退去したとの想定の 下で、どのような居住形態を選択するかを尋ねた。この結果は、今後の住宅選択に関 するモデル推定の改善に利用する。居住形態の選択肢は、上記で示したように、自宅 の全壊を想定した設問においては「1.自宅再建」「2.新築住宅」「3.中古住宅」 「4.賃貸住宅」「5.親族知人宅」の5つである。自宅の半壊を想定した設問では、 先述の5つの居住形態に「0.自宅修理」を加えた6つの選択肢から回答を得た。図 3-2-⑦-7に、自宅が全壊した想定の回答結果と半壊した想定の回答結果を示す。 自宅が全壊した想定の回答数では、「4.賃貸住宅」が45.6%と最も多く、次いで「1. 自宅再建」(34.4%)、「2.新築住宅」(7.8%)、「5.親族知人宅」(7.1%)、「3.中古 住宅」(5.1%)と続く。自宅が半壊した想定の回答数では、「1.自宅再建」(38.4%)が 最も多く、次いで「4.賃貸住宅」(33.7%)、「0.自宅修理」(11.9%)、「5.親族知 人宅」(6.8%)、「2.新築住宅」(5.8%)、「3.中古住宅」(3.4%)と続く。特徴的なの は、全壊の想定下では「4.賃貸住宅」の回答数が「1.自宅再建」の回答数を上回 っているのに対し、半壊の想定では「1.自宅再建」と答える回答者が増加し、「4. 賃貸住宅」の回答数を上回った。「0.自宅修理」と合わせて 50.3%の回答者が、現在 の自宅に住み続ける意向を持っていることが分かる。

第3パートは、仮に現在の自宅を離れなければならない場合を想定し、その際の移 住行動について尋ねた。3-2-⑦-8に、回答者が移住先として重視する事柄を示 す。この設問は、居住地選択に影響を及ぼす要因を探ることを目的としている。「通勤・ 通学に便利な地域」の回答数が65人と最も多く、次いで「買物等の生活利便性が高い 地域」(40人)、「現在住んでいる場所から近い地域」(37人)、「居住環境が良い地域」 (36人)と続く。図3-2-⑦-6の結果と加味して考察すると、居住地選択の際に考 慮される「地域の魅力」は通勤・通学時の利便性が最も影響が大きいことが予想され る。さらに、商業施設の充実度等の生活利便性の影響も大きいと考えられる。一方で、 教育施設の充実度および娯楽施設の充実度は居住地選択の際に考慮される「魅力」に 与える影響が小さいものと予想される。また現在の居住地からの距離も居住地選択に 大きな影響を与えているであろうと予想される。

次に、災害後に居住地を変えなければならない場合に、どの市区町村に居住したい かを尋ねた。表3-2-⑦-1、表3-2-⑦-2、表3-2-⑦-3に愛知県名古屋 市、三重県津市、岐阜県岐阜市で配布した調査票に、転居先の選択肢として記載した 市区町村の一覧を示す。回答者はこの4つの市区町村の中から、最も移住したいもし くは移住しても良いと思う選択を答えてもらった。図3-2-⑦-9、図3-2-⑦ -10、図3-2-⑦-11に愛知県、三重県、岐阜県の回答結果を示す。



図 3-2-⑦-1 回答者の世帯形態



図 3-2-⑦-2 回答者の年齢



図 3-2-⑦-3 回答者の職業



図 3-2-⑦-4 有職者の業種



図3-2-⑦-5 回答者の自宅形態



- 1. 買物等の生活利便性が高い
- 通勤・通学に便利
- 5. 近くに親族や友人、知人がいる
- 7. 居住費用(家賃や住宅建設費等)が安い
- 9. 田舎である(自然が多い)
- 教育環境が良い
- 13. わからない

- 2. 居住環境が良い
- 4. 長く住んでいて馴染み深い
- 6. 災害安全性が高い
- 8. 医療・福祉環境が良い
- 10. 都市である
- 12. その他
- 14. 娯楽が充実している

図 3-2-⑦-6 現在住んでいる場所の良さ(3 つまで回答可)



図3-2-⑦-7 希望する恒久住宅の種類



表3-2-(7)-1 愛知県名古屋市在住の回答者に対する居住先の選択肢一覧

	問1	問2	問3	問4	問5	問6	問7	問8
選択肢1	現在と同じ市区町村	現在と同じ市区町村	愛知県蟹江町	愛知県豊山町	愛知県弥富市	三重県いなべ市	三重県亀山市	愛知県大治町
選択肢2	愛知県大治町	愛知県日進市	愛知県日進市	愛知県蟹江町	愛知県知多市	岐阜県土岐市	岐阜県恵那市	愛知県高浜市
選択肢3	名古屋市北区	愛知県春日井市	愛知県稲沢市	愛知県瀬戸市	愛知県刈谷市	岐阜県大垣市	愛知県豊川市	岐阜県可児市
選択肢4	名古屋市中区	岐阜県岐阜市	愛知県春日井市	愛知県刈谷市	愛知県豊田市	三重県四日市市	三重県津市	愛知県豊橋市



図3-2-⑦-9 愛知県在住の回答者の回答結果

表3-2-⑦-2 三重県津市在住の回答者に対する居住先の選択肢一覧

	問1	問2	問3	問4	問5	問6	問7	問8
選択肢1	現在と同じ市町村	現在と同じ市町村	三重県亀山市	三重県多気町	三重県菰野町	三重県鳥羽市	三重県鳥羽市	三重県亀山市
選択肢2	三重県亀山市	三重県鈴鹿市	三重県明和町	三重県玉城町	三重県伊賀市	三重県名張市	岐阜県海津市	愛知県弥富市
選択肢3	三重県松阪市	三重県四日市市	三重県伊勢市	三重県桑名市	三重県伊勢市	三重県桑名市	愛知県あま市	三重県いなべ市
選択肢4	三重県鈴鹿市	名古屋市中区	三重県四日市市	三重県名張市	三重県桑名市	名古屋市中区	岐阜県岐阜市	名古屋市中区



図3-2-⑦-10 三重県在住の回答者の回答結果

表3-2-⑦-3 岐阜県岐阜市在住の回答者に対する居住先の選択肢一覧

	問1	問2	問3	問4	問5	問6	問7	問8
選択肢1	現在と同じ市町村	現在と同じ市町村	岐阜県山県市	岐阜県安八町	愛知県岩倉市	岐阜県八百津町	岐阜県白川町	岐阜県揖斐川町
選択肢2	岐阜県笠松町	岐阜県羽島市	愛知県江南市	岐阜県本巣市	岐阜県関市	愛知県尾張旭市	愛知県知立市	岐阜県八百津町
選択肢3	岐阜県瑞穂市	愛知県一宮市	岐阜県各務原市	岐阜県大垣市	愛知県稲沢市	岐阜県多治見市	愛知県刈谷市	岐阜県土岐市
選択肢4	愛知県一宮市	名古屋市中区	愛知県一宮市	愛知県稲沢市	愛知県春日井市	名古屋市中区	愛知県豊田市	愛知県岡崎市



図3-2-⑦-11 岐阜県在住の回答者の回答結果

2) 経済被害

2018 度は、経済学における「グラビティモデル」を応用し愛知県を対象に地域間交 易マトリックスを推計した。式(3-2-⑦-1)においてSupply_{i,s}は愛知県内の任意 のs自治体のi財に関する製品出荷額を示す。Demand_{i,r}は愛知県内の任意のr自治体の第i 財の製品需要額を示す。いずれの金額も2017 年度の研究成果である愛知県内市区町村 の地域産業連関表から得る事ができる。Distance_{s,r}は愛知県内のs自治体式からr自治体 への直線距離である。すなわち財はより生産額が大きい地域からより需要額が大きい 地域へ出荷されること、一方でその出荷額は両地域が離れていればいるほど減少する ことを意味するモデルである。これより計算される $t_{i,s,r}$ は第 i 財の地域間交易マトリックスを作成する上での指標となる。式3-2-⑦-2で計算される $TS_{i,s,r}$ は財のグラビティモデルを応用した出荷先割合である。また式(3-2-⑦-3)で計算される $PS_{i,s}$ は第i財の製品出荷における任意のs自治体の生産割合である。第i財の出荷額の推定値を示す $Trade_{i,s,r}$ は式(3-2-⑦-4)で表現される。Intratrade_iは第i財に関する愛知県産業連関表より求める事ができる。

$$t_{i,s,r} = \frac{\text{Supply}_{i,s} \cdot \text{Demand}_{i,r}}{\text{Distance}_{s,r}} \qquad (3 - 2 - \overline{0} - 1)$$

$$TS_{i,s,r} = \frac{t_{i,s,r}}{\sum_{r} t_{i,s,r}}$$
(3-2-(7)-2)

$$PS_{i,s} = \frac{Production_{i,s}}{\sum_{s} Production_{i,s}}$$
(3-2-7)-3)

$$\text{Frade}_{i,s,r} = \text{TS}_{i,s,r} \cdot \text{PS}_{i,s} \cdot \text{Intratrade}_i \qquad (3 - 2 - 7) - 4)$$

式(3-2-⑦-4)を用いて愛知県内69市区町村間について34業種の市区町村 間交易マトリックスの初期値を推計した。続いて2017年度に実施した地域産業連関表 のデータと市区町村間交易マトリックスの整合性をはかるため制約付誤差最小化問題 を定式化し計算を行った。制約付誤差最小化問題は式(3-2-⑦-5)から式(3 -2-⑦-7)の式で構成される。IO_{iir}は任意のr地域のj産業によるi産業の生産物の 投入額の数値調整後の値を示す。IOO_{i,i}rは数値調整前の値である。IO_{i,fdr}は任意の r 地域の fdで示される最終需要主体(家計、政府、投資)によるi産業の生産物の最終 消費額の数値調整後の値を示す。IOO_{ifdr}は数値調整前の値である。IO_{vair}は r 地域の j産 業におけるvaで示される付加価値項目(雇用者報酬、営業利益、間接税と補助金)の 金額の数値調整後の値を示す。IOO_{vair}は数値調整前の値である。TRD_{isr}は愛知県内の 任意のs自治体からr自治体へのi産業の生産物の移出額の数値調整前の値を示している。 式(3-2-⑦-6)は任意の地域の任意の財について成立すべき制約式である。IM0_{ir} および EX0_{ir}は当該地域の海外と輸入額と輸出額を示しているが、これらは愛知県の産 業連関表から推定した金額を外生的に与えている。式(3-2-⑦-7)は生産額に 関する制約条件である。Y0irは愛知県内自治体の任意の財の生産額であるが 2017 年度 成果より既知の値である。式(3-2-⑦-5)の左辺を最小とする制約付き誤差最 小化問題を解き最終的な愛知県の地域産業連関表および地域間交易マトリックスを推 定した。

$$obj = \sum_{i} \sum_{j} \sum_{r} \left(\frac{IO_{i,j,r} - IOO_{i,j,r}}{IOO_{i,j,r}} \right)^{2} + \sum_{i} \sum_{fd} \sum_{r} \left(\frac{IO_{i,fd,r} - IOO_{i,fd,r}}{IOO_{i,fd,r}} \right)^{2} + \sum_{i} \sum_{va} \sum_{r} \left(\frac{IO_{va,j,r} - IOO_{va,j,r}}{IOO_{va,j,r}} \right)^{2} + \sum_{i} \sum_{va} \sum_{r} \left(\frac{TRD_{i,s,r} - TRDO_{i,s,r}}{TRDO_{i,s,r}} \right)^{2}$$
(3 - 2 - (7) - 5)

$$\sum_{j} IO_{j,i,r} + \sum_{va} IO_{va,j,r} + \sum_{s(\neq r)} TRD_{i,s,r} + IMO_{i,r}$$

$$= \sum_{j} IO_{i,j,r} + \sum_{fd} IO_{i,fd,r} + \sum_{s(\neq r)} TRD_{i,r,s} + EXO_{i,r}$$

$$\sum_{i} IO_{j,i,r} + \sum_{va} IO_{va,j,r} = YO_{i,r}$$

$$(3 - 2 - (7) - 6)$$

$$(3 - 2 - (7) - 7)$$

図3-2-⑦-12は、推定された愛知県内の自動車関連産業の交易マトリックスで ある。行と列の各項目には愛知県内の69の市区町村がそれぞれ対応する。図3-2-⑦-12において赤色の部分は特に取引額が大きい部分であるが、この部分は愛知県の 西三河地域における5つの市町村間取引額を示している。他産業でも同様の交易マト リックスの推定を行った。



図3-2-⑦-12 自動車関連産業の交易マトリックス

(d) 結論ならびに今後の課題

1)都市災害

今年度は、住まいを失った世帯における復興期の住宅取得に関する意向を詳細に把 握した。来年度で、これをもとにした国土復興シミュレーションを構築する予定であ る。

2) 経済被害

2018年度は愛知県を対象とし市区町村間産業連関表の構築を行った。今後は産業連

関表のデータをベースとした経済被害予測モデルを構築し、市区町村レベルでの南海 トラフ巨大地震の経済被害予測を行う。

⑧災害廃棄物

(a) 業務の要約

本研究では、仮置場確保と災害廃棄物の収集運搬を統合的に検討するツールとして、 仮置場の確保面積、収集運搬効率を考慮した災害廃棄物処理フローモデルを構築した。 そのうえで、仮置場の確保面積、収集運搬効率および処理期間における関係性を評価し、 災害廃棄物処理において、仮置場の確保のみならず、収集運搬の確保、処理・再生利用 などの出口の確保が重要であると指摘した。

(b) 業務の実施方法

構築した災害廃棄物処理フローモデルは、地域メッシュ単位で算出された災害廃棄 物量に対して、運搬車両、一次仮置場、処理施設および二次仮置場に係る制約条件下 において、一次仮置場への搬入計算および一次仮置場からの搬出計算を行うことで、 日単位での被災現場や一次仮置場における災害廃棄物量の把握を可能とした。一次仮 置場からの搬出については、災害廃棄物の組成品目別に計算することとした。制約条 件として、運搬車両について、日最大運搬可能時間を、仮置場、処理施設について、 一次仮置場における最大集積量、一次仮置場における日最大分別量、品目別日最大処 理量をそれぞれ与えた。

仮置場の確保面積、運搬車両数、処理・再生利用量を政策変数とした災害廃棄物処 理シナリオを構築した。仮置場の確保面積については、愛知県碧南市のオープンスペ ースの確保割合に応じて、50%、25%、10%の3ケースとした。前述の必要仮置場面積推 定結果より、確保割合 50%を基準とした。運搬車両数については、愛知県碧南市の地 域防災計画に示されている災害時に使用可能なトラック数の確保割合に応じて 200%、 100%、50%の3ケースとした。確保割合 200%については、他地域からの応援があった 場合を想定した。処理・再生利用量については、東日本大震災で被災した岩手、宮城、 福島3県の災害廃棄物処理実績値(環境省,2017)より品目別仮置場面積あたりの日 処理量を算出した。品目別仮置場面積あたりの日処理量と同程度の処理能力を確保で きた場合を 100%とし、200%、100%、50%の3ケースとした。政策変数とした仮置場の 確保面積、運搬車両数、処理・再生利用量における各3つのケースを組み合わせるこ とにより、27通りの災害廃棄物処理シナリオを構築した。構築したモデルを用いて各 シナリオに対して、搬入期間と処理期間を算出した。

(c) 業務の成果

解析結果を図3-2-⑧-1に示す。仮置場の確保が 10%で、運搬車両、処理・再 生利用量はそれぞれ 200%と十分に確保されているケースでの処理期間は、仮置場の確 保が 50%、運搬車両、処理・再生利用量が 100%のケースよりも短く算出された。この ことから、仮置場が十分確保できない場合においても、運搬車両数、処理・再生利用 量など災害廃棄物の収集運搬を確保することができれば、目標処理期間内に対応でき るといえた。仮置場の確保が 50%と十分であるが、運搬車両、処理再生利用量の確保 がそれぞれ 50%と不十分なケースの場合、仮置場の確保が 50%、運搬車両、処理・再生 利用量が 100%のケースのほうが搬入期間、処理期間ともに短期間になっている。すな わち、仮置場が十分確保できた場合でも、運搬車両、処理・再生利用量を十分確保し なければ処理の遅延が生じることが示しえた。また、仮置場が十分確保されていない 場合、運搬車両を十分確保しても、処理が間に合わず運搬能力を有効に活用できない 場合があるといえた。以上のことから、仮置場が十分に確保できない場合においては、 処理・再生利用量などの災害廃棄物の出口の確保が重要であるといえた。



図3-2-⑧-1 シナリオ別の解析結果(仮置場面積,運搬車両数,処理・再生利用量)

(d) 結論ならびに今後の課題

本研究では、仮置場の確保面積と収集運搬を考慮した災害廃棄物処理フローモデル を用いて、南海トラフ巨大地震における愛知県碧南市対象として、災害廃棄物処理の 数値解析を行った。その結果、災害廃棄物処理において、仮置場の確保のみならず、 収集運搬の確保、処理・再生利用などの出口の確保が重要であると指摘した。今後、 災害廃棄物処理期間を短縮し、復旧・復興を推進するという観点からは、仮置場の確 保だけでなく、収集運搬および処理・再生利用先の確保が重要であり、市町村、県、 国との広域連携や広域処理についても数値解析等による具体的な検討を行うことが重 要である。

- (e) 引用文献
- 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部:東日本大震災等の経験に基づく災害 廃棄物処理の技術的事項に関する報告書,2017

(3) 平成 31 年度業務計画案

広域リスク評価については、災害パターンの類型化手法を高度化して広域的に評価を行 うとともに、類型毎に災害シナリオを作成する。その際、地域の類型化の結果から、各シ ナリオで地域類型毎に被害・復旧状況について整理する。最終的に、本プロジェクトで実 施した南海トラフの地震・津波を対象とする現在~将来の確率論的リスク評価や、評価に 基づく災害シナリオ等の研究成果をとりまとめ、1-eと連携し、地域リスク評価とともに、 「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」を介して外部に提供可能にする方針で ある。

地域リスク評価については、自治体のアクションプランへの反映、地域の減災戦略構築、 地域企業の BCP/DCP 検討等への展開を目標に、対象地点に対する地震動、地盤応答と堤防 沈下予測、市街地津波氾濫水予測を可能とする。加えて、発災後対応を視野に入れた庁舎 建物の構造・室内被害評価、対策計画等の実効性の向上に資する重要道路の抽出、上水道 の設備投資方針決定判断材料の提供を行う。また、地域の経済被害については、広域リス ク評価での経済被害の評価手法と同様の応用一般均衡モデルを用いているため、広域と地 域の経済的連関にも着目しつつ、詳細な産業連関表に基づく地域の経済被害を推計する。 さらに、中長期的な視点から、廃棄物処理に対する災害時空間的減災戦略の構築や災害対 応リソースに関する優先順位検討や地域スケールでの復興計画策定に資する情報提供を 行う。最終的な成果の取りまとめの方針としては、予測技術の確立によりこれまでに検討 した地域リスクの総合的評価に基づき、地域の状況に応じた重要リスクの抽出と評価につ いて整理し、地域の自治体等の防災計画等への基礎的資料としての活用に資する。また、 1-eと連携し、全体リスク評価とともに「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」 を介して外部に提供可能にする。さらには、2016 年熊本地震や 2018 年に発生した一連の 自然災害などを踏まえ、本プロジェクトで評価の俎上に載ることのなかった重要リスクの 抽出と課題整理を行う。

3.3 防災·減災対策研究

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目 「防災·減災対策研究」
- (b) 担当者(◎は各地域(括弧内)の代表幹事)

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人海洋研究開発機構	上席技術研究員	◎金田 義行(四国、
地震津波海域観測研究開発センター		九州)
	グループリーダー	高橋 成実
	グループリーダー	堀 高峰
	技術研究員	今井 健太郎
	特任技術研究員	兵藤 守
	特任技術研究員	中田 令子
	特任技術スタッフ	大林 涼子
国立大学法人名古屋大学	教授	◎福和 伸夫(東海)
減災連携研究センター	教授	野田 利弘
	寄附研究部門教授	武村 雅之
	産学協同研究部門教授	田代 喬
	寄附研究部門教授	利藤 房男
	特任教授	護 雅史
	特任教授	新井 伸夫
	准教授	平山 修久
	寄附研究部門准教授	都築 充雄
	産学協同研究部門准教授	菅沼 淳
	寄附研究部門准教授	山﨑 雅人
	特任准教授	倉田 和己
	産学協同研究部門助教	北川 夏樹
環境学研究科	助教	平井 敬
災害対策室	教授	飛田 潤
国立大学法人京都大学	教授	◎牧 紀男 (関西)
防災研究所		
国立研究開発法人防災科学技術研究	部門長	藤原 広行
所	総括主任研究員	青井 真
	主任研究員	中村 洋光
	主任研究員	前田 宜浩
	主任研究員	田口 仁
	主任研究員	李 泰榮
	主幹研究員	大角 恒雄

	研究員	東 宏樹
	研究員	崔青林
	研究員	水井 良暢
国立大学法人東北大学	教授	今村 文彦
災害科学国際研究所	准教授	佐藤 翔輔
	プロジェクト講師	保田 真理
国立大学法人東京大学	教授	古村 孝志
地震研究所	特任助教	原田 智也
国立大学法人徳島大学大学院	教授	馬場 俊孝

(c) 業務の目的

理学・工学・社会学の研究者が最新の研究成果を、地域の防災・減災対策に活かす ため、行政やライフライン担当者との闊達な議論を通じて、より実践的な防災・減災 対策を目指す。また、地方自治体やライフライン事業者に加え、積極的に市民参加の 減災カフェなどを通じて一般社会へも情報発信する。

(d)7か年の年次実施業務の要約

これまで地域の防災・減災にとってどのような災害シナリオを考えるべきなのか、 地域研究会を開催して議論を進めてきた。この地域研究会を発展させ、前半で地方自 治体やライフライン事業者から課題を聞きつつ、プロジェクト関係者からの残された 課題を含め最新の成果のインプットに重点を置き、後半で具体的な社会実装に向けた 提案・対策案をまとめる。また、地方自治体だけではなく、内閣府をはじめとする府 省の動向も把握しつつ、経済界やライフライン企業、地元大学とも連携して防災・減 災対策の推進を図る。前半は、サブテーマ1で期待される成果である被害予測やデー タベース構築などを逐次、地方行政のシステムに実装にすることを検討する。後半で は、地域行政による対策としての実装を強化しつつ、社会実装を進めるため、市民参 加の減災カフェや地元メディアとも連携した防災減災の啓発活動を開催する。年次実 施業務と想定される成果は以下である。

平成 25 年度:

地域研究会の体制を整えて、開催のレールを敷いた。 平成 26 年度:

地域研究会を通じて最新の地震津波防災研究を展開し、現実的な被害予測に対 する課題を整理した。地域防災のボトルネックとなる課題について調査活動を実 施した。

平成 27 年度:

地域研究会を通じて最新の地震津波防災研究を展開し、防災・減災の効果を高 める情報発信のあり方を検討した。情報発信の社会実装を進めるために必要な課 題を洗い出した。 平成 28 年度:

地域研究会を通じて最新の地震津波防災研究を展開し、課題の洗い出しを継続 し、地域行政に活かすための課題を整理した。社会実装を進めるために現実的な 復旧・復興対策の検討などに着手した。国レベル、地方自治体レベル両面から実 装を見据えた議論を展開した。

平成 29 年度:

地域研究会を通じて、被害予測、情報発信、復旧復興対策等について社会実装 の現状を評価し、あらたな社会実装に向けた計画を検討、一部についてはその概 要を提案した。新しい災害シナリオについて、対策の可否などを議論した。減災 カフェ等を通じた啓発活動を進めた。

平成 30 年度:

地域研究会を通じて、これまでの研究成果の社会実装システムを提案し、地域 側との連携を深化させた。地域に適した防災・減災対策を整理し、地方自治体と 連携して、防災・減災対策の有効性の確認を行い、地域防災に活かすための方策 や1-(e)の情報発信プラットフォームも含めた情報発信システムの利活用の検 討も始めた。減災カフェやマスコミ勉強会を通じた啓発活動を進めた。

平成 31 年度:

地域研究会を通じて、地方自治体との連携を図り、地域防災に活かすための方 策や情報発信システムの利活用を検討し、地震前後のシナリオを整理する。地域 防災の再検討や再構築の試みを評価し、地域毎に自律的・継続的な活動が可能な 方向性等を提供する。市民参加の減災カフェ等、地元メディアとも連携して、防 災・減災のための啓発活動を進める。

(e) 平成 30 年度業務目的

東海、関西、四国、九州の4か所で地域研究会を開催し、国や府県、市町、ライ フライン事業者、地域の大学等から防災・減災対策の課題やニーズを抽出して社会 実装の現状を評価、プロジェクトの研究成果紹介を継続する。これまで抽出された 課題やニーズを踏まえ、研究成果の社会実装への提案やその体制を検討し、地域側 との連携を深化させる。さらに、各県単位など特定の地域に特化した課題やニーズ を踏まえ、きめ細かい提案・助言・議論を行うために分科会などの取組みも積極的 に検討する。また、各地域・各県の枠を超えた地域連携強化が進み始めていること も視野に入れ、周辺地域の情報収集や他組織との連携なども実施する。加えて、研 究成果の社会普及や啓発のために防災・減災カフェ等を開催する。

- (2) 平成 30 年度成果
 - (a) 業務の要約

これまで通り、東海、関西、四国、九州と4つのエリアに分けて、県などの自治 体、国土交通省地方整備局や気象台、海上保安本部等の国の機関(地方支分部局)、 ライフライン事業者、港湾事業者、経済団体、地域の大学などの地域側のメンバー とプロジェクト側のメンバーが集まり地域研究会を実施した。各エリアを担当する 幹事が主導して、南海トラフ地震の防災減災対策に関する国の動向や前回までの地 域研究会における議論、アンケート結果等の要望を踏まえて地域の事情に即したテ ーマを定め、そのテーマに適した話題を提供し、意見交換や議論を行った。研究成 果の利活用など地域への社会実装や連携の深化に向けて、プロジェクト側の成果を 報告し、地域の防災減災対策上のニーズや課題の洗い出しを行った。一部地域では 成果の実装の試行が始まり、地域研究会においてその進捗を紹介し、意見の収集も 行った。さらに、南海トラフ地震の震源域で異常な現象が観測された場合に出され る臨時情報については、地域が直面する課題を聞き取り、プロジェクト側からはこ れまで得られた知見などを紹介するなどして、意見交換を深化させた。

東海地域研究会では、愛知県、静岡県、岐阜県、三重県のエリアを対象として、 愛知県名古屋市内と愛知県津島市内で各1回開催した。企業の防災減災対策、人材 育成、プロジェクト成果実装に向けた試行、津波対策、災害廃棄物処理に関する話 題提供に基づき意見交換や議論を行った。津島市での地域研究会では、近隣の名古 屋港にある物流拠点等の見学会も実施した。これら議論から、プロジェクト成果実 装に向けた試行についての有益なコメントとそのフィードバックが成され、ライフ ライン企業や経済界との連携強化が確認され、これまでの取り組みを継続していく ことになった。

関西地域研究会では、大阪府、兵庫県、和歌山県のエリアを対象として、大阪市 内で2回開催した。行政の防災減災対策、企業の防災減災対策、南海トラフで半割 れの巨大地震が発生した場合や異常な現象が観測された場合の理学や社会学的な 知見紹介などの話題提供に基づき、意見交換や議論を行った。企業の防災減災対策 の重要性が再認識され、プロジェクトとしても地元行政と連携したこうした取り組 みをさらに進めていくことになった。南海トラフ地震の震源域で異常な現象が観測 された場合の行政やライフライン企業等の課題に関する意見交換も継続していく ことになった。

四国地域研究会では、愛媛県、香川県、高知県、徳島県のエリアを対象として、 愛媛県松山市内で1回開催した。南海トラフ地震の震源域で異常な現象が観測され た場合に出される臨時情報に関連してプロジェクト側から最新の知見を中心に研 究の視点から話題提供を行い、地元行政(県)が抱える臨時情報に関する課題等に ついて紹介していただき意見交換や議論を行った。地域研究会に加え、香川、高知、 徳島の各県危機管理担当との分科会を各1回開催した。このうち香川の分科会は、 情報の扱い等に重点を置き、香川県危機管理担当だけでなく、他の地域研究会参画 メンバーやそれ以外の業種にも参加いただいた。これらの議論等から、南海トラフ 地震の震源域で異常な現象が観測された場合を踏まえた減災対策、地震津波海底観 測網の利活用、四国四県の連携について今後も議論の中心とし、特に前者2つにつ いてプロジェクト成果実装の具体化を進めていくことになった。

九州地域研究会では、大分県、宮崎県、鹿児島県、熊本県、福岡県のエリアを対 象として、宮崎市内で1回開催した。四国地域研究会と同様に、南海トラフ地震の 震源域で異常な現象が観測された場合に出される臨時情報に関連してプロジェク ト側から最新の知見を中心に研究の視点から話題提供を行い、地元行政(県)が抱 える臨時情報に関する課題等について紹介していただき意見交換や議論を行った。 分科会は、宮崎県の危機管理担当と4回開催した(うち1回は宮崎県が事務局の協 議会への参加)。これら議論等から、四国同様に南海トラフ地震の震源域で異常な 現象が観測された場合を踏まえた減災対策、地震津波海底観測網の利活用について プロジェクト成果実装の具体化を進めていくことになった。さらに、臨時情報に関 連する意識向上や啓発は、九州の他県や地方支分部局など、また、宮崎県内の基礎 自治体との連携も模索していくことになった。

啓発・啓蒙活動としては、高知市内で高校生を対象とした対話型イベントとして 「減災エンス塾」を開催した。高校生の将来を考える上で、また次の世代を担う人 材育成という観点からも好評で、関係機関とも継続することが合意された。

- (b) 業務の実施方法
 - 1) 東海地域研究会

代表幹事を名古屋大学の福和伸夫氏とし、愛知県、静岡県、岐阜県、三重県のエ リアを念頭に研究成果を地域に還元して防災・減災対策に活かし、地域のニーズを 吸い上げ、今後とるべき防災・減災対策を洗い出し、成果の実装を進めるため、夏 季に愛知県名古屋市内(名古屋大学減災館)で、冬季に愛知県津島市内(津島文化 会館)で各1回開催した。また、地域側のニーズや感想も出来るだけ吸い上げるた めに研究会の際にはアンケートも実施した。地域側参加メンバーは、各県と政令市 や中核市などの地方自治体、国土交通省中部地方整備局、第四管区海上保安本部、 各地方気象台といった地方支分部局、ライフライン事業者、港湾事業者、経済団体、 地元の有力企業、地域の大学などであった。津島市で開催した冬季の研究会では、 研究会に先立って東海地域の物流や電力インフラの拠点となる名古屋港臨海部の それら施設と、その地域の基礎自治体の防災施設の見学を行い、当日の研究会の議 論に役立てた。

2) 関西地域研究会

代表幹事を京都大学の牧紀男氏とし、大阪府、兵庫県、和歌山県のエリアを念 頭に研究成果を地域に還元して防災・減災対策に活かし、地域のニーズを吸い上げ、 今後とるべき防災・減災対策を洗い出し、成果の実装を進めるため、地域研究会を 秋季に大阪市(メルパルク大阪)で、冬季も大阪市内(ホテルプリムローズ大阪) で各1回開催した。また、地域側のニーズや感想も出来るだけ吸い上げるために研 究会の際にはアンケートも実施した。地域側参加メンバーは、各府県と大阪市など の地方自治体、国土交通省近畿地方整備局、第五管区海上保安本部、大阪管区およ び各地方気象台といった地方支分部局、ライフライン事業者、港湾事業者、経済団 体、地域の大学などであった。

3) 四国地域研究会

代表幹事を海洋研究開発機構の金田義行氏とし、愛媛県、香川県、高知県、徳 島県のエリアを念頭に研究成果を地域に還元して防災・減災対策に活かし、地域の ニーズを吸い上げ、今後とるべき防災・減災対策を洗い出し、成果の実装を進める ため、地域研究会を秋季に松山市内(ホテルマイステイズ松山)で1回開催した。 また、地域側のニーズや感想も出来るだけ吸い上げるために研究会の際や他の機会 においてアンケートも実施した。地域側参加メンバーは、各県と市町などの地方自 治体、国土交通省四国地方整備局、各地方気象台といった地方支分部局、ライフラ イン事業者、地域の大学などである。地域研究会と平行して、地域ごとのニーズや 特性をより詳しく把握するための分科会の実施も検討した。対象は四国4県の防災 部局であり、それぞれと個別に議論を深める事案が生じた場合など必要に応じて柔 軟に実施することとした。平成30年度は高知県と徳島県と各1回、香川県とは情 報の扱い等の議論を深めるために、香川県や他の地域研究会通常参画メンバーに加 え、マスメディアも含め参加範囲を広げた分科会を1回開催した。

4) 九州地域研究会

代表幹事を海洋研究開発機構の金田義行氏とし、大分県、鹿児島県、宮崎県、熊本県、福岡県のエリアを念頭に研究成果を地域に還元して防災・減災対策に活かし、 地域のニーズを吸い上げ、今後とるべき防災・減災対策を洗い出し、成果の実装を 進めるため、地域研究会を秋季に宮崎市内(KITENビル)で1回開催した。地域側 のニーズや感想も出来るだけ吸い上げるために研究会の際にはアンケートも実施 した。地域側参加メンバーは、各県と市町などの地方自治体、国土交通省九州地方 整備局、地方気象台といった地方支分部局、ライフライン事業者、経済団体、地域 の大学などである。地域研究会と平行して、地域ごとのニーズや特性をより詳しく 把握するための分科会の実施も検討した。分科会の主な対象は大分県、鹿児島県、 宮崎県の3県の防災部局であり、それぞれと個別に議論を深める事案が生じた場合 など必要に応じて柔軟に実施することとした。平成30年度は宮崎県と4回開催し た。なお、そのうち1回は宮崎県が事務局の九州全域がメンバーである協議会への 参加で、宮崎県が事務局であることから宮崎分科会と位置づけた)。

5) 啓発·啓蒙活動

一般の皆様へ地域の防災減災上の課題などを深く共有するための取組みとして、 平成 26 年度より少人数による対話型イベント「減災エンス塾」を開催しており、 平成 30 年度は高校生を対象としたものを高知市内で1回実施した。

(c) 業務の成果

平成 30 年度の各地域研究会の実績は次のとおり(表 3 - 3 - ① - 1)。

研究会名	話題提供	提供者		
第11回查遍协会互动会	企業の大規模地震への備えの現状と課題	一般社団法人中部経済連合会		
平成30年7月17日(火) 14:00~17:15	経験・共有の継承を通した災害対応人材育成のあり方	東北大学 災害科学国際研究所 佐藤 翔輔 准教授		
名占座大字演炎頭	碧南市を対象とした『地震・津波被害予測研究』 (地域リスク評価)の適用事例の紹介	名古屋大学 減災連携研究センター 野田 利弘 教授		
第12回東海地域研究会 平成31年1月21日(月)	伊勢・三河湾における津波・高潮	名古屋大学 大学院環境学研究科 富田 孝史 教授		
14:00-11:00 津島文化会館 小ホール	災害廃棄物処理からみた我が国の災害対応リソース	名古屋大学 減災連携研究センター 平山 修久 准教授		
第11回関西地域研究会 平成30年11月1日(木)	南海トラフ地震に備えた大阪府の取り組み -大阪府北部を震源とする地震への対応を踏まえて-	大阪府 危機管理室 防災企画課		
14:00~17:00 ホテルメルパルク大阪 3階「ボヌール」	企業の大規模地震への備えの現状と課題	一般社団法人中部経済連合会		
第12回開西地域研究会 平成31年2月4日(月)	半割れ、もしくはM7クラスが発生したときの 次の地震の予測の可能性	京都大学/理化学研究所革新知能統合研究センター 平原 和朗 名誉教授/非常勤研究員		
14:00~17:00 ホテルプリムローズ大阪 2階「鳳凰(東)」	南海トラフ沿いの異常な現象への防災対応 〜理科から社会へ〜	名古屋大学 減災連携研究センター 福和 伸夫 センター長・教授		
第8回四国地域研究会 平成00年10月30日(火) 14:00~17:00 ホテルマイステイズ松山 3階「ドゥエミーラ」	南海トラフ巨大地震への備え ― 海底観測網と臨時情報対応 他 ―	香川大学/海洋研究開発機構 金田 義行 特任教授/上席技術研究員		
	各県の南海トラフ地震の取り組みと 「南海トラフ地震に関連する情報(臨時)」について	高知県 危機管理部 南海トラフ地震対策課 愛媛県 県民環境部 防災局 防災危機管理課 香川県 危機管理総局 危機管理課 徳島県 危機管理部 とくしまゼロ作戦課		
第8回九州地域研究会 平成30年10月15日(月) 13:00~16:00 KITENビル 8階 コンペンションホール 大会議室	南海トラフ巨大地震への備え — 海底観測網と臨時情報対応 他 —	香川大学/海洋研究開発機構 金田 義行 特任教授/上席技術研究員		
	各県の南海トラフ地震の取り組みと 「南海トラフ地震に関連する情報(臨時)」	鹿児島県 危機管理局 危機管理防災課 大分県 生活環境部 防災局 防災対策企画課 宮崎県 総務部 危機管理局 危機管理課 熊本県 知事公室 危機管理防災課		

表 3 - 3 - ① - 1 平成 30 年度の各地域研究会実績一覧

1) 東海地域研究会

平成 30 年度は、平成 30 年 7 月 17 日 (火) と平成 31 年 1 月 21 日 (月) に愛知 県名古屋市内と愛知県津島市内において各 1 回、計 2 回の地域研究会を開催した。 代表幹事は名古屋大学減災連携研究センター長 福和伸夫氏、事務局は海洋研究開 発機構が務めた。以下、各研究会の内容をまとめる。

7月17日の第11回東海地域研究会は名古屋大学減災館で開催した(写真3-3 -①-1)。出席メンバーは、愛知県、三重県、岡崎市、豊橋市、名古屋市、名古 屋港管理組合、碧南市、第四管区海上保安本部、岐阜地方気象台、津地方気象台、 名古屋地方気象台、国土交通省中部地方整備局、日本地震工学会、中部経済連合会、 中部電力株式会社、東邦ガス株式会社、公益財団法人名古屋まちづくり公社の17 機関、26人であった。プロジェクト側は、名古屋大学、海洋研究開発機構、東北大 学、防災科学技術研究所、江戸川大学、国土地理院(オブザーバー)、文部科学省 (オブザーバー)の7機関、27人であった。一般社団法人中部経済連合会審議役・ 調査部長 川瀬康博氏より「企業の大規模地震への備えの現状と課題」と題して、 中部圏の経済界における大規模地震対策を紹介した。都市の維持と地元産業の維持 は密接にかかわっており両者の備えや発災後の早い立ち上がりの重要性、サプライ チェーンの連携や企業としての取り組みを継続することの重要性とそれを継続し ていく上での課題などが議論の中心となった。地域を守り強くする上で、企業の存 在があらためて認識された。次に、東北大学災害科学国際研究所准教授 佐藤翔輔 氏より「経験・共有の継承を通した災害対応人材育成のあり方」と題して、東日本 大震災などの巨大災害の経験等の収集とその継承、それらを踏まえた次の災害を見 据えた人材育成の重要性が紹介された。経験等の収集は直接の聞き取りやアンケー ト調査であるが、聞きにくい部分や言えない部分も多々ある。例えとして、予めリ スクや課題を考える余地があったのではないかという展開にしないときちんとし た詳細な情報が収集しにくくなるという指摘もあった。重要かつ貴重なこれらが、 継承されずにいずれ消えてしまうことが危惧された。最後に、名古屋大学減災連携 研究センター教授 野田利弘氏より「碧南市を対象とした『地震・津波被害予測研 究』(地域リスク評価)の適用事例の紹介」と題して、本プロジェクトの防災分野 の課題である地震・津波被害予測研究の成果である広域リスク評価と地域リスク評 価の手法を用いた愛知県碧南市と連携した実装事例の紹介があった。本音が出なけ ればこうした取り組みで成果を出すことが難しいという指摘や、一応の成果が出た あとの他の地区への活用を期待する声が聞かれた。研究会内の総合討論や研究会終 了後のアンケートからは、経済活動の継続、人材育成、経験の継承の重要性があら ためて浮き彫りになった。また、碧南市で実装中のリスク評価への関心・期待の高 さが認められた。さらに、他の地域での活用を期待する声もあった。

1月21日の第12回東海地域研究会は津島氏文化会館で開催した(写真3-3-①-2)。出席メンバーは、岐阜県、三重県、岡崎市、津島市、豊田市、豊橋市、 名古屋市、名古屋港管理組合、碧南市、四日市市、第四管区海上保安本部、岐阜地 方気象台、津地方気象台、名古屋地方気象台、中部地方整備局、名古屋工業大学、 中部経済連合会、中部電力株式会社、東邦ガス株式会社、トヨタ自動車株式会社、 名古屋第二赤十字病院、公益財団法人名古屋まちづくり公社、日本郵便株式会社(オ ブザーバー)の23機関、33人であった。プロジェクト側は、名古屋大学、海洋研 究開発機構、防災科学技術研究所、京都大学、国土地理院(オブザーバー)、文部 科学省(オブザーバー)の6機関、27人であった。名古屋大学大学院環境学研究科 教授 富田孝史氏が「伊勢・三河湾における津波・高潮」と題して、浸水予測の最 新のシミュレーションや知見の紹介、その被害軽減対策について紹介した。南海ト ラフ地震の津波浸水の排水に関するシミュレーションの詳細や到達するまでの対 処の仕方、ゼロメートル地帯の浸水対策の現在の課題などについて議論された。 次 に、名古屋大学減災連携研究センター准教授 平山修久氏が「災害廃棄物処理から みた我が国の災害対応リソース」と題して、被災後の瓦礫処理などの課題が紹介さ れた。公費解体における課題と瓦礫処理の新しい考え方に対する議論があり、南海 トラフ地震が発生した場合の対処が相当大変なものとなることが参加者に認識さ れた。同研究会の議論に役立てるため、過去のアンケートでも要望が多い見学会を、 同研究会に先立って当日午前に実施した(写真3-3-①-3)。研究会でも議論 を重ねていく経済被害に関する見識を深めるため、東海地域の物流拠点や電力イン フラの重要拠点の1つである名古屋港奥にあたる海部地区のそれらを見学し、広大 な平坦な土地であるメリットが、広大なゼロメートル地帯というリスクであること を認識し、個別の課題などの午後の議論に役立てた。研究会内の総合討論や研究会 終了後のアンケートからは、あまり具体的な情報が知られていなかった災害廃棄物

処理の課題や津波浸水のリスクとその排水に関する知見紹介について評価するコ メントがあった。そして、南海トラフ沿いの異常な現象が観測された場合に出され る臨時情報に関する課題抽出やその情報発信の有り方などについて関心が多数寄 せられた。

これまでの東海地域研究会では、特にこの東海地域が、関係組織とその関わりが 複雑であることとライフライン事業者が相互に依存しあっている現状を指摘して きた。それらを踏まえ、本プロジェクトの防災分野のある研究課題では、そのリス ク評価の成果を愛知県碧南市へ集中的に投入して社会実装する仕組みの構築を継 続中である。東海地域研究会の課題や今後の議論、成果の社会実装の方向性として は、この進捗を紹介し議論を行い、かつ他地域への展開のきっかけを作っていくこ とである。また、人材育成や経験の伝承、そしてアンケートでも多くのコメントが あった臨時情報に関しては、本プロジェクトの調査観測・シミュレーション分野の 理学的な知見等を重ねて、そうした知見の実装を目指した議論の場としていくこと になった。



写真3-3-①-1 第11回東海地域研究会の様子(名古屋大学減災館)



写真3-3-①-2 第12回東海地域研究会の様子(津島氏文化会館)



写真3-3-①-3 名古屋港臨海部見学会 写真左:地元基礎自治体の防災施設 写真右:ゼロメートル地帯の様子(河川の水位より住宅地の方が低い)

2) 関西地域研究会

平成 30 年度は、平成 30 年 11 月 1 日 (木) と平成 31 年 2 月 4 日 (月) に大阪市 内において 2 回の地域研究会を開催した。代表幹事は京都大学防災研究所教授 牧 紀男氏、事務局は海洋研究開発機構が務めた。以下、各研究会の内容をまとめる。

11月1日の第11回関西地域研究会はメルパルク大阪で開催した(写真3-3-①-4)。出席メンバーは、大阪府、和歌山県、大阪広域水道企業団、第五管区海 上保安本部、大阪管区気象台、神戸地方気象台、和歌山地方気象台、関西大学、関 西国際大学、人と防災未来センター、東海・東南海・南海地震津波研究会、NTT コ ミュニケーションズ株式会社、大阪ガス株式会社、関西経済連合会、関西電力株式 会社、堺・泉北臨海特別防災地区協議会、新日鐵住金株式会社、中部経済連合会、 西日本電信電話株式会社、日本郵便株式会社(オブザーバー)の20機関27人であ った。プロジェクト側は、京都大学、海洋研究開発機構、防災科学技術研究所、国 土地理院(オブザーバー)、文部科学省(オブザーバー)、の5機関10人であった。 大阪府危機管理室防災企画課課長 宍戸英明氏より「南海トラフ地震に備えた大阪 府の取り組みー大阪府北部を震源とする地震への対応を踏まえてー」と題して、平 成 30 年6月に発生した大阪府北部を震源とする地震の被害状況や行政の対応状況 と見えてきた課題について紹介した。大きな地震が起きたときの地震火災のリスク、 発災時の行政やライフライン事業者の体制構築や運用に関して質疑応答やコメン トが多数寄せられ、BCP 運用についても課題が出された。また、帰宅困難者の対応 と行政職員が混乱のために防災拠点にたどり着けない場合の対応についても議論 された。次に一般社団法人中部経済連合会審議役・調査部長 川瀬康博氏より「企 業の大規模地震への備えの現状と課題」と題して中部圏の経済界における大規模地 震対策を紹介した。企業間の連携や集団での防災計画、防災組織の活性化について 質疑応答と活発な議論が重ねられた。また大企業と中小企業の課題の違いも言及さ れた。研究会内の総合討論では、自助共助の意識や BCP の策定が進まない理由やそ

れらを広める手立てについて議論され、臨時情報についての議論を深めたいという 要望も複数聞かれた。終了後のアンケートからは、自助共助の重要性や関西地域の 地震対策について議論を深めるべきというコメントが寄せられた。また、臨時情報 を話題する希望も複数あった。なお、この第 11 回関西地域研究会は、夏季に開催 予定だったが、6月に発生した大阪府北部を震源とする地震における関係機関の対 応を考慮して 11 月に延期した。

2月4日の第12回関西地域研究会は大阪市内のホテルプリムローズ大阪で開催 した(写真3-3-①-5)。出席メンバーは、大阪府、大阪広域水道企業団、和 歌山県、大阪市、高石市、第五管区海上保安本部、大阪管区気象台、神戸地方気象 台、和歌山地方気象台、近畿地方整備局、関西大学、関西国際大学、東海・東南海・ 南海地震津波研究会、NTT コミュニケーションズ株式会社、大阪ガス株式会社、関 西経済連合会、関西電力株式会社、堺・泉北臨海特別防災地区協議会、新日鐵住金 株式会社、西日本高速道路株式会社、西日本電信電話株式会社、日本郵便株式会社 (オブザーバー)の22機関30人であった。プロジェクト側は、京都大学、海洋研 究開発機構、名古屋大学、防災科学技術研究所、江戸川大学、国土地理院(オブザ ーバー)、文部科学省(オブザーバー)の7機関15人であった。京都大学名誉教授 /理化学研究所 革新知能統合研究センター非常勤研究員 平原和朗氏が「半割れ、 もしくは M7 クラスが発生したときの次の地震の予測の可能性」と題して、南海ト ラフが東半分もしくは西半分が破壊されて巨大地震が発生した際の推移、M7 クラス が発生した場合の推移について、また、日向灘で発生するさまざまな地震について 南海トラフ巨大地震発生への影響について紹介した。巨大地震が起きる前の地震活 動についても東北地方太平洋沖地震で観測されたデータから言えることを紹介し た。次に、名古屋大学減災連携研究センターセンター長 福和伸夫氏より「南海ト ラフ沿いの異常な現象への防災対応 ~理科から社会へ~」と題して、臨時情報に 関して防災研究の観点から要点を紹介し、その情報のどこに注意してどう行動すべ きかを示した。また理学でわかったことわからないこと、それを受け社会学として の課題や対応を紹介した。さらに、メディアも含めた情報の扱い方も議論した。研 究会内の総合討論や研究会終了後のアンケートから今後議論したい内容として、臨 時情報に関して、その推移予測も含めた情報提供や議論の深化が多数寄せられた。 研究者ではなく行政やライフライン事業者の臨時情報の扱いについても、それぞれ の立場からの意見を出して議論したいという意見もあった。

関西地域研究会の今後の議論の方向性としては、本プロジェクトの防災分野の課 題で地域の行政等と進めている事前復興について、地域研究会でも議論を行いそれ らの深化と実装の一助となることが挙げられる。また、臨時情報と推移予測に関連 する知見やプロジェクト成果を地域側にどのように役立てていくかの議論を進め ること、経済界の防災減災対策の活性化のきっかけとして地域研究会が役立つこと もある。本プロジェクトの防災分野の課題で東海地域において実装が進められてい るリスク評価手法の関西地域での利活用を検討すること、同じく防災分野の課題で 南海トラフ地震に特化した災害情報プラットフォームを用いた図上訓練の実施を 検討すること等も挙げられる。



写真3-3-①-4 第11回関西地域研究会の様子(メルパルク大阪)



写真3-3-①-5 第12回関西地域研究会の様子(ホテルプリムローズ大阪)

3) 四国地域研究会·分科会

平成 30 年度の四国地域研究会は、平成 30 年 10 月 30 日 (火) に高知市内で開催 した。分科会は、高知分科会および香川分科会を平成 31 年 2 月 8 日 (金) に高松 市内で、徳島分科会を平成 31 年 2 月 26 日 (火) に徳島市内で行った。代表幹事は 海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター上席技術研究員 金田義行氏、 事務局は海洋研究開発機構が務めた。以下、各研究会と分科会の内容をまとめる。

10月30日の第8回四国地域研究会は、松山市内のホテルマイステイズ松山で開催した(写真3-3-①-6)。出席メンバーは、愛媛県、香川県、高知県、徳島県、高知市、高知地方気象台、高松地方気象台、徳島地方気象台、松山地方気象台、四国地方整備局、香川大学、四国ガス株式会社、四国電力株式会社、日本郵便株式会社(オブザーバー)の14機関33人であった。プロジェクト側は、海洋研究開発機構、防災科学技術研究所、文部科学省(オブザーバー)の3機関8人であった。四国地域研究会代表幹事の海洋研究開発機構上席技術研究員金田義行氏から「南

海トラフ巨大地震への備え一海底観測網と臨時情報対応他一」と題して、南海ト ラフに整備及び整備中の地震津波海底観測網の利活用に関する最新情報とその利 活用が紹介され、さらに臨時情報と推移予測について理学的な知見を中心に解説し た。次に各県の防災担当部署より「南海トラフ地震の取り組みと『南海トラフ地震 に関する情報(臨時)』について」として、各県の取り組みの現状や課題について 紹介した。具体的には高知県危機管理部南海トラフ地震対策課、愛媛県県民環境部 防災局防災危機管理課、香川県危機管理総局危機管理課、徳島県危機管理部とくし まゼロ作戦課が行った。国からのガイドラインが未だであるものの、それぞれが独 自に調査検討して対策を進めていた。総合討論では地震津波海底観測網の利活用の 先進事例、臨時情報に関する各県が抱える課題やいずれ国から出されるガイドライ ンを受けての防災減災計画の検討に関する意見が出された。研究会終了後のアンケ ートでも臨時情報に関する知見の紹介や議論、地震津波海底観測網の利活用の先進 事例紹介を継続する希望が多かった。

分科会は香川分科会、高知分科会、徳島分科会の3つを行った。香川分科会は通 常の分科会ではなく拡大版として2月8日にサンポートホール高松で開催した(写 真3-3-①-7)。香川県をはじめとする出席メンバーは四国地域研究会参画メ ンバーである愛媛県、高知県、徳島県、徳島市高松地方気象台、四国地方整備局、 香川大学、高知工科大学、四国電力株式会社に、マスメディアや医療関係者も加わ り、情報リテラシーの観点も含めて臨時情報の扱いについて、理学、行政、社会学 の立場から話題提供を行い様々な課題について議論した。特にマスメディアが参加 したしたことで、情報発信に関する議論が深められた。高知分科会は、この拡大版 香川分科会の前に高知県の南海トラフ地震対策の担当と海洋研究開発機構で行っ た。高知における津波浸水予測やその避難ルートと避難場所の整備について意見交 換を行った。徳島分科会は2月26日(火)に徳島県庁で行った(写真3-3-① - 8)。出席メンバーは徳島県と海洋研究開発機構であった。徳島県に特化した臨 時情報の扱いや長期湛水シミュレーションに関する議論、また、徳島県が運用して いる災害情報の共有システムについて海洋研究開発機構に紹介いただいた。なお、 愛媛県とは分科会の開催には及ばなかった。これは、非定期に行っている情報共有 と意見交換で平成30年度は結果的に事足りたからである。

四国地域研究会の課題や今後の議論、成果の社会実装の方向性としては、臨時情報の扱いが推移予測の議論も含めて主要テーマとなる。プロジェクトの理学的な成 果等の情報を参画メンバーに理解していただき、何らかの利活用をプロジェクト側 と進める場とすることである。まずは分科会において、プロジェクト側が提供でき る知見や国から出される情報について整理し、その考え方や扱いと地域への発信の 仕方の議論を深めることを検討したい。地域研究会の機会だけでなく他の機会も含 めて、プロジェクトの理学的な知見の理解増進や行政等の防災減災計画の検討に資 する情報提供を行う。防災分野の課題で南海トラフ地震に特化した災害情報プラッ トフォームを用いた図上訓練実施の検討や地震津波海底観測網の利活用の議論の 継続も挙げられる。当然、四国4県の連携、教育・啓発も重要な位置づけであるこ とは変わらない。



写真3-3-①-6 第8回四国地域研究会の様子(ホテルマイステイズ松山)



写真3-3-①-7 拡大香川分科会



写真3-3-①-8 徳島分科会

4) 九州地域研究会·分科会

平成 30 年度の九州地域研究会は、10 月 15 日(月)に宮崎市内で開催した。分科 会は平成 30 年 8 月 28 日(火)、9 月 21 日(金)、平成 30 年 10 月 15 日(月)、平 成 31 年 2 月 12 日(火)に宮崎分科会を行った。代表幹事は海洋研究開発機構地震 津波海域観測研究開発センター上席技術研究員 金田義行氏、事務局は海洋研究開 発機構が務めた。以下、各研究会と分科会の内容をまとめる。

10月15日の第8回九州地域研究会は宮崎市内のKITENビルコンベンションホー ルで開催した(写真3-3-①-9)。出席メンバーは、大分県、鹿児島県、熊本 県、福岡県、宮崎県、延岡市、宮崎市、宮崎地方気象台、九州運輸局、九州地方整 備局、名古屋工業大学、宮崎大学、九州電力株式会社、株式会社 IABC、新日鐵住 金株式会社、日本郵便株式会社(オブザーバー)の 16 機関 36 人であった。プロジ エクト側は、海洋研究開発機構、防災科学技術研究所、文部科学省(オブザーバー) 3機関9人であった。海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センター上席技 術研究員 金田義行氏から「南海トラフ巨大地震への備え― 海底観測網と臨時情報 対応 他一」と題して、南海トラフに整備及び整備中の地震津波海底観測網の利活 用に関する最新情報とその利活用が紹介され、さらに臨時情報と推移予測について 理学的な知見を中心に解説した。次に各県の防災担当部署より「南海トラフ地震の 取り組みと『南海トラフ地震に関する情報(臨時)』について」として、各県の取 り組みの現状や課題について紹介した。具体的には鹿児島県危機管理局危機管理防 災課、大分県生活環境部防災局防災対策企画課、宮崎県総務部危機管理局危機管理 課、熊本県知事公室危機管理防災課が行った。各県とも独自に検討を始めており、 それらを元に必要な情報や課題の洗い出しと今後の進め方の議論が深まった。総合 討論では臨時情報に限らず周辺自治体との連携や南海トラフ地震に関する意識向 上の手立てについて意見が交わされた。地震津波海底観測網については今後の利活 用検討に関する意見が交わされた。研究会終了後のアンケートでも臨時情報に関す る知見の紹介とその議論を継続する希望が寄せられており、企業における臨時情報 の対応も話題に挙げるとよいという意見もあった。さらに、日向灘や豊後水道に接 する県が多いこともあり日向灘の地震と南海トラフ地震との関連性や地震津波海 底観測網の利活用の先進事例紹介を継続する希望も目立った。

分科会は4回開催した(写真3-3-①-10)。その一回目は平成30年8月28日の宮崎県危機管理局が事務局の南海トラフ巨大地震対策九州ブロック協議会(今回の開催場所は熊本県庁内)である。これは以前の宮崎分科会での議論がきっかけとなり継続的に実施されているもので、今回も同協議会で九州地域研究会代表幹事金田義行氏が南海トラフ地震研究の紹介と臨時情報に関する話しを行い、九州全県の連携が念頭におかれた全体議論に参加したことから、同会を宮崎分科会と位置付けた。南海トラフ地震対策について、特に臨時情報に関して九州全県での連携した対応が求められていることが共通認識された。さらに、平成30年9月21日、10月15日、平成31年2月12日には宮崎県危機管理課担当者と宮崎県庁でそれぞれ分科会を実施した(写真3-3-①-11)。臨時情報に関する課題の抽出や意見交

換、地震津波海底観測網の利活用に関する意見交換、宮崎県内の基礎自治体に対す る勉強会の実施について話し合った。なお、10月15日は九州地域研究会開催前の 当日午前に、同研究会の事前打合せも兼ねた分科会となった。さらに、2月12日 は分科会の後、宮崎県が主催する県内基礎自治体向けの説明会で金田義行氏が南海 トラフ地震研究や臨時情報と推移予測に関する理学的な知見を中心に紹介し、その 後のグループ討論には、金田氏に加え海洋研究開発機構の高橋成実氏、今井健太郎 氏も加わり活発な討論が行われた。大分県、鹿児島県、熊本県、福岡県とは分科会 の開催には及ばなかった。これは、非定期に行っている情報共有と意見交換で平成 30年度は結果的に事足りたからである。

九州地域研究会の課題や今後の議論、成果の社会実装の方向性としては、四国地 域研究会と同様、臨時情報の扱いが推移予測の議論も含めて主要テーマとなる。プ ロジェクトの理学的な成果等の情報を参画メンバーに理解していただき、何らかの 利活用をプロジェクト側と進める場とすることである。まずは分科会において、プ ロジェクト側が提供できる知見や国から出される情報について整理し、その考え方 や扱いと地域への発信の仕方の議論を深めることを検討したい。地域研究会の機会 だけでなく九州ブロック協議会や県主催の説明会など他の機会も含めて、プロジェ クトの理学的な知見の理解増進や行政等の防災減災計画の検討に資する情報提供 を行う。防災分野の課題で南海トラフ地震に特化した災害情報プラットフォームを 用いた図上訓練実施の検討や地震津波海底観測網の利活用の議論も、特に津波被害 が大きい県を中心に継続することが挙げられる。南海トラフ地震の直接的な被害は 大きくない評価となっている県も含め、九州全域での連携、教育・啓発も重要であ る。



写真3-3-①-9 第8回九州地域研究会(KITEN ビルコンベンションホール;宮崎市)



写真3-3-①-10 宮崎分科会の様子の例 左:九州ブロック協議会 平成30年8月28日 右:宮崎県庁 平成31年2月12日



写真3-3-①-11 宮崎県基礎自治体向けの説明会の様子 左:南海トラフ地震研究や臨時情報に関する講演 右:基礎自治体のグループ討論会

5) 啓発・啓蒙活動

対話型イベントとして平成26年度より高知市内の寺田寅彦記念館において「高 知減災エンス塾 寺田寅彦先生の地球科学観に学ぶ一減災科学研究(げんさいえ んす)の推進—」を行っている。平成30年度は、高校生向けとしては通算四回目 となる同塾を、11月10日(土)に開催した(写真3-3-①-12)。講師は海洋研 究開発機構地震津波海域観測研究開発センター上席技術研究員金田義行氏であっ た。大学で津波の研究をしたい方、将来の職業として建築士、医療関係、防災に関 する仕事に就くことを目指す方々、学校で地震や津波の課題研究をやっている方々 など高知県内の高校生13名が参加した。オブザーバーとして高知県内高校の教諭 ら5名の参加があった。高校生を対象としていることから、最新の研究成果紹介だ けでは無く、地球科学の基礎知識や、全ての学問分野において防災・減災の課題が あること、全ての学問や身近なちょっとしたところから防災減災の取り組みが始め られること等を紹介した。参加者からは、「街の被害想定をもっと調べ家族や友達 に伝えて話し合ってみたい」、「日頃の物事の捉え方や考え方のちょっとした違いや 視点を変えることが大切であることが理解できた」、「避難後のことは考えていなか ったが、きちんと考えておかなければならないと思った」、「生徒会の活動に生かし たい」といった声が聞かれた。学校の課題研究の生徒さんは休憩時間や終了後も講 師への質問を積極的に行うなど、活発な対話がなされた。オブザーバーの教諭から は「普段の学校では聞く機会の無い内容で、学外に出て自ら学ぶ大切さも実感でき る」という評価もいただき、継続の希望が寄せられた。



寺田寅彦記念館 正面

講師の話を真剣に聞く参加者



講師との質疑応答

講演終了後も質問や意見交換が行われた

写真3-3-①-12 第四回高校生高知減災エンス塾 「寺田寅彦先生の地球科学観に学ぶ」の様子

(d) 結論ならびに今後の課題

各地域とも、プロジェクト側からは、最新のプロジェクト成果や最新トピックを紹 介し、地域側からは参画メンバーが抱える課題などについて紹介していただき、活発 な意見交換や議論が行われた。東海や関西では経済界の課題や、経済界とも連携した 事前の減災対策と発災後の対応、さらには事前復興に関する議論が重ねられた。東海 では、プロジェクト成果の社会実装としてリスク評価を減災対策に活かすために自治 体と連携して進めている取り組みも紹介された。関西では、大阪府北部を震源とする 地震に関する話題提供と議論の場をタイムリーに提供できた。もちろん、現在もっと も関心が高い南海トラフで異常な現象が観測された場合に出される臨時情報と推移予 測について各地域で多くの時間を割き、理学、工学、社会学の観点から地域に役立つ 情報を提供し、また地域側からも課題等を紹介していただき議論を重ねてきた。さら に、四国や九州では行政やライフライン事業者にとっては臨時情報が出た時の対応に も少なからず関係する可能性のある地震津波海底観測網の利活用についてもこれまで 以上に最新情報の提供や議論を重ねることができた。分科会では個別ニーズの掘り起 しや特定地域に重点を置いた情報共有と議論を行った。そうした議論から、九州では 基礎自治体への臨時情報と推移予測に関する宮崎県主催の説明会に参画し、四国では 全県における情報収集と共有や発信に重点を置いた分科会を開催した。地域研究会と 分科会を通じて地域側からは、臨時情報が出たあとの推移予測も含め、情報提供や議 論の継続希望が多数寄せられている。また、先進的に進められている自治体と連携し たリスク評価の他地域への適用の可能性や、地震津波海底観測網の利活用についても 大きな関心が寄せられており、本プロジェクトへの期待は更に高まっていると言える。 そして、南海トラフ地震における防災減災対策研究の幅広い情報発信と議論の場とし て地域研究会の存在は確立しつつあると言える。

こうした話題提供や議論、現状分析から、社会実装や地域連携を行う研究内容は定 まりつつある。今後の課題としては、これらの情報発信と議論の場という位置づけだ けでなく、さらに一歩踏み込んだ形で、プロジェクト成果の実装や地域連携の深化と 広がりを進める場である意識をこれまで以上に打ち出すことと考えている。実装や地 域連携深化と広がりを行う具体的な例は、まず、臨時情報と推移予測であり、本プロ ジェクトの成果や知見も含めたさまざま情報提供と議論の場を提供することにより地 域側がそれらを活用することが出来る。また、リスク評価も現在進めている地域では 実現の目処がついており、その他地域展開に寄与することも挙げたい。以前の地域研 究会で試験利用を案内した本プロジェクトで構築中の南海トラフ地震に特化した災害 情報プラットフォームを用いた図上訓練を地域研究会の機会を利用して実施すること も検討する。このプラットフォームにも付与される即時津波浸水予測などの地震津波 海底観測網の利活用についても地域側から関心が高く、地域研究会の機会を利用して 試験的な利用の範囲を広げたい。自治体等と連携した事前復興の取り組みが本プロジ ェクト内で進んでおり、地域研究会の機会を利用して他地域への情報共有を行って他 地域での今後の防災計画作成などに資するきっかけの提供を検討する。さらに情報リ テラシーの向上にも地域研究会の場が活かされることも検討したい。

プロジェクトも終盤を迎え、前項の地域連携や社会実装などの実現を加速していか なければならない。そこには地域研究会の自律というキーワードを念頭におき、地域 側とプロジェクト側の接点の場としての地域研究会を実施していく。

(e) 引用文献

なし

(3) 平成 31 年度業務計画案

東海、関西、四国、九州の4か所で地域研究会を開催し、地域の意識向上と防災 減災対策に資する情報提供を継続する。自治体や地域の大学との連携も含めた様々 な地域特性に合わせた取り組みが進み始めており、新たな懸案である臨時情報に関 する地域特有の課題も共有し、対策の最適化や深化を推進する。きめ細かい提案・ 助言・議論のために分科会などの取組みも実施し、また、情報共有と情報発信の強 化のために、これまでの地域研究会の枠組みを広げた連携も検討する。これらより、 避難の在り方や早期復旧を念頭に、地域連携と行政による研究成果の利活用など社 会実装の提案を行い、現在進めている社会実装を更に拡張する。加えて、研究成果 の普及や啓発・人材育成のために防災・減災カフェ等を開催する。

3.4 災害対応·復旧復興研究

(1) 業務の内容

(a)業務題目 「災害対応・復旧復興研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人 京都大学 防災研究所	教授	牧紀男
国立大学法人 東京大学 生産技術研究 所	准教授 特任研究員	加藤孝明 塩崎由人 (平成 30 年 4 月~平 成 31 年 1 月)
国立大学法人 東京大学大学院 工学系研究科都市工学専攻	准教授	村山顕人

(c) 業務の目的

将来の地域特性シミュレーション、詳細被害シミュレーション結果にもとづき、南 海トラフ巨大地震の各地域の影響についての「納得」プロセスの開発、さらには各地 域で想定される影響にもとづき事前の復旧・復興計画策定、災害対応計画の策定を行 う。得られた成果は1-c、eと共有するとともに、被害想定、復旧・復興計画につい ては1-a、bの知見を利用する。

(d) 7 か年の年次実施業務の要約

平成 25 年度:

南海トラフ巨大地震を想定した復興準備のため、歴史的資料や土地利用・建物・ 人口等の減災に関わる情報の収集及び将来の地域特性評価システムの構築等を行い 影響シナリオ構築のための環境整備を行った。また、復旧・復興対策の検討に向け て、地震動の到達時間が短く、既成市街地に津波による大きな被害が想定される地 域を対象に、復旧・復興計画立案に必要となる行政制度、地域社会の仕組み、民間 の人材、地域災害文化の現状についての基礎的調査を行った。

平成 26 年度:

南海トラフ巨大地震を想定した復興準備のため、歴史的資料等減災関連情報の収 集、将来の地域特性評価システムの構築・検証、被害イメージ共有のための基礎的 考察と影響シナリオ構築のための環境整備を行った。また、復旧・復興対策の検討 に向けて、地震動の到達時間が短く、既成市街地に津波による大きな被害が想定さ れる地域を対象に、復旧・復興計画立案に必要となる行政制度、地域社会の仕組み、 民間の人材、地域災害文化の現状についての基礎的調査を行い、事前復興計画を策 定するための基礎的検討を行った。
平成 27 年度:

平成25度から26年度に検討した災害による地域への影響を把握するための「地 域特性評価システム」の高度化を行い、災害による影響を定量的に評価可能なシス テムの構築を行うとともに、地域研究会における議論を踏まえ一般企業のBCP策定 に資する共通被害シナリオの構築を行った。また事前復興の理論的枠組みの構築を 行うため、地域特性をふまえた事前復興のあり方、地震・津波被害の低減に向けた 都市計画指針の検討を行った。

平成 28 年度:

影響評価、事前計画システムのプロトタイプ構築について、平成 27 年度までに 開発した将来の「地域特性評価システム」を用いて、災害が地域に与える影響の定 量的評価の試みを図った。また、将来の地域特性シミュレーション、詳細被害シミ ュレーションシステムから構成される南海トラフ巨大地震の影響評価システムのプ ロトタイプの構築を行った。さらに事前復旧・復興計画システムの現地での導入試 験を行い、プロトタイプの構築を行った。

平成 29 年度:

影響シナリオ構築シミュレーションの具体的構築、事前復興計画の策定作業を継 続する。将来の地域特性シミュレーション、詳細被害シミュレーションシステムか ら構成される南海トラフ巨大地震の影響評価システムのプロトタイプの構築を行う と共に、事前復旧・復興計画システムの現地での導入試験を行い、現場での活用方 法の検討を交えた被害を軽減するためのまちづくり方策プロトタイプの構築を行っ た。

平成 30 年度:

影響シナリオ構築シミュレーションの精緻化と、事前復興計画の策定手法の開発の継続を行った。平成29年度から検討を開始したより精緻な新たな災害影響評価手法の検討を、東日本大震災の事例等も用いて継続して実施した。これまで開発してきた事前復旧・復興計画作成システムへの住民ビジョンの反映手法について東日本大震災のデータを用いてその妥当性を検証するとともに、和歌山県由良町を事例に他地域への導入可能性の検討を行った。

平成 31 年度:

研究成果の最終とりまとめとして、これまで兵庫県(まち)・和歌山県(集落) を事例として開発をおこなってきた1)復興ビジョンの構築、2)地域の現状分析、 3)対策案の構築、4)土地利用計画の策定から構成される事前復興計画策定手法 を1-a、bの知見も利用し都市他地域へと適用し、開発した計画手法の妥当性の 検証・プログラム化を行うとともに。成果を 1-c、e の研究を通じ社会に発信する。 またこれまで開発を行ってきた災害影響評価手法の確立を行う。

(e) 平成 30 年度業務目的

影響シナリオ構築シミュレーションの精緻化と、事前復興計画の策定手法の開発 の継続を行う。平成 29 年度から検討を開始したより精緻な新たな災害影響評価手 法の検討を継続する。これまで開発してきた事前復旧・復興計画作成システムへの 住民ビジョンの反映手法の検討を行うとともに、他地域への導入可能性の検討を行 う。

(2) 平成 30 年度成果

①影響シナリオ構築シミュレーションの精緻化

(a) 業務の要約

震災がなかった場合に想定された平成 27 年(2015 年)の地域人口構造類型と、震 災による被害・災害対応・復旧復興のプロセスを経た結果としての実際の平成 27 年 (2015 年)の地域人口構造類型の比較を行い、岩手県・宮城県の半島部における震災 の影響と考えられる想定以上の高齢化、震災復興事業の影響にともなうと考える地域 人口構造類型の変化の抽出を行った。また、阪神・淡路大震災、2004 年新潟県中越地 震を事例として開発を行ってきた国勢調査の地域メッシュデータを用いた災害影響評 価手法が他地域においても適応可能であることの確認を行い、災害影響評価手法の精 緻化をおこなった。

(b) 業務の実施成果

これまで阪神・淡路大震災、2004 年新潟県中越地震を事例として開発を行ってきた 国勢調査の地域メッシュデータを用い、人口ピラミッドの形状から地域の持続可能性 を評価する地域構造人口類型¹⁾による災害影響評価手法の精緻化を行うため、これま での手法の東日本大震災へと適用し検討を行った。

東日本大震災の被害・災害対応・復旧・復興の総合影響評価を行うため、平成22年 (2010年) <震災前>の人口実績値、平成27年(2015年) <震災から4年後>の比 較を行い東日本大震災の被害、災害対応、復旧・復興についての総合的な影響評価を 実施した。福島県については原発被害の影響があることから一部地域で国勢調査が行 われておらず、今回の検討では岩手県・宮城県を対象に検討を行うこととした。

1) 岩手県

平成 22 年 (2010 年)人口実績について地域人口類型 (図 3 - 4 - ① - 1)をみる と、5,234 メッシュ中、持続類型 528 メッシュ (10.1%)、依存類型 3,399 メッシュ (64.9%)、限界類型 1,307 メッシュ (25.0%)となっている。平成 27 年 (2015 年) 人口実績について、地域人口構造類型をみると、5,234 メッシュ中、持続類型 346 メ ッシュ (6.6%)、依存類型 2,957 メッシュ (56.5%)、限界類型 1,931 メッシュ (36.9%)となっている。変化の状況を詳細にみると、持続類型→依存類型 248 メッ シュ、持続類型→限界類型 18 メッシュ、依存類型→限界類型 863 メッシュとなってお り、人口減少の影響がうかがえる一方で、依存類型→持続類型 74 メッシュ、限界類型 →持続類型 10 メッシュ、限界類型→依存類型 247 メッシュとプラス側に地域人口構造 類型が変化したメッシュもみられた。

震災以前の 2010 年の人口データをもとにコーフォート要因法を用いて平成 27 年 (2015 年)人口推計を行い平成 27 年の推計人口をもとに地域人口構造類型(図34-①-1)を求めた。5,234メッシュ中、持続類型351メッシュ(6.7%)、依存類型2,933メッシュ(56.0%)、限界類型1,950メッシュ(37.3%)となった。平成27年(2015年)人口実績及び人口推計について、地域人口構造類型を比較すると、持続類型、依存類型、限界類型ともに、人口実績と人口推計でメッシュ数は同程度となっている。

変化の状況を詳細にみると、人口推計では、持続類型と評価されたメッシュが、人 ロ実績では、限界類型となっているものが18メッシュ、依存類型となっているメッシ ュが118メッシュみられた。また、依存類型と評価されたメッシュが、人口実績では、 限界類型となっているものが465メッシュあり、想定していた以上の高齢化が発生し ており、なんらかの外的要因による影響が伺える。一方で、人口推計では、依存類型 と評価されたメッシュが、人口実績では、持続類型となっているものが112メッシュ みられた。また、限界類型と評価されたメッシュが、人口実績では、持続類型となっ ているものが19メッシュ、依存類型となっているものが483メッシュあり、プラス側 に地域人口構造類型が変化したメッシュもみられた。



図 3-4-①-1 平成 27 年(2015 年)人口推計と人口推計の比較(岩手県)

2) 宮城県

平成22年(2010年)人口実績について地域人口構造類型(図3-4-①-2)をみると、3,883メッシュ中、持続類型661メッシュ(17.0%)、依存類型2,610メッシュ(67.2%)、限界類型612メッシュ(15.8%)となっている。平成27年(2015年)人口実績について、地域人口構造類型をみると、3,883メッシュ中、持続類型440メッシュ(11.3%)、依存類型2,498メッシュ(64.3%)、限界類型945メッシュ(24.3%)となっている。変化の状況を詳細にみると、持続類型→依存類型250メッ

シュ、持続類型→限界類型 17 メッシュ、依存類型→限界類型 478 メッシュとなってお り、人口減少の影響がうかがえる。一方で、依存類型→持続類型 42 メッシュ、限界類 型→持続類型 4 メッシュ、限界類型→依存類型 158 メッシュとプラス側に地域人口構造 類型が変化したメッシュもみられた。

岩手県同様に震災前(平成22年)の人口にもとづき行った平成27年(2015年)の 推計人口をもとに地域人口構造類型(図3-4-①-2)を作成すると3,883メッシュ 中、持続類型528メッシュ(13.6%)、依存類型2,475メッシュ(63.7%)、限界類 型880メッシュ(22.7%)となっている。平成27年(2015年)人口実績及び人口推計 について、地域人口構造類型を比較すると、持続類型、依存類型、限界類型ともに、 人口実績と人口推計でメッシュ数は同程度となっている。

変化の状況(図3-4-①-2)を詳細にみると、人口推計では、持続類型と評価 されたメッシュが、人口実績では、限界類型となっているものが20メッシュ、依存類 型となっているメッシュが137メッシュみられた。また、依存類型と評価されたメッシ ュが、人口実績では、限界類型となっているものが323メッシュあり、外的要因による 影響が伺える。一方で、人口推計では、依存類型と評価されたメッシュが、人口実績 では、持続類型となっているものが64メッシュみられた。また、限界類型と評価され たメッシュが、人口実績では、持続類型となっているものが5メッシュ、依存類型と なっているものが273メッシュあり、プラス側に地域人口構造類型が変化したメッシュ もみられた。



図 3-4-①-2 平成 27年(2015年)人口推計と人口推計の比較(岩手県)

3) 震災の影響による変化

震災がなかった場合に想定された平成27年(2015年)の地域人口構造類型と、震災 による被害・災害対応・復旧復興のプロセスを経た結果としての実際の平成27年 (2015年)の地域人口構造類型の比較結果を図3-4-①-3に示す。

想定していた以上の人口変化が発生したメッシュについては濃い色(オレンジ、グ

リーン、赤)となっており、災害による若年層の人口流出により想定以上の高齢化が 発生した地域(濃いオレンジのメッシュ)が岩手県・宮城県の半島部に見られる。ま た岩手県においては湾奥の元の中心市街地であった地区においても想定以上の高齢化 が発生している地域が見られるが、これは復興事業にともない一時的に住民が地域を 離れたことによる人口変化の影響が発生していると考えられる。

一方、宮城県の平野部においては顕著な変化が見られないが、内陸部において地域 人口構造類型が持続類型に変化している地域が見られ、沿岸部に建設された防災集団 移転団地への住民が移動した結果と考えられる。また防災集団移転が行われた地区に おいて人口構造が変化している事例が見られた。



図3-4-①-3 東日本大震災による地域人口構造類型変化 (平成27年(2015年)国勢調査による)

(c)結論ならびに今後の課題

本検討は、まだ復興事業が完了しておらず、まだ多くの人が応急仮設住宅に居住している震災4年後(平成27年(2015年))の国勢調査を用いた検討であるが、これまで開発してきた手法により震災による総合的な影響評価を行うことの可能性が示唆された。今後、復興事業との関連等、よりミクロな単位での検討を行っていくとともに、平成32年(2020年)に実施される国勢調査を用いて、東日本大震災の総合的な

影響調査を実施していきたいと考える。

(d)引用文献

1) 佐藤慶一,牧紀男,堀田綾子,岸田暁郎,田中傑、被災前の人口トレンドが被災 地の地域人口構造へ与える影響、地域安全学会論文集 No. 24, pp. 293-302、2014

②事前復興計画の策定手法の開発

(a) 業務の要約

本検討では兵庫県南あわじ市で開発を行った災害後の土地利用計画策定手法を和歌 山県由良町に適応し、その利用可能性ならびに手法の高度化を行った。由良町におい て検討を行った結果、本手法は他地域への応用が可能であることが明らかになった。 また、ハザード情報を示した地図を利用して検討をすることで、災害時に発生する事 態について具体的にイメージすることが可能になり、土地利用計画を策定すると同時 に由良町における災害対応、復旧・復興についての課題についても抽出することが可 能であることが明らかになった。

(b) 業務の成果

兵庫県南あわじを事例として開発を行った行政職員による事前復興土地利用計画策 定手法の他地域への適応可能性を検討するため和歌山県由良町を事例として検討を行 った¹⁾。

1) 災害後の土地利用計画策定のためのワークショップの概要

2018年2月19日(以下、「WS1」と略す)と同年6月28日(以下、「WS2」と略 す)に町役場3階大会議室で行政職員を対象としたワークショップを実施した。ワー クショップ参加者は都市計画・管財・防災・住宅・建設・産業・水道・下水・災害廃 棄物・学校関連の業務担当者にした。WS1 では南海トラフ地震発生時に地域内で起こ り得る被害状況を考え、いつまで、どこの担当部署がどういった災害対応をするのか について話し合って、時系列に対応の流れを整理するとともに復興イメージ図の素案 を描いた。役場からのWS1参加者は14人で、オブザーバーも含めると計17人が参加 した。所要時間は約3時間であった。

WS2 では WS1 の成果物を参加者に見せ、漏れた内容や修正すべき内容等がないか確認を行った。特に、WS2 では WS1 で取り上げられた課題についてその解決策はあるのか、ない場合はどうするのか等について議論が行われた。WS2 参加者は WS1 と同様の業務担当者であり計 17 人(オブザーバーまで含むと計 19 人)が参加し、所要時間は約3時間であった。

ワークショップでは福良での手法を援用し、縮尺1:15、000の地図を用意し、災害時に起こり得ることや災害対応に関する情報を時系列に沿って書き込む形式で行った (図3-4-2-1)。時間軸は、初動期~応急期(①地震発生直後~津波到達前、 2津波到達~1日目、③~3日目、④~1週間)、復旧・復興期(⑤~3か月、⑥~ 1年、⑦1年~)に設定した。 準備・作成したデータについてにします。



図3-4-2-1 事前復興土地利用計画策定のためのデータセット

2) 災害後の災害対応・土地利用に関わる課題

災害後の土地利用についての検討を行う目的でワークショップを実施したが、ハザ ード情報を示した地図を利用して検討をすることで、災害時に発生する事態について 具体的にイメージすることが可能になり、また災害対応に関わる全課の職員が参加し て共通の場で議論を行うことで部局横断的に災害時の課題について議論が可能になり、 土地利用計画を策定すると同時に由良町における災害対応、復旧・復興についての課 題についても抽出することが可能になった。以下に WS を通じて抽出された課題を示 す。

1. 災害対策本部等について<由良町では役場が浸水区域内にあり地震発生後、別の施設に移動して災害対策本部を設置する必要がある>:a) 災害発生直後、住民への周知方法、b) 災害対策本部までの移動手段、c) 災害対策本部の準備状況

2. 救急・救助体制について:d)町内の道路啓開への所要日数、e)救急車が来ら れない時の急患移送(由良町は組合消防であり由良町内には消防署が存在しない)

3. 救助拠点等について:f)消防・医療・自衛隊等の救助拠点の適地、g) 仮設住 宅地の適地

4. 遺体及び災害廃棄物対策について:h) WS で検討した遺体安置所以外の適地の 有無、i)長期間の遺体安置の際の対策、j)火葬の限界への対策、k) WS で検討した 災害廃棄物処理地以外の適地

5. 浄水場の被災・復旧について:1) 浄水場の地震及び津波対策、m) 浄水場被災の場合、迅速な復旧を行うための対策

6. 学校関係について:n) 仮小中学校及び仮給食センター設置場所、o) 被災後の 小中学校等の再開、p) 小中学校等の復興地

7. まちの中心機能について:q) 産業の中心地移転の可否と移転時の課題、r) 仮 庁舎、復興後の庁舎地、s) 公営住宅地、地区の復興

抽出された課題については WS2で検討を行うとともに、町として継続して検討を 行うこととなった。

3) 災害後の土地利用計画

WS1、2の作業を経て、図3-4-②-2に示すような時系列での災害時の土地利 用計画と課題の抽出が行われた。



図3-4-2-2 災害後の土地利用計画(案)

4) 災害後の土地利用(事前復興計画)についての検討手法の確立

本検討では兵庫県南あわじ市で開発を行った災害後の土地利用計画策定手法を和歌 山県由良町に適応し、その利用可能性ならびに手法の高度化を行った。2回の事例検 討をふまえて整理を行った災害後の土地利用計画(事前復興計画)策定手法について 図3-4-②-3にまとめる。



図3-4-2-3 災害後の土地利用計画(事前復興)の流れ

(c) 結論ならびに今後の課題

本研究は災害対応の経験が少ない自治体が事前復興計画案を策定できるよう手法を 構築することを目的に、兵庫県南あわじ市を事例として開発をおこなった手法を、和 歌山県由良町にも適応し計画策定プロセスと成果についてまとめたものである。これ までに町レベル(由良町:人口 5,738人、2019年3月末現在)、市レベル(南あわ じ市:人口 47,289人)を事例として検討を行ってきており、手法の適用可能性・有 用性について明らかにしている。今後、都市レベル(人口 5万人以上の市)において 同様の検討を行い本手法の有用性について検討することとしたい。

(d)引用文献

1) 金玟淑、牧 紀男、住広 則枝、岸川 英樹、和歌山県由良町の事前復興計画イメー ジ図作成の試み、地域安全学会梗概集 No.43, pp. 179-182、2018

③津波防災地域づくりの実践的構築

(a) 業務の要約

昨年に引き続き、伊豆市で進められる津波防災地域づくり法に基づく推進計画の策 定に主体的に関わることを通して、津波防災地域づくりの計画プロセス、計画策定手 法に関して考察を行い、津波ハザード評価を実社会につなげる計画理論の確立に向け ての知見を得た。

(b) 業務の実施方法

伊豆市では、2016 年1月から津波防災地域づくり法に基づく推進計画の議論を進めている。西伊豆有数の観光地である土肥地域を対象に「伊豆市"海と共に生きる"

観光防災まちづくり推進計画」と称した法定計画を策定している。法定協議会は、 2016年3月に第1次計画、2017年11月に第2次計画を答申した。今年度は、2019 年3月に新たに第3次計画を答申した。なお、この計画は、南海トラフ巨大地震で想 定される最大10m、最短6分の津波災害の防災を進めるだけではなく、年間80万人 近い観光客が訪れる土肥地域の観光の振興、かつ、過疎化に起因する地域の持続性の 課題の解消を事業者・住民・行政が問題意識を共有し、地域一丸となって前向き、か つ、自律的に取組める状況を創り出すことを目的としている。

本研究業務では、推進計画の法定協議会の会長の立場から計画に関する議論、取り 組みをコーディネートし、それを通して津波防災地域づくりの新しいモデルを構築し つつ、その過程で津波防災地域づくりの策定手法、支援技術に関する考察を深めた。

伊豆市、静岡県、研究分担者らとの研究会、現地での協議会および大小の市民集会 への主体的参画を通して実践的に津波防災地域づくりを構築した。2018 年度は、東 京大学等での研究会を計5回開催し、現地での協議会・市民集会などへ計7回に参画 した。

(c) 業務の成果

過年度より参与観察する 2016 年度から始まる伊豆市観光防災まちづくりは、今年 度、「津波災害特別警戒区域」の指定、それによる想起されるマイナス効果のプラス への転換、「地区防災計画」の全区・組織による自立的策定への道筋の構築等、一定 の到達点に達した。来年度の総括に向けて、本年度の知見として下記の3点に整理し、 課題を明確化した。

ボトムアップの議論を積み上げによる津波防災地域づくり推進計画と地区防災計画の連携的計画策定手法の確立

昨年度、津波防災地域づくり推進計画に「地区防災計画の策定」が明記されたこと を受け、2017年度に土肥地区の19区・組織(区は町会に相当,組織は温泉旅館組合、 土肥中学校)が行った「『がんばる』地域宣言」を起点として、地区防災計画策定の 議論を各組織で行うこととし、3区、及び、1組織(温泉旅館組合)が地区防災計画 を策定し、市に提出し、市は地域防災計画に位置づけた。今回策定された地区防災計 画は、自律成長型の計画の起点と位置付け、その内容は簡素なものに留めている点が 特徴である。次年度以降の各区・組織における継続的な策定作業に参与観察し、本策 定プロセスの有効性を検証する予定としている。

2) 市民レベルでの計画検討のための津波ハザード情報に関する考察

ー昨年度開発した県の被害想定データによるGoogle Earth を用いた津波ハザード 可視化システムについては、意識啓発フェーズでの有効性がすでに検証されている。 一方で、各区・組織にて、備蓄倉庫の設置フロアーや避難タイミングの検討等、具体 の取組み内容を検討する際には、その精度は不十分である。計画策定フェーズにおけ る津波ハザード情報のあり方については課題であった。今年度は、津波災害特別警戒 区域の指定に伴って利用可能となった小メッシュ単位の「基準水位」情報に着目し、 ヒアリングを行った結果、小メッシュ単位「基準水位」が計画検討には不可欠である との結論を得た。次年度以降、基準水位データの可視化を含む計画策定支援技術につ いて検討を行う。

3) 津波防災地域づくり法に基づく「津波災害特別計画区域」指定の負のイメージの転換

昨年度までの地域での議論を通して、津波災害特別警戒区域、および、同警戒区域 の適切な解釈として下記を得ており、現在までに地域に浸透しつつある。

- ・津波災害警戒区域:津波ハザードを正しく理解し、そこで安全に暮らす工夫を行う区域
- ・津波災害特別警戒区域:津波リスクを今以上に蓄積しない区域

対外的には、各法定用語について「愛称」を付けることによって適切な解釈を社会 全体に促すこととした。伊豆市が全国公募し、法定協議会メンバーで審査を行い、愛 称を下記のように決定した。

- ・ 津波災害警戒区域:「海のまち・安全避難エリア」
- ・津波災害特別警戒区域:「海のまち・安全創出エリア」

3月 27 日の指定決定以降、指定検討時に懸念された風評被害に関して、旅館組合の構成メンバー等へのヒアリングを行った。その結果、5月以降の旅館の予約状況への影響は特にみられなかった。一方、「津波災害警戒区域はリスクの高い地域」とのマスコミ報道はいまだ散見されており、こうした解釈が現れる構造について理解を深める必要がある。

また「愛称」に関しては、伊豆市役所に他自治体からの問い合わせがみられた。先 駆的なモデルであることの間接的な証左ともいえる。次年度以降、精査が必要であ る。

(d) 結論ならびに今後の課題

- 昨年度に引き続き、伊豆市における参与観察を通して下記3点について知見を得た。
 ・ボトムアップの議論を積み上げによる津波防災地域づくり推進計画と地区防災計画の 連携的計画策定手法の確立
- ・ 市民レベルでの計画検討のための津波ハザード情報のあり方
- ・ 津波防災地域づくり法に基づく「津波災害特別計画区域」指定の負のイメージの転換の検証

今年度成果としては、経過観察と考察に留まっているので、次年度以降は、調査に 基づく定量分析を行う。また現地での議論の状況をふまえ、中長期的な対策として事 前復興に関する議論の喚起を試みる必要がある。

- ④ 事前復旧・復興計画の考え方を含む圏域マスタープランと地域まちづくりの自治体 都市計画への展開手法の検討(三重県及び鈴鹿市の事例研究)
- (a) 業務の要約

事前復旧・復興計画の考え方を都市計画に組み込む業務として、これまでの成果の 都市計画教科書への掲載、事前復旧・復興に関わる今後の三重県の取り組みの検討・ 共有、都市計画区域マスタープランへの事前復旧・復興に関わる内容の記載方法の検 討・例示、鈴鹿市における土地利用規制見直しの大方針の検討を行った。

(b) 業務の実施方法

本業務では、まず、共著で出版した都市計画の次世代教科書「都市計画学:変化に 対応するプランニング」¹⁾の中に、平成 29 年度までに実施してきた三重県及び鈴鹿市 を中心とする事例研究の成果を体系的に整理して掲載した。また、三重県県土整備部 都市政策課及び鈴鹿市都市整備部都市計画課と連携して事前復旧・復興計画の考え方 をさらに議論・整理し、その実現に向けた都市計画実務への実装を進めた。三重県の 部分の内容については、三重県都市計画区域マスタープラン策定委員会(北勢圏域・ 東紀州圏域:2019 年3月5日開催)において、関係する自治体の都市計画職員や市民 代表の間で共有した。

(c) 業務の成果

1)これまでの成果の都市計画教科書への掲載

都市計画教科書「都市計画学:変化に対応するプランニング」の「1章 土地利 用と施設配置」に掲載した事前復旧・復興計画の考え方を含む内容としては、具体 的には、三重県都市計画方針(2017 年策定)²⁾の都市構造の変革のための「都市防 災の観点:大規模自然災害の被害低減に向けた都市構造の形成」(図3-4-④-1)、三重県北勢圏域マスタープランの広域防災拠点及び防災連携軸を含む将来都 市構造、鈴鹿市都市マスタープランの災害からまちや地域を守る防災・減災都市づ くりの展開に関わる「防災・減災の都市づくり」の方針と他の分野の方針をも踏ま えて復興時の災害リスクの低い場所での新市街地整備を念頭においた市街地形成検 討地区を含む将来土地利用構想がある。

2) 事前復旧・復興に関わる今後の三重県の取り組みの共有

関係する自治体の都市計画職員や市民代表が参加する三重県都市計画区域マスタ ープラン策定委員会(北勢圏域・東紀州圏域)において、次の通り、南海トラフ巨 大地震の事前復旧・復興に関わる今後の三重県の取り組みを共有した。

・津市の立地適正化計画(2018 年3月)³⁾では、災害リスクを踏まえて居住誘導区 域が設定されているが、このうち津波浸水想定区域については、過去最大クラスの 浸水想定範囲を基準とした上で、「三重県地震・津波被害の低減に向けた都市計画 指針」⁴⁾(2016 年8月策定)の木造建築物における検討方針に基づき、浸水深2m 以上となる区域については、居住誘導区域に含めないこととされた。

・他の自治体においては、津市のような事前復旧・復興計画の考え方を含む土地利

用計画・規制が策定されていない(鈴鹿市は都市マスタープラン⁵⁾において「土地 利用規制見直しエリア」や「市街地形成検討地区」は設定しているが方針に留まっ ており実効性のある施策は未策定である)ので、三重県が自治体と共同で都市構造 の再編を含む土地利用の見直しを検討することとする。

・三重県は、災害の危険性等の理由により市街化区域から除外すべき区域を探索する試み(≒災害危険性が高い区域の市街化調整区域への編入に向けた検討)を行う。これは、もう1つの「都市経営の観点:効率的で利便性が高く、持続可能な都市構造の形成」(図3-4-④-2)から要請されるいわゆる「コンパクトシティ・プラス・ネットワーク」の実現において、公共交通の利便性が高く都市機能が充実している拠点とその周辺のエリアに人口を誘導し、相対的に利便性が低く災害リスクが高いエリアの人口を実質的に減少させることと合わせて検討される。



図 3 - 4 - ④ - 1 都市構造の変革のための都市防災の観点 出典:三重県都市計画方針(2017)の図面・テキストを加工



図 3 - 4 - ④ - 2 都市構造の変革のための都市経営の観点 出典:三重県都市計画方針(2017)の図面・テキストを加工

3)都市計画区域マスタープランへの事前復旧・復興に関わる内容の記載方法の例示

さらに、今後策定する各都市計画区域マスタープランにおいては、次の通り、都 市防災の観点から必要な都市的土地利用の見直しに関する方針を記載する例が提示 され、委員の支持を得た。

・A 案(圏域マスタープランに記載の目標・方針をそのまま反映させる形):拠点 及びその周辺地については、将来にわたり都市機能を集約し存続させる区域である ことから、区域内に存在する建築物の構造強化の促進等都市防災に係る施策を実施 し、安全性の向上を図る。そのうえで、都市機能の集約をめざす区域を除く、一定 の広がりをもった居住系の既成市街地における災害リスクを有する区域については、 地域地区の見直しや建築物の構造規制に係る条例の制定等を検討する取り組みを促 進する。

・B 案(集約型シナリオまたは移転型シナリオを志向する場合、逆線引きを志向す る場合):拠点及びその周辺地については、将来にわたり都市機能を集約し存続さ せる区域であることから、区域内に存在する建築物の構造強化の促進等都市防災に 係る施策を実施し、安全性の向上を図る。そのうえで、都市機能の集約をめざす区 域を除く、一定の広がりをもった居住系の既成市街地における災害リスクを有する 区域については、地域の実情に応じた大規模災害に強いまちづくりを推進するため に、避難対策の強化や都市機能の移転・集約等を含めた被害低減に向けての都市構 造の再編シナリオと、その実現のための都市計画関連施策を検討する取り組みを促 進する。また、市街化区域内の現に市街化していない縁辺部において、土砂災害特 別警戒区域等による災害の発生のおそれのある土地の区域が含まれる場合は、(県 が市街化調整区域への編入の基準を策定した上で)、必要に応じて、当該縁辺部を 市街化区域に編入する。

4) 鈴鹿市における土地利用規制見直しの大方針の検討

鈴鹿市の津波浸水想定エリアの土地利用について広範な実態調査を行い、市役所 都市計画課との意見交換に基づき、以下の大方針を検討した。

・沿岸部には計画的に造成された住宅地(第1種低層住居専用地域・10m 高さ規制) と歴史的な集落の密集市街地(第1種住居地域)があり、いずれも人口・世帯数減 少傾向で、空き家・空き地も目立つことを確認した。

・その上で、(1)計画住宅地では土地利用規制の微調整(建物高さ規制の緩和)(写真3-4-④-1)と建築のガイドライン、(2)密集市街地では空き家除去+空 き地・宅地・農地・その他土地利用の戦略的再配置による防災性能の向上(写真3 -4-④-2)、(3)被災後(特に土地液状化後)に備えた事前復興(復興準備) 計画の検討(都市 MP で災害リスクを避けて指定された市街地形成検討地区の計画を 含む)(図3-4-④-3)などが重要かつ現実的である。



写真3-4-④-1 建物高さの規制の緩和が考えられる計画住宅地



写真3-4-④-2 土地利用の戦略的再配置が考えられる密集市街地



図3-4-④-3 災害リスクを避けて指定された鈴鹿市の市街地形成検討地区 出典:鈴鹿市都市計画マスタープラン(2016)から抜粋

(d) 結論ならびに今後の課題

まず、これまでの成果が自治体職員も読む都市計画教科書に掲載されたことに より、今後、復旧・復興計画の考え方を組み込んだ都市計画が1つのモデルとし て普及・定着することに期待が寄せられる。また、三重県の取り組みについては、 来年度策定される予定の各都市計画区域マスタープランに復旧・復興計画の考え 方が盛り込まれるとともに、自治体と共同で都市構造の再編を含む土地利用の見 直しや災害の危険性等の理由により市街化区域から除外すべき区域の探索(≒災 害危険性が高い区域の市街化調整区域への編入に向けた検討)を行うことが共有 された。これにより、復旧・復興計画の考え方を県の主導によって自治体都市計 画に組み込む体制が構築されたと言える。今年度、体制や費用の問題で実現でき なかった鈴鹿市の長太地区、磯山地区などにおける地区スケールでの実践をモデ ル的に県と市の協働で進め、圏域・都市計画区域・自治体・地区の各空間スケー ルの整合のとれた復旧・復興計画の枠組みを完成させることが今後の課題である。

- (e) 引用文献
 - 1) 中島直人,村山顕人,高見淳史,樋野公宏,寺田徹,廣井悠,瀬田史彦:都市 計画学:変化に対応するプランニング,学芸出版社(2018年9月)
 - 2) 三重県:三重県都市計画方針(2017年4月)
 - 3) 津市:津市立地適正化計画(2018年3月)
 - 4) 三重県:地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針(2016年8月)
 - 5) 鈴鹿市:都市計画マスタープラン(2016年4月)

(3) 平成 31 年度業務計画案

研究成果の最終とりまとめとして、これまで兵庫県(まち)・和歌山県(集落)を 事例として開発をおこなってきた 1)復興ビジョンの構築、2)地域の現状分析、3) 対策案の構築、4)土地利用計画の策定から構成される事前復興計画策定手法を1-a、 bの知見も利用し都市他地域へと適用し、開発した計画手法の妥当性の検証・プログラ ム化を行うとともに、成果を 1-c、e の研究を通じ社会に発信する。またこれまで開発 を行ってきた災害影響評価手法の確立を行う。

3.5 防災·災害情報発信研究

(1)業務の内容

(a)業務題目 「防災·災害情報発信研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人防災科学	部門長	藤原広行
技術研究所	総括主任研究員	高橋 成実
	主任研究員	臼田裕一郎
	主任研究員	田口仁
	主任研究員	李泰榮
	研究員	東宏樹
	研究員	崔青林
	研究員	水井良暢
	研究員	池田 真幸
国立研究開発法人海洋研究	上席技術研究員	金田義行
開発機構	グループリーダー	高橋成実
	技術研究員	中野優
	技術研究員	今井健太郎
国立大学法人名古屋大学	教授	福和伸夫
	特任教授	護雅史
	准教授	山中佳子
	寄附研究部門教授	武村雅之
	特任准教授	倉田和己
国立大学法人東京大学	教授	田中淳
	准教授	関谷直也
	東北大学 国際研究所情報管	定池祐季
	理·社会連携部門 災害復興	
	学実践分野	
	人と防災未来センター研究部	宇田川真之
	香川大学特命准教授	磯打千雅子
	高知工科大学	三船恒裕

(c) 業務の目的

南海トラフ広域地震に関する情報が集約され、リアルタイムかつ統合的に発信され る Web サービスとして「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」(以下、「災 害情報プラットフォーム」という。)を構築する。災害情報プラットフォーム上では、 各種地理空間情報や歴史資料、強震計・水圧計データ等のリアルタイムデータ、他の 研究課題の調査結果、研究成果、ハザード評価、リスク評価などの情報を統合して発 信できるものとする。この災害情報プラットフォームを基盤とした、あるいは連携し た、防災・減災対策や復旧・復興等に資する各種利活用システム、防災人材育成、教 育教材、啓発ツールを開発し、防災・減災対策研究や復旧・復興対策研究等に活用す る。これらを効果的に進めるためのリスクコミュニケーション(RC)手法を開発し、 人材育成を図る。

(d) 7 か年の年次実施業務の要約

平成 25 年度:

災害情報プラットフォームの基本設計を行った。自治体が有する各種地域データの収集・整備を開始した。リアルタイム伝送システム設計のための検証等を開始した。加えて、RC・防災に関わる人材育成・教育のための調査を開始した。

平成 26 年度:

災害情報プラットフォームの詳細設計を開始した。データの収集・整備を引き続 き実施するとともに、これらの利活用システムについて検討した。リアルタイム伝 送システムのアプリケーション開発を開始した。防災に関する知識構造の解明と、 RC・防災人材育成の手法の検討を行った。

心・防火八州自成の子伝の便討を打ち

平成 27 年度:

災害情報プラットフォームの実装情報と表示機能について行政関係者への調査や モデル地区での試験的利用を行い検討・反映した。データの収集・整備、利活用シ ステム開発を引き続き実施した。データベースの構築を開始しマルチ検索表示機能 の試験ページを試作した。RC・人材育成については、地域特性を考慮した基礎デー タ、減災関連情報の収集・整理を行うとともに、これらを減災対策等に有効活用・ 提供していくための情報システムを構築した。効果的なリスクコミュニケーション 実現のため、知識構造ならびに地域課題をより現実的な場面で深く解明するために、 地域防災リーダーを対象とした質的調査の詳細分析を行った。

平成 28 年度:

災害情報プラットフォームのベータ版(Ver.1)の公開を行い、試験的な運用を 開始した。また、これと各種利活用システムとの連携について検討を開始するとと もに、データやシステムの整備とRC・人材育成手法の継続的検討と教材開発を行っ た。稠密な量的調査を行い、知識構造の地域差の解明を行うとともに、HUG 方式で ワークショップを実施し地域人材の育成を試みた。

平成 29 年度:

他の研究課題の成果のデータベース(以下:DB)化とともに、成果の運用に関す る連携技術について検討・開発した。また、リアルタイム伝送システムとの連動機 能を開発した。RC・人材育成のための社会的仕組みの概念設計と教材開発を行った。 平成 30 年度:

巨大地震発生域調査観測研究、東日本大震災教訓活用研究、地震・津波被害予測 研究、およびそのほかハザード・リスク情報との成果運用に関する連携技術・手法 について検討と開発を継続した。地域研究会や防災教育等での活用を通じて、プラ ットフォームや各システムを高度化した。DONET を介したリアルタイムデータの伝 送や地震計ネットワークの情報との連動に対応するための機能検討と開発を継続し、

「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」ベータ版(Ver.1)への連動強 化を試みた。また広く防災活動等で利用されるために、「南海トラフ広域地震災害情 報プラットフォーム」を利活用した社会実験を関西地域にて実施し、大阪府北部の 地震と台風 21 号被害において地震動と高潮の想定情報利活用に関して実際の被災 者災害対応で検証した。データやシステムの整備とリスクコミュニケーション(RC)・ 人材育成手法の調査・検討と教材開発を継続実施し東海地域にて社会実装を試みた。 避難意図の規定変数を被災想定地域にて調査継続し、現状の RC の改善を図るとと もに、地域産業の事業継続計画に関する予備的な調査を行った。

平成 31 年度:

巨大地震発生域調査観測研究、東日本大震災教訓活用研究、地震・津波被害予測 研究、およびそのほかハザード・リスク情報との成果運用に関する連携技術・手法 と、DONET を介したリアルタイムデータの伝送や地震計ネットワークの情報との連 動に対応するための機能を、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」に実 装する。

1-e で開発、整備してきたデータ、PC で運用できるシステム、及び教材を、行政 や地域が防災活動を考えるために Web 上で一括して閲覧できるような連動実装と、 行動意図モデルに基づいた避難意図研究の総括と、地域産業の事業継続に関して継 続的な分析ととりまとめを行う。

上記の、開発、整備してきたデータ、PC で運用できるシステム、及び教材と、リ スクコミュニケーション (RC)・人材育成手法の調査結果を反映し、「南海トラフ広域 地震災害情報プラットフォーム」 (Ver. 2) を一般公開する。

同時に、地域の防災計画で利用されるために、「南海トラフ広域地震災害情報プラ ットフォーム」(Ver.2)を利活用した社会実験を行政組織と協働で実施し、情報・ コンテンツの一気通貫利用を行い、システム活用の地域展開も実施する。

(e) 平成 30 年度業務目的

巨大地震発生域調査観測研究、東日本大震災教訓活用研究、地震・津波被害予測研 究、およびそのほかハザード・リスク情報との成果運用に関する連携技術・手法につ いて検討と開発を継続する。地域研究会や防災教育等での活用を通じて、プラット フォームや各システムを高度化する。DONETを介したリアルタイムデータの伝送や地 震計ネットワークの情報との連動に対応するための機能検討と開発を継続し、災害 情報プラットフォーム Ver. 1 への連動強化を試みる。また広く防災活動等で利用さ れるために、災害情報プラットフォーム Ver. 1 を利活用した社会実験を地域と協働 し実施する。データやシステムの整備とリスクコミュニケーション (RC)・人材育成 手法の調査・検討と教材開発を継続実施し社会実装を試みる。避難意図を直接規定 する地域変数を被災想定地域にて調査継続し、現状の RC を改善する。

(2) 平成 30 年度の成果

①南海トラフ広域地震災害情報プラットフォームの構築

(a) 業務の要約

巨大地震発生域調査観測研究、東日本大震災教訓活用研究、地震・津波被害予測研究、 およびそのほかハザード・リスク情報との成果運用に関する連携技術・手法について検 討と開発を継続した。地域研究会や防災教育等での活用を通じて、プラットフォームや 各システムを高度化した。また広く防災活動等で利用されるために、災害情報プラット フォーム Ver. 1 を利活用した社会実験を関西地域にて実施し、大阪府北部の地震と台 風 21 号被害において地震動と高潮の想定情報利活用に関して実際の被災者災害対応で 利用検証した。改良した災害情報プラットフォームの Ver1.2 を公開した。

(b) 業務の実施方法

本年度の研究では以下の項目内容を実施した。

- 1) 災害情報プラットフォームの改良
 - a) 自治体等公開情報の自動取得とデータベースの自動タグ付け機能の検討
 - b)年代別災害履歴マップの作製
 - c)研究 PJ サブテーマごとの年度報告書内容の閲覧マップ作成
 - d) クリアリングハウスの連携強化
 - e) サイトのセキュリティ向上
 - f) 災害情報プラットフォーム Ver1.2 の公開
- 2) 大阪府での災害情報プラットフォーム利活用検証
- 3) 災害時の情報利活用検証
 - a) 大阪府北部の地震
 - b) 台風 21 号での高潮
 - c) 大阪府内社協の災害情報利活用の実態調査
- 4) 行政資料の調査と防災計画への利活用検証の試み
 - a) 南海トラフの広域災害に対処する行政イメージモデルを検討
 - b) 紀伊半島を想定した場合の対応フロー作成の試み

1)では、巨大地震発生域調査観測研究、東日本大震災教訓活用研究、地震・津波被害 予測研究、およびそのほかハザード・リスク情報との成果運用に関する連携の検討と開 発を実施。2)と4)では、実際の活用を通じて各システムの高度化を実施。3)では、広く 防災活動等で利用されるために、災害情報プラットフォームを利活用した社会実験とし て実際の被災者災害対応で検証を行った。 (c) 業務の成果

1) 災害情報プラットフォームの改良

a) 自治体等公開情報の自動取得とデータベースの自動タグ付け機能の検討

災害情報プラットフォーム(図3-5-①-1、2)に掲載する情報として、人によ る作業で収集していた行政やメディア等の災害に関するホームページ公開情報を、一定 間隔で自動的にクロールし取得する機能の開発検討を行った(図3-5-①-3)。こ の機能により、当プロジェクト終了後の情報収集作業を省力化できる見込みである。

取得先として今回は、神奈川県、静岡県、愛知県、三重県、岐阜県、大阪府、和歌山 県、兵庫県、香川県、徳島県、高知県、愛媛県、大分県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県、 紀伊半島の沿岸部市町とした。対象としていない地域も必要な個所については次年度以 降に自動取得の仕組みを試みていく予定である。

なお、この機能で検出しきれない情報や、書面でしか取得できない情報に関しては今後も引き続き人による収集作業も継続していく。また、公開ホームページの URL が変更 される等の将来的な変化事項についての対処に関しては随時作業が発生するため、継続 対応していく必要がある。

取得した情報を、タグ付けルールに従って、機関名称、内容の見出し、公開日時等の 自動タグ付けを行う機能の開発検討も実施した。これにより災害情報プラットフォーム 内にある検索機能ページ等で利用するデータベース構築のためのタグ付け作業が自動 化される予定である(図3-5-①-4、5)。



図 3 - 5 - ① - 1 災害情報プラットフォーム ver1.2_Top 画面(https://nankaibosai.jp/v1.2/)



ど収集)

0.00.00	
0:00:00	
	ì
見出し	公開日時

図 3 - 5 - ① - 4 タグ付け項目表示の例 機関・見出し・公開日時(平成 31 年 3/26 時点では合計 3639 件の情報を収集)



図3-5-①-5 取得情報内容の確認画面

b)年代別災害履歴マップの作製

防災科研では、自治体から提供された過去の災害履歴情報を利用し、災害事例デー タベースを構築している。このデータから過去の南海トラフ被災地域での災害を抽出 し、発生年代ごとに表示できるマップを作製した。データ実装している WebGIS のマッ プは動作検証中のため非公開としているが、今年度は各年のキャプチャー画像の公開 を実施した(図3-5-①-6から8)。

なお、災害履歴情報が未登録の自治体もあり全地域の記録を網羅しているわけでは ないこと、また年代が古い情報は古文書等の歴史記録に頼っているため不確かなもの もあることなど、表示されている情報の網羅性と精度を理解したうえでの利用を推奨 している。そのため年代別災害履歴マップは、一般公開は行わず、災害に関する意識 が高い行政担当者等への限定公開としている。



図3-5-①-6 自治体の災害履歴マップ



図3-5-①-7 1944年昭和東南海地震の画像を拡大表示



図3-5-①-8 1946年昭和南海地震の画像を拡大表示

c)研究 PJ サブテーマごとの年度報告書内容の閲覧マップ作成

当プロジェクトが実施した研究成果を、研究対象位置および実施エリアについて WebGIS マップにて「点」、「線」、「面」の表記により表現し、全貌を閲覧できるようにし た。サブテーマ1、サブテーマ2-1、サブテーマ2-2の各年度の研究を示すマーク をクリックすると、地震調査研究推進本部(以下:地震本部)のホームページから一般 公開されているプロジェクト報告書 PDF の該当するページを閲覧できるようにした。

災害情報プラットフォームの Top 画面と、研究一覧を見るページにて、マップのサム ネイル画像を表示している(図3-5-①-9)。サムネイル画像をクリックすると WebGISの画面が別ウインドウで起動する(図3-5-①-10から13)。

WebGIS の左側枠には表示項目の凡例があり、その各項目のチェックボックスをクリ ックすると対応するマップ上のマークの表示非表示が切り替わる(図3-5-①-14)。 また、右側枠にはマップの中心周辺の研究成果内容が簡易的に表示される(図3-5-①-15)。



図3-5-①-9 南海トラフPJの研究成果の閲覧マップ選択画面

WebGIS のマップ上にある研究を示すマークをクリックすると知りたい研究内容の概要が吹き出し表示され、さらに記述されている URL をクリックすると報告書内容に移動することができる(図3-5-①-16から19)。

研究を示すマークの位置が複数重なり合うと表示がわかりづらい場合があるため、 今後、閲覧しやすい表現を検討し改善していく予定である。



図 3-5-①-10 平成 28 年度 PJ 研究成果一覧マップ



図 3-5-①-11 平成 27 年度 PJ 研究成果一覧マップ



図 3-5-①-12 平成 26 年度 PJ 研究成果一覧マップ



図 3-5-①-13 平成 25 年度 PJ 研究成果一覧マップ





図3-5-①-14(左) プロジェクト研究成果の項目凡例(WebGIS 左側枠)
 図3-5-①-15(右) プロジェクト研究成果の内容簡易表示(WebGIS 右側枠)



図3-5-①-16 平成28年度PJ研究成果の概要表示(サブテーマ2-1)



図 3 - 5 - ① - 17 平成 28 年度 PJ 研究成果報告書の表示 (サブテーマ 2-1)報告 書出典:地震本部 HP



図 3-5-①-18 平成 27 年度 PJ 研究成果の概要表示(サブテーマ 2-1)



d) クリアリングハウスの連携強化

名古屋大学にて運用しているクリアリングハウスとの連携強化を実施した。災害リス ク情報クリアリングハウス連携先設定インターフェイスの機能改修を行ったことによ り、双方にて利用許可できる情報に関してよりスムーズな相互乗り入れが可能となる。 分散検索サーバ設定を変更するには、ヘッダー・フッター情報/リンク情報/分散検索 サーバ設定画面で「分散検索サーバ設定」タブをクリックし、表示された分散検索サー バ設定画面の「編集」ボタンをクリックすると以下のような分散検索サーバ設定編集画 面が表示される。この操作にてサーバ設定を行うことができるようになった(図3-5 -①-20)。

分散検索サーバ設定編集



① サーバ URL

分散検索サーバの API の URL を指定。

- ② ラベル
 分散検索サーバのラベルを指定。
 ラベルは検索結果のメタデータのサムネイル上に表示される。
- ③ 1行追加ボタン 新たにサーバを追加する場合はこのボタンを押すと空の行が1行追加される。 削除する場合はサーバ URL またはラベルを空欄にすると確認画面で削除される。
- ④ 更新確認ボタン
 入力情報を確認するために、以下の分散検索サーバ設定編集(確認)画面が表示される。
- リセットボタン
 入力された情報をリセットし、編集前の状態に戻す。
- ⑥ キャンセルボタン
 編集を中止して、ヘッダー・フッター情報/リンク情報/分散検索サーバ設定画面に
 戻る。

e) サイトのセキュリティ向上

サイト自体のセキュリティ向上を考慮して、http から https へと変更を実施した(図3-5-①-21)。ただし、一部ページは動作検証中のため http の状態を継続している。



f) 災害情報プラットフォーム Ver1.2 の公開

前述しているコンテンツ追加や、改修作業を実施し、災害情報プラットフォームを Ver1.2にアップデートし一般公開した。

2) 大阪府での災害情報プラットフォーム利活用検証

防災の本質は事前からの備えである。平常時に可能な限り対策を実施し、実際の被害 が拡大しないようにすることが大事である。災害情報プラットフォームを役立てる視点 からも、平常時から利用され、事前計画や災害対策に利用され、災害発生時には迅速に 減災活動に役立てられるようにしておく必要がある。また、時間的に余裕のある平常時 から、「そもそも情報が存在する事」、「どのような種別の情報があるのか」、「その効果 的な使い方」を理解しておく必要がある。

そのため大阪府の被災者対応を実際に行う組織である社会福祉協議会(以下:社協) と協力して平成27年度から利活用実験を行ってきた。実際にユーザに見て利用しても らうことにより課題や改善点が検証でき、災害情報プラットフォームの改善にもつなが る。

以下の図3-5-①-22 では検証サイクルを説明している。左上が災害情報プラットフォームを活用した平常時からの研修活動で、右上にて、その知見を事前の計画立案 や実際の災害時対応にて役立てる。その後右下の振り返りと課題抽出を行い、左下にて 災害情報プラットフォームの改善を実施する流れである。

197



ユーザが平常時から最新研究成果を知り、事前計画や災害対応の活動に役立てる。

図 3-5-①-22 平成 30 年度の利活用検証サイクル概要

大阪府社協は、大阪府内の政令指定都市を除く 31 市9町1村の市町村社協を調整す る組織である。図3-5-①-23のように北摂・河北・河南・泉州ブロックに分けられ た各市町村社協に対して福祉・防災に関する研修やアドバイスを行っている。その一環 として、災害に対する要支援者への事前対策や災害発生時の被災者生活ケア、また共助 の場である災害ボランティアセンター運営についての事前研修において、災害情報プラ ットフォーム利活用実験を実施している。

図3-5-①-24 には大阪府での各社協組織の連携範囲と関係性を記す。基本的に 政令指定都市の大阪市と堺市の社協は独立活動を行っており、それ以外の市町村社協が 府社協と連携している。また、より広域な組織として近畿圏の府県社協の集まりである 近畿ブロック、そして全国を調整している全国社協が存在する。ただしこの関係性も上 下関係のない緩やかな連携となっている。





図3-5-①-24 大阪府の社協における災害対応時の組織連携の関係図

利活用実験としての研修会等では、大阪府社協の平常時ポータルサイトを構築し、そ こに災害情報プラットフォームをリンク先として埋め込んでいる(図3-5-①-25、 26)。その平常時ポータルサイトから災害情報プラットフォームへと移動し、震災教訓 の津波動画(1a)や、被害想定の情報(1b)、DONET波形表示(1e)、津波シミュレーシ ョン画像(2-2)など、大阪湾や大阪平野での被害の参考事例として閲覧できる情報を
使いながら、自分の担当地域での被災者対応計画を考えた(図3-5-①-27から32)。

平成 30 年度の研修会は 2 回実施した。地震と台風災害発生前の 4 月 24 日と、発生後 の平成 31 年 2 月 16 日である。また、11 月 19 日には災害対応の振り返りを行う会議を 実施した(写真 3 - 5 - ① - 1 から 6)。災害対応の内容については後述する。

府域の各市町村社協関係者間で行政境界を越えて利用することにより、自分の地域 単独の活動ではなく広域災害への備えとしての対応計画の立案や、その実行のために不 足している人材や機材、ルール等の項目の明確化、活動や情報共有の必要性について議 論を行い、甚大な災害への心構えを強化することを目指した。

平成 30 年度の研修会では、図 3 - 5 - ①-33 のように、WebGIS のマップ上で要支援 者の自宅を仮想的に設置し、研修参加者が支援者として指定避難所まで搬送するための ルートを計画した。搬送ルートとしては、液状化の激しい道路の迂回、強い地震動が想 定される密集市街地の中の細い路地は通らない、川の近くは津波の遡上の危険があるの で迂回するなどの判断を行い、安全性を判断してルート案を考える試みを行った。

また、その地区の要支援者の介護レベルや対象者の密集度を考慮し、避難するときに 求められる専門スキルの要不要や、対処するために必要な担当人数等、事前計画案を考 えた。



図3-5-①-25 大阪府社協ポータルサイト(非公開)と災害に関する情報閲覧



図 3-5-①-26 災害情報プラットフォームへの移動



図3-5-①-27 大阪府周辺の地震関連情報の閲覧





図3-5-①-29 大阪府周辺の南海トラフの陸側ケース(内閣府想定)と国土数値情報緊急輸送道路と地震本部活断層図 黄色:震度6弱、オレンジ色:震度6強

津波シミュレーション 南海トラフ沿い広域図

津波シミュレーション 南海トラフ沿い広域図

地形分解能:450m格子



図 3-5-①-30 南海トラフの津波到達シミュレーション例 画像1 (JAMSTEC)



馬場俊孝(海洋研究開発複構)

図 3-5-①-31 南海トラフの津波到達シミュレーション例 画像 2 (JAMSTEC)



図3-5-①-32 行政が公開している災害対策に関する情報集約ページ(大阪府)



写真3-5-①-1(左)大阪府内の社協職員向け利活用研修会 (平成30年4/24) 写真3-5-①-2(右)同上



写真3-5-①-3 大阪府松原市社協との平常時活動打ち合わせ(平成30年10/29) 写真3-5-①-4 大阪府柏原・羽曳野・藤井寺市社協の合同研修会(平成31年2/16)



写真3-5-①-5(左)大阪府の社協による北部地震と台風21号の対応振り返り (平成30年11/19) 写真3-5-①-6(右)同上



図3-5-①-33 要支援者避難ルート検討マップ 左側青色は河川氾濫エリア(4/24)

3) 災害時の情報利活用検証

前述しているように大阪府では、平常時から災害情報プラットフォームを閲覧し、南 海トラフに関する過去の被害記録や、現在の調査内容、また大阪府近辺の地震動や津波 浸水エリア等に関する想定情報を知る研修会を実施している。この活動により、平常時 から大阪の社協職員は実際の災害発生時に、要支援者対応活動で迅速に利用できる情報 の存在や参照方法を知り、その効果を理解していた。

南海トラフそのものの広域災害ではないが、平成 30 年度は大阪周辺で2度の大きな 災害が発生した。6月18日の大阪府北部の地震と9月4日の台風21号災害である。被 害の内容としては、地震動による被害と台風による高潮被害があり、南海トラフによっ てもたらされる被害を連想させる内容であった。

災害情報を利活用し、府社協では被災地域全体の状況を把握し、必要人員の派遣調整、 府域の情報集約共通フォーマット(エクセル表)の作成配布を行った。被災現地の市町 社協では、住民への聞き取り調査エリア範囲の選定、対処優先順位の判断等が実際に行 われた(図3-5-①-34)。また今回は、政令指定都市である大阪市と堺市の2市社 協も府社協と情報共有し、職員の連携が行われた。



図 3-5-①-34 災害対応時の運用イメージ(事例:H30 年度の災害時)

a) 大阪府北部の地震

地震発生後に、地震動による地表の面的な推定震度分布の情報を、大判印刷地図と WebGIS ツールにより大阪府社協および被災現地の市社協に提供した(図3-5-①-35、36)。情報内容の意味や、情報の参照方法については平常時から研修を行っていた ため災害現場での受け入れはスムーズであった。被害の大きな地域の判断を行い、調査 の優先順位や、必要人員数の予測に役立てられた(図3-5-①-37、写真3-5-① -7、8)。

対象とした地域は、震度6弱が想定された大阪府の枚方、高槻、茨木、箕面、豊中、 吹田、摂津市の7市と、全体を把握する立場にある府社協を合わせた8か所である。



 図3-5-①-35(左) 大阪府北部の地震にて対応した市の位置図(着色個所)
図3-5-①-36(右) 地域研究会向けページ(マップには想定地震動や避難所 を表示、地震観測リアルデータなど閲覧可)



図3-5-①-37 推定震度分布(防災科研)を利活用した7市社協と府社協



写真3-5-①-7 (左)大阪府茨木市災害ボランティアセンターの推定震度マップ (平成30年6/24)

写真3-5-①-8(右)大阪府北部の地震による被害(平成30年6/19)

b) 台風 21 号での高潮

台風被害発生後に、大阪府沿岸部における南海トラフによる津波浸水の想定情報を、 大判印刷地図と WebGIS ツールにより大阪府社協および被災現地の市町社協に提供した (図3-5-①-38、39)。今回の災害は津波ではないため、津波浸水の想定情報が直 接的に役に立ったわけではないが、沿岸部の低標高地域や河川の遡上の危険性がある箇 所についての危険性の再確認や、海からの浸水被害に対する意識啓発を目的に情報提供 した(図3-5-①-40から42)。

対象とした地域は、大阪府沿岸南部の、阪南、泉南、泉佐野、貝塚、岸和田、泉大津、 和泉市の7市、と熊取町の1町。また強風による内陸の被害エリアとして河内長野、富 田林、茨木市、豊中、吹田の5市と、全体を把握する立場にある府社協を合わせた14か 所である。

関西国際空港への高潮被害は想定外の結果になったが、幸いなことに大阪府南部に 位置する泉州地域の本州陸側では目立った高潮被害は無かった(写真3-5-①-9、 10)。



図3-5-①-38(左) 台風21号被害にて対応した市町の位置図(着色個所) 図3-5-①-39(右) 地域研究会向けページ(マップには津波浸水想定と避難 所など閲覧可)



図 3 - 5 - ① - 40 参考にした南海トラフ津波浸水ケース 03 堤防 03 分後に破壊(内閣 府想定) 堺市の沿岸部



図 3 - 5 - ① - 41 参考にした南海トラフ津波浸水ケース 03 堤防 03 分後に破壊(内閣 府想定) 関空から泉大津市の沿岸部



図3-5-①-42 台風21号被害(9/4)において被害情報対応した市町社協の位置 と想定津波浸水エリア(内閣府想定)と国土数値情報土砂災害危険個所と調査記録写真 位置(平成30年9月)



写真3-5-①-9(左)関西国際空港側の防潮壁 (平成30年9/24) 写真3-5-①-10(右)大阪府泉佐野市の本州陸側の護岸(平成30年9/24)

c) 大阪府内社協の災害情報利活用の実態調査

大阪府北部の地震と台風 21 号被害における大阪府内の社協組織に情報の利活用について事後調査を行った(写真 3-5-①-11)。

その結果、被害状況把握に役立つ情報、交通や物流の状況情報、関係者間での情報共 有、運用に役立つデータベース構築ツール、関係組織のリスト構築と共有ツール等の必 要性があげられた。その中でも「被害状況把握に役立つ情報」が、災害情報プラットフ ォームにて提供している被害想定情報等が役立てられる個所になると思われる。 地震動や津波浸水エリアの想定情報が、初動期の地震動被害についての判断根拠情報としてだけではなく、実被害の情報が確定するまでの間は、被災人数や、家屋損壊、 道路閉鎖、湛水範囲と時期、利用可能なガレキ置き場の場所、仮設住宅建設の場所など の判断を行うときの参照情報としても役立てられる可能性がある。

もちろん災害発生後の対応は、あくまでも減災活動であり、前述しているように、平 常時からの情報利用による各種の災害対策計画立案に役立てられる防災対策こそが大 事である。今回の災害対応経験を活かして、次の災害に向けた事前の防災計画立案に災 害情報プラットフォームが利活用されるように研修等を実施していく予定である。

以下の表3-5-①-1と表3-5-①-2は、平成31年1月と2月に実施したヒ アリング調査の対象組織である。延べ数53組織。また、表3-5-①-3は調査結果 の概要である。

表3-5-①-1 調査対象(災害種別:平成30年6月の大阪府北部の地震)

No.	組織名	府内ブロック	種別
1	豊中市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
2	池田市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
3	吹田市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
4	高槻市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
5	茨木市社会福祉協議会	北摂ブロック	市町村社会福祉協議会
6	箕面市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
7	摂津市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
8	島本町社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
9	能勢町社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
10	枚方市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
11	寝屋川市社会福祉協議会	河北ブロック	市町村社会福祉協議会
12	四條畷市社会福祉協議会	「何ルノロツク	市町村社会福祉協議会
13	交野市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
14	八尾市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
15	河内長野市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
16	松原市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
17	柏原市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
18	羽曳野市社会福祉協議会	河南ブロック	市町村社会福祉協議会
19	藤井寺市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
20	大阪狭山市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
21	河南町社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
22	千早赤阪村社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
23	岸和田市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
24	泉大津市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
25	貝塚市社会福祉協議会	泉州ブロック市	市町村社会福祉協議会
26	高石市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
27	忠岡町社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会

表 3 -	-5 - (1) - 2	調査対象	(災害種別:	平成30年9月の台	台風21号、	高潮・	強風)
-------	--------------	------	--------	-----------	--------	-----	-----

No.	組織名	府内ブロック	種別
1	豊中市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
2	池田市社会福祉協議会	_	市町村社会福祉協議会
3	吹田市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
4	摂津市社会福祉協議会	- 北投ノロツク	市町村社会福祉協議会
5	島本町社会福祉協議会	_	市町村社会福祉協議会
6	能勢町社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
7	枚方市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
8	寝屋川市社会福祉協議会	「「レゴロック	市町村社会福祉協議会
9	門真市社会福祉協議会	一 何 北 ノ ロ ツ ク	市町村社会福祉協議会
10	交野市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
11	八尾市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
12	富田林市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
13	河内長野市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
14	柏原市社会福祉協議会	河南ブロック	市町村社会福祉協議会
15	羽曳野市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
16	大阪狭山市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
17	河南町社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
18	岸和田市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
19	泉大津市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
20	貝塚市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
21	泉佐野市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
22	和泉市社会福祉協議会	泉州ブロック	市町村社会福祉協議会
23	泉南市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
24	阪南市社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
25	忠岡町社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会
26	田尻町社会福祉協議会		市町村社会福祉協議会

	災害対応の実体	ニーズと課題
活用情報	各事業利用者の名簿	市内被害状況がわかるもの
	行政防災部門との情報交換	(紙 or データ) ICT ツール
	ひとり暮らし高齢者名簿	空き家屋の情報
	日常生活自立支援事業利用者名簿	近隣の災害ボランティアセ
	災害対策本部からの避難所リスト	ンターのリアルタイムな情
	要援護者台帳	報(必要な物資、余っている
	地区福祉委員長への聞き取り・聞き取り情	物資、ボランティア・スタッ
	報の集約	フの過不足など)
	ニーズ受付票・活動場所の地図・拡大地図を	技術系のボランティア情報
	活用したニーズの落とし込みエクセル表	ブルーシート張りに対応で
	ゼンリン電子地図	きる団体一覧
運用面	全常勤職員	職員が少ない
	地域福祉課職員	事務局として役職員の安否
	電話・現地調査にて被害状況把握	確認のやり方
		情報運用担当職員不足
		形式的なものではなく、窮
		状が想定されたマニュアル
		行政の理解
		情報関連に詳しい職員
機材	通常利用のパソコンなど	災害時使用する機材とその
		保管場所
		災害専用のパソコン
		専用の電話
		ボランティア活動用の資機
		材・軽ダンプ

表 3-5-①-3 調査結果の概要



写真3-5-①-11 大阪府内の社協の活動内容調査(平成31年2/6)

4) 行政資料の調査と防災計画への利活用検証の試み

行政組織である県や市町村が防災目的で判断・行動するべき項目の把握を行い、防災 担当者が判断・行動するときに当プロジェクト研究成果を参考利用できるような災害情 報プラットフォームのページ構築の試みを始めた。まずは簡単な対応をイメージしたフ ロー図を作成し、仮想的に検証を行った。

a) 南海トラフの広域災害に対処する行政イメージモデルを検討

災害対応する主体として、表3-5-①-4の3者を想定した。今回は、主役を行政 とし、その動きの中で他の対象者への対処を入れつつ、南海トラフの災害が発生する各 種パターンに対してどのような行動が実行されるのかを簡単にまとめた。

以下の図3-5-①-43では、検証作業の流れをイメージしている。対象の場所と部 署を決め、ヒアリング調査し、行動フローを作成する。その後、災害情報プラットフォ ームを活用した情報利活用ワークショップを行い、事前に作成した行動フローを検証す る。そこで見出された、研究成果等の情報を利活用した場合の改善点や変化内容を、今 後の行政の計画や活動に反映していけるように推奨していく。

図 3 - 5 - ① - 44 と図 3 - 5 - ① - 45 は関西地域の紀伊半島を想定した場合の災害 発生時の対応イメージである。

行動の主体	活動内容
行政	担当する行政エリアの統括、調整、決断
住民	自助、共助、自立行動
民間企業	事業継続、経済活動の回復、公共交通・サービスの維持

表3-5-①-4 行動の主体と活動項目



図 3-5-①-43 検証作業の流れ



図3-5-①-44 東西分割での発生パターンによる紀伊半島の被災状況



図 3-5-①-45 行政視点での行動イメージ(例:半割れパターン)

b) 紀伊半島を想定した場合の行動フロー作成の試み

紀伊半島の行政を対象として、「避難所」「災害対策本部」について行動フロー図イ メージを作成した(図3-5-①-46、47)。下段の赤色文字で記述している個所が、 当プロジェクト研究成果を活用できる可能性があるタイミングと考えた。どのタイミ ングで研究成果情報が差し込まれた場合に、改善される部分や、また新しく課題とな る部分がどこなのかを検証し、防災計画の改善につなげられることを目指す。

今年度の作業は、これまでに知りえた行政計画の内容と、災害対策本部での活動を 調査した結果から仮想的に作成しただけのものである。この行動フロー図に関しては、 今後、実際の行政職員等にヒアリング調査を行い、完成度を高めていく予定である。

また近い将来、気象庁から「南海トラフ地震に関連する情報(臨時)」が発表される ことを想定した行政計画が策定されていくと考えられる。各地域行政での検討過程や、 住民や企業との調整等の社会状況も注視しながら、研究成果のコンテンツの利活用に ついて検討していく予定である。





図3-5-①-46 避難所の計画イメージ(下段の赤文字が研究成果の利活用タイミング)





図 3 - 5 - ① - 47 災害対策本部の行動イメージ(下段の赤文字が研究成果の利活用タ イミング)

(d) 結論ならびに今後の課題

巨大地震発生域調査観測研究、東日本大震災教訓活用研究、地震・津波被害予測研 究、およびそのほかハザード・リスク情報との成果運用に関する連携技術・手法につ いて検討と開発を継続した。地域研究会や防災教育等での活用を通じて、プラットフ オームや各システムを高度化した。また広く防災活動等で利用されるために、災害情 報プラットフォームを利活用した社会実験を関西地域にて実施し、大阪府北部の地震 と台風 21 号被害において地震動と高潮の想定情報利活用に関して実際の被災者災害 対応で検証した。

今後の課題としては、プロジェクト研究成果を災害情報プラットフォームに登録掲載する場合のWebGISマップ上での見やすい表現方法を検討する必要がある。行政向けの利活用については「臨時情報」等の新しい公的情報も社会に発信され始めたため、その実際の対処についての調査が必要である。これまでのユーザ利活用実験から得られた意見やニーズ等を反映し災害情報プラットフォームの改良を行い、プロジェクト成果を複合的に活用した一気通貫利用検証のためのコンテンツページ構築準備が必要である。

(e) 引用文献

なし

②防災・災害関連データの収集・整備、及び利活用システム開発開始と人材育成・教育 のための調査

(a) 業務の要約

南海トラフ巨大地震に関わる防災・災害関連データの収集・DB 化を継続して実施す る。利活用システム整備を SIP とも連携して継続的に実施した。具体的には、歴史資 料等の基礎データの収集・整理を行った。また、研究を通じて得られた科学的知見を 減災対策等に有効活用するべく、一般住民にきめ細やかで分かりやすく、納得感が得 られる情報として提供していくための情報システムを構築し、社会実装実験によりそ の効果を検証した。

(b) 業務の実施方法

ハザード評価やリスク評価、及びこれらに予測精度を向上させるための地域特性を 考慮した基礎データ、歴史的資料をはじめとする減災関連情報の収集・整理として、 愛知県に数多く残されている軍需工場と関連する地震の慰霊碑や記念碑を調べるとと もに、空襲との関連についても議論した。また、南海トラフ地震に対する減災対策等 に有効活用するためのシステムやアプリケーションの開発を行うとともに、それらを 名古屋大学減災館に設置して社会実装実験を実施し、その効果を検証した。 (c) 業務の成果

1) 愛知県を中心とした昭和東南海地震の慰霊碑調査

a) 名南ふれあい病院(南区豊田5丁目)

写真 3-5-2-1 は慰霊碑と副碑ならびに説明板である。副碑と説明板は 2012 年 11 月 4 日の除幕式の際に公開された。正碑には三菱重工道徳工場で犠牲となった犠 牲者 57 名の名前が刻まれている。内訳は日本人 51 名と朝鮮半島出身者 6 名である。 正碑の左横に碑文がハングルで書かれた副碑が建てられている(写真 3-5-2-2)。



写真3-5-2-1 名南ふれあい病院にある慰霊碑 写真3-5-2-2 ハングルで書かれた副碑

b) 三菱重工第三菱風寮敷地(港区大江町)

東南海地震による三菱重工名古屋航空機製作所における被害を伝えるもう一つの慰 霊碑がある。名鉄臨港線東名古屋港駅近くの三菱重工の社宅、第三菱風寮の敷地内に立 つ「殉職碑」である(写真3-5-2-3)。



写真3-5-2-3 第三菱風寮敷地にある「殉職碑」

c) 日泰寺奉安塔境内(千種区城山新町1丁目)

名南ふれあい病院にある地震の慰霊碑に記載されている朝鮮半島出身者の名前が刻 まれた碑が、名古屋市千種区の日泰寺にある。場所は地下鉄東山線覚王山駅の北北東約 500m にある仏舎利を祀る奉安塔のエリアである。日泰寺の詳細は武村(2015、2018)を 参照されたい。武村は日泰寺創建の由来とそこにある 1923(大正12)年の関東大震災 に関する慰霊碑について調査した結果を記している。奉安塔の前を左に進むと、鞘堂の 中に「冤死同胞慰霊碑」がある(写真3-5-2-4)。



写真3-5-2-4 日泰寺にある「冤死同胞慰霊碑」

d) 半田市役所(東洋町2丁目)

多くの死者を出した山方工場は、現在の市役所や市立病院などが建つ阿久比川より 南の敷地にあった。図3-5-2-1のJR 武豊線よりほぼ右側が埋め立て地である。 地盤の悪さは阿久比川を渡った北の本工場跡とそれほど変わらなかったが、道徳工場 と同じく古い紡績工場を飛行機組み立て工場に転用した山方工場では建物が完全に倒 壊し大量の死者を出した。さらに地元の中小紡績工場だった葭野工場でも同じ理由で 死者が出た。一方、本工場でも地盤沈下や液状化が発生し生産設備に被害は出たが、建 物は倒壊せず死者は出なかった(半田市、1995)。以前、記念碑は市役所前のバス停の 傍の植え込みにあったが、2015(平成 27)年に市役所の庁舎が建て替えられるのに伴 って、現在は新庁舎西側に設けられたメモリアルロードと呼ばれる歴史を刻む通路脇 に移設されている(写真3-5-2-5)。



図3-5-2-1 半田市内の慰霊碑・記念碑のある場所



写真3-5-2-5 市役所のメモリアルロードにある 「東南海地震被災の地記念碑」

e) 雁宿公園(雁宿町)

複数の関連する慰霊碑がある雁宿公園は1890(明治23)年に帝国陸海軍の連合大演 習が行われた際、明治天皇が大演習統監のために滞在されたことを記念して生まれた 公園で、園内にはそれにまつわる記念碑などが残されている。公園は、図3-5-②-1に示すようにJR 武豊線や名鉄河和線を挟んで、市役所と反対側に位置する小高い丘 の上にある。この公園には、東南海地震による中島飛行機山方工場などで犠牲となった 動員学徒などを祀る慰霊碑が合計3つある。 f) 浄土宗光照院(東本町2丁目)

「追憶之碑」があった光照院は1605年(慶長10年)創建で半田市東本町2丁目にあ る古刹である(図3-5-②-1)。境内の東側に観音堂がある。2012から2013年こ ろ若住職の柴山良景氏に伺った話によると、観音堂の東側は葭原であったという記録 があり、このあたりまでその昔に埋め立てが行われたのかもしれない。観音堂のつっか え棒は、昭和19年の東南海地震や昭和34年の伊勢湾台風による被害復旧のためと聞 いたことがある。本堂については伊勢湾台風による被害でつっかえ棒をしたらしく、東 南海地震では大きな被害を受けたという記録は過去帳にもない。「追憶之碑」と同時に 奉納された「おほなゐ観音像」と碑が建っていたという本堂横の写真を写真3-5-② -6に示す。おほなゐ観音像は普段は本堂の奥にしまわれており特別にお願いして見 せていただいた。



写真3-5-2-6 光照院の本堂と「おほなゐ観音像」

g)市営北谷墓地(柊町4丁目)

北谷墓地は半田市の北西部にある市営墓地である(図3-5-2-1)。半田市が生 んだ児童文学作家の新美南吉の墓所があることで有名な墓地である。半田市(1995)に よれば、地震による犠牲者の遺体の搬送は、当時、中島飛行機半田製作所に派遣されて いた 400 人近い整備兵などの軍隊や清水組の下請けの朝鮮人労働者があたった。遺体 は、火葬場がこわれたために、隣接する北谷墓地で野焼きにされた。現在、北谷墓地に は輸送機工業株式会社による慰霊碑が立っている(写真3-5-2-7)。輸送機工業 は戦後本工場の跡地にあった富士重工の子会社である。



写真3-5-2-7 北谷墓地にある輸送機工業による慰霊碑

h) 曹洞宗龍拈寺(豊橋市新吉町)

1945(昭和 20) 年6月の豊橋空襲で山門を除く全伽藍が炎上し、唯一残った山門が 豊橋市の有形文化財に指定されている。その山門を入って左側に豊橋市立豊橋高等女 学校(現、豊橋東高校)と愛知実修高等女学校(現、豊橋中央高校)の犠牲者を悼む観 音像がある(写真3-5-②-8)。



写真3-5-②-8 龍拈寺にある東南海地震による中島飛行機 での犠牲者を慰霊する「観音の塔」

i) 豊橋東高校(豊橋市向山町西猿)

愛知県立豊橋東高校は、1948(昭和 23)年に豊橋市立豊橋高等女学校と愛知県立豊 橋第二中学校を母体に生まれた新制高校で、その校庭に、1995(平成7)年に戦後 50 年の節目にあたって「平和祈念碑」が建立された[豊橋東高校ホームページ]。制作者 は、田原市の愛知県立成章高校の美術科教諭で彫刻家の山口秀太郎である(写真3-5 -②-9)。石碑の背面のプレートには1944(昭和19)年12月7日の東南海地震によ る中島飛行機半田製作所での犠牲者ならびに翌年8月7日の豊川海軍工廠への空爆で 亡くなった同校関係者 97 名の氏名が刻まれている。



写真3-5-2-9 龍拈寺にある豊川海軍工廠での豊橋高女の 犠牲者を弔う慰霊碑

j) 豊川公園(豊川市諏訪1丁目)

豊川市の中心部、市役所と中央図書館の北側に広がる公園が豊川公園である。豊川市 総合体育館、陸上競技場、野球場など、いくつかの施設で構成される運動公園である。 総合体育館と野球場の間の市道はケヤキ並木になっている。このケヤキ並木は豊川海 軍工廠の開庁記念に植樹されたものである。ケヤキ並木の突き当りにある日本車両製 造株式会社の工場の門は、海軍工廠の正門を利用したもので、その横に豊川市による 「豊川海軍工廠跡」の説明板がある(写真3-5-②-10)。これより北側の穂ノ原地 区に広がる広大な土地が豊川海軍工廠の跡地で、戦後、陸上自衛隊豊川駐屯地、工場群、 大学の研究施設などに利用されている。豊川海軍工廠平和公園もその一つである。



写真3-5-②-10 豊川海軍工廠の旧正門 (現在は日本車両製造株式会社の工場の門)

k) 曹洞宗妙厳寺(豊川稲荷)(豊川市豊川町)

豊川市の中心部から東に外れた郊外に日本三大稲荷の一つとして知られる豊川稲荷 のある妙厳寺がある。境内を、本堂から狐塚や奥之院のあるエリアに進むと、途中に「元 豊川海軍工廠戦没者供養塔」と書かれた道標がある。それにしたがって進むと、境内 の外に出たところ(緑町)が広場となっており、そこに豊川海軍工廠戦没者供養塔(本 碑)と副碑や標柱、地蔵尊などがある(写真3-5-②-11)。「平和の像」の副碑に記 載された妙厳寺境内の大供養塔である。



| 写真3-5-2-11 豊川公園にある「平和の像」

2) ICT を活用した減災行動誘発システムの開発

a) 耐震化行動を誘発するための震動体感システム開発

これまで名古屋大学では、市民の耐震化行動を誘発する事を目的とした、様々な体感 装置を開発してきた。写真3-5-2-12 は、直交リニアガイドとサーボモーターを 用いた、長周期・ロングストロークの振動台である。長辺(図中の左右)方向で往復3 mの加振能力が有り、長周期地震動の再現に適している。この振動台の動きに同期する 形で、図中奥と左右のプロジェクター映像(室内被害映像)が振動するようになってい る。写真3-5-2-13は、プロジェクターと 3Dモデリングソフトを用いた、地震時 室内状況のシミュレート環境である。壁面3面に大型プロジェクターで映像を投影し ており、没入感のある地震時の体験が可能となっている。3Dモデリングには汎用的な 開発環境として Unity3Dを採用し、室内モデルの編集・加工が容易である。さらに、簡 易ではあるもののリアルタイムの物理演算が可能なため、強震動データ(この場合は建 物の地震応答計算を行ったもの)を入力することで、室内の揺れだけでなく、家具の移 動や衝突・転倒が再現できる。写真3-5-2-14、図3-5-2-2は、HMD(Head Mounted Display)を用いた、没入型の揺れ映像体感装置である。近年のHMDおよび VR

(Virtual Reality) 技術の進歩はめざましく、個人向けに市販されている安価な機材 を用いて、極めて没入感の高い 3D 映像が再現できる。HMD のヘッドトラッキング機能 (利用者の頭部の向きを検出し、映像の向きを変更する機能)を活用して、利用者がま さに地震時の室内に居るような体験を提供するものである。このシステムは映像+音 声のみでの体感であるが、利用者に地震時の室内危険性を気づかせる効果は高いと考 えられ、その証左として複数の施設(岡崎市防災展示コーナー、名古屋市港防災センタ ー、豊川市防災センター(建設中))に導入もしくは導入予定されている。これらの詳 細は倉田(2016、2017)を参照されたい。



写真3-5-2-12 長周期ロングストローク振動台+背景画像の同期システム



写真3-5-2-13 地震時室内3Dモデル投影システム



写真3-5-2-14 HMDを用いた没入型体感システム



図3-5-2 没入型システムに表示される映像例

b)社会実装を前提とした普及型システムの開発

今年度はこれらシステムのさらなる高度化を行った。研究目的は市民の耐震化行動 誘発であるため、単純な演算の高精度化や、システムスペックの向上が目的ではない。 これまでの社会実装実験から、これらのシステムが市民の耐震化行動意図を誘発しう ることは確認できているものの、社会実装上の主な課題は「利用機会の少なさ」「普及 の困難さ」にあると考えられた。そこで、今年度は「より安価かつ簡易に多人数が利用 できるシステム」を「既存の教材へ追加実装」することを目的に開発を行った。

新たに開発したシステムを写真3-5-②-15に示す。利用者は図中央の簡易型HMD (図中には同型が3台)を装着する。これはAndroid OSを内蔵しておりスタンドアロ ン動作が可能で、電源や信号などの配線を必要としないため、極めて手軽に利用できる。 また、VRを用いた映画やゲーム等のコンテンツ普及に伴い、同様のデバイスが数万円 から入手できるようになったことも、本研究の開始時点に比して社会実装を後押しす る要因である。これらは図左の無線LANルーターを介して図右のノートPCに接続され ており、ノートPCからコントロールされる。このシステムにより、任意の地震応答波 形・任意の室内モデルによる、複数人同時の震動体感が可能となっている。



写真3-5-2-15 普及型の震動体感環境システム

c)既存の震動体感環境への追加実装による社会実装

現在、基礎自治体で最も普及している震動体感環境は、地震体験車(いわゆる起震車) である。愛知県においては、愛知県庁が保有する「なまず号」を各市町村に貸し出すこ とで、活発な市民利用がなされている。しかしながら、地震体験車の担当者(県職員) および体験者(市民)へのヒアリングからは、地震災害に対する危機感を得るためのも のではなく、「遊具としての体感装置」として市民には認知されていることが明らかに なった。そこで、既存の地震体験車を活用しつつ、その耐震化行動誘発効果、すなわち 体感のリアリティを向上させる案として、本研究で開発した普及型システムを追加実 装した(写真3-5-②-16)。予め、地震計を用いて地震体験車のメニューに対応し た振動台の応答を収録しシステムに組み込むことで、「体で感じる揺れ」と HMD を通じ て得られる「視覚の揺れ」を同期させることができた。このシステムは 2018 年 11 月 3 日の愛知県庁公開日ならびに、11 月 11 日の愛知防災の日のイベントで市民に公開さ れ、2日間で 500 名以上の市民が体験した。本システムの本質的な評価は、長期的な追 跡調査によって市民の耐震化行動を観測する必要があるが、協働した愛知県職員から は、これまでとは体験後の市民の表情が全く異なるというコメントを得ている。



写真3-5-2-16 既存の震動体感環境(愛知県なまず号)への追加実装例

(d) 結論ならびに今後の課題

愛知県に数多く残されている軍需工場と関連する地震の慰霊碑や記念碑の調査・収 集するとともに、これら通して、昭和東南海地震による愛知県内の死者数の 71%を占 める半田市と名古屋市において、その大きな原因となった軍需工場での被害の実例を 概観した。わが国において、これらの被害は、耐震性の欠如を放置していた場合に起 こるべき悲劇の一つとしてとらえるべきであり、確かに地震は揺れや津波を発生させ て恐ろしいが、人為もまたそれに勝るとも劣らない結果を生み出す可能性があるとい うことを我々は肝に命じるべきである。また、本プロジェクトの他課題の成果として 得られた強震動予測結果や建物の強震観測記録を活用し、最新のバーチャル映像技術 を組み合わせた没入感のある地震応答体感環境をパッケージ化し、多様な環境におけ る社会実装を試みた。

- (e) 引用文献
 - 1) 武村雅之、2015、遠隔地に建立された関東大震災の慰霊碑-名古屋市の日泰寺・ 照遠寺と長野市の善光寺における調査、地質工学、第13 輯、1-15.
 - 2) 武村雅之、2018、減災と復興-明治村が語る関東大震災、風媒社、213pp.
 - 3) 半田市、1995、半田の戦争記録、半田市誌別巻、400pp.
 - 4) 倉田和己,福和伸夫、2016、仮想現実ソフトウェアと震動体感環境の融合による効果的な減災啓発ツールの開発、災害情報、14巻、pp.83-96
 - 5) 倉田和己,福井優太,平井敬,福和伸夫、2017、強震動データの有効活用へ向け た可視化統合プラットフォームの構築、日本地震工学シンポジウム、7p

③地震活動度および統計情報の可視化

海洋研究開発機構では、南海トラフ広域地震防災研究プロジェクトの地域連携減災研 究のうち、防災・災害情報発信研究の一環として、海域に設置された地震・津波観測監 視システム (DONET) の地震や津波の早期検知の情報を即時的に発信、また地殻活動や応 力状態把握のための地震の統計情報や地殻変動の情報と併せて総合的に解析するため のシステムを検討してきた。この研究の一部として横浜研究所のサーバに導入済みの自 動震源監視ソフトによる震源決定の精度向上と震源監視能力の向上、決定された震源情 報から地震発生の空間分布や時間変化、統計情報等について地図上やグラフ上にプロッ トし、視覚化するシステムの構築を行ってきた。これまでに構築したのは、あらかじめ 用意した時間や範囲における震源情報についてのプロットを自動で作成するものであ り、プロットする範囲などを変更することは出来なかった。この可視化システムについ て、インタラクティブなインターフェースにより震源分布プロットの地図の拡大や縮小、 グラフにプロットする情報を選択可能とすることで多種多様のニーズに対応可能とな り、地震情報から抽出できる情報は飛躍的に向上する。本年度は、これらの情報を南海 トラフ広域地震防災研究プロジェクトにおいて一般利用を目指して構築を進めている プラットフォーム上で即時的かつインタラクティブに展開するためのシステムの検討、 設計と試作システムの開発を行った。すなわち、DONET および陸上観測によって得られ た震源情報を基に、地震の分布、地震活動度、地震活動の時空間変化等について、イン タラクティブに表示するシステム構築のための検討、設計と試作を行った。本格的なシ ステムの構築は来年度行う予定である。これにより、南海トラフにおける地震観測によ って得られた地震情報の即時把握、地震活動度の時間変化と空間分布、地震の統計的性 質の変化と地殻活動について即時把握と詳細な分析が可能となり、南海トラフにおける

震源監視能力が向上することになる。

(a) 業務の要約

これまで DONET および陸上観測データによる震源決定の自動化および高精度化を進 め、さらに震源情報から地震発生の時空間変化および統計情報の可視化を定期的に自 動で行うシステムを構築した。このシステムにおいて、アーカイブデータに基づく高精 度な震源情報は毎日定時に作成され、リアルタイムデータに基づく震源情報は地震検 知後、即時更新される。オペレーターによる手動検測に基づく震源情報は随時更新され る。これらによる震源情報をインタラクティブに表示し、情報を容易に確認、モニタす るためのシステムを検討し、ベースとなる web サイトの設計と試作を行った。これらの 情報をプラットフォーム上で展開することは、地震活動を監視し、今後の長期予測につ ながることになり、情報発信の在り方の検討が必要であるが、重要な情報を発信する体 制を構築することになる。

(b)業務の実施方法

1 全体の構成

本システムではアーカイブデータおよびリアルタイムデータによる自動震源および オペレーターによる高精度震源情報をweb上で可視化する。このシステムにおいて、表 示される地震情報の分かりやすさと、震源カタログ等から得られる地震の統計的性質な どの様々な情報を表示できる汎用性を両立するための検討を行った。昨年度構築した、 自動で定型の震源情報を可視化するシステムに対し、1.分かりやすい表示、2.表示方 法は、地震の分布を常時表示することで地震活動監視を行いつつ、インタラクティブな インターフェースで必要な情報を取り出すことが出来る、3.新しいプロットが必要と なったときに、追加しやすいものとする、と言った要件を満たし、かつ最小限の構成と することで分かりやすいものとするシステムを目指して設計を行った。

その結果、次のような構成とした。主な構成は、震源情報の地図上プロットによる可 視化と、震源カタログ等から得られる様々な情報からグラフを作成し、適切な形で可視 化するシステムの二段構成とする。本 web サイトを訪問し、最初に表示されるのはリア ルタイム震源決定による地震の分布である。リアルタイム震源決定による最新の地震の 分布は一般に最も興味のあるものであり、これをデフォルト表示にすることで、昨年度 構築したリアルタイム震源決定による震源情報表示と同等の機能を持つことになる。さ らに、アーカイブデータによるより高精度な震源決定による震源情報、またオペレータ ーによって検測とチェックが行われた震源カタログについては、表示させる情報ソース を選択可能とすることで、同様に地図上へのプロットを可能とする。

次に、地震の震源カタログから得られる地震活動度や統計的性質などの情報について は、別途プロットするシステムを用意する。これはタブなどによって地図上のプロット と表示を切り替える。プロットする図としては、昨年度構築したシステムでプロットを 作成した、震源分布の深さ断面、震源分布の時間変化、地震の累積頻度による活動度、 地震のサイズ分布などが想定される。また、昨年度導入した地震の統計情報から推定さ れる地震発生率、z 値、b 値、平均地震規模等と、その変化を評価する AIC の時間変化等 も重ねてプロットできると、様々な指標から総合的に地震活動を評価できるようになり、 汎用性の高いシステムを構築することが出来る。また、DONET 水圧計などから得られる 地殻変動に関連する情報を重ねることで、地殻活動について総合的な検討が可能となる。

図3-5-③-1に検討過程における画面構成案を記す。2章及び3章では実際に試 作を行った web システムについて紹介するが、これらは当初案作成後、さらなる検討を 加えることで、さらにシンプルな構成かつ汎用性のあるサイト構成となっている。

タブで地図、断面、活動度、サイズ分布、3D プロット等を切り替え



・プロットに重ねる情報(観測点等)の選択

図 3-5-3-1 初期の画面構成案

2 地震の分布の可視化

震源の分布を表示するために最も分かりやすく一般的なのは、地図上に特定の期間 (例えば過去一週間)の震源情報を表示する事である。震源の深さは記号の色分けによ って表示され、記号の大きさによってマグニチュードの大小を表すのが一般的である。 地震の多くはプレート境界やプレート内の活断層に沿って起きるので、震源の分布は地 表や海底の地形と比較しやすいものが良い。一方、地殻内の断層は多くの場合傾いてい るため、断層に沿って地震が分布していても平面上では広がりを持って分布する。この ような場合、3D 表示によって視点を回転させ、断層面に直交する方向から見ることで、 地震が直線状に分布する。従って震源分布は平面および 3D の両方の表示が出来た方が 良い。3D 表示では視線方向を任意に調節できる必要がある。

2.1 地図上への震源分布の表示

地図上の震源情報表示において、初期状態、すなわちサイトにアクセスした直後では

現在時刻から一週間程度以内のリアルタイム自動震源決定による震源データを表示す る。地図の表示範囲はマウスの操作によって移動、拡大、縮小が可能とする。また、表 示する地震の期間、マグニチュード、空間の範囲等の指定は別途表示される選択画面に よって必要な範囲を指定可能とする。表示する震源情報のソース(リアルタイム震源、 アーカイブデータによる震源、オペレーターによる検測後の震源)についても任意に選 択可能とすることで、必要に応じた情報を表示が可能となる。

震源情報を重ねる地図として、海底地形が含まれるものを用いるのが必須である。こ れは、南海トラフにおける地震観測において、トラフ軸や海底活断層、海底地形との対 比は必須であり、主要な地震が起きた時の地震のテクトニックな背景を考察する上でも 重要であるためである。しかし、地上の地形図は無償で利用可能なサイトが多くあるが、 海底地形を表示可能なものは少ない。詳しく検討した結果、国土地理院で公開している 地理院地図のうち、「色別標高図」において海底地形が表示されていることが分かった。 この地図を引用し、対応する緯度経度に地震の震源をプロットすることで、本機能を実 装可能であることが分かった。今後、さらに詳しい海底地形図や赤色立体図などに震源 分布を重ねる事を検討している。これについては、海底地形を表す画像と緯度経度の対 応が明確であれば技術的には可能であると考えらえるので、今後実装について詳しく検 討していく予定である。

地図上には震源の他に、必要に応じて様々な情報が表示できるようにする。例えば、 DONET や陸上の地震観測点、DONET ケーブルルート、ノードなどを記号や線で表示可能と する。さらに、南海トラフにおける地震に関連した様々な情報、すなわち海底下の断層 や構造探査測線等を表示可能とする。これらは基本的な図形で表現可能なため、緯度、 経度の座標を指定して直線や多角形、記号などを表示可能とすることで、震源分布に重 ねて表示可能とする。表示する項目の情報を表示するために、テキストの表示も可能と する。

上記の様々な情報については、座標や記号に関するデータをファイルで用意し、サー バに保存、必要なものをチェックボックスなどで選んで表示、非表示を選択可能とする。

震源情報については、3章で実現するグラフ作成による可視化において、使用するデ ータの空間範囲を指定する必要がある。地図上でのドラッグにより矩形で範囲を指定し、 その範囲に含まれる震源情報を用いてプロットの作成を行うシステムとする。震源情報 の期間やマグニチュードの範囲については、最初に述べた、地図上プロットへの表示期 間、範囲の指定によって選択可能とする。

図 3 - 5 - ③ - 2 に開発途中の地図上プロットの例を示す。この図では●で震源を、 ▲で DONET 観測点を、▼で震源決定に使われている陸上観測点(Hi-net, 気象庁)を、 ■で DONET ノードを示し、DONET のケーブルルートが線で記されている。マウス操作に より表示範囲の移動、拡大、縮小が可能であり、また、グラフ作成における範囲選択の ためのボタンが配置されている。左側のタブを開くことで、表示する地震の期間とマグ ニチュードの下限が選択可能となっている。


図3-5-③-2 地図上の震源プロットのサイト(試作版)。左側のタブを開くことで、 表示する震源情報の範囲を選択可能としている。

2.2 震源の 3D プロット

地震の多くは断層に沿って分布する。プレート境界や地殻内部の断層は一般に傾い た面であるため、平面上に震源をプロットした場合は二次元的に広がりを持つことにな る。3D プロットによって視点を自由に変えることが出来れば、地震活動と断層分布との 関係が明瞭になり、テクトニックな背景を知るために重要な情報が得られる。図3-5 -②-3に同じ震源データの異なる視点で作成した複数の 3D プロットを示す。同じ震 源分布でも、視点によって震源がばらついたり、線状に分布したりすることが分かる。 震源が線状に分布するという事は、視線に平行な断層面上で地震が起きていることを示 唆している。

このように、震源分布を 3D で表示する機能も重要である。図3-5-③-3は一般 の汎用プロットツール (gnuplot) によって表示した例であるが、このような機能を web サイト上で実現することで、震源情報の可視化による震源監視能力がさらに向上すると 期待される。3D プロットに海底地形やプレート境界面、活断層の面を入れると震源との 関係がさらに分かりやすくなる。一方で図が煩雑になり、また分かりやすくするために は断層面を表す図形を透過させるなどの高度な機能が要求される。どこまで情報を表示 させるかについては、さらに検討が必要である。



図 3 - 5 - ③ - 3 震源の 3D プロットの例。同じ震源分布のデータを視点を変えて表示した例

3 震源情報等によるプロット作成システム

震源カタログから地震の様々な特徴を抽出し、可視化するために様々なプロットを作成する必要がある。昨年度の開発では、地図上の震源分布の他に、震源の深さ断面、地震のクラスターごとの地震活動度(累積頻度)とサイズ分布を作成した(図3-5-③-4)。



図3-5-③-4 震源情報可視化において最低限必要な、震源の地図上での分布、深さ断 面、地震活動度(累積頻度)、サイズ分布のプロット

インタラクティブな web サイトにおいても、作成するプロットとして震源分布の深さ 断面、震源分布の時空間変化、地震の累積頻度による活動度、地震のサイズ分布などが 想定される。一方、場合によってはここで挙げたものの他に、新たな種類のプロットが 必要となるかもしれない。また、得られたプロットに異なる種類の情報を重ねることで、 地殻活動に関連した様々な物理量の関連が明らかになるかもしれない。これらすべてを 実現するために、すべての情報の組み合わせのプロットを作成するのは現実的でない。 一つ新しい情報を加えると、既存の全ての情報に対するプロットを大量に作成せねばならず、その作業は膨大となる。

ここでは、プロットにおける縦軸と横軸に割り当てる情報を提供される情報から任意 に指定し、プロットに用いる記号や線を指定、縦軸、横軸をデータそのものだけでなく 累積頻度も選択可能とし、軸の表示を線形及び対数から選択可能とし、汎用グラフ作成 ツールと同様の機能を実装することで、様々な表示を可能とする方法が良い、という検 討結果となった。ただし設定項目が多数あるので、上記で挙げたようなよく使われるプ ロットについてはデフォルト値を設定したテンプレートを用意しておくのが良い。

3.1 プロット作成システムと汎用性を高めるための検討

以下に、各種プロットと表示する項目、汎用性を高めるためにどのような機能を持た せるかについて検討したリストを示す。

[地図上プロット]

- 地図上に表示する項目
 - ▶ 震源情報

◆ 自動震源、手動震源、その他の震源情報(低周波地震の震源など)

▶ 観測に関する情報

◆ DONET、地上観測点等、DONET ノード、DONET ケーブルルート

▶ その他

◆ 断層を表す線、構造探査測線、テキスト、領域を表す多角形、楕円、矢印など

- 汎用性を高めるための工夫
 - ▶ 上記について、表示、非表示の選択(チェックボックスなど)と、表示する記号や 線の種類の選択(○、△、□等、色、記号のサイズ、線の太さ)
 - ▶ 震源は記号のサイズを固定、およびマグニチュードに比例の選択可能に

[2D グラフ]

- プロットする項目の例
 - ▶ 震源分布の深さ断面
 - ▶ 地震活動の時空間変化
 - ▶ 地震活動度(累積頻度)
 - ▶ 地震活動度 (マグニチュード)
 - ▶ 地震のサイズ分布
 - ▶ その他時系列データ(地殻変動データ等)
- 汎用性を高めるための工夫
 - ▶ 入力とするデータの選択
 - ◆ 震源情報
 - 自動震源、手動震源、低周波地震の震源等の震源情報
 - ◆ その他の時系列など

- 水圧記録、GPS 地殻変動等のデータ
- ▶ 縦軸、横軸に割り当てる属性の指定
 - ◆ データの持っている属性を取得して選択肢を表示
 - ◆ 属性の例
 - 時刻、緯度、経度、深さ、マグニチュード、等
 - ◆ 属性は入力データのカラムに対応(カラムに属性を指定しておく)
 - ◆ 作成するグラフの縦軸、横軸に属性をラベルで表示
- ▶ プロットに用いる記号、線の指定
 - ◆ 表示する記号や線の種類の選択(○、△、□等、色、記号のサイズ、線の太さ)
 - ◆ 記号の大きさ
 - 固定(大きさ指定)
 - 属性を指定して、大きさを変化(マグニチュードに比例してサイズを変化 させる等)
- ▶ 縦軸の表示方法
 - ◆ データの値そのまま
 - ◆ 累積頻度
 - 左端からの累積(地震の累積頻度等で使用)
 - 右端からの累積(地震のサイズ分布等で使用)
- ▶ 縦軸、横軸のスケール
 - ◆ 線形
 - ♦ 対数 (log10)
- ▶ グラフに直線をフィット、傾きを表示
- また、データの種類によって様々な属性が考えられる。以下はその一例である。 [データの持つ属性]
- 震源データ
 - ▶ 時刻、緯度、経度、深さ、マグニチュード、誤差(緯度、経度、深さ)
- その他時系列データ(水圧、GPS 地殻変動など)
 - ▶ 時刻、物理量(水圧、変位)など
 - ▶ 物理量は1次元~多次元(GPSなら東西変位、南北変位、高さ)

表3-5-③-1に、標準的なプロットと、縦軸、横軸、記号の指定の例を示し、こ れらはテンプレートとして用意しておくのが良い。

プロットの種類	横軸	縦軸	記号
震源分布の深さ断面	緯度	深さ	丸(●)、大き
	経度		さはマグニ
Ê 25 -	ある測線に沿		チュードに
htt http://www.analysis.com	った距離		比例
75 0 30 60 90 120 150 180 210 240			
Distance (km)			
地震活動の時間変化	時刻	緯度	丸(●)、大き
		経度	さはマグニ
the state of the state was not the state of the state		ある測線に	チュードに
		沿った距離	比例
Jul Aug Sep Oct Nov Deo Jan			
地震活動度(累積頻度)	時刻	プロット開	線
Aleq hypocenters		始時刻(グラ	傾き (=平均
In the second seco		フの左側)か	活動度) 計算
Cumua		らの累積個	
JUL Aug Sep Oct Nov Dec Jan		数	
地震活動度(マグニチュード)	時刻	マグニチュ	棒、上端に
A Ateq hypocenters •		ード	丸、丸の大き
Builde			さはマグニ
Ma			チュードに
0 17 19 10 10 10 17 24 0 March			比例
地震のサイズ分布	マグニチュー	最大マグニ	線
	ド	チュード (グ	傾き(b 値)
201707112 - 201801/11 Cluber 8 N=273) Cluber 8 N=273) Cluber 6 N=270		ラフの右側)	計算
Cluster D (N+31) Cluster E (N+324) Cluster F (N+37)		からの累積	
		頻度	
		(対数)	
Magnitude			
その他時系列データ	時刻	物理量	点、線

表3-5-③-1 標準的なプロットと縦軸、横軸、記号の指定の例

3.2 プロット作成システムの構築

震源情報を基にインタラクティブにプロットを作成する試作システムを構築した。こ こでは図3-5-③-2で示した地図上プロットにおいて、矩形範囲を選択することで、 その範囲内で起きた地震について、地震の深さ分布、地震活動度の空間変化、地震活動 度(マグニチュード)、地震の活動度(累積頻度)を作成し、左側に表示する(図3-5 -③-5)。表示するプロットの種類については、管理画面(図3-5-③-6)で設定 可能で、新規にプロットを追加、削除が可能である。それぞれのプロットについては、 詳細に項目やプロットの種類の設定が可能である(図3-5-③-7)。現在のシステム ではグラフの種別[散布図、折れ線グラフ]、描画の色、縦軸と横軸は[地震発生時刻、 緯度、経度、深さ、マグニチュード、累積頻度]から選択可能である。これらを組み合 わせることで、様々なプロットを作成可能である。さらに設定項目と選択肢を増やすこ とで、地震のサイズ分布など、多様なプロットが可能となる。現在のシステムではプロ ットの設定は管理画面において行うが、ユーザが設定画面を用いて自由にプロットを作 成できるようすれば、地震活動データを用いて必要な図を作成し、様々な検討が可能と なる。



図3-5-③-5 震源情報によるプロット作成の例。地図上で矩形範囲をドラッグする と、その範囲の震源情報を用いて左側に各種プロットが作成される。

南海トラフ地震・津波	南海トラフ地震・津波観測監察 × 観測データグラフ表示設定 < 南 × + □ ×							
↔ ∀ ↔ ↔	💿 nankai-seismo.yes.jamstec.go.jp/wp-admin/admin.php?page= 🚥 🖸 🗘 検索 👱 🕪 🖽 🖽 💆 🗧							
🔞 🍘 南海トラフ地震・	津波観測監視システ	ムモニタリング情報 투 🛛 🕇 新規 🌘	📵			こんにちは、	nakano_admin さん	б 🔳
🚳 ダッシュボード	観測テ	ータグラフ表示	設定					
★ 投稿	表示グラ	フ設定一覧						
93 メディア	New Edit	Delete				Search:		
目前に目末	Seq. ↑↓	グラフ名称 14	グラフ種別 ↑↓	ラベル対象名 1↓	描画色	Y軸種別 1↓	X軸種別	†1
▶ 外観	1	深さ断面	1	震源	pink	depth	Ing	
≱ プラグイン ▲ ユーザー	2	地震活動の時間変化	1	震源	green	count	datetime	
& ツ−ル	3	地震活動度(緯度)	1	マグニチュード	blue	mag	datetime	
15 設定	3	地震活動度 (経度)	1	地震活動	#550055	Ing	datetime	
 ♥▲ SEO 3 ● 観測情報 	4	地震活動度(累積頻度)	2	震源(累積頻度)	#cc00ee	count	datetime	
観測機器データ設定 震源データ設定	Showing 1 to 5 of 5 entries Previous 1 Next							
表示グラフ設定								
MordPressの設定								
メニューを閉じ ろ								
<	WordPress のご利	用ありがとうございます。					バージョン 5	ал •

図3-5-3-6 作成するプロットの管理画面。

南海トラフ地震・津	南海トラフ地震・津波観測監察 × 観測データグラフ表示設定 < 南 × + □ ×										
← → ♂ ŵ	(i) nanka	ai-seismo.yes. ja	mstec.go.jp/wp-adm	nin/admin.php?page=	⊌ ☆ ○	く検索			⊻	∭\ 🗊	. ≡
🔞 🏠 南海トラフ地震) 👌 南海トラフ地震 ·津波観測監視システムモニタリング情報 🕊 0 🕇 新規 📢 🚯 こんにちは、nakano_admin さん 📃										
🚳 ダッシュボード	観測テ	ータグ	Edit entry		×						
★ 投稿 分 分子 分 分子 分 分子 分 分子 ク ク ク ク 分子 ク ク ク ク ク ク ク ク ク ク ク ク ク ク ク ク ク ク ク	表示 New Edit	フ設定一覧 Delate	Seq.:	1				Sea	rch:		
■ 固定ページ ■ コメント	Seq. 1	グラフ名称	グラフ名称:	深さ断面		描画色	↑↓ γ	/軸種別		X軸種別	1
▶ 外観	1	深さ断面	グラフ種別:	散布図	~	pink		depth		Ing	
🖆 プラグイン 🏜 ユーザー	2	地震活動の時間	ラベル対象名:	震源		green	c	count		datetime	
& ツール	3	地震活動度(緯周	描画色:	pink		blue	r	nag		datetime	
151 設定	3	地震活動度(経際	Y軸種別:	深さ(Depth)	~	#550055	I	ng		datetime	
 ♥ SEO ● ●<	4	地震活動度(累積)	Y軸上部の値:	0		#cc00ee	C	count		datetime	
観測機器データ設定 震源データ設定	Showing 1 to 5	of 5 entries 1 row	Y軸下部の値:	Max					Pro	evious 1	Nex
表示グラフ設定			X軸種別:	経度(Long)	~						
WordPressの設定 ・ メニューを閉じ ス			X軸左側の値:	Min							
2	X輪右側の値: Max WordPress のご利用ありがとうございま:									バージョ	> 5.1.1 🗸

図3-5-③-7 プロット作成のための情報入力画面

4 震源情報の定期的更新

上記プロットでは、リアルタイム震源決定による震源のプロットも含まれる。この場 合、地図上の震源プロットでは新しく地震が検知されるたびにプロットに反映される方 が良い。これによって、web サイトをディジタルサイネージなどで表示し、リアルタイ ムで地震の発生状況をモニタすることが可能となる。

そのためには、これまでに開発したリアルタイム震源決定システムによる震源情報を 常時 web サイトにアップロードし、web サーバはこれを常時モニタし、新しい情報があ れば自動でプロットを更新することで実現される。この機能は昨年度開発したリアルタ イム震源プロット作成システムに、震源情報を web サーバにアップロードする機能を追 加することで実現できる。すなわち、Linux の標準機能である cron によって定期的に震 源情報を監視し、新しい地震の情報があれば震源リストとプロットを更新する。ここに web サーバにアップロードする機能を加える。web サーバでは同様に cron によって震源 情報を定期的に監視し、震源リストとプロットを更新する。この方式ではリアルタイム 震源決定からプロットの更新まで若干の遅延が生じることになるが、異なるサーバで実 装するための限界であると考えられる。

(c) 業務の成果

地震活動度および統計情報をインタラクティブに可視化するための検討を行い、その ベースとなるシステムの構築を行った。特に地震の統計情報については必要とされる情 報が多岐にわたるため、要求を満たすための汎用的なシステムを作成するための検討を 行った。その結果、震源情報から多岐にわたる情報を引き出すためには作成するプロッ トの種類を制限せず、グラフの縦軸と横軸に割り当てる量や表現方法などを自由に設定 できるシステムが良いという結論に達した。ただし自由度が高すぎても使いにくくなる ので、頻繁に使われる種類のプロットについてはあらかじめテンプレートを用意するこ とで、使いやすさと汎用性の両方を実現可能であるとの結論に至った。ここで検討した 震源情報表示システムを web で構築し、一般利用を目指して構築を進めているプラット フォーム上で展開することで、震源情報と関連する観測データから様々な情報を抽出可 能となる。

(d) 結論ならびに今後の課題

地震の震源情報および関連情報から地殻活動に関する情報を引き出すためには多様 な視点に基づく様々なデータを比較することが重要である。そのためにはインタラクテ ィブなシステムによって様々な情報を自由な形で比較できるシステムが必要である。本 年度は地震活動データについて様々なプロットが作成できる試作システムの構築を行 った。今後プロットについての自由度をさらに強化し、また地震活動以外のデータ、す なわち地殻変動に関する様々なデータを同じプラットフォームで表示、地震活動データ と比較可能にすることで、多様な観測データから抽出できる情報がさらに増えると期待 される。そのためのシステムの設計と構築が必要である。

(e) 引用文献

なし

④住民の防災知識構造と社会構造に関する質的調査

(a) 業務の要約

平成 30 年度においては、昨年度までの成果を踏まえて、1) 理論的な行動意 図モデルに基づく避難意図構造とその規定変数群の抽出を継続するとともに、2) 復興 研究との接続を図るため地域産業の事業継続に関して予備的な分析を開始した。

このうち、1)避難意図構造モデルの詳細分析では、過年度までの成果(宇 田川真之ら,2019)で主要な寄与要因であった規範意識について、過年度とは異 なる地域特性の地域を選定し調査を行った結果でも、本調査で確立した避難 意図構造の安定性を確認することができた¹⁾。また2)地域産業の事業計画に関して は、まずは全国規模の企業に対して聞取り調査を行い、その結果を踏まえて 津波が予想される地域に立地している製造業を対象に量的調査を実施した。 量的調査では、静岡県の一部の沿岸部の事業所を対象に、「南海トラフ地震に関連す る情報(臨時)」の認知度や対策の実施状況などを調査したところ、臨時情報について 聞いたことがある事業所は9割に及んでいた。そして1割程度の事業所が、発表時の何 らかの対応計画を策定ずみであり、約6割の事業所が今後に検討する意向であった。発 表時に行う可能性の高い対策としては、情報の収集・伝達体制の確認・強化を挙げる事 業所は8割を超え、業務の中断まで挙げる事業所も約半数を占める。こうした事業所の 対応を検討する際の判断材料としては、避難勧告等の発令状況を挙げる事業所が最も 多かった。また、従業員の出社や生活に関わる状況を挙げる事業所の方が、商取引先の 状況をあげる事業所よりもやや多い傾向が見られた。そして、こうした判断は本社では なく現地で行う事業所が大半であった。

(b) 業務の実施方法

避難意図構造の理論モデルの詳細分析では、過年度までに得られた結果の汎 用性の確認をすることとした。そして、避難行動意図に有意な影響をもたらしていた規 範意識の詳細構造の探索などを目的に住民調査を実施した。過年度の調査では、比較的 定住比率が高い地域を対象地区としていたことから、今年度は、規範意識に影響を与え ると想定される居住歴の長さの異なる住民が混在する地域を高知市内において選定し た。調査票には過年度までに確立した心理モデルを測定する質問項目を配置し、タウン メールで配布し郵送回収を行った。

早期の復興に向けて地域産業の早期再開に資する事業継続計画の促進に関 する分析では、昨年度の結果を踏まえて、地域社会の核となる企業の事業継続に ついて、南海トラフ地震等へのリスク認知と対応方針などついてヒアリング調査を実 施した。その結果を踏まえて、津波リスクの高い静岡県の浜松市および静岡市の津 波浸水想定地区から製造業を抽出し、量的調査を行った。

- (c) 業務の成果
 - 1) 避難意図構造モデルによる調査分析
 - a) 調査の概要

避難意図構造の理論モデルにおける、避難意図に寄与する規定因の安定性を確認す るため、高知県高知市で住民調査を実施した。調査地域の選定にあたっては、これま での調査では避難意図に対して規範意識の寄与が大きく有意差が認められたことから、 既往調査とは異なる規範意識構造を有する地域を選定することとした。市民の規範意 識には、当該地区での居住歴の長さが影響すると想定されることから、本調査では、 津波浸水想定区域の中から、居住歴の長い住民と短い住民の混在する市の中心部近傍 の地区として、「南金田」と「日の出町」の2地区を選定した。調査地区は、津波浸水 深は最大3~5m、津波到達時間は最短 20 分~30 分程度の地域である(図3-5- $(4-1)^{2}$ 。

量的調査は、2019年2月に実施し、調査票を対象地区の全戸にタウンメールで配布 し郵送で回収をした。調査対象者は、各世帯のなかで、1月1日から最も早く誕生日 がくる高校生以上に回答を求めることにより、無作為に1名が抽出されるようにした。 784 票の配布に対して、158 票の有効票を回収した(回収率 20.2%)。



図 3 - 5 - ④ - 1 調査地域の避難場所と避難経路²⁾

b)分析結果

津波避難意図に対する規程因として「リスク認知」「効果評価」「実行可能性(自己 効力感)」「主観的規範」「記述的規範」「コスト」の心理要因を仮定して実施された宇 田川ら(2019)と同じ項目を測定した。宇田川ら(2019)では、因子分析の結果、効 果評価と実行可能性が1つの因子としてまとまり、その他は概ね想定通りの因子構造 を示していた。さらに、避難意図に対する説明力を検討した重回帰分析の結果、主観 的規範、リスク認知、そして避難の安全性評価(効果評価と実行可能性が合わさった 因子)が有意な説明力を持っていたことが示されている。静岡県沼津市を対象として 示されたこれらの調査結果が、本研究の対象である高知県高知市においても同様の結 果を再現するかを確かめるため、分析を行った。

18項目を対象とした因子分析(最尤法、プロマックス回転)を、5因子に指定した 場合は宇田川ら(2019)と同様に効果評価と実行可能性が1つの因子としてまとまり、 理論仮説に基づいて6因子指定をした場合は効果評価と実行可能性が別の因子として 別れた。その他の因子に関してはどちらの分析でも理論仮説通りの因子構造を示した (表3-5-④-1,表3-5-④-2)。そこで探索的に5因子構造と6因子構造の

両方において、避難意図に対する説明力を分析することとした。

表 3-5-④-1 5因子モデル

実行可能性& 効果評価	記述的規範	主観的規範	リスク	コスト		
0.74176	0.03147	0.09971	-0.01726	0.02591	А.	地震が起きた後、すぐに家から逃げ出せば、避難場所まで無事にたどり着くことができると思う
0.65862	-0.07827	-0.06105	-0.15244	0.06058	D.	避難場所までたどりつければ命が助かると思う
0.51639	-0.05519	-0.00683	-0.02349	0.0987	Q.	避難場所は津波に対して安全だと思う
-0.41495	0.25205	0.0059	0.01157	0.02039	J .	いまの避難場所では、津波に対して十分ではないと思う
-0.61012	-0.22898	0.01198	-0.22227	0.14582	Ν.	地震の後に、すぐに家から逃げ出しても、無事に避難できる自信がない
-0.6404	-0.09216	0.02421	0.00535	0.16679	G.	地震のとき、急いで家から逃げても、途中で津波に巻き込まれてしまうと思う
-0.0775	0.75837	0.02601	-0.14508	0.09358	М.	強く長い揺れを感じたら、周りの人は、すぐに避難すると思う
0.11947	0.51393	0.09184	-0.10948	0.0965	Ι.	津波警報が出たら、地域の人の中で避難する人は多いと思う
0.05811	-0.8207	0.06026	-0.03283	0.0746	О.	大きな地震があっても、周りでは、すぐに逃げる人は少ないと思う
-0.10402	0.18429	0.83757	0.04545	0.02372	F .	地震が起きたら、周りの人も私が避難することを望んでいると思う
0.05711	0.06276	0.81971	0.02955	0.05091	В.	周りの人は私に対して「大きな地震のときはあなたも避難したほうがいい」と思っている
-0.01692	0.16412	-0.55712	0.07355	0.12356	К.	大きな揺れの後に自分が避難しないでいても、周りからとがめられることはないと思う
-0.058	0.0759	-0.17721	0.69353	0.09109	Е.	津波がきたとき、自宅に残っていても、たいした危険にはあわずにすむと思う
0.04309	-0.25128	0.15593	0.42948	0.09832	R.	自宅まで、たいした津波は来ないと思う
0.05552	0.09505	-0.00354	-0.70265	0.09662	L.	自宅の建物は、津波に対して危険だと思う
0.10273	-0.04053	-0.03981	0.11599	0.85262	С.	避難をすると、支障がでてしまう大事なことがあると思う
-0.05977	0.08029	-0.04222	-0.04792	0.63475	н.	避難をすると、大切なものを失ってしまうかもしれないと思う
0.04875	-0.03719	-0.02892	0.0086	-0.20513	Ρ.	家を離れて避難をしても、失うものやできなくなって困ることはない

表3-5-④-2 6因子モデル

実行可能性	記述的規範	主観的規範	リスク	コスト	効果評価		
0.77115	-0.12248	0.03105	0.17692	0.08543	0.03513	Ν.	地震の後に、すぐに家から逃げ出しても、無事に避難できる自信がない
0.71237	-0.00404	0.02365	-0.02811	0.13057	-0.01269	G.	地震のとき、急いで家から逃げても、途中で津波に巻き込まれてしまうと思う
-0.73317	-0.04826	0.10202	0.04971	0.0514	0.07152	Α.	地震が起きた後、すぐに家から逃げ出せば、避難場所まで無事にたどり着くことができると思う
0.05698	0.79193	-0.0007	0.13563	0.06641	0.01969	М.	強く長い揺れを感じたら、周りの人は、すぐに避難すると思う
-0.06942	0.53704	0.09899	0.04942	0.06258	0.08758	Ι.	津波警報が出たら、地域の人の中で避難する人は多いと思う
0.08217	-0.77283	0.05715	0.06224	0.07994	0.08317	о.	大きな地震があっても、周りでは、すぐに逃げる人は少ないと思う
0.05276	0.18684	0.8248	-0.03355	0.03575	-0.03489	F .	地震が起きたら、周りの人も私が避難することを望んでいると思う
-0.11249	0.0433	0.79943	0.00605	0.07579	-0.03703	в.	周りの人は私に対して「大きな地震のときはあなたも避難したほうがいい」と思っている
-0.02055	0.14756	-0.57542	-0.04064	0.13128	-0.03205	К.	大きな揺れの後に自分が避難しないでいても、周りからとがめられることはないと思う
-0.13084	-0.00215	-0.0419	0.89998	0.12138	-0.15499	L.	自宅の建物は、津波に対して危険だと思う
-0.12263	-0.27823	0.11602	-0.33588	0.15322	-0.04604	R.	自宅まで、たいした津波は来ないと思う
-0.12028	0.00491	-0.20988	-0.58036	0.14622	-0.14047	Е.	津波がきたとき、自宅に残っていても、たいした危険にはあわずにすむと思う
-0.00895	-0.06615	-0.04378	-0.09829	0.84634	0.03297	С.	避難をすると、支障がでてしまう大事なことがあると思う
0.13605	0.08008	-0.03876	0.02913	0.59925	0.00538	н.	避難をすると、大切なものを失ってしまうかもしれないと思う
-0.02418	-0.0014	-0.04129	-0.00288	-0.20024	0.07038	Ρ.	家を離れて避難をしても、失うものやできなくなって困ることはない
-0.0435	0.12966	-0.00553	-0.05687	0.04235	0.76732	Q.	避難場所は津波に対して安全だと思う
-0.38756	-0.03206	-0.05762	0.162	0.03028	0.40069	D.	避難場所までたどりつければ命が助かると思う
0.00345	0.11706	-0.01152	0.03061	0.07532	-0.62234	J .	いまの避難場所では、津波に対して十分ではないと思う

避難意図も宇田川ら(2019)と同様に、「どんなときに津波から避難したり上層階に 上がることを考えますか」の質問の後、「強い揺れを感じたとき」「長い揺れを感じた とき」「大津波警報を見聞きしたとき」「市役所から避難勧告・避難指示などを見聞き したとき」の4項目に対して「移動しない」「たぶん移動しない」「たぶん移動する」 「必ず移動する」のいずれかで回答を求めた。4項目間の相関が高かったため(クロ ンバックのα係数が0.86)、平均値を算出し「避難意図」として分析に使用した。 避難意図との相関パターンを表3-5-④-3と表3-5-④-4に示す。実行可 能性と効果評価は1因子として分析しても2因子として分析しても避難意図とは有意 な相関を示さなかった。コストも有意な相関を示さず、主観的規範、記述的規範、そ してリスク認知が避難意図と有意な正の相関を示した。

表3-5-(4)-3 5因子モデルと避難意図との相	関(上段が r 値、下段が p 値	直)
---------------------------	-------------------	----

	主観的規範	記述的規範	実行可能性&効果評価	リスク	コスト
避難意図	0.50	0.37	0.07	0.40	-0.01
	<.0001	<.0001	0.38	<.0001	0.86

表 3 - 5	-(4)-4	6因子モデル	と避難意図との)相関(上段が	r値、	下段が p 値)
	主観的規範	記述的規範	実行可能性	効果評価	リスク	コスト
避難意図	0.50	0.37	0.10	0.03	0.40	-0.01
	<.0001	<.0001	0.22	0.76	<.0001	0.86

次に、宇田川ら(2019)と同様に回帰分析(ステップワイズ法)を行った。結果を 表3-5-④-5、表3-5-④-6に示す。いずれにおいても採択された因子は同 ーであり、相関分析と同様、主観的規範、記述的規範、そしてリスク認知において避 難意図に対する有意な効果が示された。なお、5因子モデルでも6因子モデルでも、 ステップワイズ法によって選択された主観的規範、記述的規範、リスクの因子は全く 同じ項目で合成された値であるため、回帰分析の結果に差は見られていない。

表 $3 - 5 - (4) - 5$	5因子モデルによる回帰分析	(ステップワイ	「ズ法)
---------------------	---------------	---------	------

変数	自由度	推定値	標準誤差	t 値	p 値	標準推定値	分散拡大
切片	1	0.24339	0.18483	1.32	0.19	0	0
主観的規範	1	0.31992	0.07268	4.4	<.0001	0.34578	1.31901
記述的規範	1	0.19152	0.07972	2.4	0.0176	0.18154	1.22062
リスク	1	0.23393	0.08085	2.89	0.0044	0.21736	1.2064

表3-5-④-6 6因子モデルによる回帰分析(ステップワイズ法)

変数	自由度	推定値	標準誤差	t 値	p 値	標準推定値	分散拡大
切片	1	0.24339	0.18483	1.32	0.19	0	0
主観的規範	1	0.31992	0.07268	4.40	<.0001	0.34578	1.31901
記述的規範	1	0.19152	0.07972	2.40	0.0176	0.18154	1.22062
リスク	1	0.23393	0.08085	2.89	0.0044	0.21736	1.20640

リスク認知と主観的規範は沼津(宇田川ら,2019)でも本研究対象の高知でも有意な 効果が見られており、普遍的な効果を持つ可能性がある。一方、沼津では実行可能性 と効果評価に効果がみられ、記述的規範には効果がみられていなかった。これらの分 析結果からは、宇田川ら(2019)で示された避難意図と関連する因子構造が地域を超 えてある程度一貫していること、そして、避難意図に対して効果のある因子は地域に よらず共通性の高い因子と、地域によって異なる因子とが存在する可能性を示唆している。

2) 地域産業の事業継続に関する予備的調査

地域住民の関心は長期化する避難生活や地域へ向かっていること、平成28年11 月から気象庁が発表することとなった「南海トラフ地震に関連する情報」の活 用を考える上で、個人の避難行動は企業の休業判断に依存することから昨年 度から企業の事業継続計画の予備的検討を開始した。

今年度は、当該地から域外への製造品出荷プロセスの分析の必要性や事業を中断す る基準や計画はない点を踏まえて、企業における事業継続上の影響評価に資する予備 調査を実施し、本格調査実施にむけた評価項目の精査を行った。

a)企業本社に関する聞取り調査

まず、事業所の事業継続計画や中止判断に影響を与えると想定された企業本社にお ける南海トラフ地震等へのリスク認知と対応方針などについて、聞取り調査を実施し た。対象とした企業は、もっとも対策が進んでいると考えられる日本を代表する大手 企業で、対企業製品製造を中核とするA社、対企業および消費財製造を行っているB 社、災害時に重要となる飲料を製造しているC社ならびに大手小売業のD社である。

ア)リスク管理の体制

各社とも本社で包括的なリスクマネジメントを行い、事業グループや事業所毎に事 業内容や立地環境に合わせて具体化を図っている。対象とするリスクは、地震・台風・ 津波・洪水・火山噴火といった自然災害に加えて、グローバルに事業を展開している ことからテロや暴動、設備の破壊まで幅広本社サイドで洗い出し、事業所で関連リス クへの初期対応計画と事業継続計画とを策定している。したがって、事業中断の判断 等は計画策定時や全社的観点から本社から指示する事もあるが、基本は事業所が行う 例が多い。

イ)優先業務の方針

各社とも業務の優先順位を明示しており、人命保護を最優先に置く企業が多い。そ の上で、事業内容に応じたサプライヤーとしての会社の信用から優先順位を定めてい る。具体的には、社会生活に大きな影響を与える交通の維持や復旧に関連する事業、 飲料水等被災住民等の生命維持に重要な事業、シェアーが大きな事業などである。

ウ)南海トラフ地震対応

南海トラフ地震に関しては、被害想定に基づきリスク評価をしたり、本社に関連事業を含めたタスクフォースを作り対応を図っている企業もあるが、南海トラフ地震に 関連する情報ついてはまだ対応を決めていないところが多い。ただ、少なくとも避難 勧告等立地市町村の指示に従って事業は中断する点は共通であった。

エ)規制緩和等の要望

最終消費財の製造や流通に関わる企業では、表示や物流に対する規制が影響する可 能性も指摘されたが、全般的には社内基準や業界基準の方が厳しいとのことだった。 b) 地域 BCP 策定に寄与する防災知識啓発に関する量的調査

ア)調査の概要

南海トラフ地震に関する情報提供や啓発効果に関して、企業における「南海トラフ 地震に関連する情報(臨時)」への現状の認識や理解度、対策の実施状況などについ て量的調査を行った。南海トラフ地震への防災対策および、事業継続計画の策定が求 められる事業所を対象に調査を行った。調査対象とする事業所を製造業の工場とし、 静岡県の浜松市及び静岡市の沿岸部の事業所を対象に、郵送配布・郵送回収による量 的調査を実施した。332 か所の事業所に調査票を配布し、76 事業所(23%)から回答 を得た。

イ)分析結果

操業中に、地震の強い揺れに襲われた場合に心配なこととしては、従業員のけがを 挙げる事業所が最も多く約9割に及んだ(図3-5-④-2)。



図3-5-④-2 地震の揺れによる懸念事項

回答事業所における、大きな津波の襲来時の想定浸水深は、3m以上の施設が約2割、 3m 未満の施設が約3割であった。なお浸水する危険を認知しながら深さまでは分か らないとする事業所が最も多く4割に及んだ(図3-5-④-3)。



図 3-5-④-3 想定する浸水深

津波警報等が発表になった際の緊急避難場所を8割以上の事業所で決めていた。建 物の上層階に避難する計画である事業所が最も多く、次いで事業所の外の高台や避難 ビルに避難する事業所が多く、いずれも4割程度であった(図3-5-④-4)。



図3-5-④-4 想定する避難場所(複数回答)

従業員全員が津波から安全に避難できるか懸念あるか尋ねた結果、想定される津 波浸水深が深いと認識している事業所の方が、懸念している事業所の割合が多い傾向 があった(図3-5-④-5)。



図3-5-④-5 従業員の避難への懸念の有無(想定津波浸水深別)

「南海トラフ地震に関連する情報(臨時)」について聞いたことがあるか尋ねた結 果では、テレビや新聞などできいたことがある事業所は全体の約9割に及ぶが、詳し く調べたことがある事業所は全体の2割に達していない(図3-5-④-6)。



図 3 - 5 - ④ - 6 「南海トラフ地震に関連する情報(臨時)」の認知状況(想定 津波浸水深別)

「南海トラフ地震に関連する情報(臨時)」発表時の事業所の対応について、全体の1 割強の事業所で計画を策定ずみであり、約6割の事業所で今後に検討する意向であっ た。また、本社での検討を待つとした事業所は無かった(図3-5-④-7)。



図3-5-④-7 「南海トラフ地震に関連する情報(臨時)」への対応計画の有無

そして「南海トラフ地震に関連する情報(臨時)」が発表になった際の事業所の対応 については、全体の約9割の事業所が、本社などではなく事業所で判断すると回答し ている (図 3-5-④-8)。



■本社など、当事業所ではないところでの判断になると思う ■わからない

図3-5-④-8 「南海トラフ地震に関連する情報(臨時)」発表時の判断主体

「南海トラフ地震に関連する情報(臨時)」が発表になった際の事業所の具体的な対応内容としては、情報の収集・伝達体制の確認・強化を行う可能性が高いとする事業 所が最も多く8割を超え、施設・設備の安全の確認・強化を行う可能性が高いとする 事業所が約7割に及ぶ。また、業務の中断をする可能性が高いとする事業所は約半数 に及ぶ(図3-5-④-9)。



図3-5-④-9 「南海トラフ地震に関連する情報(臨時)」発表時の判断主体

そうした事業所の対応を検討するうえで、重要となる状況としては、避難勧告等の

発令状況を挙げる事業所が最も多く8割におよぶ。また全般に、従業員の出社や生活 に関わる状況を挙げる事業所の方が、取引先の状況をあげる事業所よりもやや多い傾 向が見られた(図3-5-④-10)。



[■]大変重要 ■やや重要 ■重要ではない

図3-5-④-10 「南海トラフ地震に関連する情報(臨時)」発表時の対応の判断材料

調査対象企業における主要製品は、他社における中間財や生産設備等を取り扱う企業が多く、全体の6割を占める(図3-5-④-11)。



(その他の内容)		・産業廃棄物(がれき類)の中間処分、アスファルト合材の販売
・船舶の修理		・金型彫刻
・飼・肥料原料の混合		・配合飼料製造
	<u>w</u> 9 r	④ 11 母母人要の主亜制日

図 3-5-④-11 対象企業の主要製品

災害が発生した場合における主要製品に対する需要の変化では、約4割の製品に対して「高まる」と考えられており、2割強が「低くなる」と考えられている(図3-5-④-12)。



主要製品の在庫日数(複数ある場合は最も短い製品)は、半数が3日以下であった。 これは、従業員数が少ないほど短くなる傾向がある(図3-5-④-13)。



図3-5-④-13 主要製品(複数ある場合は最も短い製品)の在庫日数

製造が1週間程度行えなくなった場合の影響では、約6割の企業が取引先に多大な 影響が生じると思うと考えている。一方で、2割の企業は「わからない」と回答して おり、この傾向は従業員数が少ないほど見られる(図3-5-④-14)。



生産活動を縮小することになった場合行う可能性のある対応については、5割弱の 企業が「製造量を減らして」対応すると回答している。一方で、3割弱の企業は「わ からない」と回答している(図3-5-④-15)。



図3-5-④-15 生産活動を縮小することになった場合、行う可能性のある対応

自然災害が発生して地域に被害が生じた場合の事業所の操業の継続判断については、 約7割の企業が当該事業所で判断すると回答している(図3-5-④-16)。



図3-5-④-16 自然災害が発生して地域に被害が生じた際の事業所の操業の継続判断

「南海トラフ地震に関する情報(臨時)が発表になった場合」と「自然災害が発生して被害が生じた場合」において操業継続の判断を比較すると、「情報が発表になった場合」の方が事業所で判断する企業が多い傾向が見られた(図3-5-④-17)。



図 3 - 5 - ④ - 17 地域に被害が生じた場合と情報発表の場合の事業所の操業継続判断の 差

工場の中断・再開等を判断する際に大きく影響する要因は、「工場の設備やライフラ イン被害の影響」が最も大きくほぼ全ての企業がなんらかの影響があると回答してお り、9割の企業が大きく影響するとしている。

全ての項目について、多くの企業が何らかの影響があると回答している一方で、従 業員の家族に関わる状況については最も低い回答であった(表3-5-④-7、及び 図3-5-④-18)。

表3-5-④-7 自然災害が発生して地域に被害が生じた際、工場の中断・再開等を 判断する際に大きく影響する要因

	調 査 数	大 き く 影 響	少 し 影 響	影響 し ない	不明
A. 工場の設備やライフラインの被害の状況	76	70	5	-	1
	100.0	92.1	6.6	-	1.3
B. 原材料等の調達元(工場など)の状況	76	62	13		1
	100.0	81.6	17.1	-	1.3
C. 製品の納入先(工場、小売店など)の状況	76	41	33	1	1
	100.0	53.9	43.4	1.3	1.3
D. 調達や納品にかかわる物流の状況	76	56	17	2	1
	100.0	73.7	22.4	2.6	1.3
E. 従業員の出社にかかわる状況(地域の鉄道、バスなど)	76	52	21	2	1
	100.0	68.4	27.6	2.6	1.3
F. 従業員や家族の生活に関わる状況(学校や保育 園、介護施設など)	76	33	39	3	1
	100.0	43.4	51.3	3.9	1.3
G. その他	76	4	3	1	68
	100.0	5.3	3.9	1.3	89.5



A. 工場の設備やライフライン の被害の状況 F. 従業員や家族の生活に関わる状況 (学校や保育園、介護施設など)

図3-5-④-18 自然災害が発生して地域に被害が生じた際、工場の中断・再開等を判断する際に大きく影響する要因(抜粋)

災害発生後の重要業務などに関する計画の有無では、4割弱の企業が策定済みであ り、策定中・策定予定を含めると7割の企業で策定が期待される。一方で、策定する 予定もない企業が3割弱あり、特に従業員数の少ない企業で多い傾向がある(図3-5-④-19)。



図3-5-④-19 災害発生後の事業の再開や重要業務の継続などに関する計画の有無

具体的な事業継続対策で今後取組みたいことでは、取引先と連携した対策と回答した企業が最も多く約5割、ついでハード対策の強化・電源や燃料などの確保が4割弱、 緊急時生産を委託できる協力企業の確保が約3割であった(図3-5-④-20)。



図3-5-④-20 事業継続のため、今後に取り組みや強化したいと思われること

南海トラフ地震に関する情報(臨時)が発表された場合において期待される取り組 みについては、「法規制の緩和」以外の全ての項目を3割~4割の企業が該当すると回 答している。

具体的な内容では、代替生産や物流システムに関するもの、平時からの同業他社との連携、従業員や関係企業の安全確保などがあげられた。また、情報の伝達方法について検討を期待する意見も得られた(図3-5-④-21)。



図 3 - 5 - ④ - 21 「南海トラフ地震に関連する情報(臨時)」への対応などを考えるに あたり行われたら良い思うこと

(d) 結論ならびに今後の課題

避難行動意図モデルの詳細分析では、過年度とは異なる地域特性の地域を選定し調 査を行った結果でも、本調査で確立した避難意図構造の安定性を確認することができ た。そして、避難意図に対して効果のある因子としては、地域によらず共通性の高い主 観的規範やリスク認知などの因子と、地域によって異なる因子とが存在する可能性が 示唆された。

地域 BCP の分析に向けての予備的検討において、大手企業本社への事業継続に 関するヒアリング調査では、各社とも業務の優先順位を明示しており、人命保護を最優 先に置く企業が多かった。そして、事業所における事業中断の判断基準について計画策 定時や全社的観点から本社から示すこともあるが、基本的には事業所で判断する企業 が多かった。そのため「南海トラフ地震に関連する情報(臨時)」への対応としても、 各事業所においては立地市町村から避難勧告等の指示が発令された際には、事業は中 断されるとの考えであった。

静岡県における製造業への量的調査結果では、「南海トラフ地震に関連する情報(臨時)」について聞いたことがある事業所は9割に及んでおり、約6割の事業所が今後に

検討する意向であることを確認した。事業所の対応の判断は現地で行われ、判断材料と しては、避難勧告等の発令状況を挙げる事業所が最も多く、従業員の出社や生活に関わ る状況を挙げる事業所の方が、商取引先の状況をあげる事業所よりもやや多い傾向が 見られた。

(e) 引用文献

1) 宇田川真之, 三船恒裕, 定池祐季, 磯打千雅子, 黄欣悦, 田中淳, 平常時の避難行動意図 に関する汎用的な調査フレーム構築の試み, 災害情報学会 17-1, 2019

2) 昭和小学校区津波避難計画書, 2017

(3) 平成 31 年度業務計画案

巨大地震発生域調査観測研究、東日本大震災教訓活用研究、地震・津波被害予測研究、 およびそのほかハザード・リスク情報との成果運用に関する連携技術・手法と、DONET を 介したリアルタイムデータの伝送や地震計ネットワークの情報との連動に対応するため の機能を、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォーム」に実装する。

1-e で開発、整備してきたデータ、システム、及び教材と、リスクコミュニケーション (RC)・人材育成手法の調査結果を反映し、「南海トラフ広域地震災害情報プラットフォー ム」(Ver. 2)を一般公開する。

同時に、地域の防災計画で利用されるために、「南海トラフ広域地震災害情報プラット フォーム」(Ver.2)を利活用した社会実験を行政組織と協働で実施し、情報・コンテン ツの一気通貫利用を行い、システム活用の地域展開も実施する。

3.6 プレート・断層構造研究

- (1)業務の内容
 - (a) 業務題目 「プレート・断層構造研究」
 - (b) 担当者

所属機関	役職		氏名	
国立研究開発法人海洋研究開発機構	上席技術研究員	金田	義行	
地震津波海域観測研究開発センター	研究開発センター長	小平 秀一		
	グループリーダー	三浦	誠一	
	技術研究員	仲西	理子	
	研究員	山下	幹也	
	研究員	新井	隆太	
	グループリーダー	石原	靖	
	主任研究員	高橋	努	
	研究員	山本	揚二朗	
国立研究開発法人防災科学技術研究所	主任研究員	汐見	勝彦	
地震津波防災研究部門	主任研究員	上野	友岳	
	主任研究員	松澤	孝紀	
	主任研究員	浅野	陽一	
	主任研究員	木村	武志	
	主任研究員	木村	尚紀	
	主任研究員	田中	佐千子	
	主任研究員	松原	誠	

(c) 業務の目的

サブテーマ1の防災・減災対策の実効性を検証するためには、地震発生の連動の範囲や地 震や津波の時空間的な広がりを見積もる必要がある。このため、稠密な地下構造調査と稠密 地震観測により、大津波の発生要因となる南海トラフのトラフ軸付近の詳細プレート構造を 得るとともにすべり履歴の解明を図る。

南海トラフから、特に知見の不足する九州、南西諸島海溝までの地震発生全域における地 震発生帯及び海陸境界域深部構造のイメージングを行い、地震発生帯のプレート形状及び物 性の詳細、陸側プレートとの相対的な位置関係等を把握する。得られた成果は他の観測研究 成果との整合性を確認し、シミュレーション研究の項目に提供する。

(d) 7 か年の年次実施業務の要約

基本的に前半の4年を震源モデル構築の準備と予測計算のため、基礎データを取得する。 後半の4年は国レベル、地方行政レベルの現実的な防災・減災のための予測の再計算などに 資するため、不足しているデータを取得する。 平成 25 年度:

南海トラフ(高知沖)の前縁断層イメージと南西諸島海域南部(八重山付近)でのプレ ート構造イメージを得た。

平成 26 年度 :

南海トラフの前縁断層イメージと地震発生帯の浅部・深部のプレート構造イメージを得た。

平成 27 年度:

南海トラフの前縁断層構造イメージと地震発生帯の浅部・深部の構造イメージ、南西諸 島海域北部(奄美大島北方)のプレート構造イメージを得た。

平成 28 年度:

南海トラフ(日向灘)の前縁断層構造イメージ、南西諸島海域北部(奄美大島北方)の プレート構造イメージと四国西部の深部低周波微動発生域周辺の構造イメージを得た。ま た、四国東部の深部低周波地震発生状況を把握した。南西諸島北部(奄美大島北方)で自 然地震観測を実施し、手動検測による震源決定を進めた。

平成 29 年度:

南西諸島海域中部(奄美群島付近)で構造探査を実施し、プレート構造イメージを解明 するためのデータを取得した。南西諸島南部と北部の構造イメージを得た。南西諸島北部 の詳細な震源決定を進めた。

また、四国東部の深部低周波地震発生状況の詳細把握を継続するとともに、四国東部の プレート構造イメージを得るためのデータベース構築を行った。

平成 30 年度 :

南西諸島海域中部(奄美群島周辺)での地震活動の実態を把握するため、海底地 震計と臨時陸上観測点による観測を開始した。また、四国東部の深部低周波地震発生 状況の詳細把握を継続するとともに、平成29年度に構築したデータベースを強化し、四国 東部のプレート構造イメージ構築に着手した。

平成 31 年度:

南西諸島海域中部における地下構造および地震活動の把握のため、海底地震計および臨 時陸上観測点による地震観測を実施する。これら及びこれまでに取得した観測記録を用い、 プレート形状やその周辺の詳細な地下構造、自然地震・低周波地震の活動実態を把握する ための解析を行う。また近年取得した高精度な構造探査データを対象に、反射強度や面粗 さなどのプレート境界面の特性を抽出する。これらの成果及び他機関による南西諸島での 構造探査の成果などに基づき、南海トラフ~南西諸島までを滑らかにつなぐプレートモデ ルを構築し、プレート境界面の特性・プレート固着の不均質性を表す多様なスロー地震活 動・滑り欠損分布等の様々な空間情報をプレートモデル上へマッピングする。沖縄本島北 方での自然地震観測記録(平成 30 年度取得)を用いて地下構造イメージを得る。

(e) 平成 30 年度業務目的

南西諸島海域中部における地下構造および地震活動の把握のため、海底地震計および臨時陸上観測点による地震観測を実施し、その観測記録の解析を行う。これら

及びこれまでに取得した観測記録を用い、プレート形状やその周辺の詳細な地下構造、自然地震・低周波地震の活動実態を把握するための解析を進める。

四国東部で発生する深部低周波地震ならびに微小地震の震源決定精度向上や陸域 のフィリピン海プレート形状推定を目的として、四国東部を対象に平成27年度及 び29年度に設置した陸域稠密地震観測点群の運用を継続するとともに、観測空白 域に新たな観測点を追加する等の高度化を図る。これらの観測点及び周辺の基盤的 地震観測網等でこれまでに収録された観測記録を収集し、四国東部におけるフィリ ピン海プレート形状モデル構築に着手するとともに、深部低周波微動源の位置の高 精度推定を行う。

(2) 平成 30 年度の成果

①海域におけるプレート・断層構造調査

(a) 業務の要約

南西諸島におけるプレート・断層構造の解明に向け、南西諸島中部の奄美群島付近で 海底地震計と臨時陸上観測点による自然地震観測を開始した。また前年度までに取得 した自然地震観測データの解析を進め、種子島・トカラ列島付近において自然地震の詳 細な震源分布と三次元速度構造の推定を進めた。南海トラフおよび南西諸島における 既存の速度構造モデルや構造探査データを集約・統合し、南海トラフから南西諸島域ま での連続的なプレート形状モデルの構築を進めた。南海トラフで広角屈折法探査と反 射法探査がともに実施された構造探査測線では、フィリピン海プレート表面の面粗さ の評価を新たに実施し、各測線での形状の統計的な性質やその空間変化を調べた。また 南海トラフにおけるプレート境界物性の解明に向け、既存の反射法地震探査記録をデ ータベース化し、プレート境界付近の物性評価に有効と期待される物理量などの抽出 に向けた基盤整備を行った。本年度は2km間隔の稠密な探査測線が存在する熊野灘に 着目し、海底面・プレート境界面からの反射波走時を読み取り、反射振幅の抽出・マッ ピングを行った。

(b) 業務の成果

1) 奄美群島周辺における自然地震観測

南西諸島中部・奄美群島周辺における自然地震観測は、陸上の臨時地震観測点と海 底地震計による観測網を構築して 2018 年 9 月から 2019 年 2 月まで実施する計画であ った。しかし台風の影響により海底地震計の設置時期を変更せざるを得なくなり、2019 年 2 月から 9 月頃までの観測へと計画を変更した。

今年度の作業実績として、2018 年 9 月に徳之島と沖永良部島に陸上地震観測点を設置した。設置した地震計は固有周波数 2 Hz の短周期地震計((株)近計システム製、 KVS-300)で、併設したロガー((株)近計システム製、EDR-7700)によりオフラインで データを収録している。海域では、JAMSTECの研究船「よこすか」による YK18-13C 航 海(2019/9/29~10/11)で短周期海底地震計((株)東京測振製、TOBS-24N型)を 36 台 設置する予定であった。しかし台風 24 号・25 号の影響で長期間の避泊となり、機材 を設置することができなかった。それをうけて海底地震計 30 台を再整備し、2019 年 2月の JAMSTEC の研究船「かいれい」による KR19-02C 航海 (2019/2/1~2/12) で設置した。前年度から継続して設置している奄美大島の臨時地震観測点と合わせて、計 33 台の地震計による観測 (図 3 - 6 - ① - 1)を実施している。海底地震計は 2019 年 9 月に回収する計画である。



図3-6-①-1 奄美群島周辺に展開中の地震観測網。赤四角が海底地震計(2019年9月回収予定)、赤丸が臨時陸上観測点、白丸が防災科学技術研究所 F-net の観測点 を表す。

2) 種子島・トカラ列島周辺の震源分布と三次元速度構造

本プロジェクトによって得られた地震観測データと、気象庁一元化データおよび日 向灘における既存研究の一部(Yamamoto et al., 2013)を統合し、tomoFDD(Zhang and Thurber, 2006)を用いた震源分布と三次元地震波速度構造の同時推定を行った。これ らの結果を既存プレート形状モデル(Hayes et al., 2012 など)と比較すると、海溝 軸付近はスラブ内地震が多く、プレート境界周辺の地震活動は深さ 15~25 km に集中 し、種子島沖より南側で特に活発である様子が捉えられた。このことは、宮古・八重 山における本プロジェクトによる先行研究(Yamamoto et al., 2018)と同様に、短期 的スロースリップが卓越する場所(Nishimura, 2014)と、プレート境界上の通常の地 震の活動域が棲み分けていることを示唆する。また、沈み込む海洋性地殻/マントル に相当すると考えられる傾斜した低速度/高速度帯をプレート境界深度 40 km 程度までイメージングすることができた。



図 3 - 6 - ① - 2 再決定震源分布と P 波速度構造断面。断面図中の黒線は Slab1.0 モデルによるプレート形状 (Hayes et al., 2012)。

3) 南海トラフ~南西諸島プレート形状モデル

「東海・東南海・南海地震の連動性評価プロジェクト」の調査データに基づいて構築された南海トラフ域のプレート形状モデル(Nakanishi et al., 2018) 構築に使用したデータ、本プロジェクトで実施したこれまでの調査の成果(Arai et al., 2016, 2017; Yamamoto et al., 2018)、過去の構造調査から推定された速度構造モデルに基づくプレート形状(Iwasaki et al, 1990; Kodaira et al., 1996)とを用いて、南海トラフ域から南西諸島域までの連続なプレート形状モデルの構築を試みた(図3-6-①-3)。さらに、海上保安庁で実施している南西諸島域の調査の成果(Nishizawa et al., 2017)、震源分布に基づいて作成された世界中の沈み込み帯のプレート形状モデル Slab1.0(Hayes et al., 2012)や東京大学地震研究所から公開されている日本列島周辺域のプレート境界面分布(Iwasaki et al., 2015; Lindquist et al., 2004)のデータを収集した。



図3-6-①-3 現時点での南海トラフ域から南西諸島域までの連続なプレート形 状モデル

4) 南海トラフ・プレート境界物性

南海トラフでは海洋研究開発機構による反射法地震探査が多数の測線で行われてき た。沈み込むプレート境界の構造だけではなく、プレートの詳細な形状や境界面の物 性を調べることで、スロー地震の発生に関連した構造を知ることが期待できる。反射 法探査システムの段階的な改善により、近年では特に高精度な探査を稠密に実施して いるが、境界面物性に関する情報の中には異なる探査システム間の補正が困難なもの もある。そこで本年度は、活発なスロー地震活動が確認されている熊野灘において稠 密な高分解能反射法探査記録を用いたケーススタディを行い、プレート境界における 形状・物性のマッピングとスロー地震活動との対比を行った。用いた測線は北西南東 方向に13 測線、北東南西方向に17 測線、測線間隔は約2kmと既存測線の中では最も 稠密であり、高品質でプレート境界面の物性を評価することができる。すべての断面 から沈み込むプレート境界面の反射波を読み取り、境界面のマッピングおよび反射振 幅の抽出を行った。得られた結果とスロー地震活動をマッピングしたものを図3-6 -①-4に示す。スロー地震発生域ではプレート形状が周囲に比べて深くなっており、 反射波の振幅値も周囲に比べて高くなっていることが明らかになった。今後は既存デ ータのうち他の仕様に関しても物性値のマッピング適用可能か検討する。



図3-6-①-4 稠密二次元反射法地震探査データを用いた熊野灘の(a) プレート 境界面の往復走時および(b)反射振幅(無次元量)のマッピング結果とスロー地震分布 域の比較

5) 南海トラフ・プレート形状の面粗さ

南海トラフにおけるプレート境界物性の把握の一環として、プレート境界面のもつ 面粗さの評価を行った。解析に用いたデータは、広角屈折法探査と反射法探査がとも に実施された構造探査測線上で得られたプレート形状データ(Nakanishi et al., 2018)である。沈み込みに伴うプレートの屈曲をハイパスフィルターで除去した上で、 各測線の形状の短波長成分の統計的な性質やその空間変化を調べた。形状のパワース ペクトル密度は波数のべき乗に従い、露頭での断層面形状の研究例(例えば、Candela et al., 2011)と同様に自己アフィン性が全ての測線で見られた。波数毎の形状の空 間変化を調べた結果、四国沖ではトラフ軸付近で面粗さが小さく、陸側で面粗さが大 きくなる傾向が見られた。また日向灘や熊野灘はトラフ軸付近から陸側まで一様に面 粗さが大きいことが分かった。四国沖の面粗さの小さな領域付近では浅部超低周波地 震やスロースリップなどがほとんど観測されていないという特異性が見られる。面粗 さによって断層面上に局所的な応力集中が生じることも考えられることから、今後地 震活動などとの関連などを精査していく計画である。

(c) 結論ならびに今後の課題

奄美群島周辺で海底地震計と臨時陸上観測点による観測網を構築し、2019 年2月から地震観測を開始した。また種子島・トカラ列島周辺の地震波速度構造と地震活動の空間分布の特徴を明らかにした。今後は種子島・トカラ周辺のプレート形状モデルを構築し、この領域の地震活動の空間分布の要因の解明に取り組む。また2019年9月に奄美群島周辺の海底地震計を回収する計画であり、この観測データなどを用いて震源分布や地下構造の推定とそれに基づくプレート形状モデル構築を進める。

本プロジェクトで得られた南西諸島のプレート形状の成果や他プロジェクトによる 構造探査の成果、既存の南海トラフ域のプレート形状を用い、南海トラフ域から南西諸 島域までの連続なプレート形状モデルの構築を試みた。今後は、これまでに収集した他 機関の成果との整合性を考慮したモデルの高度化と更新を実施していく予定である。

プレート境界物性の把握に向け、プレート境界からの反射波振幅やプレート形状の 面粗さの解析を進めた。熊野灘では、周囲に比べて低くなっている場所および反射振幅 値が高い場所がスロー地震の発生域に対応していることを明らかにした。またプレー ト形状には自己アフィン性が見られ、四国沖の南海トラフ近傍で面粗さが小さくなる ことなどを明らかにした。今後は他測線での解析などを進め、プレート固着の不均質性 を表す多様なスロー地震活動・滑り欠損分布等の様々な空間情報とともにプレートモ デル上へマッピングする計画である。

(d) 引用文献

- Arai R., T. Takahashi, S. Kodaira, Y. Kaiho, A. Nakanishi, G. Fujie, Y. Nakamura, Y. Yamamoto, Y. Ishihara, S. Miura, and Y. Kaneda, Structure of the tsunamigenic plate boundary and low-frequency earthquakes in the southern Ryukyu Trench, Nat. Commun., 7:12255, doi:10.1038/ncomms12255, 2016.
- 2) Arai R., S. Kodaira, T. Yamada, T. Takahashi, S. Miura, Y. Kaneda, A. Nishizawa, and M. Oikawa, Subduction of thick oceanic plateau and high-angle normal-fault earthquakes intersecting the slab: Seamount and Normal-Fault Earthquakes, Geophys. Res. Lett., 44(12), doi:10.1002/2017GL073389, 2017.
- 3) Candela T., F. Renard, J. Schmittbuhl, M. Bouchon, E. E. Brodsky, Fault slip distribution and fault roughness, Geophys. J. Int., 187, 959-968, https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05189.x, 2011.
- 4) Hayes G. P., D. J. Wald, R. L. Johnson, Slab1.0: A three-dimensional model of global subduction zone geometries, J. Geophys. Res., 117, B01302, doi:10.1029/2011JB008524, 2012.
- 5) Iwasaki, T., N. Hirata, T. Kanazawa, J. Melles, K. Suyehiro, T. Urabe, L. Moller, J. Makris, and H. Shimamura, Crustal and upper mantle structure in the Ryukyu Island Arc deduced from deep seismic sounding, Geophys. J. Int., 102, 631-651, doi:10.1111/j.1365-246X.1990.tb04587.x, 1990.
- Iwasaki, T., H. Sato, M. Shinohara, T. Ishiyama and A. Hashima, Fundamental structure model of island arcs and subducted plates in and around Japan, 2015 Fall Meeting, American Geophysical Union, San Francisco, Dec. 14-18, T31B-2878, 2015.
- 7) Kodaira S., T. Iwasaki, T. Urabe, T. Kanazawa, F. Egloff, J. Makris, andH. Shimamura, Crustal structure across the middle Ryukyu trench obtained

from ocean bottom seismographic data, Tectonophys., 263, 39-60, doi:10.1016/S0040-1951(96)00025-X, 1996.

- 8) Lindquist, K. G., K. Engle, D. Stahlke, and E. Price, Global Topography and Bathymetry Grid Improves Research Efforts, Eos Trans. AGU, 85(19), 186. http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2004E0190003/abstract, 2004.
- 9) Nakanishi A., N. Takahashi, Y. Yamamoto, T. Takahashi, S. O. Citak, T. Nakamura, K. Obana, S. Kodaira, and Y. Kaneda, Three-dimensional plate geometry and P-wave velocity models of the subduction zone in SW Japan: Implication for seismogenesis, Geological Society of America Special Paper, 534, 1-18, doi:10.1130/2018.2534(04), 2018.
- 10) Nishimura T., Short-term slow slip events along the Ryukyu Trench, southwestern Japan, observed by continuous GNSS, Prog. Earth Planet Sci., 1:22, doi:10.1186/s40645-014-02205, 2014.
- 11) Nishizawa A., K. Kaneda, M. Oikawa, D. Horiuchi, Y. Fujioka, and C. Okada, Variations in seismic velocity distribution along the Ryukyu (Nansei-Shoto) Trench subduction zone at the northwestern end of the Philippine Sea plate, Earth, Planets and Space, 69:86, doi:10.1186/s40623-017-0674-7, 2017.
- 12) Yamamoto Y., K. Obana, T. Takahashi, A. Nakanishi, S. Kodaira, and Y. Kaneda, Imaging of the subducted Kyushu-Palau Ridge in the Hyuga-nada region, western Nankai Trough subduction zone, Tectonophys., 589, 90-102, doi:10.1016/j.tecto.2012.12.028, 2013.
- 13) Yamamoto, Y., T. Takahashi, Y. Ishihara, Y. Kaiho, R. Arai, K. Obana, A. Nakanishi, S. Miura, et al., Modeling the geometry of plate boundary and seismic structure in the southern Ryukyu Trench subduction zone, Japan, using amphibious seismic observations, J. Geophys. Res. Solid Earth, 123, doi:10.1002/2017JB015330, 2018.
- 14) Zhang, H., and C. Thurber, Development and applications of doubledifference seismic tomography, Pure Appl. Geophys., 163, 373-403, doi: /10.1007/s00024-005-0021-y, 2006.

②自然地震を用いた構造解析

(a) 業務の要約

深部低周波地震ならびに微小地震の震源決定精度を向上させること、陸域下におけ るフィリピン海プレート形状を推定することを目的として、四国東部地域に設置・運用 してきた陸域稠密地震観測点群の運用を継続するとともに、観測空白域等に新たな観 測点を追加することにより、観測の高度化を図った。これらの観測点及び周辺の基盤的 地震観測網等で収録された観測記録を用いて、深部低周波地震活動の詳細把握を行っ た。また、これらの観測点で得られた自然地震観測波形の解析に基づき、当該地域下の フィリピン海プレートモデルの構築に着手した。 (b) 業務の成果

1) 四国東部における稠密地震観測の実施

西南日本で発生する深部低周波地震(微動)の震源分布は、南海トラフ巨大地震の想 定震源断層域の深部境界を設定する根拠のひとつに挙げられている(内閣府, 2011)。 この下限の位置と四国東部地域における深部低周波微動の分布(防災科学技術研究所, 2018)を図3-6-②-1に重ねて示す。四国東部における深部低周波微動活動は四国 西部のように東西方向に空間的に連続しておらず、北西-南東方向に列をなすいくつ かの孤立的なクラスタからなっている。ほぼ定常的に活動が確認されているクラスタ もあるが、3か月弱に1回程度の頻度で活動域が移動しながら活発化する様子も確認 されている(例えば、Obara, 2010)。図3-6-②-1から、東経133.9度以西では想 定震源断層域の深部境界は深部低周波微動の北限と一致するように設定されている。 しかし、東経133.9度以東では微動活動は香川県中部と徳島県中部の活動に分散し、想 定震源断層モデルの深部境界は両活動の中央を通過している。

一方、南海トラフから沈み込むフィリピン海プレートの形状について、これまでに地 震活動やトモグラフィ解析、変換波解析などから様々なモデルが提案されているが、紀 伊半島西部から紀伊水道を経て四国東部に至る地域はモデル間の差異が大きい。特に、 Ide et al. (2010)は紀伊水道でプレートが断裂している可能性に言及しており、現在 も結論が出ていない。

四国東部におけるフィリピン海プレートの位置や形状及びそのプレート境界におけ る物性、巨大地震発生域と深部低周波地震(微動)活動との関連を調べるため、本研究 では、四国東部を中心とする計 25 カ所に臨時観測点を設置し、稠密な地震観測を実施 した。本研究で設置した臨時観測点の位置を、本研究で用いた定常観測点の位置とあわ せて図3-6-20-1に示す。いずれの臨時観測点においても、固有周期1秒の三成分 短周期地震計(0Y0 Geospace 社製 GS-1)を設置した。観測された波形データは現地に 設置したデータ収録装置でサンプリング周波数100 Hz で離散化したのち、装置内のコ ンパクトフラッシュ(CF)カードに蓄積した。2018年9月には、図3-6-20-1の 緑丸で示した3地点において観測を開始したほか、前年度より稼働中の18点中17点 について観測点のメンテナンス作業を実施し、データ回収及びバッテリー交換を行っ た。1観測点については、土砂崩落に伴う道路封鎖のため、9月のメンテナンスを断念 した。2019年2月には新設した3点を含む稼働中全21点を対象にデータ回収及びバッ テリー交換を行ったが、1観測点において、CFカード不具合により2018年9月から 2019年2月までの観測データを再生することが出来なかった。


図3-6-20-1 四国東部における深部低周波微動の空間分布。ハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) 及びクラスタ処理 (Obara et al., 2010) によって1時間毎に自動処理 された微動分布の重心位置を水色の点で、南海トラフ巨大地震の想定震源断層域の下限(内 閣府, 2011)を桃色の線で表す。本研究で設置した稠密地震観測点の位置を、その観測期 間に応じて赤丸、黒丸、橙丸、緑丸で示す。また、周辺に位置する定常地震観測施設のうち、レシーバ関数データベース構築対象とした観測点の位置をあわせて示す。

2) 四国東部における自然地震観測データの解析

a) 深部低周波地震の検出

四国東部で実施された臨時地震観測データを利用し、深部低周波地震(以下、低周波 地震)の高精度検出を実施した。検出手法としては、テンプレートイベントによる Matched Filter法(MF法、例えばShelly et al., 2007)を用いた。エンベロープ波 形を用いた従来の解析手法による震源位置は位相情報が欠落するため大きなばらつき を示すが、本手法は波形そのものの相関を利用するため、より高い時空間分解能をもつ ことが期待される。

以下で示す解析においては、四国東部における臨時地震観測による観測点のうち 2015年10月から同一地点に継続して設置されている11観測点(図3-6-20-1の 赤丸、図3-6-20-2の三角印)に加え、同領域周辺の防災科研Hi-net観測点16点 (図3-6-20-2の四角印)のデータを合わせて使用した。気象庁一元化震源カタロ グによる低周波地震の震央位置を緯度・経度ともに0.05度刻みのグリッドで分け、そ れぞれのグリッドで一つ、計57個のイベントを選び、MF法にて使用するテンプレート イベントとして用いた。震源位置の推定にあたって、S波速度は3.2km/sで一様と仮定 し、テンプレートイベントの震央位置を中心として緯度・経度ともに0.1度の範囲を探 索した。深さについては、テンプレートイベントの震源情報で固定した。相関を計算す るタイムウィンドウについては、S波到達予想時刻の2秒前から4秒後までの計6秒間 とした。上下動および水平動2成分、計3成分のデータを用い、すべての点についての 相関係数の平均値を計算して検出の指標とした。なお、地震波形データは2~6Hzの 帯域通過フィルタを適用し、毎秒20サンプルにデシメーションを行ったうえで解析に 用いた。

臨時稠密地震観測点について、本年度にデータを回収した期間のうち、四国東部で顕 著な深部低周波微動活動がみられた 2018 年 3 月 17 日から 25 日および 2018 年 10 月 10 日から 15 日までの期間について解析を行った結果を、図3-6-②-2および図3-6-②-3にそれぞれ示す。これらの図には、相関係数の Median Absolute Deviation (MAD)の 10 倍以上を検出基準とした場合の震源位置を示す。表示に際し、基準とする MAD は 2017 年 8 月 8 日 0 時台のデータを用いて計算した。2018 年 3 月 22 日以降、気 象庁は低周波地震の検出方法を気象庁独自の MF 法へと変更しているが、採用前(図3 -6-②-2中の3月 21 日まで)、採用後(図3-6-②-2中の3月 22 日以降およ び、図3-6-②-3)の結果ともに同様の場所に震央が決定されている。さらに、本 検出による検出数はそれぞれの日について少なくとも気象庁カタログの 1.8 倍以上で あり、本解析を実施することによって、より詳細な時空間分布を議論することが可能と なっている。

図3-6-②-4に2018年3月17日から25日の期間に決定された低周波地震の時 空間分布を示す。低周波地震の活動域は17日から20日頃にかけて東方向へ拡大した。 さらに20日頃からは東経133.8度よりも西側の領域(図3-6-②-4bの右の緑線 の範囲)において、半日周期の活発化が顕著となっている。この半日周期の活発化は、 地球潮汐による効果であると考えられる(Nakata et al., 2008; Ide, 2012)。この潮 汐応答性が顕著になるのは、活動が活発化するフロントが通過した後であることが報 告されており(Yabe et al. 2015)、過去の研究とも調和的である。さらに、これらの活 動の一部はフロントから逆方向に明瞭に伝播しており(例えば、図3-6-②-4bの 青矢印)、Rapid Tremor Reversal (RTR)と呼ばれる(Houston et al., 2010)。図3-6 -②-5は青矢印で示した RTR 期間中の一時間毎の低周波地震の震央位置を示す。本 研究における解析では、毎時7~29 個の低周波地震を検知しており、数時間のうちに 活動の中心が西に移動したことが分かる。

273



図3-6-②-2 2018年3月17日から25日における深部低周波地震の日別震央分布。 赤丸および青×印は、本解析および気象庁によって検出された深部低周波地震の1日毎の 震央分布をそれぞれ示す。三角印および四角印は、それぞれ解析に使用した臨時観測点お よび防災科研 Hi-net 観測点の位置を示す。1日毎の図の上には、本解析および気象庁によ る検出数を、N(MF)および N(JMA)としてそれぞれ示した。



図 3 - 6 - ② - 3 2018 年 10 月 10 日から 15 日における深部低周波地震の日別震央分布。 図の表記は、図 3 - 6 - ② - 2 に同じ。



図 3-6-2-4 本研究によって 2018 年 3 月 17 日から 25 日に検出された低周波地震の時空間変化。(a)緯度方向、(b)経度方向。緑線で示した範囲で半日周期の活発化が顕著であった。



図 3-6-2-5 図 3-6-2-4の青矢印で示した活動 (Rapid Tremor Reversal) に おける一時間毎の震央分布図。図の表記は図 3-6-2-2に同じ。

b)陸域フィリピン海プレート形状の再検討

紀伊水道から四国東部周辺下に沈み込むフィリピン海プレートの形状は現在でも多様なモデルが提案されており、統一的な結論は得られていない。図3-6-②-1で示した通り、四国東部においては、想定される南海トラフ巨大地震想定震源断層の深部限界と深部低周波微動活動の北限が一致しておらず、香川県中部と徳島県中部にある活動の中央を通過している。このような特徴も、四国東部下におけるプレート形状の複雑さに起因する可能性がある。

まず、四国東部下のフィリピン海プレートの概略形状を把握するため、防災科研 Hinet によって求まった発震機構解を精査した。あわせて、四国東部の防災科研 Hi-net 観測点をはじめとする定常的な地震観測点ならびに本研究で設置した稠密臨時地震観 測点で観測された近地地震の到着時刻の読み取りを実施し、地震波走時に基づく3次 元地震波速度構造の推定を進めるとともに、これらの観測網で得られた遠地地震記録 からレシーバ関数を合成し、観測点下の地震波速度不連続面の位置や特徴の推定を行 った。最終的には、これらの知見を統合することで、四国東部下のフィリピン海プレー ト形状モデル構築につなげる。

i)発震機構解の分布

四国東部の陸域下では、フィリピン海プレートと陸側プレートの境界部における地 震活動はほとんど観測されていないため、震源分布からフィリピン海プレート上面の 位置や形状を推定することはほぼ不可能である。一方、フィリピン海プレート内では多 数の地震が発生している。この地震は、大局的には東西方向の伸張場の影響を受けてい るものの、局所的にはプレート形状に対応した応力場の変化が見られることが知られ ている。

本節では、四国東部におけるフィリピン海プレートの概略形状を把握することを目 的として、紀伊水道から四国の範囲(北緯:32.5°~34.8°, 東経:132.0°~137.0°) の深さ約 30~50 km における T 軸の平均的な分布を調査した。気象庁一元化震源カタ ログでは、1997年10月から2019年2月末までに上記の条件に合致する発震機構解の 登録は 473 イベントのみであったので、ここでは、防災科研 Hi-net で求められた発震 機構解カタログを用いることとした。四国地方の防災科研 Hi-net 観測点の整備がほぼ 終了した 2003 年1月から 2019 年2月末までを対象期間とし、この期間に発生したマ グニチュード 2.0 以上の地震のうち、30 観測点以上で P 波の初動極性を検測し、P 軸 および T 軸の標準偏差が 10 度未満に求まった 1360 イベントを抽出した。これらのイ ベントの深さ別の T 軸の分布を図3-6-2-6の左列に示す。黒点は各地震の震央 位置を表す。このデータに対し、緯度・経度ともに 0.05 度のグリッド点を設定し、各 グリッド点から半径 10 km 以内の範囲に震源が位置する地震に対して T 軸方位をベク トル合成することで求めた T 軸の分布を図 3-6-2-6の右列に示す。この際、グリ ッドに属する地震数が3個に満たない場合は、結果を棄却した。表示する深さ範囲の中 心は5kmごととし、震源決定の深さ誤差を考慮して±3kmの幅を設定した。参考とし て、弘瀬・他(2007)によるフィリピン海プレート上面の等深度線を濃緑色の太線で、 Shiomi et al. (2008)によるフィリピン海プレート内海洋モホ面の等深度線を黄緑色 の太線で示す。なお、弘瀬・他(2007)は、10km 単位の等深度線が提供されているた め、深さ 32~38 km および 42~48 km では、該当する深さに最も近い 2本の等深度線 を示した。

各深さとも、個々の地震のT軸の分布はややばらつくものの、大局的には東西方向を 向いている。一方、深さ 32~38 km では、徳島県中部から紀伊水道において西北西-東 南東方向の伸張場が顕著であるのに対し、紀伊半島側では東北東-西南西方向の伸張 場に転じている。この特徴は、既に提案されているプレート形状と調和的である。紀伊 半島側においては、より深い領域においても東北東-西南西ないし北東-南西方向の 伸張場が目立つが、紀伊水道はほぼ東西方向に転じている。ただし、局所的に見ると、 図3-6-20-6に赤丸で示したように、徳島県中部の深さ 37~43 km は北西-南東 方向、徳島県東部の深さ 42~48 km は北東-南西方向の伸張場が見られており、徳島県 下において、プレート形状が短波長で変化していることを示唆している。



図 3-6-2-6 防災科研 Hi-net により求められた深さ別の T 軸分布。2003 年 1 月から 2019 年 2 月までに発生したマグニチュード 2.0 以上の地震のうち、安定して T 軸方位が求まったもののみを示す。左)得られた T 軸の分布。右) 0.05 度のグリッドに対し、半径 10 km 以内に位置する地震の平均的な T 軸方位分布。濃緑色および黄緑色の曲線は、それぞれフィリピン海プレート上面の等深度線(弘瀬・他, 2007)およびフィリピン海プレート内海洋モホ面の等深度線(Shiomi et al., 2008)を表す。

ii) 稠密地震観測に基づく地震波速度構造推定に向けたデータベース整備

レシーバ関数(次項参照)を活用し、四国東部地域下に存在するフィリピン海プレートに起因する速度不連続面形状を高精度で構築するためには、当該地域の詳細な地震波(P波及びS波)速度構造が必要となる。当該地域を対象とした地震波トモグラフィ解析に供することを目的として、本研究にて設置した稠密地震観測点ならびに周辺の定常観測点における近地地震波のP波及びS波到着時刻に関するデータベース(検測値データベース)の構築を進めた。昨年度までに観測開始から2017年7月までの処理を実施済みである。今年度は、2018年2月および9月に回収したデータに含まれる2017年8月から2018年8月までをデータベース構築対象期間とした。検測対象は、本研究で設置した臨時稠密観測点および震央距離150 km程度以内に存在する防災科研Hi-net観測点とし、防災科研Hi-net震源カタログにおいて、震央位置が北緯33.3度から34.8度、東経133.0度から134.9度の範囲に含まれるマグニチュード1.7以上の地震によ

る波形記録の検測を行った。検測作業の過程において、No13 観測点の 0-C 値が、P 波、 S 波ともに 2018 年 3 月頃より有意に変化し始め、2018 年 8 月には 1 秒を超過するよう になった。2018 年 9 月メンテナンス時に当該観測点の特段の異常は報告されていない が、時刻校正に失敗したものと考えられるため、2018 年 3 月から 8 月までの期間、No13 観測点のデータを今後の地震波走時解析の対象から除外することとした。

No13 観測点を除外することによって求めた震源の分布を図3-6-②-7に示す。 これらの結果を前年度までのデータベースと統合した。今後、本データを地震波速度構 造解析に資する予定である。



図3-6-②-7 今年度の検測値データベース構築に用いた震源の分布。シンボルの大きさは地震のマグニチュード、色は震源の深さを表す。地図内の矩形は検測対象領域を表す。

iii)レシーバ関数に基づく地震波速度境界面の抽出

本研究で用いるレシーバ関数構築の対象とした観測点の配置を図3-6-2-1お よび図3-6-2-8に示す。これらの対象点において2017年12月から2018年12月 までに観測されたマグニチュード5.8以上、震央距離30°~90°の遠地地震の観測波 形記録を切り出し、新たにレシーバ関数を求めた。震源情報は、米国地質調査所(USGS) による暫定震源カタログ(PDE; ftp://hazards.cr.usgs.gov/NEICPDE)を用いた。前年 度の解析において、長周期成分においてのみ感度低下が見られるものの、目視では波形 の正常・異常を判断し難い事例があることが分かっている(汐見,2018)。本年度のデ ータベース構築においても、これまで同様、直達P波到達前の雑微動の成分間のスペク トル比、ならびに直達 P 波の粒子軌跡を確認し、地震計に不具合が疑われるデータがある場合については、明らかに不具合が解消されたと確認できるまでの期間のデータを データベースから除外した。

このようにして得られたレシーバ関数データベースに対し、Harmonic Decomposition 解析(例えば、Bianchi et al., 2010)を適用し、顕著な変換波の特徴を調査した。一 般に、速度不連続面が傾斜している場合、面が深くなる方向から地震波が到来した場合 の方が、面が浅くなる方向から到来した場合よりも変換波の振幅が大きくなる(Shiomi and Park, 2008)。Harmonic Decomposition 解析は、このような変換波振幅の到来方向 依存性に基づいて速度不連続面の傾斜方向等を推定する解析方法である。したがって、 本解析の適用には様々な方位から地震波が多数到来していることが理想である。図3 - 6-②-8に観測点ごとのレシーバ関数の数を示す。この図に丸印で示した定常観 測点では1000以上のレシーバ関数が蓄積出来た一方で、菱形で示した臨時稠密観測点 では100前後の観測点が多く、安定した構造推定に向けた課題である。一方、データベ ース構築に用いた地震の震央分布を図3-6-2-9に示す。観測点から見て南東方 向から西南西方向に多数の地震活動が見られるが、東方や北北西方向にほとんど地震 活動は見られない。フィリピン海プレートは、大局的には南東方向に傾斜していると考 えると、活発な地震活動は傾斜するプレートが浅くなる方向に位置するため、プレート に起因する速度不連続面からの変換波の振幅が相対的に小さくなる可能性がある。用 いるレシーバ関数が少ない観測点では、得られた結果の安定性についての評価に留意 が必要となる。



図 3 - 6 - ② - 8 データベースに蓄積された レシーバ関数の数。丸印は定常観測点、菱形は 本研究で設置した臨時稠密観測点を表す。



図 3 - 6 - ② - 9 解析に用いた遠地 地震の震源分布

今年度は、最も顕著な地震波速度不連続面のひとつを形成しているモホ面を対象と した予備的な解析を実施した。レシーバ関数の深度変換には、Matsubara and Obara (2011)による3次元地震波速度構造を用いた。

まず、過去の解析事例から、解析対象とした四国東部地域における海洋モホ面は概ね 30~50 km 程度の深さに位置すると考える。この深さで励起した Ps 変換波は、直達 P 波からおよそ 3.5~6.0 秒後に到着する。各観測点におけるレシーバ関数から当該時間 ウィンドウでもっとも顕著と思われる Ps 変換波を選択するとともに、様々な深さを想 定した common conversion depth (CCD) スタックを行うことにより、もっとも Ps 変換 波が強調される変換面の深さを求めるとともに、面の傾斜方向を推定した。解析には、 コーナー周波数が 1.0 Hz となる低域通過フィルタを適用して求めたレシーバ関数を用 いた。

一例として、防災科研 Hi-net の N. TOKH(徳島) 観測点において得られたレシーバ関 数と Harmonic Decomposition 解析の結果を図 3-6-2-10 に示す。N. TOKH 観測点 の位置は、図3-6-2-1に示す。図3-6-2-10 aの radial 成分を見ると、東 南東(120度)から北北西(330度)の範囲において、直達 P 波(0秒)から約4秒後 に正の顕著な振幅(赤)が到着している。レシーバ関数の radial 成分における正の振 幅は、深部が浅部より高速度な速度不連続面で変換した波の到来を意味するので、CCD スタックによりこの変換波を最も説明しうる深さを求め、図3-6-2-10bを得た。 この際の速度不連続面の深さは 34 km である。図 3 - 6 -②-10 b の右列(Unmodeled) は、スタックが不適切であったり、複雑な不均質構造が観測点下に存在したりする場合 に有意な信号が記録されるが、このケースでは十分小さい。Harmonic Decomposition 解 析によって得られる1次項(k=1)は、レシーバ関数振幅の到来方向依存性における 360°周期の特徴を表す成分であり、この粒子軌跡から、検出された速度不連続面の傾 斜方向を推定することが出来る。2次項(k=2)は180°周期の特徴を表す成分であり、 不連続面付近に存在する異方性媒質に起因する項である。速度不連続面の位置に相当 するゼロ秒付近を見ると、1次項の振幅が2次項よりも有意に大きい。このことは、 N. TOKH 観測点下には、傾斜する顕著な速度不連続面が存在していることが分かる。

対象とした全観測点に同様の解析を適用した。予備的な解析結果を図3-6-2-11 に示す。一部、レシーバ関数の数や分布が十分ではない等の理由で安定した結果が 得られなかった観測点については、結果を示していない。各観測点における速度不連続 面の深さは室戸岬で最も浅く約25 kmであった。不連続面の深さは、北に向かうにつれ 深くなり、瀬戸内海で37 km程度となった。しかし、その等深度線は、南海トラフのト ラフ軸とは平行ではなく、播磨灘周辺で局所的に深くなった。一方、各観測点下の速度 不連続面の傾斜方向は、ややばらつきが見えるものの、大局的には、高知県中部から東 部で北北西-南南東方向、徳島県南部で北東-南西方向、徳島県中部で北北東-南南西 方向、香川県ならびに対岸の岡山県南部で東西方向にまとまる傾向が見える。傾斜方向 については、香川県域、すなわち主な深部低周波微動活動域よりも北側で顕著に傾向が 変わっている。プレートの傾斜方向が急変するとは考え難いので、この地域では顕著な 地震波速度不連続面として陸側のモホ面を解析対象とした可能性がある。今後は、各観 測点で得られたレシーバ関数を精査し、解析結果の安定性を向上させていく必要があ る。



図 3 - 6 - ② - 10 防災科研 Hi-net の N. TOKH 観測点におけるレシーバ関数 (a) と Harmonic Decomposition 解析の結果 (b)。



図3-6-②-11 暫定的な Harmonic Decomposition 解析の結果。(a) 各観測点で検出し た主な地震波速度不連続面の深さ。定常点を丸印で、本研究で設置した臨時稠密観測点を 菱形で示す。黒点は精度良く深さを推定出来なかった観測点の位置を表す。(b) 地震波速 度不連続面の傾斜方向。黒点は、(a)で表示されているものの傾斜方向が精度良く推定出来 なかった観測点の位置を表す。

(c) 結論ならびに今後の課題

昨年度までに四国東部地域を対象に設置した稠密地震観測点 22 点のうち、平成 28 年 度末に撤収した4点を除く 18 点の運用を継続するとともに、対象地域内の空白域を解 消すべく香川県内に1点、対象地域を東に拡大すべく徳島県および兵庫県(淡路島)に それぞれ1点、計3点の臨時地震観測点を設置した。四国東部で発生する深部低周波地 震活動に対し、本研究で設置した稠密地震観測点ならびに周辺定常観測点で得られた 観測波形データに Matched Filter 法による解析を実施した結果、とりわけ 2018 年 3 月の活動において、明瞭な微動活動の移動ならびに地球潮汐に対応する顕著な半日周 期の活発化を確認した。今後は、臨時観測により低周波地震活動が捉えられた他の期間 のイベントの解析を行い、クラスタごとの特性の違いやそのばらつきについて議論す ることにより、この領域におけるスロー地震発生領域の特性と空間分布についての議 論を深める必要がある。

四国東部下に存在するフィリピン海プレート形状を推定するためのデータとして、 フィリピン海プレート内で発生した地震の発震機構解の分布を調べたところ、徳島県 下で局所的な伸張場の変化を見せることを確認した。レシーバ関数を用いた地震波速 度不連続面の深さならびに傾斜方向について予備的な解析を行った結果、レシーバ関 数で検出された顕著な速度不連続面は大局的には南から北に向かってゆるやかに深く なる傾向にある。ただし、播磨灘周辺で急激に深くなること、検出された不連続面の傾 斜方向が徳島県域では北北東-南南西方向を向くのに対し、香川県域では東西を向い ていることから、香川県域ではフィリピン海プレート内の海洋モホ面ではない別の速 度不連続面、例えば陸側のモホ面を検出している可能性がある。今後は、さらなるレシ ーバ関数データベースの拡充を行うとともに、各観測点で得られたレシーバ関数の精 査を行い、より詳細な地震波速度不連続面の深さおよび傾斜方向を推定するとともに、 四国東部下のフィリピン海プレート形状モデルを構築する。

(d) 引用文献

- Bianchi, I., J. Park, N. Piana Agostinetti, and V. Levin, Mapping seismic anisotropy using harmonic decomposition of receiver functions: An application to Northern Apennines, Italy, J. Geophys. Res., 115, B12317, doi:10.1029/2009JB007061, 2010.
- 防災科学技術研究所,西南日本における深部低周波微動活動(2017年5月~2017年10月),地震予知連絡会会報,99,332-337,2018.
- 弘瀬冬樹・中島淳一・長谷川昭, Double-Difference Tomography 法による西南日本の 3次元地震波速度構造およびフィリピン海プレートの形状の推定, 地震2, 60, 1-20, doi:10.4294/zisin.60.1, 2007.
- Houston, H. B. G. Delbridge, A. G. Wech, and K. C. Creager, Rapid tremor reversals in Cascadia generated by a weakened plate interface, Nat. Geosci., 4, 404-409, doi: 10.1038/ngeo1157, 2011.
- Ide, S., Variety and spatial heterogeneity of tectonic tremor worldwide, J. Geophys. Res., 117, B03302, doi:10.1029/2011JB008840, 2012.
- Ide, S., K. Shiomi, K. Mochizuki, T. Tonegawa, and G. Kimura, Split Philippine Sea plate beneath Japan, Geophys. Res. Lett., 37, L21304, doi:10.1029/2010GL044585, 2010.
- Maeda, T. and K. Obara, Spatio-temporal distribution of seismic energy radiation from low-frequency tremor in western Shikoku, Japan, J. Geophys. Res., 114, B00A09, doi:10.1029/2008JB006043, 2009.
- Matsubara M. and K. Obara, The 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake related to a strong velocity gradient with the Pacific plate, Earth Planets Space, 63, 663-667, doi:10.5047/eps.2011.05.018, 2011.
- 内閣府, 南海トラフの巨大地震モデル検討会 中間とりまとめ 平成 23 年 12 月 27 日, < http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/chukan_matome.pdf >, (参照 2019-03-29), 2011.
- Nakata, R., N. Suda, and H. Tsuruoka, Non-volcanic tremor resulting from the combined effect of Earth tides and slow slip events, Nat. Geosci., 1, 676-678, doi:10.1038/ngeo288, 2008.
- Obara, K., Phenomenology of deep slow earthquake family in southwest Japan:

Spatiotemporal characteristics and segmentation, J. Geophys. Res., 115, B00A25, doi:10.1029/2008JB006048, 2010.

- Obara, K., S. Tanaka, T. Maeda, and T. Matsuzawa, Depth-dependent activity of non-volcanic tremor in southwest Japan, Geophys. Res. Lett., 37, L13306, doi:10.1029/2010GL043679, 2010.
- Shelly, D. R., G. C. Beroza, and S. Ide, Non-volcanic tremor and low-frequency earthquake swarms, Nature, 446, 305-307, doi:10.1038/nature05666, 2007.
- 汐見勝彦,水平動地震計特性の違いが地下構造推定に与える影響,地震2,71,121-130,doi: 10.4294/zisin.2018-1,2018.
- Shiomi, K. and J. Park, Structural features of the subducting slab beneath the Kii Peninsula, central Japan: Seismic evidence of slab segmentation, dehydration, and anisotropy, J. Geophys. Res., 113, B10318, doi:10.1029/2007JB005535, 2008.
- Shiomi, K., M. Matsubara, Y. Ito, and K. Obara, Simple relationship between seismic activity along Philippine Sea slab and geometry of oceanic Moho beneath southwest Japan, Geophys. J. Int., 173, 1018-1029, doi: 10.1111/j.1365-246X.2008.03786.x, 2008.
- Yabe, S., Y. Tanaka, H. Houston, and S. Ide, Tidal sensitivity of tectonic tremor in Nankai and Cascadia subduction zones, J. Geophys. Res., 120, 7587-7605, doi:10.1002/2015JB012250, 2015.

(3) 平成 31 年度業務計画案

平成31年度は奄美群島周辺の海底地震計を9月頃に回収し、そのデータを用いて奄美 群島周辺の地震活動や地震波速度構造の推定を進める。奄美群島を横切る測線で平成29 年度に実施した構造探査記録の解析を進め、同測線におけるプレート形状を推定する。種 子島・トカラ周辺で平成28年度に実施した自然地震観測による震源決定・地下構造推定 の結果を取りまとめ、他の構造探査記録なども考慮してプレート形状モデルを構築する。 また近年取得した高精度な構造探査データを対象に、反射強度や面粗さなどのプレート 境界面の特性を抽出する。

これらの成果及び他機関による南西諸島での構造探査の成果などに基づいて南海トラ フ~南西諸島までのプレートモデルを構築し、またプレート境界面の特性・プレート固着 の不均質性を表す多様なスロー地震活動・滑り欠損分布等の様々な空間情報をプレート モデル上へマッピングし公表する。本プロジェクトで調査を実施予定だった南西諸島の 沖縄本島~宮古島付近では、本プロジェクト開始後に海上保安庁などによる構造探査な どが実施され成果が公開されている。それらの成果をプレートモデル構築に取り入れて 活用することにより、当初計画通りの南西諸島全域を滑らかにつなぐプレート形状モデ ルを構築し成果として取りまとめる。

四国東部で発生する深部低周波微動源ならびに微小地震震源の高精度決定や陸域のプ

レート形状推定を目的として、四国東部を対象に設置した陸域稠密地震観測点群の運用 を継続する。これらの観測点及び周辺の基盤的地震観測網等でこれまでに収録された観 測記録を収集・整理し、四国東部におけるフィリピン海プレート形状モデルを構築すると ともに、深部低周波地震との空間的な位置関係に関する調査のとりまとめを行う。本事業 で設置した陸域稠密地震観測点を撤収し、原状回復を行う。

3.7 海陸津波履歴研究

(1)業務の内容

(a) 業務題目 「海陸津波履歴研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人産業技術	首席研究員	池原研
総合研究所 地質情報研究	主任研究員	板木拓也
部門	研究員	杉崎彩子
	特別研究員	味岡 拓
	客員研究員	宇佐見和子
国立研究開発法人産業技術	研究グループ長	宍倉正展
総合研究所 活断層・火山研	上級主任研究員	澤井祐紀
究部門	主任研究員	行谷佑一
	研究員	松本 弾
	研究員	谷川晃一朗
	研究員	伊尾木圭衣
	研究部門付	藤原治
国立研究開発法人海洋研究	グループリーダー	金松敏也
開発機構 地震津波海域観		
測研究開発センター		
国立大学法人高知大学 教	教授	岩井雅夫
育研究部		
法政大学 文学部	教授	前杢英明
国立大学法人東京大学大学	准教授	安藤亮輔
院理学系研究科		
一般財団法人地域地盤環境	主任研究員	越後智雄
研究所		
国立大学法人筑波大学 生	准教授	藤野滋弘
命環境系		

(c) 業務の目的

海域及び陸域の地層の中から過去の地震・津波の痕跡を検出する。陸域では掘削調査 などから津波浸水や地殻変動の履歴を、海域では海底調査から地震・津波の発生履歴を 解明し、その年代や拡がりから南海トラフ沿いにおける津波の履歴を解明する。判明し た津波履歴は適宜、シミュレーション研究(2-2-d、2-2-e)の項目に提供する。また、防 災分野における地域との連携の中で、津波履歴に関する資料があれば提供を受ける。 (d) 7 か年の年次実施業務の要約

平成 25 年度:

陸域では四国沿岸において津波浸水や地殻変動の履歴について調査を行った。海域 では四国沖海域での調査航海を実施し、地震・津波履歴の調査を行った。 平成 26 年度:

陸域では平成 25 年度に得られた試料の分析と四国~九州沿岸での掘削調査等から 津波浸水や地殻変動の履歴を得た。海域では平成 25 年度に得られた試料や既存試料 の分析と九州~琉球沖の海底調査から地震・津波の発生履歴を得た。

平成 27 年度:

陸域では前年度までの四国沿岸における掘削調査試料および紀伊半島沿岸と駿河 湾奥における既存の掘削試料の解析、さらに駿河湾奥での歴史記録調査と地中レーダ 一探査から津波浸水や地殻変動の履歴を、海域では九州~琉球沖の海底調査から地 震・津波の発生履歴を得た。

平成 28 年度:

陸域では駿河湾奥での歴史記録調査とボーリング掘削調査から地殻変動の履歴を 得た。また九州沿岸で予備調査を実施した。海域では琉球沖の海底調査から地震・津 波の発生履歴を得た。また、日本海溝域で比較研究を実施した。

平成 29 年度:

陸域では九州沿岸や南西諸島での掘削調査等の実施と、東海から四国にかけて得ら れた試料の分析から津波浸水や地殻変動の履歴、海域では琉球沖の海底調査から地 震・津波の発生履歴を得た。

平成 30 年度:

陸域では四国沿岸や南西諸島での掘削調査等の実施と、東海から四国にかけての補 完調査およびこれまで得られた試料の分析から津波浸水や地殻変動の履歴、海域では 日向灘の海底調査から地震・津波の発生履歴を得た。

平成 31 年度:

陸域では九州沿岸や南西諸島での掘削調査等の実施と、東海から四国にかけて得ら れた試料の分析から津波浸水や地殻変動の履歴、海域では日向灘~南九州沖の海底調 査から地震・津波の発生履歴を得る。

(e) 平成 30 年度業務目的

陸域では喜界島など南西諸島北部での生物遺骸を用いた隆起痕跡の調査を行う。 また紀伊半島、四国沿岸で津波堆積物や隆起痕跡の補完調査を行うとともに、本事 業で平成29年度までに得られた地層サンプルについて、年代測定や微化石分析など を進め、南海トラフ西部から琉球海溝北部の地震・津波履歴情報を収集する。駿河湾 沿岸地域についてもこれまでに得られた試料の分析を進めるとともに、隆起痕跡に 関する補完調査を行い、2-2 シミュレーション分野と連携して南海トラフ東端の破 壊挙動の解明を目指す。

海域では、日向灘海域の調査航海を行って海底堆積物コアを採取する。また、本

事業による平成26~29年度の調査航海で採取されたコア試料について分析を進め、 琉球海溝南部域の地震・津波発生履歴を復元する。東海~四国沖の既存コアについて 平成29年度に引き続き検索を行い、地震・津波発生履歴研究に使用できそうなコア の抽出と分析を進める。さらに、南海トラフや日本海溝域の堆積物記録との比較研究 を実施する。これらから、堆積構造解析により地震・津波により形成された堆積層を 識別し、その時空間分布を解明することを目標とする。海域の調査と採取試料の解析 は、2-1-aとの密接な連携のもとに共同して実施する。

(2) 平成 30 年度の成果

海域での津波履歴調査

(a) 業務の要約

南海トラフ西縁で発生する地震・津波に伴って形成されるイベント堆積物を海底堆 積物中から認定し、その堆積間隔から過去の地震発生履歴を推定するために海洋研究開 発機構の調査船「かいれい」による KR18-12C 航海で日向灘海域において海底堆積物の 採取と解析を行った。調査では、海底地形調査並びに表層地層探査から堆積速度が速く、 連続して堆積物が堆積していそうな場所を選定し、海底堆積物の採取を行った。その結 果、この海域においてもタービダイトの挟在が確認されたが、多くの場所では堆積速度 が遅い上、堆積物コアの下部に厚い火山灰質の堆積物が存在し、地震・津波履歴の解析 には向かないコアであった。一方、日向灘前弧斜面の小海盆から採取されたいくつかの コアには多数のタービダイトが挟在し、年代測定や挟在する火山灰層の年代から700~ 1000 年程度のタービダイトの挟在頻度を得た。

(b) 業務の実施方法

南海トラフ西縁における地震・津波イベント堆積物の認定とこれに基づく過去の地 言・津波発生履歴の解明のため、これまで履歴情報に乏しい日向灘海域を対象として海 洋研究開発機構の調査船「かいれい」の KR18-12C 航海を実施し、海底地形、表層地層 構造探査とピストンコアの採取を行った。調査航海では、既存の海底地形、表層地層探 査記録、海底堆積物コアなどの情報を参考に調査地点を絞り込んで海底地形調査と表層 地層探査を実施し、堆積物がより連続的に堆積していると予想される場所からピストン コア (PC)の採取を行った。ピストンコアの採取にあたっては、グラビティコアラーを パイロットコアラーとして使用し、ピストンコアでは欠如や乱れが生じる場合がある最 表層の堆積物をパイロットコア(PL)として採取した。1回の採泥作業におけるピスト ンコアとパイロットコアの番号は同じである。採取された堆積物コアは、船上で半割さ れ、コア表面の写真撮影、肉眼観察・記載と各種分析用試料の分取を行った。分取され た試料について、火山灰分析、堆積物中のバルク有機物を用いた放射性炭素年代測定を 実施した。また、もっとも堆積速度が速いと船上で予想されたコア(PC05)について地 震・津波イベント堆積物の迅速な認定方法確立のため、幅 2 cm あるいは 2.3cm の L 字 型アングルを二つ組み合わせて角柱状に採取した LL チャンネル試料を用いて蛍光エッ クス線コアロガーによる化学分析を実施した。また、タービダイトを用いた地震・津波

履歴の解明手法の高度化を目指して、日向灘と堆積学的な設定が異なる日本海溝並びに その陸側斜面において採取されたコア試料の堆積構造やタービダイトの堆積間隔、堆積 過程の比較検討を実施した。

(c) 業務の成果

海溝型地震の震源の多くは海底下にある。このため、もっとも大きな地震動とそれに 伴う変動は海底で起こると考えられる。海底での大きな震動は海底堆積物粒子の再配列 を引き起こし、粒子間の間隙を埋める水(間隙水)の圧力を上昇させ、粒子を間隙水中 に浮かすことで堆積物を不安定にし、海底地すべりを発生しやすくする。また、浅海に 侵入した津波は海底の傾斜変換点でエネルギーを集中させ、海底表層堆積物を巻き上げ る可能性がある(Arai et al.、2013;Ikehara et al.、2014)。さらに震源近傍の海底 では震動によって表層堆積物をまき上げたり (Sakaguchi et al.、2011;Moernaut et al.、2017)、変形させたり(Ikehara et al.、2014)するプロセスの存在も示されてい る。このような地震や津波に伴う海底での土砂の輸送/再配置は、海底地すべりや堆積 物の巻き上げ起源の堆積物粒子を含んだ周囲の海水よりも密度の大きい水塊として、重 力の効果により海底斜面を流れ下る密度流である混濁流によると考えられる。 混濁流か らの粒子の堆積は平常時に堆積する泥と異なる粒度組成や堆積構造をもつことが知ら れている (Bouma、1962; Stow and Shanmugam、1980 など) ので、海底堆積物中から混 濁流起源の堆積層であるタービダイトを認定し、その堆積年代を決めることで過去の地 震の発生時期を特定できる可能性がある(Adams、1990;池原、2001;Goldfinger et al.、 2003 など)。本課題では、これまで地震・津波履歴情報に乏しい南海トラフ西縁部の日 向灘海域を対象に、海底堆積物中の地震・津波起源のタービダイトからこの海域におけ る地震・津波の発生間隔の解明を目的とする。

「かいれい」KR18-12C 航海では、これまでの日向灘周辺の調査航海の結果を踏まえ て、三つの調査海域にまず絞り込んだ。1)足摺岬南方沖斜面域の小海盆、2)大淀海 盆、3)前弧斜面基底部の小海盆と前弧海盆の日向海盆。このうちで、複数のタービダ イトを挟在するコアが採取されている大淀海盆を第一候補、前弧斜面基部の小海盆を第 二候補、足摺岬南方の小海盆を第三候補とした。調査では、海底地形調査と表層地層探 査から堆積物が連続的に堆積していそうで、海盆の平坦面が海底堆積物コア採取に十分 な広さを持つと判断される場所を選んで堆積物コア採取を行う方針で進めた。結果とし て、大淀海盆から4本、前弧斜面基部の複数の海盆から5本の海底堆積物コアを採取し た(図3-7-①-1及び表3-7-①-1)。採取されたピストンコアとパイロット コアの柱状図はそれぞれ図3-7-①-2と図3-7-①-3にまとめられる。海況の 都合で、最初に海底地形調査と表層地層探査を行った足摺岬南方沖では、表層地層探査 記録から連続した堆積物の分布が限られていると判断し、コア採取を断念した。

291



表3-7-①-1 「かいれい」KR18-12C 航海での堆積物試料採取地点の位置と水深

Core	Latitude	Longitude	Water Depth (m)	Location
KR18-12C PC01	31-40.1078 N	132-27.3951 E	2449	Oyodo Basin
KR18-12C PC02	31-48.2212 N	132-33.4195 E	2425	Oyodo Basin
KR18-12C PC03	31-42.6024 N	132-28.9377 E	2457	Oyodo Basin
KR18-12C PC04	31-38.5079 N	132-24.4124 E	2451	Oyodo Basin
KR18-12C PC05	31-43.6985 N	132-15.2708 E	2014	A small basin at foot of forearc slope
KR18-12C PC06	31-53.2951 N	132-14.0010 E	1943	A small basin at foot of forearc slope
KR18-12C PC07	31-47.8784 N	132-15.1536 E	2012	A small basin at foot of forearc slope
KR18-12C PC08	32-09.0025 N	132-18.9986 E	1905	Hyuga Basin
KR18-12C PC09	31-53.3109 N	132-14.0081 E	1944	A small basin at foot of forearc slope



図3-7-①-2 「かいれい」KR18-12C 航海で日向灘海域から採取されたピストンコ ア試料の岩相。赤色は火山灰層あるいは火山灰質堆積物を、灰色はタービダイト層、白 色は半遠洋性泥を示す。K-Ah:鬼界-アカホヤテフラ、IK:池田湖テフラ、Sz-3:桜島 文明テフラ。K-Ahの後ろのrは再堆積物であることを示す。



図3-7-①-3 「かいれい」KR18-12C 航海で日向灘海域から採取されたパイロット コア試料の岩相。赤色は火山灰層を、灰色はタービダイト層、白色は半遠洋性泥を示す。 Sz-3 は桜島文明テフラ。

第一候補の大淀海盆では海盆中心部に比較的厚い堆積層が確認され、既存コアの採 取地点よりも堆積速度も速いことが想定された。このため、最表層の堆積層が厚い地点 を選んで4地点で海底堆積物コアの採取を行った。結果として、ピストンコア下部はい ずれも火山灰質の堆積層からなり、その上位の生物擾乱を持つ通常時に堆積した泥(半 遠洋性泥)層には数枚のタービダイトが挟在することが明らかとなった(図3-7-①-- 2)。コア下部の火山灰質層も堆積構造から初生の降下火山灰ではなく、重力流によ り二次的に移動して堆積したものと推定される。大淀海盆の表層地層探査記録には数枚 の厚い音響的透明層が確認されるが、少なくともこの一部はこのような火山灰質の二次 堆積物により構成されている可能性が高い。この二次堆積物を構成する火山ガラスは約 7300 年前に南九州鬼界カルデラから噴出したアカホヤテフラ(K-Ah:町田・新井、2003: 表7-3-①-2) であるので、二次堆積物の堆積年代は 7300 年前以降であると考え られる。この二次堆積物は多数の単層の積み重なりから構成され、間に生物擾乱を持つ 通常時の堆積物が挟在する場合もあるので、複数回のイベントにより形成されたものと 考えられるが、その形成原因や地震・津波との関係は不明である。大淀海盆のコアでは、 この火山灰の二次堆積層はコア深度 1.5~3m 程度より下位に認められる。この二次堆 積物の上面の年代は不明だが、後述するように前弧斜面基底の海盆ではその上位に、約 6400 年前に鹿児島県薩摩半島南端の池田カルデラから噴出した池田湖テフラ (IK:町 田・新井、2003) が認められるコアがあるので、上面の年代を 6000~7000 年前と仮定 するとそれより上位の堆積速度は20~50cm/千年と計算される。この値は日本周辺海域 の堆積速度として小さい値ではないが、南海トラフ沿いの巨大地震の発生間隔である 100~200 年程度(Ando、1975)の間に2~10cm しか半遠洋性泥が堆積しない計算とな る。生物擾乱などによる堆積物の擾乱を考慮すると、数百年間隔のイベントの保存には 好ましい環境とは言えない。また、火山灰の二次堆積物の上位には数枚のタービダイト が挟在しているものの、上記の二次堆積物上面の年代を仮定するとその堆積間隔は数千 年のオーダーとなり、南海トラフ沿いの巨大地震の発生間隔とは大きく異なる。挟在す るタービダイトの堆積年代を今後特定する必要があるが、現時点では、地震・津波履歴 の解読には大淀海盆からのコアは使えない可能性が高いと判断される。

表3-7-①-2 「かいれい」KR18-12C 航海で日向灘海域から採取された海底堆積物 中に挟在する火山灰分析結果

Core	Analyzed horizon (cm)	Glass type	Refractive index of glass shards	Correlation	Core	Analyzed horizon (cm)	Glass type	Refractive index of glass shards	Correlation
KR18-12C PC01	339.9-341.9			K-Ah rework	KR18-12C PC05	470.3-470.8			IK + K-Ah
	378.9-380.9			K-Ah rework	KR18-12C PL05	96.8-97.0			Sz-3
KR18-12C PC02	186.1-188.1			K-Ah rework	KR18-12C PC06	250.2-252.2			K-Ah rework
	222.5-224.5			K-Ah rework		274.2-276.2			K-Ah rework
	247.0-249.0			K-Ah rework	KR18-12C PL06	16.2-16.7			Sz-3
KR18-12C PC03				K-Ah rework	KR18-12C PC07	210.8-211.4			IK + K-Ah
				K-Ah rework		293.6-295.6			K-Ah rework
	296.4-298.4			K-Ah rework		325.5-327.5			K-Ah primary?
	336.4-338.4			K-Ah rework	KR18-12C PC08	27.5-28.2			Sz-3
	369.9-371.9			K-Ah rework		417.8-419.8			K-Ah rework
KR18-12C PC04	239.4-241.4			K-Ah rework	KR18-12C PC09	246.0-248.0			K-Ah rework
	283.1-285.1			K-Ah rework		347.6-349.6			K-Ah rework
	305.1-307.8			K-Ah rework					

Correlation: K-Ah=Kikai-Akahoya tephra, IK=Ikeda-ko tephra, Sz-3=Sakurajima Bunmei tephra

当初の第二候補である日向灘前弧斜面基部の小海盆は表層地層探査記録で表層下に 厚い音響的透明層を挟むことで、大淀海盆と似た層相を示した。一方、採取された堆積 物コアはやや堆積速度が遅いと推定された KR18-12C PC06, PC07, PC09の3本のコア (PC06 と PC09 はほぼ同じ位置)ではコア下部に厚いアカホヤテフラの再堆積層が見ら れ、大淀海盆と似た層序を示すが、他の2本のコアではこの厚いアカホヤテフラの再堆 積層には到達しておらず、他の海盆よりも堆積速度が速いことを示唆している。さらに、 全てのコアにおいて、アカホヤテフラの再堆積層より上位の半遠洋性泥の部分で大淀海 盆よりも多数のタービダイトを挟在している(図3-7-①-2)。また、同じ海盆の 中心部と北端部からそれぞれ採取された PC05 と PC07 コアでは、鹿児島県の池田カルデ ラから噴出した池田湖テフラ(IK:約 6400 年前)が共にアカホヤテフラとの混在とし て認められるが、その深度は海盆中心部の PC05 コアでは約 4.7m であるのに対して、海 盆の北端に近い PC07 コアでは約 2.1m に位置し、堆積速度が海盆中心部でより速いこ と、肉眼で挟在が確認されるタービダイトの頻度も海盆中心部で大きいことがわかる。 以上のことから、タービダイトを発生させるイベントの頻度は沖合の大淀海盆よりも、 前弧斜面下部の方が大きいこと、海盆中心部の堆積速度の速い場の方がイベント層(タ ービダイト)をよりよく保存していることを示している。このことは今後のタービダイ トを用いた地震・津波履歴解読のためのコア採取位置の選定の大きな基準となる。

以上の結果から、KR18-12C 航海で調査した範囲においては、前弧斜面下部の海盆の 堆積中心に近い場所から採取されたコアが地震・津波履歴の解読に好ましいと選定され た。これに基づいて、タービダイトの堆積間隔と堆積年代を知るのが次の課題となる。 海底堆積物の堆積年代決定においては、通常時の堆積物中に含まれる浮遊性有孔虫の遺 骸による放射性炭素年代測定が使われるのが普通である。しかし、その試料準備には時 間を要するため、今年度は挟在する火山灰の分析と堆積物中のバルク有機物を用いた放 射性炭素年代測定を行った。バルク有機物を用いた年代値は古い陸源有機物の混入など のため、一般に真の年代よりも古く出ることが知られている(池原、2000)。なお今回 は、もっとも頻繁にタービダイトを挟在する KR18-12C PC05 コアに集中して分析を行っ た。PC05 コアの柱状図に得られた年代値を入れたものが図 3 – 7 – ① – 4 である。 生物 擾乱を持つ通常時に堆積した半遠洋性泥から得られた値(図3-7-①-4の黒字の値) を見ると、コア最上部(深度約 20cm)の年代値が約 2800 年前であるので、真の年代よ りもおおよそ 2000~2500 年程度古い年代が出ていると考えられる。PC05 のコア最下部 には上述のように約 6400 年前の池田湖テフラが認められ、最下部の半遠洋性泥のバル ク有機物の年代値 (8140 年前) とその上位の年代並びに二つの年代測定層準間の半遠洋 性泥の厚さと最下部の年代測定層準から池田湖テフラまでの半遠洋性泥の厚さから見 積もられる池田テフラ層準のバルク有機物年代値には約 2000 年の差があると計算でき るので、年代のオフセットはコアを通じてほぼ同じであると推定される。この仮定の下、 タービダイトの堆積間隔は 200-300~700 年、長いところで 1000 年程度と見積もられ る。なお、T4(肉眼で識別されたタービダイトに上からつけた番号)、T5、T6のタービ ダイト泥直上の半遠洋性泥の年代値は下位のタービダイト泥のそれよりも古い。この原 因は不明であるが、日本海溝底のコアでは一枚のタービダイト泥中の有機物の年代が上 方に系統的に古くなるものもある(Bao et al.、2018)ので、タービダイト泥の堆積過 程の中でより古い有機物が上方に濃集し、堆積後の生物擾乱による粒子の混合により古 い有機物が半遠洋性泥側に付加された可能性もある。さらに、コア中部の深度約2m(T3 ~T4の層準)でやや大きな年代の逆転が生じているが、その原因は不明である。今後、

浮遊性有孔虫を用いた年代測定を実施し、より確からしい堆積年代とタービダイトの堆 積間隔を求める必要がある。



図3-7-①-4 「かいれい」KR18-12C 航海で日向灘前弧斜面基部の小海盆から得ら れた KR18-12C PC05 コアの柱状図、バルク有機物を用いた放射性炭素年代測定結果と PC05 コア及び PL05 コアのコア写真。柱状図の右に黒字で示した年代値は半遠洋性泥に 対する年代値、赤字で示した年代値はタービダイト泥に対する年代値。T1~T12 は肉眼 で識別されるタービダイトの番号。コア写真の黄色の三角はタービダイト、オレンジの 三角はテフラの挟在層準。IK は池田湖テフラ、Sz-3 は桜島文明テフラ。



図 3 - 7 - ① - 5 KR18-12C PC05 コアの蛍光エックス線コアスキャナーによる Fe 及 び Br の分析結果

一方で、PC05 コアのパイロットコアである PL05 コアの深度約 97cm には鹿児島県の 桜島の文明の歴史噴火(1471年)のテフラ(桜島文明テフラ;Sz-3;町田・新井、2003) の挟在が確認されている(図3-7-①-3及び表3-7-①-2)。同じテフラは PC06 コアのパイロットコアである PL06 コアと PC08 コアからも確認されている (図 3 - 7 -①-2及び-3及び表3-7-①-2)。この3本のコアにおいて、桜島文明テフラの 上位に肉眼で識別可能なタービダイトは確認できない(図3-7-①-2及び図3-7 -①-3)。もしタービダイトがないのであるとすれば、1471年以降の南海トラフ沿い の地震では日向灘海域ではタービダイトを形成するほどの海底での大きな土砂輸送が なかった可能性を示唆する。これを確認するためには、肉眼では捉えられない微小な堆 積構造や化学組成の変化の有無を調べることが有効である。このため、PC05 コアの化学 組成を蛍光エックス線コアロガーにより1mm間隔で分析した。分析結果(図3-7-① -5)は肉眼で識別されるタービダイトの層準で Fe が高く、Br が低くなる傾向が確認 された。同様な変化は、深度 40cm 付近にも見られるが肉眼ではタービダイトは認定さ れていない。この層準については今後堆積構造の詳細な観察を行なって、タービダイト の有無を確認する必要がある。また、桜島文明テフラを挟在する3本のコアについては 今回は化学分析を行うことができなかった。今後これらのコアの分析を行い、分析結果 のより詳細な解析を行うとともに、堆積構造の詳細な観察も含めて 1471 年以降のター ビダイトの有無を確認する必要がある。

PC05 コアのバルク有機物の年代測定結果からはタービダイトの堆積機構に関する情

報も得ることができた。タービダイト泥はすでに海底に堆積した堆積物が再移動・再堆 積したものであるので一般に真の堆積年代よりも古い粒子を含んでおり、そこから得ら れる年代値は上下の半遠洋性泥よりも古くなる(例えば、Ikehara et al.、2016)。今 回得られたタービダイト泥(図3-7-①-4の赤字の値)とその直下の半遠洋性泥(同 じく黒字の値)のバルク有機物の年代にはタービダイト泥の方が 100(T9)~500 年(T3) 程度古い値を示すものもあるが、上下の半遠洋性泥の年代と整合的な年代を示すもの (T5、T6、T8)もある。また、タービダイト泥の方が古い年代を示す T3、T4、T9 におい てもその年代差は、500、200、100 年程度と日本海溝底の 2000 年程度と比べても小さ い。このことは、より最近に堆積した堆積物が再移動・再堆積して PC05 コアのタービ ダイトを形成したことを示唆する。これは従来受け入れられてきた地震による海底地す べり・斜面崩壊起源でタービダイトが形成される、というモデルが、PC05 コアのタービ ダイトに関しては必ずしも必要ないことを示している。なぜなら、海底地すべり・斜面 崩壊では海底下数十 cm~数 m あるいはそれ以上の堆積物が崩壊して再移動・再堆積す るので、より古い粒子が再堆積堆積物の中に混入すると考えられるからである。最近、 地震性タービダイトの形成プロセスとして表層堆積物の再懸濁の考えが提出され、チリ の湖や日本海溝、南海トラフ沿いでその証拠が提出されてきている(Ashi et al.、2014; Ikehara et al.、2016; McHugh et al.、2016; Moernaut et al.、2017 など)。今回、 PC05 コアについて得られた結果も表層堆積物の再移動・再堆積を示唆しており、同様な 現象が日向灘においてもタービダイトを形成した可能性が高い。

このような表層堆積物の再懸濁起源のタービダイトの特徴を確認するため、このプロセスにより地震性タービダイトの形成が報告されている日本海溝沿いで同様なバルク有機物の年代測定を比較研究として実施した。小さな海盆の連なる日本海溝底と下部斜面の平坦面 (mid-slope terrace)上では細粒タービダイトの累重が確認されており、細粒の深海底タービダイトを用いた地震発生履歴の研究が進められている(例えば、Ikehara et al.、2016; Usami et al.、2018)。今回、日本海溝底のコアから得られたタービダイト泥と半遠洋性泥の年代差は、日本海溝底で500~2500年であり、先行研究の結果とほぼ同様に大きな年代差はなく、表層堆積物の再懸濁がタービダイト形成に重要な役割を果たしていることを示唆している。

(d) 結論ならびに今後の課題

以上のように、これまで地震・津波履歴情報に乏しかった日向灘海域において、「かいれい」KR18-12C 航海で海底地形調査と表層地層探査記録に基づき海底堆積物の採取を行った。その結果、日向灘前弧斜面の基部の小海盆のコアから、200-300~1000 年程度のタービダイトの堆積間隔を得た。これは南海トラフ沿いの巨大地震の発生間隔と言われる100~200 年よりも長い。また、桜島の文明の噴火(1471 年)のテフラ(Sz-3)以降には肉眼で識別可能なタービダイトの挟在はなかった。このような間隔の違いや最近のイベントの欠如については堆積物コアの堆積構造や化学組成のより詳しい分析から今後検討されねばならない。一方で、今回の採泥結果はタービダイトを用いた地震・津波履歴の検討により良いコアの採取地点として、堆積速度の速い堆積盆の堆積中心が

あげられることが明らかとなった。海底堆積物コア採取の事前の海底地形調査と表層地 層探査記録から場所を絞り込んでコア採取を行うことで、より効率的な履歴解読のため の調査が可能になると考えられる。逆に言えば、良い海底地形図と表層の堆積状況の把 握がなければ、採取されたコアから得られた結果の解釈も困難になる場合があることを 示している。また、日向灘においてタービダイトを頻繁に挟在するコアでは、タービダ イトが表層の未固結堆積物の再移動・再堆積起源であることが示された。同様なタービ ダイトの堆積プロセスは、やはり細粒タービダイトが頻繁に挟在する日本海溝沿いでも 報告されている(Ikehara et al.、2016; McHugh et al.、2016)。熊野沖南海トラフ海 溝陸側斜面や前縁隆起帯における海底地形調査や反射法地震探査で検出できる規模の 海底地すべりの発生頻度は南海トラフで発生する巨大地震の発生間隔に比べて有意に 長いことが知られている(Moore et al.、2015; Kremer et al.、2017)。地震性タービ ダイトによる履歴の検討においては、海底地形で検出可能な規模の海底地すべりが発生 する場よりも、巨大地震の度に表層堆積物が再移動・再堆積してタービダイトを形成す る場の方が好ましいと考えられる。このような場を選定するための一つの条件が今回の 調査から得られたと考えられる。

日向灘コアの蛍光エックス線コアスキャナーの分析は、高知大学海洋コア総合研究 センターの全国共同利用の課題(18A041/18B038)によって行われた。

(e) 引用文献

- Adams, J., Paleoseismicity of the Cascade subduction zone: evidence from turbidites off the Oregon-Washington margin, Tectonics, 9, 569-583, 1990.
- Ando, M., Source mechanisms and tectonic significance of historical earthquakes along the Nankai trough, Japan, Tectonopysics, 27, 119-140, 1975.
- Arai, K., H. Naruse, R. Miura, K. Kawamura, R. Hino, Y. Ito, D. Inazu, M. Yokokawa, N. Izumi, M. Murayama and T. Kasaya, Tsunami-generated turbidity current of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Geology, 41, 1195-1198, 2013.
- Ashi, J., R. Sawada, A. Omura and K. Ikehara, Accumulation of an earthquakeinduced extremely turbid layer in a terminal basin of the Nankai accretional prism. Earth Planets Space, 66, 1-9, 2014.
- Bao, R., M. Strasser, A.P. McNichol, N. Haghipour, C. McIntyre, G. Wefer and T.I. Eglinton, Tectonically-triggered sediment and carbon export to the Hadal zone, Nature Comm., 9, 121, 2018.
- Bouma, A.H., Sedimentology of some flysch deposits, Elsevier, Amsterdam, 168p, 1962.
- Goldfinger, C., C.H. Nelson, J.E. Johnson and the Shipboard Scientific Party, Holocene earthquake records from the Cascadia subduction zone and northern San Andreas Fault based on precise dating of offshore turbidites, Annual Rev. Earth Planet. Sci., 555-577, 2003.
- 池原 研,海底堆積物中の浮遊性有孔虫と有機炭素を用いた放射性炭素年代値の比較,

地調月報, 51, 299-307, 2000.

- 池原 研, 深海底タービダイトを用いた南海トラフ東部における地震発生間隔の推定, 地学雑, 110, 471-478, 2001.
- Ikehara, K., T. Irino, K. Usami, R. Jenkins, A. Omura and J. Ashi, Possible submarine tsunami deposits on the outer shelf of Sendai Bay, Japan resulting from the 2011 earthquake and tsunami off the Pacific coast of Tohoku, Marine Geol., 358, 120-127, 2014.
- Ikehara, K., T. Kanamatsu, Y. Nagahashi, M. Strasser, F. Hiske, K. Usami, T. Irino and G. Wefer, Documenting large earthquakes similar to the 2011 Tohoku-oki earthquake from sediments deposited in the Japan Trench over the past 1500 years, Earth Planet. Sci. Lett., 445, 48-56, 2016.
- Kremer, K., M.O. Usman, Y. Satoguchi, Y. Nagahashi, S. Vadakkepuliyambatta, G. Panieri and M. Strasser, Possible climate preconditioning on submarine landslides along a convergent margin, Nankai Trough (NE Pacific), Prog. Earth Planet. Sci., 4, 20, 2017.
- 町田 洋・新井房夫,新編 火山灰アトラス,東大出版, 336p., 2003.
- McHugh, C.M., T. Kanamatsu, L. Seeber, R. Bopp, M.-H. Cormier and K. Usami, Remobilization of surficial slope sediment triggered by the A.D. 2011 Mw9 Tohoku-Oki earthquake and tsunami along the Japan Trench, Geology, 44, 391-394, 2016.
- Moernaut, J., M. Van Deale, M. Strasser, M.A. Clare, K. Heirman, M. Viel, J. Cardenas, R. Kilian, B. Ladron de Guevara, M. Pino, R. Urrutia and M. De Batist, Lacustrine turbidites produced by surficial slope sediment remobilization: A mechanism for continuous and senstive turbidite paleoseismic records, Mar. Geol., 384, 159-176, 2017.
- Moore, G., B.B. Boston, M. Strasser, M.B. Underwood and R.A. Ratliff, Evolution of tectono-sedimentary systems in the Kumano Basin, Nankai Trough forearc, Mar. Petrol. Geol., 67, 604-616, 2015.
- Sakaguchi, A., G. Kimura, M. Strasser, E.J. Screaton, D. Curewitz and M. Murayama, Episodic seafloor mud brecciation due to great subduction zone earthquakes, Geology, 39, 919-922, 2011.
- Stow, D.A.V. and G. Shanmugam, Sequence of structures in fine-grained turbidites: Comparison of recent deep-sea and ancient flysch sediments, Sed. Geol., 25, 23-42, 1980.
- Usami, K., K. Ikehara, T. Kanamatsu and C.M. McHugh, Supercycle in great earthquake recurrence along the Japan Trench over the last 4000 years, Geosci. Lett., 5, 11, 2018.

②陸域での津波履歴調査実施とサンプルデータ解析(南西諸島)

(a) 業務の要約

南西諸島北部奄美群島の喜界島において、地震履歴の解明と長期的な地殻変動を評価 するため、平成29年度に引き続き、現成および離水サンゴ・マイクロアトールの調査 を実施した。本年度は島の北部、東部の2地点でそれぞれ現成マイクロアトールの測量、 北部で離水マイクロアトールの断面試料の採取と分析をそれぞれ行い、本地域のマイク ロアトールの水平方向の成長速度を見積もった上で過去600年程度の相対的海面変化 を復元した。

(b) 業務の実施方法

南海トラフの南西延長にあたる琉球海溝沿いは、島嶼地域であるため、陸域で津波堆 積物調査に適した場所は少ない。一方、喜界島は間欠的な地震性隆起によって形成され たと考えられる完新世海岸段丘が発達しており、古くから地震履歴に関する研究が行わ れてきた(中田ほか、1978 など)。しかし完新世海岸段丘の成因について、地震性の隆 起よりむしろ定常的な隆起が主な要因とするシミュレーション結果もある(Shikakura, 2014)。そこで亜熱帯~熱帯地域において過去の地殻変動の復元に有効なサンゴ・マイ クロアトールを用いて、喜界島の長期的な地殻変動と地震履歴の解明を試みた。サンゴ・ マイクロアトールは、ハマサンゴ属がつくる円筒形状のサンゴ群体で、その頂面が低潮 位を示す。毎年成長して径を拡大していくが、その過程において海面の変動に敏感に反 応してレベルを変化させるため、年単位の地殻変動を復元することができる(Meltzner and Woodroffe, 2015)。

今年度は、昨年度発見した喜界島北部小野津地区および東部嘉鈍地区の現成および離 水サンゴ・マイクロアトールについて、トータルステーションによる断面測量を行った (図3-7-②-1)。また離水サンゴ・マイクロアトールについては断面のブロック 試料を採取し、CT スキャンによる画像を取得した。CT スキャン画像からサンゴの年縞 を読み取り、水平方向の成長速度を見積もった上で、断面試料のない現成マイクロアト ールについて、直径からおおよその成長年数を推定した。



図3-7-②-1 喜界島の位置と調査地点の位置。Google Earth 使用。

(c) 業務の成果

喜界島北部の小野津地区で発見した離水マイクロアトールについて、電動ノコギリを 用いて中心部から縁辺部まで、幅5~6 cm、深さ10 cm 程度で約270 cm に渡ってブロ ック状にサンプルを採取した(図3-7-2)。サンプルはCT スキャン画像を取得 し(図3-7-2-3)、水平方向への成長が明確な260 cm の範囲で年編を計数したと ころ、237年分が確認できた。すなわち平均約1.1 cm ずつ成長していることがわかる。 ¹⁴C年代は中心付近でAD1305-1425、縁辺部付近でAD1489-1650であり、年編と調和的で ある。

次に北部の小野津地区と東部の嘉鈍地区でそれぞれ現成サンゴ・マイクロアトールに ついてトータルステーションによる断面測量と VRS-RTK を用いた GNSS 測量を実施した。 その結果、北部の現成マイクロアトールはいずれも頂面の高度が-1.01~-1.07 m (TP) でほぼフラットであり、最大のものは半径が 78.8 cm であった。離水マイクロアトール から算出した成長速度からみて、過去約 72 年間はほぼ海面は安定していたと言える。 東部で確認した現成マイクロアトールのうち最大のものは半径 145.6 cm で、高度は-1.06 m (TP) ~-1.20 m (TP) の間で若干の凹凸もあり、外縁部がやや盛り上がってい る。これについても過去約 132 年間、海面はほぼ安定していたが、10 cm 程度以内の若 干の変動があった可能性も示している (図 3 - 7 - ② - 4)。



図3-7-22-2離水サンゴ・マイクロアトールのブロックサンプル採取の様子



図3-7-2-3 採取されたブロックサンプルの CT スキャンの様子



図3-7-2-4 喜界島東部嘉鈍地区における現成マイクロアトールの断面測量結果

(d) 結論ならびに今後の課題

喜界島北部に分布する離水マイクロアトールについて断面方向にブロックサンプル を取得し、CT スキャン画像を取得して解析した結果、水平方向に成長速度が 1.1 cm/年 であることが明らかになった。次に喜界島北部と東部の現成マイクロアトールについて 断面測量を行った結果、その形状と大きさから、北部では少なくとも過去 72 年間、東 部では少なくとも過去 132 年間、相対的海面はほぼ安定していることを示す。ここでユ ースタティックな海面変動を僅少と仮定すれば、GNSS 等で示される定常的な隆起は、長 期的には累積しておらず、ほぼ安定していると考えられる。

今のところ現成マイクロアトールについては表面の形状と成長速度から海面変動を 推定しているが、可能であれば離水マイクロアトールと同様に断面のブロックサンプル の採取と CT スキャンの画像取得し、具体的な相対的海面変化の履歴を復元する必要が ある。今後は、現成マイクロアトールのブロックサンプル採取を実施することと、離水 マイクロアトールについては、より精度の良い年代測定による長期間の変動の復元が求 められる。

(e) 引用文献

- Meltzner A. J. and Woodroffe C. D., Coral microatolls, (Shennan, I., Long A. J., & Horton B. P., Ed.), Handbook of Sea - Level Research, 125-145, 2015.
- 2) 中田高,高橋達郎,木庭元晴,琉球列島の完新世離水サンゴ礁地形と海水準変動, 地理学評論,51-2,87-108,1978.
- Shikakura, Y., Marine terraces caused by fast steady uplift and small coseismic uplift and the time-predictable model: Case of Kikai Island, Ryukyu Islands, Japan, Earth and Planetary Science Letters, 404, 232–237, 2014.

③陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析(高知県須崎市・土佐清水市)

(a) 業務の要約

高知県須崎市および土佐清水市では、過去に発生した巨大津波による浸水の履歴を 明らかにするため、柱状堆積物試料の掘削を行った。須崎市では、湖沼を埋め立てて畑 地とした場所で掘削し、砂礫質のイベント堆積物を見つけることができた。土佐清水市 では、砂丘の背面に分布する湿地で掘削調査を行い、少なくとも1層のイベント堆積物 を発見した。放射性炭素年代測定の結果から、このイベント堆積物は15世紀頃に堆積 したことが明らかになった。

(b) 業務の実施方法

高知県須崎市では、明治時代の迅速地図で湖沼の一部として描かれ、現在は埋め立て られて水田や空き地となっている場所で機械式ボーリングを行って連続柱状堆積物試 料を採取した。採取した試料は、肉眼に加えて医療用 CT スキャナーを用いて詳細な観 察を行った(図3-7-③-1)。

高知県土佐清水市では、ロシアンサンプラーおよびハンディジオスライサーを用い て、深さ1m程度の連続柱状堆積物試料を採取した(図3-7-③-2)。採取した試 料は、肉眼に加えて医療用CTスキャナーを用いて詳細な観察を行った。観察後、堆積 物試料を1cm毎に分割した後に篩で洗浄し、大型植物化石を拾い出して放射性炭素年 代測定用の試料とした。



図 3 - 7 - ③ - 1 2017 年度に掘削調査を行った場所(高知県須崎市。国土地理院発行 1:25000 地形図「須崎」を使用)。



図 3 - 7 - ③ - 2 2017 年度に掘削調査を行った場所(高知県土佐清水市。国土地理院発行 1:25000 地形図「土佐清水」を使用)。

(c) 業務の成果

高知県須崎市では、機械式ボーリングを2地点で行い(図3-7-③-1)、それぞれ深さ21m、27mまで掘削することができた(図3-7-③-3)。堆積物の肉眼観察とCT 画像観察を行った結果は以下の通りである。

[地点 SK2018-01]

深さ 0.00 m~3.00 mまでは盛り土で構成される。深さ 3.00 m~4.00 mは主にシル ト~砂質シルトからなるが、深さ 3.38 m~3.58 mにはイベント層と考えられる細粒砂 が認められる。深さ 4.00 m~5.00 m は貝殻片が混じる砂質シルト層が見られ、深さ 5.00 m~6.00 mは貝殻片の混じる粗粒砂と細粒砂の互層となる。深さ 6.00 m~9.00 m は、基質で支持されていない礫質層が観察される。この礫層は、深さ 9.00 m~12.10 m になると貝殻片が散在するシルト~砂質シルト層に急激に変化する。深さ 12.10 m~ 12.44 mは再び貝殻片を含む礫層になるが、深さ 12.44 m~13.22 m では礫質混じりの 砂質シルト~細粒砂層へと変化する.深さ 13.22 m~14.00 mは礫層が見られ、この礫 層は上では砂質シルトによって支持されるが、下位に向かって礫支持となる。深さ 14.00 m~15.00 mは有機質シルトとなるが、徐々に基盤岩からの流れ込みと考えられ る腐り礫状の砂岩が見られるようになる。深さ 15.00 m~19.23 mは、礫混じりの砂質 層~礫層が分布する。深さ 19.23 m~21.00 mには、基盤岩である砂岩の風化部が認め られる。

[地点 SK2018-02]

深さ 0.00 m~2.70 m までは盛り土で構成される。深さ 2.70 m~6.40 m は主にシル

ト~砂質シルトからなるが、深さ 3.30 m~3.64 m、深さ 3.75 m~3.78 m、深さ 3.90 m ~4.03 m、深さ 4.18 m~4.20 m、深さ 4.51 m~4.53 m、深さ 4.86 m~4.88 m、深さ 5.04 m~5.10 m、深さ 5.51 m付近にイベント層と考えられる砂層が認められる。深さ 6.40 m~10.30 mは礫質層に変化するが、深さ 10.30 m~14.22 mは再び細粒砂~シル ト質砂層となる。この細粒砂~シルト質砂層には、深さ 10.60 m~10.80 m、深さ 12.65 m~12.81 mなどにイベント層と考えられる砂層が認められる。このほかにも、イベン ト層の可能性がある砂層が見られたが、その判別にはさらに詳細な検討が必要である。 深さ 14.22 m~14.32 mには直径 100mm以上の礫が存在し、その下位(深さ 14.32 m~) には有機質泥、腐り礫状の砂岩が含まれるシルト、有機物を多く含む砂質シルト、礫混 じりのシルトの互層が確認された。深さ 24.50 m以深では礫混じりの砂質層になり、深 さ 25.22 m~27.00 mには、基盤岩である砂岩の風化部が認められる。

高知県土佐清水市では、砂丘によって閉塞された低地である大岐海岸において、深さ 1 m程度の連続柱状堆積物試料を合計 12 地点で採取した(図3-7-③-2)。得られ た試料の肉眼観察と CT 画像観察を行った結果、泥質堆積物中に少なくとも1層のイベ ント堆積物が認められた(図3-7-③-4)。このイベント堆積物の直上および直下 から得られた放射性炭素年代は、西暦 1399-1287 年、西暦 1450-1404 年、西暦 1457-1410 年という値を示した。また、深さ 80cm 程度から得られたタケノコカワニナの放射 性炭素年代測定値は 440±30 yr BP を示し、Marine Reservoir 効果の影響がないと仮 定した場合、西暦 1420-1610 年という値となる。
	0	1
	1	2
	2	3
	3	4
	4	5
	5	6
0	6	7
1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	2 7	8
2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	8 8	9
3	9	10
4	2 10	11
5		12
6	12	13
7	<u>1</u> 3	14
8	14	15
9 28 1 8	015	16
10	1 16	17
11	217	18
12 1	318	19
13	4 19	20
14	5 20	21
15	621	22
16	7 22	23
17	823	24
18	924	25
19	025	26
20 2	1 26	27

図3-7-③-3 高知県須崎市において採取されたコア試料の写真(左:SK2018-1、 右:SK2018-2)



図3-7-③-4 高知県土佐清水市において採取されたコア試料の柱状図

(d) 結論ならびに今後の課題

領崎市では、砂礫質のイベント堆積物を見つけることができた。今後は、堆積物の 詳細な観察を行い、さらに諸分析を加えることによってイベント堆積物が過去の津波 によるものかどうかを検討する必要がある。また同時に、放射性炭素年代測定を行い、 イベント堆積物の堆積年代を推定する必要がある。

高知県土佐清水市では、沿岸湿地で1~2層のイベント堆積物を発見した。放射性 炭素年代測定の結果から、このイベント堆積物は15世紀頃に堆積したことが明らかに なった。今後は、イベント堆積物の起源を推定するとともに、さらに年代測定を進め ることによって歴史時代の津波や暴風と対応するのかどうかを検討する必要がある。

④陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析(高知県高知市春野町)

(a) 業務の要約

高知県高知市春野町の沿岸低地において、ハンドコアラーおよびハンディージオス ライサーを使用して掘削調査を実施した。採集された柱状試料の剥取り標本や軟 X 線 写真を用いて泥質堆積物中に挟在する複数のイベント砂層を検出し、放射性炭素年代 測定も行った。これらのイベント砂層は洪水や津波、高潮などの突発的な流れによって 形成されたと考えられる。また、調査地点の地下では、有機質粘土層から上位の有機物 に乏しい粘土層へ層相の変化が観察された。今後、イベント砂層や層相変化の成因を推 定するために微化石分析などを進めたい。

(b) 業務の実施方法

旧版地形図や空中写真の判読、現地での微地形の確認から高知県高知市春野町仁ノ 地区の沿岸低地(図3-7-④-1)を調査地点に選定した。31 地点でハンドコアラ ーを用い深さ最大2.7mまで掘削を行って表層地質を把握し、そのうち2地点において ハンディージオスライサーを用いて分析用の堆積物試料を採取した(図3-7-④-2)。ジオスライサー試料は剥ぎ取り標本を作成するとともに軟X線撮影を実施し、層 相を詳細に観察した。剥取り標本は、堆積物試料の表面に親水性樹脂 SAC-100 を塗布 し、それを固化させて作成した。砂礫などの間隙の大きい粗粒堆積物には、泥質の細粒 堆積物に比べ樹脂が染み込みやすく、剥取り標本は堆積物の粒度を反映して粗粒堆積 物で厚くなる。そのため、剥取り標本は粒度の違いや堆積構造を読み取るのに有用であ る。また、実体顕微鏡下で堆積物中から拾い出した植物化石(果実)の放射性炭素年代 測定も行った。これらの植物化石は堆積物そのものや木片、炭化物に比べ真の堆積年代 を示す可能性が高く、イベント年代の推定に適した測定試料である。



図3-7-④-1 陸域津波履歴調査地域。地理院地図を使用。

(c) 業務の成果

春野町仁ノ地区の沿岸低地は仁淀川河口左岸に位置し、標高約0~2mと非常に低平 である。海岸には現成の砂丘が分布し、その背後には海岸線と平行に小松の沼と呼ばれ るラグーンが広がる(図3-7-④-2)。小松の沼の北側の低地は水田として利用さ れており、掘削調査は海岸から約600~1000m内陸の水田で行った。

掘削地点の地下約2.5mまでの表層地質は主に粘土および有機質粘土や泥炭からなる (図3-7-④-3)。深さ約0~1.5mまでは非常に粘着質の青灰色粘土層で、地点に よって細粒砂を多く含むが植物片など有機物がほとんどみられない。深さ約1~2.5m は主に植物片に富む有機質粘土層や泥炭層からなり、上位の青灰色粘土層との地層境 界は多くの地点で不明瞭である。X-X'側線中央部やY-Y'測線では、有機質粘土層中 に細粒~中粒砂からなる砂層や砂質層が挟在する。これらの砂層はハンドコアラー試 料で多く観察されたが、確認された砂層の数は地点間で異なっており、それらの側方へ の連続性は不明である。下位の有機質粘土層から上位の有機物に乏しい粘土層への層 相の変化は、地下水位の上昇あるいは当地域の沈降を示している可能性がある。また、 仁淀川河口の砂州の成長によって当地域にラグーンが拡大あるいは形成されたことで、 低平な土地が沈水した影響によるとも考えられる。



図3-7-④-2 春野町仁ノの掘削地点。位置は図3-7-④-1を参照。赤丸の地点 はハンドコアラー、青丸の地点ではハンドコアラーおよびハンディジオスライサーを用い て掘削を行った。地理院地図を使用。



図 3 - 7 - ④ - 3 春野町仁ノ地区で掘削されたハンドコアラーの柱状図。(a)は X-X'側線、(b)は Y-Y'測線を示す。掘削地点は図 3 - 7 - ④ - 2 を参照のこと。



図3-7-④-4 (a)地点 Y-1 で採取されたジオスライサー試料(右)とその剥取り標本 (左)、および放射性年代年代。地表面から 60cm 掘り下げた位置から掘削。(b)地点 Y-2 で 採取されたジオスライサー試料(右)とその剥取り標本(左)。地表面から 70cm 掘り下げ た位置から掘削。写真右の黄色と茶色のバーはそれぞれ、砂質~砂礫層、有機質粘土層の 範囲を示す。

Y-Y'測線の南側の2地点(Y-1、Y-2)では、表層地質をより詳細に観察し、年代測 定用試料を採取するため、ハンディージオスライサーを用いて掘削を行った(図3-7 -④-2、3、4)。Y-1で採取された試料の深さ約120~140cmには有機質粘土層が分 布し、生痕とみられる管状の堆積構造が観察された。この堆積構造は上位の砂礫の混じ る粘土層と同一のものと考えられる粘土で充填されている。以上の観察結果から、砂礫 の混じる粘土層は海水の影響下で堆積した可能性がある。一方、有機質粘土層は淡水成 と考えられ、これら一連の地層は淡水から海水への堆積環境の変化を捉えている可能 性がある。有機質粘土層の下限付近からは4530-4420 cal BPの放射性炭素年代が得ら れており、約4500年前に有機質粘土層が堆積し始めたとみられる。Y-2で採取された 試料では、深さ約130~170cmの有機質粘土層中に多くのシート状の砂層(図3-7-④-3b右側の写真の凹んでいる部分)が観察された。これらの砂層と周囲の粘土層の 境界は明瞭で、有機質粘土が堆積する静穏な環境に突発的な流れによって形成された イベント砂層と解釈される。また、地点Y-1とY-2は近接しており、両者の有機質粘土 層は分布する深さも同程度であるため、これらの地層は同時期に堆積したとみられる。

(d) 結論ならびに今後の課題

高知県高知市春野町の海岸低地においてハンドコアラーおよびハンディージオスラ イサーを用いて掘削調査を実施し、泥質堆積物中から突発的な流れによって堆積した イベント砂層を検出した。これらのイベント砂層の側方への連続性は不明である。今後 は、これらのイベント砂層の成因を推定するため、珪藻化石の分析を行いたい。

また、当地域では有機質粘土層から有機物に乏しい粘土層への層相変化が確認され、 堆積環境も淡水から海水の影響下に変化した可能性がある。当地域は、過去の南海トラ フの地震で繰り返し沈降が記録された浦戸湾から約8km と近く、地震性沈降に見舞わ れてきたと考えられる。上記の層相変化は地震性沈降によって生じる可能性があるが、 仁淀川河口でのラグーンの形成・拡大などの環境変化でも説明可能であり、成因の検討 は慎重に行う必要がある。

⑤陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析(三重県南伊勢町)

(a) 業務の要約

三重県南伊勢町において、過去に発生した巨大津波による浸水の履歴を明らかにするため、沿岸湖沼において湖底の堆積物試料を採取した(図3-7-5-1)。採取した試料の CT 画像を取得した結果、4~20 層のイベント堆積物が認められた(図3-7-5-2)。

(b) 業務の実施方法

三重県南伊勢町では、閉鎖性湖沼(こがれ池)にプラスチック製のフローターを浮か べ、湖上からロシアンサンプラーを用いて湖底からの深さ4m程度までの連続柱状堆 積物試料を採取した。採取の際は、コアの継ぎ目における試料の欠損を防ぐため、別孔 において10 cm~15 cm程度オーバーラップさせて試料を採取した。採取した試料は、 肉眼に加えて医療用 CT スキャナーを用いて詳細な観察を行った。



図 3 - 7 - ⑤ - 1 2017 年度に掘削調査を行った場所(三重県南伊勢町。国土地理院発行 1:25000 地形図「贄浦」を使用)。

(c) 業務の成果

三重県南伊勢町において湖底からの深さ 400cm までの掘削調査を行い、得られた堆 積物の予察的な観察を行うために CT スキャン画像を観察した結果、有機質泥層中に複 数のイベント層(4~20 枚)が認められた(図3-7-⑤-2)。試料の採取直後にお ける肉眼観察から、湖底からの深さ 3.7 m 程度には明瞭な火山灰層が分布しているこ とが分かった。また、イベント堆積物は細粒砂などで構成されていることが分かった。

(d) 結論ならびに今後の課題

三重県南伊勢町では、過去に発生した巨大津波による浸水の履歴を明らかにするため、柱状堆積物試料の掘削を行った。試料の予察的な観察結果から、4~20層のイベント堆積物が認められた。



図 3 - 7 - ⑤ - 2 三重県南伊勢町こがれ池における地質柱状図。CT 画像による堆積物の 観察を行った結果、4~20 層のイベント堆積物(図中の黄色の層)を確認することができた。

⑥陸域での津波履歴調査によるサンプルデータ解析(駿河湾奥浮島ヶ原)

(a) 業務の要約

静岡県富士市の低地では、採取された既存の柱状堆積物試料について、過去に発生し た地殻変動を検出するために化石群集の分析および放射性炭素年代測定を行った。昨 年度までに行った珪藻化石分析および大型植物化石分析の結果からさらに考察を進め、 長さ8mのボーリングコア中に少なくとも8回の沈水イベントを記録していることを 明らかにした。さらに放射性炭素年代測定を行った結果、最も新しい沈水イベントは 1707 年宝永地震か 1498 年明応地震、2番目に新しいイベントは 1498 年明応地震か 1361 年正平(康安)地震、3番目に新しい沈水イベントは 1096 年永長地震か 887 年仁 和地震に対応する値を示した。 (b) 業務の実施方法

静岡県富士川市の浮島ヶ原の湿原堆積物を記載した Fujiwara et al. (2016)によれ ば、南海トラフ東端(駿河トラフ)に面した同地域の堆積物には、過去の東海地震に 関連した地殻変動の繰り返しが沈水イベントというかたちで記録されている。このイ ベントは主に層相の変化から読み取られているが、歴史地震との対比は必ずしもうま くいっていない。この問題を解決するため、浮島が原で採取された既存のボーリング コア試料(図3-7-⑥-1)の化石群集の解析を行った。昨年度は、光学顕微鏡レ ベルの大きさである珪藻化石の分析を行った。本年度は、珪藻化石の分析結果を補完 するため大型植物化石の分析を行った。具体的には、① 2010年度に産業技術総合研 究所によって採取されたボーリングコアを2cm間隔で分割し、② 分割した試料を 0.5 mm および 0.25 mm メッシュの篩いで水洗し、③ 水洗した残渣を実態顕微鏡下で拾い 出した。拾い出した大型植物化石は、同定した後に放射性炭素年代測定用試料とした。



図 3 - 7 - ⑥ - 1 2010 年度~2012 年度にボーリング調査が行われた場所(藤原・澤井 2014 を改変)(静岡県富士市。国土地理院発行 1:25000 地形図「吉原」「沼津」を使用)。



図3-7-⑥-2 浮島ヶ原で採取された試料の放射性炭素同位体年代測定結果と、それ に基づいたイベント年代の計算結果。①~⑧がイベント年代を示している。

(c) 業務の成果

昨年度までの作業により、浮島ヶ原における化石群集の変化から、過去に発生した 沈水イベントを検出することができた。具体的には、珪藻化石群集の変化から5回の 沈水イベント、大型植物化石の群集変化から1回あるいは2回の沈水イベントを認め ることができた。この結果を再検討したところ、大型植物化石はさらに1回(合計3 回)の沈水イベントを記録していると推定された。放射性炭素年代測定の結果のうち、 地層の上下関係から判断して明らかに不自然な年代を取り除き、残りの適切な年代値 を用いて沈水イベントの発生時期の推定を試みた。イベント発生時期の再計算は、 Lienkaemper and Bronk Ramsey (2009)に従い、放射性炭素年代の補正プログラム 0xCal 4.2 を用いた。この結果、各イベント年代は西暦 1500-1785 年、西暦 1230-1510 年、 西暦 820-1250 年、西暦 445-640 年、紀元前 585-55 年、紀元前 765-205 年、紀元前 1190-975 年、紀元前 2515-2130 年という値を示した(図3-7-⑥-2)。この結果 は、最も新しい沈水イベントが 1707 年宝永地震か 1498 年明応地震、2番目に新しい イベントが 1498 年明応地震か 1361 年正平(康安)地震、3番目に新しい沈水イベン トが 1096 年永長地震か 887 年仁和地震に対応する可能性を示している。

(d) 結論ならびに今後の課題

静岡県富士市の低地では、採取された既存の柱状堆積物試料について、昨年度までに 行った珪藻化石分析および大型植物化石分析の結果からさらに考察を進め、長さ8mの ボーリングコア中に少なくとも8回の沈水イベントを記録していることを推定した。 放射性炭素年代測定による沈水イベントの発生時期を推定した結果、最も新しい沈水 イベントは1707年宝永地震か1498年明応地震、2番目に新しいイベントは1498年明 応地震か1361年正平(康安)地震、3番目に新しい沈水イベントは1096年永長地震か 887年仁和地震に対応する値を示した。このことから、浮島ヶ原の沈水イベントは、過 去に発生した南海トラフ沿いの巨大地震と関係していることが考えられた。

(e) 引用文献

- 藤原 治・澤井祐紀,静岡県沿岸の古地震・津波堆積物調査. 巨大地震による複合 的地質災害に関する調査・研究報告(地質分野研究企画室 編)独立行政法人産業 技術総合研究所地質調査総合センター, 39-48, 2014
- 2) Fujiwara, O., Fujino, S., Komatsubara, J., Morita, Y., Namegaya, Y., Paleoecological evidence for coastal subsidence during five great earthquakes in the past 1500 years along the northern onshore continuation of the Nankai subduction zone, Quaternary International, 397, 532-540, 2016
- Lienkaemper J. J. and Bronk Ramsey C., OxCal: Versatile tool for developing paleoearthquake chronologies - A primer, Seismological Research Letters, 80, 431-434, 2009

⑦富士川河口域における地殻変動と断層位置の推定

(a) 業務の要約

富士川河口域西部の蒲原低地において、平成28年度に実施したボーリング掘削調査 で得られた試料に加え、産業技術総合研究所が所有する同地域のコア試料について¹⁴C 年代測定および珪藻分析を行った。その結果、蒲原低地内に推定されている富士川河口 断層帯入山瀬断層は、従来考えられているよりも活動度が低く、また断層を挟んだ隆起 側も長期的にみるとネットでは沈降している可能性が示された。そこでこれらの現象を 説明する断層モデルを検討した。

(b) 業務の実施方法

平成28年度に実施したボーリング掘削地点(KNB)は、富士川河口右岸から約1.7km 西の入山瀬断層の隆起側に位置する(図3-7-⑦-1)。また産業技術総合研究所が 地下水調査のため、深度160mと350mの2本のボーリング掘削(それぞれFGBとSKB) を実施しており、これらは入山瀬断層の沈降側に位置する。これらのコア試料について、 深度100mまで層相観察を行い、おもに粘土~シルト層を中心に分析用の試料抽出を行 った。得られた分析用試料のうち、FGB コアで深度 32.4m、32.5m、36.4m、51.9m、74.8m の計5 試料、SKB コアで深度 38.6m、68.3m、74.0m、91.8m の計4 試料について、堆積年 代を解明するため、おもに植物遺体の¹⁴C 年代測定を実施した。また堆積時の古環境に ついて復元するため、KNB コアで深度 61.3~96.1m の間の 15 試料、SKB コアで深度 12.9 ~94.6m の間の深度 30 試料、FGB コアで深度 13.3~86.0m の間の 30 試料、合計で 75 試 料について珪藻分析を実施した。これらの分析結果に基づいてコア同士の層相、年代の 対比を行い、断層活動について検討を行った。



図3-7-⑦-1 富士川河口周辺におけるボーリング掘削地点の位置と活断層の分 布。活断層の位置は尾崎ほか(2016)に基づく。基図は地理院地図(電子国土 Web)を 使用。

(c) 業務の成果

層相観察の結果、いずれのコアも基本的に砂礫からなるが、層厚1~5m程度の腐植 物混じりのシルト-粘土層が所々に挟まっている(図3-7-⑦-2)。¹⁴C 年代測定お よび珪藻分析は基本的にこれらのシルト-粘土層から得たサンプルを用いた。KNB コア の年代は昨年度にすでに報告している。また FGB コアと SKB コアについては産業技術総 合研究所(2016)ですでに報告された年代がある(図3-7-⑦-2の柱状図右横に記 した青字の年代値)が、本事業で今年度新たに行った年代測定の結果、一部で若干の新 旧の逆転が見られるものの、おおよそ整合的な値が得られた。また珪藻分析の結果、SKB コアではほぼすべての層準が安定した水域環境が成立しにくい陸域環境であったと考 えられる。FGB コアは下位の層準は陸域~乾湿を繰り返すような不安定な淡水域環境か ら、乾燥した陸域環境が続き、海水泥質干潟の影響をわずかに受ける河川環境へ と推移し、その後は、陸域環境と海水泥質干潟の影響を受ける河口環境とを繰り返して



図3-7-⑦-2 富士川河口周辺で得られたボーリング試料の地質柱状図と¹⁴C年代 および珪藻分析を行った層準の位置。

(d) 結論ならびに今後の課題

富士川河口周辺の3地点のボーリングコアについて、深度 100m までの層準の分析の 結果から、¹⁴C 年代値と珪藻化石群集の環境に基づいてコア間で対比を行うと、入山瀬 断層の推定通過位置を挟んだ KNB コアと SKB コアとでは同じ層準に明確な高度差があ り、平均変位速度約2m/千年程度で西側が隆起していることを示す。一方で隆起側の KNB コアでも、縄文海進最盛期頃の層準の深度に基づくと、長期的には概ね約3m/千年程度 で沈降していることを示す。蒲原低地より西の由比川沿いでは、完新世を通じた隆起を 示唆する段丘地形も存在することから、より活発な断層が今回のボーリング地点よりも 西側に存在する可能性もある。今後はその位置の特定のため、沿岸の地形・地質調査を 進めていく必要がある。

(e) 引用文献

 1) 尾崎正紀,水野清秀,佐藤智之,5万分の1富士川河口断層帯及び周辺地域地質編 纂図説明書,海陸シームレス地質情報集,駿河湾北部沿岸域,海陸シームレス地質 ⊠ S-5, 57p, 2016.

 2) 産業技術総合研究所,平成27 年度「海域地質環境調査確証技術開発」成果報告書, 374p,2016.

(3) 平成 31 年度業務計画案

陸域では南海トラフ東縁から南西諸島北部にかけての各沿岸において、これまでの調 査でまだ不足している津波堆積物や隆起痕跡の情報に関して補完調査を行うとともに、 本事業ですでに得られている地層サンプルについて、年代測定や微化石分析などを進め、 南海トラフの地震・津波履歴情報をまとめる。得られたデータに基づき、2-2 シミュレー ション分野と連携して南海トラフ東端の破壊挙動の解明を目指す。

海域では海洋研究開発機構で実施する日向灘~南九州沖の海底調査航海を行い、海底 堆積物コアを採取する。これと本事業により平成30年度の調査航海で採取されたコアの 分析を進め、この海域の地震・津波発生履歴を復元する。また、本事業による平成26~ 29年度の調査航海で採取されたコア試料について分析を進め、琉球海溝南部域の地震・ 津波発生履歴を復元する。さらに、南海トラフや日本海溝域などの堆積物記録との比較研 究を実施する。これらから、堆積構造解析により地震・津波により形成された堆積層を識 別し、その時空間分布を解明することを目標とする。海域の調査と採取試料の解析は、2-1-aとの密接な連携のもとに共同して実施する。

以上より陸域ならびに海域からの地震・津波履歴情報を痕跡の時空間分布図として取 りまとめることを最終目標とする。

3.8 広帯域地震活動研究

(1)業務の内容

(a)業務題目 「広帯域地震活動研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東京大学地震研究所	教授	篠原 雅尚
	教授	小原 一成
	教授	塩原 肇
	准教授	酒井 慎一
	准教授	望月 公廣
	助教	山田 知朗
	助教	一瀬 建日
	技術専門職員	八木 健夫
	技術職員	阿部 英二
	技術職員	西本 太郎
	技術職員	池澤 賢志
	技術職員	大塚 宏徳
国立大学法人京都大学防災研究所	准教授	伊藤 喜宏
国立大学法人東京海洋大学	准教授	中東 和夫
国立大学法人九州大学	准教授	松島健
国立大学法人京都大学防災研究所	助教	山下 裕亮
国立大学法人東北大学災害科学国際研究所	教授	木戸 元之
国立大学法人東北大学大学院理学研究科	教授	日野 亮太
	准教授	太田 雄策
	技術職員	鈴木 秀市
国立研究開発法人海洋研究開発機構	分野長	末次 大輔
	グループリーダー	高橋 成実
	主任研究員	高橋 努
	技術研究員	伊藤 亜妃
	技術研究員	今井 健太郎
	研究員	利根川 貴志
	技術スタッフ	中島 倫也

(c) 業務の目的

南海トラフから南西諸島海溝にかけて、広帯域海底地震観測により、トラフ 付近の低周波イベントの解明と地震活動の詳細な把握を行う。プレート境界の すべり特性の解明、さらには巨大地震発生域の高精度推定に寄与する。 南海トラフ陸側斜面域で発生する、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津 波の励起と伝播といった多様な現象を捉えるため、地震動だけでなく海底における 水圧を広帯域・高ダイナミックレンジで連続して取得するためのシステムを開発し、 トラフ付近の低周波イベントや、津波発生を伴うような地殻変動を含めた地震の活 動実態の把握を行い、巨大地震発生域の事前推定の高度化に寄与する。さらに、観 測成果を地殻活動モニタリング情報として、シミュレーション研究に提供する。

(d) 7 ヵ年の年次実施業務の要約

平成 25 年度:

南海トラフ西部の領域において、長期観測型海底地震(水圧)計を計10台設置し、 長期海底地震観測を開始した。また、南海トラフ中部の陸側斜面域である熊野灘におい て、ブイシステムを用いた海底水圧の試験観測に着手した。海底の水圧変動から、ゆっく りすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播といった多様な現象を捉えるため、 広帯域・高ダイナミックレンジで連続して海底水圧データを取得するためのシステム開発 に必要な基礎データを実海域で取得した。

平成 26 年度:

南海トラフ西部の領域において、長期観測型海底地震(水圧)計を回収し、同じ 海域に設置した。また、南海トラフ中部の陸側斜面域である熊野灘において、ブイシステ ムを用いた海底水圧の試験観測を継続して実施した。海底の水圧変動から、ゆっくりすべ りイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播といった多様な現象を捉えるため、広帯域・ 高ダイナミックレンジで連続して海底水圧データを取得するためのシステム開発に必要な 基礎データの取得を継続して実施した。

平成 27 年度:

南海トラフ西部の領域において、長期観測型海底地震(水圧)計を回収し、日向 灘に設置した。また、熊野灘におけるブイシステムを用いた海底水圧の試験観測を継続し た。システムの実用化にむけた基礎データの取得を継続するほか、試験観測で得られた海 底の水圧変動の特性の解析を進め、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起 と伝播といった多様な現象を捉えるためのデータ処理・解析手法の検討を進めた。

平成 28 年度:

南海トラフ西部の領域(日向灘)において、長期観測型海底地震(水圧)計を回 収し、同じ海域に半径 3.5km の円状アレイを2セット作成し、計8台を設置した。 また、熊野灘におけるブイシステムを用いた海底水圧の試験観測を継続した。システムの 実用化にむけた基礎データの取得を継続するほか、試験観測で得られた海底の水圧変動の 特性の解析を進め、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播といった 多様な現象を捉えるためのデータ処理・解析手法の検討を進めた。

平成 29 年度:

南海トラフ西部の領域に設置されていた海底地震圧力計を回収した。また、長期 観測型海底地震(圧力)計 10 台を南西諸島海溝域に設置した。また、熊野灘におけ るブイシステムを用いた海底水圧試験観測の解析を継続した。システムの実用化にむけた 基礎データの取得を継続するほか、試験観測で得られた海底の水圧変動の特性の解析から、 ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播に関連する現象による変動を 抽出し、これら現象のモデル化の検討を進めた。

平成 30 年度:

南西諸島海溝域において、海底地震(圧力)計10台程度の回収・再設置を実施した。 また、熊野灘におけるブイシステムを用いた海底水圧試験観測の解析を継続した。試験観 測で得られた海底の水圧変動の特性の解析から、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、 津波の励起と伝播に関連する現象による変動を抽出する一方で、海底水圧データに含まれ る誤差要因の検討を行い、観測された現象のモデル化の検討を進めた。

平成 31 年度:

南西諸島海溝域において実施してきた長期観測型海底地震計・水圧計を用いた地 震観測を終了する。これまでの海底観測により得られたデータを解析し、南海トラ フ・南西諸島海溝領域の観測期間内における超低周波地震・低周波微動を含む地震 活動についてまとめる。ブイシステムを用いた海底水圧試験観測についてもシステ ムの概要と得られたデータの評価をまとめる。

(e) 平成 30 年度業務目的

南海トラフから南西諸島海溝の領域において、長期観測型海底地震計を用いた長期海 底地震観測を実施する。また、海底地震(水圧)計のデータ解析を実施する。ブイシス テムを用いた海底水圧試験観測により、これまでに得られているデータの解析を継続す る。

(2) 平成 30 年度の成果

①南海トラフ西部の領域における広帯域自然地震観測

(a) 業務の要約

豊後水道において約6年に1回の頻度で発生するスロースリップイベントに同期し て発生することが知られている日向灘の浅部低周波地震活動域では、低周波微動が頻繁 に発生することが明らかになってきた。そこで、浅部超低周波地震や低周波微動発生域 直上で長期海底地震観測を実施し、浅部超低周波地震・低周波微動活動とスロースリッ プイベントの関係を明らかにする。昨年度、日向灘より南の南西諸島海溝域における活 動の連続性等を検証するため、日向灘に隣接する南西諸島海溝・種子島東方沖に新たに 設置した長期観測型海底地震計、圧力計付き広帯域型海底地震計を回収し、さらに南側 のトカラ列島北東沖に長期観測型海底地震計5台、圧力計付き広帯域地震計5台を設置 した。回収された海底地震計からは、良好な波形データが取得された。

(b) 業務の実施方法

南海トラフ沿いでは、ほぼ 100 年周期でマグニチュード 8 クラスの地震が繰り返して 発生していることが歴史記録から推定されている (Ando, 1975; Mochizuki and Obana, 2003)。1944 年と 1946 年の地震では、地震学的データにより、震源域の推定が行われ ている(例えば、Kanamori, 1972; Ishibashi, 1981)。南海トラフ近傍では、超低周波 地震・低周波微動(スロー地震)が発生することが知られており(Ito and Obara, 2006)、 その発生メカニズムの解明と、地震発生との関係が注目されている。紀伊半島沖南海ト ラフ付近の超低周波地震が、陸側のプレートとフィリピン海プレートの境界付近で発生 していることが明らかにされている(Sugioka et al., 2012)。発生が想定されている 南海トラフ沿いの大地震の震源域西部である豊後水道から日向灘、さらには隣接する南 西諸島海溝域北部では、これまでにスロー地震を目的とした海底地震観測は余り行われ ておらず、活動の詳細は明らかになっていなかった。そこで、南海トラフ西方に位置す る浅部低周波微動活動域に長期観測型海底地震計(金沢ほか、2009)や圧力計付き広帯 域型海底地震計(塩原ほか、2014)を設置し、低周波微動・超低周波地震活動の時空間 分布を明らかにするとともに、これらの活動の背景にあると考えられるスロースリップ に伴う地殻変動を観測することを目的とした広帯域地震・測地観測ネットワークを形成 した。

(c) 業務の成果

南海トラフから南西諸島海溝にかけて、トラフ付近の低周波イベントの解明と地震活動の詳細な把握を行い、プレート境界のすべり特性の解明、さらには巨大地震発生域の高精度推定に寄与することを目的として、南西諸島海溝・種子島東方沖の領域に前年度に設置した長期観測型海底地震計(図3-8-①-1、表3-8-①-1)を回収した(図3-8-①-2)。また、観測網をさらに南の南西諸島海溝域に広げるため、トカラ列島北東沖において観測を継続した(図3-8-①-3、図3-8-①-4、図3-8-①-5、表3-8-①-2)。本年度に設置した長期観測型海底地震計には、小型広帯域地震計を搭載した長期観測型海底地震計(Shinohara et al., 2018)が含まれる。本回収・設置作業には海洋研究開発機構「よこすか」のYK18-13C 航海(2018年9月29日横須賀港出港、同年10月10日大分港入港)を利用した。回収された海底地震計からは良好な記録が取得された。



図3-8-①-1 海底地震観測点(2017年7月設置・2018年9月回収) 2017年度に設置を行った長期観測型海底地震計、圧力計付き広帯域海底地震計の位置。



図3-8-①-2 回収された海底地震計



本年度設置を行った長期観測型海底地震計、圧力計付き広帯域型海底地震計の位置。



図3-8-①-4 本年度設置した海底地震計(予備機材を含む)



図3-8-①-5 投入直前の圧力計付き広帯域型海底地震計(写真右の白いカバーで覆われた部分が圧力計)

知测点女 T		緯度		経度		水深
- 観側点名 Ir ユート	Ir ユード	度	分	度	分	m
B00	725	30	51.516	132	22.025	2844
B01	766	30	50.233	131	54.743	1730
B02	812	30	41. 461	132	12. 100	2592
<i>B03</i>	809	30	34. 463	132	26.805	3227
B04	768	30	36.190	131	47.039	1930
B05	816	30	30. 585	132	01. 038	2837
B06	804	30	24. 371	132	20. 975	3951
B07	724	30	22.959	131	39.271	2277
B08	779	30	15.221	131	57.777	2825
B09	767	30	03.832	132	05.556	3677

表 3-8-①-1 2017 年度に設置した海底地震計位置座標

* 斜字は広帯域海底地震計

表3-8-①-2 2018年度に設置した海底地震計位置座標

毎測占タ エャコード		緯度		経度		水深
睨 .则.吊石]	Ir ユード	度	分	度	分	m
C01	800	30	16. 610	131	38. 366	2717
C02	658	30	04.762	131	49.056	3148
C03	713	29	51.111	131	59.329	4876
<i>C04</i>	801	30	01. 136	131	27. 581	2525
C05	811	29	52. 221	131	36. 729	3442
C06	663	29	36.293	131	57.655	5168
C07	684	29	53.248	131	15.484	3001
C08	810	29	42.267	131	30. 266	3349
C09	668	29	31.928	131	21.890	3835
C10	803	29	21.039	131	36. 833	4759

* 斜字は広帯域海底地震計

(d) 結論ならびに今後の課題

種子島東方海域において、2017年度に設置した長期観測型海底地震計と圧力計付き 広帯域海底地震計の回収を行った。また、今年度はさらに隣接する南西諸島海溝での 観測を実施するため、トカラ列島北東沖に5台の長期観測型海底地震計と5台の圧力 計付き広帯域型海底地震計を設置し、観測を開始した。次年度に回収を実施して、ス ロー地震活動の詳細を把握する。 (e) 引用文献

- Ando, M., Source mechanisms and tectonic significance of historicalearthquakes along Nankai Trough, Japan, Tectonophysics, 27(2), 119–140, doi:10.1016/0040-1951(75)90102-X, 1975.
- Kanamori, H., Tectonic implications of the 1944 Tonankai and the 1946 Nankaido earthquakes, Phys. Earth Planet. Inter., 5, 129-139, 1972.
- 金沢敏彦・篠原雅尚・塩原肇,海底地震観測の最近の進展 海底地震観測システムと 海底における自然地震観測の進展について-,地震2,61, S55-S68, 2009.
- Ishibashi, K., Specification of a soon-to-occur seismic faulting in the Tokai district, central Japan, based upon seismotectonics, In Simpson, D.W. and P.G. Richards eds.: Earthquake prediction: An international review, Maurice Ewing Series 4. AGU, Washington, D.C., 297-332, 1981.
- Ito, Y. and K. Obara, Dyanmic deformation of the accretionary prism excites very low frequency earthquakes, Geophys. Res. Lett., 33, L02311, 2006.
- Mochizuki, K., and K. Obana, Seismic Activities along the Nankai Trough, Bull. Earthq. Res. Inst., 78, 185-195, 2003.
- 塩原肇・篠原雅尚・中東和夫、観測帯域拡大への高精度圧力計付き広帯域海底地震計の 開発、海洋調査技術、26 (2), 1-17, 2014.
- Shinohara, M., T. Yamada, H. Shiobara, Y. Yamashita, Development and Evaluation of Compact Long-term Broadband Ocean Bottom Seismometer, 2018 OCEANS -MTS/IEEE Kobe Techno-Ocean, doi:10.1109/OCEANSKOBE.2018.8559338, 2018
- Sugioka, H., T. Okamoto, T. Nakamura, Y. Ishihara, A. Ito, K. Obana, M. Kinoshita, K. Nakahigashi, M. Shinohara and Y. Fukao, Tsunamigenic potential of the shallow subduction plate boundary inferred from slow seismic slip, Nature Geoscience, doi:10.1038/NGE01466, 2012.

②南西諸島海溝域北部における低周波微動活動

(a) 業務の要約

2017 年度に日向灘より南の南西諸島海溝域における活動の連続性等を検証するため、 日向灘に隣接する南西諸島海溝・種子島東方沖に長期観測型海底地震計、圧力計付き 広帯域型海底地震計が設置された。本年度はこれらの海底地震計を回収し、収録され たデータから低周波微動に関する解析を実施した。観測期間中の 2017 年 12 月~2018 年1月には、浅部低周波微動と超低周波地震活動が観測点近傍で発生した。広帯域型 海底地震計4台には圧力計が取り付けられていたが、2017 年 12 月~2018 年1月のス ロー地震活動において、圧力計の記録からはスロースリップに伴うと考えられる明瞭 な地殻変動は現時点で検出できていない。 (b) 業務の実施方法

豊後水道周辺域では、スロースリップイベントが約6年に1回の頻度で発生してい ることが知られている(Hirose et al., 2010)。このスロースリップイベントに関連し て、海溝軸よりの領域で、浅部超低周波地震活動が発生していることが明らかになって いる(Hirose et al., 2010; Asano et al., 2015)。一方、近年、浅部超低周波地震活 動域直上での広帯域海底地震計を用いた海底観測が行われ、活動の詳細が推定されてい る(Sugioka et al., 2012)。足摺沖から日向灘にかけての海溝近傍における短周期海 底地震計アレイによる地震観測により、このような浅部超低周波地震活動と同期する形 で浅部低周波微動が発生することが明らかになった(Yamashita et al., 2015)。この 微動活動は時間変化とともに発生領域の移動がみられ、スロースリップイベントの発生 との関係が示唆される結果が得られている。そこで、南海トラフ西方において、海底観 測データから、低周波微動の時空間分布を明らかにするとともに、これらの活動の背景 にあると考えられるスロースリップとの関係を把握する。

今年度は、前年度に設置した海底地震計を回収し、取得したデータの解析を開始した。日向灘より南の南西諸島海溝域においても日向灘と同様のスロー地震活動の発生が 指摘されており、これらの活動の連続性や、日向灘との違いなどを明らかにするため、 2017 年度は南西諸島海溝域の種子島東方沖に海底地震計を設置した。種子島東方沖で の長期海底地震観測は、これまでに実施されておらず、活動の詳細は明らかになってい ない。

(c) 業務の成果

回収された海底地震計は良好なデータを取得できており、2017年10月、2017年12 月~1月、2018年3月~4月、2018年7月,2017年8月に浅部低周波微動と超低周 波地震活動が確認できた。このうち2017年12月~2018年1月の活動は非常に活発で あった(図3-8-2-1)。

2017年12月~2018年1月の活動のうち浅部低周波微動活動について、エンベロープ 相関法(Obara, 2002; Yamashita et al., 2015)による震源決定を行ったところ、暫定 的な結果ではあるが日向灘における浅部低周波微動活動域からほぼ南に連続する形で 活動域が広がっていることが明らかとなった(図3-8-@-2)。ただし、図3-8 -@-2の結果は、浅部低周波微動の震源決定時に紛れ込んでいる通常の地震を除去 できていないことに留意する必要がある。そのほかの特徴として、日向灘と同様に震 源の移動現象(マイグレーション)とみられる時間変化が起こっている可能性がある。 さらに、浅部低周波微動活動中には活発な地震活動も確認されており、時系列で見る と浅部低周波微動活動が先行して発生し、その後通常の地震活動が活発化、通常の地 震活動が収まってくると再び浅部低周波微動活動が活発化する様子が見られた。通常 の地震活動(気象庁一元化カタログによる)は浅部低周波微動の震源域と重なってい るようにも見える。ただし、現時点ではお互いの誤差が大きく、通常の地震と浅部低 周波微動の震源が本当に重なっているのか、それとも棲み分けているのかについては より詳細な解析が必要である。



図 3 - 8 - ② - 1 2017 年 12 月 13 日 18 時~23 時台の波形記録例 各海底地震計の上下動成分に 2 - 4 Hz のバンドパスフィルターをかけている。記録されて いるイベントはほぼ浅部低周波微動のシグナルである。



図3-8-22 エンベロープ相関法によって求められた浅部低周波微動の震央分布 (赤丸)。灰色は気象庁一元化カタログによる通常の地震の震央、青四角は海底地震観測点 の位置を表している。解析処理の際に、浅部低周波微動だけでなく通常の地震もエンベロ ープ相関法により震源決定されており、現時点ではすべての地震を取り除くことができお らず、相当数の地震が含まれている。

(d) 結論ならびに今後の課題

今年度回収した海底地震計では、良好な波形データを取得することができており、平 成29年12月~平成30年1月にかけて観測点周辺で発生したと考えられる浅部低周波 微動と超低周波地震活動が記録されていることを確認できた。今年度は昨年度の領域の 南側に隣接する領域に長期観測型海底地震計と広帯域型海底地震計による観測網を構 築し、観測を行っており、次年度の回収作業を計画している。今年度の観測により得ら れたデータをもとに、プレート境界のすべり現象についての解析を実施する。

(e) 引用文献

Asano, Y., K. Obara, T. Matsuzawa, H. Hirose, and Y. Ito, Possible shallow slow slip events in Hyuga-nada, Nankai subduction zone, inferred from migration of very low frequency earthquakes, Geophys. Res. Letts. 42, doi:10.1002/2014GL062165, 2015.

Hirose, H., Y. Asano, K. Obara, T. Kimura, T. Matsuzawa, S. Tanaka, T. Maeda, Slow

Earthquakes Linked Along Dip in the Nankai Subduction Zone, Science, 330, 1502, 2010.

- Obara, K., Nonvolcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan, Science, 296(5573), doi:10.1126/science.1070378, 1679-1681, 2002.
- Sugioka, H., T. Okamoto, T. Nakamura, Y. Ishihara, A. Ito, K. Obana, M. Kinoshita, K. Nakahigashi, M. Shinohara and Y. Fukao, Tsunamigenic potential of the shallow subduction plate boundary inferred from slow seismic slip, Nature Geoscience, doi:10.1038/NGE01466, 2012.
- Yamashita, Y., H. Yakiwara, Y. Asano, H. Shimizu, K. Uchida, S. Hirao, K. Umakoshi,
 H. Miyamachi, M. Nakamoto, M. Fukui, M. Kamizono, H. Kanehara, T. Yamada,
 M. Shinohara, and K. Obara, Migrating tremor off southern Kyushu as evidence
 for slow slip of a shallow subduction interface, Science, 348 (6235), 676-679,
 doi:10.1126/science.aaa4242, 2015.
- ③日向灘・南西諸島沖における浅部超低周波地震活動の分布推定
 - (a) 業務の要約

陸域に展開された稠密地震観測網によって、日向灘から南西諸島沖の浅部プレー ト境界において浅部超低周波地震が発生することが知られている(Hirose et al. 2010; Asano et al. 2015)。本プロジェクトではこれまでに日向灘(2014-2016 年) で、本年度は南西諸島沖の浅部超低周波地震の活動域直上で海底地震観測を実施し、 これらの観測では、日向灘では3回、南西諸島沖では1回の浅部超低周波地震の活動 を観測することができた。そこで、これらの活動分布を詳細に把握するため、取得し た海底地震計記録を用いて超低周波地震の震央位置の推定を行った。この解析には、 前年度に手法開発を行った自動震央決定のツールを使用した。その結果、この地域に おける浅部超低周波地震の活動は、九州-パラオ海嶺の北端・南端、そして、付加体 先端部に推定された。

(b) 業務の実施方法

次の二つの解析によって震央位置を決定した。まず、近地地震によるレーリー波 のコーダ部分を使用して、それらが伝播する群速度の推定を行った。次に、海底地震 計の連続記録にエンベロープ相関法(Obara, 2002)を適用し、推定した群速度を用 いることで超低周波地震の震央位置を決めた。さらに、推定した震央位置と構造を比 較するため、観測点下の一次元S波速度プロファイルも推定した。

群速度の推定:設置した海底地震計で近地地震(震央距離<15°、マグニチュード>5.0)によって励起されたレーリー波が30~70個ほど観測されていたため、それらのコーダ部分に地震波干渉法を適用し、計算した相互相関関数をスタックした。抽出されたレーリー波から、各観測アレイにおける平均的なレーリー波の群速度の分散曲線を測定した。その結果、各アレイにおいて、0.1−0.15 Hzの帯域で群速度が0.7-0.9

km/s の範囲内でほぼ一定であったため、この帯域での群速度を次に実施したエンベ ロープ相関法に適用した。

エンベロープ相関法:まず、連続記録 0.1-0.15 Hz のバンドパスフィルターを適 用し、その連続記録に含まれる他地域で発生した地震の信号の除去作業を行った。こ れは、他地域の地震信号を日向灘・南西諸島沖で発生した超低周波地震の信号と誤っ て震央決定するのを避けるためである。その除去後の連続記録からエンベロープ波形 を作成して、短周期のゆらぎを除去するために 0.1 Hz のローパスフィルターを適用 した。この準備作業の後、前年度に作成した自動震央決定のツールを使用し、浅部超 低周波地震の震央の位置推定を行った。

一次元 S 波速度構造の推定には、Tonegawa et al. (2017)で用いられた手法を適 用する。この手法の適用には、単一観測点において広帯域地震計と微差圧計の両方が 設置されている必要があるため、その条件を満たす南西諸島沖に設置された4観測点 下の構造推定を行う。

(c) 業務の成果

日向灘の浅部超低周波地震の結果に関して、2014・2016年の活動の震央は南海ト ラフ軸の西方約50~100km付近に推定され、2015年の活動は、活動開始直後は2014・ 2016年のものとほぼ同じであったが、その後、活動域が東方に移動し南海トラフ軸 近傍で活発になった。フィリピン海プレートの等深線(Nakanishi et al. 2018)か ら活動の深さを推定すると、2014・2016年は深さ約15km、2015年は10km以浅で あった。また、これらの深部の活動は、Yamamoto et al. (2013)で推定された沈み込 んだ九州-パラオ海嶺の北端に位置しており、2015年の活動は九州-パラオ海嶺の北 端に沿って東に移動したことが明らかになった。南西諸島沖では、震央のクラスター が二つに分かれた。フィリピン海プレートの等深線から活動の深さを推定するとおよ そ5~15km程度で、また、この位置は九州-パラオ海嶺の南端に相当していた。

震央位置の推定誤差は、2016年の観測点数が5点のものを除いて、水平方向に5 km以内という非常に高精度な結果が得られた。2016年のものもアレイの中で発生し た超低周波地震の位置の誤差は5~10 km 以内と比較的良く、アレイの外のものは 20 km程度となった。

構造推定の結果では、1 観測点のみ浅部に低速度層が存在し、その他の観測点ではS波速度は深さに応じて単調増加であった。

(d) 結論ならびに今後の課題

2014年1月から2018年9月の期間において、日向灘および南西諸島沖の海底地震 計で観測された浅部超低周波地震の震央位置推定を行った。その結果、九州-パラオ 海嶺の北端および南端、さらに南海トラフ軸近傍の付加体先端部において、浅部超低 周波地震の発生が確認された。先端部で発生しているものは、紀伊半島沖・四国沖で 発生しているものと同じもので、比較的深部で発生しているものは九州-パラオ海嶺 の構造に起因するスロー地震と考えられる。 また、今後の課題として、低速度層が確認された観測点の近傍では地震活動が活 発なため、その地震活動の深さと低速度層の空間的な対応を検討する必要がある。

(e) 引用文献

- Asano, Y., Obara, K., Matsuzawa, T., Hirose, H. & Ito, Y., Possible shallow slow slip events in Hyuga-nada, Nankai subduction zone, inferred from migration of very low frequency earthquakes, Geophys. Res. Lett., 42, 331-338, doi:10.1002/2014GL062165, 2015
- Hirose, H., Asano, Y., Obara, K., Kimura, T., Matsuzawa, T., Tanaka, S. & Maeda, T., Episodic Tremor and Slip on the Cascadia Subduction Zone: The Chatter of Silent Slip, Science, 330, 1502, doi:10.1126/science.1197102, 2010.
- Nakanishi, A., Takahashi, N., Yamamoto, Y., Takahashi, T., Citak, S. O., Nakamura, T., Obana, K., Kodaira, S., Kaneda, Y., Three-dimensional plate geometry and P-wave velocity models of the subduction zone in SW Japan: Implications for seismogenesis, in Byrne, T., Underwood, M. B., Fisher, D., McNeill, L., Saffer, D., Ujiie, K., and Yamaguchi, A., eds., Geology and Tectonics of Subduction Zones: A Tribute to Gaku Kimura: Geological Society of America Special Paper, 534, 69-86, https://doi.org/10.1130/2018.2534(04), 2018
- Obara, K., Nonvolcanic Deep Tremor Associated with Subduction in Southwest Japan, Science, 296, 1679–1681, 2002
- Tonegawa, T., Araki, E., Kimura, T., Nakamura, T., Nakano, M. & Suzuki, K., Sporadic low-velocity volumes spatially correlate with shallow very low frequency earthquake clusters, Nature Communications, 8:2048, doi:10.1038/s41467-017-02276-8., 2017
- Yamamoto, Y., Obana, K., Takahashi, T., Nakanishi, A., Kodaira, S. & Kaneda, Y., Imaging of the subducted Kyushu-Palau Ridge in the Hyuga-nada region, western Nankai Trough subduction zone, Tectonophysics, 589, 90–102, doi:10.1016/j.tecto.2012.12.028, 2013.

④広帯域観測 ブイシステムによる水圧観測

(a) 業務の要約

平成26年度から27年度(2015.12.9から2016.12.20)にかけて実施した熊野灘 沖におけるブイシステムによる水圧観測では15秒サンプリングの音響伝送に合わせ て、0.023Hzのローバスフィルターを通してデータを出力して海底局に保存しており、 海底水圧試験観測の解析を継続した。試験観測で得られた海底の水圧変動の特性の 解析から、ゆっくりすべりイベント、超低周波地震、津波の励起と伝播に関連する 現象による変動を抽出した。海底水圧データに含まれる誤差要因の検討を行い、観 測された現象のモデル化の検討を進めた。 (b)業務の実施方法

プレート境界におけるゆっくりすべり等のイベントや固着にともなう継続時間が 長い(数日以上)地殻変動場を海底水圧観測により正確に捉えるためには、観測デ ータに含まれる地殻変動成分以外の誤差のなかでも、圧力センサーの長期ドリフト に起因する見かけの圧力変動成分を特定し、観測データから除去する必要がある。 圧力センサーの特性を把握することを目的として、海底での長期連続観測と同等の 圧力条件下(温度条件は室温)において、センサーの長期繰り返し較正実験を、産 業総合研究所の協力を得て実施した。これまで自己浮上式海底水圧観測で使用した 実績のある複数のセンサー(いずれもパロサイエンス社製 8B7000)に対して、約1 年間連続して高圧(70MPa=水深7、000mでの水圧に相当、または40MPa)を印加しな がら、定期的に標準圧力発生装置(重錘形圧力天びん)を用いた精密較正を繰り返 し行うことにより、高圧を受け続けている状態でのセンサーの長期ドリフト特性を 実測した。図3-8-④-1(a)および(c)の70MPa とラベルされた時系列は、圧力 較正値(被検体となった圧力センサーでの計測値と標準圧力との差)の時間変化を 示し、この時間変化が各センサーがもつドリフト特性を示す。

一方で、実際の海底観測時には、この室内実験で用いたような標準圧力発生装置 を用いたドリフト特性把握は困難である。そこで、ほぼ1気圧に保たれる海底観測 用の装置筐体内の気圧を標準圧力として、海底観測中のセンサーのドリフト特性を 把握するための予備実験を実施した。高圧側(40 MP もしくは 70 MPa)での較正作 業の直後に、センサーを実験室内の大気圧に短時間(10 分間程度)暴露させ、その ときの計測値を別途用意した精密気圧計による計測値と比較することで、1気圧時 でのドリフト特性を把握した(図3-8-④-1(a)および(c)の 0MPa とラベルされ た時系列)。高圧側でのドリフト特性と1気圧時のドリフト特性が一致していれば、 標準圧力発生装置を用いなくても、観測装置筐体内の気圧を用いた較正により、実 際に観測される海底圧力データからセンサードリフトによるノイズ(みかけの圧力 変化)を除去できる。

(c)業務の成果

今回の室内実験の結果、高圧時と大気圧時のそれぞれでのドリフト特性は良い一 致を示す。両者の間の差の時間変化をみると、完全には一致しないものの、その時 間変化の割合は数 hPa/年程度で、その変動レートは非常に安定している。こうした 室内実験から、こうした手法に基づいて海底水圧観測を実施すれば、超長周期のノ イズを低減できるという見通しがたった。



図3-8-④-1 精密圧力標準(重錘形圧力天びん)を用いた水圧センサーのドリフト 特性把握実験の結果。

(a) S/N: 113933 に対する 70MPa 印加時と大気圧解放時(ゼロ点、0MPa)のドリフト時系 列および両者の残差時系列。(b)(a)で示した残差時系列の拡大図およびそれに対して直線 回帰した結果。(c)(d) S/N: 115380の例。図の見方は(a)(b)と同じ。

(d) 結論ならびに今後の課題

圧力センサーの長期ドリフトに起因する見かけの圧力変動成分を特定し、観測デ ータから除去するために、海底での長期連続観測と同等の条件下において、センサ ーの長期繰り返し較正実験を実施した。その結果、高圧時と大気圧時のそれぞれで のドリフト特性は良い一致を示すことがわかった。室内実験から、超長周期のノイ ズを低減できる手法の開発が今後の課題である。

(e)引用文献

なし

(3) 平成 31 年度業務計画案

南海トラフ・南西諸島海溝の領域において実施してきた長期観測型海底地震計・水圧計 を用いた地震観測を終了する。これまでの海底観測により得られたデータを解析し、南海 トラフ・南西諸島海溝領域の観測期間内における超低周波地震・低周波微動を含む地震活 動についてまとめる。ブイシステムを用いた海底水圧試験観測についてもシステムの概要 と得られたデータの評価をまとめる。

3.9 データ活用予測研究

(1)業務の内容

(a) 業務題目 「データ活用予測研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東北大学大学院理学研究科	教授	日野亮太
	准教授	太田雄策
	准教授	内田直希
国立大学法人京都大学大学院理学研究科	准教授	宮崎真一
国立大学法人京都大学防災研究所	准教授	西村卓也
	准教授	伊藤喜宏
国立大学法人名古屋大学	教授	鷺谷威
減災連携研究センター		
国立大学法人名古屋大学大学院	准教授	伊藤武男
環境学研究科附属地震火山研究センター		
国立研究開発法人産業技術総合研究所	主任研究員	行谷佑一
活断層・火山研究部門		
国立大学法人東京大学大学院理学研究科	准教授	安藤亮輔
国立研究開発法人海洋研究開発機構	グループリーダー	堀高峰
地震津波海域観測研究開発センター	特任技術研究員	中田令子
	特任技術研究員	兵藤守
	研究員	有吉慶介
国立研究開発法人理化学研究所	非常勤研究員	平原和朗
革新知能統合研究センター		

(c) 業務の目的

・地殻変動観測データのコンパイルと解析、データベース化

京コンピュータ等で計算される多数の地震シナリオとその前後のゆっくりすべり のシミュレーション結果のデータベースと、GEONET・DONET・水準測量や三辺・三角測 量等の地殻変動データや相似地震のデータをコンパイルした観測データベースを構 築する。

・プレート境界すべりの推移予測の妥当性検証と予測の試行

過去の地震やゆっくりすべりの観測データを逐次入力し、シミュレーションデータ ベースと比較する同化の模擬テストを行う。また、次の豊後水道のゆっくりすべりや 東北地方太平洋沖地震後の余効すべり等に対して予測の試行実験を行う。これらを通 して同化手法や予測の問題点を洗い出し、改善に必要な知見を得る。

・逐次データ同化手法の改良

精度の異なる複数データを用いる場合の尤度評価やリアルタイムでデータを取り 込みながらモデルパラメータや初期値を更新できるように同化手法を改善するとと もに、地殻変動以外の観測データ(特に地震活動データ)の同化手法を開発する。

(d) 7 か年の年次実施業務の要約

平成 25 年度:

これまでに整備した地殻変動データのコンパイル結果に最新データを加えて、追 加解析を行うとともに、過去の豊後水道や八重山のゆっくりすべりで逐次同化の模 擬テストを行う準備を進めた。また、観測データベースの仕様を検討し、東北地方 太平洋沖地震前後のデータのコンパイルを始めた。複数データの尤度評価手法の開 発を進めた。

平成 26 年度:

前年度までに整備した地殻変動データのコンパイル結果に最新データを加えて、 さらに追加解析を行うとともに、過去の豊後水道や八重山のゆっくりすべりで逐次 同化の模擬テストを行った。また、観測データベースの仕様を決め、東北地方太平 洋沖地震前後のデータを引き続きコンパイルした。複数データの尤度評価手法の開 発に着手した。

平成 27 年度:

東北地方太平洋沖地震前後のデータ整備・解析を進め、シミュレーションデータ ベースを構築した。地震前後のすべりに対する予測の試行実験に向けて、観測デー タをある程度定量的に再現するシミュレーションモデルを構築した。このようにし て得られたモデルによるシナリオでは、日本海溝における M9クラスの地震発生後 から次の宮城県沖地震発生までの間隔が、M9地震発生以前の繰り返し間隔よりも 短くなる傾向が見られた。また、西南日本よび南西諸島における地殻変動データの 整備・解析を進め、プレート沈み込みおよびゆっくり地震の解析を行った。更に、 プレート境界におけるすべり発展予測システム構築に向けてモデルパラメータを 逐次更新するデータ同化手法の開発に着手した。

平成 28 年度:

前年度に引き続き、東北地方太平洋沖地震前後のデータの解析と、シミュレーシ ョンデータベースの蓄積を行うとともに、データ同化手法を用いた推移予測の模擬 テストに着手した。前年度までに整理した地殻変動データを統合して解析するため、 日本列島のブロック運動モデルの解析手法の開発を実施した。西南日本における地 殻変動データ解析を継続し、ゆっくりすべりやプレート間固着といったすべりの時 空間発展予測システム構築に向けて、モデルパラメータを逐次更新する手法を開発 した。

平成 29 年度:

海・陸地殻変動観測データに基づき、西南日本では内陸ブロック運動も考慮して、 南海トラフ沿いならびに日本海溝沿いのプレート固着強度の空間分布とその経年変 化を調査し、その知見を、東北地方太平洋沖を対象にしたシミュレーションデータ ベースに反映させた。模擬テスト結果にもとづいて同化手法を改善するとともに、 豊後水道のゆっくりすべりで数値実験を行った。 平成 30 年度:

明治以降の水準測量・三角測量等の地殻変動データを用いて、明治期から現在ま での南海トラフ地震の1サイクル分をカバーする測地データベースを整備し、地震 発生サイクルシミュレーションでの検証の準備として、地震発生サイクル中の地殻 変動計算ならびに近代観測データとの比較検討を行った。海・陸地殻変動観測デー タに基づき、西南日本では内陸ブロック運動も考慮して、南海トラフ沿いならびに 日本海溝沿いのプレート固着強度の空間分布とその経年変化を前年度に引き続き調 査し、巨大地震発生につながる現象と、観測に必要なスペックを明確化した。その 知見を、南海トラフ・日本海溝を対象にしたシミュレーションデータベースに反映 させた。プレート境界の余効すべり・ゆっくりすべりのデータ同化手法の開発を継 続して進めるとともに、豊後水道・南海トラフ全域ならびに東北地方太平洋沖を対 象にしたシミュレーションデータベースを利用した既存データ同化手法での予測試 行実験を行った。

平成 31 年度:

昭和の南海トラフ地震以降の粘弾性応答とサブ2-1の3次元地下構造情報と整 合する南海トラフ3次元粘弾性構造モデルを用いて、地震&ゆっくりすべりシナリ オを構築するとともに、プレート境界すべりの推移予測の妥当性検証と予測の試行 における従来の予測手法の課題を踏まえて、改良した推移予測手法を実データに適 用し、妥当性を評価する。最終的な成果のとりまとめとして、これらの成果に基づ いて、今後地震本部の長期評価や南海評価検討会で活用される、地殻変動・地震活 動データの統合的なプレート境界固着の現状把握・推移予測システムの実現に向け た具体的な道筋を示す。

(e) 平成 30 年度業務目的

明治以降の水準測量・三角測量等の地殻変動データを用いて、明治期から現在まで の南海トラフ地震の1サイクル分をカバーする測地データベースを整備して、地震 発生サイクルシミュレーションでの検証行う。海・陸地殻変動観測データに基づき、 内陸ブロック運動も考慮して、南海トラフ沿いのプレート固着強度の空間分布とそ の経年変化を平成29年度に引き続き調査する。地震断層運動の準静的シミュレーシ ョンとプレート間の歪み蓄積との比較から断層構成関係パラメータを推定し、動的 シミュレーションにより、想定される破壊開始点と震源域の拡大範囲・地震規模を検 討する。平成29年度に開発した日本列島の粘弾性変形3次元有限要素法解析手法を 用いて、プレート境界の余効すべり・ゆっくりすべりのデータ同化手法の開発を継続 して進めるとともに、豊後水道・南海トラフならびに東北地方太平洋沖を対象に予測 試行実験を行う。
(2) 平成 30 年度の成果

①地殻変動データ整備および東北地方太平洋沖地震の余効変動解析

(a) 業務の要約

本プロジェクトでは定常的な沈み込みを再現した有限要素モデルの構築、ブロック 運動モデルによる解析、過去の地殻変動データの整理等を実施してきた。1)フィリ ピン海プレートの定常的な沈み込みを有限要素法により評価し、定常的な海洋プレー トの沈み込みが上盤側へ及ぼす影響を評価した。定常的なフィリピン海プレートの沈 み込みは、地震サイクルを超える長期的な変形場や絶対応力場に影響を与えると考え られる。よって、その変形場を評価することは沈み込み帯のテクトニック応力場を理 解する上で重要である。この解析の結果、プレートの定常的な沈み込みは、プレート 境界面に法線応力を生成し、瀬戸内海や紀伊半島、伊勢湾などの地形の生成に寄与し ていることが明らかになった。2)前年度に実施したブロック運動モデルの解析結果 について詳細な考察を実施した。3)過去の水準データを含む地殻変動データの整理 を継続した。4)地殻変動を非弾性変形と弾性変形の寄与とに分離し解釈した。

- (b) 業務の実施方法
- 1) 定常的な海洋プレートの沈み込み

定常的な海洋プレートの沈み込みを有限要素法によってモデル化を実施することに より、海洋プレートの沈み込み形状自体が生成する応力場と変形場を評価する。これは、 地震サイクルによってリセットされるような、固着に伴う応力・歪場とは異なり、地震 サイクルを超えた時間スケールで構築される応力・歪場を考察する。これを実現するた めに、西南日本を有限要素法によってモデル化を実施した(図3-9-①-1)。



図3-9-①-1 有限要素法にてモデル化した領域。青:大陸地殻。赤:大陸マントル。緑:フィリピン海プレート。紫:海洋マントル。左図:ソリッド図。右図:メッシュ図。

定常的なフィリピン海プレートの沈み込み帯を表現するために、フィリピン海プレートの沈み込みを運動学的に表現する(図3-9-①-2)。そのために、フィリピン

海プレートの上面に逆断層を、下面に正断層を面的に配置することでフィリピン海プ レートの沈み込みを表現した。各断層の滑りの方向と大きさはフィリピン海プレート のオイラーポールを用いて計算し、滑りの方向と大きさを与えている。

また、マントル領域をマックスウエル粘弾性帯、フィリピン海プレートおよび、大陸 地殻を弾性体だと仮定した地下構造を設定した。なお、定常的な沈み込みを表現するた め、粘性率は本質的には意味を持たず、粘弾性緩和が十分に完了している状態まで計算 を実施する。有限要素法の計算には Pylith ver 2.2.1 を用いた。



図3-9-①-2 有限要素法にて定常的な沈み込み帯を表現する概念図。左上図:断 面図(下図)の位置。下図:フィリピン海プレートの運動の概念図。右上図:下図の四 角の領域の拡大図。赤矢印は運動学的にフィリピン海プレートを表現。

2) ブロック運動モデルに基づく伊豆半島周辺のテクトニクス

前年度に構築したブロック運動モデルに基づき伊豆半島周辺のテクトニクスについ て考察を行った。本研究のブロック運動モデルは、西南日本全体での伊豆マイクロプレ ートを含んだモデル化である。伊豆半島の地殻変動はフィリピン海プレートの運動から 系統的にずれていることが、先行研究によって指摘されている。これらは、伊豆の本州 への衝突によって北進運動がブロックされていると考えられている。しかしながら、 GEONET の観測結果では、伊豆半島の付け根における基線長変化では短縮が観測されず、 微小な伸長が観測されている(図3-9-①-3)。この解釈は伊豆半島のテクトニクス を知る上で本質的に重要であり、南海トラフの東端部の地震発生ポテンシャルを考察す る上で重要である。



図 3 - 9 - ① - 3 GEONET 観測結果(2006 年から 2009 年)と名古屋大学海底地殻変動 観測結果から求めた変位速度ベクトル。

3) 過去の地殻変動データの活用

過去約 100 年間の測地データを用いてプレート間カップリングの時空間変動の推定に ついて検討を行った。既存研究では、水準測量データをクリーニングしてから、比高デ ータを観測データとして用いてきた。しかしながら、クリーニングには異常値に関する 閾値が必要であり、任意性がある。また、比高データは異常値の検出が難しい問題が内 在している。一方、比高データを逆解析に用いた場合の誤差伝搬は局所的にしか影響し かないため、扱いやすい利点がある。よって、データの異常値検出にプレート間カップ リングの時空間推定のアルゴリズムを適用し、解の安定と異常値検出の両方を同時に推 定することを行う。

4) 弾性変形と非弾性変形の分離

新潟周辺では 2011 年以前にひずみ集中帯と呼ばれる地域に顕著な東西短縮変形が生 じていたが、2011 年以後の地殻変動分布の短波長成分に注目すると、ひずみ集中帯では 局所的に短縮変形が継続しており、非弾性変形の結果として特定された(Meneses-Gutierrez and Sagiya, 2016)。しかし、非弾性変形の詳細な空間分布や地震前後の変化 は検討できていなかった。国土地理院の GEONET 観測点に加えて長岡平野周辺に設置さ れた 20 点の稠密 GNSS 観測点のデータを使用することにより、地震前後での短波長の地 殻ひずみ速度分布を比較し、その変形メカニズムを考察した。

(c) 業務の成果

1) 定常的な海洋プレートの沈み込み

長期的なフィリピン海プレートの沈み込みによって生じるプレート境界面直上の最 大剪断応力分布を図3-9-①-4に示す。図3-9-①-4の右図はマントルを粘弾 性として仮定して行った計算であり、マントルと地殻が接する緑色の線よりも深い領域 では、マントルの粘弾性の緩和効果により剪断応力は蓄積しないことがわかる。その一 方で、地殻とフィリピン海プレートが接する領域において、最大剪断応力の蓄積の空間 分布に不均質があり、プレート境界面上でも伊勢湾および、伊予灘の直下にて相対的に 剪断応力が強くなる傾向が見ることができる。このように、プレートの形状によって生 じる剪断応力の不均質は地震の発生の多様性を作り出す一因となっている可能性があ る。

図3-9-①-5はプレート境界面上の法線応力分布であり、マントル領域と接す る深部領域においても法線応力が緩和されていないことがわかる。このことは、法線応 力成分は収縮あるいは膨張に寄与する成分であり、本研究で仮定したマントル物質の Maxwell 粘弾性体は、剪断応力の緩和のみを仮定した、ニュートン流体であることに起 因する。また、この法線応力は、プレート形状の沈み込み方向に沿った曲率の変化によ って生じており、この法線応力成分は地震によって解消されないため、長期的に蓄積さ れる。このことから、法線応力が大局的な地形(例えば、瀬戸内海など)を形成する主 要な要因であると考えられる。



図3-9-①-4 海洋プレートの沈み込みに伴う、プレート境界面直上の最大剪断応 力の蓄積速度分布。緑色の線はマントルと地殻の境界線。左図:マントルを弾性体とし て仮定したモデル。右図:マントルを粘弾性として仮定したモデル。



図3-9-①-5 プレート境界面上の法線応力分布。赤色:海洋プレートが上盤側を おす力

2) ブロック運動モデルに基づく伊豆半島周辺のテクトニクス

ブロック運動モデルにより伊豆ブロックの剛体運動を推定した結果、伊豆ブロックと アムールプレートの衝突は観測されず、伊豆半島の付け根の西側のブロック境界で約 1.5mm/yrの拡大、東側のブロック境界にて約 4.6mm/yrの拡大速度が推定された(図3 -9-①-6:左図)。伊豆半島の付け根の東側のブロック境界では、相模トラフから沈 み込むフィリピン海プレートの北進の速度は伊豆ブロックの北進の速度よりも速いた め、フィリピン海プレートが伊豆ブロックを追い越す形で剛体運動が観測される。特に、 伊豆半島の付け根の東側では、剛体運動と固着に伴う上盤側の弾性変形により、GNSS で 観測された地殻変動場は解釈できる(図3-9-①-6:右図)。



図3-9-①-6 伊豆半島周辺部の剛体運動によるブロック間の相対運動分布(左図) と相模トラフから沈み込むフィリピン海プレートの固着に起因する弾性変形(右図)。

3) 過去の地殻変動データの活用

水準測量、三角・三辺測量、検潮データおよび GNSS データを用いて、プレート間の 固着の時空間変化を推定した(図3-9-①-7)。プレート間固着の時空間解析の残 差の解析により、水準測量のクリーニングを実施した。しかしながら、推定されたプ レート間固着の時空間変化は既存研究により指摘されているスロースリップ等の変動 が再現されなかった(例えば、小林、2012)。このことは、水準測量の比高データを逆 解析に直接用いたことで、データの感度が低下した可能性がある。



図3-9-①-7 プレート間の固着の時空間変化の積算値(弾性体を仮定)。

4) 弾性変形と非弾性変形の分離

長岡平野周辺において、東西ひずみ速度分布の短波長成分について経度方向の分布 を図3-9-①-8に示す。北緯37.4~37.6度では、2011年東北沖地震前のパター ンと地震後のパターンと、ピークの位置や振幅が有意に異なることが分かる。短波長 成分が非弾性変形のみを表すと考えると、その分布は東北沖地震の前後で変化しない と考えられるため、この結果は,非弾性変形以外の効果も反映している可能性がある。

そうした可能性の一つとして、弾性的な不均質構造の影響がある。実際、Ohzono et al. (2012)は、東北沖地震に伴い観測された地殻変動分布と、半無限弾性体を仮定し て震源モデルから予測した地殻変動分布の比較を通して、新潟周辺では 10~20%程度 観測された伸張変形が過剰であることを指摘した。この結果は、新潟地域の地殻の弾 性定数が 10~20%程度小さいことを示唆する。このような弾性不均質の影響がある場 合、その効果は、地震前の短縮変形と地震後の伸張変形とでは逆向きに現れる。地震 前後で不変の非弾性変形の効果と地震前後で反転する弾性不均質の効果を組み合わせ ると、地震前後でひずみ速度の短波長分布がずれる可能性がある(図3-9-①-9)。



図 3 - 9 - ① - 8 稠密 GNSS データから推定した長岡平野周辺における東西方向のひ ずみ速度分布。赤は 2011 年東北沖地震前、青は地震後の分布を示す (Meneses-Gutierrez et al., 2018)。



図 3 - 9 - (1 - 9) 短波長ひずみ速度分布に関する弾性不均質と非弾性変形の寄与の 概念図 (Meneses-Gutierrez et al., 2018)。

このような考えに基づき、地震前後のひずみ速度データを用いて非弾性変形に対応 する断層の位置とすべり速度、弾性不均質に対応する範囲と不均質の程度をパラメー タとして、最適な値を推定した。その結果、最適なケースでは、非弾性変形を起こす 断層すべりが既存断層の位置と整合的に推定され、弾性不均質の範囲も堆積盆地の広 がりと整合的となったが、不均質の程度については、周囲の基盤岩より弾性定数が70% 程度小さいという結果になった。この結果はOhzono et al. (2012)と一見矛盾するよ うに見える。新潟周辺では地表から深さ5km 以上の範囲が厚い堆積層となっており、 基盤岩との間には水平なデタッチメント断層の存在が推定されている。こうしたデタ ッチメント断層が存在すると、地震前や地震後の定常的な変形場では、地殻変形はデ タッチメント断層より上部の堆積層の性質を反映するが、地震時の瞬間的な変形応答 は、堆積層と下の基盤岩とが結合した形で応答する。このように考えれば、地震時と 地震前・地震後の力学応答の違いを総合的に解釈することが可能となる。

- (d) 結論ならびに今後の課題
 - 1) 定常的な海洋プレートの沈み込み

海洋プレートの沈み込みに伴い発生する海溝型地震は、海洋プレートの滑り遅れに伴 い生じる弾性的な歪みの蓄積を解消する。しかし、定常的な海洋プレートの沈み込み によって生じる応力場は主にプレート境界の法線応力場を生成するため、海溝型地震 によっては解消されない。また、地震の発生域においても、定常的な海洋プレートの 沈み込みによって不均質な応力分布ができることが明らかになった。このことにより、 地震の発生場を考察する上でバックグラウンド応力の分布が重要な役割を果たすと考 えることができる。今後、地震の発生によって解消される応力場はバックグラウンド 応力も含めて考えて行く必要があると考えられる。

2) ブロック運動モデルに基づく伊豆半島周辺のテクトニクス

ブロック運動モデル解析により、伊豆半島周辺の地殻変動の考察を行った。伊豆半島 の付け根に設置された GEONET 観測により伊豆ブロックの衝突に伴う、短縮は観測され ていない。この原因として、相模トラフから沈み込むフィリピン海プレートは伊豆ブ ロックの北進よりも速く、固着に伴う弾性変形が主な原因であると考えられる。この ことは、伊豆ブロックのテクトニクスを考える上で重要であると考えられる。

3) 過去の地殻変動データの活用

過去の測地データを活用し、プレート間カップリングの時空間変化の推定し、その残 差解析を行うことで、データのクリーニングにフィードバックさせる手法の検討を行 った。しかしながら、既存研究(小林、2012)によって指摘されている、スロースリッ プなどが再現できない等の問題があり、水準測量データの感度の改善等が必要だと考 えられる。

4) 弾性変形と非弾性変形の分離

新潟周辺の稠密 GNSS 観測データを用いた解析により、2011 年東北沖地震前後の地殻 変動分布の比較から、非弾性変形および弾性不均質による効果を分離した。解析結果 は、地殻の変形応答が加えられる応力変化の時間スケールに依存する可能性を示して おり、地殻変動データの解釈においても注意が必要である。

(e)引用文献

- 小林昭夫, 高知市付近で 1978~1980 年頃に発生した長期的スロースリップ, 地震 2, 64, 63-73, 2012.
- Meneses-Gutierrez, A. and T. Sagiya, Persistent inelastic deformation in central Japan revealed by GPS observation before and after the Tohoku-oki earthquake,

Earth Planet. Sci. Lett., 450, 366-371, 2016.

- Meneses-Gutierrez, A., T. Sagiya, and S. Sekine, Crustal deformation process in the Mid-Niigata region of the Niigata-Kobe Tectonic Zone as observed by dense GPS network before, during and after the Tohoku-oki earthquake, J. Geophys. Res., 123, doi:10.1029/2018JB015567, 2018.
- Ohzono, M., Y. Yabe, T. Iinuma, Y. Ohta, S. Miura, K. Tachibana, T. Sato, T. Demachi, Strain anomalies induced by the 2011 Tohoku Earthquake (Mw9.0) observed by a dense GPS network in northeastern Japan, Earth Planets Space, 64, 1231-1238, 2012.

②東北地方太平洋沖地震前後の地殻活動の特徴

(a) 業務の要約

東北地方の海陸地殻変動観測・地震データを用いて、2011年東北地方太平洋沖地震 (以下、東北沖地震)の発生以前および以降に発生したプレート間固着強度の時空間ゆ らぎの予測実験を継続して進めた。

まず、東北沖地震前後の関東地方でのプレート境界およびその浅部での地震活動に ついて検討を進めた。その結果、プレート境界で約1年周期の「スロースリップ」(ゆ っくりすべり)が発生し、それに伴って水が浅部に排出されていることを明らかにし た。このような現象はスロースリップによってプレート境界の水が移動することを示 す初めての観測であり、プレート境界地震の発生予測の高度化に向けた極めて重要な 成果である。また、東北沖地震後の、三陸沖海溝近傍でのスロースリップについても 調べた。東北地方の沖合では、近年、超低周波地震(VLFE)が見つかるほか、東北沖 地震後に設置された GPS-音響結合方式による、複数点での海底地殻変動観測が行われ ている。本研究では、東北沖地震前に、小繰り返し地震および GPS データから周期的 なスロースリップが推定された三陸沖において、東北沖地震後のスロースリップの発 生状況を小繰り返し地震、VLFE および海底地殻変動観測データから推定した。

さらに、日本海溝における低周波微動の活動度の時間変化を、海底地震計データか ら明らかにした。具体的には、東北沖地震後に設置された短周期海底地震計(S-OBS) データから日本海溝の特に岩手沖におけるスロー地震活動の時間変化に注目した解析 を実施した。その結果、スロースリップイベントのすべり速度を反映していると考え られる小繰り返し地震の活動度と、本研究で新たに検出した低周波微動の活動度が一 致することが明らかになった。これは低周波微動の活動が背景のゆっくりすべりの加 速を反映していることを示唆する結果である。

(b) 業務の成果

1) プレート境界からの繰り返し脱水

2004 年から 2015 年に発生した地震を用いた解析により、繰り返し地震の活動が約 1年周期で活発化すること、その活動と同期してプレート境界直上の地震波の減衰特 性が大きくなること、さらにそれから数カ月遅れて浅い地震活動が活発化することが 明らかになった(図 3 - 9 - (2 - 1)。これら一連の活動は、以下のように考えると、 その時空間変化を説明できる(図 3 - 9 - (2 - 2)。

- i)繰り返し地震の活発化は、約1年周期で発生するプレート境界でのスロースリッ プが原因である
- ii)スロースリップに伴ってプレート境界の水が上盤に排出され、地震波の減衰を 大きくする
- iii)排出された水は数カ月かけて浅部に上昇し、上盤プレート内で地震を誘発する

この研究成果はスロースリップによって「水の移動」が起こることを示している。解 析領域である茨城県南西部では、プレート境界から放出された水により上盤プレート 内で地震活動が誘発された。しかし、上盤プレートの透水性が低く水が抜けにくい場 合には、水はプレート境界を伝わり浅部に移動すると考えられる。移動した水がプレ ート境界の破壊強度を低下させ、そこで地震を誘発する可能性がある。これは、これ まで指摘されていなかったスロースリップの新しい役割と考えることができる。

今回の研究で明らかにした「プレート境界からの排水により地盤の構造が変化し、 地震が誘発される」という現象は、人工的な注水実験でみられる活動の推移とよく似 ている。注水実験では、誘発される地震数は水の注入量に比例し、注水が終わると地 震活動が低調になること、注水により岩盤の地震波速度が変化することが報告されて いる。この研究成果は、関東地方の深さ約40 kmの地下において「天然の注水実験」 が進行していることを示唆している(Nakajima and Uchida, 2018)。

2) 東北沖地震後のスロースリップ

繰り返し地震データは、Uchida et al. (2016)による波形の相似性に基づいて抽出 した繰り返し地震を用い、すべり速度の時空間変化を求めた解析を 2016 年まで延長し た。超低周波地震は、Matsuzawa et al. (2015)による、陸上広帯域地震計を用いたテ ンプレートマッチングによる検出を 2016 年まで延長した結果を用いた。海底地殻変動 観測は、Tomita et al., (2017)による、東北沖地震後に設置された GPS-音響結合方 式による海底地殻変動観測データを再解析した結果を用いた。

これらを検討した結果、三陸沖の海溝近傍について、繰り返し地震から推定された 東北沖地震後のすべりレートは、大きな変動を繰り返しながら低下していく傾向が見 られた(図3-9-2-3)。これは、約3年周期のすべりレートの変動が見られた三 陸沖海溝近傍では余効すべりも、単調には減少しておらず、時間変動をしていること を示す。また、大きなすべりレートのピークが見られる 2015 年に着目すると、この時 期には超低周波地震の活動が活発(図3-9-2-3bの星および d の積算数)で、 海底地殻変動観測点も東向きの変動(図3-9-2-3c および d の平均東西変位) をしていることがわかった。両者は、浅部プレート境界でイベント的なスロースリッ プがおきたために生じた可能性が高い。繰り返し地震から求めた 2013 年および 2015 年の海底地殻変動観測時の間のすべり量は約 14cm で、これにより期待される海底の変 動(約10cm)と海底地殻変動観測による同期間の観測は調和的である。また、2015年 のイベント中に発生した最大地震は、M6.9 でこれを含む M5.5 以上の5つの地震によ る海底の地震時変動は最大約2cmと推定され、この期間のすべりは主に非地震的に進 行したと考えられる。一方、超低周波地震は、繰り返し地震とは空間的に棲み分けて おり、場所により摩擦特性が異なることを示唆する(内田・他、2018)。

3)日本海溝における低周波微動の活動度の時間変化に関する研究

日本海溝における低周波微動の活動度の時間変化を、海底地震計データから明らか にした。日本海溝においては、Matsuzawa et al. (2015)によって陸上の広帯域地震 計を用いて VLFE が見出され、東北沖地震後の地震時すべり域の周縁で発生したと考え られるスロースリップイベントのすべりの加速に伴い発生したことが示唆されている。 一方で陸上観測点と VLFE 震源は遠く、VLFE の波形の特徴やその活動度の詳細は明ら かになっていない。そのため H30 年度は、東北沖地震後に設置された短周期海底地震 計 (S-OBS) データ (図3-9-2-4)から日本海溝の特に岩手沖におけるスロー地 震の活動の時間変化に注目した解析を実施した。

Matsuzawa et al. (2015)により推定された VLFE の発震時刻に着目し、S-OBS デー タを確認したところ、発震時刻前後で水平2成分の振幅の増大が確認された。またこ れら振幅の大きさ順と、推定された震源と S-OBS 観測点の震源距離の長さ順が調和的 であったことから、先行研究で推定された震源近傍で発生した、時間的に同期したイ ベントであることが示唆される。さらにそれらイベントの波形は通常地震と比べ高周 波成分が弱いことから、低周波微動である可能性が高いと考えられる。そこで、基準 となる微動を選定し、震源と規模が同程度のイベント検出アルゴリズムを開発するこ とで低周波微動イベントの時間発展を調べた。その結果、スロースリップイベントの すべり速度を反映していると考えられる小繰り返し地震の活動度と本研究で新たに検 出した低周波微動の活動度が一致した(図3-9-20-5)。これは低周波微動の活動 が背景のゆっくりすべりの加速を反映しているものと考えられる。

354



図 3-9-2-1(a) 上盤地震の地震数、(b) 繰り返し地震から推定したプレート境界のすべりレート、(c) 地震波減衰の時間変化とプレート境界のすべりレート。いずれも 0.4 年の時間窓で 0.1 年の移動平均をとった値を示す。



図3-9-2(a) スロースリップ発生時と(b) スロースリップ終了後の解釈図。



図3-9-②-3 三陸沖海溝近傍の繰り返し地震活動(a)と超低周波地震活動(b)、4 つの海底地殻変動観測点の東西変位(c)および繰り返し地震から推定したすべりレート(d)。図dにおいては、超低周波地震の積算数および、海底地殻変動観測点の平均変位も示した。



図3-9-②-4 解析に用いた OBS 観測点配置図。赤逆三角、正六角形、丸、点、茶色 コンター、星はそれぞれ OBS 観測点、OBS 設置期間中に発生した Matsuzawa et al. (2015) で推定された VLFE 震央、繰り返し地震震央、気象庁カタログ記載の M2以上の通常地震 震央、1994 年三陸はるか沖地震の地震時最大すべり量の 50%以上を記録した領域、過去 の代表的な巨大地震の震央を示す。VLFE と繰り返し地震のシンボルの色は解析開始日か らの経過日数に対応する。



図 3-9-2-5 新たに検出した低周波微動と同領域で発生した繰り返し地震の積算 個数変化。孤立型微動は微動の中で特に時系列前後で振幅の増大が見られない継続時間 の比較的短いイベント。

(c)結論ならびに今後の課題

H30年度は東北地方の海陸地殻変動観測・地震データを用いて、2011年東北地方太 平洋沖の発生以前および以降に発生したプレート間固着強度の時空間ゆらぎの予測実 験を継続して進めた。関東地方でのプレート境界およびその浅部での地震活動につい ては、沈み込みプレート境界で起きるスロースリップに伴う水の挙動を推定した。ス ロースリップ発生時にプレート境界から水が浅部に排出され、それがより浅部の地震 活動を変化させており、注水実験と似た現象が関東地方の地下で起きている可能性を 示唆する。また、東北沖地震後の、三陸沖でのスロースリップについても、小繰り返 し地震,VLFE および海底地殻変動観測データの3つを用いて調べた。これらの現象は 時間的同期しており、空間的には VLFE と繰り返し地震の相補的分布が明らかになっ た。さらに海底地震計データから、基準となる低周波微動と類似したイベントの検出 アルゴリズムの開発を行い、低周波微動の発生がスロースリップイベントのすべり速 度を反映する小繰り返し地震の活動度と一致することを示した。

このように東北地方太平洋沖地震前後のプレート間固着強度の時空間ゆらぎ等に関 する諸情報に関する整理は確実に進みつつある。次年度もこれらの知見の整理を着実 に進めるとともに、個別の知見を総合的に解釈する作業を、シミュレーション等を通 じて実施し、その成果を取りまとめる必要があると考える。

(d)引用文献

Matsuzawa, T., Y. Asano, and K. Obara, Very low frequency earthquakes off the Pacific coast of Tohoku, Japan, Geophys. Res. Lett., 42(11), 4318–4325,

doi:10.1002/2015GL063959.2015.

Nakajima, J., and N. Uchida, Repeated drainage from megathrusts during episodic slow slip, Nat. Geosci., 11(5), 351-356, doi:10.1038/s41561-018-0090-z, 2018.

- Tomita, F., M. Kido, Y. Ohta, T. Iinuma, and R. Hino, Along-Trench variation in seafloor displacements after the 2011 Tohoku earthquake, Sci. Adv., 3(7), doi:10.1126/sciadv.1700113, 2017.
- 内田直希・本荘千枝・富田史章・松澤孝紀・Roland Bürgmann, 東北地方太平洋沖地震 後の周期的スロースリップ:繰り返し地震,超低周波地震および海底地殻変動観測に よる検出,日本地震学会 2018 年秋季大会, S23-25, 2018.
- Uchida, N., T. Iinuma, R. M. Nadeau, R. Bürgmann, and R. Hino, Periodic slow slip triggers megathrust zone earthquakes in northeastern Japan, Science, 351(6272), 488-492, doi:10.1126/science.aad3108, 2016.

③予測システムの検証・予測試行実験

(a) 業務の要約

南海トラフ地震を対象とした多数の地震サイクルシミュレーション結果の整合性を 評価するには、実観測データとの比較検討が重要である。今年度は、これまでに蓄積され た地震サイクルシミュレーションに伴う地殻変動と近代観測データ(GPS データ)の比較 を実施し、次年度に実施予定である、明治以来の測量データまで考慮した比較検討のための 準備を行った。

(b) 業務の実施方法

南海トラフ地震を対象に行なった様々な地震サイクルシミュレーション結果からは、 地震の繰り返し発生を模擬する数理モデルに対し種々の条件を仮定することで、多様性 のあるプレート境界のすべりの時空間変化が予測される。予測されたすべりの時空間変 化から、過去から現在までの実際のプレート境界のすべりの変動に整合するものを絞り 込むことは、プレート境界の挙動を把握・予測するために重要である。このため、明 治以来の測量データ(水準測量・検潮データ)や、1990年代から実施されている GNSS による地殻変動観測データと地震サイクルシミュレーションによるすべりの時空間変 化から期待される地殻変動の整合性評価を計画しており、今年度は、このうち GNSS デ ータとの比較検討を実施したため、それについて記述する。

(c)業務の成果

蓄積された 200 を超える南海トラフ地震を対象とした地震サイクルシミュレーション結果(以降、シナリオと呼ぶ)に対し、半無限弾性媒質中の三角形断層セルによる地 表変形応答が計算できる Comninou and Dundurs (1975)の方法を使ってシナリオに 伴う地殻変動の時系列を計算している。なお、計算対象とした地殻変動の観測点は国 土地理院による GEONET 観測点のうち、実観測データが南海トラフから沈み込むフィリ ピン海プレート上面の固着すべりによって主に影響を受けると考えられる西南日本の 南海トラフ沿いの9点である(図3-9-3-1の地図参照)。全てのシナリオに対し 計算された地殻変動と、1996年以降の17年、および最近約2年の実 GNSS データとの 整合性をシナリオと実データとの残差によって評価した(図3-9-3-1の左上が、 1996年以降のデータとの比較。下図が最近2年のデータとの比較)。なお、各シナリオ 中で実データと最も整合する部分を選択している。図3-9-3-1には、全シナリオ をデータとの整合性で順位付けを行った上で均等にシナリオを取り出して表示しており、 大きな尤度に対応する暖色系のシナリオほど整合性が高いプロットになっている。ほと んどのシナリオが実 GNSS データに整合する部分(期間)を有しており、観測データに対 し、一定の整合性を持つことが見て取れるが、紀伊半島南端の観測点(940070)では、右 上図・下図の両方で、シナリオ毎にデータとの整合性に差があることがわかる。特に、 長期間での整合性を見た場合(図3-9-3-1の左上)、940070 観測点でシナリオ毎 のばらつきが大きくなっており、寒色系から暖色系に尤度が大きくなる順で観測データ との整合性がよくなっていることが見て取れる。つまり、この観測点での沈降速度が小 さめなシナリオほど整合性がよくなっており、1996年以降でみると紀伊半島下でのプ レート間の固着がそれほど大きくないことを示している。ただ、シナリオ中の地震発生 タイミングを考慮していないこと、水準・検潮データといった昭和の南海トラフ地震前後 の変動を含むデータを考慮していないことなどから、より長期的にみて紀伊半島での固着 が時間変化しているか否かを把握することは困難であり、シナリオの絞り込みとして十分 機能しているとは言い難い。このため、地震前後を含む長期の地殻変動解析まで考慮した 比較検討は次年度の重要な課題となる。



図3-9-③-1 南海トラフ地震サイクルのシナリオに伴う地殻上下変動の時系列 (赤系統の線)とGEONET によるGNSSデータの時系列(上下成分の日座標値が丸印)の比 較例。右上のカラーパレットの色でシナリオと観測データの整合性を表現している(大き な尤度に対応する暖色系の色ほど整合)。地図は比較に用いたGNSS 観測点(9点)の位置 と観測点コード。左上図の時系列が1996年ごろから2013年までの約17年分の観測とシ ナリオの比較。下図の時系列が2017年12月から2019年2月までの観測とシナリオの比 較。

(d)結論ならびに今後の課題

南海トラフ地震のシナリオに伴う地殻変動と近代観測データである GNSS データと の比較を再開し、利用可能な測地測量データを考慮した観測データとシナリオの比較 検討の準備を行った。今後は本プロジェクトの成果としてコンパイルされつつある、 明治以降の測地測量データまでを考慮にいれた比較検討とシナリオの絞り込みを行う 必要がある。

(e)引用文献

Comninou, M., and Dundurs, J., The angular dislocation in a half space, Journal of Elasticity, 5(3-4), 203-216, 1975.

④余効すべり・過去のゆっくりすべり同化手法の開発

- (a) 業務の要約
- 1) MCMKF(モンテカルロ混合カルマンフィルタ)によるすべり推定(東海 SSE)

GNSS 等による地殻変動の連続時系列データから断層のすべりの時空間変化を推定 する手法である改良型のネットワークインバージョンフィルター(モンテカルロ混合 カルマンフィルタ、以下 MCMKF)(Fukuda et al., 2008)を、1996年から2010年までの 東海地方の GNSS 時系列データに適用し、プレート境界で発生するスロースリップイベ ント(SSE)の時空間変化を推定した。その結果、MCMKF の優位性を活かして、浜名湖直 下の長期的 SSE と小規模な短期的 SSE が同時に推定され、両者のすべりの時空間発展 が推定できた。

2) EnKF(アンサンブルカルマンフィルター)による摩擦パラメータ推定とすべり発展 予測(豊後水道LSSE:数値実験)

スロースリップイベント (SSE) の活動は外部からの応力に敏感で、応力計として注目 され (Obara and Kato, 2016)、SSE 域の摩擦パラメータ推定およびすべり発展予測は、 巨大地震震源域における応力状態を調べる上で大きな意味を持つ。そこで、H29 年度に 引き続き、豊後水道長期的スロースリップイベント (LSSE) 領域においてアンサンブル カルマンフィルター (EnKF) (淡路・他、2009)適用の可能性を探る数値双子実験を行っ た。

今年度は、まず、実データ解析に向けて、1994年以来のGEONETの観測網拡充に伴う、 観測点数および観測点配置の変動が推定結果に及ぼす影響を調べた。その結果、観測点 が少ない時は収束が遅いが、観測点が増加するにつれ、収束が加速しうまく推定できる ことが分かった。これまでは、南海地震震源域の固着状態が変わらないとして、双子実 験をしていたが、そこで南海地震サイクル(固着状態が変動)中での豊後水道 LSSE の活 動の変動を調べた。その結果、これまで言われていたように(例えば、(Matsuzawa et al., 2010))、地震サイクルの後半には LSSE の発生間隔が短くなり、活動度が上がるこ とが確認された。 3) EnKF(アンサンブルカルマンフィルター)による摩擦パラメータ推定とすべり発展 予測(東海および豊後水道LSSE:数値実験)

H29 年度のプロジェクト成果として開発された、豊後水道で発生する長期的 SSE に関連する地殻変動データの逐次同化による、すべり・摩擦パラメータ推定の数値実験コードに対し、南海トラフ域の複数域で発生する長期的 SSE を考慮した処理が適用できるよう、計算コードの並列化を行った。また並列化したコードを利用して、南海トラフ域に2つの仮想 SSE 域(東海・豊後水道)を設定し、18 領域に分割した固着域の固着速度分布を推定する同化実験が実行可能なことを確認した。

(b) 業務の実施方法・成果

1) MCMKF(モンテカルロ混合カルマンフィルタ)によるすべり推定(東海 SSE)

1996 年 1 月から 2010 年 12 月までの期間において、東海地方の GEONET 観測点 154 点 の GNSS データから日座標値を算出し、MCMKF を用いてフィリピン海プレートと陸側プ レートの境界面におけるすべりの時空間発展を推定した。前年度の解析では、SSE 以外 の原因による地殻変動の補正が上手くいかなかったため、長期間継続するすべりを議 論できなかったが、今回の解析では定常トレンドと 2004 年紀伊半島沖地震時及び地震 後の変動、2000年三宅-神津島火山活動に伴う地殻変動やアンテナ交換に伴うオフセッ ト、季節成分を推定・除去した上で解析を行い、2000年から始まった長期的 SSE の再 解析を行った。2000 年から 2006 年までの長期的 SSE による累積すべり量(図3-9-④-1)は、最大 27cm に達し、モーメントマグニチュード(Mw)7.1 相当のモーメン トを解放した。長期的 SSE は浜名湖付近で 2000 年後半に始まり、すべり域を徐々に北 方へ拡大しながら2003年頃にモーメント解放速度が最大になり(図3-9-④-2)、 2006年頃から徐々にモーメント解放速度が低下したが、2010年までわずかなモーメン ト解放が続いており、SSE がいつ終了したかは明確ではない。また、この期間に 13 個 の短期的 SSE (Mw5.9~6.2) が推定され、長期的 SSE のすべり速度が大きかった 2003~ 2004 年では、長期的 SSE のすべり域の内部における短期的 SSE も複数回推定された。 このような推定結果は、短期的 SSE が長期的 SSE と相互作用している可能性を示唆す るものである。



図 3-9-④-1 2000~2006 年の東海長期 SSE のすべり分布(黒線)と 1997~1999 年のすべり欠損速度分布(青線)の比較。すべり量の単位はそれぞれ cm 及び cm/年。



図 3 - 9 - ④ - 2 SSE のモーメントの時間発展(赤線)と深部低周波微動の日別発生 回数(青線)。

2) EnKF(アンサンブルカルマンフィルター)による摩擦パラメータ推定とすべり発展 予測(豊後水道 LSSE:数値実験)

図3-9-④-3に昨年度作成した豊後水道 LSSE 断層モデル・固着域および GEONET

観測点の位置関係を示す。半無限均質弾性体中に、傾斜角 15°、走行方向に 120 km、傾 斜方向に 100 kmの LSSE 断層(すべり速度強化域:青色)を設置し、LSSE 断層中心に半 径 35 kmの円形パッチ(すべり速度弱化域:赤色)を置き、その上部に傾斜角 5°、長さ 360km、幅 40km の固着域(茶色)を設置している。プレート収束速度 V_{p1}を 6.5cm/年、 固着域におけるすべり遅れ速度(摩擦則に従わずデータから拘束される)を 6.0cm/年と 仮定し、速度状態依存摩擦則に従う摩擦パラメータを調整し、豊後水道 LSSE に対応する 繰り返し間隔約7年の LSSE 活動を再現した。このすべり発展モデルを用いて、GEONET 観測点における変位速度の傾斜方向成分を模擬観測データとして、速度状態依存摩擦則 における直接項の摩擦パラメータ A、すべり速度弱化を表す摩擦パラメータ B-A(円形パ ッチ内)、特徴的すべり距離 L、および固着域におけるフォワードすべり速度 v_{1ock}=V_{1ock}=V_{p1} (v_{1ock}の真値は-6.0cm/年と設定、V_{1ock}は固着域におけるすべり速度を表す)を EnKF により逐次的に推定する。なお、アンサンブル数は 100、同化間隔は 10 日としている。

まず、GEONET 観測網がこれまで順次観測点を増強してきた影響を評価した。図3-9 - ④-4に、GEONET 観測点数が7、31、55、93と増加した時点における観測点分布の変 遷を示す。ただし、これまでの観測点分布(図3-9-④-3)に対して、日向灘で SSE が発生している(例えば、(Ozawa, 2017))ことを考慮して、九州南部の観測点は解析から 除外し、代わりに北部の観測点(青点)を追加して 93 観測点としている。これらの観測 点配置が時間的に変動した場合に、それぞれの観測点での模擬観測値を作成し、逐次的 に EnKF により摩擦パラメータ A、B-A、L および vlockの推定を試みた。図3-9-④-5に、使用観測点数(下図)の変遷に伴う摩擦パラメータ A、B-A、L および vlockの真値 に対する逐次推定値の変動を示す。ここで、緑色の帯は、LSSE 発生期間を示している。 左図の観測点が増えていく場合の推定から分かるように、同化を始めた時は、初期アン サンブルの影響と観測点数が少ない影響が相まって、かなり暴れているが、最初の LSSE 終了時にはかなり収束しており、その後観測点数が変遷しても収束状態に変化は見られ ない。右図には最初の7点の観測点分布が続く場合の推定結果を示している。この場合 でも、収束速度は遅いが真値に収束していく様子が伺える。このように7点程度でも LSSE 断層領域の真上に観測点が分布していると推定可能と言える。また、これらの結果 は、近傍のプレート境界での固着・すべりの影響を避けるため、LSSE 断層直上の限られ た範囲に観測点分布を限ることになるが、真上にある観測点を使う限りは解析可能であ ることを示している。

次に、南海トラフ巨大地震の地震サイクル中の豊後水道 LSSE 活動の変動を調べた。図 3-9-④-6に、結果を示す。上図は、1自由度のバネ・スライダーモデルで、底面 に速度状態依存摩擦則に従う摩擦が働く系を考え、繰り返し間隔約 120 年の南海地震サ イクルを模したもので、LSSE シミュレーションで与えた震源域の $v_{1ock}=V_{1ock}-V_{p1}$ の時間変 化を表す。最初 $v_{1ock}=0$ cm/年とし、100 年目に地震終了後に対応してこの値になる設定 で、後は南海地震サイクルを再現する v_{1ock} を与えている。中図は、その際の LSSE パッ チ中央部におけるすべり速度 V を示している。下図に、LSSE の繰り返し間隔 Tr の時間 変動を示す。シミュレーションの初期値は、すべてのセルでの速度を V=0.5V_{p1}とし、定 常状態を仮定し θ =L/V を与えている。この初期値の効果で最初の数サイクルは安定して いないが、その後安定した LSSE サイクルになる。100 年目から vlock の変動の影響を受け、LSSE 活動に変動がみられる。

まず、この摩擦パラメータ分布では、LSSE の繰り返し間隔は、最初の v_{lock}=0 cm/年で は、5.5年程度で、固着した状態 (v_{lock}~-0.65cm/年)では、7年程度になる。最初の南 海地震は 225 年に発生するが、その直前の3サイクルで、v_{lock}の増加と共に、発生間隔 が 4.7 年程度と短くなり、中央部での LSSE 中のすべり速度は増加して、地震とともに大 きな速度を持つようになる。南海地震後は発生間隔が伸び (すべり速度が小さくなり)、 数サイクルで南海地震震源域の固着状態に対応する LSSE 活動へと収束する。こういっ た予測は、これまでのシミュレーションでも得られている。このように南海地震サイク ルの後半では LSSE の活動に変動が見られ、また v_{lock}も変動するが、我々の EnKF による 逐次推定は LSSE 域の V および摩擦パラメータに加え、v_{lock}も含まれており、追跡可能で ある。



図 3-9-④-3 豊後水道 LSSE の断層モデル(青色: すべり速度強化域、赤色: すべり速度弱化域)、固着域(茶色)および GEONET 観測点分布。



図3-9-④-4 GEONET 観測点配置の変遷(各図の左下の数字は観測点数を表す)。



図3-9-④-5 使用観測点数(下図)の変遷に伴う摩擦パラメータA、B-A、Lおよび v_{lock}の真値に対する推定値(Est/True)(赤点:各アンサンブル値、青線:平均値)の 変動。左図は、下図のように、使用観測点数が増えているが、右図は、7点のままの場 合の推定結果を示している。緑色の帯は、LSSE 発生期間を示す。



図 3 - 9 - ④ - 6 南海地震サイクル中の豊後水道 LSSE 活動の変動。
上図:計算で与えた南海地震サイクルを模した固着域の v_{lock}の時間変動。
中図: v_{lock}に対応する計算された LSSE 断層中央部の変位速度 V の時間変動。
下図: v_{lock}に対応する計算された LSSE の繰り返し間隔 Tr の時間変動。

3) EnKF(アンサンブルカルマンフィルター)による摩擦パラメータ推定とすべり発展 予測(東海および豊後水道LSSE:数値実験)

H29 年度のプロジェクト成果として、豊後水道で発生する長期的 SSE に関連する地殻 変動データの逐次同化により、すべり・摩擦パラメータを推定するコードが開発された。 その開発コードの有効性は、推定すべき真の状態が既知であると仮定した、SSE に伴う すべり・摩擦パラメータ推定の数値実験により確認された。一方、開発コードは対象プ レート境界面を平面断層近似しており、実データへの適用には修正が必要である。また、 アルゴリズム的にも、EnKF と呼ばれる並列処理向けの同化手法を採用しながら単一 CPU での逐次処理コードとして実装されているなど、大規模問題への適用に向けてはコード 改良の余地が残っている。このため今年度は昨年度開発されたコードの一部改良(曲が った断層への適用・並列処理の実装)を行うとともに南海トラフ全域を対象とした数値 実験によってその動作確認を行う。

まず、H29 年度プロジェクトの成果として開発された、豊後水道で発生する長期的 SSE に関連する地殻変動データの逐次同化による、すべり・摩擦パラメータ推定の数値実験 コードを分析し、南海トラフ全域で発生する SSE へ適用するために必要となる修正点の 洗い出しを行った。

a) 一期先予測部へ導入した並列処理

同化コードはすべり速度・状態依存摩擦則を断層構成則とした SSE の準動的な繰り返

し発生計算を状態空間モデル(SSE 域周辺プレート境界のすべり・状態変数分布、SSE 域 の摩擦パラメータ、固着域のバックスリップ分布)の時間発展(一期先予測)として採用 し、陸上 GNSS 局の地殻変動速度を観測データとして使って EnKF により逐次同化(予報 の更新)をするシリアルコードとなっている。つまり、アルゴリズム的にアンサンブルの フォワード計算(時間発展)による一期先予測は並列に進行可能なパラレルワールドで の時間発展計算に相当する。このため、まずはアンサンブルのフォワード計算部につい て、アンサンブルを構成するパラレルワールド群を利用する CPU 数に均等に割り振って 並列処理させるような並列化の実装を行った。これに加え、問題規模に応じて各パラレ ルワールドの時間発展が単体でも時間が掛かる処理となることに備え、各パラレルワー ルド自体の計算も並列処理できるようにした。

b) 予測の更新部分へ導入した並列処理

逐次同化(予測の更新)部分では、一期先予測で求まったアンサンブルのばらつきから 評価される予測誤差共分散行列(状態空間ベクトルの2乗の配列が必要)の作成部分が 計算時間的にも必要メモリ的にも高負荷となる。特にモデルの大規模化により、状態空 間ベクトルのサイズが拡大されるとシリアルコードでは予測誤差共分散行列に必要な メモリ確保が困難となることが考えられる。このため、予測誤差共分散行列を部分行列 分割し必要なメモリの集中化を抑制するとともに、予測更新に関わる行列・ベクトル演 算も暫定的なものではあるが分散処理できるよう並列化を行った。暫定的と呼ぶ訳は、 上述の一期先予測で動作する全並列プロセス中の、一部プロセスのみが予測更新で並列 動作する状態での並列実装なためである。具体的には、アンサンブルを構成する各パラ レルワールドの並列計算を統括するプロセス群のみが予測の更新処理でも引き続き動 作し、各パラレルワールドの時間発展を加速するため追加された並列プロセスは、予測 更新処理中には待ち状態となり活用できていない。

c)曲がった断層への対応

オリジナルの同化コードでは SSE のフォワード計算やそれに伴う地殻変動の評価に 半無限均質弾性媒質中の矩形断層のすべりによる応力変化・表面変形 (Okada, 1992)を 利用している。しかし南海トラフ域の複雑なプレート形状へ適用するため、すべりによ る応力の評価方法を、三角形断層セルによる応力変化・地表変形応答が計算できる Comninou and Dundurs (1975)の方法へ変更した。

d)並列コードの動作例

上記、暫定並列処理を実装したコードを利用し、規模が小・中・大の三段階に異なる 数値同化実験を複数 MPI プロセスで実施してその並列性能を調べた。中規模・大規模問 題の設定は図3-9-④-7に示すものとなっている。問題では、西南日本下に沈み込 むフィリピン海プレートの沈み込み速度を一様に6 cm/yr と仮定し、駿河湾から四国沖 にかけて存在する南海トラフ地震を引き起こす固着域(固着状態の時間発展は考慮せ ず)の下限付近の豊後水道域・東海域において SSE が発生する状況を考える。この状況下 で100のパラレルワールドからなるアンサンブルを走らせ、予めある条件で計算された SSE サイクルに伴う291 個の GNSS 観測局(図3-9-④-7の下向き三角)での地殻変 動速度データを利用して並列コードによる逐次同化を行い、すべり、状態変数、SSE 域 の摩擦パラメータ、固着域の固着が再現できるかを実験する。なお、中規模・大規模で は、フォワード計算でのプレート境界の離散化サイズが約2倍異なっており、状態空間 ベクトルのサイズが大規模モデルでは中規模モデルの約22倍となっている。また、小規 模モデルは大規模モデルと同程度の空間解像度で、豊後水道 SSE 域周辺のみを抽出して モデル化した同化実験となっている(GNSS 観測局は豊後水道周辺の89 観測局を利用し、 固着域は南海トラフ西端部の3領域のみを考慮している)。

図3-9-④-8、3-9-④-9は中規模モデルでの数値実験の例であり、2つの SSE 域での摩擦パラメータ(A、B-A、L)、固着域(18 領域に分割)の固着速度の推定結果 がどのように時間変化していくかを表示している。なお、単一の SSE を扱うオリジナル コードでは、数値実験の同化開始のタイミングとして、SSE パッチの状態変数の時間微 分がゼロで、そこでのすべり速度が十分小さくなるような時期を真の解、アンサンブル ともに選択していた。今回の複数 SSE パッチが存在する問題においても、複数 SSE パッ チの状態変数がある程度同期して時間微分ゼロに近づいた状態で、複数 SSE パッチのす べり速度が十分小さくなるタイミングを同化の開始としている。

各サブプロットで、赤線は予め仮定した真値である。またオレンジの線は1つのパラ レルワードでの推定に相当し、緑線がそれらのアンサンブル平均である。図3-9-④ -8から複数のSSEを考慮した同化実験においてもSSE発生のタイミングに応じて、摩 擦パラメータが真値近傍に収束していく様子が見られる。図3-9-④-9では、特に 中間深さから深部に設定した固着域ではばらつきが小さく固着速度が推定されるもの の、特に四国沖から紀伊半島沖の浅部プレート境界では、推定結果のばらつきが大きく なっており、陸域のデータからは浅部の固着の制約が困難であることがわかる。



図3-9-④-7 南海トラフ域を対象に実施した同化の数値実験の問題設定の例。灰 色部分はプレート境界の安定すべり域(フォワードモデルでの摩擦パラメータ A-B>0) である。ピンクと赤の領域は、それぞれ仮定した豊後水道 SSE・東海 SSE の発生域に対 応し摩擦パラメータのうち A-B<0と仮定している。プレート境界のうち、青系統で色付 けされた領域は巨大地震の震源に対応する固着域を示す。固着域は全 18 領域に分割さ れており、各領域内では一様な(部分)固着を仮定する。固着域のうち、黒破線で示す沖 合の4領域は、図3-9-④-9に示す固着域の推定結果からばらつきが大きく見える 領域に対応している。下向き三角は同化数値実験に利用した GEONET 観測点(291 観測点) である。



図3-9-④-8 中規模モデルでの摩擦パラメータの推定結果例。左列が豊後水道 SSEパッチでの摩擦パラメータの推定結果(上からA、B-A、L)。ピンクの実線で囲まれた 領域は真の状態で豊後水道 SSE パッチ中心部分が 10cm/yr 以上の速度ですべっている 期間(つまり豊後水道 SSE の発生)を表す。右列が東海 SSE パッチでの摩擦パラメータの 推定結果。赤の実線で囲まれた領域は真の状態で東海 SSE パッチ中心部分が 10cm/yr 以 上の速度ですべっている期間(つまり東海 SSE の発生)を表す。



図3-9-④-9 中規模モデルでの固着域の速度の推定結果例。各サブプロットは、 図3-9-④-7に示した 18 個の固着域に対応しており、上段サブプロットがプレート 境界の深部に設定した固着域、中段が中間深さの固着域であり、下段が最も浅い側(沖側)の 固着域に相当する。全てのサブプロットで、真の状態(赤線)からの縦軸の広がりを統一して いる。なお下段の黒破線で囲った4つのサブプロットは、図3-9-④-7の黒破線で囲 まれた固着域の推定値に対応する。

e) 並列性能の測定

図3-9-④-10(a)は、小規模モデルに対し並列実行数を変化させ、数値同化実験を 行った際の一期先予測(赤丸付きの赤線)および予測の更新(青丸付きの青線)に掛かる 時間を示している。赤線で示す一期先予測の並列化は、パラレルワールド群の時間発展 を複数 MPI プロセスに割り振って実行しており通信によるオーバーヘッドがほぼ発生し ていない処理である。このため予測更新処理(青線)より並列数に応じた傾斜がきつくな っており、並列処理の効率が良いことを表している。ただ、予測更新と比較すると一期 先予測の方が数倍から 10 倍ほど経過時間が長くなっている。

このため、図3-9-④-10(b)、(c)については、一期先予測におけるパラレルワー ルド毎の時間発展に複数 MPI プロセスを追加で割り当てて計算した結果を示している。 並列数に応じた一期先予測、予測更新の曲線の傾きは図3-9-④-10(a)と同様な傾 向となっている。つまり一期先予測処理の方が並列処理の効率がよく、予測更新の方が 高並列で傾斜が緩やかになる傾向も図3-9-④-10(a)と整合的である。また、一パラ レルワールドの計算にそれぞれ10、20プロセスを割り振ることで加速した影響で、赤・ 青線の上下関係が図3-9-④-10(a)と逆転しており、特に並列数が大きい場合では 予測の更新処理が同化計算全体の大部分を占めるようになっている。このことから、大 規模同化計算の効率的な実行には、今回導入した一期先予測を加速させるためだけにの み動作しているプロセスを予測の更新処理においても継続して動作するよう実装を見 直し、計算時間をより短縮することが必要である。これは次年度の課題となる。



図3-9-④-10 並列化した同化コードによる数値実験の並列性能。一同化ステップ (20日ごと)における、一期先予測に掛かる時間の平均値(赤)と、予測の更新に掛かる時 間の平均値(青)の利用する並列プロセス数に応じた変化を、複数問題設定に対して示し ている。

(a)豊後水道 SSE のみを対象とした数値実験で、対象プレート境界を 8840 個のサブ断層 に離散化した、すべり速度・状態依存摩擦則による準動的な固着・すべりの繰り返し計 算をフォワード計算として、100 個のアンサンブルに対して実施し、予測の更新用に 89GNSS 観測点(水平・上下の3成分)を利用した数値実験の場合。一期先予測(赤)と予測 の更新(青)とで等しい MPI プロセス数で処理した結果であり、同プロセス数に対しプロ ットされた赤丸と青丸の縦軸の位置が、同一数値実験における各処理に関わる経過時間 を示す。

(b)南海全域を対象とした数値実験で、プレート境界を 16400 個のサブ断層に離散化し たフォワード計算を 100 個のアンサンブルに対して実施し、観測データは 291 観測点を 利用した場合。一期先予測のみ 10 倍の MPI プロセスを利用しており、各青丸とそれか ら 10 倍だけ横軸方向にずれた赤丸の縦軸の値が、同一数値実験における各処理に関わ る経過時間を示す。

(c)(b)と同様に南海全域を対象とした数値実験で、プレート境界を 65400 個のサブ断層 に離散化したフォワード計算を 100 個のアンサンブルに対して実施し、観測データは 291 観測点を利用した場合。一期先予測のみ 20 倍の MPI プロセスを利用しており、各青丸 とそれから 20 倍だけ横軸方向にずれた赤丸の縦軸の値が、同一数値実験における各処 理に関わる経過時間を示す。

(c) 結論ならびに今後の課題

1) MCMKF(モンテカルロ混合カルマンフィルタ)によるすべり推定(東海 SSE)

東北沖地震以前の 1996 年から 2010 年までの東海地方の GNSS データを解析し、MCMKF を用いて短期的 SSE と長期的 SSE のプレート間すべりの時空間発展を推定した。浜名湖 直下を中心とする長期的 SSE は、2000 年後半に始まり、2006 年頃から徐々にすべり速度 が衰えたが、終了時期は明確ではなかった。また、長期的 SSE が最も活動的であった 2003 ~2004 年頃には、短期的 SSE が長期的 SSE のすべり域の内部で発生しているように見え るが、本解析における推定すべりの空間分解能を検討し、その有意性を検証する必要が ある。今後の課題としては、上記の空間分解能に加え、時間分解能の検討を行うこと、 GNSS の観測開始から現在に至る 20 年間の短期的・長期的 SSE を含むすべり履歴を明ら かにし、2000 年代と 2010 年代の長期 SSE の比較や、短期 SSE、微動などのスロー地震と の関係について詳細な解析・考察を進めていくこと、この地域のプレート間すべりの特 性を明らかにしていくことが挙げられる。

2) EnKF(アンサンブルカルマンフィルター)による摩擦パラメータ推定とすべり発展 予測(豊後水道LSSE:数値実験)

EnKF による豊後水道 LSSE 域での摩擦パラメータ、すべり速度、および固着域におけ るすべり遅れ速度の推定実験で、1994 年以来の GEONET 観測点の年代毎の拡充による、 観測点数や分布が推定に及ぼす影響を調べた。結果として少ない観測点でも LSSE 断層 の直上をカバーする配置であれば、収束は遅いが真値に近づき、観測点数が増えるに従 い収束が早くなるのが確認された。

次に、南海地震サイクル中での v_{lock}の変動による、LSSE 活動の変動を調べた。これま でのシミュレーションでも示されているが、南海地震サイクルの後半では、LSSE の発生 間隔が短くなり、またすべり速度が大きくなり、活動度が増すことを確認した。我々の EnKF による逐次推定には、LSSE の活動に加え、v_{lovk}も含まれており、次期南海地震直前 での推定も可能であろう。

今後は、実データ解析に向けて、観測データの扱いに加えて、現在平面断層を仮定している LSSE 断層や固着域について、実際のプレート形状の考慮が必要であろう。また、 南海地震発生に向けて v_{lock}がどの程度まで追跡可能か検討する必要がある。

3) EnKF(アンサンブルカルマンフィルター)による摩擦パラメータ推定とすべり発展 予測(東海および豊後水道LSSE:数値実験)

昨年度開発された、SSE に伴う地殻変動速度データの同化からプレート境界のすべり・ SSE 域の摩擦パラメータを推定する同化コードの大規模問題への適用に向けた並列化 を行い、南海トラフ全域を対象とする数値実験が実時間で実施可能なことが確認できた。 今後はさらなる同化計算の効率化に向けコードを修正するとともに実データへの適用 に向けた修正を行う必要がある。

(d) 引用文献

淡路敏之・蒲時政文・池田元美・石川洋一、データ同化、京都大学出版会、2009.

- Comninou, M., and Dundurs, J., The angular dislocation in a half space, Journal of Elasticity, 5(3-4), 203-216, 1975.
- Fukuda, J., S. Miyazaki, T. Higuchi, and T. Kato, Geodetic inversion for spacetime distribution of fault slip with time-varying smoothing regularization,

Geophys. J. Int., 173(1), 25-48, 2008.

- Matsuzawa, T., H. Hirose, B. Shibazaki, and K. Obara, Modeling short and long term slow slip events in the seismic cycles of large subduction earthquakes, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 115(B12), 2010.
- Obara, K., and A. Kato, Connecting slow earthquakes to huge earthquakes, Science, 353(6296), 253-257, 2016.
- Okada, Y., Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seism. Soc. Am., 82, 1018-1040, 1992.
- Ozawa, S., Long-term slow slip events along the Nankai trough subduction zone after the 2011 Tohoku earthquake in Japan, Earth, Planets and Space, 69(1), 56, 2017.

(3) 平成 31 年度業務計画案

昭和の南海トラフ地震以降の粘弾性応答とサブ 2-1 の3次元地下構造情報と整合す る南海トラフ3次元粘弾性構造モデルを用いて、地震&ゆっくりすべりシナリオを構築 するとともに、プレート境界すべりの推移予測の妥当性検証と予測の試行における従来 の予測手法の課題を踏まえて、改良した推移予測手法を実データに適用し、妥当性を評価 する。最終的な成果のとりまとめとして、これらの成果に基づいて、今後地震本部の長期 評価や南海評価検討会で活用される、地殻変動・地震活動データの統合的なプレート境界 固着の現状把握・推移予測システムの実現に向けた具体的な道筋を示す。

①日本海溝および南海トラフ沿いの地域について、それぞれプレート境界の地震サイクルに伴う地殻変動の時空間分布を現時点で可能な範囲でまとめ、プレート境界の固着分布やブロックモデル等により解釈し、プレート沈み込みに伴う地殻変動の全容を整理する。

②東北地方の海陸地殻変動観測データを用いた 2011 年東北地方太平洋沖地震の発生前後に起こった、プレート間固着強度の時空間ゆらぎ(余効すべりを含むゆっくりすべりイベント、前震活動、余震活動)の予測実験を継続し、その成果をまとめる。平成 31 年度はこれまでに実施した過去の地震や、ゆっくりすべりの観測データの整理を引き続き進めるとともに、海域観測データから抽出された東北沖地震後の長期的な余効すべりの特徴について、現時点で把握できた事項を繰り返し地震等の地震活動とも比較しつつまとめる。さらにこれまでに得られたプレート間固着強度の時空間ゆらぎに関する個別の知見を総合的に解釈し、その成果を取りまとめる。さらに、ゆっくりすべりの観測事例や発生機構に関する海外の研究動向の情報収集を行うとともに、これまでの成果を発表する。 ③日本海溝沿いで観測された東北沖地震の余効すべりに着目しながら、モデルの修正を行い、シミュレーションデータベースの蓄積を継続する。相模トラフ沿いでの地震発生シミュレーションを継続し、2011 年東北地方太平洋沖地震のような外部からの応力擾乱を組み込んで、観測されたようなスロースリップイベントの発生パターンを再現できるよ う、摩擦パラメータの調整を行うとともに、地震サイクル中に大地震震源域の近傍で発生 しているスロースリップイベントの繰り返し間隔の変化について検討する。さらに、明治 以降の測地測量データまでを考慮にいれた比較検討とシナリオの絞り込みを行う。

④東海地方の SSE に関する MCMKF を用いた解析については、GNSS の観測開始から現在に 至る 20 年間の短期的・長期的 SSE を含むすべり履歴を明らかにし、スロー地震間の相互 作用について考察を行うとともに、模擬データを用いて推定されたすべりの時間・空間分 解能を明らかにする。実データ解析に向けては、GNSS で得られる累積変位データから変 位速度データを安定に作成する平滑化手法、および累積変位をデータとする解析手法を 検討し、どちらかまたは両方のデータで実データ解析を試みる。その際、実際のプレート 境界の形状を考慮した解析を行う。また、vlockの変動も考慮した模擬データにより、南海 地震サイクル中での LSSE 活動に加えて、南海地震活動のモニタリングの可能性を探る。 南海トラフ全域を対象とする数値実験では、さらなる同化計算の効率化に向けコードを 修正するとともに実データへの適用に向けた修正を行う。

3.10 震源モデル構築・シナリオ研究

(1)業務の内容

(a) 業務題目 「震源モデル構築・シナリオ研究」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
東京大学地震研究所	教授	古村孝志
災害科学系研究部門	特任助教	原田智也
東京大学地震研究所	准教授	市村 強
巨大地震津波災害予測研究センター		
国立研究開発法人理化学研究所	非常勤研究員	平原和朗
名古屋大学大学院	准教授	橋本千尋
環境学研究科		
国立研究開発法人防災科学技術研究所	総括主任研究員	福山英一
国立研究開発法人海洋研究開発機構	グループリーダー	堀 高峰
	技術研究員	今井健太郎
東京大学大学院理学系研究科	准教授	安藤亮輔
京都大学	教授	岩田知孝
防災研究所	准教授	関口春子
	准教授	浅野公之
東北大学災害科学国際研究所	教授	今村文彦
	准教授	蝦名佑一
国立研究開発法人産業技術総合研究所	研究員	大谷真紀子

(c) 業務の目的

南海トラフの過去地震の震源再解析に加え、国内外を含む他の地震発生帯での巨大 地震の震源解析、並びに地震発生シミュレーションの結果等を参考にして、南海トラ フで発生する巨大地震の震源特性と連動様式の一般化(レシピ)を図る。また、津波 堆積物や津波石の移動を考慮した津波シミュレーション法を開発し、周辺諸国を含め て古文書等の記録を集めることにより、データが少ない過去地震の震源過程を評価す る。

強震動・津波シミュレーション法の大規模並列化を進め、高分解能・広帯域化する とともに、プレート詳細形状・物性モデルと高分解能地殻・堆積層モデルを結合した 高分解能地下構造モデルを構築して、巨大地震シナリオの高度なハザード評価を行う。 震源や地下構造モデルの不確定性と地震シナリオの不確実性(多様性)に伴う短周期 強震動と長周期地震動の予測のバラツキを適切に評価し、防災に資することのできる 実用的なハザード評価を行う。史料調査や津波調査等に基づき、過去の南海トラフ地 震の震源モデルと津波波源モデルを明確化して、次の南海トラフ地震のシナリオ作り に反映させるとともに、南海トラフ地震と南西諸島海溝地震の連動可能性や、相模ト ラフの地震や日本海溝の地震との最大連動の可能性、こうした地震津波による広域津 波についての評価も行う。

(d) 7 か年の年次実施業務の要約

平成 25~26 年度:

日本列島広域構造モデルを開発し、データに整合するようパラメータを推定し た。過去の地震とその後の粘弾性応答を考慮した応力・強度分布の推定手法を構 築した。津波に伴う土砂移動を評価できる津波浸水計算コードを開発した。プレ ート形状と三次元地殻・堆積層構造モデルを整備して、近年の大地震の強震動・ 長周期地震動生成メカニズムを検証するとともに、地震動・津波シミュレーショ ンの高精度化・広帯域化を行った。

平成 27~28 年度:

平成27年度には、日本列島広域構造モデルを大地震発生前後の内陸地震の活発 化問題に適用するため、日本列島規模の地殻粘弾性モデルの整備と、三次元有限 要素法に基づく大規模並列シミュレーションコードを開発した。堆積層の精緻化 により高精度化・広帯域化した強震動・津波シミュレーションと、昭和東南海・南 海地震及び安政東海・南海地震の史料詳細解析から推定した震度・地殻変動・津波 データに基づいて、南海トラフの過去地震の震源過程の再評価を進めた。連動の 多様性を含む地震発生シナリオを提案するために、動的破壊過程を含めた地震発 生サイクルシミュレーション手法を整備した。これらの成果に基づき、最大クラ スを含む震源モデルのレシピ化と、日向灘地震等による誘発条件を検討した。超 巨大地震の発生可能性の検討に向け、津波堆積物シミュレーションを用いたトラ フ軸付近を含む過去の超巨大地震の波源推定の有効性を示した。

平成28年度には、日本列島規模の100億自由度の大規模地殻モデルを整備し、 これを用いた弾性・粘弾性解析有限要素法コードの高速化を図るとともに、東北 地方太平洋沖地震の地殻変動計算結果と観測との比較から、南海トラフ地震への 適用可能性を確認した。南海トラフ地震発生サイクルの高度化に向けて、粘弾性 モデルの導入を進めるとともに、大地震発生前のプレート滑り遅れの蓄積状態の 違いによる、大地震の発生・拡大過程を検討した。さらに、2016年4月1日に発 生した紀伊半島沖地震(Mjma6.5)後の推移シナリオを検討した。南海トラフ巨大 地震モデルのレシピ化と最大級の地震の明確化に向け、不均質強震動生成モデル を提案し、東北地方太平洋沖地震の強震動生成が良く説明できることを確認した。 強震動評価に広帯域Qモデルを新規導入し、長周期地震動シミュレーションによ り震源モデルの多様性が強震動・長周期地震動のバラツキに与える影響を定量評 価した。過去の南海トラフ地震の震源像の明確化のための基礎資料として、1707 年宝永地震、1854年安政東海・南海地震の震度情報を収集してデータベース化し た。
平成 29~30 年度:

平成 29 年度には、南西諸島海溝から南海トラフを含めた日本列島の詳細な地 殻・マントル構造モデルを用いた、粘弾性地殻変動解析モデルと解析手法を整備 し、構造の曖昧さを考慮した巨大地震発生時・発生後の地殻変動解析を行うとと もに、これを用いた震源シナリオ推定のためのグリーン関数データベースを構築 した。スペクトル要素法を用いた不均質媒質中での動的破壊を含む地震サイクル シミュレーションコードを開発し、実用計算に向けた高速計算手法の導入を進め た。GEONET データを用いたインバージョン解析からプレート境界の滑り遅れ分布 を求め、昭和南海地震以降の滑り遅れ蓄積分布を推定して、次の南海トラフ地震 の地震発生シナリオを破壊伝播特性の多様性を含めて検討した。2016 年三重県沖 地震の発生過程と余効変動の伝播特性をシミュレーションから再現するとともに、 中規模(M7級)地震から南海トラフ巨大地震に発展するまでの地震シナリオを検 討した。南海トラフ巨大地震の強震動・長周期地震動の高度評価に向けて、不均質 強震動生成域 (SMGA) モデルを開発して大阪平野の強震動評価を行うとともに、関 東平野における長周期地震動の生成要因を観測データ解析と地震動シミュレーシ ョンから検討した。昭和東南海地震・南海地震、1945 年三河地震、1948 年福井地 震のアンケート震度分布から地震の不均質断層モデルを推定し、南海トラフの過 去地震とこれと前後する内陸地震の震源シナリオを詳細に検討した。史料調査と 現地調査に基づき、安政東海・南海地震の波源域の広がりを明確化した。

平成30年度には、南西諸島海溝を含む南海トラフまでの日本列島3次元広域プ レート構造モデルの整備を継続して進め、プレート境界での歪みの蓄積状態に基 づき、想定される巨大地震の震源モデル(地震シナリオ)を構築した。これに基づ く強震動・津波・地殻変動シミュレーションから地震・津波ハザードを評価した。 また、史料調査に基づいて、昭和東南海・南海、及び安政東海・南海地震の震源 域・波源域を明確化し、2つの地震の共通性・相補性を明確化して、過去の南海ト ラフ地震の震源像と地震発生シナリオを改訂した。粘弾性を考慮した広域構造モ デルでの地殻変動解析・データ同化手法の開発を平成29年度に継続して進め、そ の高度化に不可欠な海底地形やプレート形状、固着パラメータ等の要件と、将来 のリアルタイム海底地殻変動観測の効果を検討した。

平成 31 年度:

本研究で進めた地震発生サイクルシミュレーション、史料・津波堆積物調査、海 域構造探査、そして海陸地殻変動観測結果に基づいて、南海トラフ巨大地震の発 生履歴・連動性を総括する。現在のプレート固着状態と、昭和東南海・南海地震以 降の応力蓄積状況の推定に基づいて、次に起きうる可能性の高い地震発生シナリ オ・震源モデルを明確化し、この地震による強震動と津波ハザードを、バラツキの 幅を含めて評価する。

また、本研究成果を踏まえ、地震発生直後の震源域の詳細把握、強震動・津波浸 水・地殻変動等による被害即時推定、そして大規模余震・誘発地震の発生可能性と その地震ハザードを、リアルタイム観測と高速計算に基づき即座に把握する、新 たな応急対応・防災システムの実現可能性について、今後5~10年を見越した将 来展望を示す。

(e) 平成 30 年度業務目的

南西諸島海溝を含む南海トラフの日本列島3次元広域プレート構造モデルの整備を 平成29年度に継続して進め、現在までのプレート境界での歪みの蓄積状態に基づき、 次に想定される巨大地震の震源モデルを提示する。このモデルに基づいて強震動・津 波・地殻変動シミュレーションを行い、地震・津波ハザードを評価する。また、史料調 査に基づいて、昭和東南海・南海地震、及び安政東海・南海地震の震源域・波源域を明 確化し、2つの地震の再現性又は相補性を明確化し、過去の南海トラフ地震の震源像と 地震発生の周期性シナリオを再検討する。粘弾性の影響を考慮した日本列島の広域地 殻変動解析・データ同化手法の開発を平成29年度に継続して進めるとともに、その高 度化に不可欠な海底地形やプレート形状、固着パラメータ等の要件を明確化し、また将 来のリアルタイム海底地殻変動観測の実現による効果を検討する。

(2) 平成 30 年度の成果

- ①日本列島粘弾性モデル構築とその応用
 - (a) 業務の要約

震源シナリオ研究の高度化・プレート間モニタリングシステム実現へ向けた研究と して、日本列島規模の大規模地殻モデルにおける弾性・粘弾性応答の解析のための有限 要素法コードの改良と、地殻構造・物性の曖昧さを考慮可能な地殻変動解析手法の開発 を行った。地殻構造・物性の曖昧さを考慮した巨大地震発生前、発生時、及び発生後の 地殻変動を解析できるように開発を行った。

(b) 業務の成果

従来、地殻変動計算では半無限均質、水平成層構造などが仮定されてきたが、地殻 構造の単純化は計算結果に無視することのできない影響を与える場合があることが最 近の研究で明らかとなっている。そのため、地殻の不均一性を考慮した、有限要素法 などによる計算が望ましいとされている。近年ではそのような計算に利用することの できる観測データが蓄積しつつある。また地殻変動観測網も整備されており、利用可 能となりつつある。地殻変動計算についてはこれらの高分解能のデータを用いた計算 が望ましいと考えられている。一方で地殻変動計算は対象領域が広く、地殻構造デー タが1km 分解能で利用可能であることを考慮に入れると、想定される自由度はおよそ 10⁸ 以上の大規模な計算となる。これまで我々のグループではGPU を用いた地殻変動 弾性解析用の非構造格子有限要素ソルバーを開発しており、ハードウェアに適したア ルゴリズムを開発することによって大規模問題を高速に解くことが出来ることを示し てきた。弾性解析と比較すると粘弾性解析は多数の時間ステップに対して求解を行う 必要があるため、必要とされる計算コストがさらに大きく、一層の高速化が要求され る。対象とする有限要素解析はメモリバンド幅律速となる演算が多く、特に計算量の 最も大きな疎行列ベクトル積演算にはメモリへのランダムアクセスが多く含まれてい る。そのため、ハードウェアの演算性能を十分に引き出せないことが大きな課題の一 つである。より効率的な計算を行うためにはランダムアクセスを減らすことが重要と 考えられる。本年度は主要カーネル自体のランダムアクセスを削減するともにソルバ ーの反復回数を削減するようなアルゴリズムを導入し、従来の手法よりも高速に計算 が行えるソルバーを開発した。複数時間ステップの同時計算とともに、精度の高い予 測子を組み合わせることによって近似解の精度を上げ、ソルバーの収束性を高めてい る。また複数本ベクトルの計算により、主要となる疎行列ベクトル積演算のメモリア クセスのランダム性低減および性能向上も同時に実現されている。

開発されたソルバーを用いて日本列島規模の大規模地殻モデルにおける弾性・粘弾 性応答の解析を GPU スパコンである Piz Daint にて行った。具体的には、M9 地震が懸 念されているギリシャと東地中海にわたるヘレニック弧の沈み込み帯における想定地 震後の粘弾性変形応答解析に対して開発されたソルバーを適用した。対象系の粘弾性 応答をモデル化するために、地殻、リソスフェア、コア境界、マントルまでをも含む 3,686 km×3,686 km×2,857 kmの大きさの三次元地殻モデルを構築した。層構造の形 状データは1kmの空間分解能で与えられ、これを正確に反映するために、1.8 kmの二 次四面体要素を用いて三次元有限要素モデルを構築した(2次要素で1.8km であるの で、離散化の解像度は 0.9 km となる)。なお、これは超大規模な問題になるため、通 常の有限要素生成手法では有限要素モデルを構築することは難しい。そのため、別途 開発している大規模かつ複雑かつ複数材料問題に対してロバストに有限要素モデル構 築可能な手法を用いて、有限要素モデルを構築している。これにより、図3-10-① - 1 (a)-(d)に示す 589,422,093 の四面体二次要素、801,187,352 の節点、および 2,403,562,056 の自由度の複雑な幾何形状が正確に反映された三次元有限要素モデル が構築された。このモデルのアフリカとヨーロッパの沈み込みの境界で、沈み込みの 方向へ M9の仮想断層すべりを入力し、地震時の弾性的な応答とこれに続いて生じる 地殻、リソスフェア、マントルの粘弾性緩和による粘弾性応答を計算した。図3-10 -①-1(e)および図3-10-①-1(f)に、地殻の三次元構造を反映した地表面にお ける弾性地震応答及び粘弾性応答のスナップショットを示す。なお、Piz Daint で 512 枚の P100 GPU を使用した場合、1時間ステップを 30 日(2592000 秒)として、2,000 時間ステップの解析が 4587 秒で可能となるほど高速に解析が可能となっている。

粘弾性地殻変動計算を対象とした高速な非構造格子有限要素ソルバーを開発し、日本列島規模の大規模地殻モデルの自由度が 10⁹ 以上となる計算コストが膨大となる問題に対して適用し、その有効性を確認した。この解析を高速に実行するためには、疎行列ベクトル積である Element-by-Element 部分のメモリへのランダムアクセスが一つのボトルネックとなっていたが、キャッシュや Shared memory を利用した要素ごとの演算結果の縮約を導入することで解消した。また複数ベクトルと線形予測子の導入により収束性を向上させ、演算回数自体の削減に成功している。Piz Daint 上で既往のソルバーと比較を行うと、2.79 倍の性能向上が確認された。今回のソルバー開発により高速に粘弾性地殻変動計算が可能となり、大規模問題においても多数回解析が可

能となることから、震源シナリオ研究の高度化・プレート間モニタリングシステム実 現へ向けて必要とされる列島規模の大規模地殻モデルにおける逆解析・地殻構造の最 適化・地殻構造モデルの曖昧さの考慮などへの大きな寄与が期待される。



図3-10-①-1 構築された三次元有限要素モデル。10層からなる地殻が0.9 km の解像度のメッシュを使って詳細にモデル化されている。また、その三次元構造反映 した、地震時の弾性的挙動および地震後の粘弾性的挙動が解析されている。(a) 三次 元有限要素モデルの全体像。(b)有限要素モデルの断面図。(c)(b)の断面図内の四 角で囲まれた領域内の拡大図。(d)有限要素モデルの拡大図。(e)地震時の弾性挙動 および、(f)地震後の粘弾性挙動。

(c) 結論ならびに今後の課題

観測データにより推定された複雑な三次元不均質地殻構造を用いた地殻変動解析の 解析コストは膨大であるため、従来の地殻変動解析では半無限媒体近似などにより簡 単化された地殻構造が用いられてきている。観測データをより有効活用していくため に、この膨大な解析コストを軽減した地殻の弾性・粘弾性応答の解析のための有限要 素法コードの改良と、地殻構造・物性の曖昧さを考慮可能な地殻変動解析手法の開発 をこれまで行ってきている。その結果、1)計算科学・計算機科学の進展を踏まえた 新たな手法の開発を行うことで、膨大な解析コストを軽減することは十分可能である。 2)複雑な三次元不均質地殻構造を半無限媒体近似などにより簡単化すると、地殻変 動解析結果に大きな差を生じる場合があり、特に、震源近傍では大きな差を生じる場 合がある。3)複雑な三次元不均質地殻構造を確定的に決定することは難しく、曖昧 さが残り、場合によってはその影響が大きいため、この曖昧さを陽に考慮する手法の 開発が必要であることが分かった。これら1)~3)を踏まえ、最終年度(平成31 年度)の業務計画を策定した。

②地震サイクル計算手法の高度化

(a) 業務の要約

昨年に引き続き、非線形粘弾性媒質中での地震サイクル計算の準備として、非弾性 ひずみを等価外力として扱うことで粘弾性媒質の効果を弾性体中のグリーン関数を用 いて考慮する Barbot and Fialko (2010)の方法 (Barbot 法と略)に対して、H 行列 法 (Hackbush, 1999)を用いた高速計算法を試み、まずは線形粘弾性媒質中での変位 の時間発展計算を行ない、既存の手法 (Fukahata and Mtasu' ura, 2006)による結果 として比較して、その有効性を調べた。

(b) 業務の成果

粘弾性媒質としては、線形粘弾性物質がこれまでよく用いられてきたが、高温高圧 岩石実験からは岩石は非線形粘弾性的性質を示す。長期的変動はマックスウェル線形 粘弾性で近似されるが、地震後の余効変動等では特に非線形粘弾性の効果が効いてく る。任意の非線形粘弾性媒質中での地震サイクル計算を行う必要がある。その準備と して、Barnot and Filalho (2010)の方法 (Barnot 法と略)による、任意のレオロジ 一媒質中での、地震時すべりによる時間変動の計算の効率化とその精度検証を行う。

Barbot 法では、弾性・非弾性媒質中での断層面上でのすべりによる変動を考える場合、まず断層面上はこれまで通り摩擦則から要請される細かなセルに分割し、また非 弾性媒質領域を任意の大きさの立方体や四面体に分割する。次に、弾性体中のすべり 応答関数(断層における単位すべりによる応力変化)および、ひずみ応答関数(立方 体や四面体での単位ひずみによる応力変化)を計算する。均質半無限弾性体でのすべ り応答関数は、例えば、Okada (1992)、後者のひずみ応答関数は、Barbot *et al.* (2017)

(立方体)、および Barbot (2018)(四面体)により計算できる。ある点での応力は、 弾性媒質でのすべり応答関数とすべりの積の積分、および非弾性媒質中の各立方体で のひずみ応答関数とひずみの積の積分で与えられる。断層面におけるすべり発展は、 計算された応力と摩擦構成則によりすべり速度が計算され、また非弾性中でのひずみ 速度は、計算された応力の時間変化と媒質の非線形構成則から計算され、これを各時 間ステップで、全断層面上および全非弾性立方体中について計算し、時間発展させる。 この際、通常のすべり応答関数とすべり、およびひずみ応答関数とひずみの積の計算 を行う必要がある。

本方法の特徴は、任意のレオロジー媒質中での計算に、計算が大変なその媒質中で のすべり応答関数ではなく、弾性媒質中でのすべり応答関数とひずみ応答関数の計算 だけが必要な点である。先に述べたように、解析的・準解析的すべりおよびひずみ応 答関数は均質半無限弾性媒質中で得られている。不均質弾性媒質では例えば有限要素 法により計算する必要がある。

通常の境界要素法的解法では、断層面におけるすべりとすべり応答関数の関だけで よいが、任意のレオロジーでは、3次元媒質を分割し、その分割した全ての体積中で のひずみとひずみ応答関数の関が必要になり計算量が増大する。そこで、H 行列(例え ば、Hackbush (1999)、Ohtani *et al.* (2011)により、計算の効率化を図る必要があ り、その効率化と精度の検証を行った。

図 3-10-2-1に、要素数 N に対する、ひずみ応答関数とひずみの積で、計算時間は 0 (N²)かかるが、H 行列を作用させると 0 (NlogN)の計算時間となり高速化が 図られている。図 3-10-2-2には、弾性・マックスウェル粘弾性(粘性率 10^{18} Pa・ s)の 2 層からなる媒質中(計算領域の大きさ: 100km x 100km x 130 km、図 3-10-2-2には深さ 50 kmまで示している)の弾性部分(剛性率 30GPa: 厚さ 30 km)の傾斜角 30° の逆断層(10kmx10km)に 1 mのすべりを与えた時の 10年後の鉛直(Z)成分の変位を例に、精度を比較している。なお、この際粘弾性媒質中の領域は、5 km x 5 km x 5 kmの一様な大きさの立方体に分割してひずみの時間発展を計算している。

図 3 - 10 - ② - 2 の左図には、M&F (Fukahata and Mtasu' ura, 2006) による、中 心を通る 2 次元断面における解を示す。中央図は、Barbot 法に H 表列を作用させた場 合の解と M&F による解との差、右図は、Barbot 法による解と M&F による解と差を示す。 Borabot 法およびそれに H 行列を作用させた高速解も十分な精度が十分出ていること を示している。



図 3-10-2-1 要素数 N と H 行列法による計算時間との関係



図3-10-②-2 弾性・マックスウェル粘弾性2層構造モデル中の断層に1mの変位を 与えた時の10年後の変位分布の断面図の比較。左図:Fukahata and Matsu'ura (2006) (F&M)による、断層に1mを与えた時の10年後のz方向変位分布。中央図:Barbot法に H行列を作用させたときの解とF&M 解の差。右図:Barbot法による解とF&M 解の差。右図 のBarbot法による解の精度、および中央図のBarbot法+H行列による解も十分な精度が 出ていることを示している。

(c) 結論ならびに今後の課題

昨年に引き続き、任意の非線形粘弾性を扱いうる Barbot 法の計算手法を地震サイク ル計算に組み込む準備として、既存の手法が扱いうる線形粘弾性媒質中での地震すべ りによる 10 年後の変動を計算し、Barbot 法およびその高速化を図った H 行列解を既 存の手法 (F&M 法)による解と比較して、十分な精度が得られていることを確認した。

(d) 引用文献

- Barbot, S., Deformation of a half-space from anelastic strain confined in a tetrahedral volume, Bulletin of the Seismological Society of America, 108(5A), 2687–2712, 2018.
- Barbot, S., and Y. Fialko, A unified continuum representation of post-seismic relaxation mechanisms: semi-analytic models of afterslip, poroelastic rebound and viscoelastic flow. Geophysical Journal International, 182(3), 1124-1140, 2010.
- Barbot, B., J. D. P. Moore, and V. Lambert, Displacement and stress associated with distributed anelastic deformation in a half-space, Bulletin of the Seismological Society of America, 107, pp. 821-855, 2017.
- Fukahata, Y. and M. Matsu' ura, Quasi-static internal deformation due to a dislocation source in a multilayered elastic/viscoelastic half-space and an equivalence theorem, Geophysical Journal Internatonal, 166, 418-434, 2006.

- Hackbusch, W. A Sparse Matrix Arithmetic Based on H-Matrices, Part I: Introduction to H-Matrices, Computing, 62(2), 89-108, 1999.
- Ohtani, M., K. Hirahara, Y. Takahashi, T. Hori, M. Hyodo, H. Nakashima, and T. Iwashita, Fast computation of quasi-dynamic earthquake cycle simulation with Hierarchical Matrices, Procedia Com. Sci., 4, 1456–1465, 2011
- Okada, Y., Internal deformation due to shear and tensile faults in a halfspace. Bulletin of the Seismological Society of America, 82(2), 1018-1040, 1992.

③南海トラフ地震発生サイクルの再現・モデル検証

(a) 業務の要約

Hashimoto et al. (2014)の地震発生サイクルシミュレーションシステムを用いて、 準静的テクトニックローディングシミュレーションから得られた応力状態と断層構成 関係を初期条件・境界条件とする動的破壊伝播シミュレーションを行うことにより、任 意の時点での地震破壊可能性を評価することが可能である。この地殻応力状態の時間 発展を再現するフレームワークでは、過去のすべり履歴を整合的に再現し得る断層構 成関係の設定が重要な課題となる。今年度は、昨年度の研究成果を踏まえて、南海トラ フ地震発生域の断層構成関係パラメータ分布のより詳細な検討を進めた。Aochi and Matsu'ura(2002)のすべりと時間に依存する「すべりと時間に依存する断層構成則」 に基づき、地震発生域のパラメータの値や分布を変えたモデルを設定して、各モデルに ついて、準静的テクトニックローディングのシミュレーションを実施した。室戸沖及び 紀伊半島南端域における最大ピーク強度が4MPa 程度のケースでは、大地震発生後 50 年以後もすべり遅れレート分布の変化は小さく、同様のパターンが比較的長く続く。一 方、最大ピーク強度が1MPa程度のケースでは、すべり遅れレート分布の変化は大きく、 大地震発生後50年以後、紀伊半島南端付近のすべり遅れレートが急速に小さくなる。 これらの結果は、ピーク強度の値や固着域(すべり遅れ分布)の範囲に強く依存する。 従って、より詳細な構成関係パラメータの制約条件を検討する為の手段として、シミュ レーションから得られたすべり遅れレート分布を観測データから得られた分布の時系 列と比較することが有効である。また、プレート境界面の強度に関する詳細な議論を行 う為には、多様なアプローチが必要となる。Hashimoto and Terakawa (2018)が開発し た「応力データインバージョン法」により、地殻応力場形成のダイレクトソースである 「衝突率」分布を推定することが可能となった。これを用いて衝突率分布を詳細に検討 することにより、プレート境界面の強度に関係する情報を引き出せる可能性がある。

(b) 業務の実施方法

Hashimoto *et al.* (2014)が構築した地震発生サイクルシミュレーションシステム は、三次元プレート境界面形状モデルを共通の基盤とする、準静的テクトニックロー ディングモデルと動的地震破壊伝播モデルから成る。これを用いることにより、適切 な断層構成関係の設定の下で、或る時点の応力状態を推定し、次ステップの地震発生 シナリオを生成することが可能である。以上を踏まえて、昨年度は、準静的テクトニ ックローディングシミュレーションから得られた応力状態と断層構成関係を初期条 件・境界条件とする動的破壊伝播シミュレーションにより、任意の時点での地震破壊 可能性を評価する手法を構築した。これに基づき、1996~2000 年の GEONET データを 用いたインバージョン解析で得られたすべり遅れレート分布(1946 年南海地震後 50 年の状態)を再現し、その後の地震発生シナリオを生成する試行を行った。この結果 により、任意の時間ステップ毎に、地震破壊は何処から始まり得るか、開始した破壊 は伝播し得るか、破壊はどのように伝播するか、破壊はどこまで広がるか、等の議論 を定量的に行うことが可能であることを示した。

以上の地殻応力状態の時間発展を再現するフレームワークでは、過去のすべり履歴 を整合的に再現し得る断層構成関係の設定が重要な課題である。今年度は、昨年度の 研究成果を踏まえて、南海トラフ地震発生域の断層構成関係パラメータ分布のより詳 細な検討を進めた。Aochi and Matsu'ura (2002)のすべりと時間に依存する断層構成 則に基づき、地震発生域のパラメータの値や分布を変えたモデルを設定して、各モデ ルについて、準静的テクトニックローディングのシミュレーションを実施した。これ らの結果やそれを初期条件・境界条件とする動的シミュレーションから得られた結果 を観測データから推定した地震間すべり遅れレート分布や地震時すべり分布等と比較 することにより、構成関係パラメータ分布の制約条件を検討することが可能となる。

(c) 業務の成果

1) Aochi and Matsu'ura (2002) のすべりと時間に依存する断層構成則の基本的なパ ラメータである α、β、cの値や分布を変えたモデルを設定し、各モデルについて、準 静的テクトニックローディングのシミュレーションを実施した。比較の為に、図3-10-③-1に、昨年度までに得られた結果から、すべり遅れレート分布のスナップシ ョットを示す(昨年度報告書参照)。ここでは、地震発生サイクルを通して、室戸沖及 び紀伊半島南端域に於ける最大ピーク強度を2MPa 程度に、臨界すべり量 Dc を最大で 1 m 程度になるように設定している。この数値シミュレーション結果は、1996~2000 年の GEONET データを用いたインバージョン解析で得られたすべり遅れレート分布 (1946 年南海地震後 50 年の状態)を再現するが、その後、すべり遅れレート分布は 徐々に変化してゆく。このとき、断層構成関係もまた時間発展する。これらの断層構 成関係とすべり遅れ分布が作り出す応力場が、その時点での地震破壊可能性を規定す る。

Case 2016-1(昨年度までの結果)



図3-10-③-1 準静的応力蓄積シミュレーションにより実現した南海域の地震発 生サイクル(昨年度成果から抜粋)。すべり遅れレートのスナップショットに於い て、地震間の青コンターはすべり遅れレート、赤コンターはすべり過ぎレートを表す (1 cm/yr 間隔)。地震時(0+yr)の赤コンターは、すべり量を表す(0.5 m 間 隔)。

これらの設定に対して、ピーク強度をより高く設定した場合(Case 2018-1)、及び、 より低く設定した場合(Case 2018-2)を、それぞれ、図3-10-③-2及び図3-10 -③-3に示す。



図3-10-③-2 準静的応力蓄積シミュレーションにより実現した南海域の地震発 生サイクル。すべり遅れレートのスナップショットに於いて、地震間の青コンターは すべり遅れレート、赤コンターはすべり過ぎレートを表す(1 cm/yr 間隔)。地震時 (0+ yr)の赤コンターは、すべり量を表す(0.5 m 間隔)。

Case 2018-2

地震破壊直前の最大ピーク強度を~1 MPalc設定



図3-10-③-3 準静的応力蓄積シミュレーションにより実現した南海域の地震発 生サイクル。すべり遅れレートのスナップショットに於いて、地震間の青コンターは すべり遅れレート、赤コンターはすべり過ぎレートを表す(1 cm/yr 間隔)。 地震時(0+yr)の赤コンターは、すべり量を表す(0.5 m 間隔)。

また、これら各ケースの地震破壊直前(0-yr)に於けるピーク強度分布を図3-10-③-4に示す。Case 2018-1では、最大ピーク強度が4MPa 程度であり、Case 2018-2では、最大ピーク強度が1MPa 程度となっている。



地震破壊直前(0-yr)のピーク強度分布の比較

図 3-10-③-4 準静的応力蓄積シミュレーションにより実現した南海地震発生域 に於ける地震破壊直前のピーク強度分布。

2) Hashimoto and Terakawa (2018) が開発した「応力データインバージョン法」によ り、地殻応力場形成のダイレクトソースである「衝突率」分布 (Hashimoto and Matsu'ura, 2006)を推定することが可能となった。これを伊豆衝突帯周辺域に適用す ることにより、島弧同士の衝突が継続している伊豆半島の付け根のみならず、その両 側のプレート境界地震発生域に対応する領域に於いても、衝突率が高くなっているこ とが明らかになった。これらの分布は、プレート境界面の強度と関係付けられる可能 性がある。 3) 観測されている地震発生サイクルが再現されるような構成関係パラメータセットを用いた地震発生シミュレーションを実施中である。昨年度の成果では、地震破壊開始点に依存して地震規模が変化することが明らかになった。図3-10-③-5に示すように多数の破壊シナリオが得られており、これらのシミュレーション結果を適切に分類すれば、将来発生する地震像に近い地震発生シナリオを提案できる可能性がある。



図3-10-③-5 準静的テクトニックローディングモデルを用いた動的破壊伝播シ ナリオ作成の例。ある時間経過したところでの滑り分布を表示している。赤枠のケー スは、破壊が未収束のモデルを示す。破壊開始位置により地震規模を含めたシナリオ が大きく異なることがわかる。

(d) 結論ならびに今後の課題

Hashimoto et al. (2014)が構築した地震発生サイクルシミュレーションシステム を用いて、1996~2000年のGEONETデータを用いたインバージョン解析で得られたす べり遅れレート分布(1946年南海地震後 50年の状態)を再現し、その後の地震発生 シナリオを生成することにより、地震破壊可能性の評価を定量的に行うことが可能で ある。これらのシミュレーション結果(シナリオの集合)を過去のすべり履歴や震源 位置等のデータと比較することにより、構成関係パラメータの分布をより詳細に推定 することが可能となる。構成関係パラメータ分布の推定とその不確定さの検討に向け て、異なる構成関係パラメータ分布を与えた場合に、準静的応力蓄積シミュレーショ ンによるすべり遅れレート分布がどのように時間変化するかを検討した。その結果、 シミュレーションにより実現したすべり遅れレート分布の時間変化は、ピーク強度の 値や固着域(すべり遅れ分布)の範囲に強く依存することが分かった。より詳細な構 成関係パラメータの制約条件を検討する為には、数値シミュレーションから得られた すべり遅れレート分布を観測データから得られた分布の時系列と比較することが有効 である。また、Hashimoto and Terakawa (2018)が開発した「応力データインバージ ョン法」により、地殻応力場形成のダイレクトソースである「衝突率」分布を推定す ることが可能となった。これを用いて衝突率分布を詳細に検討することにより、プレ ート境界面の強度に関係する情報を引き出せる可能性がある。さらに、今後は、今回 得られた構成関係パラメータセットを用いて、南海トラフ地震発生シナリオを構築し ていく予定である。

(e) 引用文献

- Hashimoto, C., E.Fukuyama, and M.Matsu'ura, Physics-based 3-D simulation for earthquake generation cycles at plate interfaces in subduction zones, Pure Appl. Geophys., 171, 1705–1728, 2014.
- Aochi, H. and M. Matsu'ura, Slip-and time-dependent fault constitutive law and its significance in earthquake generation cycles, Pure Appl. Geophys., 159, 2029-2046, 2002.
- Hashimoto, C. and T. Terakawa, Stress data inversion to estimate collision rate distribution and its application to the Izu Peninsula, Japan, Tectonophysics, 744, 47-57, 2018.
- Hashimoto, C. and M. Matsu'ura, 3-D simulation of tectonic loading at convergent plate boundary zones: Internal stress fields in northeast Japan, Pure Appl. Geophys., 163, 1803-1817, 2006.

④地震発生シナリオの評価

(a) 業務の要約

プレート境界地震シナリオの評価に向けて、大地震発生サイクルとゆっくりすべり の繰り返し間隔の変化との関連性について検討するために、スロースリップイベント (SSE)の繰り返し間隔の変化が観測されている相模トラフにおいて、地震発生サイク ルシミュレーションを実施した。

相模トラフでは、南海トラフの豊後水道地域や東海地域と同様に、大地震震源域と 隣接する領域で、SSE が繰り返し観測されている。1996年以降、房総半島沖で観測さ れている SSE の繰り返し間隔はだんだん短くなっていた。しかし、2013年~2014年 と、2018年6月にSSEが発生したことから、2011年を境に、繰り返し間隔がだんだん 長くなっていることが明らかとなった。このような繰り返し間隔の変化が、2011年東 北地方太平洋沖地震などの外部応力の影響によるものなのか、または SSE 域に隣接す る過去の M8前後の関東地震震源域の固着状況の変化を示しているのか、さらに、豊 後水道や東海地方で、今後、同様の変化が観測される可能性はあるのかなどについて 検討するために、相模トラフでのモデル構築に着手した。単純なモデルで計算を行っ た結果、関東地震震源域の固着状況の変化だけでは、2011年前後に観測されたような スロースリップの繰り返し間隔の変化は見られなかった。

(b) 業務の実施方法

摩擦パラメータA(=ao)、B(=bo)、L(特徴的すべり量)について、過去の地震 の震源域やスロースリップイベントの震源域、地殻変動観測から得られる知見などを 参考に空間分布を仮定して、地球シミュレータを用いた地震発生サイクルのフォワー ド計算によって行う(Nakata *et al.*, 2016)。フォワード計算では、プレート境界で 発生する地震の繰り返しを、プレート相対運動からのずれの蓄積と解放過程としてモ デル化する(例えば、Rice, 1993)。プレートの相対運動に起因するすべりによって生 じる準動的近似でのせん断応力変化と、強度の変化に伴うすべりの時空間変化を計算 する。プレート境界面の摩擦は、すべり速度・状態依存摩擦則(Dieterich, 1979)に 従うと仮定し、断層の構成則はNakatani (2001)に従うと仮定した。強度の時間発展 則には、slowness (aging) law (Dieterich, 1979、Ruina, 1983)を用いた。地震波 の放射によるエネルギーの減衰を準動的に近似する項(ダンピング係数)は、小さめ の値を仮定した(Nakata *et al.*, 2016)。摩擦パラメータの空間分布は、階層アスペ リティモデルに従い、A-B<Oかつ小さなLの領域内に、地震の震源域やSSE発生域と して、さらに不安定な領域を与えた。

過去 M8 クラスの関東地震や SSE の震源域(例えば、Sato *et al.*, 2016、0zawa *et al.*, 2014)、南海トラフや日本海溝で構築したモデルを参考に、摩擦パラメータの空間分布を仮定した(図3-10-④-1、図3-10-④-2)。モデル化の対象領域は東西方向約 200 km・深さ方向に 40 km と計算規模を小さくし、複数サイクルの計算を行いやすいようにした。



図3-10-④-1 摩擦パラメータ分布。不安定な摩擦条件の領域内に、より不安定 で地震を起こしやすい条件の円形パッチが2つと、比較的安定な摩擦条件の領域内 に、不安定な条件のパッチを1つ置いたモデル。(a)断層の構成則に関する摩擦パラ メータ a、(b)強度の時間発展に関する摩擦パラメータ b、(c)すべり速度弱化または 強化を表す摩擦パラメータ A-B (=(a-b) o)、(d)特徴的すべり量 L、(e)有効法線応力

 σ_{\circ}



図3-10-④-2 摩擦パラメータ分布。地震性すべりを起こす領域内にはパッチを 置かず、その隣に SSE を起こしやすい条件のパッチを置いた。(a)断層の構成則に関 する摩擦パラメータ a、(b)強度の時間発展に関する摩擦パラメータ b、(c)すべり速 度弱化または強化を表す摩擦パラメータ A-B (=(a-b) σ)、(d)特徴的すべり量 L、(e) 有効法線応力 σ。

(c) 業務の成果

相模トラフでは、図 3-10-④-1の摩擦条件で計算した結果、不安定パッチが1つ ずつ交互に破壊を繰り返した後、全体が破壊することによって、より大きな地震が発生 する、という複雑な地震発生パターンが得られた。ただし、SSE は、低頻度で小規模な ものしか起きなかった。また、SSE 域は本震のすべりには連動しなかった。(図 3-10-④-3)。

図3-10-④-2の摩擦条件で計算した結果は、約660年間隔で全域が破壊するシ ンプルな地震発生サイクルで、中頻度の大規模なSSEが発生した(図3-10-④-4)。 SSEのすべり速度は、大地震が近づくにつれて速くなったが、繰り返し間隔は、地震サ イクル間に顕著な変化は見られなかった。また、このモデルでは、SSE域は本震のすべ りに連動して地震性すべりを生じた。



図3-10-④-3 図3-10-④-1の摩擦条件で得られたすべり速度のスナップショット。色の白い(薄い)部分が地震時すべり、青い(濃い)部分では固着している ことを示している。



図 3-10-④-4 図 3-10-④-2の摩擦条件で得られたすべり速度のスナップショット。

(d) 結論ならびに今後の課題

南海トラフでのプレート境界すべりの推移予測の妥当性検証と予測の試行に向けて、 相模トラフ地域において地震発生サイクルシミュレーションを行った。相模トラフで は、M8クラスの地震サイクルと、その震源域のすぐそばで発生するスロースリップイ ベントを再現するモデルの構築に着手できた。今後は、2011年東北地方太平洋沖地震 のような外部からの応力擾乱を組み込んで、観測されたようなスロースリップイベン トの発生パターンだけでなく、過去の関東地震の発生パターンを再現できるよう、摩擦 パラメータの調整を行うとともに、地震サイクル中のスロースリップイベントのふる まいについて理解が深まるよう、観測データと整合する範囲内で様々なシナリオを複 数サイクル用意し、大地震震源域の近傍で発生しているスロースリップイベントの繰 り返し間隔について検討することが必要である。

(e) 引用文献

- Nakata, R., Hori, T., Hyodo, M., and Ariyoshi, K., Possible scenarios for occurrence of M[~]7 interplate earthquakes prior to and following the 2011 Tohoku-Oki earthquake based on numerical simulation, Scientific Reports, 6, 25704, doi:10.1038/srep25704, 2016.
- Rice, J. R., Spatio-temporal complexity of slip on a fault, J. Geophys. Res., 98(B6), 9885-9907, 1993.
- Dieterich, J. H., Modeling of rock friction, 1. Experimental results and constitutive equations, J. Geophys. Res., 84, B5, 2161-2168, 1979.
- Nakatani, M., Conceptual and physical clarification of rate and state friction: Frictional sliding as a thermally activated rheology, J. Geophys. Res., 106(B7), 13347-13380, 2001.
- Ruina, A., Slip instability and state variable friction laws, J. Geophys. Res., 88(B12), 10359-10370, 1983.
- Sato, T. et al., The source model and recurrence interval of Genroku-type Kanto earthquakes estimated from paleo-shoreline data, Earth, Planets and Space, 68:17, doi:10.1186/s40623-016-0395-3, 2016.
- Ozawa, S., Shortening of recurrence interval of Boso slow slip events in Japan, Geophys. Res. Lett., 41, 2762-2768, doi:10.1002/2014GL060072, 2014.

⑤巨大地震の震源モデル及び地殻・地盤モデル開発

(a) 業務の要約

強震動予測のための巨大地震震源モデルの構築に関して、昨年度までに構築した不 均質 SMGA 場モデルに、破壊伝播の不均質の設定、深さ依存性の検討を加えて更新した。 また、南海トラフ沿いの地震に適用する妥当性について検討した。不均質 SMGA モデル を南海トラフ巨大地震の地震動予測に適用し、不均質化を導入したことにより高周波 数成分が適切に付加されることを確認した。南海トラフ沿いの震源断層から陸域の観 測点までの地震波伝播経路の地殻構造モデルの検証、高度化のため、DONET 観測点間の 地震波干渉法による観測点間グリーン関数を推定し、熊野海盆周辺地域における周期 2~20 秒の Love 波群速度の空間分布の特徴を示した。

- (b) 業務の成果
- 1) 強震動予測のための巨大地震震源モデルの構築

強震動予測のためのプレート境界地震震源モデルは、強震動予測の対象周波数(0.1-10 Hz) で定義される SMGA(強震動生成域)をベースに構築するという方針を立て、平成28年度までに、M6~9のプレート境界地震のSMGAのパラメータ間の関係から、応力降下量分布とすべり分布の不均質分布モデルを構築した。応力降下量およびすべり

量の不均質分布は、空間的には、応力降下量分布は k⁻¹、すべり分布は k⁻²の波数スペ クトル形状を持つフラクタル分布を、確率分布には対数正規分布を仮定し、それらの 分布のパラメータは、既往地震の SMGA の平均応力降下量一面積の関係、平均すべり量 一面積の関係に合うよう調整した。また、この不均質 SMGA の場のモデルにより、2011 年東北地方太平洋沖地震の宮城沖 SMGA と同様の平均応力降下量、平均すべり量を持 ち、かつ、強い短周期パルス源とされる小領域(全体の平均応力降下量の約4倍の応 力降下量)を持つものが得られることを確認した。

今年度は、この不均質 SMGA 場モデルにおいて、(1) 設定方法が未解決であった破 壊伝播速度の不均質を導入、(2) 応力降下量の深さ依存性を導入する必要性について の検討、(3) 南海トラフ沿いの地震への適応性の検討を実施した。また、不均質 SMGA モデルに破壊伝播速度の不均質を追加したため、(4) 昨年度実施した、南海トラフ巨 大地震の広帯域震源モデル作成と大阪地域の地震動予測計算のやり直しを行った。(5) 2011年東北地方太平洋沖地震を対象とした地震波形のモデリングによる検証も試みて おり、SMGA モデル案を作成したが作業は途上である。

破壊伝播速度の空間分布は、すべり分布や応力降下量分布同様、震源過程の広帯域 化において大きな影響を持つが、応力降下量やすべり量との相関関係が決まらなかっ たため、昨年度までは暫定的に均質に設定していた。しかし、不均質応力降下量分布 を仮定した動力学震源モデルの破壊伝播速度を調べた研究(関ロ・他, 2017)により、 破壊伝播速度は応力降下量との相関はほとんど見られなかったが、Guatteri *et al.*

(2004) が示したのと同様に、破壊エネルギーとはばらつきは大きいものの相関があることが確認された。そこで、Guatteri *et al.* (2004) が提案する破壊エネルギーから破壊伝播速度を導く式を使って破壊伝播速度を設定する方法をとった。

地震の応力降下量の深さ依存性については、壇・他(2003)、岩田・他(2003)、佐藤(2006)が内陸地殻内地震やスラブ内地震でその傾向が見られると指摘している。 なお、佐藤(2006)では、プレート境界地震については深さ依存性が明瞭ではなかっ たとしている。本業務で構築する不均質 SMGA 場のモデルにも深さ依存性を入れる必要 があるかを、過去のプレート境界地震の SMGA モデルを用いて検討した。図3-10-⑤ -1左に、SMGA の深さと平均応力降下量の関係を表示したが、深さ依存性は詳らかで はなかったため、本業務の不均質 SMGA 場のモデルに深さ依存性を導入する必要性はな いと判断した。

不均質 SMGA 場モデルを拘束するのに用いた過去のプレート境界地震の SMGA モデル はすべて、日本海溝沿いの地震のものであった。本業務のターゲットである南海トラ フにおいては、近年、SMGA モデルが推定できるような大きさの地震がなかったが、2016 年に三重県沖で M5.9 の地震が起こり、Asano (2018) により SMGA モデルが推定され た。そこで、不均質 SMGA 場モデル拘束の基本としている SMGA の大きさと平均応力降 下量の関係について、図 3 - 10-⑤-1 右にこれまで用いてきたデータセットととも にプロットし比較した。2016 年の三重県沖の地震の SMGA 面積程度の大きさのイベン トの、SMGA の応力降下量は大きくばらついている。三重県沖の地震の応力降下量はば らつきの中で小さいほうの値を取るが、ばらつきの幅の中に入っており、この地震一 っだけでは、南海トラフの地震の SMGA の応力降下量が日本海溝沿いのそれに比べて系統的に小さいとは言えない。そこで、この不均質 SMGA モデルを南海トラフ沿いのプレート境界地震に適用することは妥当であると判断した。

不均質 SMGA モデルに、上述のように破壊伝播速度の不均質の設定方法を新たに加え たので、昨年度実施した南海トラフ巨大地震の不均質 SMGA モデル作成と地震動計算の やり直しを行った。不均質 SMGA モデルは、昨年度同様、南海トラフの巨大地震モデル 検討会・首都直下地震モデル検討会(2015)(以下、内閣府 2015 モデル)で設定され た、均質な SMGA からなるモデルを不均質化する形で行った。SMGA の応力降下量分布、 すべり分布、ライズタイム分布、すべり速度関数分布の設定は昨年度同様である。破 壊伝播速度分布は、応力降下量と破壊開始点からの距離とから計算される破壊エネル ギーにより計算し、破壊伝播速度分布と破壊開始点位置から破壊時刻を計算した。設 定した不均質 SMGA モデルの応力降下量分布、すべり分布、破壊時刻分布を、均質モデ ルとともに図3-10-⑤-2に示す。大阪堆積盆地内に限りS波速度350 m/s以上の 堆積層地盤 (Sekiguchi et al., 2016) を考慮し、それ以外では基盤岩が露頭してい る設定で、0~0.7 Hzの地震動を3次元差分法(Pitarka, 1999)で理論的に計算し た。計算の仕様は昨年度と同様である。図3-10-5-3に、計算された地震動の大 阪堆積盆地周辺の最大速度分布を示す。右は不均質 SMGA モデルによるもの、左は均質 SMGA モデルによるものである。不均質 SMGA モデルでは、均質 SMGA モデルに比べ、全 体的に絶対値が大きく、空間変化の波長が短いように見える。昨年度は、破壊伝播は 全く同じ均質で、すべり量や応力降下量のみ異なるものを比較し、同様に最大速度分 布の空間変化の波長が異なることを見出したが、最大速度の大きさとしてはあまり変 化が見られなかった。どこでも必ず地震動レベルが大きくなるということはこの例だ けでは言えないが、破壊伝播速度の不均質を入れたことで不均質化の影響は格段に大 きくなったことがわかる。計算地震動の一例として、図3-10-⑤-4に大阪湾岸部 に位置する KiK-net 此花 (OSKH02) における波形、および、不均質 SMGA モデル/均質 SMGA モデルスペクトル比を示した。この地点の比較では、不均質 SMGA モデルによる 計算地震動は、均質 SMGA モデルのそれに比べ 0.3Hz 以上の高周波数成分のレベルが高 まっているが、大阪盆地内では全般的に同様の特徴が確認された。

不均質 SMGA モデルの地震動生成能力を確認するためには、過去の地震の SMGA のモ デル化に本手法を適用し、地震動を計算して観測と比較検証することが有効である。 そこで、2011 年東北地方太平洋沖地震の際、最初に破壊したとされる SMGA について、 Asano and Iwata (2012) のパラメータを初期値としこれを不均質化したものを作成し た(図3-10-⑤-5)。地震動計算は、現在試行中である。

399



図3-10-5-1 左:既往の SMGA モデルの深さと平均応力降下量の関係。右:既 往の SMGA モデルの面積と平均応力降下量の関係。左右両図において、青点は 2016 年 に三重県沖で M5.9の地震のパラメータ値。



図 3-10-⑤-2 南海トラフ巨大地震 SMGA モデルの応力降下量分布(上)とすべ り量分布(中)と破壊時刻分布(下)。左が内閣府 2015 モデルに沿った均質モデル。 右が不均質 SMGA モデル。



図 3-10-5-3 計算された予測地震動の最大速度分布。左は均質 SMGA モデルに よるもの、右は不均質 SMGA モデルによるもの。



図 3-10-5-4 均質及び不均質 SMGA モデルにより計算された、大阪湾岸部の此 花(KiK-net OSKH02 地点)における予測地震動(速度)(上)、および、地震動スペ クトル比(不均質 SMGA/均質 SMGA)(下)。



図 3 - 10 - 5 東北地方太平洋沖地震の SMGA の一つについて作成した不均質 SMGA モデルの例。

2) 地震波干渉法による伝播経路地殻構造モデルの検証・高度化

本業務では南海トラフ巨大地震による長周期地震動の生成・伝播特性に重要な役割 を担う、震源域から陸域における伝播経路モデル化の高度化に資する情報を得るため、 海域の観測点と陸域の観測点を組み合わせた2点間相互相関関数の利用した研究を進 めている。海洋プレート上面の上に位置する付加体が長周期地震動の増幅特性に大き く寄与していることは、2004年紀伊半島沖地震の観測記録の分析や地震動シミュレー ションなどの既往研究(例えば、Yamada and Iwata, 2005、Furumura *et al.*, 2008、 Nakamura *et al.*, 2014)でも指摘されていることから、震源域と陸域の間に位置する 付加体の地震波速度構造を高度化することは、南海トラフ巨大地震の地震動シミュレ ーション研究の高精度化のためには不可欠であると考えられる。

平成26年度に、熊野海盆周辺海域において地震・津波観測監視システム(DONET1) を運用する国立研究開発法人海洋研究開発機構地震津波海域観測研究開発センターより、DONET1の広帯域地震計20点の連続波形データ約1.6年分(2013年1月15日~ 2014年9月2日)の提供を受け、データフォーマットの変換作業を実施した。DONET1 の各観測点には、Guralp 社製広帯域地震計CMG-3T が設置され、3成分の地動速度記 録がサンプリング周波数200 Hz で収録されている。平成27年度から29年度にかけて は、平成26年度に整備したデータセットを用い、南海トラフ地震時の長周期地震動の 生成に大きく寄与していると考えられている熊野海盆付近の付加体の地殻構造に注目 し、観測点間の相互相関関数を抽出するための地震波干渉法によるデータ解析を進め てきた。熊野海盆周辺の観測点間の群速度構造を精度よく推定するための解析を試行 錯誤的に試してきたが、海底地震計を用いた解析という困難さもあり、付加体の速度 構造モデルに戻す前の群速度情報を得る段階で、解析結果の精査を必要としていた。

平成30年度は、過年度に実施した解析手順を見直し、再解析を実施した。熊野海盆 周辺の Love 波群速度の推定結果を改善することができ、最終年度に行う S 波速度構造 モデル検証・高度化に資する情報を得ることができた。以下に、解析手順の概略を説 明する。解析手順の骨格は、過年度の報告と同様に地震波干渉法の標準的手続きとし て提案されている解析手法(Bensen *et al.*, 2007)に従っている。まず、連続波形記 録を1時間毎のセグメントに分割した(欠測している時間帯のデータは除く)。DONET1 地震計の設置方位情報(中野・他, 2012)をもとに、水平2成分の波形データの方位 が N+ (北向き正)及び E+ (東向き正)になるよう座標変換を行った。記録の基線を 補正した後、0.025 Hz から 2 Hz の帯域通過フィルター (チェビシェフ型)を適用した。 次に、地震やその他のノイズ等による非定常信号の影響を抑制するため、時間領域に おいて、3成分のベクトル波形の時間平均振幅の逆数をもとにした重み付けである Running Absolute Mean 法 (Bensen et al., 2007) による正規化を行った。このとき、 時間平均を取る window の長さは 10 秒とした。波形の初めと終わりに sin 関数型のテ ーパを適用し、Fourier 変換を行った。周波数領域でスペクトルホワイトニングを行 い、2点間のクロススペクトルを成分ペア毎に計算した。これらのクロススペクトル を Fourier 逆変換し、時間領域の信号に戻した。この操作を全ての利用可能な連続記 録に対して行い、それらを時間領域でスタックして、最終的な相互相関関数とした。 スタッキングにより得られた相互相関関数を座標変換(Lin et al., 2008) すること で、Vertical、Radial、Transverse 成分を作成し、このうちグリーンテンソルの T-T に対応する相互相関関数を取り出した。2点間の相互相関関数に表面波が卓越してい る場合、T-T 成分は、主として Love 波の伝播に対応する。なお、Rayleigh 波は、海水 層の影響も受けることで、波動場の取り扱いに注意を要するのに対し、Love 波につい ては、海底面でのせん断応力が0であることから、海底面は自由表面と同じ取り扱い ができる。このため、海底下のS波構造を検討する本研究の目的のためには、Love 波 (T-T 成分)に対象を絞って解析することとした。

次に、Multiple Filter Analysis (Dziwonski et al., 1969)による時間-周波数 解析を行い、各観測点ペアに対して、周期毎の群遅延時間を求めた。2地点間を伝播 する表面波の伝播経路を2地点間の大円経路で近似できると仮定し、2地点間の距離 を群遅延時間で割ることにより、そのペアのその周期における群速度推定結果とした。 群速度を求める周期は、周期2~20秒の範囲を0.2秒刻みとしたが、各観測点ペアに よって観測点間距離や記録の S/N が異なるため、1つ1つの観測点ペア毎に群速度を 適切に推定可能な周期範囲を確認しながら推定した。周期2~3秒程度の相対的に短 い周期では、特に、観測点間距離の長い観測点ペアで波動場のコヒーレンスが十分で はなく、群速度を抽出できない観測点ペアでは、波長と観測点間距離との関係(観測点 間距離が2~3波長程度より長い必要がある)で、地震波干渉法で群速度を適切に推 定するために要請される条件を満足しないことから、これらのペアについても群速度 は推定していない。また、時間-周波数解析による群速度分散曲線を1つ1つ作図し て確認することにより、Love 波基本モードと考えられる群速度のみを抽出している。 このため、群速度を推定できた観測点ペア数は周期毎に異なる。今回の再解析により、 過年度に報告した解析結果で指摘していた異常値もなくなり、群速度の空間分布の特 徴がはっきりした。

図3-10-⑤-6は各観測点ペアに対して得られた各周期の Love 波群速度を地図 上にマッピングした結果である。個々の観測点を結ぶ直線の色がその観測点ペアに対 する群速度を表している。この図では、周期2~10秒では1秒刻み、10秒以上では2 秒刻みで推定結果を図示している。本研究では、周期0.2秒刻みで群速度を推定した が、この図では代表的な周期のみを示している。いずれの周期においても熊野海盆を 横切るペアで特に遅い群速度が得られている。熊野海盆内では、周期3.0秒では群速 度約0.3 km/s、5.0秒では約0.4 km/s、8.0秒では約0.6 km/s であった。外縁隆起帯 (観測点 KMC09~KMC12 付近)を主として波線が通過するペアでは、いずれの周期でも、

熊野海盆内に比べて相対的に大きな群速度が得られた。

同図で示されているとおり、熊野海盆から外縁隆起帯にかけて、空間不均質を伴う Love 波群速度情報を精度よく得られた。明瞭な空間不均質を示していることから、こ れを説明可能な S 波速度構造を推定する必要がある。現時点では測線毎の群速度が求 まったが、平成 31 年度は、平成 30 年度に得られた相互相関関数や群速度情報を用い て、群速度トモグラフィ(Asano et al., 2017)を行うことで、群速度を空間セルに マッピングする。そして、各空間セルでの群速度分散曲線を解析することにより、熊 野海盆周辺の S 波速度構造モデルを推定する計画である。



の色が対応するペアの群速度を表す。

(c) 結論ならびに今後の課題

強震動予測のための巨大地震震源モデルの構築に関して、既往研究の SMGA モデルに 基づいて、深さ依存性と南海トラフ沿いの地震に適用する妥当性について検討し、深 さ依存性の考慮が不要なこと、南海トラフ沿いの地震に適用することが妥当であるこ とを確認した。また、破壊伝播速度の空間分布を、破壊エネルギーの考え方に基づい て応力降下量に関連付けて設定する方法を組み入れた。この不均質 SMGA モデルを南海 トラフ巨大地震の地震動予測に適用し、不均質化により高周波数成分が増強されるこ とを確認した。不均質 SMGA の有効性の確認のため、既往地震へ適用し地震動のモデル 化により検証することが必要である。

熊野海盆周辺に展開されている DONET1 の広帯域地震計連続記録を解析し、長周期地 震動の生成に関係する周期2~20秒の範囲での、Love 波群速度を推定した。解析対象 周期帯域では、熊野海盆から外縁隆起帯にかけて、明瞭な空間不均質を伴う Love 波群 速度情報が得られた。今後は最終年度のとりまとめに向けて、群速度空間分布を説明 可能なS波速度構造を推定し、地震動予測の高度化に資する必要がある。

(d) 引用文献

- Asano, K., Source Modeling of an MW 5.9 Earthquake in the Nankai Trough, Southwest Japan, using Offshore and Onshore Strong Motion Waveform Records, Bull. Seismol. Soc. Am., 108, 1231-1239, doi:10.1785/0120170357, 2018.
- Asano, K. and T. Iwata, Source model for strong ground motion in 0.1–10 Hz during the 2011 Tohoku earthquake, Earth Planets Space, 64, 1111–1123, 2012.
- Asano, K., T. Iwata, H. Sekiguchi, K. Somei, K. Miyakoshi, S. Aoi, and T. Kunugi, Surface wave group velocity in the Osaka sedimentary basin, Japan, estimated using ambient noise cross-correlation functions, Earth Planets Space, 69:108, doi:10.1186/s40623-017-0694-3, 2017.
- Bensen, G. D., M. H. Ritzwoller, M. P. Barmin, A. L. Levshin, F. Lin, M. P. Moschetti, N.M. Shapiro, and Y. Yang, Prossessing seismic ambient noise data to obtain reliable broad-band surface wave dispersion measurements, Geophys. J. Int., 169, 1239-1260, 2007.
- 壇一男,渡辺基史,宮腰淳一:既存のスペクトルインバージョン結果と震源インバージョン結果から推定されるアスペリティの実効応力と断層タイプ及び深さとの経験的関係,日本建築学会構造系論文集,第565号,pp.55-62,2003.
- Dziewonski, A., S. Bloch, and M. Landisman, A technique for the analysis of transient seismic signals, Bull. Seismol. Soc. Am., 59, 427-444, 1969.
- Furumura, T., T. Hayakawa, M. Nakamura, K. Koketsu, and T. Baba, Development of long-period ground motions from the Nankai Trough, Japan, earthquakes: Observations and computer simulation of the 1944 Tonankai (Mw 8.1) and the 2004 SE Off-Kii Peninsula (Mw 7.4) earthquakes, Pure Appl. Geophys., 165, 587-607, 2008.
- Guatteri, M., P. M. Mai, and G. C. Beroza, A pseudo-dynamic approximation to dynamic rupture models for strong ground motion prediction, Bull. Seismol. Soc. Am., 94(6), 2051-2063, 2004.
- 岩田知孝, 三宅弘恵, 浅野公之, Zhang Wenbo, 関口春子, 不均質震源特性の抽出と 分析, 地震災害軽減のための強震動予測マスターモデルに関する研究第 2 回 シンポジウム論文集, pp.109-112, 2003.
- Lin, F.-C., M.P. Moschetti, and M.H. Ritzwoller, Surface wave tomography of the western United States from ambient seismic noise: Rayleigh and Love wave phase velocity map, Geophys. J. Int., 173(1), 281–298, 2008.
- Nakamura, T., M. Nakano, N. Hayashimoto, N. Takahashi, H. Takenaka, T. Okamoto,

E. Araki, Y. Kaneda, Anomalously large seismic amplifications in the seafloor area off the Kii peninsula, Marine Geophysical Research, 2014, 35(3), 255-270, 2014.

- 中野優, 利根川貴志, 金田義行, 地震動波形から推定した DONET 地震計の方位, JAMSTEC Report of Research and Development, 15, 77-89, 2012.
- 南海トラフの巨大地震モデル検討会・首都直下地震モデル検討会,南海トラフ沿いの 巨大地震による 長周期地震動に関する報告,2015,

http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_report.html

- Pitarka, A., 3D elastic finite-difference modeling of seismic motion using staggered grids with nonuniform spacing, Bull. Seism. Soc. Am., 89, 54-68, 1999.
- 佐藤智美,中小地震の応力降下量の断層タイプ・震源深さ依存性及び地域性に関する 研究,土木学会地盤工学論文集,2006.
- Sekiguchi H, K. Asano, T. Iwata, M. Yoshimi, H. Horikawa, H. Saomoto, T. Hayashida, Construction of 3D velocity structure model of Osaka sedimentary basin, Proceedings of the 5th international symposium for effects of surface geology on seismic motion, Taipei, 15–17 August, 2016
- 関ロ春子,岩田知孝,浅野公之,災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画 平成28年度年次報告,2017,

http://yotikyo.eri.u-tokyo.ac.jp/h28/html/1911/index.html

Yamada, N. and T. Iwata, Long-period ground motion simulation in the Kinki area during the M_J 7.1 foreshock of the 2004 off the Kii peninsula earthquakes, Earth Planets Space, 57, 197-202, 2005.

⑥強震動・津波・地殻変動シミュレーションに基づく地震・津波ハザードの評価

(a)業務の要約

南海トラフ巨大地震による強震動、地殻変動、そして津波のハザード評価の高度化 に向けて、GNSS 地殻変動観測データに基づく準静的シミュレーションから推定された プレート境界の応力蓄積分布を仮定し、断層の動的破壊伝播シミュレーションから推 定された地震破壊領域に対応する2つの地震シナリオ(シナリオ①、②)の強震動(長 周期地震動)、地殻変動、津波ハザードを評価した。震源域の広がり・地震規模(Mw) が異なる2つの地震シナリオに対し、強震域(地動速度・震度が大きな範囲)は震源 域に沿って拡大するものの、各地点の強震動のレベルは、隣接する強震動生成域に支 配され、シナリオによる変動が小さいことが確認できた。また、主要平野(大阪、名 古屋、関東)の長周期地震動レベルは、長周期帯(>5秒)では断層破壊開始点(震 源)の違いにり変動するが、短周期帯ではシナリオ間の影響は小さいことがわかった。 一方、地殻変動については、南海トラフ地震の震源断層が陸域に近いために、地震シ ナリオによる海岸線の隆起・沈降のパターンが大きく変動するために、沿岸の津波波 高に大きな差異が生じることが確認された。

震源の近傍から比較的近い地域における気象庁震度が存在しないため、この範囲に おける被害シナリオが不明確であった1945年三河地震(M6.8)と1948年井地震(M7.1) について、その直後に東京大学地震研究所によって行われた比較的高密度のアンケー ト調査結果を分析することにより、これらの地震の震度分布を推定し、昭和東南海地 震・南海地震前後に発生した内陸大地震の強震動・地殻変動などによる被害を明確化 した。さらに、1847 年善光寺地震 (M7.4)、1853 年小田原地震 (M6.7±0.1)、1854 年 伊賀上野地震(M71/4±1/4)、1854年伊予西部地震(M7.3~7.5)、1855年江戸地震(M7.0 ~7.1)、1857 年伊予地震(71/4±0.5)、1858 年飛越地震(M7.0~7.1) について、宇 佐美・大和探査技術株式会社(1994)、宇佐美(2010)、宇佐美・他(2013)を検討する ことによりこれらの地震の震度分布を求め、安政東海地震と南海地震の前後に発生し た内陸大地震・スラブ内大地震の強震動・地殻変動等による被害を明確化した。また、 昭和東南海地震・南海地震と安政東海地震・南海地震の断層モデルを用いて、1997年 ~2018 年に発生した地震のメカニズム解に対するクーロン破壊関数 (ΔCFF) を計算 することにより、南海トラフ巨大地震の前後において、どの場所で内陸地震・スラブ 内地震が起きやすくなるのかの推定も試みた結果、昭和と安政の南海トラフ巨大地震 の前後で発生した内陸大地震とスラブ内大地震は、南海トラフ巨大地震の影響を受け ている可能性があることが分かった。

(b) 業務の成果

1)本プロジェクト研究の昨年度(平成29年度)の成果として、国土地理院GEONET地 設変動観測データ解析から求められた、南海トラフ域プレート境界の滑り遅れ分布と、 それによる応力場の条件下での断層の動的破壊伝播シミュレーションに基づいて、将 来発生する可能性のある複数の地震シナリオが示された(図3-10-⑥-1:南海ト ラフ広域地震防災プロジェクト平成29年度成果報告書による)。推定された地震シナ リオは、断層破壊開始点(震源)の位置毎に、地震発生に必要な応力擾乱の大きさや、 震源域の拡大範囲(地震規模)が大きく異なっている(図3-10-⑥-1)。

本研究では、複数の地震発シナリオのうち、地震規模が異なる2つのエンドメンバー(Mw7.8とMw8.4)について、強震動・長周期地震動、地殻変動、津波を計算し、地震シナリオの違いによる地震・津波ハザードの違いを検討した。本ハザード評価は、破壊開始点を潮岬沖(図3-10-⑥-1;擾乱点1に対応)とする地震シナリオ①

(Mw7.8)と、破壊開始点を室戸岬沖(図3-10-⑥-1;破壊開始点3)とする地震 シナリオ②(Mw8.4)を対象に行った。

地震動・地殻変動・津波の計算にあたり、内閣府による南海トラフ巨大地震の被害 想定の結果との整合性を考慮し、動的破壊伝播シミュレーション結果を計算に直接使 用するかわりに、内閣府(2012)の強震断層モデル震源モデルの一部を用いてシナリ オ①、②の断層破壊伝播過程に対応した計算を行った。具体的には地震シナリオ①に は、内閣府の震源モデルのセグメント7(Mw7.6)のパラメータを用い、また、地震シ ナリオ②には、セグメント7(Mw7.6)、8(Mw8.0)、9(Mw7.9)(合計:Mw8.2)のもの を用いた。プレート境界の深さ、セグメントの断層パラメータ(走行、傾斜、すべり 角、破壊伝播速度、Rise time)は、内閣府の震源モデルパラメータを使用した。



図3-10-⑥-1 プレート境界の滑り遅れの蓄積に基づく断層破壊の動的破壊伝播 シミュレーションから推定された、南海トラフ地震の震源シナリオ可能性。上段は破 壊開始点(震源)とそれによる断層破壊の範囲・地震規模(Mw)。中段は断層破壊伝 播の時間発展の例(破壊開始点が3の場合)。下段は地震発生に必要な応力擾乱の大 きさ(単位は'力')。南海トラフ広域地震防災プロジェクト平成29年度成果報告 書、p367 図3-10-⑥-2を再掲。

a) 強震動シミュレーション

強震動シミュレーションは、3次元差分法コード(OpenSWPC; Maeda *et al.*, 2017) を用いて行った。計算領域は、九州~東北地方にかけての768.8 km×1228.8 kmの範 囲とし、深さ200 km までを0.2 kmの格子間隔で離散化して、地震波伝播を計算した。 堆積層構造と地殻・マントル構造、そしてフィリピン海プレート及び太平洋プレート モデルは、JIVSM モデル(Koketsu *et al.*, 2008)を用いて与えた。

計算に用いた地震シナリオ①、②を図3-10-⑥-2(a)に示す。破壊開始点(震源、 印)より破壊伝播が Vr=2.7km/s で伝播するものとし、各断層セグメントから地震波を 放射させた。震源時間関数は周期 5.6 秒の t-exp 関数を用いた。本計算では、最短の 地震波の波長あたり5点の離散化により、最大周波数 1.5 Hz までの地震動を評価し た。 計算から得られた最大速度(PGV)分布を図3-10-⑥-3に示す。地震シナリオ① に基づく計算結果では、震源域を中心に最大200 cm/sを越える大きなPGV が確認で き、南海トラフ沿いの付加体に沿って北東一南西方向にPGV のコンターが延びた結果 となった。また大阪平野、濃尾平野などの震源域に近い大規模平野では、堆積層によ る地動の強い増幅が見られる。地動の増幅は、中央構造線沿いや関東平野、新潟平野、 富山平野、出雲平野、大分平野などにも飛び地のように現れた。

一方、地震シナリオ②の計算結果は、震源域の広がりに伴い、揺れが 100cm/s を越 える範囲が四国〜紀伊半島の広範囲に延びた。さらに断層面上の破壊伝搬のディレク ティビティ(地震波指向性)効果により、断層破壊の伝播方向に向け、遠州灘〜御前 崎へ強い揺れの範囲が拡大した結果となった。地震シナリオ①と比べて地動の大きな 範囲(>20 cm/s)の拡大(四国〜中国〜東海地域)が著しい。

次に、主要平野の3地点(東京、名古屋、大阪)での長周期地震動を地震シナリオ ①、②で比べると、いずれの平野も最大振幅に大きな違いはないこと、ただし、地震 規模(震源域)の大きいシナリオ②は長周期地震動の継続時間が長くなることがわか る。特に大阪地点(図3-10-⑥-4(c))は、地震シナリオ②の3つの断層セグメン トからの距離が近いという地理的要因もあり、地震シナリオ①に比べて、揺れの継続 時間が2~3倍長くなっている。一方、断層セグメントから離れた名古屋地点(図3 -10-⑥-4(b))と東京地点(図3-10-⑥-4(a))では、これらの地点に最も近 い潮岬沖の断層セグメントからの地震波放射の影響は大きいが、地震シナリオ②の紀 伊水道や室戸岬沖の断層セグメントからの地震波放射の影響は、震源距離が大きいた めに長周期地震動の波形に大きく寄与しないと言える。

速度応答スペクトルを比較すると、周期5秒程度までの比較的短い周期帯では地震 シナリオ毎の違いはほとんど見られない。これより長い周期帯では、周期とともに若 干(10~20%)の応答レベルの差が認められる。

以上より、地震シナリオ①、②の違いにより、強震域の範囲は大きく変動するが、 各地点の強震動(短周期地震動)のレベルは近傍の強震動生成域で規定されるために、 震源域の拡大の影響は小さいと結論づけられる。しかしながら、長周期地震動(>5秒) では断層破壊伝播のディレクティビティ効果により、速度応答レベルに若干の変動が 生じる可能性が示された。

410



図 3 - 10 - ⑥ - 2 (a) 検討した 2 つの地震シナリオ①、②の断層セグメント(強震 動生成域)の位置を赤□で、それぞれの破壊開始点を☆印で示す。(b)-(d) 地震シナリ オ①による地震波動伝播の様子(地震発生から 100、200、300 秒後)。赤は上下動、緑 は水平動の揺れの強さを表す。



 図 3-10-⑥-3 地震波伝播シミュレーションから求められた最大地動 (PGV) 分布、(a) 地震 シナリオ①、(b) 地震シナリオ②の震源モデルに基づく計算結果。△
は、K-NET、KiK-net 観測点、及び海底ケーブル観測点 (気象庁、DONET、及び N-net 想定地点)を表す。



図3-10-⑥-4 地震波伝播シミュレーションにより求められた主要平野3地点 (東京、名古屋、大阪) での長周期地震動の波形(地動速度、EW成分)と速度応答 スペクトル(減衰定数=5%の場合)の地震シナリオ①、②の比較。(a) 関東平野、 新宿(K-net TKY007地点)、(b) 濃尾平野、小牧地点(K-NET、AIC002)、(c) 大阪平 野、此花地点(KiK-net OSKH02)。参考として、2011年東北地方太平洋沖地震におけ

る、各観測点の観測記録による速度応答スペクトルを示す(黒点線)。

b) 地殼変動

次に、地震シナリオの違いによる地殻変動分布の違いを比較した(図3-10-⑥-5)。地殻変動は、Okada(1992)による半無限弾性体モデル(剛性率33 GPa、ポアソン比 0.25)により計算した。 地震シナリオ①では、震源域周辺の紀伊半島南端に最大 20cm の沈降域が広がり、和 歌山県と奈良県が1cm 以上の沈降となる。また、和歌山県の東側の海岸線に沿って沈 降と隆起の境界(ヒンジライン)が生じる。震源域から離れた瀬戸内海や土佐湾、伊 勢湾の隆起沈降は 0.1cm 以下とほぼ無視できる量となる。

地震シナリオ②では、四国、淡路島、大阪の広範囲が最大 50cm 沈降し、瀬戸内海も 1 cm 以上の沈降域となる。逆に、隣接する和歌山県は最大 50cm 隆起するなど、海岸 線に沿って隆起・沈降が大きく空間変動する。

地殻変動の影響は、距離の2乗で急激に減衰するため、海岸線や内海への影響は、 震源域の内陸への拡大範囲(プレート境界の深さ方向の延長)に大きく依存する。ま た、地殻変動の隆起・沈降のパターンは、断層メカニズム(滑り分布、メカニズム) により大きく変動し、地震シナリオによっては沈降域が隆起に転じることに注意が必 要である。

c)津波

地震シナリオ①、②に対する津波シミュレーションから求められた、太平洋沿岸の 津波高分布を図3-10-⑥-6に比較する。なお、津波計算の領域は、東経131度~ 139度、北緯31度12分~38度12分とし、格子間隔6分(約180m)で離散化して、 非線形長波式の差分法計算(Satake, 1995)により3時間の津波伝播から最大波高を 求めた。計算では海底摩擦の効果はマニングの粗度係数=0.025により与えた。なお、 本計算では海岸遡上の効果は考慮していない。

津波計算では、先に求めた地震シナリオ①、②による地殻変動分布をもとに初期津 波をライズタイム 30 秒で海面に与え、地震地殻変動による海岸線の隆起・沈降量を地 形データに加味した。シナリオ②については、各断層セグメントの破壊開始時間を考 慮した計算も行ったが、差異はほとんど見られなかった(図3-10-⑥-7)。

計算から求められた津波高分布は、2つの地震シナリオで大きく異なったものとなり、シナリオ②において紀伊半島~四国にかけての震源域に沿って、5mを越える津 波高が確認された。そして、海岸線の隆起による津波高の増加の影響が大きく、また、 紀伊半島南端では地殻変動パターンの違いにより、津波高が増大する地域と低下する 地域が複雑な分布で生じた(図3-10-⑥-7)。

地震シナリオの違いによる津波高の違いは、地震地殻変動による海岸線の隆起・沈 降パターンの変化と、初期津波の変化の両方の影響を受けることで、変動は非常に大 きい。これは、地震動・長周期地震動では見られない現象である。特に、南海トラフ 地震の震源域が陸域直下に広がるために、地震シナリオ毎の断層近傍の複雑な隆起・ 沈降パターンにより、沿岸の津波高が大きく変化することに注意が必要である。



図3-10-⑥-5 地殻変動計算により求められた震源域直上から陸上にかけての地 殻変動の分布(赤は隆起域、青は沈降域を表す)。緑は震源モデルの位置を表す。(a) 地震シナリオ①、(b)地震シナリオ②に基づく地殻変動の評価結果。



図 3-10-⑥-6 津波計算により求められた、海岸線での津波高の分布。(a) 地震 シナリオ①、(b) 地震シナリオ②に基づく津波の評価結果。



図3-10-⑥-7 各沿岸地域での津波高分布の比較。(A-B)九州東岸、(C-D)四国 南岸、(E-F)紀伊半島南岸、(G-H)東海南岸。青丸:地震シナリオ①、緑丸:地震シナ リオ②による津波高。赤丸は、断層破壊伝播(Vr=2.7 km/s)による各断層セグメン

ト上の初期津波の発生時間遅れを考慮した計算結果(地震シナリオ②)。

2) 過去の南海トラフ巨大地震前後に発生した内陸大地震の詳細震度分布を用いた強 震動被害・地殻変動被害の明確化

a) 地震研究所のアンケート調査による 1945 年三河地震の震度分布とその特徴

1945 年三河地震(M6.8) については、被害が甚大であった震源近傍では詳細な被害 分布や住宅の倒壊率による震度分布が求められている。しかしながら、中央気象台(現 気象庁)の震度が密に得られていないことや、激甚な被害以外の報告が残っていない などの影響で、震源から比較的近く、いくらかの被害が予想される愛知県や岐阜県、 三重県における被害・地震時の諸現象・震度の分布はほとんど分かっておらず、南海 トラフ巨大地震前後に頻発する内陸地震やスラブ内地震による広域な被害シナリオの 想定が困難であった。したがって、三河地震直以後に東京大学地震研究所によって行 われた震度アンケート調査結果を再検討することにより、この地震の広域的な被害分 布や震度分布を明らかにすることによって、南海トラフ巨大地震前後に頻発する内陸 地震やスラブ内地震による広域な被害シナリオを明確化した。本研究では、東京大学 地震研究所によるアンケート調査表 174 枚(神奈川県1枚、山梨県2枚、長野県 11 枚、 富山県2枚、石川県3枚、福井県6枚、静岡県28枚、岐阜県30枚、愛知県28枚、三 重県 29 枚、滋賀県 22 枚、京都府1枚、奈良県1枚、大阪府5枚、和歌山県4枚、鳥 取県1枚)の再検討を行った。1枚の(1観測点の)アンケート調査票からは複数の 震度が得られるが、1観測点に複数の震度報告値があると扱いが不便となるため、こ れらの代表値を求めた。代表値としては、平均震度や最大震度が考えられるが、本研 究では、中央気象台の震度分布と対応が最も良い震度報告値の上位3個分の平均値を 震度代表値とした。三河地震のアンケートによる震度分布を図3-10-⑥-8に示す。

愛知県内では、震源域近傍を含む県西部地域の 20 点以上でアンケートによる震度
(アンケート震度)が報告されている。愛知県形原町では、旧気象庁震度でVII、VIと いう最大の震度、また、幡豆町でも旧気象庁震度階でVIという大きな震度が推定され たが、三河地震の震源から名古屋市、その北西部に向かって旧気象庁震度階でIV~V の大きな震度が分布していることが分かった。この広域的な特徴は、名古屋市とその 北西部が濃尾平野に位置するために揺れが増幅されやすいことが原因だと考えられ、 三河地震のようなマグニチュードの大きくない内陸地震であっても、平野部であれば 大きな震度、すなわち被害の分布が、かなり広域に広がることが改めて確認された。 さらに、濃尾平野北部の岐阜県内でも、岐阜市・大垣市とその周辺の町村においも旧 気象庁震度階でVというアンケート震度になっていることが分かった。静岡県の西部 から中部にかけても浜名湖畔の軟弱地盤による揺れの増幅による大きな震度が分布し ており、さらに、この大きな震度は浜名湖畔のみにとどまらず静岡県中部まで広く分 布していることが分かった。三河地震の震源から比較的離れた三重県内においても、 北部から中部にかけての地域では旧気象庁震度階でIVの震度が分布していることが明 らかになった。以上の事から、三河地震は、そのマグニチュードは大きくないにもか かわらず、濃尾平野にあたる愛知県西部・北西部、岐阜県南部、静岡県西部や三重県 全域を、広域にわたって大小の被害をもたらす可能性のある強い揺れが襲うことが明 らかになった。南海トラフ巨大地震によって損傷を受けた住宅やインフラ施設などは、 このような揺れであってもかなりの被害を受けると予想されるので、南海トラフ巨大 地震が発生した後の内陸地震による被害は、単独の内陸地震による被害よりも広域的 に広がる恐れがあると考えられる。



図 3-10-⑥-8 アンケート調査による三河地震の震度分布。(A): 広域図、 (B): 拡大図。

b) 地震研究所のアンケート調査票による 1948 年福井地震の震度分布とその特徴

三河地震とおなじく、1948 年福井地震(M7.1)についても、被害が甚大であった震 源近傍では詳細な被害分布や住宅の倒壊率による震度分布が求められているにもかか わらず、中央気象台の震度があまり密に得られていないことや、激甚な被害以外の報 告が残っていないなどの影響で、広域な被害・地震時の諸現象・震度の分布はほとん ど分かっていなかった。したがって、三河地震に続き、南海トラフ巨大地震前後に頻 発する内陸地震やスラブ内地震による広域な被害シナリオを明確化するために、福井 地震直以後に東京大学地震研究所によって行われた震度アンケート調査結果を再検討 することにより、この地震の広域的な被害分布や震度分布を明らかにした。本研究で は、東京大学地震研究所によるアンケート調査はがき 594枚(山梨県 19枚、長野県 53 枚、静岡県 24 枚、岐阜県 37 枚、愛知県 21 枚、新潟県 55 枚、富山県 38 枚、石川県 36 枚、福井県 73 枚、滋賀県 36 枚、京都府 34 枚、三重県 27 枚、和歌山県 19 枚、奈良県 10 枚、大阪府 8 枚、兵庫県 47 枚、岡山県 41 枚、鳥取県 19 枚)の集計表の検討を行 った(調査はがきは所在不明)。アンケート調査はがきは、地震時の事象に関する1問 1 答形式の質問集になっており、回答者が自分の経験した事象を回答するとそれと対 応する震度が得られる。したがって、1枚の(1観測点の)アンケート調査はがきに おける回答者の答えから複数の震度が得られるが、1観測点に複数の震度報告値があ ると扱いが不便であるため、これらの代表値を求めた。代表値としては、中央気象台 の震度分布と対応が最も良い震度報告値の上位7個分の平均値を震度代表値とした。 福井地震のアンケートによる震度分布を図3-10-⑥-9に示す。



(B): 拡大図。

福井地震の断層近傍では、三河地震と同じく旧気象庁震度WI、VIの最大の震度が得られたが、福井県全域に加えて、石川県・富山県・岐阜県のほぼ全域でも旧気象庁震度Vの大きな震度が分布している。さらに、京都府と兵庫県の日本海沿岸の平野部や

滋賀県の琵琶湖周辺の平野部、愛知県の平野部における震度も旧気象庁震度 V と大き くなっていることが明らかになった。旧気象庁震度 V が分布している地域はいずれも 地震の揺れの増幅が著しい平野であり、三河地震と同じくマグニチュードが決して大 きくない内陸地震であってもかなりの広域にわたって地震による強い揺れがもたらさ れることが分かる。したがって、三河地震の詳細な震度分布に加えて、福井地震の詳 細な震度分布を検討することにより、南海トラフ巨大地震によって損傷を受けた住宅 やインフラ施設などは、南海トラフ巨大地震が発生した後の内陸大地震によって、単 独の内陸大地震によりもさらに大きな被害を広域的に受ける恐れがあることが分かっ た。

c)安政東海地震・南海地震前後の内陸大地震・スラブ内大地震の震度分布とその特徴 南海トラフ巨大地震前後に頻発する内陸大地震やスラブ内大地震による広域な被害 シナリオを明確化するにあたって、昭和東南海地震・南海地震の前後の内陸大地震の みでは数が少なくこれらの地震による被害地域も限定される。したがって、さらに広 域的な被害シナリオを明確化するには、安政東海地震・南海地震前後の内陸大地震と スラブ内大地震の震度分布や被害分布を検討することも必要だと考えられる。したが って、本研究では、安政東海地震・南海地震の前後に発生し比較的甚大な被害をもた らした被害地震に関して、その震度分布の検討を行った。対象とする地震は、1847年 善光寺地震(M7.4)、1853年小田原地震(M6.7±0.1)、1854年7月9日伊賀上野地震

(M71/4±1/4)、1854 年 12 月 26 日伊予西部地震(M7.3~7.5)、1855 年江戸地震(M7.0 ~7.1)、1857 年伊予地震(71/4±0.5)、1858 年飛越地震(M7.0~7.1)である。これ らの地震について、宇佐美・大和探査技術株式会社(1994)、宇佐美(2010)、宇佐美・ 他(2013)による震度分布を検討した上で、これらの分布から震度を取捨することに より新たな震度分布を作成した。これらの地震の震度分布を図3-10-⑥-10(a)、図 3-10-⑥-10(b)に示す。図3-10-⑥-11は、これらの地震の震度分布を重ねた 図である。昭和東南海地震・南海地震の前後では、1943年鳥取地震、1945年三河地震、 1948 年福井地震によって、おもに山陰地方・東海地方・北陸地方が被害を受けたが、 安政東海地震・南海地震の前後では、1847 年善光寺地震によって信越地方、1858 年飛 越地震によって北陸地方、1853 年小田原地震・1855 年江戸地震によって関東地方、 1854年伊賀上野地震によって近畿地方、1854年伊予西部地震・1857年伊予地震によ って九州地方・四国地方・中国地方に甚大な被害が出ていることが分かる。以上の被 害地域は、安政東海地震・南海地震によってはそれほどの被害を受けなかったと考え られる地域であるが、このような地域であっても南海トラフ巨大地震に伴う内陸大地 震やスラブ内大地震で甚大な被害が出ることが明らかになり、さらに、南海トラフ巨 大地震に伴う内陸大地震やスラブ内大地震による被害地域をすべて合わせると安政東 海地震・南海地震の被害範囲よりも広大になることが分かる。また、安政東海地震・ 南海地震の前後に発生した内陸大地震とスラブ内大地震による被害が著しかった地域 は、昭和東南海地震・南海地震の前後の内陸大地震によって被害が著しかった地域と 相補的であるようにみえる。



図3-10-⑥-10(a) 1847年善光寺地震、1853年小田原地震、1854年伊賀上野地 震、1854年伊予西部地震の震度分布。図中の星印は、宇佐美・他(2013)によるそれ ぞれの地震の震央。

昭和東南海地震・南海地震は、明らかになっている過去の南海トラフ巨大地震のシ リーズで最も小規模であったためか、その前後に発生して甚大な被害をもたらした内 陸大地震は、1943年鳥取地震、1945年三河地震、1948年福井地震の3地震であった が、過去の南海トラフ巨大地震のシリーズの中で中程度の規模であった安政東海地震・ 南海地震に伴う内陸大地震とスラブ内大地震の発生は被害規模の大きな地震だけでも 7地震発生している。したがって、次の南海トラフ巨大地震が、昭和に発生した規模 よりも大きいと予想される場合は、それに伴う内陸大地震とスラブ内大地震の発生回 数が多くなる可能性も考えられる。今後、南海トラフ巨大地震の規模によって、それ に伴う内陸大地震やスラブ内地震の発生頻や大きさも変わるのかを検討するために、 1707年宝永地震(M8.7)の発生前後の内陸部における地震活動や被害分布の検討が必 要である。また、安政東南海地震・南海地震の約半年前に発生した1854年伊賀上野地 震のような内陸大地震が発生した場合、その被害から復旧できていない地域では、そ の後発生する南海トラフ巨大地震による被害が拡大する恐れも考えられる。



図 3-10-⑥-10(b) 1855 年江戸地震、1857 年伊予地震、1858 年飛越地震の震度 分布。図中の星印は、宇佐美・他(2013) によるそれぞれの地震の震央。

震度(気象庁旧震度階 ● | ○ || ● ||| ○ |V ● V ● V| ● V||

d) クーロン破壊関数 (ΔCFF) を用いた南海トラフ巨大地震による内陸地震・スラブ 内地震の発生への影響の検討

南海トラフ巨大地震の発生とその前後の内陸大地震とスラブ内大地震の発生との関 係をみるために、昭和東南海地震・南海地震と安政東海地震・南海地震の断層モデル による内陸地震とスラブ内地震に対するクーロン破壊関数(ΔCFF)の計算を行った。 ΔCFF の計算には対象となる地震の断層面の情報が必要であるが、発生する内陸地震 やスラブ内地震の断層面は様々なので、1997年~2018年に発生した地震について防災 科学技術研究所の広帯域地震観測網(F-net)によって決定されたメカニズム解に対し て、それぞれ Δ CFF を計算した。 Δ CFF の計算には 0kada (1992) のプログラムを用い た。なお、本検討では、半無限弾性体を仮定しているので、日本列島下の複雑な構造 や粘弾性の効果などは入っていない。また、△CFFの計算には、予行変動などのプレー ト間深部のすべりによる影響も考慮していない。昭和東南海地震・南海地震と安政東 海地震・南海地震の発生後の △CFF の計算には、これらの地震の断層モデルを使用し たが、これらの地震の発生前の影響をみるに際しては、プレート間の固着状況を簡便 に表現するため、これらの地震の断層モデルについて、すべり角を反転させたすべり (バックスリップ)を与えた。したがって、プレート間固着の時間変化などの影響な どを考慮していないので、昭和東南海地震・南海地震と安政東海地震・南海地震の発 生前の ΔCFF の絶対値に関しては、あまり意味がない。



図3-10-⑥-11 安政東海地震・南海地震の発生前後に発生した内陸地震とスラブ 内地震による震度分布。星印は、それぞれの地震の震央を表す。

図 3-10-⑥-12 は、昭和東南海地震・南海地震の前後におけるこれらの地震によ る内陸地震とスラブ内地震に対する影響を示す。この図では、ΔCFF が正である地震 (メカニズム解)、すなわち、昭和東南海地震・南海地震の前後で発生しやすくなった 地震のみを示している。

図3-10-⑥-12では、1943年鳥取地震、1945年三河地震、1948年福井地震に対す る Δ CFF も図示している。この図から、1943年鳥取地震は、昭和東南海地震・南海地 震の前に発生しやすくなっていること、1945年三河地震・1948年福井地震については、 昭和東南海地震・南海地震の発生後に発生しやすくなっていることが分かった。また、 1948年福井地震は昭和南海地震よりも昭和東南海地震によって発生しやすくなって いる。昭和東南海地震の発生後は、京都府・滋賀県から北陸地方にかけての浅い地震 が発生しやすくなっており、また、昭和南海地震の発生後には、山陰地方や瀬戸内の 浅い地震が発生しやすくなっている。昭和東南海地震・南海地震の発生前では、和歌 山県北西部の浅発地震が発生しやすくなっていることや、山陰地方・九州地方でも発 生しやすくなっている地震がみられる。



図3-10-⑥-12 昭和東南海地震・南海地震の前後におけるこれらの地震による内陸地震とスラブ内地震に対する影響を示す。△CFF が正である地震(メカニズム解)、すなわち、昭和東南海地震・南海地震の前後で発生しやすくなった地震のみを示している。

図3-10-⑥-13は、安政東海地震・南海地震の前後におけるこれらの地震による 内陸地震とスラブ内地震に対する影響を示す。この図でも、ΔCFFが正である地震(メ カニズム解)、すなわち、安政東海地震・南海地震の前後で発生しやすくなった地震の みを示している。図中の星印は、安政東海地震・南海地震の前後に発生した内陸大地 震とスラブ内大地震の震央を示すが、安政東海地震・南海地震の発生後に発生した 1854年伊予西部地震、1857年伊予地震、1858年飛越地震については、これらの震央 付近は、安政東海地震・南海地震の発生によって発生しやすくなった地震群の中に位 置している。特に、1854年伊予西部地震、1857年伊予地震が発生した地域では、深い 地震が非常に発生しやすくなっていることが分かる。なお、1855年江戸地震に関して も、その震央は発生しやすくなった地震群の中に位置するが、この地震が安政東海地 震・南海地震の発生によって誘発されたのかどうか判断するには、さらなる議論が必 要である。安政東海地震・南海地震の発生前においては、1853年小田原地震、1854年 伊賀上野地震の震央付近で浅い内陸地震が発生しやすくなっている。また、京都府・ 滋賀県から北陸地方にかけて、和歌山県北西部、熊本県付近で浅い地震が発生しやす くなっている。



図3-10-⑥-13 安政東海地震・南海地震の前後におけるこれらの地震による内陸 地震とスラブ内地震に対する影響を示す。ΔCFF が正である地震(メカニズム解)、 すなわち、安政南海地震・南海地震の前後で発生しやすくなった地震のみを示してい る。

(c) 結論ならびに今後の課題

南海トラフ地震による強震動と津波のハザード予測の高度化に向け、GEONET 地殻変 動観測データから推定されたプレート境界の応力蓄積状態に基づく動的断層破壊伝播 シミュレーションにより求められた地震シナリオに基づいて、強震動・長周期地震動、 地殻変動、津波ハザードとその変動要因を検討した。その結果、強震動・長周期地震 動は、震源域の拡大とともに強い揺れの範囲は拡大するが、各地点の揺れは近傍の断 層セグメント(強震動生成域)で規定されるため、地震シナリオ毎の各地点のハザー ドの変動は小さいことがわかった。一方、津波ハザードは断層セグメントの増加とと もに、地殻変動と初期津波の分布が互いに影響してハザードの変化が大きくなる。特 に南海トラフ地震の震源域は陸上に近い位置にあるため影響が大きい。

津波のハザード・リスク評価では、多様な地震シナリオを想定したハザードの平均 化と変動幅を含めた評価が必要である。事前に地震シナリオを絞り込めないことから、 地震直後に波源域を即座に推定して、津波波高分布を判断して応急対応に適応するこ とも必要であろう。海底ケーブル観測や陸域のリアルタイム地殻変動・津波観測デー タを有効に活用した、観測データ・計算同化の高精度の予測技術の開発が、今後の重 要な研究開発課題である。

昭和東南海地震・南海地震後に発生した 1945 年三河地震と 1948 年福井地震の直後 に東京大学地震研究所によって行われた比較的高密度のアンケートによる稠密な震度 分布を推定した。これらマグニチュードの決して大きくない内陸地震についても、平 野などの軟弱地盤による揺れの増幅により比較的広域に大きな震度が分布しているこ とが分かった。したがって、南海トラフ巨大地震によって損傷を受けた住宅やインフ ラ施設などは、南海トラフ巨大地震が発生した後の内陸大地震によって、単独の内陸 大地震によりもさらに大きな被害を広域的に受ける恐れがあることが分かった。今後、 1943 年鳥取地震の震度アンケート調査結果を用いた稠密な震度分布を求める必要が ある。

安政東海地震・南海地震の前後に発生した 1847 年善光寺地震、1853 年小田原地震、 1854 年伊賀上野地震、1854 年伊予西部地震、1855 年江戸地震、1857 年伊予地震、1858 年飛越地震について、宇佐美・大和探査技術株式会社(1994)、宇佐美(2010)、宇佐 美・他(2013)を検討することによりこれらの地震の震度分布を求めた。これらの大地 震による被害地域をすべて合わせると安政東海地震・南海地震の被害範囲よりも広大 になることが分かった。また、これらの地震の被害地域と、昭和東南海地震・南海地 震の前後の内陸大地震による被害地域と相補的であるようにみえる。比較的小規模で あった昭和の南海トラフ巨大地震に伴う大地震は3 地震であるが、中規模であった安 政の南海トラフ巨大地震に伴う大地震は7 地震発生している。したがって、次の南海 トラフ巨大地震が、昭和の規模よりも大きな場合は、それに伴う大地震の発生回数は 多くなる可能性が考えられる。今後、南海トラフ巨大地震の規模によって、それに伴 う内陸大地震やスラブ内地震の発生頻や大きさも変わるのかを検討するために、1707 年宝永地震の発生前後の内陸部における地震活動や被害分布の検討が必要である。

南海トラフ巨大地震の発生とその前後の内陸大地震とスラブ内大地震の発生との関係をみるために、昭和・安政の南海トラフ巨大地震の断層モデルによる内陸地震とス ラブ内地震に対するクーロン破壊関数(ΔCFF)の計算を行った。その結果、昭和・安 政の南海トラフ巨大地震に伴う大地震は、南海トラフ巨大地震の影響によって発生し ていることが確かめられた。また、和歌山県北西部や京都府・滋賀県から北陸地方で 発生する地震も南海トラフ巨大地震の影響を受けている可能性があることが分かった。 今後は、より実際に即した構造や計算手法を用いて南海トラフ巨大地震による内陸地 震・スラブ内地震への遺影強を評価する必要がある。

(d) 引用文献

- Koketsu, K., H. Miyake, H. Fujiwara, and T. Hashimoto, Progress towards a Japan integrated velocity structure model and long-period ground motion hazard map, in Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, S10-038, 2008.
- Maeda, T., Takemura, S. and Furumura, T., OpenSWPC: An open-source integrated parallel simulation code for modeling seismic wave propagation in 3D heterogeneous viscoelastic media, Earth Planets Space, 69, 102, 2017 https://doi.org/10.1186/s40623-017-0687-2.
- 内閣府,南海トラフの巨大地震震源モデル検討会(第二次報告)強震断層モデル編一強 震断層モデルと震度分布について一,2012 http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/20120829_2nd_report05.pd f
- Okada, Y. Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seism. Soc. Am. 82(2), 1018-1040, 1992.
- Satake, K. Linear and nonlinear computations of the 1992 Nicaragua earthquake tsunami. Pure Appl. Geophys. 144 (3-4), 455-470, 1995.
- 宇佐美龍夫編著,わが国の歴史地震の震度分布・等震度線図(改訂版),日本電気協会, 726pp, 2010.
- 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子,日本被害地震総覧 599-2012,東 京大学出版会, 694pp, 2013.
- 宇佐美龍夫・大和探査技術株式会社編著,わが国の歴史地震の震度分布・等震度線図, 日本電気協会,647pp,1994.

⑦1854 安政東海地震津波における津波痕跡高の再評価

(a) 業務の要約

本業務では、静岡県域における 1854 年安政東海津波について、静岡県立中央図書館 に所蔵されている自治体史・郷土史・災害関連資料について、津波の浸水・到達や建 物の浸水や流失などの記載の有無を調査し、新たな津波痕跡を解明しうる可能性のあ る歴史資料の検出をおこなった。浜名湖周辺における安政東海津波の津波到達点につ いて、「安政地震津波災害絵図」・「舞阪宿津波絵図」に基づき、付随する歴史資料及び 現地調査から津波痕跡点の特定を試みた。以上の史料情報に基づいて、津波痕跡調査 を行った。さらに、既報において位置情報や高さ情報に誤差が含まれていると考えら れる地点においては再測量を行った。本業務により、安政東海地震津波の津波痕跡高 さ分布の特徴を明らかにした。 (b) 業務の成果

1) 1854 安政東海地震津波における文献・絵図史料調査からの津波痕跡点の特定

本業務では、静岡県立中央図書館に所蔵されている災害に関する自治体史・郷土史・ 災害関連資料 951 冊を調査し、1854 年安政東海津波に関する記述と、これらの根拠と なる引用文献について抽出した。これらの記載内容のうち、津波関連記事を抜粋し、 被害発生位置が現在でも特定できるかどうか、確認を行った。

951冊の自治体史・郷土史・災害関係資料から 1854 年安政東海津波に関する記述に ついて 170 地点を抽出した。さらに、これらの記載内容のうち、現在その地点が確認 できるものに○印、ピンポイントではないがおおよその位置が特定できる地点に△記 を付した。(表 3-10-⑦-1~4) この作業の結果、86 件について現在その位置が確認 でき、19 地点についてはそのおおよその位置が判明した。

表3-10-⑦-1に静岡県相模湾周辺における安政東海津波に関する文献とその諸 情報を示す。相模湾沿岸では、宇佐美で防波堤破損、漁船流失、多賀村沿岸で家屋流 失20戸の被害が生じたことがわかる。また、おおよその集落位置についても確認する ことができた。表3-10-⑦-2に静岡県下田周辺における安政東海津波に関する文 献とその諸情報を示す。下田では膨大かつ詳細な津波被害とその痕跡情報を読み取る ことができる。下田市街地の津波痕跡高については、すでに羽鳥(1977)により詳細な 現地調査が実施されているため、本業務では実施しなかった。表3-10-⑦-3に静岡県 駿河湾周辺における安政東海津波に関する文献とその諸情報を示す。駿河湾西岸の津 波痕跡点は羽鳥(1977)で評価されていなく、比較的新しいデータといえる。表3-10 -⑦-4に静岡県遠州灘周辺における安政東海津波に関する文献とその諸情報を示す。 当該沿岸のデータは少なく、川井村の情報は貴重なデータといえる。表3-10-⑦-5 に静岡県浜名湖周辺における安政東海津波に関する文献とその諸情報を示す。浜名湖 には、安政東海地震による浸水絵図が残されている。具体的な津波痕跡高評価の検討に ついては、第2節で行う。

表3-10-⑦-1 静岡県相模湾周辺における安政東海津波に関する文献とその諸情

現市町村	地点名	読み	文献名	文献引用先	津波被害資料內容	位置確認
川奈 かわな 伊東の自然と災害 肥田春安日記 激しい引き波の後 伊東市 字佐美 うさみ 伊東の自然と災害 肥田春安日記 激しい引き波の後 宇佐美 うさみ 伊東の自然と災害 肥田春安日記 激しい引き波の後 細代 あじろ 伊東の自然と災害 肥田春安日記 激しい引き波の後	川奈	かわな	伊東の自然と災害	肥田春安日記	激しい引き波の後に湊に海水があふれ返ることが何度か繰り返された	0
	激しい引き波の後に湊に海水があふれ返ることが何度か繰り返された 宇佐美で防波堤破損、漁船の流失などの被害が出た程度	0				
熱海市	網代	あじろ	伊東の自然と災害	肥田春安日記	激しい引き波の後に湊に海水があふれ返ることが何度か繰り返された	0
	多賀	たが	伊東の自然と災害	肥田春安日記	激しい引き波の後に湊に海水があふれ返ることが何度か繰り返された 多賀村の沿岸で流失家屋二〇戸	0

報

表3-10-⑦-2 静岡県下田周辺における安政東海津波に関する文献とその諸情報

(その1)

現市町村	地点名	読み	文献名	文献引用先	津波被害資料内容	位置確認									
					下田の戸数八五六のうち、二五半壊・八一三全壊流水、完全に残った家										
			古賀西使続記	不明	一八。										
					人口は三九〇七人で溺死人は八五人。柿崎村は戸数七四全半壊、										
			プチャーチンと下田	不明	弐度目殊に甚しく、一時に下田町野原と成る。										
					安政元年の津浪で下田、岡方の両町村で百二十二名の殉難者を出し、家										
			私説黒船談叢	不明	屋の流失全潰九百三十七戸、その他半潰、床上、床上浸水百三十七戸										
	下田				(本郷柿崎を含む)という惨状である。										
		1 + +*			下田の戸数八百五十六戸の中、八百十三戸が流失、二十五戸が半壊、高										
	(町)	LOL	下田の歴史と史跡	不明	台にあり無事残ったのは僅か十八戸で、人口三千八百五十一人の中、溺										
					死八十五人、船員、旅人などの溺死者は数知れず、										
			御上中草士の伊豆下田	十架西庙结司	下田は戸数八五六のうち、二五半壊・八一三全壊流失・完全に残った家										
			卿工史希木の伊豆下田	百貝四便統記	一八。人口は三九〇七人で溺死人は八五人。										
					下田は戸数八七五のうち、八四一流失全壊・三〇半壊入水・無事なのは										
			御上山草士の伊豆下田	エロのナウま	四戸だけ七軒町に残り、土蔵は一八八のうち一七三流失全壊・一五半壊										
			卿工史希木の17日下田	下田の古又吉	入水。人口は三八五一人で溺死者は男五三人女四六人・合計一二二人										
					(残らず死絶えた家六軒)。										
					港内の水、犬走島(湾内の中央にあり)の先まで干上りたれば、津波よ										
	いんばし		史話と伝説 伊豆・箱	川路下田日記	と叫ぶ間もなく(地震より約三十分)山の如き巨濤遅い										
		、 + 点 いぬばし	いぬばし	、 + 点 いぬばし	いぬばし	、 + 点 いぬばし	根	古賀西使続記抄	来りて、全市を覆没せり、波の寄せ来ること三回にて、第二回目は最も	0					
	天走島	りじま			大きく高さ約二丈(六米)、	0									
													プチャーチンと下田	不明	淡路の廻船港内犬走側にかかり居りしが、水引退きて横倒れとなり、
			郷土史	不明	淡路の廻船港内犬走島側にありしが、水引き退きて倒れ、	0									
	波布神社 はふ		史話と伝説 伊豆・箱	川路下田日記	千石積の大廻船数隻、波の為に本郷田圃 波布神社 の上まで打上げられ居										
			根	古賀西使続記抄	たれり。(海岸より千米位のところ)	0									
				不明	綿吉の新造船(八百石ばかり) 波布神社 辺に漂ひ、その他四五隻、神社										
下田巾		はぶじん じゃ?	プチャーチンと下田		の上手へ押上げられたけれど、 波布神社 境内には水入らず、今浮島さま	0									
					云ふ。										
			御上古草士の伊豆工田	下田の古文書	下田港にあった大船が、この社の近くまでは押流されて来たが、この境										
			卿工史 希木の 伊豆下田		内のみは浮上り、津浪が侵入しなかったと伝えられている	0									
			郷土史幕末の伊豆下田	不明	島屋某所有の大船本郷甫中央の華表へかかり錦吉の新造船(八百石許)										
					波布神社 境内には水入らず、今浮島さまと云う、	0									
				不明	柿崎村(現在の下田町柿崎)は七五戸流出全壊と入水、人口三八六人で	0									
			「山の日文者	7549	死者はない、	0									
			郷土史幕末の伊豆下田	古賀西使続記	柿崎村は戸数七四全半壊とある。	0									
	柿崎	かきざき	御上山首士の伊豆下田	トロのナカま	柿崎村(現在の下田町柿崎)は七五流失全壊と入水・人口三八六人で死	0									
			卿工史希木の伊豆下田	下田の百又香	者はない。	0									
			1 1111日 (小)水業	不明	一、七拾五軒 流失、皆潰、水入	0									
			似就未加祆束	7549	此人別 三百八拾六人	0									
					津波の由に付、直に、御朱印(将軍の朱印付き旅行免状)を持たせ本堂										
	ᄩᄘᅕᇨᅋᅮ	もんぜん	プチャーチント下田	不明	へ出で候へば、早や市中人家の中へ四五百石積位の船二三艘走り込み、	~									
	1 180 mJ	まち	ノノヤーノンと下山	1,443	門前町へ水来り候間、本堂脇、秋葉神社これ有る山へ登り、一見の処、										
					一旦引き候様子にて、程なく弐度目の津波押来ル										
	楼桥	よこまく	プチャーチンと下田	不明	この津泊畑 トクスボー西は亚海山西「横枕(旧下田町)まで打 トげ候										
	1與1九	Ь	ノノ マー ノノと 中田	1,443	この岸波打工くるが、四は千月一面、便化(旧下田町)まで打工り候。										
			プチャーチンと下田	不明	北は本郷(以下、旧下田隣村)、高芝原辺まで打上上げ、この辺にも漁	~									
	木纲	ほんごう		11747	舟、小舟数多押し上げ候。										
	~ + ~7×P	10/UC)	郷十中草末の伊豆下田	下田の古文書	一説には、本郷村(下田町本郷)は流失全壊は不明・七半壊入水。外浦	~									
			»Ψエメ冊へのげ立「田		は家屋に入水したが流失はない。										
	宫芝丙	たかしば	プチャーチンと下田	不明	北は本郷(以下、旧下田隣村)、高芝原辺まで打上上げ、この辺にも漁										
	同之尿	はら	ノブァーノノと下田 	1110	舟、小舟数多押し上げ候。										

表 3-10-⑦-2 静岡県下田周辺における安政東海津波に関する文献とその諸情報 (その2)

	高馬	たこうま	プチャーチンと下田	不明	川筋通り中之瀬、高馬辺まで打上げ、中村辺にてイルカを拾い候者これ 有り 誠に発代の事にて候	0	
	中村	なかむら	プチャーチンと下田	不明	右津浪、宇内(右内ー中村)、河内村、本郷村へ大船五、六艘、小舟は 数艘来り候。浪先きは当村柳生まで小船も参り候。		
	宇内	うだい	プチャーチンと下田	不明	右津浪、宇内(右内-中村)、河内村、本郷村へ大船五、六艘、小舟は 数艘来り候。浪先きは当村柳生まで小船も参り候。		
	河内村	かわうち むら	プチャーチンと下田	不明	右津浪、宇内(右内ー中村)、河内村、本郷村へ大船五、六艘、小舟は 数艘来り候。浪先きは当村柳生まで小船も参り候。	0	
	本郷村	ほんごう むら	プチャーチンと下田	不明	右津浪、宇内(右内ー中村)、河内村、本郷村へ大船五、六艘、小舟は 数艘来り候。浪先きは当村柳生まで小船も参り候。		
	柳生	やぎゅう	プチャーチンと下田	不明	右津浪、宇内(右内ー中村)、河内村、本郷村へ大船五、六艘、小舟は 数艘来り候。浪先きは当村柳生まで小船も参り候。		
	(いせまち	プチャーチンと下田	諸御用日記	半田屋 八尺八寸[2.67m] 徳次郎 六尺弐寸[1.88m]		
	伊勢町	(ちょ	プチャーチンと下田	伊勢町旧記	津浪に相成り町中残らず流出致し大破に及び、		
下田市	二丁目	にちょう め	プチャーチンと下田	諸御用日記	樽屋弥助 八尺弐寸[2.48m]		
	上田町	うえだま ち(ちょ う?)	プチャーチンと下田	諸御用日記	大坂屋平兵衛 六尺四寸[1.94m]		
			プチャーチンと下田	諸御用日記	土屋半兵衛 六尺九寸[2.09m]	\triangle	
			プチャーチンと下田	下田之栞	下田岡方にて死人は八十六人、旅人は数知らず云々	\wedge	
			.,, ,, ,, с,ш	1 11 12 17	一、九拾六軒 一一 法告诉 法生 医溃		
	岡方		私説黒船談叢	不明		~	
				个明			
					此人別 四日二指壱人		
		尚方	おかが	ブチャーチンと下田	諸御用日記	才かや善助 五尺壱寸[1.55m]	
					安政元年の津浪で下田、岡方の両町村で百二十二名の殉難者を出し、家		
			私説黒船談叢	不明	屋の流失全潰九百三十七戸、その他半潰、床上、床上浸水百三十七戸	\triangle	
					(本郷柿崎を含む)という惨状である。		
			御した英士の伊三王田		岡方村(現在の下田町広岡)は九六流失全壊・一三(一説には二五)半		
			郷土史幕木の伊豆下田	下田の古又香	壊入水。人口四三一人で死者はない(一説には二人)。		
		おかがた	プチャーチンと下田	下田之栞	岡方田甫に四万軒半清に残り。		
	岡方田甫	たんぼ	郷土史募末の伊豆下田	不明	岡方田甫に四五軒半遣に残り		
		だいくま	MTX#*****	1.01			
	大工町	たいくな ち (ちょ う?)	プチャーチンと下田	諸御用日記	町土蔵 壱丈壱尺[3.33m]		
		*か! た	プチャーチンと下田	下田之栞	坂下にて上の方四五件半潰れに残り、		
	坂下		プチャーチンと下田	諸御用日記	七兵衛 八尺弐寸[2.48m]		
		より	郷土史幕末の伊豆下田	不明	坂下にて上の方四五軒半潰れに残り、		
		しちけん			残る家は七軒町にて 喜兵衛 より上へ十三軒残り、	_	
	七軒町	まち	ブチャーチンと下田	下田之栞	喜兵衛 五尺[4.55m]	0	
		(ちょ	郷土史墓末の伊豆下田	下田之栞	残る家は七軒町にて 享兵衛 よりトへ十三軒残り。	0	
		ちょうら		,_,_,			
	長楽寺下	くじした	プチャーチンと下田	諸御用日記	七軒町持土蔵 壱丈壱尺[3.33m]	0	
	弥治川		ブチャーチンと下田	下田之栞	弥治川にては森屋半潰、土蔵二ケ所流し、	0	
下田町	(弥次	やちがち	プチャーチンと下田	諸御用日記	森屋半兵衛 壱丈八寸[6.30m]	0	
	川)	1- 511-17	郷土史幕末の伊豆下田	不明	弥治川にては森屋半潰土蔵二ヶ所流し、	0	
	(弥二		プチャーチンと下田	諸御用日記	山田屋源四郎 五尺九寸[1.97m]	0	
		しんでん	プチャーチンと下田	諸御用日記	原田屋藤右衛門 四尺八寸[1.45m]		
	新田町	まち (ちょ	プチャーチンと下田	諸御用日記	綿庄別宅 八尺[2.42m]		
	大横町通	おおよこ まちどせ	プチャーチンと下田	下田之栞	大横町通り 浦賀屋 より吉佐美出口迄に、よき家ばかり残り、三十八九軒 程も残り、		
	ŋ	5 5 6 45	郷土史幕末の伊豆下田	不明	大横町通 浦賀屋 より吉佐美出口迄によき家斗り残り三十八九軒程も残 り、		
	吉佐美出	きさみで	プチャーチンと下田	下田之栞	大横町通り 浦賀屋 より吉佐美出口迄に、よき家ばかり残り、三十八九軒 程も残り、		
		ぐち	ブチャーチンと下田	諸御用日記	飴屋藤八 四尺五寸[1.36m]		
		5	郷土史幕末の伊豆下田	不明	大横町通浦賀屋より吉佐美出口迄によき家斗り残り三十八九軒程も残 り、		

表3-10-⑦-2 静岡県下田周辺における安政東海津波に関する文献とその諸情報

	長屋町ほ	ながやま	プチャーチンと下田	下田之栞	夫より長屋町、町店町、三町目、紺屋町、連尺町、須崎町、原町、此七 町には一軒も残りなし	
	か	ち (ちょ う?)	郷土史幕末の伊豆下田	不明	夫より長屋町、町店丁、三丁目、紺屋町、連尺町、須崎町、原町、此七 町には一軒も残りなし。	
		たわけら	プエローエント下田	下田之田		
	山西町	ながはら	プチャーチンと下田	「山之木		
	中原町	25 (+)		相呼用ロ記		
		(55	卿工史幕木の伊豆下田	不明		
		いけのま	プチャーチンと下田	下田之荣	池之町	0
	池之町	ち(ちょ	プチャーチンと下田	諸御用日記	香取屋伝八 九尺弐寸[2.79m]	0
		う?)	郷土史幕末の伊豆下田	不明	池の町 香取屋 家斗り半つぶれ、	0
	立源	りゅうげ ん?	郷土史幕末の伊豆下田	不明	同町[池之町?]立源土蔵斗残り、	
		ドのこう	プチャーチンと下田	下田之栞	殿小路町にて西川半つぶれ、	
	殿小路	2023	プチャーチンと下田	諸御用日記	西川彦太郎 九尺[2.73m]	
		L	郷土史幕末の伊豆下田	不明	殿小路にて西川半つぶれ	ĺ
	新田町	しんでん	プチャーチンと下田	下田之栞	新田町 綿庄店 土蔵ばかり残り(、同町橋本半つぶれ)	İ
		まち	プチャーチンと下田	諸御用日記	橋本源兵衛 六尺五寸[1.97m]	
		(ちょ	郷土史幕末の伊豆下田	不明	新田町鶴庄店+蔵斗残り	
	橋木	はしまと	郷土史募末の伊豆下田	不明	同町「新田町?] 橋木半つ,ごわ	
	100.4.	はししこ	プチャーチンと下田	下田之玩	「「日日」にて四五軒半浩わに建り	0
	原田口	はりたく	御上山首主の伊豆下田	不明	原田口にて四五軒半遺れに及り、	
		5	二 一 一 二 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、			
	長楽寺	5375	ノナヤーナノと下田		長栄守は庚甲室に 门を流し、	
		< C	郷土史幕末の伊豆ト田	个明		0
			プチャーチンと下田	下田之栞	港に居合わせたる大船二、三十隻けが舟あり。 大安寺 前より本郷田南迄	0
下田町	大安寺	たいあん			に押寄せし、大船七、八艘。	
		Ľ	郷土史幕末の伊豆下田	不明	港に居合わせたる大船二三十隻けが舟あり、大安寺前より本郷田甫迄に	0
					押寄せの大船七八艘	Ŭ
	本郷田甫	ほんごう	プチャーチンと下田	下田之栞	港に居合わせたる大船二、三十隻けが舟あり。 大安寺 前より本郷田甫迄	1
					に押寄せし、大船七、八艘。	1
		たんぼ	郷土史墓末の伊豆下田	不明	港に居合わせたる大船二三十隻けが舟あり、 大安寺 前より本郷田南迄に	
			ATX10100 #18	1 /3	押寄せの大船七八艘	
	本郷田甫 中央	はんこう たんぼ ちゅうお う	プチャーチンと下田	下田之栞	島屋某所有の大船本郷田甫中央の 華表 へかかり、	
	宁范夫	ほうふく	プチャーチンと下田	不明	下田仮役所 宝福寺 も、 <mark>床上三尺[0.91m]位</mark> の浸水で、損害は大きかっ た。	0
	工用力	じ	プチャーチンと下田	下田記行	駿河仮御役所(下田仮奉行所宝福寺都筑駿河守宿泊)は、よほどの損 じ、 床上三尺[0.91m]位 、	0
	······································	1. + + + 2 8	プチャーチンと下田	不明	稲田寺 の被害は大したことはなかったので、五日、急に仮奉行所をここ に移した。	0
	₩ШҬ	いなだじ	プチャーチンと下田	下田記行	美作や旅宿 稲田寺 は、 <mark>床上七、八寸[0.21m-0.24mm]</mark> 上る。格別の損じ なし。	0
	美作	みさく?	プチャーチンと下田	下田記行	美作や旅宿 稲田寺 は、 <mark>床上七、八寸[0.21m-0.24mm]</mark> 上る。格別の損じ なし。	0
	鼻黒	はなぐ ろ?	伊勢町旧記	不明	鼻黒(弁天、下田船渠辺)に拡張工事中、津浪の襲来で破壊された	
	了仙寺	りょうせ んじ	郷土史幕末の伊豆下田	不明	寺方は 了仙寺本堂 少々痛み、	0
	外浦	そとうら	郷土史幕末の伊豆下田	下田の古文書	外浦は家屋に入水したが流失はない。	0
	須崎村	すさきむ ら	郷土史幕末の伊豆下田	下田の古文書	須崎村は被害なし。	0

(その3)

表3-10-⑦-3 静岡県駿河湾周辺における安政東海津波に関する文献とその諸情

現市町村	地点名	読み	文献名	文献引用先	津波被害資料内容	位置確認
					洪浪潰家三拾八軒	
					字屋形〈二十一軒〉	
	土肥	どひ	土肥の災害誌	不明		0
		+>+2+++			子入數 (十五軒/	
	尾形海蔵	おかたか				
	庵	いぞうあ	土肥の災害誌	安楽寺古文書	有能智真法尼 尾形海蔵庵 に於て水死	\triangle
		ん				
	고 누 :ㅁ ++	やぎざわ	上冊の巛実計	不明	八木沢村における津波の高さは 五メートルくらい で、十軒の家屋が流	0
	八个次创	むら	工肥の災害誌	个明	失、三人の死者がでたことが記録に残る	0
伊豆市		みょうぞ			このときの津波は大川をさかのぼって中島の妙蔵寺附近まで達し、波が	-
	妙蔵寺	うじ	土肥の災害誌	不明	引いたあと、 門前のエノキの大木の枝 に海のモクズが掛かっていた	0
		もんぜん				
	門前のエ	0,000			このときの決波は十川たさかのぼって中身の が尊ま 附近まで達し、沈が	
	ノキの大	のんのさ	土肥の災害誌	不明		0
	木	のたいは			「与いためと、 門側のエノキの大木の枝 に海のモクスが掛かっていた	
		<				
	八幡神社	はちまん				
	の松	18 / 18 %	十四の巛実社	不明	大津波がきて、 現在の八幡神社の松 に、海に流されていた布が引っ掛	0
	(小土		工化の火吉応	1195	かった	0
	肥)	のまつ				
	下香貫	しもかぬ	静岡県史 通史編4	嘉永七甲宙歲地	湖水幅一町程、長サー町半、深サ四・五間[7,27-9,09m]、田面十ソへ	
沼津市	(指法)	+	近世 2	雪う記		0
	(加加川叫)	c	起臣と	版化山		
					間もなく大山のことくの大洋波二度打ら上り、、氏豕工廠とも跡方無く 四方に、四方、二、四方、二、四方、一、四方、二、四方、二、四方、二、四方、二、四方、二	
	おもすむ 沼津ī 重須村	沿津市史 通史別編	『漁民史料』一	一円河原と相成、白姓代三十郎ハ溺死、外弐人死失、組頭喜藤治は大怪 	0	
		- b	漁村	二八一号	我いたし半死半生、土屋伊左衛門偽は御召す出にて韮山御役所へ罷出	-
					居、同人父大病人義忰俊助背負出し漸寄命相助、旦御田地も皆流失	
	- >= >= + + + +		沼津市史 通史別編	『漁民史料』一	引続津浪にて人家過半家財諸道具は申すに及ばず漁船網小屋并網戸場迄	_
	二津村	みとむら	漁村	二九一号	皆流失致し漁業は勿論、当然夫食にも差支、	0
			沼津市史 通史別編	『渔民史料』ー		
	長浜村		油村	- 九 四 号	至る法律におり、「たち」のないに、「たん」のない」のないに、「たん」の、」の。」の。	0
			7m/13	_700 5		
						~
		ながはま			ニケ所内一ケ所演、ニケ所入イダミ、長座门入捕、石垣崩れ、初直入	0
沿津市		むら	沼津市史 诵史別編		通、網小屋諸道具共流、水入米十五俵」	
			油村	不明	金左衛門家では「居宅七分潰、水軒迄、土蔵大痛、物置押出し、水入米	0
			/m/1 J		三俵、水入麦四俵」	Ŭ
					三津村儀右衛門家は「居宅少々痛、土蔵一ヶ所潰、土蔵一ヶ所七分、土	~
					蔵ーヶ所五分、土蔵ーヶ所小々痛、但し築地九間、高さ六尺」	0
		しげじむ	沼津市史 通史別編	『漁民史料』ー	大地震並津浪にて村中残らず頽敗仕り、書類、諸道具、雑穀、塩、噌に	
	重寺村	67 62	油村 油村	一九四号	至ろ汔残らず押流れ退転の姿に相成	0
		1415	辺浄古山 涌山別炉			
	久料村	<u> </u>	「一」「「「」」「「」」「「」」「」」「「」」「」」「」」「」」「」」「」」「」	八科八床山永我	夫より津波立に相成、人家田畑山林に至るまで大破損	0
		0.0	温利 ふちょう ほうしょう	家又吉		
	小下田村	こしもだ	沿津市史 通史別編	『漁民史料』一	被害はなかったが	\triangle
		むら	漁村	二八二号		
	三亿の浦	みほのう	立 开雄 討 绿	不明	マ小船たど覆けたるまあり	~
	_床の油	<i>b</i>	十五年已城	1.14	大小品なと復りたるものり	
			遠江国山名郡北原川村			
		すんしゅ	名主足立五郎左衛門の		 津浪に引かれ候所数多くこれ有り候由、駿州清水などは残らず津浪にて	
	駿州清水	うしみず	記録文書 足立家文	不明	取られ候由	\triangle
			主,宏举,第二			
静岡市清		テドリキ	百水日第一			
水区	江尻木戸	えしりさ	広野町誌	入江山明通寺書	朝四ツ時大地震并津波にて江尻木戸より傅馬町まで水つく	\triangle
		Ľ				
		でんまま				
	傅馬町	ち(ちょ	広野町誌	入江山明通寺書	朝四ツ時大地震并津波にて江尻木戸より傅馬町まで水つく	\bigtriangleup
		う?)				
	Set mental	なぎさま	ـــــــــــــــــــــــــــــــــــــ	7.00		
	渚町村	ちむら?	広野町誌	不明	同時に潮海の渚町村大海嘯襲来し	
		まえは			相応高浪前浜・地蔵森林中汔大浪打場り能キ什合二候	
佐津市	前浜・地	ま・ドズ	大井川町中 市券	不明	はいいのないが、こののないで、こののない、このでは、このでは、このでは、このでは、このでは、このでは、このでは、このでは	
7年11	蔵森	3+11	지ㅠ//편/포 부경	1110		
1		つもり	1		れる。	1

報(その1)

表3-10-⑦-3 静岡県駿河湾周辺における安政東海津波に関する文献とその諸情

報	(そ	\mathcal{O}	2)
---	----	---------------	---	---

	新開	しんかい	広報よしだ第二五三号	ふるさと探訪	住吉大浜南側の「新開」の前方で高波が打ち、東浜の南側の「浜田」は 水に浸った。	
	浜田	はまだ	広報よしだ第二五三号	ふるさと探訪	住吉大浜南側の「新開」の前方で高波が打ち、東浜の南側の「浜田」は 水に浸った。	0
	吉田田圃	としだで んえん	広報よしだ第二五三号	ふるさと探訪	能満寺山へ逃げた人達は、吉田田圃で津波にあい、殆ど溺れ死んだ。	0
吉田町	住吉神社	すみよし じんじゃ	広報よしだ第二五三号	ふるさと探訪	ー面が水でお宮の森は浮いて見えた。それから 住吉神社 を浮宮様とい う。	0
	寄子川	よりすが わ	広報よしだ第二五三号	ふるさと探訪	寄子川は水が溢れ、船は慶林の松原へ打ちあげられた。	
	慶林の松 原	けいりん のまつば ら	広報よしだ第二五三号	ふるさと探訪	寄子川は水が溢れ、船は慶林の松原へ打ちあげられた。	
	川崎町	かわさき まち (ちょ う?)	島田風土記	後々伝言記	川崎町・相良町は大津波。	0
	相良町	さがらま ち(ちょ う?)	島田風土記	後々伝言記	川崎町・相良町は大津波。	0
-	吾隣村	ごりんむ ら?	静岡県榛原町史 中巻	安政地震見聞録	この時大海の水減じて干潟となる事数十間にして吾隣村落居村の海ハ昔 より出たる事なき岩根、数多出現し人々岩根にて海草類貝類等を取事 也。	
	落居村	おちいむ ら	静岡県榛原町史 中巻	安政地震見聞録	この時大海の水減じて干潟となる事数十間にして吾隣村落居村の海ハ昔 より出たる事なき岩根、数多出現し人々岩根にて海草類貝類等を取事 也。	
	岩根	いわね	静岡県榛原町史 中巻	安政地震見聞録	この時大海の水減じて干潟となる事数十間にして吾隣村落居村の海ハ昔 より出たる事なき岩根、数多出現し人々岩根にて海草類貝類等を取事 也。	
	相良	さがら	城下町相良区史	不明	津波は四日と五日の二回襲来し、相良下町(福岡通り)までも海水が浸 入したという。	0
			相良町史 資料編 近 世(二)	四六七 川田清 左衛門控の大地 震騒動記	海中より津波と申て下辺の者共思ひ少々参持二而谷下峠へ数十人翔来 ル、是ヲ見て向イ川中嶋谷下之者共も不残谷下山へ上り扣けり、相良辺 ヲ見れハ、平田ノ橋門二舟ハ数多相見へ候間誠二肝を潰し居る処、先津 波も浜辺計り二而山々皆引取けり、	0
4	荻間川	はぎまが わ	城下町相良区史	不明	荻間川に流れこんだ津波は、河口にかかる 湊橋 を大破し、徳村にあふ れ、三隻の漁船を打ち上げた。	0
牧之原巾		<i>み</i> たとげ	城下町相良区史	不明	荻間川に流れこんだ津波は、河口にかかる 湊橋 を大破し、徳村にあふ れ、三隻の漁船を打ち上げた。	
	湊橋	oracia L	城下町相良区史	静岡県地震対策 基礎調査報告書	湊橋タモト 三・三六 五・〇 湊橋 大破	
			城下町相良区史	松下家文書	湊橋 共徳村理兵衛東迄浪にて打上げ、船も三艘打上候よし。	
	徳村	とくむら	城下町相良区史	不明	荻間川に流れこんだ津波は、河口にかかる 湊橋 を大破し、徳村にあふ れ、三隻の漁船を打ち上げた。	0
	樋尻川	ひじりが わ	城下町相良区史	不明	樋尻川から侵入した津波は、鎌倉河岸(下波津水路)にあふれ、福岡一帯の下町に浸水、浄心寺の東方に漁船が流れついたという。	
	鎌倉河岸 (下波津 水路)	かまくら かがん	城下町相良区史	不明	樋尻川から侵入した津波は、鎌倉河岸(下波津水路)にあふれ、福岡一帯の下町に浸水、浄心寺の東方に漁船が流れついたという。	
	海网	1/20	城下町相良区史	不明	樋尻川から侵入した津波は、鎌倉河岸(下波津水路)にあふれ、福岡一帯の下町に浸水、浄心寺の東方に漁船が流れついたという。	0
	1田川川	シッノ や 小	城下町相良区史	静岡県地震対策 基礎調査報告書	福岡国道面 七・五四 五・〇 下町一帯浸水	0
	海心寺	じょうし	城下町相良区史	不明	樋尻川から侵入した津波は、鎌倉河岸(下波津水路)にあふれ、福岡一帯の下町に浸水、浄心寺の東方に漁船が流れついたという。	0
	ነትጥቷ	んじ	城下町相良区史	静岡県地震対策 基礎調査報告書	浄心寺境内 四・二〇M 四・五M 寺 の東に漁船流れこむ。 <	0
	大沢寺	おおさわ じ	城下町相良区史	静岡県地震対策 基礎調査報告書	大沢寺境内 六・〇 法津 のくぼ地に魚上がる。	0
	亚田村	ひらたむ	相良町史 通史編 上	松本村川田家の	津波が襲い、海辺の者は谷下峠に逃げた。平田村の橋げたには多数の船	0
	一一山小	Ь	巻	記録	がひっかかっているのが見え、肝をつぶした。	0

表3-10-⑦-4 静岡県遠州灘周辺における安政東海津波に関する文献とその諸情

現市町村	地点名	読み	文献名	文献引用先	津波被害資料内容	位置確認
代井士	111 ++ ++	かわいむ	『広報ふくろい』一五	鈴木伊右衛門翁	川井井に十畝宮井会」で行き図で	
<u>表</u> 开巾	ጠታተጥነ	ь	八号	手記	川井州に入加苛せ合う(1)さ笛る	
	王会川の	てんりゅ			拙者が居宅は海岸を離るおよそ三〇町、天竜川の東畔にあり、此辺にて	
磐田市	入电川の	うがわの	郷土読本ふるさと竜洋	不明	其汐水の高さ平水より一丈四、五尺[4.24m-4.55m]なり、これをもって	
	東叶	* とうはん			推考するに、河口にてはおよそ三、四丈の高さに至りしならん	
	字中ノ浜				此際天竜川中に存在せる、字中ノ浜(南は海、他の三方は川なり)は、	
		あざなか	御上詰まこてさい去送	不明	高き所二丈ばかりの山をなし、これに千有余本の松あり、其の内大なる	
子月		のはま	卿工記平ふるでと电汗	7199	もの囲りおよそ八尺高さおよそ十五間もありまして、反別およそ二〇町	
					及耕地およそ二〇町合計四〇町歩ばかりは、震災と津波のため崩壊し	
浜松市					去四日大地震引続津浪押込宿囲石垣打砕街並江打揚海水家〃ニ押入両五	
		+ 1 + 1	每匹匹古 古灼结 6	二二一 地震津	本陣大破相成并旅籠屋破損潰家有之御休泊難相成候へ共御家中様御義ハ	_
	舞阪宿	舞阪宿	<u> </u>	浪被害届	内旅籠屋拾軒斗小破ニ付御休泊御用相勤り申候尤御本陣旅籠屋者此節取	0
		しゆく			繕手入中ニ御座候間此段乍恐以書奉御届申上候以上	
			舞阪町史 上巻	不明	嘉永七年(大地震津浪荒)潰屋破損所ヶ所付書上	0

報

表3-10-⑦-5 静岡県浜名湖周辺における安政東海津波に関する文献とその諸情

-

	浜の方	はまのか た	安政大地震新居災害分 類誌	泉町文書	津浪は浜の方にては 二丈六尺[7.88m]余り	
	* - 8 -	あらいせ	新居町史 第1巻 通史編 上	不明	津波潮先 御関所 ヲ囲ミ	0
	新居関所	きしょ	安政大地震新居災害分 類誌	泉町文書	御関所 にては <mark>一丈[3.03m</mark>]余り	0
			新居町史 第1巻 通史編 上	不明	裏門掘剤 ヨリ入廻り	Δ
		うらもん	安政大地震新居災害分 類誌	泉町文書	裏門 迄は汐高く乗候得共	Δ
	才兵衛方 小路	さいべい かたこう じ	新居町史 第1巻 通史編 上	不明	才兵衛方小路ノ辺迠来	
	浜名新開	はまなし んかい	新居町史 第1巻 通史編 上	不明	浜名新開、松本新田、松山新田所悉潮入	
	^{ま・} 松本新田 し、	まつもと	新居町史 第1巻 通史編 上	不明	浜名新開、松本新田、松山新田所悉湖入	0
		出 しんでん	安政大地震新居災害分 類誌	仲町文書	松本新田家弐、三軒流れ行き	0
	松山新田	まつやま しんでん	新居町史 第1巻 通史編 上	不明	浜名新開、松本新田、松山新田所悉湖入	0
湖西市	水門御船 小屋	すいもん おふねご や	新居町史 第1巻 通史編 上	不明	濱手或ハ水門御船小屋ノ辺迠ニ新居之者十四人溺死	
	水門	すいもん	安政大地震新居災害分 類誌	泉町文書	津波は三つ也、四つめは 水門 あたりにひきゆ	
	中屋敷	なかやし き	新居町史 第1巻 通史編 上	不明	中屋敷ノ蕨山ニ而高ミへ上リ	0
	交代下	こうたい した	安政大地震新居災害分 類誌	泉町文書	交代下にては 一丈五、六尺[4.24m-4.55m]	
	中山屋敷 下	なかやま やしきし た	安政大地震新居災害分 類誌	泉町文書	中山屋敷下迄上りて引候、(此汐も往来へは上らず軒雨垂下斗り上り 候)	
	白町	いずみま	中之郷誌 中之郷の歴 史と二宮神社	不明	よくミれハ其潮先泉町と云まて至れりけり	0
	<u> Ж</u> ш]	ち	安政大地震新居災害分 類誌	泉町文書	浪にて溺死十四人	0
	仲町	なかまち	安政大地震新居災害分 類誌	仲町文書	浜漁師流死人拾四人	0
	今切湊	いまきり みなと	浜松市史 史料篇1	不明	今切湊ハ凡貳百間計之處、津濤打來七百間に相成	0
	大倉戸	おおくら と?	安政大地震新居災害分 類誌	仲町文書	大倉戸並木所々 弐、参尺[0.61m-0.91m]程 ゑみ 浜平万度神社の松 の上 少し水中ゑ瀉み((ママ))	0
	浜平万度 神社	はまひら ばんどじ んじゃ?	安政大地震新居災害分 類誌	仲町文書	大倉戸並木所々 弐、参尺[0.61m-0.91m]程 ゑみ 浜平万度神社の松 の上 少し水中ゑ瀉み((ママ))	
	十王堂	じゅうお うどう	中之郷誌 中之郷の歴 史と二宮神社	不明	十王堂裏ノ道迄塩水入候	Δ

2) 浜名湖周辺における歴史津波の痕跡調査

ここでは、浜名湖周辺における安政東海津波の津波到達点について、「安政地震津波 災害絵図」・「舞阪宿津波絵図」(図3-10-⑦-1)に基づき、付随する歴史資料及び 現地調査を行い、津波痕跡点を特定することが可能かどうか試みる。

浜名湖周辺には、安政東海津波における情景や地形の変化について記した絵図が複 数残されている。安政東海津波については、浜松市博物館に所蔵されている「安政地 震津波災害絵図」、「舞阪宿津波絵図」という古絵図に、当時の被災状況が描かれてい る。「安政地震津波災害絵図」は、安政東海地震の際に奥浜名湖気賀地区に押し寄せた 津波と、津波に浸水した地域について、2枚の絵図を重ね合わせることで表現されている。ここには、当時の地名や寺社仏閣が記されるとともに、東海道を迂回する姫街道をはじめとした主要道路が描かれており、2枚の絵図を比較することで、詳細な津波到達点を特定することが可能になる。

i) 舞阪宿の津波痕跡点

『静岡県史 別編2 自然災害誌』(静岡県, 1996)によると、東海道の宿場町で浜 名湖東岸に位置する舞坂宿で、同宿の住民であった渡辺八郎平が、安政東海地震津波 の浸水状況や、岐佐神社や宝登山に避難する住民の様子を描いた絵図である。ここに は当時の町の家屋や常夜灯が描かれているが、現在の舞阪町にはこれらの遺構が現存 し、津波浸水地点をほぼ特定することができる。



図 3-10-⑦-1 浜松市博物館所蔵「舞阪宿津波絵図」

「舞阪宿津波絵図」(図3-10-⑦-2)の東側の浸水点付近には常夜灯が描かれて いる。これは舞阪宿一里塚付近に、新町常夜灯として現在も残存している。本調査で は、この新町常夜灯付近を東側の津波到達点とした。また、「舞阪宿津波絵図」の舞阪 町西岸の新水域付近には、段差の描写が見られる。『東海道分間延絵図 第11巻 解 説編』(児玉, 1986)によると、ここは「往古上り場」とされる場所であり、江戸時代 は本陣・脇本陣が存在していた場所である。絵図の浸水範囲は脇本陣の数軒隣、問屋 場付近まで及んでいる。本調査では、今日残されている旧脇本陣「茗荷屋」遺構から 数軒内陸側を暫定的に津波到達点とした。



図 3-10-⑦-2 「舞阪宿津波絵図」に描かれる東西の津波到達点

ii)気賀地域における津波痕跡点の特定

内山富寿作「安政地震津波災害絵図」(図3-10-⑦-3)は浜名湖の東北部、いわゆる奥浜名湖の気賀地区において、安政地震による津波が押し寄せる様子と、その後の浸水範囲を2枚の絵図で表している。



図3-10-⑦-3 浜松市博物館所蔵「安政地震津波災害絵図」(左・浸水時)

この絵図には、気賀地区に存在する寺社をはじめ、同地を通っている東海道の脇往 来である姫街道や気賀関所など特徴的なランドマークが記されており、それらを目印 にいくつかの津波到達点を特定した。

iii)細江町大円寺付近

奥浜名湖東岸、都田川河口に位置する大圓寺は、本堂裏が小山となっており、ここ を墓地としている。「安政地震津波災害絵図」(図3-10-⑦-4)では、津波が押し 寄せてきた際、大圓寺周辺は水没しているものの、墓地となっている小山が浸水して いない様子を描写している。ここから、大圓寺門前を安政津波の到達点とした。



図3-10-⑦-4 「安政地震津波災害絵図」に描かれる大円寺付近(左・浸水時)

iv) 旧気賀関所跡付近

気賀関所は、姫街道の監視を目的として東海道設置当初より設置された。「安政地震 津波災害絵図」(図3-10-⑦-5)をみると、津波の際、気賀の町は大半が水没して いるが、気賀関所の門前で津波が止まっている様子が描かれている。ここから、旧気 賀関所の門前を安政津波の到達点とした。



図 3-10-⑦-5 「安政地震津波災害絵図」に描かれる旧気賀関所付近(左・浸水時)

v) 気賀字葭本 · 二 / 宮社付近

気賀字葭本に位置する二宮神社付近は、「安政地震津波災害絵図」(図3-10-⑦-6)に「小森沢」と記されており、浸水時の絵には、ここの姫街道が水没している様 子が描写されている。ここから、二ノ宮神社付近を安政津波の到達点とした。



図 3-10-⑦-6 「安政地震津波災害絵図」に描かれる二ノ宮社付近(左・浸水時)

vi) 気賀字岩根付近

気賀字岩根は、「安政地震津波災害絵図」(図3-10-⑦-7)に「岩根沢」と記さ れている。津波時の描写をみると、岩根沢を通過し、さらに西へ向かう姫街道の分岐 点の直前まで津波が到達していることが描かれている。ここから、気賀字岩根の姫街 道を安政津波の到達点とした。



図 3-10-⑦-7 「安政地震津波災害絵図」に描かれる気賀字岩根(左・浸水時)

3) 静岡県沿岸における安政東海地震の津波痕跡調査

本業務では、1854年11月4日の午前9時ごろに発生した安政東海地震の津波を中 心に調査を行った。この津波に関しては、羽鳥(1975、1977、1980)の報告が行われ ており、都司・斎藤(2014)が、古記録や伝承に基づいた現地調査によるかなり詳細 な調査報告がある。しかし、この報告は、この報告が書かれた2014年から29年もさ かのぼった1985年ころ行われた現地調査によるものである。また同じころ、都司・斎 藤(1985)は当時の戸田村の村会議員を勤められた斎藤弘士氏とともに沼津市の内浦、 西浦、および戸田の詳細調査を行った。これらの現地測量には、ハンドレベルで行わ れた場所が多く、衛星を利用したGPSによる標高測定より精度が劣ることは明らかで ある。このため、本業務では(1)節で抽出した史料、これらの報告で取り扱っている痕 跡点に加え、「新収史料」などによって新たに紹介された史料の解釈によって痕跡位置 が特定できた地点において、GNSS 計測によって高精度で再評価した。ただし羽鳥(1977) で述べられている下田市街地や沼津市内浦湾の津波痕跡については、当時専門的な土 木測定技術者によって精密なトランシットによる測量が行われているため、本業務で は再測定していない。

i) 津波痕跡調查

本業務で調査を実施した痕跡点位置を図3-10-⑦-8に示す。図から、伊豆半島 沿岸、駿河湾沿岸および浜名湖周辺では痕跡情報が残されているが、遠州灘沿岸では、 極端に痕跡点が少ないことがわかる。遠州灘では宝永地震時に大規模な隆起が生じた ため、宝永地震以降、沿岸の土地利用が減少した結果として、安政東海地震による津 波被害の記録が残らなかったと考えられる。遠州灘で残された津波の記録は沿岸から 5km以上内陸の川井における漁船漂着のみである。

本業務で行った津波痕跡調査地点は 50 カ所となった。ここでは、津波痕跡として重要な地点のみ記すことにする。





a) 南伊豆町入間

『伊豆半島地震史料』には、南伊豆町入間に関して次の記載がある。「入間の外岡(とのおか)新吾氏宅は以前名主を務め、種々の記録ありしも安政の津波に流亡して仕舞ったが、此の記録を惜んで取りに行きし同氏中祖は、何度目かの津浪に頭髪を木の枝に引掛け残しゝまゝ身体は行方知れずとなった」。この記録に現れる外岡家というのは、入間の最西端に位置する中世から伝わる豪壮な家のことであって、2019年現在の当主は外岡盛泰氏である。同家に伝えられた話によると、上の伝承に言う「木」とは同家の北側にあるビャク杉(カイズカイブキ)の巨木(図3-10-⑦-9の写真参照)のことであって、先祖は髪の毛をこの木の枝に残したまま体は津波に持って行かれた、という悲劇を伝えている。このとき残された髪の毛はビャク杉の直下の壁面に、貝殻に封じて保存してある。この伝承に基づき、同家の地面標高を測定したところ、13.0mと言う値を得た。この地面からこの家の祖先の毛髪が引っかかっていたという最も下の枝の標高を測定して、この時の津波遡上高は15.7mとする。



図3-10-⑦-9 南伊豆町入間の外岡家北側ビャク杉。左下写真祠に下のコンクリ ート壁面に貝殻が貼り付けられている。なかに、先祖の毛髪が封じ込められている。 写真上方に覆い被さっているのがビャク杉。写真右下に中央上部にビャク杉の巨木が 写っている。

b) 沼津市口野

重寺から海岸線を北にたどって行くと、途中小岬を過ぎると駿河国に入る。ここで 節を分けるのは、この国境を境に支配関係が急変して、文書が断絶し、「急回状」など の相互連絡もほとんど遮断されるからである。伊豆国は韮山代官所・江川太郎左衛門 の支配下であり、駿河国に入った途端に駿河国沼津藩水野氏の支配下にはいる。

口野では安政の津波は石井実邸の背後のゆるい傾斜の小平地上端の石垣(図3-10 -⑦-10)の根元まで来たと伝えられている。この標高を測定すると、6.5 mが得ら れた。この数値を口野での津波浸水高さとする。なお、同氏宅玄関壁面には安政津波 の痕跡がみられる。



図 3-10-⑦-10 沼津市口野の石井実邸(下右)と背後の平地と石垣。

c)静岡県清水区三保

静岡市清水区三保の遠藤氏文書『三保村用事覚』(新収 日本地震史料 第五巻別巻 五ノー)によると、「和中より大津波あがり、御宮道・三辻より五左松の間は一面に深 さ三四尺(0.9^{~1.2m})打込み、男女とも御宮へ逃げ四五日は家に帰れなかった」と記 されている。この文の出てくる五左松(ござまつ)は、現在は御座松と書かれ、三保 の妙蔵寺の北側の道を西に約100m進んだ交差点で、地面標高は2.4mであった。ここ で「深さ三四尺(約1m)」というのであるから、ここでの津波浸水高さは3.4mとな \Im (\boxtimes 3 - 10 - \bigcirc - 11).

三辻(みつじ)は御座松から 500m ほど南の交差点で、南北に走る道に北西方向から 斜めに交差してくる地点である。地面標高は 3.3m であったので、この出の津波冠水を 1.0mとして、ここでの津波浸水高さは 4.3m となる。



図 3-10-⑦-11 静岡市清水区三保の安政津波の浸水高測定。下左写真が御座松交 差点 下右写真が三辻。

d) 牧之原市相良

牧之原市相良は田沼氏の城下町である。萩間川が天然の良港の役目をはたしていて、 輸送船の停泊地として栄えていた。萩間川では境橋のところで津波があふれ、船が打 ち上がったと伝えられる。この船は小さな漁船ではなく、米や魚を国内輸送する船で あったはずである。喫水線から船の最下端まで 1.0m かそれ以上あったはずであるの で、この橋付近で地上 1.0m かそれ以上の冠水があったはずである。我々は境橋と標高 がほぼ等しい大和神社の境内の地面標高を測定したところ、3.5m の値を得た。したが ってこの場所での津波浸水高さは 4.5m と推定する (図 3 - 10 - ⑦ - 12)。

相良の市街地の中に浸水限界と伝承する場所があり(図3-10-⑦-12)、ここで地面標高を測定したところ 4.7m の値を得た。この値をここでの津波遡上高さと推定する。



図 3-10-⑦-12 牧之原市相良の大和神社での津波標高測定。

e) 牧之原市地頭方

都司・斎藤(2014)には牧之原市地頭方に「サンボラ屋敷」、および「サンボラ井戸」 の伝承が記載されている。すなわち、安政津波の時に海水がある家に浸水し、津波の 後に見に行くとボラが3匹井戸に取り残されていたと伝えられている。1985年の調査 では、その場所は郵便局と駐在所の中間地点である、という図が掲載されていた。郵 便局は当時のまま元の位置にあったが、駐在所はなくなっていた。しかしながら、地 図の示す地点にほぼサンボラ井戸と認められる井戸が見つかった、この井戸の地面標 高は4.6mであった。この値をここでの津波遡上高と推定する(図3-10-⑦-13)。



図3-10-⑦-13 牧之原市地頭方のサンボラ井戸での標高測量の光景

f) 袋井市川井への津波遡上

静岡県中央部は海岸が砂丘であって、人の住む集落は海岸線上にはほとんど存在し ない。このため、津波到達点に関する情報は極めて少ない。唯一、太田川をさかのぼ った安政津波が、支流の原野谷川をさらにさかのぼって、袋井市川井に達したという 記録がある。すなわち『広報ふくろい』(158 号)に引用された『鈴木伊右衛門翁手記』 に「川井村に大船寄せ合って行き留まる」と記録されている。

原野谷川が川井にもっとも接近する点で川の水面標高を測定した結果、2.9mの値を 得た(図3-10-⑦-14)。大船が「寄せ合って行き留まる」であって「打ち揚げた」 わけではないので、喫水線下の船最下点までの長さの値を加えることはしない。2.9m をここでの津波遡上高さとする。



図3-10-⑦-14 太田川支流の原野谷川の袋井市川井点での河面。

g) 浜松市気賀 油田 大円寺

2節 iii)で検討したとおり、「安政地震津波災害絵図」では、津波が押し寄せてきた際、大圓寺周辺は水没しているものの、墓地となっている小山が浸水していない様子を描写している。ここから、大圓寺門前を安政津波の到達点とした。ここの敷地の標高は2.7mであった(図3-10-⑦-15)。この値をここでの津波遡上高とする。



図3-10-⑦-15 浜松市気賀油田 大円寺での標高測定作業

ii) 津波痕跡位置とその津波高分布

図3-10-⑦-16に東海(静岡県、愛知県、三重県、静岡県)沿岸の津波痕跡高分 布を示す。図には、本業務で得られた痕跡点に加えて、羽鳥(1975、1977、1980)、都 司・他(1991)、都司・他(1996)、行谷・都司(2005)、都司・他(2014)、矢沼・他 (2017)、今井・他(2017)も含めて検討を行った。史料精査から明らかになった安政 東海地震津波の津波痕跡高さ分布には2つのピークがあり、志摩半島東端の国崎で22 mに達していた。もう一つのピークは、伊豆半島南東の入間で、津波痕跡高さが15mを 超えていた。これらの情報は安政東海地震の津波源を再検討するための非常に重要な 手がかりとなる。



図 3-10-⑦-16 東海(静岡県、愛知県、三重県、静岡県)沿岸の津波痕跡高分布

(c) 結論ならびに今後の課題

951冊の自治体史・郷土史・災害関係資料から1854年安政東海津波に関する記述について170地点を抽出した。86件について現在その位置が確認でき、19地点についてはそのおおよその位置が判明した。

本調査においては、絵図史料に描かれているランドマークと、今日残されている史 跡・遺構の位置関係から、いくつかの津波到達点を特定した。なお、「安政地震津波災 害絵図」からは、名称が記入されていないものの、街道や河川の位置関係からなお複 数の津波到達点を明らかにできる可能性を示した。

史料精査から明らかになった安政東海地震津波の津波痕跡高さ分布には2つのピー クがあり、志摩半島東端の国崎で22mに達していた。もう一つのピークは、伊豆半島 南東の入間で、津波痕跡高さが15mを超えていた。これらの情報は安政東海地震の津波 源を再検討するための非常に重要な手がかりとなる。

今後はこれらの津波痕跡情報に基づいて、安政東海地震の波源推定を行う。

(d) 引用文献

羽鳥徳太郎,明応7年,慶長9年の房総および東海南海道大津波の波源,東京大学地震

研究所彙報, 50, 171-185, 1975.

- 羽鳥徳太郎,静岡県沿岸における宝永・安政東海地震の津波調査,東京大学地震研究 所彙報,52,407-439,1977.
- 羽鳥徳太郎,大阪府・和歌山県沿岸における宝永・安政南海道津波の調査,東京大学 地震研究所彙報,55,505-535,1980.
- 今井健太郎・石橋正信・行谷佑一・蝦名裕一,新たな史料に基づく和歌山県沿岸にお ける安政東海・南海地震の津波痕跡調査,津波工学研究報告,33,121-130,2017.
- 児玉幸多,五街道分限延絵図全百巻之内 東海道分間延絵図 第十一巻 解説編,東 京美術, 30-31, 1986.
- 行谷佑一・都司嘉宣, 宝永(1707)・安政東海(1854)地震津波の三重県における詳細津 波浸水高分布, 歴史地震, 20, 33-56, 2005.
- 静岡県,静岡県史別編2自然災害誌,静岡県編集·発行,466-468,1996.
- 都司嘉宣・日野貴之・矢沼隆・岩崎伸一・北原糸子,安政東海地震津波(1854 XII 23) の浸水高の精密調査,歴史地震,7,43-55,1991.
- 都司嘉宣, 岩崎伸一, 和歌山沿岸の安政南海津波(1854)について, 歴史地震, 12, 169-187, 1996.
- 都司嘉宣·斎藤弘士,地元史料で見る沼津市,戸田村の津波の歴史,月刊地球,74, 192-203, 1985.
- 都司嘉宣·斎藤 晃,静岡県沿岸での安政東海地震津波(81854)の浸水高分布,津波工 学研究報告,31,293-311,2014.
- 矢沼隆・都司嘉宣・石塚伸太朗・上野操子・松岡祐也・小田桐(白石)睦弥・佐藤雅 美・芳賀弥生・今村文彦,紀伊半島南岸における宝永地震津波(1707),安政南 海地震津波(1854)及び安政東海地震津波(1854)の津波高現地調査,津波工 学研究報告,34,135-182,2017.

(3) 平成 31 年度業務計画案

本研究で進めた地震発生サイクルシミュレーション、史料・津波堆積物調査、海域 構造探査、そして海陸地殻変動観測の結果を総括し、南海トラフ巨大地震の発生履 歴と連動性とその不確定性を明確化する。そして、現在のプレート固着状態と、昭和 東南海・南海地震以降の応力蓄積状況の推定に基づいて、次に起きるうる可能性の 高い想定震源モデルと地震発生シナリオを明確化する。そして、この地震による強 震動と津波ハザードを、バラツキの幅を含めて評価する。

また、本研究成果を発展させ、「(d) データ活用予測研究」で整備するプレート境 界状態モニタリング・地震発生予測システムによる地震発生可能性の評価を受けて、 想定される地震ハザードを含めて評価する、総合的な防災システムの実現可能性を 検討する。また、地震発生直後の震源域の詳細把握と、強震動・津波浸水・地殻変動 等による被害即時推定、そして、大規模余震・誘発地震の発生可能性とその地震ハザ ードを、リアルタイム観測と高速計算に基づき即座に把握する、新たな応急対応・防 災システムの今後5~10年を見越した将来展望を示す。

4. 全体成果概要

平成 30 年度は「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」の6年度目として、平成 29 年度に引き続き各サブテーマ内の研究課題の進捗を重点的に行った。以下に各サブテー マの成果の概要を示す。

4.1 サブテーマ1:地域連携減災研究

2011年東日本大震災の教訓を活かし、南海トラフ巨大地震大津波の被害軽減への対応、 将来の南海トラフ巨大地震の復旧復興、高分解能な地域リスク評価も併せて実施する。ま た、情報発信や情報の共有化の観点から「東日本大震災教訓活用型アーカイブシステム」 の構築・利活用と、プロジェクトの成果を防災減災に活用するための「南海トラフ広域地 震災害情報プラットフォーム」の構築を進めている。そして、引き続き地域研究会の活用 や減災の啓発活動を実施、人材育成にも努める。

本サブテーマは、(a)東日本大震災教訓活用研究、(b) 地震・津波被害予測研究、(c) 防 災・減災対策研究、(d) 災害対応・復旧復興研究、(e) 防災・災害情報発信研究の研究課 題で構成されている。

下記にサブテーマ内の各研究課題の成果の概要を示す。

(a) 東日本大震災教訓活用研究の成果

- ①「東日本大震災教訓活用型アーカイブシステム」の基本設計(3層アーカイブモデル) のうち、理論データベースとして開発した「震災教訓文献データベース」へのコンテ ンツ追加を行った。また、「3.11からの学びデータベース」「震災教訓文献データベー ス」「動画でふりかえる 3.11」の利用頻度を調査し、活発に利用されていることを確 認した。加えて、災害時の8つの「生きる力」を向上させる人材育成プログラムの検 証を行い、同プログラムによる効果の頑健性を確認した。
- ②大規模災害により被災した市街地の復興を、「復興モニタリンスシステム」を通じて、 定点観測により、アーカイブ化することを引き続き行っている。今年度は、カメラの 維持管理を行うことで東日本大震災ならびに阪神・淡路大震災の復興状況の連続観測 を継続的に実施し、復興事業の進捗にともなう、まちの連続的変化の記録を行うこと ができた。
- ③1)ライフライン(上水道)については、碧南市との議論や東日本大震災での事例検証を 行う中で、昨年度1-a)で取りまとめた上水道システムの減災対策に加え、新たに複数 の対策を提案した。2)建築構造物については、地震観測記録に基づき重要施設の機能 継続につながる構造モニタリングを検討した。3)地盤・土構造物については、現行の レベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検フローの三次点検に必要とされる代表 的ないくつかの解析手法について特徴を比較・整理した。
- ④強震観測と地震波伝播シミュレーションデータ同化に基づく、東北地方太平洋沖地震の長周期地震動の即時予測の数値実験を行い、その有効性を示した。現在、海域のケーブル式強震観測による震源近傍でのデータ同化と、近年の高速計算環境による地震波伝播の未来予測により、遠地の大規模平野で長周期地震動が強く発生する数十秒前

の予測可能性が示された。

- (b) 地震·津波被害予測研究
- ①津波被害予測について、愛知県碧南市をモデル地区として、想定南海トラフ巨大地震による地震動に対する堤体基礎の沈下量を水~土骨格連成有限変形解析によって評価し、この解析結果を津波氾濫解析に組み込むことで、堤体基礎の脆弱性が浸水域に与える影響について検討を行った。また、巨大津波襲来後の長期湛水の予測手法の高度化に取り組んだ。
- ②地震動について、3次元有限差分法によるグリーン関数について、必要に応じて補間 を施しながら波形合成を行うことにより、効率的に地震動を評価する手法を確立した。 これを用いて、南海トラフの東側の震源域について2ケースの地震動を評価し、適切 に地震動波形を計算することができることを確認した。
- ③地盤被害について、現地調査結果を踏まえて、碧南市蜆川の中流域および下流域の現況の河川堤防を、矢板を考慮する形でモデル化し、L1 地震動および L2 地震動に対する地震時地盤変状予測を実施した。
- ④建物被害について、碧南市庁舎(10 階建て SRC・S 混合構造、杭基礎)を対象として、 南海トラフの地震に対する被害予測のため、地震観測記録に基づき、中小地震時の建 物の詳細な振動特性分析を行った。
- ⑤南海トラフ巨大地震によるライフライン被害の早期復旧対策を目的として、碧南市を 対象に、電力については、発災直後にも特にその機能維持が求められる施設への電力 供給を観点に、重要な道路・区間について検討した。また、上水道については、様々 な対策を講じた際の減災効果について検証し、それぞれが異なる形で減断水の低減を もたらすことを確認した。
- ⑥広域リスク評価について、発災後の災害シナリオ高度化のため、平成 29 年度に利用した応用一般均衡モデルの高度化と、間接被害の試算を行った。さらに、被災地の災害パターンを類型化する手法の検討を実施した。
- ⑦都市災害については、住まいを失った世帯における復興期の住宅取得に関する意向を 詳細に把握した。経済被害については、愛知県を対象とし市区町村間産業連関表の構 築を行った。
- ⑧災害廃棄物について、仮置場の確保面積と収集運搬を考慮した災害廃棄物処理フロー モデルを用いて、南海トラフ巨大地震における愛知県碧南市を対象として、災害廃棄 物処理の数値解析を行った。その結果、災害廃棄物処理において、仮置場の確保のみ ならず、収集運搬の確保、処理・再生利用などの出口の確保が重要であると指摘した。
- (c) 防災·減災対策研究
 - ①前年度に議論した各地域の課題やニーズ、南海トラフ地震に関する状況の変化を踏ま え、東海、関西、四国、九州で地域研究会を開催した。臨時情報の議論やプロジェク ト成果の実装が進む取り組みに関する情報共有などを行った。四国・九州地域では、 地域研究会と平行して分科会も行い、その分科会では個別地域や個別テーマに特化し

た情報交換や議論を行った。

②啓発活動として、11月には高校生を対象とした対話型イベントを高知市で開催した。

- (d) 災害対応·復旧復興研究
 - ①昨年度に実施した阪神・淡路大震災の被災地域とその周辺地域を対象とした災害による総合的な影響評価分析の精度検証を目的に、分析範囲を北摂地域に拡大するとともに、分析期間を国勢調査については1990-2005年の4時期(昨年度は1990、1995、2000の3時期)、事業所・企業統計については1991-2006年の4時期(昨年度は1991、1996、2001の3時期)に拡大して検討を行った。また、国勢調査及び事業所・企業統計調査を基にした地域メッシュ統計等を用いて、地域メッシュごとの地域人口・経済構造についてデータ分析を行い指標化した。また、公共施設や被害想定等のデータをあわせて、GISを用いて、地域特性の経年変化や災害が地域に与える影響等について地理空間的な分析を行った。前記データを用いて地域特性の推移や被害の大きさ(全半壊率)および復興事業との関連性を分析し、災害が地域に与える影響について分析を行った。
 - ②これまでに和歌山県由良町衣奈地区で開発してきた事前復旧・復興計画策定システム を和歌山県同様に南海トラフ地震の被害を受けることが想定される兵庫県南淡路市 福良地区に導入し、その有用性の検証ならびに課題の抽出、改良の実施を行うととも に復興土地利用計画策定のフレーム構築を行った。
 - ③伊豆市で進められる津波防災地域づくり法に基づく推進計画の策定に主体的に関わることを通して、津波防災地域づくりの計画プロセス、計画策定手法に関して考察を 行い、津波ハザード評価を実社会につなげる計画理論の確立に向けての知見を得た。
 - ④地震・津波被害の低減に向けた都市計画指針の策定とその検証については、「地震・ 津波被害の低減に向けた都市計画指針」が自治体都市計画担当者の納得を経て圏域 (広域)及び都市計画区域のマスタープラン反映されたことを確認するとともに、そ の実現に必要な自治体都市計画の展開に向け、県・自治体の協働作業を開始する機運 を醸成した。
- (e) 防災·災害情報発信研究
 - ①巨大地震発生域調査観測研究、東日本大震災教訓活用研究、地震・津波被害予測研究、およびそのほかハザード・リスク情報との成果運用に関する連携技術・手法について検討と開発を継続した。地域研究会や防災教育等での活用を通じて、プラットフォームや各システムを高度化した。また広く防災活動等で利用されるために、災害情報プラットフォーム Ver. 1を利活用した社会実験を関西地域にて実施し、大阪府北部の地震と台風 21 号被害において地震動と高潮の想定情報利活用に関して実際の被災者災害対応で利用検証した。改良した災害情報プラットフォームの Ver1.2 を公開した。
 - ②愛知県に数多く残されている軍需工場と関連する地震の慰霊碑や記念碑の調査・取集 するとともに、軍需工場での被害の実例を概観した。また、本プロジェクトの他課題 の成果として得られた強震動予測結果や建物の強震観測記録を活用し、最新のバーチ

ャル映像技術を組み合わせた没入感のある地震応答体感環境をパッケージ化し、多様 な環境における社会実装を試みた。

- ③これまで開発してきた自動読み取り、海陸構造を取り入れた即時震源決定、これらの 情報に基づく地震活動と統計情報の可視化を進め、必要なパラメータ設定を行い情報 共有する仕組み作りを手掛けた。その結果、地震活動データについて様々なプロット が作成できる試作システムを構築した。
- ④避難行動意図モデルについて、過年度の調査で確立した構造の安定性を確認した。そして、避難意図に対して効果を有する因子として、地域によらず共通性の高い因子と、地域で異なる因子とを分別した。地域 BCP の予備的検討の結果では、各社は人命保護を最優先に置いており、事業中断の判断は、本社より現場事業所で行う企業が多いことを静岡県内の量的調査で確認した。そして「南海トラフ地震に関連する情報(臨時)」発表時の対応の判断材料としては、避難勧告等の発令状況の影響が最も多く、従業員の出社や生活に関する情報の方が商取引先に関する情報よりも多くの影響がすることが示唆された。

4.2 サブテーマ2:巨大地震発生域調査観測研究

南海トラフ、南西諸島域の調査観測による震源域の実態解明とそれらの成果に基づくシミュレーションによる発生予測、被害予測研究の推進を目的とする。

これらの研究成果を、サブテーマ1の地域連携減災研究に確実に活用し、南海トラフ広 域地震防災・減災を図るものである。

本サブテーマは、調査観測分野とシミュレーション分野で構成されており、各分野に研 究課題が設定されている。

調査観測課題では、(a) プレート・断層構造研究、(b) 海陸津波履歴研究、(c) 広帯域地 震活動研究、シミュレーション課題では、(d) データ活用予測研究、(e) 震源モデル構築・ シナリオ研究の課題がある。

下記にサブテーマ内の各研究課題の成果の概要を示す。

4.2.1 巨大地震発生域調査観測研究(調査観測分野)

- (a) プレート・断層構造研究
 - ①南西諸島域において、種子島・トカラ列島付近での自然地震の詳細な震源分布と三次 元速度構造の推定を進めるとともに、奄美群島周辺での自然地震観測を開始した。ま た南海トラフおよび南西諸島における既存の速度構造モデルや構造探査データを用 いて、全域にわたる連続的なプレート形状モデルの構築、フィリピン海プレート表面 の面粗さの評価、熊野灘で反射振幅の抽出・マッピングを行った。
 - ②四国東部における稠密地震観測点データの解析により、深部低周波地震の高精度検出 を実施した。また、四国東部におけるフィリピン海プレート形状モデルを構築するため、周辺域の発震機構解の分布調査や地震波走時データベースの拡充を行うとともに、 レシーバ関数等による地下構造解析に着手した。
(b) 海陸津波履歴研究

- ①日向灘海域において、海底堆積物採取とその分析を実施し、日向灘前弧斜面基部の小海盆のコアから、200-300~1000 年程度のタービダイトの堆積間隔を得た。また、桜島文明テフラ(1471年)以降には肉眼で識別可能なタービダイトが堆積していないことが明らかとなった。
- ②奄美群島喜界島において、離水サンゴ・マイクロアトールの断面サンプリングと CT スキャン画像の解析を実施し、本地域のマイクロアトールの水平方向の成長速度が 1.1cm/年であることが明らかになった。この結果と現成サンゴ・マイクロアトールの 断面測量結果に基づけば、北部で少なくとも過去 72 年間、東部では少なくとも過去 132 年間はおおよそ地殻が安定していたことが推定される。
- ③高知県須崎市および土佐清水市において津波堆積物の分布と年代を明らかにするために掘削調査を実施した。須崎市では機械式ボーリングにより深度 21m および 27m の2本のコア試料を得た。土佐清水市ではハンディジオスライサーなどにより、深度1m程度のコア試料を12地点で得て少なくとも1層のイベント堆積物を検出し、おおよそ西暦 1400 年代以降の年代を示す。
- ④高知県高知市春野町において津波堆積物の分布と年代を明らかにするためにハンド コアラーおよびハンディージオスライサーを用いた掘削調査を実施し、泥質堆積物中 に挟在する複数のイベント砂層を検出した。また有機質粘土層から有機物に乏しい粘 土層への層相変化が確認され、地震性沈降等による堆積環境の変化を示している可能 性がある。
- ⑤三重県南伊勢町において、過去に発生した巨大津波による浸水の履歴を明らかにする ため、沿岸湖沼において湖底の堆積物試料を採取した。採取した試料の CT 画像を取 得した結果、約 16 層のイベント堆積物が認められた。
- ⑥静岡県富士市の浮島ヶ原低地で採取された既存の柱状堆積物試料について、化石群集の分析および放射性炭素年代測定を行った結果、少なくとも8回の沈水イベントが認められ、最も新しいイベントは1707年宝永地震か1498年明応地震、2番目に新しいイベントは1498年明応地震か1361年正平(康安)地震、3番目に新しいイベントは1096年永長地震か887年仁和地震に対応する値を示した。
- ⑦富士川河口断層帯入山瀬断層の隆起側で平成28年度に得られたボーリング試料(1 地点)と沈降側で産業技術総合研究所(2016)が得たボーリング試料(2地点)ついて、¹⁴C年代測定および珪藻分析を行い、地点間の対比を行った結果、断層の平均変位 速度は2m/千年程度で、従来よりも活動度が低く、また長期的にみると隆起側も沈降 していることから、さらに西側に活発な断層がある可能性が指摘できる。
- (c) 広帯域地震活動研究
- ①南海トラフから南西諸島海溝の領域において、長期観測型海底地震計を用いた長期海底地震観測を実施した。また、海底地震(水圧)計のデータ解析を行った。平成 30年度は、平成 29年度に種子島東方沖に設置した圧力計搭載型広帯域地震計と長期観測型海底地震計を回収し、平成 29年度の観測領域のさらに南側領域に圧力計搭載型

広帯域地震計と長期観測型海底地震計を設置し観測を開始した。目的は、種子島東方 沖において海底地震観測を行うことにより、南西諸島海溝北部におけるプレート境界 浅部のスロー地震活動モニタリングを行うことである。今年度回収された海底地震計 には、良好な波形データを取得されており、微動活動および超低周波地震が記録され ていることが確認された。また、これまでに得られたデータを用いて、低周波微動及 び浅部超低周波地震の震央位置推定を行った。

②プレート境界におけるゆっくりすべり等のイベントや固着にともなう継続時間が長い(数日以上)地殻変動場を海底水圧観測により正確に捉えるためには、観測データに含まれる地殻変動成分以外の誤差のなかでも、圧力センサーの長期ドリフトに起因する見かけの圧力変動成分を特定し、観測データから除去する必要がある。そのために、海底での長期連続観測と同等の条件下において、センサーの長期繰り返し較正実験を実施した。その結果、高圧時と大気圧時のそれぞれでのドリフト特性は良い一致を示すことがわかった。室内実験から、本研究開発の手法に基づいて海底水圧観測を実施すれば、超長周期のノイズを低減できるという見通しがたった。

4.2.2 巨大地震発生域調査観測研究(シミュレーション分野)

- (d) データ活用予測研究
 - ①本プロジェクトでは定常的な沈み込みを再現した有限要素モデルの構築、ブロック運動モデルによる解析、過去の地殻変動データの整理等を実施してきた。1)フィリピン海プレートの定常的な沈み込みを有限要素法により評価し、定常的な海洋プレートの沈み込みが上盤側への影響を評価した。定常的なフィリピン海プレートの沈み込みが及ぼす影響は、地震サイクルに影響されない変形および、応力場であることから、地形の生成や絶対応力場に起因すると考えられる。よって、その変形場を評価することは沈み込み帯のテクトニック応力場を理解する上で重要である。この解析の結果、プレートの定常的な沈み込みは、プレート境界面に法線応力を生成し、瀬戸内海や紀伊半島、伊勢湾などの地形の生成に寄与していることが明らかになった。2)前年度に実施したブロック運動モデルの解析結果について詳細な考察を実施した。3)過去の水準データを含む地殻変動データの整理を継続した。4)地殻変動を非弾性変形と弾性変形の寄与とに分離し解釈した。
 - ②海陸地殻変動観測・地震データを用いて、2011年東北地方太平洋沖地震(以下、東北 沖地震)の発生以前および以降に発生したプレート間固着強度の時空間ゆらぎの予測 実験を進めた。

東北沖地震前後の関東地方でのプレート境界およびその浅部での地震活動について検 討した結果、プレート境界で約1年周期の「スロースリップ」(ゆっくりすべり)が発 生し、それに伴って水が浅部に排出されていることを明らかにした。このような現象 はスロースリップによってプレート境界の水が移動することを示す初めての観測であ り、プレート境界地震の発生予測の高度化に向けた極めて重要な成果である。また、 東北沖地震前に、小繰り返し地震および GPS データから周期的なスロースリップが推 定された三陸沖において、東北沖地震後のスロースリップの発生状況を小繰り返し地 震、超低周波地震および海底地殻変動観測データから推定した。

- さらに、東北沖地震後に設置された短周期海底地震計(S-OBS)データから日本海溝 の特に岩手沖におけるスロー地震活動の時間変化に注目した解析を実施した。その結 果、スロースリップイベントのすべり速度を反映していると考えられる小繰り返し地 震の活動度と、本研究で新たに検出した低周波微動の活動度が一致することが明らか になった。これは低周波微動の活動が背景のゆっくりすべりの加速を反映しているこ とを示唆する結果である。
- ③南海トラフ地震を対象とした多数の地震サイクルシミュレーション結果の整合性を 評価するために、これまでに蓄積された地震サイクルシミュレーションに伴う地殻変 動と近代観測データ(GPS データ)の比較を実施し、次年度に実施予定である、明治以 来の測量データまで考慮した比較検討のための準備を行った。
- ④地殻変動の連続時系列データから断層のすべりの時空間変化を推定する手法である 改良型のネットワークインバージョンフィルター(モンテカルロ混合カルマンフィル タ、以下MCMKF)を、1996年から2010年までの東海地方のGNSS時系列データに適用し、 プレート境界で発生するスロースリップイベント(SSE)の時空間変化を推定した。そ の結果、MCMKFの優位性を活かして、浜名湖直下の長期的SSEと小規模な短期的SSEが 同時に推定され、両者のすべりの時空間発展が推定できた。

豊後水道長期的スロースリップイベント(LSSE)領域においてアンサンブルカルマ ンフィルター適用の可能性を探る数値双子実験として、1994年以来のGEONETの観測網 拡充に伴う、観測点数および観測点配置の変動が推定結果に及ぼす影響を調べた。そ の結果、観測点が少ない時は収束が遅いが、観測点が増加するにつれ、収束が加速し うまく推定できることが分かった。また、南海地震サイクル(固着状態が変動)中で の豊後水道LSSEの活動の変動を調べた。その結果、地震サイクルの後半にはLSSEの発 生間隔が短くなり、活動度が上がることが確認された。

H29年度に開発された、地殻変動データの逐次同化による、すべり・摩擦パラメータ 推定の数値実験コードに対し、南海トラフ域の複数域で発生する長期的SSEを考慮した 処理が適用できるよう、計算コードの並列化を行った。並列化したコードを利用して、 南海トラフ域に2つの仮想SSE域(東海・豊後水道)を設定し、18領域に分割した固着域 の固着速度分布を推定する同化実験が実行可能なことを確認した。

- (e) 震源モデル構築・シナリオ研究
- ①観測データから推定された三次元不均質地殻構造を用いた地殻の弾性・粘弾性応答の 解析の実用化に向け、計算コストを大幅に削減した有限要素法コードの改良を行い、 また、不均質地殻構造の近似に伴う地殻変動解析結果の誤差を確認するとともに、地 殻物性推定の曖昧さに伴う解析結果の不確定性を考慮した地殻変動解析手順を確認 した。
- ②任意の非線形粘弾性パラメータを扱うことができる Barbot 法の計算手法を地震発生 サイクル計算に組み込むために、既存の計算手法による線形粘弾性媒質中での地震す べりの 10 年後の変動を用いて Barbot 法の整備・高速化を図った。H 行列解を既存の

手法(F&M法)と比較して、解析に資する十分な精度が得られていることを確認した。

- ③地震発生シミュレーションにおいて、異なる構成関係パラメータ分布を用いた準静的応力蓄積シミュレーションのすべり遅れレート分布の時間変化を検討し、すべり遅れレート分布の時間変化が、ピーク強度の値や固着域(すべり遅れ分布)の範囲に強く依存することを明らかにした。これにより、構成関係パラメータの制約条件の検討のために、すべり遅れレート分布と観測データの比較が有効性であることが確認できた。また、応力データインバージョンに基づいて、地殻応力場形成のダイレクトソースである「衝突率」分布を推定した。
- ④大地震発生サイクルとゆっくりすべりの繰り返し間隔の変化との関連性について検討するために、相模トラフにおいて、地震発生サイクルシミュレーションを実施した。その結果、関東地震震源域の固着状況の変化だけでは、2011年前後に観測されたようなスロースリップの繰り返し間隔の変化は生じず、より複雑な条件またはモデルの考慮が必要となることがわかった。
- ⑤南海トラフ巨大地震震源モデルの構築に向け、既往の SMGA モデルの適用性を確認した。破壊伝播速度の空間分布を、破壊エネルギーの考え方に基づき応力降下量に関連付けて設定する方法を開発した。不均質 SMGA モデルを南海トラフ巨大地震の地震動予測に適用し、不均質化により高周波数成分が増強されることを確認した。また、熊野海盆周辺に展開されている DONET1 の広帯域地震計連続記録を解析し、長周期地震動の生成に関係する周期 2~20 秒の Love 波群速度を推定した。
- ⑥現在のプレート境界の応力蓄積状態に基づく動的断層破壊伝播シミュレーションに から求められた地震シナリオに基づき、強震動・長周期地震動、地殻変動、津波ハザ ードとその変動要因を検討した。震源域の拡大とともに強震動・長周期地震動の生成 範囲は拡大するが、各地点の揺れは近傍の断層セグメント(強震動生成域)で規定さ れ、地震シナリオ毎のハザードの変動は小さいことが分かった。一方、津波ハザード は断層セグメントの増加とともに、地殻変動と初期津波の分布が互いに影響して大き く変動すること、特に、南海トラフ地震は震源域が陸上に近いために影響が大きいこ とを確認した。昭和東南海地震・南海地震後に発生した 1945 年三河地震と 1948 年福 井地震の震度アンケート調査を精査し、稠密震度分布を求めた。また、史料調査に基 づき、安政東海地震・南海地震の前後に発生した 1847 年善光寺地震、1853 年小田原 地震、1854年伊賀上野地震、1854年伊予西部地震、1855年江戸地震、1857年伊予地 震、1858年飛越地震の震度分布を求めた。そして、安政東海地震・南海地震の被害域 よりも地震前後の内陸地震の被害域が大きいこと、これが昭和東南海地震・南海地震 の前後の内陸大地震の被害域と相補的な位置関係にある可能性を示した。南海トラフ 巨大地震の発生によるクーロン破壊関数を評価し、地震後の内陸大地震とスラブ内大 地震の発生との関係を検討した。
- ⑦自治体史・郷土史・災害関係資料を精査して 1854 年安政東海津波に関する記述を抽出し、絵図史料に描かれているランドマークと、史跡・遺構の位置関係から津波到達点を特定して、各地点の津波痕跡高を調査した。津波痕跡高分布には2つのピーク(志摩半島東端の国崎の 22m と伊豆半島南東の入間の 15m) が認められ、安政東海地震の

津波源の再検討に向けた重要な手がかりを得た。

5. 成果の論文発表・口頭発表等

(1) 東日本大震災教訓活用研究

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
新家杏奈,佐藤 翔輔,今村文彦	東日本大震災の津波避難行動へ影響 を与えた要因に関する分析-宮城県 気仙沼市の事例検討-	地域安全学会論 文集(電子ジャ ーナル), No. 34, 10pp.	2019年3月
佐藤翔輔, 今村 文彦	2018 年西日本豪雨災害における「# 救助」ツィートの実態:2017 年 7 月九 州北部豪雨災害との比較分析	自然災害科学, Vol.37, No.4, pp.383-396	2019年2月
佐藤翔輔, 今村 文彦	過去の災害対応の経験は継承された のか・活かされたのか?:東日本大 震災で対応した宮城県職員を対象に した質的調査結果と提案	地域安全学会論 文集, No.33, pp.105-114	2018 年 11 月
戸川直希,佐藤 翔輔,今村文彦	災害対応訓練の経験が実災害時の行 動に及ぼす効果の検証-宮城県亘理 町における地震・津波・台風災害を 事例にして-	 土木学会論文集 B2(海岸工 学), Vol. 74, No. 2, I_493-I_498 	2018 年 11 月
佐藤翔輔, 今村 文彦	2017 年 7 月九州北部豪雨災害におけ る「#救助」ツイートの実態分析	自然災害科学, Vol.37, No.1, pp. 93-102	2018年5月
贄田純平,姥浦 道生, 苅谷智 大,小地沢将之	東日本大震災後の初動期における建 築規制とその空間形成への影響に関 する研究	日本都市計画学 会都市計画論文 集,53,3(2018), 1199-1206	2018 年 11 月 18 日

(b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定 なし

(2) 地震·津波被害予測研究

	(a)	成果の論文発表	•	口頭発表等
--	-----	---------	---	-------

著者	題名	発表先	発表年月日
Baba, T.,	A Numerical Modeling of Long-Term	AOGS annual	2018年6
K. Imai,	Flooding After the Tsunami Caused	meeting in 2018	月3日
K. Nakanishi	by the Nankai Earthquake, Japan		
M. Miyoshi,			
K. AKI			

太田智大、平山	仮置場の確保面積と収集運搬効率を	第 41 回環境衛	2018年7
修久	考慮した災害廃棄物の処理フローモ	生工学研究シン	月 27 日
	デルの構築	ポジウム	
天野靖大、護雅	常時微動計測に基づく杭基礎中層庁	2018 年度日本	2018年9
史、飛田潤、福	舎建物の振動特性に関する分析	建築学会大会	月4日
和伸夫		(東北)学術講	
		演会	
福井優太、平井	2016年4月1日三重県南東沖の地震	2018 年度日本	2018年9
敬、倉田和己、	の強震観測記録を用いた南海トラフ	建築学会大会	月6日
福和伸夫	巨大地震の地震動予測	(東北) 学術講	
		演会	
今井健太郎・中	堤体基礎の地震動脆弱性が津波氾濫	土木学会論文集	2018年7
井健太郎・野田	解析に与える影響に関する検討	B2(海岸工学)	月受理
利弘·新井伸			
夫・岩間俊二・			
馬場俊孝			
平山修久、永田	災害対応リソースからみた南海トラ	第 29 回廃棄物	2018年9
尚人、上村俊	フ巨大地震での災害廃棄物処理期間	資源循環学会研	月 13 日
一、河田惠昭	に関する検討	究発表会	
太田智大、平山	仮置場の確保面積と収集運搬効率か	第 29 回廃棄物	2018年9
修久、亀田一平	らみた災害廃棄物目標処理期間の検	資源循環学会研	月 13 日
	言士	究発表会	
廣井悠、斉藤健	巨大災害時疎開シミュレーションの	都市計画論文	2018年10
太、福和伸夫	構築と検証 -南海トラフ巨大地震	集、No.53-3	月
	を対象とした疎開行動の量的検討-		
Imai, K., A.	Evaluation of the ability of lines	Coastal	2018年10
Hayashi, and	of trees to trap tsunami flotsam	Engineering	月受理
F. Imamura		Journal	
今井健太郎・中	堤体基礎の地震動脆弱性が津波氾濫	土木学会海岸工	2018年11
井健太郎・野田	解析に与える影響に関する検討	学講演会	月 15 日
利弘·新井伸			
夫・岩間俊二・			
馬場俊孝			
平山修久、永田	南海トラフ巨大地震時における災害	地域安全学会論	2018年11
尚人、上村俊	廃棄物処理に係る災害対応リソース	文集、No.33	月
一、河田惠昭			
河合伸一、藤原	南海トラフで発生する地震による経	第 15 回日本地	2018年12
広行、中村洋	済被害算出の試み	震工学シンポジ	月7日
光、清水智、小		ウム	

(3)防災·減災対策研究

- (a) 成果の論文発表・口頭発表等 なし
- (b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定 なし

(4) 災害対応·復旧復興研究

著者	題名	発表先	発表年月日
金玟淑、牧 紀 男、住広 則枝、 岸川 英樹	和歌山県由良町の事前復興計画イメ ージ図作成の試み	地域安全学会梗 概集、No.43, pp. 179-182	2018 年 11 月 3 日
吉牟田真之、牧 紀男	東日本大震災が被災地域の人口分布 と人口特性に与えた影響とその空間 的特徴	地域安全学会梗 概集、No.42、 pp.129-130	2018 年 5 月 25 日
金玟淑、牧紀 男、岸川英樹、 田中正人	和歌山県由良町の事前復興タイムラ イン策定の試み	地域安全学会梗 概集、No.42、 pp.173-174	2018 年 5 月 25 日
村山顕人	1章 土地利用と施設配置	 書籍「都市計画 学:変化に対応 するプランニン グ」(学芸出版 社) 	2018 年 9 月 20 日
加藤孝明	地域コミュニティから始まる地域防 災の到達点と今後の方向性と課題	地区防災計画学 会研究発表会	2019 年 3 月 2 日
加藤孝明	地域コミュニティから始まる地域防 災の到達点 『想定外』災害に情報・コミュニテ ィは機能したか-西日本豪雨・北海 道地震などからの検証-,	早稲田大学アジ ア太平洋研究セ ンター,情報通 信学会,共催: 地区防災計画学 会	2019年2 月9日

(5)防災·災害情報発信研究

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
武村雅之	昭和東南海地震の慰霊碑調査-地	中部「歴史地震」	2019 年
	震・空襲と慰霊-	研究年報第7	
		号	
宇田川真之・三	平常時の避難行動意図の規定要因に	第 20 回災害情	2018 年 10
船恒裕・定池祐	ついて~和歌山県と静岡県の調査結	報学会(口頭発	月 27 日
季 ・ 磯 打 千 雅	果から~	表)	
子・黄欣悦・田			
中淳			

(b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定 なし

(6) プレート・断層構造研究

著者	題名	発表先	発表年月日
Arai R.,	Seismic evidence for arc		
Kodaira S.,	segmentation, active magmatic	Earth. Planets	2018 年 4
Takahashi T.,	intrusions and syn-rift fault	and Space	日 17 日
Miura S.,	system in the northern Ryukyu		
Kaneda Y.	volcanic arc		
Nakanishi A.,			
Takahashi N.,			
Yamamoto Y.,			
Takahashi T.,	Inree-dimensional plate geometry	Geological	0010 / 0
Citak S. O.,	and P-wave velocity models of the	Society of	2018年8
Nakamura T.,	subduction zone in SW Japan:	America	月 15 日
Obana K.,	implication for selsmogenesis	Special Paper	
Kodaira S.,			
Kaneda Y.			
Ayako		口卡斯特等自动	
Nakanishi,	Subduction structure around the	日本地球恐星科	2018年5
Ryuta Arai,	Amami Plateau in the northern	字連合 2018 年	月 22 日
Tsutomu	Kyukyu island-arc trench system	天会	

Takahashi,			
Yojiro			
Yamamoto,			
Seiichi Miura,			
Shuichi			
Kodaira,			
Yoshiyuki			
Kaneda			
山本 揚二朗・			
高橋 努・石原			
靖・尾鼻 浩一	海底地震観測から推定した琉球海溝	日本地球惑星連	2018年5
郎・三浦 誠	北部の震源分布	合 2018 年大会	月 24 日
一·小平 秀			
一·金田 義行			
	地震波構造探査に基づくプレート境	日本地震学会	0010 5 10
新井 隆太	界域の地震学的構造と地殻活動の研	2018 年秋季大	2018年10
	究	숲	月9日
山本 揚二朗・			
高橋 努・石原			
靖・尾鼻 浩一	琉球海溝沈み込み帯北部の地震波速	日本地震字会	2018年10
郎・三浦 誠	度構造	2018 年秋李大	月 10 日
一·小平 秀		会	
一·金田 義行			
Arai R.,			
Kodaira S.,	Crustal structure and back-arc		
Kaiho Y.,	rifting process in the Okinawa	AGU 2018 Fall	2018年12
Takahashi T.,	Trough –New seismological	Meeting	月 10 日
Miura S.,	evidence-		
Kaneda Y.			
Yamamoto Y.,			
Takahashi T.,			
Ishihara Y.,	Subduction geometry and seismic		
Obana K.,	structure around northern Ryukyu	AGU 2018 Fall	2018 年 12
Miura S.,	subduction zone	Meeting	月 13 日
Kodaira S.,			
Kaneda Y.			
山本 揚二朗・		ブルーアースサ	
高橋 努・石原	琉球海溝沈み込み帯北部の地震学的	イエンス・テク	2019年2
靖・尾鼻 浩一	構造	2019	月 20 日

郎・三浦 誠			
一·小平 秀			
一·金田 義行			
		地震2,71,	
沙日唑士	水平動地震計特性の違いが地下構造	121-130,	2018年9
<i>议 見 勝 彦</i>	推定に与える影響	doi:10.4294/zi	月5日
		sin.2018-1.	
		European	
Shiomi, K., T.	Seismic evidence of slab	Geosciences	0010 F 4
Takeda and T.	dehydration beneath western	Union General	2018年4
Ueno	Shikoku, southwest Japan	Assembly 2018,	月 10 日
		EGU2018-2263	
	水平動地震到性地の亦化が地で推進	日本地球惑星科	0010 左 5
汐見勝彦	水平動地震計特性の変化が地下構造	学連合 2018 年	2018年5
	推正に与える影響	大会,SSS11-P13	月 24 日
		International	
	Seismological features around the	Joint Workshop	9019年0
Shiomi, K.	LFE zone beneath western Shikoku	on Slow	2018 平 9
	(2): Numerical tests	Earthquakes,	月 21 日
		P13	
	四国西部深部低周波微動域周辺にお	日本地震学会	9010 年 10
汐見勝彦	ける異方性構造の変化2:理論波形	2018 年秋季大	2018年10
	に基づく解釈	会, S06-P11	月 10 日
	Anisotropic Feature Within the	American	
Shiomi, K., T.	Oceanic Crust and its Relationship	Geophysical	9010 年 19
Takeda and T.	with Low-Frequency Earthquake	Union Fall	2018年12
Ueno	Activity Beneath Western Shikoku,	Meeting 2018,	月 13 日
	Southwest Japan	T41G-0375	

⁽b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定 なし

(7) 海陸津波履歴研究

著者	題名	発表先	発表年月日
Koichiro	Mid- to late-Holocene marine		
Tanigawa,	inundations inferred from coastal	TT1 II 1	2018年6
Masanobu	deposits facing the Nankai Trough	Ine Holocene	月
Shishikura,	in Nankoku, Kochi Prefecture,		

Osamu	southern Japan		
Fujiwara,			
Yuichi			
Namegaya, Dan			
Matsumoto			
嶋田侑眞、藤野			
滋弘、澤井 祐			
紀、谷川晃一	**********************		
朗、松本 弾、			2018年5
山田昌樹、齋藤	における過去数十年间の地震・津波	日本珪澡字会	月 20 日
恵、平山恵理、	発生履歴の解明		
鈴木貴大			
嶋田侑眞、藤野			
滋弘、澤井 祐			
紀、谷川晃一		日本地球惑星科	
朗、松本 弾、	徳島県牟岐町における過去数千年間	学連合 2018 年	2018年5
山田昌樹、齋藤	の地震・津波発生履歴の解明	大会	月 22 日
恵、平山恵理、			
鈴木貴大			
谷川晃一朗、宍			
倉正展、藤原	高知県南国市における完新世中~後	日本第四紀学会	2018 年 8
治、行谷佑一、	期の津波浸水履歴	2018年大会	月 24 日
松本弾			/ / .
谷川晃一朗、宍			
倉正展、藤原		日本第四紀学会	2018年8
治、行谷佑一、	高知県沿岸における津波堆積物調査	2018年大会	月 24 日
松本弾			/
Yumi Shimada,			
Shigehiro			
Fujino, Yuki			
Sawai.			
Koichiro	Geological records of prehistoric	American	
Tanigawa. Dan	tsunamis and subsidence at Mugi	Geopysical	2018年12
Matsumoto.	Town, Tokushima prefecture,	Union fall	月 13 日
Masaki Yamada.	western Japan	meeting	
Megumi Saito			
Eri Hiravama			
iiiiugumu,			

Suzuki			
Yuki Sawai, Arata Momohara	Coastal submergence at Ukishima-ga-hara adjacent to the Suruga Trough (eastern Nankai Trough), central Japan. II: Correlation with historical and prehistoric earthquakes along Nakai Trough	American Geopysical Union fall meeting	2018 年 12 月 13 日
嶋田侑眞、藤野 滋弘、澤井 祐 紀、谷川晃一 朗、松本 弾、 山田昌樹、齋藤 恵、平山恵理、 鈴木貴大	珪藻化石群集を用いた徳島県牟岐町 における先史時代の津波浸水履歴の 解明	MRC (Micropaleont ological Reference Center)研究集 会	2019 年 3 月 1 日
Kazuko Usami, Ken Ikehara	Extremely well-preserved benthic foraminifers in the 7 km deep Japan Trench sediments	2018 Western Pacific Drilling Meeting	2018 年 8 月 1 日
Ken Ikehara, Toshiya Kanamatsu, Kazuko Usami, Taku Ajioka	Recurrence of large tsunamis at the southern Ryukyu Arc: a deep-sea turbidite evidence	9 th International Conference on Asian Marine Geology	2018 年 10 月 12 日
Ken Ikehara, Toshiya Kanamatsu, Kazuko Usami, Arata Kioka, Michael Strasser	Repeated deposition of thick muddy turbidites and mass-transported deposits in small basins along the Japan Trench floor	4 th International Submarine Canyon Symposium	2018 年 11 月 7 日
池原 研、入野 智久、宇佐見和 子、大村亜希 子、Robert Jenkins、芦寿 一郎	2011年東北沖地震・津波イベント堆積物の特徴と堆積プロセス	研究集会「海底 堆積物から地震 履歴をどこまで 読み取れるの か」	2018年11 月13日
于佐見和子、池 原 研、金松敏	日本海溝沿いの陸側斜面における海 底堆積物の巨大地震記録特性	研究集会 海底 堆積物から地震	2018 年 11 月 14 日

也、Cecilia		履歴をどこまで	
McHugh		読み取れるの	
		カ・」	
池原 研	イベント堆積物から地震履歴をどう 読み取るか?	研究集会「海底 堆積物から地震 履歴をどこまで 読み取れるの か」	2018 年 11 月 14 日
宇佐見和子、池 原 研、金松敏 也、Cecilia McHugh	海底堆積物の巨大地震記録特性-日 本海溝の巨大地震発生におけるスー パーサイクルが記録された条件-	日本地震学会 2018 年度秋季 大会	2018 年 10 月 9 日
池原 研	海底のイベント堆積物とこれを用い た地震・洪水履歴解読へのチャレン ジ	 高知大学海洋コ ア総合研究セン ター設立 15 周 年記念公開シン ポジウム 	2018 年 11 月 30 日
宇佐見和子、池 原 研、金松敏 也、Cecilia McHugh	海底のイベント堆積物を用いた地震 履歴解読へのチャレンジー日本海溝 陸側斜面の例-	 高知大学海洋コ ア総合研究セン ター設立 15 周 年記念公開シン ポジウム 	2018 年 11 月 30 日
宇佐見和子、池 原 研、金松敏 也、Cecilia McHugh	日本海溝沿い陸側斜面 mid-slope terrace にみられる堆積構造の分類	日本地質学会第 125年学術大会	2018 年 12 月 2 日
Ken Ikehara, Saiko Sugisaki, Taku Ajioka, Hajime Katayama	Sedimentological evidences on storm-induced density currents on the Sakawa fan-delta slope, Japan	2018 American Geophysical Union Fall Meeting	2018 年 12 月 10 日
Kazuko Usami, Ken Ikehara, Toshiya Kanamatsu, Cecilia McHugh	Supercycle in great earthquake recurrence along the Japan Trench over the last 4000 years	Geoscience Letters	2018 年 4 月

(8) 広帯域地震活動研究

著者	題名	発表先	発表年月日
Akira Nagano,			
Yusuke			
Yamashita,		Marine	
Takuya	Characteristics of an aturical	Geophysical	
Hasegawa,	lange meender noth of the Kunschie	Research,	9019 年 11
Keisuke	authent south of Japan formed in	https://doi.or	日 2010 平 11
Ariyoshi,	current south of Japan formed in	g/10.1007/s110	<u> </u>
Hiroyuki	September 2017	01-018-9372-5	
Matsumoto, and			
Masanao			
Shinohara			
Shinohara, M., T. Yamada, H. Shiobara, and Y. Yamashita	Development and Evaluation of Compact Long-term Broadband Ocean Bottom Seismometer	2018 OCEANS - MTS/IEEE Kobe Techno-Ocean, doi:10.1109/OC EANSKOBE.2018. 8559338	2018年5月
Saki Watanabe,	Spatia-temporal Variation of		
Yusuke	Spatio-temporal variation of		
Yamashita,	Low-frequency Tremors in the	AGU Fall	2018 年 12
Tomoaki	Hvuga-nada, SW Japan, revealed by	Meeting 2018	月 12 日
Yamada, and	Ocean Bottom Seismological		/
Masanao	Observation		
Shinohara			
Yusuke	Does a focal region of shallow slow		
Yamashita,	earthquake become a source area of	AGU Fall	2018年12
Yoshihiro	tsunami? -Approach of geophysical	Meeting 2018.	月 12 日
Kase, and Kei	and geological survey for a large		
Ioki	historical earthquake-		
渡邉早姫・		2018年日本地	
山下裕亮・	日向灘浅部低周波微動活動に伴うエ	震学会秋季大	2018年10
山田知朗・	ネルギー解放量の特徴	会.	月 11 日
篠原雅尚			
Yusuke	Spatiotemporal Variation of		2018年6月
Yamashita,	Shallow Low-Frequency Tremor and	AOGS 2018	8日
Masanao	Very-Low-Frequency Earthquake		

Shinohara,	Activity in the Western Part of		
Tomoaki	Nankai Trough Revealed by		
Yamada, Saki	Long-Term Ocean Bottom		
Watanabe,	Seismological Observation		
Kazuo			
Nakahigashi,			
Hajime			
Shiobara,			
Kimihiro			
Mochizuki,			
Takuto Maeda,			
and Kazushige			
Obara			
Saki Watanabe,			
Yusuke			
Yamashita,	Activity of Shallow Tremor in the		
Tomoaki	Hyuga-Nada Region After the 2016	AOGS 2018	2018年6月
Yamada, and	Kumamoto Earthquake by Ocean		7日
Masanao	Bottom Seismological Observation,		
Shinohara			
Akira Nagano,			
Yusuke			
Yamashita,			
Takuya			
Hasegawa,	Atypical Large-meander Path of the		
Keisuke	Kuroshio South of Japan Occurred in	AOGS 2018	2018年6月
Ariyoshi,	September 2017		8 日
Hiroyuki			
Matsumoto, and			
Masanao			
Shinohara			
Yusuke			
Yamashita,			
Masanao	Snallow very-low-trequency		
Shinohara,	earthquake activity in the		2018年5月
Tomoaki	nyuga-nada region revealed by	JPGU 2018	23 日
Yamada, Saki	long-term ocean bottom		
Watanabe,	seismological observation		
Kazuo			

Nakahigashi,			
Hajime			
Shiobara,			
Kimihiro			
Mochizuki,			
Takuto Maeda,			
and Kazushige			
0bara			
Saki Watanabe,			
Yusuke	Astivity of shallow low fragmency		
Yamashita,	Activity of shallow low-frequency		9019年5日
Tomoaki	tremor in the hyuga-hada, revealed	JpGU 2018	2010年3月
Yamada, and	by ocean bottom setsmological		23 Ц
Masanao	observation		
Shinohara			
Shinohara,		OCEANS 19	
M., T. Yamada,	Development and Evaluation of	MTS/IFFF	2018年5日
H. Shiobara	Compact Long-term Broadband Ocean	MIS/IEEE Kobo/Toobpo-Oo	2010年3月
and Y.	Bottom Seismometer		50 Ц
Yamashita		eanzoro	
篠原雅尚・山田	フロー地電観測のための小型広共は	日本地球惑星科	9019年5日
知朗・塩原肇・	スロー 地長観側のための小空広市域 海底地震社	学連合 2018 年	2018年5月
山下裕亮		大会	24 µ
Shinohara,		European	
M., T. Yamada,	Compact long-term ocean bottom	Geosciences	
H. Shiobara	seismometer equipped with small	Union (EGU)	2018年4月
and Y.	broadband seismic sensor	General	10 日
Yamashita		Assembly 2018	

(9) データ活用予測研究

著者	題名	発表先	発表年月日
T. Ito, S.	Spatio-temporal afterslip	AIP Conference	
Suzuki, K.	distribution following the 2011	Proceedings,	2018年7
Sato and M.	Tohoku-Oki earthquake using 3D	1987, 020056,	月 18 日
Hyodo	viscoelastic Green's functions	doi:10.1063/1.	

		5047341	
Meneses-Gutie rrez, A., T. Sagiya, and S. Sekine	Crustal deformation process in the Mid-Niigata region of the Niigata-Kobe Tectonic Zone as observed by dense GPS network before, during and after the Tohoku-oki earthquake	J. Geophys. Res., 123, doi:10.1029/20 18JB015567	2018 年 7 月 17 日
Sagiya, T., N. Matta, and Y. Ohta	Triangulation scale error caused by the 1894 Shonai earthquake: a possible cause of erroneous interpretation of seismic potential along the Japan Trench	Earth Planets Space, 70:120, doi:10.1186/s4 0623-018-0890- 9	2018 年 7 月 13 日
木村洋,伊藤武 男,田所敬一, 篠島僚平	ブロック運動モデルに基づく伊豆半 島周辺のテクトニクスの考察	日本測地学会第 130回講演会, 39	2018 年 10 月 17 日
岩瀬裕斗,伊藤 武男	海洋プレートの定常的な沈み込みに 起因する西南日本の長期的な上下変 動	日本測地学会第 130回講演会, P25	2018 年 10 月 16 日
岩瀬 裕斗,伊 藤 武男	Investigation of tectonic stress implication in southwest Japan using three-dimensional finite element model	日本地球惑星科 学連合 2018 年 大会, SSS09-P12	2018 年 5 月 20 日
光井 能麻,伊 藤 武男	長期的 SSE 発生源における非断層す べり成分の存在可能性:巨大地震発 生準備過程の理解に向けて	日本地球惑星科 学連合 2018 年 大会, SSS15-01	2018 年 5 月 20 日
木村 洋,田所 敬一,伊藤 武 男	陸上および海底地殻変動観測データ に基づくブロック運動モデルから推 定される南海トラフ沿いのプレート 間カップリング分布	日本地球惑星科 学連合 2018 年 大会, SCG61-21	2018 年 5 月 24 日
Hiroshi Kimura, Takeo Ito and Keiichi Tadokoro	Internal Strain Rate in Southwest Japan estimated by Block Motion Model based on Onshore and Seafloor Geodetic Observations	AGU 2018 Fall Meeting, G51D-0513	2018 年 12 月 14 日
Takeshi Sagiya, Angela Meneses-Gutie rrez, Koki Kumagai	Geodetic exploration of the elastic/inelastic behavior of the Earth' s crust: resolution of mechanical response using interseismic, coseismic, and	日本地球惑星科 学連合 2018 年 大会, SCG57-20	2018 年 5 月 23 日

	postseismic deformation		
Takeshi Sagiya, and Yo Kawashima	The pre-slip controversy: a review of the 1944 Tonankai and the 2011 Tohoku-oki cases and their implications (or no implication) for short-term prediction	International Symposium on Earthquake Forecast, 5 th International Workshop on Earthquake Preparation Process -Observation, Validation, Modeling, Forecasting-, Invited talk.	2018 年 5 月 25 日
Takeshi Sagiya, Angela Meneses-Gutie rrez	Crustal strain rate paradoxes of intraplate Japan: their solutions and implications	10 th ACES International Workshop - Toward Comprehensive Understanding of Earthquake Physics -, 043-3	2018 年 9 月 28 日
鷺谷威, Angela Meneses-Gutie rrez	測地データに基づく非弾性変形抽出 の試み:北海道	日本測地学会第 130回講演会, 37	2018 年 10 月 17 日
Takeshi Sagiya, and Angela Meneses-Gutie rrez	Geodetic exploration of the elasitc/inelastic behavior of the Earth's crust: resolution of mechanical response using interseismic, coseismic, and postseismic deformation	AGU 2018 Fall Meeting, T42B-07	2018 年 12 月 13 日
内田直希・本荘 千枝・富田史 章・松澤孝紀・ Roland Bürgmann	東北地方太平洋沖地震後の周期的ス ロースリップ:繰り返し地震,超低 周波地震および海底地殻変動観測に よる検出	日本地震学会 2018 年秋季大 会, S23-25	2018 年 10 月 11 日

Kano, M., Aso, N., Matsuzawa, T. et al.	Development of a slow earthquake database	Seismological Research Letters, 89 (4): 1566-1575	2018 年 6 月 13 日
Nakajima, J., Uchida, N.	Repeated drainage from megathrusts during episodic slow slip	Nature Geoscience, 11, 351–356	2018 年 4 月 9 日
高橋秀暢・日野 亮太・太田雄 策・内田直希・ 鈴木秀市・篠原 雅尚・松澤孝紀	短周期 OBS 記録を用いた VLFE 類似イ ベント検出の試み	日本地震学会 2018 年秋季大 会, S22-15	2018 年 10 月 10 日
Ryoko Nakata, Hideitsu Hino, Tatsu Kuwatani, Shoichi Yoshioka, Masato Okada, and Takane Hori	Discussion based on spatial distribution of long-term slow slip events beneath the Bungo Channel	International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2018, P36	2018 年 9 月 21 日
Hirahara, K. and K. Nishikiori	EnKF estimation of frictional properties and slip evolution on a LSSE fault -numerical experiments	日本地球惑星科 学連合 2018 年 大会, SCG53-17,幕張	2018 年 5 月 18 日
Hirahara, K. and K. Nishikiori	EnKF Estimation of Frictional Properties and Slip Evolution on a LSSE Fault with a locked megathrust fault zone -Numerical Experiments-,	AGU 2018 Fall Meeting, T33F-0470, Washington	2018 年 12 月 12 日
平原和朗・錦織 健人	EnKFによるLSSE発生域の摩擦特性お よびすべり発展推定に関する数値実 験 -固着域の影響—	日本地震学会 2018 年秋季大 会, S23-20, 郡 山	2018 年 10 月 11 日
坂上啓・西村卓 也・福田淳一・ 加藤照之	東海地方スロースリップイベント	日本地球惑星科 学連合 2018 年 大会, SCG53-P12, 幕	2018 年 5 月 23 日

		張	
坂上啓・西村卓 也・福田淳一・ 加藤照之	1997-2010 年における東海地方スロ ースリップイベントの時空間発展の 推定	日本地震学会 2018 年秋季大 会, S23-P17, 郡山	2018 年 10 月 11 日
坂上啓・西村卓 也・福田淳一・ 加藤照之	1997-2010 年における東海地方スロ ースリップイベントの時空間発展の 推定	日本測地学会第 130回講演会, 01, 高知	2018 年 10 月 16 日

(10) 震源モデル構築・シナリオ研究

著者	題名	発表先	発表年月日
Takuma			
Yamaguchi,			
Kohei Fujita,			
Tsuyoshi			
Ichimura, Anne	Viscoelastic Crustal Deformation	Lecture Notes	
Glerum, Ylona	Computation Method with Reduced	in Computer	2018年6
van Dinther,	Random Memory Accesses for	Science, vol	月
Takane Hori,	GPU-Based Computers,	10861.	
Olaf Schenk,			
Muneo Hori and			
Lalith			
Wijerathne			
Takuma		International	
Yamaguchi,		Invernational Iournal of High	
Kohei Fujita,	Acceleration of unstructured	Performance	
Tsuyoshi	implicit low-order finite-element	Computing and	2019年1
Ichimura,	earthquake simulation using	Networking	月
Muneo Hori,	OpenACC on Pascal GPUs	Vol 13 No 1	
Lalith		3-18	
Wijerathne		5 10	
Chihiro	Stress data inversion to estimate		2018 年 6
HashimotoandT	collision rate distribution and	Tectonophysics	日
oshiko	its application to the Izu		71

Terakawa	Peninsula, Japan		
Akomi Nodo	Slip-deficit rate distribution		
Tatauhika	along the	Journal of	
Saito and	Nankai trough, Southwest Japan,	Geophysical	2018年9
Fijchi	withelastic lithosphere and	Research,	月
Fukuyama	viscoelastic	Solid Earth	
Tukuyama	asthenosphere		
		Bulletin of the	
	Source Modeling of an Mw 5.9	Seismological	
	Earthquake in the Nankai Trough,	Society of	2018 年 4
Asano, K.	Southwest Japan, Using Offshore	America,	
	and Onshore Strong – Motion	Vol.108,	ЛЗЦ
	Waveform Records	No. 3A,	
		pp. 1231-1239	
今井健太郎,石			
橋正信, 行谷佑			
一, 岩瀬浩之,	紀伊半島沿岸の 1854 年安政東海・南	第35回歴史地	2018 年 9
高橋成実, 堀高	海地震における津波痕跡高の再評価	震研究会	月 23 日
峰,安田容子,			
蝦名裕一			
原田智也, 佐	1045 年二河地震(MG 8)の雲座八左・		
竹健治,古村	1945 十二何 地長(MO. 6)の 長皮 万 们:	日本地震工学会	2018 年 11
孝志, 室谷智	光土回復に1] 4740にノンクート調査 次約の再換計	論文集	月
子	貝 1/1 1/2 1/2 1/2 1/2		

6. むすび

平成30年度においては、7年計画の6年目として、地域連携減災研究(サブテーマ1)、 巨大地震発生域調査観測研究(調査観測分野 サブテーマ2-1)及び巨大地震発生域調 査観測研究(シミュレーション分野 サブテーマ2-2)の各テーマにおいて研究計画に 沿った研究を着実に進めてきた。

事業計画終盤に入り、引き続き地域研究会等の場を通じた自治体、地元ライフライン企 業、地元大学、経済界等との連携を進めながら、各地域の特性等に照らした防災・減災対 策に資する成果の還元を目指し、研究を着実に進めて行くこととする。 7. 運営委員会

7.1 活動報告

(1) 第1回運営委員会

日時:平成 30 年 10 月 1 日 (月) 13:30~17:00

- 場所:国立研究開発法人海洋研究開発機構 東京事務所 共用会議室 A・B (東京都千代田区内幸町2-2-2 富国生命ビル 23 階)
- 議題:
 - (1) プロジェクトの全体概要
 - (2) プロジェクト各サブテーマの状況
 『本プロジェクトに関係する周辺状況の紹介と今後の成果のまとめ方』
 ・調査観測研究分野

 - ・シミュレーション研究分野
 - 地域連携減災研究分野
 - (3) 総合討論
 - (4) その他

(2) 第2回運営委員会

日時:平成 31 年 2 月 25 日(金) 13:30~17:00

- 場所:国立研究開発法人海洋研究開発機構 東京事務所 共用会議室 A・B (東京都千代田区内幸町2-2-2 富国生命ビル 23 階)
- 議題:
 - (1) プロジェクトの全体概要
 - (2) プロジェクト全体の状況について(概要等とトピック照会)
 - ·調査観測研究分野
 - ・シミュレーション研究分野
 - ·地域連携減災研究分野
 - (3) 総合討論
 - (4) その他

7.2 運営委員会構成員

(第2回運営委員会開催時)

- 委員長清水洋国立大学法人九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター長教授委員中島正愛株式会社小堀鐸二研究所代表取締役社長委員林広道内閣府政策統括官(防災担当)付
 - 参事官(調査·企画担当)
- 委員川崎 穂高 総務省 消防庁 国民保護·防災部 防災課長

委	員	相津 晴洋	愛知県 防災局長
委	員	朝日 隆之	徳島県 危機管理部長
委	員	野村 竜一	気象庁 地震火山部 管理課長
委	員	矢来 博司	国土交通省 国土地理院 地理地殻活動研究センター
			地殻変動研究室長
委	員	小林 稔	国土交通省 水管理・国土保全局 防災課長
委	員	藤田 雅之	国土交通省 海上保安庁 海洋情報部 技術・国際課長
委	員	中川 和之	時事通信社 解説委員
委	員	多治比 寬	人と防災未来センター 研究部長
委	員	堀 宗朗	国立大学法人東京大学地震研究所
			巨大地震津波災害予測研究センター長 教授
委	員	室伏きみ子	国立大学法人お茶の水女子大学 学長
委	員	松澤暢	国立大学法人東北大学大学院理学研究科理学部附属
			地震・噴火予知研究観測センター 教授
委	員	村田 昌彦	関西国際大学
			セーフティマネジメント教育研究センター長 教授
委	員	浅野 大介	経済産業省 商務情報政策局 サービス政策課長