

科学技術振興費

東海・東南海・南海地震の  
連動性評価研究プロジェクト

② 連動性を考慮した強震動・津波予測及び  
地震・津波被害予測研究

(平成20年度)

成果報告書

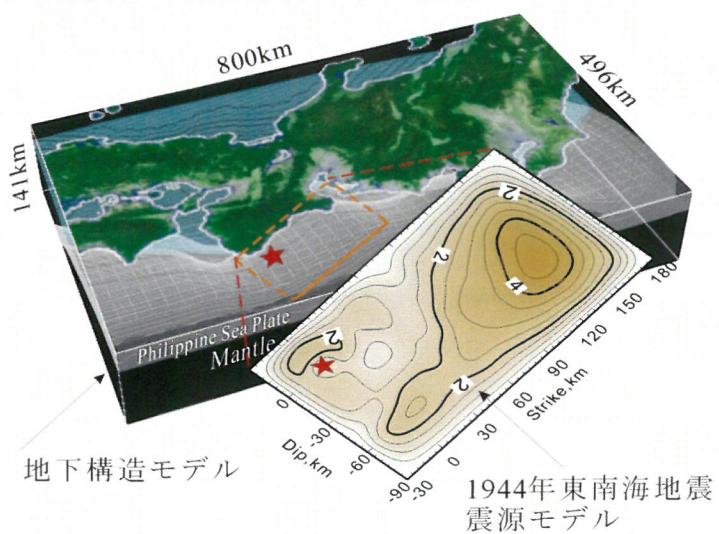
平成21年5月

文部科学省 研究開発局  
国立大学法人 東京大学大学院情報学環

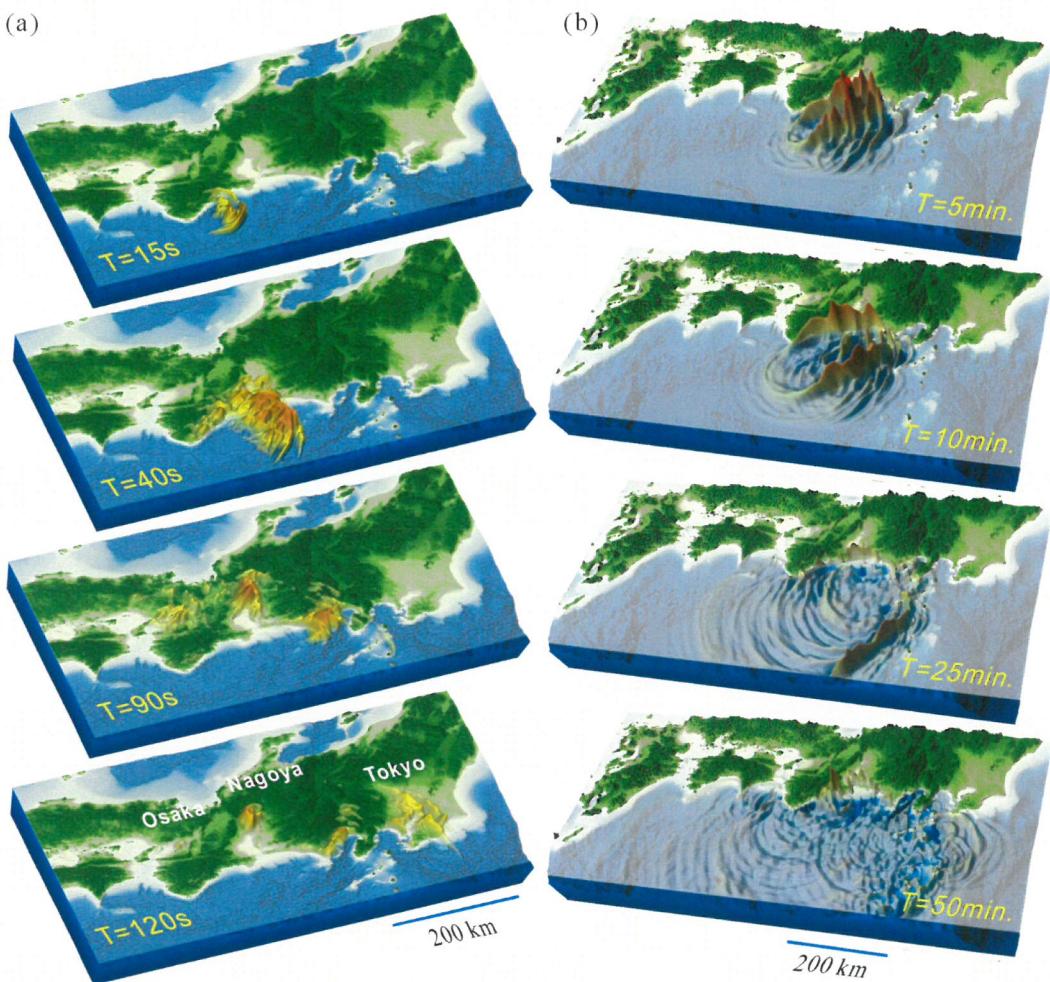
本報告書は、文部科学省の委託業務として、国立大学法人東京大学大学院情報学環、国立大学法人東北大学大学院工学研究科、国立大学法人名古屋大学大学院環境学研究科、国立大学法人京都大学防災研究所、独立行政法人海洋研究開発機構が実施した平成20年度「東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト－②連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究」の成果をとりまとめたものです。

従って、本報告書の複製、転載、引用等には文部科学省の承認手続きが必要です。

## 1 連動型巨大地震による強震動の高精度予測 (3.1 参照)

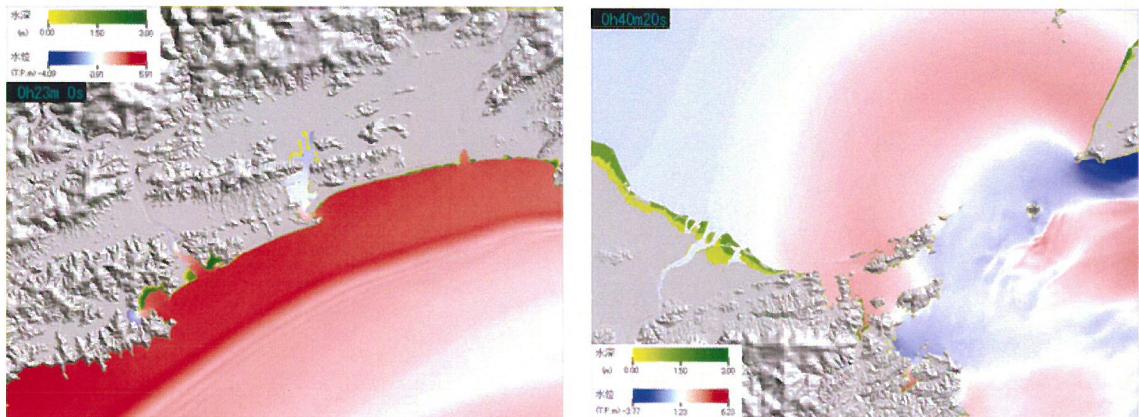


地震一津波シミュレーションのために整備した。南海トラフの地下構造モデルと、1944 年東南海地震の震源モデル（山中、2004）。

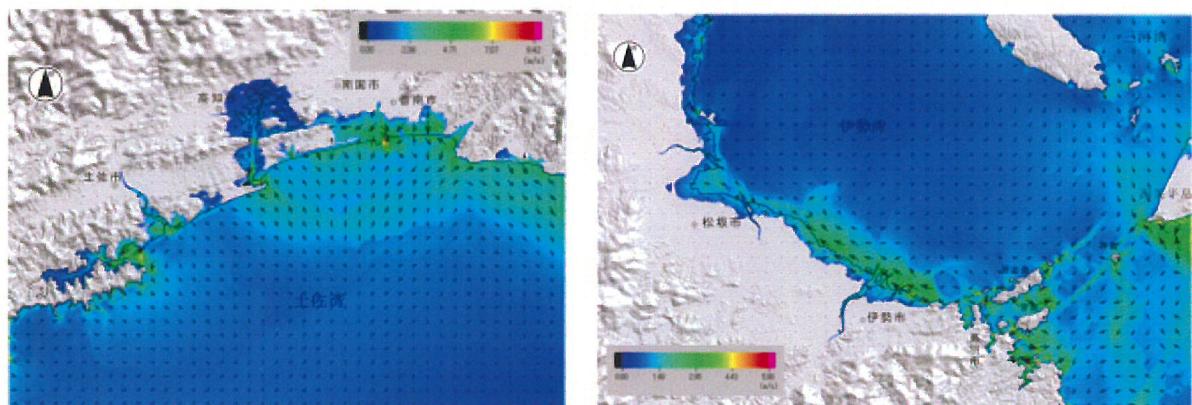


強震動・津波連成シミュレーションによって得られた、(a) 1944 年東南海地震の地震波伝播（地震発生から 15 秒、40 秒、90 秒、120 秒後）と、(b) それに伴って発生した地殻変動により生まれた津波の伝播（5 分、10 分、25 分、50 分後）の様子。

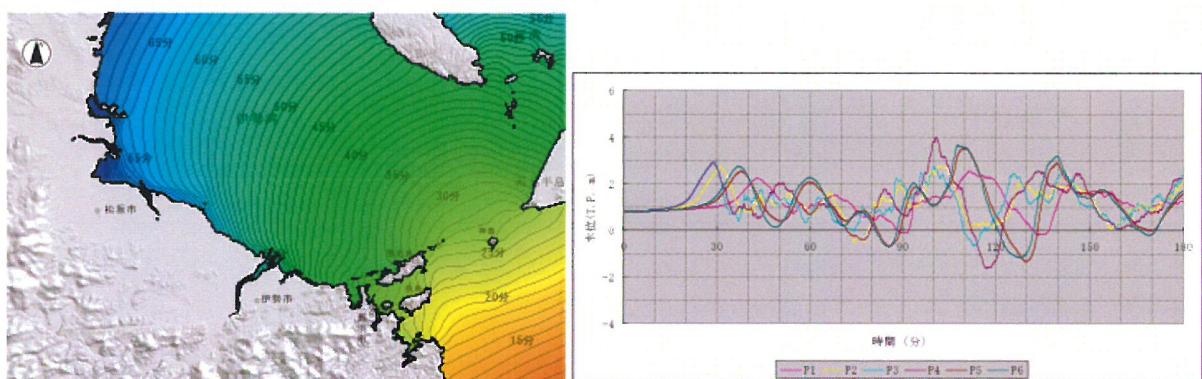
## 2 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定（3.2 参照）



南海・東南海・東海地震同時発生を想定した、津波シミュレーションから得られた津波伝播の様子。津波遡上計算により評価された、高知市（左）および鳥羽市（右）沿岸での津波増幅（赤～青）と浸水（緑）の状況。

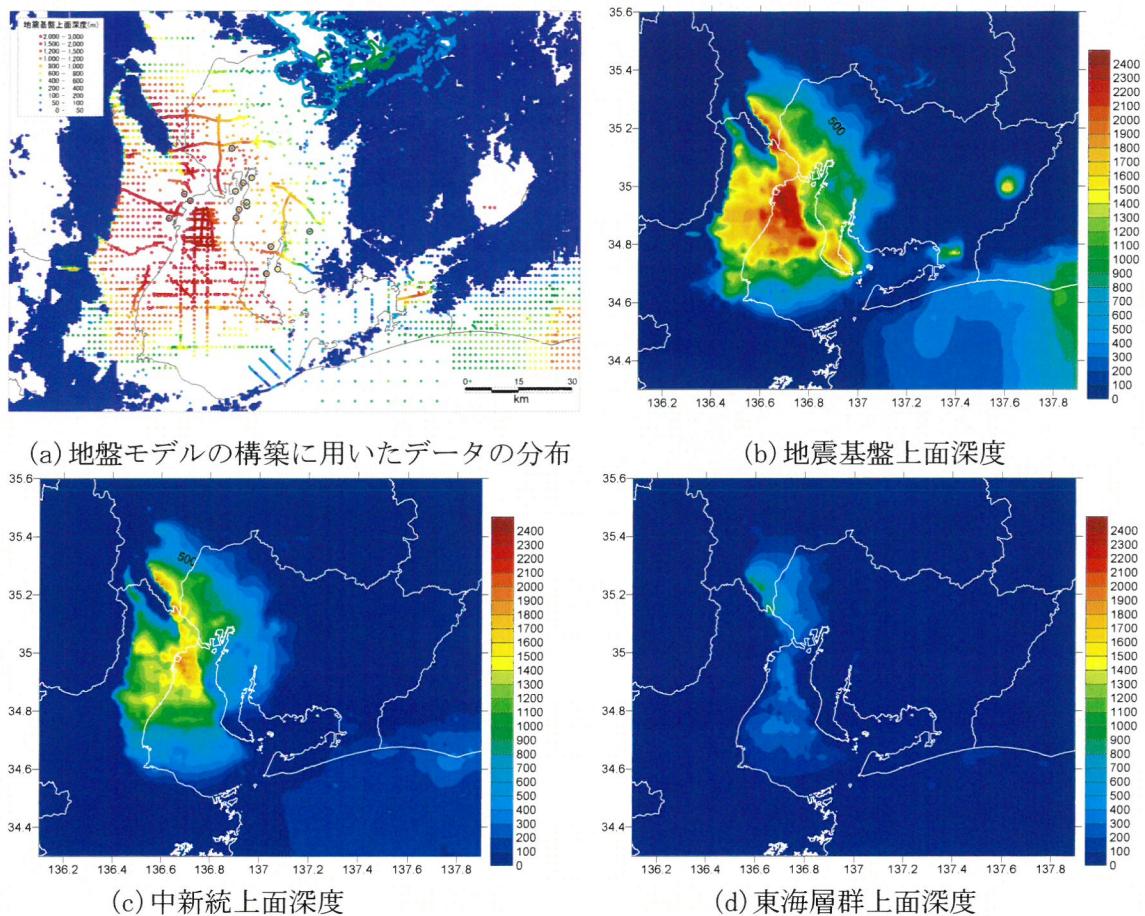


高知市沿岸（左）および鳥羽市沿岸（右）の最大流速分布。図中の矢印は地震発生から 3 時間までの最大流速値を表し、色は最大津波高を示す。

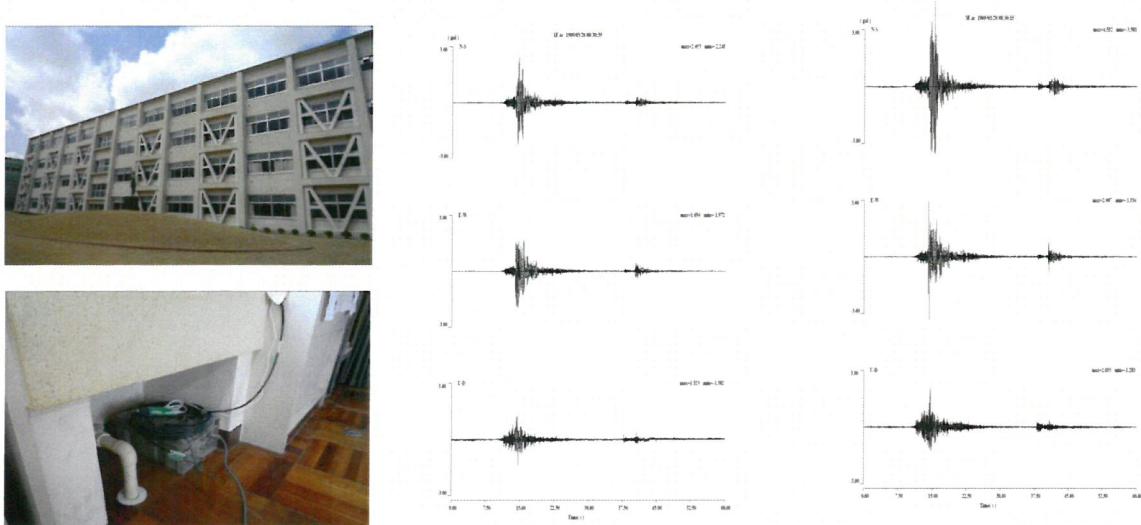


鳥羽市沿岸における、津波到達時間（左）と、津波波形の時刻歴（右）。最大波高は第一波以降で起きることに注意が必要である。

### 3 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定 (3.3 参照)

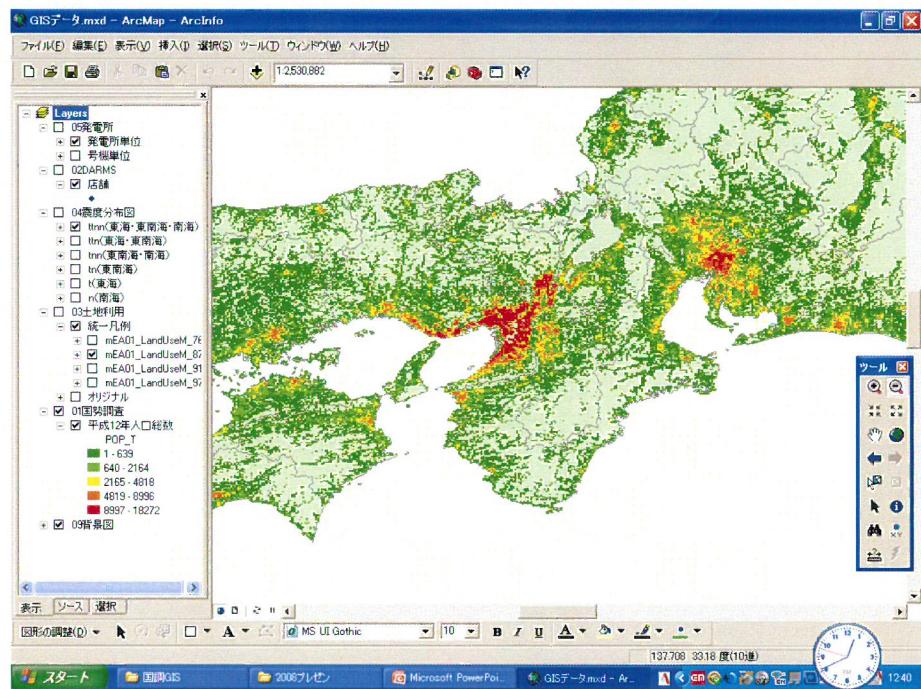


本プロジェクトで構築した濃尾平野の地盤モデル。(a)に示した位置での微動 H/V スペクトルをもとに、既存モデルを (b)～(d) に示す地震基盤および堆積層境界の面的分布に修正した。



高校校舎で開始した、強震観測の例。表示波形は平成 21 年 3 月 20 日 8:30 頃発生の愛知県西部を震源とする M3.0 の地震による岡崎高校の 1 階（左）と 4 階の（右）の加速度記録。上から、NS、EW、上下成分。

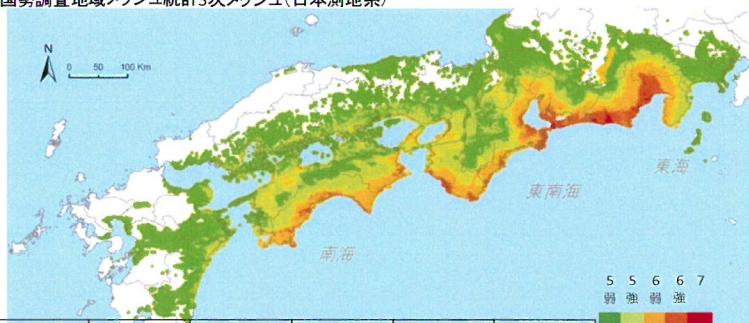
#### 4 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定（3.4 参照）



将来の社会状況をシミュレーションするために開発した社会状況 GIS データベースの表示画面。左側のチェックボックスで表示内容を決め、GIS を活用して右側に表示する。

#### 東海・東南海・南海地震の曝露人口

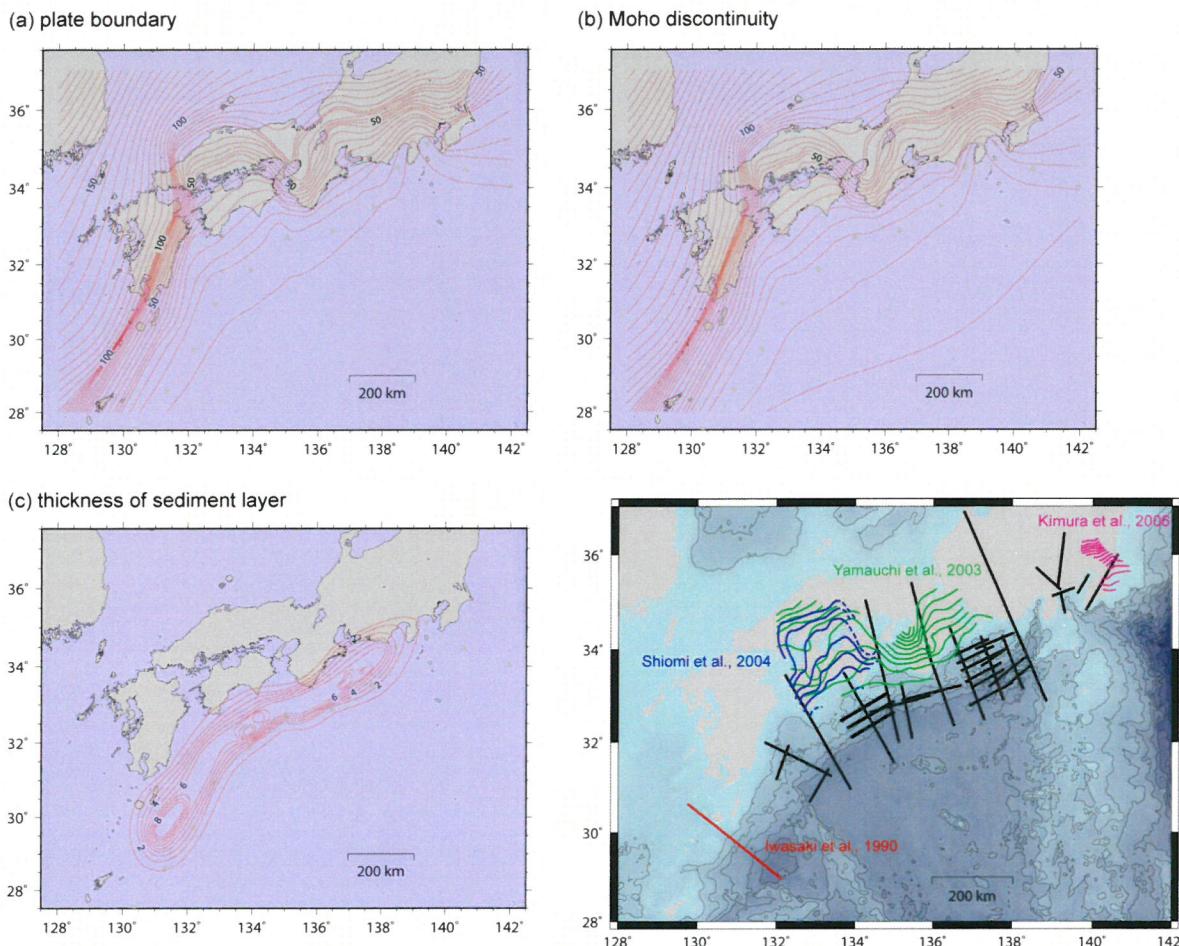
人口資料：平成12年国勢調査地域メッシュ統計3次メッシュ（日本測地系）



震度 曝露量	5弱	5強	6弱	6強	7	合計
人口	17,185,006	25,698,138	9,913,519	4,334,545	460,720	57,591,928
一般 世帯数	6,491,568	9,674,140	3,499,053	1,493,252	155,534	21,313,547
一戸建て 世帯数	3,522,707	4,968,176	2,110,572	1,021,884	104,977	11,728,316

東海・東南海・南海地震が同時発生した場合の暴露量。震度 5 弱以上の暴露人口が約 5,800 万人と日本の人口の半数が揺れを感じる。また、震度 6 弱以上の暴露人口から、約 1,500 万人にのぼる非常に多くの人が少なからずの被害を受けると推定される。

## 5. サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催（3.5 参照）



反射法・屈折法構造探査測線(右下)と、これをもとに作成した、地下構造モデルの (a) プレート境界面、(b) モホ面の深度分布 (5km コンター)、(c) 堆積層の厚さ分布 (1 km コンター)。



2008年11月に大阪市で開催された第1回地域研究会の様子。16機関、約30名が出席。



## まえがき

東海・東南海・南海地震は、地震調査研究推進本部（以下、地震本部）によると、2008年1月1日を算定基準とした30年以内の発生確率が、想定東海地震については87パーセント（マグニチュード8.0程度）、東南海地震については60～70パーセント（マグニチュード8.1前後）、南海地震については50パーセント程度（マグニチュード8.4前後）と、非常に高い値となっています。また、過去の地震記録等によれば、これら3つの地震は将来連動して発生する可能性が高いとされており、中央防災会議によると、東海・東南海・南海地震の同時発生による最大被害想定は、死者2万5千人、経済的被害81兆円との予測がなされています。このように、東海・東南海・南海地震は、極めて切迫性が高く、推定される被害も甚大であります。

そのため、東海・東南海・南海地震が発生する場合の、時間的及び空間的な連動性評価を行うために必要な知見を得るとともに、これらの地震が連動して発生した場合の強震動や津波、さらには被害等を予測し、連動に対応した災害対策等の検討に必要な情報を提供することを目的とし、平成20年度から5カ年の計画で「東海・東南海・南海地震の連動性評価プロジェクト」を進めることとしました。

東海・東南海・南海地震については、地震本部が平成21年4月に定めた「新たな地震調査研究の推進について」において、海溝型地震を対象とした調査観測研究による地震発生予測及び地震動・津波予測の高精度化、防災・減災に向けた工学および社会科学的研究を促進するための橋渡し機能の強化等を重点的に実施することを掲げる中で、海溝型地震についての総合的な調査研究の主たるターゲットとしても取り上げ、本プロジェクトの推進を後押ししています。

こうした状況の下で推進している本プロジェクトは、

- ① 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
- ② 連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究

という2つのサブプロジェクトから構成されています。また、本プロジェクトは、将来的には、東海・東南海・南海地震の連動性の評価に加えて、リアルタイムモニタリング、物理モデル、シミュレーション、データ同化等を用いた総合的な「予測評価システム」を実現するための科学技術基盤を構築するものであり、地震本部の計画等と整合性を図りつつ推進するとともに、必要に応じて、その内容等の見直しを行うこととしております。

さて、サブプロジェクト②では、東海・東南海・南海地震の連動発生に対応した防災・減災対策等の検討に必要な情報を明らかにすることを目的とし、次の5つのサブテーマを定め研究を進めることしました。

(1)「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」：南海トラフにおける連動型巨大地震による強震動、地殻変動、津波発生・伝播を連成してシミュレーションするとともに、強震動到達までの時間猶予など緊急地震速報に生かせるように知見を提供します。

(2)「津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」：上記のシミュレーションとともに、津波の河川遡上、沿岸部での波高や浸水等を高精度に予測し、ハザードマップ等の作

成、さらにそれらを活用した人的被害軽減戦略プログラムを提案します。

(3)「都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定」：観測や解析による平野部での地震動評価、長周期構造物や埋立地の大規模構造物の応答性状評価、緊急地震速報の活用方策調査、地域の災害対応力に関する課題の明確化などを行います。

(4)「将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定」：社会状況シミュレーションに基づいた災害対応、復興プロセスの明確化、重要施設被災時の影響評価、余震に備える緊急地震速報利用、津波遡上等による複合災害の影響評価を行います。

(5)「サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催」：サブプロジェクト①の地下構造調査結果を用いて、種々のシミュレーションのための地下構造モデルを作成します。また、地域の防災担当者等と本プロジェクト関係研究者の意見交換を図る地域検討会を設置・運営し、地域社会との積極的な関わりを図ります。

定めたサブテーマを推進し、本プロジェクト開始から1年を経過した、初年度終了時点での成果概要は、次のとおりです。

- ・「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」では、南海トラフ域での地震による強震動、地殻変動、津波の発生を連成して評価可能なシミュレーションモデルおよび計算コードを整備し、試計算を行いました。

- ・「津波伝播津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」では、想定被災地域の一部について、詳細地形・粗度データの整備を進めるとともに、津波遡上シミュレーションの試計算を行いました。

- ・「都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定」では、地盤卓越周期を的確に捉える地下構造モデルを名古屋市周辺で構築した他、建物での地震観測体制の整備、地域社会の人材・資材・機材に関する基礎資料の蓄積の開始を行いました。

- ・「将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定」では、社会状況 GISデータベースの構築を行い、南海トラフ地震による被害者数他を評価するとともに、中山間域での復興プロセスの分析を行いました。

- ・「サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催」では、他のサブテーマのもととなる海陸統合の基本的な地下構造モデルの構築及び、プロジェクトに関わる研究者と防災関係者が会する地域研究会等を開催しました。

平成20年度では、概ね計画通りにプロジェクトを進め、上記のような成果を上げることができましたが、種々の解析・検討用のデータ整備は始めたばかりであり、今後精力的に進めて行く必要があります。次年度においては、個々のサブテーマを単に推進して行くだけでなく、それぞれの解析・検討に必要な基礎データを効率的に整備するために、また、成果をまとった形で社会に還元するためにも、サブテーマ間の一層緊密な連携が重要であると考えます。

## 目次

グラビア .....	i
(1) 連動型巨大地震による強震動の高精度予測 .....	i
(2) 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定 .....	ii
(3) 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定 .....	iii
(4) 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定 .....	iv
(5) サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催 .....	v
まえがき .....	vii

目次 .....	ix
----------	----

1. プロジェクトの概要 .....	1
2. 研究機関および研究者リスト .....	3
3. 研究報告 .....	5
3.1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測 .....	5
(1) 業務の内容 .....	5
(2) 平成 20 年度の成果 .....	6
(3) 平成 21 年度業務計画案 .....	31
3.2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定 .....	33
(1) 業務の内容 .....	33
(2) 平成 20 年度の成果 .....	34
(3) 平成 21 年度業務計画案 .....	43
3.3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定 .....	45
(1) 業務の内容 .....	45
(2) 平成 20 年度の成果 .....	45
(3) 平成 21 年度業務計画案 .....	69
3.4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定 .....	71
(1) 業務の内容 .....	71
(2) 平成 20 年度の成果 .....	72
(3) 平成 21 年度業務計画案 .....	87
3.5. サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催 .....	89
(1) 業務の内容 .....	89
(2) 平成 20 年度の成果 .....	90
(3) 平成 21 年度業務計画案 .....	103

4. 活動報告 .....	104
4.1. 会議録 .....	104
4.1.1. 第1回「東海・東南海・南海地震の連動性評価」 研究推進委員会 .....	104
4.1.2. 第2回「東海・東南海・南海地震の連動性評価」 研究推進委員会 .....	104
4.1.3. 第1回「東海・東南海・南海地震の連動性評価」 研究打ち合わせ .....	105
4.1.4. 第2回「東海・東南海・南海地震の連動性評価」 研究打ち合わせ .....	105
4.1.5. 第3回「東海・東南海・南海地震の連動性評価」 研究打ち合わせ .....	105
4.1.6. 第1回高知市地域研究会 .....	106
4.1.7. 第2回高知市地域研究会 .....	106
4.1.8. 第1回大阪市地域研究会 .....	107
4.1.9. 第2回大阪市地域研究会 .....	107
4.1.10. 第1回名古屋市地域研究会 .....	108
4.1.11. 第2回名古屋市地域研究会 .....	108
4.1.12. 東海・東南海・南海地震の連動性評価研究シンポジウム .....	109
4.1.13. 高知ミニシンポジウム .....	110
4.1.14. 大阪ミニシンポジウム .....	111
4.1.15. 名古屋ミニシンポジウム .....	111
4.1.16. 「南海トラフ巨大地震連動性評価」研究推進委員会規則 .....	113
4.1.17. 「南海トラフ巨大地震連動性評価研究」研究推進委員会②構成 .....	115
4.2. 対外発表 .....	116
4.2.1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測 .....	116
4.2.2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定 .....	117
4.2.3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定 .....	118
4.2.4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、 復旧・復興戦略の策定 .....	119
4.2.5. サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催 .....	120
5. むすび .....	121

## 1. プロジェクトの概要

本プロジェクト（サブプロジェクト②：連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究）では、5つのサブテーマ「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」「津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」「都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定」「将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定」「サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催」を設定した。本年度は、5カ年計画の初年度であり、サブテーマ毎に、シミュレーションコードの開発、計算条件データベースの整備、シミュレーションモデルの構築等と、次年度以降の研究に向けた準備に主力を置いた研究を独立に進めた。さらに、地域研究会の開催を通じて、互いの成果を報告し合い、今後の研究推進のための課題の洗い出しや研究方向の確認を行った。

具体的には、連動型巨大地震発生に伴う強震動と津波の高精度予測手法の高度化のために、地震と津波それぞれのシミュレーション技術の高精度化と、これら2つのシミュレーション間の連結インターフェースの開発、海陸統合地下構造モデル及び大阪平野と濃尾平野の浅部地盤モデルの整備を進めた。これに加えて、被害想定と復旧・復興戦略検討の基礎的データとなる、地域情報GISデータベースを開発・整備した。また、プロジェクト研究者と研究対象地域の防災担当者とが意見交換を行う地域研究会を、高知、大阪、および名古屋の3地域に設置した。各地域において2回の地域研究会を開催するとともに、一般市民を対象としたミニシンポジウムを開催した。

次年度からは各サブテーマの成果を密接に連携した統合研究を開始し、強震動と津波の予測から人的・物的被害の予測、そしてこれに対応した復興・復旧戦略の策定をシームレスにつないだ研究を進める。以下に各サブテーマの研究成果の概要を示す。

### 1. 1 連動型巨大地震による強震動の高精度予測

連動型巨大地震により発生する、周期0.3~20秒の広帯域強震動及び地殻変動、そして津波発生・伝播を連成して高精度に評価するための、「広帯域強震動・津波シミュレーションモデル」を整備した。「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」等により構築された、陸域地下構造・堆積平野構造モデルと、海域構造探査モデルとを結合した、分解能1km以下の高分解能陸域・海域地下構造モデルを構築した。また、不均質な地下構造・震源破壊様式モデルを用いた強震動・津波発生伝播のシミュレーションのために、5,000CPU以上を用いた大規模並列計算に適合する広帯域強震動・津波シミュレーションコードを開発し、(独)海洋研究開発機構の地球シミュレータおよび東京大学情報基盤センターのT2Kオープンスパコンの、2台のスーパーコンピュータに実装した。

### 1. 2 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定

高知市、尾鷲市、鳥羽市の評価対象領域での津波被害予測の高度化に不可欠な、沖合・浅海・陸上での地形データ、地表面粗度データを収集・作成した。津波被害の評価に必要な土地利用・社会インフラデータや地域データ（人口、住民年齢構成など）を収集して、計算条件データベースを整備した。この高精度モデルを用いて、高知市、尾鷲市および鳥羽市での津波遡上に関する

予備的解析を行った。また、並行して進められるサブテーマ「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」により求められた、海底地殻変動と波源域から沿岸まで伝わる津波を受けて、平成 21 年度以降、海岸線の浸水と河川の遡上の津波を高精度に評価するために、2 つのシミュレーションの連成とデータ受け渡しのためのシミュレーションコードの整備を行なった。

### 1. 3 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定

軟弱地盤を内在する都市域の高精度高解像度の地震動予測を行うため、地盤卓越周期の解像度が高い濃尾平野の深部地下構造モデルを構築した。また、非線形地盤応答解析に利用できる名古屋都市域の浅部地下構造モデルを整備した。1995 年兵庫県南部地震相当の大地震による被害を説明可能な構造物の地震応答解析モデルを構築するために、学校や集合住宅などの代表的建物を対象に（独）防災科学技術研究所から移管された K-NET95 型強震計を改造した強震観測装置を活用した地震観測を愛知県下で開始した。さらに、構造物に関する耐震・防災分野の観点から、災害発生後の対応力を把握するために、地域社会が有する人材・資材・機材などの調査を行なった。

### 1. 4 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定

東南海・南海地震で被災する東海・関西・四国地域の社会状況（人口、経済、社会構成等）や被害想定結果に関するデータ収集を行い、将来の社会状況のシミュレーションを実施するために GIS を利活用した基本的な社会状況状況情報のデータベース（社会状況 GIS データベース）を開発・整備した。また、人口減少社会における復旧・復興プロセスの明確化を目的に、2004 年新潟県中越地震、2007 年能登半島地震、2007 年新潟県中越沖地震の復旧・復興プロセスに関するデータ収集を行なった。さらに、重要社会基盤施設が被災した際の影響評価を行うための基礎考察として、ライフラインや道路等の被災が、地震直後の被災者生活と地震後の復旧・復興活動に与える直接的・間接的影響の具体化と、その規模の明確化に必要な論点を整理した。

### 1. 5 サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催

「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」等により、これまでに構築された東海・東南海・南海地震震源域周辺の堆積層・付加体・地殻・マントル形状を陸海域で統合し、強震動と津波発生伝播の 3 次元差分法によるシミュレーションに必要となる高分解能地下構造モデルを構築した。その上で、強震動シミュレーション結果と地震観測データの比較により、モデルの弾性率等の物性値の調整を行った。また、1. 3 で行う強震動シミュレーションにおいて短周期成分の精度確保に必要な陸域の強震記録と浅層地盤データを、大阪平野、濃尾平野を主対象として収集・整理した。

また、研究プロジェクトの成果の普及と、地震津波防災および復旧・復興施策に関する地域社会の本プロジェクトへの積極的な関わりを目指し、本プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の自治体、ライフライン事業者、防災関係省庁、大学研究者を中心とした地域研究会を高知、大阪、名古屋の 3 カ所に設置し、各地で 2 回の研究会を開催した。また、本プロジェクトの紹介と成果普及のために、一般住民を対象としたミニシンポジウムを高知、大阪、名古屋の 3 市にて開催した。

## 2. 研究機関および研究者リスト

所属機関	役職	氏名	担当課題
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	教授	古村 孝志	3.1
東京大学地震研究所	教授	佐竹 健治	
東京大学地震研究所	教授	纒纒 一起	
東京大学地震研究所	助教	三宅 弘恵	
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	特任研究員	今井 健太郎	
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	特任研究員	伊藤 貴盛	
東北大学大学院工学研究科 附属災害制御研究センター	教授	今村 文彦	3.2
東北大学大学院工学研究科 附属災害制御研究センター	准教授	越村 俊一	
東北大学大学院工学研究科 附属災害制御研究センター	助教	後藤 和久	
名古屋大学大学院環境学研究科 都市環境学専攻	教授	福和 伸夫	3.3
名古屋大学大学院環境学研究科 附属地震火山・防災研究センター	准教授	飛田 潤	
名古屋大学大学院環境学研究科 都市環境学専攻	准教授	護 雅史	
京都大学防災研究所	准教授	牧 紀男	3.4
京都大学防災研究所	助教	鈴木 進吾	
岐阜大学工学部社会基盤工学科	教授	能島 暢呂	
立命館大学文学部	准教授	中谷 友樹	
長岡造形大学造形学部 建築環境デザイン学科	准教授	澤田 雅浩	
国立保健医療科学院施設科学部	研究員	佐藤 栄治	
(独) 海洋研究開発機構 海洋工学センター 海底地震・津波ネットワーク開発部	部長	金田 義行	3.5

(独) 海洋研究開発機構 海洋工学センター 海底地震・津波ネットワーク開発部	技術研究主任	大堀 道広	
(独) 海洋研究開発機構 海洋工学センター 海底地震・津波ネットワーク開発部	特任技術研究 副主任	中村 武史	

### 3. 研究報告

#### 3. 1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測

##### (1) 業務の内容

###### (a) 業務の目的

連動型巨大地震による強震動の高精度予測のために、周期 0.3~20 秒の広帯域強震動及び地殻変動、そして津波発生・伝搬を連成して評価できる広帯域強震動・津波計算シミュレーションコードを開発し、地球シミュレータ等を用いた計算により、過去の南海トラフ地震（宝永地震、安政東海・南海地震、昭和南海・東南海地震）について、強震動と津波波高資料との相互評価から断層破壊様式を明らかにする。また、サブプロジェクト①の成果に基づく地震発生シナリオに対応した、全国の地震動分布と、震源域および大阪、名古屋地域での強震動と地殻変動の高精度評価を行う。さらに、多様な地震発生様式を想定するとともに、南海トラフ震源域直上への海底ケーブル地震計の設置によって、緊急地震速報における震源位置と地震規模推定精度の向上と警報の発信時間の短縮、及び強震動到来までの時間猶予を評価する。

###### (b) 平成 20 年度業務目的

連動型巨大地震により発生する、周期 0.3~20 秒の広帯域強震動及び地殻変動、そして津波発生・伝播を連成して高精度に評価するための、「広帯域強震動・津波シミュレーションモデル」を整備する。このために、「大都市大震災軽減化特別プロジェクト I 地震動（強い揺れ）の予測」（文部科学省・他、2003-2007）<sup>1) - 5)</sup> 等により構築された、陸域地下構造・堆積平野構造モデルと、海域構造探査モデルとを結合した、分解能 1km 以下の高分解能陸域・海域地下構造モデルを整備する。このモデルをもとに、不均質な地下構造および震源破壊様式を考慮して、強震動・津波発生伝播シミュレーションを実施するために、地球シミュレータ等のスーパーコンピュータによる大規模並列計算（5,000CPU 以上）により高い効率で実効することのできる、強震動・津波シミュレーションコードを開発する。

###### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	教授	古村 孝志	furumura@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	教授	佐竹 健治	
東京大学地震研究所	教授	纏纏 一起	
東京大学地震研究所	助教	三宅 弘恵	
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	特任研究員	今井 健太郎	
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	特任研究員	伊藤 貴盛	

## (2) 平成20年度の成果

### (a) 業務の要約

東海・東南海・南海地震の連動型巨大地震により発生する強震動と津波を高い解像度かつ信頼度で評価するために、1) 地震により発生する広帯域強震動、2) 地殻変動、3) 津波の発生と伝播、の3つを同時に評価することのできるシミュレーションモデルを整備した。「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」等によって整備された、陸域堆積平野構造と海域構造探査モデル、および海底地形モデルを結合し、1944年東南海地震の強震動一津波連成シミュレーションを、「地球シミュレータ ((独)海洋研究開発機構)」と「T2K オープンスパコン（東京大学情報基盤センター）」を用いて実施した。これらのスーパーコンピュータを用いた大規模シミュレーションにおいて、5,000CPU以上を用いた並列計算で並列化率 99.999%以上の高い効率を得ることができた。以上より、次年度以降に実施する、過去および将来の南海トラフの連動型巨大地震シミュレーションの高精度計算の実用化の目処を得た。

### (b) 業務の成果

#### 1) 強震動一津波連成シミュレーションと高分解能陸域・海域地下構造モデルの整備

周期 0.3~20 秒の広帯域強震動、地殻変動、そして津波発生・伝播を高精度に評価することができる「広帯域強震動・津波シミュレーションモデル」(Furumura and Saito, 2009; Saito and Furumura, 2009)<sup>6), 7)</sup> を、東海、東南海、南海地震の連動発生を考慮した南海トラフ巨大地震に適用するために、強震動シミュレーションコードと津波シミュレーションコードを地球シミュレータと T2K オープンスパコンに実装するとともに、可視化等の関連ソフトウェアを整備した。

これまで一般的に行われている強震動シミュレーションと津波シミュレーションは、それぞれ異なる震源モデルと地下構造モデルを用いて個別に行われることが多かった。強震動シミュレーションでは、断層運動により発生した地震波が不均質な地下構造を伝播し、地表に生成される強震動が得られると同時に、震源付近では永久変位（地殻変動）も同時に求められる。しかし、ここで得られた海底地殻変動が、津波源として津波シミュレーションに引き継がれることはなかった。そして、津波シミュレーションでは、海底地殻変動の計算を、半無限均質地下構造を仮定した別種の地殻変動計算コード (Mansinha and Smylie, 1971; Okada, 1985)<sup>8), 9)</sup> を用いて評価するのが一般的であった。このように、強震動シミュレーションと津波シミュレーションにおいて、全く異なる地下構造モデルが用いられるために、例えば、同一の震源モデルを用いた地震動分布と津波波高分布の評価、津波波形と地震動記録からそれぞれ求められた震源断層滑りモデルの相違から大地震の震源破壊過程の特徴の詳しい評価など、海溝型巨大地震により生まれる強震動と津波の整合的評価が困難であった。

そこで、本研究では強震動シミュレーションと津波シミュレーションを結合した、地震一津波連成シミュレーションを南海トラフ巨大地震と連動発生による強震動と津波評価に用いることにより、共通する震源モデルと地下構造モデルを用いて3次元不均質地下構造における強震動と津波の高精度かつ整合的評価を目指した。本連成シミュレーションでは、まず、

3次元不均質媒質中における断層運動により発生する地震波と、これが不均質な地下構造を伝播して地表に強震動を作り出す過程、そして地震直後に震源直上の地表および海底に発生する地殻変動を、3次元弾性論に基づいて定式化し、それを差分法にて離散化した上で数値解析して評価する（図 1a）。次に、海底地殻変動の時間変化により海水に上昇流または下降流が発生し、海表面に津波が発生する過程、そして複雑な海底下を伝播する津波を3次元の非圧縮性粘性流体として Navier-Stokes 式にて定式化し、それを差分法にて離散化した上で数値解析して評価する。地震動計算から求められた海底面の上下および水平地殻変動の時間変化を、津波シミュレーションにおいて海底面直上の海水の上下・水平流速として与えることにより、地震動と津波シミュレーションを連成させる（図 1b）。このような、地震と津波の連成シミュレーションは、南海トラフ沈み込み帯のように不均質構造が強く、かつ複雑な海底構造を持つ場所での地震動と地殻変動、そしてこれに伴う津波の発生と伝播を高精度かつ整合的に評価する上で効力を發するものと期待できる。

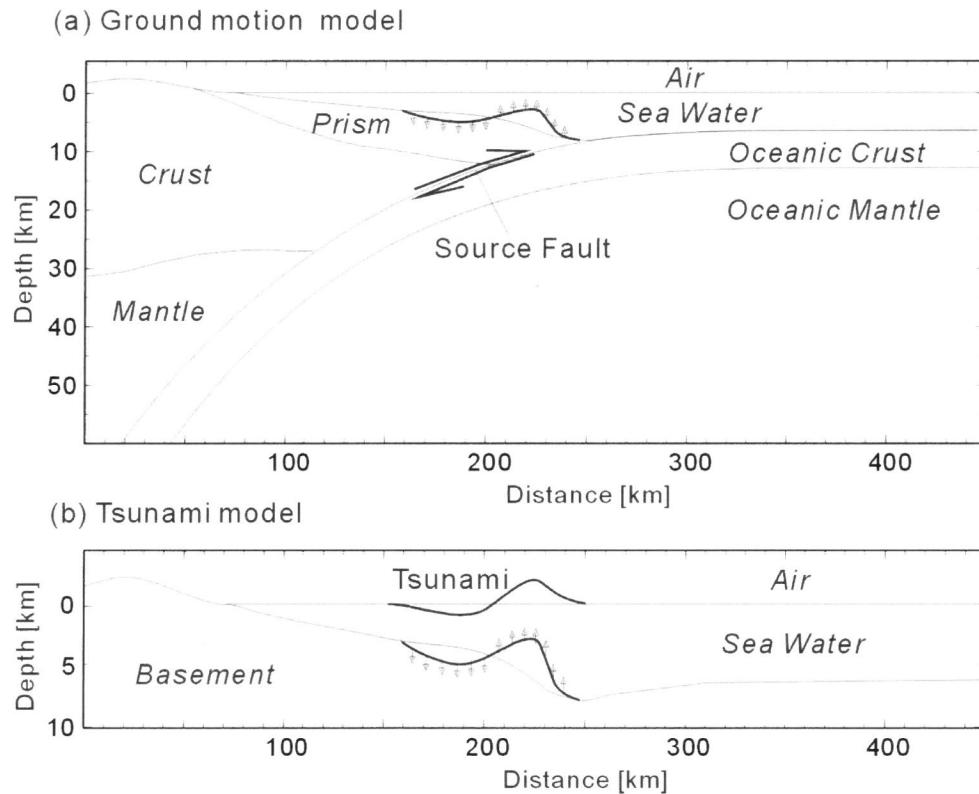


図 1 地震－津波連成シミュレーションの概念図: (a) 強震動シミュレーションにより得られた海底地殻変動、(b) 海底地殻変動を入力とする津波シミュレーション（両図中の Sea Water 下の矢印付き太線が海底地殻の沈降と上昇を表す。また、図(a)中の Prism, Crust, Oceanic Crust の最上面が図(b)の Basement の上面に対応する。）。

### a) 高分解能陸・海域地下構造モデルの構築

東海・東南海・南海地震の連動発生を想定した大規模地震の強震動－津波連成シミュレーションの実施のために、堆積平野地下構造探査モデル（田中ほか、2006）<sup>10)</sup>と南海トラフの

沈み込み帯モデル（馬場ほか、2006）<sup>11)</sup>を統合した高分解能海・陸統合地下構造モデルを構築した。

構築した地下構造モデルを表1に示す。陸側から海域にかけての地下構造モデルは、3層の堆積層（それぞれ、S波速度（Vs）とP波速度（Vp）およびS波の減衰特性を表すQ値（Qs）は、Vs=0.5, 0.9, 1.5km/s, Vp=1.8, 2.3, 3.3km/s, Qs=60, 100, 140）と基盤岩（Vs=3.4km/s, Vp=5.8km/s, Qs=200）から構成される。また、モホ面（地殻／マントル境界）深度分布は、領木（1999）<sup>12)</sup>により重力異常と屈折法探査等の結果を用いて作成されたモデルを採用した。またコンラッド面（上部地殻／下部地殻境界）は、標準地球モデル（ak135 model；Kennett et al., 1995）<sup>13)</sup>を参考にして、モホ面深度の0.54倍の深さに設定した。地殻と最上部マントルの物性値については、上部地殻（Vs=3.4km/s, Vp=6.9km/s, Qs=300）、下部地殻（Vs=3.8km/s, Vp=6.6km/s, Qs=400）、および最上部マントル（Vs=4.5km/s, Vp=7.8km/s, Qs=500）に区分して、ak135 modelを参考に物性値を設定した。なお、P波の減衰特性を表すQ値（Qp）はS波のQ値（Qs）の1.7倍（Qp=Qs\*1.7）とした。

陸域側の地下構造モデルに潜り込むフィリピン海プレートの地下構造モデルは、海洋性地殻第2層（Layer 2）と海洋性地殻第3層（Layer 3）がそれぞれ2kmの厚さを持ち、その下に厚さ25kmの海洋性マントルが存在する3層構造とした（表2）。この時、プレートは、上面堆積物による圧密によりP波およびS波速度が深さとともに増す特徴があるため、まず、南海トラフ等でこれまで実施された反射法地震探査から作成された評価式（馬場ほか、2006）<sup>11)</sup>を用いて、P波速度を深さの関数として与えた。次に、南海トラフの反射法地震探査においてP-S変換波の解析から求められたS波速度とP波速度の関係式（Vp/Vs比；Takahashi et al., 2002）<sup>14)</sup>と、海洋性地殻と海洋性マントル物性の岩石実験の結果（Christensen, 1996）<sup>15)</sup>を用いて、S波速度を定めた。Q値については、2004年9月5日の紀伊半島南東沖の地震の長周期地震動のシミュレーションの研究（Hayakawa et al., 2005）<sup>16)</sup>を基にして定めた。また、海洋性地殻第2層上には深さ5~10kmの付加体層を考慮した。その諸元はTakahashi et al. (2002)<sup>14)</sup>を基にした。表2にフィリピン海プレートおよび付加体の諸元一覧を示す。

表1 地下構造モデルのP波およびS波速度（Vp, Vs）とそれらの減衰特性（Qp, Qs）。z(km)は深さを表す。

	Vp (km/s)	Vp/Vs	Qs	Qp/Qs
堆積層第1層	1.8	3.60	60	1.7
堆積層第2層	2.3	2.55	100	1.7
堆積層第3層	3.3	2.20	140	1.7
基盤岩	5.5	1.73	200	1.7
上部地殻	5.8	1.73	300	1.7
下部地殻	6.6	1.73	400	1.7
上部マントル	7.8	1.73	500	1.7

表2 フィリピン海プレートと付加体のP波およびS波速度( $V_p$ 、 $V_s$ )とそれらの減衰特性( $Q_p$ 、 $Q_s$ )。z(km)は深さ。

	$V_p$ (km/s)	$V_p/V_s$	$Q_s$	$Q_p/Q_s$
付加体	3.5	2.20	50	1.7
海洋性地殻第2層	$5.4+0.0055*z$	1.94	200	1.7
海洋性地殻第3層	$6.5+0.0055*z$	1.87	300	1.7
海洋性マントル	$8.1+0.0053*z$	1.76	500	1.7

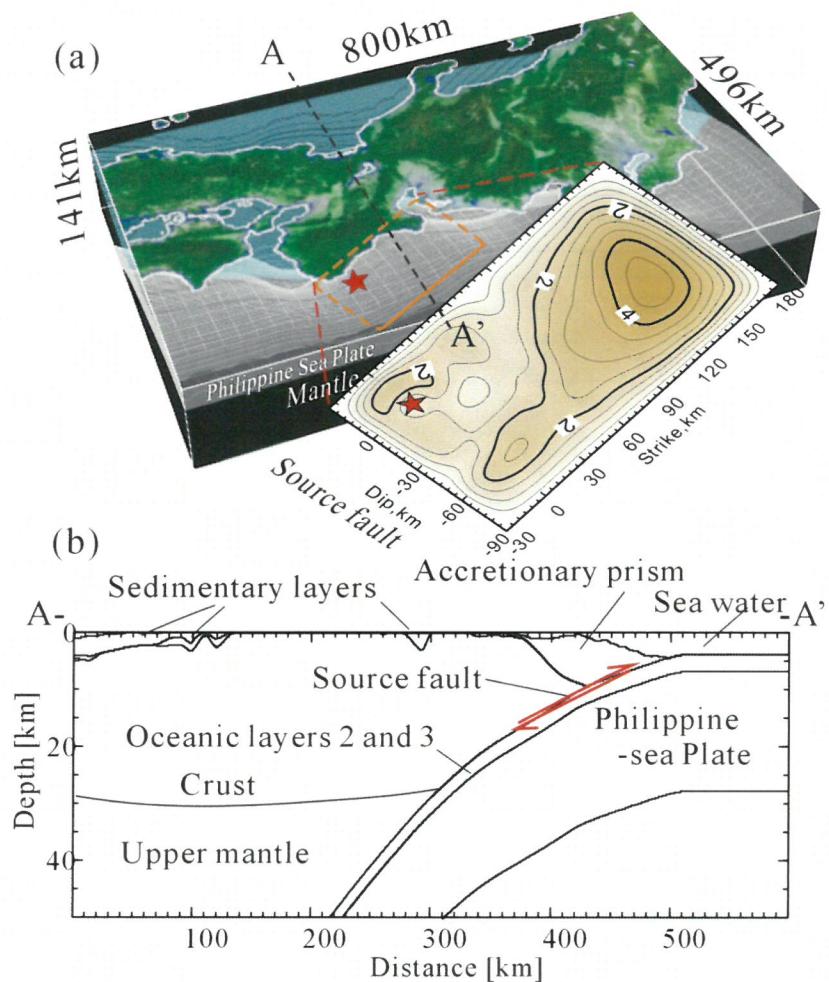


図2 (a)南海トラフの3次元地下構造モデルと1944年東南海地震の断層滑りモデルと、(b)図(a)のA-A'断面における地殻、最上部マントル、プレートの状況。

東海・東南海・南海地震の連動発生を想定した大規模地震による津波シミュレーションを実施するにあたり、南海トラフを包括する九州～東海にかけての領域において分解能270 mの海底地形・海岸線グリッドモデルを作成した。これらの領域の一部では、既に中央防災会議により分解能1350 m、450 m、150 m、および50 mの海底地形及び海岸線、陸上地形のグリッドモデルが既に整備されている（中央防災会議、2003）<sup>17)</sup>。そこで、本プロジェクト

ではこの中央防災会議によるモデルをもとに、外洋の海底地形には日本水路協会海洋情報研究センターの海底地形等高線データを、また沿岸の海底地形や海岸線には国土地理院土地利用地図を用いて、九州～四国～東海領域における分解能 270 m の海底地形モデルを線形補間により作成した。

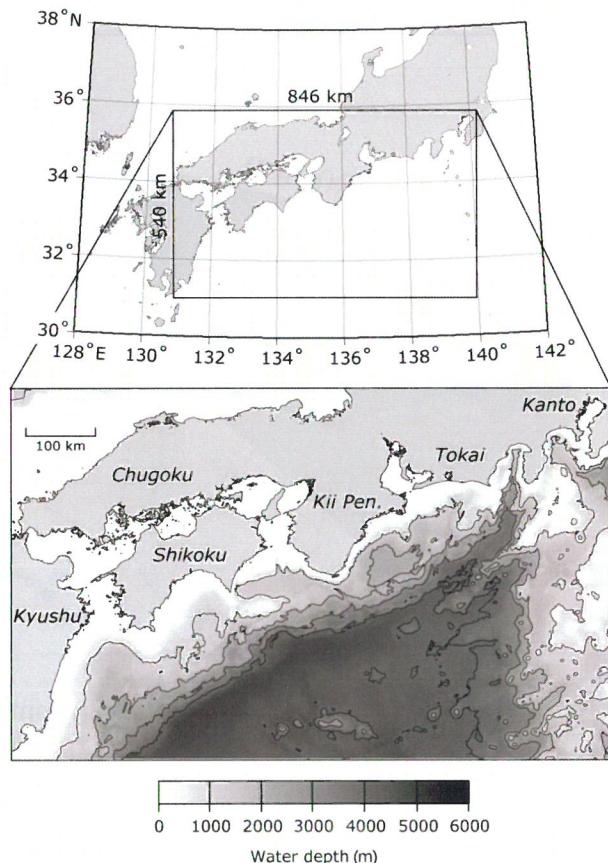


図3 本プロジェクトで構築した九州～四国～東海領域における分解能 270 m の海底地形モデル。

また、設定した海底地形モデルをもとに津波シミュレーションを実施する際には、細かなシングルグリッドモデルを採用することとした。これまでの一般的な津波シミュレーションでは、水深が深く津波の波長が長い（伝播速度が速い）外洋では分解能 1 km 程度の粗いグリッド間隔を行い、そして水深が浅く波長が短くなる（伝播速度が遅くなる）沿岸の浅海域では数百～数十 m の細かなグリッドモデルを階層的に連結したマルチグリッドモデルが用いられることが多かった（たとえば、後藤・小川、1982；鴨原・藤間、2008）<sup>18), 19)</sup>。マルチグリッドモデルを用いた津波シミュレーションは、外洋から浅海域まで細かなシングルグリッドモデルを用いたシミュレーションに比べて計算時間が数倍～数十倍以上節約できるため経済的であり、沿岸に来襲する津波の第1波から数波までの波高についての精度の差は殆どない。しかし、マルチグリッドモデルによる計算は、時間の経過とともに沿岸と外洋を何度

も津波が行き来するうちに、精度が次第に悪化する（たとえば、鷗原・藤間、2008）<sup>19)</sup>。これは、異なるサイズを持つグリッドの接続地点において、短波長の津波を細かいグリッド側から粗いグリッド側に伝播させることができず、細かいグリッド領域内に閉じ込められてしまうためである。このため、南海トラフ地震の連動発生による津波を評価する場合のように、長時間にわたって押し寄せる津波とその継続時間を詳しく評価するためには、たとえ不経済であっても、外洋から沿岸までをシングルグリッドモデルによる計算を行なう必要がある。ただし、津波遡上計算を行う際には、海岸線形状や沿岸地形を数メートル未満の高い空間分解能のグリッドモデルが必要になるため、津波評価地点については沿岸～内陸部分を細かなグリッドでモデル化し、シングルグリッドモデルで計算した外洋から沿岸までの津波伝播結果とのマルチグリッド計算を行う。

#### b) 1944年東南海地震の強震動・津波シミュレーション

上記の高分解能陸・海域地下構造モデルを用いて 1944 年東南海地震での強震動・津波連成シミュレーションを実施した。強震動シミュレーションでは、図 2 に示した東西南北及び深さ方向におよそ  $800\text{km} \times 496\text{ km} \times 140\text{ km}$  の領域を定め、3 次元弾性論に基づく定式化の上で、当該領域を  $0.27\text{km}$  の格子間隔で一様に離散化し、差分法により評価した。1944 年東南海地震の震源断層モデルとしては、近地強震波形記録を用いたインバージョン（逆解析）から求められた断層滑り分布（山中、2001）<sup>20)</sup>を用いた。この震源断層モデルは、 $60\text{ km} \times 24\text{ km}$  の大きさを持つ地震断層面を  $4\text{ km} \times 4\text{ km}$  の要素に分割し、要素毎に断層滑り量と滑り角、断層破壊の開始時刻が与えられている。強震動シミュレーションでは、断層面上の断層破壊過程を連続的に表現するために、各要素をさらに  $1\text{ km} \times 1\text{ km}$  に再分割して、それに与えるパラメータは線形補間した。なお、断層の平均破壊速度は  $V_r=2.95\text{km/s}$  であり、断層破壊は図 2 の☆印の震源から北東方向に進行する。

差分法による計算では、16 次精度のスタガード格子（食い違い格子）に基づく並列計算処理コード（Furumura and Chen, 2004）<sup>21)</sup>を用いて行った。なお、本シミュレーションでは、格子間隔が  $0.27\text{ km}$ 、最小 S 波速度が  $V_s=0.5\text{ km/s}$  であることから、1 波長あたり 3.5 点以上で離散化するとの条件では、周波数  $0.5\text{ Hz}$  以下（周期 2 秒以上）の波動伝播を評価可能である。なお、地球シミュレータ（（独）海洋研究開発機構）の 64 ノード（512CPU）を用いた強震動シミュレーションでは、地震発生から 600 秒間の計算に 40 分かかった。なお、後述のように本計算で用いた強震動シミュレーションコードは、最大 5,000CPU 以上を用いた大規模並列計算が可能であり、本シミュレーションコードを用いて 2 倍以上の大きさ（計算体積は 8 倍以上）の領域の強震動シミュレーションを 1 時間以内に実施可能である。

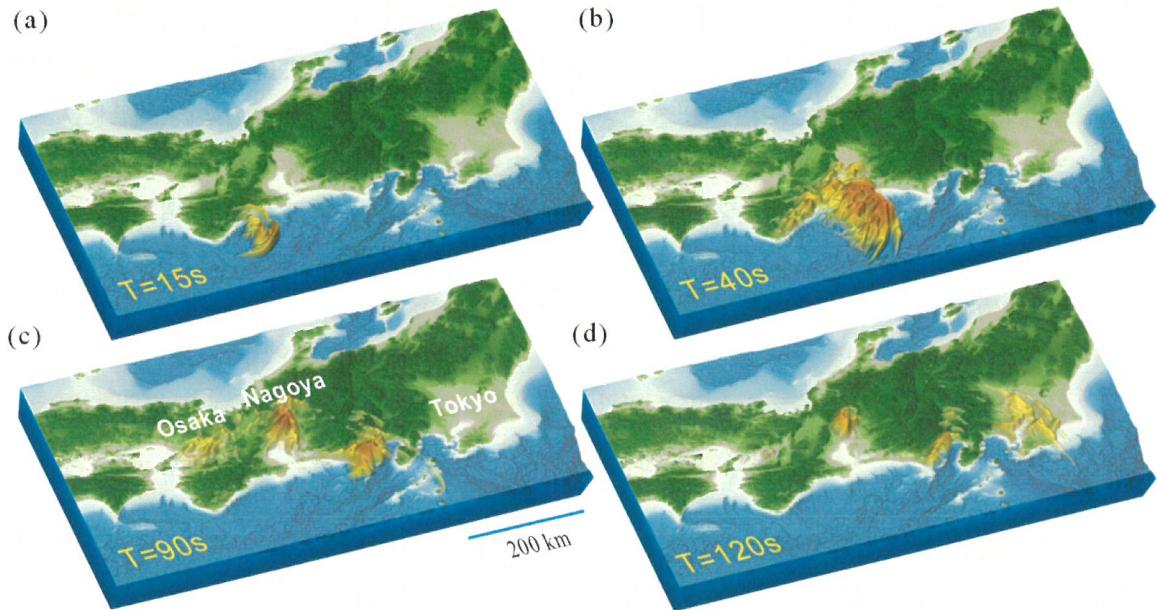


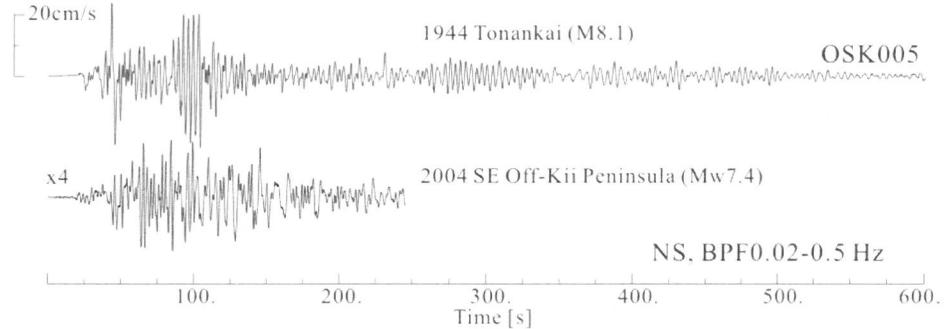
図4 1944年東南海地震の強震動シミュレーションによる最大速度のスナップショット。地震発生から(a) 15秒後、(b) 40秒後、(c) 90秒後、および(d) 120秒後の揺れの様子を表す。

強震動シミュレーションによって求められた地震波の伝播と地表の揺れを表すスナップショットを図4に示す。図4では、揺れを地動速度の大きさに応じ、黄色からオレンジに色を変えて立体的に可視化表示している。この地震では、断層破壊の開始点（震源）である紀伊半島の潮岬の南東側から、破壊が進行する北東方向の中部～東海～関東の方向に大きな揺れが伝播される一方で、破壊進行の逆方向にあたる和歌山～四国の方では揺れは小さい様子がわかる。これは、断層破壊進行方向にS波のエネルギーが集まる、破壊伝播のディレクティビティ（地震波放射の指向性）効果によるものである。但し、本計算は、先に示したように考慮されている波動伝播は周期2秒以上の成分に限られ、波長が短く不均質地下構造による散乱の大きい1秒以下の短周期成分が含まれていないため、スナップショットではディレクティビティ効果がやや強調されていることに注意が必要である。図4(b)-(d)に示すように、破壊による地震波は、地震発生から40秒後には名古屋、そして90秒後に御前崎を通過し、120秒後には関東平野南西部へと到達する。濃尾平野や御前崎、そして関東平野の厚い堆積層に入射した地震波は、平野の厚い堆積層にて大きく増幅される様子もわかる。さらに、平野内での地震波は、地表に沿って伝わる表面波として平野内を何度も行き来しながら、数分間以上にわたって揺れが長く続く。

シミュレーションによる大阪と名古屋地点での強震動波形を図5に、また水平動2成分波形の相乗平均に対する速度応答スペクトルを図6に示す。これら二つの図には、東南海地震の震源域で2004年9月5日23時53分に発生した、2004年紀伊半島南東沖地震（M7.4）での観測値もあわせて示す。シミュレーションでは、大阪で強く増幅される周期T=3.5秒の卓越成分が見られ、この周期での減衰定数5%の速度応答スペクトルの値は、約100cm/sである。また、名古屋ではT=2.2秒の卓越成分が見られ、この周期での減衰定数5%の速度応

答スペクトルの値は、約 300 cm/s である。これらの速度応答スペクトルの値は、2004 年紀伊半島南東沖地震において、大阪と名古屋で観測された記録に対する値の約 10 倍である。

(a) Osaka



(b) Nagoya

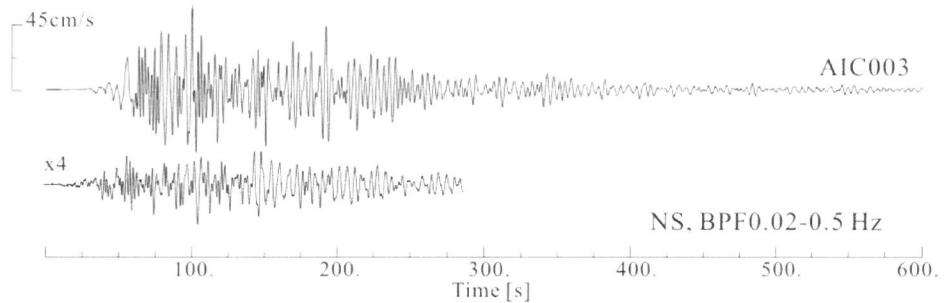
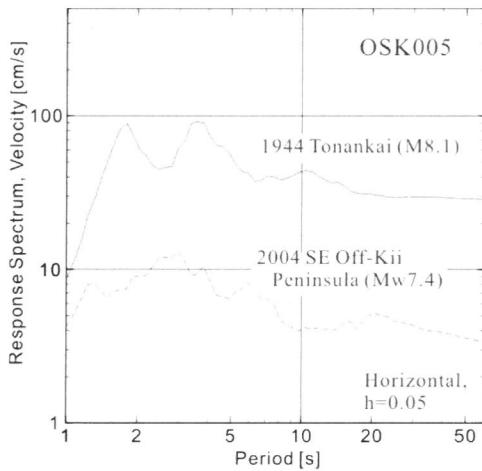


図 5 1944 年東南海地震の強震動シミュレーション(上段)と 2004 年紀伊半島南東沖の地震による観測値(下段)の比較(後者の縦軸は前者の 4 倍) : (a) 大阪市と、(b) 名古屋市での地動水平 N-S 成分速度波形。

(a) Osaka



(b) Nagoya

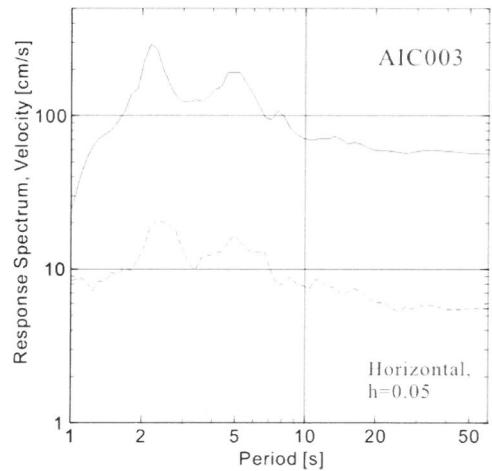


図 6 1944 年東南海地震の強震動シミュレーションと、2004 年紀伊半島南東沖地震の観測値から求めた地動水平 2 成分の相乗平均についての減衰定数 5% 速度応答スペクトル : (a) 大阪市、(b) 名古屋市。

次に、同じく 1944 年東南海地震に対する強震動シミュレーションによる東京都千代田区大手町と千葉県東金市での波形と、その速度応答スペクトルを図 7 と図 8 に示す。また、これら図には、シミュレーション条件と一致するように周期 2 ~ 50 秒のバンドパスフィルタを施した 1944 年に観測された記録を比較して示す。

震源域から 400 km 以上離れたこれらの地点では、周期 1 秒以下の短周期地震動は伝播距離とともに散乱や熱エネルギーへの変換により大きく減衰するため、1944 年東南海地震による東京と千葉での震度は 4 程度にすぎなかった。ところが、波長が長い長周期成分の地震波は、距離減衰の影響が小さいため、遠距離を伝わっても小さくならないだけでなく、関東平野の堆積層で大きく増幅され、大震幅かつ長い間揺れが継続する長周期地震動が生じることに注意が必要である。事実、シミュレーションによる大手町の波形では、周期 8 ~ 10 秒前後成分の大きい長周期地震動が生じ、その周期帯での減衰定数 5% の速度応答スペクトル値は 40cm/s 程度にもなる。この値は、2004 年新潟県中越地震 (M6.8) において東京都都心部で観測された地震動の、周期 8 秒前後の成分の減衰定数 5% の速度応答スペクトル値の 1.2 倍の大きさになる。なお、この地震では、長周期地震動のもたらす顕著な被害として、東京都都心部の高層ビルが大きく揺れ、エレベータが停止した。

1944 年東南海地震においては、中央気象台（現気象庁）や東京帝大の強震計により波形が得られている。煤書き記録紙に記された、これら波形はデジタイザで読み取られ、強震計の計器応答特性による補正が施され、地動観測記録としてデジタル化されている（橋本・菊地、2001；古村・中村、2005）<sup>22), 23)</sup>。震源に近い大阪市や名古屋市、御前崎市、三島市では、P 波到着後すぐに針が振り切れており、S 波とこれに後続する長周期地震動の特徴をることはできないが、大手町や東金市に設置されていた強震計記録は、S 波初動部の一部にて針が振り切れているものの、後続の長周期地震動による揺れを記録している。それ故、大手町と東金市については、シミュレーション波形と観測記録を比較可能と判断し、図 7 に示した。シミュレーション結果は、観測記録の振幅、卓越周期、および継続時間の特徴をとらえていることを確認できる。このことから、本プロジェクトで構築を進めた強震動シミュレーションコードおよび地下構造モデルは、南海トラフで発生する大地震の、周期 2 秒以上の地震動を適切に再現する能力を持つことが確認できる。

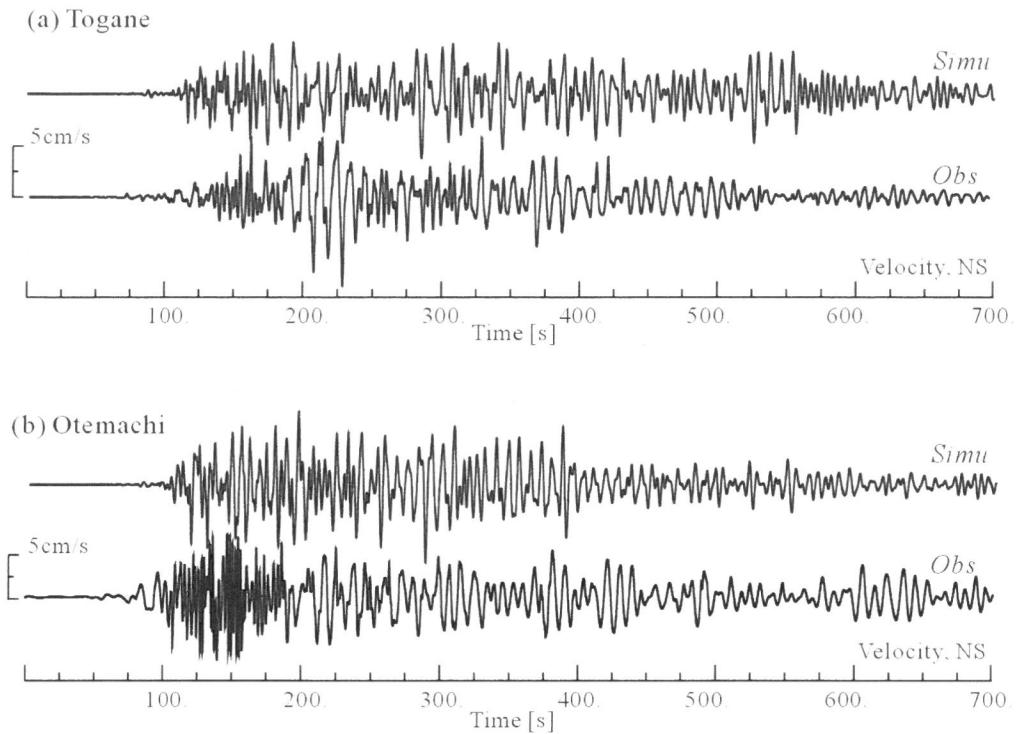


図7 1944年東南海地震の強震動シミュレーション(上段: *Simu.*)と観測値(下段: *Obs.*)の比較(地動水平N-S成分速度波形)。(a)千葉県東金市、(b)東京都千代田区大手町。

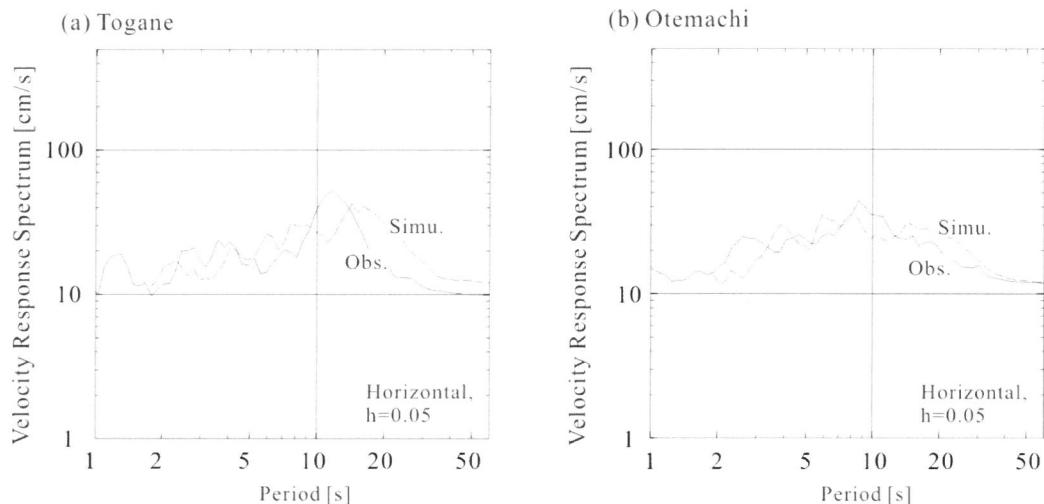


図8 1944年東南海地震のシミュレーション(Simu.)と観測値(Obs.)から求めた地動水平2成分の相乗平均についての減衰定数5%速度応答スペクトル。(a)千葉県東金市、(b)東京都千代田区大手町。

### c) 1944年東南海地震の地殻変動の計算

断層での破壊進行によって、断層周辺には地殻変動が発生し、周辺の地表は隆起または沈降する。海底面に地殻変動が発生すると海水が押し上げ下げされ、海平面に津波が生成する。震源断層の長さと幅がそれぞれ数百 km と数十 km にも及ぶ南海トラフの M8 級の巨大地震

では、地殻変動は陸地にまで及び、海岸線の隆起または沈降が起きる。地震発生直後に海岸線が沈降すると、内陸まで浸水が起き、さらには水深が深くなるために海底摩擦の影響が海面では小さくなり、津波の内陸への遡上が一層進む恐れがある。このような、海溝型巨大地震による地殻変動とその津波への影響を正しく評価するためには、地震断層運動による地殻変動を高精度に評価する必要がある。

図9aは、前述の強震動シミュレーションを基にして求められた1944年東南海地震による地殻変動の空間分布である。これは、断層での破壊が完了し、揺れが十分に収まった後での地表もしくは海底で生じた上下動の永久変位であり、地表面あるいは海底面の隆起と沈降の様子を表している。低角で沈み込むフィリピン海プレート上面で発生した逆断層型の動きにより、海溝側には隆起が、そして陸地側では沈降が生じる。また、シミュレーションによると、1944年東南海地震での地殻変動は最大で1.2mの隆起、0.2mの沈降と推定され、大きな地殻変動は、海溝側のプレート浅部の狭い範囲に集中していることもわかる。ここでは、沈み込むフィリピン海プレート上面に柔らかい（ポアソン比が0.3以上）海洋堆積物（付加体）が5~10kmの厚さで堆積しており、この部分に大きな変形が集中的に発生するためである。これとは対照的に、硬い（ポアソン比が0.25程度）地殻深部での変形は相対的に小さくなっている。

比較のために、従来から津波計算で仮定することが多い半無限均一地下構造（ポアソン比0.25を仮定）を仮定して地殻変動を計算した結果を図10bに示す。半無限均一地下構造を仮定した地震地殻変動は、3次元不均質地下構造を考慮した場合に比べて広範囲であり、発生する津波の波長が長くなる可能性があるほか、最大隆起量が1.0mと小さいことから、初期津波の発生をやや過小評価している可能性がある。

大地震により生じる地殻変動は数十kmの範囲に及ぶため、地殻・マントルの不均質性の影響は相対的に無視できると考えられてきた。しかし、前述のとおり、地殻変動の計算及び津波シミュレーションのためには、3次元不均質地下構造を考慮することが不可欠である。

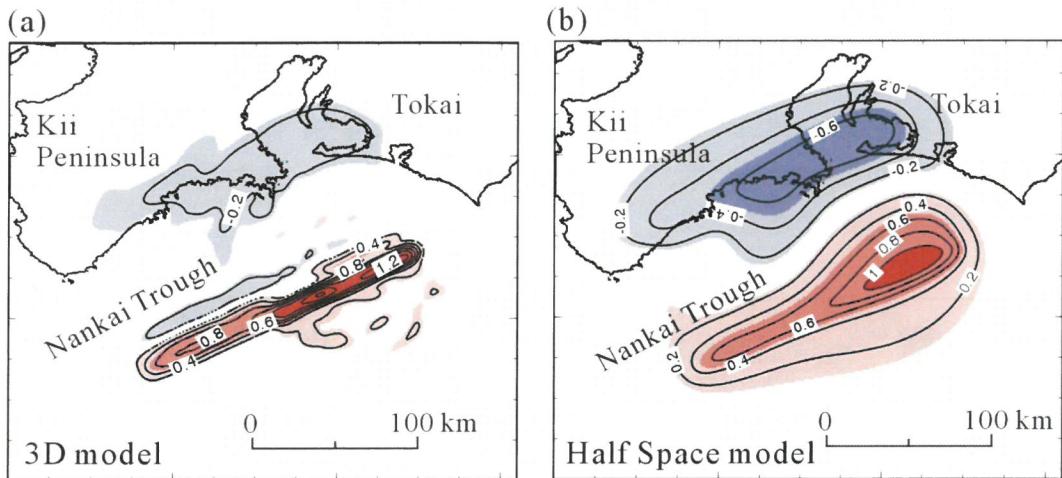


図9 1944年東南海地震の強震動シミュレーションから求めた地殻変動分布（赤は隆起、青は沈降をあらわす。等高線の単位は m）。(a)3次元不均質地下構造を考慮した場合、(b)半無限均一地下構造を仮定した場合。

#### d) 南海トラフ地震連動発生による津波シミュレーション

前述の1944年東南海地震による海底地殻変動の計算結果をもとに、図10に示す南北およそ500 km、東西1200 kmの領域について、津波シミュレーションを実施した。本シミュレーションの目的は、細かな海岸地形や水深モデルを用いた高精度シミュレーションの実用計算に向けて、まず3次元不均質地下構造モデルを用いた地殻変動計算の結果を津波計算の入力データ（津波源）として、地震動計算と津波計算を連結して行う「地震—津波連成計算」の有効性を確認することである。津波シミュレーションでは、均一な地下構造を用いて計算された海底面の時間変動と、3次元不均質地下構造を用いた計算から求められた海底面の時間変動を使って、海水を3次元非圧縮性流体としてNavier-Stokes式にて定式化し、津波の発生と伝播をシミュレーションした。本計算では、対象領域を水平500 m、深さ方向に50 mの格子間隔で離散化して、差分法にて計算を行った。地球シミュレータの64ノード（512CPU）を用いた並列計算では、地震発生後12時間についての津波伝播シミュレーションに4時間を要した。

図11aに津波伝播のスナップショットを示す。比較のために、現在の津波シミュレーションで一般に用いられている、2次元浅水長波近似式を用いた津波シミュレーション結果も図11bにあわせて表示する。これらの図からは、地震発生から10分以内に5 mを越える大津波が紀伊半島東岸に到着し、10~20分後には熊野灘から遠州灘にかけての太平洋岸に2 mを越える津波が押し寄せることがわかる。津波は20分後に伊豆諸島や室戸岬に達し、40分後には房総半島にまで到着する。時間の経過とともに、複雑な海底や海岸線で津波の反射・散乱が繰り返し起こり、津波による海面変動が九州から房総半島沿岸に至る広域に広がる様子がわかる。複雑かつ長い津波波形の形成は、不均質な海底構造を伝播による津波の反射・散乱現象に加えて、津波の分散現象の影響も大きい。南海トラフの4000 mを越える深い海域を伝播する津波の分散現象がスナップショット（図11の20分、30分の画像を参照）から良く確認できる。このような津波の分散現象が作り出す長い分散波形の特徴は、従来の津波

シミュレーションで用いられる浅水長波を仮定したモデル（図 11b）では評価することができない。南海トラフの巨大地震とその連動発生を想定した津波警報などの津波防災対策を計画・実施する際には、津波の第1波以降の後続津波の影響や、津波の継続時間を正しく評価する必要がある。そのためには、本プロジェクトで実施しているような高精度シミュレーションの利用が不可欠である。

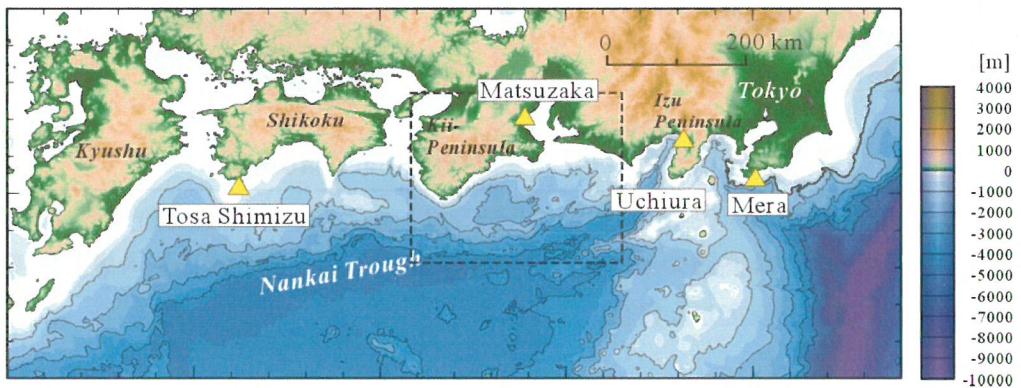


図 10 津波シミュレーションの計算領域と地形。点線は図 9 の地殻変動分布図の範囲。

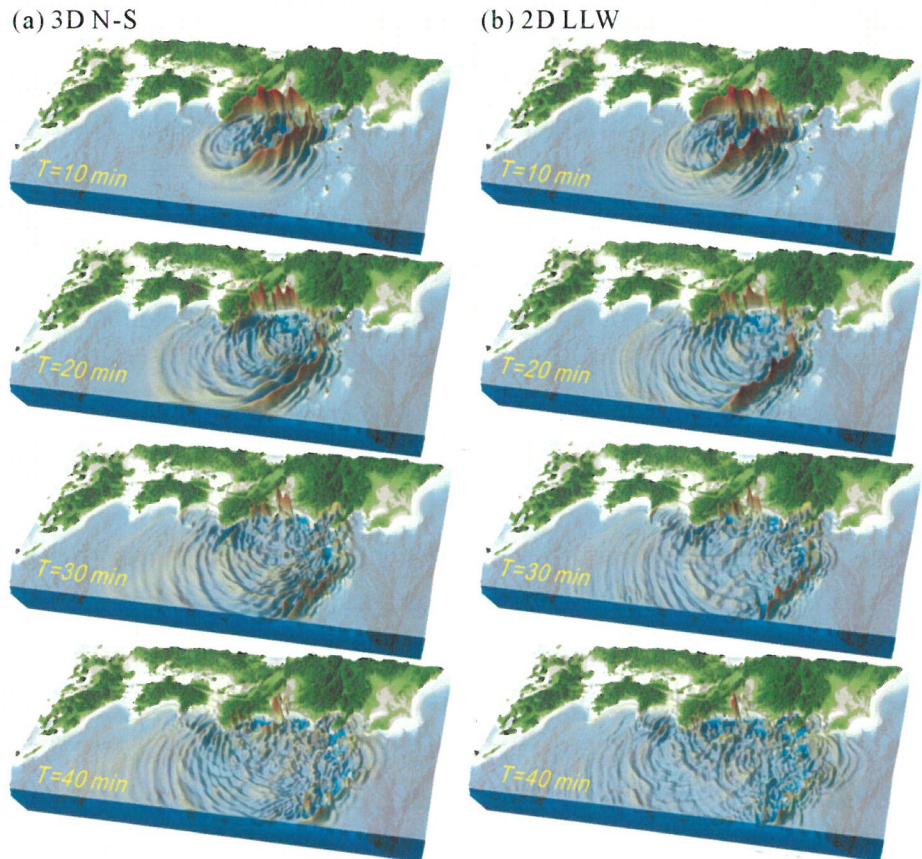


図 11 1944 年東南海地震の津波シミュレーションにより求められた津波伝播のスナップショット。地震発生から 10 分、20 分、30 分、および 40 分後の津波波高を示す。(a) 3 次元非圧縮性流体の Navier-Stokes 式による津波シミュレーション、(b) 2 次元浅水長波近似による津波シミュレーション。

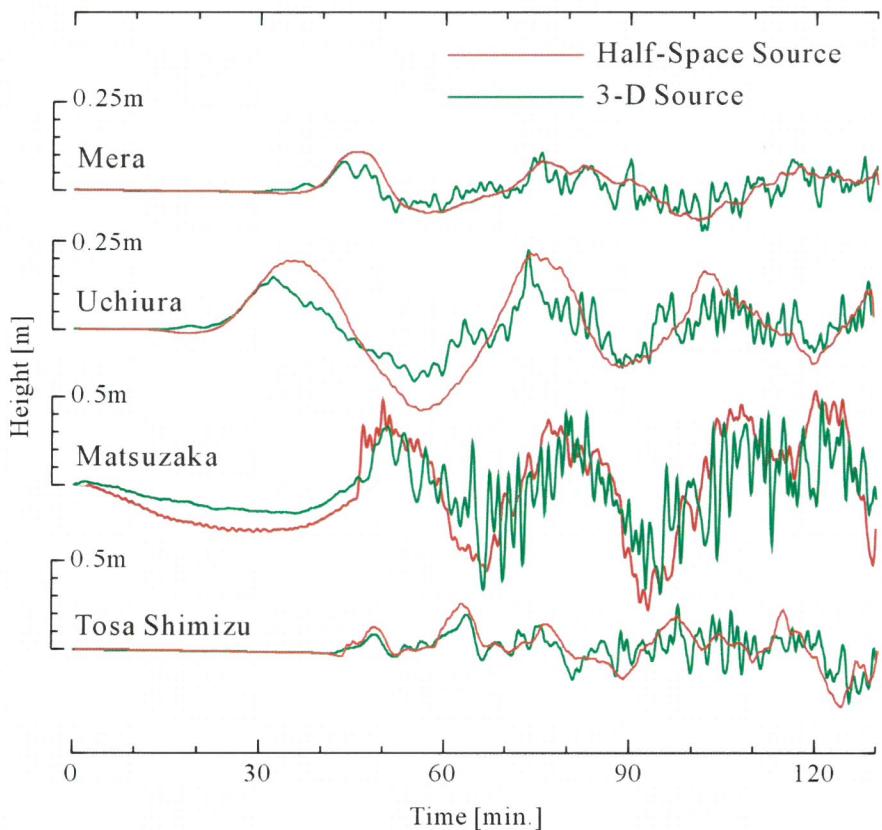


図 12 1944 年東南海地震の津波シミュレーションにより求められた波高時刻歴の比較  
(館山市布良、沼津市内浦、松坂市、土佐清水市; 図 10 中の△印)。3 次元地下構造を用いて評価した地殻変動分布(図 9a)を津波源として用いた計算(緑色)と、半無限均一構造による地殻変動(図 9b)を用いた場合(オレンジ)の津波波形を比較する。

千葉県館山市布良、静岡県沼津市内浦、三重県松坂市、および高知県土佐清水市の 4 地点での波高時刻歴を図 12 に示す。本試験計算では水平格子間隔が粗く (500 m)、また深さ方向の離散化が 50m と粗いために、海岸線に近い沿岸地形が十分に細かくモデル化できていない。このため計算から求められる波高は正確には海岸線近くでの津波ではなく、海岸線から数百 m 程度離れた地点 (外洋津波) での津波に相当することに注意が必要である。このため、津波シミュレーションの結果と 1944 年東南海地震における検潮所記録との直接比較はここでは行わない。

また、3 次元不均質地下構造(図 9a)、半無限均一地下構造(図 9b)から求められた海底地殻変動分布の差に起因する津波の比較を図 12 に示す。半無限均一地下構造の地殻変動に基づいた波高時刻歴(図 12 中のオレンジ線)は、3 次元不均質地下構造の地殻変動を用いた波高時刻歴(図 12 中の緑線)に比べて、滑らかで長波長成分が卓越しているが、最大震幅に大きな差はない。これは、大地震の断層運動は数十秒の時間をかけて徐々に進展すること(時間フィルタ効果)、及び南海トラフの深さが 4000m にもなること(水深フィルタ効果)のた

めに、海水平面に現れる初期津波の形状は、海底地殻変動の分布形状と比較して短波長成分が大きく減じられるためである（たとえば、Kajiura、1964）<sup>24)</sup>。3次元不均質地下構造と半無限均一地下構造モデルから計算された津波波形を比べると、卓越周期や短周期成分の強度が大きく異なっていることがわかる。これらの津波波形の違いは、今後詳細な海岸地形を組み込んだ津波計算において、港湾地形等による津波の共振と增幅現象により強調される可能性がある。各地点の地形特性による津波の增幅特性を正しく評価して、今後の津波防災対策を計画・実施する際には、3次元不均質構造を用いた海底地殻変動計算による津波形成の評価が重要である。

#### e) 南海地震・東南海地震・東海地震の時間差発生による津波の重ね合わせ

地震断層サイズが数十～百数十 km に及ぶ巨大地震では、これにより発生する津波の波長も同程度に長くなる。このような長波長の津波は、南海地震、東南海地震、および東海地震が数分～数十分の時間差で連動発生した場合には、波の重ね合わせによって波高を増大させる現象が広範囲で起きるおそれがある。

南海トラフの複数震源域での地震発生遅れによる津波の重ね合せの影響は、既に河田ほか（2003）<sup>25)</sup>により詳細に検討されている。しかし、この検討では南海地震、東南海地震、および東海地震がランダムに発生する場合を考えており、地震学的に現実的ではないシナリオも含まれている。また、線形長波モデルを用いて波高を評価しているため、非線形の影響が無視されており、一波ごとの波高が過大もしくは過小評価されている可能性や、第1波ではなく後続波で最大振幅が生じる場合の評価が十分でない可能性がある。

本プロジェクトでは、南海トラフにおいて時間差を持って連動発生した場合を想定した津波の重ね合わせの影響をより詳しく考えるために、数十分の時間差を持った地震発生による沿岸津波高の変化を非線形長波モデルに基づき、1707年宝永東海・東南海・南海地震の断層モデル（安中ほか、2003）<sup>26)</sup>を用いて検討した。ここでは図13に示す東海・東南海・南海地震の同時発生時の津波シミュレーションに加えて、Hori et al. (2004)<sup>27)</sup>による南海トラフ巨大地震発生サイクルシミュレーションの結果を参考にして、東南海地震が最初に発生し、引き続いて東海地震と南海地震が60分以内に発生するシナリオを想定したシミュレーションを実施した。東海地震の震源域と南海地震での東西2つの震源域が東南海地震の震源域より遅れて破壊する場合の沿岸の波高を評価したところ、南海地震の東側と西側の2つの震源域がそれぞれ15分と28分、そして東海地震が21分の遅れで発生した場合に、沿岸全体での波高増幅の影響が最大になることがわかった。この時の沿岸全体の平均津波増幅率  $K$  (Aida, 1978)<sup>28)</sup>は、南海地震、東南海地震、東海地震が同時発生した場合に比べて1.13倍となる。

同時発生の場合（黒線）と波高増幅の影響が最大となる場合（赤線）について、日向灘～駿河湾にかけての最大津波波高を比較した（図14）。また、大分県佐伯市、高知県須崎市、三重県熊野市、静岡県下田市での波高時刻歴を図15示す。

日向灘や豊後水道の沿岸（図14、Coast 1）では、南海、東南海、東海地震の時間差発生による津波の重ね合わせの影響により、最大波高が最大1.4倍に増幅することがわかる。この地域では、震源距離が大きく東海地震や東南海地震による津波の影響は小さいが、南海地

震の東側と西側の 2 つの震源域の破壊の時間差発生による影響を強く受ける。土佐湾、紀伊水道の沿岸（図 14、Coast 2）では、南海地震と東南海地震の津波がほぼ同じ振幅で到来し、時間差発生の場合の最大波高は同時発生の場合の約 1.2 倍である。高知県の須崎市や海部郡周辺の沿岸では局所的ではあるが時間差発生にて最大波高が約 2 倍大きくなる場所もある。

東南海地震の震源域に近い熊野灘や伊勢湾の沿岸（図 14、Coast 3）では、熊野市の波高時刻歴に見られるように、最大波高は東南海地震に最も起因し、東海地震や南海地震による津波の影響は小さく、時間差発生の場合の最大波高は同時発生の場合と同程度か、逆に津波の打ち消し合いにより若干低下する傾向にある。また、遠州灘西部では、ここで考えた時間差発生では最大波高が平均 0.76 倍に低下する。

東海地震の震源域に近い遠州灘東部や駿河湾の沿岸（図 14、Coast 4）では、下田市の波高時刻歴に見られるように、東南海地震による津波と遅れて発生する東海地震による津波の重ね合わせにより最大波高が約 1.2 倍程度增幅する。御前崎周辺や伊豆半島西岸では 2 倍以上增幅する場所もある。相模湾沿岸より東側の地点では時間差発生による增幅は小さい（平均 1.1 倍程度）。

このように、十数分～數十分の時間遅れを持って南海、東南海、東海地震が連動発生した場合には、津波の重ね合わせによる増幅に十分注意が必要であることが再確認できた。巨大地震の時間差連動発生は、地震と津波防災や災害応急対応の計画を考える上で重要である。

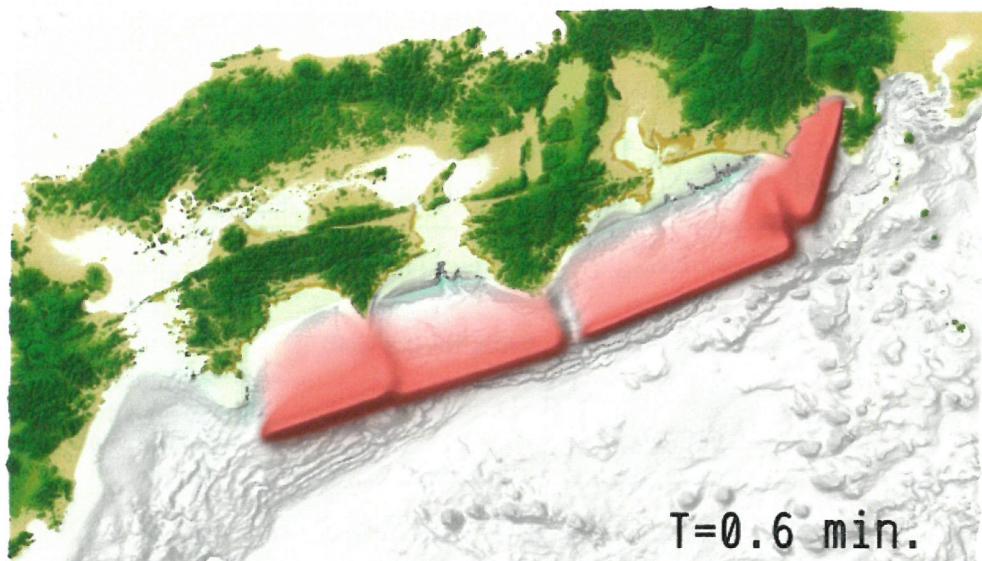


図 13 南海・東南海・東海地震の連動同時発生による津波発生伝播シミュレーション。地震発生直後（36 秒後）の初期津波波高分布（赤は上昇、青は沈降を表す）。

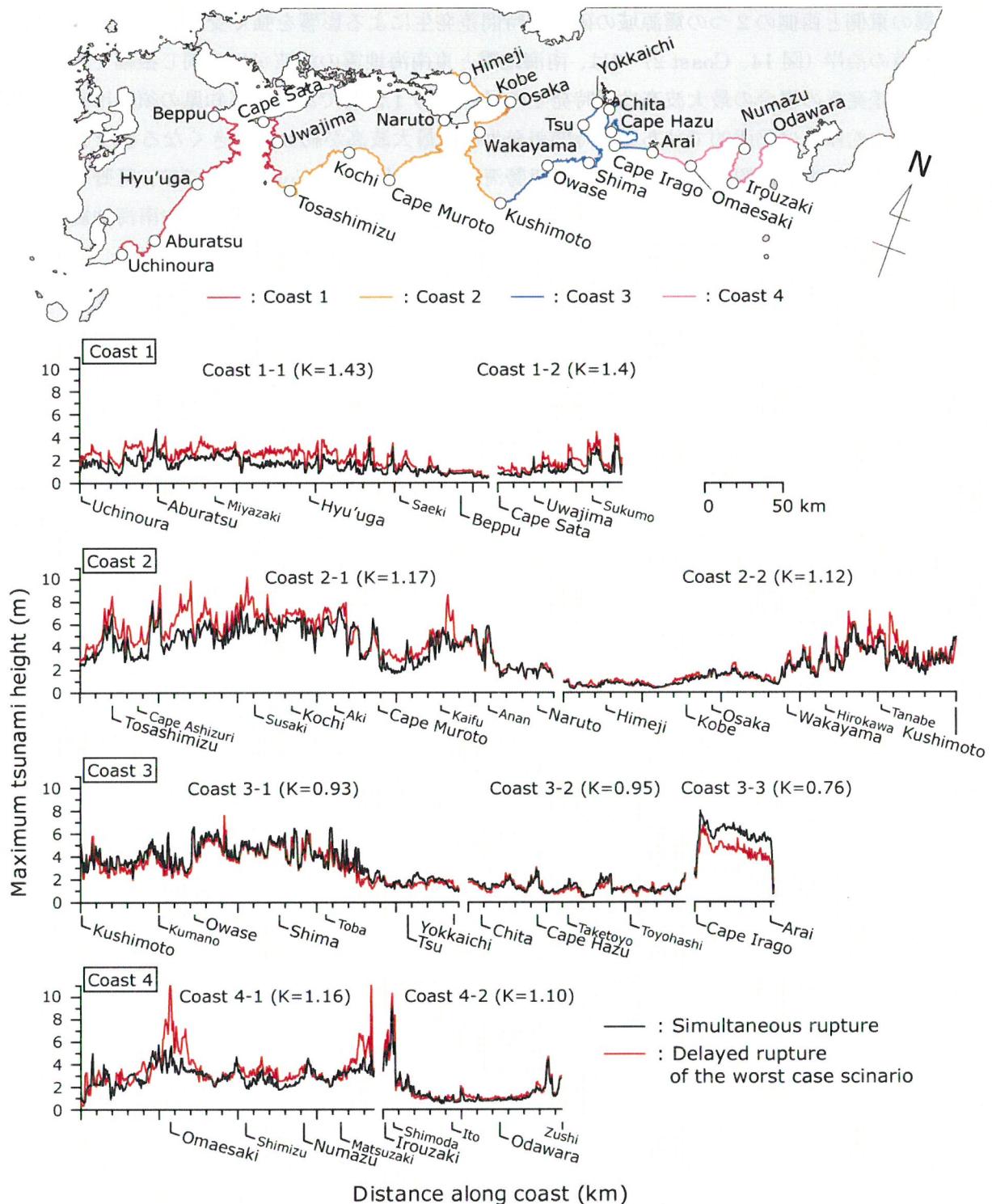


図 14 南海・東南海・東海地震の同時発生の場合（黒線）と、時間差発生の場合（赤線）の最大津波波高の違い。九州～四国～紀伊半島～東海地域の海岸線の最大津波高の比較。

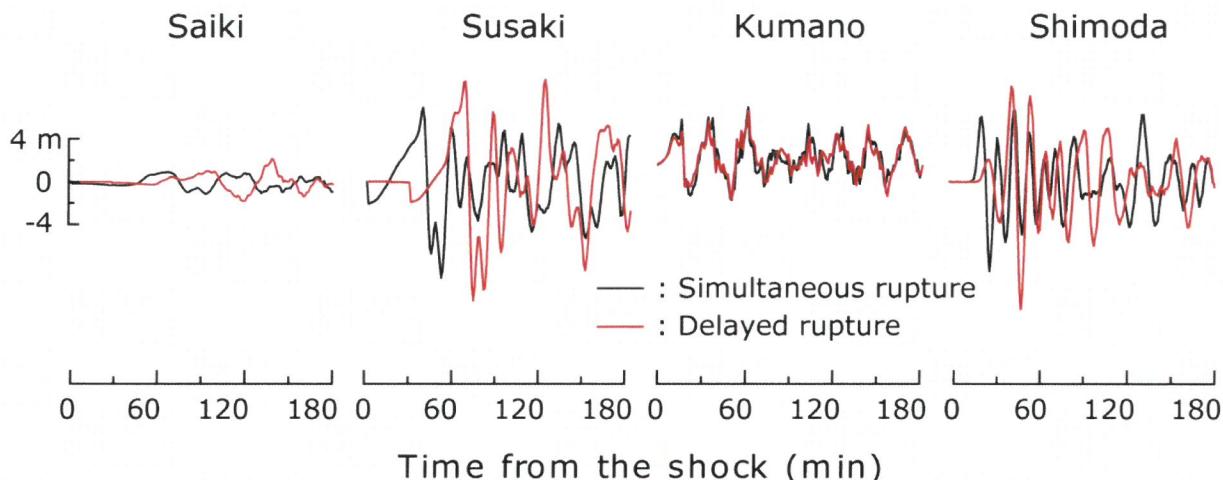


図 15 南海・東南海・東海地震の同時発生の場合（黒線）と、時間差発生の場合（赤線）の津波の違い。佐伯市（大分県）、須崎市（高知県）、熊野市（三重県）、下田市（静岡県）の津波波高の時刻歴を示す。

## 2) スーパーコンピュータによる大規模並列計算コードの開発

南海トラフの連動型巨大地震を考慮した、大規模な領域での強震動・津波シミュレーションの実用化のために、海洋研究開発機構の地球シミュレータと、東京大学情報基盤センターのT2K オープンスパコンでの計算コードの性能評価と、約 5,000CPU を用いた超並列計算のためのコードの最適化（チューニング）作業を行った。

これまで 20 年間に、世界の高速計算機の演算性能は 10 年あたり 1,000 倍の割合で急速に成長してきたが、この背景には演算装置（CPU）の高速化技術の進展とともに、CPU を多数用いて計算を分担する並列計算技術の進歩がある。

地震動計算と津波計算で用いられる差分法による計算の並列化は、3 次元の計算領域を水平・鉛直方向に空間分割し、小領域を多数の CPU に割り当てるこにより行なわれる。各 CPU では与えられた領域の計算を独立に進め、逐次、隣接する領域空間とデータ交換を行う。CPU 数が少ない場合では、演算速度は CPU 数に比例して直線的に加速するが、CPU 数が増えるにつれて、データ交換時の通信負荷が無視できなくなり、その加速は頭打ちになるため、データ交換時の通信の効率化が大規模並列計算の鍵となる。

加えて、CPU 自体の演算速度の向上も重要な課題である。世界のスーパーコンピュータは、現在、（独）海洋研究開発機構の地球シミュレータに代表される、「ベクトル型」と呼ばれるタイプと、たとえば東京大学情報基盤センターの T2K オープンスパコンのような「スカラ型」と呼ばれる 2 つのタイプに区別できる。この 2 種類のスーパーコンピュータを対象に強震動・津波シミュレーションコードの性能評価とコードチューニングを行った。

### a) 強震動シミュレーションコードの性能評価と最適化

これまでに開発した地震波伝播並列計算コード（Seism3D; Furumura and Chen, 2004)<sup>21)</sup>では、領域分割の方向を鉛直 1 方向のみであったため、並列計算のための最大分割数は百数

十程度に制限された。そこで、本プロジェクトで開発した強震動シミュレーションのための超並列計算コード（Seism3D3）では、3次元の計算領域を水平2方向と鉛直方向の3つに分割することにより、並列最大領域分割数を数千～数万までに拡大した。また、隣接領域間のデータ通信が、従来の2回（鉛直2方向）から、6回（鉛直・水平6方向）に増加するため、従来の同期通信方式から非同期通信方式へとデータ通信手順の変更を行ない、通信の効率化を図った。

ベクトル型計算機では、差分法計算の繰り返し処理を一纏めに実行することができ、高い演算性能が発揮される。ベクトル計算機の高い性能を引き出すためには、計算コードをなるべく単純化すること、繰り返しの回数（ベクトル長）をなるべく増やすことが必要である。そこで、本プロジェクトで開発した計算コードでは、水平2方向についての差分法による演算での繰り返しループを結合するなど、ベクトル計算機向けに計算コードの最適化を行った。この結果、ベクトル化率を従来の99.95%から99.97%にまで高めることができ、計算速度が約2倍となる高速化が実現できた。

図16にベクトル計算機である地球シミュレータで実施した、大規模（1,700億格子モデル）モデルに対する強震動シミュレーションコードの計算性能を示す。同図には、1,024CPUと2,048CPUを用いた並列計算についての演算速度（FLOPS値）を測定し、アムダールの法則を用いて10万CPUまでの並列計算の演算速度を推定した。この結果、地球シミュレータによる計算コードの並列化率（計算全体に占める並列化可能部分）は0.999949となり、そして18,442CPUまでは50%以上の並列化効率（CPU数の50%以上の速度向上率）が期待できることが確認できた。また、本計算で得られた地球シミュレータの実効性能は、その理論性能（8GFLOPS/CPU）の49.2%に相当することが確認できた。

また、スカラー型並列計算機であるT2Kオープンスパコンにも強震動シミュレーションコードを実装した。スカラー型計算機では、高速CPUを用いた演算が進められるが、データ記憶装置（メモリ）のデータの読み書きがCPU速度より数十倍遅い問題がある。このため、小容量ではあるがCPUと同程度に高速なキャッシュメモリが用意され、メモリのデータを一時的に蓄える機能が備えられている。大規模強震動シミュレーションでは、このキャッシュメモリを効率よく利用できるようなコードのチューニングが必要になる。

そこで、強震動シミュレーションコードをスカラー型計算機用に、メモリの繰り返し（間接）参照を減らすなど、演算過程でCPUがメモリのデータを参照する回数を減らす工夫や、キャッシュメモリを効率よく利用できるよう、繰り返し演算のループを複数に分割する工夫を行った。その結果、所期と比較し、4倍の高速化を達成した。図16にT2Kオープンスパコンでの性能を示す。先に述べた並列計算効率の評価では、並列化率が0.999937、そして15,870CPUまでは50%以上の並列化効率が得られることが確認できた。

なお、T2Kオープンスパコンにおける強震動シミュレーションでの実効性能は、理論性能（9.2 GFLOPS/core）の8.1%であった。スカラー型計算機では前述のコード最適化を行っても、高いCPU性能を引き出すことは難しい。現時点では、スカラー計算機を用いて地球シミュレータと同等の性能を引き出すためには6倍のCPU数を用いる必要がある。スカラー型並列計算機による大規模計算の実用化のために、ループの最適分割（ブロック化）の工夫など、

キャッシュメモリの効果的利用による高速化を今後継続的に進める必要がある。

### b) 津波シミュレーションコードの最適化

津波の大規模並列計算の実現に向けて、従来の並列津波計算コード (SOLA3D; Saito and Furumura, 2009)<sup>7)</sup> の領域分割を、水平 1 方向から水平 2 方向に増やす改良を行った (SOLA3D2)。なお、津波計算では、鉛直方向の格子数 (数十～数百程度) は水平 2 方向 (数百～数千程度) に比べ十分小さく、鉛直方向の領域分割は必要ない。

これまで、Navier-Stokes 式を有限差分法で解く際には SOLA 法を用いており、未知数である圧力値が流体の連続式を満たすように繰り返し収束演算から求める必要があった。このときの繰り返し計算では、演算に関わる隣接変数間に強い依存関係が存在し、繰り返し計算をベクトル計算により高速に実行することができなかった (Saito and Furumura 2009)<sup>7)</sup>。そこで、本プロジェクトでは、収束計算を 3 次元領域に対して「飛び飛び」に行うことにより、隣接変数間の依存関係を解消してベクトル計算を可能にする工夫する Black/Red 法を採用してこの問題を解決した。これにより、13.3 倍の高速化が得られた。

地球シミュレータにおける並列計算の効率を調べるために、128 CPU と 256 CPU を用いて演算速度を実測し、アムダールの法則に基づいて 10,000 CPU までの並列演算性能を推定した (図 17)。本計算から、並列化効率は 0.99980 と見積もられ、5,070CPU まで並列化効率 50% の性能を維持できることが確認できた。また、本計算における CPU の実効性能は、地球シミュレータの理論性能の 19.5% であった。今後、コードチューニングを進め、ベクトル演算の効率を一層高める必要がある。

次に、スカラー型 CPU に対応したコードチューニングを行った。メモリの間接参照の排除やループの再分割などを行い、キャッシュメモリの効率利用を図った。この結果、従来の津波伝播計算コードに比べて 1.4 倍の高速化が実現した。測定された並列化率は 0.99950、そして並列化効率 50% の性能が 1,982CPU まで維持することが確認できた。ただし、実効性能は T2K オープンスペコンの理論性能の 4.3% に過ぎず、演算性能を引き出すためのコードチューニングを今後継続して進める必要がある。

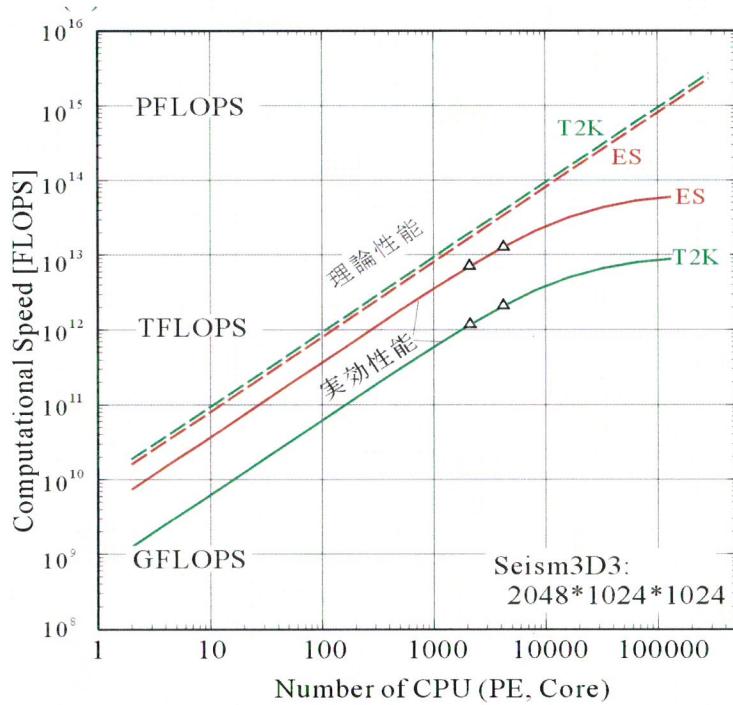


図 16 強震動シミュレーションコードの演算速度の地球シミュレータ(ES)と T2K オープンスパコン (T2K) での比較。2048 core (PE) 計算と 4096 core (PE) 計算による実効性能の実測値 ( $\Delta$ ) と、これを用いた並列計算の演算速度の推定値 (実線)。点線は、T2K と ES の理論性能を表す。

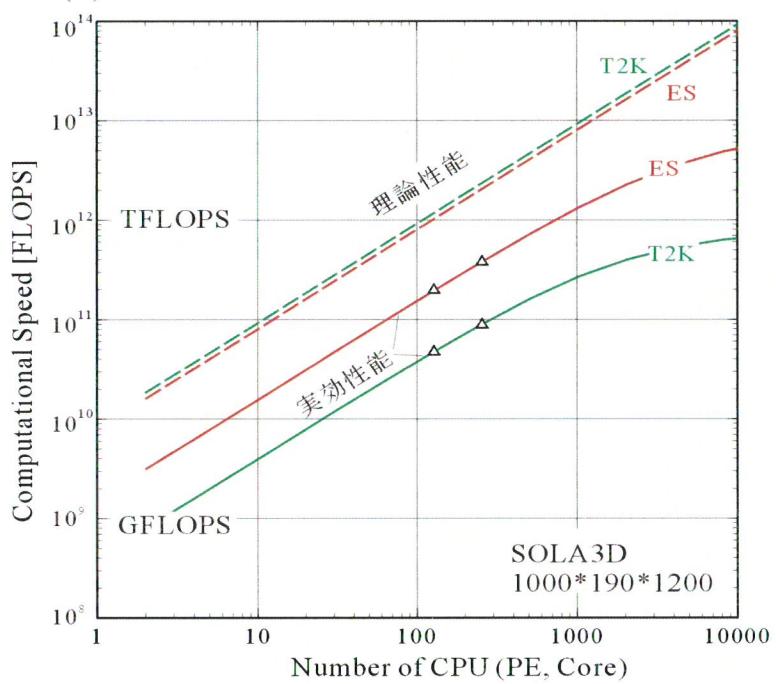


図 17 津波シミュレーションコードの地球シミュレータ(ES)と T2K オープンスパコン (T2K) での演算速度の比較。128 core (PE) 計算と 256 core (PE) 計算による実効性能の実測値 ( $\Delta$ ) と、これに基づく並列計算の演算速度の推定 (実線)。点線は、T2K と ES の理論性能を表す。

### (c) 結論ならびに今後の課題

周期 0.3～20 秒の広帯域強震動及び地殻変動、そして津波発生・伝播を連成して高精度に評価するための、広帯域強震動－津波シミュレーションモデルを整備し、東南海地震、南海地震、東海地震の連動発生を想定した強震動と津波の高精度予測のための計算環境の準備を進めた。強震動・津波シミュレーションの有効性を確認するために、1944 年東南海地震による強震動、地殻変動、津波のシミュレーションを行い、周期 2 秒以上の成分について、観測記録との比較を行ったほか、従来の簡便な地殻変動および津波計算法の結果との比較を行った。今後、周期 1 秒以下の短周期強震動シミュレーションを実施し、2004 年紀伊半島南東沖地震など、近年の地震の高密度地震観測波形とシミュレーション結果との綿密な比較を行い、広帯域強震動シミュレーションモデルの波形再現能力を確認する。

「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」等により構築された、陸域地下構造・堆積平野構造モデルと、海域構造探査モデルとを結合した、分解能 1km 以下の高分解能陸域・海域地下構造モデルを整備し、広帯域強震動－津波シミュレーションの実効環境を整備した。津波シミュレーションから求められた沿岸津波をもとに、津波遡上シミュレーションへと接続するために、海岸線形状の高精度モデル化を今後さらに進める必要がある。津波シミュレーションの精度の確認のために、湾内のモデル化が必要である。

不均質な地下構造・震源破壊様式モデルを用いた強震動・津波シミュレーションを、地球シミュレータ等のスーパーコンピュータによる大規模並列計算により高い効率で実効することのできる、超並列計算コードを開発し、地球シミュレータでの約 18,000CPU までを利用する際の並列計算の効率化に成功した。これにより、現行の 10 倍以上の規模の地震動シミュレーションの実用化に目処が得られた。また、津波計算では、地球シミュレータの約 5,000CPU を用いた並列計算の目処が得られた。一方、地球シミュレータと同等の CPU 理論性能を持つ T2K オープンスパコンでは、地球シミュレータの 1/6 程度の実効性能しか得られておらず、今後性能を引き出すためのコードチューニングを継続して進める。

2011 年末の運用開始に向けて建設が進められている「次世代スーパーコンピュータ（京速計算機）」の理論性能は 10PFLOPS 以上となることから、現行の地球シミュレータ(40TFLOPS) や T2K オープンスパコン (140TFLOPS) の約 70～250 倍以上の高い性能が期待される。次世代スーパーコンピュータにより、たとえば現行の 4 倍（計算量は 256 倍）の計算サイズ、あるいは 4 倍の高周波数までの強震動シミュレーションが実現可能になるほか、分解能を 1/4 に高精度化した海底地形モデルを用いた津波シミュレーションが可能となる。

地球シミュレータを用いる現状の強震動シミュレーションでは、対象とする地震動は周期 1 ～ 2 秒以上の長周期地震動に限られる。次世代スーパーコンピュータでは、超高層ビル等の長周期構造物から、木造家屋等の短周期構造物を含む、多様な現代構造物に対応した、広帯域（周期 0.25～0.5 秒以上）の強震動シミュレーションが十分可能になる。また、津波シミュレーションでは、精度の向上に加えて、津波予測と警報の時間を現状の数十分の 1 以下の（1 分以内）にまで短縮される。このような次世代の高精度・広帯域強震動シミュレーションと、高精度・高速津波シミュレーションの実現は、東海・東南海・南海地震とその連動発生に向けた被害軽減に向けた鍵を握っている。

(d) 引用文献

- 1) 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所・独立行政法人防災科学技術研究所：大都市大震災軽減化特別プロジェクト I 地震動（強い揺れ）の予測「大都市圏地殻構造調査研究」平成 14 年度成果報告書、593pp、2003.
- 2) 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所・独立行政法人防災科学技術研究所：大都市大震災軽減化特別プロジェクト I 地震動（強い揺れ）の予測「大都市圏地殻構造調査研究」平成 15 年度成果報告書、833pp、2004.
- 3) 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所・独立行政法人防災科学技術研究所：大都市大震災軽減化特別プロジェクト I 地震動（強い揺れ）の予測「大都市圏地殻構造調査研究」平成 16 年度成果報告書、794pp、2005.
- 4) 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所・独立行政法人防災科学技術研究所：大都市大震災軽減化特別プロジェクト I 地震動（強い揺れ）の予測「大都市圏地殻構造調査研究」平成 17 年度成果報告書、754pp、2006.
- 5) 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所・独立行政法人防災科学技術研究所：大都市大震災軽減化特別プロジェクト I 地震動（強い揺れ）の予測「大都市圏地殻構造調査研究」平成 18 年度成果報告書、822pp、2007.
- 6) Furumura, T. and T. Saito: An integrated simulation of ground motion and tsunami for the 1944 Tonankai earthquake using high-performance super computers, Journal of Disaster Research, 7, 2009, in press.
- 7) Saito, T. and T. Furumura: Three-dimensional simulation of tsunami generation and propagation: Application to intraplate events, J. Geophys. Res., 114, B02307, doi:10.1029/2007JB005523, 2009.
- 8) Manshianha, L. and D. Smylie: The displacement fields of inclined faults, Bull. Seism. Soc. Am., 61, pp. 1433-1440, 1971.
- 9) Okada, Y.: Surface deformation due to shear and tensile faults in a half space, Bull. Seismol. Soc. Am., 75, pp. 1135-1154, 1985.
- 10) 田中康久・三宅弘恵・纒纒一起・古村孝志・早川俊彦・馬場俊孝・鈴木晴彦・増田 徹：首都圏下の速度構造の大大特統合モデル(2), 日本地球惑星科学連合大会講演予稿集, S116-P014, 2006.
- 11) 馬場俊孝・伊藤亜妃・金田義行・早川俊彦・古村孝志：制御地震探査結果から構築した日本周辺海域下の 3 次元地震波速度構造モデル, 日本地球惑星科学連合大会講演予稿集, S111-006, 2006.
- 12) 領木邦浩：西南日本の 3 次元深部構造と広域重力異常, 地震 第 2 輯, 52, pp. 51-63, 1999.
- 13) Kennett, B.L.N., E. R. Engdahl and R. Buland: Constraints on seismic velocities in the Earth from travel times, Geophys. J. Int., 122, pp. 108-124, 1995.
- 14) Takahashi, N., S. Kodaira, A. Nakanishi, J.-O. Park, S. Miura, T. Tsuru, Y. Kaneda, K. Suehiro and H. Kinoshita: Seismic structure of western end of the Nankai trough seismogenic zone, J. Geophys. Res., 107, doi:10.1029/2000JB000121, 2002.

- 15) Christenson, N. I.: Poisson's ratio and crustal seismology, *J. Geophys. Res.*, 101, pp. 3039-3156, 1996.
- 16) Hayakawa, T., T. Furumura and Y. Yamanaka: Simulation of strong ground motions caused by the 2004 off the Kii Peninsula earthquakes, *Earth Planets Space*, 57, pp. 191-196, 2005.
- 17) 中央防災会議：東南海・南海地震等に関する専門調査会，  
[www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/index\\_nankai.html](http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/index_nankai.html) (参照 2009-3-31), 2003.
- 18) 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, 52pp, 1982.
- 19) 鳴原良典・藤間功司：非構造格子を利用した新しい津波数値計算のネスティング手法, 日本土木学会第 63 回年次講演会 講演概要集 (CD-ROM), 2008.
- 20) 山中佳子：気象庁強震記録による 1946 年南海地震 (M8.0) と 1964 年新潟地震 (M7.5) の震源過程, 日本地震学会 2001 年秋季大会講演予稿, C57, 2001.
- 21) Furumura, T. and L. Chen : Large-scale parallel simulation and visualization of 3D seismic wavefield using the Earth Simulator, *Computer Method and Engineering Sciences*, 6, pp. 153-168, 2004.
- 22) 橋本徹夫・菊地正幸： 地震記象から見た 1946 年南海地震の震源過程, 地学雑誌, 111, pp. 118-125, 2001.
- 23) 古村孝志・中村操: 1944 年東南海地震記録の復元と関東の長周期地震動, 物理探査, 59, 4, pp. 337-351, 2006.
- 24) Kajiura, K.: The leading wave of a tsunami, *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 41, pp. 545-571, 1963.
- 25) 河田惠昭・鈴木進吾・高橋智幸：東海・東南海・南海地震の発生特性による広域津波の変化, 海岸工学論文集, 50, pp.326-330, 2003.
- 26) 安中正・稻垣和男・田中寛好・柳沢賢：津波シミュレーションに基づく南海トラフ沿いの大地震の特徴, 土木学会地震工学論文集 (CD-ROM), 2003.
- 27) Hori, T., N. Kato, K. Hirahara, T. Baba, and Y. Kaneda : A numerical simulation of earthquake cycles along the Nankai trough, southwest Japan: Lateral variation in frictional property due to the slab geometry controls the nucleation position, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 228, pp. 215-226, 2004.
- 28) Aida, I.: Reliability of a tsunami source model derived from fault parameters, *J. Phys. Earth*, 26, pp. 57-73, 1978.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 (学会等名)	発表時期	国際・国内の別
New research project for the next Nankai trough mega thrust earthquakes - Disaster mitigation research- (口頭発表)	Furumura, T.	2008 SSJ and ASC joint meeting	2008年11月 26日	国際
Amplification of tsunami heights by delayed rupture of great earthquakes along the Nankai trough(口頭発表)	Imai, K., K. Satake, and T. Furumura	2008 SSJ and ASC joint meeting	2008年11月 25日	国際
Amplification of Tsunami heights by delayed rupture of great earthquake along the Nankai trough(口頭発表)	Imai, K., K. Satake, and T. Furumura	AGU Fall Meeting 2008	2008年12月 15日	国際

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 (雑誌等名)	発表時期	国際・国内の別
An integrated simulation of ground motion and tsunami for the 1944 Tonankai earthquake using high-performance super computers	Furumura, T. and T. Saito	Journal of Disaster Research	Vol.4, No.2 pp118-126. 2009,	国際
南海トラフ連動型巨大地震による地震動と津波の予測	古村孝志・今井健太郎・齊藤竜彦	月刊地球	pp.300-308, 2009,	国内
Amplification of tsunami heights by delayed rupture of great earthquakes along the Nankai trough	Imai, K., K. Satake, and T. Furumura,	Earth, Planets and Space	2009, 投稿中	国際

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果 (記事タイトル)	対応者氏名	報道・掲載機関 (新聞名・TV名)	発表時期	国際・国内の別
大都市の長周期地震動	古村孝志	読売新聞	2009年1月 25日	国内
地震「東海、東南海」後に 「南海」なら四国西岸津波 被害大きく	今井健太郎・ 佐竹健治・古 村孝志	日本経済新聞	2008年11月 29日	国内
南海トラフ巨大地震特別 番組	古村孝志	中部日本放送	2008年8月30 日	国内

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

名称	機能
大規模並列強震動シミュ レーションコード (Seism3D3)	3次元不均質場での地震波伝播と広帯域強震動、および地震地殻 変動を3次元運動方程式の差分法計算により評価する。地球シ ミュレータおよびT2Kスパコン上で、それぞれ15,000CPUと 18,000CPU以上の大規模並列計算が実行可能。
大規模並列津波シミュレ ーションコード (SOLA-3D2)	不均質な海底地形における津波の発生と伝播を非圧縮性流体を 記述する3次元Navier-Stokes式の差分法計算により評価する。 地球シミュレータおよびT2Kスパコン上で、それぞれ5,000CPU と1,900CPU以上の大規模並列計算が実行可能。

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成21年度業務計画案

地球シミュレータ等を利用して、1707年宝永地震、1854年安政東海・南海地震、1944年昭和東南海地震、1946年南海地震について、地震動と津波を再現し、これら過去の南海トラフ地震の全貌を明らかにする。計算結果と、津波波高や震度分布の史料との比較から、これらの南海トラフ地震の震源破壊様式（地震規模、破壊開始点、破壊の進行方向、断層面の滑りの分布）とその

不均質性を明らかにする。こうして求められた震源破壊様式の知見を、サブプロジェクト①のサブテーマ(2)「物理モデル構築及び地震発生シミュレーション研究」での過去の南海トラフ地震の発生シミュレーションに活かす。また、本シミュレーションから得られる地震地殻変動と外洋津波の計算結果を、本サブプロジェクトのサブテーマ(2)「津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」における津波の河川への遡上と浸水による被害を高精度に推定するための連成計算での前提条件とする。

### 3. 2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定

#### (1) 業務の内容

##### (a) 業務の目的

本サブテーマでは、先のサブテーマの強震動・津波シミュレーションから得られた地震・津波シナリオをもとに、河川を含む沿岸域での津波の遡上過程と浸水を高精度に予測する。ここでは、詳細な地形特性、陸上での土地利用、潮汐、地球温暖化による真の海面変動など、現在および10~30年後に予想される現実的な津波遡上への影響を取り入れる。これらの結果を利用して、津波被害の予測と人的被害の軽減のための情報を作成し、被害形態も考慮した沿岸部でのハザードマップ作成の検討を行う。ここで作成するハザードマップでは、大地震の強震動による被害、大津波の到来、そして内陸部への浸水が起きる過程に対して時間を追って示すとともに、津波遡上と浸水を、高分解能航空写真や重ね書きしたり GIS を用いるなどの工夫によりて、大地震による津波の脅威を良く理解できるようなリアルなアニメーションの作成を目指す。以上の結果を基盤とした、ハザード・リスクや復旧・復興のための情報マップを活用した人的被害軽減戦略の作成プログラムを提案する。

##### (b) 平成20年度業務目的

尾鷲市などの評価対象領域での高精度予測モデル構築に必要な沖合・浅海・陸上での地形データ、粗度データを収集・作成するとともに、津波被害の評価に必要な土地利用・社会インフラデータや地域データ（人口、住民年齢構成など）を収集し、計算条件データベースを整備する。また、本プロジェクトのサブテーマ(1)「運動型巨大地震による強震動の高精度予測」により求められた、海底地殻変動と波源域から沿岸まで伝わる津波シミュレーションの結果を受けて、平成21年度以降、海岸線への浸水と河川への遡上の津波を高精度に評価するために、サブテーマ(1)の津波シミュレーションコードと連成してデータ受け渡しするための計算コード（以下、連成計算コードという）の整備を行う。

##### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究中心	教授	今村 文彦	imamura@tsunami2.civil.tohoku.ac.jp
東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究中心	准教授	越村 俊一	
東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究中心	助教	後藤 和久	

## (2) 平成20年度の成果

### (a) 業務の要約

政府の中央防災会議などが整備したデータに加え、国土地理院のデータ、各自治体（尾鷲市、鳥羽市、高知市）での整備データを収集・整理し、連成計算コードの開発と計算条件データベースの整備を進めた。沿岸域を細かな（最小50m）メッシュにて計算できるデータとコードを開発し、試計算を行った。計算条件データベースについては、まだ未入手の情報があるので来年度も継続して進める予定である。

### (b) 業務の成果

#### 1) 連成計算コード整備と計算条件データベースの検討

中央防災会議などが整備したデータに加え、国土地理院のデータ、各自治体（尾鷲市、鳥羽市、高知市）での整備データを収集・整理し、連成計算コードの開発と計算条件データベースの整備を進めた。沿岸域を細かな（最小50m）メッシュにて計算できるデータの整備と計算コードを開発し、試計算を行った。計算条件データベースについては、まだデータ未入手の情報があるので、今後も継続して進めていく。

##### a) 南海・南海での地形データ作成

中央防災会議東海・東南海地震等に関する専門調査会<sup>1)</sup>では日本の太平洋側の地形・粗度・堤防を50mメッシュでほぼ全域にて整備し、想定地震に対する津波シミュレーションを実施済みである。これらのデータはすでに公開されており今回の業務では旧日本測地系から世界測地系へ変換したデータを整備した。また次年度以降、より詳細なメッシュで津波解析を実施予定であることから、対象領域のデータ作成に必要な資料等の収集もあわせて行った。

活用した公開データの概略を以下に示す。

- ・地形データ（水深および標高のデータ、1350m、450m、150m、50mメッシュにて）
- ・粗度データ（Manningの粗度係数のデータ、地形データと同サイズのメッシュにて）
- ・堤防データ（堤防の配置と高さを与えるデータ、50mメッシュにてのみ）

##### b) 中央防災会議の公開データの変換

中央防災会議による公開データは旧日本測地系UTM座標第53帶で作成されている。詳細領域作成に必要な各種図面およびデータは世界測地系で平面直角座標を用いたものが多くなっている。このことから解析結果を可視化して各種図面に重ね合わせが容易であるように、世界測地系平面直角座標に変換した。変換作業は以下の手順で行なった。

- ① 測地系変換：旧日本測地系→世界測地系（国土地理院TKY2JGD（座標変換パラメータファイルVer2.1.1）を使用）
- ② 座標系変換：UTM座標→平面直角座標
  - ・高知県側を対象とした計算ではUTM53帶→平面直角座標第4系
  - ・三重県側を対象とした計算ではUTM53帶→平面直角座標第6系

今年度は中央防災会議の公開データに変更を加えず50mメッシュより粗いメッシュによ

る津波遡上シミュレーションを実施した。但し、防潮堤や排水施設等が無い地形に対して満潮位と地震による地盤変動を計算条件として与えるため、津波が到達する前に浸水する場所が予想される。そのため、本プロジェクトの津波遡上シミュレーション結果の妥当性を判断する材料として、次の通り中央防災会議による公開データの内容をあらかじめ整理しておいた。すなわち、陸上の標高データや海岸線形状については、国土地理院数値地図 50m メッシュ標高データは経緯度を基準にメッシュの大きさを定義しており、厳密な 50m 四辺の大きさをもったメッシュデータではないため、中央防災会議の結果と比較する際には、メッシュデータ規格に合わせる変換を行うこととした。中央防災会議による地形データの例を図 1 に示す。なお、推定浸水範囲は設定満潮位以下の標高の場所について水色で塗りつぶした。各地域の満潮位と地盤高の関係として、防潮堤や排水施設を考慮しない条件で各地域に満潮位を与えた場合には、浸水恐れがあるので解析の際に注意が必要である。



図 1 鳥羽市 50m メッシュ領域に満潮位 T.P. 1.23m を与えた場合の浸水範囲。海岸線沿いに青色に塗られたところが、想定浸水域。

## 2) 津波解析用地域データ作成のための資料収集

計算最小領域の一部では既に航空レーザー測量による高精度標高データが取得されており、これらのデータを活用できれば精度の高い詳細メッシュデータ作成が可能となる。但し、海域や河川などの水域部は欠測となっているため、深浅測量データ、海図、河川台帳図、河川横断図等の資料から欠測値の補完が必要となる。また、これらの詳細メッシュデータを既に整備済みの地域がある場合は再利用を検討することも考える。現時点での資料収集状況は以下のとおりである。

鳥羽市： 三重県県土整備部に資料提供打診中。国土地理院では当該地域の航空レーザー測量データを取得済みであるので、「海岸における 3D 電子地図」の提供に関する要領（平成 20 年 11 月 7 日制定）に基づき、データ入手を申請中。

尾鷲市： 三重県県土整備部に資料提供打診中。国土地理院では当該地域の航空レーザー測量データを取得済みであるので、データ入手のための申請を準備中。

高知市： 高知市総務部危機管理室より、平成 16 年度危管第 1 号高知県津波防災アセスメント補完調査委託業務報告書、水收支エリア別写真、津波波形と流速ベクトル、構造物の位置図、水門・樋門・陸閘の諸元調査票、港湾・漁港施設における標高基準値の換算一覧表 pdf 版、津波浸水予測図（印刷物）、高知港湾計画図、深浅測量図を入手済み。  
国土地理院より数値地図 5m メッシュ（標高）高知を入手済み。

### 3) 津波遡上シミュレーションと CG の作成

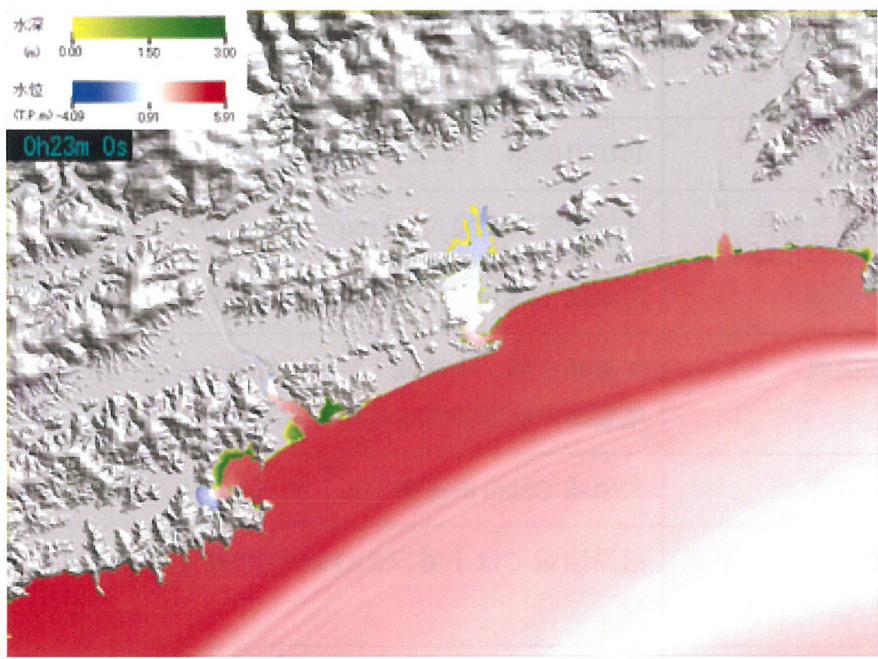
#### a) 津波遡上シミュレーション

津波遡上シミュレーションの試計算の対象として、1707 年東海・南海地震宝永地震（1707/10/28 発生）を掲げ、その断層パラメータは日本の地震断層パラメータ・ハンドブックの相田モデル<sup>2), 3)</sup>から定めた。その他の計算条件と合わせて表 1 に示す。また、津波の初期水位分布は地盤鉛直変動量を静水面（各地域の朔望平均満潮位）に加えたものとした。なお、本年度は、5 つの断层面が同時破壊する場合についてのみ実施した。各断層が時間差を伴って発生する場合については、今後実施する予定である。

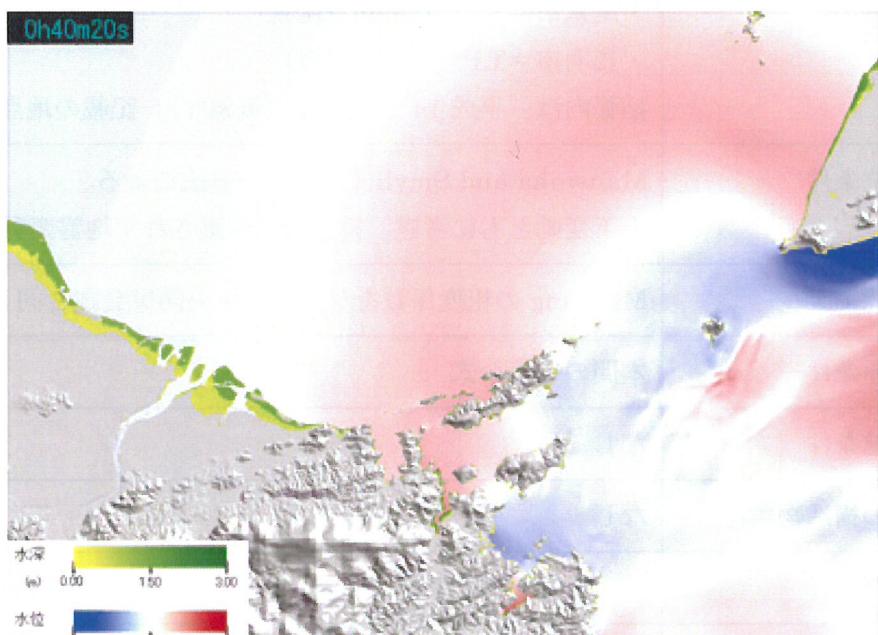
図 2 に最小領域（50m グリッド）における津波の来襲状況の例を示す。図中、(a)は高知市沿岸、(b)は鳥羽市沿岸を示す。

表1 津波遡上シミュレーションの計算条件

項目	内 容
地震断層モデル	1707/10/28 (宝永) 東海・南海地震 [相田モデル2]
基礎方程式と解法	非線形長波理論式、Leap-Frog 差分法 (東北大モデル)
計算格子間隔	大領域 1350m、中領域 450m、小領域 150m、沿岸領域 50m
計算時間間隔	大領域 2 秒、中領域 1 秒、小領域 0.5 秒、沿岸領域 0.5 秒 尾鷲市の沿岸領域は水深が 876m と深いことから 0.25 秒とした。
沖側境界条件	大領域では自由透過とし、他は水位と流量を接続。
陸側境界条件	沿岸領域では小谷ほか(1998) <sup>4)</sup> の遡上境界条件とし、他は完全反射。
潮位条件	各地の満潮位として、中央防災会議 <sup>1)</sup> と同じ値を用いた。 ・高知市=T.P. 0.91m (高知) ・尾鷲市=T.P. 0.82m (尾鷲) ・鳥羽市=T.P. 1.23m (津) 括弧内は「平成 14 年潮位表 (気象庁)」記載の地点名
地盤変位条件	Mansinha and Smylie(1971) <sup>5)</sup> の方法による。 上下変動とともに考慮。構造物は破壊されず地盤変動と連動する。
底面摩擦モデル	Manning の粗度係数を与える。中央防災会議と同じ値を用いた。
越流境界条件	本間の越流公式
河道流量条件	なし
堤防等の構造物条件	なし
計算時間	地震発生から 3 時間
計算格子の測地系	世界測地系
計算格子の座標系	高知県を対象とする場合：平面直角座標第 4 系 三重県を対象とする場合：平面直角座標第 6 系



(a)



(b)

図2 50m メッシュ領域での津波の来襲状況。(a)は地震発生から 23 分後の高知市沿岸、(b)は地震発生から約 40 分後の鳥羽市沿岸の水位および浸水している領域での水深を示す。

図3には、鳥羽市沿岸を対象とした津波到達時間をコンターにて示す。図中、津波到達時刻は地震発生から起算して海面の上下変動が±20cm のいずれかに達した早いほうの時刻とした。いずれの地域においても初期海面変動は引き初動（マイナス側に振れる）であり、地震発生とほぼ同時に海面低下の影響が起きる。ここでは海面が+20cm 上昇に達した場合の時間についても整理した。図4(b)には、同図(a)に示したP1~P6での水位時刻歴を示す。図から、P1~P6では、初動は押し波であるが、各地点の津波初動到達時刻は10分程度の時間差が生じることが判る。また、初動から1時間以上後に最大波が来襲することが確認できる。

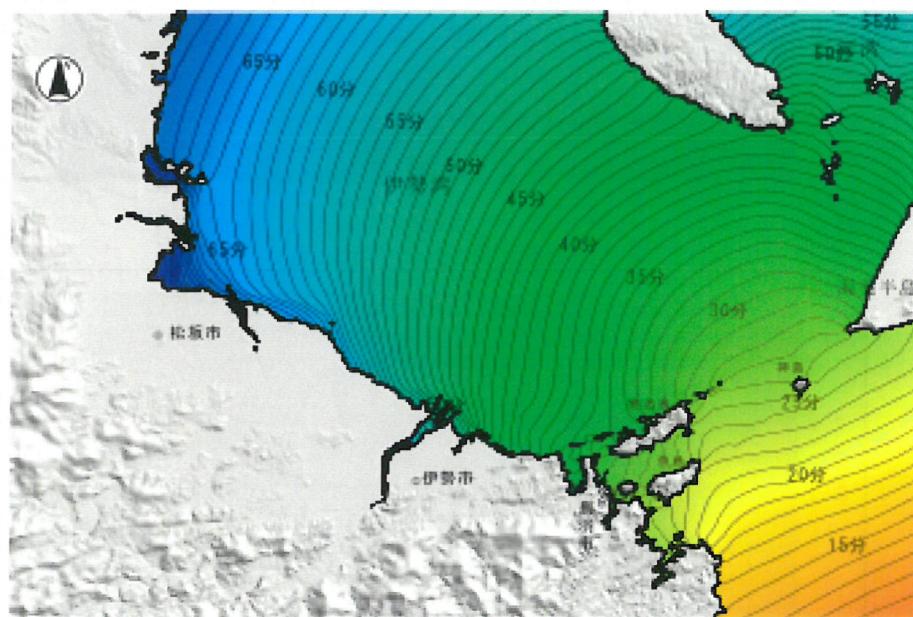
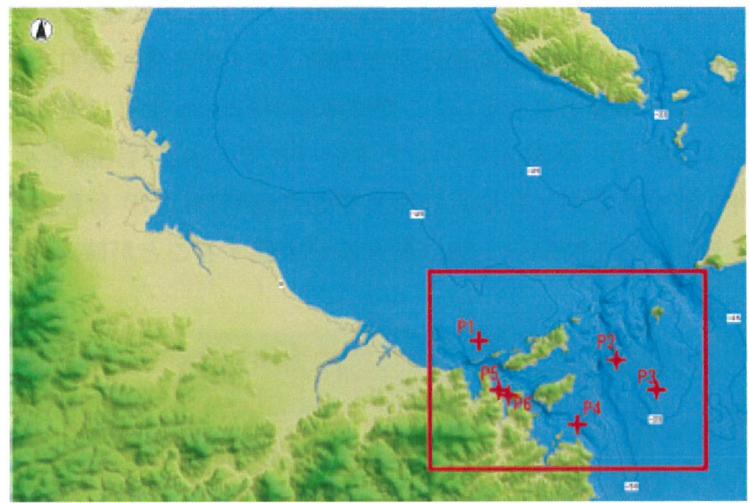
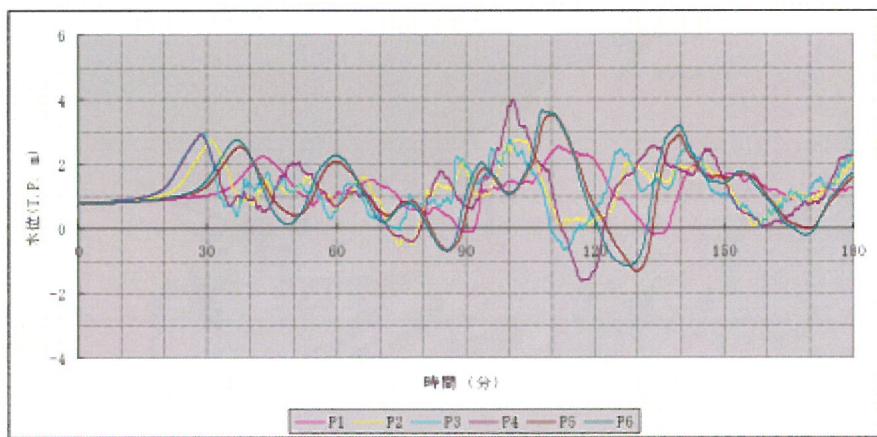


図3 鳥羽市沿岸を対象とした津波到達時間コンター。



(a)



(b)

図4 鳥羽市沿岸における津波水位時刻歴。(a)は表示点の位置、(b)は各表示点でに波高時刻歴を示す。

### b) 津波遡上シミュレーション CG の作成

前述の津波遡上シミュレーション結果を、人的被害軽減に効果的に役立てるように、津波の発生から伝播までを示す津波シミュレーション CG を開発した。この CG は、津波の発生から伝播までの過程を、全体領域から高知県沿岸領域へズームする視点と三重県沿岸領域へズームする視点の2種類の視点移動にて見て3次元映像として表現することができる。また、津波の色を半透明として海底地形が透けて見えるタイプと、津波の色を不透明のカラーグラデーションとするタイプを選択することができる。なお、津波波高は 4000 倍に引き伸ばして強調させる。

表2 津波シミュレーションCG仕様

津波シミュレーション計算時間	地震発生から3時間までを実時間の100倍速で再生
フレームレート	10フレーム/秒
動画時間	1分50秒
画面サイズ	640×480ピクセル
動画ファイル形式	QuickTime MOV
圧縮コーデック	H.264

(c) 結論ならびに今後の課題

津波遡上シミュレーションに必要なデータとして、中央防災会議などが整備したデータに加え、国土地理院のデータ、各自治体（尾鷲市、鳥羽市、高知市）での整備データを収集・整理し、連成計算コード整備と計算条件データベースの検討を実施した。沿岸域を細かな（最小50m）メッシュで計算するためのデータとコードを開発し、試計算を行い、沿岸部へ到達する津波の挙動を再現する状況を確認した。計算条件データベースについては、まだ未入手の情報もあり、今後も継続して進めていく。また、計算結果を表示するCGを作成した。

今後の課題として、以下の項目を挙げる。

1. サブプロジェクト①のサブテーマ(1)「稠密海底地震・津波・地殻変動観測」等から得られる詳細計測結果を用いて、海底構造（地滑りポテンシャル情報）や海底地形が及ぼす局所的な津波への影響を評価し、解析に必要な空間分解能や予測時間についての基礎検討を行う。
2. 潮汐や地球温暖化による海面上昇などが、津波伝播過程に与える定量的な評価を実施する。特に、海水面の上昇による位置エネルギーの増加や、浅海域でのエネルギー減衰効果の低下に着目し、津波被害の影響を評価する。
3. 地震津波発生シナリオを定め、沿岸の津波波高と河川への遡上の高精度予測のための前提条件とする。また、津波被害予測手法のレビューを行い、特定地域での比較検討を行う。最後に、津波ハザードの試作マップ（高知または三重県沿岸）作成の要件を整理する。

表3に今年度の結論と今後の課題を示す。

表3 今年度の結論と今後の課題

	20年度予定	20年度実施内容	今後の課題
ハイブリッド数値モデル	連成モデルコード整備と計算条件データベースの	沿岸域を細かなメッシュ（最小50m）で計算できるデータとコードを開発し、試計算を行った。	連成計算を実際に実施する。計算条件データベースについて継続して整備を図る。
リスク評価			津波被害推定手法のレビューを行い特定地域で比較検討する。
人的被害軽減戦略			ハザードマップ作成要件の整理をする。

(d) 引用文献

- 1) 中央防災会議：東南海・南海地震等に関する専門調査会,  
[www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/index\\_nankai.html](http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/index_nankai.html) (参照2009-3-31), 2003.
- 2) 相田勇:東海道沖におこった歴史津波の数値実験, 東京大学地震研究所彙報, 56, pp. 367-390, 1981.
- 3) 相田勇:南海道沖の津波の数値実験, 東京大学地震研究所彙報, 56, pp. 713-730, 1981.
- 4) 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫:GISを利用した津波遡上計算と被害推定法, 海岸工学論文集, 45, pp.356-360, 1998.
- 5) Mansinha, L. and Smylie, D. E.: The displacement fields of inclined faults, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 61, pp.1433-1440, 1971.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
総合的津波防災マップ作成のための被害評価手法の基礎検討	宍戸直也・今村文彦	土木学会東北支部技術発表会	平成21年3月	国内
地球温暖化による海面上昇が津波高に与える影響評価	小笠原出・今村文彦	土木学会東北支部技術発表会	平成21年3月	国内

### 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 (雑誌等名)	発表時期	国際・国 内の別
Characteristics and mitigation measures for tsunamis generated along the Nankai trough	Imamura, F. and K. Imai	Journal of Disaster Research	Vol.4, No,2 pp.127-134, 2009,	国際

### マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果（記事タイトル）	対応者氏名	報道・掲載機関（新聞名・TV名）	発表時期	国際・国 内の別
なし				

### (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

#### 1) 特許出願

なし

#### 2) ソフトウェア開発

名称	機能
深海・浅海から遡上までの伝播解析コード	津波の初期データを与えて、陸上遡上への浸水を解析するコードである。津波解析等の結果を世界測地系平面直角座標に変換する機能も備えている。

#### 3) 仕様・標準等の策定

なし

### (3) 平成 21 年度業務計画案

サブプロジェクト①のサブテーマ(1)「稠密海底地震・津波・地殻変動観測」等から得られる詳細計測結果を用いて、海底構造（地滑りポテンシャル情報）や海底地形が及ぼす局所的な津波への影響を評価し、解析に必要な空間分解能や予測時間についての基礎検討を行う。また、潮汐や地球温暖化による海面上昇などが、津波伝播過程に与える定量的な評価を実施する。特に、海水平面上昇による位置エネルギーの増加や、浅海域でのエネルギー逸散効果の低下に着目し、津波被害の影響を評価する。このようにして得られた評価・検討及び本サブプロジェクトのサブテーマ(1)「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」をもとに、地震津波発生シナリオを定め、沿岸の津波波高と河川への遡上の高精度予測のための前提条件とする。さらに、震源域の広がりと連動条件の違いに起因する、津波の重ね合わせによる波高上昇への影響や、連続・繰返す津波に

による沿岸への影響を評価し、これらの影響力を総合的に評価した津波ハザードの試作マップ（高知または三重県沿岸）を作成する。

### 3. 3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定

#### (1) 業務の内容

##### (a) 業務の目的

地震発生のシナリオに対応した都市域の高解像度地震動予測と各種構造物の地震応答・被害予測を行う。平野部での地震動を地震観測データと地震応答解析から高精度に評価し、学校・集合住宅などの鉄筋コンクリート系の建物の被害を予測するとともに、超高層ビルなどの長周期構造物や、埋立地の大規模構造物の応答性状を評価する。さらに、被害軽減のための緊急地震速報の活用方策を調査する。また、地域社会が有する災害対応力を建築の立場から調査し、復旧・復興に向けた課題を明らかにする。

##### (b) 平成 20 年度業務目的

軟弱地盤を内在する都市域の高精度高解像度の地震動予測を行うため、地盤卓越周期の解像度が高い濃尾平野の深部地下構造モデルを構築するとともに、非線形地盤応答解析に利用できる名古屋都市域の浅部地下構造モデルを構築する。また、1995 年兵庫県南部地震での被害を説明可能な地震応答解析モデルを構築するために、東海地方において、学校や集合住宅などの代表的建物を対象に地震観測に着手する。この時、防災科学技術研究所より移管された K-NET95 強震計を改造し、利用に供する。さらに、建築の立場から、災害発生後の対応力を把握するために、地域社会が有する人材・資材・機材などの調査に着手する。

##### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
名古屋大学大学院環境学研究科 都市環境学専攻	教授	福和 伸夫	fukuwa@sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学大学院環境学研究科 附属地震火山・防災研究センター	准教授	飛田 潤	
名古屋大学大学院環境学研究科 都市環境学専攻	准教授	護 雅史	

#### (2) 平成 20 年度の成果

##### (a) 業務の要約

都市域の高解像度地震動予測のための地盤モデルとして、濃尾平野周辺地域について深部地盤構造モデルを、さらに名古屋市域については表層地盤モデルを構築した。いずれも従来のモデルをベースに、多数の地点での常時微動や強震観測等の結果と三次元差分法等によるシミュレーション結果を比較しつつ、周期特性を高解像度で表現できるように修正したものである。建物の適切な被害予測を行うための実際的なモデル構築に向けて、低層 RC 造建物の強震観測体制を整備した。この際に、多数の建物における観測を効率的に実施するため、旧型の観測機材

(K-NET95 強震計) を用いて、維持管理を現地の非専門家の観測協力者に依頼する新たな観測体制を構築した。このような構造物の被害予測から、建物耐震化が減災戦略や復旧・復興に及ぼす影響を検討するため、地域社会の人材・資材・機材およびその運用に関する基礎資料の蓄積を開始するとともに、病院の対応力などに関する予備的な検討を実施した。

## (b) 業務の成果

### 1) 背景

東海・東南海・南海地震が発生すると複数の大都市圏が同時被災する。これらの地震に対する減災戦略を策定するには、地震動などのハザード、構造物被害などのリスク、そして社会が有する災害対応力を的確に把握する必要がある。とくに、名古屋を中心とする中京圏と、大阪・京都・神戸を中心とする近畿圏では、大きな被害が予想される。これに加え、東海地震の震源域に存在する静岡県下には、静岡市と浜松市の二つの政令指定都市が存在する。甚大な被害が集中する大都市の被害軽減を図ることが我が国の喫緊の課題である。こうした大都市域には超高層建物や免震建物、長大橋、石油タンク、高層煙突など、長周期で揺れやすい構造物が数多く存在する。これらは都市機能を維持するために不可欠な重要構造物である。

こうした大都市域は、いずれも大きな堆積平野に立地している。東海・東南海・南海地震などの巨大地震では、断層破壊によって生じる地震波に長周期成分が多く含まれるとともに、破壊時間も長い。これに加え、大きな盆地地形では長周期成分が増幅され、盆地内で波動が封じ込められることで継続時間も長くなる。そのため、東海・東南海地震・南海地震に対する大都市圏の防災対策をするためには、堆積平野の地下構造を精度良くモデル化することが極めて重要となる。

また、戦後の都市への人口集中に伴い、かつては洪積台地上に留まっていた市街地は、軟弱な沖積低地に広く拡大した。このような表層の軟弱地盤においては、一般構造物の固有周期帯域の地震動成分が大きく増幅される。地盤の硬軟による建物被害の違いは過去の被害地震でも常に認められてきた。軟弱地盤の地震動増幅効果を正確に予測するには、精度良い浅層地下構造モデルを作るとともに、軟弱地盤特有の非線形化や液状化を追跡できる構成則を構築する必要がある。

さらに、これらのデータを最大限活用し、震源での破壊過程や、伝播経路での波動伝播特性、堆積平野での三次元深部地下構造に伴う揺れの増幅と伸長、非線形・液状化を反映した軟弱地盤での増幅と周期特性の変化、地盤と構造物の相互作用の解明等、構造物への実効入力地震動を的確に評価できる手法を構築する必要がある。

一方で、構造物の応答解析技術も高度化する必要がある。1995年兵庫県南部地震では、震度6強の下限程度の揺れに対して終局強度設計していた建物の多くが、震度7の揺れに対しても無損傷であった。これは、建築構造物の耐震性能の把握が十分にできていないことを暗示している。そこで、建築構造物の真の耐震性能を把握する必要がある。このためには、1995年兵庫県南部地震を始めとする被害地震での建築構造物被害の照査と、都市に存在する代表的な建物の強震観測が不可欠である。

また、甚大な被害に対して、社会がどの程度の対応力を持っているのかを把握することは、

地域社会の破たん回避のための減災目標を設定する上で基本となる情報である。人の生死に係る医療や遺体処理の問題、発災時の消防や救急の対応能力の問題、復旧・復興のための建設や空地の問題など、災害発生後の対応力として、地域社会が有する人材・資材・機材などについて基礎データの構築が不可欠である。

そこで、平成 20 年度は、濃尾平野を対象として地盤卓越周期の解像度が高い地下構造モデルを構築すると共に、非線形地盤応答解析に利用できる名古屋都市域の浅部地下構造モデルを構築することにした。また、過去の地震被害を説明可能な地震応答解析モデルを構築するために、(独)防災科学技術研究所より移管された K-NET95 地震計を有効活用することで、学校や集合住宅などの代表的建物を対象とした強震観測に着手した。さらに、災害発生後の対応力を把握するために、地域社会が有する人材・資材・機材などのデータベースの構築に着手した。

## 2) 地盤モデルの構築

濃尾平野及びその周辺の深部地盤構造については、今までに多くのモデル化が実施されてきた（愛知県設計用入力地震動研究協議会（2003）<sup>1)</sup>、中央防災会議（2002）<sup>2)</sup>、愛知県（2004、2006）<sup>3)</sup>、三重県（2006）<sup>4)</sup>、細川ほか（2008）<sup>5)</sup>）。また浅部地盤構造については、名古屋市域において 50m×50m メッシュ単位の地盤構造がモデル化されている（高橋・福和、2006）<sup>6)</sup>。本検討では既存の地盤モデル及び常時微動記録を活用して、地盤震動特性を満足する地盤構造の修正を図った。

### a) 深部地盤構造

深部地盤モデルは、産業技術総合研究所により構築された東海地域の地盤モデルを基本とした（細川ほか、2008）<sup>5)</sup>。対象地域において常時微動計測を実施し、常時微動記録に基づくやや長周期帯の卓越周期に基づいて修正を行った。

図 1 に常時微動計測実施地点を示す。3 次元深部地盤モデルより常時微動実施地点の 1 次元の速度構造を抽出し、これに基づき時松・新井（1998）<sup>7)</sup>による表面波理論に基づく H/V スペクトル（理論 H/V スペクトル）を計算してこれを微動観測に基づく H/V スペクトル（微動 H/V スペクトル）と比較した。長周期域における卓越周期が両者で整合しない場合は地盤モデルの層厚を修正して整合させ、修正した常時微動実施地点地盤構造を用いて平面補間を行い、修正 3 次元深部地盤構造を求めた。なお浅部地盤構造は、常時微動計測実施地点近傍の PS 検層データに基づいて設定し、S 波速度が 400m/sec を下回る速度層が以深に現れない層の上面を工学的基盤とした。

図 2 に、H/V スペクトルに基づく各地点の深部地盤モデルの修正状況及び修正前後の地盤モデルの一例を示す。図 2 より、層厚を調整することにより理論 H/V スペクトルの長周期の卓越周期は微動 H/V スペクトルの卓越周期を捉えていることが分かる。

常時微動観測地点の 1 次元地盤構造の修正結果を、図 3 に示すデータの分布に追加して空間補間することにより、3 次元深部地盤構造の修正を行った。補間には Kriging の線形補間を用い、1km×1km 間隔の地層境界面を作成した。図 4～図 6 に各地層の上面深度を示す。

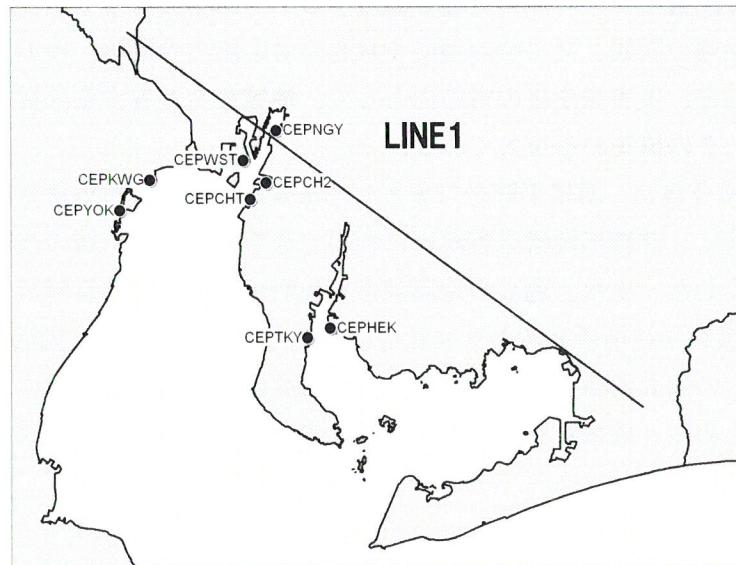
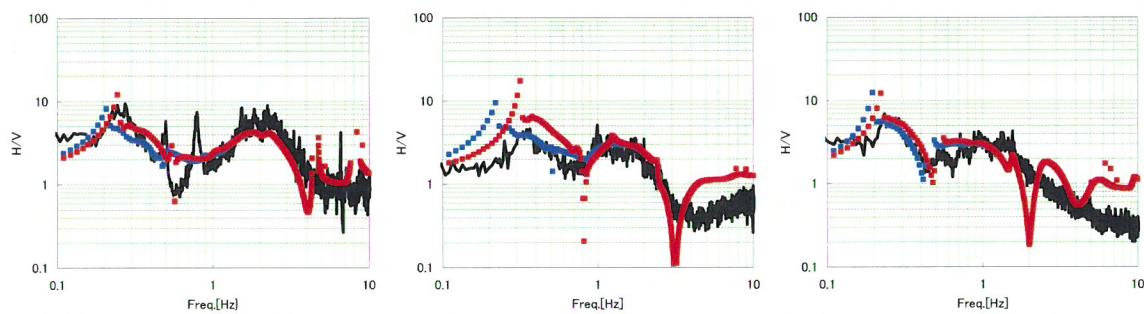
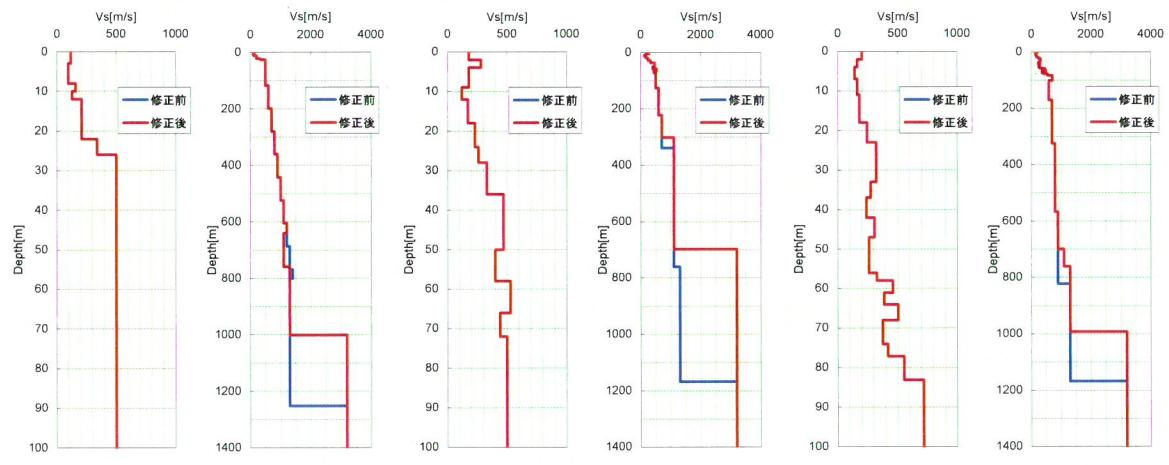


図1 常時微動観測地点の分布



(a) H/V スペクトルの比較。黒は微動 H/V スペクトル、青は修正前の理論 H/V スペクトル、修正後の理論 H/V スペクトルを示す。



(b) S 波速度構造。各地点について、左側が浅部地下構造の、右側が深部地下構造の S 波速度  $V_s$  (m/s) を示す。赤線が本プロジェクトにて修正した結果。

図2 H/V スペクトルに基づく地盤構造の修正例

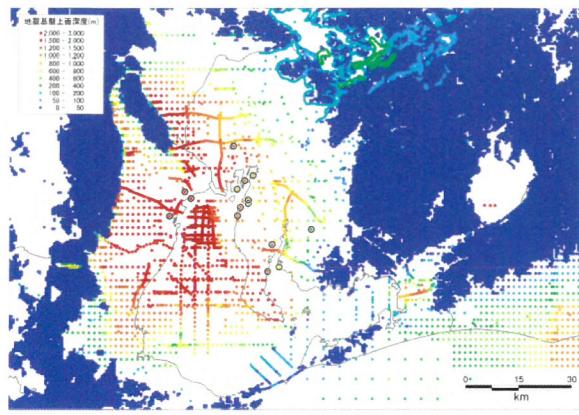


図3 地盤モデルの構築に用いたデータの分布

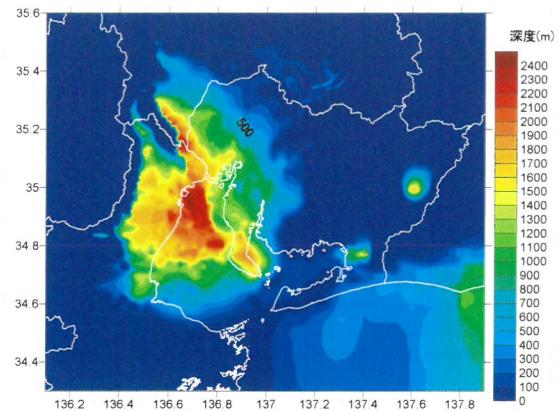


図4 修正モデルの地震基盤上面深度

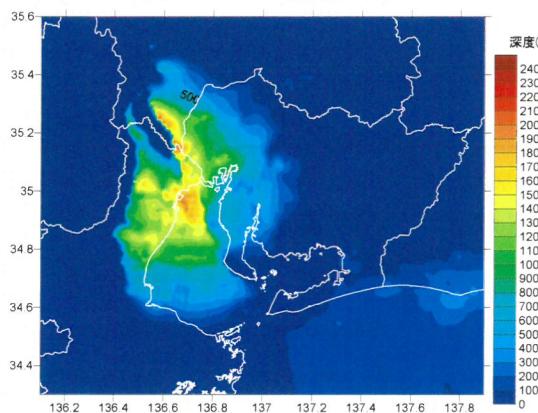


図5 修正モデルの中新統上面深度

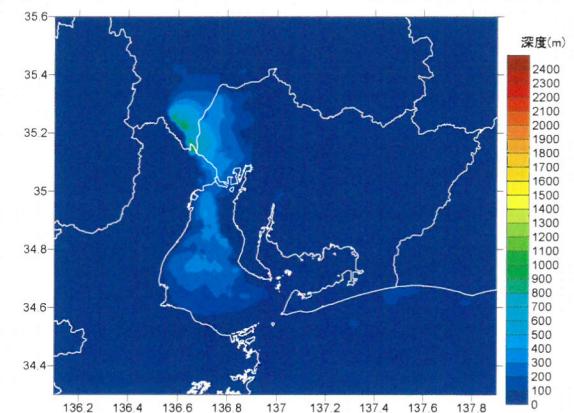


図6 修正モデルの東海層群上面深度

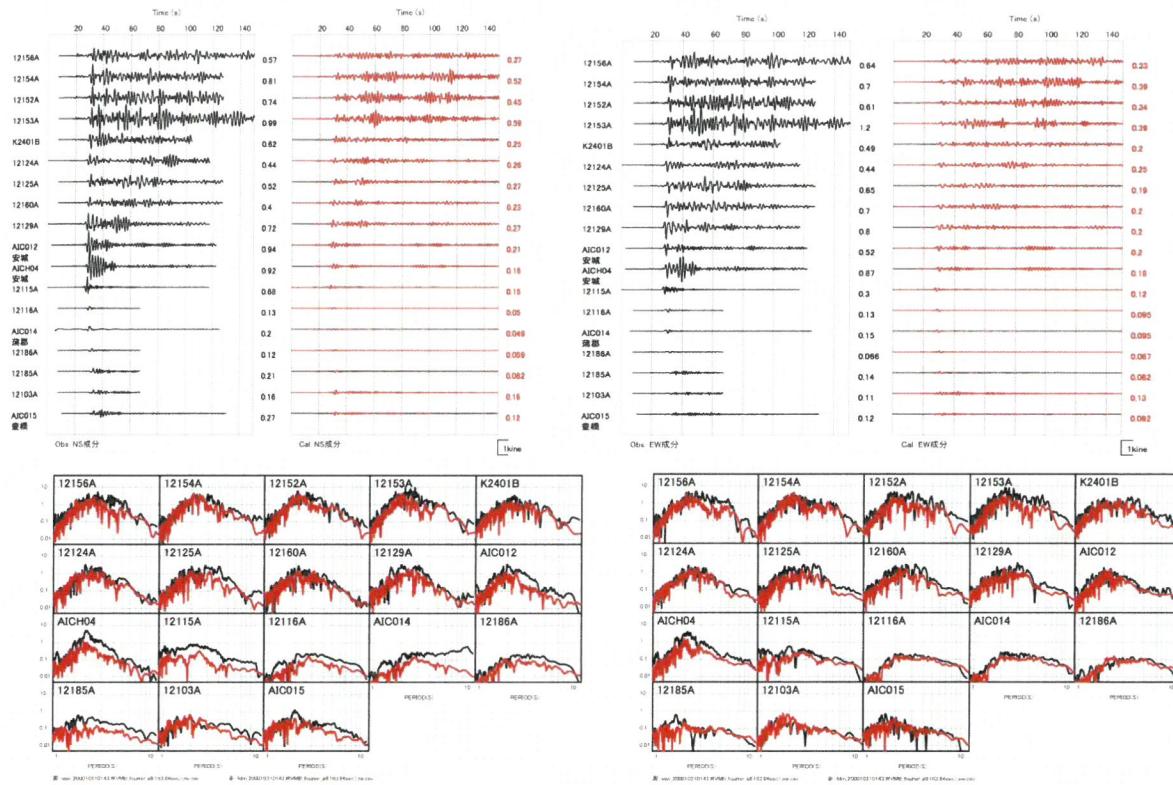
修正された地盤構造の妥当性を確認するため、観測記録に対する三次元差分法による地震動シミュレーションを行った。表1にシミュレーション対象の4地震の震源諸元を示す。各地震の震源位置は気象庁、震源メカニズムは防災科学技術研究所による推定結果を用いた。震源時間関数にはベル型の時間関数を用いた。震源パラメータは、観測記録のスペクトル・インバージョンにより求めた。表2に三次元差分法によるシミュレーションのためのパラメータ一覧を示す。計算には、速度-応力スタッガード・グリッドに基づいた4次精度差分スキームを用い、震源は、モーメント・テンソルを等価な体積力として表現した。地震基盤以深の速度構造は、Zhao, et. al.(1994)<sup>8)</sup>によるモホ面及びコンラッド面の形状を用いた。地盤モデルの最小の格子サイズは125mであり、地表面における格子のS波速度を300m/secとすると概ね周期2秒以上の波動伝播を解析可能と考えられる。

表1 シミュレーション対象の4地震の震源諸元

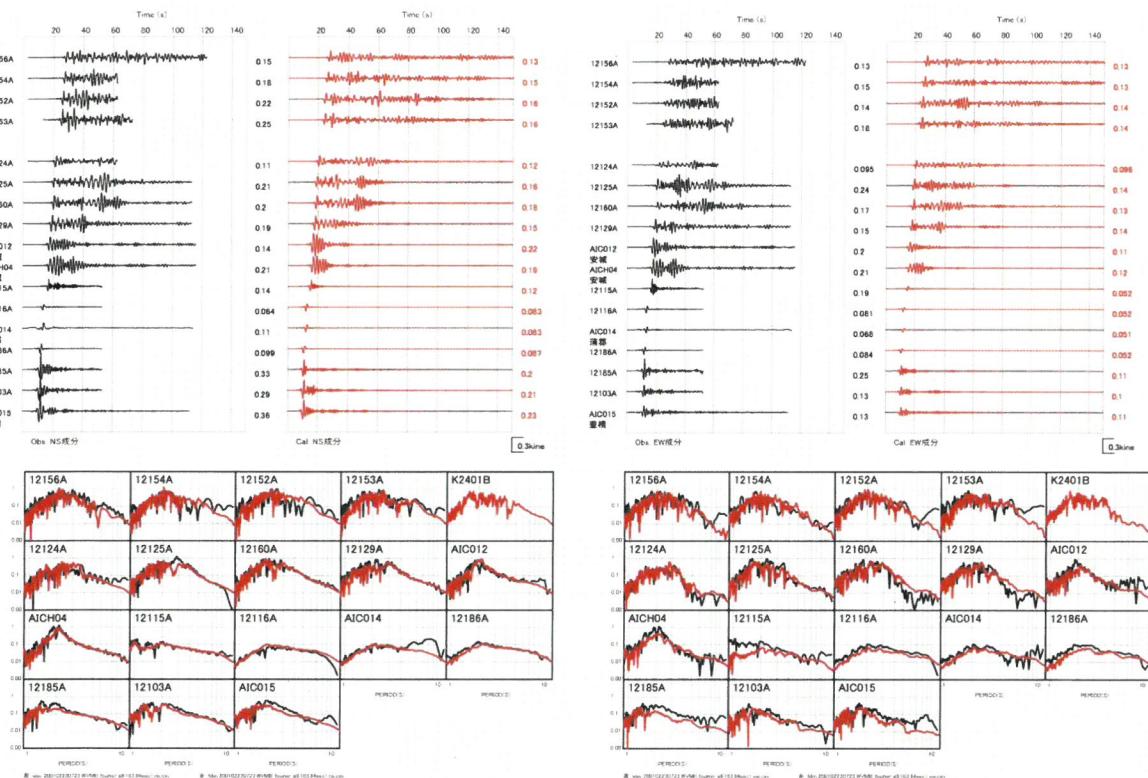
ID	発生日時	緯度	経度	深さ	走向	傾斜	すべり角	Mo	ライズタイム
		(°)	(°)	(km)	(°)	(°)	(°)	(N*m)	(s)
EQ001	2000/10/31 01:43	34.20	136.40	38.00	306	72	130	$1.70 \times 10^{17}$	0.740
EQ002	2001/02/23 07:23	34.80	137.50	32.00	195	62	-34	$2.43 \times 10^{16}$	0.340
EQ003	2001/04/03 23:57	35.00	138.10	35.00	214	66	-62	$8.17 \times 10^{16}$	0.710
EQ004	2004/01/06 14:51	34.20	136.70	38.00	201	60	5	$6.74 \times 10^{16}$	0.870

表2 三次元差分法によるシミュレーションのためのパラメータ一覧

対象地震	EQ001	EQ002	EQ003	EQ004	
計算範囲原点 (南西端の座標、平面直交座標第VII系)	NS : -210,000m EW : -90,000m	NS : -170,000m EW : -80,000m	NS : -170,000m EW : -80,000m	NS : -210,000m EW : -80,000m	
計算範囲 (吸収境界含む)	東西130km 南北150km 深さ78km	東西130km 南北110km 深さ78km	東西190km 南北110km 深さ78km	東西120km 南北150km 深さ78km	
	水平方向	125m			
格子サイズ	鉛直方向	深さ0.0~1.0 km (8格子) : 125m 深さ1.0~3.5 km (10格子) : 250m 深さ3.5~7.5 km (8格子) : 500m 深さ7.5 km~ (94格子) : 750m			
総格子数 (吸収境界含む)	1040×1200×110	1040×880×110	1520×880×110	960×1200×110	
有効な周期帯	約 2 秒以上				
時間ステップ	6.25msec (差分法の計算は6.25msec、波形は12.5msecで保存)				
計算時間	150秒 (差分法の計算は24000ステップ、波形は12000ステップで保存)				
格子配置	応力-速度スタガードグリッド (4次精度)				
震源時間関数	ベル型				
地表境界条件	表面に直交する応力テンソル、対応するメモリーバリアブルを0 とする。				
吸収境界条件	Cerjan (1985) <sup>9)</sup> による。厚さは20 格子。				
粘弾性条件	メモリーバリアブル (Robertsson, 1994) <sup>10)</sup> による。				

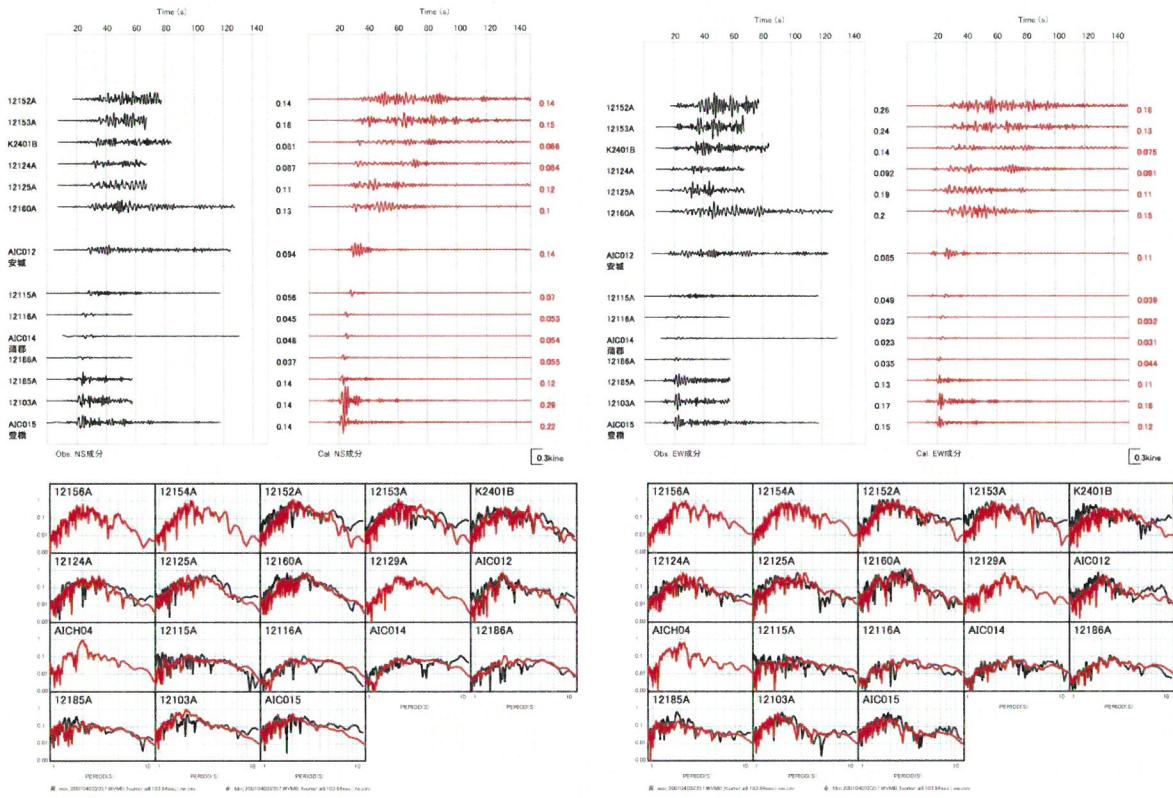


(1) EQ001

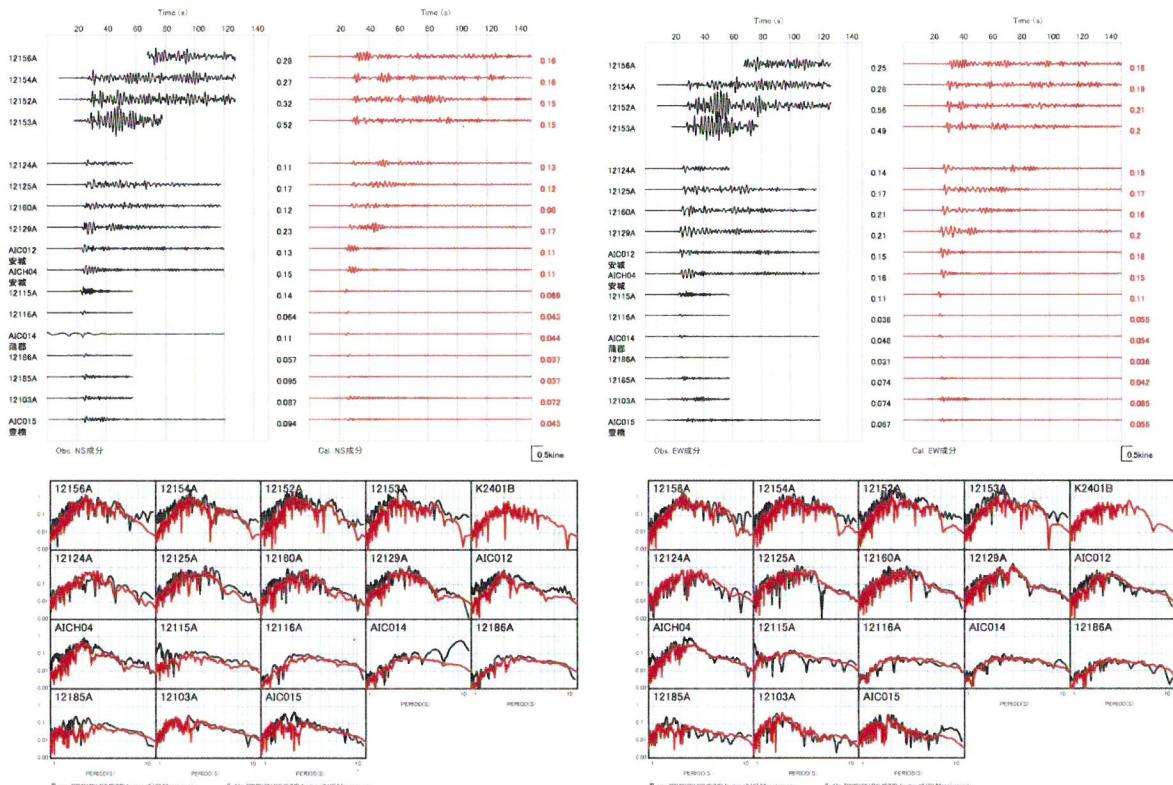


(2) EQ002

図7 三次元差分法によるシミュレーション波形と観測記録との比較。各地震について、上段左側に観測記録波形（黒線）、上段右側にシミュレーション波形（赤線）、下段にそれらのフーリエスペクトル（黒線が観測記録、赤線が解析結果）を示す。



(3) EQ003



(4) EQ004

図7 三次元差分法によるシミュレーション波形と観測記録との比較（その2）。各地震について、上段左側に観測記録波形（黒線）、上段右側にシミュレーション波形（赤線）、下段にそれらのフーリエスペクトル（黒線が観測記録、赤線が解析結果）を示す。

図7には、図1のLINE1上の観測地点におけるシミュレーション結果と観測記録とを比較して示す。観測記録は、自治体などの震度計・地震計から波形データを収集・データベース化している大都市圏強震動総合観測ネットワークによる（飛田ほか、2001）<sup>11)</sup>。同図から、地震基盤の深い地域でシミュレーション波形の振幅が観測波形の振幅より小さい傾向がある。特に、その傾向は後続波に顕著であることから、三次元的な深部地盤形状に起因する表面波の伝播状況の再現に課題が残るもの、全体的に見て波形の継続時間などは対応が良く、構築した地盤モデルは概ね妥当と考えられる。

### b) 浅部地盤構造

本検討では、名古屋市域の浅部地盤モデルとして高橋・福和（2006）<sup>6)</sup>による50m×50mメッシュの浅部地盤モデルを初期値とした。また中村ほか（2000）<sup>12)</sup>により名古屋市内の340地点で常時微動計測が行われており、H/Vスペクトルに基づいて地盤震動特性が分析されている。これを基に、微動計測地点の1次元地盤構造を初期地盤モデルから抽出し、理論H/Vスペクトルを求め、微動計測結果より求めた微動H/Vスペクトルの形状と比較して、浅部地盤モデルを検証した。

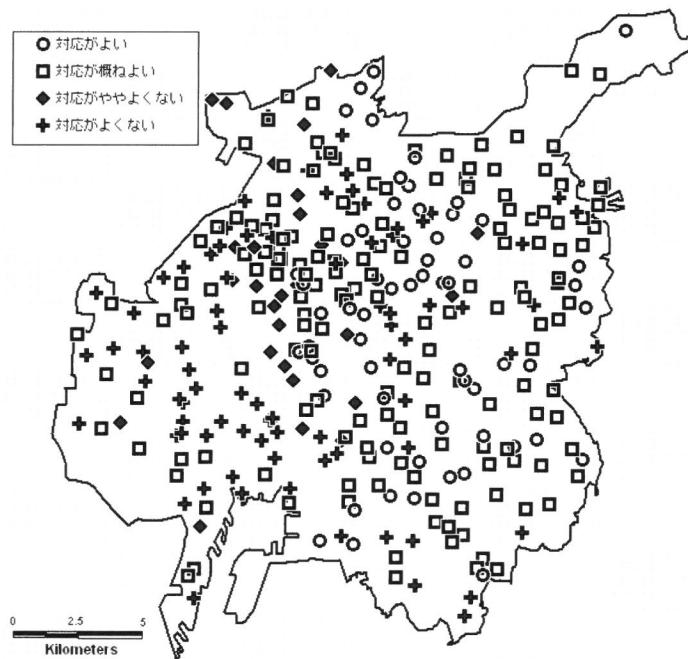


図8 常時微動計測地点の分布

図 8 に対象とした微動計測地点の分布を示す。また、図 9 に理論 H/V スペクトルと微動 H/V スペクトルとの比較例を示す。また、両者を比較してスペクトルのピーク周波数や形状についての対応度により、各計測点を次の 4 段階に分類した。

- ①：対応が良い
- ②：対応が概ね良い
- ③：対応がやや良くない
- ④：対応が良くない

図 8 に、4 つに分類した結果の分布を示す。両者の対応が良い地点は市内の東部に多く分布し、西部ほど両者の対応のよくない地点が目立つようになる。これは、名古屋市の西部ほど工学的基盤の上面深度は深くなるが、これに到達するほどの掘進長の長いボーリング資料が少なく、初期地盤モデルに改善の余地があることを示唆する。

上記の 4 分類において、③：対応がやや良くない、④：対応が良くないと分類された微動計測地点に対して、理論 H/V スペクトルと微動 H/V スペクトルとのスペクトル形状の対応が改善されるように、地盤モデルの層厚を調整して試行錯誤により地盤モデルの修正を行った。ただし、層厚の修正量が大きい場合や、周辺地点で修正後の地盤モデルと同等の地盤構造が確認できない場合は微動記録に問題があると判断しその地点の修正は行なわなかった。図 10 に、地盤モデル修正前後の理論 H/V スペクトルと微動 H/V スペクトルとの比較例を示す。

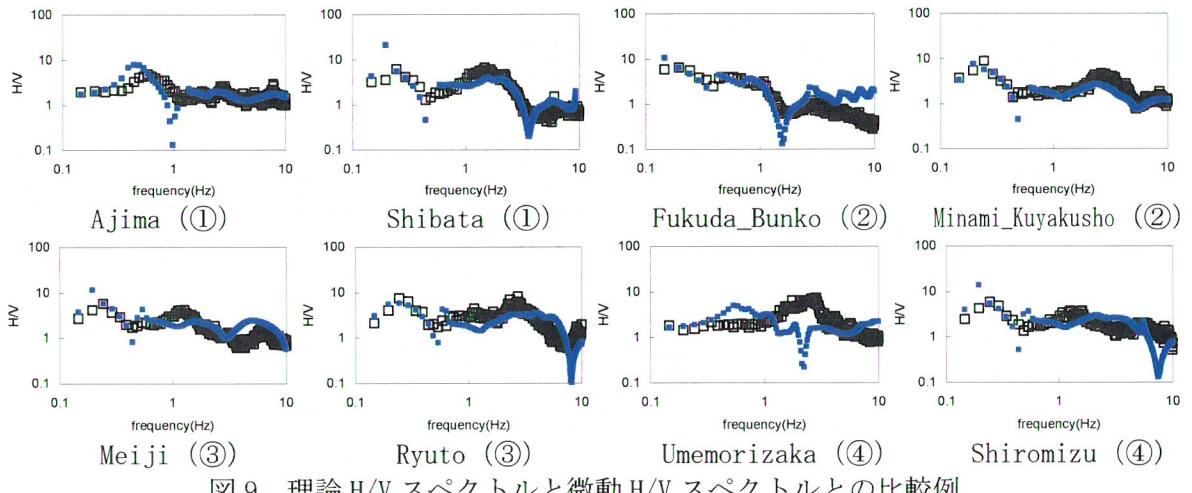


図 9 理論 H/V スペクトルと微動 H/V スペクトルとの比較例  
(黒：微動スペクトル、青：理論スペクトル)

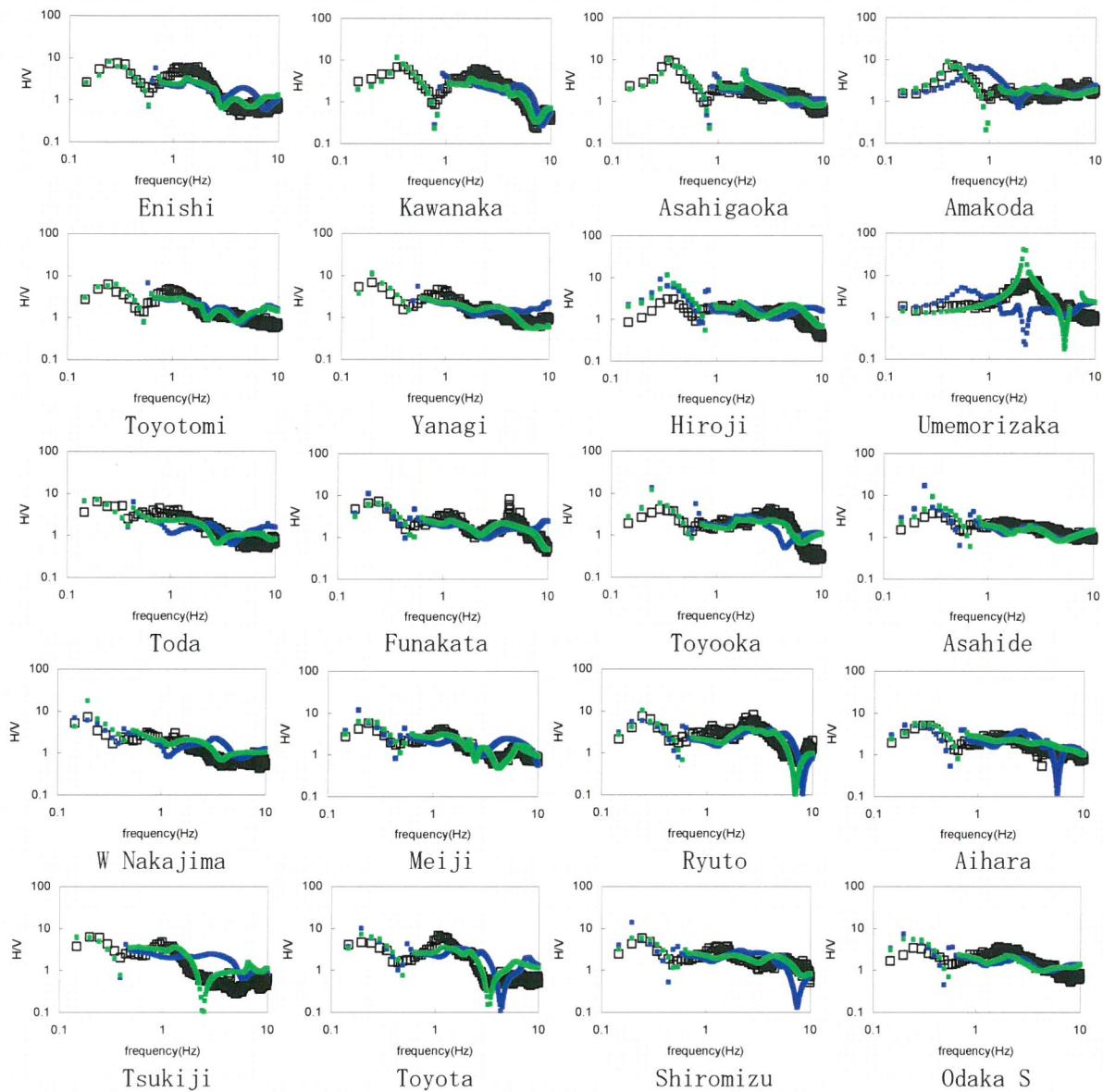


図 10 地盤モデル修正前後の理論 H/V スペクトルと微動 H/V スペクトルとの比較例（図の上下左右と北南西東が対応するように配置。黒：微動スペクトル、青：修正前、緑：修正後）。微動 H/V スペクトルに基づいて修正した 1 次元地盤構造の修正結果をボーリング資料に基づく地層境界のデータに追加して空間補間することにより、3 次元浅部地盤構造の修正を行った。補間には Kriging の線形補間を用いた。図 11 に再補間結果を示す。

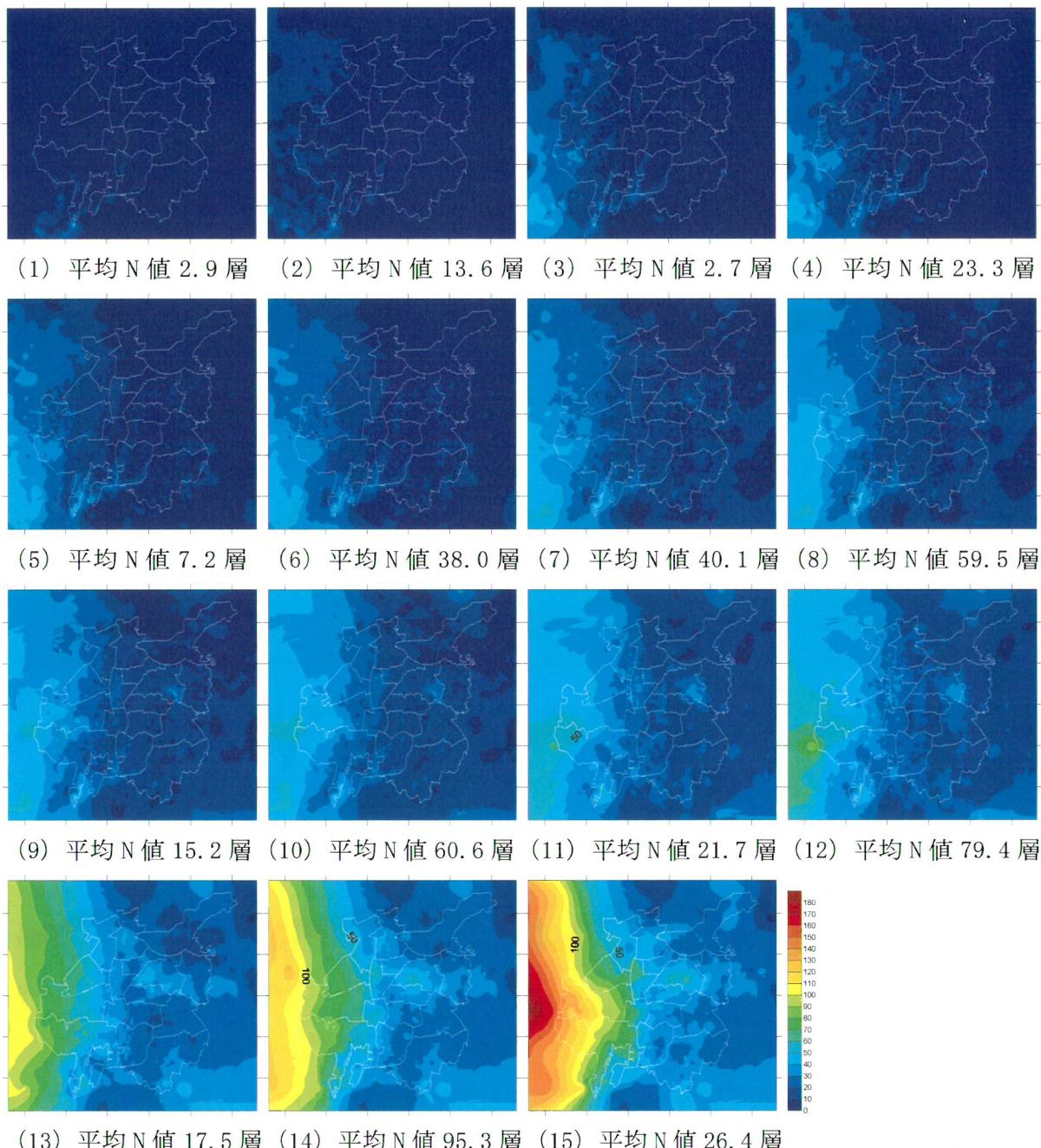


図 11 修正後の地盤モデルの各層の下面深度 (m、上層から順に並べた)

### 3) 建物強震観測体制の整備

1995 年兵庫県南部地震以降、主に国や中央機関による全国的な観測体制の整備とその利用は著しく進んだ。K-NET や KiK-net など高品質の観測網が全国を均等にカバーし、気象庁や自治体の計測震度網が整備され、観測・処理網のリアルタイム性を最大限に活用した緊急地震速報も実用化された。一方で、これらの観測網では、詳細な地震動特性の検討には設置点密度が十分ではない。また防災利用で迅速な情報展開を第一とした場合には、必ずしも波形

の収集・整理がなされていない。このような背景から、東海地域については、自治体等の持つ観測網から波形データを収集・整理するシステムを名古屋大が運用している（飛田ほか 2001）<sup>11)</sup>。これにより K-NET よりはるかに高密度の観測体制が構築されているが、一層の観測点増が望まれる。

一方で、本プロジェクトで目的とする建物の実際の耐震性能や被害の予測のためには、多数・多様な建物での観測記録が必須である。特に、校舎などのごく一般的な鉄筋コンクリート建物の地震時挙動は、地盤と建物の動的相互作用の影響がきわめて大きく、未だ不明な点が多い。さらに、実際の大規模地震災害時に、より多数の建物・地盤における強震波形記録を確保することは、その後の長期的な復旧対応や、将来の耐震工学のために必須である。しかし現状では、建物に関する観測については広域で継続的に行われている例はごく少数である。観測を担当する技術者は少なく、予算も厳しい。

そこで、リプレースされた K-NET95 強震計や自治体計測震度計など、旧型の観測機器を多数利用し、その維持管理を非専門家協力者の連携によって実施する新たな強震観測体制の構築を推進した。以下に、その概要について述べる。

#### a) 観測の概要

旧式あるいは廉価な強震計の使用を前提とし、強震観測で維持費・維持労力のかなりの割合を占めるオンラインでの観測をやめて、オフライン・スタンダードアロンでの観測を前提とする。そして観測記録の回収とサーバーへの転送、現地での平常時の機材メンテナンスなどは、非専門家の観測協力者に依頼する。想定している観測協力者は、たとえば学校の教員や技術者などのほか、観測・防災に興味のある一般の市民であり、広域に均等に分布する学校や住宅等を主な対象とする。人々のネットワークを基盤とすることから「Pネット」と名付けた。

観測記録の回収と利用に関する概要を図 12 に示す。強震計の設置は大学が行い、同時に観測協力者に強震計や記録の扱いを説明する。協力者は、定期的に強震計を確認し、観測記録があればノート PC で吸い上げ、手動で E-メールに添付して大学のサーバーへ送る。また、地震発生時には、当該地域の震度情報などに基づいてサーバーから協力者に観測記録の回収・送付依頼の E-メールを発信する。サーバー側では協力者の E-メールアドレスやヘッダ情報などをもとに、自動的に強震観測データベースへの格納を行う。得られた観測記録は、他の協力者や観測機関のデータとともに、ウェブ GIS で確認・利用できるようにする。

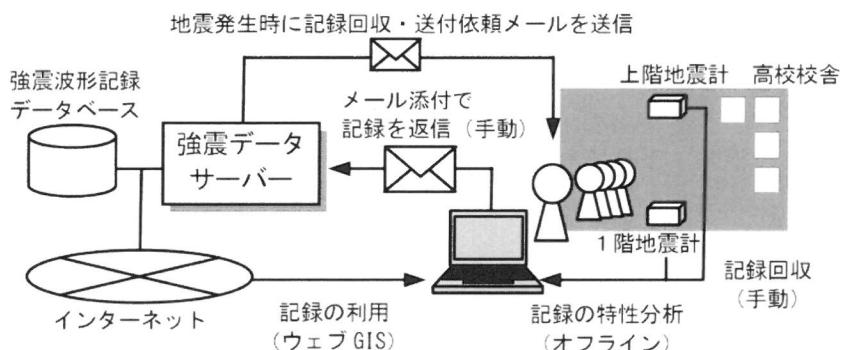


図 12 非専門家の協力による強震観測体制の概念図（高校教員・生徒に依頼する例）

### b) 強震観測機器とデータ転送

ここで利用を検討した強震観測機器は、(独)防災科学技術研究所において新型へ更新されたことにより移管された K-NET95 強震計である。使用に当たっては、内蔵バッテリーを廃止して小型の外付 UPS を用い、本体と GPS アンテナのみとした。また、今後、自治体の計測震度計が更新されるに伴い、同様の旧型観測機器を利活用する機会が増えると見込まれる。これらの機器は、インターフェースが低速で内蔵メモリも少ないため、オンライン化も含めた有効活用が難しい。そこで、コストをかけずに維持管理・記録回収を行うには、オフライン観測と観測協力者による維持管理・データ回収に基づいた前述の観測体制が有効である。なお、機器特性に関する振動台実験などを行い、経年劣化はある程度あるものの、十分な性能を持つことを確認した。

また、強震計を ADSL やケーブル TV などでネットワーク接続することが可能な場合は、観測記録を E-メールの添付ファイルとしてサーバーに直接・自動転送する方法も活用できる。グローバルアドレスが使いにくい一般家庭や、府内から外部への FTP 等によるデータ転送がセキュリティの制約上極めて難しい行政機関等においても、E-メールは一般に利用可能であるため、この方法は有用である。ただし、外部から地震計に直接アクセスはできないので、観測協力者による地震計の点検や維持管理が必要である。また、前述の観測体制では、手間をかけた作業をあえて行うことにより、観測協力者が観測への理解や防災・耐震への関心を持ち、周辺の人の教育・啓発に進むことも意図しており、観測記録の E-メールによる自動転送には、長所と短所があることを留意して普及展開を図る必要がある。

### c) 学校校舎の強震観測体制の展開

ここで述べた観測体制は具体化し始めており、愛知県内の高校の理科教員と連携し、低層 RC 造校舎への強震計の設置とデータ回収を既に行った実績がある。2009 年 2 月現在で、愛知県内の 6 校で協力を得ており、一般的な RC 造 3 階あるいは 4 階建校舎の 1 階と最上階の 2 箇所に設置している。強震計を両面テープで床に固定し、電源の配線と GPS アンテナを窓際に立てるという段取りで、1 力所の設置に 30 分～1 時間、担当教員へのハード・ソフトの説明に 30 分程度かかった。これは一般的な観測体制の構築に比べてはるかに容易である。

図 13 に観測状況と記録の例を示す。既に複数の観測記録が得られ、建物特性の分析も進んでいる建物もある。

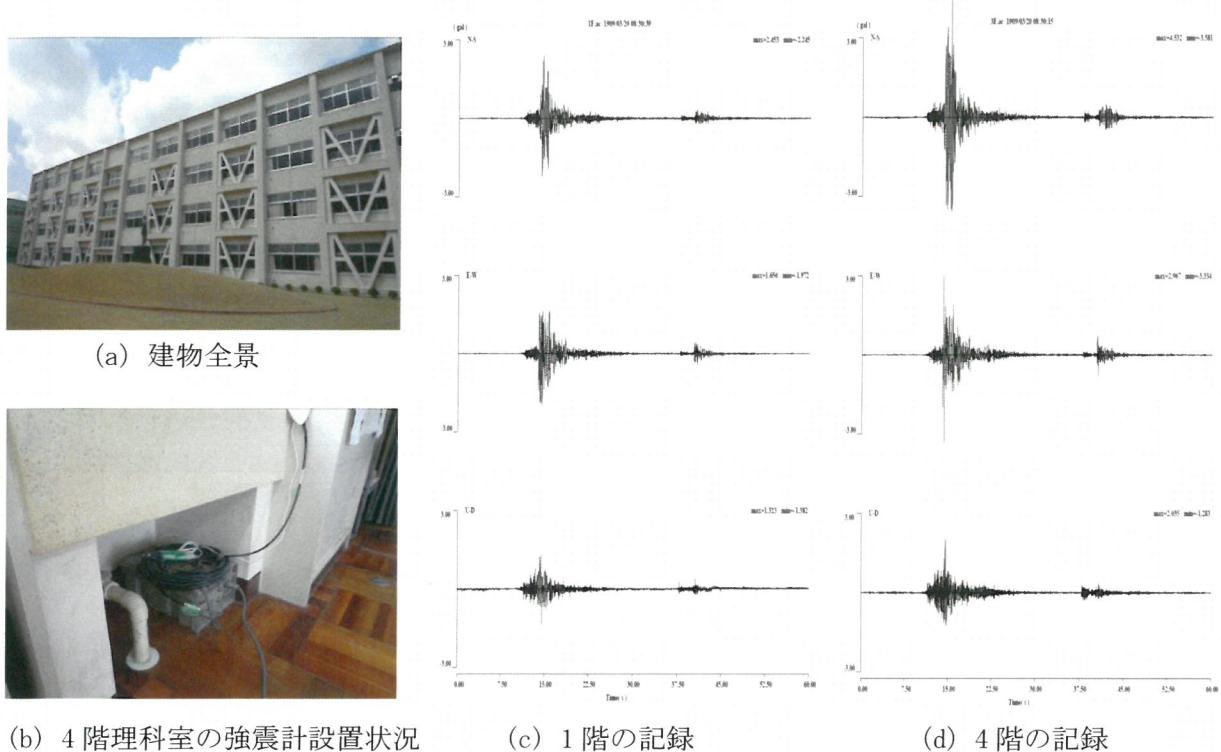


図 13 高校校舎の強震観測例

(岡崎高校にて。2009/3/20 8:30 頃発生の愛知県西部を震源とする M3.0 の地震に対する記録。)

#### d) 関連ソフトウェア・教材・環境の提供

以上で述べた観測体制の維持管理作業を一般の非専門家に依頼するにあたっては、観測協力者の労力を極力減じるとともに、観測を継続するインセンティブとして知的興味をひき、あるいは防災や教育に活用できるソフトウェアや教材、それらを利用する環境、さらに大学との情報交換や連携などを提供することが重要になる。

このような背景のもと、強震計を用いた物理・環境・防災教育のために、関連ソフトウェアの開発を進め、観測記録を活用するウェブページの公開も進めた。図 14 左は、利用者に提供しているツールの画面であり、強震計から回収した観測記録の最大値・波形・1 自由度系の応答・応答スペクトルなどを PC 上に表示できる。サーバーに転送された観測記録は、図 14 右のようなウェブ GIS 環境で地学・地理等の学習に活用でき、防災学習のシステム<sup>13)</sup>とも連携できる。



図 14 強震観測と連携した教材ソフトウェア

#### e) 観測記録の利用体制

これまでに蓄積された建物・地盤における強震観測記録を適切に整理・活用するために、ここまで述べた新たな観測体制も含めて図 15 のような枠組みを構築するよう推進している。これは各機関に散在する地震観測記録の統合・整理と適切な利用のためのウェブ GIS を構築し、その利用により耐震設計、広域防災、地域防災啓発などに用いるものである。この時、ネットワーク上に散在する観測記録及び関連情報の相互運用が重要になる。本研究でも、次項で述べる地域の災害対応力に関するウェブ GIS の構築を開始しており、次年度以降でも継続して開発を行い、地震動、地盤条件、強震観測、建物耐震性、地域特性等の情報を統合するように進める予定である。

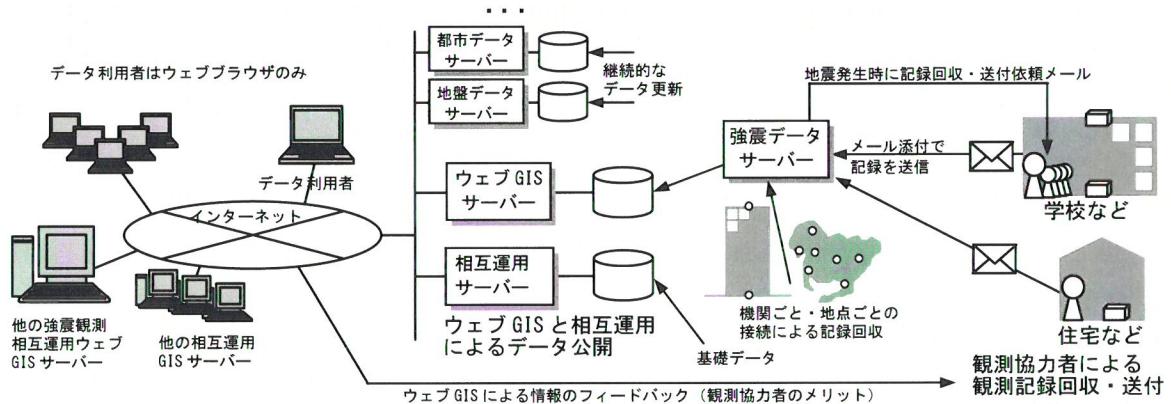


図 15 ウェブ GIS と相互運用による強震観測記録の収集・利用環境

#### 4) 地域の災害対応力に関する資料収集と予備分析

災害発生後の地域の対応力を把握するために、地域社会が有する人材・資材・機材などのデータベースを構築する。ここで地域の災害に対する対応力とは、地震による被害量に対して、必要な対応量がその地域に十分備わっているかを指す。対応量が不足する場合は、被災していない他の地域の対応量を割り当てる必要があるが、不足量が明確でなければ被災地域全体の対応について合理的なマネジメントが期待できない。

例えば、被害復旧の要となる建設技術者について考えてみる。建物（住宅、非住宅）、土木構造物、ライフライン構造物（電力、通信、ガス、上下水道等の施設）、道路・鉄道・港湾などの構造物に地震被害が生じれば、瓦礫の撤去や構造物の補修・再建などが必要とされ、建設業者が対応することとなる。当該地域で活動できる建設業者で全ての被害に対応できるとは限らず、不足する場合は他の地域に建設技術者の派遣を要請しなくてはならない。広域で地震災害が発生した場合には、様々な地域で建設業者が不足することも想定される。また、ライフラインや道路・鉄道・港湾などの社会基盤の復旧が優先され、地域の災害対応に当たる人員が不足することもあり得る。さらに、人だけでなく、復旧のための建設資材や重機、瓦礫の仮置きや仮設住宅の建設のための場所なども著しく不足するはずである。従って、被災地域だけでなく、周辺地域のヒト・モノを適切に把握し、復旧優先度を考慮しながらコントロールすることが早期復旧に向けて必須となる。

救急・医療体制の不足はたびたび議論されているが、同様に死者に関しても対応は多岐に渡る。医師による死亡確認、検視医による検視、遺体安置所、行政による法的手続き、葬儀（葬儀業者、棺桶、葬儀場）、火葬場、墓地など、様々な段階で様々なヒト・モノの対応が必要である。これらはいずれも、通常時の死者数をベースとした対応量しかなく、大災害時には不足する可能性が高い。さらに、関連する施設が被災すれば対応量は著しく低下する。周辺地域を期待するにしても、たとえば遠方の火葬場に遺体を搬送する手配など、さらに追加の対応量が要求される。

今までに地震災害の大きさを示す指標としては、物理指標や被害数などが用いられてきた。物理指標としては地震の規模（マグニチュード）や地震動の大きさ（震度や観測された最大加速度の分布）など地震ハザード情報が、被害数としては死傷者数や倒壊建物数、経済損害額などが用いられている。一方、地震災害の規模を適切に示すためには、被害程度に加えて、地域の災害対応力が十分か否かの評価が必要である。

以上から、本研究課題では地震災害後の復旧を早期かつ円滑に進められる防災戦略の立案を念頭に、地震時に発生する様々な被害に対して、どの地域がどの程度の対応力を有しているかについて検討する。特に、本研究課題が都市と建物の地震時挙動を対象としていることから、建築構造物から見た対応力の評価を最終的に重視し、耐震化の目標レベルとの関係を主に議論することになる。今年度はまず評価対象とすべき対応力を選定するための基礎データ収集と、対応力の評価法について検討を開始した。またこれらを用いて対応力評価のための予備的検討を実施した。

#### a) 災害対応力

地震時の被害は多岐にわたり、それらを整理して、地域の災害対応力のクリティカルな点を抽出することが重要になる。今年度はまず地域の自然・社会特性に関する多様な情報を、収集整理することを試みた。社会への影響が大きい社会基盤施設や公的施設、さらに大企業の本社の分布なども念頭に、従来よりも広範な対象に注目してデータの収集・整理を行っている。このような情報に基づく地域の対応力評価について、ここでは予備的検討として、医療救護活動の対応力の評価を試みた。

### b) 対応力の評価法

対応力は、評価する地域ごとに被害量  $L$  と対応量  $R$  を比較して評価した。また、災害による被害量  $L$  は、地域を細分化した領域  $i$  を定め、以下にて定量化されるものとした。

$$L = \sum_i E_i H_i F_i \quad (1)$$

ここで、

$E_i$ ：当該領域で危険にさらされる評価する被害項目に関する資産、

$H_i$ ：資産の存在する領域におけるハザード、

$F_i$ ：所与のハザードに対する脆弱性。

被害量  $L$  の評価においては、まず領域ごとに危険にさらされる資産  $E_i$  とその位置を特定する必要がある。構造物被害を対象とした場合には構造物の数、人的被害を対象とする場合は、被災者の数などが相当する。次に、対象領域における地震ハザード  $H_i$  を評価する。地震ハザード  $H_i$  は、震度や地表面における最大加速度、最大速度、または地震動波形を基にした指標にて評価される。評価された地震ハザードに対する資産の脆弱性  $F_i$  は、評価する被害項目に関する資産ごとに損傷率や損失率などで表される。これらをもとに想定する被害項目ごとに、県や市区町村などの地域単位で集計し、被害量  $L$  とする。

一方、対応量  $R$  は、対応とする地域にて災害対応に必要なヒト・モノなどの数量である。これらを公開されている情報などをもとに評価する。この対応量  $R$  と被害量  $L$  を比較し、各地域単位での対応力として評価する。

### c) 医療活動に対する対応力評価

本プロジェクトでは、前述の定義に沿って対応力を評価する一例として、まず、医療救護活動に関する対応力を評価することを目標とした。その評価に当たっては、危険にさらされる資産  $E_i$  を、各地域の人口とした。脆弱性  $F_i$  は、建物倒壊、ブロック塀の倒壊、屋外落下物、地震後火災、崖崩れ、津波などの事故要因別に定め、ハザード評価結果と関連づけた。これをもとに、被害量  $L$  を死者数、負傷者数、重傷者数、避難者数など被害項目ごとに評価することとした。また、対応量  $R$  は、救急病院数、一般病院数、外科医師数、空病床数、遺体安置所数などであり、公開資料をもとに評価した。表 3 に医療救護活動の対応力評価における主な被害量と対応量について示す。

表3 医療救護活動の対応力評価における主な被害量と対応量

被害項目	被害量 L	対応量 R	備考
死者	死者数	外科医師数及び医師一人当たりの対応人数	死亡確認および死亡診断書
負傷者 (重傷者)	重傷者数	外科医師数及び医師一人当たりの対応人数	治療・手術の実施
		病院数および手術室数	重傷者が要手術と判断
		空き病床数	重傷者が要入院と判断
負傷者 (重傷者以外)	重傷者以外の 負傷者数	医師数及び医師一人 当たりの対応人数	治療・手術の実施

特に本年度においては、評価に必要な基礎データの整備を進めた。データ整備に当たっては、最終的に地域ごとの対応力を比較する観点から、全国一律の条件で収集することとし、公的機関などの公開データに基づいた。表4に整備したデータを記す。表4では、被害量に関連するデータ項目と対応量に関連するデータ項目に分類して示した。

表4 本年度に整備したデータ

	項目	データ詳細	備考
被 害 量	人口	人口	都道府県・市区町村・三次メッシュごとの人口
	建物	住宅建物数	都道府県・市区町村・三次メッシュごとの住宅（構造別の住宅棟数）
対 応 量	病院	病院数	都道府県・市区町村別の病院数
		病院情報	各病院の名称、位置情報
	救急病院	病院情報	各病院の名称、位置情報
	医師数	外科医指数および その他診療科別医師数	都道府県・市区町村別の外科医師数およびその他の診療科医師数
	病床	病床数	都道府県・市区町村別の病床数

#### d) 予備検討

前述の定義および整備したデータベースをもとに、予備検討として、一地域を例にした対応力評価を行った。本予備検討では、1923年関東地震相当の地震が発生したという前提で、現在の横浜市で生じる重傷者数を被害量、これに対する空き病床の数を対応量とし、その比較により対応力を評価した。ここで、被害量の評価では、三次メッシュすなわち、約1km×1kmの領域ごとに建物倒壊数から死傷者数（死者、重傷者、その他負傷者）を算出し、このうち、重傷者が要入院患者と仮定し、地域ごとに合算することで被害量とした。なお、評価地域は、横浜市の区単位とした。

### i) 資産分布について

前述の c) により整備したデータを用いて三次メッシュごとに建物数および人口を評価した。なお、人口は平成 17 年国勢調査<sup>14)</sup>の地域メッシュ統計に、建物数は、総務省統計局の実施する住宅・土地統計調査<sup>15)</sup>に基づいて評価した。なお、住宅・土地統計調査では、市区町村ごとのデータが公開されているが、本評価にあたっては、市区町村内の詳細な住宅数分布が必要なため、国勢調査の市区町村と三次メッシュの世帯数割合を用いて、各メッシュの住宅戸数を按分して算出した。住宅戸数の算出は、各構造別とした。図 16 に例として、算出した木造住宅分布を示す。

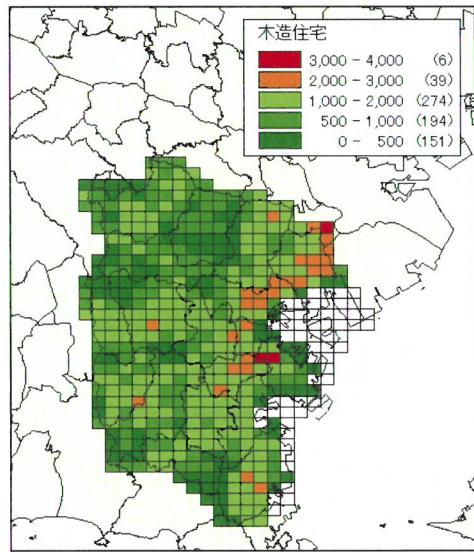


図 16 本評価に用いた横浜市の木造住宅の分布

### ii) 地震ハザードについて

地震ハザードは、地表面最大速度を指標とした。各三次メッシュの中心位置座標（緯度・経度）における地表面最大速度を、司・翠川(1999)<sup>16)</sup>による経験的距離減衰式を用いて算出した。この式は  $V_s=600\text{m/s}$  相当の硬質地盤において定義された式であるので、工学的基盤 ( $V_s=400\text{m/s}$  相当とする) までの地盤增幅率と、工学的基盤から地表面までの增幅率を用いて、地表面への增幅効果を評価した。工学的基盤までの地盤增幅率は、(独) 防災科学技術研究所の報告<sup>17)</sup>に基づき 1.31 とした。また、地表面までの地盤增幅率は、地形区分データベースに基づき、三次メッシュごとに表層 30m の平均せん断波速度（以下、AVS30 と記す）を推定し、推定した AVS30 から最大速度の增幅率を設定するものとした。地形区分データベースは、若松ほか(2004)<sup>18)</sup>による地形・地盤デジタルマップを採用し、AVS30 の推定法は、松岡ほか(2005)<sup>19)</sup>に、また、最大速度に関する増幅率の推定は藤本・翠川(2006)<sup>20)</sup>に基いた。なお、本予備検討では、最悪シナリオに対する評価を行うべきとの観点から、1923 年関東地震(1923. 9. 1、M7. 9) が再現された際の対応力を評価することとした。

### iii) 脆弱性評価について

本予備検討では、建物損壊に基づく死傷者数を対象とした。建物損壊については、村尾・山崎(2002)<sup>21)</sup>による建物被害関数を用いた。死傷者数については、大阪府(1997)<sup>22)</sup>による、1995 年兵庫県南部地震時の市区別の建物被害率と死者・負傷者の割合から設定された予測式を採用した。

### iv) 対応量について

横浜市の区ごとの病床数を対応量とした。空き病床数はデータがないため、厚生労働省の公開する統計情報<sup>23)</sup>より病床利用率を参照し、空き病床数を推定した。神奈川県においては

病床利用率（平成 20 年 9 月末）が 73.5% となっているので、26.5% を空き病床率として各区の病床数に乘じることにより空き病床数を評価した。

#### v) 予備検討結果

表 5 に被害量と対応量を示し、対応力は、重傷者数と空き病床数との比較で評価した。表 5 によれば、各区で状況は異なり、空き病床が不足する区と十分な区が存在することが分かる。また、市全体としては、約 1000 床が不足する結果となっている。本評価では建物の損壊に基づく被害量のみを算出しておらず、地震後火災などによる死傷者が考慮されておらず、また病院施設が被災する可能性もあり、更に病床が不足することが分かる。このような評価を様々な被害量について計算し、その結果を指標化することで、医療救護活動の対応力の比較が可能であると考える。

表 5 人的被害の被害量と対応力

区	被害量			対応量		対応力評価	
	死者数	負傷者数		病床数	空き病床数		
		重傷者以外	重傷者数				
旭区	244	1,931	193	2,106	558	OK	
磯子区	318	2,262	300	962	255	NG	
栄区	321	1,358	145	455	121	NG	
金沢区	441	3,294	424	1,898	503	OK	
戸塚区	303	2,163	245	1,984	526	OK	
港南区	530	3,902	390	1,040	276	NG	
港北	1,435	10,381	1,382	1,250	331	NG	
神奈川区	260	1,879	229	942	250	OK	
瀬谷区	231	1,647	165	314	83	NG	
西区	273	1,974	261	674	179	NG	
青葉区	257	2,109	211	2,182	578	OK	
泉区	489	3,299	330	818	217	NG	
中区	394	2,835	392	1,257	333	NG	
鶴見区	486	3,647	492	1,099	291	NG	
都築区	543	3,760	458	829	220	NG	
南区	736	5,447	773	1,370	363	NG	
保土ヶ谷区	448	3,329	373	1,456	386	OK	
緑区	161	1,265	140	1,425	378	OK	
総計	7,870	56,480	6,903	22,061	5,846	NG	

今後、脆弱な地域を明確化することを念頭に、全国の様々な地域の対応力を評価し比較する予定である。その際には、全国一律に同一規模の地震を発生させた場合の、各地域の対応力を様々な被害について明らかにし、それらの被害量・対応量の比較結果を指標化することで、脆弱な地域を明らかにするとともに、現在の資産だけでなく、将来的な人口分布などを見据えた被害量および対応力の評価を実施する予定である。

### (c) 結論ならびに今後の課題

本サブテーマでは建築構造物の地震被害の的確な予測を目標として、入力地震動の評価、応答と被害予測のための詳細な建物モデル化、そして建物被害から波及する地域の災害対応力の評価、そして減災・復旧に対する耐震化の効果の評価などを検討している。初年度となる今年度は、そのための基礎的なデータや手法の構築を中心として進めた。

建物応答の適切な評価のための入力地震動の評価では、個別建物に対応した高解像度地盤情報に基づき、地盤非線形特性を考慮すること、建物の固有周期帯で十分な精度を有すること、建物の応答特性を評価するために十分な継続時間を持つこと等が重要である。このうち、長周期成分や継続時間に影響する深部地盤構造モデルについては、濃尾平野周辺を対象として、既存モデルをベースに、微動 H/V スペクトルにより周期特性があうようにチューニングし、小地震の観測記録と三次元差分法によるシミュレーション結果によりその精度を検証した。短周期成分や地盤の非線形応答に影響する浅層地盤構造については、名古屋市域を対象として、340 地点の微動 H/V スペクトルの特徴により各地点の浅部地盤モデルをチューニングし、さらに地点間で対応する層をつないで三次元多層モデルを構築した。

次年度以降においては、これらの深部・浅部地盤構造モデルと多点の強震観測点を前提として、広域の強震動分布を評価できる「擬似経験的グリーン関数法」による高解像度強震動の推定を実施する予定である。

建物応答評価については、まず学校建物で強震観測を実施することによって、実建物の挙動を検証可能な地震応答データの蓄積に着手した。この際に、旧型の強震計を用いて、ローコストかつ効果的に記録を収集整理する新たな観測体制の展開を進めた。現在、実際に観測を進め、データも蓄積されつつある。次年度以降においては、継続して強震観測体制を整備するとともに、中低層 RC 建物の強震時の基礎浮き上がりや地盤－基礎の剥離、軟弱地盤に建つ発電所などの大規模構造物における大規模群杭の影響など、建物－地盤の非線形相互作用に関する検討を進める予定である。

さらに、地域の対応力について、災害時の対応状況に関する基礎データの収集を行うとともに、まず手始めに医療活動に着目した災害時の対応力の過不足に関する検討を開始した。次年度以降においては、収集した基礎データを効果的にデータベース化して利用するためのウェブ GIS についても基礎的な開発や検討を進める。広く使われているウェブ地図情報ツールやアニメーションの活用、地名情報の利用など、得られた成果をわかりやすく伝える表示・表現方法の検討を予定している。

### (d) 引用文献

- 1) 愛知県設計用入力地震動研究協議会：愛知県設計用入力地震動の作成，2003.
- 2) 中央防災会議：「東南海・南海地震に関する専門調査会」（第3回）説明資料，2002.
- 3) 愛知県：濃尾平野地下構造調査，2004, 2006.
- 4) 三重県：伊勢平野に関する地下構造調査，2006.
- 5) 細川晴央・吉見雅行・関口春子・吉田邦一・杉山雄一・佐竹健治・福和伸夫・鈴木晴彦・松山尚典・劉瑛・滝沢文教：中京地域の三次元地盤モデル，活断層・古地震研究 報告，8,

pp. 203–254, 2008.

- 6) 高橋広人・福和伸夫：地震動予測のための表層地盤のモデル化手法の提案と検証, 日本建築学会構造系論文集, 599, pp. 51–59, 2006.
- 7) 時松孝次・新井洋：レイリー波とラブ波の振幅比が微動の水平鉛直スペクトル比に与える影響, 日本建築学会構造系論文集, 511, pp. 69–76, 1998.
- 8) Zhao, D., Hasegawa, A. and Kanamori, H.: Deep structure of Japan subduction zone as derived from local, regional, and teleseismic events, *J. Geophys. Res.*, 99, pp. 313–329, 1994.
- 9) Cerjan, C., Kosloff, D., Kosloff, R. and Reshef, M.: A nonreflecting boundary condition for discrete acoustic and elastic wave equations, *Geophysics*, 50, pp. 705–708, 1985.
- 10) Robertsson, J. O. A., Blanch, J. O. and Symes, W. W.: Viscoelastic finite-difference modeling, *Geophysics*, 59, pp. 1444–1456, 1994.
- 11) 飛田潤・福和伸夫・中野優・山岡耕春：オンライン強震波形データ収集システムの構築と既存強震計・震度計のネットワーク化, 日本建築学会技術報告集, 13, pp. 49–52, 2001.
- 12) 中村仁・福和伸夫・高橋広人・飛田潤・堀啓輔：常時微動計測に基づく名古屋市域の地盤震動特性と基盤深さの推定に関する研究, 構造工学論文集, 46B, pp. 413–421, 2000.
- 13) 福和伸夫・上寛之・花井勉・高橋広人・飛田潤・鈴木康弘：耐震化を促進するための地域防災力向上シミュレータ, 日本地震工学会論文集, 7, 5–22, 2007.
- 14) 総務省統計局：平成 17 年国勢調査, 2007.
- 15) 総務省統計局：平成 20 年住宅・土地統計調査, 2006.
- 16) 司宏俊・翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文報告集, 523, pp. 63–70, 1999.
- 17) 防災科学技術研究所：全国を対象とした確率論的地震動予測地図作成手法の検討, 防災科学技術研究所研究資料, 275, pp. 1–393, 2005.
- 18) 若松加寿江・松岡昌志・久保純子・長谷川浩一・杉浦正美：日本全国地形・地盤分類メッシュマップの構築, 土木学会論文集, 759/I-67, pp. 213–232, 2004.
- 19) 松岡昌志・若松加寿江・藤本一雄・翠川三郎：日本全国地形・地盤分類メッシュマップを利用した地盤の平均 S 波速度分布の推定, 土木学会論文集, 794/I-72, pp. 239–251, 2005.
- 20) 藤本一雄・翠川三郎：近接観測点ペアの強震記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均 S 波速度の関係, 日本地震工学会論文集, 6, pp. 11–22, 2006.
- 21) 村尾修・山崎文雄：震災復興都市づくり特別委員会調査データに構造・建築年を付加した兵庫県南部地震の建物被害関数, 日本建築学会構造系論文集, 555, pp. 185–192, 2002.
- 22) 大阪府：大阪府地震被害想定調査報告書, 1997. 3.
- 23) 厚生労働省：平成 19 年病院報告, 2008.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
旧型強震計の活用と一般観測協力者との連携による強震観測体制「Pネット」の展開、口頭発表	飛田 潤 福和 伸夫	日本地震工学会大会	2008. 11	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所（雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
Prediction of strong ground motion and building damage in urban areas and development of a disaster mitigation strategy	Fukuwa, N J. Tobita M. Mori	Journal of Disaster Research	2009. 3	国際
Key parameters governing the dynamic response of long-period structures	Fukuwa, N J. Tobita	Journal of Seismology	2008. 6	国際

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果（記事タイトル）	対応者氏名	報道・掲載機関（新聞名・TV名）	発表時期	国際・国内の別
長周期地震動と高層建物	福和伸夫	読売テレビ	2009. 1. 16	国内
長周期地震動と免震病院	福和伸夫	毎日放送	2009. 1. 16	国内
バス停の名で地盤強度判断	福和伸夫	朝日新聞夕刊	2009. 1. 16	国内
長周期地震動、地名と地盤条件など（「巨大地震前夜」～あなたが知らないホントの危機～）	福和伸夫	東海テレビ	2009. 3. 14	国内

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

## 2) ソフトウェア開発

名称	機能
強震観測と連携した教材 ソフトウェア	強震観測記録を東海地域での地図上で確認できる地理情報システムであり、観測記録に基づく地震動の強度指標の算出、応答スペクトルや構造物応答アニメーション表示を、インターラクティブに行なう機能を持つ。

## 3) 仕様・標準等の策定

なし

### (3) 平成 21 年度業務計画案

平成 21 年度の業務目的は以下の通りである。

擬似経験的グリーン関数法に基づいた面的な強震動特性の高精度評価法を開発し、本年度の成果である濃尾平野の地下構造モデルを利用して、南海トラフ地震による名古屋市内の代表地点における強震動を評価し、過去の強震動観測記録との比較等から、その評価法の有用性について検証する。学校校舎や集合住宅建物を対象として、耐震診断結果や過去の地震被害調査結果に基づいて耐震余裕度を評価するとともに、地震応答解析による地盤との動的相互作用の影響を考慮し、被害を推定する一連の手法の開発に着手する。軟弱地盤に立地する大規模構造物を対象として、根入れ効果を含めた大規模群杭の影響を考慮可能な高精度地震応答解析法の開発に着手する。災害発生時の地域社会対応力の評価のための、基礎情報の収集と評価システムの開発を継続する。また、これらの検討に利活用するために、当該地域の建物に関する地震観測およびデータ収集・整理を継続する。

上記目的にむけて、具体的には次のように実施する予定である。

まず、都市域の高精度・高解像度強震動予測のために、多数の地点で観測された小地震記録を、高解像度の深部・浅部地盤構造を用いて計算した伝達関数を使って補間することにより、面的な地震動記録を得る擬似経験的グリーン関数法を活用して、地盤モデルの変更や、利用する小地震記録の違いによる強震動評価結果の違い、予測の精度やばらつきなども含めて評価法の検証を行う。この際に、東海・東南海・南海地震の連動の有無による影響について特に注目し、他の研究成果との比較も行う。

建物の耐震性能評価に関しては、大別して学校校舎や集合住宅などの中低層 RC 造建物と、軟弱地盤に建つ発電所や工場などの大規模構造物に関するモデル化の検討を開始する。具体的に中低層建物については、地盤と建物の動的相互作用について、強震時の表層地盤の塑性化や基礎の浮き上がり・剥離など強非線形特性の評価と応答へ影響を検討する。また上部構造物は、観測記録に基づいた剛性・減衰や複雑な立体振動、二次部材の影響などの適切なモデル化を検討する。軟弱地盤上の大規模建物については、その多くが多数本の杭による基礎となっていることから、表層地盤が非線形化する際の大規模群杭の応答や杭の被害について検討しうるモデル化を開発する。

地域の災害対応力については、今年度の予備検討結果も踏まえて、多面的な対応力の資料収集と適切な評価を継続する。また相互運用技術を用いたウェブ GIS により強震観測記録や地震動予

測結果も含めて整理・分析できるシステムの開発を進める。さらに、広く使われているウェブでの地図情報ツールなどとの連携、アニメーションの活用、地名と地盤状況の相関などの分析結果をわかりやすく効果的に表現し一般に伝える方法等、についても検討を加える。

強震観測については、基礎資料とするために多様な連携先を探って観測点・観測建物の増加を試み、得られた記録の継続的蓄積と分析を継続する。

以上の検討・開発等により、個別に進められていた地震動・地盤・建物・社会に関する検討の充実と同時に、それらを有機的に連携して有効利用する環境の整備を進める予定である。また、成果を一般にわかりやすく伝える表示・表現方法についても継続的に検討を行う。

### 3. 4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定

#### (1) 業務の内容

##### (a) 業務の目的

人口減少社会を踏まえた防災対策、災害対応、復旧対策のあり方の検討を行うために、被災地域の社会状況についてのシミュレーションを実施し、シミュレーション結果に基づき災害対応、復旧・復興プロセスの明確化、重要社会基盤施設が被災した際の「影響評価」手法を開発する。加えて、復旧・復興時に発生する大きな余震に備えた、緊急地震速報の利用方策を提案する。また、地震地殻変動による紀伊半島や四国の海岸線の沈降や、大阪での河川の津波遡上により引き起こされる複合災害の影響を評価する。

##### (b) 平成20年度業務目的

東海・東南海・南海地震で被災する東海・関西・四国地域の社会状況（人口、経済、社会構成等）や被害想定に関するデータ収集を行い、将来の社会状況のシミュレーションを実施するために、GIS を利活用した基本的な社会状況情報のデータベース（社会状況 GIS データベース）を用意する。具体的には「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」で実施した紀伊半島地域の調査を東海、四国地域に拡張し、中京・近畿圏の社会状況 GIS データベースを構築する。また、人口減少社会における復旧・復興プロセスの明確化を目的に 2004 年新潟県中越地震、2007 年能登半島地震、2007 年新潟県中越沖地震の復旧・復興プロセスに関するデータ収集を行う。さらに、重要社会基盤施設が被災した際の影響評価を行うための基礎的な考察として、ライフラインや道路等の被災が、地震直後の被災者生活と地震後の復旧・復興活動に与える直接的・間接的影響を具体的に示すとともに、その規模を明確にする。

##### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
京都大学防災研究所	准教授	牧 紀男	maki@drs.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学防災研究所	助教	鈴木 進吾	
岐阜大学工学部社会基盤工学科	教授	能島 暢呂	
立命館大学文学部	准教授	中谷 友樹	
長岡造形大学造形学部 建築環境デザイン学科	准教授	澤田 雅浩	
国立保健医療科学院施設科学部	研究員	佐藤 栄治	

## (2) 平成20年度の成果

### (a) 業務の要約

東海・東南海・南海地震で被災する東海・関西・四国地域の社会状況（人口、経済、社会構成等）や被害想定結果に関するデータ収集を行い、将来の社会状況のシミュレーションを実施するために社会状況 GIS データベースの構築を行い、南海トラフで発生する地震の暴露人口の推定を行い、東海・東南海、南海地震が時間差発生した場合の暴露人口が最大となる事を明らかにした。また、人口減少社会における復旧・復興プロセスの明確化を目的に 2004 年新潟県中越地震、2007 年能登半島地震、2007 年新潟県中越沖地震の復旧・復興プロセスに関するデータ収集を行い、復興事業の結果、人口流出が加速されたことを明らかにした。さらに、重要社会基盤施設が被災した際の「影響評価」を行うための基礎的な考察として、南海トラフの地震による東海地域における電気、ガス、水道停止の停止について、簡便な手法による影響評価事例の収集を行った。

### (b) 業務の成果

#### 1) 東海・東南海・南海地震被災地域の社会状況シミュレーション

##### a) 社会状況 GIS データベースの整備

東海・東南海・南海地震で被災する東海・関西・四国地域の社会状況（人口、経済、社会構成等）や被害想定に関するデータ収集を行い、将来の社会状況のシミュレーションを実施するための社会状況 GIS データベースの構築を行った（図 1、2）。本データベースは、表 1、表 2 に示すように、1976 年～2007 年までの期間の、1) 国勢調査全データ（昭和 60 年、平成 2、7、12、17 年）、2) 土地利用データ（国土数値情報土地利用メッシュ、昭和 51、62 年、平成 3、9 年）、3) 商業施設データ（生活協同組合、コンビニエンスストア、スーパー・マーケット、バラエティストア、百貨店、ホームセンター、薬局薬店、GMS、SC の全 9 業態について、平成 19 年の約 16 万件の小売店の位置データ）、4) 発電所データ（平成 19 年、一は平成 7 年）、5) 東海・東南海・南海地震の震度分布（中央防災会議による）の 5 種類のデータから構成されている。

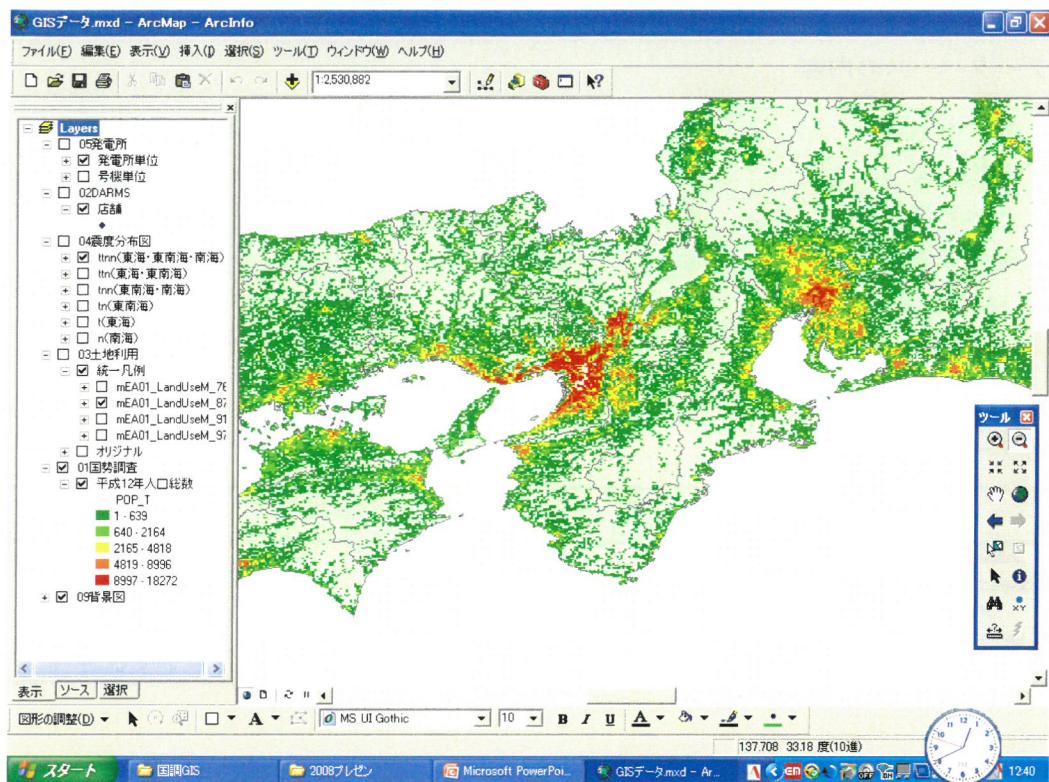


図 1 社会状況 GIS データベース (1Km メッシュ毎の平成 12 年の人口総数)

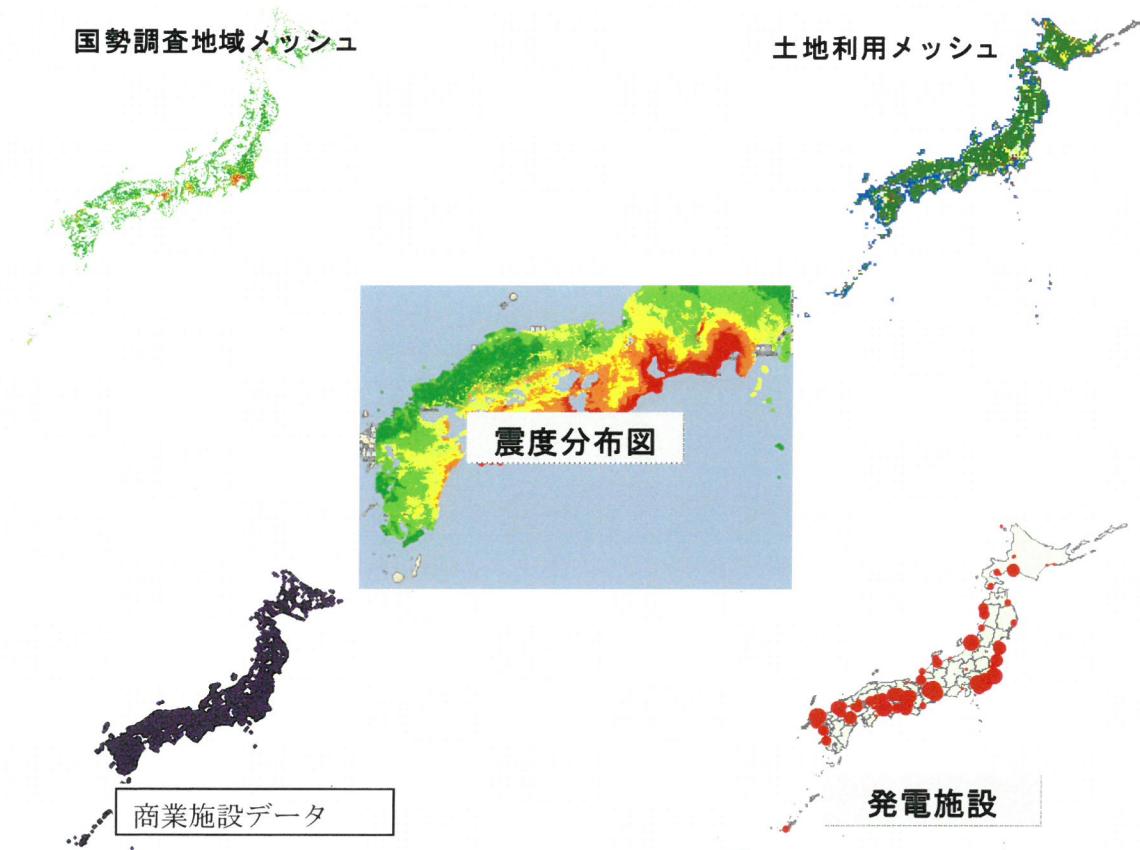


図 2 社会状況 GIS データベースに含まれるデータセット一覧

表 1 データベースの内容

データ名称	図形	元データ	ファイル形式
1. 国勢調査メッシュ	面	Sinfonica, JPS	シェープファイル+CSV
2. 土地利用メッシュ	面	国土数値情報	シェープファイル+CSV
3. 震度分布図	面	内閣府	シェープファイル
4. DARMS2007	点	JPS	シェープファイル
5. 発電施設	点	国土数値情報	シェープファイル

表 2 各データの基準年

西暦	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07				
和暦	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	H1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19				
国勢調査地域メッシュ										●				●					●					●					●							
国土数値情報土地利用メッシュ	●										●			●							●															
JPS DARMS2007																															●					
発電施設（原子力、火力、地熱）																																●				
発電施設（水力）																				●																

国勢調査統計や土地利用情報などの面情報については、約 1 km × 1 km の 3 次メッシュサイズにて整備した。

国勢調査データについては、人口減少が著しい地域においては、一つの地域メッシュに表章される人口が極めて少ない場合がある。その際には、プラバシー保護の観点から、当該地域メッシュに係る値として、実数の「人口総数（総数、男、女）」、「世帯総数（総数、一般世帯）」、「世帯人員（一般世帯人員）」、「世帯人員別的一般世帯数」のみを表章し、その他の項目については、近接する地域メッシュに係る値に合算して表章した（図 3）。なお、こういったメッシュは、中山間地域を中心に、平成 2→7→12→17 年と、最近になるほど増加している。

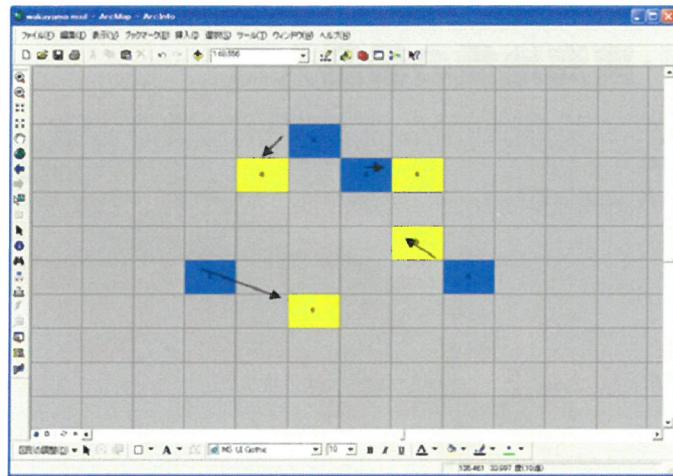


図3 プライバシー保護のためのデータ合算による表章（人口減少が著しい地域のメッシュ（青）については、そのデータを近隣のメッシュ（黄色）に合算移行し、メッシュ（黄色）にてデータを表章する。）。

#### b) 東海・東南海・南海地震の暴露量

本データベースを利用して、東海・東南海・南海地震が社会に与える影響についての基礎的な検討を実施した。検討は、中央防災会議で評価された震度分布をもとに、東海・東南海・南海地震が同時発生した場合、東海・東南海地震と南海地震が種々の時間差で発生した場合について実施した。ここで、時間差発生の場合については、災害対応の達成目標という観点からは、

- ①72時間以内に発生（緊急対応期）、
- ②3ヶ月以内に発生（応急対応期：ライフラインの復旧終了）、
- ③それ以降（復旧・復興期）

という3つに分類できるが、本プロジェクトでは①と②の条件差を考えず、まとめて、3ヶ月以内に発生した場合とした。③については、2つの異なる災害に見舞われると考えた。

図4は東海・東南海・南海地震が同時発生した場合の暴露量（人口・世帯数・一戸建て世帯数）を示したものである。震度5弱以上の揺れが予想される地域に居住している人口は約5,800万人であり、日本の人口の2分1(45%)が強い揺れを経験する。さらに、震度6弱以上の地域の暴露量から、何らかの生活支障に見舞われると想定される被災者の数は1,470万人にのぼり、また、約320万棟の一戸建て住宅に何らかの被害が予想される。

## 東海・東南海・南海地震の暴露人口

平成12年国勢調査より

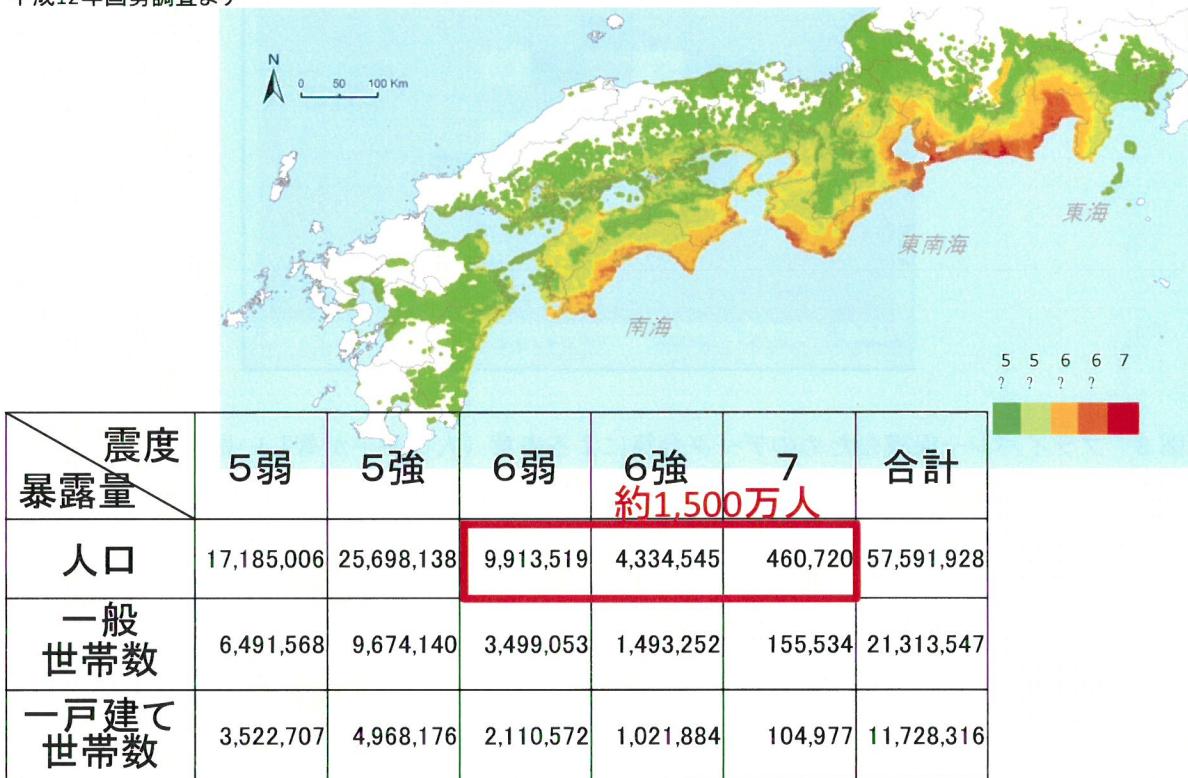
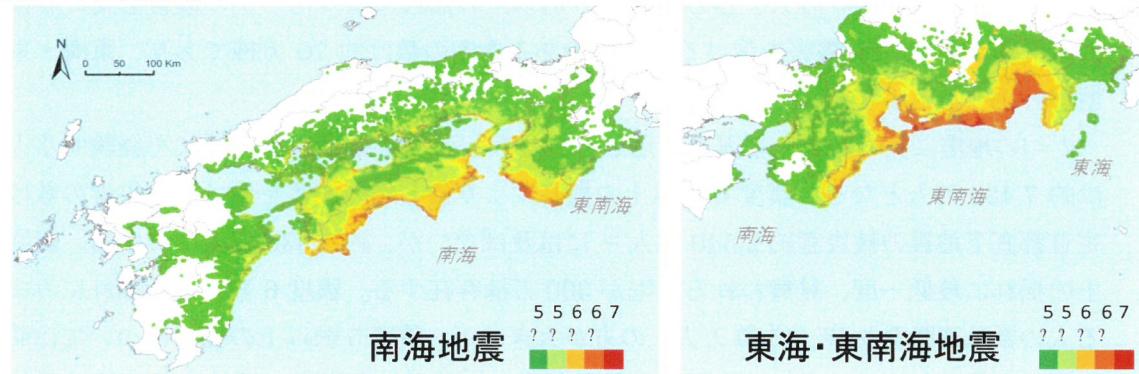


図4 東海・東南海・南海地震が同時発生した場合の暴露量

図5は時間差で発生した場合の2重被災の暴露量を示したものである。7万人近い人々が震度6弱以上の揺れに2回、また、約2.2万棟の建物が震度6弱以上の揺れに2回みまわれる。

## 時間差発生による2重被災

平成12年国勢調査より



		南海地震						合計
		4以下	5弱	5強	6弱	6強	7	
東海 東南 海 地 震	4以下	-	5,741,038	6,320,153	1,417,090	490,699	8,577	13,977,557
	5弱	10,837,141	4,089,011	2,754,005	418,428	129,962	1,546	18,230,093
	5強	5,250,894	3,369,994	5,577,426	143,942	54,618	20,220	14,417,094
	6弱	6,407,337	111,945	32,562	24,674	1,266	1,192	6,578,976
	6強	3,302,775	200,680	25,410	41,365	775	0	3,571,005
	7	419,645	6,284	0	0	0	約7万人	425,929
	合計	26,217,792	13,518,952	14,709,556	2,045,499	677,320	31,535	57,200,654

図 5 東海・東南海と南海地震の時間差発生による二重被災

		南海地震						合計
		4以下	5弱	5強	6弱	6強	7	
東海 東南 海 地 震	4以下	-	1,429,901	1,506,989	364,246	127,403	2,691	3,431,230
	5弱	1,971,550	696,896	462,354	100,337	34,127	611	3,265,875
	5強	1,114,816	629,986	843,170	29,173	16,624	5,679	2,639,448
	6弱	1,333,983	31,876	10,247	8,323	498	350	1,385,277
	6強	746,810	53,858	8,718	12,969	268	0	822,623
	7	93,055	1,816	0	0	0	約2.2万户	94,871
	合計	5,260,214	2,844,333	2,831,478	515,048	178,920	9,331	11,639,324

表 3 時間差発生した場合の一戸建て住宅の二重被災

3ヶ月以上経過すると復旧作業もある程度進む事が予想され、3ヶ月以上の期間が空いて地震が発生した場合は、東海・東南海地震と南海地震は別個の災害が発生するとし、両地震による暴露量を足し合わせて、すなわち2回経験する被災者の数をダブルカウントして評価した。図7に3ヶ月以上の時間差で発生した場合の暴露量を示す。

東海・東南海地震により震度5弱以上の揺れを経験する人の数は約4,320万人、さらに震

度6弱以上の揺れにより何らかの被害を受ける被災者の数は約1,000万人、被害を受ける可能性のある住宅の数は約365万棟に上る。南海地震については、震度5弱以上の揺れを経験する人の数は約3,100万人、さらに震度6弱以上の揺れにより何らかの被害を受ける被災者の数は約275万人、被害を受ける可能性のある住宅の数は約70万棟であり、東海・東南海地震と比べると小ない。

2つの地震に見舞われる暴露量を足し合わせると、震度5弱以上の揺れを経験する人の数は約7,420万人となる。震度6弱以上の揺れにより何らかの被害を受ける被災者の数は、想定首都直下地震の被災者約2,540万人<sup>2)</sup>には及ばないが、約1,330万人にのぼる。震度6以上の揺れに最低一度、見舞われる住宅が300万棟存在する。震度6弱以上の揺れにみまわれる人の数は連動発生時(1500万人)の方が大きいが、震度5弱以上の揺れについては時間差発生した場合に大きくなる。内閣府の被害想定では連動した場合、震度6弱以上の地域が人口集積地域である中京圏で拡大する事が、連動した場合が震度6弱以上の暴露人口が最大となる原因である。

### 三ヶ月の時間差発生の場合の暴露人口

平成12年国勢調査より

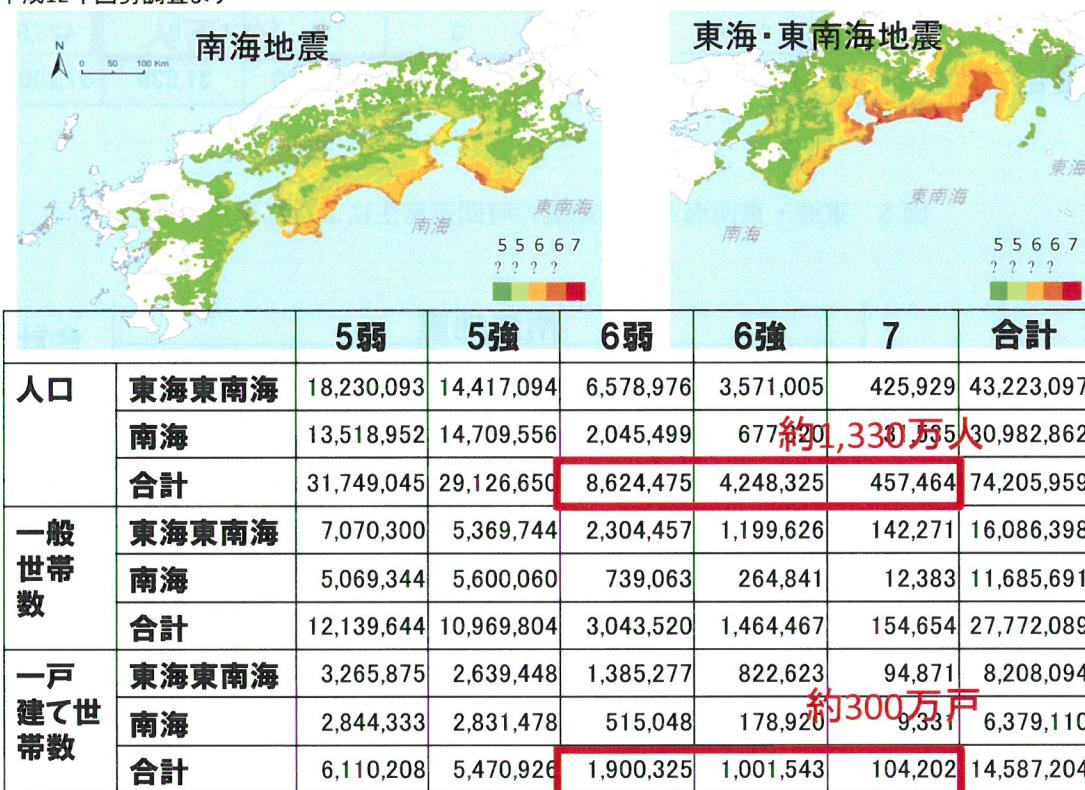


図7 東南海・南海地震時間差発生(3ヶ月以上)による暴露人口。

## 2) 2004 年新潟県中越地震、2007 年能登半島地震、2007 年新潟県中越沖地震の復旧・復興プロセスに関するデータ収集

人口減少社会における復旧・復興プロセスの明確化を目的に 2004 年新潟県中越地震、2007 年能登半島地震、2007 年新潟県中越沖地震の復旧・復興プロセスに関するデータ収集を行った。但し、2007 年能登半島地震、2007 年新潟県中越沖地震による災害は現在も復旧・復興途上にあることから、2004 年新潟県中越地震の事例について復旧・復興プロセスならびにその問題点について分析を行った。

### a) 2004 年新潟県中越地震における中山間地域の復興プロセス

2004 年 10 月 23 日（土）に新潟県で発生した 2004 年新潟県中越地震では、人口減少が進む中山間地域の集落に大きな被害をもたらした。特に新潟県下 7 市町村 61 集落で 1,938 世帯が孤立するという被害が発生した。中山間地域の孤立集落の発生は、この地震のような内陸直下型地震だけでなく東海・東南海・南海地震においても懸念されている<sup>1)</sup>。

2004 年新潟県中越地震で孤立した集落においては、発災後、間もなく避難指示が発令され、集落から地区外の避難所への避難が行われた。それから、2 ヶ月間程度の避難所生活の後（最初の入居は 11 月 24 日、全ての応急仮設住宅が 12 月 15 日までに完成）、地域外に設置された応急仮設住宅での生活が 2 年程度つづいた。その後、恒久的な住宅再建が行われた。孤立集落の再建プロセスを分析すると、図 8 に示すように、「帰村」する人と「移転」する人に分かれる。さらに「移転」についても集落である程度まとまって移転する「集団移転」と個別に移転する「自力再建」とに分かれる。こうした集落再建の結果を、さらに、どれだけの人が元の集落に戻ったのかという観点から分析してみると、「積極的に集落に戻る支援をするかしないかに関わらず、震災前の地域の状況に応じて、世帯の流出が行われてしまうということが伺える」<sup>2)</sup>といわれるよう、中山間地域の集落では大幅な人口減少が発生した。以下、小千谷市東山地区を事例に、人口減少社会における集落再建について詳細に検討する。

# 孤立集落の再建

## ？中越地震における孤立集落の発生

？7市町村61地区 1,938世帯が孤立状態

？自力もしくはヘリコプターによる地域外への避難

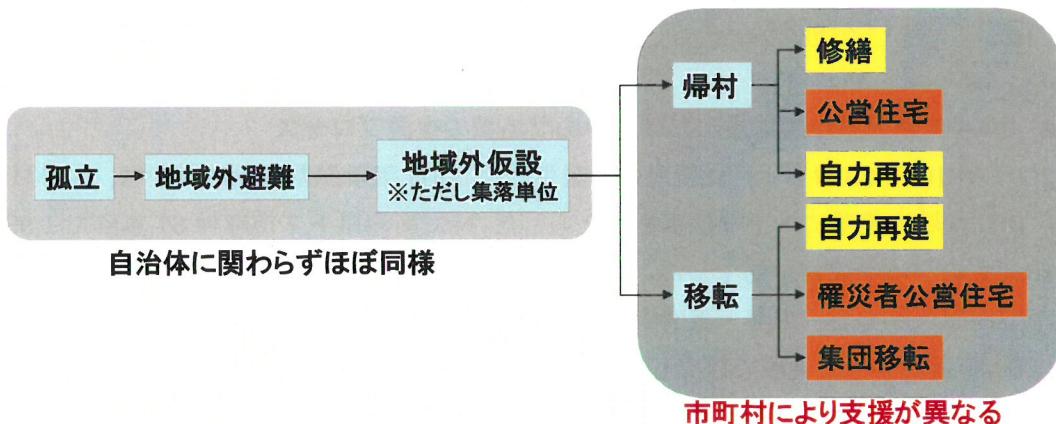


図8 2004年新潟県中越地震における孤立集落の再建プロセス

### b) 人口減少下での集落再建 -小千谷市東山地区の事例

小千谷市東山地区は、旧山古志村同様に中山間地に位置する。2004年新潟県中越地震では東山地区も道路の寸断に伴い孤立状態になるとともに、住宅等も甚大な被害を受けた。東山地区では、住宅被害として全301棟のうち124棟が全壊認定を受け、倒壊した建物の下敷きとなり3名の方が亡くなった。

東山地区の復旧は避難勧告発令が継続する中で行われた。そのため原則として被災後1ヶ月以内に工事を完了させる必要がある応急住宅修理制度などは適用対象外となる等、避難勧告が発令されてない他の地域に比べ機会損失が生じることとなった。そのため、6ヶ月以上避難勧告が継続した地区に関しては「みなし全壊」の措置も採られ、それを補填するための対策がなされ、東山地区の一部被災者もその対象となっている。

全村が避難したことにより、従前居住地での再建が地域の再生に必要不可欠であった旧山古志村と異なり、小千谷市域の一部分であった東山地区では、行政による住宅再建支援は、従前居住地を離れる必要がある「防災集団移転等促進事業（いわゆる「防集」）によって行われることとなった。東山地区のなかでも最も奥まった場所に位置するとともに、地震直後に形成された震災ダムにも近接し、将来的な安全性や利便性に不安が残された十二平集落では11世帯すべてが集団移転に賛同し、小千谷市街地に確保された集団移転先（三仏生団地）への移転再建（10世帯）および個別移転再建（1世帯）を決断した。それ以外にも、東山地区全体で約48%の世帯が地震をひとつのきっかけとして集落を離れて住宅を再建することと

なった。特に荷頃集落では約7割の世帯が集落を離れている。その一方で中山集落では全世帯が集落での生活再建を選択している。特に住宅被害が甚大であった場合、集団移転を選択すると行政による各種支援の対象となるのに対し、従前居住地での再建ではその支援が限られることや、すでに農業を自家用生産のみとするなど、東山地区に居住する必要性が低下しつつあったことも、移転再建の割合が約半数に及んだ理由であるといえる。東山地区からの移転状況について図9に示す。

約半数の世帯が東山地区を離れた結果、人口も震災前の1,071人から597人へと減少し、地区全体の人口構成を見ても（図10）、人口減少の中で、今後の集落再建に取り組まなくてはならない状況となった。

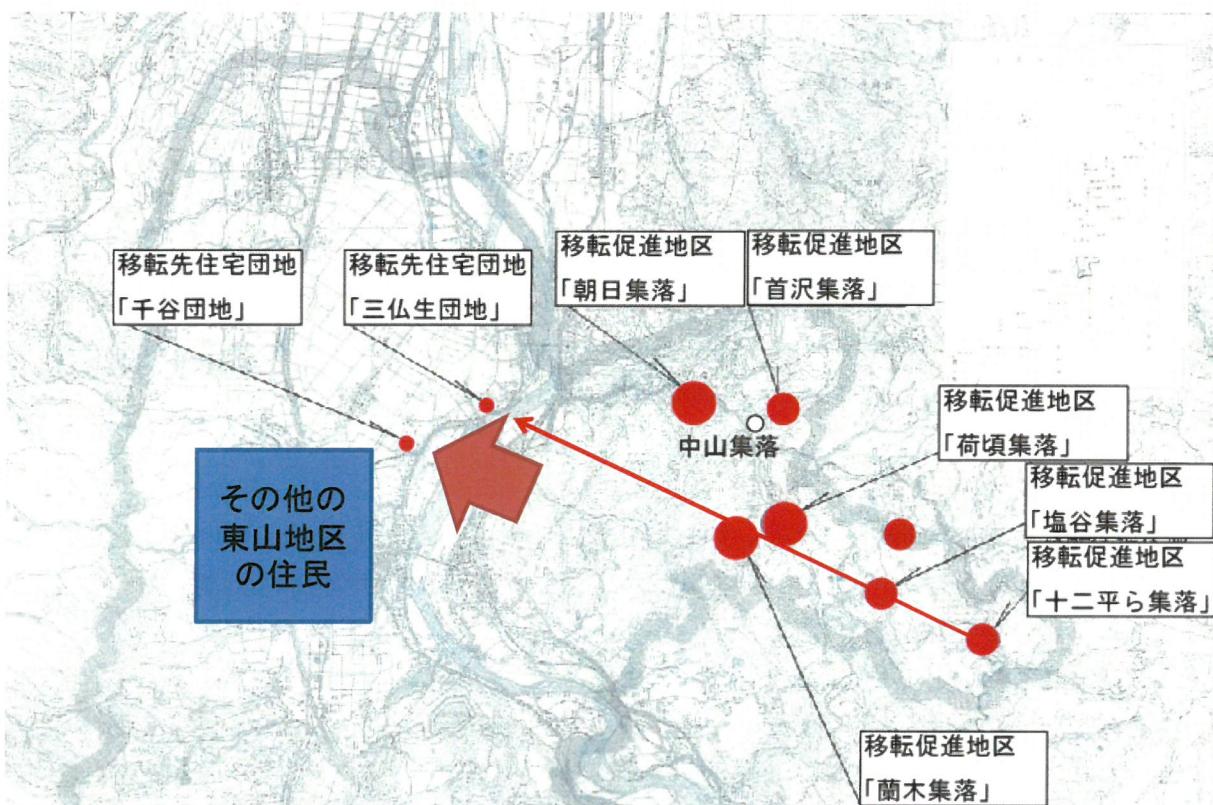


図9 小千谷市における集落移転事例

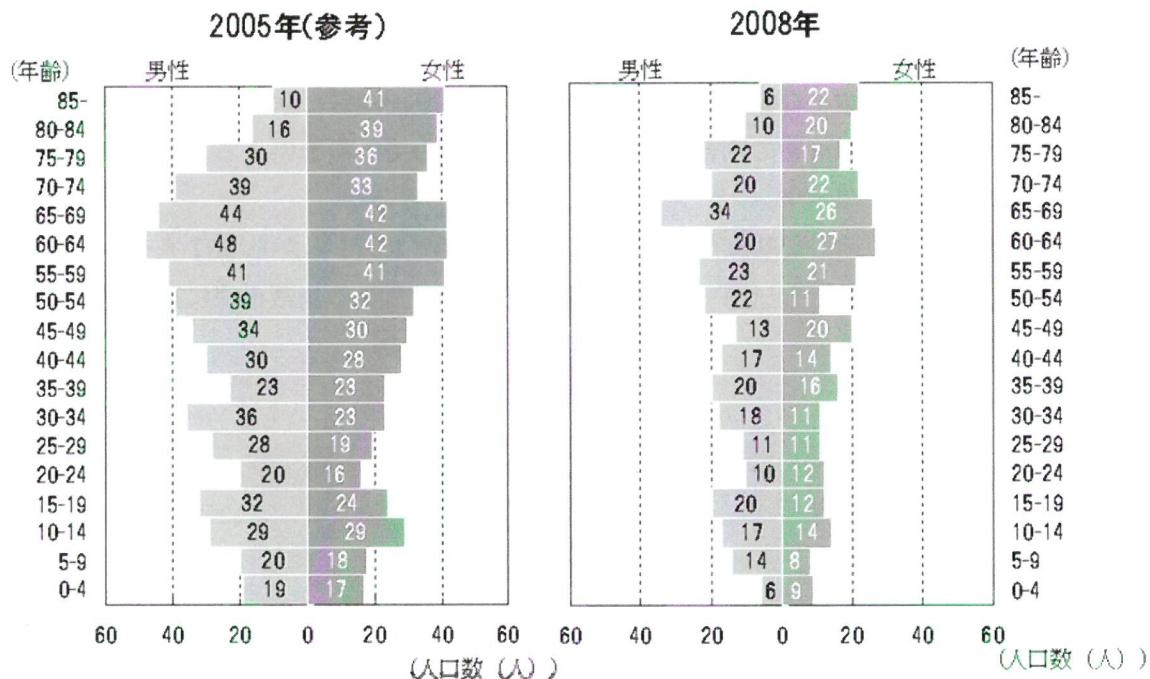


図 10 東山地区の人口変化（2005年（参考）と記されているのは、東山地区2005年の国勢調査は、住民が仮設住宅で生活していることから地震発生前の住所に基づいて集計され、2005年の調査結果が地震発生前の状況を表したものとなっているため）。

### c) 中山間地域の集落再建の課題

東海・東南海・南海地震においても紀伊半島南部、四国において多くの中山間地域が被災する事が予想されている。2004年新潟県中越地震の事例をもとに中山間地域における復興戦略について以下の通りに分析した。

中山間地域に住む居住者を、1) 子育て世代、2) 新規定住者（定年帰農者等）、3) 後期高齢者、4) 既存高齢者（年金生活者）という4つに分類した。各分類を「居住環境整備の必要性」、「居住意志」という2つの軸で整理すると図11のようになる。以下、分類ごとに集落再建のための課題を示す。

- 1) 子育て世代：学校や保育所、職場など生活を支える施設だけでなく、安全性の確保なくしては地域を離れる可能性もある。
- 2) 新規定住者（定年帰農者等）：ムラでの生活に希望は抱いているものの、十分な生活環境整備なしでは、地域を離れる可能性がある。
- 3) 後期高齢者：居住継続意思は強いものの、介護をはじめとした各種サービスが徐々に必要となる。
- 4) 既存高齢者（年金生活者）：多少建物や道路等に不便があっても田畠があって、農業をしながら生活ができるれば良いと考えており、地域を離れる可能性は低い。

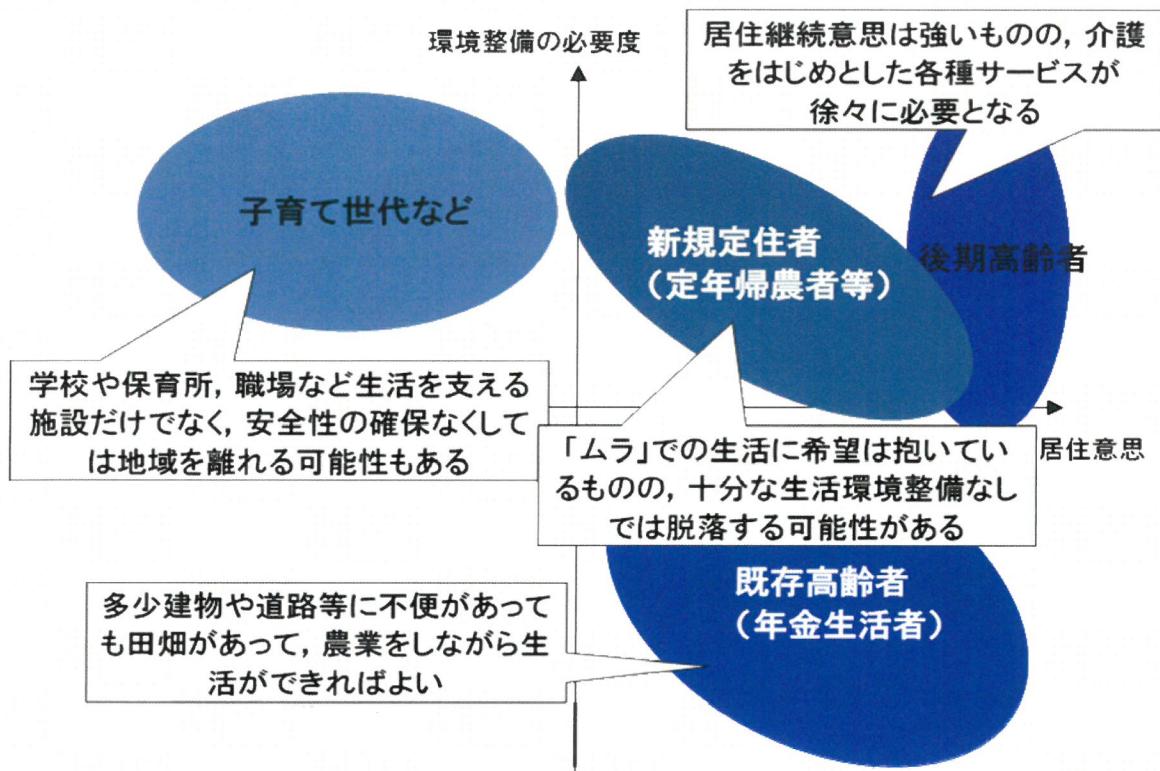


図 11 中山間地域の集落再建の課題

こういった課題を踏まえた上での集落再建戦略を図 12 に示す。定住高齢者については、必要最低限の復旧だけで災害後も集落に戻ってくる事が可能であるが、その他の子育て世代、新規定住者（定年帰農者等）、後期高齢者については、災害後の復興事業において公共施設や福祉施設、ライフラインを含めた総合的な基盤整備、新たな産業育成と職場の確保といった大規模な復興事業を実施すること無しには中山間地の集落への帰還は難しいと考えられる。

東海・東南海・南海地震においては、多くの中山間地域集落が被災すると想定されるが、これら全ての集落について 2004 年新潟県中越地震のような十分な復興支援を実施する事は不可能であると考えられる。集落の統廃合を含めて対策を従前から検討しておくことが、東海・東南海・南海地震の中山間地域の復興を考える上で非常に重要である。

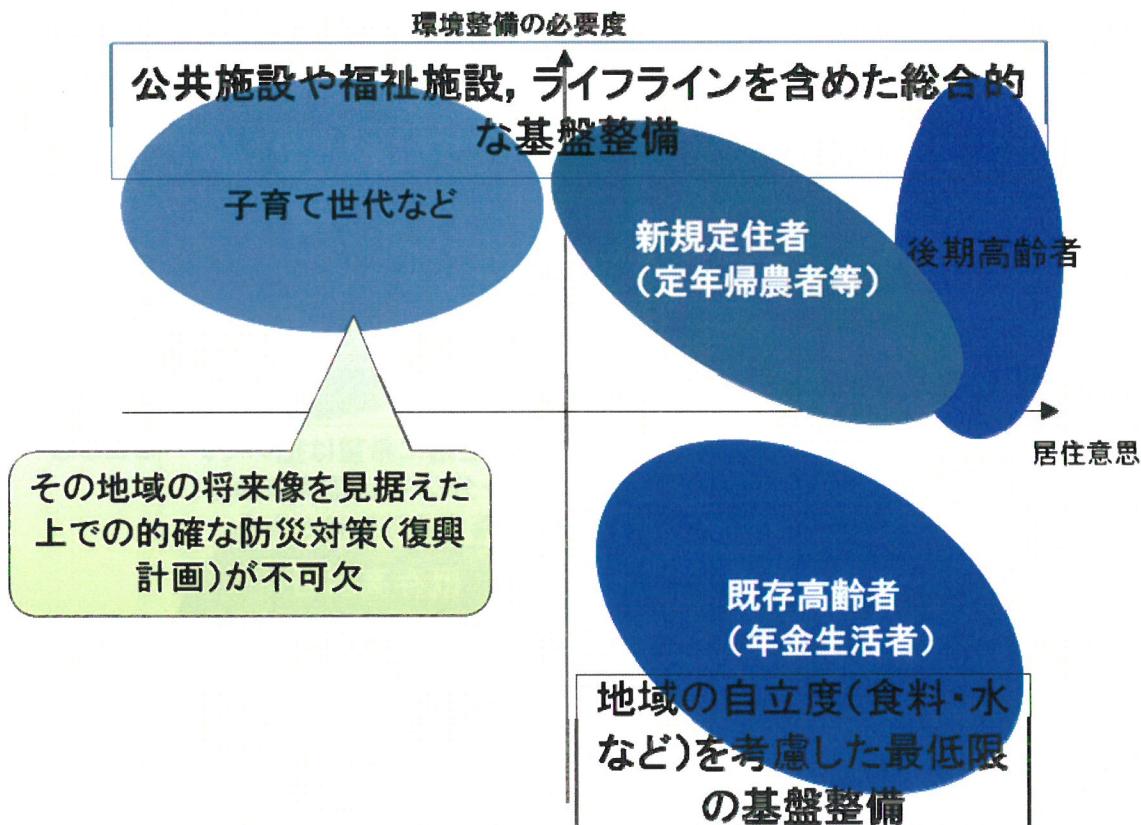


図 12 中山間地域の集落再建における課題毎の対策

### 3) ライフラインや道路等の被災が、地震直後の被災者生活と地震後の復旧・復興活動に与える直接的・間接的影響評価

重要社会基盤施設が被災した際の影響評価を行うための基礎的な考察として、ライフラインや道路等の被災が、地震直後の被災者生活と地震後の復旧・復興活動に与える直接的・間接的影響の具体化とその規模を明確化について、ライフラインの停止を中心に被害想定手法の検討を行った。

#### a) ライフライン停止の影響評価

東海・東南海・南海地震の被災地域は非常に広く、ライフラインの詳細な脆弱性に関するデータの入手を行う事は困難であり、簡便な方法による被害・影響度の推定を行うことが重要である。そのために、兵庫県南部地震の被害事例にもとづき、震度 I をパラメータとし当該地点における供給系ライフラインの地震時機能を、①ライフライン機能の停止確立  $p(I)$ 、②震度 I で機能停止という条件下での停止期間  $t$  の非超過確率  $F(t/I)$  という 2 段階で評価する方法<sup>2)</sup> (能島、2003 年) が提案されている。また、「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」において、地域基準メッシュ単位に整備された給水人口、地盤種、地震動と、(社)日本水道協会の水道統計に基づいてメッシュ単位に人口比率で分配した配水管データをもとに、簡単に復旧日数を推定するシステム<sup>3)</sup> が開発されている。これらの方針、システムを用いて、東海地域における東海地震、東南海地震、東海・東南海地震同時発生時のライフライン停止

の影響について評価した結果を収集し、表4のとおりにまとめた。

表4 東海地域におけるH7年国勢調査データに基づく東海4県（三重、岐阜、名古屋、静岡）について電気、水道、都市ガス停止時の影響人口

想定地震		想定東海地震	東南海地震	東海・東南海地震
電力	停止率	710万人(49%)	875万人(61%)	990万人(69%)
	復旧所用時間(復旧率90%)	76時間	44時間	74時間
水道	停止率	350万人(25%)	385万人(27%)	545万人(39%)
	復旧所用時間(復旧率90%)	38日	26日	36日
ガス	停止率	120万人(19%)	115万人(18%)	185万人(29%)
	復旧所用時間(復旧率90%)	68日	54日	66日

#### (c) 結論ならびに今後の課題

東南海・南海地震で被災する東海・関西・四国地域の社会状況（人口、経済、社会構成等）や被害想定結果に関するデータ収集を行い、将来の社会状況のシミュレーションを実施するために、社会状況GISデータベースの構築を行った。このデータベースは1) 国勢調査データ（昭和60年、平成2、7、12、17年）、2) 土地利用データ（国土数値情報土地利用メッシュ、1976、87、91、97）、3) DARMSデータ（小売店の位置データ、平成19年）、4) 発電所データ（平成19年、一部は平成7年）、5) 東海・東南海・南海地震の震度分布（中央防災会議）の5種類のデータから構成されている。本データベースを利用して、東海・東南海・南海地震の連動、時間差発生時の暴露人口の推計を行い、3ヶ月以上の時間差をもって発生した場合の暴露人口が最大であり1,000万人以上の被災者が発生する事を明らかにした。今後、本データベースを用い、1) 将来の人口変化を考慮した暴露人口数、2) 復旧復興戦略を考える場合の地域類型の抽出、3) 被災地域の地域分類を実施すると同時に、事業所統計データ、学校、道路網等についてデータの拡充を行う。

人口減少社会における復旧・復興プロセスの明確化を目的に2004年新潟県中越地震、2007年能登半島地震、2007年新潟県中越沖地震の復旧・復興プロセスに関するデータ収集を行った。特に災害発生から5年が経過する2004年新潟県中越地震後の中山間地域の復興プロセスの分析を行い、元の集落で生活再建を行うことが可能なように積極的に復興投資を行った場合でも集落から人口流出が避けられない事を明らかにした。その結果から、中山間地域における復旧・復興戦略としては、事前から集落の統廃合を含めた復興戦略をもっておく必要がある事を明らかにした。今後は、上記の社会状況GISデータベースを用いた地域分類結果に基づき、地方都市、地方農村、大都市域等の復旧・復興戦略についての検討を実施する。

重要社会基盤施設が被災した際の「影響評価」を行うための基礎的な考察として、ライフラインや道路等の被災が、地震直後の被災者生活と地震後の復旧・復興活動に与える直接的・間

接的影響の具体化とその規模を明確化について、ライフラインの停止を中心に東海・東南海・南海地震により影響を受ける広域エリアについて適用可能な簡便な影響評価手法の収集を行うとともに、過去に実施された東海地域における電気・都市ガス・水道停止の影響についての情報収集をした。今後は、同手法を東海・東南海・南海地震の影響エリア全域に適応してライフライン停止の影響評価を実施すると共に、特に電力停止について、発電所が被災した場合を考慮し、地域の総需要を充足する事ができるのかという観点からの影響度評価を実施する。

#### (d) 引用文献

- 1) 内閣府：中山間地等の集落散在地域における地震防災対策に関する検討会，中山間地等の集落散在地域における地震防災対策に関する検討会提言，  
[http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/taisaku\\_sonota/syuraku-kentoukai.html](http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/taisaku_sonota/syuraku-kentoukai.html), 2005.
- 2) 鈴木進吾・林春男：首都直下地震災害の暴露指標の算出とその地域的特性に関する研究，地域安全学会論文集, 10, pp.97-104, 2008.
- 3) 能島暢呂・杉戸真太・鈴木康夫・佐藤寛泰：被災事例に基づく供給系ライフラインの地震時機能停止と復旧過程の予測－想定東海・東南海地震を対象として－，地域安全学会梗概集, 13, pp.101-104, 2003.
- 4) 河田恵昭：3. ライフラインの広域復旧戦略シミュレータの開発、Ⅲ・3 巨大地震・津波による太平洋沿岸巨大連携都市圏の総合的対応シミュレーションとその活用手法の開発,文部科学省 大都市大震災軽減化特別プロジェクト報告書, pp.159-160, 2007.

#### (e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 (学会等名)	発表時期	国際・国内の別
なし	なし	なし	なし	なし

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 (雑誌等名)	発表時期	国際・国内の別
Response to possible earthquake disasters in the Tokai, Tonankai, and Nankai areas, and their restoration/reconstruction strategies	Maki, N., Hai-Li Chen, and S. Suzuki	Journal of Disaster Research	掲載決定 (時期未定)	国際
新潟県中越地震における集落再建支援に関する研究	澤田 雅浩	東濃地震科学研究 所報告 No.23	2009	国内

中越地震からの地域再建過程 に関する研究	澤田 雅浩	日本建築学会北陸 支部研究報告集 第52号	2009	国内
-------------------------	-------	-----------------------------	------	----

#### マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果（記事 題名・タイトル）	対応者氏名	報道・掲載機関 (新聞名・TV名)	発表時期	国際・国 内の別
なし	なし	なし	なし	なし

#### (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

##### 1) 特許出願

なし

##### 2) ソフトウェア開発

名称	機能
社会状況 GIS データベース	東海・東南海・南海地震の影響エリアの人口、震度分布、商業施設、発電所等のデータを含むG I S データベース

##### 3) 仕様・標準等の策定

なし

#### (3) 平成 21 年度業務計画案

平成 20 年度に構築した社会状況 GIS データベースおよび他のサブテーマ内で実施した地域研究会での議論に基づいて、南海トラフ地震の推定被災地域の地域特性の分析を行う。具体的には国勢調査の人口データを用いたクラスタ分析を実施し、1) 人口状況に基づく地域類型の実施、2) 地域類型毎の将来地域像の推計、3) 将来人口の変化を踏まえた東海・東南海・南海地震の暴露人口の推計を実施する。また、より詳細に地域ごとの復旧・復興戦略の検討を行うために社会状況 GIS データベースの拡充を実施し、事業所統計データ、道路ネットワーク、学校の位置等のデータの追加を行う。また、緊急地震速報の時間差発生の被害軽減量の推定を行うためのフレームワークの基礎的検討を行う。

また、地域類型の抽出については、日本全体に大きな影響を与えるナショナルクラス都市、各県庁所在地等の幾つかの生活圏に影響を与えるリージョナルクラス都市、さらに各生活圏に影響を与えるコミュニティークラス都市、及び中山間地域という考え方に基づき、人口データのクラスタ分析結果を踏まえ、東海・東南海・南海地震により影響を受ける地域の地域分類を確定する。確定された地域分類毎に社会状況モデルの構築を行い、適切かつ現実性の高い防災・減災施策の検討を順次実施する。来年度は、特に中山間地域については、最近の急激な高齢化進行によって、現存する施策のもととなった社会条件が大幅に異なってしまっており、その実効性が損なわれている可能性が高いことから、重要な課題として取り上げ、規範となる復旧・復興プロセスの策定

を進めると共に、高知・和歌山といった地方中核都市についての基礎的な検討を開始する。

重要社会基盤施設としての発電施設について、その施設被災による地域への影響を評価する。具体的には、東海・東南海・南海地震の影響地域における電力の総需要量の推計を、人口データ、事業所統計データ等のもとに行い、発電施設が被害を受けた場合にどれだけの需要量をまかなえるのか、という観点からの電力停止に関する影響度評価の手法の検討を行う。また、本年度収集した想定東海地震、東南海地震、東海・東南海地震に対する東海地域の電力、都市ガス、水道停止の簡便な影響度評価結果の他、東海・東南海・南海地震に対してもその評価法を適用し、被災が予想される全地域でライフラインの影響度評価を実施する。

地震地殻変動、複合災害にともなう津波による長期湛水被害後の復旧・復興戦略や災害の直接的・間接的影響を明らかにするために、国内外の津波災害調査と復興戦略に関する事例調査研究を進める。具体的には、高知市での沈降による長期湛水被害による影響評価をおこなう。また、浸水被害後の復旧・復興戦略の検討の基礎資料の収集を目的に、伊勢湾台風、ハリケーンカトリーナといった地震以外による高潮災害の事例についても、復旧プロセスや土地利用規制等の事例調査研究を実施する。

### 3. 5. サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催

#### (1) 業務の内容

##### (a) 業務の目的

本サブテーマでの業務は、次の三つの目的を有する。一つ目は、サブプロジェクト①と連携して、東海・東南海・南海地震震源域周辺の地下構造モデルを構築し、地震津波シミュレーションの高度化を図ることである。二つ目は、強震記録に基づく浅層軟弱地盤による增幅率の面的なモデル化を行い、都市域の地震動予測や構造物の被害予測の向上に資することである。三つ目は、プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会の運営を行い、プロジェクトに対する理解の普及促進と地域社会のプロジェクトへの積極的な関わりを図ることである。

##### (b) 平成20年度業務目的

3次元差分法による広帯域強震動・津波シミュレーションのための初期的な地下構造モデル構築を目的として、既往の研究による東海・東南海・南海地震震源域周辺の堆積層・地殻・マントル形状を陸海域で統合化する。地下構造のモデル化には、震源分布や構造探査結果を基にした構造形状を組み入れる。強震動シミュレーション結果と地震観測データの比較により、モデルの弾性率等の物性価の調整を行う。構造物の大半を占める低層・中層構造物の被害に影響する浅層部分の表層軟弱地盤による短周期地震動の増幅特性評価を目的として、大阪平野、濃尾平野の強震記録と浅層地盤データを収集・整理する。プロジェクトに対する理解の普及促進と地域社会のプロジェクトへの積極的な関わりを図るために、プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会の立ち上げを行い、それぞれの地域ごとに、本サブプロジェクト研究者を交えた地域研究会を2回程度開催する。

##### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
独立行政法人海洋研究開発機構 海洋工学センター 海底地震・津波ネットワーク開発部	部長	金田 義行	kaneday@jamstec.go.jp
独立行政法人海洋研究開発機構 海洋工学センター 海底地震・津波ネットワーク開発部	技術研究主任	大堀 道広	ohorim@jamstec.go.jp
独立行政法人海洋研究開発機構 海洋工学センター 海底地震・津波ネットワーク開発部	特任技術研究副主任	中村 武史	t_nakamura@jamstec.go.jp

## (2) 平成20年度の成果

### (a) 業務の要約

構造探査結果、震源分布結果、レシーバ関数解析結果を基に、3次元差分法による強震動・津波シミュレーションのための東海・東南海・南海地震震源域周辺における陸海域で統合化された初期的な地下構造モデルを構築した。大阪平野、濃尾平野を包含する領域より、地震動の短周期成分の增幅特性の評価に必要な強震記録と浅層地盤データを収集・整理するとともに、浅層軟弱地盤による增幅率を推定するための予備解析を行った。プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会を立ち上げ、高知市、大阪市、名古屋市の各地においてそれぞれ2回ずつ開催した。また、1回目の地域研究会では、地域研究会の趣旨およびプロジェクトの周知も兼ねた（地域研究会の参加者も含む）一般市民向けのミニシンポジウムを開催した。関連して、名古屋圏に位置する四日市市でも地域特性を話題とした講演会を開催した。

### (b) 業務の成果

#### 1) 陸海域における地下構造モデルの構築

既往の反射法・屈折法構造探査結果、震源分布結果、レシーバ関数解析結果を統合化し、陸海域における地下構造形状のモデル化を行った。モデル構築の対象範囲は、北緯28-37度、東経128-142度、深さ0-200kmの領域である。この領域は、フィリピン海プレートと太平洋プレートが重なり合う関東直下の陸域、関東から南九州にかけてフィリピン海プレートが沈み込む南海トラフの海域を含み、強震動シミュレーションのために地下構造の高精度なモデル化が必要な領域である。本研究では、平成17年度及び18年度大震災軽減化特別プロジェクト（大大特プロジェクト）の「断層モデル等の構築」の課題で構築した地下構造モデル（大震災軽減化特別プロジェクト平成17年度成果報告書、平成18年度成果報告書）を基本モデルとして、さらなる高度化を進めた。

地下構造モデルの高度化にあたっては、図1に示す構造探査測線、震源分布から推定されたプレート境界面形状、レシーバ関数解析から推定されたモホ面形状のデータを使用した。このうち、図1に赤線で示した測線位置データ、青・緑・紫線で示した等深度線データは、モデル高度化のために本年度新たに導入した研究結果である。関東東部のプレート境界面形状（図1紫線）については、小繰り返し地震の震源分布を基に推定された結果（Kimura et al., 2006<sup>1)</sup>）を示している。Kimura et al. (2006)<sup>1)</sup>によれば、この地震は、非地震性すべりによる応力蓄積のためにプレート境界面で繰り返し発生した地震と考えられている。本研究では、深さ30kmより浅い領域では Sato et al. (2005)<sup>2)</sup>による構造探査結果、30km以深の領域では Kimura et al. (2006)<sup>1)</sup>による小繰り返し地震の分布結果を用いて関東東部におけるプレート形状のモデル化を行った。また、鹿児島県沖における構造探査測線（図1赤線）は、Iwasaki et al. (1990)<sup>3)</sup>による構造探査の位置を示している。構造探査線上の堆積層・プレート面・モホ面形状をデジタイズ化し（図2）、地理座標に変換後、各層のモデル化を行った。さらに、中国・四国・近畿地方のモホ面形状については、レシーバ関数解析で推定された結果（図1青線及び緑線、Yamauchi et al., 2003<sup>4)</sup>; Shiomi et al., 2004<sup>5)</sup>）を示している。モホ面のモデル化に

あたっては、構造探査結果が不足している中国地方については Shiomi et al. (2004)<sup>5)</sup>、近畿地方については Yamauchi et al. (2003)<sup>4)</sup>の結果を用いた。ただし、構造探査結果とレシーバ関数解析結果が重なっている領域で、モホ面の深さ分布が両者の間で一致していない領域については、構造探査結果を基に地下構造モデルの構築を行った。

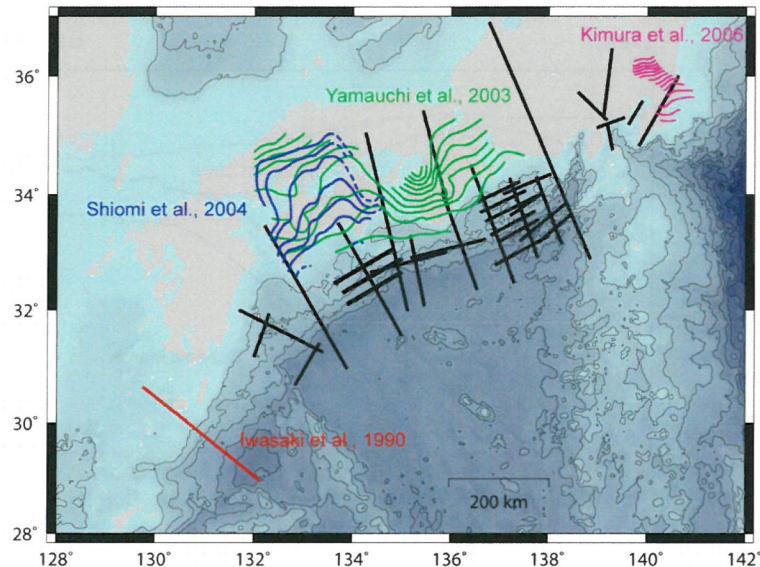


図 1 地下構造モデルの作成で使用した反射法・屈折法構造探査測線、小繰り返し地震震源分布によるプレート形状 (Kimura et al., 2006)、レシーバ関数解析によるモホ面形状 (Yamauchi et al., 2003; Shiomi et al., 2004)。このうち、赤線 (Iwasaki et al., 1990)・青線 (Shiomi et al., 2004)・緑線 (Yamauchi et al., 2003)・紫線 (Kimura et al., 2006) は、従来のモデル (大都市大震災軽減化特別プロジェクト平成 17 年度成果報告書、平成 18 年度成果報告書) を基に、本プロジェクトでの地下構造モデル作成にあたって新たに使用したデータである。

モデル化作業にあたっては、緯度・経度・深さに変換された各研究結果のデータセットに対し、曲率最小化アルゴリズム<sup>6)</sup>を用いて領域全体の堆積層の厚さ、プレート境界 (海洋性地殻第 2 層上面)、モホ面 (海洋性マントル上面) の 3 次元形状を作成した。これらの結果を図 3 に示す。大大特プロジェクトで構築した地下構造モデルとの違いは、第一に、Iwasaki et al. (1990)<sup>3)</sup>の結果に基づき、堆積層を鹿児島県沖まで伸ばしたことが挙げられる。大大特プロジェクトのモデルでは、鹿児島県沖の構造を統合化していなかったため、堆積層は日向灘沖までしか含まれていなかつたが、本年度構築したモデルでは厚さ約 10 km の堆積層を鹿児島県沖まで含んでいる。また、大大特プロジェクトのモデルでは、プレート及びモホ面の等深度線が日向灘沖から南南西の方向に伸びており、トラフ軸と等深度線が交差する形になっていたが、本年度構築したモデルでは、鹿児島県沖で等深度線が南西方向へ屈曲し、トラフ軸と平行する形状となっている。第二の違いとして、レシーバ関数解析結果<sup>4,5)</sup>に基づき、中国地方ではプレート及びモホ面の等深度線が東西方向に伸びた形状となっていることが挙げられる。この地域では、プレート及びモホ面の深さが 50 km を超えており、反射法及び屈折法では境界面を推定することができない。そこで今年度の業務ではレシーバ関数解析結果を導入

し、まずモホ面形状を補正し、次にそれに合わせてプレート面形状の補正を行った。その結果、大大特プロジェクトのモデルと比べ、中国地方において深さ毎の等深度線が西南西－東北東の方向に互いにほぼ並行に走り、プレート形状が屈曲し始める中国地方の西部においてはプレート及びモホ面が西へ急激に沈み込む形状となっている。

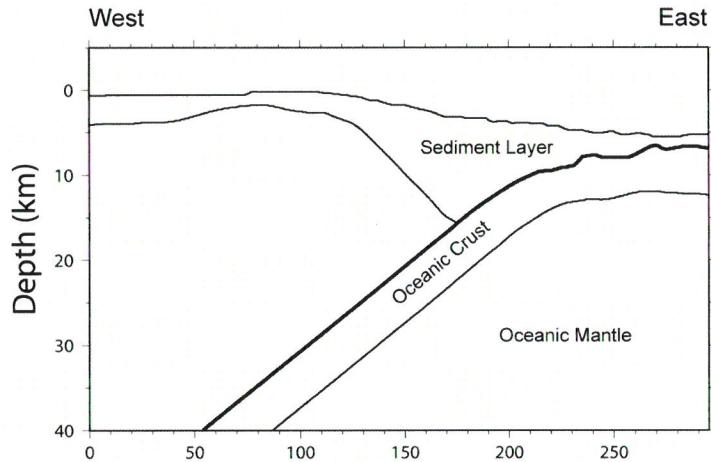


図2 鹿児島県沖における堆積層・プレート面（海洋性地殻上面）・モホ面（海洋性マントル上面）形状（Iwasaki et al., 1990）。

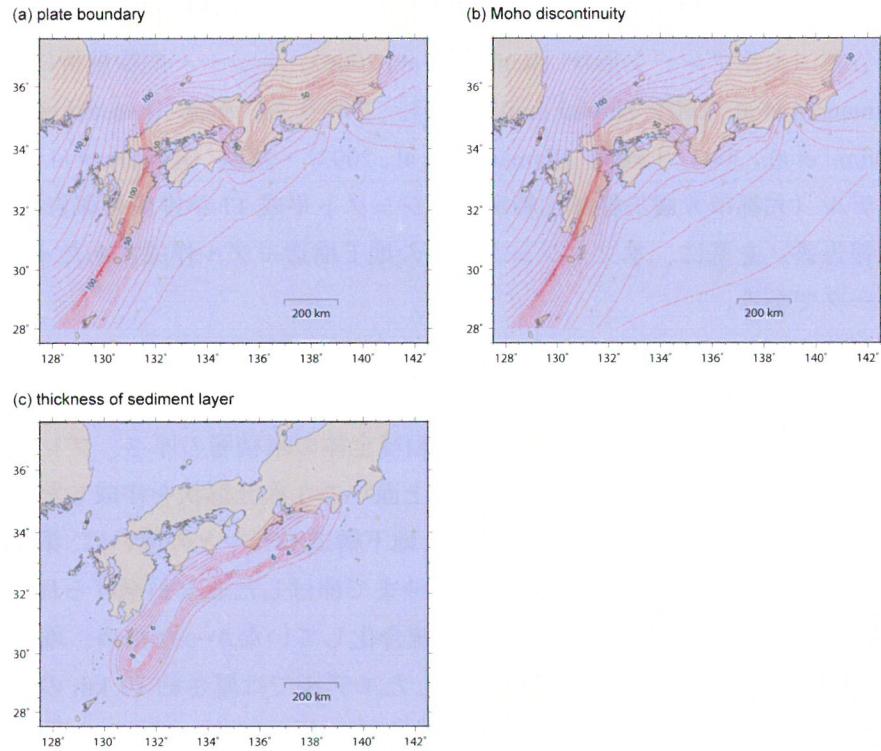


図3 解析領域における (a) プレート境界面及び (b) モホ面の深度分布、(c) 堆積層の厚さ分布結果。プレート境界面及びモホ面については、5 km 每に等深度線で表示している。堆積層の厚さについては1 km 每に等厚線で示している。

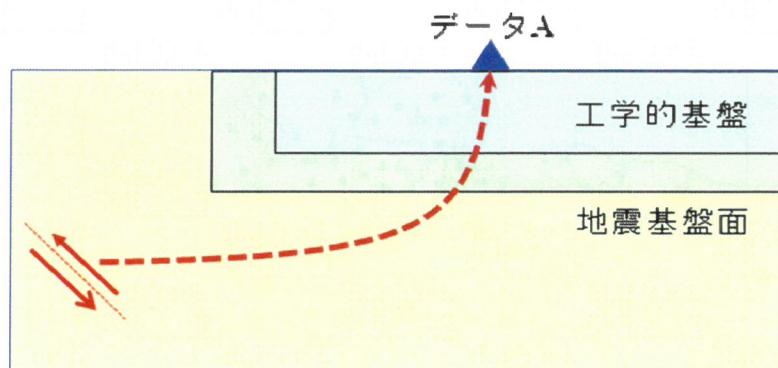
表1 検討対象とする28地震の概要

地震番号	気象庁一元化震源					
	日付	時刻	$M_J$	緯度	経度	深さ
	年/月/日	時:分		(°)	(°)	(km)
1	1997/3/16	14:51	5.6	137.5	34.9	40.0
2	1997/5/24	2:50	5.6	137.6	34.4	30.0
3	1998/4/22	20:28	4.0	136.564	35.17	11.0
4	1998/4/22	20:32	5.4	136.57	35.165	10.5
5	1998/4/23	11:26	3.7	136.5573	35.1738	11.0
6	1998/5/17	12:59	3.8	136.572	35.1557	12.4
7	1998/9/4	17:15	3.5	136.549	35.1797	10.6
8	1999/3/16	16:43	4.9	135.9355	35.2712	12.1
9	1999/8/21	5:33	5.4	135.4738	34.042	69.6
10	2000/4/15	2:41	4.8	135.3872	33.6227	46.1
11	2000/10/31	1:42	5.5	136.3485	34.2808	43.1
12	2001/1/12	8:00	5.4	134.492	35.4648	10.4
13	2001/2/23	7:23	4.9	137.5635	34.7433	39.7
14	2001/8/25	22:21	5.1	135.6608	35.1472	9.5
15	2004/1/6	14:50	5.4	136.7173	34.2123	37.5
16	2004/9/5	19:07	6.9	136.8005	33.0297	37.6
17	2004/9/5	23:57	7.4	137.1423	33.1435	43.5
18	2004/9/6	5:30	5.9	136.9083	33.2853	36.9
19	2004/9/7	8:29	6.4	137.2958	33.2057	41.0
20	2004/9/8	3:36	5.5	137.192	33.2218	39.7
21	2004/9/8	23:40	5.4	137.3208	32.9607	42.6
22	2004/9/8	23:58	6.5	137.2905	33.1143	36.1
23	2004/9/10	11:05	5.6	136.7335	32.974	30.0
24	2004/10/5	8:33	4.8	136.3812	35.9302	12.4
25	2005/12/24	11:01	4.8	136.8402	35.2307	43.0
26	2007/4/15	12:17	3.2	136.4078	34.7905	15.6
27	2007/4/15	12:19	5.4	136.4077	34.7912	16.0
28	2007/4/15	18:34	4.6	136.4168	34.7937	16.5

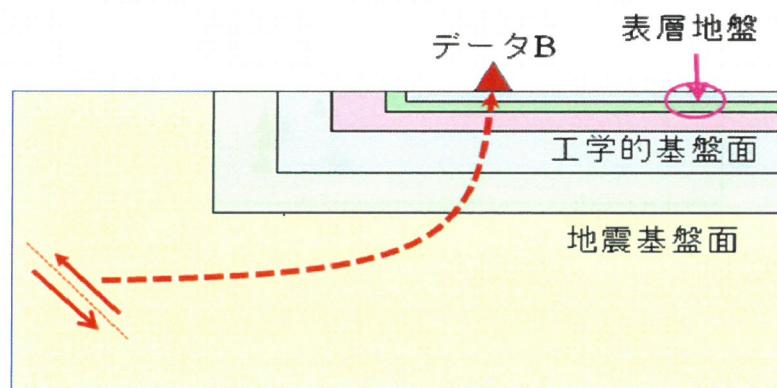
## 2) 浅層部分の軟弱地盤による增幅率のモデル化

表層地盤の地下構造による增幅特性とチューニングの必要性について、図4を用いて説明する。震源から観測点までを一体的にモデル化する3次元差分法で強震動の計算を行う場合には、数値計算上の制約により、図4(a)のように浅層部分の軟弱な地盤を考慮せずにモデル化が行われる。一方、図4(b)に示すように堆積平野の表層の浅い部分には軟弱な地盤が横たわっており、この浅層部分は図4(c)に示すように構造物の大半を占める低層・中層構造物の被害に関連する短周期の地震動の增幅に寄与することから、これを適切に評価した上で、3次元差分法による地震応答の微調整をする必要がある。この微調整のことを、ここでは“チューニング”と呼ぶ。近年、全国的な強震観測網の整備により、強震記録の飛躍的な蓄積が進んでおり、チューニングを行うには、表層の增幅特性が反映されている強震記録を最大限利用することが効果的である。本年度は、大阪平野、濃尾平野を含む地域を対象として、防災科学技術研究所のK-NET、KiK-net<sup>7)</sup>を用いて、地表で得られた強震記録と浅層地盤データ

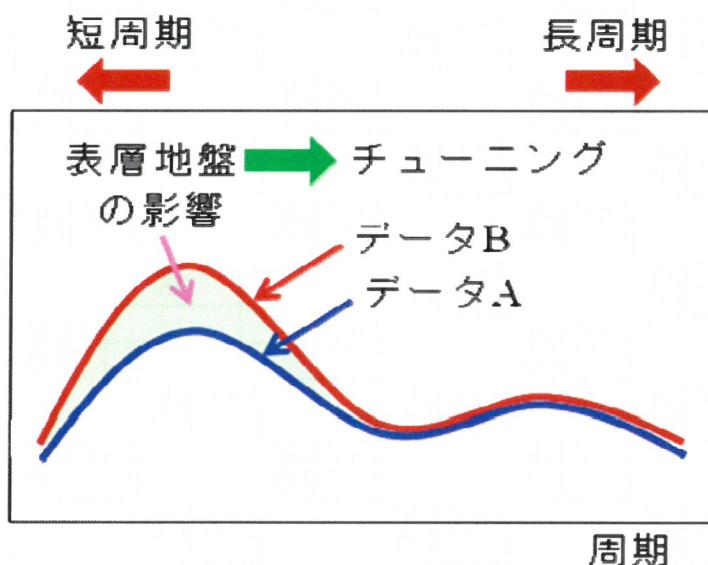
タを収集・整理した上で、多数の地震による多数の観測点における強震記録に基づき、表層地盤の增幅特性を評価するスペクトル・インバージョンの予備解析を実施した。表 1 に対象とする 28 地震の諸元を示す。同表の No.16~23 までの 8 地震は、2004 年 9 月 5 日の三重県南東沖の地震 ( $M_J$ 7.4、No.17) とその前震 (No.16)、余震 (No.18~23) に相当する。その他の 20 地震 ( $M_J$ 3.2~5.6) は、内陸の浅い地震が多いが、やや深い地震も含まれている。これらの地震に対して、各観測点の地表記録の水平最大加速度が 5gal 以上、200gal 以下、震源距離は 300km 以内とする条件を課し、さらに 5 地震つ以上有する観測点を解析対象として採用した結果、表 2 に示す 242 点が抽出された。内訳は、K-NET の観測点が 162 点、KiK-net80 点である。図 5 に、28 地震の震央と 242 観測点の分布を示す。これらの観測点における強震記録の水平動成分より S 波部分の立ち上がりを含む 20 秒間を切り出し、フーリエ振幅スペクトル（水平 2 成分の回転スペクトルの絶対振幅スペクトル）を算出した上で、岩田・入倉(1986)<sup>8)</sup>の方法に準ずるスペクトル・インバージョンを行った。この方法では、多数の地震による多数の観測点でのスペクトル（総数 2398 個、その内、K-NET が 1731 個、KiK-net が 667 個）を用いて、震源特性（28 個）、伝播経路特性（1 個）、サイト增幅特性（242 個）を一気に算定することができる。一方、震源から観測点までの伝播経路特性を表現する  $Q_s(f)$ （ $Q_s$  は S 波の距離減衰を表現する量で、周波数  $f$  の関数として表わされる）を、全ての地震と観測点の組み合わせに対してただ一つ与えることが適切かどうかについては、対象データセットごとに確認する必要がある。予備解析に先立つ試解析の結果によれば、伝播経路特性を適切に評価するには、地震の取捨選択をより細やかにする必要であることから、予備解析では伝播経路特性を既往の研究（例えば、日本建築学会、2005）<sup>9)</sup>の平均的な値 ( $Q_s(f)=81f^{0.85}$ ) を先駆情報として与え、最小二乗法により震源特性とサイト增幅特性のみを算定することにした。なお、震源特性とサイト增幅特性の分離にはトレードオフ（一方を大きくすれば、もう一方が小さくなる現象）が存在するため、適切な拘束条件が必要となる。ここでは、岩田・入倉(1986)<sup>8)</sup>と同様に、全ての観測点の全ての周波数におけるサイト增幅特性は 2 以上と仮定（2 は自由地表面による効果で、それ以上になると仮定）した。推定された震源特性の結果を図 6 に、サイト增幅特性の結果を図 7 にそれぞれ示す。図 6 の震源特性は、震源距離 1km に基準化した震源加速度スペクトルに相当する。図 7 のサイト增幅特性は、自由地表面による増幅を表わす係数 2 で基準化している。図 6 に示すように、推定された震源特性の振幅レベルが概ね  $M_J$  に応じて変化していることに加え、既往の研究に見られる震源スペクトルとサイト增幅特性（例えば、野津・長尾、2005）<sup>10)</sup>との整合性も確認できることから、予備解析の段階としては妥当な結果が得られたと考えられる。図 7 に見られるサイト增幅特性の多様性は、さまざまな地盤条件における強震記録を解析したことを反映しているとみなすことができる。スペクトル・インバージョンより、チューニングに資する適切なサイト增幅特性を得るには、今回の結果を各観測点の地盤条件と照合しながら詳細に観察した上で、推定結果に影響を及ぼし合う震源特性や伝播経路の妥当性も目配せしながら、対象地震、対象観測点、拘束条件等の試行錯誤を重ねて行く必要があり、次年度の実施内容とする。



(a) 差分法によるシミュレーションに用いる地下構造モデル



(b) 現実の地下構造



(c) 短周期の地震動に与える表層地盤の影響

図4 表層地盤の地下構造による増幅特性とチューニングの必要性

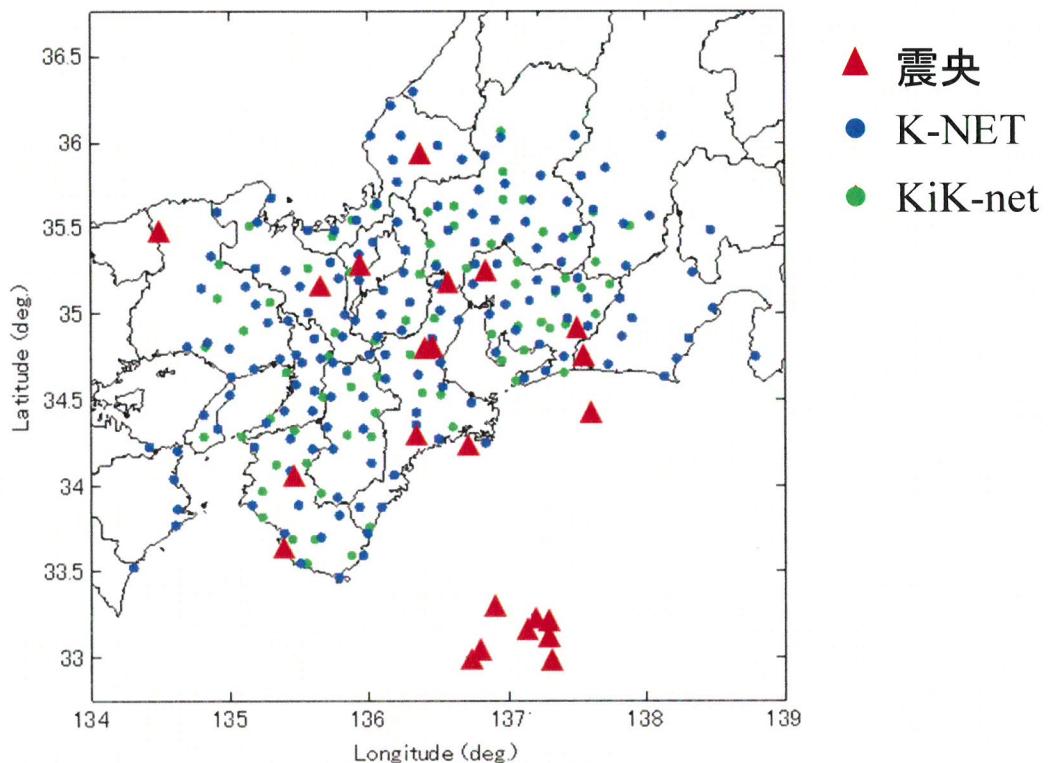


図 5 検討対象とする 28 地震と 242 観測点の分布

表 2 検討対象とする 242 観測点の概要

	K-NET (点)	KiK-net (点)	合計 (点)
愛知県	18	17	35
岐阜県	20	14	34
三重県	17	10	27
和歌山県	13	10	23
兵庫県	14	6	20
長野県	7	3	10
滋賀県	12	4	16
京都府	12	3	15
福井県	11	3	14
大阪府	10	4	14
静岡県	11	0	11
奈良県	9	6	15
徳島県	4	0	4
石川県	1	0	1
香川県	1	0	1
高知県	1	0	1
山梨県	1	0	1
合計	162	80	242

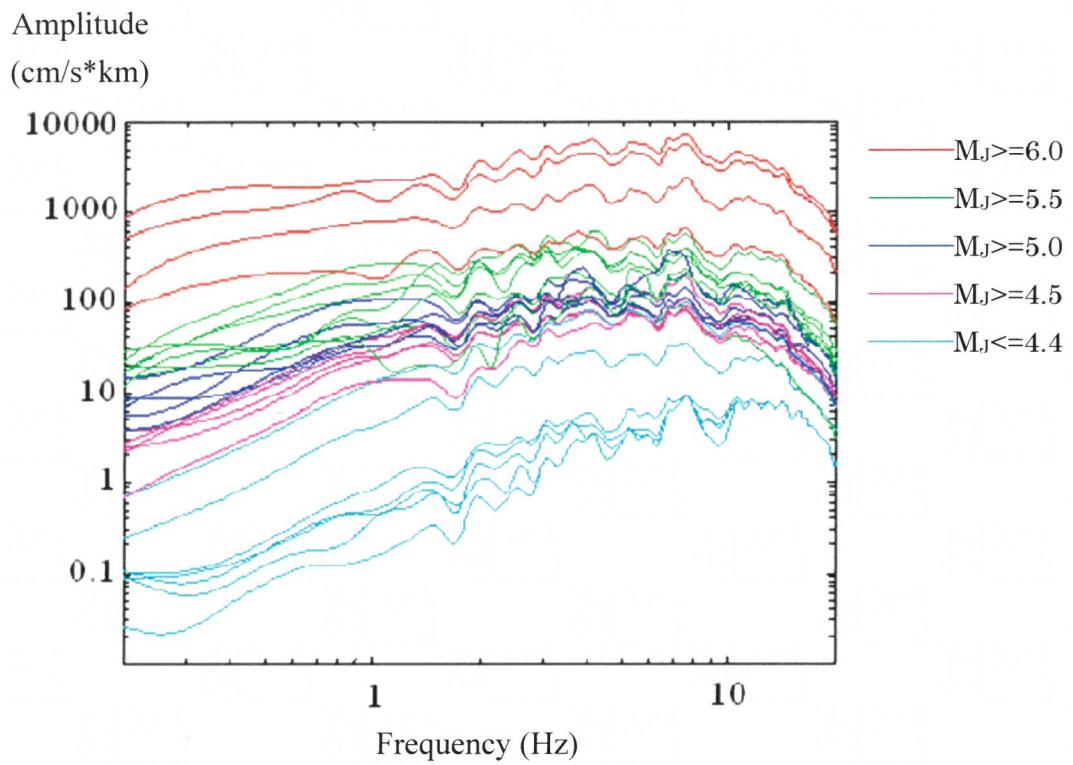


図 6 予備解析より得られた 28 地震の震源特性

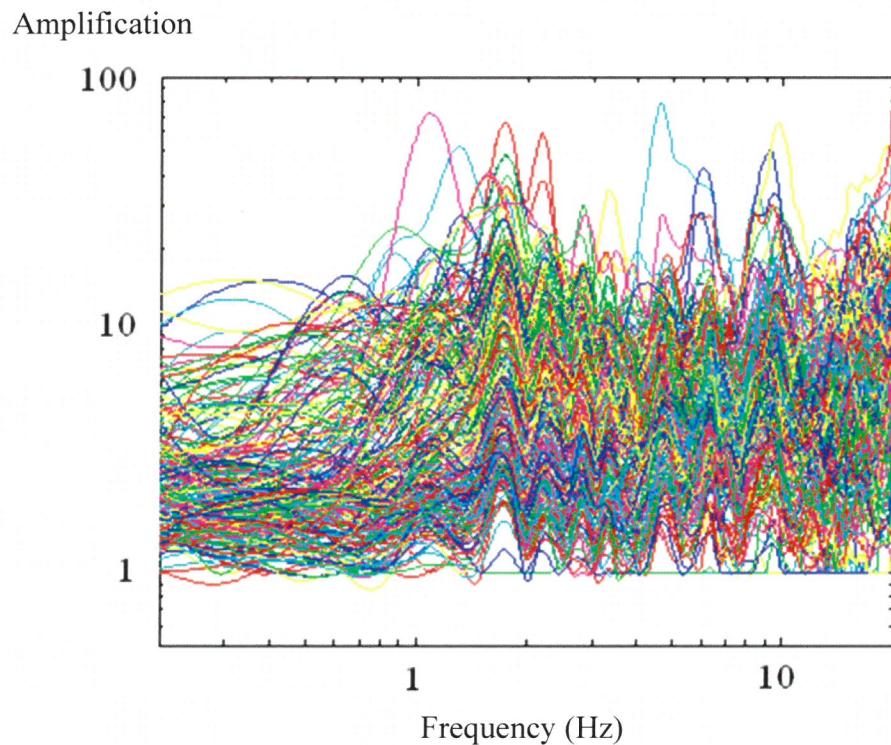


図 7 予備解析より得られた 242 観測点のサイト增幅特性

### 3) 地域研究会の開催・運営

プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会を、高知市、大阪市、名古屋市で開催した。地域研究会の様子を写真1に示す。地域側からの参加者は今後も増える可能性はあるが、現在のところ、全体として30～40名の参加者（15～18参加機関）からなる研究会となっている。第1回地域研究会は2008年11月（高知市）、12月（大阪市、名古屋市）に、第2回地域研究会は2009年3月（高知市、大阪市、名古屋市）に開催した。また、地域研究会を包含するプロジェクトの全体計画と期待される成果を一般市民に周知するために、各地の第1回地域研究会の際には、ミニシンポジウムを合わせて開催した。さらに、名古屋圏に位置する四日市市においても、2008年12月にその地域特性に焦点を当てた講演会を開催した。ミニシンポジウム及び講演会では、85名（高知市）、116名（大阪市）、67名（名古屋市）、94名（四日市市）の参加者があった。

第1回地域研究会では、地域研究会の趣旨・目的、会則の審議・承認とともに、代表幹事、幹事の選任、今後の運営方法や5カ年間の全体計画（図8）に関する説明と質疑・確認を行った。続いて、各地域で懸念される災害と各参加者から地域研究会への要望や議論して欲しいテーマについて自由討論を実施した上で、高知市では「長期浸水」、大阪市では「長周期地震動」、名古屋市では「地震動、津波、復旧・復興」を当面の主要テーマとし、絞り込んだ。

第2回地域研究会では、第1回における議事に従い、主要テーマに関連する話題提供を織り交ぜながら、議論・意見交換を行った。ここで、第1回地域研究会において、各参加者から出た多様な意見・要望を整理し、集約された各都市に共通するテーマと地域研究会が果たすべき役割を図9に示す。ここに示すように、各地域においてハード・ソフトの両面での細やかな地震対策を実施するのが地域側の役割とすれば、理学的研究成果に基づきこれを支援することが研究者側の役割である。5カ年にわたって地域側と研究者側とが一堂に会し、現状の防災力を将来より強固なものにすることを目指して、さまざまな議論を行い、ともに考えて行くことで、地域特性を反映した復旧・復興への項目立て・要素の洗い出しをすることを、地域研究会の目標と位置づけている（図10）。



写真1 第1回大阪市地域研究会の様子

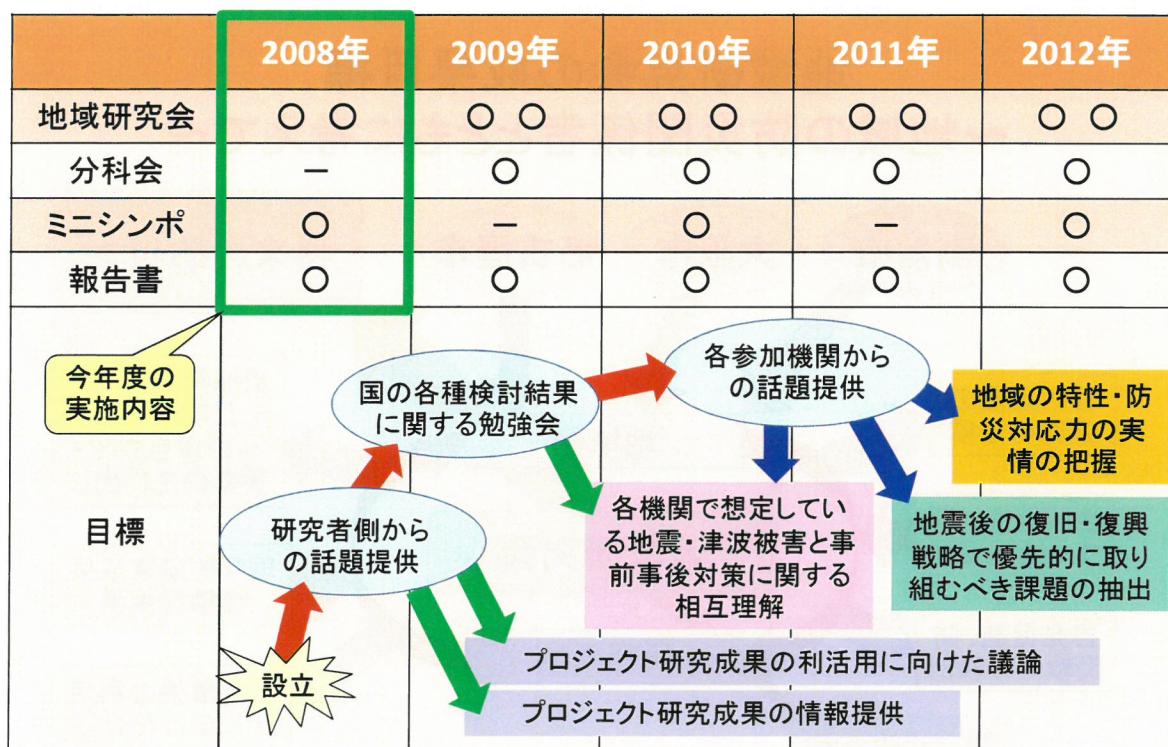


図8 地域研究会の5カ年間の全体計画

## 各都市に共通して議論したいテーマ

- 1. 地震の運動の多様性とその影響に対する理解**
- 2. 地域の災害対応力に関する現状の相互理解**
- 3. 市民が災害に主体的に備えるための啓発促進**

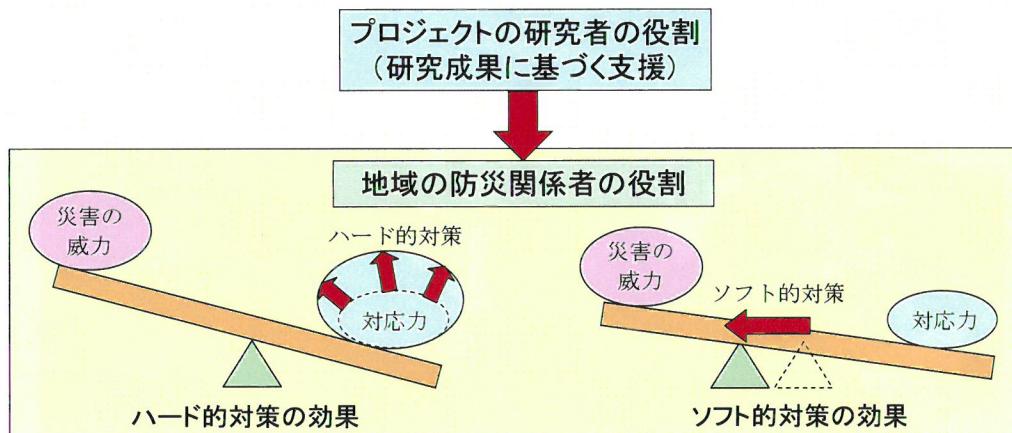


図9 各都市に共通して議論したいテーマと地域研究会の役割

## 地域研究会の成果目標 ～地域の防災関係者とともに考えて～

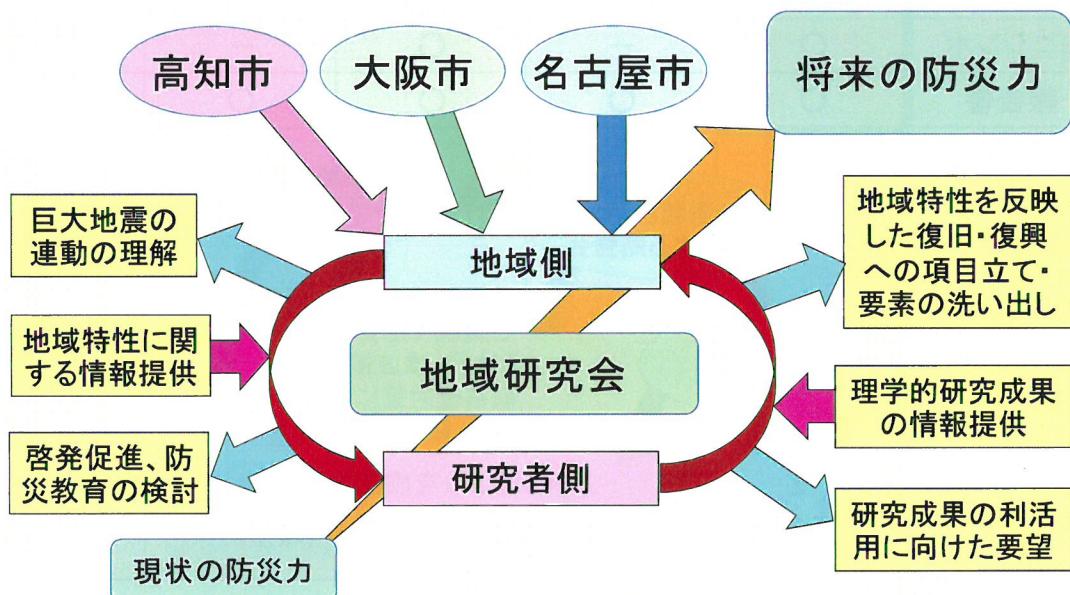


図10 地域研究会の成果目標のイメージ

### (c) 結論ならびに今後の課題

本年度は、3次元差分法による強震動シミュレーションのための初期的な地下構造モデルの構築を目標に、堆積層の厚さ・地殻・マントルの形状について陸海城のデータの統合化を進めた。今後は、この結果を基にさらに、強震動シミュレーション結果と地震観測データの比較によるモデルの弾性率等の物性価の調整を行う予定であり、他研究機関（東京大学地震研究所等）と連携を図りながら業務を進めていく予定である。大阪平野、濃尾平野を主対象とした陸域の強震記録と浅層地盤データの収集・整理については、スペクトル・インバージョンによる予備解析まで進んでおり、本年度の目標どおりに達成されたと考える。今後、今回の結果を各観測点の地盤条件と照合しながら詳細に観察するとともに、対象地震、対象観測点、拘束条件等の試行錯誤を重ねて、チューニングに資する適切なサイト增幅特性の推定を目指したい。地域研究会については、本年度は3地域において2回開催し、本年度も含めて5年間にわたり継続していくための体制を整えることができた。地域研究会、ミニシンポジウム・講演会を通じて、プロジェクトに対する地域側の理解は深まっており、本年度の目標は達成されたと考える。一方、意見交換をするためのテーブルについたばかりであり、地域側と研究者側の参加者との間に未だ距離感はあることから、回を重ねて研究者側と地域側の信頼関係を育むと同時に、議論しやすい雰囲気づくりを整えて行くことで、その隔たりを狭めて行かなければならないと考える。また、全体会議では意見を述べにくい状況があれば、別途、分科会として少人数の会議を開き、より細やかに意見・要望の収集を行う予定である。

### (d) 引用文献

- 1) Kimura, H., K. Kasahara, T. Igarashi, and N. Hirata: Repeating earthquake activities associated with the Philippine Sea plate subduction in the Kanto district, central Japan: A new plate configuration revealed by interplate aseismic slips, *Tectonophysics*, 417, pp.101-118, 2006.
- 2) Sato, H., N. Hirata, K. Koketsu, D. Okaya, S. Abe, R. Kobayashi, M. Matsubara, T. Iwasaki, T. Ito, T. Ikawa, T. Kawanaka, K. Kasahara, and S. Harder: Earthquake source fault beneath Tokyo, *Science*, pp.462-462, 2005.
- 3) 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, pp.631-651, 1990.
- 4) Yamauchi, M., K. Hirahara, and T. Shibutani: High resolution receiver function imaging of the seismic velocity discontinuities in the crust and the uppermost mantle beneath southwest Japan, *Earth Planets Space*, 55, pp.59-64, 2003.
- 5) Shiomi, K., H. Sato, K. Obara, and M. Ohtake: Configuration of subducting Philippine Sea plate beneath southwest Japan revealed from receiver function analysis based on the multivariate autoregressive model, *J. Geophys. Res.*, 109, B04308, doi:10.1029/2003JB002774, 2004.
- 6) Smith, W. H. F. and P. Wessel: Gridding with continuous curvature splines in tension, *Geophysics*, 55, pp. 293-305, 1990.
- 7) 防災科学技術研究所 K-NET, KiK-net : <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>

- 8) 岩田知孝・入倉幸次郎：観測された地震波から震源特性・伝播経路特性及び観測点近傍のサイト特性を分離する試み、地震 2, 38, pp.579-593, 1986.
- 9) 日本建築学会：地盤震動－現象と理論－, ISBN978-4-8189-0558-0, p.186, 2005 年 1 月.
- 10) 野津 厚・長尾 肇：スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等の強震観測地点におけるサイト增幅特性、港湾空港技術研究所資料, 1112, 2005 年 12 月.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表  
なし

学会誌・雑誌等における論文掲載  
なし

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果（記事タイトル）	対応者氏名	報道・掲載機関（新聞名・TV名）	発表時期	国際・国内の別
たっぷり静岡 大連動地震	金田義行	NHK静岡	2008年4月	国内
地域の地震対応力向上へ 11月に研究会発足	金田義行	毎日新聞（高知）	2008年8月	国内
連動原因調べ防災へ 東海・東南海・南海地震	金田義行	読売新聞ONLINE	2008年9月	国内
「2030年前後にも…」南海地震でミニシンポ	金田義行	産経新聞	2008年12月	国内
2030年ごろ。。。M8級3つ、 エネルギーは阪神の32倍 南海地震 軽減へシンポ	金田義行	産経新聞（大阪）	2008年12月	国内
自治体と民間企業 手携 え防災対策を 東海・東南海地震シンポ	金田義行	中日新聞	2008年12月	国内
Evening Wave	金田義行	エフエムよっかいち	2008年12月	国内

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

### 3) 仕様・標準等の策定

なし

## (3) 平成 21 年度業務計画案

平成 21 年度の業務について、以下の三つの課題に取り組む。

第一に、平成 20 年度に作成した地下構造モデルを基に、シービーム探査による分解能 50m 程度の海底形状を組み入れる予定である。高分解能のデータを作成することで、強震動・津波シミュレーション及び津波遡上シミュレーションへの高精度化が期待できる。また、海底形状データから、海底地滑りを引き起こす可能性の高い海底急傾斜地を推定し、大津波発生の可能性の高い分岐断層を評価する。近年の研究では、津波の波動伝播と海底形状、津波の励起と分岐断層の位置及び形状に関連性があることが示されており、高分解能の海底地形データの作成、海底急傾斜地の推定、及び分岐断層の評価は、津波予測や津波に対する被害対策を考える上で重要である。

第二に、平成 20 年度に収集した強震観測記録、地盤データを引き続き継続するとともに、予備解析結果を詳細に検討し、地震動の短周期成分を強く増幅する浅層の軟弱地盤による増幅特性を適切に評価する予定である。浅層部分の増幅特性は、構造物の大半を占める低層・中層構造物の被害推定に大きく影響することから重要である。サイト増幅特性を適切に評価するためには、震源特性や伝播経路特性も適切に評価する必要があり、予備解析で対象とした地震と観測点の全てを同時解析することが適切かどうかを見極める必要がある。例えば、(a)サイト増幅特性が小さい地盤条件の良好な観測点の記録を用いて震源特性を適切に評価した上で、改めてサイト増幅特性を評価し直す、あるいは、(b)震源域ごとに支配的な伝播経路が異なることを確認した上で、対象地震を震源域ごとに分けて解析する等、対象データに応じた解析条件を探索する必要がある。

第三に、平成 20 年度に引き続き、プロジェクトに関わる研究者と地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会を高知市、大阪市、名古屋市の各地で年 2 回実施する予定である。回を重ねて議論し合う中で、参加者のそれぞれの立場や考え方も理解し合えるようになると想っている。第 1 回地域研究会において、各参加者から出た多様な意見・要望を整理した結果、すでに各地域ごとの当面の主要テーマや、各地域に共通するテーマの抽出を行っており、参加者が議論しやすい雰囲気づくりに努め、議論を深めて行く予定である。また、全体会議では意見を述べにくい状況があれば、別途、分科会として少人数の会議を開き、より細やかに意見・要望の収集を行う予定である。この他、研究対象地域において、過去の地震被害の資料収集を実施するとともに、地域研究会での情報提供を行う予定である。

#### 4. 活動報告

##### 4. 1 会議録

###### 4. 1. 1 第1回「東海・東南海・南海地震の連動性評価」研究推進委員会

(1) 開催日時：平成 20 年 7 月 11 日（金）10:30～17:10

(2) 開催場所：海洋研究開発機構 東京事務所 セミナー室

(3) 出席者：長谷川委員長、本倉委員長、入倉委員、木村委員、飛田委員、春日委員、宇平委員、瀬尾委員、中村委員（代）、森委員（代）、東地委員、小林委員（代）、牧委員（代）、福和委員、今村委員、加藤委員、岡村委員、鷺谷委員、鳥海委員、小原委員、篠原委員、金澤委員、日野委員、藤本委員、古村委員、平原委員、金田委員、小平委員、堀委員、（独）海洋研究開発機構末廣理事（オブザーバとして）、文部科学省（オブザーバとして）、事務局

(4) 議事次第：

[1] 研究推進委員会について

[2] 研究計画について

1. 東海・東南海・南海地震の連動性評価研究」の概要

2. サブプロジェクト（2）「連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究」

3. サブプロジェクト（1）「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」

3-1. 海底地震・津波・地殻変動観測

3-2. 物理モデル構築及び地震発生シミュレーション研究

[3] その他

###### 4. 1. 2 第2回「東海・東南海・南海地震の連動性評価」研究推進委員会

(1) 開催日時：平成 21 年 3 月 26 日（月）9:30～14:30

(2) 開催場所：海洋研究開発機構 横浜研究所 三好記念講堂

(3) 出席者：長谷川委員長、本倉委員長、古村委員、金田委員、福和委員（代）、牧委員、今村委員、平原委員、小平委員、藤本委員、日野委員、金沢委員、篠原委員、小原委員、鳥海委員、鷺谷委員、岡村委員（代）、加藤委員、堀委員、末廣委員、吉井委員、木村委員、瀬尾委員（代）、東地委員（代）、小林委員（代）、瀧瀬委員、中川委員、池内委員（代）、文部科学省（オブザーバとして）、事務局

(4) 議事次第：

[1] 研究進捗状況について

1. サブプロジェクト（1）「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」

1.1 稠密海底地震・津波・地殻変動観測

1.2 本年度の進捗状況および次年度の研究計画について

1.3 サブプロジェクト（1）①のまとめ及び質疑応答

## 2. 物理モデル構築及び次年度の研究計画について

### 2.1 本年度の進捗状況および次年度の研究計画について

#### 2.2 サブプロジェクト（1）②のまとめ及び質疑応答

[2] サブプロジェクト2「連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究」

#### 1. 本年度の進捗状況および次年度の研究計画について

#### 2. サブプロジェクト2のまとめ及び質疑応答

[3] その他

## 4. 1. 3 第1回「東海・東南海・南海地震の連動性評価」研究打ち合わせ

(1) 開催日時：平成20年4月21日（月）10:00～12:30

(2) 開催場所：海洋研究開発機構 東京事務所 小会議室

(3) 出席者：古村、今村、福和、牧、金田

(4) 議事次第：

[1] サブプロジェクト2全体の計画

[2] サブプロジェクト1の研究計画紹介

[3] 各課題の平成20年度研究計画

[4] その他

## 4. 1. 4 第2回「東海・東南海・南海地震の連動性評価」研究打ち合わせ

(1) 開催日時：平成20年7月1日（木）15:00～17:30

(2) 開催場所：海洋研究開発機構 東京事務所 会議室

(3) 出席者：古村、今村、福和、牧、金田、藤森、大堀、中村、今井

(4) 議事次第：

[1] 各委員担当の本年度課題の進捗状況

1. 強震動・津波シミュレーション

2. 津波の高精度予測に基づく人的被害軽減の戦略

3. 地震動予測と構造物の被害予測減災戦略

4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定

5. 地下構造モデルチューニング

[2] 研究計画・成果の発表について

[3] 地域研究会・ミニシンポのスケジュール

[4] その他

## 4. 1. 5 第3回「東海・東南海・南海地震の連動性評価」研究打ち合わせ

(1) 開催日時：平成20年9月4日（木）14:00～17:00

(2) 開催場所：海洋研究開発機構 東京事務所 会議室

(3) 出席者：古村、今村、福和、金田、藤森、大堀、中村、今井

(4) 議事次第 :

- [1] 各委員担当の本年度課題の進捗状況
  1. 強震動・津波シミュレーション
  2. 津波の高精度予測に基づく人的被害軽減の戦略
  3. 地震動予測と構造物の被害予測減災戦略
  4. 地下構造モデルチューニング
- [2] 研究計画・成果の発表について
- [3] 地域研究会・ミニシンポのスケジュール
- [4] その他

#### 4. 1. 6 第1回高知市地域研究会

(1) 開催日時 : 平成 20 年 11 月 16 日 (日) 13:30~16:30

(2) 開催場所 : 高知会館 白鳳の間

(3) 出席者 :

- [1] プロジェクト側  
金田、古村、今村、福和、大堀、鈴木
- [2] 地域側

国土交通省四国地方整備局、高知県危機管理部、高知市総務部危機管理室、徳島県総務部危機管理課、四国電力、高知ライフライン連絡会、徳島大学（中野、黒崎）、高知大学（大年、岡村）

(4) 議事次第 :

- [1] 高知市地域研究会について
- [2] 高知地域研究会の検討課題
- [3] その他

#### 4. 1. 7 第2回高知市地域研究会

(1) 開催日時 : 平成 21 年 3 月 17 日 (火) 13:30~16:00

(2) 開催場所 : 高知会館 白鳳の間

(3) 出席者 :

- [1] プロジェクト側  
金田、古村、福和、牧、大堀、松本、今井
- [2] 地域側

国土交通省四国地方整備局、高知県危機管理部、高知市総務部危機管理室、徳島県総務部危機管理課、四国電力、高知ライフライン連絡会、高知地方気象台、徳島地方気象台、港湾空港技術研究所、徳島大学（中野、黒崎）、高知大学（大年、岡村）

(4) 議事次第 :

- [1] 開会
- [2] 新規参加機関・参加者の紹介

- [3] 前回議事次第概要等の確認
- [4] 話題提供
  - 4.1 津波による漂流物被害および最新の津波研究（東京大学 今井健太郎）
  - 4.2 津波堆積物から読み解く連動性巨大地震の歴史（高知大学 岡村眞）
  - 4.3 浸水地域への送電方法について（四国電力）
- [5] 今後の高知市地域研究会について
- [6] 質疑応答
- [7] 今後のスケジュールについて
- [8] 閉会

#### 4. 1. 8 第1回大阪市地域研究会

- (1) 開催日時：平成 20 年 12 月 1 日（月）13:30～16:30
- (2) 開催場所：大阪科学技術センター 6F 会議室
- (3) 出席者：
  - [1] プロジェクト側  
金田、古村、福和、牧、大堀、今井
  - [2] 地域側  
大阪府総務部危機管理室危機管理課、大阪府都市整備部事業管理室、大阪府水道部事業管理室、大阪市危機管理室、大阪市港湾局、和歌山県総務部危機管理局総合防災課、和歌山县土整備部河川課、大阪ガス、関西電力、東海・東南海・南海地震津波研究会
  - [3] オブザーバ  
国土交通省近畿地方整備局
- (4) 議事次第：
  - [1] 大阪市域研究会について
  - [2] 大阪市地域研究会の検討課題
  - [3] その他

#### 4. 1. 9 第2回大阪市地域研究会

- (1) 開催日時：平成 21 年 3 月 18 日（水）9:30～12:00
- (2) 開催場所：プリムローズ大阪 「鳳凰東」 の間
- (3) 出席者：
  - [1] プロジェクト側  
金田、古村、今村、福和、牧、藤森、大堀、松本、今井
  - [2] 地域側  
大阪府総務部危機管理室危機管理課、大阪府都市整備部事業管理室、大阪府水道部事業管理室、大阪市危機管理室、大阪市港湾局、和歌山県総務部危機管理局総合防災課、和歌山县土整備部河川課、和歌山市市長公室危機管理部総合防災課、大阪管区気象台技術部地震火山課、和歌山地方気象台 防災業務課、大阪ガス、関西電力、東海・東南海・南海地

震津波研究会、和歌山大学（此松）

[3] オブザーバ

国土交通省近畿地方整備局

(4) 議事次第：

[1] 開会

[2] 新規参加機関・参加者の紹介

[3] 前回議事次第概要等の確認

[4] 話題提供

4.1 南海トラフ巨大地震の長周期地震動予測（東京大学 古村孝志）

4.2 地震サイクルのシミュレーション（海洋研究開発機構 金田義行）

[5] 今後の大阪市地域研究会について

[6] 質疑応答

[7] 今後のスケジュールについて

[8] 閉会

#### 4. 1. 10 第1回名古屋市地域研究会

(1) 開催日時：平成 20 年 12 月 2 日（火）13:30～16:40

(2) 開催場所：メルパルク名古屋カトレア

(3) 出席者：

[1] プロジェクト側

金田、古村、今村、牧、福和、藤森、大堀、松本、今井

[2] 地域側

愛知県防災局危機管理課、愛知県建設部建築担当局建築指導課、愛知県建設部建築担当局  
公共建築課、名古屋市消防局、名古屋市上下水道局経営本部企画部、三重県防災危機管理  
部地震対策室、四日市市総務部防災対策課、東邦ガス、中部電力、名古屋商工会議所、三  
重大学（川口）

[3] オブザーバ

国土交通省中部地方整備局、名古屋市交通局、名古屋大学（飛田）

(4) 議事次第：

[1] 名古屋市地域研究会について

[2] 名古屋市地域研究会の検討課題

[3] その他

#### 4. 1. 11 第2回名古屋市地域研究会

(1) 開催日時：平成 21 年 3 月 18 日（水）15:00～17:30

(2) 開催場所：名古屋通信会館 「菊」 の間

(3) 出席者：

[1] プロジェクト側

金田、古村、今村、鈴木、福和、藤森、大堀、長田、野口、加藤、小柳津、今井

[2] 地域側

愛知県防災局危機管理課、愛知県建設部建築担当局建築指導課、愛知県建設部建築担当局公共建築課、名古屋市消防局防災部防災室、名古屋市上下水道局経営本部企画部、名古屋市緑政土木局企画経理課、三重県防災危機管理部地震対策室、四日市市総務部防災対策課、名古屋地方気象台防災業務課、津地方気象台防災業務課、静岡地方気象台防災業務課、東邦ガス、中部電力、名古屋商工会議所、三重大学（川口）、名古屋大学（飛田）、豊橋技術科学大学（河邑）

[3] オブザーバ

国土交通省中部地方整備局、名古屋市交通局

(4) 議事次第：

[1] 開会

[2] 新規参加機関・参加者の紹介

[3] 前回議事次第概要等の確認

[4] 話題提供

    4.1 南海トラフ巨大地震の長周期地震動予測（東京大学 古村孝志）

    4.2 大都市圏の地震被害予測（名古屋大学 福和伸夫）

[5] 今後の名古屋市地域研究会について

[6] 質疑応答

[7] 今後のスケジュールについて

[8] 閉会

#### 4. 1. 12 東海・東南海・南海地震の連動性評価研究シンポジウム

(1) 実施日：平成 20 年 7 月 7 日（月）10:30～17:40

(2) 開催場所：東京大学 弥生講堂

(3) 開催機関：

[1] 主催：海洋研究開発機構

[2] 協力：東京大学

(4) 議事次第：

[1] 開会挨拶（海洋研究開発機構）

[2] 南海トラフ連動性評価研究 金田義行（海洋研究開発機構）

[3] 今後の調査観測研究

    1. 「南海トラフの地殻構造研究」 金田義行（海洋研究開発機構）

    2. 「先行研究としての宮城沖、根室沖震源域観測」 藤本博己（東北大学）

    3. 「紀伊半島周辺域の地震観測」 金澤敏彦（東京大学）

    4. 「陸域地震観測」 小原一成（防災科学技術研究所）

    5. 「地殻媒質モデル構築に向けて」 鳥海光弘（東京大学）

    6. 「質疑応答」

[4] シミュレーション研究

1. 「次世代シミュレーション」 平原和朗（京都大学）
2. 「固着すべりの時空間変動評価」 鷺谷威（名古屋大学）
3. 「地震・津波履歴の評価」 岡村眞（高知大学）
4. 「運動条件の評価」 加藤尚之（東京大学）
5. 「巨大地震発生サイクルシミュレーション研究」 堀高峯（海洋研究開発機構）
6. 「質疑応答」

[5] 防災分野

1. 「地震・津波予測精度の向上と防災施策への活用」 古村孝志（東京大学）
2. 「津波災害高精度予測と減災戦略」 今村文彦（東北大学）
3. 「地震動高精度予測と減災戦略」 福和伸夫（名古屋大学）
4. 「災害対応と復旧復興戦略」 牧紀男（京都大学）
5. 「地震・津波高精度予測のための地殻構造モデル構築と復旧復興戦略に関わる地域防災研究の推進」 金田義行（海洋研究開発機構）
6. 「質疑応答」

[6] 総合討論「南海トラフ巨大地震に向けた今後の課題」

[7] 閉会挨拶（海洋研究開発機構）

#### 4. 1. 13 高知ミニシンポジウム

(1) 実施日：平成 20 年 11 月 16 日（日）9:30～12:30

(2) 開催場所：高知会館 「白鳳」

(3) 開催機関：

[1] 主催：海洋研究開発機構

[2] 後援：高知県・高知市

(4) 議事次第：

[1] 開会挨拶（海洋研究開発機構）

[2] 後援者挨拶（高知市・高知県）

[3] 「南海トラフ連動性評価研究について」（海洋研究開発機構 金田義行）

[4] 「地震・津波予測精度の向上と防災施策への活用」（東京大学 古村孝志）

[5] 「津波災害高精度予測と減災戦略」（東北大学 今村文彦）

[6] 「地震動高精度予測と減災戦略」（名古屋大学 福和伸夫）

[7] 休憩

[8] 「災害対応と復旧復興戦略」（京都大学 牧紀男）

[9] 「地震・津波高精度予測のための地殻構造モデル構築と復旧復興戦略に関わる地域防災研究の推進」（海洋研究開発機構 金田義行）

[10] 質疑応答

[11] 閉会挨拶（海洋研究開発機構）

#### 4. 1. 14 大阪ミニシンポジウム

(1) 実施日：平成 20 年 12 月 1 日（月）9:30～12:30

(2) 開催場所：大阪科学技術センター 中ホール

(3) 開催機関

[1] 主催：海洋研究開発機構

[2] 後援：大阪市

[3] 協力：大阪府、和歌山県

(4) 議事次第：

[1] 開会挨拶（海洋研究開発機構）

[2] 後援者挨拶（大阪市・大阪府）

[3] 「南海トラフ連動性評価研究について」（海洋研究開発機構 金田義行）

[4] 「地震・津波予測精度の向上と防災施策への活用」（東京大学 古村孝志）

[5] 「津波災害高精度予測と減災戦略」（東京大学 今井健太郎）

[6] 「地震動高精度予測と減災戦略」（名古屋大学 福和伸夫）

[7] 休憩

[8] 「災害対応と復旧復興戦略」（京都大学 牧紀男）

[9] 「地震・津波高精度予測のための地殻構造モデル構築と復旧復興戦略に関わる地域防災研究の推進」（海洋研究開発機構 金田義行）

[10] 質疑応答

[11] 閉会挨拶（海洋研究開発機構）

#### 4. 1. 15 名古屋ミニシンポジウム

(1) 実施日：平成 20 年 12 月 2 日（火）9:30～12:30

(2) 開催場所：メルパルク名古屋

(3) 開催機関：

[1] 主催：海洋研究開発機構

[2] 後援：名古屋市、愛知県

[3] 協力：三重県、静岡県、四日市市

(4) 議事次第：

[1] 開会挨拶（海洋研究開発機構）

[2] 後援者挨拶（名古屋市・愛知県）

[3] 「南海トラフ連動性評価研究について」（海洋研究開発機構 金田義行）

[4] 「地震・津波予測精度の向上と防災施策への活用」（東京大学 古村孝志）

[5] 「津波災害高精度予測と減災戦略」（東京大学 今井健太郎）

[6] 「地震動高精度予測と減災戦略」（名古屋大学 福和伸夫）

[7] 休憩

[8] 「災害対応と復旧復興戦略」（京都大学 牧紀男）

[9] 「地震・津波高精度予測のための地殻構造モデル構築と復旧復興戦略に関わる地域防災

研究の推進」（海洋研究開発機構 金田義行）

[10] 質疑応答

[11] 閉会挨拶（海洋研究開発機構）

#### 4. 1. 16 「南海トラフ巨大地震連動性評価」研究推進委員会規則

東京大学大学院情報学環  
南海トラフ巨大地震連動性評価研究推進委員会規則

平成 20 年 6 月 13 日制定

##### (趣旨)

この規則は、「南海トラフ巨大地震連動性評価研究」プロジェクトを効果的に推進するため、南海トラフ巨大地震連動性評価研究推進委員会（以下「委員会」という。）の組織及び運営について定めるものとする。

##### (目的)

第1条 委員会は、本プロジェクトの研究に関する重要事項を審議し、関係研究機関（者）間の連携を緊密にし、もってその有効な推進を図ることを目的とする。

##### (任務)

第2条 前条に定める目的を達成するため、委員会は、次の各号に掲げる事項について審議し、決定する。

- (1) 本プロジェクトに関わる研究計画
- (2) 委員会の構成員
- (3) その他、研究推進に関わる事項

##### (構成)

第4条 委員会の委員は、次の各号に掲げる職員の中から情報学環長が委嘱する。

- (1) 本プロジェクトに参加する者若干名
- (2) 上記以外の有識者若干名

2 必要に応じて、オブザーバの参加を認める。

##### (委員長)

第5条 委員会に委員長を置く。

2 委員長に事故あるときは、あらかじめ委員長の指名する委員がその職務を代理する。

##### (任期)

第6条 委員の任期は、1年とする。ただし、3月31日を超えることはできない。

- 2 委員の再任は妨げない。
- 3 補欠による委員の任期は、前任者の残任期間とする。

(会議)

第7条 委員会は、必要に応じ、委員長が招集する。

(庶務)

第8条 委員会の事務は、情報学環において処理する。

(委員会の期限)

第9条 委員会の期限は本プロジェクトの終了までとする。

(補則)

第11条 この規則に定めるもののほか、委員会の運営に関する必要な事項は、委員会の定めるところによる。

#### 附 則

1. この規則は、平成20年6月2日から施行する。

#### 4. 1. 17 「南海トラフ巨大地震連動性評価研究」研究推進委員会② 構成

H20. 5. 23 日現在

##### (有識者)

委員長	本藏 義守	国立大学法人東京工業大学大学教授
委 員	入倉 孝次郎	愛知工業大学地域防災研究センター客員教授
委 員	吉井 博明	東京経済大学コミュニケーション学部教授
委 員	宇平 幸一	気象庁地震火山部管理課長
委 員	春日 茂	海上保安庁海洋情報部技術・国際課長
委 員	飛田 幹男	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 佐登志	静岡県防災局長
委 員	小出 茂樹	愛知県防災局長
委 員	東地 隆司	三重県防災危機管理部長
委 員	森 崇	和歌山県危機管理監
委 員	中村 文雄	高知県危機管理部長
委 員	瀬尾 裕信	徳島県危機管理局長

##### (研究担当者)

委 員	古村 孝志	国立大学法人東京大学情報学環 総合防災情報研究センター 教授
委 員	今村 文彦	国立大学法人東北大学大学院工学研究科教授
委 員	福和 伸夫	国立大学法人名古屋大学大学院環境学研究科教授
委 員	牧 紀男	国立大学法人京都大学防災研究所 巨大災害研究センター准教授
委 員	金田 義行	独立行政法人海洋研究開発機構海洋工学センター 海底地震・津波観測ネットワーク開発部長

##### (委託元)

オブザーバ 増子 宏 文部科学省研究開発局地震・防災研究課長

## 4. 2 対外発表

### 4. 2. 1 連動型巨大地震による強震動の高精度予測

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 (学会等名)	発表時期	国際・国内の別
New research project for the next Nankai trough mega thrust earthquakes - Disaster mitigation research-、口頭発表	Furumura, T.	2008 SSJ and ASC joint meeting	2008年11月26日	国際
Amplification of Tsunami Heights by Delayed Rupture of Great Earthquakes along the Nankai Trough、口頭発表	Imai, K., Satake, K, and Furumura, T.	2008 SSJ and ASC joint meeting	2008年11月25日	国際
Amplification of Tsunami Heights by Delayed Rupture of Great Earthquakes along the Nankai Trough、口頭発表	Imai, K., K. Satake, and T. Furumura	AGU Fall Meeting 2008	2008年12月15日	国際

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 (雑誌等名)	発表時期	国際・国内の別
An integrated simulation of ground motion and tsunami for the 1944 Tonankai earthquake using high-performance super computers	Furumura, T. and T. Saito	Journal of Disaster Research	Vol.4, No.2 pp.118-126, 2009.	国際
南海トラフ連動型巨大地震による地震動と津波の予測	古村孝志・今井健太郎・齊藤竜彦	月刊地球	pp.300-308, 2009,	国内
Amplification of Tsunami Heights by Delayed Rupture of Great Earthquakes along the Nankai Trough	Imai, K., Satake, K, and Furumura, T.	Earth, Planets and Space	2009, 投稿中	国際

#### 4. 2. 2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定

##### 学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 (学会等名)	発表時期	国際・国内の別
総合的津波防災マップ作成のための被害評価手法の基礎検討	宍戸直也・今村文彦	土木学会東北支部技術発表会	平成21年3月	国内
地球温暖化による海面上昇が津波高に与える影響評価	小笠原出・今村文彦	土木学会東北支部技術発表会	平成21年3月	国内

##### 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 (雑誌等名)	発表時期	国際・国内の別
Characteristics and mitigation measures for tsunamis generated along the Nankai trough	Imamura, F. and K. Imai	Journal of Disaster Research	Vol.4, No.2 pp.127-134, 2009.	国際

#### 4. 2. 3 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
旧型強震計の活用と一般観測協力者との連携による強震観測体制「Pネット」の展開、口頭発表	飛田潤 福和伸夫	日本地震工学会大会	2008. 11	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所（雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
Prediction of strong ground motion and building damage in urban areas and development of a disaster mitigation strategy	Fukuwa, N. J. Tobita M. Mori	Journal of Disaster Research	2009. 3	国際
Key parameters governing the dynamic response of long-period structures	Fukuwa, N. J. Tobita	Journal of Seismology	2008. 6	国際

#### 4. 2. 4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 (学会等名)	発表時期	国際・国内の別
なし	なし	なし	なし	なし

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 (雑誌等名)	発表時期	国際・国内の別
Response to possible earthquake disasters in the Tokai, Tonankai, and Nankai areas, and their restoration/reconstruction strategies	Maki, N, Hai-Li Chen, and S. Suzuki	Journal of Disaster Research	掲載決定 (時期未定)	国際
新潟県中越地震における集落再建支援に関する研究	澤田雅浩	東濃地震科学研究所報告 No.23	2009	国内
中越地震からの地域再建過程に関する研究	澤田雅浩	日本建築学会北陸支部研究報告集第52号	2009	国内

#### 4. 2. 5 サブプロジェクト1の研究成果の活用および地域研究会の開催

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 (学会等名)	発表時期	国際・国内の別
なし	なし	なし	なし	なし

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 (雑誌等名)	発表時期	国際・国内の別
なし	なし	なし	なし	なし

## 5. むすび

南海トラフで発生する東海・東南海・南海地震とその連動性を考慮した、強震動と津波被害の高精度予測を行い、これを防災・減災対策の検討に必要な情報として活用するための研究プロジェクトが、平成20年度より5カ年計画としてスタートした。

1995年兵庫県南部地震の甚大な被害を含め、最近では2007年新潟県中越沖地震や2008年岩手宮城内陸地震のようにM7級の内陸地震が頻発し大きな被害が起きている。また、2003年十勝沖地震のようにM8級の海溝型地震も発生し、震源域近傍の強震動に加えて、遠く離れた平野での長周期地震動の問題がクローズアップされることになった。ところが、ここで想定される南海トラフの巨大地震とその連動発生は、これらの近年の地震体験を遙かに超える規模を持ち、たとえば震度6弱以上の強い揺れを被る人口は、1,500万人にもなるという。M8級の巨大地震の連動発生は、単に強震動と津波の影響範囲を拡大させるだけではない。連動発生により地震規模が増大(M8.2~8.4)すると、長周期地震動の震幅レベルが急激に増大するほか、揺れの継続時間が長くなる。また、津波の重ね合わせによる波高増幅の問題もある。連動発生の影響は、3つの巨大地震による個別の影響を足し合わせただけではすまされない。

日本では、これまでの地震被災体験と建築基準法の改正や耐震改修により、建築構造物の耐震性は確実に高まってきている。しかし、前回の1944年東南海地震、1946年南海地震の時には存在しなかった、超高層ビルや大型石油タンクなどの近代構造物に対する、長周期地震動の影響力は未知数である。当時に比べて、人口が過度に集中した現代都市が抱える災害脆弱性の課題もある。さらに、今後10年~30年を経過すると、地球温暖化による海面の上昇が、津波浸水の問題を増長する可能性もある。人口の減少と山中間部の過疎化・高齢化の問題は、地域防災力を大きく低下させる。

本プロジェクト研究では、これらの現代そして近い将来の自然および社会問題を考慮した災害軽減のための事前対策、そして災害後のすみやかな復興・復旧のための施策の検討を今後進めていく。このために、地震学、津波防災、地震工学、防災工学、および耐震工学の最新の知見を取り入れた先端研究を進めるだけでなく、地域の防災担当者やライフライン事業者の方々と密接に連携を取りながら、現実的で実行力のある施策を共に考えていく。

今年度は、初年度にもかかわらず、各地で開催したシンポジウムに多数の参加をいただき、新聞やテレビ報道等で研究計画を取り上げていただいた。これら関係方面からのご協力に感謝するとともに、5カ年計画目的を確実に達成し、ご期待に応えられるようプロジェクトメンバー一同協力して研究を推進する所存である。

(サブプロジェクト②研究代表者 古村孝志)

