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

令和７年度

成 果 報 告 書

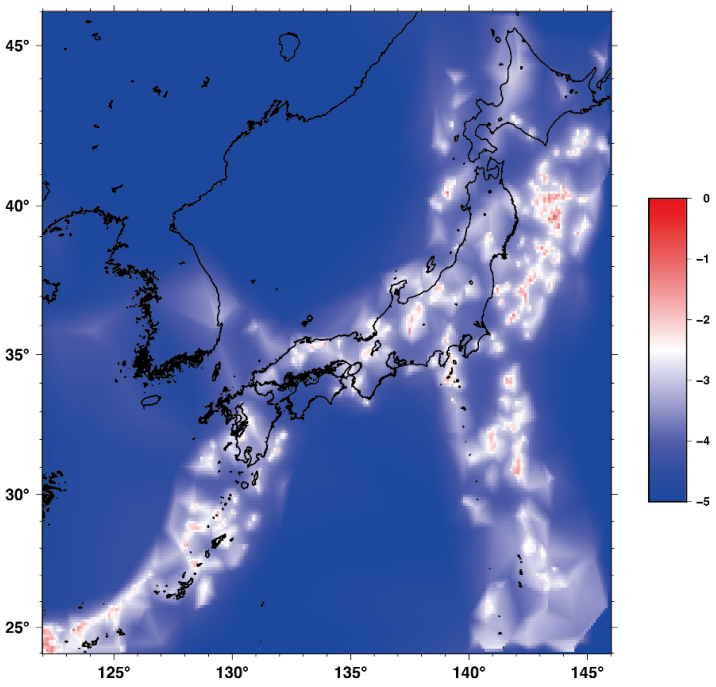
令和８年５月

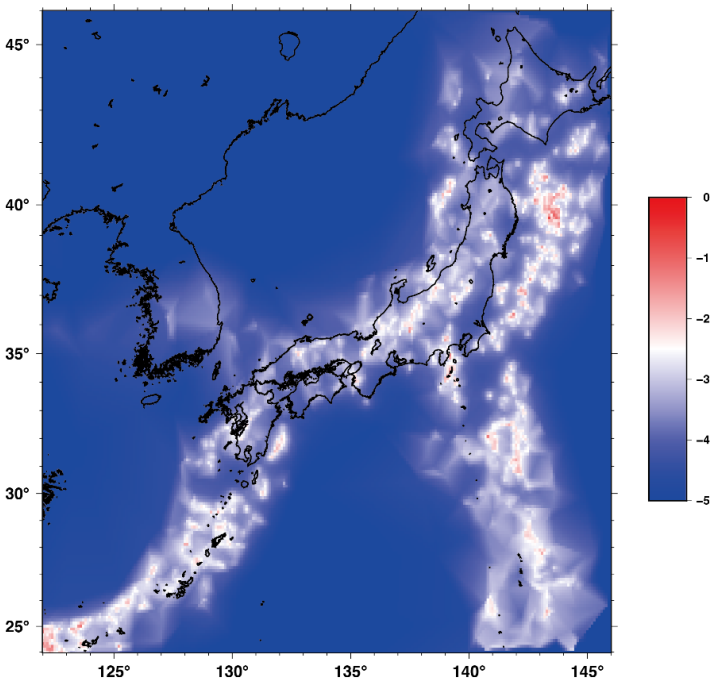
文 部 科 学 省 研 究 開 発 局

国立大学法人京都大学防災研究所

本報告書は、文部科学省の科学技術基礎調査等委託事業による委託業務として、国立大学法人京都大学防災研究所が実施した令和７年度「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」の成果を取りまとめたものです。

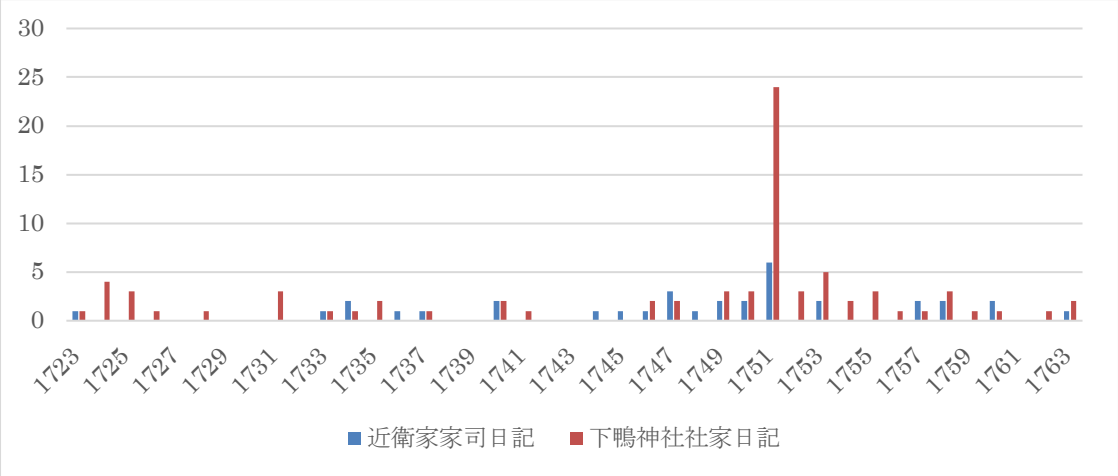
1. 地震活動データを用いた長期予測手法の高度化





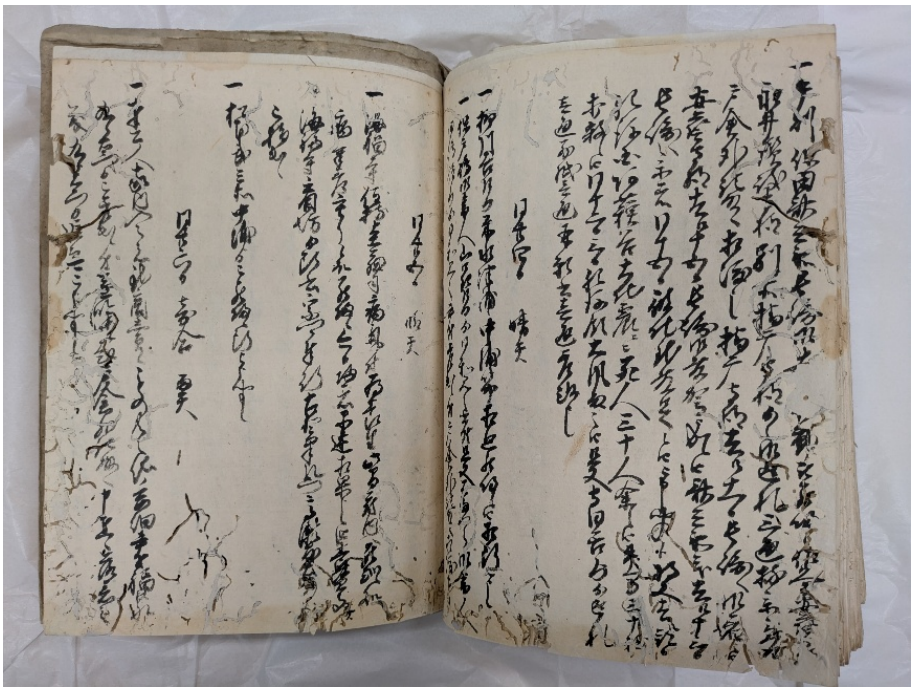
M5.0 以上（上図）と M4.5 以上（下図）の気象庁地震カタログ（1983～2023 年）を用いて推定した定常的地震活動度（$event/year/(0.1\times0.1degree^2)$）。GR 則の b=0.9 を仮定して、M5.0 以上の活動度として補正済み。常用対数表示。下限のマグニチュードを下げることで、定常的地震活動度の空間解像度が向上する結果が得られた。

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地震に関する研究



日記史料に基づく京都の有感地震発生日数（1723～1763 年）

京都については、日記史料では平均すると 1～2 年に 1 度は地震記事があった。気象庁の震度データベースによれば、震度 3 以上の地震の発生頻度はこれとほぼ同じであるので、日記史料に記された地震は概ね震度 3 以上の地震動であると考えられる。



1705 年 5 月 24 日（宝永二年閏四月二日）地震での阿蘇の被害を伝える記事

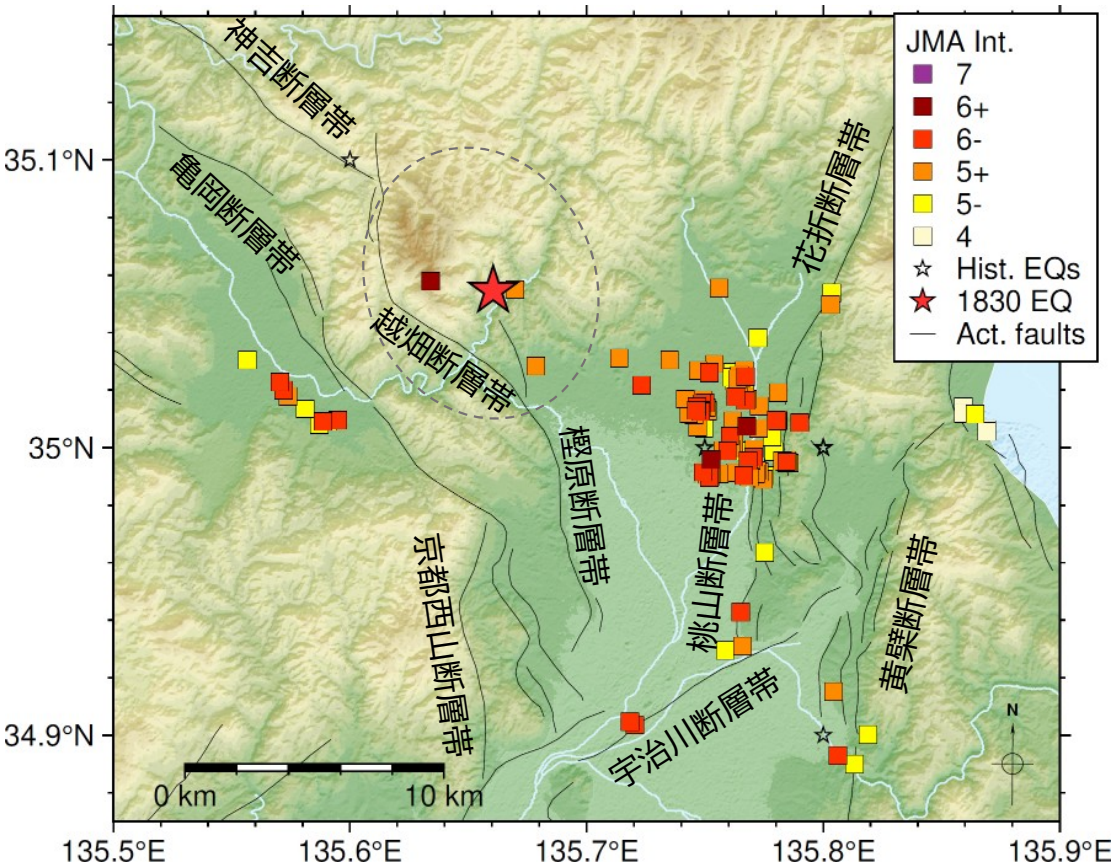
（佐伯市歴史資料館所蔵佐伯藩政史料『御用日記』(D-Ⅲ-13) 宝永二年閏四月二十三日条）

地震の 3 週間後に「去ル朔日肥後国阿蘇谷大地震ニ而死人三十人余候由、牛馬三十程打殺候由」という情報が長崎から佐伯に届いたことを伝える新出記事を発見した。

2.2　強震動評価に基づく歴史地震の震源断層推定

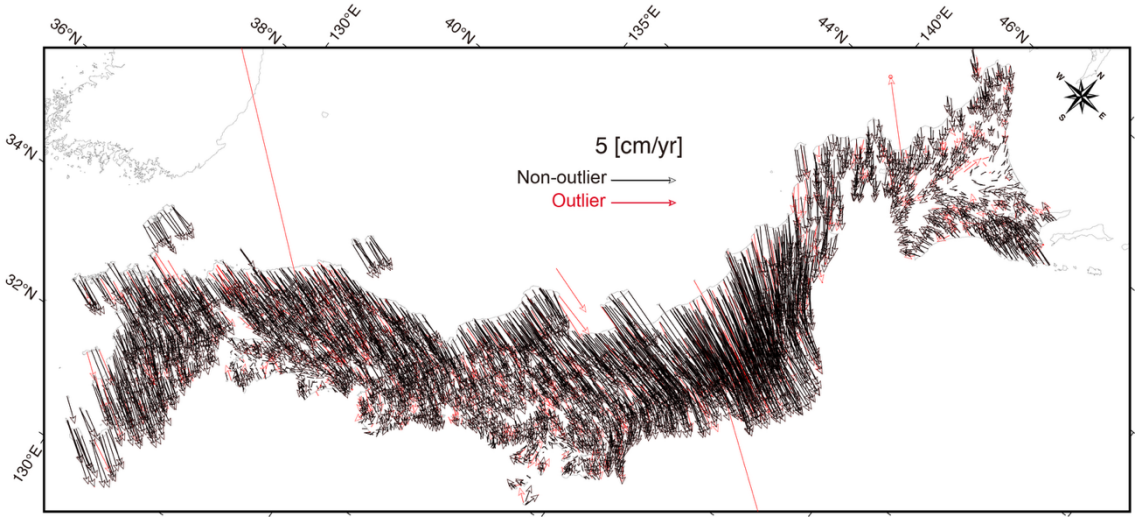


京都御苑における微動アレイ観測（京都市上京区）



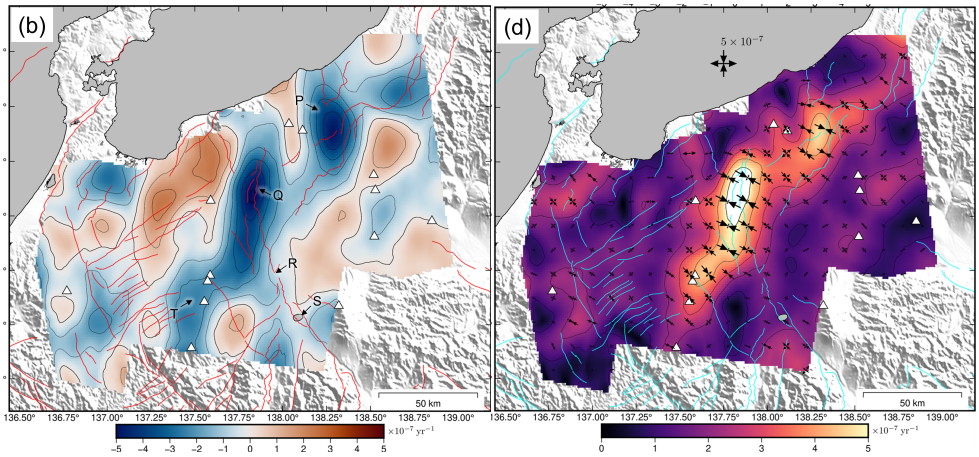
1830 年文政京都地震の震源推定結果

3.1　GNSS データを用いた高精細ひずみ速度分布の解明

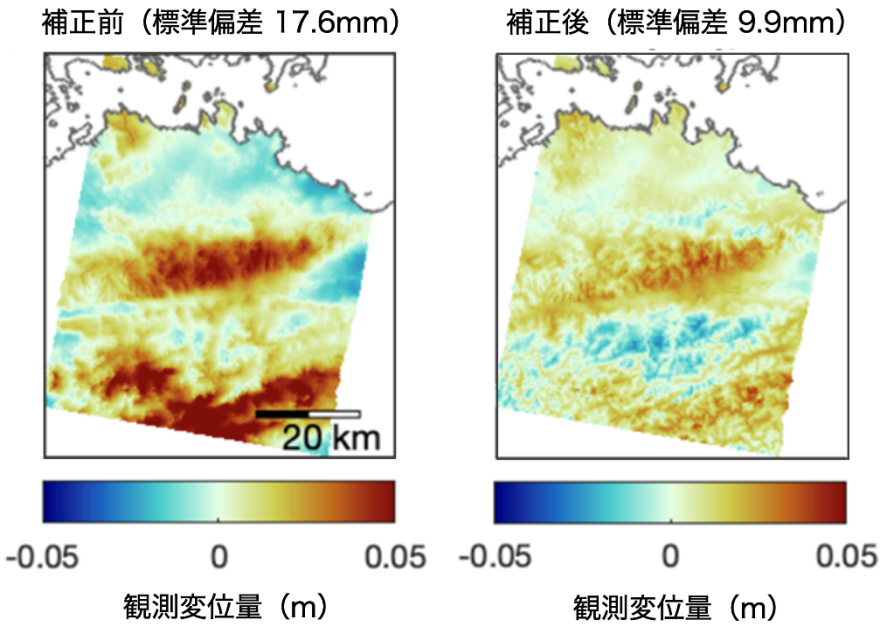


国土地理院 GEONET とソフトバンク独自基準点網における 2019 年 11 月から 2023 年 12 月末までの平均変位速度場。赤色ベクトルが階層クラスタリングで除去された外れ値を示し、黒色ベクトルが残存した観測点を示す。

3.2　InSAR データを用いた詳細ひずみ速度分布の解明

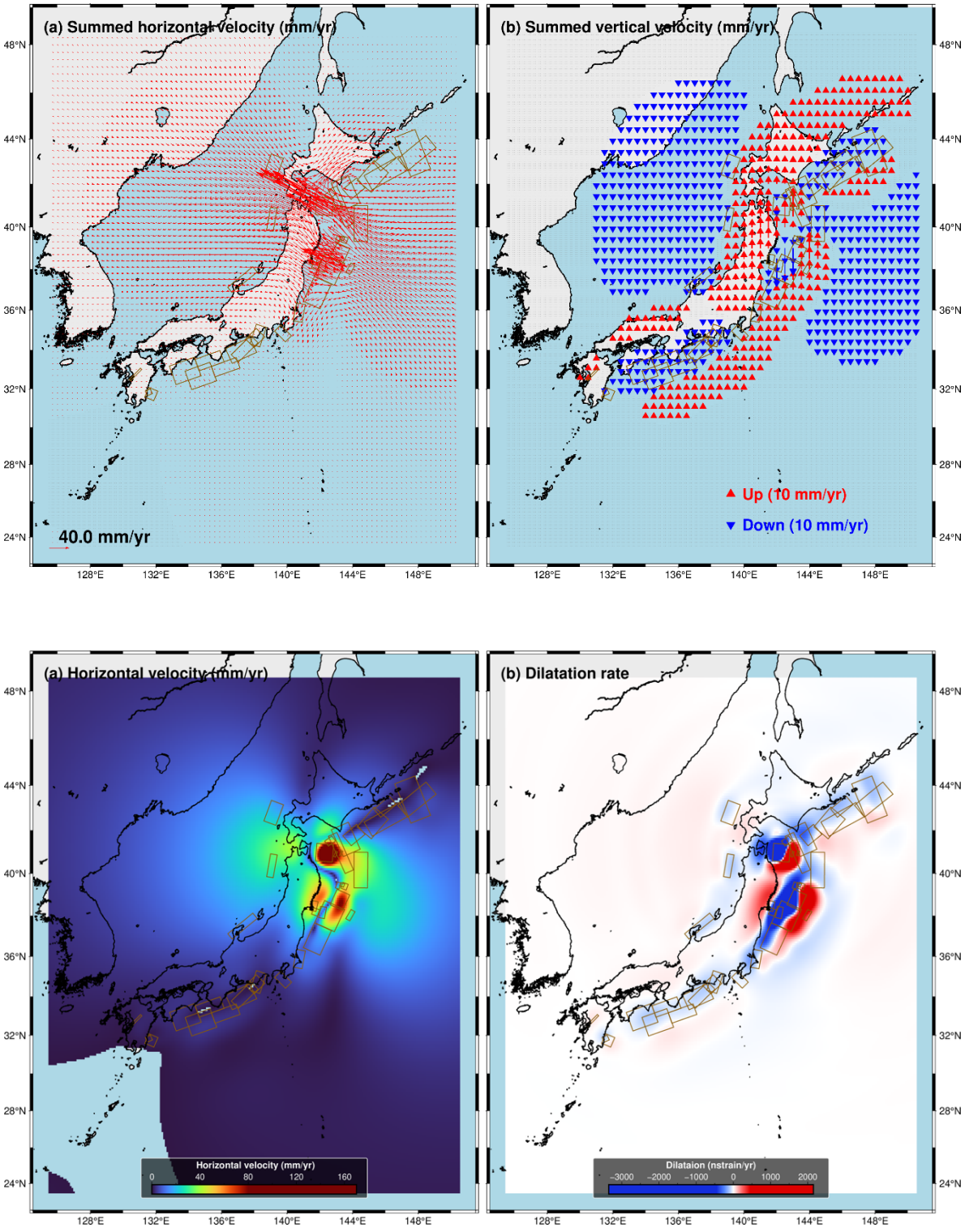


糸魚川－静岡構造線北部および新潟－神戸ひずみ集中帯東部のひずみ速度場
(左)InSAR と GNSS から求めた面積ひずみ速度は 5×10^{-7}/yr に達する顕著なひずみ速度の局在化を示す。(右)ひずみ速度テンソルの二次不変量。矢印は主軸で、北西-南東の圧縮を示す。赤線および青線は活断層、三角は活火山を示す。



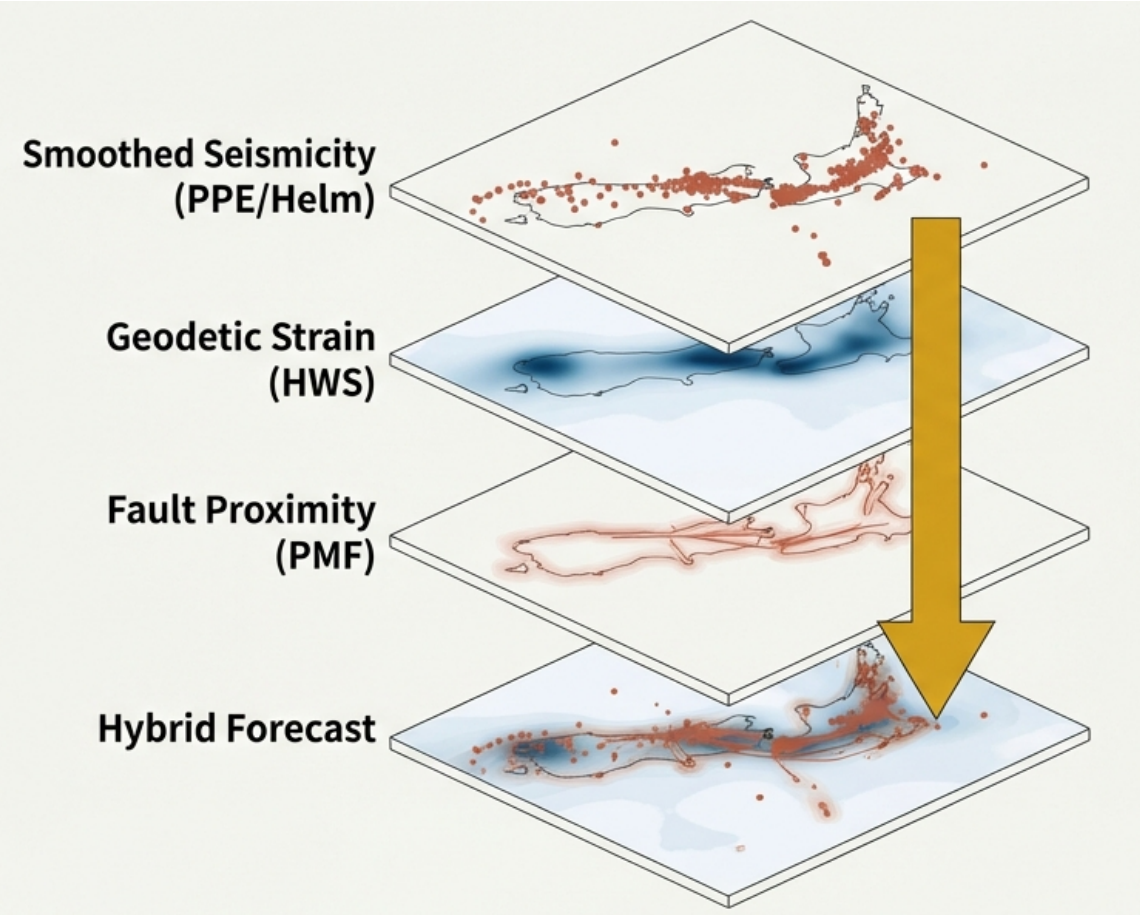
四国東部における稠密 GNSS データを用いた対流圏遅延ノイズ補正の実施例
「だいち 2 号」による干渉解析結果（2023 年 3 月 17 日–5 月 12 日）に対し、GEONET 及びソフトバンク独自基準点網のデータを用いて補正を行った。補正前（左）に卓越していた対流圏遅延由来のノイズが、補正後（右）には大幅に低減されている。

3.3　測地観測データを用いた長期予測手法の高度化



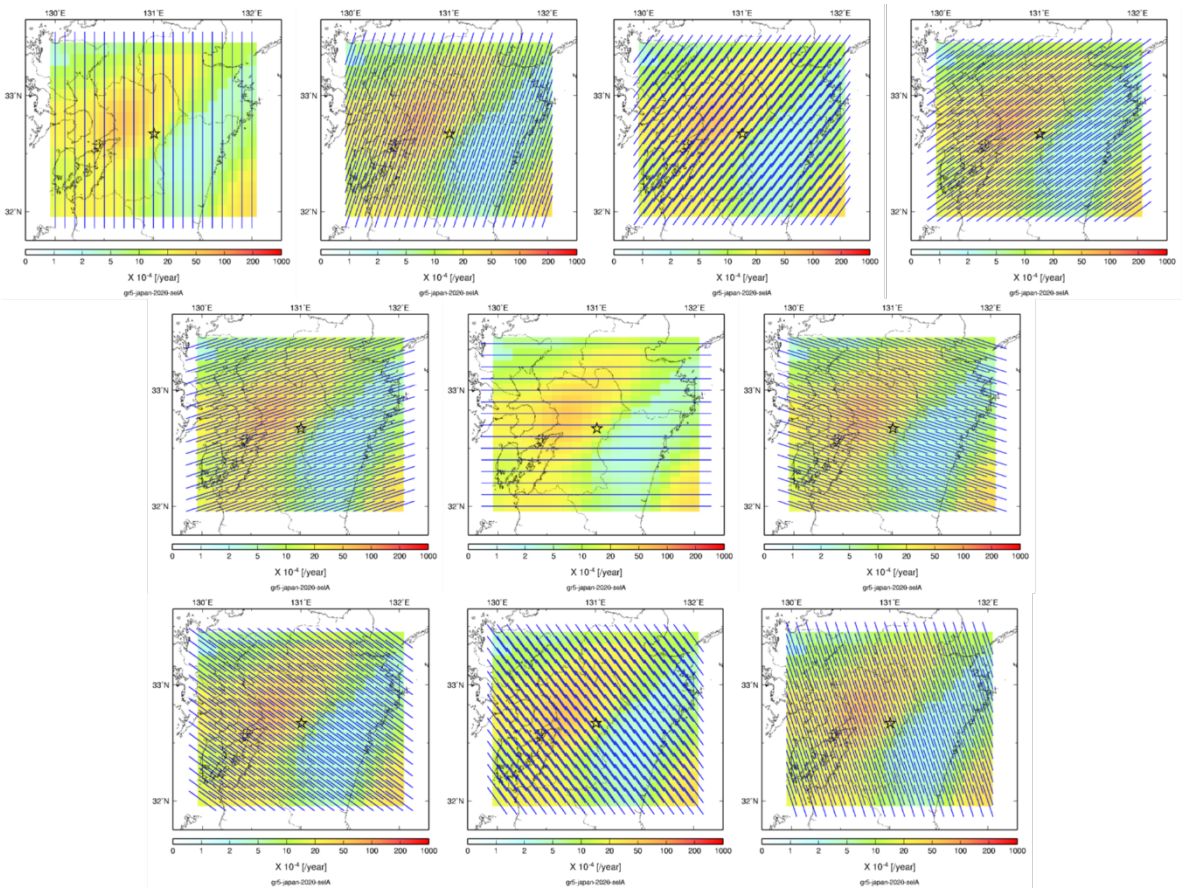
2026 年 1 月 1 日時点で粘弾性緩和による余効変動が有意に継続していると考えられる過去の大地震（計 34 個）に伴う余効変動の総和。（左上）水平変位速度ベクトル。(右上）上下変位速度。(左下)水平変位速度の絶対値。（右下）面積ひずみ速度。

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

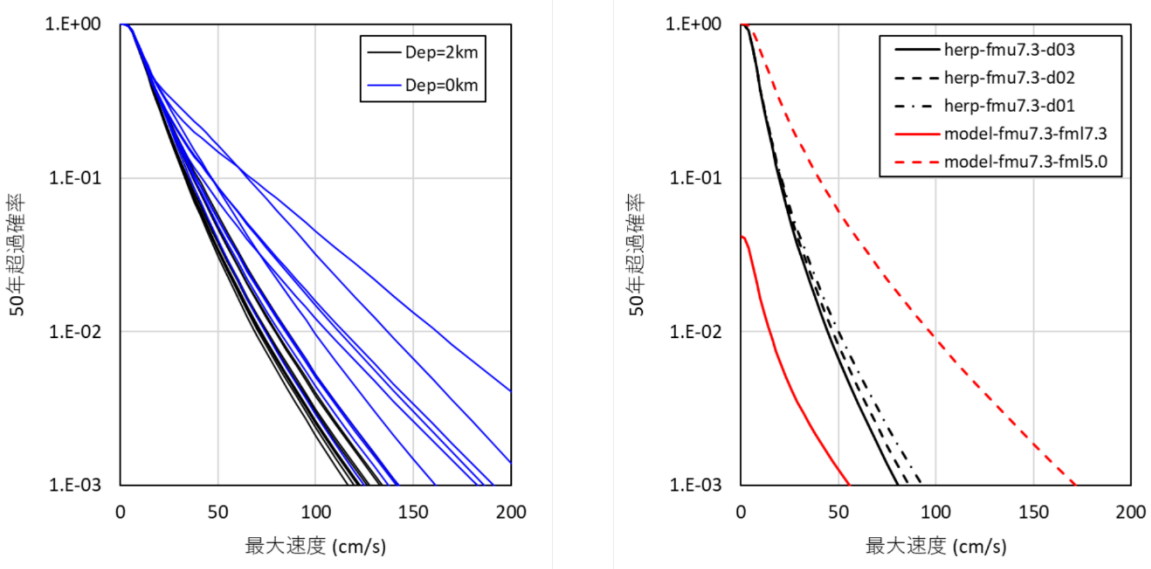


ニュージーランドの全国地震ハザードモデル（NSHM）2022 年版における複数データ統合のイメージ。背景地震活動モデルにおいて 3 種類のデータ統合を行っている。Smoothed Seismicity とは過去の小地震分布を平滑化したもの。Geodetic Strain は、GNSS による測地学的せん断ひずみ速度。PMF は、断層の滑り速度を考慮した断層からの近接度。Notebook LM を用いて作成。

4.2　確率論的地震動予測地図の高度化



設定した 10 通りの走向の矩形断層モデル（上端深さは 0 km と 2 km の 2 通り）



計算された 20 通りのハザードカーブ（左）、および統合したハザードカーブと点震源モデルによるハザードカーブとの比較（右）

目　次

グラビア

1．プロジェクトの概要..... 1

2．業務の実施体制..... 3

3．研究報告

3.1　地震活動データを用いた長期予測手法の高度化..... 6

3.2　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..... 14

3.3　強震動評価に基づく歴史地震の震源断層推定..... 21

3.4　GNSS データを用いた高精細ひずみ速度分布の解明..... 59

3.5　InSAR データを用いた詳細ひずみ速度分布の解明..... 63

3.6　測地観測データを用いた長期予測手法の高度化..... 70

3.7　異なるデータに基づく長期予測モデルの統合手法検討..... 79

3.8　確率論的地震動予測地図の高度化..... 83

4．全体成果概要..... 91

5．成果の論文発表・口頭発表等..... 94

6．むすび..... 98

7．全体会議・外部評価委員会..... 99

1. プロジェクトの概要

（１） 調査研究の方針と観点

内陸で発生する地震の長期評価においては、地震調査研究推進本部（以下「地震本部」という。）では、主要活断層帯を対象に、マグニチュード(M)7 以上の地震の規模や発生確率を評価・公表してきた。また、平成 16 年以降の地震被害を受け、より短い M6.8 以上を引き起こす活断層や地域内の活断層で発生する地震を総合的に評価する「活断層の地域評価」を進めている。これらの評価と全国の評価を統合して作成された大きな揺れに見舞われる確率（確率論的地震動予測地図）は、地方公共団体の防災対策等に活用され、一定の成果を上げている。

現在、これらの評価は、基本的に地質・地形学的手法を用いて活断層の活動度と過去の地震発生履歴を推定したデータに基づいて行われているが、多くの課題が残されている。具体的には、活断層調査に基づいた評価であるため、既知の活断層から離れた場所や地表で明瞭な痕跡がない断層で発生する地震については、十分に評価することができない。すなわち、現状の評価はあくまで活断層で発生する地震を評価したものであり、沈み込み帯以外での地殻内で発生する地震一般（以下「内陸地震」という。）の評価が行われていないという課題がある。また、活断層の活動度の評価ができないため、発生確率が不明な主要活断層帯も存在しているほか､活断層の長さに基づいて固有地震規模を推定しているため、固有地震より規模の小さい地震についても評価ができていない。ところが、現状の地域評価での対象地震規模（M6.8）より小さい M6 程度の地震であっても、2018 年大阪府北部地震に代表されるように、人口密集地に発生すれば大きな被害をもたらす可能性がある。加えて、地域評価における地域毎の地震発生確率は、地域の面積が等しくないため、地点ごとにその直下で内陸地震が発生する確率を比較することができないことも課題である。このような課題は、令和 6 年 8 月 9 日に地震本部政策委員会調査観測計画部会でまとめられた「内陸で発生する地震の新たな調査観測について」でも指摘されており、本調査研究では活断層データ以外のデータも用いて新たな内陸地震の長期予測手法を開発し、地震の長期評価手法の高度化を実施する。

（２） 調査研究の内容

本調査研究の具体的な成果目標は、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を計算する手法を高度化すること、歴史資料などを用いて近代以前の地震の被害や震度分布を明らかにし、強震動評価を通して震源域や規模などの震源パラメータや活断層との対応関係を推定すること､GNSS や InSAR による測地観測データを用いて、日本列島の詳細なひずみ速度分布を明らかにし、内陸地震の長期発生確率を計算する手法の高度化と試算を行うこと、これらのデータと活断層調査等のデータを統合して、ある地域における内陸地震の長期発生確率を試算するとともに、この結果を反映して確率論的地震動予測地図の高度化のための手法開発を行うことである。

上に述べた課題を解決し、内陸で発生する地震の評価手法の高度化という成果目標を達成するために、以下の８つのサブテーマからなる研究体制を構築する。

○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」

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通して、内陸域の地震発生確率分布を評価・検討する。

○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地震に関する研究」

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。

○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」

近代以前に発生した被害地震のうち、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。

○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」

基盤観測網である国土地理院 GEONET（約 1,300 点）に加え、ソフトバンクが運用する独自 GNSS 観測網（3,300 点超）を始めとする民間・公的機関等の観測網を併用した超稠密観測網のデータを用いて高精細ひずみ速度分布の推定を行う。

○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」

人工衛星搭載型 SAR 衛星のデータを利用し、InSAR 時系列解析及び GNSS データの補助により高空間解像度のひずみ速度場を推定する手法を高度化する。また、同手法の適用により国内の複数地域において詳細なひずみ速度分布の推定を行う。

○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 3.1 や 3.2 の結果得られた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。

○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」

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行うとともに、複数の予測モデルを統合する手法について、検討を行う。

○サブテーマ 4.2「確率論的地震動予測地図の高度化」

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。

2. 業務の実施体制

この調査研究は、国立大学法人京都大学防災研究所、国立大学法人東京大学史料編纂所・地震研究所、国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学、国立大学法人東北大学、国立大学法人北海道大学、国立研究開発法人防災科学技術研究所の 6 機関が体制を構築し、関係する研究機関（者）の参加・協力を得て実施する。調査研究代表機関は、国立大学法人京都大学防災研究所とする。

調査観測項目	担当機関	担当者
研究代表者	国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	西村　卓也
1 地震活動データを用いた長期予測手法の高度化	国立大学法人東京大学地震研究所附属地震予知研究センター	加藤　愛太郎
	国立研究開発法人防災科学技術研究所巨大地変災害研究領域地震津波防災研究部門	久保　久彦
	国立研究開発法人防災科学技術研究所巨大地変災害研究領域地震津波防災研究部門	上田　拓
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地震に関する研究	国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部門	杉森　玲子
	国立大学法人東京大学史料編纂所近世史料部門	松澤　克行
	国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部門	尾上　陽介
	国立大学法人東京大学史料編纂所近世史料部門	及川　亘
	国立大学法人東京大学史料編纂所史料学協創センター	井上　聡
	国立大学法人東京大学史料編纂所史料学協創センター	山田　太造
	国立大学法人東京大学史料編纂所近世史料部門	荒木　裕行
	国立大学法人東京大学史料編纂所近世史料部門	林　　晃弘
	国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部門	遠藤　珠紀
	国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部門	小瀬　玄士
	国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部門	海上　貴彦
	国立大学法人東京大学史料編纂所近世史料部門	小林　優里
	国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部門	村上　孟謙
	国立大学法人東京大学史料編纂所中世史料部門	畑山　周平
	国立大学法人東京大学史料編纂所中世史料部門	林　　遼

	国立大学法人東京大学史料編纂所中世史料部門	谷本　隆之
	国立大学法人東京大学史料編纂所近世史料部門	山本　一夫
	国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部門	榎原　雅治
	国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部門	藤澤　匡樹
	国立大学法人東京大学史料編纂所史料学協創センター	水野　嶺
	国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部門	増田　琴子
	国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部門	藤井　悠成
	国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学減災連携研究センターエネルギー防災寄附研究部門	山中　佳子
	国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学大学院人文学研究科	石川　寛
	国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学減災連携研究センターエネルギー防災寄附研究部門	都築　充雄
	国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学減災連携研究センターエネルギー防災寄附研究部門	幸山　寛和
	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所埋蔵文化財センター	村田　泰輔
2.2 強震動評価に基づく歴史地震の震源断層推定	国立大学法人京都大学防災研究所	浅野　公之
	国立大学法人京都大学防災研究所	関口　春子
	国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	長嶋　史明
	国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	松島　信一
	国立大学法人京都大学防災研究所	Miroslav Hallo
	国立大学法人京都大学防災研究所	岩村　虹希
	国立大学法人福井大学附属国際原子力工学研究所	吉田　邦一
3.1 GNSS データを用いた高精細ひずみ速度分布の解明	国立大学法人東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター	太田　雄策
	国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	西村　卓也
	国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	Dhanya Thomas
3.2 InSAR データを用いた詳細ひずみ	国立大学法人北海道大学大学院理学研究院地球惑星科学部門	高田　陽一郎

速度分布の解明	国立大学法人東北大学災害科学国際研究所	福島　洋
3.3 測地観測データを用いた長期予測手法の高度化	国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	西村　卓也
	国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	Dhanya Thomas
	国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	平子　豪
	国土交通省国土地理院地理地殻活動研究センター	矢来　博司
	国土交通省国土地理院地理地殻活動研究センター	宗包　浩志
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	国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	西村　卓也
	国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	西山　昭仁
	国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	Dhanya Thomas
	国立大学法人東京大学地震研究所附属地震予知研究センター	加藤　愛太郎
	国立研究開発法人防災科学技術研究所巨大地変災害研究領域地震津波防災研究部門	久保　久彦
	国立研究開発法人防災科学技術研究所巨大地変災害研究領域地震津波防災研究部門	上田　拓
4.2 確率論的地震動予測地図の高度化	国立研究開発法人防災科学技術研究所巨大地変災害研究領域地震津波複合災害研究部門	森川　信之
	国立研究開発法人防災科学技術研究所巨大地変災害研究領域地震津波複合災害研究部門	中村　洋光
	国立研究開発法人防災科学技術研究所巨大地変災害研究領域地震津波複合災害研究部門	河合　伸一

3. 研究報告

3.1 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 1）

(1) 業務の内容

(a) 業務題目　地震活動データを用いた長期予測手法の高度化

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東京大学地震研究所附属地震予知研究センター	教授	加藤　愛太郎
国立研究開発法人防災科学技術研究所巨大地変災害研究領域地震津波防災研究部門	主任研究員	久保　久彦
国立研究開発法人防災科学技術研究所巨大地変災害研究領域地震津波防災研究部門	契約研究員	上田　拓

(c) 業務の目的

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。

(d) 3 か年の年次実施業務の要約

1) 令和 7 年度：

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った。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・整理を行った。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した。

2) 令和 8 年度：

前年度に検討した余震除去手法を実データに適用し、手法の違いが地震活動の予測結果に与える影響を定量的に評価する。前年度に収集・整理した地震カタログの特性比較を行う。前年度の解析で認定された地震イベントに対して、波形相互相関法を用いて相対走時差データを作成し、それをもとに相対震源決定を実施する。

3) 令和 9 年度：

過年度までの成果を基に、地震活動データを用いた地震発生確率の試算を行う。多様な地震活動データや異なるデータ処理方法によって算出された地震発生確率分布を比較し、それらが空間解像度などに与える影響を評価する。

(2) 令和 7 年度の成果

(a) 業務の要約

既存の余震除去手法である「時空間ウィンドウ法」、「Nearest Neighbor Distance 法」、「HIST-ETAS モデル」の理論的整理を進めた。HIST-ETAS モデルについて実データへの適用を行い、定常的地震活動度を試算した。また、気象庁一元化処理開始前の震源カタログである気象庁カタログ・防災科学技術研究所関東・東海地域地震観測網による地震カタログ・国立大学観測網地震カタログを収集・整理し、それらのカタログの特性比較を行った。さらに、中国地方を対象として、機械学習モデルを用いて連続波形データから地震カタログを構築し、気象庁カタログとの比較を行った。その結果、一元化処理震源カタログに自動処理結果が掲載される以前の期間において、微小地震活動の時空間分布の把握が改善されることを確認した。

(b) 業務の実施方法

既存の余震除去手法の先行研究（e.g., Gardner and Knopoff, 1974; Ogata, 2004; Zaliapin and Ben-Zion, 2013）を確認し、理論的整理を進めた。また、HIST-ETAS モデル（Ogata et al., 2021）を気象庁一元化処理震源カタログに適用し、定常的地震活動度を試算した。日本海側での震源決定精度を考慮し、太平洋側で 25 km 以浅、日本海側で 60 km 以浅の地震を使用した。1983～2023 年の活動について HIST-ETAS モデルのパラメータを推定した。1919～1982 年の活動は発生履歴として考慮した。M5.0 以上と M4.5 以上の地震からなる 2 つのデータセットにそれぞれ適用し、定常的地震活動度の空間分布を評価した。

気象庁による一元化処理震源カタログの構築開始以前の震源カタログとして、令和 7 年度は気象庁カタログ（e.g., 石川，2002；気象庁，2025)、防災科学技術研究所関東・東海地域地震観測網による地震カタログ（KT カタログ）(e.g., 岡田・他，2000；野口・他，2003)、国立大学観測網地震カタログ（JUNEC）(e.g., 坪井・他，1989）を収集し、共通のフォーマットに変換した。さらに、これらのカタログの全体的な傾向を調べるために、1985 年 7 月から 1997 年 9 月までに関東・中部地方の内陸域で発生した地震を対象とし、年毎にイベント数・完全性マグニチュード（Mc)・b 値を比較した。SeismoStats（Mirwald et al., 2025）を用いて、Mc は Kolmogorov-Smirnov method（Clauset et al., 2009; Mizrahi et al., 2021）によって、b 値は最尤法によって推定した。

中国地方に展開されている基盤的地震観測網（約 130 点）の連続波形データに対し、PhaseNet（Zhu and Beroza, 2019）による自動位相読み取りと、イベント検出アルゴリズム（Zhang et al., 2019）を適用することで、微小地震の検出を行った。次に、検出された各イベントについて、走時データを用いて hypomh（Hirata and Matsu'ura, 1987）により震源決定を行い、推定誤差等の情報を取得した。そのうえで、水平方向・鉛直方向の位置誤差、rms 残差、震央から 30 km 以内における P 波・S 波のピック数に基づき、精度の高い震源を選別した。さらに、砕石場の位置情報及び震央近傍の波形記録を参照し、砕石発破などの人工震源を除去した。最後に、一元化処理震源カタログに自動処理結果が掲載される前後におけるカタログの改善度を評価するため、2009～2010 年及び 2024～2025 年の 2 期間を対象として解析を実施した。

（c）業務の成果

既存の余震除去手法について理論的整理を行った結果、各手法が異なる特徴を有することが明らかとなった。具体的には、「時空間ウィンドウ法」は前震や群発地震が除去されにくい一方で、「Nearest Neighbor Distance 法」は前震の影響により本震が余震として除去され得るほか、群発地震も除去されやすい傾向を持つ。また、「HIST-ETAS モデル」は定常的地震活動度を連続場として推定可能である。さらに、HIST-ETAS モデルにより推定した定常的地震活動度の空間分布について、M5.0 以上（図 1）と M4.5 以上（図 2）を比較したところ、大局的な傾向は概ね一致した。一方で、M4.5 以上の場合は対象とする地震数が増加するため、空間解像度が向上する結果が得られた。

カタログ特性の比較結果（図 3、図 4、図 5）から、イベント数及び頻度–マグニチュード分布にはカタログ間で明瞭な差異が認められた。KT カタログは最もイベント数が多く、Mc は約 2、b 値は約 1 で安定して推定された。これに対し、JUNEC カタログはイベント数が最も少なく、Mc 及び b 値はいずれも時間変動が大きかった。このようなイベント数の少なさや Mc の不安定性は、カタログに収録される地震のマグニチュード下限の影響が大きいと考えられる。一方で、b 値の平均的な振る舞いは KT カタログと概ね類似していた。イベント数が 2 番目に多い気象庁カタログでは、Mc の時間変動は比較的大きいものの、KT カタログよりも小さい b 値（0.7～0.8 程度）が安定して推定された。

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抽出した結果、一元化処理震源カタログに自動処理結果が掲載される以前の 2009～2010 年の期間においては、山陰ひずみ・地震集中帯に沿う地震数が約 7 割増加した。また、地震集中帯における空間分布の連続性の観点からも、地震カタログの改善が確認された（図 6）。一方で、自動処理結果が掲載されるようになった後の 2024～2025 年の期間においては、地震カタログの顕著な改善は認められなかった（図 7）。

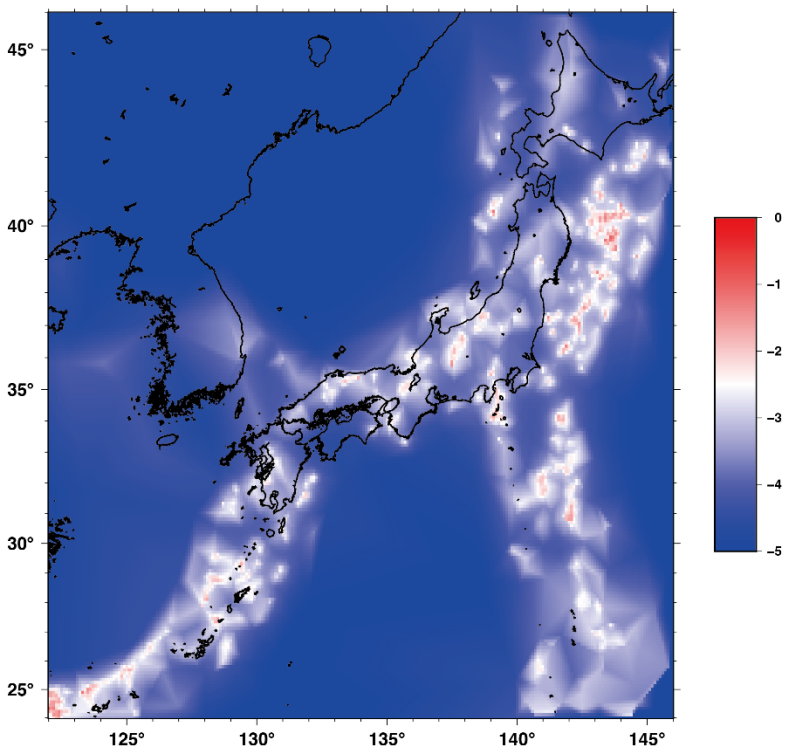


図 1 M5.0 以上の地震カタログを用いて推定した定常的地震活動度（($event/year$ /(0.1 × $0.1degree^2$))。常用対数表示。

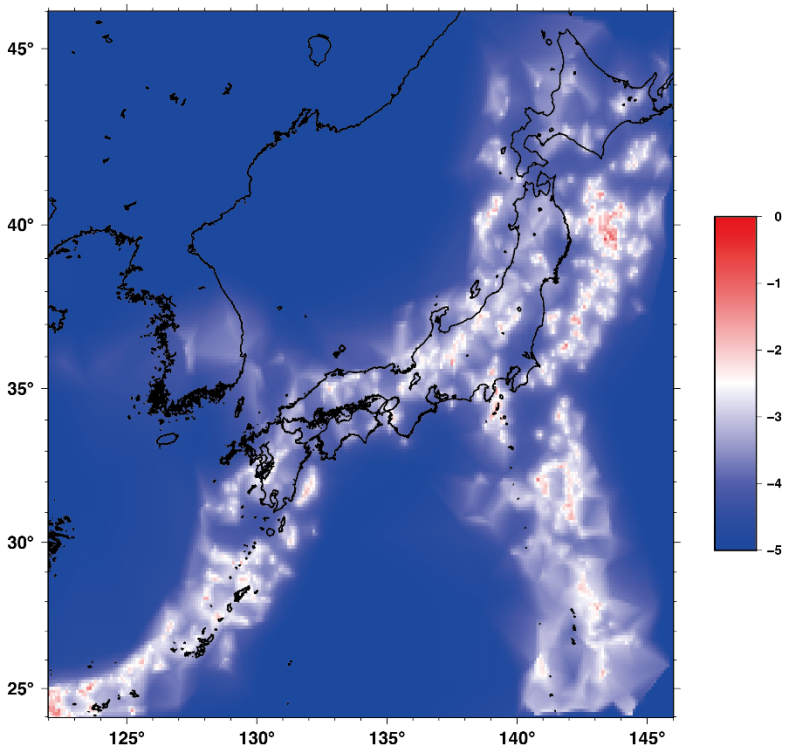


図 2 M4.5 以上の地震カタログを用いて推定した定常的地震活動度（$event/year$ /(0.1 × $0.1degree^2$))。GR 則の b=0.9 を仮定して、M5.0 以上の活動度として補正。常用対数表示。

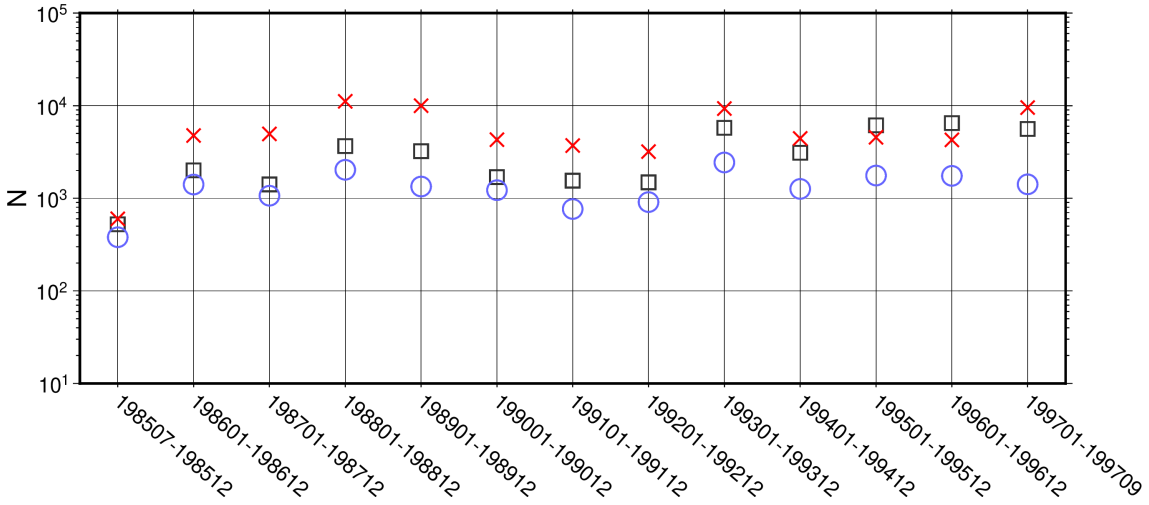


図 3　関東・中部地方内陸域における年毎のイベント数のカタログ間比較。黒色の□が気象庁カタログ、赤色×が KT カタログ、青色○が JUNEC を示す。

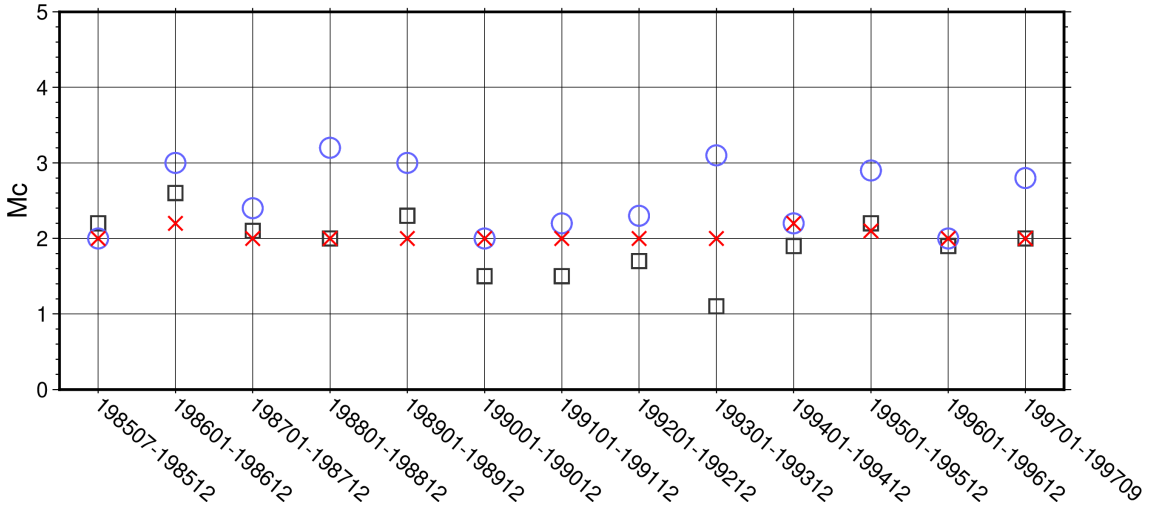


図 4 関東・中部地方内陸域における年毎の Mc のカタログ間比較。黒色の□が気象庁カタログ、赤色×が KT カタログ、青色○が JUNEC を示す。

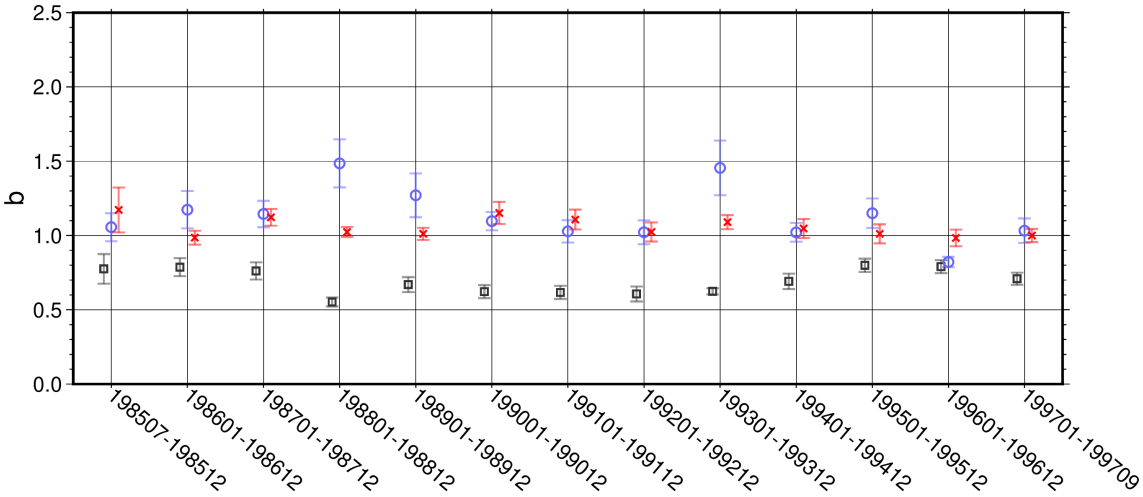


図 5 関東・中部地方内陸域における年毎の b 値のカタログ間比較。黒色の□が気象庁カタログ、赤色×が KT カタログ、青色○が JUNEC を示す。エラーバーは 95%信頼区間を示す。

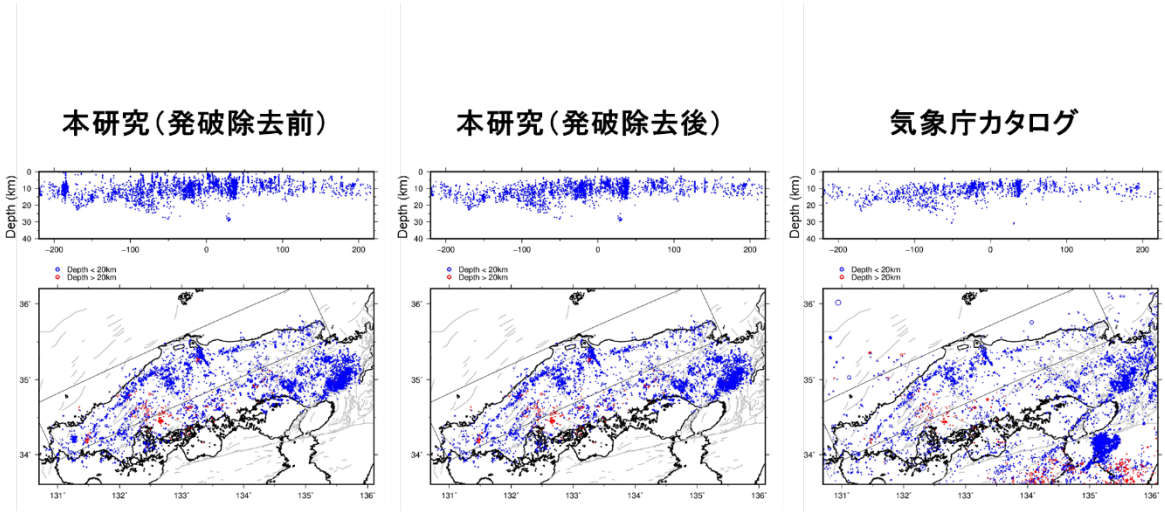


図 6 中国地方を対象とした 2010 年 1 月 1 日～12 月 31 日の期間の震央分布図（青色・赤色丸印は、深さ 20 km 以浅、20 km 以深の震央を表す）。上図は山陰地震集中帯に沿う深さ断面図を示す。左から、発破除去前のカタログ、発破除去後のカタログ、気象庁カタログの分布を表す。灰色の線は活断層の地表トレース（活断層研究会, 1991）を示す。

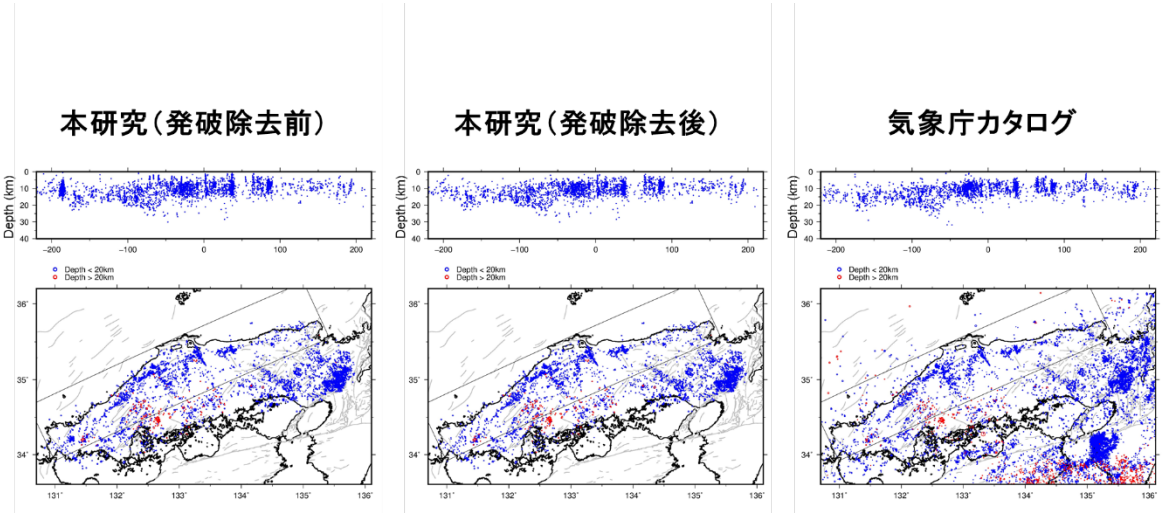


図 7 中国地方を対象とした 2024 年 1 月 1 日～12 月 31 日の期間の震央分布図（青色・赤色丸印は、深さ 20 km 以浅、20 km 以深の震央を表す）。上図は山陰地震集中帯に沿う深さ断面図を示す。左から、発破除去前のカタログ、発破除去後のカタログ、気象庁カタログの分布を表す。灰色の線は活断層の地表トレース（活断層研究会, 1991）を示す。

（d）結論並びに今後の課題

既存の余震除去手法について理論的な特徴を整理した。HIST-ETAS モデルを実データに適用し、下限のマグニチュードを下げることで、定常的地震活動度の空間解像度が向上することが示唆された。今後は 3 つの余震除去手法を実データに適用し、手法の違いが地震活動の予測結果に与える影響を定量的に評価する。

また、令和 7 年度に実施した地震カタログ特性の比較により、異なる地震カタログ間に内在する特性差が、定常的地震活動度の推定、ひいては内陸地震の長期評価に無視できない影響を与えることが示唆された。今後は、地震活動の空間分布に着目したカタログ間の比較をさらに進める。

さらに、中国地方の基盤的地震観測網で取得された連続波形データに対して機械学習モデルによる自動読み取りを適用し、地震カタログを構築した。その結果、一元化処理震源カタログに自動処理結果が掲載される以前の期間においては、山陰ひずみ・地震集中帯に沿う地震数が約 7 割増加し、空間分布の連続性の観点からもカタログの改善が確認された。一方で、自動処理結果が掲載されるようになった後の期間においては、顕著な改善は認められなかった。今後は、地震カタログの改善と震源再決定により高精度地震カタログの構築を進める。

（e）引用文献

Clauset, A., C. R. Shalizi, and M. E. J. Newman, Power-Law Distributions in Empirical Data, SIAM Review, 51(4), 661-703, 2009.

Gardner, J. K., L. Knopoff, Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian?, Bull. Seismol. Soc. Am., 64(5), 1363-1367, 1974.

Hirata, N. and M. Matsu'ura, Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, Phys. Earth Planet. Inter., 47, 50-61, 1987.
石川有三, 気象庁地震観測網と処理システムの変遷, 日本地震学会ニュースレター, 13(5), 30-33, 2002.
活断層研究会, 新編日本の活断層:分布図と資料, 東京大学出版会, 437, 1991.
気象庁, 気象庁の地震カタログの解説, https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/bulletin/data/hypo/relocate.html, 2025.
Mirwald, A., N. Schmid, L. Mizrahi, M. Han, A. Rohnacher, V. A. Ritz, and S. Wiemer, SeismoStats: a python package for statistical seismology, arXiv preprint arXiv:2511.04521, 2025.
Mizrahi, L., S. Nandan, and S. Wiemer, The Effect of Declustering on the Size Distribution of Mainshocks, Seismol. Res. Lett., 92(4), 2333-2342, 2021.
野口伸一・増子徳道・関東東海地殻活動観測研究グループ, 関東・東海地域地震観測網による震源の時空間分布と規模分布について－特別研究「関東・東海地域における地震活動に関する研究」観測成果のまとめ（その 5）－, 防災科学技術研究所研究資料, 239, 1-71, 2003.
Ogata, Y., Space-time model for regional seismicity and detection of crustal stress changes, J. Geophys. Res., 109, B03308, 2004.
Ogata, Y., K. Katsura, M. Tanemura, D. Harte, and J. Zhuang, Hierarchical space-time point-process models (HIST-PPM): software documentation and codes, Computer Science Monographs, 35, 2021.
岡田義光・松村正三・野口伸一, 関東・東海地域地殻活動観測網の稼動状況－特別研究「関東・東海地域における地殻活動に関する研究」観測成果のまとめ（その 1）－, 防災科学技術研究所研究資料, 208, 57 pp., 2000.
坪井誠二・纐纈一起・鷹野澄・宮武隆・阿部勝征・萩原幸男, 国立大学観測網地震カタログの震源決定処理, 地震 2, 42, 277-284, 1989.
Zaliapin, I. and Y. Ben-Zion, Earthquake clusters in southern California I: Identification and stability, J. Geophys. Res.: Solid Earth, 118, 2847-2864, 2013.
Zhang, M., W. L. Ellsworth, and G. C. Beroza, Rapid earthquake association and location, Seismol. Res. Lett., 90(6), 2276-2284, 2019.
Zhu, W. and G. C. Beroza, PhaseNet: A deep-neural-network-based seismic arrival-time picking method, Geophys. J. Int., 216(1), 261-273, 2019.

3.2 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（サブテーマ 2.1）

(1) 業務の内容

(a) 業務題目　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

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部門	教授	杉森　玲子
国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部門	教授	尾上　陽介
国立大学法人東京大学史料編纂所近世史料部門	教授	松澤　克行
国立大学法人東京大学史料編纂所近世史料部門	教授	及川　亘
国立大学法人東京大学史料編纂所史料学協創センター	教授	山田　太造
国立大学法人東京大学史料編纂所史料学協創センター	准教授	井上　聡
国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部門	准教授	遠藤　珠紀
国立大学法人東京大学史料編纂所近世史料部門	准教授	荒木　裕行
国立大学法人東京大学史料編纂所近世史料部門	准教授	林　晃弘
国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部門	助教	小瀬　玄士
国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部門	助教	海上　貴彦
国立大学法人東京大学史料編纂所近世史料部門	助教	小林　優里
国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部門	助教	村上　孟謙
国立大学法人東京大学史料編纂所中世史料部門	助教	畑山　周平
国立大学法人東京大学史料編纂所中世史料部門	助教	林　遼
国立大学法人東京大学史料編纂所中世史料部門	助教	谷本　隆之
国立大学法人東京大学史料編纂所近世史料部門	助教	山本　一夫
国立大学法人東京大学史料編纂所史料学協創センター	特任准教授	水野　嶺
国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部門	特任研究員	榎原　雅治
国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部門	特任研究員	藤澤　匡樹
国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部	学術専門職員	増田　琴子

門		
国立大学法人東京大学史料編纂所古文書古記録部門	学術専門職員	藤井　悠成
国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学減災連携研究センターエネルギー防災寄附研究部門	特任教授	山中　佳子
国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学大学院人文学研究科	准教授	石川　寛
国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学減災連携研究センターエネルギー防災寄附研究部門	特任准教授	都築　充雄
国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学減災連携研究センターエネルギー防災寄附研究部門	特任助教	幸山　寛和
独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所埋蔵文化財センター	主任研究員	村田　泰輔

(c) 業務の目的

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。

(d) 3 か年の年次実施業務の要約

1) 令和 7 年度：

近代以前の地震に関する従来の研究は被害を生じた大規模な地震を対象としたものが中心で、中規模地震の発生状況を通時的に把握する研究は進んでいない。そのため、過去に大規模な内陸地震が発生している近畿・濃尾地域に加えて九州中部地域を中心に、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した。明治初期の地震史料については、従来、調査の空白時期となっているため、濃尾地域を中心に関係史料の所在調査を行った。

2) 令和 8 年度：

近畿・濃尾地域での史料調査を継続する。また岡山県、滋賀県、福井県を中心に、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。前年度の調査で所在の判明した濃尾地域の明治初期の地震史料についての調査を行う。

3) 令和 9 年度：

近畿・濃尾地域及び福井県での史料調査を継続する。近畿・濃尾地域を中心に明治初期の地震史料についての調査を行う。また前年度までの調査結果を踏まえ、各調査地点の状況を相互比較して、大規模な内陸地震の前後の地震活動の特徴を把握する。

(2) 令和 7 年度の成果

(a) 業務の要約

東京大学史料編纂所では、近代以前の中規模地震の発生状況を通時的に把握するため、過去に大規模な内陸地震が発生している近畿・濃尾地域及び九州中部地域を中心に、19 の機関が所蔵する 17〜19 世紀の日記史料を調査し、既刊の地震史料集に未収録のものを含む地震記事を抽出するとともに、明治初期の日記史料の所在調査を進めた。史料調査に基づいて、京都の 18 世紀における有感地震発生状況を通時的に把握した。また、九州地方が有感となった複数の地震について、被害状況や有感分布をより詳細に解明するとともに、観測記録がある地震や活断層調査とも比較して地震像の分析を行った。名古屋大学では、「高木家文書」の「留守居方日記」・「台所方日記」を撮影し解読した。また岐阜県に関する地方史・郷土誌等をリストアップ（3,000 件超）し 621 冊を調査、地震に関する情報の収集を行った。

(b) 業務の実施方法

東京大学史料編纂所では、下記の史料所蔵機関において各史料群の日記史料を中心に調査を行い、既刊の地震史料集に未収録のものを含む地震情報を収集した。また、明治初期の日記史料の所在調査を進めた。なお、調査先への出張期間中に判読、翻刻できる記事の量には限りがあるため、一部の史料については専門業者による撮影・紙焼きを行い、出張終了後に撮影データによる調査を行った（継続中）。

西条市立小松温芳図書館「小松藩会所日記」「高鴨神社神主日次記録」／佐伯市歴史資料館「佐伯藩政史料」／熊本城調査研究センター「旧細川刑部邸保管史料」／熊本県立図書館「福島家文書」「荒木家文書」「羽田家文書」ほか／陽明文庫「近衛家家司日記」（一部を撮影）「家熙公記」「忠房公記」ほか／香川県立ミュージアム「多度津藩政史料」（一部を撮影）／オーテピア高知図書館「森家旧蔵資料」「赤松家文書」「山中家文書」（以上は高知県立図書館所蔵）「宮地家資料」「石本征華資料」（以上は高知市立市民図書館所蔵）／臼杵市文化財管理センター「御会所日記」「御会所日記頭書」／名古屋市市政資料館「加藤正左衛門文書」ほか／名古屋市蓬左文庫「尾州茶屋家文書」（一部を撮影）「美濃高木家文書」／浜松市博物館「山住神社文書」（一部を撮影）／熊本市歴史文書資料室「除野文書」／中津市立小幡記念図書館「中津藩政史料」「山崎家御用所日記」ほか／京都市歴史資料館「岩佐家文書」「鹿苑寺文書」ほか／京都府立京都学・歴彩館「真町文書」「行持家文書」「若杉家文書」／名古屋大学「高木家文書」／明治大学「内藤家文書」（一部を紙焼き）／岐阜県歴史資料館「高山陣屋文書」「青木久太郎家文書」ほか／賀茂御祖神社「賀茂御祖神社日記」（東京大学史料編纂所架蔵写真帳）

名古屋大学では、名古屋大学が所蔵する「高木家文書」のうち、「留守居方日記」と「台所方日記」について撮影を行い、解読を行って地震記事を採取した。またすでに収集した「松平乗邑家中日記覚」（「鳥羽藩日記覚」、名大図）（宝永 4 年）、「永田家文書」（「佐屋代官所手代日記」、名大文）（嘉永 7 年）、「尾州御留守日記」（名古屋、徳川林政史研究所）（嘉永 7 年）、「今尾記」（岐阜県海津市、個人蔵）（宝永〜）、「小川家文書」（尾張藩士、名大図）（嘉永 7 年）などについても地震記事を採取した。

地方史・郷土史等を使って東海地域の地震活動の調査も行った。今年度は岐阜県西部にターゲットを絞り、岐阜県図書館、国会図書館、その他岐阜県内の図書館に現在存在するあらゆる年代の地方史・郷土史等のリストアップを行った。岐阜県は明治以降 2006 年ま

で毎年のように市町村合併を行っていて市町村変遷が極めて複雑なため、リストアップするだけでかなりの時間を要した。タイトルから地震に関する記載が載っていそうなものをリストアップしたところ、岐阜県西部だけで 3,000 冊を超えた。(東半分は来年度リストアップする予定) 今年度はこの中から 621 冊の調査を行った。

(c) 業務の成果

東京大学史料編纂所では、日記史料から抽出した地震記事に基づいて、京都における 1723～1763 年の有感地震発生状況を通時的に把握した（図 1)。複数の日記史料において似たような傾向が認められることから、日記史料の地震記事の信頼性が確認できた。また、京都については、日記史料では平均すると 1～2 年に 1 度は地震記事があった。気象庁の震度データベースによれば、震度 3 以上の地震の発生頻度はこれとほぼ同じであるので、日記史料に記された地震は概ね震度 3 以上の地震動であると考えられる。

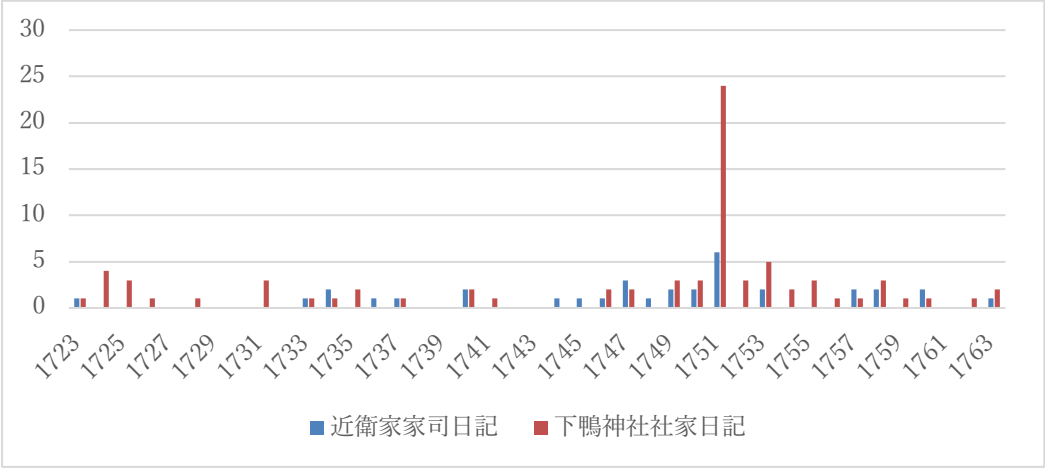


図 1 日記史料に基づく京都の有感地震発生日数（1723～1763 年）

京都では、1723～1763 年のうち最も有感地震が多かったのは 1751 年である。1751 年 3 月 26 日（寛延四年二月二十九日）に発生した地震は、京都で「大地震」と記され、石灯籠の転倒、屋根瓦の落下、築地や土蔵の破損などの被害を出したほか、広範囲で有感となった。『日本被害地震総覧』(宇佐美・他，2013。以下『総覧』という。) では「余震多く 5～6 月に至ってやむ」とされていたが、京都の日記史料には同年九月（10～11 月）まで地震記事があることが分かった。

1705 年 5 月 24 日（宝永二年閏四月二日）に発生した阿蘇付近（熊本県）が震源と推定される（『総覧』）地震については、史料調査によって被害状況がより詳細に判明した。阿蘇での具体的な死者数などを伝える新出記事（図 2）を発見するとともに、これまで被害や震動の記事は知られていなかった佐伯（大分県）でも、城郭や家屋に被害が出ていたことが新出記事によって明らかとなった。1707 年の南海トラフ地震を前に、九州中部では 1703 年 12 月 31 日（元禄十六年十一月二十三日）と 1705 年 5 月 24 日の 2 回、内陸地震が発生していたことが注目される。1698 年 10 月 24 日（元禄十一年九月二十一日）には、府内（大分県）や高鍋（宮崎県）に被害を出し、日向灘地震の可能性をもつ地震も起きており、九州中南部の地震発生履歴がより詳細に判明した。

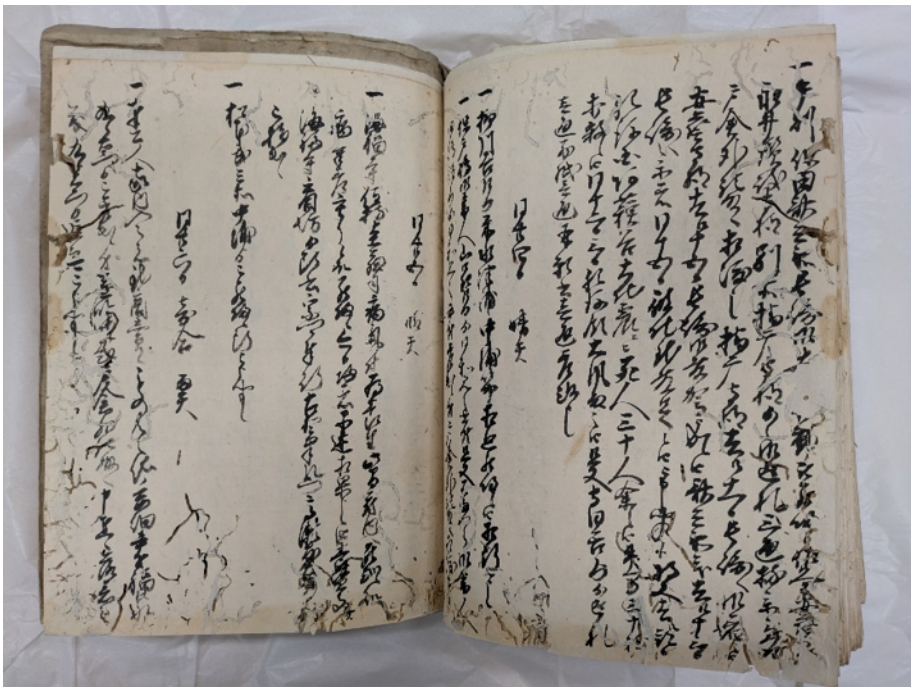


図 2 1705 年 5 月 24 日（宝永二年閏四月二日）地震での阿蘇の被害を伝える記事
（佐伯市歴史資料館所蔵佐伯藩政史料『御用日記』(D-Ⅲ-13) 宝永二年閏四月二十三日条）

また、1793 年 1 月 13 日（寛政四年十二月二日）に発生した地震では、対馬から鳥取で有感となり、現在の福岡県北部を中心に山口県でも家屋に被害が出た。この地震は玄界灘が震源と推定されているが（『総覧』)、史料調査を進めたところ、その前後（1792 年 9 月 8 日、1793 年 4 月 4 日）にもこれと類似した範囲で感知された地震が起きており、被害は記録されていないものの、場所によっては「大地震」と記されていたことも判明した。前後の地震は『総覧』には記載されていないが、3 回連続して同じ場所で大きく感知された地震が起きている点が注目される。

気象庁の震度データベースによると、1793 年 1 月 13 日の地震は 2005 年 3 月 20 日に発生した福岡県西部沖地震（M7.0、最大震度 6 弱）と震度分布が類似している。史料に基づく震度分布を踏まえると、その規模は 2005 年の地震と同程度で、震源はもう少し北東の沖であった可能性が考えられる。また、産総研の活断層データベースから、西山断層帯との関連が注目される。史料から判明する被害情報は陸域の西山区間にほぼ対応するが、対馬で石垣が崩壊し波津浦で海鳴りがあったとする史料の記述から、震源は海域の大島沖区間と考える方が適合的である。

このほか、1812 年 4 月 21 日（文化九年三月十日）には、九州から近畿にかけての広範囲で有感となった地震が発生し、各地で「大地震」と記録された。広島・岡山では久方ぶりの「大地震」と認識されたほか、1707 年の南海トラフ地震の被害記録『谷陵記』国会図書館所蔵写本はこの地震を契機に筆写されたことからも、人々に与えたインパクトの大きさが窺える。ただし、被害は少なく、土佐（高知県）の浦々では人々が津波の襲来を想定し避難したが、津波はなかったようである。さらにその 11 日後の 1812 年 5 月 2 日（同九年三月二十一日）にも、九州各地で「大地震」と認識された地震が発生した。史料調査によって、これまで知られていた長崎出島のほか、熊本、鶴崎（大分県)、山川（鹿児島県）

でも「大地震」とされ、九州の南北で「大地震」であったことが判明した。鶴崎は 4 月 21 日の地震の方が大きかったとする一方、高知では小さく、小松も「地震」と記すのみである。短期間に相次いだ 2 つの地震は有感範囲に違いがあるため、地震像は異なることが想定される。

名古屋大学が行った今年度の地方史・郷土史等の調査では、岐阜県は地震活動がそれほど活発ではない地域のため濃尾地震関係の情報がほとんどで、その他に南海トラフ等の地震被害が載っている程度であった。濃尾地震については 621 冊中 408 冊の地方史・郷土誌等に掲載されていた。しかし濃尾地震の被害が大きかった地域でも地震に全く触れていないものもあった。特に近年の小学校向けの郷土資料の災害には水害や火事しか載っていないものもあり、かつて大きな地震があった活断層のある地域であっても発生頻度の低い内陸地震への教育、啓発の難しさが窺えた。

岐阜県の資料調査の中で、濃尾地震直後に尋常・高等小学校に学校誌または震災小誌を作るよう指示があり、各学校が当時の様子を書き残している事を知った。震災 100 年の時に「学校誌にみる濃尾震災」(岐阜県歴史資料保存協会, 1991) が刊行されているが、そこには資料の一部が記載されているだけであった。岐阜県歴史資料保存協会に確認したところ、これらの資料はすでに各学校または教育委員会に戻されているとのことであった。しかし「1891 (明治 24) 年の濃尾震災による岐阜県下の子ども・学校の被害実態と教育復興の取り組み」(能田・高橋, 2018) によると、すでに資料の所在が不明のものも多いということである。これらの資料は濃尾地震の各地の様子を残す記録であり、救援活動、学校ということで教育機関がどのように復興していったのかについても知ることができ、理学だけでなく建築学、社会学、教育学など幅広い分野において巨大内陸地震に対する重要な資料となりうるものである。しかし 2018 年以降も多くの学校が閉校しており、これらの資料の調査・保存は早急にすべきである。

岐阜県の市町村は複雑であることから、今年度は e-コミマップ (GIS) に明治期の旧版地形図を取り込み、「明治 24 年(1891 年)10 月 28 日濃尾地震の震害と震度分布」(飯田, 1979) によって推定された濃尾地震の震度、及び「濃尾地震 (明治 24 年) 当時のアンケート調査回答集」(村松・他, 1992) によって推定された震度をプロットしてみた。これまでにも指摘されていることではあるが、軟弱地盤での被害が大きく、震度 7 の地域は濃尾断層上以外では J-SHIS の表層地盤の地盤増幅率 1.4 以上のところとほぼ一致することが分かった。

(d) 結論並びに今後の課題

日記史料から地震記事を抽出し、京都における 18 世紀の有感地震発生状況を通時的に把握するとともに、気象庁の震度データベースとの比較によって、日記史料は震度 3 以上の地震動は大体拾っていることが確かめられた。また、史料調査を通じて地震による被害状況がより詳細に判明し、観測記録のある地震や活断層調査との比較により地震像の解明が進む可能性があることも分かった。史料調査に基づき地震像を分析するためには、一次史料による確認や、史料は残っていても地震記事がない (有感でない) ことの確認、調査地点の拡充を進めることが必要である。

地方史・郷土史等の調査から、濃尾地震において震度 7 の領域は断層上を除くと表層地盤の増幅率 1.4 以上の地域とほぼ一致すること、濃尾地震直後にその時に地域の様子をま

とめた学校誌、震災小誌が尋常・高等小学校毎に作られたが現在存在が確認できないものも多く、早急に調査保存が必要なこと、発生頻度の低い内陸地震についてはそれが巨大地震であっても地元での教育、啓発が難しいことも分かった。

(e) 引用文献

飯田汲事, 明治 24 年(1891 年)10 月 28 日濃尾地震の震害と震度分布, 愛知県防災会議地震部会, 304p, 1979.

岐阜県歴史資料保存協会, 学校誌にみる濃尾震災, 107p, 1991.

村松郁栄・小見波正隆, 濃尾地震(明治 24 年)当時のアンケート調査回答集, 防災科学技術研究所研究資料, 155, 1-841, 1992.

能田昴・高橋智, 1891(明治 24)年の濃尾震災による岐阜県下の子ども・学校の被害実態と教育復興の取り組み, チャイルド・サイエンス = Child science : 子ども学, 15, 33-38, 2018.

宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子, 日本被害地震総覧, 694p, 2013.

3.3 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 2.2）

(1) 業務の内容

(a) 業務題目　強震動評価に基づく歴史地震の震源断層推定

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人京都大学防災研究所	教授	浅野　公之
国立大学法人京都大学防災研究所	特定研究員	Miroslav Hallo
国立大学法人京都大学防災研究所	教授	松島　信一
国立大学法人京都大学防災研究所	准教授	関口　春子
国立大学法人京都大学防災研究所	准教授	長嶋　史明
国立大学法人京都大学防災研究所	オフィスアシスタント	岩村　虹希
国立大学法人福井大学附属国際原子力工学研究所	准教授	吉田　邦一

(c) 業務の目的

近代以前に発生した被害地震のうち、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。

(d) 3 か年の年次実施業務の要約

1) 令和 7 年度：

史料分析によって近代以前の歴史地震の地震被害が報告されている地点のうち、地盤構造に関する情報が不足している地域を対象に、微動アレイ探査による地盤構造調査を行った。強震動評価によって震源断層や地震規模の推定を行う手順を整理し、近代以前に京都周辺で発生した地震をテストケースとして試行した。

2) 令和 8 年度：

前年度のサブテーマ 2.1 の成果や既往調査・文献も踏まえ、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近畿地方や新潟県周辺の地点のうち、地盤構造に関する情報の不足している地域を対象に、微動アレイ探査等による地盤構造調査を継続し、強震動評価のための地盤構造モデルを高度化する。既往の歴史地震史料の豊富な近畿地方や新潟県周辺を中心に、史料に基づく地震被害や震度分布が整理された地震を対象に、詳細な地盤構造モデルを考慮した強震動評価を行い、震源断層や地震規模の推定を行う。

3) 令和 9 年度：

前年度までのサブテーマ 2.1 の成果も踏まえ、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域・地点のうち、地盤構造に関する情報の不足している地域・地点を対象にした微動アレイ探査等による地盤構造調査を継続し、強震動評

価のための地盤構造モデルを高度化する。史料に基づく地震被害や震度分布が整理された地震について、詳細な地盤構造モデルを考慮した強震動評価を行い、震源断層や地震規模の推定を継続する。また、サブテーマ 3 や 4 に提供するため、強震動評価に基づく震源断層推定結果やその不確実性を取りまとめる。

(2) 令和 7 年度の成果

(a) 業務の要約

史料分析によって地震被害や推定震度が報告されている近代以前の歴史地震として、1830 年文政京都地震を調査対象とした。当該地震の地震被害が報告されている亀岡盆地、園部盆地、京都盆地のうち、地盤構造に関する情報が不足している地点にて、微動アレイ探査を行い、浅部地盤の S 波速度構造及び V_{S30}（地表から深さ 30 m までの平均 S 波速度）を推定した。深部地盤構造に関する既往研究の乏しい亀岡盆地を構成する堆積層の構造を把握するため、大半径の微動アレイ探査の実施に加え、既存の重力測定値、反射法地震探査結果、岩着ボーリング資料を解析し、亀岡盆地の基盤深度分布をモデル化した。強震動評価によって歴史地震の震源断層や地震規模を推定する手順を整理し、1830 年文政京都地震をテストケースとして試行した。史料分析から得られた震度データを用いた Bayesian Inversion により、震央位置とモーメントマグニチュードを推定した結果、推定震央は北東傾斜の逆断層である越畑断層帯付近、モーメントマグニチュードは 6.4 程度と推定された。地表地震断層が出現しないと一般に考えられている地震規模であるものの、越畑断層帯の活動に対応する可能性が考えられる。

(b) 業務の成果

1) 1830 年文政京都地震被害地域における地盤構造調査

たとえ震央距離が同じでも、各地点の地盤増幅率の違い等によって、観測される震度は異なる。このため、史料の記述から推定された震度情報を用いて、歴史地震の震源位置やマグニチュードを推定するためには、記録された地点の地盤増幅率の情報が必要となる。初年度は、史料を用いた既往研究が豊富な 1830 年文政京都地震をテストケースとした。文政京都地震は、1830 年 8 月 19 日（文政十三年七月二日）の申の刻（午後 3〜5 時頃）に京都周辺で発生した地震であり、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2009)によれば、江戸時代に京都府に被害を及ぼした地震のうちでは、死者 280 人と最も被害の深刻な地震であった。現在の京都市中心部に大きな被害を及ぼしたほか、丹波亀山(現在の亀岡市)、伏見、淀などでも被害が報告されている（西山・他, 2026)。その震源位置については、長く議論されてきており、例えば、宇佐美・他（2013）では、震央は愛宕山付近（東経 135.6 度、北緯 35.1 度)、規模は M6.5±0.2 と記載されている。本調査研究では、西山・他(2026)や大邑（2014）を参考に、京都市北部、亀岡市、南丹市園部町の主要な地点計 18 地点（図 1）を調査候補地とし、小半径の微動アレイ探査により地表付近の地盤構造を推定した。それにより得られる V_{S30}（地表から深さ 30 m までの平均 S 波速度）を用いて、地盤増幅率を評価した。現地下見や施設管理者との事前折衝、許認可申請手続等を行った上で、調査地点を確定し、現地での微動アレイ観測を実施した。

現地での微動アレイ観測は令和 8 年 2 月 6〜27 日の日中もしくは夜間に実施した（表

1、図 1)。各地点で半径 0.6 m、6 m、20 m の 3 種類のアレイ半径による観測を行った。それぞれの微動アレイ観測は、中心点及び正三角形（外接円の半径がアレイ半径に対応）の各頂点の計 4 点に地震計を配する円形アレイによる観測とした。地震計は白山工業製のポータブル微動観測装置 JU410（内蔵加速度センサーJA-40GA の感度 2 V/G）を用いた。なお、地震計は事前にハドルテストを行い、振幅や位相に問題がないことを確認した。JU410 の収録設定は、チャンネルゲインを 100 倍、サンプリング周波数を 200 Hz、デシメーションフィルタの位相特性を線形位相、カットオフ周波数を 80 Hz とした。それぞれの収録装置の時刻は GPS 信号によって較正、同期した。観測中はプラケースを地震計に被せて風除けとし、コーン等で安全対策をした。測定時間は、各アレイとも最低 20 分以上確保するものとした上で、周辺の交通状況などを現場で判断し、必要に応じて観測時間の延長を行った。地震計の水平成分の方位は方位磁針を用いて合わせた。地震計の設置位置は GNSS 測位により測量した。地震計の設置状況などの現場写真をデジタルカメラで撮影することで記録した。微動アレイ観測の実施状況の例を写真 1 に示す。

表 1 小半径微動アレイ観測の諸元

調査対象地点	アレイ名	半径 (m)	中心点座標		観測日	開始時刻	終了時刻
			緯度 (° N)	経度 (° E)			
園部城下（南丹市園部町若松町）	WKM	20	35.111140	135.474197	2026/2/6	10:19	11:00
		6	35.111204	135.474197	2026/2/6	10:19	12:16
		0.6	35.111137	135.474190	2026/2/6	11:46	12:16
園部城址（南丹市園部町小桜町）	KZK	20	35.105984	135.468430	2026/2/6	13:55	14:33
		6	35.105984	135.468430	2026/2/6	13:55	15:26
		0.6	35.105984	135.468430	2026/2/6	14:53	16:26
亀山城下（亀岡市古世町）	ART	20	35.012406	135.582257	2026/2/15	1:05	1:35
		6	35.012406	135.582257	2026/2/15	1:05	2:47
		0.6	35.012406	135.582257	2026/2/15	2:17	2:47
旧大井村（亀岡市大井町並河）	OOI	20	35.030075	135.558384	2026/2/18	11:56	12:26
		6	35.030082	135.558320	2026/2/18	13:17	13:47
		0.6	35.030088	135.558320	2026/2/18	13:17	13:47
旧亀岡河原町（亀岡市河原町）	KWR	20	35.020698	135.570251	2026/2/18	9:37	10:07
		6	35.020698	135.570251	2026/2/18	9:37	10:07
		0.6	35.020698	135.570251	2026/2/18	10:26	10:56
旧三宅村（亀岡市三宅町）	MYK	20	35.008536	135.590545	2026/2/17	9:24	10:08
		6	35.008218	135.590145	2026/2/17	9:58	11:00
		0.6	35.008218	135.590145	2026/2/17	10:28	11:00
旧柏原村（亀岡市篠町柏原）	KSB	20	35.009712	135.595244	2026/2/17	12:27	13:07
		6	35.009582	135.595297	2026/2/17	12:57	14:05
		0.6	35.009582	135.595297	2026/2/17	13:24	14:05

旧毘沙門村（亀岡市千歳町国分）	BSM	20	35.038471	135.585831	2026/2/16	9:48	10:22
		6	35.038470	135.585781	2026/2/16	9:48	11:16
		0.6	35.038470	135.585781	2026/2/16	10:44	11:16
旧水尾村（京都市右京区嵯峨水尾）	MZO	20	35.045351	135.625220	2026/2/16	13:55	14:55
		6	35.045298	135.625236	2026/2/16	13:55	15:42
		0.6	35.045298	135.625236	2026/2/16	15:12	15:42
旧天龍寺村（京都市右京区嵯峨天龍寺）	TRJ	20	35.014170	135.679760	2026/2/27	0:41	1:21
		6	35.014170	135.679760	2026/2/27	0:41	2:04
		0.6	35.014170	135.679760	2026/2/27	1:34	2:04
大覚寺（京都市右京区嵯峨大覚寺）	DKJ	20	35.027049	135.678064	2026/2/25	21:39	22:20
		6	35.027049	135.678064	2026/2/25	21:39	23:03
		0.6	35.027049	135.678064	2026/2/25	22:33	23:03
仁和寺（京都市右京区御室）	NNJ	20	35.028869	135.713864	2026/2/17	17:35	18:10
		6	35.028869	135.713864	2026/2/17	17:35	19:01
		0.6	35.028869	135.713864	2026/2/17	18:21	19:01
妙心寺（京都市右京区花園）	MSJ	20	35.021512	135.721221	2026/2/18	15:34	16:15
		6	35.021512	135.721221	2026/2/18	16:48	17:18
		0.6	35.021512	135.721221	2026/2/18	16:48	17:18
北野天満宮付近（京都市北区衣笠）	KNP	20	35.036508	135.735421	2026/2/26	13:54	14:24
		6	35.036508	135.735421	2026/2/26	13:54	15:07
		0.6	35.036508	135.735421	2026/2/26	14:37	15:07
二条城付近（京都市上京区主税町）	NJP	20	35.016391	135.746135	2026/2/26	10:57	11:47
		6	35.016337	135.746133	2026/2/26	10:57	12:49
		0.6	35.016337	135.746133	2026/2/26	11:59	12:49
京都御所付近（京都市上京区京都御苑）	KGE	20	35.028460	135.766392	2026/2/19	13:39	14:39
		6	35.028460	135.766392	2026/2/19	13:39	14:39
		0.6	35.028460	135.766392	2026/2/19	14:53	15:35
三条付近（京都市中京区麸屋町六角下る）	SSO	20	35.006769	135.765475	2026/2/19	10:10	10:50
		6	35.006769	135.765475	2026/2/19	10:10	11:42
		0.6	35.006769	135.765475	2026/2/19	11:02	11:42
方広寺・豊国神社（京都市東山区茶屋町）	TKJ	20	34.991537	135.771774	2026/2/18	19:29	19:59
		6	34.991537	135.771774	2026/2/18	19:29	19:59
		0.6	34.991537	135.771774	2026/2/18	20:09	20:39

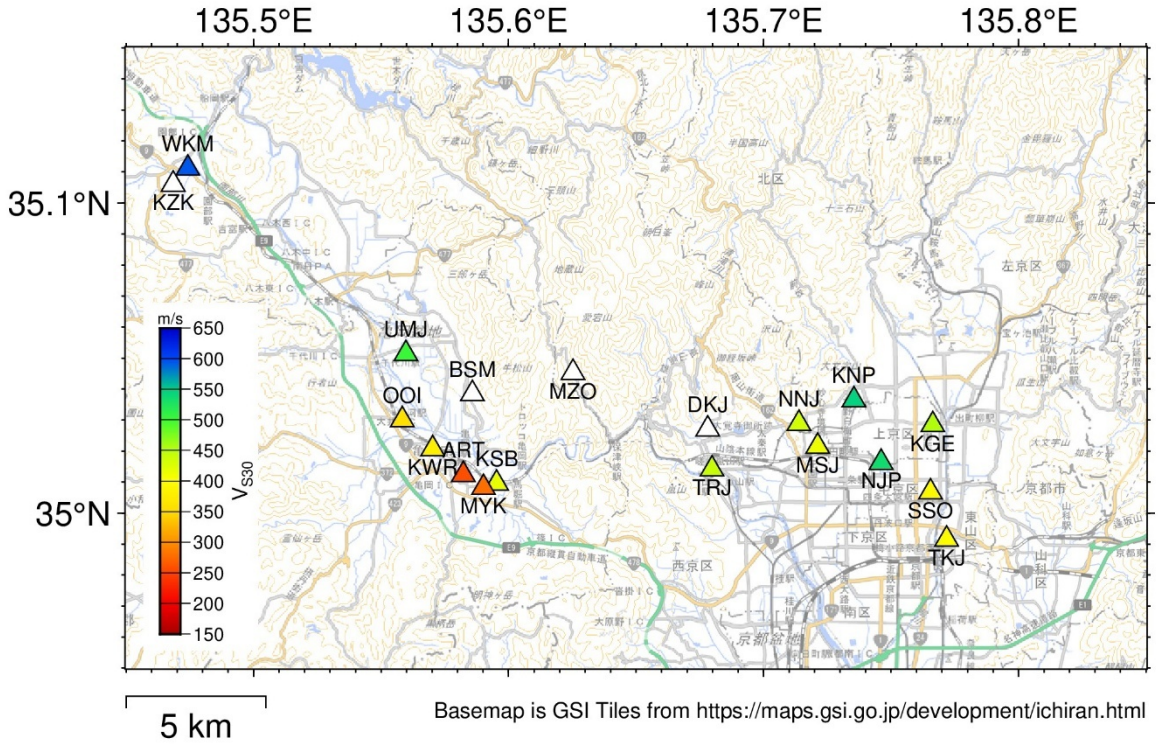


図 1 微動アレイ探査調査地点（△印、色は微動アレイ探査で推定した V_{S30} の値を示す。白抜きは基盤岩相当の地点。UMJ は大半径微動アレイ探査実施地点、それ以外は小半径微動アレイ探査実施地点）。基図は地理院タイルを使用。



写真 1 微動アレイ観測の実施風景（左上：KSB、右上：TRJ、左下：NJP、右下：SSO）

微動波形記録の上下動成分を用い、位相速度を推定した。解析手順は浅野・他（2021）と同様である。まず、空間自己相関（SPAC）法（Aki, 1957）にて各半径、各周波数の SPAC 係数を求めた。中心点と正三角形の頂点（半径 r ）に対する解析に加え、正三角形の辺を使った解析（半径 $\sqrt{3}r$ に相当）も行った。各アレイについて、通過交通などの非定常ノイズの影響がなく、同一アレイ内のパワースペクトルが類似している区間を 25 区間以上抽出し、5 区間ずつを 1 セットにしてパワースペクトルやクロススペクトルのアンサンブル平均を計算した。個々のスペクトルは Konno and Ohmachi (1998)の方法で平滑化した（平滑化の幅を規定する b の値は 30 に設定）。各半径に対して得られた位相速度と H/V スペクトル比（半径 0.6 m のアレイと半径 6 m のアレイの中心点と各頂点の計 8 点の平均）を図 2 に示した。最後に、各半径で得られた SPAC 係数を拡張 SPAC 法（凌・岡田, 1993）により統合して解析し、最終的な位相速度の分散曲線を得た。ただし、KZK、BSM、MZO、DKJ の 4 地点については、それぞれ丹波帯の基盤岩に近い位置にあり、現地で観測された微動の振幅レベルも極めて小さく、今回実施したアレイ半径では、位相速度が推定されなかったことから、S 波速度構造推定の対象からは除外した。これらの観測点では、H/V スペクトル比も明瞭なピークを有せず、基盤岩に近い観測点であるといえる。

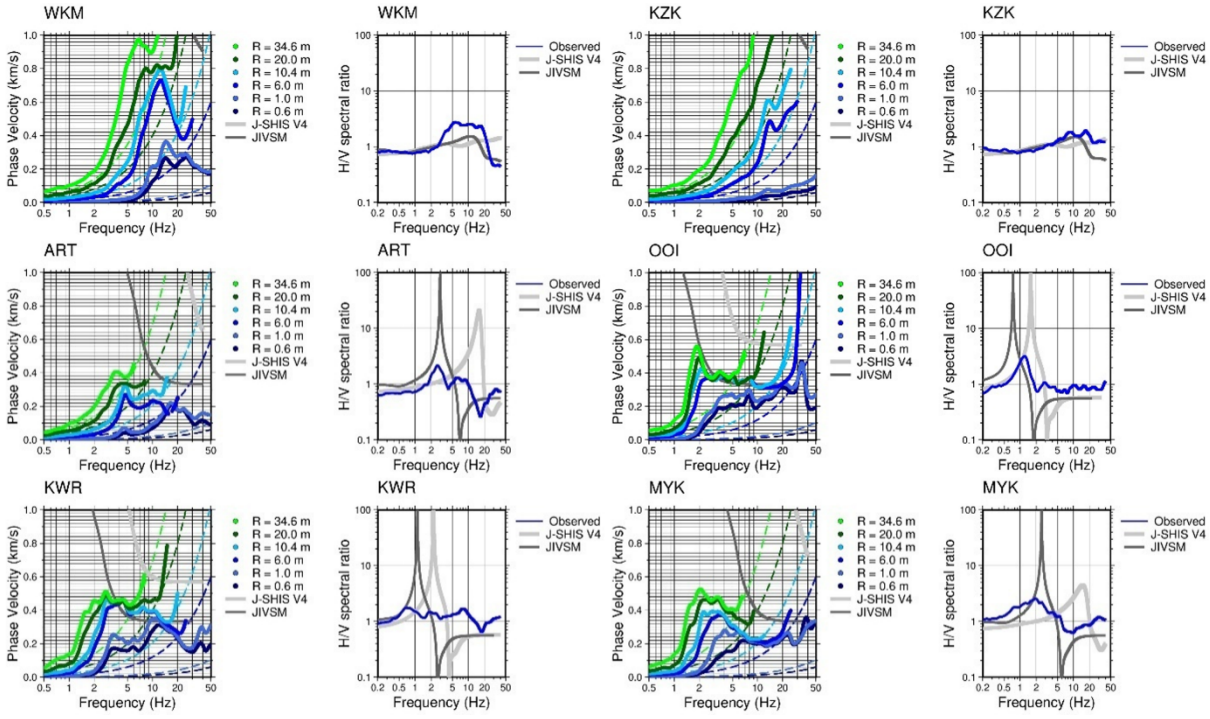


図 2 SPAC 法による位相速度推定結果及び H/V スペクトル比。プロットの色の違いがアレイ半径に対応する。破線はアレイ半径の 2 倍の波長に対応し、SPAC 法で位相速度を推定可能な波長の下限を表す。薄灰線は J-SHIS V4 モデル（先名・他, 2023）、濃灰線は全国 1 次地下構造モデル（Koketsu et al., 2012）からアレイ中心点直下の S 波速度構造を抽出して計算した Rayleigh 波基本モードの分散曲線（左）及び Rayleigh 波基本モードの楕円率（右）。

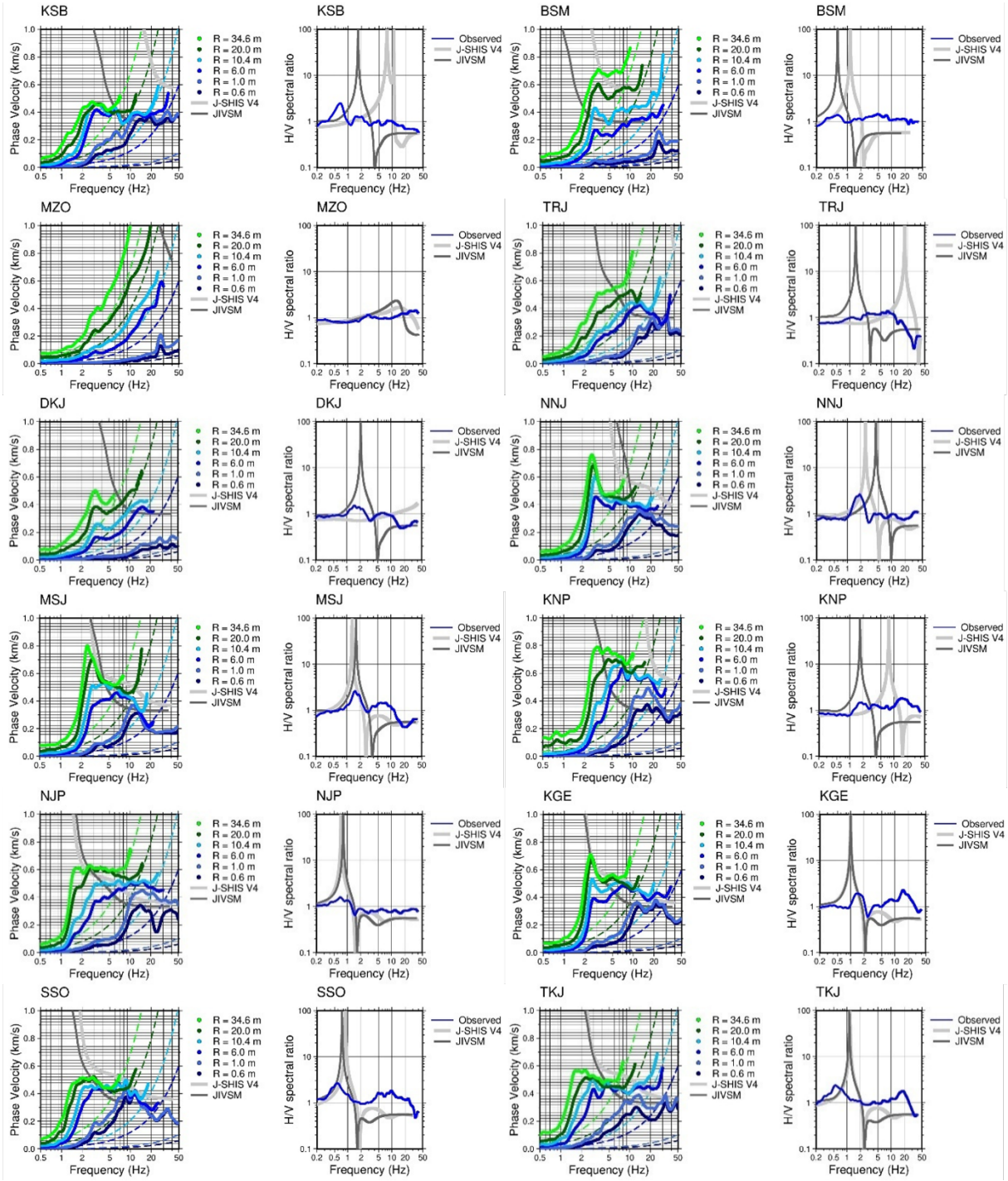


図 2 続き

得られた位相速度データのインバージョン解析により、各地点の S 波速度構造を推定した。インバージョン解析には、Hallo et al. (2021)による Trans-dimensional Bayesian Inversion 手法による Neopsy コード（ETH Zurich）を用いた。これは、マルコフ連鎖モンテカルロ法（Hastings, 1970）に Parallel Tempering アルゴリズム（Sambridge, 2014）を組み合わせた手法である。この手法では、速度構造を何層かの水平な均質等方媒質の組み合わせで表現するが、層境界の深さを定義する Voronoi セルの個数をインバージョン中で可変とすることで、層数は位相速度データに合わせて柔軟に設定される（Green, 1995）。

理論的背景も含め、解析手法の詳細は Hallo et al. (2021)に記述されている。各地点での推定結果を図 3〜16 に示す。これらの図では、V_{S30} の推定値については、最尤推定値（Maximum Likelihood、ML)、最大事後確率推定値（Maximum a Posteriori、MAP)、確率密度関数の最大値（MAX)、確率密度関数の平均値（AM）について示したほか、平均値に対し、その推定の幅（1σ、2σ）も示した。以下では、MAP 推定によるモデルを中心に結果を述べる。V_{S30} の推定値は図 1 の地図中にも示した。

園部盆地では園部川沿いに沖積層が広がり、その下位では、新生代の園部累層が丹波帯の基盤岩を不整合に覆っている（井本・他, 1991)。微動アレイによる WKM 地点（南丹市園部町市街地、旧園部藩城下町エリア）での地盤構造推定結果（図 3）では、沖積層は薄く、工学的基盤が浅い（深さ約 3 m）と考えられる。このため、推定された V_{S30} の値も 594 m/s と大きい。

亀山盆地では、江戸時代当時の城下町は主に桂川（大堰川）右岸の低位段丘上に発達していた。微動アレイ探査地点のうち、ART（亀山城)、OOI（旧大井村)、MYK（旧三宅村）が低位段丘に位置する（井本・他, 1989)。一方、KWR（旧河原町）と KSB（旧柏原村）は沖積層の地点である（井本・他, 1989)。KWR では 10 Hz 以上で位相速度が急激に低下するため、最表層の S 波速度が特に小さい（約 150 m/s）ものの、推定された沖積層の層厚は約 4 m と薄いため、V_{S30} は 380 m/s と工学的基盤相当の値であり、必ずしも小さくない。KSB は全体として S 波速度が 300 m/s を上回っており、沖積層はほとんど存在しないと考えられる。これは、微動アレイによる位相速度が 20 Hz でも約 390 m/s と大きいことと整合する結果である。一方で、地表面が低位段丘の砂礫層からなる ART や MYK では、S 波速度が 200 m/s 前後の層厚が比較的厚く（11〜20 m）推定されたために、V_{S30} は亀岡盆地の他地点に比べて小さめの値となった。

京都盆地北部の 8 地点（TRJ、NNJ、MSJ、KNP、NJP、KGE、SSO、TKJ）では、V_{S30} の推定結果が約 400〜550 m/s の範囲に分布しており、亀岡盆地に比べて、相対的に V_{S30} が大きく、地盤増幅率が小さめであると判断できる。全体的に、微地形区分情報から作成された J-SHIS 浅部地盤構造モデル V4（若松・松岡, 2020）に比べ、本調査研究の微動アレイ探査から推定された V_{S30} は大きい結果となった。これは、奈良盆地東縁断層帯における重点的な調査観測（文部科学省研究開発局・国立大学法人京都大学防災研究所, 2022）にて、ボーリングデータベースと微動アレイ探査データをもとに、京都盆地の浅部地盤構造モデルを作成した際と同様の傾向である。

以上により推定された V_{S30} の値を、項目 3)で 1830 年文政京都地震の震源位置や地震規模を推定する際に、サイトの地盤増幅率を与えるための情報として使用した。

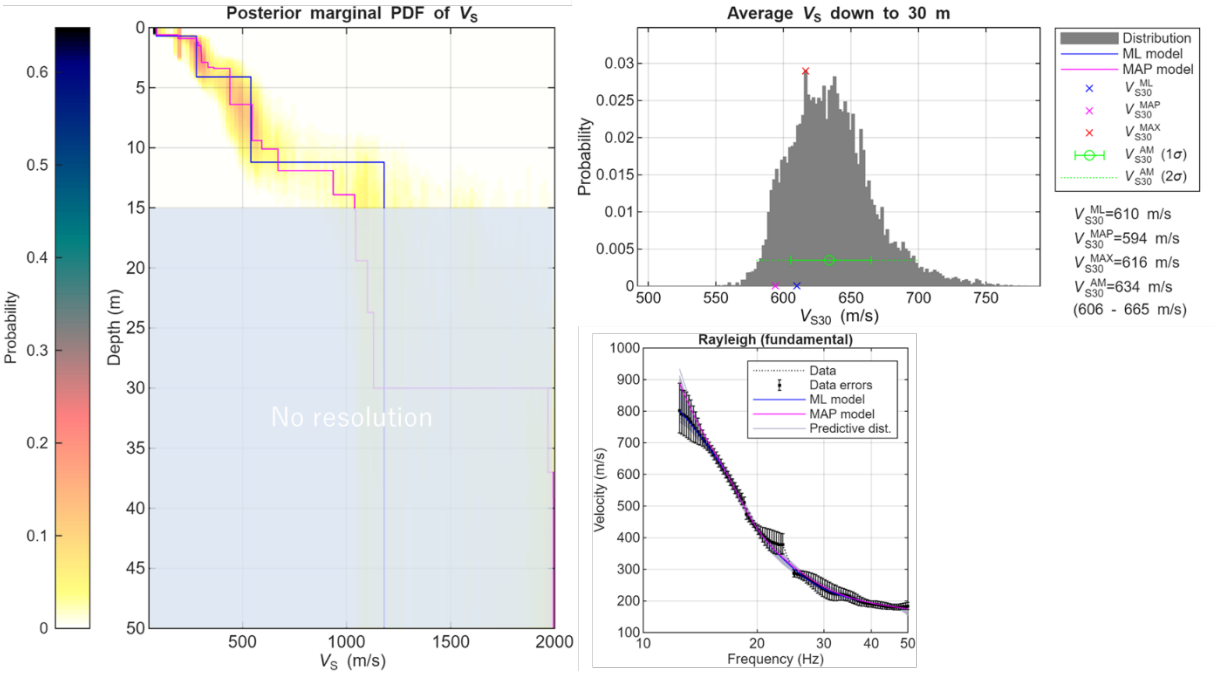


図 3 WKM 地点での S 波速度構造推定結果。

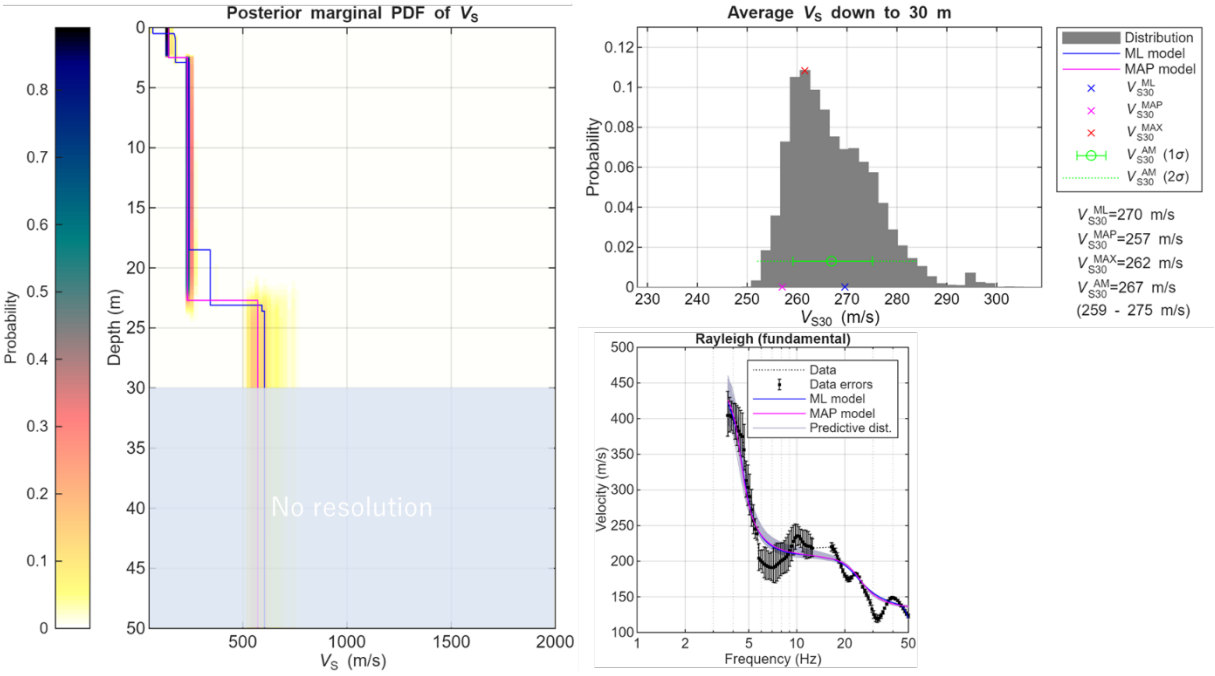


図 4 ART 地点での S 波速度構造推定結果

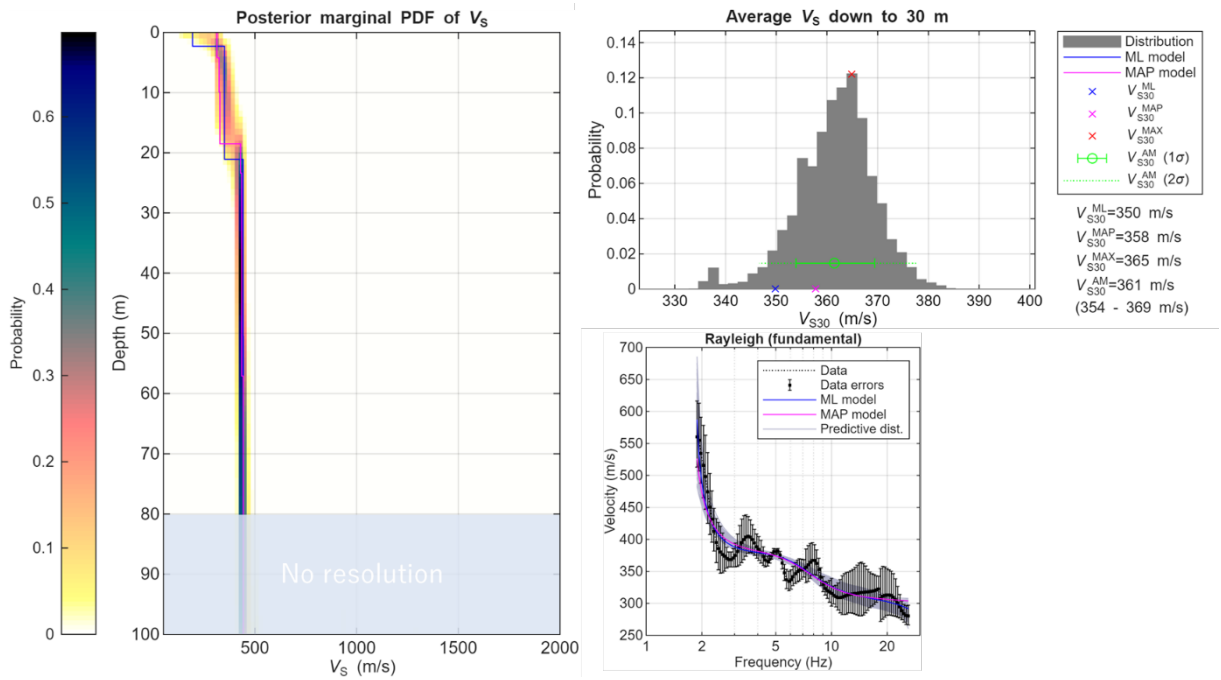


図 5 OOI 地点での S 波速度構造推定結果

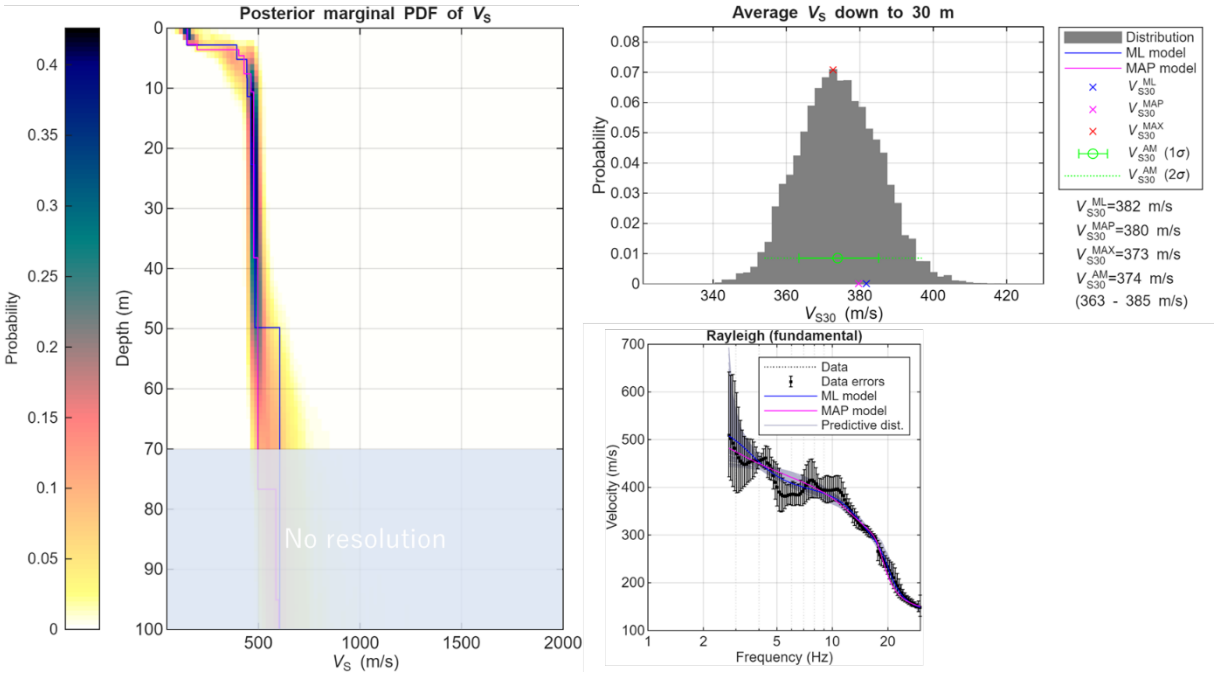


図 6 KWR 地点での S 波速度構造推定結果

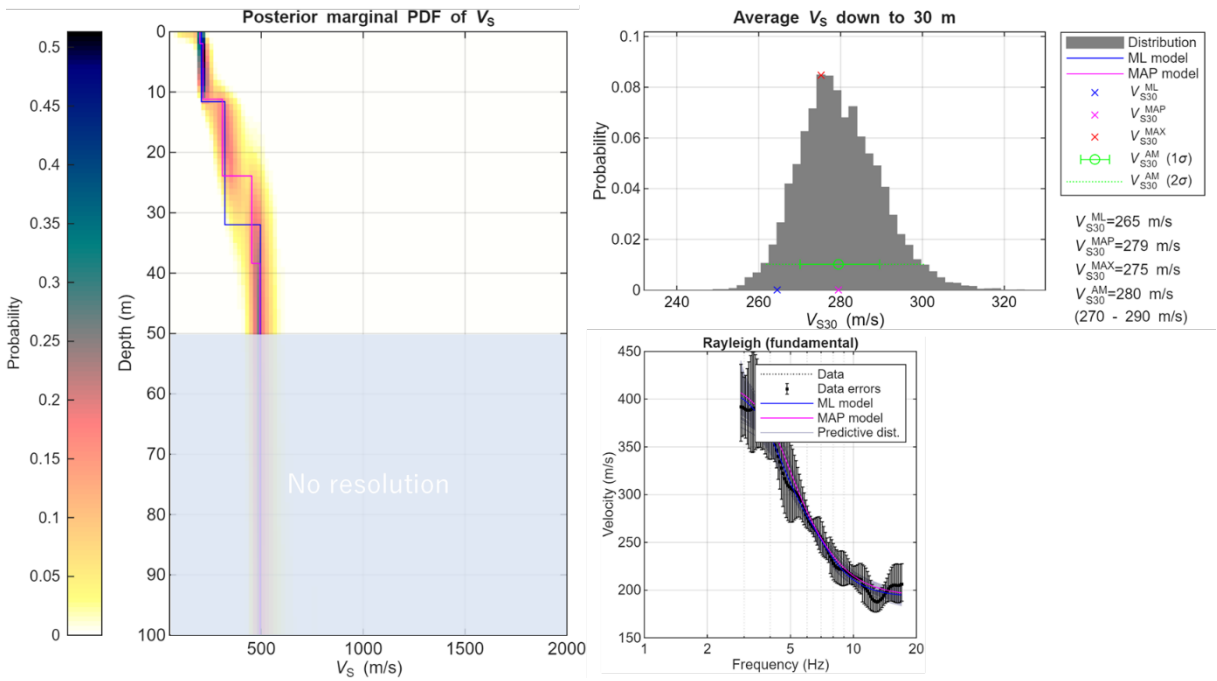


図 7 MYK 地点での S 波速度構造推定結果

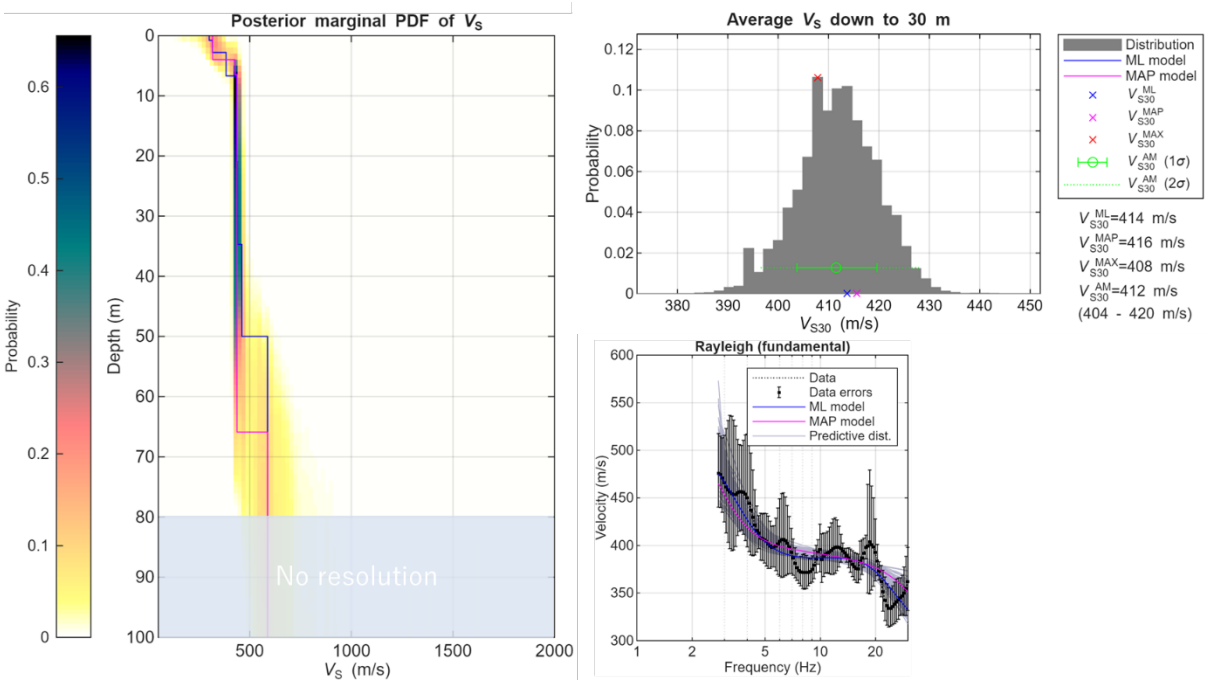


図 8 KSB 地点での S 波速度構造推定結果

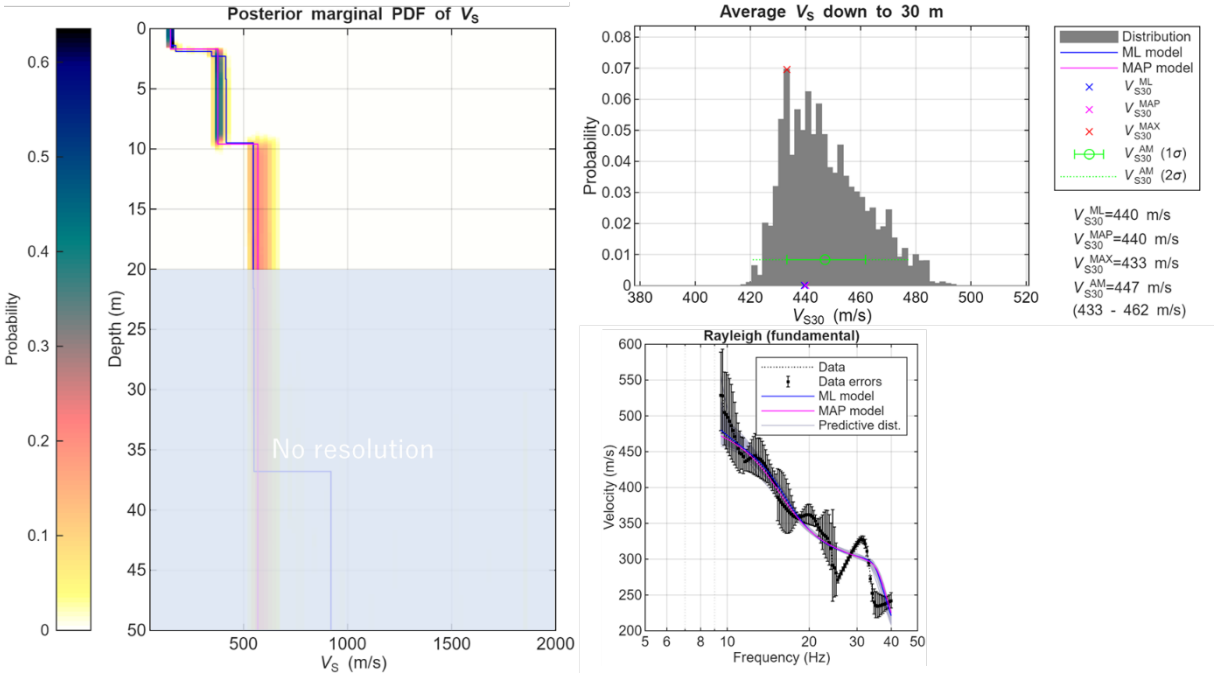


図 9 TRJ 地点での S 波速度構造推定結果

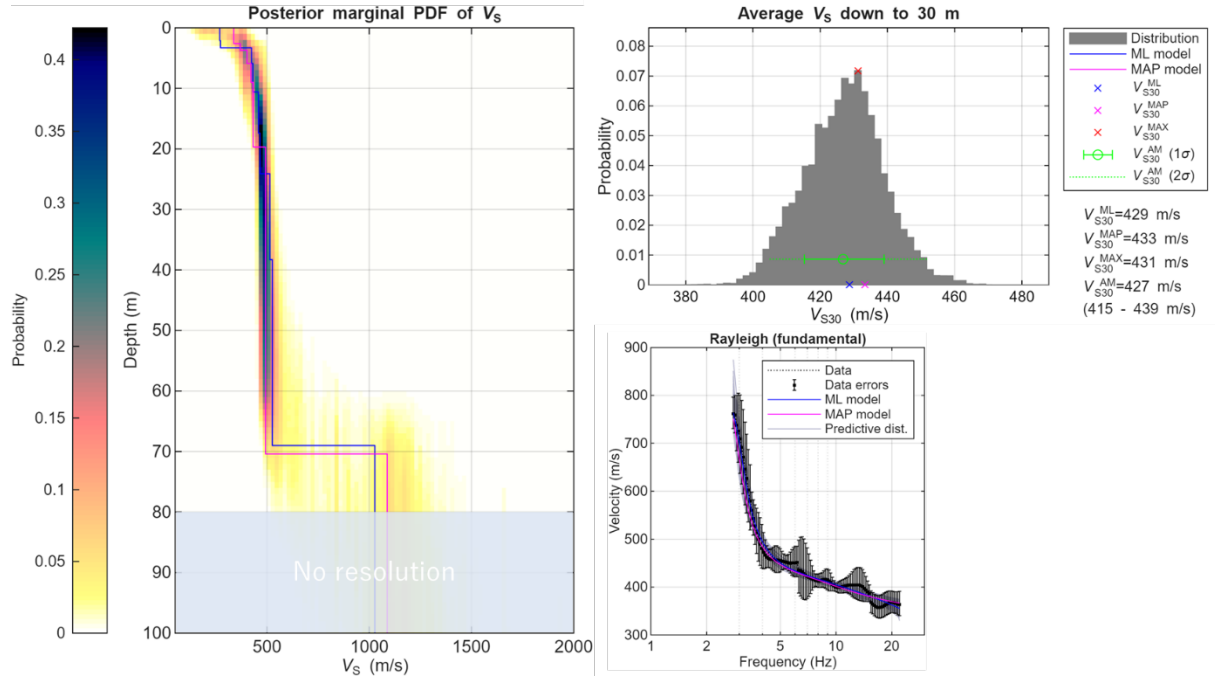


図 10 NNJ 地点での S 波速度構造推定結果

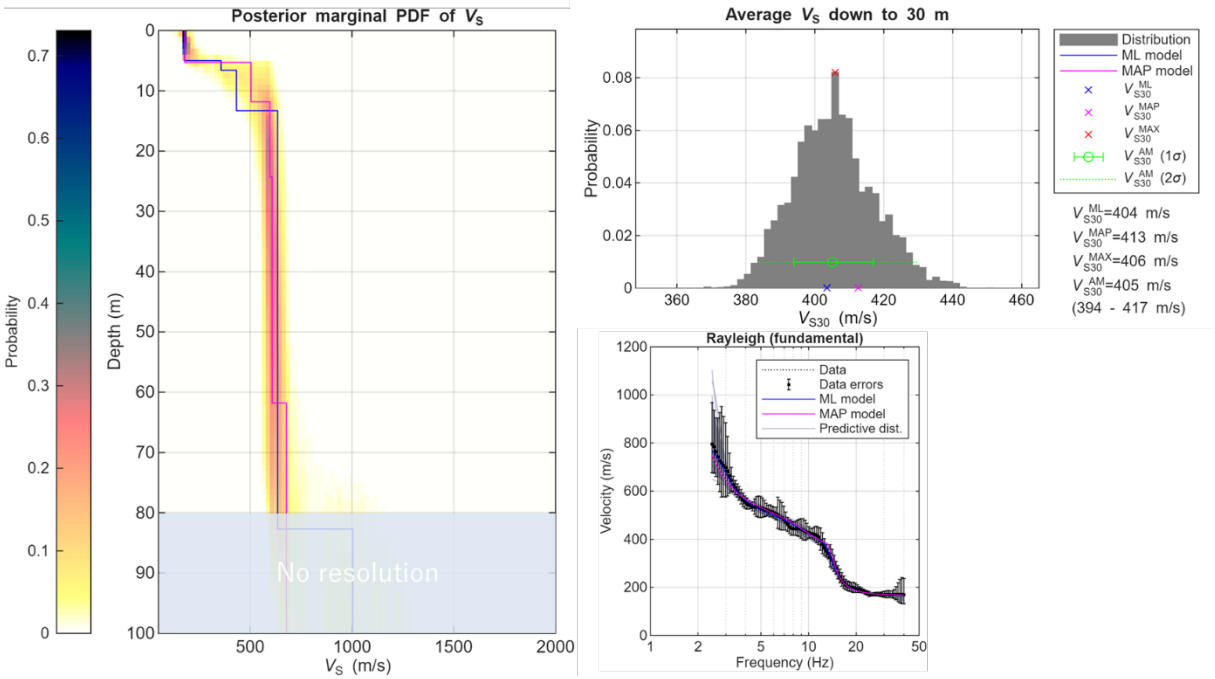


図 11 MSJ 地点での S 波速度構造推定結果

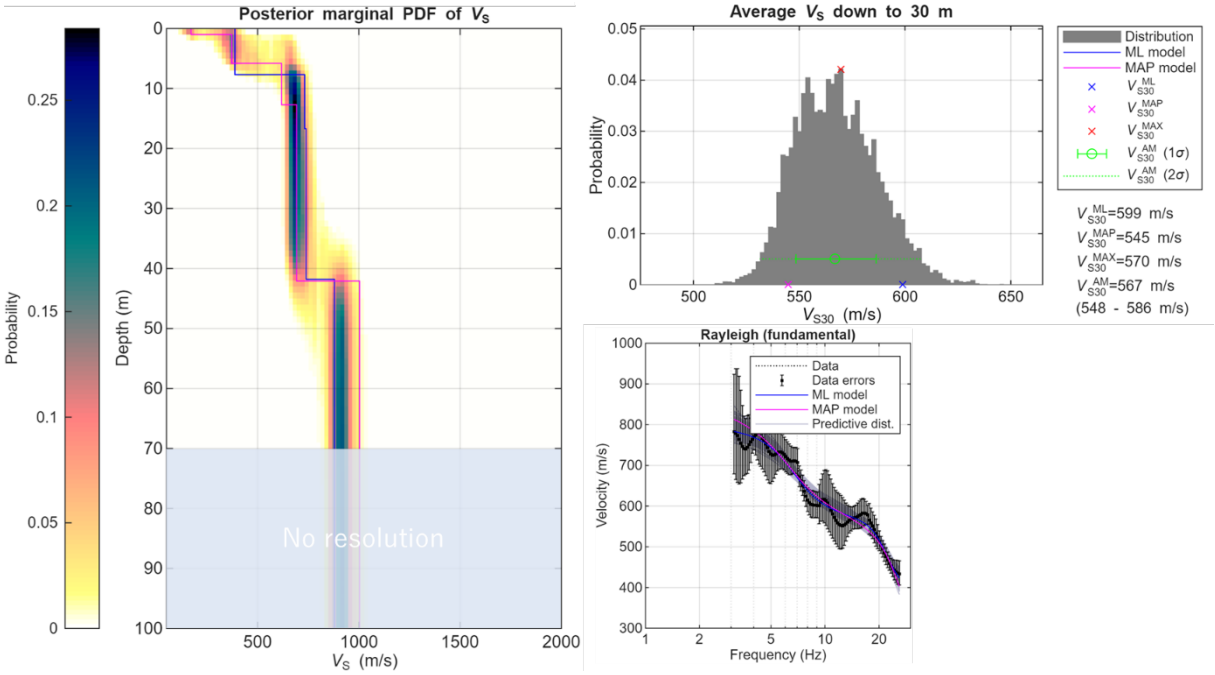


図 12 KNP 地点での S 波速度構造推定結果

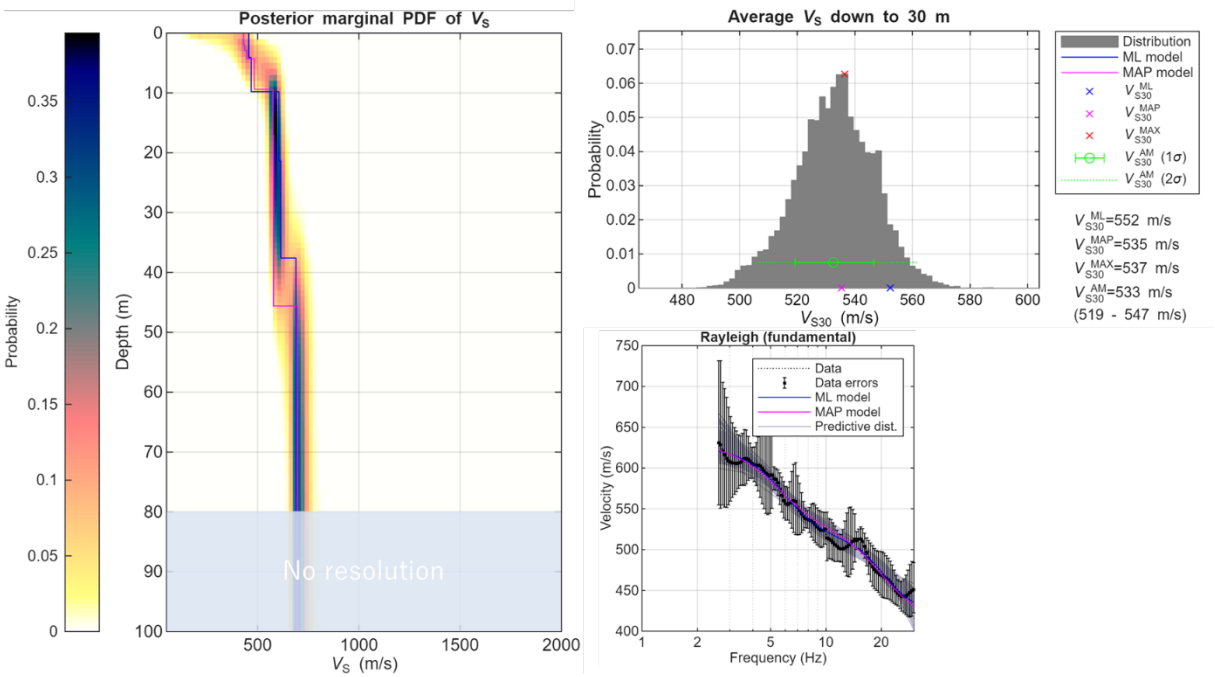


図 13 NJP 地点での S 波速度構造推定結果

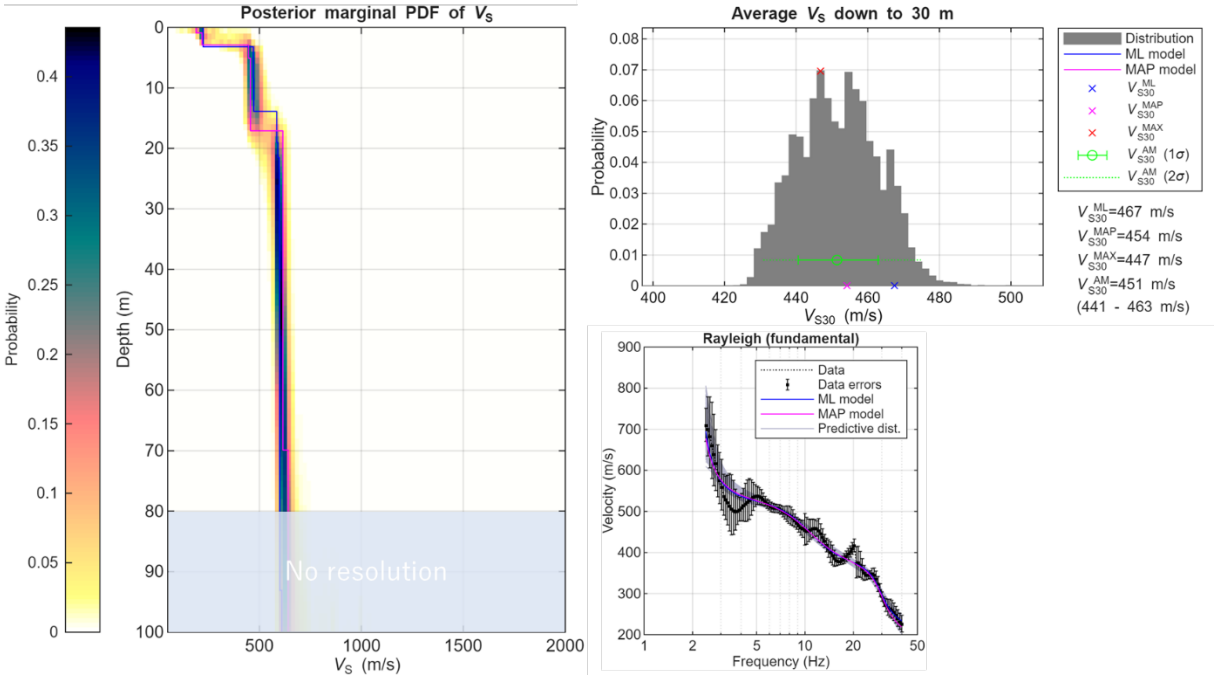


図 14 KGE 地点での S 波速度構造推定結果

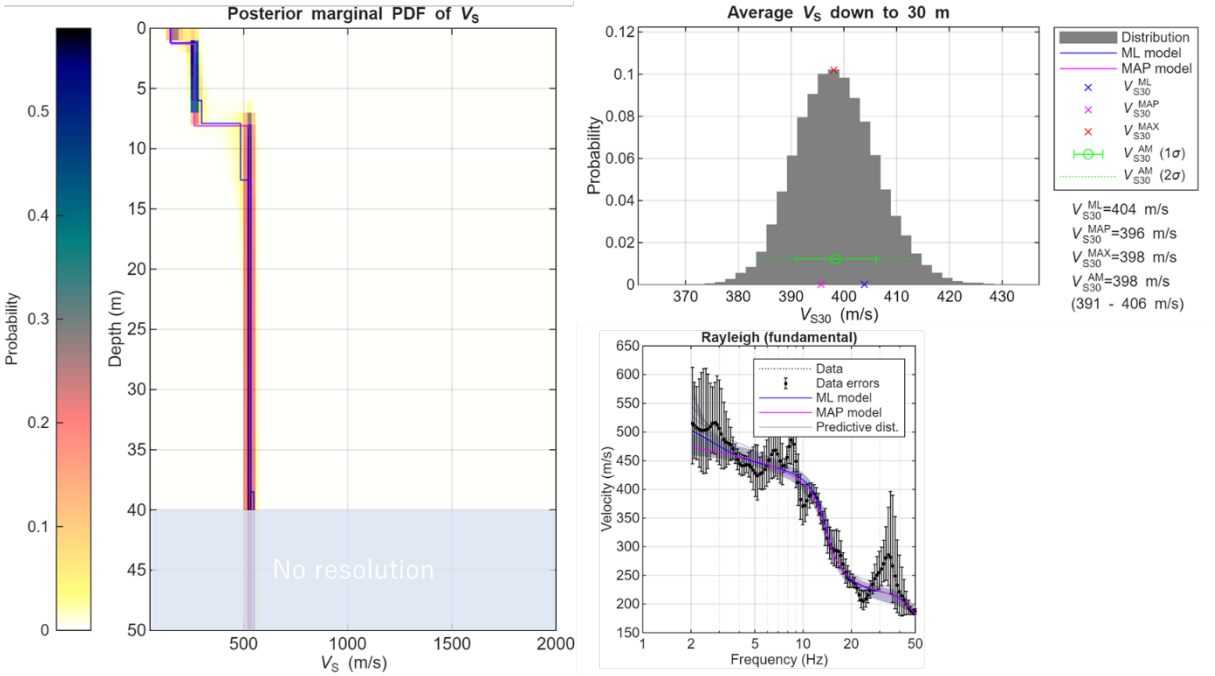


図 15 SSO 地点での S 波速度構造推定結果

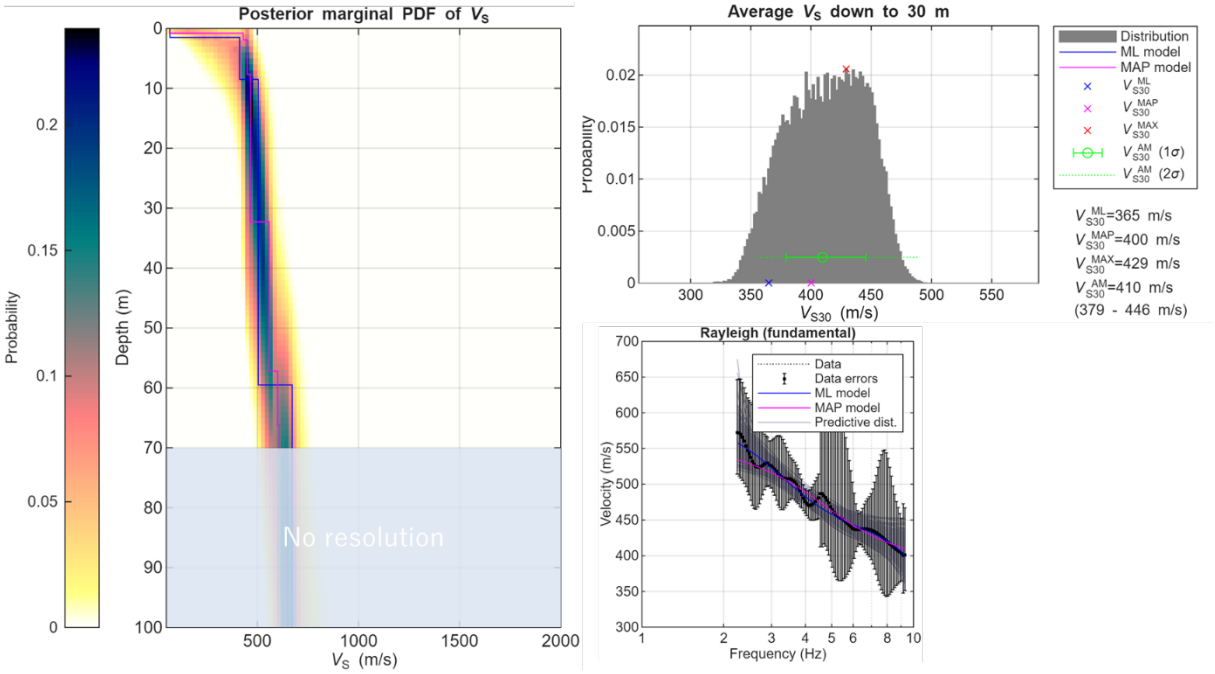


図 16 TKJ 地点での S 波速度構造推定結果

2）亀岡盆地の深部地盤構造調査

京都盆地においては、地震調査研究推進本部（以下「地震本部」という。）発足後に実施された、地震関係基礎調査交付金による地下構造調査（京都市, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003）として、京都盆地内で多くの反射法地震探査、ボーリング調査及び物理検層、微動アレイ探査、重力探査が行われた。その後も各機関により、京都盆地の基盤形状や深部地盤構造モデルに関する研究が進められてきた。令和元～3 年度に実施された「奈良盆地東縁断層帯における重点的な調査観測」（文部科学省研究開発局・国立大学法人京都大学防災研究所, 2022）では、奈良盆地や近江盆地南部に加え、京都盆地の三次元地盤構造モデルが作成された。

一方で、1830 年文政京都地震での地震被害が知られている亀岡盆地の深部地盤構造については、京都府が地震関係基礎調査交付金による三峠・京都西山断層帯の活断層調査（京都府, 2003, 2004）として実施した、亀岡断層帯の反射法地震探査 3 測線（平成 14 年度河原林測線、平成 15 年度馬路測線、平成 15 年度保津測線）のほかは、詳細な調査は実施されていなかった。このため、本調査研究では、亀岡盆地において、大半径の微動アレイ探査、既存反射法地震探査資料収集、深井戸ボーリング資料収集、重力データの解析を行い、亀岡盆地の深部地盤構造に関する情報整備を行った。得られた成果は、本調査研究で行う歴史地震の震源断層推定のための分析のみならず、地震本部が行う地下構造モデルの高度化にも利用されることが期待される。

a）大半径微動アレイ探査

大半径微動アレイ探査は、ブーゲー重力異常（後述）から基盤岩深度が最も深いと想定される河原林測線と馬路測線（前述）の中間付近の桂川（大堰川）左岸の地域（図 1 の UMJ 地点、亀岡市馬路町周辺）で実施した。関係行政機関や土地改良区、自治会との許認可手続きや事前相談、周辺道路の交通量など観測環境を考慮し、図 17 のようなアレイ配置とした。それぞれの微動アレイ観測は、中心点及び正三角形（外接円の半径がアレイ半径に対応）の各頂点の計 4 点に地震計を配する円形アレイによる観測とした。現地での微動アレイ観測は令和 8 年 2 月 5 日の日中に実施した。当日の天候は晴れのち曇りであった。半径 60 m 以上の微動アレイ観測では、Lennartz 製 LE-3D/5s（固有周期 5 秒の速度型地震計）を用い、白山工業製 DATAMARK LS-8800（A/D 変換器の形式分解能 24 bit）を用いて三成分の微動を連続収録した。LS-8800 の収録設定は、チャンネルゲインを 16 倍、サンプリング周波数を 100 Hz、デシメーションフィルタの位相特性を線形位相、カットオフ周波数を 40 Hz とした。半径 20 m 以下の微動アレイ観測では、白山工業製のポータブル微動観測装置 JU410 を用いた。JU410 の収録設定は、チャンネルゲインを 100 倍、サンプリング周波数を 200 Hz、デシメーションフィルタの位相特性を線形位相、カットオフ周波数を 80 Hz とした。それぞれの収録装置の時刻は GPS 信号によって較正、同期した。観測中はプラスチックバケツまたはコンテナを地震計に被せて風除けとし、コーン等で安全対策をした。測定時間は、各アレイとも最低 1 時間以上確保するものとした上で、観測時の周辺交通状況などを現場で判断し、必要に応じて観測時間の延長を行った。地震計の水平成分の方位は方位磁針を用いて合わせた。地震計の設置位置は GNSS 測位により測量した。地震計の設置状況などの現場写真をデジタルカメラで撮影することで記録した。微動アレイ観測の実施状況の例を写真 2 に示す。

表 2 UMJ 地点での微動アレイ観測の諸元

アレイ名称	半径（m）	中心点座標		使用機材	観測日	開始時刻	終了時刻	観測時間
		緯度（° N）	経度（° E）					
UMJ-X	790	35.051407	135.562910	LE-3D/5s + LS-8800	2026/2/5	13:58	16:45	167 分
UMJ-L	400	35.049620	135.562019		2026/2/5	13:58	15:04	66 分
UMJ-M	200	35.050520	135.559726		2026/2/5	10:35	11:40	65 分
UMJ-S	100	35.050970	135.559722		2026/2/5	10:35	11:40	65 分
UMJ-A	60	35.051163	135.559715		2026/2/5	16:41	17:43	62 分
UMJ-B	30	35.051345	135.559717	JU410	2026/2/5	16:41	17:43	62 分
UMJ-C	6	35.051408	135.559717		2026/2/5	16:41	17:43	62 分

前述の小半径微動アレイ観測と同様、微動波形記録の上下動成分を用い、位相速度を推定した。空間自己相関（SPAC）法（Aki, 1957）にて各半径、各周波数の SPAC 係数を求めた。中心点と正三角形の頂点（半径 r ）に対する解析に加え、正三角形の辺を使った解析（半径 $\sqrt{3}r$ に相当）も行った。各アレイについて、通過交通などの非定常ノイズの影響がなく、同一アレイ内のパワースペクトルが類似している区間を 25 区間以上抽出し、5 区間ずつを 1 セットにしてパワースペクトルやクロススペクトルのアンサンブル平均を計算した。個々のスペクトルは Konno and Ohmachi (1998)の方法で平滑化した（平滑化の幅を規定する b の値は 30 に設定）。各半径に対して得られた SPAC 係数と位相速度を図 18 に示した。得られた位相速度の分散曲線の様子から、広い周波数範囲で位相速度を良好に推定できたことが分かる。最後に、各半径で得られた SPAC 係数を拡張 SPAC 法（凌・岡田, 1993）により統合して解析し、最終的な位相速度の分散曲線を得た。

UMJ 地点における微動アレイ観測による位相速度と、既存の深部地盤構造モデル（J-SHIS V4 及び JIVSM）による理論位相速度との比較を図 18 に併せて示した。約 0.8〜5 Hz で、観測位相速度は J-SHIS V4 モデル（先名・他, 2023）による理論位相速度を下回っている。一方で、JIVSM（Koketsu et al., 2012）との比較では、観測位相速度は JIVSM による理論位相速度を上回っている。

小半径の微動アレイ探査と同様、Hallo et al. (2021)の手法により位相速度を逆解析し、推定された S 波速度構造を図 19 及び 20 に示す。位相速度へのフィッティングは良好である。基盤深度については、約 450 m と、周辺の反射法地震探査結果に比べ深めに推定されている。基盤岩上面付近の風化による速度低下の可能性も考えられるが、今回の微動データでの深部の構造推定には不確実性が大きいとも考えられるため、H/V スペクトル比とのジョイントインバージョンなどを検討する必要がある。亀岡盆地の最深部付近での探査であったものの、表層付近の S 波速度は比較的大きく、V_{S30} の推定値は 503 m/s であった。深さ約 12 m から、S 波速度は 700 m/s を超える推定結果となった。

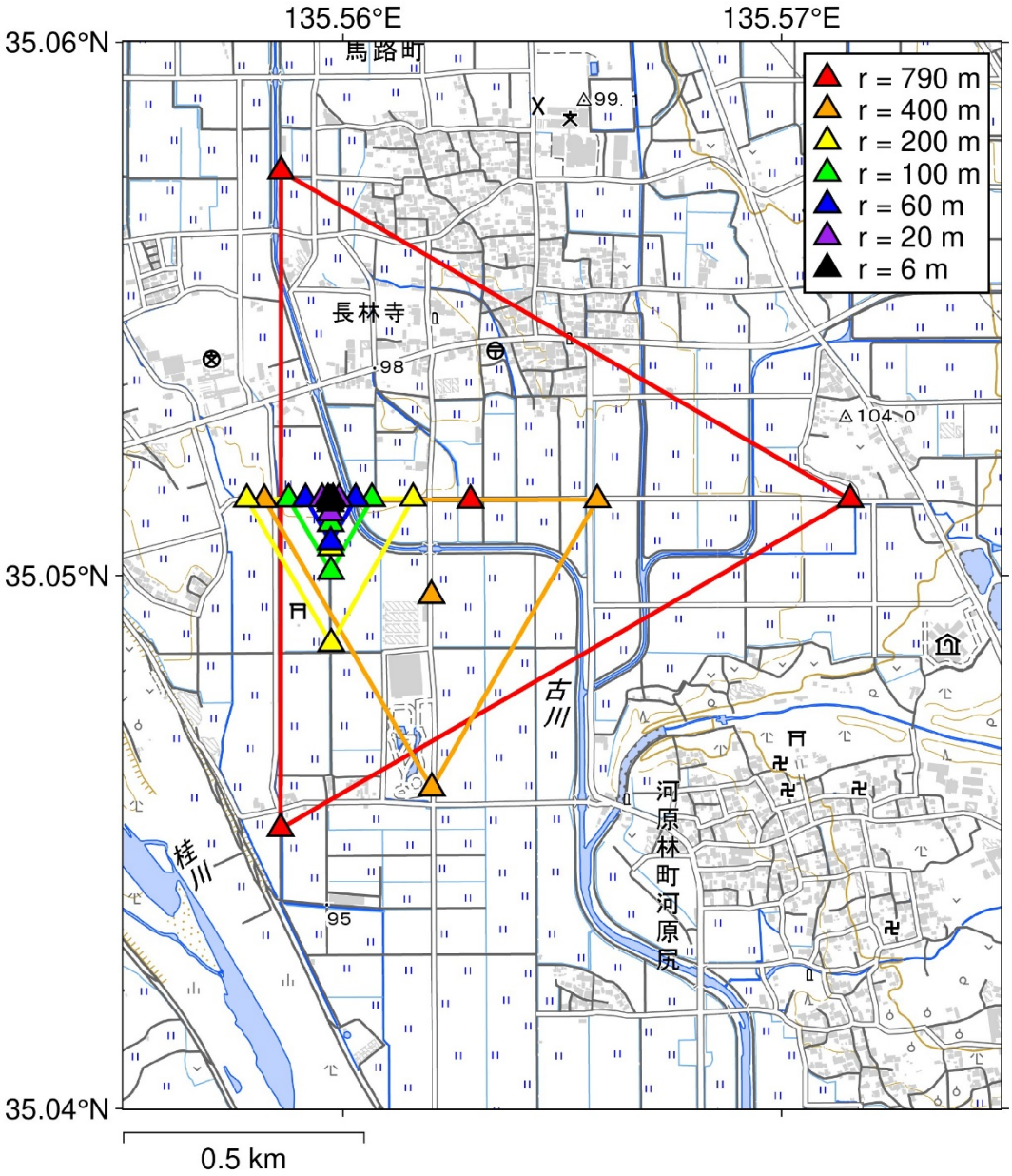


図 17 UMJ アレイのアレイ配置。基図は地理院タイルを使用。



写真 2 UMJ アレイの観測実施風景

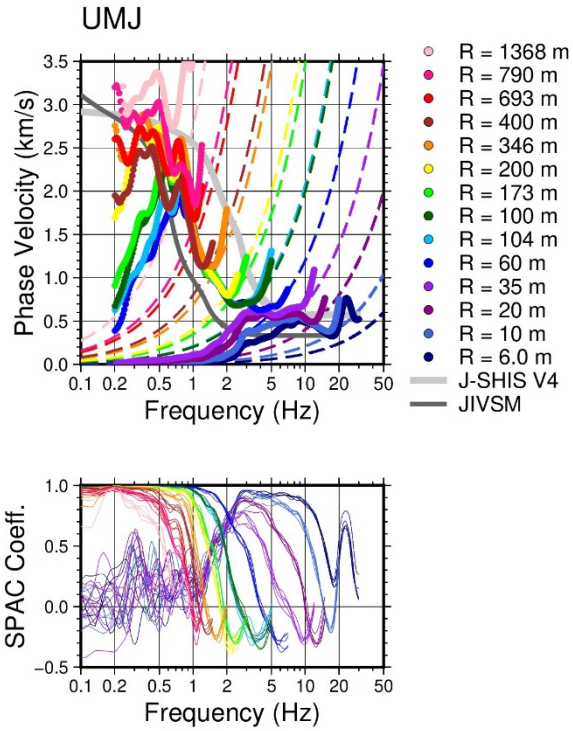


図 18 UMJ 地点での微動アレイ観測で得られた位相速度（上図）と SPAC 係数（下図）。プロットの色の違いがアレイ半径に対応する。破線はアレイ半径の 2 倍の波長に対応し、SPAC 法で位相速度を推定可能な波長の下限を表す。薄灰線は J-SHIS V4 モデル（先名・他, 2023）、濃灰線は全国 1 次地下構造モデル（Koketsu et al., 2012）からアレイ中心点直下の S 波速度構造を抽出して計算した Rayleigh 波基本モードの分散曲線。

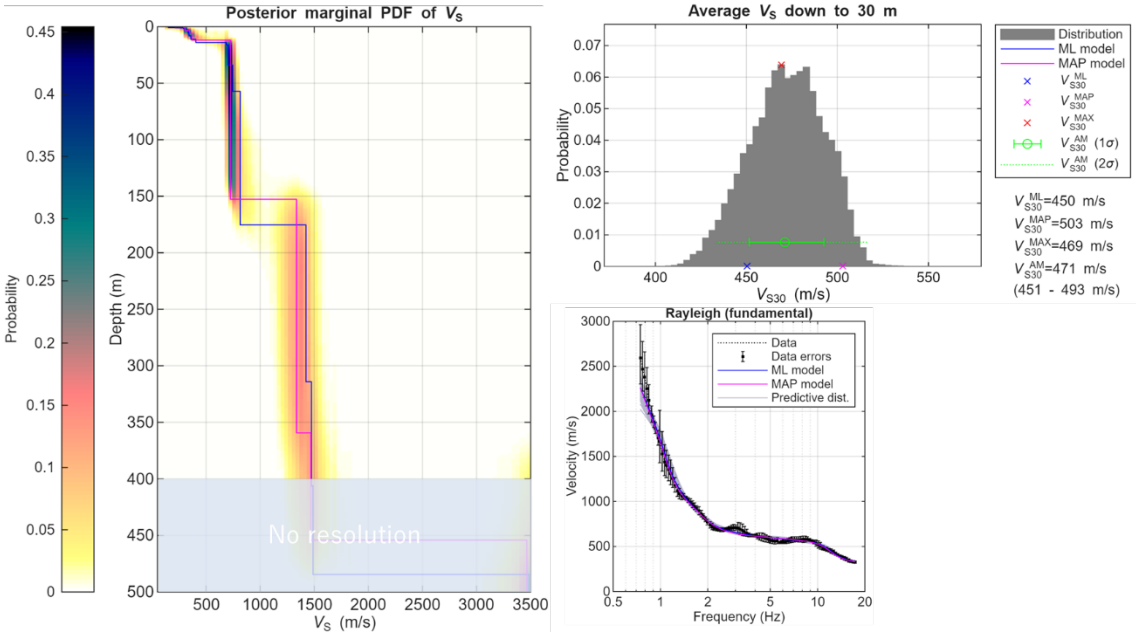


図 19 UMJ 地点での S 波速度構造推定結果

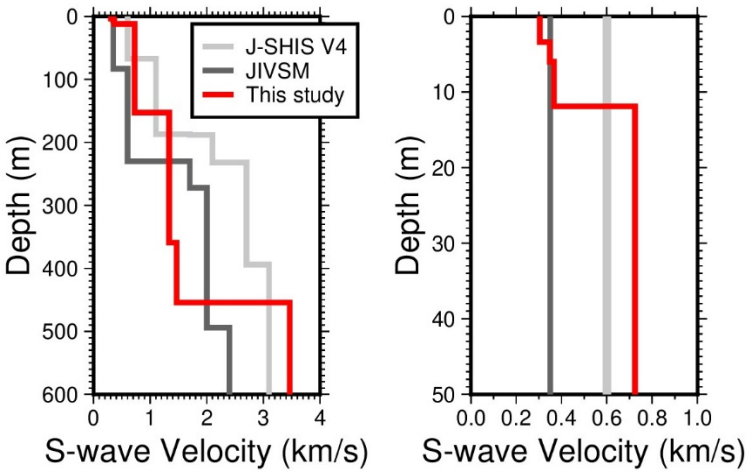


図 20 UMJ 地点での S 波速度構造推定結果と既存モデルの比較。右図は左図の深さ 50 m 以浅を拡大したもの。

b）単点微動観測

微動アレイ探査の予察調査も兼ねて、亀岡盆地内の 17 地点（図 21、表 3）で単点微動観測を実施し、微動の H/V スペクトル比を得た。現地での微動観測は、令和 7 年 9 月 9～10 日の日中に実施した。天候は晴れであった。地震計は東京測振製サーボ型速度計 VSE-15D6（感度 10 V/(cm/s)）を三成分、収録装置は白山工業製 DATAMARK LS-8800（A/D 変換器の形式分解能 24 bit）を使用した。LS-8800 の収録設定は、チャンネルゲインを 4 倍、サンプリング周波数を 100 Hz、デシメーションフィルタの位相特性を線形位相、カットオフ周波数を 40 Hz とした。

H/V スペクトル比の解析は、交通ノイズなどの含まれていない 40.96 秒間の区間を可能な限り抽出した（最少でも 5 区間以上、最も多い地点で 51 区間）。抽出した各区間の各成分の微動波形記録に対して、フーリエ変換によりフーリエスペクトルを求め、Konno and Ohmachi (1998)の方法によりスペクトルの平滑化を行った（平滑化の幅を規定する係数 b の値は 40 に設定）。各区間について得られた H/V スペクトル比をアンサンブル平均したものを観測 H/V スペクトル比とした。

図 22 に全地点の観測 H/V スペクトル比を示し、図 21 の地図中に H/V スペクトル比のピーク周波数の空間分布を示した。桂川（大堰川）左岸の亀岡市河原林町周辺（KM2507、KM2514～KM2517）でのピーク周波数は 0.5～0.6 Hz であった。それより北の馬路町周辺（KM2510～KM2513）では、ピーク周波数が 0.6～0.8 Hz とやや高く、同様の堆積層であるとすると、KM2514～KM2517 に比べて、基盤深度がやや浅いと考えられる。一方、旧城下町の広がる右岸の低位段丘上の地点（KM2501～KM2504）では、H/V スペクトル比のピーク周波数は、0.7～1.3 Hz と盆地中心部の沖積層分布域に比べて高い。盆地の南端部に近く、左岸に比べて基盤深度が相対的に浅いと考えられる。

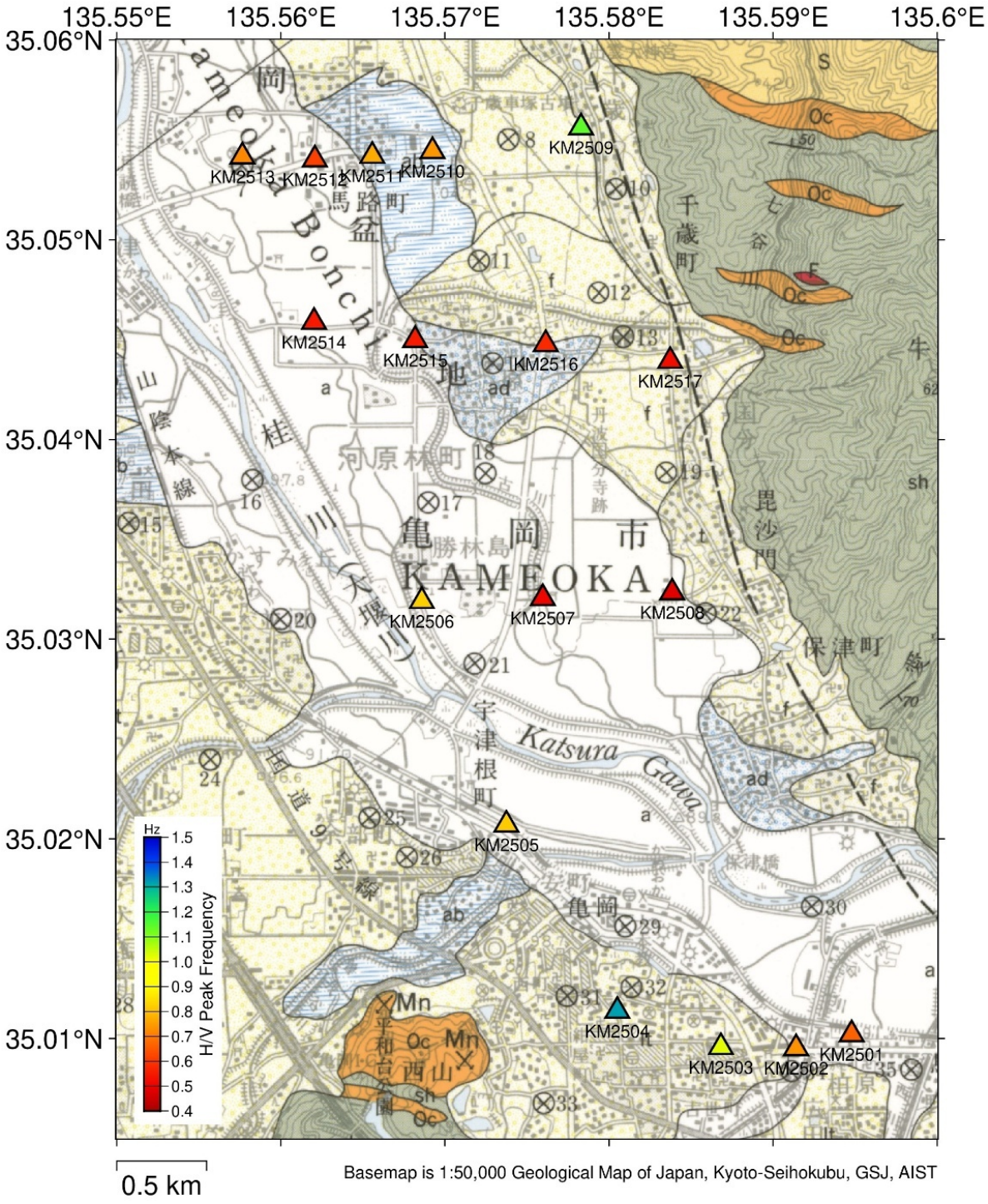


図 21 亀岡盆地における単点微動観測点（△印、色は H/V スペクトルの卓越周波数に対応する）。基図は 5 万分の 1 地質図幅「京都西北部」（井本・他, 1989）。地質図の凡例：a 沖積層、ab 後背湿地堆積物、ad 新規扇状地堆積物（以上、完新世）、f 扇状地堆積物、t 崖錐堆積物、lt 低位段丘堆積物（以上、更新世）、F 岩脈（珪長岩）（以上、白亜紀）、S 砂岩及び泥岩互層、sh 頁岩及び泥質混在岩、Oc チャート（以上、三畳紀－ジュラ紀後期）。

表 3 亀岡盆地における単点微動観測の諸元

観測点	緯度（° N）	経度（° E）	観測日	開始時刻	終了時刻	所在地	ピーク周波数（Hz）
KM2501	35.01021	135.59479	2025/9/9	9:26	11:11	亀岡市篠町柏原	0.67
KM2502	35.00951	135.59140	2025/9/9	9:42	11:30	亀岡市三宅町	0.74
KM2503	35.00956	135.58682	2025/9/9	9:56	11:34	亀岡市突抜町	1.02
KM2504	35.01138	135.58051	2025/9/9	10:08	11:38	亀岡市内丸町	1.32
KM2505	35.02071	135.57375	2025/9/9	12:45	13:53	亀岡市河原町	0.82
KM2506	35.03190	135.56860	2025/9/9	12:58	14:22	亀岡市河原林町勝林島	0.82
KM2507	35.03205	135.57597	2025/9/9	13:11	14:26	亀岡市河原林町勝林島	0.51
KM2508	35.03233	135.58385	2025/9/9	13:22	14:31	亀岡市千歳町毘沙門	0.49
KM2509	35.05561	135.57830	2025/9/9	14:46	16:35	亀岡市千歳町千歳	1.14
KM2510	35.05443	135.56925	2025/9/9	14:55	15:57	亀岡市馬路町	0.74
KM2511	35.05419	135.56558	2025/9/9	15:04	16:12	亀岡市馬路町	0.77
KM2512	35.05401	135.56208	2025/9/9	15:14	17:07	亀岡市馬路町	0.62
KM2513	35.05416	135.55766	2025/9/9	16:07	17:10	亀岡市馬路町	0.72
KM2514	35.04588	135.56203	2025/9/9	16:27	17:23	亀岡市河原林町河原尻	0.55
KM2515	35.04497	135.56819	2025/9/10	13:30	14:40	亀岡市河原林町河原尻	0.55
KM2516	35.04477	135.57615	2025/9/10	13:18	14:35	亀岡市河原林町河原尻	0.58
KM2517	35.04392	135.58373	2025/9/10	13:07	14:30	亀岡市千歳町国分	0.53

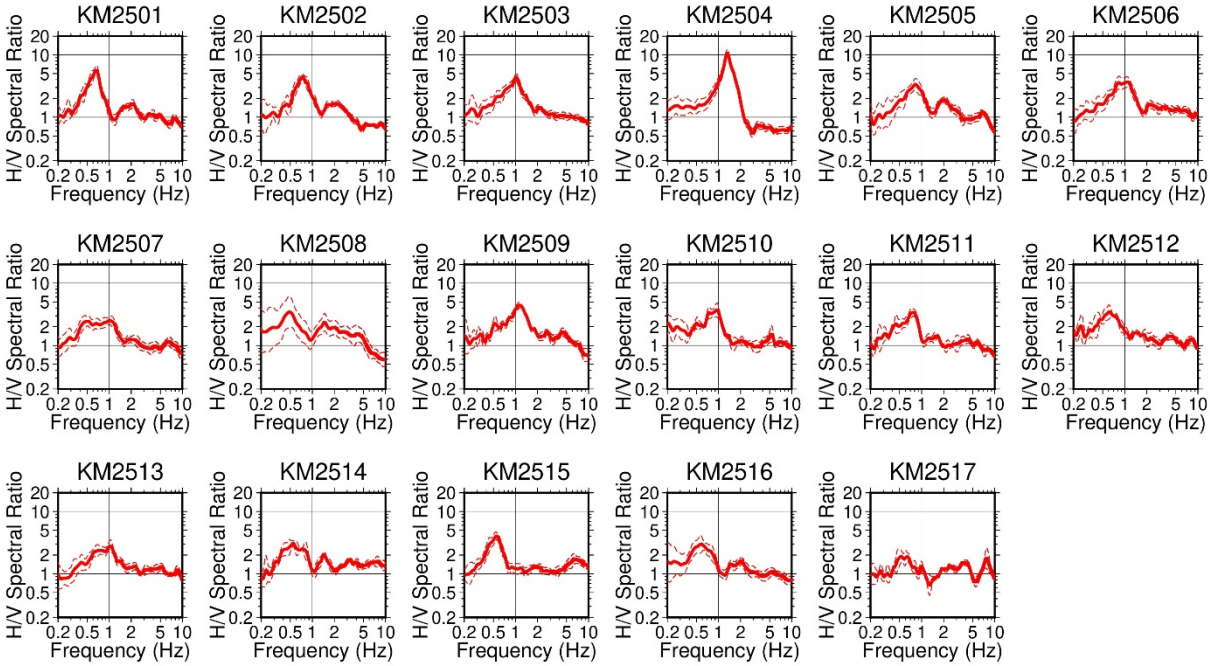


図 22 亀岡盆地における微動 H/V スペクトル比。破線は標準偏差を表す。

c）重力データ解析による基盤深度推定

亀岡盆地周辺を対象に、既存の出版公開されている重力探査データベースから重力探査測定データを収集・整理した。収集したデータをもとに、ブーゲー重力異常を解析し、重力基盤面をモデル化することで、基盤岩深度分布のデジタルデータとして作成した。

はじめに､既存の深井戸ボーリング情報と反射法地震探査結果に関する文献調査を行い、基盤深度情報が得られている地点とその深度情報を整理した。ボーリングデータは、国土交通省の国土地盤情報検索サイト KuniJiban のボーリングデータベースから、検討対象範囲のボーリングデータのうち、基盤岩に関する情報の記載がある柱状図を取得した。取得した柱状図は 40 地点である。また、国土交通省（旧国土庁）による全国深井戸資料台帳から、亀岡盆地周辺のボーリングに関して基盤岩と判断できる柱状図を選び、基盤岩深度を読み取り、5 地点分の情報が得られた。このほか、近畿農政局計画部（1973）が宇津根橋北詰付近で実施した試錐調査（掘削長 180 m）について、当該文献から情報を読み取った。清水・黒川（1974）によれば、深さ 15 m までの玉石混じり砂礫層は沖積層、深さ 71 m までは砂礫層（段丘堆積層及び篠層上部)、深さ 71～168 m は大阪層群上部の粘土、砂、砂礫、泥炭層、深さ 168 m 以深は基盤岩（チャート、ホルンフェルス）と判読されている。基盤岩に到達しているボーリングデータの多くは、国道 478 号京都丹波道路（旧一般国道 9 号亀岡道路）建設に伴うものであり、亀岡盆地東部では基盤岩まで到達しているボーリングデータは少ない。

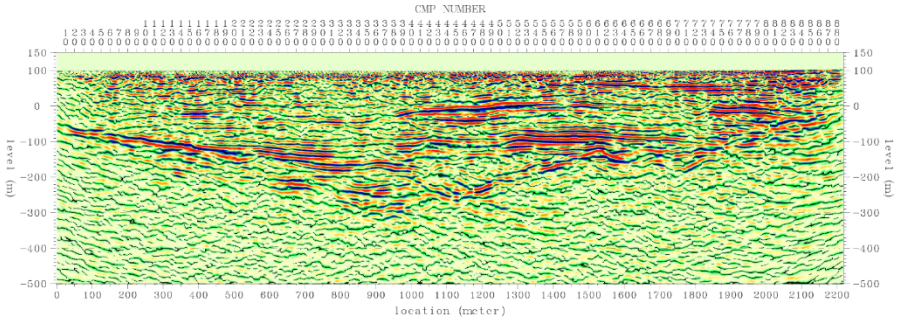
反射法地震探査は、表 4 に記載の 3 測線のデータを整理した。各測線における深度断面図を図 23 に示す（測線位置は図 24 参照)。反射法地震探査の深度断面図から、基盤岩上面と推定される反射面の深度をトレースした。トレースした基盤深度とそれぞれの CMP 座標から、各測線における基盤岩深度分布を与えた。基盤岩深度を与えた間隔は CMP40（水平距離 100 m）毎とした。反射法地震探査による基盤深度は、河原林測線で 20～372 m、馬路測線で 163～261 m、保津測線で 82～348 m であり、亀岡断層帯を横切る地点で、基盤深度が急変する特徴がある（京都府, 2003, 2004)。

以上の作業により整理された基盤岩深度分布を図 24 に示す。

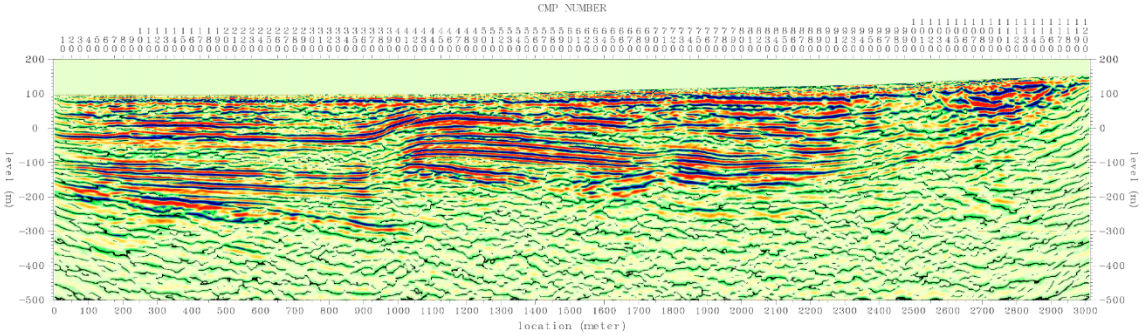
表 4 基盤岩の判読対象とした反射法地震探査データ

実施業務名	測線名	測線長	出典
三峠－京都西山断層帯に関する調査	平成 14 年度河原林測線	3,195 m	京都府（2003）
	平成 15 年度馬路測線	2,215 m	京都府（2004）
	平成 15 年度保津測線	1,285 m	京都府（2004）

馬路測線



河原林測線



保津測線

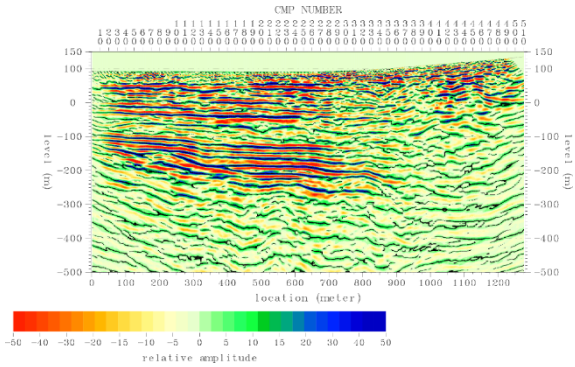


図 23 亀岡盆地における反射法地震探査の深度断面図（京都府, 2003, 2004）

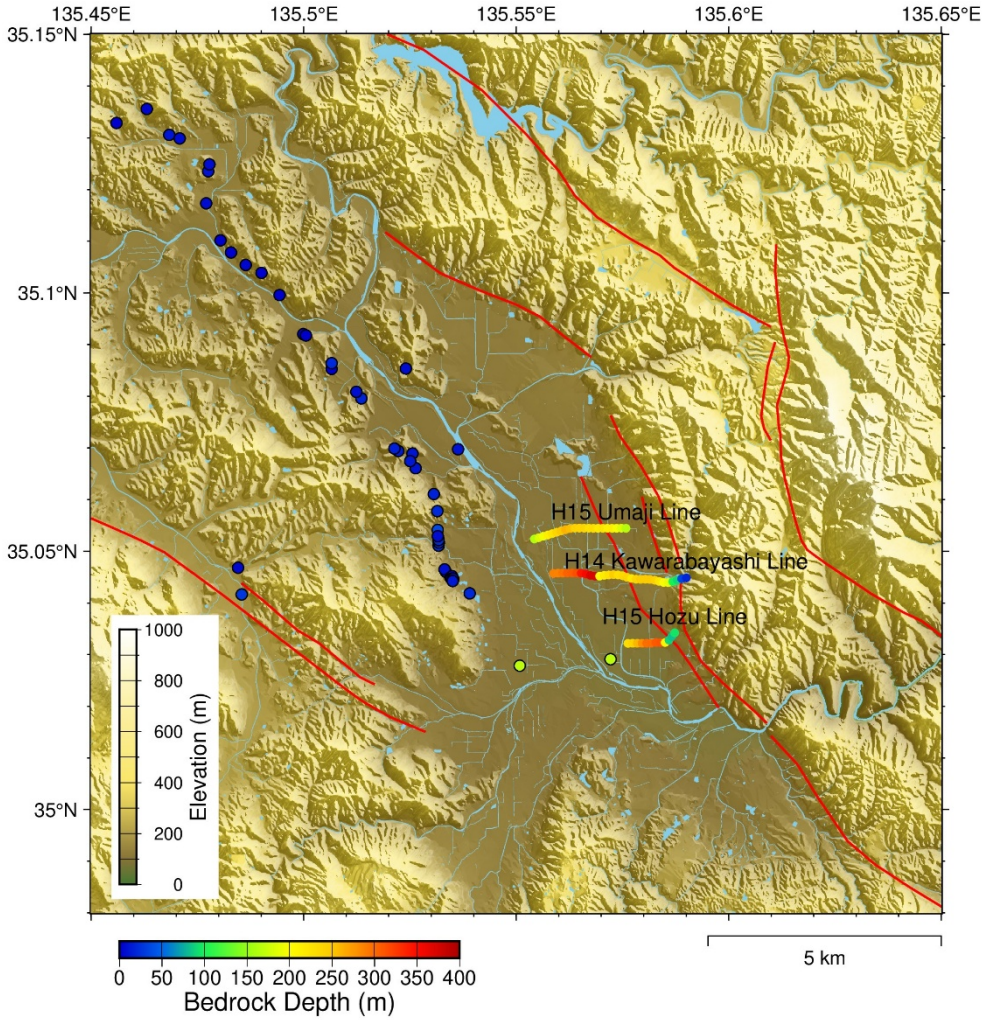


図 24 亀岡盆地周辺の既存の調査情報による基盤岩深度分布。基図は国土地理院数値地図（国土基本情報）。赤線は産業技術総合研究所活断層データベースによる活断層トレース。丸印はボーリング位置。

次に、既存の重力探査データベースを用いて重力基盤面をモデル化し、重力基盤面深度のデジタルデータを作成した。使用した重力データは Yamamoto et al. (2011)、本多・他（2012)、産業技術総合研究所地質調査総合センター（2013）である。亀岡盆地周辺の基盤岩は丹波帯であると考えられ、丹波帯そのものの密度値は不明であるが、ここでは仮定密度 2.67 g/cm^3 のブーゲー異常値を用いた。亀岡盆地の主な堆積層は大阪層群であるため、堆積層内における密度変化は大きくないと仮定し、堆積層と基盤岩からなる単純な 2 層モデルとして評価した。具体的な解析手順は以下のとおりである。

① 各機関のブーゲー異常データを整理した。基盤岩深度分布のモデル作成範囲は亀岡盆地周辺であるが、重力値はプレートの沈み込みなどにより広域的な傾向を有する。傾向面補正の精度を確保するため、東経 135.40～135.7 度、北緯 34.95～35.2 度の範囲のブーゲー異常データを対象とした。ブーゲー異常のデータ分布を図 25 に示す。対象範囲を東方及び南方へ拡げていない理由は、傾向面除去の際に堆積層の影響を極力排する

ためである。

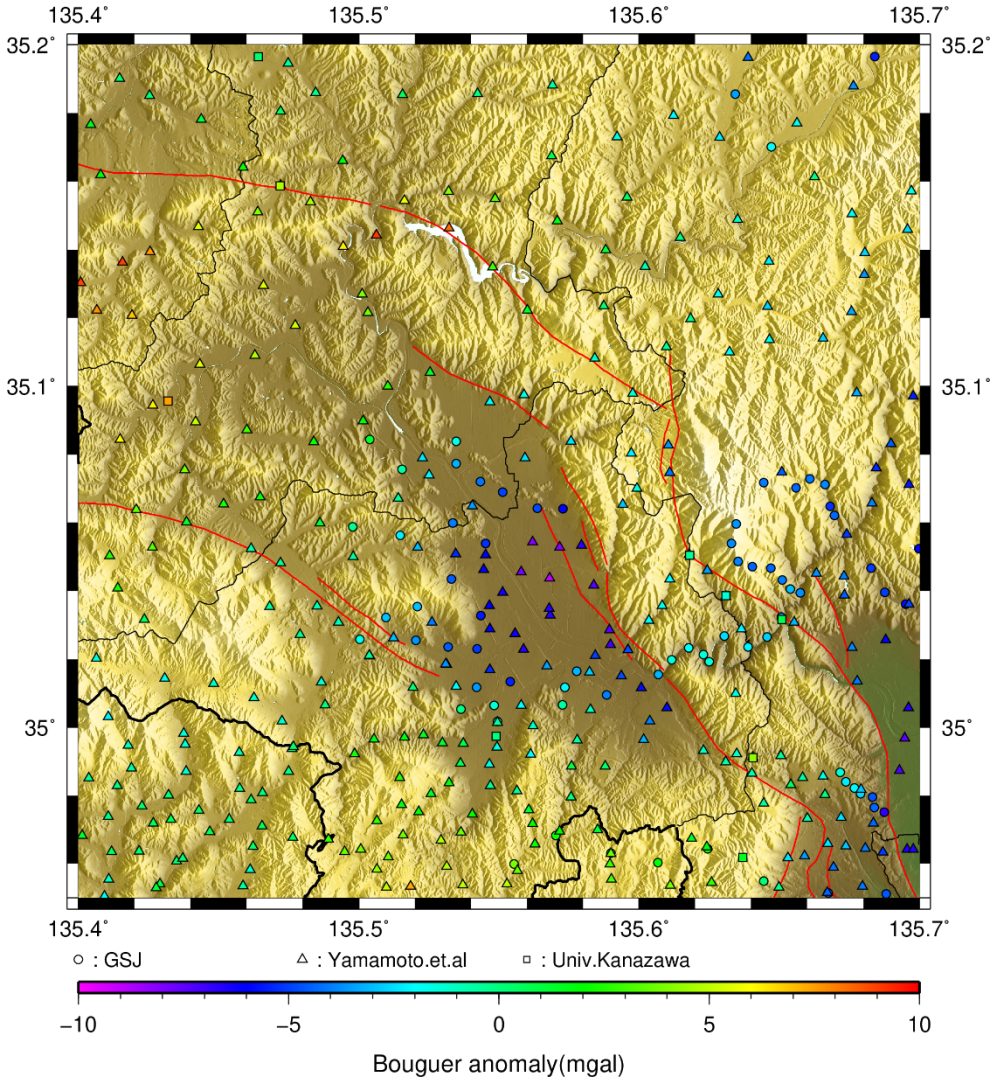


図 25 亀岡盆地周辺におけるブーゲー重力異常のデータ分布（仮定密度 2.67 g/cm^3）

② ①で作成したデータセットに対して、Generic Mapping Tools の surface コマンドを用いて補間し、メッシュデータとした。補間の間隔は東西・南北とも 0.0005° 刻みとした。補間により得られたブーゲー異常分布を図 26 に示す。なお、図 26 はモデル化の対象範囲である東経 135.50～135.66 度、北緯 34.97～35.12 度の範囲で描画した。

③ ②で作成した面的なブーゲー異常分布に対して、傾向面の除去を行った。この操作には Generic Mapping Tools の grdtrend コマンドを用いた。トレンド除去には傾向面の関数を仮定する必要がある。二次曲面及び三次曲面での比較を行い、全体の傾向を表現できていると見られる、三次曲面を仮定した傾向面除去を行った（図 27 左）。図 27（右）に傾向面除去後のブーゲー異常分布を示す。これを基盤岩深度分布推定のためのベースデータとした。

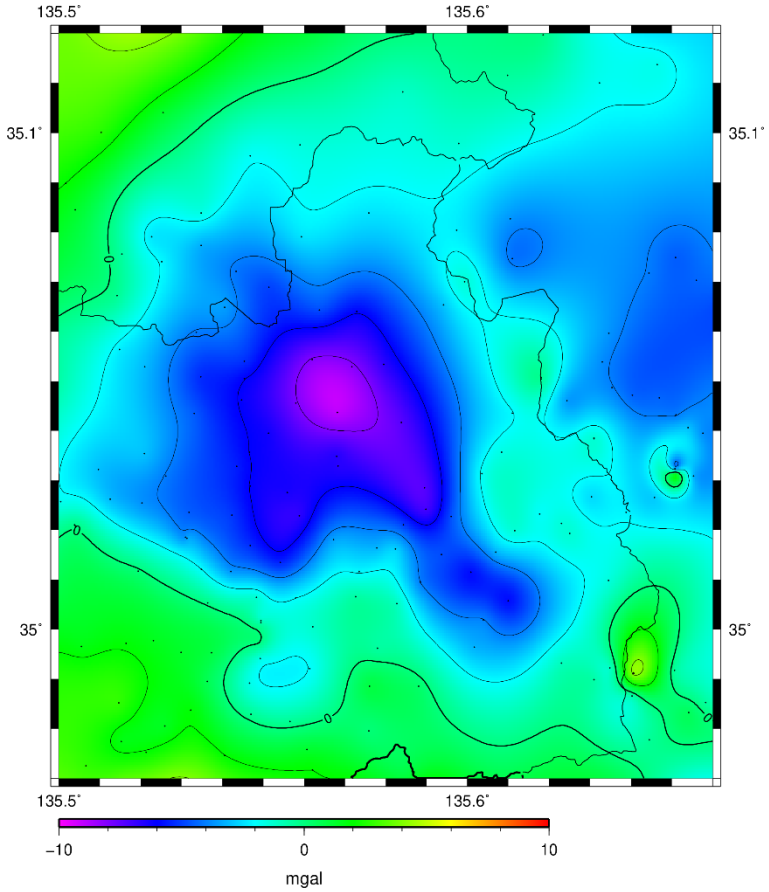


図 26 亀岡盆地周辺におけるブーゲー異常分布（仮定密度 2.67 g/cm^3）

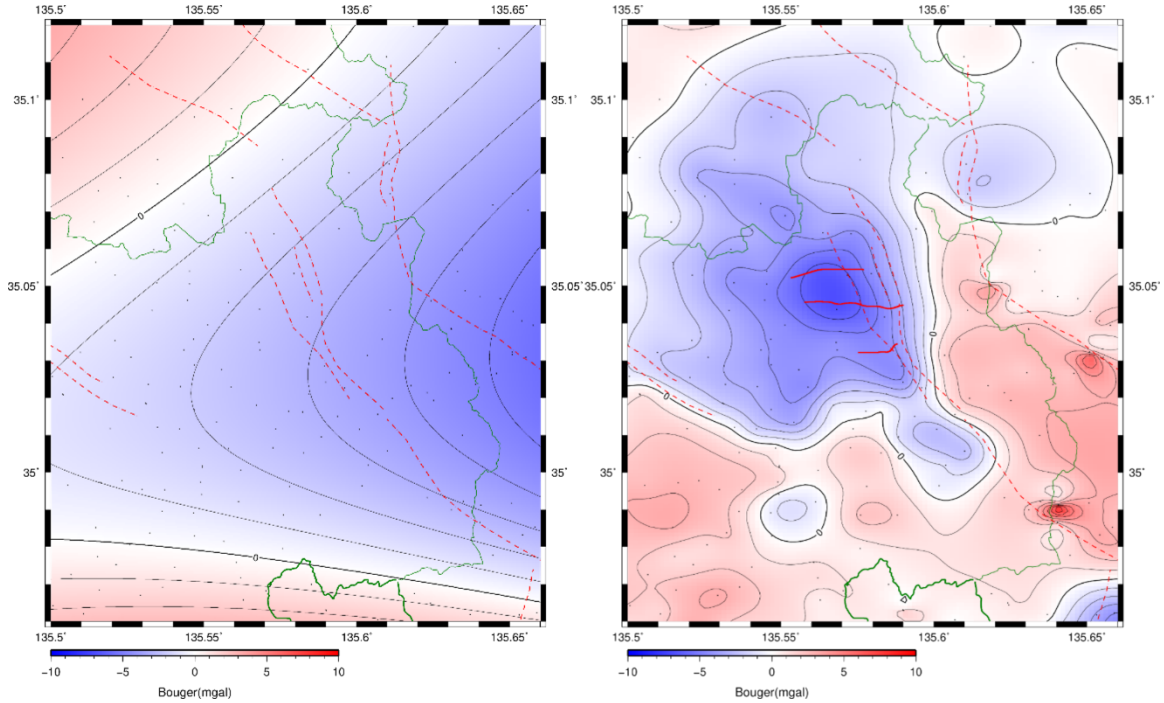


図 27 亀岡盆地周辺における三次曲面を仮定した傾向面（左）及び傾向面除去後のブーゲー異常分布（右）。赤実線は反射法測線位置（京都府, 2003, 2004）、赤破線は産業技術総合研究所活断層データベースによる活断層トレースを表す。

④　③で作成した傾向面除去後のブーゲー異常分布に対して、岩着ボーリングによる基盤岩深度、反射法地震探査による推定基盤岩深度、及び基盤岩露出地点をコントロールポイントとして、最小二乗法により面的な深度の推定を行った。得られた亀岡盆地の基盤岩深度分布を図 28 に示す。空間分布の特徴は、微動 H/V スペクトル比のピーク周波数分布の傾向とも対応する。

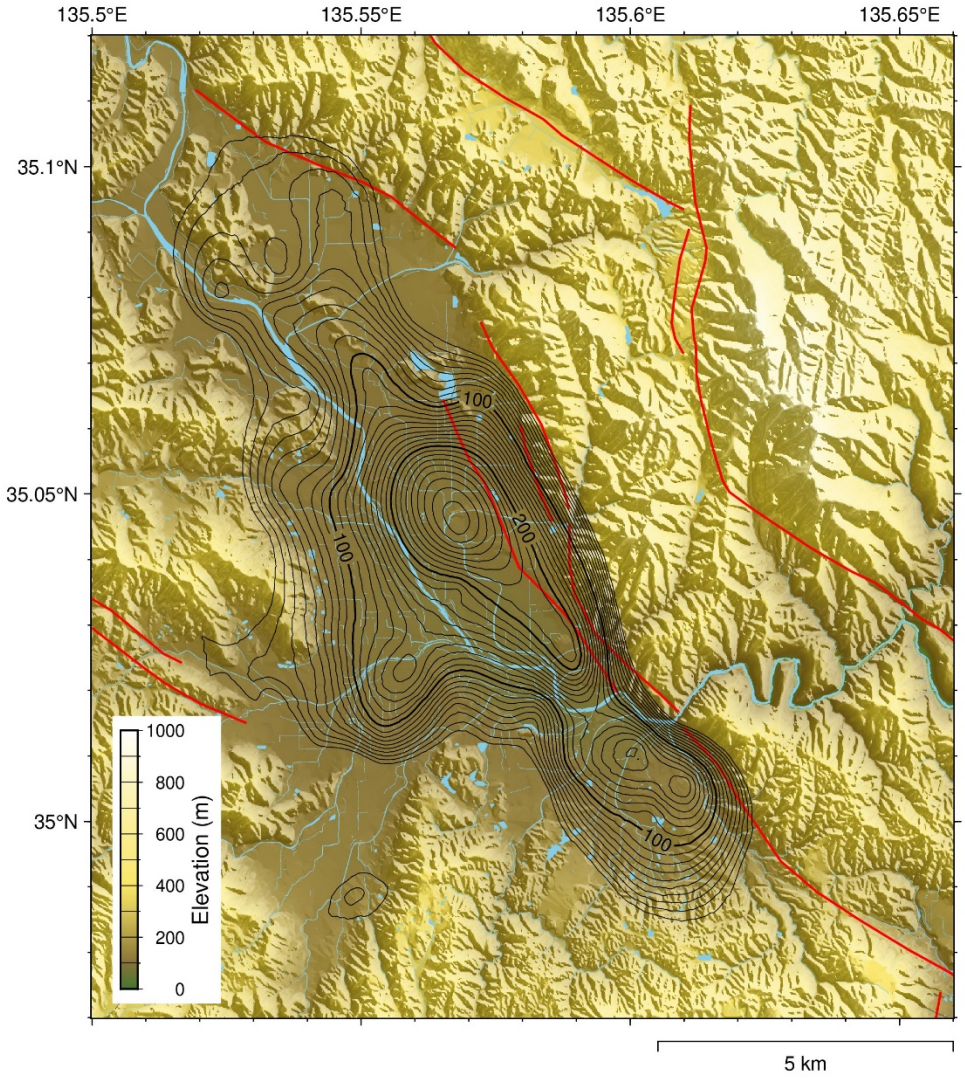


図 28 亀岡盆地周辺における基盤岩深度分布。基図は国土地理院数値地図(国土基本情報)。赤線は産業技術総合研究所活断層データベースによる活断層トレース。

作成した基盤岩深度モデルの最深部は、河原林測線（京都府, 2003）の最深部であった CMP380 付近に位置し、その深さは概ね 280 m 強である。反射法地震探査結果を参照すると、この付近の基盤深度は約 370 m であるが、その東の CMP400 付近では盆地下に伏在する断層運動により深さ 200 m 程度と、ごく浅くなる。重力データから推定された基盤深度はこれらが平均化されたものと考えられる。なお、周辺の基盤岩からの積分値となるた

め、基盤岩の落差ほど明瞭には重力値の違いとして現れにくいこと、この付近における重力測定点が 1 点であり、補間により面が平滑化されていることが基盤形状の違いとして現れていると見られる。

亀岡盆地東部では、北緯 35.00～35.05 度付近では、亀岡断層帯付近に基盤岩深度コンターが密になっている。図 23 に示した保津測線（京都府, 2004）でも CMP390～400 付近に断層が存在するものと見られ、基盤岩の高低差は約 300 m と推定される。この基盤岩の落差が、推定した基盤深度モデルの急変を与えていると考えられる。モデルの基盤深度は断層帯よりもさらに東の山地側にも推定されているため、逆断層型として低角に基盤岩が沈み込んでいる可能性も考えられるが、保津測線では明瞭な形状が判別しにくく、断層の傾斜に関しては判断がつかない。また、重力の測定点もごくわずかであるため、傾向面除去後のブーゲー異常に基盤岩の急変帯を狭めるほどの形状を与えられなかった可能性がある。

北緯 34.98～35.10 度、東経 135.53～135.56 度付近にあたる亀岡盆地の南西部では、北緯 34.99 度、東経 135.55 度付近（亀岡市曽我部町周辺）の一部を除いて、基盤岩深度が求まっていない。ブーゲー異常の値から基盤岩深度はごく浅いものと予想できるものの、基盤岩深度を拘束することのできる情報がないことも影響しているものと考えられる。

3) 1830 年文政京都地震の震源位置の推定

1830 年文政京都地震（1830 年 8 月 19 日、文政十三年七月二日）をテストケースとして、史料の分析結果をもとに、強震動評価による当該地震の震源位置や規模の推定を試行した。西山・他（2026）は、1830 年文政京都地震に関する史料を判読し、個々の史料の信頼性を吟味した上で、信頼性の高い史料に記された地震被害や揺れの記述から、西山・原田（2022）が提案した、宇佐美（1986, 2010）の震度判定表を用い、建造物の築年数や構造などによる脆弱性も考慮し被害状況を評価して推定する方法によって、各地点の震度を図 29 の地図に示すとおりに推定した。これによれば、京都盆地北東部では震度 5 強～6 強、亀岡盆地では震度 5 弱～6 弱である。また、園部盆地でも園部城の屋根瓦が多数落下し、震度 5 強と判定されている。京都盆地南部では、伏見の町家や奉行所、淀城、宇治橋などで被害が報告されている。大津では特に大きな被害はみられず、大坂や奈良でも目立った被害は見受けられない、と西山・他（2026）では報告されている。有感範囲は、氷見（富山県）や伊勢（三重県）から出雲（島根県）に及ぶ。図中の強地震（Felt strong shaking）や大地震（Felt marked shaking）は震度 4、地震（Felt shaking）は震度 3 に相当する。

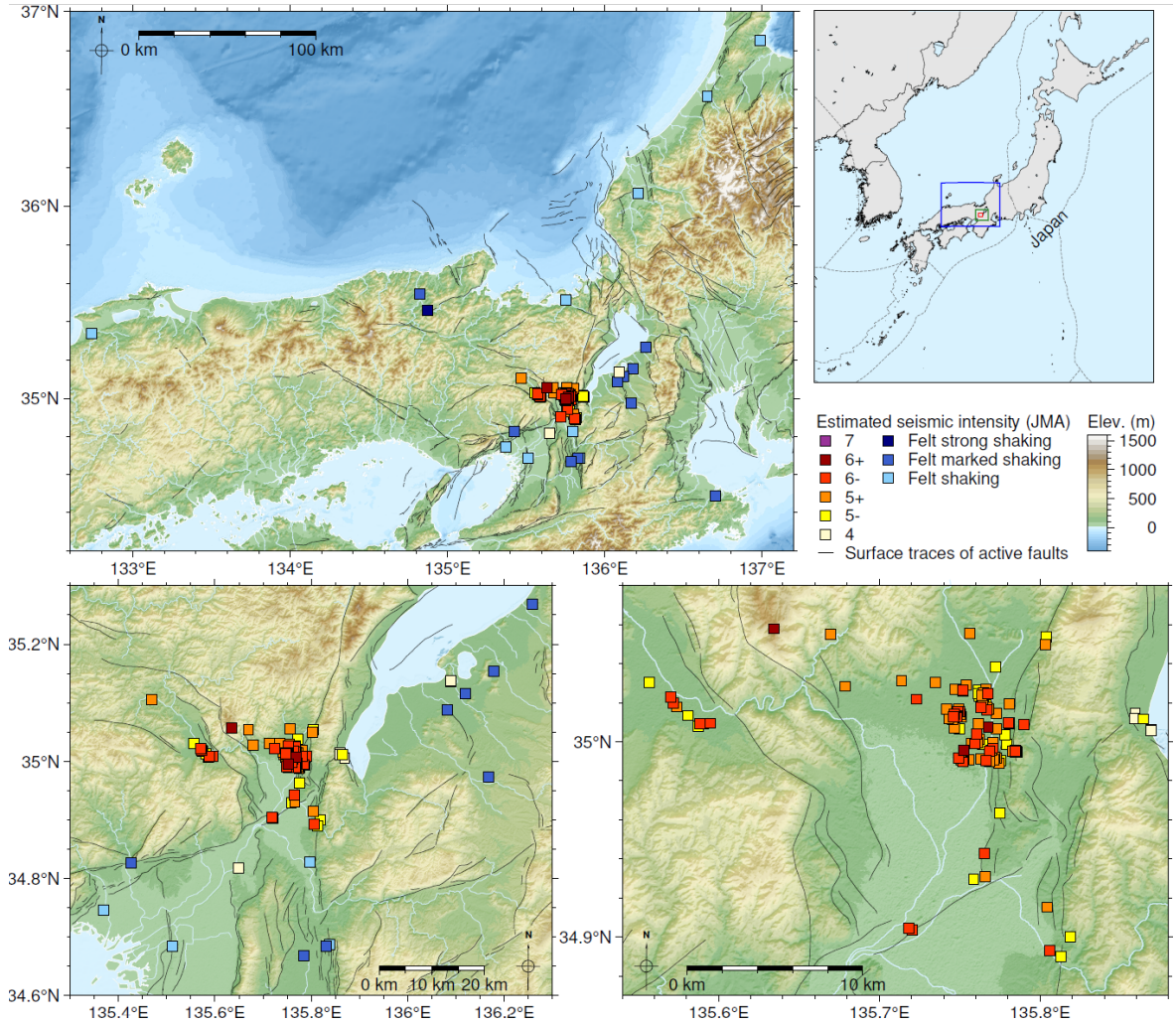


図 29 西山・他（2026）による 1830 年文政京都地震の震度分布。□印は西山・他（2026）が史料から判定した震度の推定地点とその震度階を示す。

強震動評価は、点震源を仮定した地震動予測式による評価とした。まず、気象庁計測震度を対象とした既存の地震動予測式を調査し、Shabestari and Yamazaki (1998)、Campbell and Bozorgnia (2011)、森川・他 (2010)、Morikawa and Fujiwara (2013)の 4 つを選んだ。このほかに、松崎・他 (2006) の地震動予測式は、地盤増幅率を陽に含まないため、検討対象から除外した。これら 4 つの地震動予測式の比較例が図 30 である。同図では、M_{JMA} 6.5、V_{S30} が 300 m/s の場合の例を示した。Shabestari and Yamazaki (1998)の式は、震源近傍で他の式に比べて震度が大きくなる傾向にあるが、地震動予測式作成の元データが断層最短距離 10 km 以内の観測データをほとんど含まないことに留意が必要である。森川・他 (2010) をさらに改良した Morikawa and Fujiwara (2013)と Campbell and Bozorgnia (2011)は、震源距離約 30 km 以内での違いは大きくない。今回の比較対象とする震度データは、計測震度ではなく階級化された値であるので、両者の地震動予測式の違いによる影響は小さいと考え、以下に示す Morikawa and Fujiwara (2013)の地震動予測式を用いることとした。

$$\frac{I_{JMA}}{2} = -0.0321\{\min(M_W, 8.2) - 16.0\}^2 - 0.003736X + 6.9301 - \log\left(X + 0.005078 \cdot 10^{0.5\min(M_W, 8.2)}\right) + 0.032214\log\left[\frac{\max(320, D_{1400})}{300}\right] - 0.7565\log\left[\frac{\max(1200, V_{S30})}{350}\right]$$

ここで、I_{JMA}は計測震度、M_Wはモーメントマグニチュード、Xは断層最短距離、D_{1400}は S 波速度 1,400 m/s 層の上面深度、V_{S30}は地表から深さ 30 m までの平均 S 波速度である。

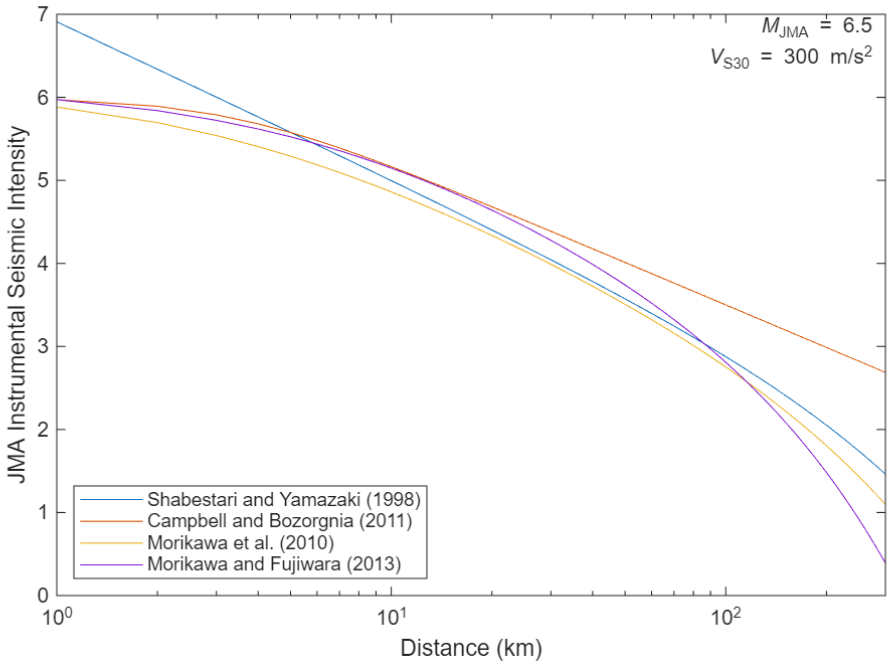


図 30 計測震度の地震動予測式の比較例

震度データを用いた逆解析の手順は以下に述べるとおりである。未知変数は、デカルト

座標の 2 成分（東西方向、南北方向）及びモーメントマグニチュードM_Wの計 3 つである。深さに関する解像度は乏しいと考えられるため、地表地震断層を伴わない内陸地殻内地震として、地震発生層の上限である 3 km に固定し、断層最短距離Xを計算した。3 つの未知変数からなるモデルベクトル$\mathbf{m}$の事前確率分布は一様分布とし、事後確率$p(\mathbf{m}|\mathbf{d}_{\mathrm{obs}})$を

$$p(\boldsymbol{m}|\boldsymbol{d}_{\mathrm{obs}}) \propto \exp\left(-\frac{1}{2}\sum_{i}\frac{\left(I_{\mathrm{obs},i}-I_{\mathrm{syn},i}\right)^2}{\sigma_D^2+\sigma_M^2}\right)$$

の式で評価した。ただし、$I_{\mathrm{obs},i}$は西山・他（2026）による各地点 i の推定震度（本解析での観測データ）であり、それを全地点分まとめたものがデータベクトル$\mathbf{d}_{\mathrm{obs}}$、$I_{\mathrm{syn},i}$は Morikawa and Fujiwara (2013)による予測震度である。σ_Dは観測誤差（ここでは 1.0 と仮定）、σ_Mはモデル誤差（ここでは Morikawa and Fujiwara (2013)より 0.3493 と仮定）である。Bayesian Inversion には Hallo et al. (2019)の解析コードを本調査研究での解析に適用するよう改良したものを用いた。

震度の評価地点が、本調査研究による微動アレイ探査実施地点から半径 1 km 以内にある場合は、微動アレイ探査から推定された V_{S30} を用いた。それ以外の京都盆地内の地点では、奈良盆地東縁断層帯における重点的な調査観測で作成した浅部地盤構造モデル（文部科学省研究開発局・国立大学法人京都大学防災研究所, 2022；浅野・他, 2022）による V_{S30} を用いた（図 31)。そのほかの遠方の地点では、J-SHIS 浅部地盤構造モデル V4（若松・松岡, 2020）による V_{S30} を参照した。

図 32 に推定結果を事後確率密度関数として示す。震央に関するデカルト座標の原点は、宇佐美（2010）による震央位置（北緯 35.1 度、東経 135.6 度）を原点とした。その結果、震央位置は、宇佐美（2010）の震央よりも約 7.5 km 南東の越畑断層帯周辺（高尾山付近）に求まった（図 33)。尤度最大（事後確率最大）となる震央位置は北緯 35.0546 度、東経 135.6605 度、M_{W} 6.36 と推定された。それらの推定誤差 2σ（95%信頼区間に相当）は、東西方向±8.9 km、南北方向±13 km、M_{W}±0.4 であった。越畑断層帯は北東に傾斜する逆断層と考えられており（宮内・他, 2026)、上記の推定誤差を考慮しても、震央が越畑断層帯の北東に位置することから、1830 年文政京都地震の震央は越畑断層帯付近と判断できる。ただし、越畑断層帯やその周辺域において、江戸時代に形成された地表地震断層の存在はこれまで報告されていないことから、越畑断層帯に関連した地震活動であったとしても、1830 年文政京都地震が地表地震断層を伴う規模の地震であるとは考えにくい。各地点の史料による推定震度と計算震度の差（ミスフィット）と震央距離の関係を図 34 に示す。震央距離約 10～30 km で震度差が 1.0 程度ある地点が 3 地点あるが、これらは京都市内の寺院や宇治橋の地点であり、近傍の多地点に比べて推定震度が大きい地点であった。これらは、当該の建造物の個別の強度の差異などの理由で、周辺よりも大きな震度推定値となっていると推察する。図 34 を見る限り、ミスフィットの全体的な傾向として大きな偏りは見られなかった。

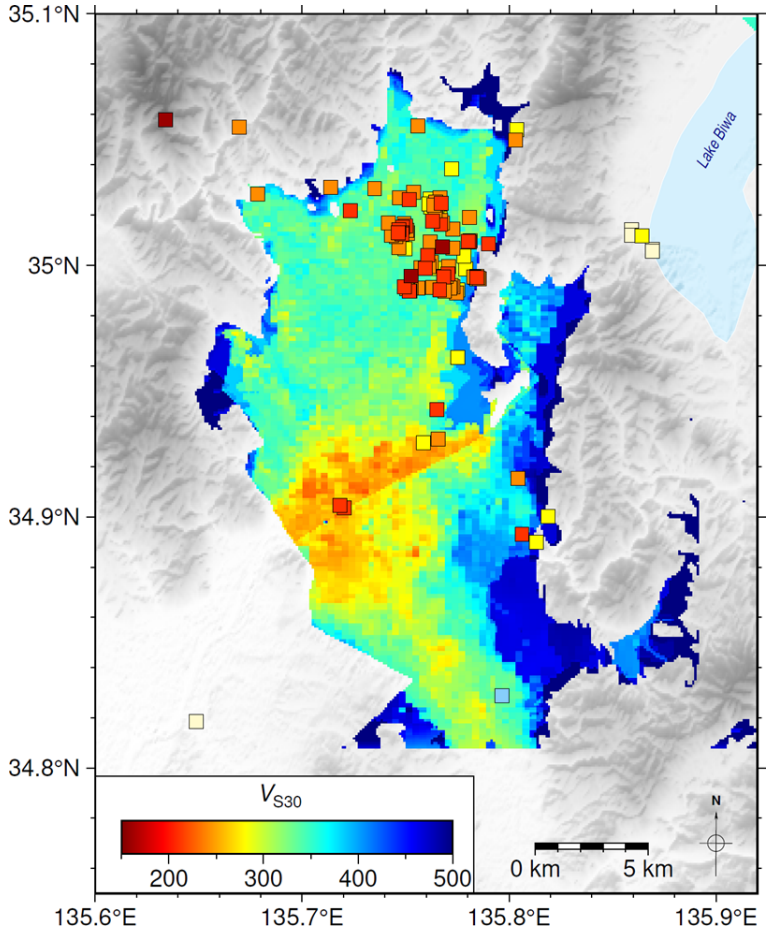


図 31 奈良盆地東縁断層帯における重点的な調査観測で作成した浅部地盤構造モデル（文部科学省研究開発局・国立大学法人京都大学防災研究所, 2022；浅野・他, 2022）による V_{S30} と西山・他（2026）による 1830 年文政京都地震の震度（□印、色の凡例は図 29 を参照のこと）の比較。

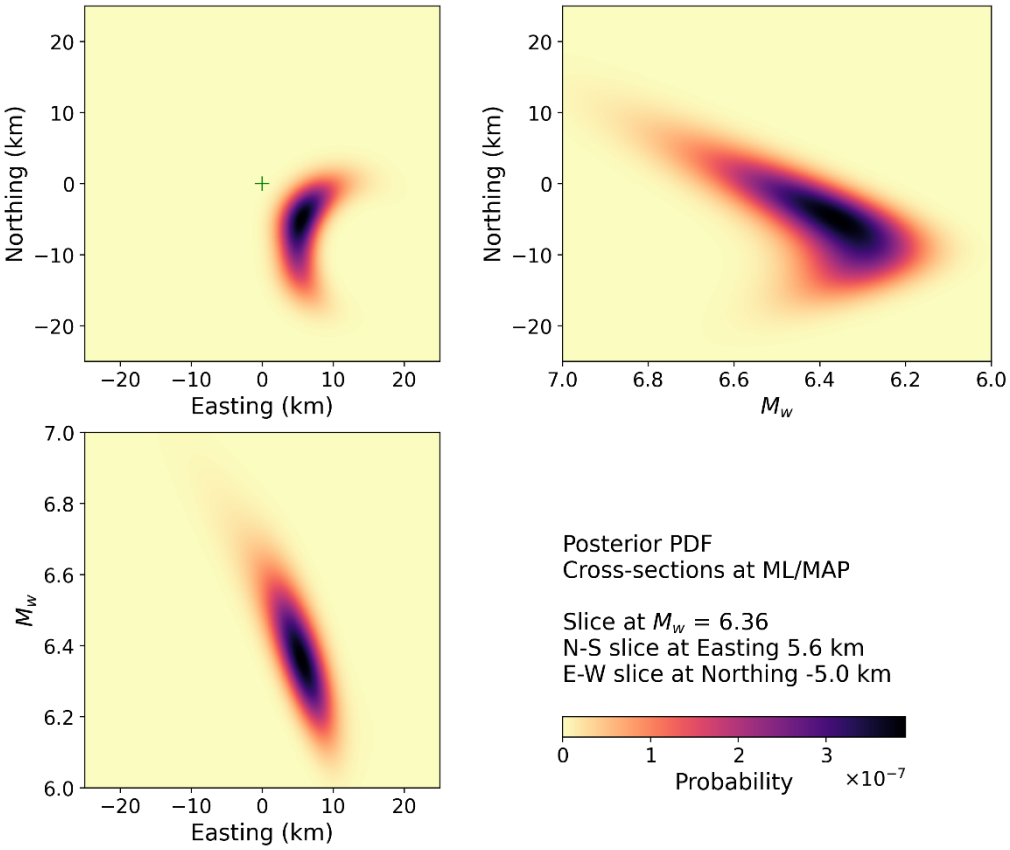


図 32 1830 年文政京都地震の震央推定結果の事後確率密度関数分布。デカルト座標の原点（十字印）は宇佐美（2010）による震央に対応する。

宮内・他（2026）によれば、越畑断層帯は、京都市右京区嵯峨越畑付近から同区嵯峨小倉山付近に至る、長さ 9 km で北西－南東方向に延びる北東側隆起の逆断層帯である。活動度は B 級、最新活動時期や活動間隔は不明とのことである。宇佐美（2010）や宇佐美・他（2013）では、1830 年文政京都地震の震央は、越畑断層帯の北西隣に位置する殿田－神吉断層帯の南東端付近に推定されている。殿田－神吉断層帯は、長さ約 23 km で西北西－東南東方向に延びる北側隆起を伴う左横ずれ断層帯であって、最新活動は 2,400 年前～2 世紀、活動間隔は 3,500～5,600 年と推定されている（宮内・他, 2026）。この最新活動時期は 1830 年文政京都地震とは対応しない。地震調査研究推進本部地震調査委員会（2005）では、越畑断層帯や殿田－神吉断層帯の他に、樫原断層帯や亀岡断層帯なども含む一連の断層帯を京都西山断層帯（長さ 42 km、M7.2 程度）として評価されている。京都西山断層帯全体が活動する地震では、地表地震断層が出現するものと考えられるが、1830 年文政京都地震のようなひとまわり小さな地震規模では、一般には地表地震断層は出現しない可能性が高いと考えられる。このため、1830 年文政京都地震が越畑断層帯付近のみの M_W 6.4 程度の活動であれば、地表地震断層が出現したという報告は知られていないこととも矛盾しないと考えられる。

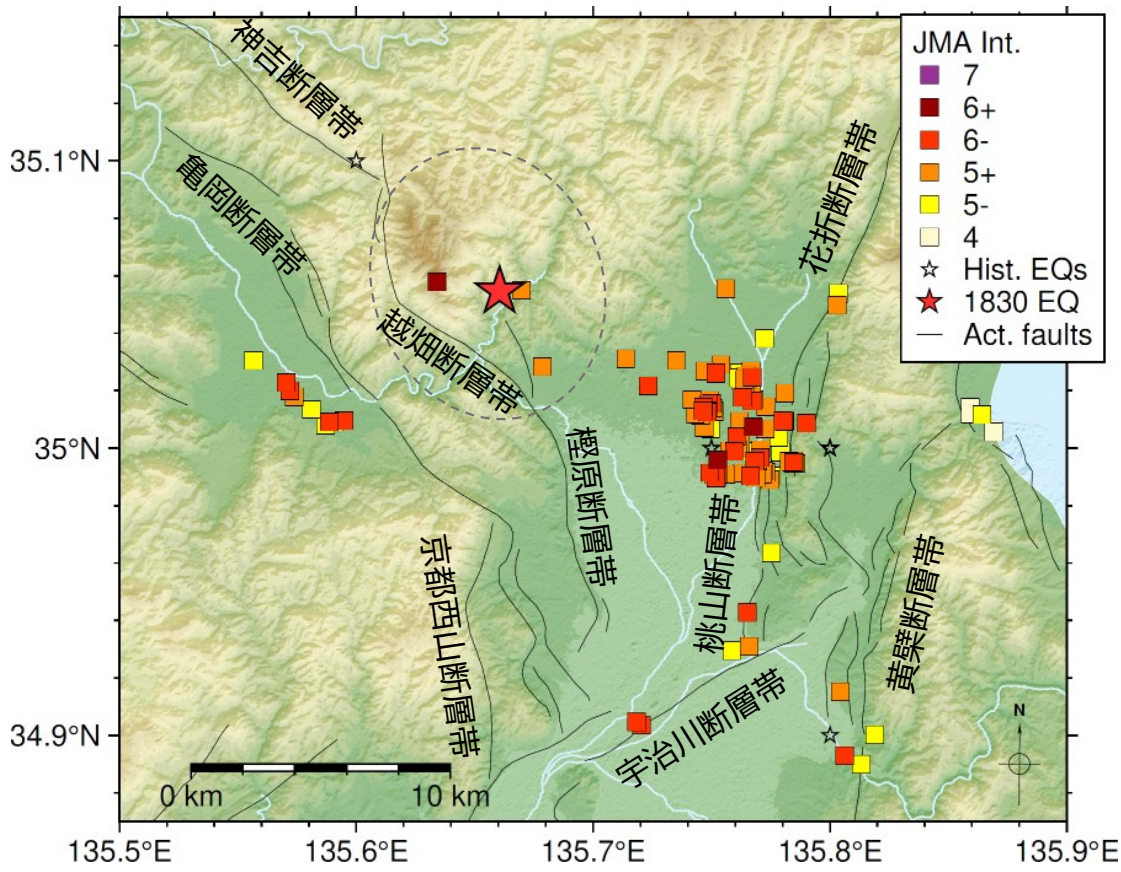


図 33 1830 年文政京都地震の震央推定結果と西山・他（2026）による震度分布。赤色の星印が尤度最大となる推定震央位置、破線は震央の推定誤差を考慮した範囲を表す。□印は西山・他（2026）が史料から判定した震度の推定地点とその震度階を示す。☆印は宇佐美（2010）による歴史地震の震央を表す。

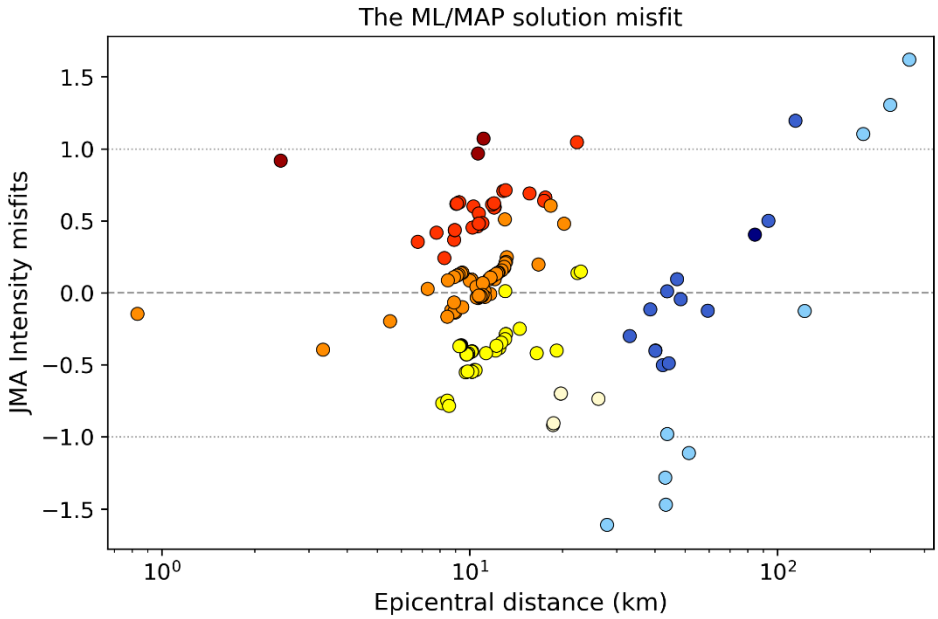


図 34 震度の残差の分布。丸印の色は史料からの推定震度を表す（図 29 の凡例と同じ）。

（c）結論並びに今後の課題

本サブテーマでは、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ことで、内陸地震の長期評価の高度化に資することを目的としている。初年度は、テストケースとして、史料分析によって地震被害や推定震度が詳細に報告され、既往の研究も豊富な近代以前の歴史地震である、1830 年文政京都地震を調査対象とした。当該地震の地震被害が報告されている亀岡盆地、園部盆地、京都盆地のうち、地盤構造に関する情報が不足している 18 地点にて、微動アレイ探査を行い、浅部地盤の S 波速度構造及び V_{S30}（地表から深さ 30 m までの平均 S 波速度）を推定した。また、盆地全体の深部地盤構造に関する既往研究の乏しい亀岡盆地を構成する堆積層の構造を把握するため、大半径の微動アレイ探査の実施に加え、既存の重力測定値、反射法地震探査結果、岩着ボーリング資料を解析し、亀岡盆地の基盤深度分布をモデル化した。これらの地盤構造調査結果は、強震動評価のための地下構造モデル高度化にも資するものである。強震動評価によって歴史地震の震源断層や地震規模を推定する手順を整理し、1830 年文政京都地震をテストケースとして試行した。史料分析から得られた震度データを用いた Bayesian Inversion により、震央位置とモーメントマグニチュードを推定した結果、推定震央は北東側隆起の逆断層である越畑断層帯付近、モーメントマグニチュードは 6.4 程度と推定された。地表地震断層が出現しないと一般に考えられている地震規模であるものの、周辺の活断層分布との比較では、越畑断層帯に関連した活動に対応する可能性も考えられる。次年度以降も、今年度の調査結果を踏まえ、対象とする歴史地震の震源断層推定の解析事例を蓄積するとともに、そのための地盤構造情報の収集が必要である。

（d）引用文献

Aki, K., Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo, 35, 415–456, 1957.

浅野公之・岩田知孝・濱田晃之・吉田邦一・染井一寛・関口春子，ボーリングデータベース解析と微動アレイ観測による京都盆地～奈良盆地の浅部地盤速度構造モデルの作成，日本地震学会 2022 年度秋季大会，S16-03, 2022.

浅野公之・岩田知孝・関口春子・杉山長志，近江盆地南部における微動アレイ探査，京都大学防災研究所年報，64B, 9–20, 2021.

Campbell, K. W. and Y. Bozorgnia, A ground motion prediction equation for JMA instrumental seismic intensity for shallow crustal earthquakes in active tectonic regimes, Earthq. Eng. Struct. Dyn., 40, 413–427, 2011.

Green, P.J., Reversible jump Markov chain Monte Carlo computation and Bayesian model determination, Biometrika, 82, 711–732, 1995.

Hallo, M., I. Opršal, K. Asano, and F. Gallovič, Seismotectonics of the 2018 Northern Osaka M6.1 earthquake and its aftershocks: joint movements on strike-slip and reverse faults in inland Japan, Earth Planets Space, 71:34, 2019.

Hallo, M., W. Imperatori, F. Panzera, D. Fäh, Joint multizonal transdimensional Bayesian inversion of surface wave dispersion and ellipticity curves for local near-surface imaging,

Geophys. J. Int., 226, 627–659, 2021.
Hastings, W.K., Monte Carlo sampling methods using Markov Chains and their applications, Biometrika, 57, 97–109, 1970.
本多　亮・澤田明宏・古瀬慶博・工藤　健・田中俊行・平松良浩，金沢大学重力データベースの公表，測地学会誌，58, 153–160, 2012.
井本伸広・松浦浩久・武蔵野実・清水大吉郎・石田志朗，園部地域の地質，地域地質研究報告 5 万分の 1 地質図幅，通商産業省工業技術院地質調査所，68p, 1991.
井本伸広・清水大吉郎・武蔵野実・石田志朗，京都西北部地域の地質，地域地質研究報告 5 万分の 1 地質図幅，通商産業省工業技術院地質調査所，84p, 1989.
地震調査研究推進本部地震調査委員会，三峠・京都西山断層帯の長期評価について，31p, 2005.
地震調査研究推進本部地震調査委員会，日本の地震活動―被害地震から見た地域別の特徴―第 2 版，財団法人地震予知総合研究振興会地震調査研究センター，496p, 2009.
近畿農政局計画部，農業用水地下水調査開発調査亀岡盆地地区調査報告書，256p, 1973.
Koketsu, K., H. Miyake, and H. Suzuki, Japan Integrated Velocity Structure Model Version 1, Proc. 15th World Conf. Earthq. Eng., paper no. 1773, 2012.
Konno, K. and T. Ohmachi, Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor, Bull. Seismol. Soc. Am., 88, 228-241, 1998
京都府，平成 14 年度地震関係基礎調査交付金「三峠・京都西山断層帯に関する調査」成果報告書，128p, 2003.
京都府，平成 15 年度地震関係基礎調査交付金「三峠・京都西山断層帯に関する調査」成果報告書，217p, 2004.
京都市，平成 10 年度地震関係基礎調査交付金「京都盆地の地下構造に関する調査」成果報告書, 1999.
京都市，平成 11 年度地震関係基礎調査交付金「京都盆地の地下構造に関する調査」成果報告書, 2000.
京都市，平成 12 年度地震関係基礎調査交付金「京都盆地の地下構造に関する調査」成果報告書, 2001.
京都市，平成 13 年度地震関係基礎調査交付金「京都盆地の地下構造に関する調査」成果報告書, 2002.
京都市，平成 14 年度地震関係基礎調査交付金「京都盆地の地下構造に関する調査」成果報告書, 2003.
凌　甦群・岡田　広，微動探査法における空間自己相関法の拡張，物理探査学会第 89 回学術講演会論文集，44–48, 1993.
松崎伸一・久田嘉章・福島美光，断層近傍まで適用可能な震度の距離減衰式の開発，日本建築学会構造系論文集，604, 201–208, 2006.
宮内崇裕・堤　浩之・石山達也・楮原京子・金田平太郎・後藤秀昭・田力正好・廣内大助・松多信尚，日本の活断層総覧，370p, 2026.
文部科学省研究開発局・国立大学法人京都大学防災研究所，奈良盆地東縁断層帯における重点的な調査観測令和元～3 年度成果報告書，564p, 2022.

森川信之・神野達夫・成田　章・藤原広行・福島美光，近年の強震動記録に基づく計測震度の距離減衰式，北海道大学地球物理学研究報告，73, 149–158, 2010.
Morikawa, N. and H. Fujiwara, A New Ground Motion Prediction Equation for Japan Applicable up to M9 Mega-Earthquake, J. Disaster Res., 8, 878-888, 2013.
西山昭仁・原田智也，1596 年文禄伏見地震に関する地震象の検討―京都・伏見での地震被害を中心に―，京都歴史災害研究，23, 15–28, 2022.
西山昭仁・原田智也・石辺岳男，1830 年文政京都地震の震源断層の検討，歴史地震，41，印刷中，2026.
大邑潤三, 文政京都地震(1830)による被害と起震断層の再検討, 歴史地震, 29, 51–60, 2014.
Sambridge, M., A Parallel Tempering algorithm for probabilistic sampling and multimodal optimization, Geophys. J. Int., 196, 357–374, 2014.
産業技術総合研究所地質調査総合センター・編，日本重力データベース DVD 版，数値地質図 P-2，産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2013.
先名重樹・藤原広行・前田宜浩・森川信之・岩城麻子・河合伸一・谷田貝淳・佐藤　将・鈴木晴彦・稲垣賢亮・松山尚典，強震動評価のための浅部・深部統合地盤構造モデルの構築，防災科学技術研究所研究資料，No.498, 259p, 2023.
Shabestari, K. T. and F. Yamazaki, Attenuation relation of JMA Seismic Intensity based on JMA-87-type accelerometer records, Bulletin of Earthquake Resistant Structure Research Center, 31, 13–21, 1998.
清水欣一・黒川睦生，京都府亀岡盆地の水理地質について，陸水学雑誌，35, 82–87, 1974.
宇佐美龍夫，歴史地震事始，自費出版, 185p, 1986.
宇佐美龍夫, わが国の歴史地震の震度分布・等震度線図（改訂版), 社団法人日本電気協会, 726p, 2010.
宇佐美龍夫・石井　寿・今井隆正・武村雅之・松浦律子，日本被害地震総覧 599–2012，東京大学出版会, 694p, 2013.
若松加寿江・松岡昌志, 地形・地盤分類 250 m メッシュマップの更新, 日本地震工学会誌, 40, 24-27, 2020.
Yamamoto, A., R. Shichi, and T. Kudo, Gravity Database of Japan (CD-ROM), Earth Watch Safety Net Research Center, Chubu University, Special Publication, No.1, 2011.

3.4 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 3.1）

(1) 業務の内容

(a) 業務題目　GNSS データを用いた高精細ひずみ速度分布の解明

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター	教授	太田　雄策
国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	教授	西村　卓也
国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	特定研究員	Dhanya Thomas

(c) 業務の目的

GNSS による測地観測データを用いて、日本列島の詳細なひずみ速度分布を明らかにし、内陸地震の長期発生確率を計算する手法の基盤となる情報の獲得を目的とする。

(d) 3 か年の年次実施業務の要約

1) 令和 7 年度：

基盤観測網である国土地理院 GEONET（～1,300 点）に加え、ソフトバンクが運用する独自基準点網（3,300 点超）のデータの日座標値解析を実施し、それらから地殻変動場を適切に抽出するための作業を実施し、暫定的な地震間 3 次元地殻変動場の構築を行った。

2) 令和 8 年度：

正確な地震間地殻変動場の把握のために、外れ値等を適切に考慮するためのクラスタリング処理を適用する。また、得られた地殻変動場から高精細ひずみ速度分布を得るために、観測点の空間分布の不均一性を考慮できる手法や、変位場の基底関数展開法などの複数のひずみ速度推定手法を比較検討し、適切なひずみ速度分布を得る。

3) 令和 9 年度：

前年度に引き続き高精細ひずみ速度分布の推定を継続し、最終的なひずみ速度分布を得る。さらに、それらの推定不確実性の定量化を試行し、得られた結果の解釈の妥当性を検討する。得られた最終的なひずみ速度分布図の結果はサブテーマ 3.3 と共有する。具体的には、得られた高精細ひずみ速度分布が持つ推定の不確実性を定量評価するために、複数期間でのひずみ速度分布を推定し、それらのばらつきを定量評価する。

(2) 令和 7 年度の成果

(a) 業務の要約

GNSS による測地観測データを用いて、日本列島の詳細なひずみ速度分布を明らかにし、内陸地震の長期発生確率を計算する手法の基盤となる情報を獲得することを目的とする。令和 7 年度は基盤観測網である国土地理院 GEONET（～1,300 点）に加え、ソフトバンクが運用する独自基準点網（3,300 点超）のデータの日座標値解析を実施した。具体的には Gipsy-X による精密単独測位法（PPP-AR）を用いて日々の座標値を得た。さらに、それらから地殻変動場を適切に抽出するための作業を実施した。この時、ソフトバンク独自基準点網において非公開となっている保守作業による座標値のオフセット検知、並びに補正を自動的に実施するためのスキームを構築した。これらオフセットを適切に処理することで、2019 年 11 月～2023 年 12 月末までの期間における平均変位速度場を得た。また、これら得られた座標値の短期的なばらつき等の精度評価を実施し、ソフトバンク独自基準点網のデータが微小な地殻変動を捕捉可能な精度を持つことを確認した。加えて、当初予定よりも前倒しで得られた変位速度場に含まれる外れ値を客観的に評価・除去する手法を開発し、同期間の暫定的な 3 次元地殻変動場の構築を実現した。

(b) 業務の成果

GNSS による測地観測データを用いて、日本列島の詳細なひずみ速度分布を明らかにし、内陸地震の長期発生確率を計算する手法の基盤となる情報の獲得を目的とし、令和 7 年度は基盤観測網である国土地理院 GEONET（～1,300 点）に加え、ソフトバンクが運用する独自基準点網（3,300 点超）のデータ（Ohta and Ohzono, 2022）の日座標値解析 （Ohta and Ohtate, 2026）を実施した。具体的には「ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアム」によって Gipsy-X の精密単独測位法（PPP-AR）を用いてルーチン的に解析が実施されている日座標値を使用した。解析時には JPL が提供する最終精密暦及び時計補正情報を用いた。また、海洋潮汐荷重変形の補正には NAO.99b モデル（Matsumoto et al., 2000）を用いた。次に、ソフトバンク独自基準点網における保守オフセット等の自動検出・除去手法の開発を行った。具体的には、まず日座標時系列に対して短い窓と長い窓の Hampel filter を適用し、外れ値を除去する。次に前後の一定期間の中央値の差を用いて段差的な変化を強調し、その系列に対して Hampel filter と反復 Smirnov–Grubbs 検定を組み合わせて保守候補日を抽出し、信頼度に応じて段階的に分類する。最後に高信頼の候補から順に補正を試し、補正後に水平成分の線形トレンドに対する残差 RMS（二乗平均平方根）が減少する場合のみを採用することで、未知の保守起因ステップを半自動的に除去するスキームを構築した（Ohta and Ohtate, 2026）。これによって、これまで手作業での同オフセットの同定・除去が必要であったソフトバンク独自基準点網のデータの可用性が大幅に向上した。

次に、得られた座標値の精度評価を実施するために、10 日毎の日座標値の標準偏差を重複無しに計算し、それらのヒストグラムを GEONET、ソフトバンク独自基準点それぞれで作成した。その結果、両ネットワークで短期的なばらつきはほぼ同等であることが明らかになった。

また、得られた日座標時系列から定常変動の推定を試みた。定常変動の推定では、各観

測点・各成分の時系列を、定数項と線形トレンドに加えて、年周、半年周、及びそれより高次の周期項の和として表現し、最小二乗法で定常速度を推定した。周期項の数は AIC に基づいて時系列ごとに選択し、過不足のない季節変動補正を行うことで、約 4 年の時系列から長期的な定常変動成分を抽出した。図 1 に推定された定常変動成分の誤差（白色雑音を仮定）のヒストグラムを示す。同図より、両観測網で定常変動成分の推定精度がおおよそ同等であることが明らかになった。

最後に、得られた定常変動から変位速度場を求めた。ここで、周囲と明らかに異なる変位速度場を示す観測点を除去するために、外れ値の除去を行った。具体的には観測点を空間的に近い観測点同士で階層的にクラスタリングし、局所的に比較可能な小集団に分ける。ついで、各クラスタ内で東西・南北・上下成分ごとの速度分布に対して四分位範囲に基づく外れ値判定を行い、周囲の点群から有意に外れた観測点を除外した。これにより、広域的な実シグナルをできるだけ保ったまま、解析異常や局所的ノイズに起因する不自然な速度ベクトルを取り除いた。図 2 に最終的に得られた水平変位速度場を示す。最終的に GEONET 1,224 点、ソフトバンク独自基準点網 2,742 点の変位速度が得られた。

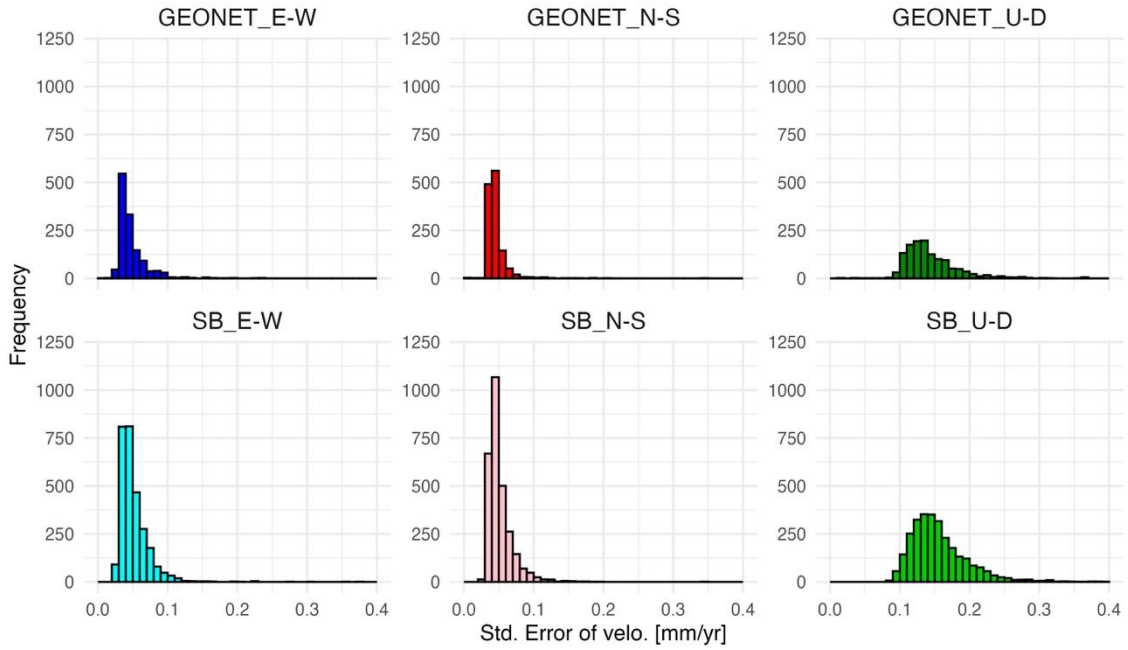


図 1 定常成分の推定誤差（1σ）のヒストグラム。上段は GEONET、下段はソフトバンク独自基準点網を示す。列は左から順に、東西成分、南北成分、上下成分に対応する。

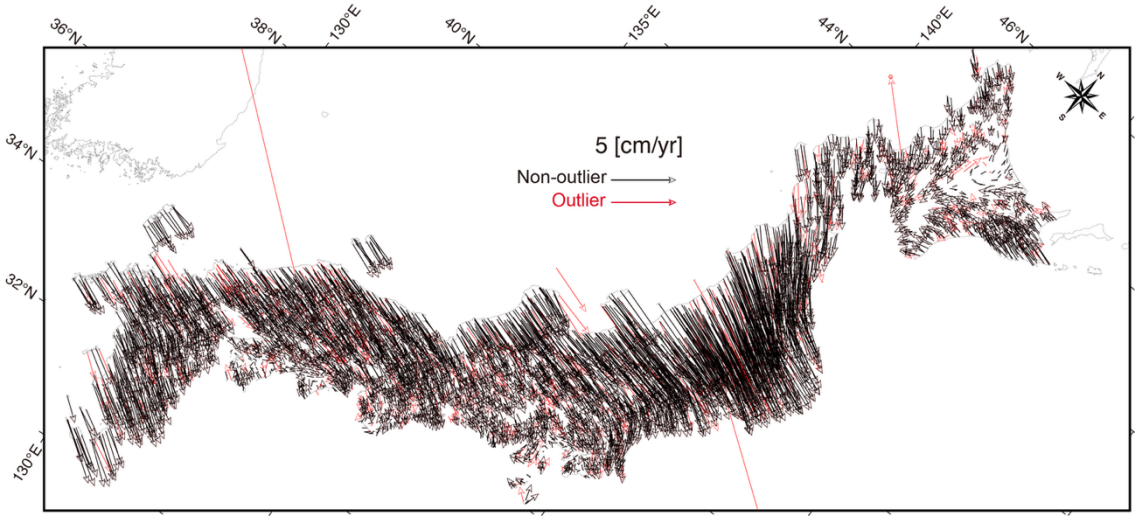


図 2 最終的に得られた 2019 年 11 月から 2023 年 12 月末までの平均変位速度場。赤色ベクトルが階層クラスタリングで除去された外れ値を示し、黒色ベクトルが残存した観測点を示す。

（c）結論並びに今後の課題

令和 7 年度は、GEONET とソフトバンク独自基準点網の日座標値を統一的に解析し、ソフトバンク独自基準点網についても GEONET と同程度の短期的・長期的精度で定常変動成分及び変位速度を推定できることを示した。特に、保守オフセットの半自動検出・除去スキームを構築したことにより、これまで手作業に大きく依存していたソフトバンク独自基準点網データの可用性が大幅に向上し、超高密度 GNSS 観測網を用いた日本列島の詳細な変位速度場推定の基盤が整備された。最終的に、GEONET 1,224 点、ソフトバンク独自基準点網 2,742 点の変位速度を得て、より高密度な地殻変動場の把握が可能であることを確認した。今後は、これら得られた地殻変動場から、地殻ひずみ速度場を抽出することが課題となる。具体的には、観測点の空間分布の不均一性を考慮できる手法や変位場の基底関数展開法等の複数のひずみ速度推定手法を比較検討し、適切なひずみ速度分布を得ることが結果の妥当性を議論する上で重要になる。

（d）引用文献

Matsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe,Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model Around Japan, *Journal of Oceanography*, 56, 567-581, 2000.

Ohta Y. and M. Ohtate, Quality assessment of daily GNSS coordinate time series from the SoftBank proprietary reference network, *Earth Planets Space* 78 (19), https://doi.org/10.1186/s40623-025-02354-y, 2026.

Ohta Y. and M. Ohzono, Potential for crustal deformation monitoring using a dense cell phone carrier global navigation satellite system network, *Earth, Planets Space*, 74:25, 1-9, https://10.1186/s40623-022-01585-7, 2022.

3.5 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 3.2）

(1) 業務の内容

(a) 業務題目　InSAR データを用いた詳細ひずみ速度分布の解明

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人北海道大学理学研究院地球惑星科学部門	准教授	高田　陽一郎
国立大学法人東北大学災害科学国際研究所	教授	福島　洋

(c) 業務の目的

人工衛星搭載型 SAR（合成開口レーダー）衛星のデータを利用し、InSAR（干渉 SAR）時系列解析及び GNSS データの補助により、高空間解像度のひずみ速度場を推定する手法を高度化することを目的とする。また、同手法を国内の複数地域に適用することで詳細なひずみ速度分布を推定し、活断層等の内陸地震の長期評価手法の高度化に資する成果を得る。

(d) 3 か年の年次実施業務の要約

1）令和 7 年度：

陸域観測技術衛星 2 号「だいち 2 号」（ALOS-2）の SAR データを用い、先行研究が進む中部地方（糸魚川－静岡構造線北部及び新潟－神戸ひずみ集中帯東部）を対象に地震間ひずみ速度場を高解像度で検出した。このひずみ速度を求めるにあたってはサブテーマ 3.1 の成果物である GNSS 基準点網の日毎の座標値を用いて精度を高めた。さらにひずみ速度の局在化程度（幅と振幅）を定量的に求め、変形運動を担う地質構造を調べた。また、高度な大気ノイズ補正手法を適用し、精度向上への寄与を評価すると共に、実データへの適用に向けた解析環境の構築と手法の検証を行った。

2）令和 8 年度：

対象地域を中部地方南部、近畿、四国、北海道北部等へ拡大し、InSAR 時系列解析を実施する。衛星データの取得状況に応じ、山陰や東北脊梁ひずみ集中帯も検討対象とする。

3）令和 9 年度：

解析対象地域をさらに拡大し、中央構造線については九州まで含めたシームレスなひずみ速度分布を求める。3 年間の解析結果を比較することで、地域による精度の違いや特徴を定量的に明らかにする。

(2) 令和 7 年度の成果

(a) 業務の要約

「だいち 2 号」の SAR データを用い、活断層等内陸で発生する地震の評価手法の高度化

に資する高空間解像度のひずみ速度場推定手法の高度化を進めた。糸魚川－静岡構造線北部及び新潟－神戸ひずみ集中帯東部を対象として InSAR 時系列解析を実施し、水蒸気遅延、電離圏擾乱及び長波長ノイズの補正を行うと共に、サブテーマ 3.1 の成果である GNSS データも用いて、高精度のひずみ速度場を推定した。その結果、GNSS のみでは十分に把握できない局所的で振幅の大きなひずみ集中域を検出し、既知の活断層との対応や、浅部の固着・未知の伏在断層・非弾性変形の関与を示唆する知見を得た。また、四国地域を対象に広域 InSAR 解析を自動実行する環境を構築すると共に、だいち 2 号への時系列解析手法の適用及び稠密 GNSS データを用いた対流圏遅延補正手法の開発を進め、最大 36%のノイズ低減を確認した。これらの成果により、広域かつ高精度に微小な地殻変動を検出する基盤を整備した。

（b）業務の成果

1）北海道大学

糸魚川－静岡構造線北部及び新潟－神戸ひずみ集中帯東部を含む領域において、「だいち 2 号」が撮像した合成開口レーダー（SAR）画像を用いて InSAR 時系列解析を行い、高空間分解能の速度場を検出した（図 1）。期間は 2014 年から 2023 年までとして能登半島地震の影響の混入を避けた。各干渉画像を水蒸気補正遅延ツール GACOS を用いて補正し、Nagaoka et al. (2025)に従って改良を加えた帯域分割法を用いて電離層擾乱に伴うノイズを補正した。さらに干渉画像に含まれる長波長のノイズを GNSS データを用いて Takada et al. (2018)の手法に従って補正した。

次に GEONET、大学独自観測点、及びソフトバンク独自基準点網の観測点から南北速度場を求め、これを Kriging 法を用いて東西・上下速度場の全ての点に内挿した。このうちソフトバンク独自基準点網の速度は、サブテーマ 3.1 で得られた日座標値解析の成果に基づく。最後に研究領域全体から 1 km 間隔の格子状にひずみを計算する点を抽出する。次に、各点から半径 15 km 以内のグリッドの速度を空間の一次関数で最小二乗フィッティングすることで各点における速度勾配を計算し、さらにこの速度勾配を用いてひずみ速度テンソルを計算した。図 2 に従来どおり GNSS のみを用いて Shen et al. (1996)の手法で求めた面積ひずみ速度と、本研究で求めた面積ひずみ速度を示す。

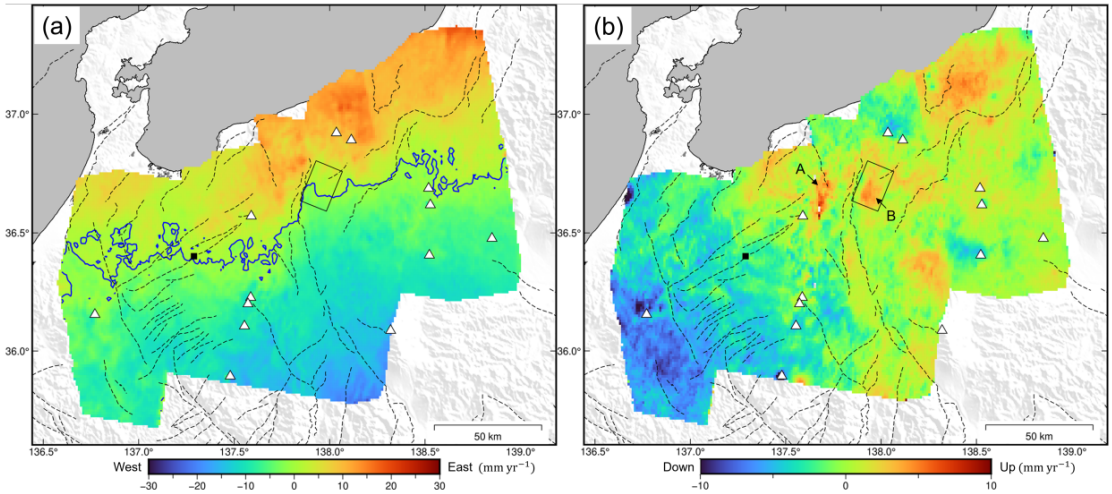


図 1 糸魚川－静岡構造線北部及び新潟ー神戸ひずみ集中帯東部の速度場
（左）東西速度場、（右）上下速度場。点線は活断層。三角は活火山。東西速度場に描かれた青線は 0 mm/yr のコンター。上下速度場の A は飛騨山脈北部の急速な隆起を示す。B と黒枠は 2014 年長野県北部地震の余効変動に伴う隆起と地震断層を示す。

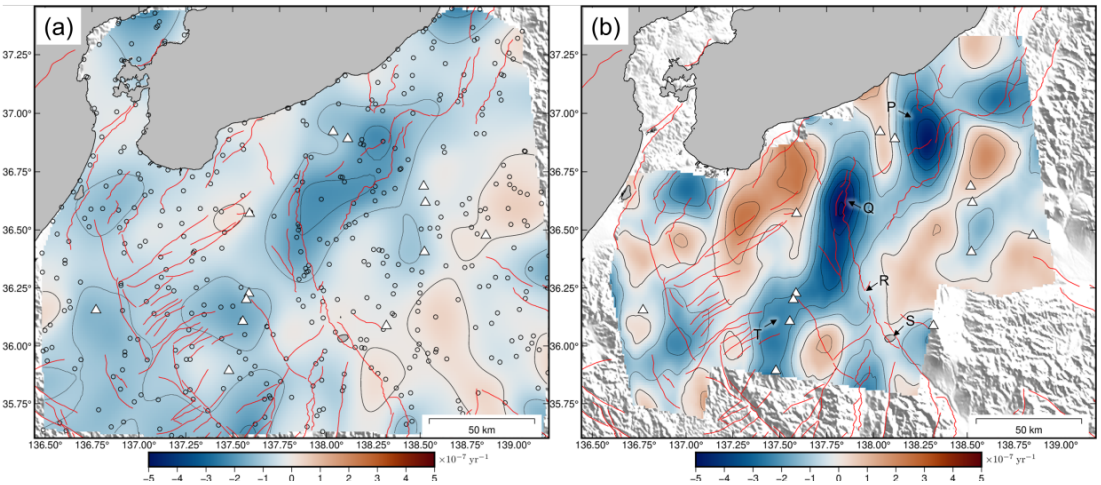


図 2 面積ひずみ速度場
（左）GNSS のみ、（右）本研究（InSAR と GNSS）。赤線は活断層。三角は活火山。コンター間隔は 1×10^{-7}/yr。左図の丸は GNSS 観測点。青（負）は短縮、赤（正）は膨張を示す。

図 2 から、InSAR を用いた結果の方が全般にひずみ速度の値が大きいことが分かる。また特に糸魚川－静岡構造線北部（図 2b の Q から R）にかけて強い短縮が発生していることが分かる。このシグナルは神城断層の運動と関係している可能性が高いものの、神城断層の長期的なすべり速度（4.4～5.4 mm/yr）（Matsuta et al., 2004）ではこのひずみ速度を説明することはできないため、未知の伏在断層や非弾性ひずみが大きく関与している可能性がある。また直江津から長野市にかけて（図 2b の P）にも強い圧縮が検出されて

おり、国土地理院による 80 年間に及ぶ三辺測量（鷺谷・多田，1998）の結果と調和的である。糸魚川－静岡構造線の南部は諏訪湖（図 2b S）から南よりも飛騨山脈の南方延長（図 2b T）へひずみが集中しているように見える。図 3 にこのひずみ速度場の断面図と既知の活断層を比較した結果を示す。CC'を見ると活断層とひずみ速度の局在点は良く一致している。しかしそれ以外の場所では若干ずれている。この原因は現時点では分からないが、一般的に活断層の浅部が固着して深部がすべっていることから、このようなズレが発生するのは自然である。逆にこのズレから活断層がどの程度の深さまで固着しているかを推定する試みが重要であろう。

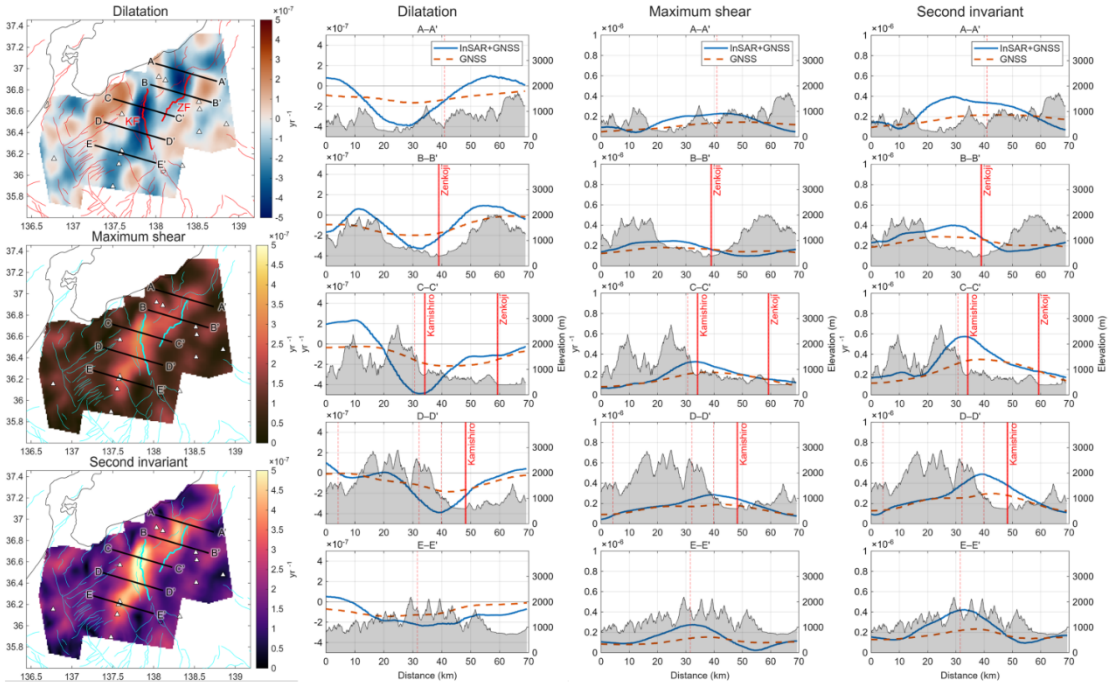


図 3 ひずみ速度場と活断層の比較
（左列）上から面積ひずみ速度、最大せん断ひずみ速度、第二不変量。（右）左列に示した測線（AA'から EE'）上でのひずみ速度と地形。青線が本研究（InSAR+GNSS）、点線は GNSS のみ。赤線は活断層。

図 4 に最大せん断ひずみ速度とひずみ速度テンソルの第二不変量、及びひずみ速度の主軸を示す。最大せん断ひずみ速度を見ると新潟－神戸ひずみ集中帯は全体として高いひずみ速度を保った一連の領域であるが、屈曲していることが分かる。さらに圧縮の主軸が北西－南東方向に伸びており、この地域で発生する地震のメカニズム解から推定した絶対応力場（Terakawa and Matsu'ura, 2010）の最大圧縮方向と整合的である。

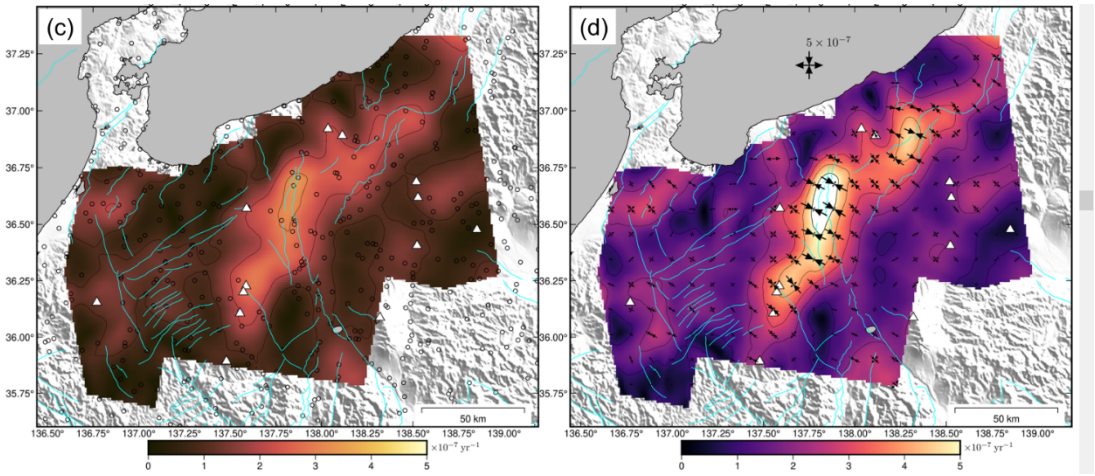


図 4 最大せん断ひずみ速度（左）と第二不変量（右）
青線は活断層、三角は活火山、矢印はひずみ速度の主軸を示す。

2）東北大学災害科学国際研究所

最初に、四国地域において大量の InSAR 解析を高精度に自動実行するための環境構築を行った。四国地域をカバーする「だいち 2 号」の観測データを、関連研究機関のサーバーより取得した。単一の観測画像では網羅できる範囲が限定されるため、複数の画像を南北方向に結合し、広域な干渉画像を一括して生成するプログラムを開発した。これにより、広範囲にわたる地殻変動をシームレスに把握することが可能となった。さらに、日本の衛星が使用する L バンド電波において課題となる電離圏の乱れ（ノイズ）に対し、帯域分割法を用いた補正処理を実施した。補正パラメーターの最適化を図ることで、広域的な解析の妨げとなる長波長ノイズの低減を確認した。解析システムの自動実行を妨げていた設定ファイルの読み込みエラー要因に対し、データ形式を調整する処理を導入することで、大量のデータを連続して処理するための安定性を確保した。また、地形の影響による誤差を補正する過程で生じていたデータ互換性の問題を修正し、解析精度の向上を図った。

次に、衛星データを用いて地表の微小な変形を捉える「InSAR 時系列解析手法」の高度化と実データへの適用検証を目的に、四国東部地域において解析を実施した。具体的には、もともと「Sentinel-1」衛星用に開発された解析ツール「LiCSBAS」を、日本の L バンド衛星「だいち 2 号」へ適用するための解析パイプラインを構築した。特に、広域解析を可能にするため、断片的な画像データ（複数フレーム SLC）を自動で繋ぎ合わせる連結処理スクリプトを開発した。

最後に、高度な大気ノイズ補正手法の適用により、地殻変動検出のさらなる高精度化を図った。具体的には、国土地理院の GEONET に加え、ソフトバンク独自基準点網による超稠密な GNSS データから推定した対流圏遅延量を用いて補正を行う手法を構築した。四国東部をテストフィールドとして検証した結果、最大 36%のノイズ削減を達成し（図 5）、当手法の有効性を実証した。この成果により、微小な地殻変動シグナルを抽出する際の最大のハードルである複雑な大気遅延ノイズを大幅に低減し、精度向上に大きく寄与する手法であることを確認した。

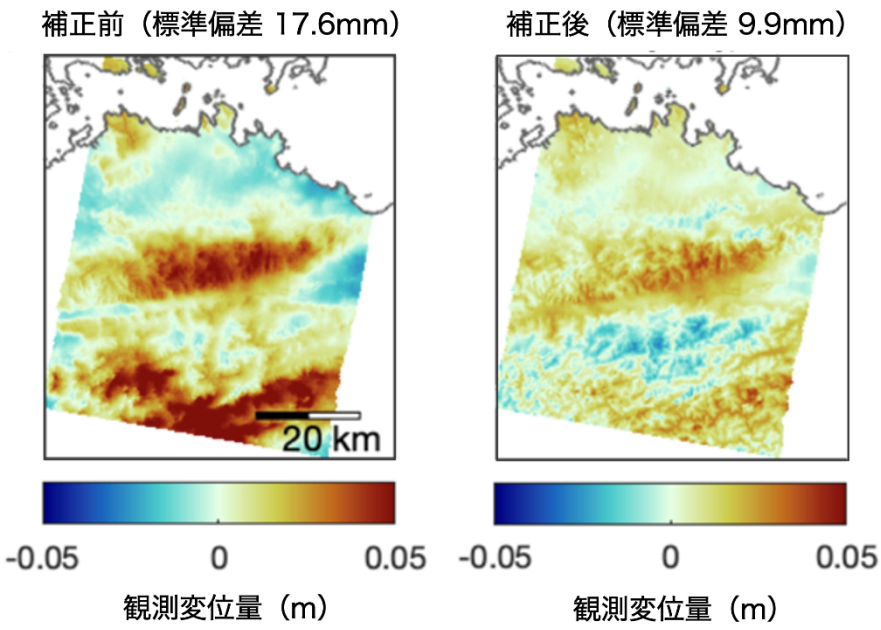


図 5 四国東部における稠密 GNSS データを用いた対流圏遅延ノイズ補正の実施例。
「だいち 2 号」による干渉解析結果（2023 年 3 月 17 日～5 月 12 日）に対し、GEONET 及びソフトバンク独自基準点網のデータを用いて補正を行った。補正前（左）に卓越していた対流圏遅延由来のノイズが、補正後（右）には大幅に低減されている。

(c) 結論並びに今後の課題

「だいち 2 号」の SAR データを用いた InSAR 解析手法の高度化により、活断層等内陸で発生する地震の評価手法の高度化に資する高空間解像度のひずみ速度場推定の基盤を整備した。特に、糸魚川－静岡構造線北部及び新潟－神戸ひずみ集中帯東部においては、GNSS のみでは十分に把握できない局所的で振幅の大きなひずみ集中域を検出し、既知の活断層との対応や、伏在断層あるいは非弾性変形の関与を示唆する知見を得た。また、ひずみ集中域と活断層トレースのずれは、活断層浅部の固着と深部すべりを反映している可能性があり、断層の固着深度を推定する上でも重要な知見が得られた。四国地域においては、広域 InSAR 解析の自動実行環境及び高精度な大気遅延補正手法を構築し、地殻変動を高精度に検出するための技術的基盤を整備した。今後は、解析対象地域を順次拡大すると共に、活断層分布、地質構造及び応力場との比較検討を進めることで、ひずみ集中の成因、活断層浅部の固着深度、及び地震発生場との関係をより定量的に明らかにする必要がある。

(d) 引用文献

Matsuta, N., Ikeda, Y. and H. Sato, The slip-rate along the northern Itoigawa-Shizuoka tectonic line active fault system, central Japan. Earth, Planets and Space, 56, 1323–1330, 2004.

Nagaoka, S., Takada, Y. and Y. Morishita, Improved application of the split-spectrum method to L-band interferograms for ionospheric phase mitigation: a practical recipe. Earth, Planets and Space, 77, 82, 2025.

鷺谷威・多田堯，日本海東縁部の地殻変動とテクトニクス，月刊地球, 20, 515-521, 1998.
Shen, Z.-K., Jackson, D. D. and B.X. Ge, Crustal deformation across and beyond the Los Angeles basin from geodetic measurements. Journal of Geophysical Research, 101, 957–984, 1996.
Takada, Y., Sagiya, T. and T. Nishimura, Interseismic crustal deformation in and around the Atotsugawa fault system, central Japan, detected by InSAR and GNSS. Earth, Planets and Space, 70, 32, 2018.
Terakawa, T. and M. Matsu'ura, The 3-D tectonic stress fields in and around Japan inverted from centroid moment tensor data of seismic events. Tectonics, 29, 2010.

3.6 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 3.3）

(1) 業務の内容

(a) 業務題目　「測地観測データを用いた長期予測手法の高度化」

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	教授	西村　卓也
国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	特定研究員	Dhanya Thomas
国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	オフィスアシスタント	平子　豪
国土交通省国土地理院地理地殻活動研究センター	センター長	矢来　博司
国土交通省国土地理院地理地殻活動研究センター地殻変動研究室	室長	宗包　浩志

(c) 業務の目的

GNSS や InSAR などの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共に、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。

(d) 3 か年の年次実施業務の要約

1）令和 7 年度：

測地学的手法により観測されたひずみ速度から内陸地震を発生させる弾性ひずみを抽出するために、過去の大地震に伴う粘弾性緩和を原因とする余効変動の影響を定量的に見積もり、補正する手法を開発した。近年の地震の余効変動の解析結果から推定された地下の粘弾性構造を用いて、現在のひずみ速度場に有意な影響を与える地震の規模と発生年の範囲を見積もり、必要に応じて過去の地震の震源断層モデルを構築することで、現在の変位・ひずみ速度に対する補正速度の計算を行った。

2）令和 8 年度：

測地学的手法により観測されたひずみ速度から内陸地震を発生させる弾性ひずみを抽出するために、プレート沈み込み帯におけるプレート間固着などの影響に関する評価を行い、現在の観測変位・ひずみ速度に対する補正を行うための計算手順の整理を行う。また、測地学的データを用いた活断層のすべり欠損速度の推定手法の開発を行う。

3）令和 9 年度：

前年度までに観測されたひずみ速度に対する補正手順を確立する予定であるが、補正後のひずみ速度にも地震を引き起こさない非弾性変形が含まれている可能性が高い。弾性変形と非弾性変形の比を推定するために、サブテーマ 1 及び 2 などの結

果を踏まえた過去の地震活動データを用い、地域依存性を含めた検討を行って、全国の測地観測データを用いた地震発生確率の試算を行う。

(2) 令和 7 年度の成果

(a) 業務の要約

本業務は、日本列島で現在観測されている地殻変動に含まれる過去の大地震による粘弾性緩和による余効変動の影響を定量評価することを目的とした。粘弾性緩和による余効変動は数十年から数世紀に及ぶため、地震間の地殻変動評価や地震ハザード評価に重要である。計算コスト削減のため、粘弾性計算プログラム VISCO1D を用いてマグニチュード、経過時間、断層タイプに応じた影響範囲（臨界半径）の経験則を構築し、有意な余効変動をもたらす地震を抽出した。その結果、599 年以降の 2,425 地震のうち 34 地震が現在も影響を持つと判明した。特に 2011 年東北地方太平洋沖地震の寄与が最大であり、余効変動は主に東北日本に集中する一方、南海トラフ沿いでも継続が確認された。これらを合算すると最大約 76 mm/年に達し、余効変動が現在の地殻変動解釈において無視できないことを示した。

(b) 業務の成果

大地震の発生後に観測される地震前とは傾向の異なる地殻変動は余効変動と呼ばれる。余効変動の原因として、余効すべり、粘弾性緩和、間隙弾性反発の 3 つの主要なメカニズムがあることが知られているが、地震が発生するリソスフェアの下にあるアセノスフェアの粘弾性緩和による余効変動（例えば、Nur and Mavko, 1974）は大地震の後、数十年から数世紀にわたって継続することがある。そのため、現在 GNSS 等によって観測されている地殻変動には、過去の地震に伴う余効変動の影響が含まれている可能性がある。この余効変動の影響を定量化することは、長期的な地震間地殻変動の推定や、地震ハザード評価の精度向上にとって重要であるため、本業務では、現在の日本列島で観測されている地殻変動に影響を及ぼしている過去の大地震に起因する変位速度とひずみ速度の定量的な評価を行った。

歴史上、日本列島には多くの大地震が発生しているが、全ての大地震による粘弾性緩和による余効変動を計算するのは計算コストが膨大となってしまう。そのため、過去の大地震のうち、現在の地殻変動に有意な寄与をしている地震のみを抽出することが望ましい。この抽出を行うため、地震後の粘弾性変形の計算コード VISCO1D（Pollitz, 1997）を用いて、地震のマグニチュード（M_w）、発生からの経過時間（t）、及び断層タイプ（逆断層、横ずれ断層、正断層）とテクトニック環境（地殻内地震、海溝型地震）別に、有意な余効変動が期待される震源からの影響範囲に関する経験則を導出した。余効変動の計算のための地殻構造として、深さ方向のみに変化する 1 次元の成層構造とし、地殻内地震の場合は厚さ 30 km、海溝型地震の場合は厚さ 60km の弾性層と、その深部（地殻内地震の場合：深さ 30～220 km、海溝型地震の場合：深さ 60～220 km）のアセノスフェアに対応する層にはバーガース粘弾性体を仮定した。アセノスフェアのマクスウェル粘性率とケルビン粘性率は、それぞれ 1×10^{19} Pa・s 及び 5×10^{17} Pa・s と仮定した。また、深さ 220～660 km の上部マントルに対応する層については、マクスウェル粘性率を 1×10^{20} Pa・s とするマク

スウェル粘弾性体モデルを適用した（図 1)。弾性定数については、PREM（Dziewonski et al., 1981）の値を採用した。地震の震源断層の長さ、幅、すべり量については、2 つの発生環境（地殻内地震と海溝型地震）と 3 つの断層タイプ（逆断層（TH)、横ずれ断層（SS)、正断層（NF)）についてそれぞれの標準的なスケーリング則を用いて、マグニチュード M_w 6.0〜9.5 の範囲に対する具体的な値を決定した。計算領域は、日本列島を中心とする 15° × 15° の領域とし、0.5° 間隔の等間隔グリッドにおいて、VISCO1D を用いて地表での変位速度とひずみ速度の時空間的変化を計算した（図 2)。

速度については 0.5 mm/年、ひずみ率については 20 nanostrain/年をしきい値として採用し、各マグニチュード及び断層タイプについて、計算した変位速度とひずみ速度がしきい値を超えて継続する最大距離と最大期間を推定した。その後、マグニチュードと断層タイプ毎に、変位速度とひずみ速度がしきい値を下回る震源距離（以下「R_{crit}：臨界半径」という。）を算出した。図 3 に、逆断層型沈み込みイベントにおける R_{crit} の時間的変化の例を示す。R_{crit} は一般的に地震のマグニチュードとともに増加し、規模の大きいイベントほど、変位・ひずみ速度の両方がより長期間継続することが分かった。臨界半径が 1,500 km に収束しているのは、モデル領域を有限にしたためそれ以上の距離を評価できなかった見かけ上のものである。次に、これらのモデル出力を用いて、(M_w, $\log_{10}$t）空間内の不規則な間隔で配置されたデータ点に対して区間線形補間を適用し、地震のマグニチュード(M_w)、経過時間（t)、及び影響を受ける領域（R_{crit}）の間の経験的関係を構築した（図 4)。補間された曲面は、元となる VISCO1D の計算結果をかなりよく再現している。さらに、この経験的関係を用いて、現在観測されている地殻変動に有意な余効変動が含まれる可能性のある過去の地震を抽出した。そして、抽出された各地震に対して VISCO1D を用いて粘弾性変形を計算し、2026 年 1 月 1 日時点における、過去の地震に起因する粘弾性緩和による余効変動の変位・ひずみ速度の合計を計算した。

VISCO1D の計算結果から、地殻内地震と海溝型地震の両方について、大規模な地震の後、数年から数世紀にわたり、粘弾性緩和による余効変動が継続することが明らかになった。ここで仮定したしきい値に基づく継続期間は、水平変位速度に対する継続期間がひずみ速度に対するものよりも長く、海溝型地震の場合の方がその傾向が顕著であることが分かった。例えば、M_w 7.9 の逆断層型地殻内地震の場合、地震後にひずみ速度がしきい値(≥20 nanostrain/年）を超えて 212 年間継続し、水平変位速度（≥ 0.5 mm/年）は 287 年間継続する。M_w 7.9 の逆断層型海溝型地震の場合、対応する継続期間はひずみ速度で 87 年、水平変位速度で 137 年となる。M_w 9.5 の逆断層型海溝型地震の場合、地震後のひずみ速度と水平変位速度は、それぞれ 360 年と 1734 年間しきい値を超えて継続することが分かった（図 5)。

上記のような計算手法により、西暦 599 年から 2025 年までの歴史地震に対する余効変動の有無を、国土地理院 GEONET 電子基準点及びソフトバンク独自基準点の位置において調査した。宇津（1990）と気象庁一元化震源に基づく 2,425 個の地震を対象に、地震のマグニチュード、経過時間、及び影響範囲を評価した。2026 年 1 月 1 日時点で有意な余効変動が継続していると特定された地震は、計 34 地震であった（表 1)。解析領域において、有意な余効変動を生じている最古の地震は、1854 年安政東海地震（M_w8.38）であり、現在の地殻変動に対する広範囲な余効変動を及ぼしている地震としては、M_w9.1 の 2011 年東北地方太平洋沖地震が挙げられる。図 6 は、これら 34 個の地震について、水平変位速度

と上下変位速度の和を示したもので、余効変動が主に東北日本に集中していることが分かる。図 7 は、水平変位速度の絶対値と面積ひずみ速度の分布であるが、これらも東北日本で過去の地震による余効変動が大きいことを示すとともに、南海トラフ沿いの西南日本においても、1944 年の東南海地震及び 1946 年の南海地震に関連する余効変動が、振幅は小さいもの現在でも継続していることが分かる。余効変動が現在も続いている 34 地震の地震名と規模（M_w）及び 2026 年 1 月 1 日現在の変位速度は、表 1 にまとめられている。2026 年 1 月 1 日現在の余効変動は 2025 年 12 月 8 日に発生した青森県東方沖の地震によるものが最大であるが、これは地震発生直後の時期で計算したためであり、広域に対する影響という意味では、前述のとおり東北地方太平洋沖地震の影響が大きい。34 個の大地震の余効変動を合計すると、水平変位速度の最大値は 169 mm/年に達し、地震後の粘弾性緩和による余効変動が現在の地殻変動を解釈する上で、無視できないことが示された。

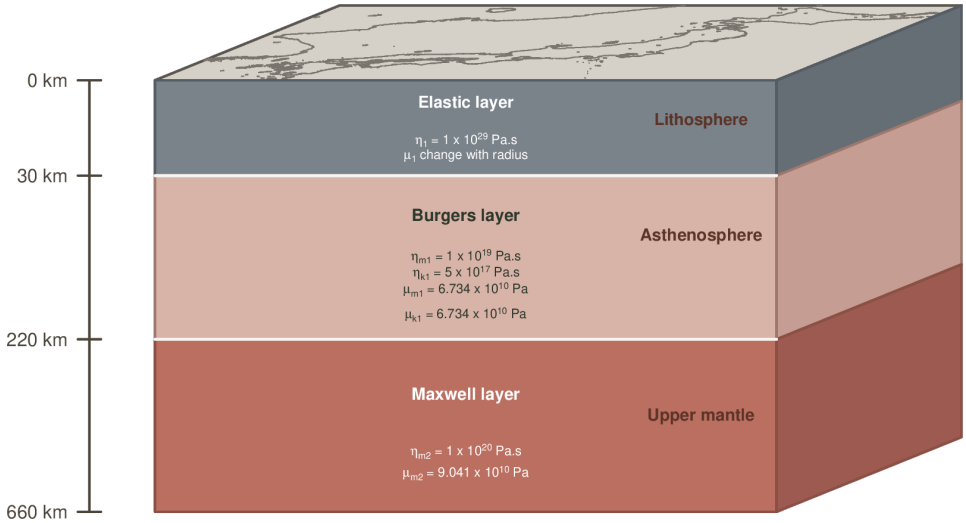


図 1 粘弾性緩和の計算に用いた 1 次元地下構造の模式図（地殻内地震の場合）。弾性リソスフェア、バーガース粘弾性アセノスフェア、マクスウェル粘弾性上部マントルからなる。

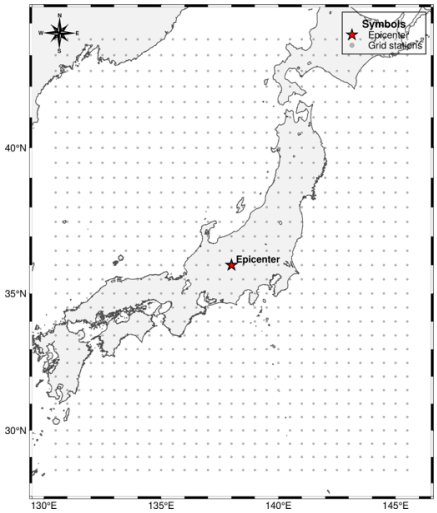


図 2 本研究におけるモデル計算領域。

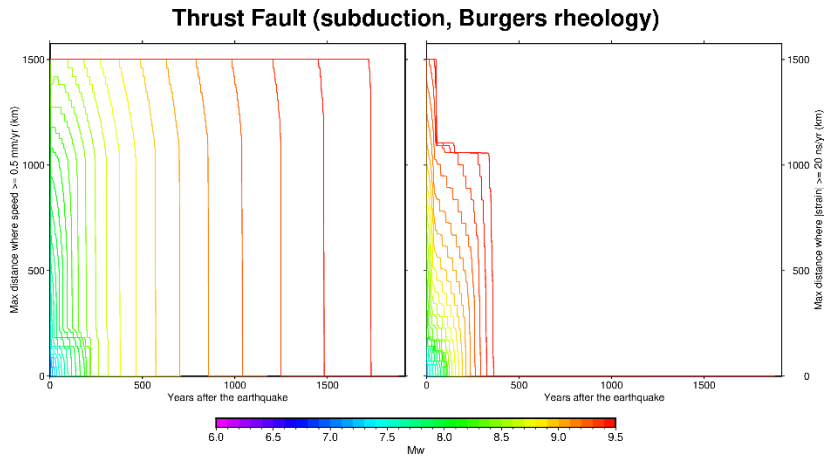


図 3 逆断層型海溝型地震における臨界半径（R_{crit}）の時間的変化。左の図は、水平変位速度が 0.5 mm/年を超える最大距離を示し、右の図は、ひずみ速度が 20 nanostrain/年を超える最大距離を、地震からの経過時間の関数として示す。図中の線の色は、地震のマグニチュード（M_w 6.0～9.5）を表す。

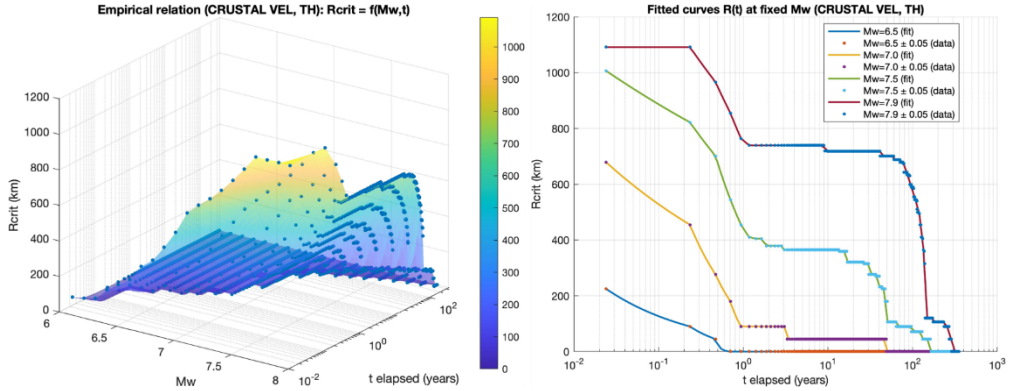


図 4 逆断層型地殻内地震について、地震のマグニチュード（M_w）、経過時間（t）、及び臨界半径（R_{crit}）の経験的関係。左図は、粘弾性余効変動の計算値の R_{crit} を(M_w, $\log_{10}$t)空間にプロットしたものであり、右図は、ある特定のマグニチュードにおける R_{crit}(t)の近似曲線と、それに対応するモデル結果を比較したもの。補間した曲線は、VISCO1D による実計算値をよく再現している。

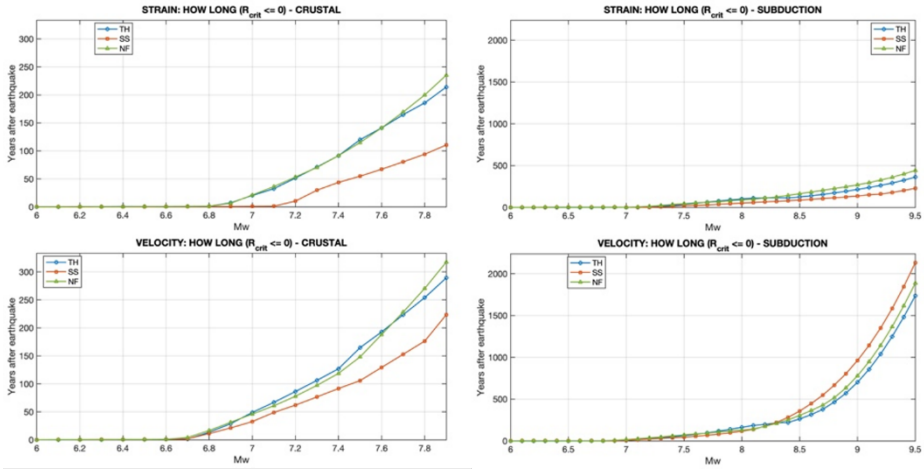


図 5 R_{crit} が 0 になる地震からの経過時間。上段はひずみ速度、下段は水平変位速度に関する図。左の列の図は地殻内地震の場合を示し、右の列の図は海溝型地震の場合を示す。青、赤、緑の曲線は、それぞれ逆断層（TH）、横ずれ断層（SS）、正断層（NF）型の地震を表す。

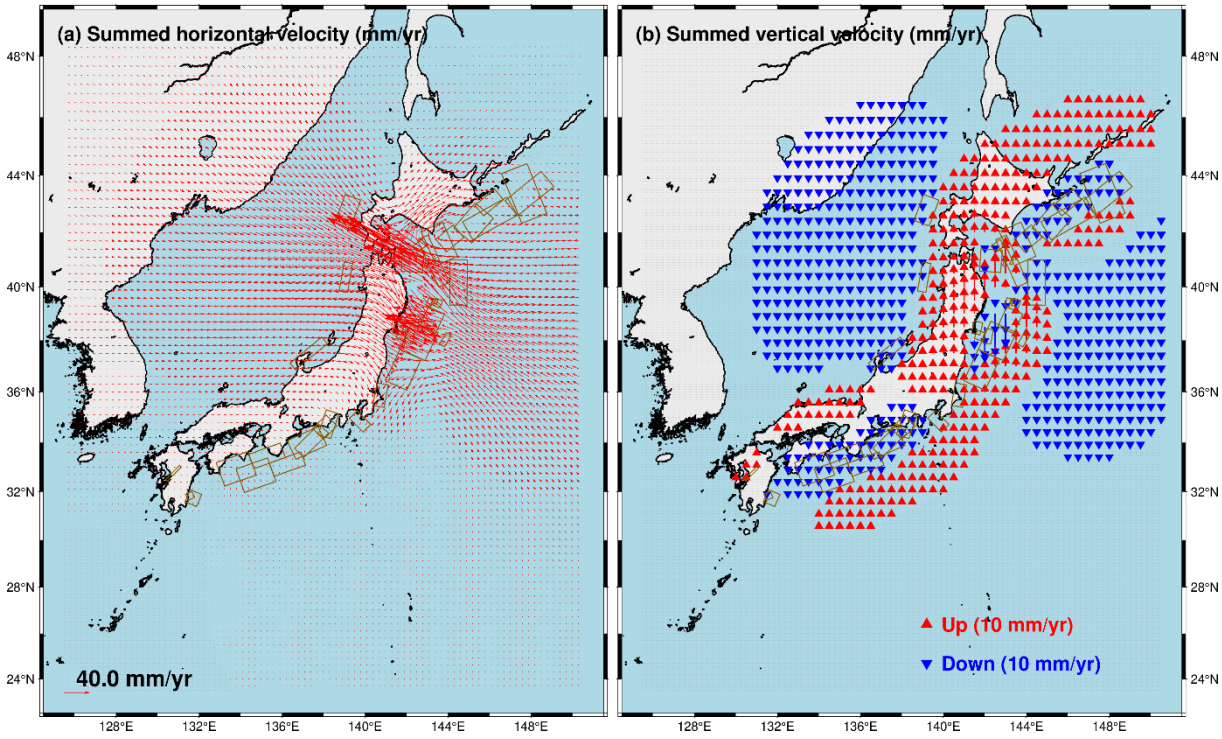


図 6 2026 年 1 月 1 日時点での過去の大地震の粘弾性緩和による余効変動の計算値の総和。（a）水平変位速度ベクトル。（b）上下変位速度分布。

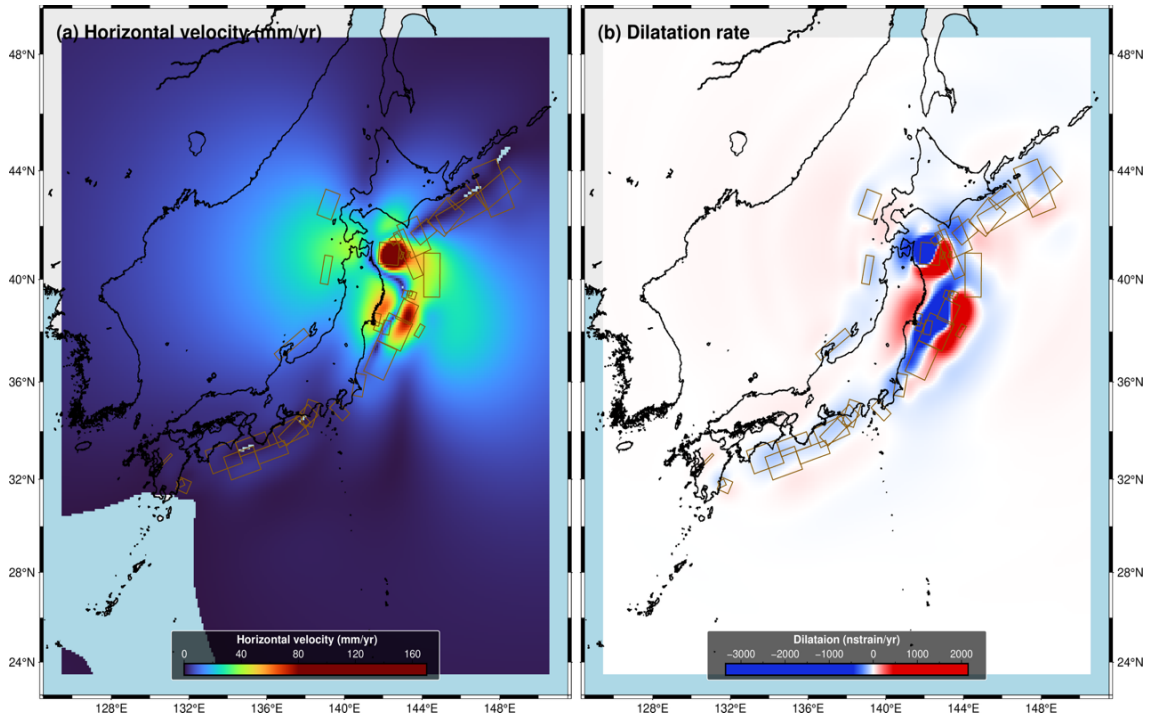


図 7 2026 年 1 月 1 日時点での過去の大地震の粘弾性緩和による余効変動の計算値の総和の分布。(a)水平変位速度の絶対値。(b) 面積ひずみ速度。

表 1 2026 年 1 月 1 日時点で有意な粘弾性緩和による余効変動を生じさせる過去の大地震の一覧表。最大変位速度は、水平成分の最大変位速度を表す。

番号	発生時刻（UTC）	Mw	断層タイプ	地震名	最大変位速度（mm/年）
1	1854-12-23 00:00:00	8.38	逆断層	1854 年安政東海地震	0.7
2	1854-12-24 07:00:00	8.54	逆断層	1854 年安政南海地震	1.1
3	1894-03-22 10:23:00	8.30	逆断層	1894 年根室沖地震	1.3
4	1896-06-15 10:32:00	8.45	逆断層	1896 年明治三陸地震	1.7
5	1923-09-01 02:58:32	7.92	逆断層	1923 年関東地震	0.7
6	1933-03-02 17:30:48	8.35	正断層	1933 年昭和三陸地震	1.0
7	1944-12-07 04:35:40	8.15	逆断層	1944 年東南海地震	2.3
8	1946-12-20 19:19:04	8.37	逆断層	1946 年南海地震	3.1
9	1952-03-04 01:22:44	8.17	逆断層	1952 年十勝沖地震	1.6
10	1968-05-16 00:48:55	8.22	逆断層	1968 年十勝沖地震	2.6
11	1968-05-16 10:39:02	7.57	正断層	1968 年十勝沖地震の余震	1.2
12	1969-08-11 21:27:36	8.00	逆断層	1969 年色丹島沖地震	1.9
13	1973-06-17 03:55:02	7.80	逆断層	1973 年根室半島沖地震	1.8
14	1978-06-12 08:14:25	7.59	逆断層	1978 年宮城県沖地震	1.7
15	1983-05-26 02:59:57	7.80	逆断層	1983 年日本海中部地震	2.5
16	1993-07-12 13:17:11	7.70	逆断層	1993 年北海道南西沖地震	1.8
17	1994-10-04 13:22:57	8.32	横ずれ	1994 年北海道東方沖地震	3.4
18	1999-09-20 17:47:29	7.70	逆断層	1999 年台湾集集地震	0.6
19	2003-09-25 19:50:07	8.00	逆断層	2003 年十勝沖地震	4.1
20	2011-03-11 05:46:18	9.10	逆断層	2011 年東北地方太平洋沖地震	82.5
21	2011-03-11 06:08:53	7.24	逆断層	2011 年東北地方太平洋沖地震余震（岩手県沖）	1.1
22	2011-03-11 06:15:34	7.76	逆断層	2011 年東北地方太平洋沖地震余震（茨城県沖）	4.9
23	2012-12-07 08:18:31	7.30	逆断層	2012 年三陸沖の地震	1.3
24	2016-04-15 16:25:05	7.04	横ずれ	2016 年熊本地震	0.7
25	2021-03-20 09:09:45	7.05	逆断層	2021 年宮城県沖の地震	1.1
26	2021-05-01 01:27:27	6.90	逆断層	2021 年宮城県沖の地震	0.9
27	2024-01-01 07:10:23	7.51	逆断層	2024 年能登半島地震	2.1
28	2024-08-08 07:42:56	7.05	逆断層	2024 年日向灘の地震	1.0
29	2025-01-13 12:19:33	6.80	逆断層	2025 年日向灘の地震	0.9
30	2025-11-09 08:03:39	6.80	逆断層	2025 年三陸沖の地震	6.7
31	2025-11-09 08:54:39	6.40	逆断層	2025 年三陸沖の地震の余震	1.0
32	2025-12-08 14:15:10	7.56	逆断層	2025 年青森県東方沖の地震	182.2
33	2025-12-08 21:52:43	6.60	逆断層	2025 年青森県東方沖の地震の余震	4.8
34	2025-12-12 02:44:13	6.70	逆断層	2025 年三陸沖の地震	7.0

(c) 結論並びに今後の課題

令和 7 年度は、粘弾性緩和による余効変動計算プログラム VISCO1D を用いて、過去の大地震による余効変動の現在の地殻変動場における影響量を定量的に見積もった。過去の余効変動の影響を適正に補正することにより、長期的な地震間地殻変動を推定することができるため、内陸地震の長期予測の精度向上にも役立つと考えられる。しかし、今回計算した余効変動は単純な粘弾性構造を仮定しているため、東北地方太平洋沖地震のような余効変動が大きい場合に誤差が大きく、震源に近い場所では補正が必ずしも有効でないことも考えられる。そのような地震に対しては、時系列データに対する関数フィッティングによる補正の方が有効な場合も考えられるので、実際の補正を行う場合には、両者の結果を比較して適切な方法を選択する必要がある。

(d) 引用文献

Nur, A., and Mavko, G., Postseismic viscoelastic rebound, Science, 183(4121), 204-206, 1974.

Pollitz, F. F. Gravitational viscoelastic postseismic relaxation on a layered spherical Earth. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 102(B8), 17921-17941, 1997.

Dziewonski, A. and Anderson, D., Preliminary reference Earth model. Physics of the Earth and Planetary Interiors. 25 (4): 297–356, 1981.

宇津徳治，世界の被害地震の表（古代から 1989 年まで），宇津徳治，東京，243 p, 1990.

3.7 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 4.1）

(1) 業務の内容

(a) 業務題目　異なるデータに基づく長期予測モデルの統合手法検討

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	教授	西村　卓也
国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	特定研究員	Dhanya Thomas
国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	非常勤研究員	西山　昭仁
国立大学法人東京大学地震研究所附属地震予知研究センター	教授	加藤　愛太郎
国立研究開発法人防災科学技術研究所巨大地変災害研究領域地震津波防災研究部門	主任研究員	久保　久彦
国立研究開発法人防災科学技術研究所巨大地変災害研究領域地震津波防災研究部門	特別研究員	上田　拓

(c) 業務の目的

地震活動データや測地観測データに基づく内陸地震の長期予測モデルと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等について地球科学的解釈を行うとともに、複数の予測モデルを統合する手法について検討を行う。

(d) 3 か年の年次実施業務の要約

1) 令和 7 年度：

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等の文献調査により、その手法の特徴や簡便性等の特徴を整理した。

2) 令和 8 年度：

前年度に引き続き、先行研究で行われている各種データを用いた予測モデルの統合手法の特徴を検討するとともに、日本列島を対象とした各種モデルの比較と統合モデルの試算を開始する。

3) 令和 9 年度：

各サブテーマの成果から試算された地震発生確率の比較を行うとともに、活断層に基づく長期評価とも統合した地震発生確率の試算を行う。

(2) 令和 7 年度の成果

(a) 業務の要約

米国及びニュージーランドの最新地震動予測モデルにおけるデータ統合と不確実性評価の手法を概説する。両モデルは「グランド・インバージョン」を用い、地質・測地・地震学的な多岐にわたるデータを統合している。特に、分散地震活動モデルでは、ひずみ速度などの「共変量（補助的な空間データ）」を統計的に最適化することで予測精度を高めている。また、ロジックツリーの重み付けには、専門家への「校正質問」を通じて回答の信頼性を数値化する「構造化された専門家の意見集約」過程を導入し、主観的バイアスの排除と客観的な不確実性の定量化を実現している。

(b) 業務の成果

近年、諸外国において確率論的地震動予測（PSHA）の更新が相次いで行われている。特に、米国の全国地震ハザードモデル（以下「NSHM」という。）2023 年版とニュージーランドの NSHM 2022 年版の更新は、科学的データの統合手法に画期的な進歩をもたらしている。今年度、本サブテーマでは、引用文献リストに列挙された文献を収集し、生成 AI（Google 社の NotebookLM）を用いて、米国（NSHM 2023; Petersen et al., 2023）及びニュージーランド（NSHM 2022; Gerstenberger et al., 2024）における最新の確率論的地震動予測（PSHA）モデルを対象に、地震学、測地学、地質学データの統合手法とその意義について調査し、成果の要約と表現の整理を行った。最終的な内容の妥当性は、担当者が確認している。

これらの全国地震ハザードモデルでは、従来の地質学的な断層データに加えて、測地学的な地殻変動データや統計学的な地震活動情報を高度に統合する手法が用いられている。特に、米国カリフォルニア州の UCERF3（統一カリフォルニア地震発生予測第 3 版）モデルで開発された「グランド・インバージョン」レシピ（Page et al., 2014）は、その技術的基盤として重要な役割を果たした。この手法は、断層のすべり速度、過去の地震発生履歴、古地震学データ、及び地震カタログに基づくマグニチュード・頻度分布といった複数の独立した科学制約条件を、一つの統計的モデルの中で同時に満足させるように調整する逆解析手法である。また、ニュージーランドの 2022 年版モデル（図 1）では、震源が特定されない未知の断層による地震活動を評価する背景地震活動モデル（DSM）において、「共変量（Covariates）」を用いたハイブリッド手法が採用された。ここで「共変量」とは、主目的である地震発生率の予測を補助するために用いられる、空間的に分布・独立したデータセットを指す。具体的には、空間的に平滑化された過去の地震活動データ（Gerstenberger et al., 2024）に加え、地殻の物理的な変形を示す測地学的なひずみ速度（Maurer et al., 2023）、あるいは既知の断層やプレート境界からの距離といった複数の空間データが変量として扱われる。これらの共変量を乗算的に組み合わせ、統計的に最適化することで、歴史的な記録が乏しい地域における将来のリスク予測精度を向上させている。

また、これら最新モデルの重要な特徴は、認識論的不確実性の明示的な定量化であり、これは複数の科学的仮説やデータ解釈を「ロジックツリー」の各枝として扱うことで実現されている。ロジックツリーの各枝に割り当てられる「重み（信頼度）」の決定には、客観性を担保するために「構造化された専門家意見集約（Structured Expert Elicitation）」とい

う厳格なプロセスが導入された（Christophersen and Gerstenberger, 2024）。このプロセスでは、モデル開発に携わった専門家グループに対し、まず既知の正解がある「校正質問（Calibration questions）」を課すことで、各専門家の知識の正確さと不確実性の見積もりの妥当性を定量的に評価する。このスコアに基づき、専門家個人の評価結果に重み付けを行う「クック法（Cooke method）」などの手法を用いることで、個人の主観的な偏りを排した、科学的に妥当なロジックツリーの重みが算出されている。加えて、インバージョン断層モデル（IFM）においては、計算された解が観測データにどの程度適合しているかを示す「適合度（Goodness of fit）」も重み付けの補助的な要因として考慮され、物理的に矛盾の多いパラメータの組み合わせには低い重みが与えられる仕組みとなっている。こうした高度なデータ統合と不確実性の評価の結果、ニュージーランドでは全土でハザード推定値が大幅に増加するなど、建築基準や防災政策に直結する重要な知見が得られている。

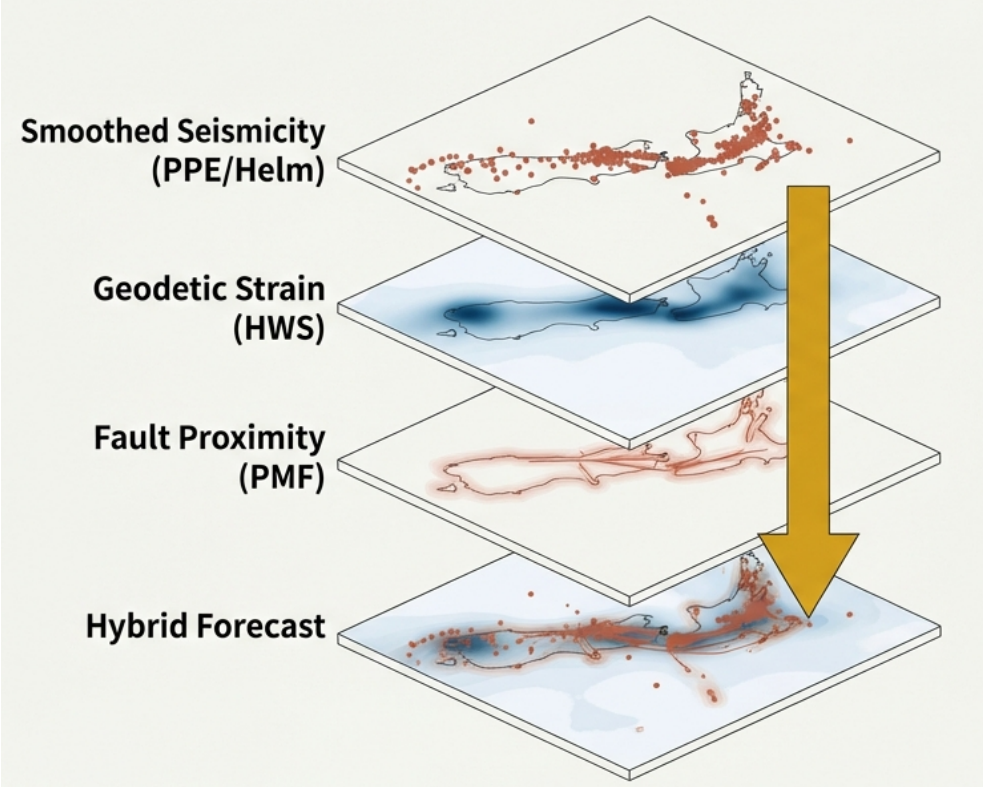


図 1　ニュージーランドの全国地震ハザードモデル（NSHM）2022 年版の背景地震活動モデルにおける種類の異なるデータの統合イメージ。ここでは，3 種類のデータ統合を行ってハイブリッド予測モデル(Hybrid Forecast)を作成している。Smoothed Seismicity とは過去の小地震分布を平滑化したもの。Geodetic Strain は、GNSS による測地学的せん断ひずみ速度。PMF は、断層の滑り速度を考慮した断層からの近接度。Notebook LM を用いて作成。

(c) 結論並びに今後の課題

米国とニュージーランドの地震ハザードモデルでは、地震学、測地学、地質学データを「グランド・インバージョン」により統合するとともに、認識論的不確実性をロジックツ

リーの各枝として適切に重み付けがなされている。これらの手法は、本研究で実施する日本国内の複数データを用いた内陸地震の長期予測モデルの統合においても、可能なものは取り入れることが望ましい。

（d）引用文献

Christophersen, A., and M. Gerstenberger, Expert Judgment in the 2022 Aotearoa New Zealand National Seismic Hazard Model. Seismological Research Letters, 95(1), 113-124, 2024.

Gerstenberger, M. C. et al., The Seismicity Rate Model for the 2022 Aotearoa New Zealand National Seismic Hazard Model. Bulletin of the Seismological Society of America, 114, 182-216, 2024.

Maurer, J., K. Johnson, L. M. Wallace, I. Hamling, C. A. Williams, C. Rollins, M. Gerstenberger, and R. Van Dissen, Geodetic Strain Rates for the 2022 Update of the New Zealand National Seismic Hazard Model, Bulletin of the Seismological Society of America, 114(1), 57-77, doi:10.1785/0120230145, 2023.

Page, M. T., E. H. Field, K. R. Milner, and P. M. Powers, The UCERF3 Grand Inversion: Solving for the Long-Term Rate of Ruptures in a Fault System, Bulletin of the Seismological Society of America, 104(3), 1181-1204, doi:10.1785/0120130180, 2014.

Petersen, M. D., *et al.,* The 2023 U.S. 50-State National Seismic Hazard Model: Overview and implications. Earthquake Spectra, 40(1), 5-88, 2023.

3.8 確率論的地震動予測地図の高度化（サブテーマ 4.2）

(1) 業務の内容

(a) 業務題目　確率論的地震動予測地図の高度化

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人防災科学技術研究所巨大地変災害研究領域地震津波複合災害研究部門	上席研究員	森川　信之
国立研究開発法人防災科学技術研究所巨大地変災害研究領域地震津波複合災害研究部門	部門長	中村　洋光
国立研究開発法人防災科学技術研究所巨大地変災害研究領域地震津波複合災害研究部門	主任研究員	河合　伸一

(c) 業務の目的

確率論的地震動予測地図の「内陸の浅い震源断層を予め特定しにくい地震」として、マグニチュード 7 以上の地震においても深さ 3 km の点震源を仮定して計算されていることの妥当性を検証する。

(d) 3 か年の年次実施業務の要約

1) 令和 7 年度：

確率論的地震動予測地図の「内陸の浅い震源断層を予め特定しにくい地震」として、マグニチュード 7 以上の地震においても深さ 3 km の点震源を仮定して計算されていることの妥当性を検証した。そのため、緯度、経度それぞれ 0.1 度間隔のグリッドを中心とし、マグニチュード 7.3 に相当する大きさの矩形断層を複数の走向、傾斜角で配置して確率論的な地震ハザード計算を行い、深さ 3 km の点震源とした確率論的な地震ハザード計算結果と比較した。両者に有意な差が認められたため、点震源の深さを変えた検討を行い、確率論的地震動予測地図におけるモデルの改良方策を示した。

2) 令和 8 年度：

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。

3) 令和 9 年度：

各サブテーマの成果が確率論的地震動予測地図に及ぼす影響を具体的に示すことにより地図の高度化に貢献する。

(2) 令和 7 年度の成果

(a) 業務の要約

内陸地震の震源断層を予め特定しにくい地震に対する確率論的地震ハザード計算の妥

当性を検証するため、マグニチュード 7.3 の地震を想定した大きさの矩形断層モデルと現行の点震源モデルを用いて地震ハザード評価を実施し、両者の結果を比較した。その結果、点震源モデルと矩形断層モデルのハザードカーブに差異が見られ、従来の点震源モデルではハザードを過小評価している可能性があることが明らかとなった。点震源の深さを 3 km から 2 km さらには 1 km とした場合でも過小評価は解消されず、少なくともマグニチュード 6.8 以上の地震については地震規模に応じた大きさの断層を配置することが必要であることを確認した。ただし、日本全国を対象とした面的な（約 600 万メッシュを対象とした）ハザード計算を行うためには、断層面の配置や計算方法の工夫が必要となる。

（b）業務の成果

1）矩形断層モデルによる震源断層を予め特定しにくい地震の計算

マグニチュード（M）7.3 の地震に対する矩形断層を設定した。断層面の大きさは、地震調査研究推進本部地震調査委員会（2020）による「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）」の（イ）の方法に基づいて設定した。断層幅 W を 18 km とした場合の震源パラメータを表 1 に示す。表より、本検討で用いる矩形断層は断層モデル長さ L を 32 km、断層モデル幅 W を 18 km とした。矩形断層の傾斜角は鉛直（90 度）、走向は、N180E、N198E、N216E、N234E、N252E、N270E、N288E、N306E、N324E、N342E の 10 通りとし、断層上端深さは 0 km と 2 km の 2 通りとした。矩形断層の位置は、全国地震動予測地図 2020 年版（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2021）の震源断層を予め特定しにくい地震の地震発生頻度の算出点に合わせて、断層中心位置が 0.1 度ごとの位置になるように配置し、対象範囲は南北約 160 km、東西約 190 km とした。この場合、矩形断層は 21×15＝315 個を配置することになる。

表 1　M7.3 の地震の矩形断層パラメータ

パラメータ	記号	設定方法	値
マグニチュード	M	仮定	7.3
地震モーメント	M_0	$\log M_0 = 1.17M + 10.72$	1.82×10^{19} Nm
モーメントマグニチュード	Mw	$Mw = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$	6.8
断層面積	S	$S = 4.24\times10^{-11}\times(M_0\times10^7)^{1/2}$	572.6 km^2
断層長さ	L	L = S / W	31.8 km
断層幅	W	仮定	18.0 km
断層モデル長さ	L_{model}	2 km 単位に丸め	32 km
断層モデル幅	W_{model}	2 km 単位に丸め	18 km
走向	q	18 度刻みで 10 通り設定	N180E～N342E
傾斜角	d	鉛直と仮定	90 度
断層モデル上端深さ	H_u	2 通り設定	0 km、2 km

評価地点は九州地方とし、東経±1 度、北緯±40 分の範囲が概ね陸域となる中心位置として 3 次地域メッシュコード「49310000」の中心点（東経 131 度 00 分 22.5 秒、北緯 32 度 40 分 15 秒）とした。これより、矩形断層を配置する範囲は東経 130 度～132 度、北緯 32 度 00 分～33 度 24 分とした。評価地点と矩形断層を配置する範囲を図 1 に示す。

地震発生頻度は、全国地震動予測地図 2020 年版の震源断層を予め特定しにくい地震の値とする。地震発生頻度は 0.1 度四方で設定されている。M5.0 以上の年発生頻度を図 1 に重ねて示している。

矩形断層はすべて同じ走向で配置し、走向を変えた 10 通りと断層上端深さを変えた 2 通りの合計 20 通りを設定した。各断層の地震発生頻度は図 1 に示した全国地震動予測地図 2020 年版の震源断層を予め特定しにくい地震の地震発生頻度をそのまま各矩形断層に割り当てた。設定した 20 ケースの矩形断層を図 2 に示す。地震動評価モデルは、全国地震動予測地図 2020 年版と同じとし、Vs = 400 m/s の工学的基盤上の最大速度を算出した。

確率論的な地震ハザード評価は、20 通りのハザードカーブを計算したうえで同じ重み（1/20）で統合した。最大マグニチュードは、全国地震動予測地図 2020 年版では海域で 7.5 となっているが、本検討では内陸を対象とすることもありすべて 7.3 とした。最小マグニチュードは、7.3 の場合と全国地震動予測地図 2020 年版と同じ 5.0 の場合の 2 ケースとした。

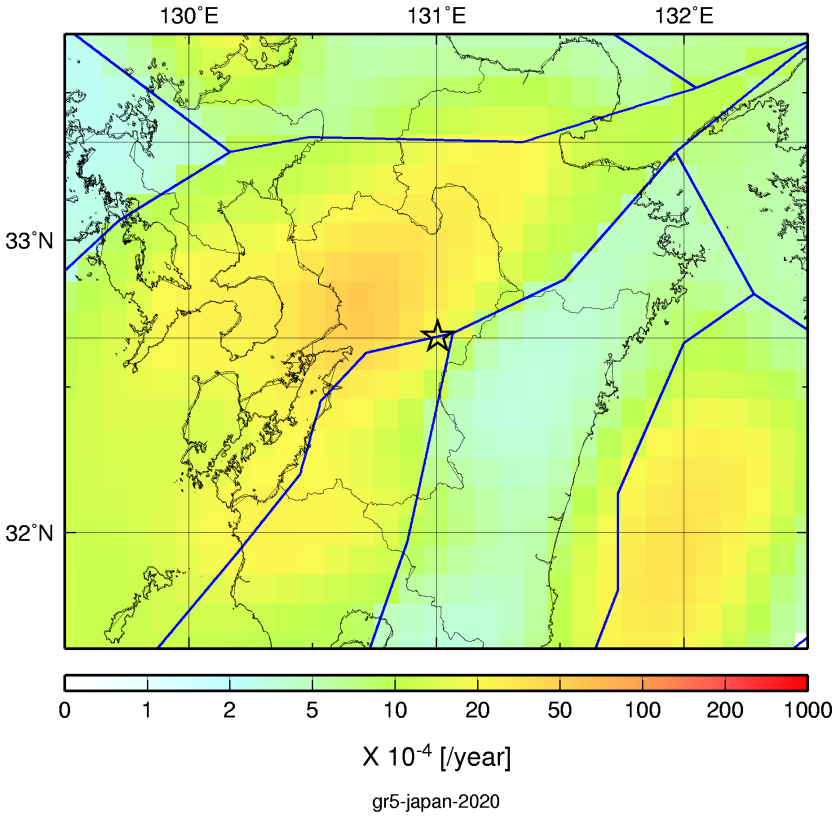
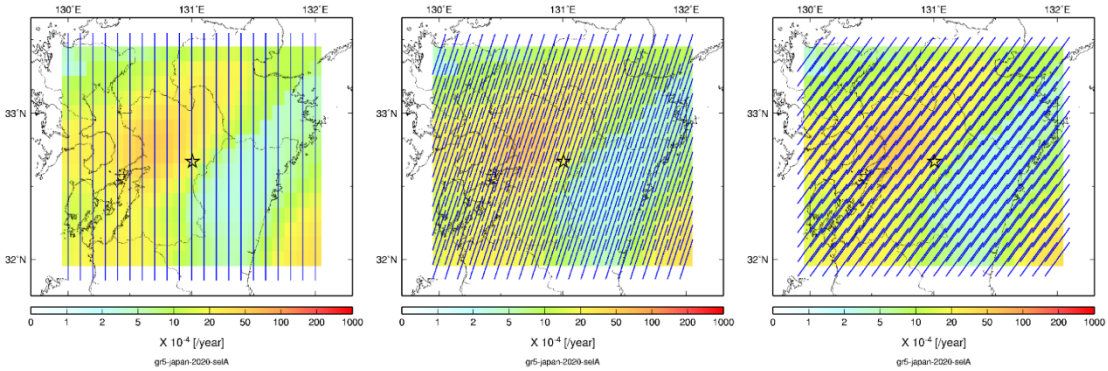
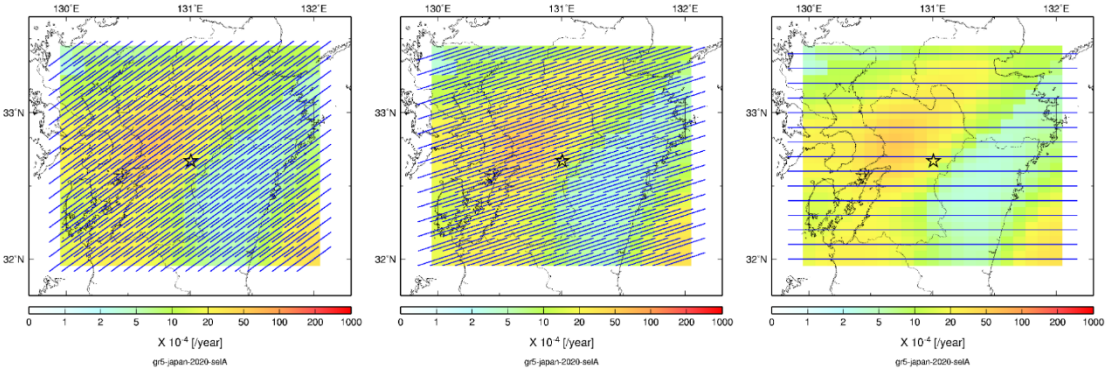


図 1 評価地点と矩形断層の配置の範囲及び全国地震動予測地図 2020 年版の震源断層を予め特定しにくい地震の M5.0 以上の地震の 0.1 度四方ごとの年発生頻度

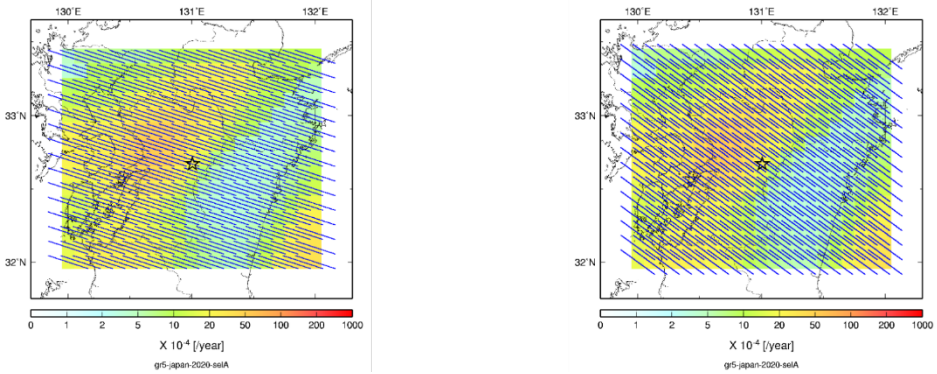
走向 N180E　　走向 N198E　　走向 N216E



走向 N234E　　走向 N252E　　走向 N270E



走向 N288E　　走向 N306E



走向 N324E　　走向 N342E

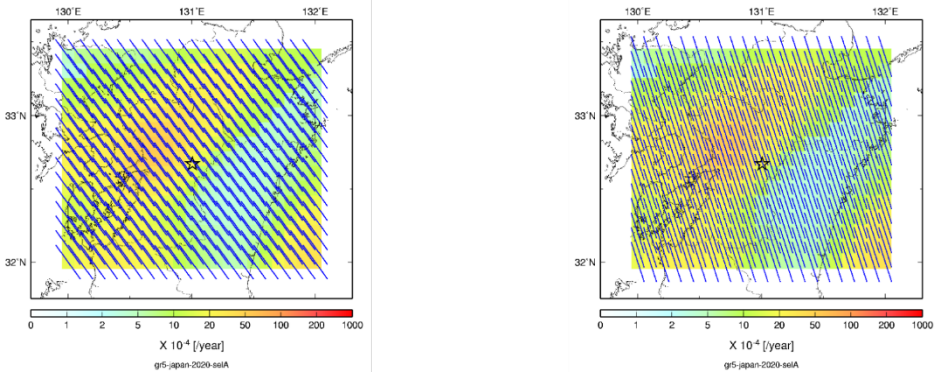


図 2 設定した矩形断層モデル（上端深さは 0 km と 2 km の 2 通り）

評価地点のハザードカーブを最小マグニチュード 7.3 の場合を図 3 に、最小マグニチュード 5.0 の場合を図 4 にそれぞれ示す。図には、(a)に 20 通りを統合したハザードカーブを、(b)に 20 通りのハザードカーブを個別に示している。最小マグニチュード 7.3 の場合、M7.3 の地震のみを対象としていることから、その地震発生頻度が大きくなく、矩形断層の走向や断層上端深さの違いによる影響はあまり見られない。一方、最小マグニチュード 5.0 の場合、地震発生頻度が比較的大きい規模の小さい地震による影響のため、統合したハザードカーブが最小マグニチュード 7.3 の場合よりも大きいことがわかる。特に断層上端深さを 0 km とした場合のハザードカーブに大きな差異が見られる。本検討では、地震規模が小さい場合でも同じ矩形断層（断層長さ 32 km、断層幅 18 km）としているため、評価地点からの断層最短距離が短くなり、地震のハザードを過大に評価しているためと考えられる。

(a) 統合したハザードカーブ　　(b) 個別のハザードカーブ

注：黒線のほとんどは青線と重なっている

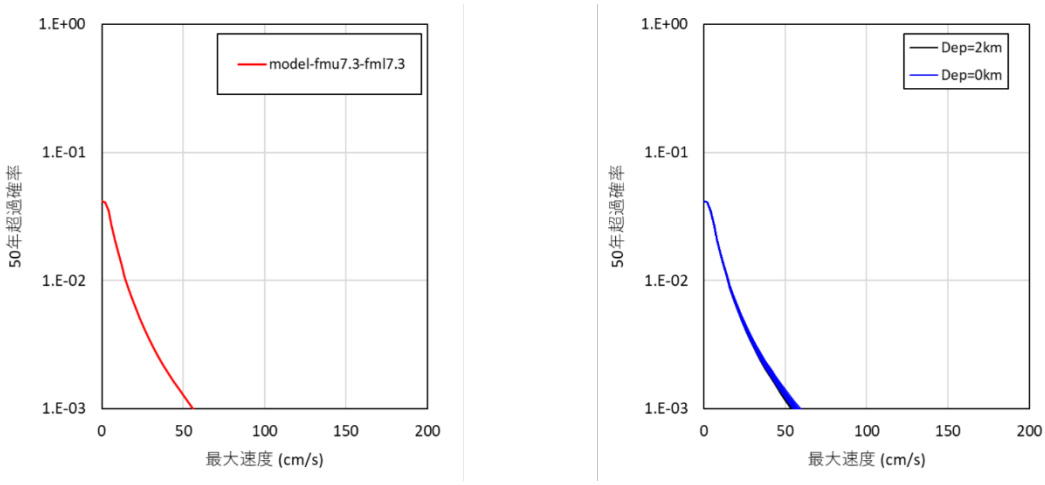


図 3 最小マグニチュード 7.3 の場合のハザードカーブ

(a) 統合したハザードカーブ　　(b) 個別のハザードカーブ

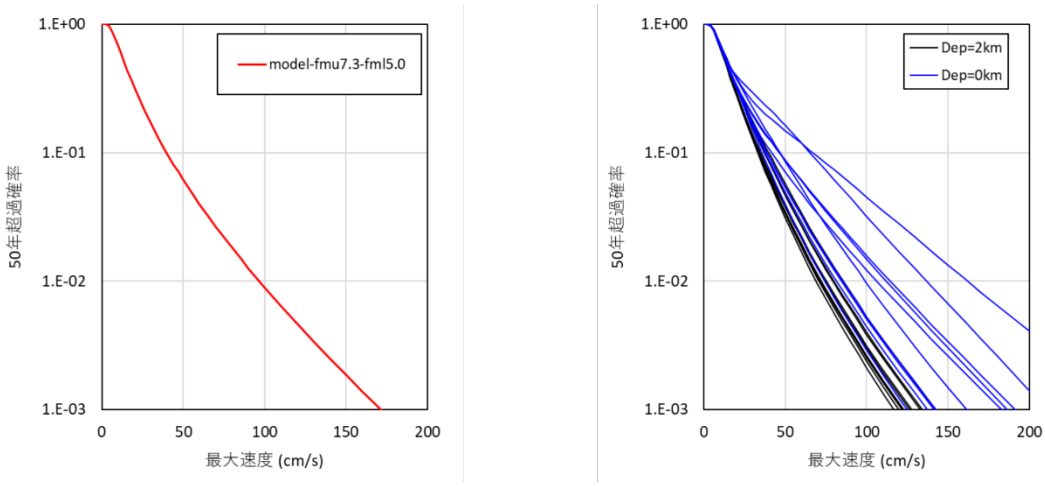
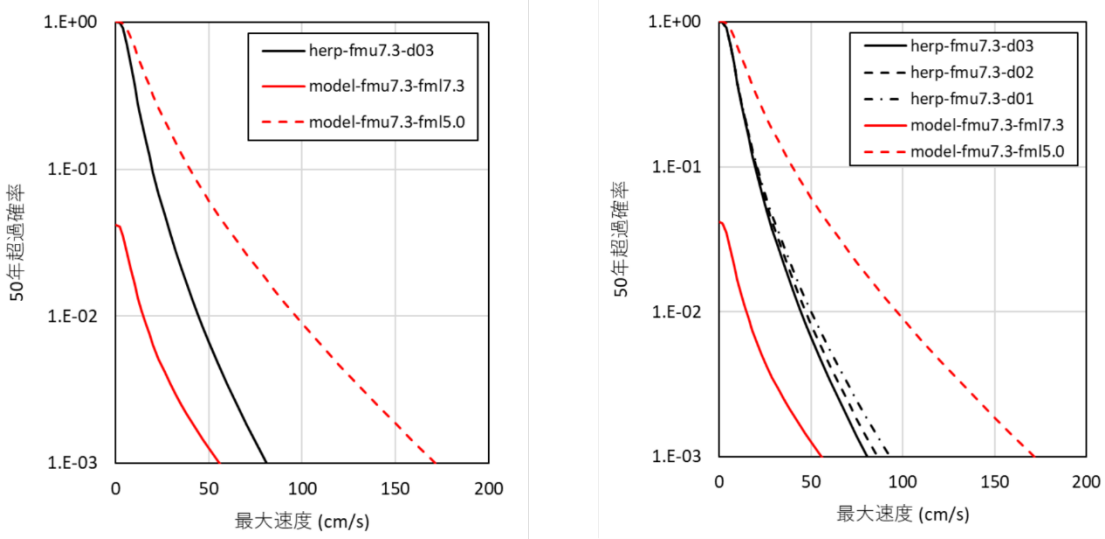


図 4 最小マグニチュード 5.0 の場合のハザードカーブ

2）点震源による計算

前項で示した矩形断層の中心位置に、全国地震動予測地図 2020 年版と同様に深さ 3 km の点震源を配置し、同じ条件で確率論的地震ハザード評価を行った。このとき、最大マグニチュードは 7.3、最小マグニチュードは 5.0 とした。点震源によるハザードカーブを図 5(a) に示す。図には、前項で示した矩形断層のハザードカーブを重ねて示しているが、点震源によるハザードカーブは、最小マグニチュード 7.3 の場合の矩形断層のハザードカーブより大きく、最小マグニチュード 5.0 の場合の矩形断層のハザードカーブより小さく、違いが見られる。そこで、点震源の深さを変えた場合の検討を行った。点震源の深さを 2 km 及び 1 km とし、他の条件は同じとして計算したハザードカーブを図 5(b) に示す。図より、点震源の深さを浅くするほどハザードカーブが大きくなることが確認できるが、矩形断層によるハザードカーブとはまだ差異が見られる。

(a) 深さ3 kmとした場合　　(b) 深さを変えた場合



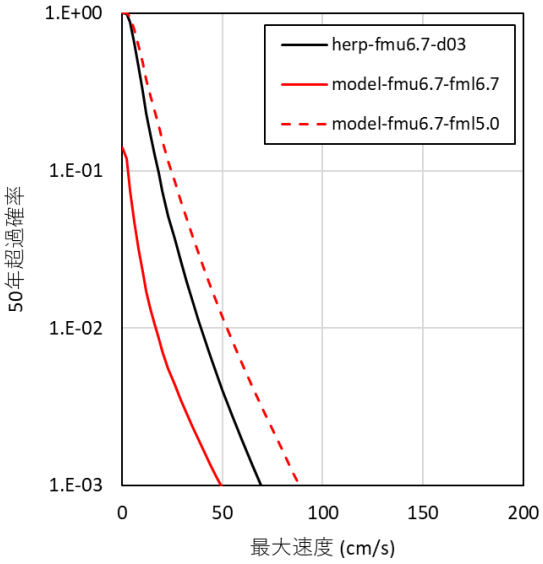
黒実線：点震源（深さ3 km）、黒破線：点震源（深さ2 km）、黒一点鎖線：点震源（深さ1 km）
赤実線：矩形断層（M7.3の地震のみ）、赤破線：矩形断層（M5.0以上の地震）
図5 点震源によるハザードカーブと矩形断層によるハザードカーブの比較

3）矩形断層の地震規模を小さくした場合の検討

藤原・他（2004）では、最大マグニチュード 6.7 として点震源によるハザードカーブと矩形断層によるハザードカーブを比較しており、深さ 3 km の点震源で近似できることを示している。ここでは、M6.7 の地震に対する矩形断層を設定して、1)項と同様の検討を行った。断層の大きさは、地震調査研究推進本部地震調査委員会（2020）による「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（レシピ）」の（イ）の方法に基づいて、断層長さ 16 km、断層幅 16 km とした。矩形断層の傾斜角は鉛直とし、走向は 1)項と同様に 10 通りとした。ここでは、断層上端深さは 3 km とし、その他の条件は 1)項及び 2)項と同様とした。

確率論的地震ハザード評価において、矩形断層に対しては、最小マグニチュード 6.7 の場合と最小マグニチュード 5.0 の場合、点震源に対しては最小マグニチュード 5.0 の場合とした。計算したハザードカーブを図 6 に示す。図より、点震源によるハザードカーブは、

最小マグニチュード 6.7 の場合のハザードカーブより大きく、最小マグニチュード 5.0 の場合のハザードカーブより小さいが、後者に近い大きさになっている。この場合でも、M6.7 より小さい規模の地震は同じ矩形断層としており、この差異は、藤原・他（2004）の検討を加味すると最大規模の断層面の大きさで計算を行ったことによる過大評価と考えられる。しかしながら、図 5 の差異よりはかなり小さく、M6.8 以上の地震を含めた震源断層を予め特定しにくい地震の確率論的な地震ハザード評価としては、従来の点震源による評価では過小評価となっており、深さを 1 km とした場合でも解消されないと考えられる。



黒実線：点震源（M5.0以上の地震）
赤実線：矩形断層（M6.7の地震のみ）、赤破線：矩形断層（M5.0以上の地震）
図 6　点震源によるハザードカーブと矩形断層によるハザードカーブの比較
（M6.7の矩形断層の場合）

(c) 結論並びに今後の課題

確率論的地震動予測地図における内陸の「震源断層を予め特定しにくい地震」として、マグニチュード（M）7.3 の地震を想定して、現行の深さ 3 km の点震源を仮定した計算方法の妥当性を検証した。

M7.3 の矩形断層を用いて最小マグニチュード 5.0、最大マグニチュード 7.3 としたハザードカーブは、矩形断層の中心位置に深さ 3 km の点震源としたハザードカーブと違いが見られた。本検討では、規模の小さい地震に対しても M7.3 と同じ矩形断層を用いているため、算出したハザードカーブは過大評価と考えられるが、少なくとも M6.8 以上の地震については、地震規模に応じて矩形断層の大きさを変更したモデル化が必要である。ただし、日本全国を対象とした面的な（約 600 万メッシュを対象とした）ハザード計算を行うためには、断層面の配置や計算方法の工夫が必要である。例えば、海溝型のプレート間地

震のように、断層面の向きを断層面の中心となる緯度、経度で固定できれば、計算量を大幅に削減できる可能性がある。

(d) 引用文献

地震調査研究推進本部地震調査委員会, 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)令和2年(2020年)3月, https://www.jishin.go.jp/main/chousa/20_yosokuchizu/recipe.pdf, 2020.

地震調査研究推進本部地震調査委員会, 全国地震動予測地図 2020 年版, https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/shm_report_2020/, 2021.

藤原広行・河合伸一・青井真・功刀卓・石井透・早川譲・奥村俊彦・森川信之・本多亮・小林京子・大井昌弘・先名重樹・八十島裕・奥村直子, 西日本地域を対象とした確率論的地震動予測地図－作成手法の検討と試作例, 防災科学技術研究所研究資料, 第 257 号, https://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied_tech_note/pdf/n257.pdf, 2004.

4. 全体成果概要

プロジェクトの概要で触れたように、「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」（以下「本調査研究」という。）では、地震活動や測地観測データなど、従来の活断層の長期評価とは異なるデータやアプローチを用いて、内陸地震の長期発生確率を計算する手法を検討するとともに、その成果を確率論的地震動予測地図に反映させる手法を開発することを目標としている。この目的のために、今までの歴史地震研究ではあまり注目されてこなかったような歴史資料を用いて、近代以前の地震の被害や震度分布を明らかにし、強震動評価を通して震源域や規模などの震源パラメータの推定や活断層との対応関係を推定する研究を行う。また、測地観測データを用いた長期評価を進めるために、従来十分使われてこなかった GNSS や InSAR データを活用して、日本列島の詳細なひずみ速度分布を明らかにするとともに、測地データから内陸地震の長期発生確率を計算する手法の高度化と試算を行う。さらに、地震・測地データと活断層調査等のデータを統合する手法を検討し、ある地域において内陸地震の長期発生確率を試算することを全部で 3 か年の計画で実施する予定である。本年度（令和 7 年度）はその初年度にあたる。

本調査研究では、上記のような調査研究を進めるため、１)地震活動データを用いた長期予測手法の高度化、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地震に関する研究、2.2）強震動評価に基づく歴史地震の震源断層推定、3.1）GNSS データを用いた高精細ひずみ速度分布の解明、3.2）InSAR データを用いた詳細ひずみ速度分布の解明、3.3）測地観測データを用いた長期予測手法の高度化、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、4.2）確率論的地震動予測地図の高度化の 8 つのサブテーマ研究グループを構築した。以下、各サブグループにおける本年度（令和 7 年度）実施した調査研究の成果概要を記す。

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では、既存の余震除去手法（HIST-ETAS モデル等）の理論的整理を行い、下限マグニチュードを下げて適用することで定常的な地震活動度の空間解像度が向上することを確認した。また、気象庁の一元化処理開始以前の各機関の地震カタログを収集・比較し、その特性差を明らかにした。さらに、機械学習モデルを用いた自動検出により、中国地方の山陰ひずみ・地震集中帯において、検出地震数が自動検出導入以前の気象庁一元化震源カタログに対して約 7 割増加し、地震カタログの質的・量的改善を実現した。来年度は、複数の余震除去手法を実データに適用して予測結果への影響を定量評価するとともに、震源再決定によるさらなる高精度カタログの構築を進める予定である。

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地震に関する研究では、近畿・濃尾・九州中部地域を中心に 17〜19 世紀の日記史料を調査し、既刊史料集に未収録の地震記事を多数抽出した。京都における 18 世紀の有感地震発生状況を通時的に把握し、日記史料に記された地震は概ね震度 3 以上の地震動であると考えられることを確認した。また、1705 年阿蘇付近の地震や 1793 年玄界灘の地震について、新出史料から被害状況や有感分布を詳細に解明した。来年度は、岡山、滋賀、福井県等へ調査地域を拡大するとと

もに、濃尾地震前後の詳細な活動把握のため、明治初期の地震史料の所在調査と分析を継続する。

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では、1830 年文政京都地震を対象に、地盤構造情報が不足する亀岡・園部・京都盆地の 18 地点で微動アレイ探査を実施し、浅部地盤モデルを高度化した。亀岡盆地では重力データ解析等により基盤深度分布をモデル化し、深部構造を明らかにした。史料震度データを用いた逆解析により、当該地震の震央を越畑断層帯付近、規模を Mw 6.4 程度と推定し、歴史地震の震源パラメータ推定手法を構築した。来年度は、調査地点を近畿地方や新潟県周辺へ拡大し、詳細な地盤構造モデルを考慮した強震動評価を通じて、未解明な歴史地震の震源断層推定の事例を蓄積する。

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では、国土地理院の GEONET に加え、3,300 点を超えるソフトバンク独自観測網のデータを統合解析する基盤を整備した。ソフトバンク網特有の保守作業に伴う座標オフセットを自動検出・除去するスキームを開発し、データの可用性を大幅に向上させた。これにより、2019 年から 2023 年末までの期間における高密度な暫定的 3 次元地殻変動場（変位速度場）の構築を実現した。来年度は、外れ値を客観的に除去するクラスタリング処理を適用し、複数の推定手法を比較検討することで、不確実性を定量化した高精細なひずみ速度分布を算出する。

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では、「だいち 2 号」等の SAR データを用い、新潟－神戸ひずみ集中帯の東部等において高空間解像度のひずみ速度場を検出した。InSAR と稠密 GNSS データを統合することで、局所的で振幅の大きなひずみ集中域を検出し、既知の活断層との対応や未知の伏在断層・非弾性変形の可能性を示唆した。また、四国地域を対象とした自動解析環境を構築し、大気遅延ノイズを最大 36% 低減する補正手法の有効性を実証した。来年度は、解析対象を近畿、四国、北海道北部等へ順次拡大し、地域による精度の違いを評価するとともに、ひずみ集中の成因や断層の固着深度に関する検討を深める。

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では、西暦 599 年以降の過去の大地震に伴う粘弾性緩和による余効変動を、計算プログラム VISCO1D を用いて定量的に見積もった。現在も有意な余効変動を及ぼしている地震を 34 個特定し、2011 年東北地方太平洋沖地震等の寄与が現在の変位・ひずみ速度場において無視できない大きさ（最大約 76 mm/年）であることを示した。これにより、弾性ひずみを抽出するための補正基盤を構築した。来年度は、プレート間固着の影響評価手順を整理するとともに、活断層のすべり欠損速度の推定手法を開発し、測地データに基づく地震発生確率の試算に向けた検討を進める。

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では、AI（Google 社 NotebookLM）も活用して、米国（NSHM2023）やニュージーランド（NSHM2022）の最新モデルを調査し、地震学・測地学・地質学データを統合する「グランド・インバージョン」の手法を整理した。また、ロジックツリーの重み付けにおいて専門家の主観的バイアスを排除し、認識論的不確実性を客観的に定量化する「構造化された専門家意見集約」のプロセスとその重要性を確認した。また、本サブグループとサブグループ 2.2 のメンバーを中心

として、2026 年 2 月に対面での意見・情報交換会を行い、来年度以降の研究の方向性についてのブレインストーミングを行った。来年度は、諸外国の手法を参考にしつつ、日本列島を対象とした各種データに基づく予測モデルの比較を開始し、複数のモデルを統合した試算の検討に着手する予定である。

サブテーマ 4.2：確率論的地震動予測地図の高度化では、内陸の「震源断層を予め特定しにくい地震」の評価手法を検証するため、M7.3 の矩形断層モデルと現行の点震源モデルの比較を行った。その結果、従来の 3 km 深の点震源による計算は、断層の大きさを考慮したモデルに比べてハザードを過小評価している可能性を明らかにした。少なくとも M6.8 以上の地震については、地震規模に応じた断層モデル導入が必要であることを確認した。来年度は、地域区分の不一致に関する課題を検討するとともに、各サブテーマで得られる最新の地震活動モデルや地殻変動データをハザード計算に反映させる手法の開発を進める。

本調査研究で行われた歴史資料や地盤構造の調査においては、文献の所蔵機関や調査地点の地権者に協力いただいた。ここに記して深謝申し上げるとともに、引き続きの支援を賜るようお願い申し上げる。

5. 成果の論文発表・口頭発表等

(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 1）

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

(b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1）特許出願

なし

2）ソフトウエア開発

なし

3）仕様・標準等の策定

なし

(2) 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（サブテーマ 2.1）

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
榎原雅治・水野 嶺	歴史資料から見た 18･19 世紀の西日本地域の地震	南海トラフ～南西諸島海溝の地震･津波に関する研究会（東京）	令和 8 年 2 月 19 日

(b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1）特許出願

なし

2）ソフトウエア開発

なし

3）仕様・標準等の策定

なし

(3) 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 2.2）

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
HALLO Miroslav・浅野公之・関口春子・岩田知孝	Empirical Site Amplifications at the Strong Motion Stations in the Kansai Region	令和 7 年度京都大学防災研究所研究発表講演会（京都府宇治市）	令和 8 年 2 月 19 日

(b) 特許出願，ソフトウエア開発，仕様・標準等の策定

1）特許出願

なし

2）ソフトウエア開発

なし

3）仕様・標準等の策定

なし

(4) 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 3.1）

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
大舘未来・太田雄策・大園真子・高橋浩晃	超高密度 GNSS 観測網による日本列島の高分解能ひずみ速度場	日本地震学会 2025 年度秋季大会	令和 7 年 10 月 22 日
太田雄策・大舘未来	ソフトバンク独自基準点における GNSS 日座標時系列の品質評価	日本測地学会第 114 回講演会	令和 7 年 10 月 29 日
Miku Ohtate, Yusaku Ohta, Mako Ohzono, and Hiroaki Takahashi	Fine-Scale Interseismic Strain Rate Fields in Japan from an Ultra-Dense GNSS Network	AGU Annual Meeting 2025	令和 7 年 12 月 18 日
Yusaku Ohta	Leveraging Ultra-Dense GNSS Networks for High-Resolution Crustal Deformation Monitoring in Japan	AGU Annual Meeting 2025	令和 7 年 12 月 19 日
Yusaku Ohta and Miku Ohtate	Quality assessment of daily GNSS coordinate time series from the SoftBank proprietary reference network	Earth Planets Space	令和 8 年 1 月 5 日

(b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1）特許出願

なし

2）ソフトウエア開発

なし

3）仕様・標準等の策定

なし

(5) 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 3.2）

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
Shogo Nagaoka, Youichiro Takada, Takuya Nishimura, Takeshi Sagiya, and Yusaku Ohta	High-resolution interseismic crustal deformation mapping in strain concentration zone within the volcanic arc using L-band InSAR and ultra-dense GNSS network	AGU Annual Meeting 2025	2025 年 12 月 18 日
Shogo Nagaoka and Youichiro Takada	Slope-correlated bias in mean velocity field derived from L-band InSAR time series	APSAR 2025, Matsue, Japan	2025 年 10 月 8 日
サイレラーサルディラ・福島洋・太田雄策	Utilizing dense tropospheric delay products from GNSS in InSAR noise correction	日本地球惑星科学連合 2025 年大会	2025 年 5 月 26 日

(b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1）特許出願

なし

2）ソフトウエア開発

なし

3）仕様・標準等の策定

なし

(6) 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 3.3）

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

(b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1）特許出願

なし

2）ソフトウエア開発

なし

3）仕様・標準等の策定

なし

(7) 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 4.1）

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

(b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1）特許出願

なし

2）ソフトウエア開発

なし

3）仕様・標準等の策定

なし

(8) 確率論的地震動予測地図の高度化（サブテーマ 4.2）

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

(b) 特許出願、ソフトウエア開発、仕様・標準等の策定

1）特許出願

なし

2）ソフトウエア開発

なし

3）仕様・標準等の策定

なし

６．むすび

地震調査研究推進本部（以下「地震本部」という。）では、内陸で発生する地震の長期評価として、「主要活断層帯の長期評価」や「活断層の地域評価」を実施してきたが、これらは主に地形判読やトレンチ調査、地下構造調査などで認識される活断層に基づく評価であり、既知の活断層から離れた場所や地表で明瞭な痕跡がない断層で発生する地震も含めた、内陸地震全般の評価が現状では行われていないという課題があった。また、活断層で発生する地震であっても、断層全体を破壊する固有地震より小さな地震については評価されていないという点も課題である。これらの内陸地震の長期評価に関する課題は、令和６年８月９日に地震本部政策委員会調査観測計画部会でまとめられた「内陸で発生する地震の新たな調査観測について」に列挙されており、既知の活断層データのみに依存する現状の内陸地震評価の課題を解決するため、本調査研究では活断層データ以外のデータ、すなわち地震活動、歴史資料、測地観測等の多角的なデータを用いて、新たな内陸地震の長期予測手法を開発し、地震の長期評価手法の高度化を目指したものである。令和７年度は３か年計画の初年度として、８つのサブテーマの各分野において、データ整備と解析手法の構築において顕著な進展があった。

地震活動データに関しては、HIST-ETAS モデル等の余震除去手法の理論的整理を進め、下限マグニチュードを下げることで定常的地震活動度の空間解像度が向上することを示した。また、機械学習を用いた微小地震の自動抽出により、気象庁一元化震源カタログに自動処理結果が含まれるようになった時期（2016 年４月）より前の期間において、山陰ひずみ・地震集中帯の地震数を約７割増加させるなど、地震カタログの質的・量的改善を実現した。歴史地震の分野では、17～19 世紀の日記史料から未知の地震記事を多数抽出し、京都や九州中部における有感地震の発生状況を詳細に明らかにした。特に、強震動評価の手法を用いて 1830 年文政京都地震をテストケースとして解析した結果、震央を越畑断層帯付近、規模を Mw 6.4 程度と推定し、歴史地震の震源パラメータ推定の高度化に成功した。測地観測においては、国土地理院の GEONET に加え、3,300 点を超えるソフトバンク独自基準点網を統合した超稠密な地殻変動観測データの整理を行い、保守オフセットの自動除去スキームの開発によりデータの可用性が大幅に向上した。さらに、GNSS と InSAR の統合解析によって、大気遅延ノイズを最大 36%低減しつつ、新潟－神戸ひずみ集中帯等における局所的なひずみ集中域を高解像度で検出した。加えて、過去の大地震による粘弾性余効変動を定量評価し、現在の地殻変動解釈においてこれらが無視できない寄与を持つことを示した。モデルの統合と地図への反映については、米国やニュージーランドの最新モデルを調査し、「グランド・インバージョン」や専門家意見集約による不確実性評価の重要性を整理した。また、確率論的地震動予測地図において、現状の点震源モデルがハザードを過小評価している可能性を指摘し、地震規模に応じた断層モデル導入の必要性を確認した。

令和８年度においては、引き続き地震データや測地データの解析、史料データの収集、地盤構造調査などを進めるとともに、観測サブグループ間のデータの共有や統合解析を進めることによって、長期発生確率の試算に着手する予定である。

7. 全体会議・外部評価委員会

7.1 活動報告

第 1 回（令和 7 年度第 1 回）「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」全体会議 議事概要

日時　令和 7 年 9 月 16 日（火）　13 時 30 分～16 時 30 分
場所　京都大学東京オフィス中会議室 B 及び Zoom によるハイブリッド開催
議事　１．全体計画
　　２．各サブグループの調査観測計画とこれまでの調査結果について
　　３．その他

第 2 回（令和 7 年度第 2 回）「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」全体会議 議事概要

日時　令和 8 年 3 月 23 日（月）　13 時 00 分～16 時 00 分
場所　京都大学東京オフィス大会議室 B 及び Zoom によるハイブリッド開催
議事　１．令和 7 年度の成果及び令和 8 年度の計画について
　　２．その他

第 1 回（令和 7 年度）「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」外部評価委員会 議事概要

日時　令和 8 年 3 月 23 日（水）　16 時 10 分～16 時 55 分
場所　京都大学東京オフィス大会議室 B 及び Zoom によるハイブリッド開催
議事　１．外部評価委員会の役割、構成について及び委員長の選任
　　２．令和 7 年度「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」についての評価
　　３．その他

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
外部評価委員会規則

令和８年２月２５日制定

（趣旨）
第１条　この規則は、文部科学省科学技術基礎調査等委託事業「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」を適切かつ効果的に推進するため、外部評価委員会（以下「委員会」という。）を設置し、その組織及び運営について定めるものとする。

（目的）
第２条　委員会は、外部有識者を評価委員（以下「委員」という。）として招聘し、本プロジェクトの進捗状況の把握・評価・改善提言・指導等を行うことを目的とする。

（任務）
第３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する。
（１）本プロジェクトに関わる研究計画や実施状況及び研究成果に関すること
（２）事後評価に関すること
（３）その他、研究推進に関わる事項に関すること

（構成）
第４条　委員会の委員は、次に掲げる者の中からそれぞれ１名以上を京都大学防災研究所長（以下「所長」という。）が委嘱する。
（１）地震学・測地学・変動地形学・強震動地震学・歴史学の各分野における有識者
（２）必要に応じて、オブザーバーの参加を認める。

（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、再任を妨げない。
２　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。

（委員会の期限）
第８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９条　この規則に定めるもののほか、委員会の運営に関して必要な事項は、委員会の定めるところによる。

附　則
１．この規則は、令和８年２月２５日から施行される。
２．この規則の施行によって委嘱された最初の委員の任期は、第６条第１項の規定にかかわらず、令和８年３月３１日までとする。

7.2 外部評価委員会構成員

1. 外部評価委員（令和 7 年度）

国立大学法人鳥取大学 工学部	香川　敬生（委員長）
同志社大学 理工学部 環境システム学科	堤　　浩之（委員長代理）
国立研究開発法人産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門	今西　和俊
国立大学法人新潟大学 人文社会科学系	片桐　昭彦
国立大学法人神戸大学 都市安全研究センター	廣瀬　仁

2. オブザーバー

（委託元）	文部科学省研究開発局地震火山防災研究課
（委託・再委託機関）	研究代表者、各サブテーマ責任者