

「活断層等内陸で発生する地震の評価手法の高度化に関する調査研究」 計画説明

代表機関：京都大学

分担機関：東京大学、名古屋大学、東北大学、北海道大学、防災科学技術研究所

協力機関：福井大学、奈良文化財研究所、国土地理院

当面推進すべき「内陸で発生する地震の新たな調査観測」

- 令和6年8月9日に地震調査研究推進本部政策委員会調査観測計画部会の「内陸で発生する地震の調査観測に関する検討ワーキンググループ」（以下「WG」）において決定。
- 被害をもたらす可能性のある未評価の地震も含めた内陸で発生する地震を総合的に評価できるよう、内陸で発生する地震の長期予測手法の高度化が必要であり、具体的には、

①地震観測網により得られた地震活動データ

②歴史・考古資料の調査に基づく地震活動履歴等の情報

③活断層調査で得られる地震の発生履歴等の情報

④測地観測・測量データ（GNSS、InSAR等）

※本調査研究は
①、②、④に該当

といった情報を活用して評価を行うことが必要である。

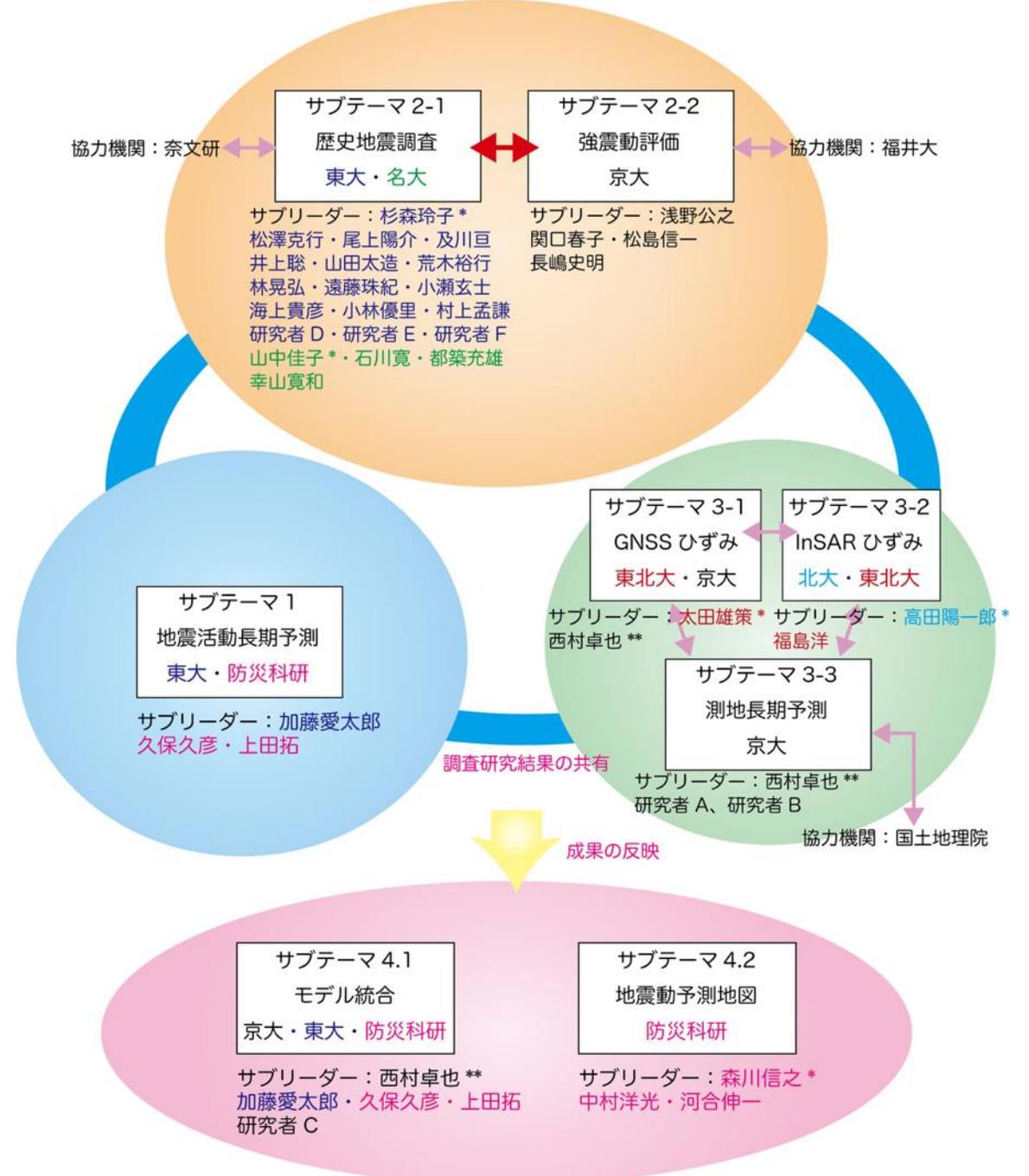
- これらの調査項目に合わせてサブグループを編成。

調査研究計画の概要

- **実施予定期間**：令和7年度～令和9年度
- **事業の概要**：活断層等内陸で発生する地震の長期評価手法の高度化のために、地震活動、歴史資料、測地観測データに基づいた調査研究を実施。
- **研究内容**：日本列島の地震活動を用いた長期予測手法、歴史資料に基づく近代以前の中規模地震に関する研究、GNSSやInSARデータを用いたひずみ速度分布の推定と長期予測手法、長期予測モデルの統合手法と確率論的地震動予測地図への影響評価に関する研究を実施。
- **研究手法・進め方**：各調査研究内容を目的としたサブテーマ研究チームが調査研究を実施。調査研究成果を共有・相互利用。
- **見込まれる成果の概要**：活断層等内陸で発生する地震の長期評価手法の高度化に資する地震活動と測地観測データを用いた長期予測手法の開発及び開発された手法に基づく地震発生確率の試算結果。17-19世紀の西日本を中心とした中規模の内陸地震の発生履歴。

実施体制図

- 地震活動、歴史地震、測地、統合の4つのテーマに分類
- 必要に応じて、各テーマの中でさらに分類した。歴史地震は、2つ、測地は3つ、統合は2つのサブテーマに分類。全8サブテーマ。
- サブテーマ1 地震活動データを用いた長期予測手法の高度化
- サブテーマ2.1 歴史資料の調査及びそれに基づく近代以前の中規模内陸地震に関する研究
- サブテーマ2.2 強震動評価に基づく歴史地震の震源断層推定
- サブテーマ3.1 GNSSデータを用いた高精細ひずみ速度分布の解明
- サブテーマ3.2 InSARデータを用いた詳細ひずみ速度分布の解明
- サブテーマ3.3 測地観測データを用いた長期予測手法の高度化
- サブテーマ4.1 異なるデータに基づく長期予測モデルの統合手法検討
- サブテーマ4.2 確率論的地震動予測地図の高度化



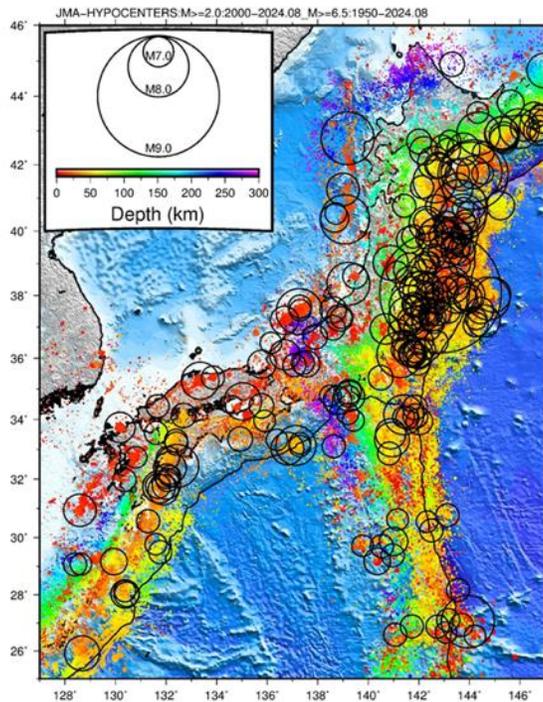
** は研究代表者、* は各機関の分担責任者を示す。

以下、参考資料

サブテーマ1 地震活動データを用いた長期予測手法の高度化

概要：複数の余震除去手法によって推定される定常的地震活動度の比較研究、一元化処理開始以前の地震カタログの収集・整理・特性比較、AIを用いた地震カタログの改善等を行い、地震活動データから長期的な定常的地震活動度を評価することによって内陸地震の長期発生確率の計算手法を高度化する。

地震活動データ

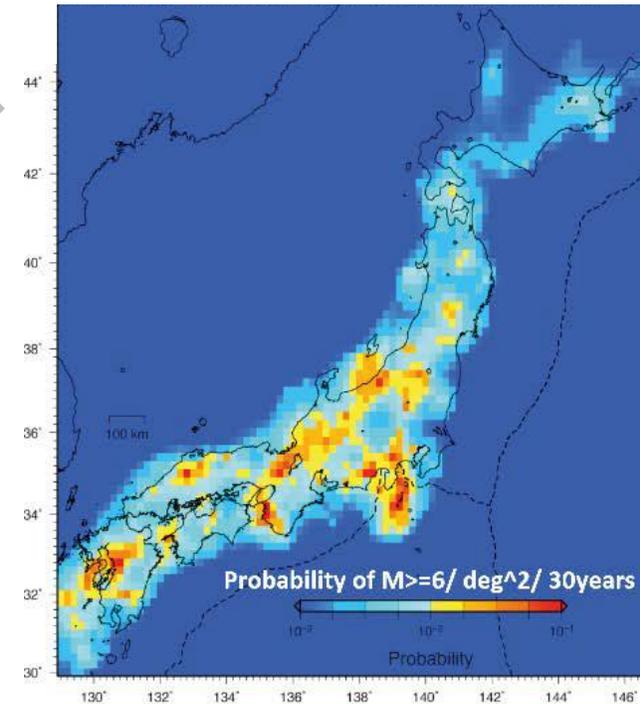


長期的な定常的地震活動度の評価

高度化する内容：

- 余震除去手法の検討
- 一元化処理開始以前の地震カタログの収集・整理・特性比較
- AIを用いた地震カタログの改善

内陸地震の長期発生確率



成果の展開先：

- 活断層の地域評価の高度化
- 確率論的地震動予測地図の高度化

サブテーマ1 地震活動データを用いた長期予測手法の高度化

業務内容：国立大学法人東京大学と国立研究開発法人防災科学技術研究所は、既存の余震除去手法の理論的整理を進めるとともに、実データへの適用に向けた準備を行う。各機関が一元化処理開始以前に作成した地震カタログの収集・整理を行う。特定の内陸域をテストケースとし、機械学習モデル等を用いて連続波形記録から地震イベントを自動的に抽出する。

1) 余震除去手法の検討

余震除去手法によって長期予測の推定結果に差異が生じる可能性がある。

複数の余震除去手法

- ・時空間ウィンドウ法
- ・ETASモデル
- ・最近接距離を用いた手法
- ...

手法を整理・選定・実装し、予測結果に与える影響を定量的に評価

2) 一元化処理開始以前の地震カタログの収集・整理・特性比較

一元化処理開始以前は、各機関の観測データが統合処理されておらず、地震活動データの整備が課題となっている。

一元化処理開始以前の状況

気象庁

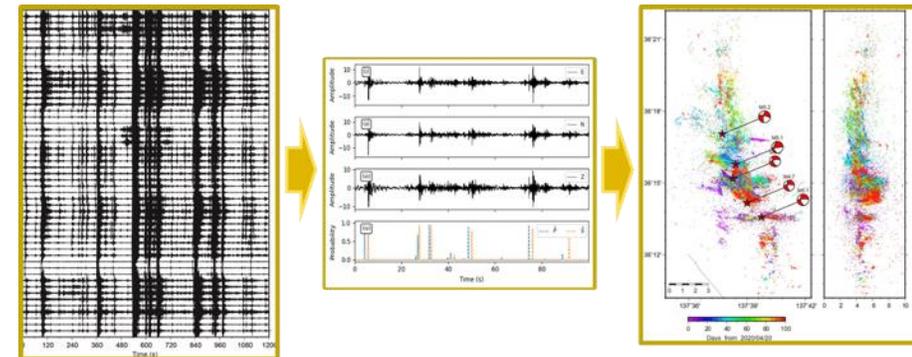
研究所

大学

...

統合に向けた、収集・整理・特性比較

3) AIを用いた地震カタログの改善



連続波形記録 → AIによる地震波読み取り → 震源再決定

特定の内陸域において、基盤的地震観測網によって取得された連続波形記録に対し、機械学習モデル等を用いた地震波の自動読み取り・地震抽出・震源再決定を実施

サブテーマ2-1 研究計画と実施体制

サブテーマ②

歴史・考古資料の調査及びそれに基づく長期予測手法の高度化に関する研究

(1) 歴史資料の調査及びそれに基づく近代以前の中規模地震に関する研究

【研究計画】

中部地方西部～九州の17～19世紀の日記史料から地震記事を抽出して、当該時期の地震の発生状況を通時的に把握する。各調査地点の発生状況を相互比較して注目される点を検討する。また、考古学的知見も参照して、内陸地震の長期評価に資する情報を整備する。

【実施体制】

- サブリーダー: 東京大学史料編纂所・杉森玲子
- 参加機関: 東京大学(分担責任者: 杉森玲子)
名古屋大学(分担責任者: 山中佳子)
- 協力機関: 奈良文化財研究所(協力者: 村田泰輔)

地震史料集の精度を高めるための取組

原本調査による校訂

新規の史料調査

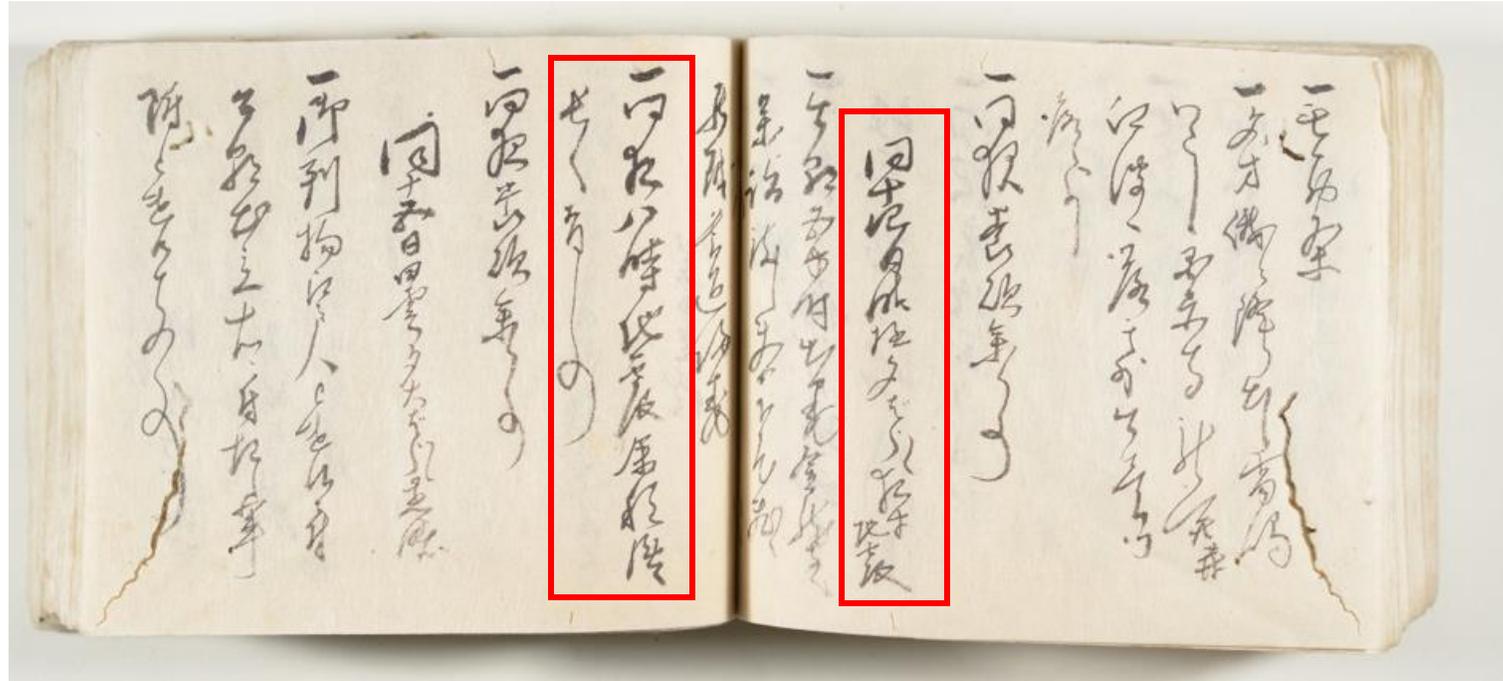
日記を史料を中心とした調査

日記には天気とともに地震記事を記載 近代以前の「定点観測記録」

日記に記述された地震の記事の事例

大半はきわめて簡略な記事だが、集積すると大きな動きも見えてくる

一、同夜八時、地震、余程強く長く有事、



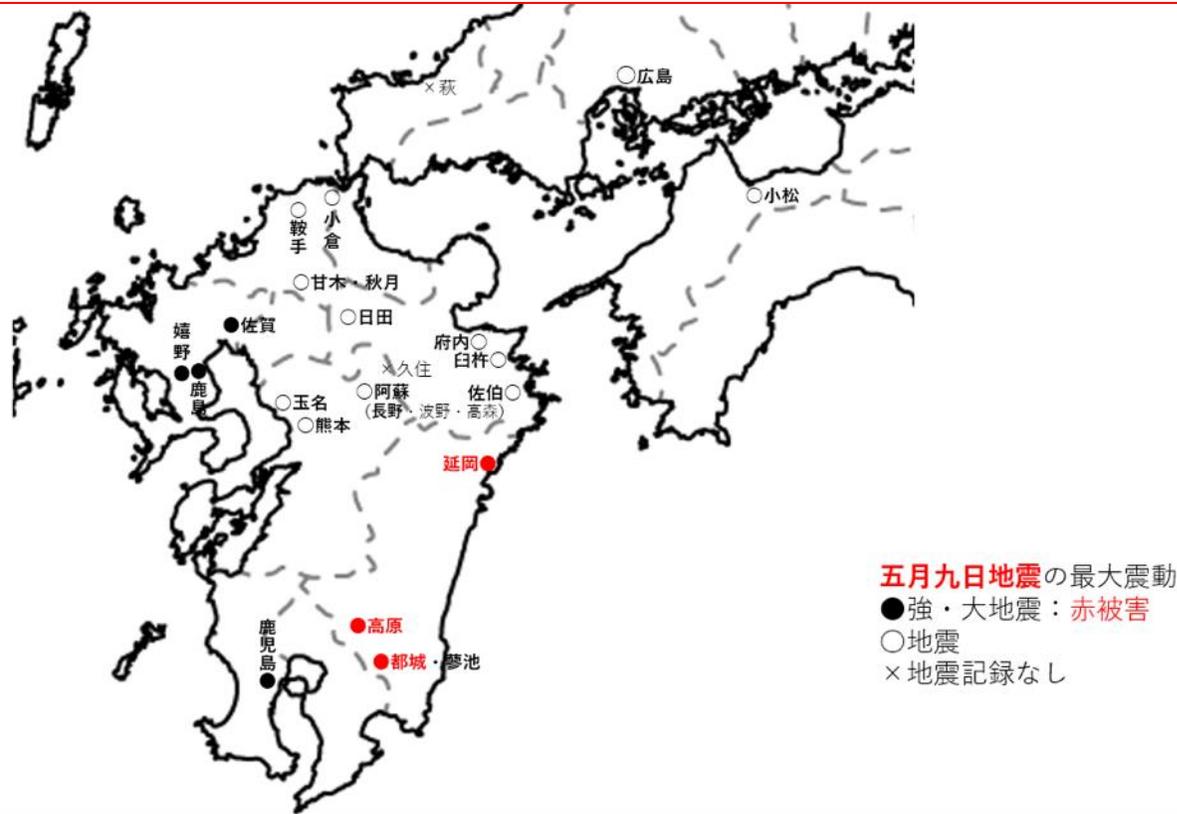
同十四日、晴、極夕ばらばら、夜半地震、

広島大学図書館所蔵 今中相親日記
嘉永7年6月14日(1854年7月8日)条
(伊賀地震の記事)

同一の日に記録された地震記事の集積

弘化元年5月9日の各地の日記に記された有感地震

五月・六月地震の史料所在(有感)地点



日向灘を震源とする地震か

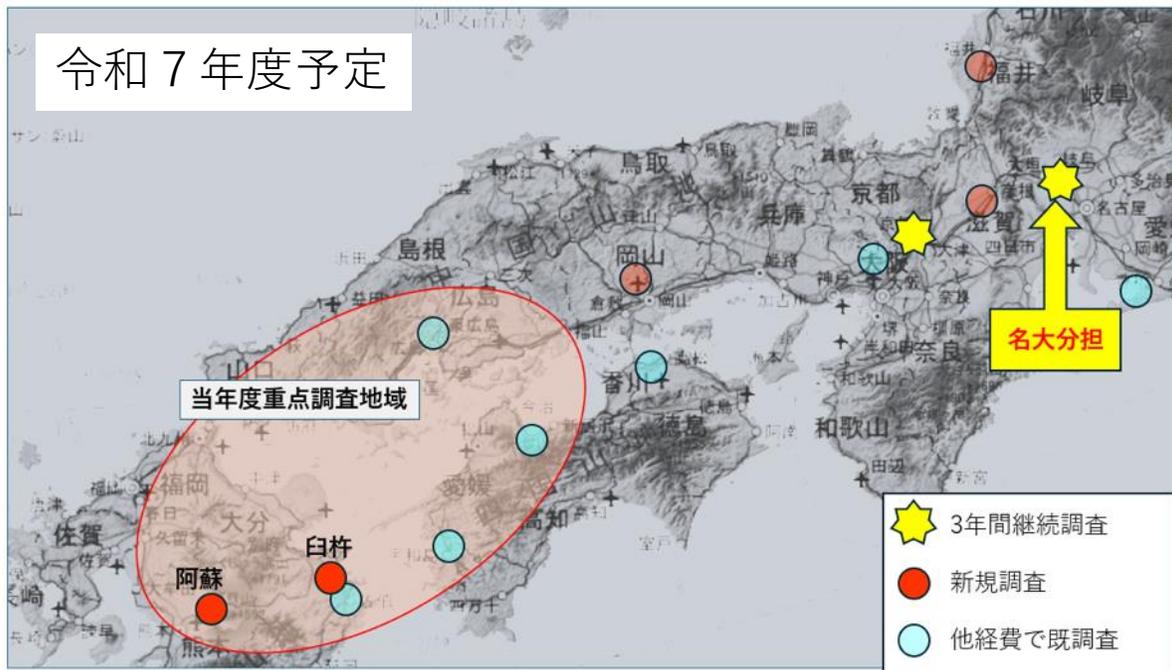
歴史史料の調査・整理から地震調査に有用な情報を抽出

気象庁震度データベースで類似した状況の地震を検索

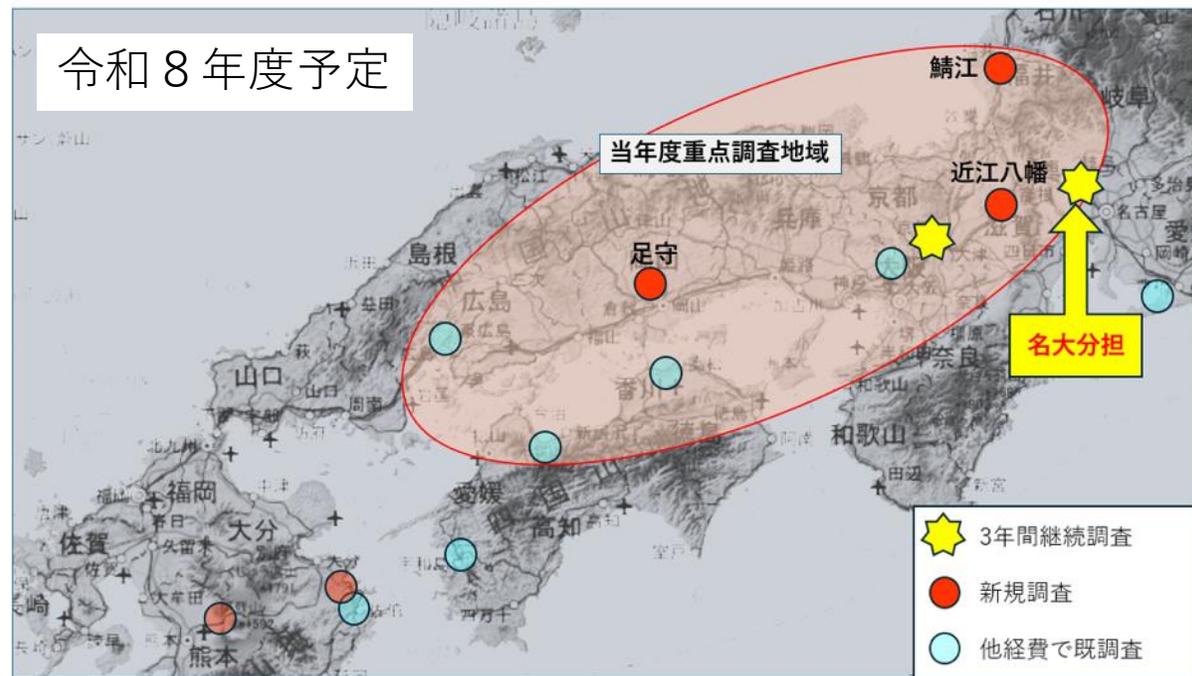


- 1987年3月18日発生 震源の深さ48km M6.6
- 宮崎で落石による死者1、負傷者6、ブロック塀損18、建物損354
- 熊本で壁体亀裂1
- 有感余震が3月20・23・26日とあり [福岡管区気象台「1987年3月18日・日向灘の地震」『地震予知連絡会 会報』38、1987]
- 津波は観測されず

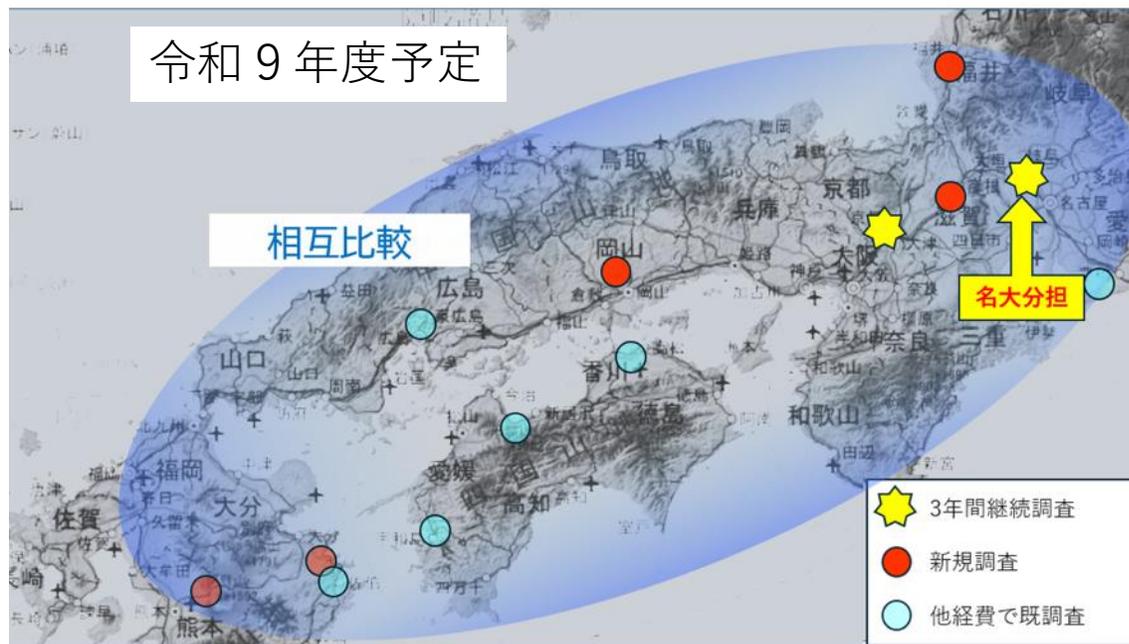
令和7年度予定



令和8年度予定



令和9年度予定



◎京都・名古屋の調査（3年間継続）

1830年京都地震前後の有感地震の状況の把握

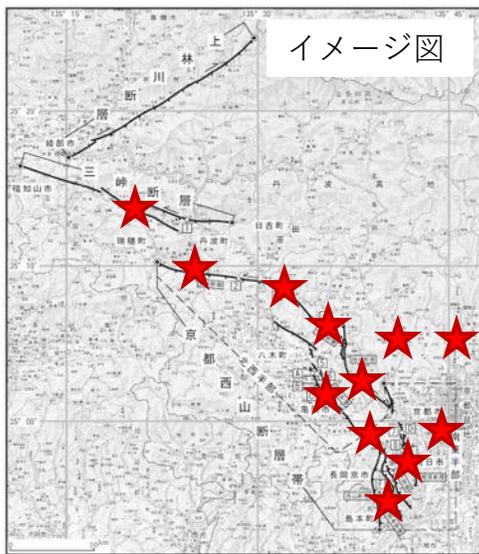
江戸末期～明治初期の濃尾地方の有感地震の状況の把握

明治初期は地震史料調査の空白期
史料の所在調査、所在確認できた史料の調査

強震動評価に基づく歴史地震の震源断層推定 (京大防災研) 協力機関：福井大学

既往の史料研究やサブテーマ2.1によって被害・推定震度分布が得られているものの、**震源断層や地震規模が不確かな地震を対象**に、微動アレイ探査等による**地盤構造モデルの高度化**を行った上で、**強震動を計算**することにより、**震源断層や地震規模の推定やその不確実性評価**を行う。

震源断層位置やMの候補群



地震本部(2005)に加筆

ひとまわり小さな地震は特定の活断層沿いではないケースも検討

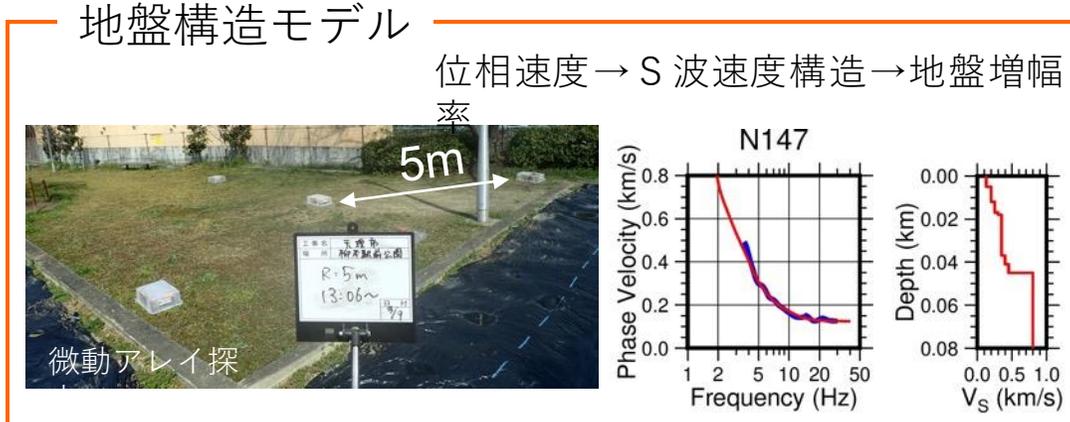
震度の地震動予測式

- Matsuura et al. (2020)
- Morikawa and Fujiwara (2013)
- 松崎・他(2006)
- ⋮

使用する地震動予測式の違いによる不確実性を考慮

×

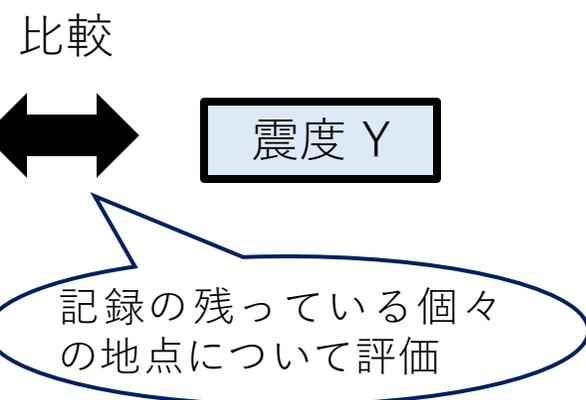
地盤増幅率



予測震度

- 震度 X_1
- 震度 X_2
- 震度 X_3

歴史史料による各地点の震度



令和7年度

史料分析等によって近代以前の地震の地震被害が報告されている地点を対象に、既存探査資料の収集・整理を行うとともに、地盤構造に関する情報の不足している地域・地点を対象に、微動アレイ探査等による地盤構造調査を行い、地盤構造モデルを作成する。

畿内における歴史時代の地震被害（1830年文政京都地震など）が詳しくまとめられている京都盆地、亀岡盆地（亀山城下）、園部盆地（園部城下）等を初年度の主な現地調査対象とし、特に、震度に効く浅部地盤構造の調査を重点的に行う。

地盤調査結果を取り入れた強震動評価によって震源断層や地震規模を推定する手順を整備する。さまざまなケースでの強震動を計算し、歴史史料による震度分布に最適な震源断層や地震規模を推定する。

当初は、震度を対象とした地震動予測式による評価を基本とするが、これまでに発表されている各種の地震動予測式でそれぞれ計算し、強震動評価結果のバラツキも把握する。

亀山城下町（亀岡盆地）の例

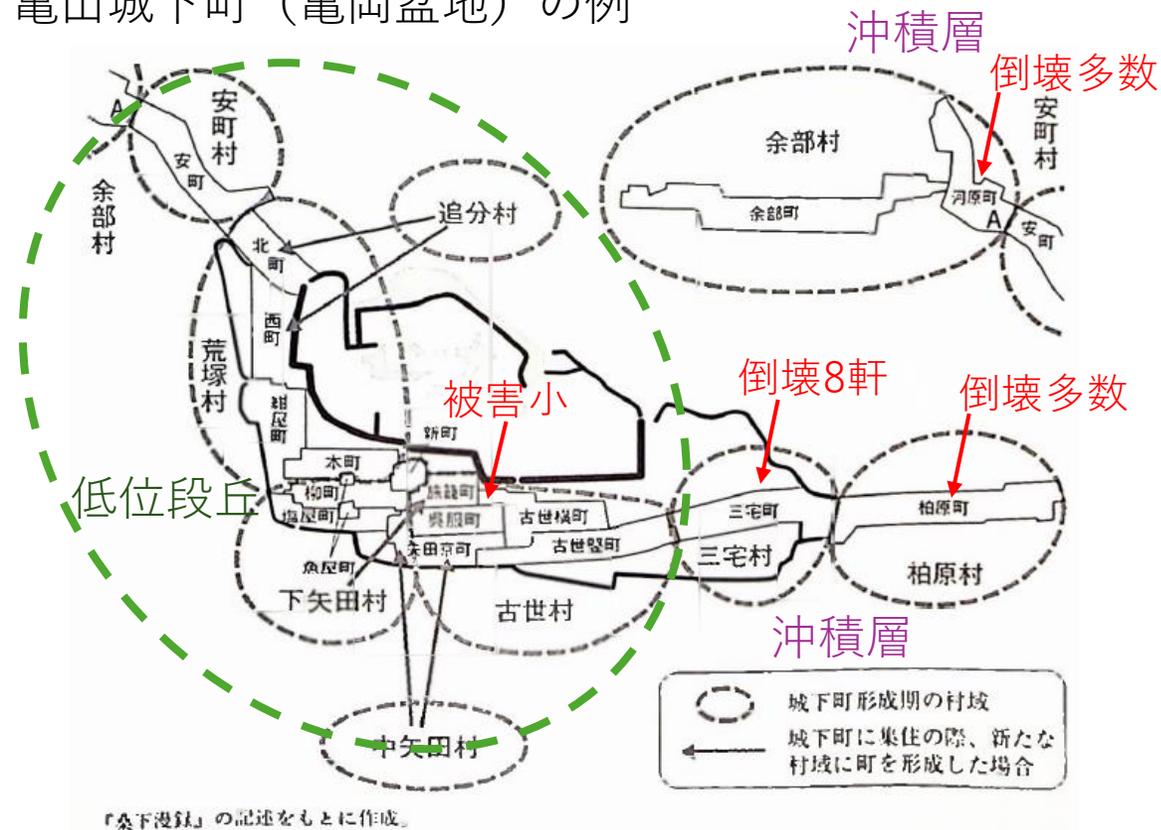


図 49 城下町形成期の周辺村落概念図

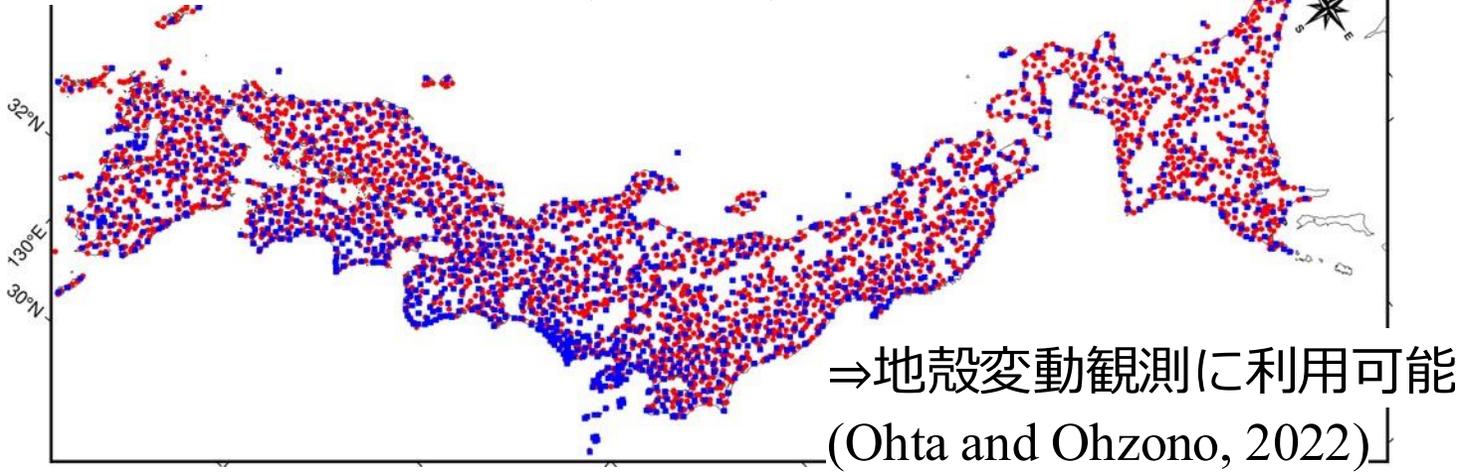
新修亀岡市史第2巻より

被害が記録されている地域・地点（城下町など）で、実際に微動アレイ探査を行い、地盤構造を適切にモデル化した上で歴史地震の強震動評価をする点が本提案の特色の1つ

サブテーマ3.1 超稠密GNSS観測網の活用による高精細ひずみ速度場の推定 (東北大・京大)

■ GEONET : 全国約1400点

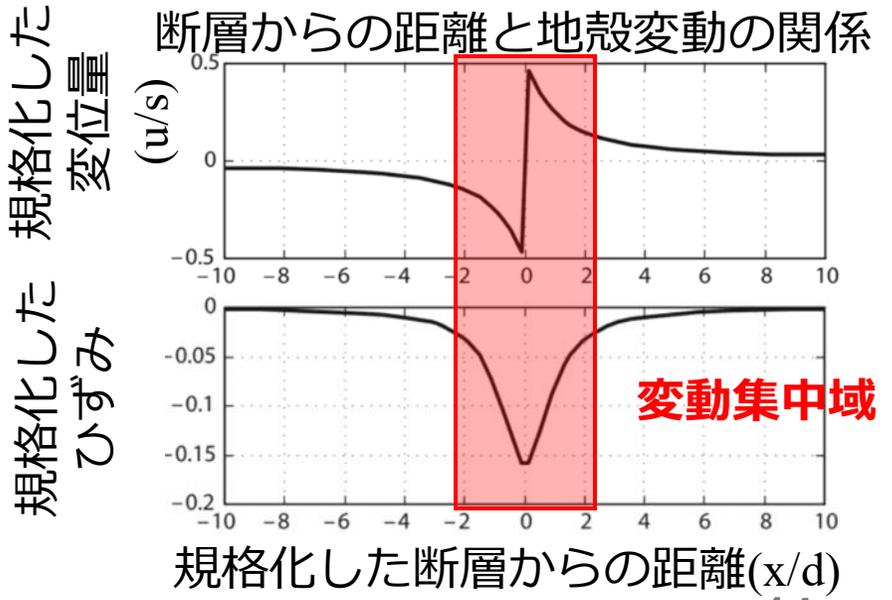
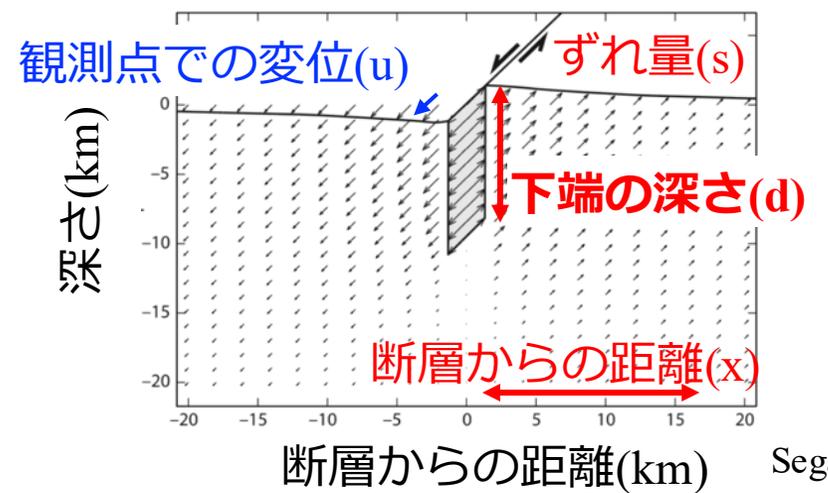
● ソフトバンク独自基準点(以下, SB) : 全国3300点以上



- 半無限弾性体を仮定した場合、断層周辺での地殻変動は断層下端深さの2倍程度の範囲に集中
- **超稠密GNSSにより小さいスケールの不均質構造に起因する詳細な地殻変動** を捕捉可能に。

- **サブ3.1における研究目的**
 - **超稠密GNSS観測網を用いた高分解能な日本列島の地殻ひずみ速度分布の推定**
 - **観測点増加に伴うひずみ速度場の推定精度向上および妥当性の検証**

無限に長い鉛直左横ずれ断層による地殻変動



高精細ひずみ速度場の推定

【GNSS時系列】

- GipxyX Ver. 2.3 の精密単独測位法 (PPP-AR)
- 保守オフセットの除去 (Ohtate et al. in prep)



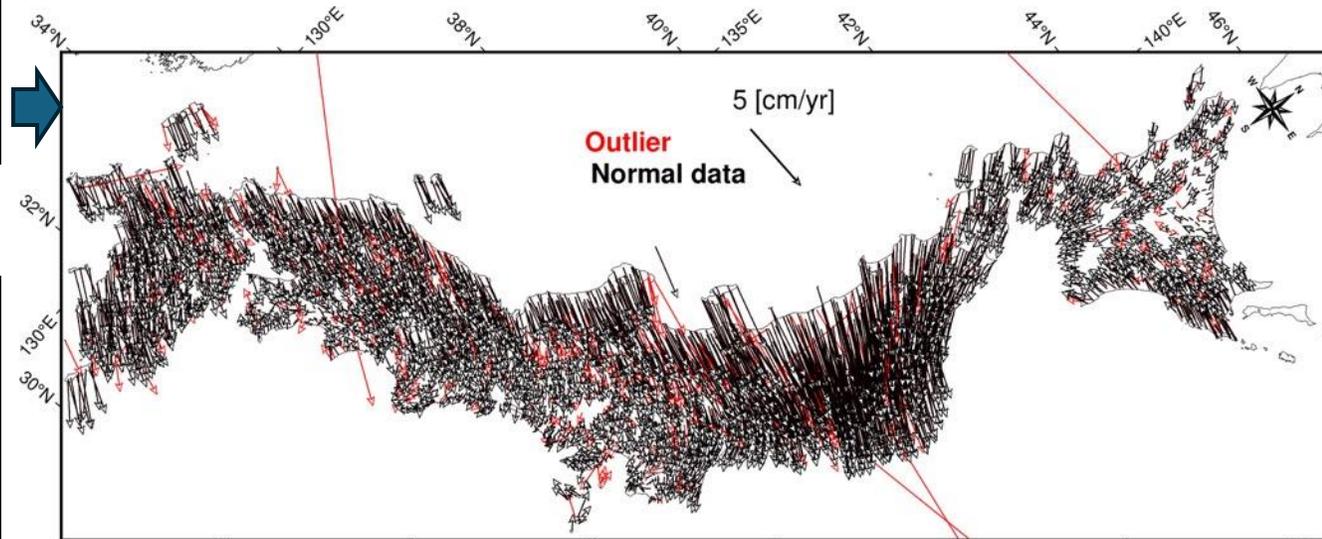
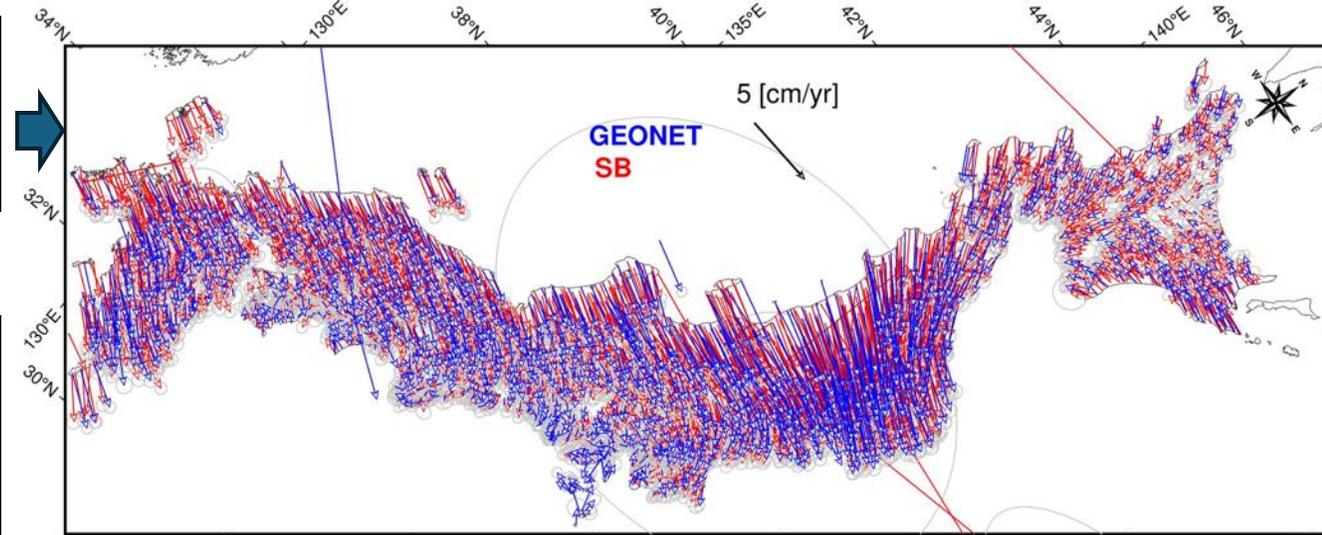
【近傍観測点との比較に基づく外れ値の除去】

1. GEONET+SB
2. 観測点座標・水平変位速度
⇒階層クラスタリング
3. 水平・鉛直変位速度
⇒四分位範囲で外れ値検定



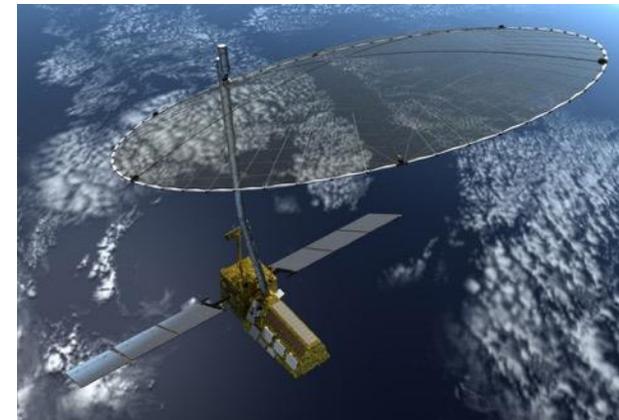
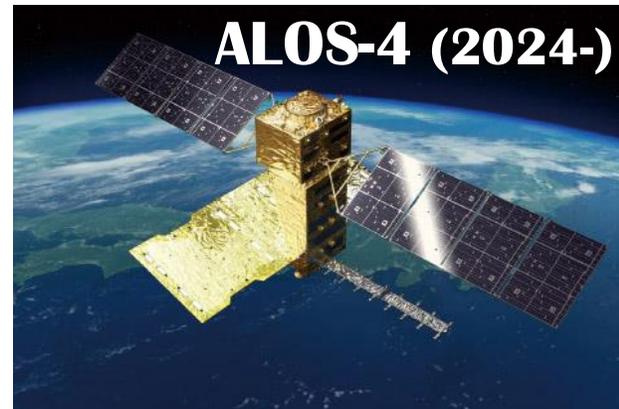
【複数手法による高精細ひずみ速度場の推定】

1. 観測点の空間不均質性を考慮可能な手法 (Shen et al. 2015)
 2. 変位場の基底関数展開法 (Okazaki et al. 2021)
 3. 水平応力の深さ微分の活用手法 (Hains et al. 2015)
- 複数手法の比較から適切なひずみ速度場を獲得
→ 超稠密GNSS観測網から得られる情報を最大化



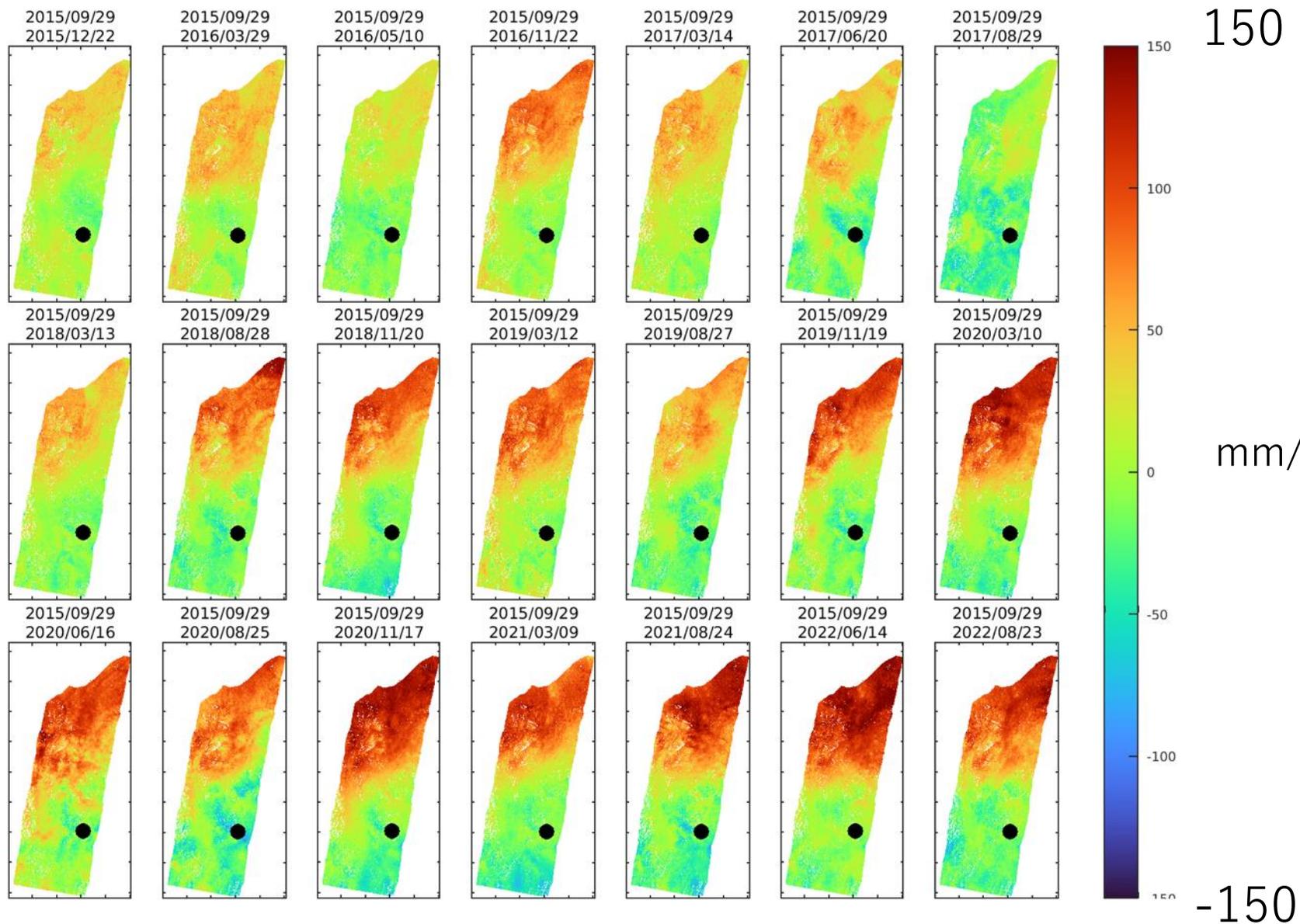
サブテーマ3.2 InSARデータを用いた詳細ひずみ速度分布の解明（北大・東北大）

- 受信機を必要とせず植生を透過するL-band InSARの時系列解析を行い面的かつ高解像度な歪速度場を求める。
- 南北成分はGNSSデータを用いてより高精度化する（サブ3-1と連携）。
- ターゲット
 - 中部日本・北部北海道，新潟-神戸ひずみ集中帯（関西），東北脊梁，山陰ひずみ集中帯・中央構造線（中部以外）

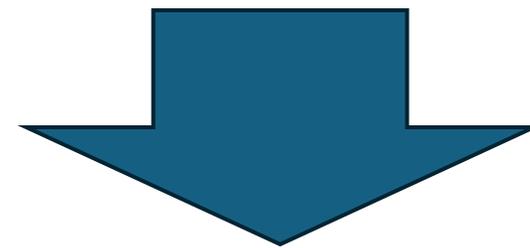


NASA-ISRO NISAR
(2025打ち上げ成功)

InSAR時系列解析結果の例: 累積変位



複数の撮像日時・
複数の撮像域・
複数の軌道（北行・南行）



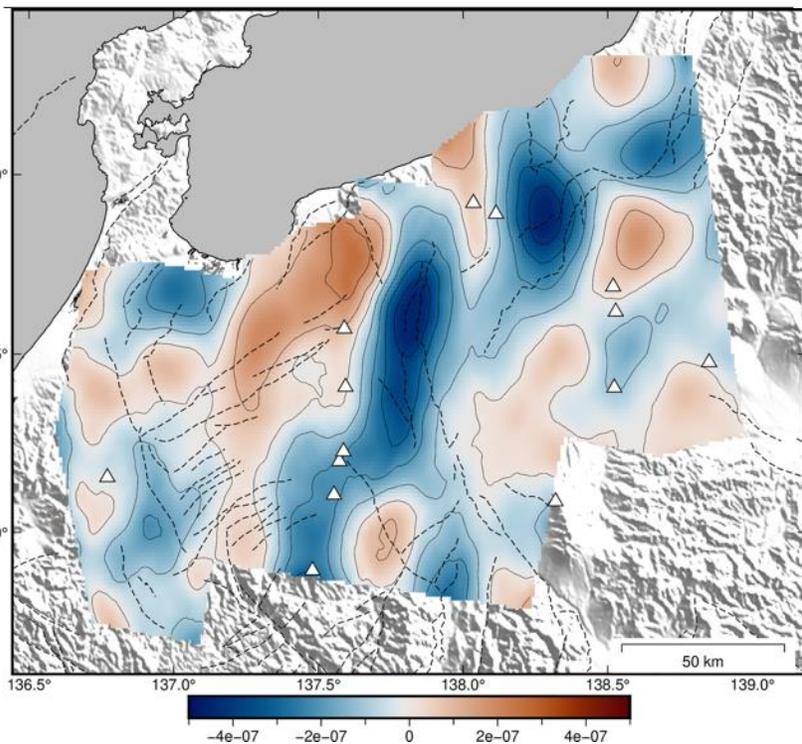
大容量ストレージ
が必要

先行研究の結果紹介

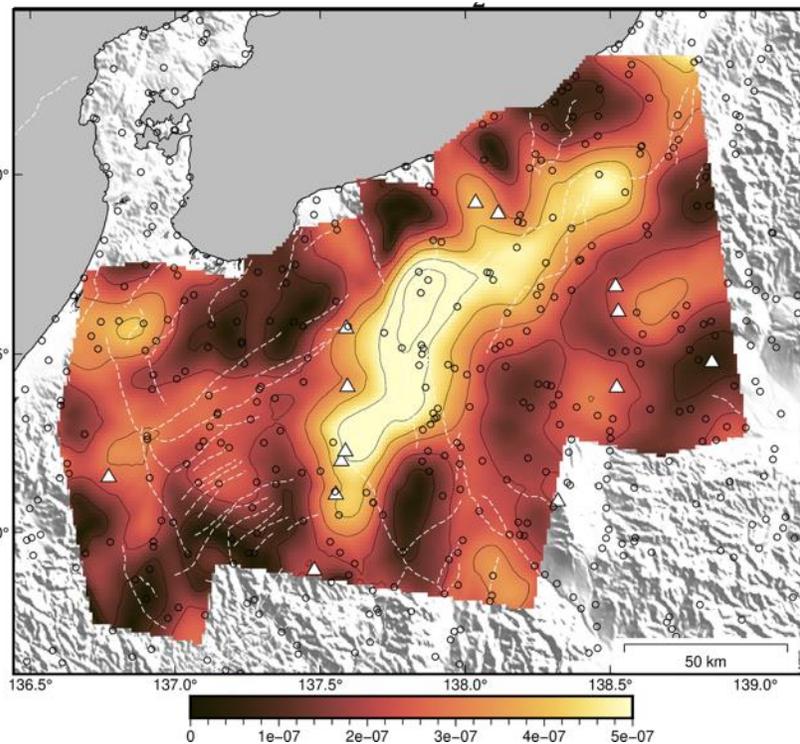
InSAR時系列解析+GNSSによる予察的な歪速度場 (2014-2023)

and localized deformation along the volcanic belt and fault segments. The results also show strain concentration where the fault traces are not clear.

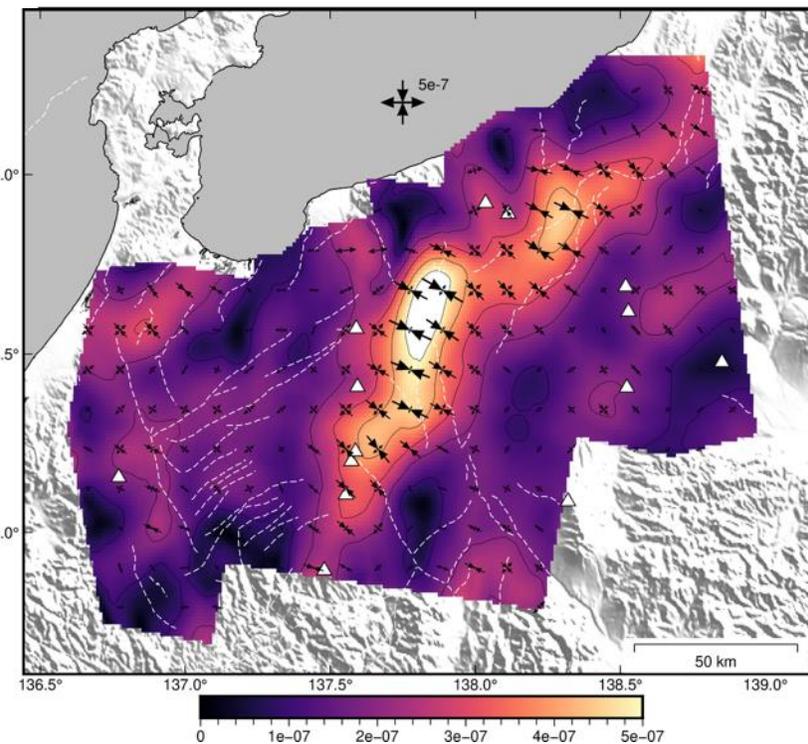
面積歪速度



最大せん断歪速度



歪速度2次不変量

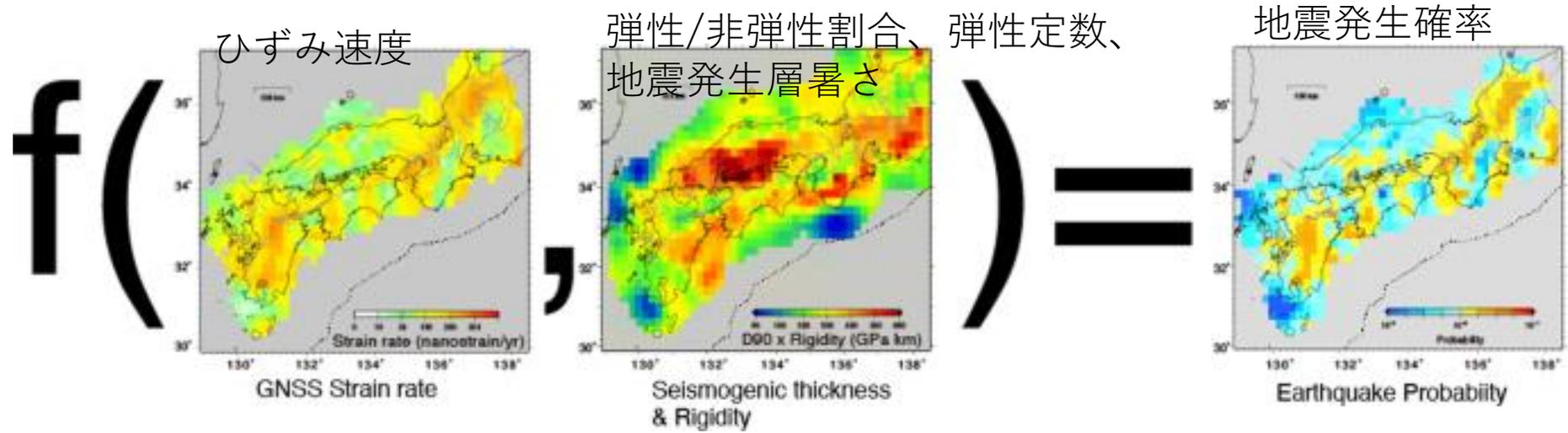


○印はGNSS観測点, △は火山

長岡・高田・西村・鷺谷・太田 (2024)

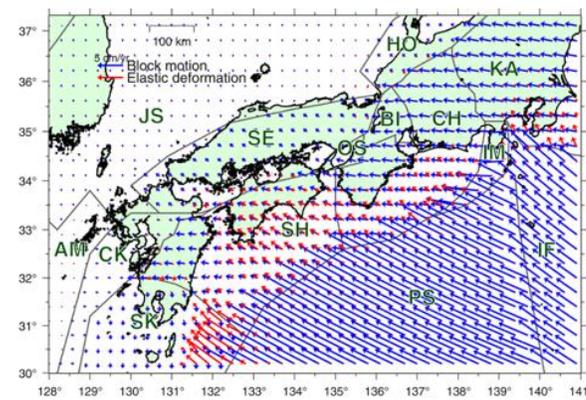
サブテーマ3.3 測地観測データを用いた長期予測手法の高度化（京大防災研）

測地観測データを用いて、ひずみ速度分布から内陸地震の長期発生確率を計算するための手法を高度化するとともに、国内の活断層の平均変位速度を推定することで測地学的に活断層評価を行う手法を試行する。測地データに含まれる様々な要因に基づくひずみ速度の中から内陸地殻内地震を発生させる弾性ひずみを抽出することにより、長期予測手法の高度化を行う。R7年度は過去の地震の影響（粘弾性緩和による余効変動）を見積もる。

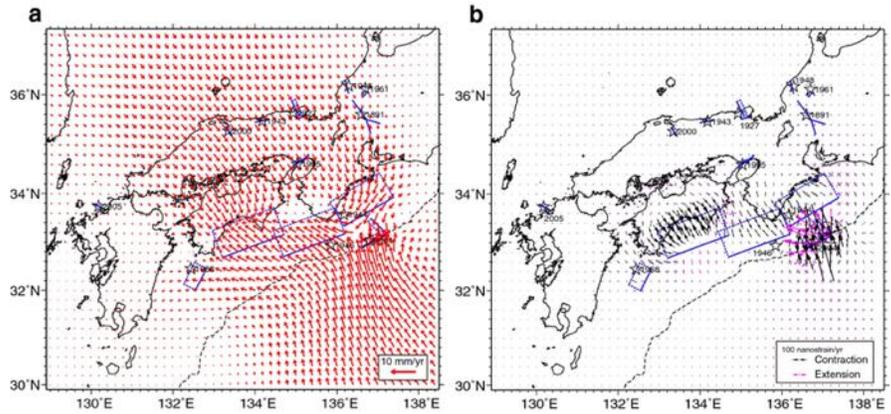


$$\dot{M}_0 = 2\beta\mu H_s A \max(|\epsilon_{h1}|, |\epsilon_{h2}|, |\epsilon_{h1} + \epsilon_{h2}|) \quad (\text{Savage and Simpson, 1997})$$

沈み込み帯の固着や過去の大地震の余効変動（粘弾性緩和）に起因するひずみ速度の補正手法（標準化）



南海トラフのプレート間固着による弾性変形(赤矢印) (Nishimura et al., 2018)



1890年以降に発生した大地震による余効変動の計算値(Nishimura, 2022)

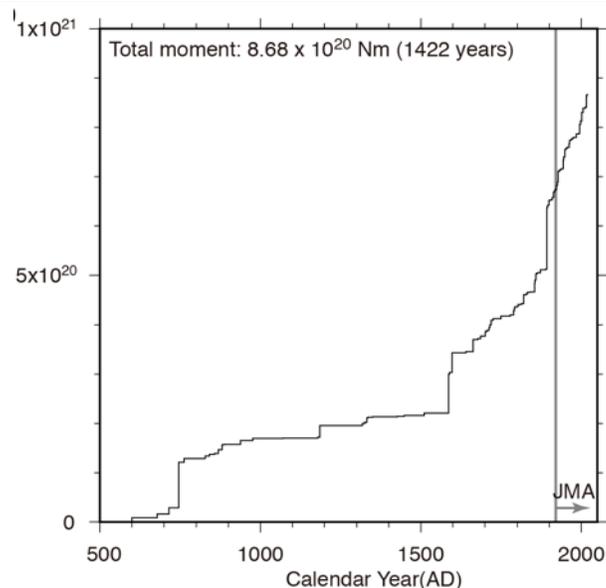
サブテーマ3.3 測地観測データを用いた長期予測手法の高度化 (京大防災研)

弾性／非弾性割合の推定

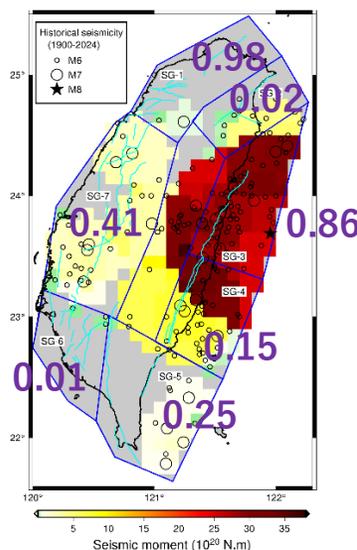
歴史地震の積算モーメントを用いた検討

台湾における検討結果

新たな手法の検討



Nishimura (2022)

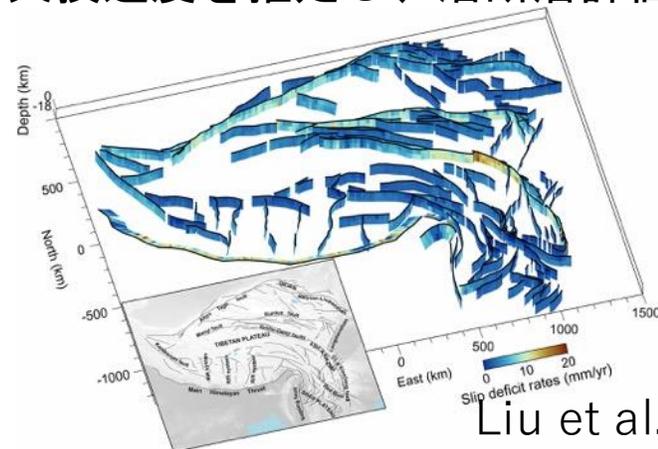


Neha et al., revised)

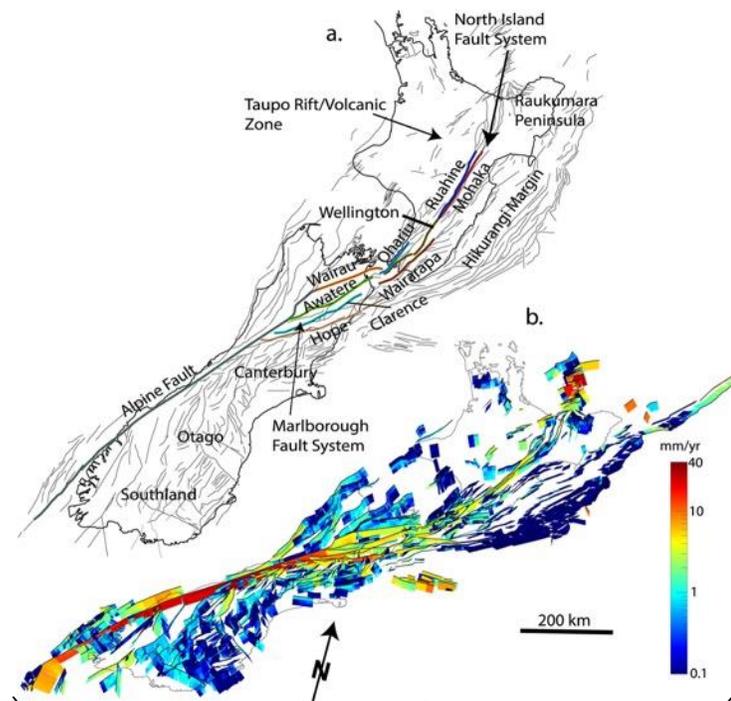
- 測地ひずみの空間波長の違いを用いる方法
- 微小地震活動の定常性(Liu et al., 2022)を用いる方法。
- 他の情報（地震波速度構造、重力異常、地殻熱流量）などとの相関を用いる方法。

測地データを用いて活断層の滑り欠損速度を推定し、活断層評価の高度化に貢献する

断層を横断する観測点間のデータを除いてひずみ速度を計算し、複数の断層の滑り欠損速度を同時推定(e.g., Johnson et al., 2024)



Liu et al.(2025)



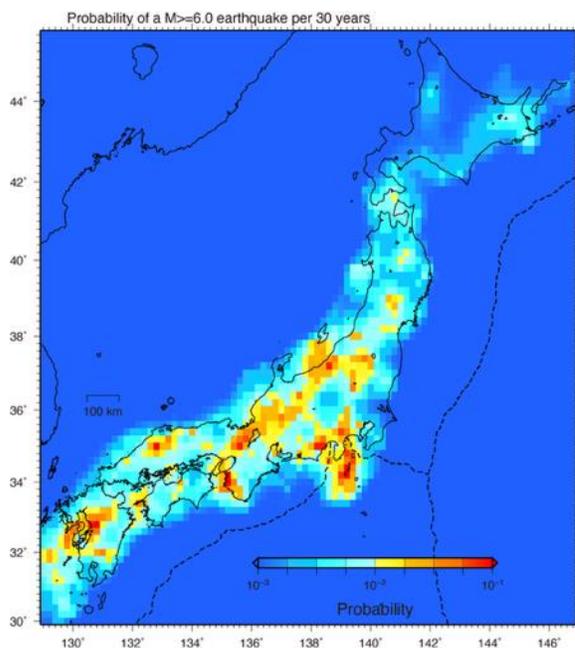
Johnson et al.(2024)

サブテーマ4.1 異なるデータに基づく長期予測モデルの統合手法検討 (京大防災研・東大地震研・防災科研)

各サブテーマの成果や活断層の長期評価を比較することで、データ毎の特徴やその共通点などについて地球科学的解釈をおこなうとともに、複数の予測モデルを統合する手法について、検討を行う。

R7年度実施内容：異なるデータを用いた複数の地震発生予測モデルの統合手法について、海外の地震長期予測モデルの報告書や論文などの文献調査によりその手法の特徴や簡便性などの特徴を整理する。

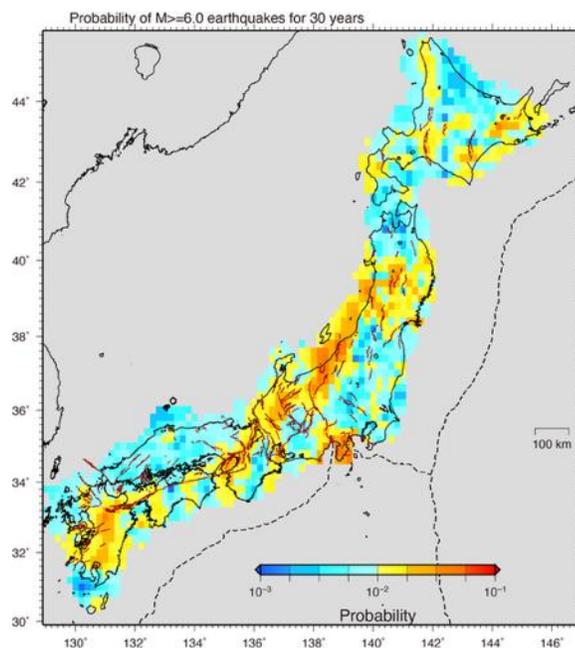
地震データに基づく予測



(Ogata, 2022)

+

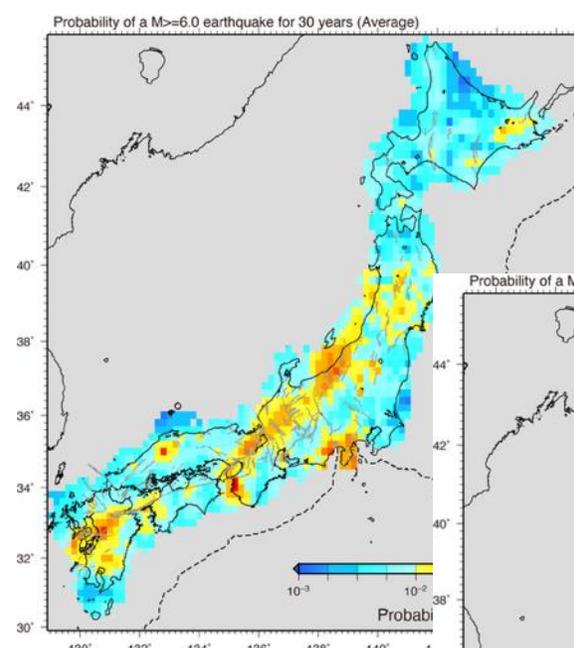
測地データに基づく予測



(西村, 2024)

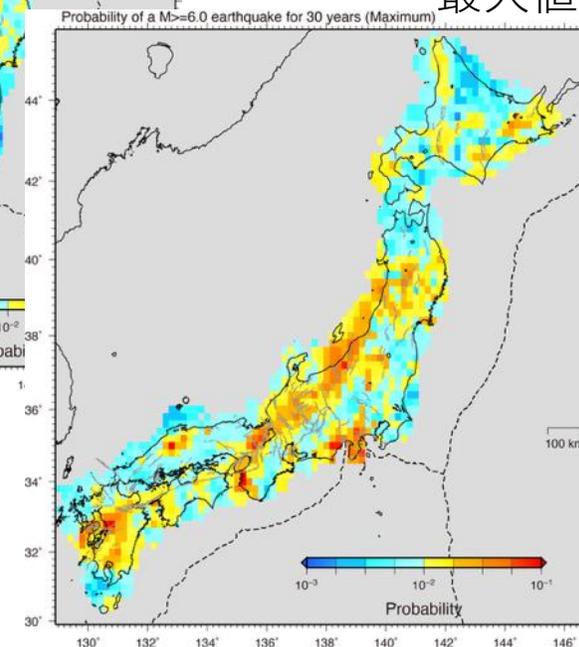
=

統合例



平均値

最大値

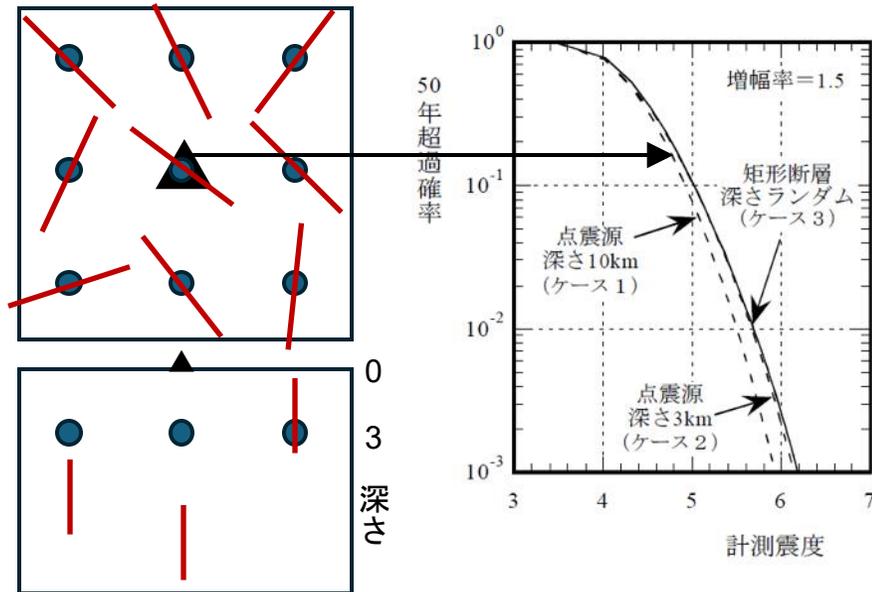


サブテーマ4.2：確率論的地震動予測地図の高度化（防災科研）

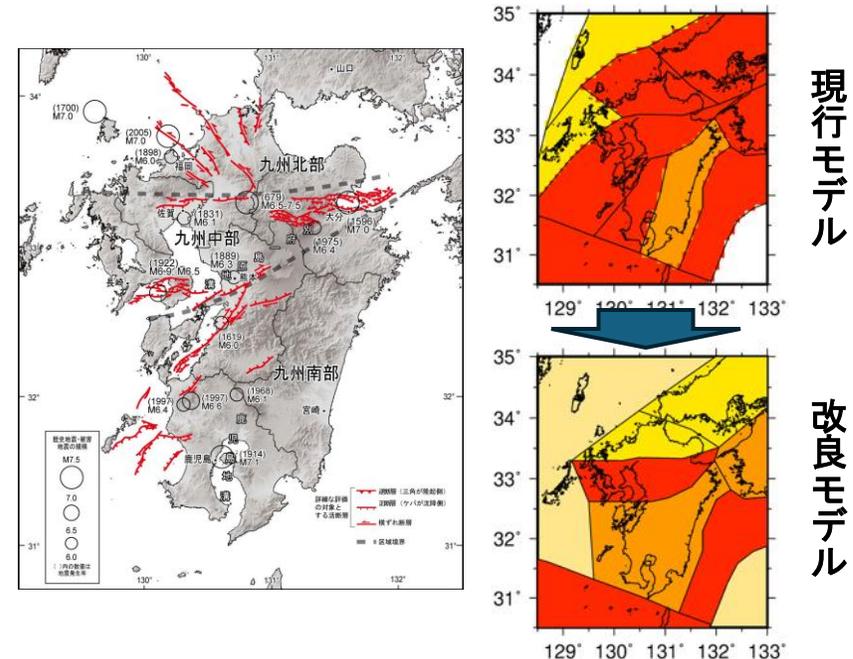
各サブテーマの研究成果を確率論的地震動予測地図に反映させるための「震源断層を予め特定しにくい地震」も含めた地震活動モデルを構築するとともに確率論的な地震ハザード計算を行い、確率論的地震動予測地図への影響を明らかにする。

1年目（R7年度）、2年目（R8年度）は、3年目（R9年度）の地震ハザード評価の準備を進める一方で、確率論的地震動予測地図作成における「内陸の浅い震源断層を予め特定しにくい地震」のモデルの改良に資する検討を行う。

内陸の震源断層を予め特定しにくい地震の点震源仮定に関する検証（R7年度）



活断層の地域評価に基づく地域区分によるモデル化と地震ハザード評価（R8年度）

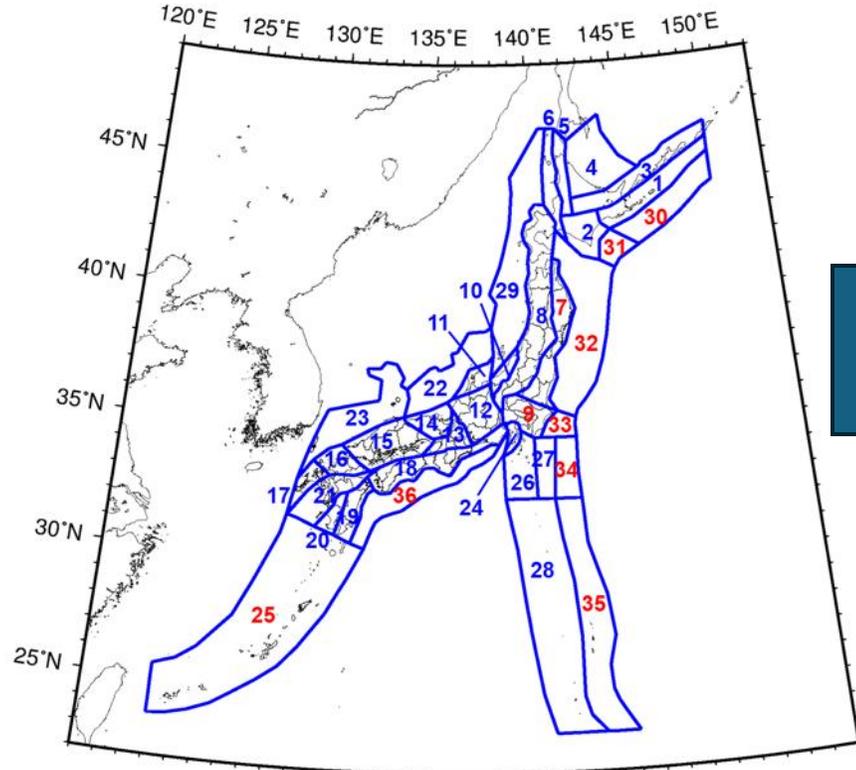


R8 年度実施計画（予定）

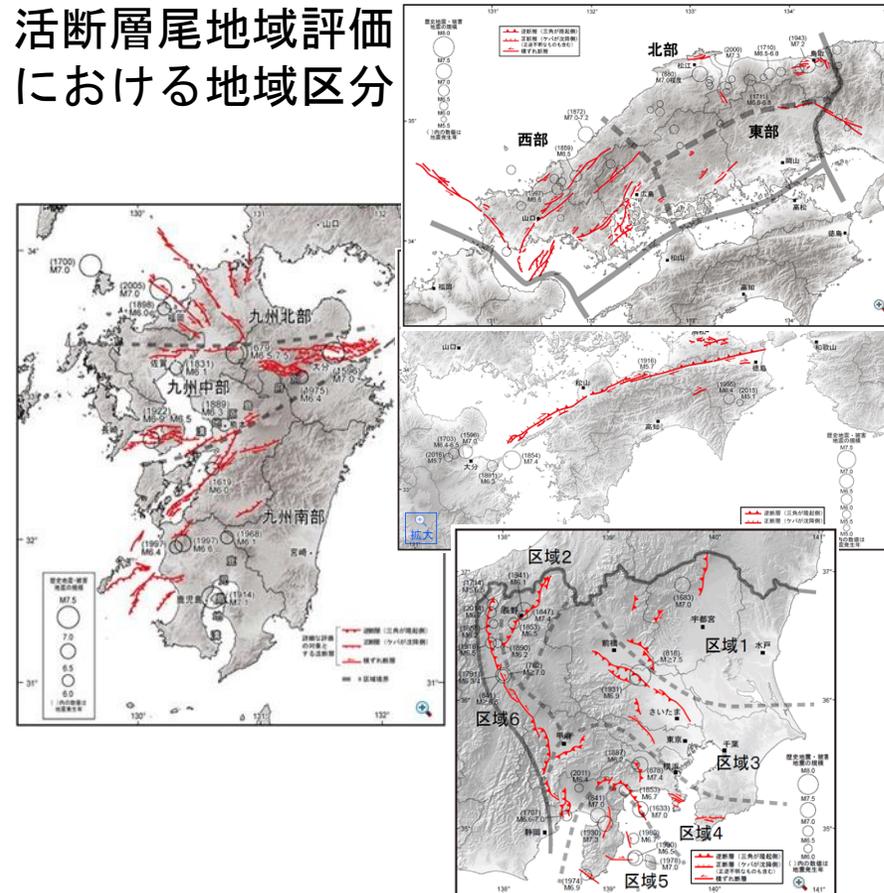
活断層の地域評価に基づく地域区分によるモデル化と地震ハザード評価

確率論的地震動予測地図の「震源断層を予め特定しにくい地震」における地域区分が活断層の地域評価の区分と異なっているという課題について検討する。地域区分の違いが確率論的地震動予測地図に及ぼす影響を示す。

現行の地域区分
(垣見ほか、2003に基づく)



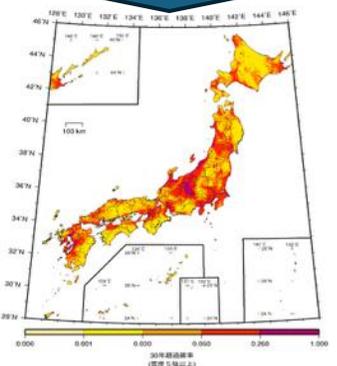
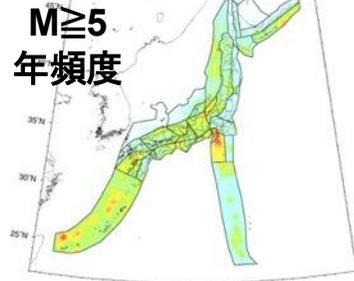
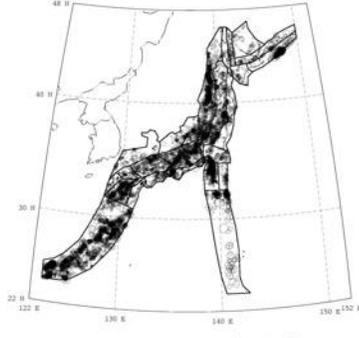
活断層尾地域評価
における地域区分



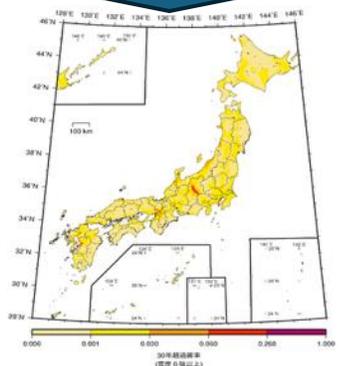
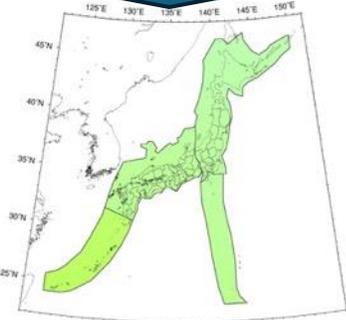
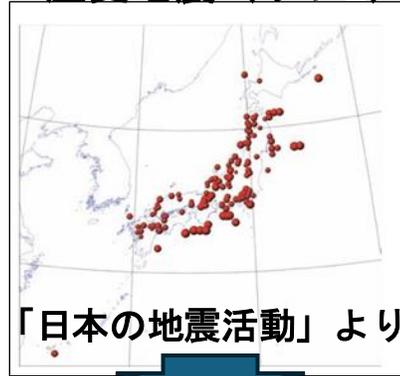
R9年度実施計画（予定）

各サブテーマの研究成果に基づく（確率論的地震動予測地図のための）
地震活動のモデル化手法構築と確率論的な地震ハザード評価

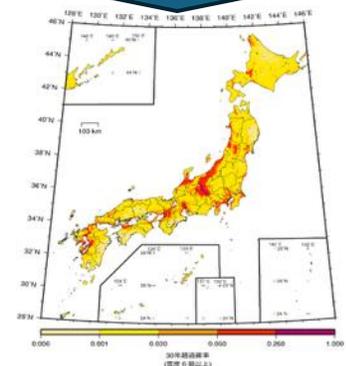
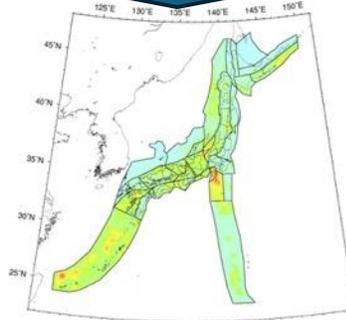
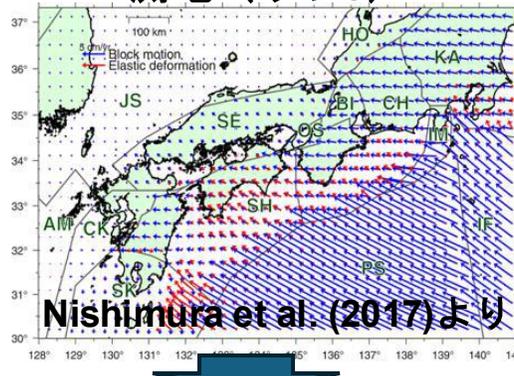
地震活動（サブ1）



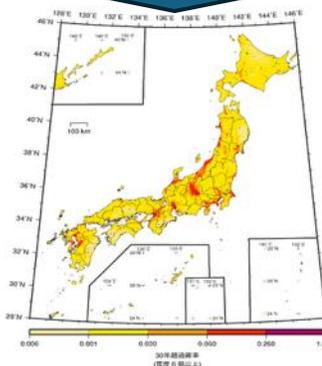
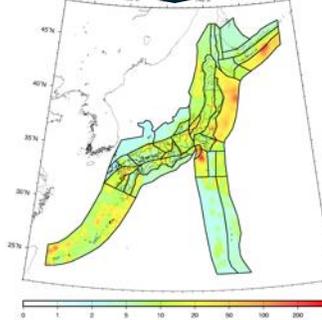
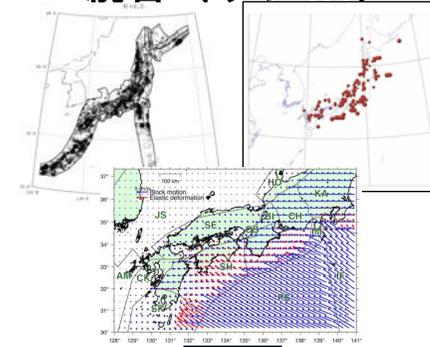
歴史地震（サブ2）



測地（サブ3）



統合（サブ4.1）



地震活動モデル

地震ハザード評価