

活断層の評価に関する調査研究
「断層帯深部形状の評価に関する活断層調査研究」

平成 29 年度
成果報告書

平成 30年 3 月

文部科学省 研究開発局
国立大学法人 東京大学 地震研究所

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、国立大学法人東京大学地震研究所が実施した平成 29 年度活断層の評価に関する調査研究「断層帯深部形状の評価に関する活断層調査研究」の成果を取りまとめたものです。

1. 活断層の地表～深部構造および変動地形・地質構造解析

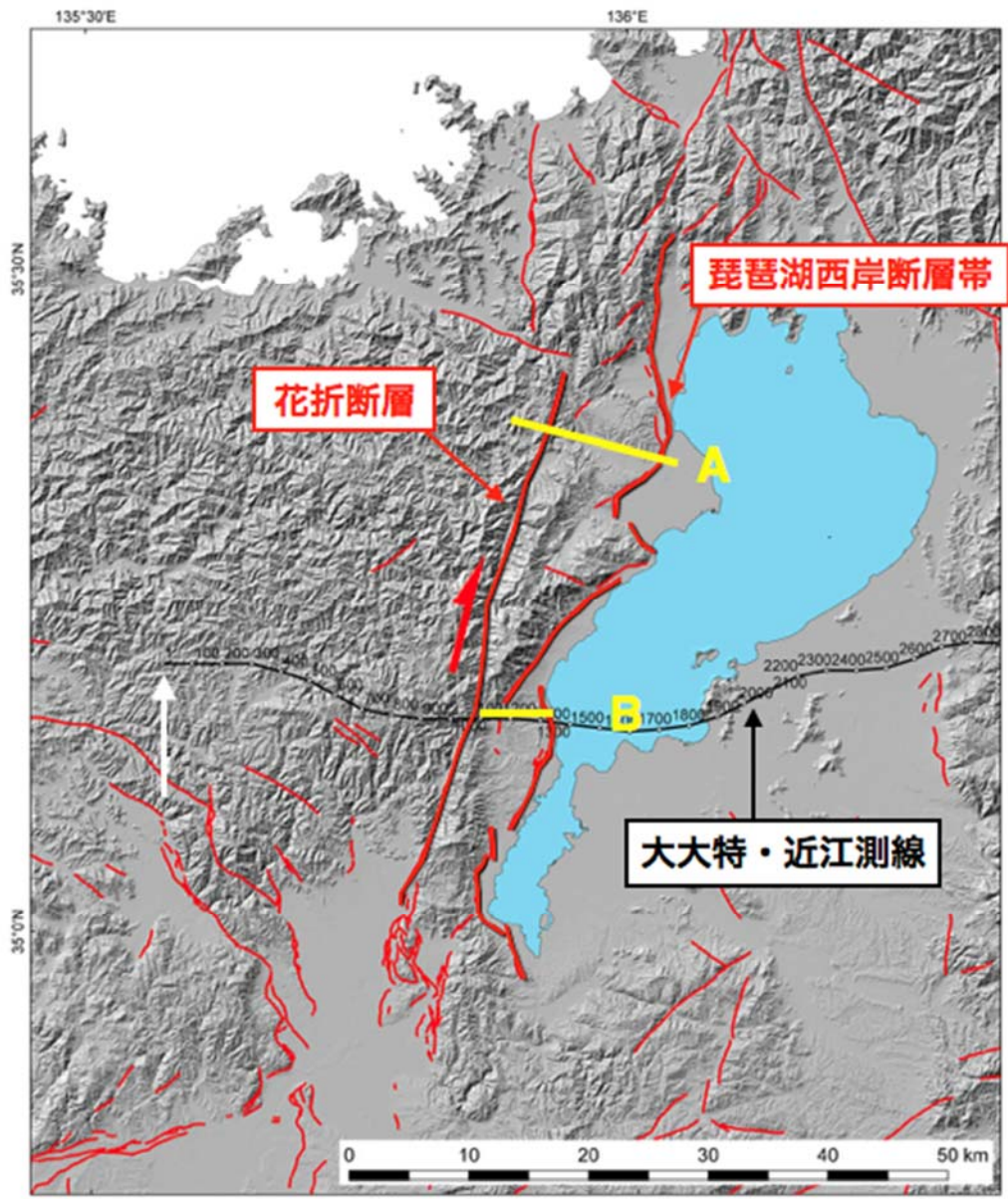


図 琵琶湖西岸断層帯と花折断層の位置図。活断層の位置は中田・今泉編 (2002) による。黄色線は今回実施した反射法地震探査測線の概略位置。A: 安曇川測線, B: 和邇川測線。

2. 活断層の稠密重力探査

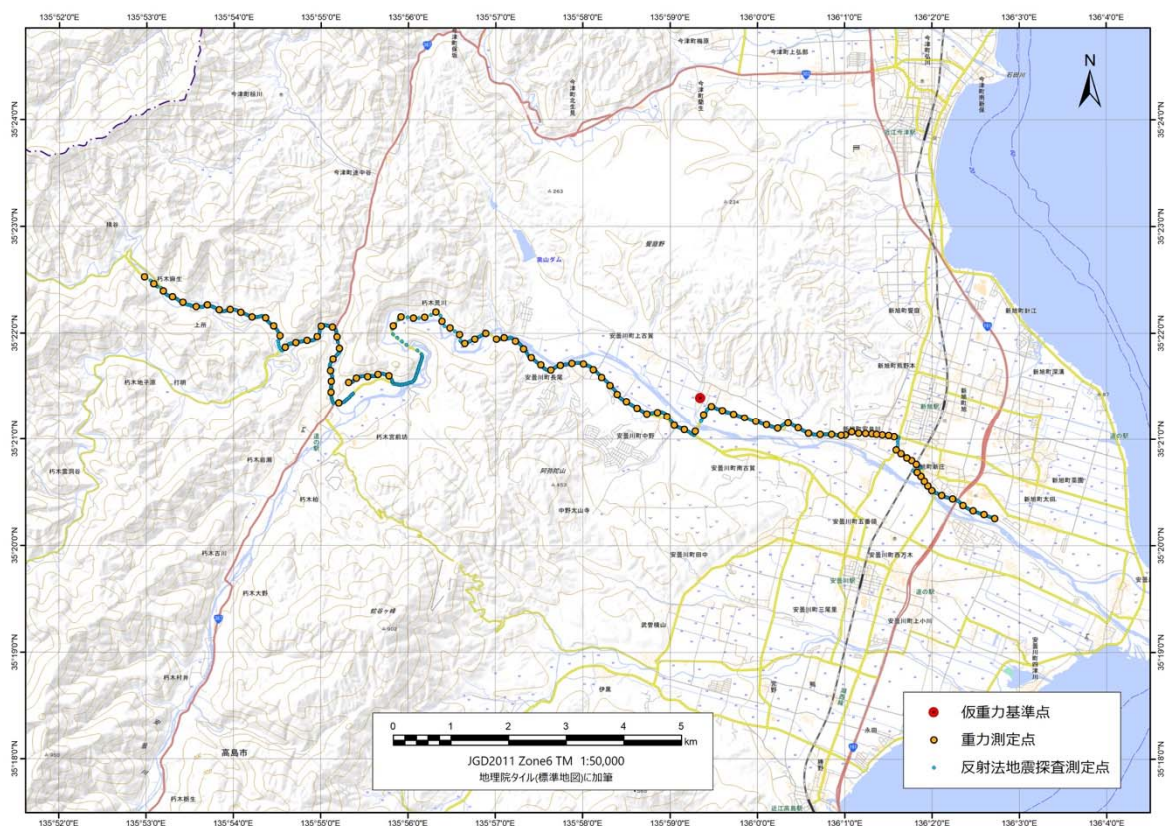


図 琵琶湖西岸断層帯および花折断層を横切る安曇川測線重力測定点位置図。

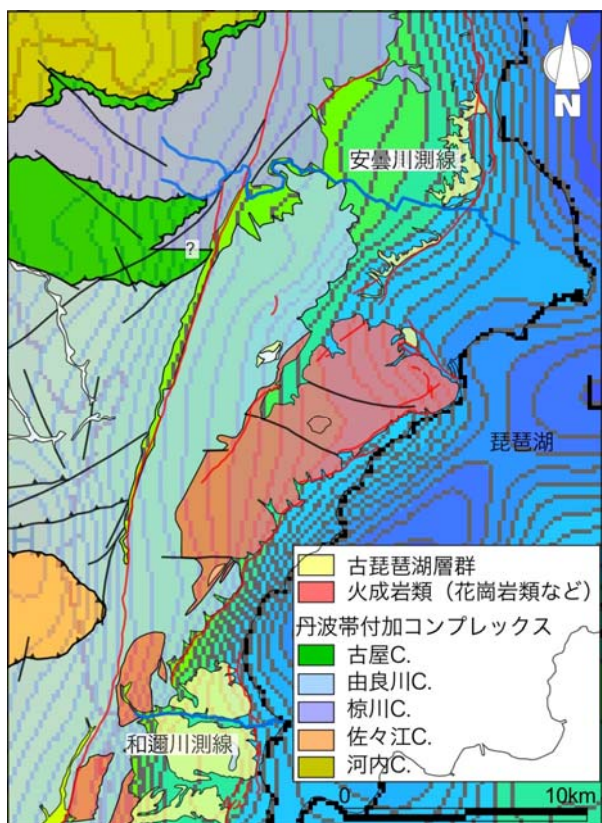


図 安曇川測線周辺の地質および重力異常ブーゲー重力異常は地質調査総合センター(2004)、地質に関する情報は、中江ほか(2001)、石田ほか(1984)、木村ほか(1998)、中江ほか(1998)、木村ほか(2001)、岡田ほか(2008)、宮内ほか(2004)、堤ほか(2004)による。

3. 断層帯の地震波速度構造および地震活動解析

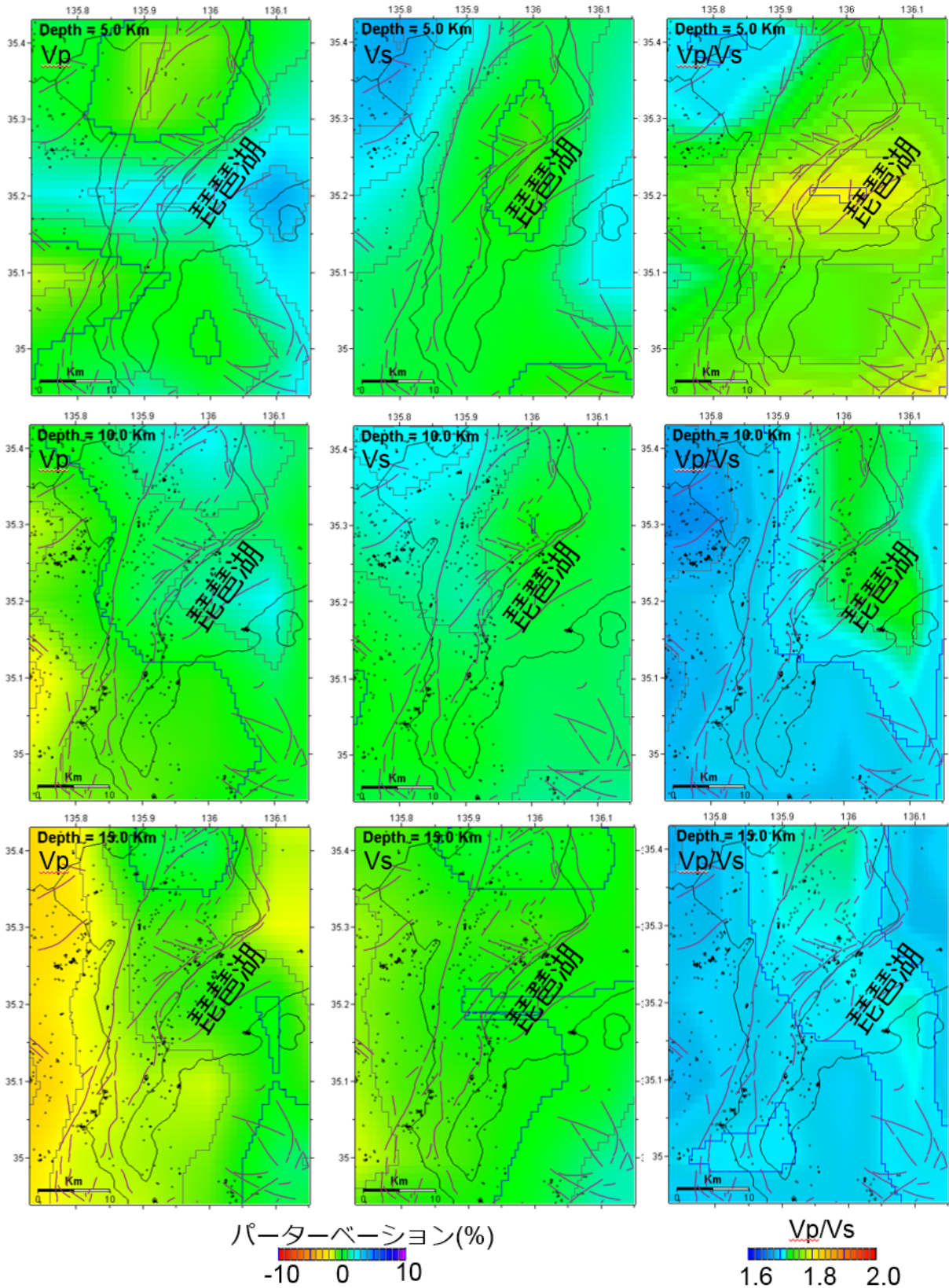


図 深さ 5 km(上)、10 km(中)、15 km(下)における三次元地震波速度構造(Matsubara et al., 2017)と震源分布。P 波速度パーターベーション (左)、S 波速度パーターベーション (中央)、Vp/Vs (右)。紫の線は活断層の地表トレースを示す。

4. 断層帯周辺の岩石物性に基づく地震発生層推定

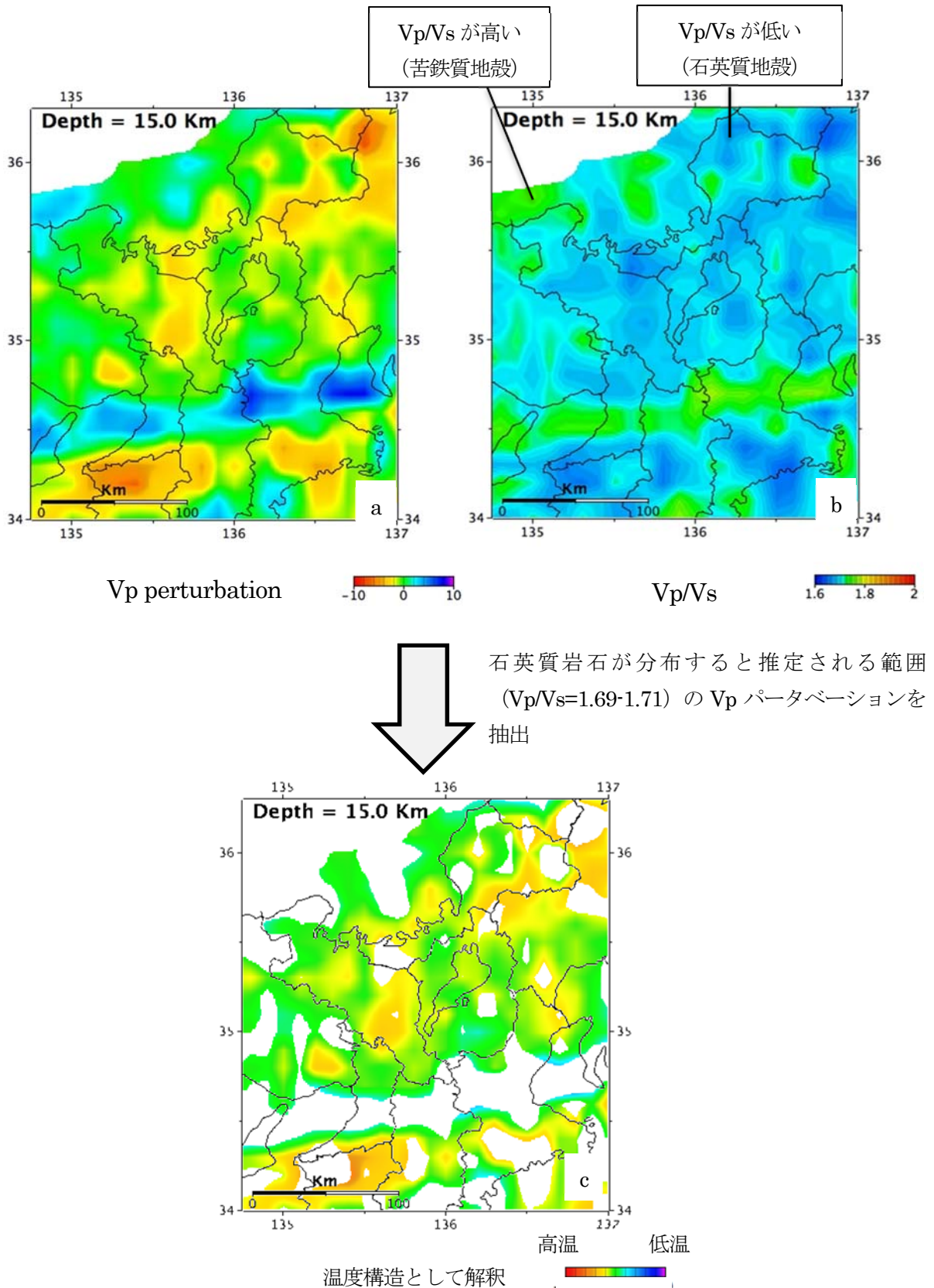


図 地震波速度構造から温度構造を推定。(a)P波速度パータベーション、(b) V_p/V_s 、(c) 定性的な温度構造。

5. 震源断層モデルの構築と推定手法の検討

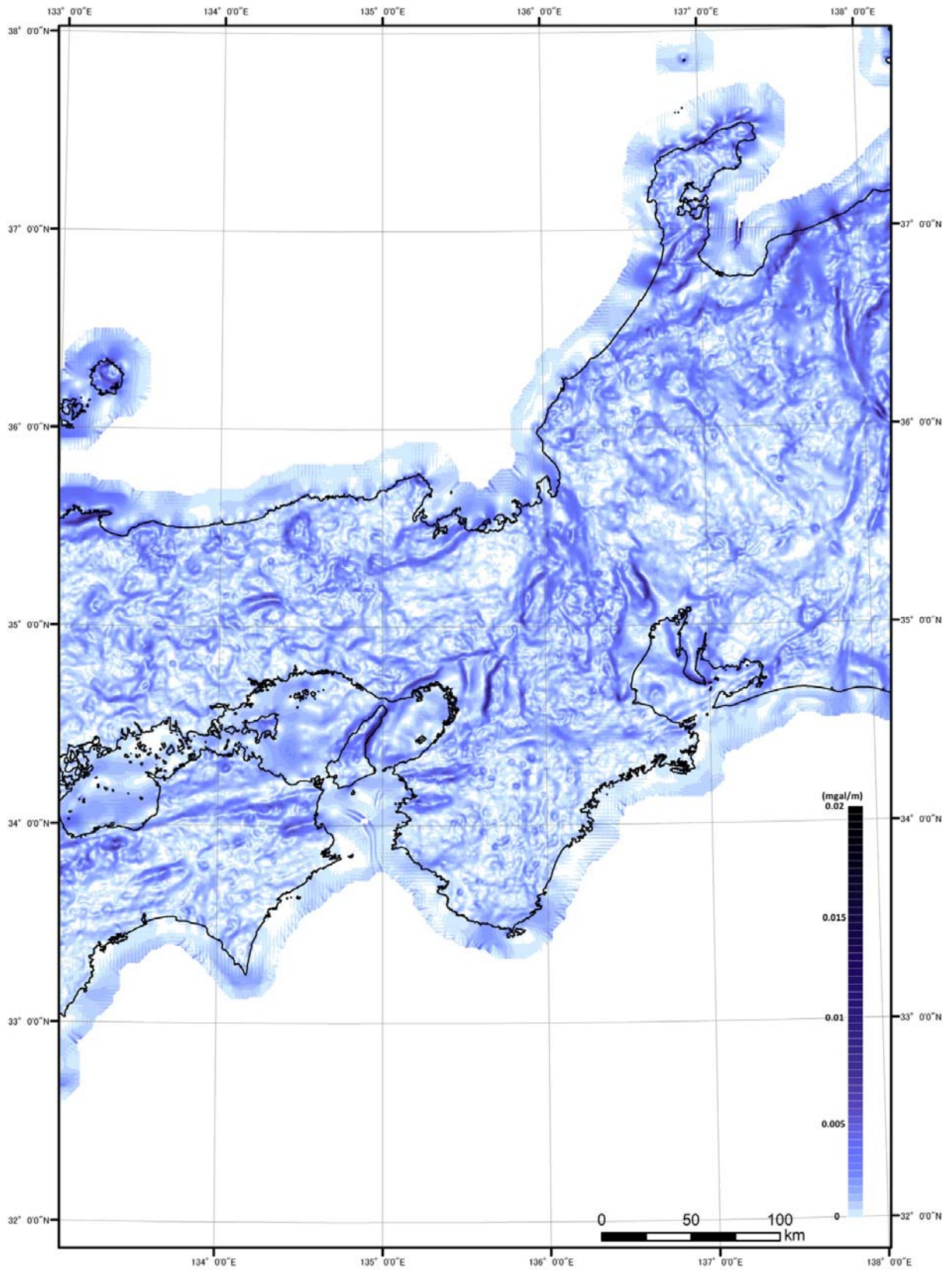


図 近畿地域のブーゲー重力異常値の水平一次微分図。

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 活断層の地表～深部構造および変動地形・地質構造解析.....	5
3.2 活断層の稠密重力探査.....	15
3.3 断層帯の地震波速度構造および地震活動解析.....	31
3.4 断層帯周辺の岩石物性に基づく地震発生層推定.....	43
3.5 震源断層モデルの構築と推定手法の検討.....	49
4. 全体成果概要.....	55
5. 成果の論文発表・口頭発表等.....	57
6. むすび.....	59
7. 全体会議・外部評価委員会	
7.1 活動報告.....	61
7.2 全体会議・外部評価委員会構成員名簿.....	64

1. プロジェクトの概要

活断層から発生する地震像を推定する上で、震源断層の地下形状を正確に理解することは本質的に重要である。一方、地表付近で観察される断層の形状は、既存の弱面の存在や堆積層の物性、断層近傍の応力場の変化などの条件に支配されて、深部にかけて複雑に変化する可能性があり、断層の深部から地表付近（変動地形）までの構造と断層すべりを統一的に説明することが必要である。このような問題意識を念頭に、断層帯深部形状を推定する手法の確立を目的として、地球物理学および変動地形学・地質学的な調査研究観測を実施し、活断層-震源断層システムの形状を具体的に明らかにする。また、本課題の調査観測研究で得られたケーススタディでの知見を活用するとともに、地質・変動地形や重力・地震波トモグラフィ・微小地震活動などの地球物理学的データ及び既往研究を利活用して、日本列島の活断層-震源断層システムの構造的な特徴の抽出を行う。これらの結果を踏まえ、実際に発生した地震、断層帯の3次元形状や、火山など不均質構造と断層帯の関係などにも留意して、日本列島の活断層-震源断層システム形状推定・評価手法と詳細な検討と今後の課題について取り纏めを行い、事業終了後には、地震調査研究推進本部・地震調査委員会の各委員会において、本事業で構築した断層帯深部形状の評価手法について提案し、既往の「活断層の長期評価手法（暫定版）」の改訂に反映されることを目指す。このため、本課題では以下の5つのサブテーマを設定し、効果的な連携を図りながらプロジェクトを推進する。

- ・サブテーマ1 活断層の地表～深部構造および変動地形・地質構造解析

日本列島の活断層のいくつかを対象に、これを横断する浅層～大深度高分解能反射法地震探査を行うとともに、変動地形・地質構造を詳細に検討し、活断層の地表～深部構造を具体的に解明する。

- ・サブテーマ2 活断層の稠密重力探査

活断層を横断する稠密重力探査を行うとともに、密度構造モデルを推定し、活断層の地表～深部構造の推定に資する。

- ・サブテーマ3 断層帯の地震波速度構造および地震活動解析

断層帯の地震波速度構造および地震活動解析を基に、詳細な震源分布、地震発生層の下限や、活断層深部の震源断層域における地殻・最上部マンツルの構造的な特徴を検討する。

- ・サブテーマ4 断層帯周辺の岩石物性に基づく地震発生層推定

より正確な地殻構成岩石モデルを構築するために岩石鉱物の弾性波速度測定実験を行い、基礎データを得るとともに、岩石と鉱物の弾性波速度およびレオロジーに関する既存データを整理し、地殻構成岩石に関する初期モデルに基づき、活断層深部の震源断層域における地震波速度構造に基づく地殻構成岩石モデルを考慮した地震発生層の厚さを検討する。

- ・サブテーマ5 震源断層モデルの構築と推定手法の検討

サブテーマ1・2で得られる資料を総合させて、地表から深部までの断層モデル・震源断層像を提示するとともに、残された課題と課題解決の手法を提案する。さらに、サブテーマ3・4の検討結果を踏まえて、日本列島の活断層-震源断層システムの推定とその課題および解決の手法について提案し、長期評価の手法改良に資する。

2. 業務の実施体制

この重点的調査観測は、東京大学地震研究所、岩手大学、防災科学技術研究所、横浜国立大学の4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。調査観測代表機関は、東京大学地震研究所（研究代表者：石山 達也）とする。

調査観測項目	担当機関	担当者
研究代表者	国立大学法人東京大学地震研究所	石山 達也
1. 活断層の地表～深部構造および変動地形・地質構造解析	国立大学法人東京大学地震研究所 同	石山 達也 佐藤 比呂志
2. 活断層の稠密重力探査	国立大学法人岩手大学	越谷 信
3. 断層帯の地震波速度構造および地震活動解析	国立研究開発法人防災科学技術研究所 同	松原 誠 ヤノトモコエリザベス
4. 断層帯周辺の岩石物性に基づく地震発生層推定	国立大学法人横浜国立大学	石川 正弘
5. 震源断層モデルの構築と推定手法の検討	国立大学法人東京大学地震研究所 同	石山 達也 佐藤 比呂志

また、上記4機関により構成する「断層帯深部形状の評価に関する活断層調査研究 全体会議」（事務局は東京大学地震研究所）を設置し、サブテーマ間の連携を図る。とともに、外部有識者からなる外部評価委員会を設置し、研究計画・実施状況・成果についての報告に基づき、事業内容について助言を行う。

・全体会議

国立大学法人東京大学地震研究所 石山 達也（研究代表者、サブテーマ1・5代表）

国立大学法人岩手大学 越谷 信（サブテーマ2代表）

国立研究開発法人防災科学技術研究所 松原 誠（サブテーマ3代表）

国立大学法人横浜国立大学 石川 正弘（サブテーマ4代表）

・外部評価委員会

国立大学法人千葉大学 宮内 崇裕（外部評価委員会委員長）

国立大学法人弘前大学 小菅 正裕（外部評価委員会委員）

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 重松 紀生（外部評価委員会委員）

3. 研究報告

3.1 活断層の地表～深部構造および変動地形・地質構造解析

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 活断層の地表～深部構造および変動地形・地質構造解析

(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	助教	石山 達也
国立大学法人東京大学地震研究所	教授	佐藤 比呂志

(c) 業務の目的

日本列島の活断層のいくつかを対象に、これを横断する浅層～大深度高分解能反射法地震探査を行うとともに、変動地形・地質構造を詳細に検討し、活断層の地表～深部構造を具体的に解明する。

(d) 3ヵ年の年次実施業務の要約

1) 平成29年度：

逆断層・横ずれ断層の構造とすべり分配の典型例として、琵琶湖西岸断層帯・花折断層帯などを対象に、変動地形・地質構造を検討するとともに、高分解能反射法地震探査を行った。

2) 平成30年度：

横ずれ断層の浅部～深部構造を解明する課題の典型例として、四国地域の中央構造線断層帯などを対象に、変動地形・地質構造の検討と高分解能反射法地震探査を行い、浅部～深部構造を推定する。

3) 平成31年度：

厚い堆積盆縁辺部での複雑な逆断層および断層関連褶曲と伏在活断層の検出の典型例として、東北日本の新第三系・第四系堆積盆地において、変動地形・地質構造を検討するとともに、それぞれ高分解能反射法地震探査および重力探査を行う。これらの取得したデータの解析を行い、変動地形・地質構造解析やサブテーマ2の結果とあわせて断層帯の浅部～深部形状と歪み解消様式を検討する。

(2) 平成29年度の成果

(a) 業務の要約

琵琶湖西岸断層帯・花折断層帯について変動地形・地質構造と既存の反射法地震探査断面を検討し、断層形状を明らかにする目的でこれらを横断する2測線（安曇川測線および和邇川測線）で大型バイブレーター型震源と独立型地震波計収録器を用いた高分解能反射法地震探査を行い、反射法解析に供するデータを取得した。

(b) 業務の方法と成果

活断層の深部形状を考える上で重要な問題のひとつに、異なるすべりセンスを持つ断層が近接して平行する、いわゆるすべり分配(slip partitioning)を生じている断層系がある。このような断層系では、いずれの断層が主断層であるのかを特定することが、震源断層の推定や過去の地震像の推定を行う上で重要な情報である。そこで、日本列島の内陸活断層においてすべり分配が生じている断層系の典型例である琵琶湖西岸断層帯および花折断層帯を対象に、断層構造を推定する目的で反射法地震探査を行った。

琵琶湖西岸断層帯は、全長約 59 km、北北東走向で西傾斜の逆断層からなる断層帯である(活断層研究会, 1991; 池田・他編, 2002; 宮内・他, 2005; 中田・今泉編, 2002; 岡田・他, 1996; 2009; 岡田・東郷編, 2000; 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2003a; 堤・他, 2005)。琵琶湖西岸断層帯は日本最大の湖である琵琶湖と比良山地を境する大規模な地形・地質境界部に位置する逆断層であり、これに沿って下部～中部更新統の古琵琶湖層群およびこれ以降の新旧河成・湖成段丘面が著しい変形を受けている(例えば林, 1974; 小松原・他, 1998; 東郷, 1971; 東郷, 2000)。断層帯北部の上下平均ずれ速度は約1.8-2.1 mm/年、同南部では約1.4 mm/年とされ(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2003a)、日本列島内陸部に分布する逆断層としては最大級の活動度を持つ。断層帯の最新活動については、南部において古地震学的なデータに基づき西暦1185 (元暦2)年の地震(M7.4; 宇佐美, 2003)と推定されている(産業技術総合研究所, 2007; Kaneda et al., 2008)。また、琵琶湖西岸沿岸湖底にも活断層が分布すると考えられている(植村・太井子, 1990)。一方、花折断層帯は長さ約46 km、北北東走向の右横ずれ断層とされる(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2003b; 吉岡, 1986)。花折断層帯は丹波山地東部に位置し、琵琶湖西岸断層帯とほぼ平行しているほか、断層に沿って丹波帯の地質構造に大きな屈曲が認められる(吉田, 1995)。平均変位速度は不明である。また、断層帯の最新活動については1662 (寛文2)年の地震(M7.3; 地震予知総合研究振興会, 2005)とされる。

琵琶湖西岸断層帯では、過去にいくつかの反射法地震探査が行われている。浅層反射法地震探査では、饗庭野台地^{あいはらの}および堅田丘陵^{かたた}の東縁部に、西傾斜の逆断層により形成された古琵琶湖層群の撓曲変形帯がイメージングされている(文部科学省研究開発局・他, 2007; 滋賀国道事務所, 2004; 戸田・他, 1996)。また、文部科学省研究開発局・他(2007)では、琵琶湖西岸断層帯南部と花折断層帯を横断する大深度反射法地震探査を行い、琵琶湖西岸断層帯・堅田断層に対応する西傾斜の反射面が深さ 10 km 程度まで延びることを示した。一方、文部科学省研究開発局・他(2007)は浅部のイメージングについては十分ではなく、変動地形や地質構造との対応関係を検討するには、より詳細なイメージングが必要である。また琵琶湖西岸断層帯北部と花折断層帯の構造的な関係については必ずしも明らかではない。

そこで、琵琶湖西岸断層帯・花折断層帯の構造的な関係について、変動地形・地質構造および反射法地震探査による断層の浅部～深部形状の点から詳細に検討することを目的として、これらを横断する 2 測線(安曇川測線および和邇川測線)で大型バイブレーター型震源と独立型地震波計収録器を用いた高分解能反射法地震探査を行った(図 2 および図 3)。

安曇川測線は滋賀県高島市新旭町太田地内から同高島市朽木麻生地内に至る約 21 km 区間、和邇川測線は滋賀県大津市和邇南浜地内から同大津市伊香立途中町地内に至る約 7 km 区間である。本探査では独立型収録器 GSR-1 および GSX-3 (OYO Geospace 社製) を用い、安曇川測線で 20 m 間隔の受振点展開と大型バイブレーターHEMI-50 (IVI 社製) 2 台による発震を、和邇川測線で 10 m 間隔の受振点展開と大型バイブレーターHEMI-50 (IVI 社製) 1 台による発震を行い、高分解能反射法のデータを取得した (図 4)。実施期間は 2018 年 3 月 1 日~3 月 20 日である。本探査では水平解像度を高める目的で、20 m 間隔の受振点展開に対して 10 m 間隔の、10 m 間隔の受振点展開に対して 5 m 間隔の稠密発振をそれぞれ実施した。主なデータ取得パラメーターを表 1 および 2 に記した。

次年度は、この観測記録を用いて、共通反射点重合法に基づく反射法のデータ解析を行い、反射断面を作成するとともに、変動地形・地質学的データとあわせて断層帯の形状などについて検討を行う。

(c) 結論ならびに今後の課題

琵琶湖西岸断層帯・花折断層帯について変動地形・地質構造と既存の反射法地震探査断面を検討し、断層形状を明らかにする目的でこれらを横断する 2 測線 (安曇川測線および和邇川測線) で大型バイブレーター型震源と独立型地震波計収録器を用いた高分解能反射法地震探査を行い、反射法解析に供する波形データを取得した。このデータを用いて次年度に共通反射点重合に基づく反射法解析を行って反射断面を作成し、変動地形・地質構造および既存の反射法地震探査断面を合わせて断層形状を検討する。

(d) 引用文献

林 隆夫, 堅田丘陵の古琵琶湖層群, 地質学雑誌, 80, 261-276, 1974.

池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志編, 「第四紀逆断層アトラス」. 東京大学出版会, 254 p, 2002.

地震調査研究推進本部地震調査委員会, 「琵琶湖西岸断層帯の評価」. 21 p, 2003a.

地震調査研究推進本部地震調査委員会, 「三方・花折断層帯の評価」. 26 p, 2003b.

地震予知総合研究振興会, 江戸時代の歴史地震の震源域・規模の再検討作業中間報告書. 53 p, 2005.

Kaneda, H., Kinoshita, H., & Komatsubara, T. , An 18,000-year record of recurrent folding inferred from sediment slices and cores across a blind segment of the Biwako-seigan fault zone, central Japan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 113(B5), 10.1029/2007JB005300, 2008.

活断層研究会編, 「新編日本の活断層-分布図と資料-」. 東京大学出版会, 437 p, 1991.

小松原琢・水野清秀・寒川 旭・七山 太・木下博久・松木宏彰・新見 健・吉村辰朗・井上 基・居川信之・葛原秀雄・中村美重・図司高志・横井川博之, 琵琶湖西岸活断層系北部, 饗庭野断層の第四紀後期の活動. 地質調査所月報, 49, 447-460, 1998.

- 宮内崇裕・岡田篤正・堤 浩之・東郷正美・平川一臣, 1:25,000都市圏活断層図「北小松」.国土地理院技術資料, D.1-No.449, 2005.
- 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所・独立行政法人防災科学技術研究所, 大都市大震災軽減化特別プロジェクトI地震動(強い揺れ)の予測「大都市圏地殻構造調査研究」(平成 18 年度)成果報告書, 822 p, 2007.
- 中田 高・今泉俊文編,「活断層詳細デジタルマップ」.東京大学出版会, DVD-ROM2枚・付図1葉・60 p, 2002.
- 岡田篤正・東郷正美編,「近畿の活断層」.東京大学出版会, 395p, 2000.
- 岡田篤正・東郷正美・中田 高・植村善博・渡辺満久, 1:25,000都市圏活断層図「京都東南部」.国土地理院技術資料, D.1-No.333, 1996.
- 岡田篤正・東郷正美・中田 高・植村善博・渡辺満久, 1:25,000都市圏活断層図「京都東北部」.国土地理院技術資料, D.1-No.524, 2009.
- 産業技術総合研究所, 琵琶湖西岸断層帯の活動性および活動履歴調査「基盤的調査観測 対象活断層の追加・補完調査」報告書.No.H18-5, 24p, 2007.
- 佐藤比呂志・他8名, 3.1.3 近畿地殻構造探査(近江測線), 文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」平成18年度 成果報告書, 87-214, 2007.
- 滋賀国道事務所, 第1回滋賀国道地震防災検討委員会資料, 2004(2004年5月31日開催).
- 戸田 茂・川崎慎治・中川康一・香川敏幸・横田 裕・小林芳正・岡田篤正, 琵琶湖南湖周辺における反射法地震探査.活断層研究, 15, 23-36, 1996.
- 東郷正美, 饗庭野台地の変形について.地理学評論, 44, 194-200, 1971.
- 東郷正美, 「微小地形による活断層判読」.古今書院, 206p, 2000.
- 堤 浩之・熊原康博・千田 昇・東郷正美・平川一臣・八木浩司, 1:25,000都市圏活断層図「熊川」.国土地理院技術資料, D.1-No.449, 2005.
- 植村善博・太井子宏和, 琵琶湖湖底の活構造と湖盆の変遷.地理学評論, 63, 722-740, 1990.
- 宇佐美龍夫, 「最新版 日本地震被害総覧[416]-2001」.東京大学出版会, 605p, 2003.
- 吉田鎮男, 花折断層とその活動性, 地質ニュース, 489, 6-16, 1995.
- 吉岡敏和, 花折断層の変位地形. 地理学評論. Ser. A 59, 191-204, 1986.

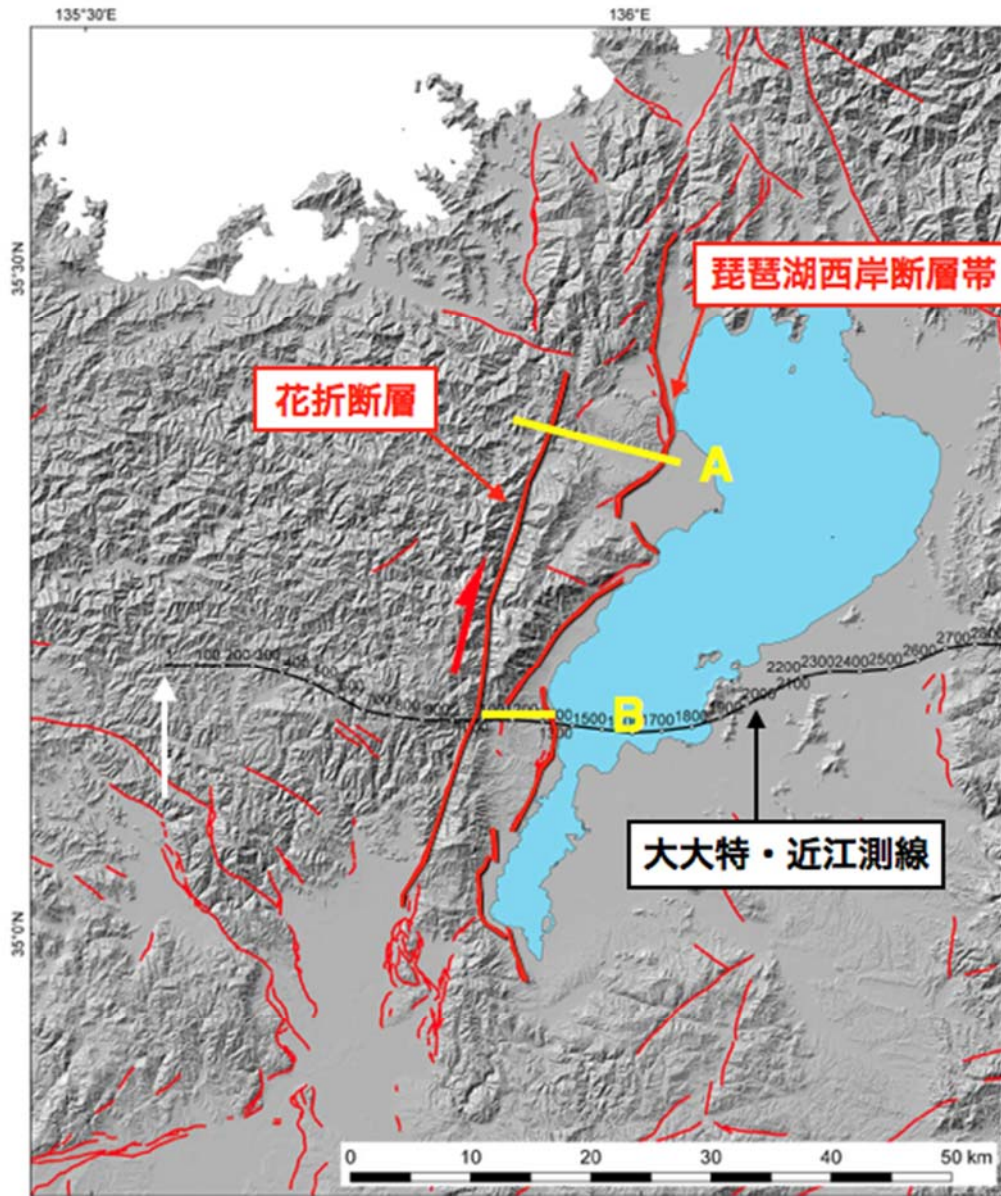


図1 琵琶湖西岸断層帯と花折断層の位置図。活断層の位置は中田・今泉編（2002）による。黄色線は今回実施した反射法地震探査測線の概略位置。A: 安曇川測線, B: 和邇川測線。

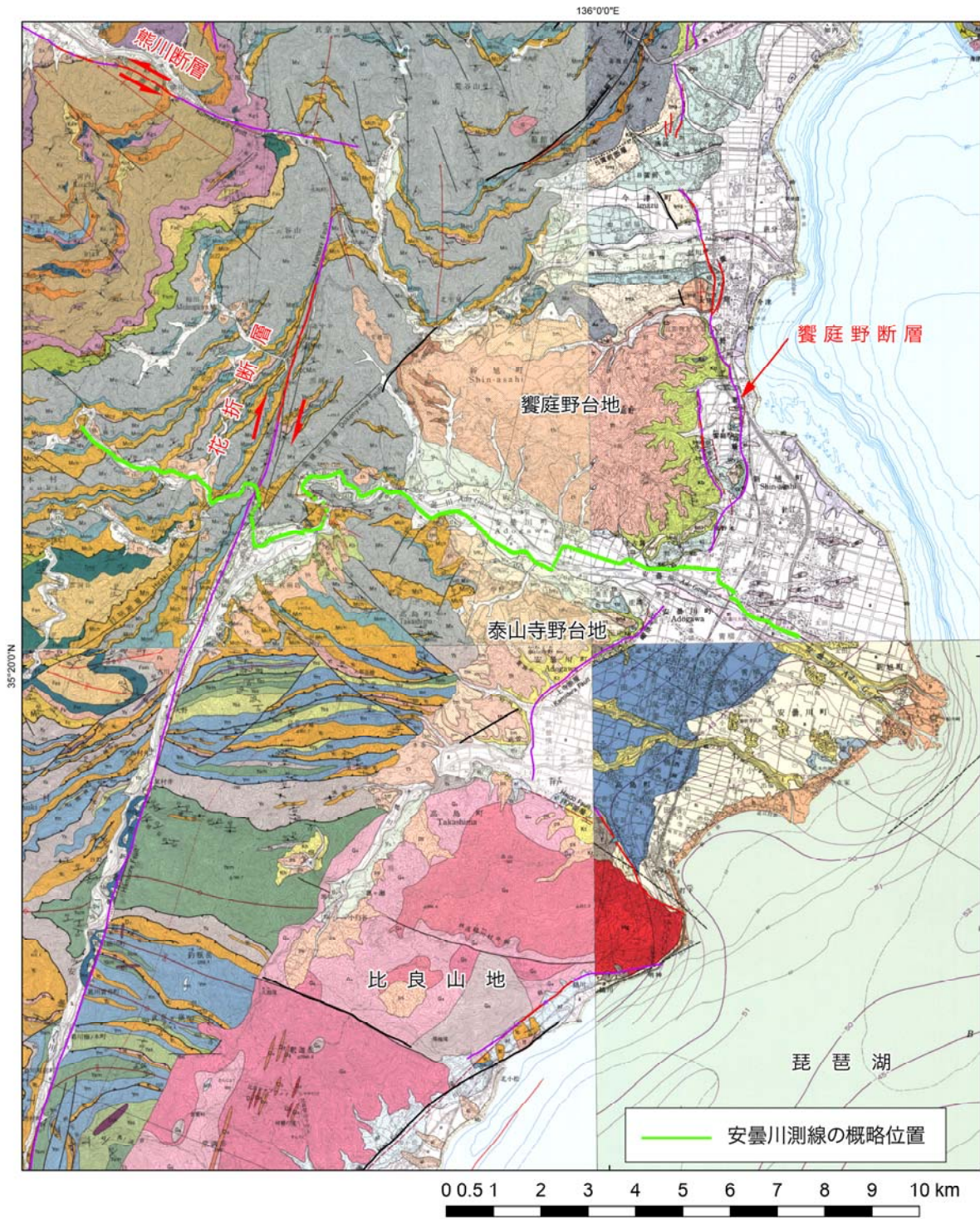


図2 安曇川測線の概略位置図。活断層の位置は中田・今泉編（2002）による。背景は1/5万地質図（竹生島・彦根西部・熊川・北小松）。

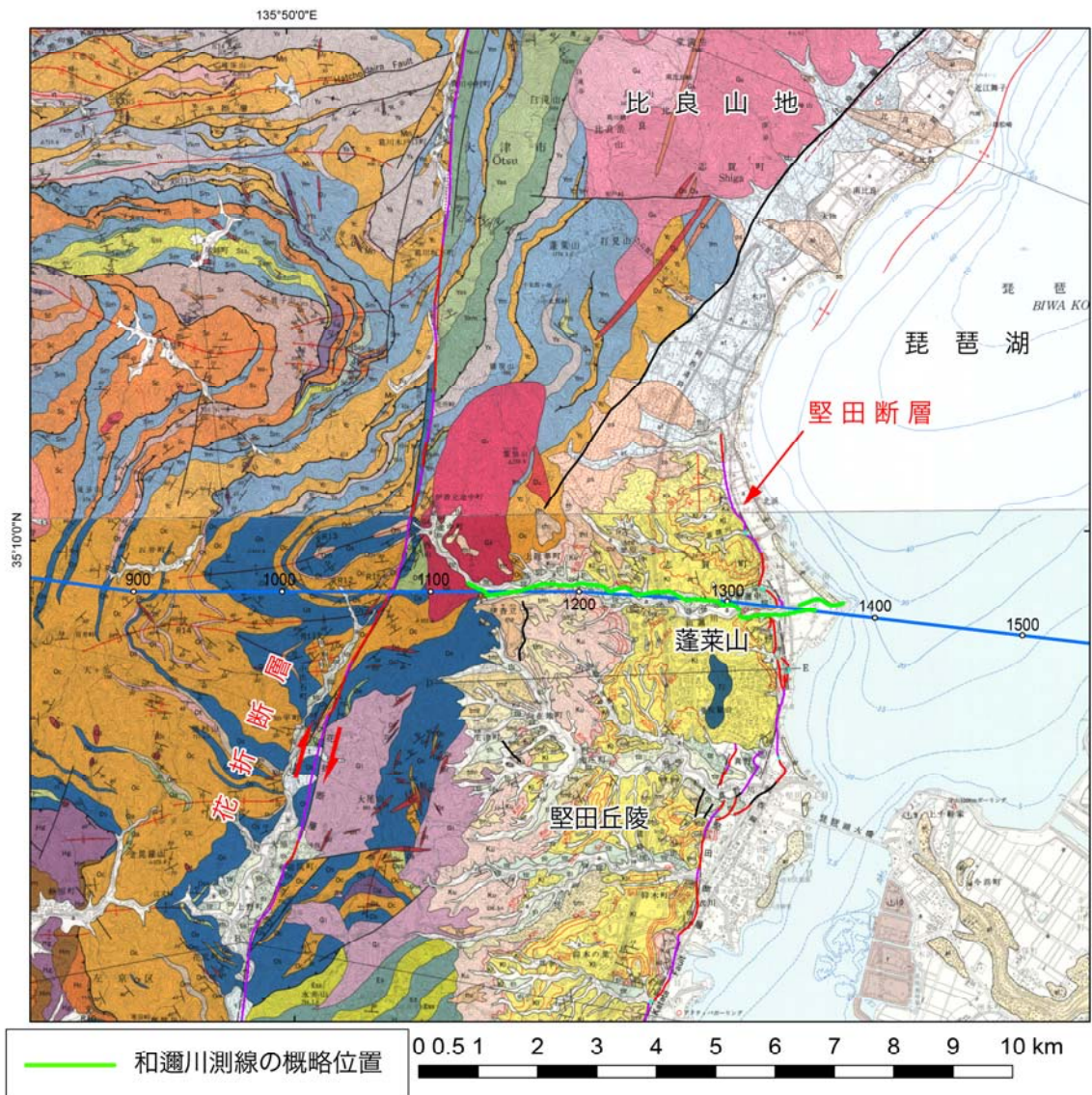


図3 和邇川測線の位置図。活断層の位置は中田・今泉編（2002）による。背景は1/5万地質図（北小松および京都東北部）。青線は大大特・近江測線（佐藤ほか, 2007）の位置。



図4 安曇川測線, VP1900 付近の発振風景。

表 1 安曇川測線の主なデータ取得パラメーター。

調査項目/測定諸元	反射法発震	屈折法発震
発震種別	高分解能バイブレータ発震	高エネルギーバイブレータ発震
測線長	20.56 k m	20.56 k m
調査測線位置概要	受振器展開は全区間。測線上に標準 10m 間隔で受振点及び発震点を設定	受振器展開は全区間。測線上に標準 10m 間隔で受振点、標準 1000m 間隔で発震点を設定
発震系パラメータ		
震源	大型バイブレータ (HEMI-50)	大型バイブレータ (HEMI-50)
バイブレータ台数	2 台	2 台
標準発震点間隔	10 m	1000 m
発震区間	20.56 km (道路沿い)	20.56 km(道路沿い)
スイープ長	16 sec	16 sec
発震回数/発震点	2 回～4 回	20 回
スイープ周波数	6～100 Hz	6～40 Hz
総発震点数	1622 点	16 点
受振系パラメータ		
受振点間隔	標準 20m(20m～100m)	
受振器種別	SM-24 10Hz, GS-One 10Hz	
受振器数/受振点	シングル/920 点	
展開パターン	固定展開	
展開長	20.56 km	
総受振点数	920 点	
記録系パラメータ		
独立型記録システム		
サンプルレート	2 msec	
チャンネル数	920 (固定)	
編集後記録長	4 sec	

表 2 和邇川測線の主なデータ取得パラメーター。

調査項目/測定諸元	反射法発震	屈折法発震
発震種別	高分解能バイブレータ発震	高エネルギーバイブレータ発震
測線長	6.98 k m	6.98 k m
調査測線位置概要	受振器展開は全区間。測線上に標準 10m 間隔で受振点、標準 5m 間隔で発震点を設定	受振器展開は全区間。測線上に標準 10m 間隔で受振点、標準 1000m 間隔で発震点を設定
発震系パラメータ		
震源	大型バイブレータ (HEMI-50)	大型バイブレータ (HEMI-50)
バイブレータ台数	1 台	1 台
標準発震点間隔	5 m	1000 m
発震区間	6.98 km (道路沿い)	6.98 km(道路沿い)
スイープ長	16 sec	16 sec
発震回数/発震点	2 回～4 回	20 回
スイープ周波数	6～100 Hz	6～40 Hz
総発震点数	1176 点	8 点
受振系パラメータ		
受振点間隔	10m	
受振器種別	SM-24 10Hz, GS-One 10Hz	
受振器数/受振点	シングル/920 点	
展開パターン	固定展開	
展開長	6.98 km	
総受振点数	698 点	
記録系パラメータ		
独立型記録システム		
サンプルレート	2 msec	
チャンネル数	698 (固定)	
編集後記録長	4 sec	

3. 2 活断層の稠密重力探査

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 活断層の稠密重力探査

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人岩手大学	教授	越谷 信

(c) 業務の目的

本課題では解決すべき問題を、(1) 逆断層・横ずれ断層の構造とすべり分配、(2) 傾斜する横ずれ断層の構造、(3) 厚い堆積盆縁部での複雑な逆断層および断層関連褶曲の構造、(4) 伏在活断層の検出、と定め、断層帯深部形状を推定する手法の確立を目的として、地球物理学的および変動地形学・地質学的な調査研究観測を実施し、活断層・震源断層システムの形状を具体的に明らかにすることを目指している。サブテーマ2では、活断層を横断する稠密重力探査を行うとともに、密度構造モデルを推定し、活断層の地表～深部構造の推定に資することを目的としている。

(d) 3ヵ年の年次実施業務の要約

1) 平成29年度：

業務の目的で掲げた課題(1) 逆断層・横ずれ断層の構造とすべり分配の典型例として、琵琶湖西岸断層帯・花折断層帯などを対象に、変動地形・地質構造を検討するとともに、多チャンネル稠密固定展開・高エネルギー震源稠密発振による高分解能反射法地震探査(2測線)を行い、サブテーマ2では、このうち琵琶湖西岸断層帯および花折断層の両方を横切る測線に合わせて稠密重力調査を行った。この測線に沿って約200m間隔で重力調査を実施した。

2) 平成30年度：

平成29年度に得られた琵琶湖西岸断層帯・花折断層帯を横切る測線で得られた重力データ、周辺地形スケッチおよび位置情報を基に、通常の補正処理を行い、ブーゲー異常値を算出し、地下密度構造の推定を行う。

さらに、業務の目的で掲げた課題(2) 傾斜する横ずれ断層の構造の典型例として、中央構造線活断層帯(四国)などを対象に、変動地形・地質構造を検討するとともに、高分解能反射法地震探査に合わせて重力調査(2測線)を行う。1測線は、鮮新・更新統に上部白亜系が衝上する、伊藤・他(1996)の深部構造探査測線の近傍に設定する。稠密重力調査により得られたデータを基に、通常の補正処理を行い、ブーゲー異常値を算出し、地下密度構造の推定を行う。この結果は、深部構造と中深度から浅層高分解能断面を比較検討するのに用いる。もう1測線は鮮新・更新統と上部白亜系が正断層の関係にある石鎚山脈北縁を横断する測線で同様の調査を実施し、稠密重

力調査により得られたデータを基に、通常の補正処理を行い、ブーゲー異常値を算出し、地下密度構造の推定を行う。これらの解析結果は、長大な中央構造線活断層帯に沿った、断層深部構造と活断層の構造的な変化を検討するのに資する資料を提供する。なお、重力測定にはシントレックス重力計と RTK-DGPS を用いる。

3) 平成31年度：

業務の目的に掲げた課題(3) 厚い堆積盆縁辺部での複雑な逆断層および断層関連褶曲の典型例として、山形盆地など東北日本の新第三系・第四系堆積盆地を、また課題(4) 伏在活断層の検出を目的として、新潟平野北部において、変動地形・地質構造を検討するとともに、高分解能反射法地震探査に合わせて重力探査(2 測線)を行う。それぞれの測線において、得られた重力に関するデータを基に、通常の補正処理を行い、ブーゲー異常値を算出し、地下密度構造の推定を行う。これらの解析結果は、変動地形・地質構造解析とあわせて断層帯の浅部～深部形状と歪み解消様式を検討するのに用いられる。

(2) 平成29年度の成果

(a) 業務の要約

本課題では解決すべき問題を4 課題に分け、そのうちの課題(1) 逆断層・横ずれ断層の構造とすべり分配の典型例として、琵琶湖西岸断層帯・花折断層帯などを対象に、変動地形・地質構造を検討するとともに、高分解能反射法地震探査(2 測線)を行い、サブテーマ2では、このうち琵琶湖西岸断層帯および花折断層の両方を横切る測線に合わせて約200 mの測定間隔の稠密重力調査を行った。その結果、同測線沿いにおける相対重力値(読み値)を求めることができた。

(b) 業務の実施方法

稠密重力調査の測線は、花折断層および琵琶湖西岸断層帯上寺断層を横切る測線で、滋賀県安曇川沿いに設定した。この測線(以下、「安曇川測線」)における重力の測定間隔は約200 mに設定した。重力測定にはシントレックス重力計CG-5およびCG-6を用い、重力測定点の位置観測はGNSS測量を行い、一部衛星状況の不良な点ではレベル測量を行った。

安曇川測線の近隣地域に既知の重力基準点が存在しないため、京都市内の既知基準点と現地に設けた基準点の間を閉塞測定し、現地基準点の絶対重力値を決定した。

測定点の位置情報は、GNSS測量により、取得データは、経度、緯度、標高およびGNSS測量における諸情報(測定日時、衛星数、PDOP値等)である。測定点における重力に関わる情報は、重力測定値、器械高、起伏の一番大きい方向50 m範囲のスケッチおよび重力測提示の諸情報(測定値の標準偏差、器械の傾き、潮汐補正值、測定時間等)である。重力値は、1分間60回の平均値を求め、X方向およびY方向の傾きの値は10を越えないようにし、潮力補正は組み込まれたソフトウェアを使用した。通常の測定点では4回測定し、両者の平均値の差が20 μGal を越えないようにし、現地仮基準点では、6回以

上測定し、それらの平均値の差が30 μGal を越えないようにした。

(c) 業務の成果

既知重力基準点は京都市内の一等重力基準点（電子基準点（付））960643Aを用いた。同点の諸元は表1に示す通りである。

表1 調査に使用した一等重力点の諸元。

一等重力点（電子基準点（付））	960643A
基準点コード	G1E000960643A
等級種別	一等重力点（電子基準点（付））
基準点名	960643A
20万分の1地勢図名	京都及び大阪
5万分の1地形図名	京都東北部
緯度	35°03'11".2979
経度	135°46'23".8624
標高（m）	70.204 m
重力鉛直勾配（mGal/m）	0.0000 mGal/m
重力値（mGal）	979709.72 mGal
ブーゲー異常値	-12.77 mGal
エポック	0
作業内容	改算
作業年月日	20161201

また、同点の位置を図1に示す。

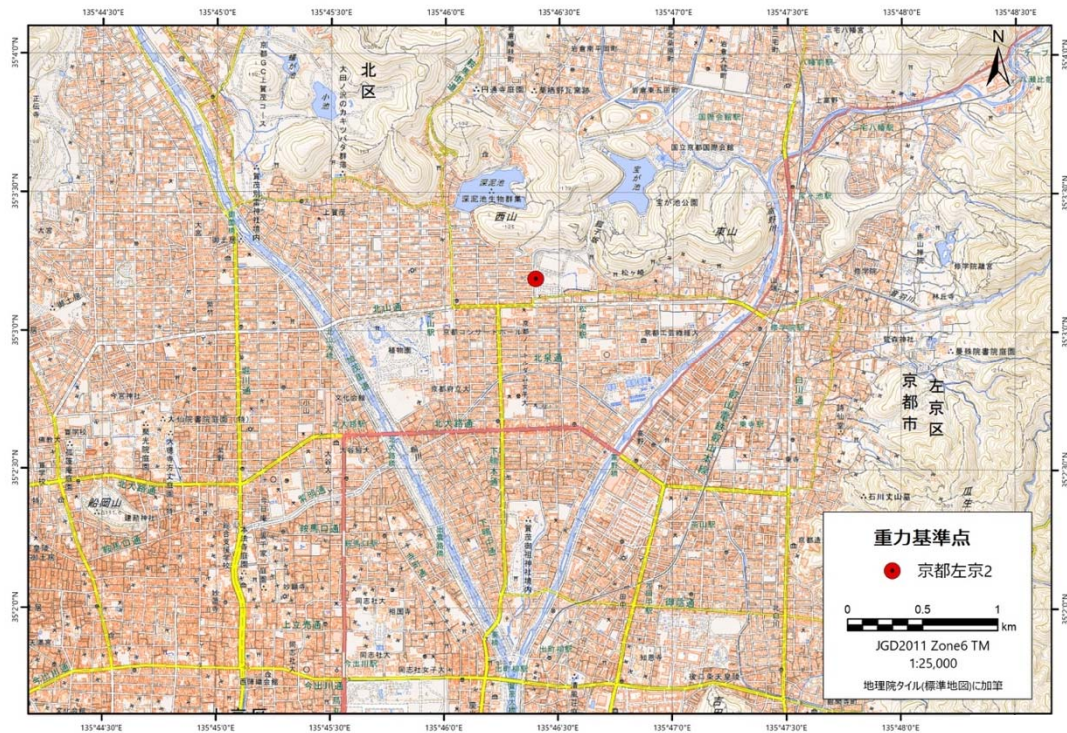


図1 一等重力基準点 960643A 位置図。

重力測定のための仮基準点は、安曇川測線沿いの滋賀県高島市安曇川町市下古賀1182にある旧広瀬小学校敷地内に設けた。仮基準点の位置情報は以下の通りである。また、仮基準点の位置を図2に、現地写真を図3に示す。

- ・緯度 35°21'23".5841
- ・経度 135°59'20".8235
- ・標高 (m) 117.407 m

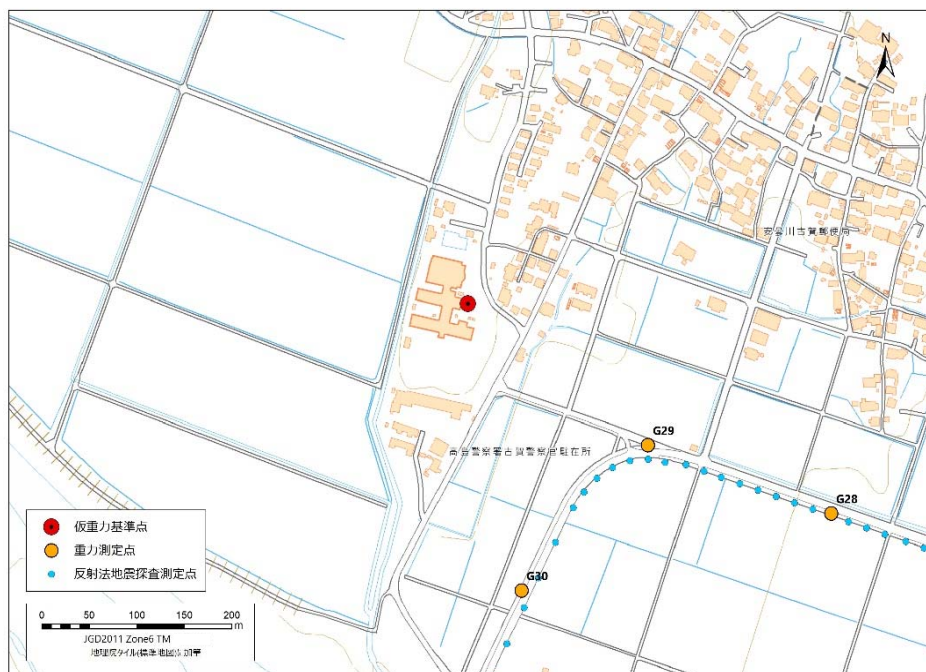


図2 重力仮基準点位置図。



図3 仮基準点写真。

仮基準点の重力値は京都市内の一等重力基準点 960643A との閉合測定に基づき決定する。その際の、重力計の測定値（読み値）を表2に示す。なお、重力測定は各点において複数回実施しているが、表2では、器械の傾きが最も小さいものを表示している。

表2 一等重力点と仮基準点の閉合測定結果。

測定点番号	重力読み値 (mGal)	標準偏差	傾きX	傾きY	潮汐補正 (mGal)	測定時間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	備考
G90001	4653.063	0.043	2.9	-4.3	0.017	120	0:35:07	2018/3/15	一等重力点 960643A
G10001	4648.012	0.013	0	0	0.021	120	3:14:42	2018/3/15	仮重力点
G90001	4653.219	0.022	-5.8	-5.1	-0.058	120	6:09:46	2018/3/15	一等重力点 960643A

安曇川測線における重力測定は、104点で行い、このうち95点は測線沿いにはほぼ200m間隔に設定し、琵琶湖西岸断層帯上寺断層を付近では、測定点間隔を約100mとした。重力測定は、一日3回仮基準点において測定を実施し、器械の内部的理由で発生するドリフト影響を少なくするようにした。測定点の位置を図4、図5その1、その2に、位置情報を表3に、重力測定結果を表4に示す。

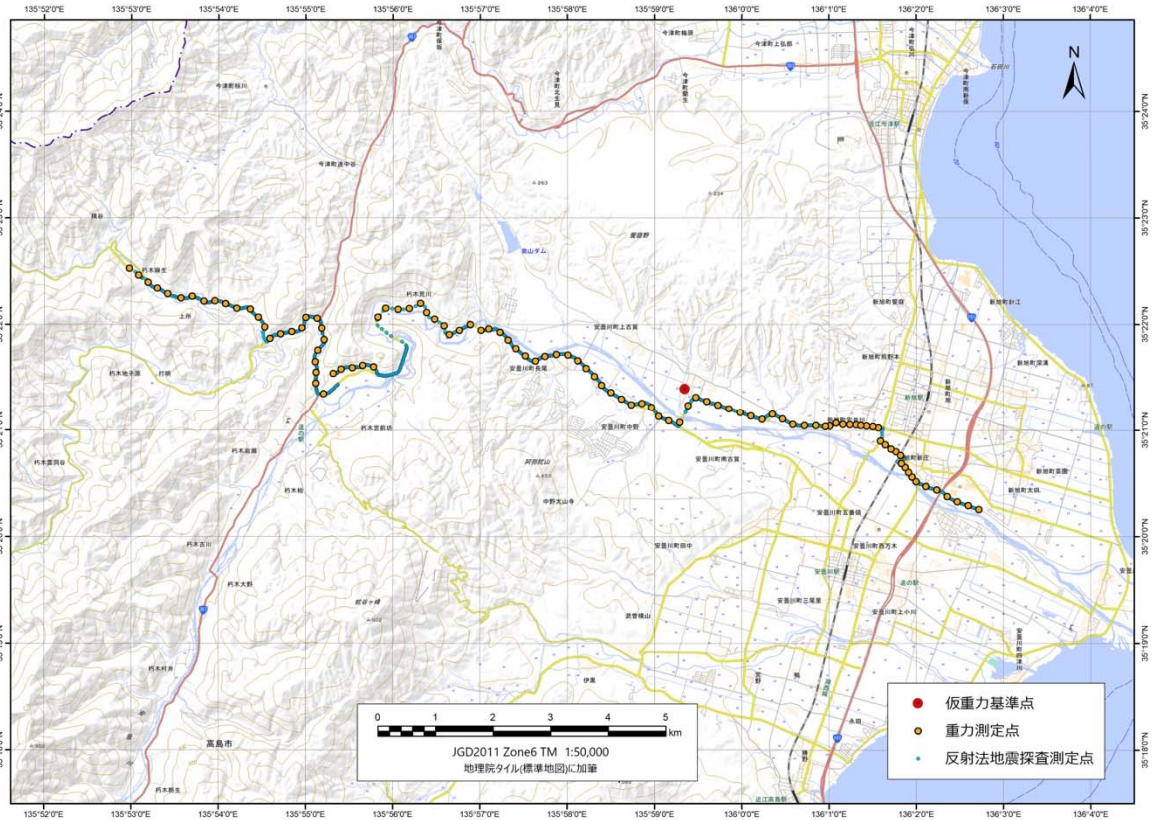


図4 安曇川測線重力測定点位置図（全体）。

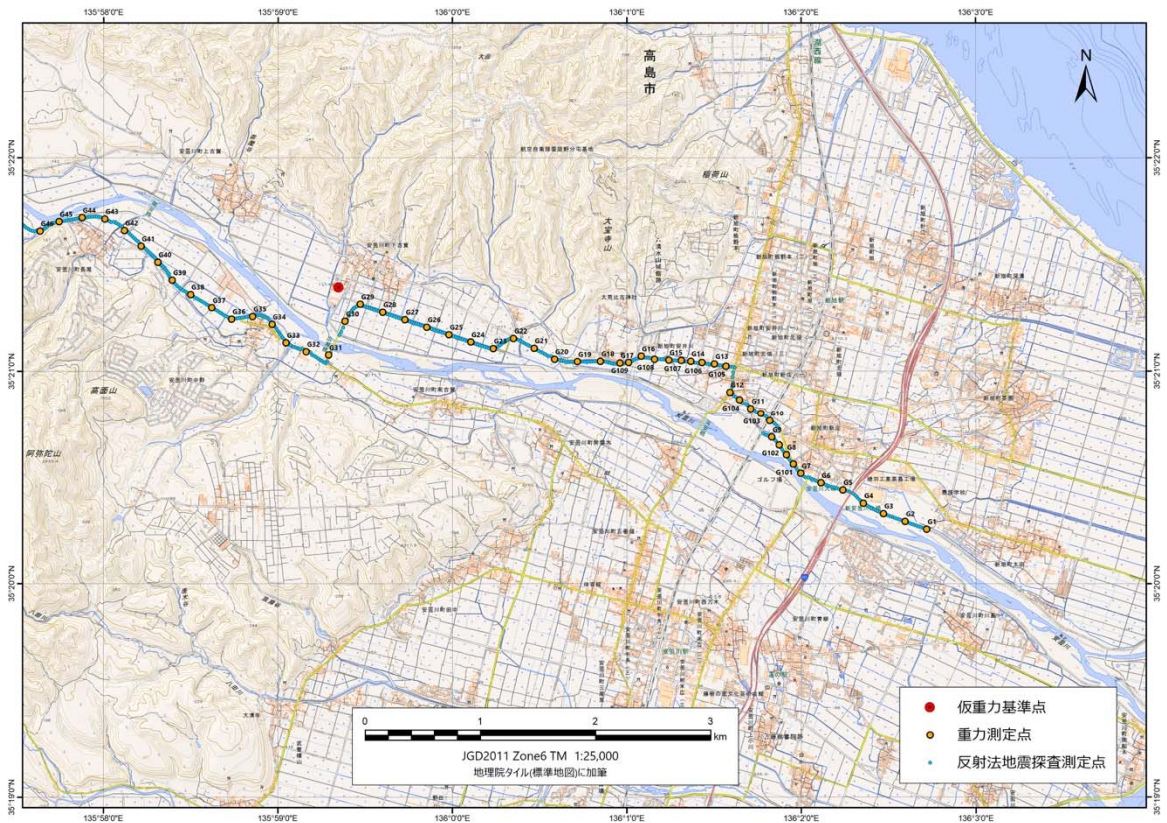


図5（その1） 安曇川測線重力測定点位置図（東側）。

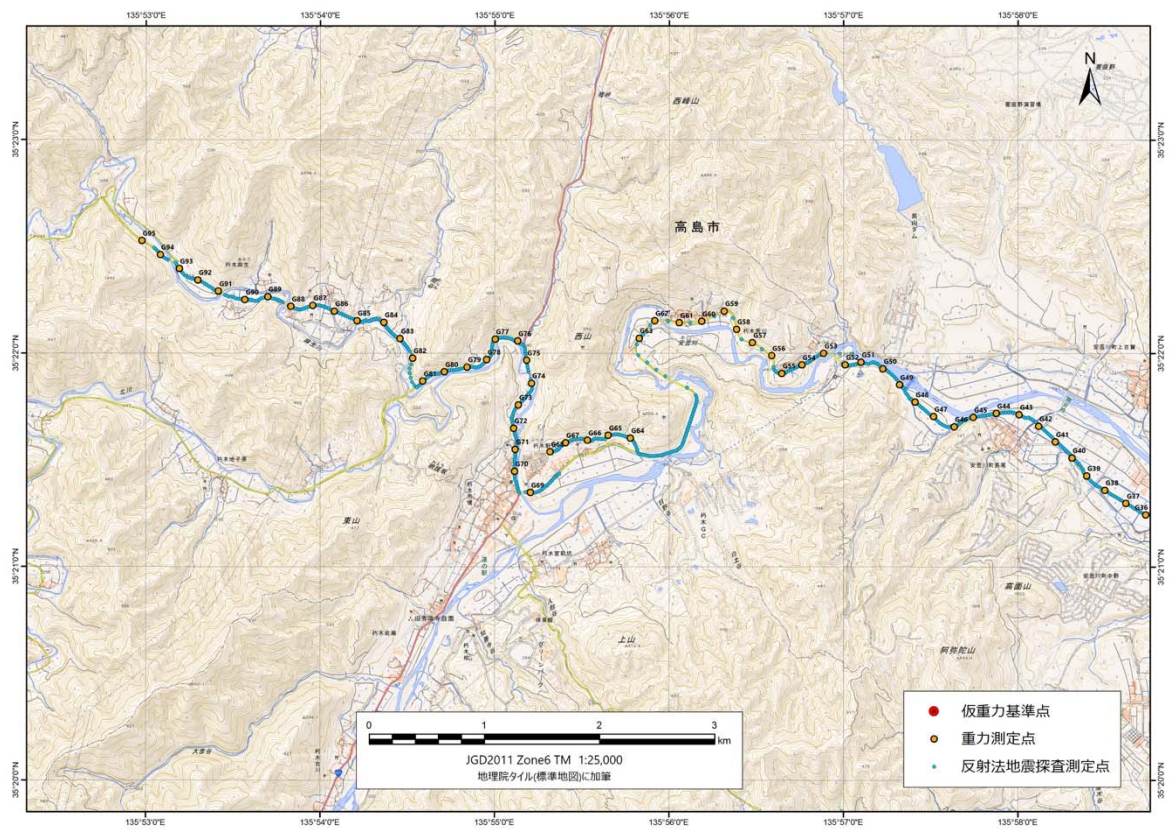


図5 (その2) 安曇川測線重力測定点位置図 (西側)。

表 3 (その 1) 重力測定点の位置。

測定点番号	X座標(m)	Y座標(m)	緯度(°)	経度(°)	標高(m)
G10001	-71385.421	-989.003	35.35655114	135.9891176	117.407
G1	-73486.173	4119.047	35.33760650	136.0453128	97.470
G2	-73418.456	3931.385	35.33821767	136.0432487	98.004
G3	-73351.139	3743.687	35.33882521	136.0411841	98.622
G4	-73261.570	3568.168	35.33963324	136.0392537	99.320
G5	-73145.850	3389.646	35.34067699	136.0372902	97.980
G6	-73085.633	3199.020	35.34122043	136.0351933	100.180
G7	-73002.295	3025.902	35.34197220	136.0332891	101.119
G8	-72841.590	2899.312	35.34342120	136.0318970	101.947
G9	-72687.264	2773.568	35.34481269	136.0305142	102.581
G10	-72543.754	2756.243	35.34610637	136.0303240	96.071
G11	-72435.789	2590.766	35.34708003	136.0285038	97.122
G12	-72294.162	2409.262	35.34835714	136.0265073	97.951
G13	-72046.668	2275.023	35.35058842	136.0250311	98.393
G14	-72024.426	2068.791	35.35078936	136.0227620	99.343
G15	-72013.164	1879.127	35.35089126	136.0206753	100.445
G16	-71980.398	1639.045	35.35118704	136.0180338	102.060
G17	-72039.403	1454.170	35.35065544	136.0159996	103.090
G18	-72023.376	1285.090	35.35080014	136.0141393	103.556
G19	-72027.502	1084.938	35.35076319	136.0119371	104.486
G20	-72005.644	886.375	35.35096042	136.0097524	107.843
G21	-71910.542	708.946	35.35181783	136.0078003	107.486
G22	-71825.608	530.764	35.35258355	136.0058399	109.207
G23	-71914.177	354.019	35.35178525	136.0038952	108.581
G24	-71856.974	158.832	35.35230094	136.0017476	108.895
G25	-71793.263	-30.280	35.35287526	135.9996668	109.391
G26	-71728.400	-222.779	35.35345992	135.9975488	110.157
G27	-71664.310	-412.516	35.35403758	135.9954611	111.156
G28	-71599.031	-606.541	35.35462592	135.9933262	112.290
G29	-71529.574	-799.569	35.35525189	135.9912022	113.920
G30	-71677.627	-932.592	35.35391719	135.9897387	116.645
G31	-71970.018	-1076.867	35.35128137	135.9881516	119.467
G32	-71940.671	-1269.810	35.35154568	135.9860287	121.497
G33	-71863.968	-1444.852	35.35223686	135.9841026	121.401
G34	-71704.301	-1566.708	35.35367595	135.9827616	120.638

表 3 (その 2) 重力測定点の位置。

測定点番号	X座標 (m)	Y座標 (m)	緯度 (°)	経度 (°)	標高 (m)
G35	-71636.003	-1735.188	35.35429132	135.9809076	118.444
G36	-71659.199	-1918.127	35.35408190	135.9788948	119.087
G37	-71560.159	-2090.493	35.35497432	135.9769980	119.688
G38	-71446.417	-2274.170	35.35599921	135.9749767	121.377
G39	-71320.645	-2432.446	35.35713257	135.9732347	123.374
G40	-71166.342	-2559.617	35.35852317	135.9718349	123.661
G41	-71027.419	-2704.664	35.35977507	135.9702384	124.813
G42	-70890.749	-2849.728	35.36100664	135.9686417	126.389
G43	-70790.930	-3018.702	35.36190593	135.9667819	126.238
G44	-70779.791	-3216.510	35.36200572	135.9646052	127.708
G45	-70814.467	-3416.491	35.36169248	135.9624047	130.931
G46	-70896.250	-3582.148	35.36095469	135.9605822	131.491
G47	-70806.718	-3760.639	35.36176109	135.9586177	131.229
G48	-70682.182	-3922.802	35.36288306	135.9568326	132.086
G49	-70531.896	-4057.178	35.36423723	135.9553532	133.958
G50	-70393.185	-4200.972	35.36548700	135.9537701	142.021
G51	-70336.253	-4391.818	35.36599937	135.9516696	149.680
G52	-70358.534	-4529.265	35.36579791	135.9501572	146.136
G53	-70259.829	-4715.755	35.36668680	135.9481044	145.109
G54	-70359.097	-4905.216	35.36579106	135.9460200	155.180
G55	-70433.985	-5078.499	35.36511514	135.9441135	161.032
G56	-70279.715	-5168.111	35.36650530	135.9431264	155.503
G57	-70166.891	-5334.055	35.36752144	135.9412995	156.891
G58	-70050.144	-5473.080	35.36857307	135.9397688	157.778
G59	-69892.838	-5578.692	35.36999047	135.9386055	148.974
G60	-69982.066	-5774.777	35.36918504	135.9364481	146.657
G61	-69994.170	-5968.528	35.36907479	135.9343160	147.740
G62	-69976.573	-6182.728	35.36923211	135.9319586	153.416
G63	-70129.024	-6318.357	35.36785704	135.9304672	159.988
G64	-70993.115	-6393.656	35.36006748	135.9296453	180.016
G65	-70969.931	-6586.520	35.36027521	135.9275228	181.075
G66	-71012.678	-6766.448	35.35988868	135.9255433	182.115
G67	-71033.989	-6957.896	35.35969526	135.9234368	181.283
G68	-71111.079	-7092.333	35.35899941	135.9219582	180.772
G69	-71464.958	-7263.020	35.35580825	135.9200831	170.921

表 3 (その 3) 重力測定点の位置。

測定点番号	X座標(m)	Y座標(m)	緯度(°)	経度(°)	標高(m)
G70	-71281.333	-7401.059	35.35746246	135.9185626	171.929
G71	-71091.138	-7394.143	35.35917697	135.9186370	174.868
G72	-70907.767	-7407.817	35.36082981	135.9184848	183.031
G73	-70705.862	-7366.437	35.36265013	135.9189383	185.466
G74	-70518.325	-7252.677	35.36434145	135.9201885	179.202
G75	-70319.457	-7295.170	35.36613377	135.9197191	179.033
G76	-70152.279	-7373.136	35.36764017	135.9188596	180.808
G77	-70136.223	-7568.128	35.36778345	135.9167136	183.780
G78	-70312.933	-7641.401	35.36618999	135.9159089	192.882
G79	-70378.142	-7812.370	35.36560086	135.9140281	193.896
G80	-70419.970	-8009.041	35.36522226	135.9118642	196.989
G81	-70499.422	-8196.570	35.36450454	135.9098014	194.991
G82	-70301.011	-8283.925	35.36629233	135.9088380	196.902
G83	-70130.657	-8394.013	35.36782701	135.9076248	195.131
G84	-69990.823	-8534.027	35.36908631	135.9060825	198.373
G85	-69976.327	-8768.033	35.36921495	135.9035071	201.774
G86	-69893.691	-8964.070	35.36995811	135.9013488	215.816
G87	-69843.959	-9152.489	35.37040469	135.8992747	218.954
G88	-69852.066	-9341.786	35.37032986	135.8971915	212.504
G89	-69767.583	-9543.689	35.37108949	135.8949685	211.364
G90	-69793.531	-9741.631	35.37085368	135.8927904	211.660
G91	-69719.494	-9972.481	35.37151878	135.8902490	214.948
G92	-69623.118	-10149.593	35.37238574	135.8882986	215.308
G93	-69523.982	-10310.670	35.37327772	135.8865246	219.179
G94	-69402.553	-10476.739	35.37437057	135.8846954	224.596
G95	-69281.633	-10636.075	35.37545888	135.8829402	231.231
G101	-72922.195	2959.438	35.34269444	136.0325582	101.575
G102	-72755.696	2838.568	35.34419564	136.0312290	102.298
G103	-72479.263	2677.828	35.34668792	136.0294615	96.865
G104	-72359.984	2493.663	35.34776360	136.0274357	97.958
G105	-72066.657	2374.390	35.35040800	136.0261243	97.476
G106	-72034.885	2168.293	35.35069487	136.0238568	99.282
G107	-72016.018	1987.979	35.35086532	136.0218729	99.637
G108	-72005.886	1755.331	35.35095709	136.0193132	101.290
G109	-72034.249	1528.703	35.35070179	136.0168197	102.677

表 4 (その 1) 重力測定結果。

測定点番号	重力読み値 (mGal)	標準偏差	傾きX	傾きY	潮汐補正 (mGal)	測定時間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	備考
G10001	4648.529	0.083	-5.5	-0.1	-0.032	60	23:12:14	2018/3/15	仮基準点
G1	4638.310	0.119	-1.6	1.0	-0.013	60	23:42:52	2018/3/15	
G3	4638.490	0.117	2.3	-0.8	0.006	60	0:16:19	2018/3/16	
G4	4638.611	0.112	4.6	-5.3	0.013	60	0:28:23	2018/3/16	
G5	4639.237	0.204	1.2	-1.5	0.022	60	0:44:08	2018/3/16	
G6	4639.146	0.147	-3.0	-2.9	0.029	60	0:59:32	2018/3/16	
G7	4639.459	0.197	-1.1	-3.4	0.036	60	1:16:49	2018/3/16	
G8	4639.760	0.158	-1.3	2.4	0.046	60	1:46:31	2018/3/16	
G9	4640.175	0.112	1.3	5.5	0.048	60	1:58:22	2018/3/16	
G10001	4648.613	0.095	1.0	-4.5	0.050	60	2:22:43	2018/3/16	仮基準点
G10	4641.834	0.152	-2.2	-2.8	0.036	60	3:41:13	2018/3/16	
G11	4642.415	0.121	-2.6	-4.7	0.030	60	3:56:21	2018/3/16	
G12	4642.941	0.272	2.1	-2.0	0.020	60	4:15:32	2018/3/16	
G13	4643.313	0.182	-2.5	-5.7	0.001	60	4:50:56	2018/3/16	
G14	4644.067	0.182	0.0	-4.8	-0.008	60	5:07:14	2018/3/16	
G15	4644.822	0.279	0.0	2.6	-0.023	60	5:31:24	2018/3/16	
G16	4645.924	0.154	4.4	-4.3	-0.032	60	5:45:53	2018/3/16	
G17	4646.452	0.112	1.5	-3.8	-0.041	60	6:00:14	2018/3/16	
G18	4647.535	0.103	0.2	-1.8	-0.055	60	6:26:41	2018/3/16	
G19	4649.031	0.126	3.1	-2.2	-0.062	60	6:41:10	2018/3/16	
G20	4649.439	0.159	0.2	-3.0	-0.068	60	6:52:40	2018/3/16	
G10001	4648.738	0.121	0.0	0.7	-0.077	60	7:21:27	2018/3/16	仮基準点
G10001	4649.142	0.094	1.0	1.0	-0.043	60	23:13:27	2018/3/16	仮基準点
G20	4649.857	0.075	0.0	0.9	-0.026	60	23:38:32	2018/3/16	再測
G21	4649.628	0.069	3.5	-1.4	-0.010	60	0:01:51	2018/3/17	
G22	4649.188	0.097	-1.4	1.3	0.000	60	0:16:22	2018/3/17	
G23	4649.551	0.07	-1.7	0.0	0.017	60	0:43:22	2018/3/17	
G24	4649.493	0.06	1.0	1.2	0.026	60	0:55:37	2018/3/17	
G25	4649.533	0.09	-0.1	-0.5	0.034	60	1:09:17	2018/3/17	
G26	4649.493	0.084	0.9	1.1	0.044	60	1:29:00	2018/3/17	
G27	4649.337	0.082	-0.5	0.0	0.050	60	1:40:09	2018/3/17	
G28	4649.283	0.076	-0.4	0.7	0.055	60	1:53:25	2018/3/17	
G29	4649.317	0.044	2.7	4.8	0.061	60	2:12:29	2018/3/17	
G10001	4649.213	0.063	1.0	1.5	0.066	60	2:34:35	2018/3/17	仮基準点
G30	4648.669	0.06	-1.1	-6.0	0.057	60	3:54:29	2018/3/17	
G31	4647.936	0.064	-2.1	-1.1	0.049	60	4:16:13	2018/3/17	
G32	4648.145	0.132	0.2	-3.3	0.041	60	4:30:40	2018/3/17	
G33	4648.906	0.053	-4.7	4.6	0.032	60	4:46:56	2018/3/17	
G34	4649.578	0.065	-4.7	-8.1	0.019	60	5:07:53	2018/3/17	
G35	4650.714	0.071	1.1	-4.3	-0.003	60	5:43:07	2018/3/17	
G36	4651.152	0.062	-0.1	2.2	-0.018	60	6:03:00	2018/3/17	
G37	4651.147	0.057	0.7	-3.8	-0.028	60	6:18:02	2018/3/17	
G38	4651.147	0.067	3.6	-0.6	-0.038	60	6:33:09	2018/3/17	
G39	4651.552	0.051	1.1	-2.4	-0.052	60	6:55:09	2018/3/17	
G40	4652.566	0.059	-0.6	-4.1	-0.059	60	7:05:46	2018/3/17	
G41	4652.460	0.049	1.0	-0.9	-0.067	60	7:21:55	2018/3/17	
G42	4651.608	0.039	1.1	0.4	-0.072	60	7:31:53	2018/3/17	
G43	4651.785	0.042	-1.0	-1.1	-0.078	60	7:44:44	2018/3/17	
G44	4652.001	0.033	-1.3	-1.2	-0.082	60	7:56:34	2018/3/17	
G10001	4649.378	0.045	0.0	-2.9	-0.088	60	8:22:10	2018/3/17	仮基準点

表4 (その2) 重力測定結果。

測定点番号	重力読み値 (mGal)	標準偏差	傾きX	傾きY	潮汐補正 (mGal)	測定時間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	備考
G10001	4649.737	0.034	-1.0	1.1	-0.075	60	22:38:02	2018/3/17	仮基準点
G44	4652.384	0.029	0.3	2.1	-0.064	60	22:59:26	2018/3/17	再測
G45	4652.011	0.035	-1.8	1.4	-0.058	60	23:10:05	2018/3/17	
G46	4651.818	0.029	-1.5	1.0	-0.047	60	23:28:11	2018/3/17	
G47	4651.575	0.03	2.7	0.4	-0.037	60	23:41:31	2018/3/17	
G48	4651.844	0.028	0.3	0.0	-0.026	60	23:56:56	2018/3/17	
G49	4652.039	0.017	-3.0	1.9	-0.014	60	0:13:33	2018/3/18	
G50	4651.188	0.023	2.9	1.1	-0.002	60	0:28:47	2018/3/18	
G51	4650.169	0.029	-0.4	1.5	0.007	60	0:43:16	2018/3/18	
G52	4650.994	0.02	1.3	-4.3	0.022	60	1:02:29	2018/3/18	
G53	4651.307	0.02	0.0	-2.1	0.032	60	1:16:49	2018/3/18	
G54	4649.674	0.023	4.3	-0.6	0.050	60	1:44:08	2018/3/18	
G55	4648.561	0.028	0.9	-1.8	0.057	60	1:57:14	2018/3/18	
G10001	4649.833	0.021	1.8	-0.5	0.073	60	2:31:48	2018/3/18	仮基準点
G56	4649.268	0.041	3.0	-2.4	0.079	60	4:01:48	2018/3/18	
G57	4649.267	0.021	2.5	0.3	0.074	60	4:21:54	2018/3/18	
G58	4649.207	0.018	-2.2	-0.5	0.067	60	4:39:43	2018/3/18	
G59	4650.277	0.013	5.0	2.0	0.059	60	4:55:13	2018/3/18	
G60	4651.811	0.041	-2.2	-1.3	0.053	60	5:06:59	2018/3/18	
G61	4651.854	0.025	-1.5	-7.2	0.046	60	5:18:07	2018/3/18	
G62	4650.846	0.03	-4.7	2.1	0.023	60	5:50:29	2018/3/18	
G63	4649.754	0.025	2.5	-0.4	0.013	60	6:04:46	2018/3/18	
G64	4644.683	0.024	2.5	-4.6	-0.002	60	6:26:10	2018/3/18	
G65	4644.624	0.015	-2.9	1.6	-0.026	60	6:58:08	2018/3/18	
G66	4644.585	0.023	-0.1	-0.9	-0.034	60	7:09:18	2018/3/18	
G67	4645.238	0.015	0.6	1.2	-0.042	60	7:20:48	2018/3/18	
G68	4645.612	0.016	4.1	0.0	-0.050	60	7:31:25	2018/3/18	
G69	4644.834	0.032	0.1	4.4	-0.059	60	7:47:00	2018/3/18	
G10001	4650.002	0.013	1.3	-1.4	-0.078	60	8:24:11	2018/3/18	仮基準点
G10001	4650.362	0.052	0.0	-0.7	-0.085	60	22:31:06	2018/3/18	仮基準点
G69	4645.231	0.036	3.5	-3.4	-0.076	60	22:54:55	2018/3/18	
G70	4646.703	0.062	1.0	-0.9	-0.068	60	23:12:57	2018/3/18	
G71	4647.733	0.018	-1.6	-0.1	-0.062	60	23:24:57	2018/3/18	
G72	4646.779	0.029	3.3	-3.1	-0.051	60	23:41:56	2018/3/18	
G73	4646.693	0.017	2.7	-4.2	-0.042	60	23:56:12	2018/3/18	
G74	4647.741	0.053	-1.3	1.5	-0.033	60	0:07:50	2018/3/19	
G75	4648.055	0.031	5.2	-0.3	-0.024	60	0:20:58	2018/3/19	
G76	4647.665	0.013	-0.7	0.1	-0.011	60	0:37:32	2018/3/19	
G77	4647.021	0.022	-0.7	-1.7	-0.002	60	0:49:19	2018/3/19	
G78	4646.635	0.02	-3.0	1.5	0.008	60	1:02:03	2018/3/19	
G79	4646.255	0.016	2.3	-0.8	0.022	60	1:19:40	2018/3/19	
G80	4644.787	0.014	2.0	-3.9	0.033	60	1:34:09	2018/3/19	
G81	4646.854	0.019	4.6	0.8	0.044	60	1:48:53	2018/3/19	
G10001	4650.464	0.019	-0.1	0.0	0.073	60	2:34:39	2018/3/19	仮基準点
G82	4646.054	0.02	0.3	0.4	0.096	60	4:13:11	2018/3/19	
G83	4648.044	0.019	-1.5	-4.2	0.095	60	4:23:53	2018/3/19	
G84	4648.068	0.014	-1.9	-1.1	0.093	60	4:34:46	2018/3/19	
G85	4647.924	0.03	0.7	3.0	0.085	60	5:02:18	2018/3/19	
G86	4645.631	0.013	2.2	-2.2	0.079	60	5:15:37	2018/3/19	
G87	4644.889	0.019	-1.9	-0.4	0.071	60	5:29:59	2018/3/19	

表 4 (その 3) 重力測定結果。

測定点番号	重力読み値 (mGal)	標準偏差	傾きX	傾きY	潮汐補正 (mGal)	測定時間 (秒)	測定時刻 UTC	測定日 UTC	備考
G88	4646.098	0.02	2.4	-2.8	0.064	60	5:42:54	2018/3/19	
G89	4646.438	0.02	0.6	2.7	0.050	60	6:05:21	2018/3/19	
G90	4646.439	0.027	-2.7	-0.6	0.040	60	6:18:31	2018/3/19	
G91	4645.600	0.028	-1.0	-1.7	0.027	60	6:36:18	2018/3/19	
G92	4645.780	0.039	-2.2	-3.8	0.017	60	6:48:49	2018/3/19	
G93	4645.367	0.026	2.4	-1.5	0.007	60	7:02:09	2018/3/19	
G94	4643.832	0.041	-0.9	-0.9	-0.008	60	7:23:12	2018/3/19	
G95	4642.510	0.035	0.0	0.9	-0.021	60	7:39:39	2018/3/19	
G10001	4650.613	0.033	0.0	-0.4	-0.047	60	8:15:34	2018/3/19	仮基準点
G10001	4651.003	0.082	-2.5	2.6	-0.077	60	23:13:00	2018/3/19	仮基準点
G7	4641.889	0.135	1.7	1.7	-0.066	60	23:37:42	2018/3/19	再測
G101	4642.034	0.133	0.9	-0.1	-0.060	60	23:49:22	2018/3/19	
G102	4642.334	0.125	-2.5	-0.8	-0.050	60	0:06:24	2018/3/20	
G103	4644.502	0.129	0.8	-0.9	-0.036	60	0:27:15	2018/3/20	
G104	4645.105	0.108	-0.5	-2.7	-0.027	60	0:39:21	2018/3/20	
G105	4645.769	0.088	0.3	0.4	-0.014	60	0:56:05	2018/3/20	
G106	4646.059	0.087	-0.3	0.9	-0.006	60	1:06:27	2018/3/20	
G107	4646.798	0.136	1.2	-0.5	0.009	60	1:27:07	2018/3/20	
G108	4647.681	0.124	0.0	3.8	0.022	60	1:42:30	2018/3/20	
G109	4648.472	0.087	0.0	0.2	0.030	60	1:52:50	2018/3/20	
G17	4648.814	0.114	-1.5	1.0	0.039	60	2:03:53	2018/3/20	再測
G10001	4651.078	0.14	-0.6	-0.2	0.050	60	2:19:23	2018/3/20	仮基準点
G2	4640.933	0.147	-0.1	0.7	0.091	60	3:27:03	2018/3/20	
G33	4650.745	0.128	1.7	1.0	0.099	60	3:48:58	2018/3/20	再測
G34	4651.453	0.182	-0.6	0.8	0.102	60	4:00:50	2018/3/20	再測
G35	4652.542	0.126	1.1	1.1	0.105	60	4:18:18	2018/3/20	再測
G60	4653.059	0.105	-0.1	2.3	0.107	60	4:38:43	2018/3/20	再測
G10001	4651.148	0.125	3.3	-2.2	0.105	60	5:02:57	2018/3/20	仮基準点

また、用いたシントレックス社製重力計 CG-5 は、潮汐補正は自動で行うよう設定したが、ドリフト補正値を事前入力していないため、得られた相対重力値はドリフト補正を行う必要がある。

前述のように、仮基準点では、閉合測定のため、一日に 3 回の測定を行っている。仮基準点における測定値（読み値）の時間変化を図 6 に示す。図 6 から明らかなように、読み値の変化は時間に対して線形に変化する。これに基づき、器械内部のドリフト変化は時間に対して線形に変化するとして計算することができる。測定期間全体では、一日あたり 0.6 mGal の変化が読み取れる。実際の計算にあたっては、仮基準点での直近の測定値を使用することになる。

また、ブーゲー異常値

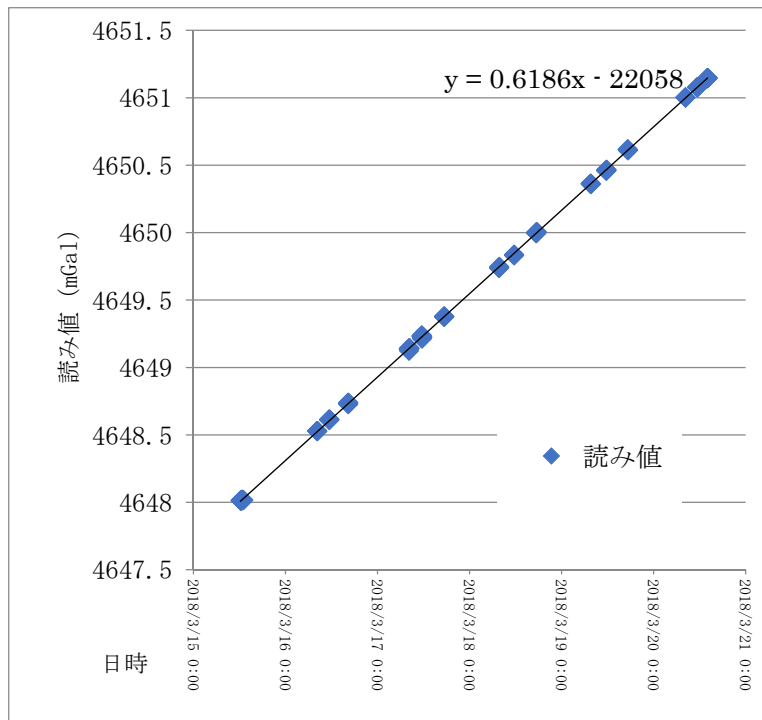


図 6 重力仮基準点における読み値の変化。

等の算出の際には、器械高を補正する必要がある。重力計 CG-5 の場合、器械の底面から重力センサーまでの距離は、0.089 m であるので、測定点の地面から底面までの器械高を測定時に現地で測定した。その結果を、表 5 に示す。

表 5 重力計器械高。

測定点番号	器械高	測定点番号	器械高	測定点番号	器械高
G90001	0.17	G35	0.17	G71	0.17
G10001	0.16	G36	0.18	G72	0.18
G1	0.16	G37	0.18	G73	0.17
G2	0.17	G38	0.18	G74	0.16
G3	0.17	G39	0.17	G75	0.17
G4	0.17	G40	0.17	G76	0.17
G5	0.18	G41	0.17	G77	0.17
G6	0.16	G42	0.17	G78	0.17
G7	0.17	G43	0.17	G79	0.17
G8	0.16	G44	0.17	G80	0.18
G9	0.14	G45	0.17	G81	0.17
G10	0.17	G46	0.17	G82	0.17
G11	0.17	G47	0.18	G83	0.17
G12	0.17	G48	0.16	G84	0.17
G13	0.17	G49	0.17	G85	0.16
G14	0.17	G50	0.18	G86	0.16
G15	0.17	G51	0.17	G87	0.17
G16	0.18	G52	0.18	G88	0.16
G17	0.17	G53	0.17	G89	0.17
G18	0.17	G54	0.18	G90	0.17
G19	0.17	G55	0.17	G91	0.16
G20	0.16	G56	0.17	G92	0.17
G21	0.17	G57	0.17	G93	0.17
G22	0.17	G58	0.16	G94	0.16
G23	0.18	G59	0.17	G95	0.17
G24	0.17	G60	0.17	G101	0.14
G25	0.17	G61	0.18	G102	0.15
G26	0.17	G62	0.17	G103	0.17
G27	0.17	G63	0.17	G104	0.17
G28	0.17	G64	0.17	G105	0.17
G29	0.17	G65	0.16	G106	0.17
G30	0.17	G66	0.17	G107	0.18
G31	0.17	G67	0.17	G108	0.17
G32	0.18	G68	0.17	G109	0.16
G33	0.17	G69	0.18		
G34	0.18	G70	0.17		

(d) 結論ならびに今後の課題

稠密重力調査により、安曇川測線の重力の読み値を取得することができた。重力計CG-5のドリフトは時間に対して線形に変化することが明らかになった。したがって、この線形性を利用して、ドリフト補正を行うことができる。

今後、これらのデータを基に、器械高補正を行い、まず、一等重力点との閉合測定より重力仮基準点の絶対重力値を算出する。これを基に、各重力測定点において、地形補正、フリーエア補正、ブーゲー補正を行い、ブーゲー異常値を算出する。地形補正は、今回の調査で併せて取得した起伏の大きい方向50 mのスケッチを用い、極近傍地形補正を行い、それより以遠は、国土地理院公表のDEMデータを用いて、Hammer (1939)の方法に従って行う。この地形補正やブーゲー補正の場合に用いる表層地殻密度は、同時に行われる屈

折法および反射法地震探査により得られるP波速度を基に推定する。

また、同測線で行われた反射法地震探査の結果および既往の地形・地質情報と合わせて地下密度構造の推定を行う。本地域のブーゲー異常値の分布は地質調査総合センター（2004）で公表されており（図7）、この結果と地質情報（石田・他、1984；木村・他、2001；木村・他、1998；宮内・他、2004；中江・他、1998；中江・他、2001；岡田・他、2008；堤・他、2004など）を合わせて、地下密度構造を推定し、活断層の地下深部形状の推定に資する。

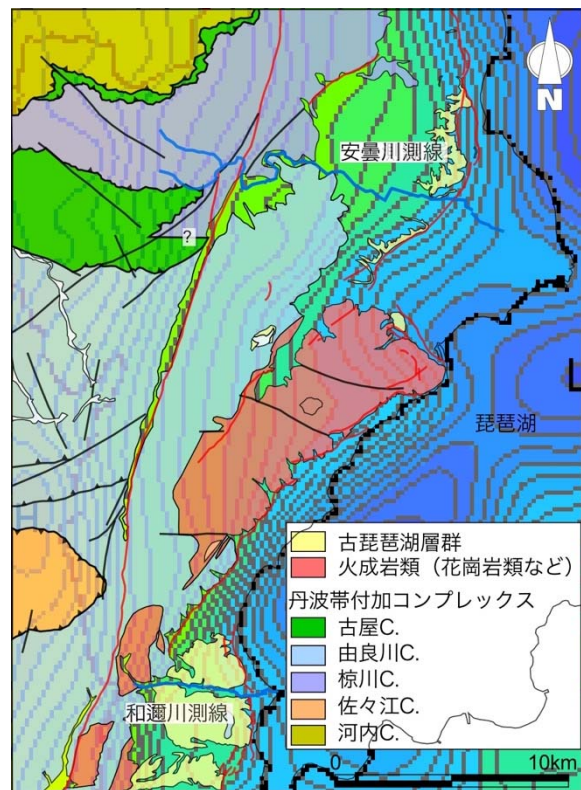


図7 安曇川測線周辺の地質および重力異常
引用文献は本文中に示す。

(e) 引用文献

地質調査総合センター，日本重力 CD-ROM 第 2 版，2004.

Hammer, S., Terrain correction for gravimeter stations, *Geophysics*, 4, 184-194, 1939.

石田志朗・河田清雄・宮村 学，彦根西部地域の地質，地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），地質調査所，121p，1984.

伊藤谷生，井川 猛，足立幾久，伊勢崎修弘，平田 直，浅沼俊夫，宮内崇裕，松本みどり，高橋通浩，松澤進一，鈴木雅也，石田啓祐，奥池司郎，木村 学，國友孝洋，後藤忠徳，澤田臣啓，竹下 徹，仲谷英夫，長谷川修一，前田卓哉，村田明広，山北 聡，山口和雄，山口 寛，四国中央構造線地下構造の総合物理探査，地質学雑誌，102，346-360，1996.

木村克己・吉岡敏和・中野聰志・松岡 篤，北小松地域の地質，地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），地質調査所，102p，2001.

木村克己・吉岡敏和・井本伸広・田中里志・武蔵野実・高橋裕平，京都東北部地域の地質，地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），地質調査所，89p，1998.

宮内崇裕・岡田篤正・堤 浩之・東郷正美・平川一臣，都市圏活断層図「北小松」，D1-No.449，国土地理院，2004.

中江 訓・吉岡敏和，熊川地域の地質，地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），地質調査所，71p，1998.

中江 訓・吉岡敏和・内藤一樹，竹生島地域の地質，地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），地質調査所，71p，2001.

岡田篤正・東郷正美・中田 高・植村善博・渡辺満久，都市圏活断層図「京都東北部第 2 版」，D1-No.524，国土地理院，2008.

堤 浩之・熊原康博・千田 昇・東郷正美・平川一臣・八木浩司，都市圏活断層図「熊川」，D1-No.449，国土地理院，2004.

3. 3 断層帯の地震波速度構造および地震活動解析

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 断層帯の地震波速度構造および地震活動解析

(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 地震津波防災研究部門	主任研究員 特別研究員	松原 誠 ヤノ トモコ エリザベス

(c) 業務の目的

断層帯の地震波速度構造および地震活動解析を基に、詳細な震源分布、地震発生層の下限や、活断層深部の震源断層域における地殻・最上部マンツルの構造的な特徴を検討する。

(d) 3カ年の年次実施業務の要約

1) 平成29年度：

日本列島の活断層・震源断層システムの構造的な特徴の抽出のために必要となる3次元地震波速度トモグラフィ・微小地震活動などの地震学的データの収集・整理を行った。

2) 平成30年度：

平成29年度に収集した微小地震活動やトモグラフィなどのデータを元に、近年発生した内陸地震の震源断層域およびサブテーマ(1)で実施した反射法地震探査周辺の活断層における地殻・最上部マンツルの構造的な特徴を検討する。

3) 平成31年度：

断層帯の地震波速度構造および地震活動解析を基に、詳細な震源分布、地震発生層の下限や、活断層深部の震源断層域における地殻・最上部マンツルの構造的な特徴を検討する。

(2) 平成29年度の成果

(a) 業務の要約

日本列島の活断層・震源断層システムの構造的な特徴の抽出のために必要となる3次元地震波速度トモグラフィ・微小地震活動などの地震学的データの収集・整理を行った。

(b) 業務の実施方法

琵琶湖西岸断層帯・花折断層帯を対象として、三次元地震波速度構造と微小地震カタログを収集した。三次元地震波速度構造は Matsubara et al. (2017)の構造から近

畿地方北部の水平断面、および東西断面を取得した。また、Matsubara and Obara (2011)の三次元地震波速度構造を用いて震源・発震機構解を再決定した微小地震カタログおよび一次元地震波速度構造と Double-Difference 法を用いて震源を再決定した微小地震カタログを重ね、構造との関係を調べた。

(c) 業務の成果

近畿地方北部の深さ 5~25 km の P 波・S 波速度パーターベーションおよび V_p/V_s (P 波速度と S 波速度の比)および各断面の ± 5 km に位置する三次元地震波速度構造を用いて再決定した震源を図 1~6 に示す。

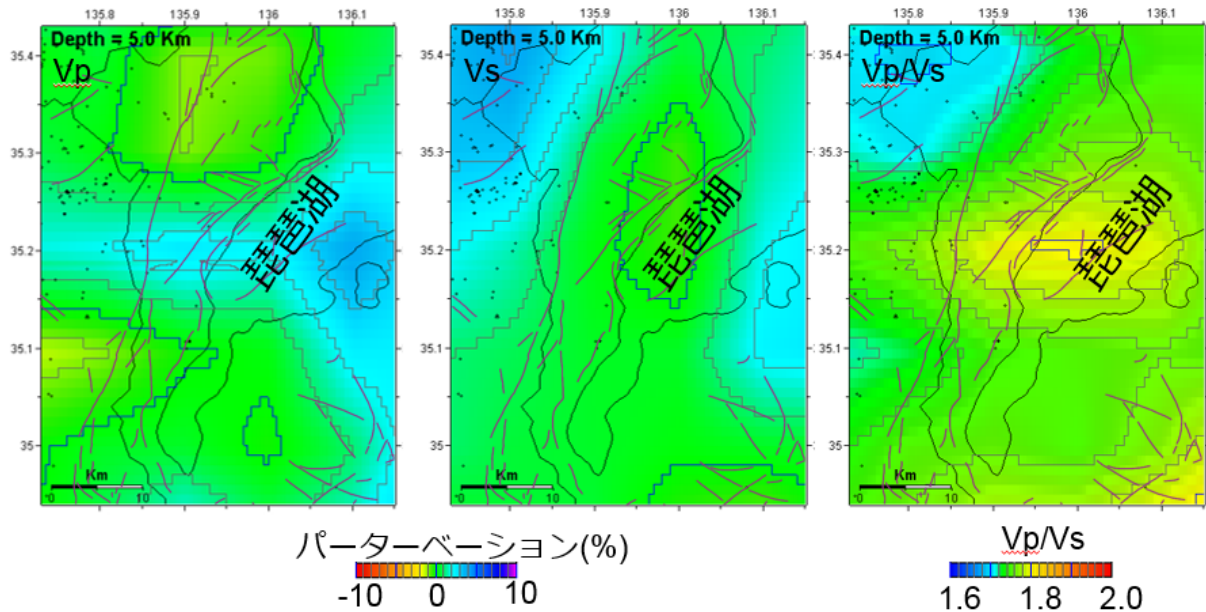


図 1 深さ 5 km における速度構造(Matsubara et al., 2017)と震源分布。(a) P 波速度パーターベーション、(b)S 波速度パーターベーション、(c) V_p/V_s 。紫の線は活断層の地表トレースを示す。

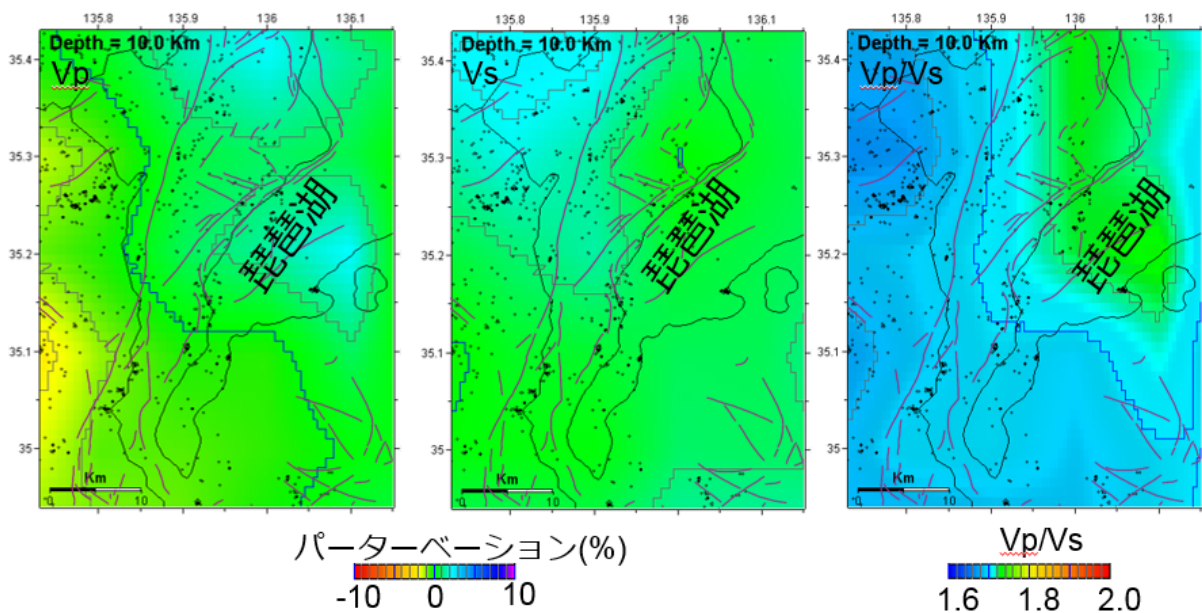


図 2 深さ 10 km における速度構造(Matsubara et al., 2017)と震源分布。(a) P 波速度パーターベーション、(b)S 波速度パーターベーション、(c) V_p/V_s 。

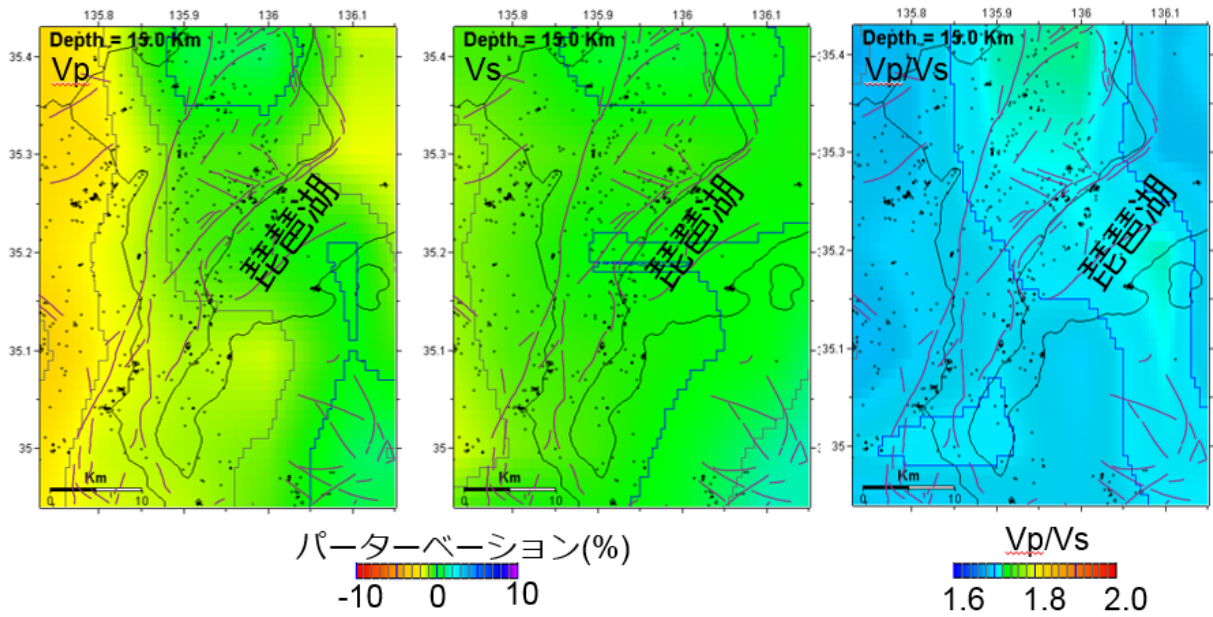


図3 深さ 15 km における速度構造(Matsubara et al., 2017)と震源分布。(a) P 波速度パーターベーション、(b)S 波速度パーターベーション、(c)Vp/Vs。

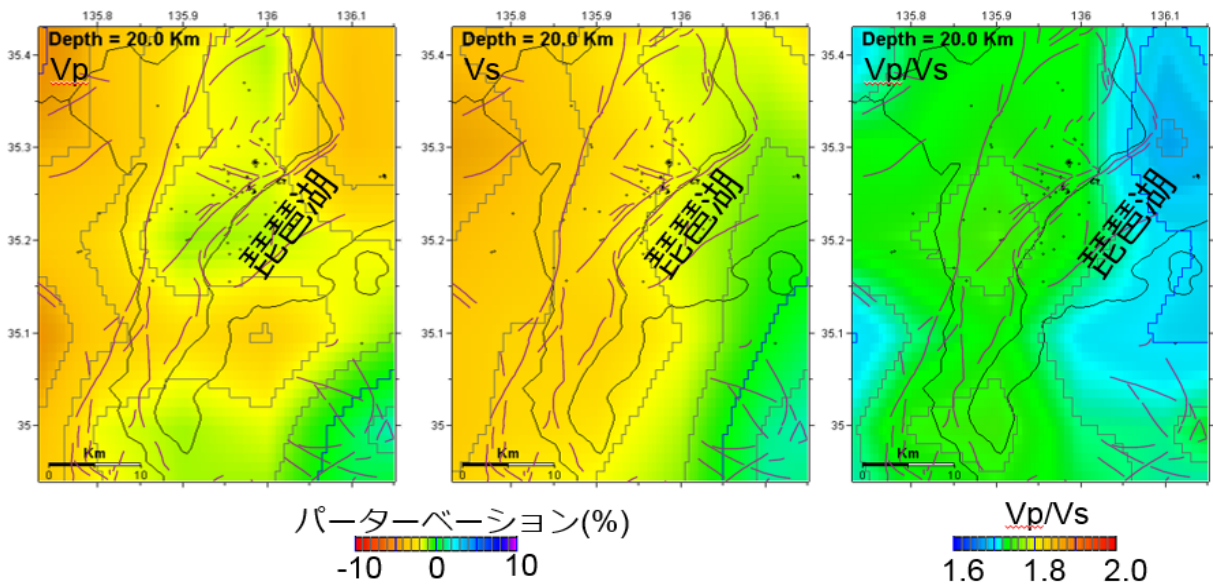


図4 深さ 20 km における速度構造(Matsubara et al., 2017)と震源分布。(a) P 波速度パーターベーション、(b)S 波速度パーターベーション、(c)Vp/Vs。

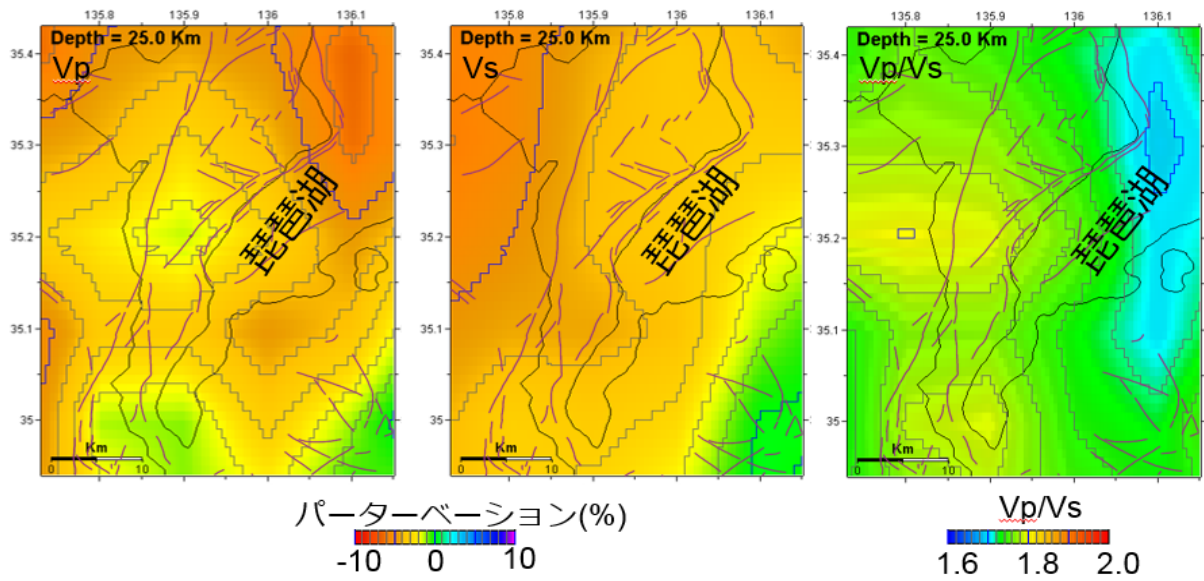


図5 深さ 25 km における速度構造(Matsubara et al., 2017)と震源分布。(a) P 波速度パーターベーション、(b)S 波速度パーターベーション、(c)Vp/Vs。

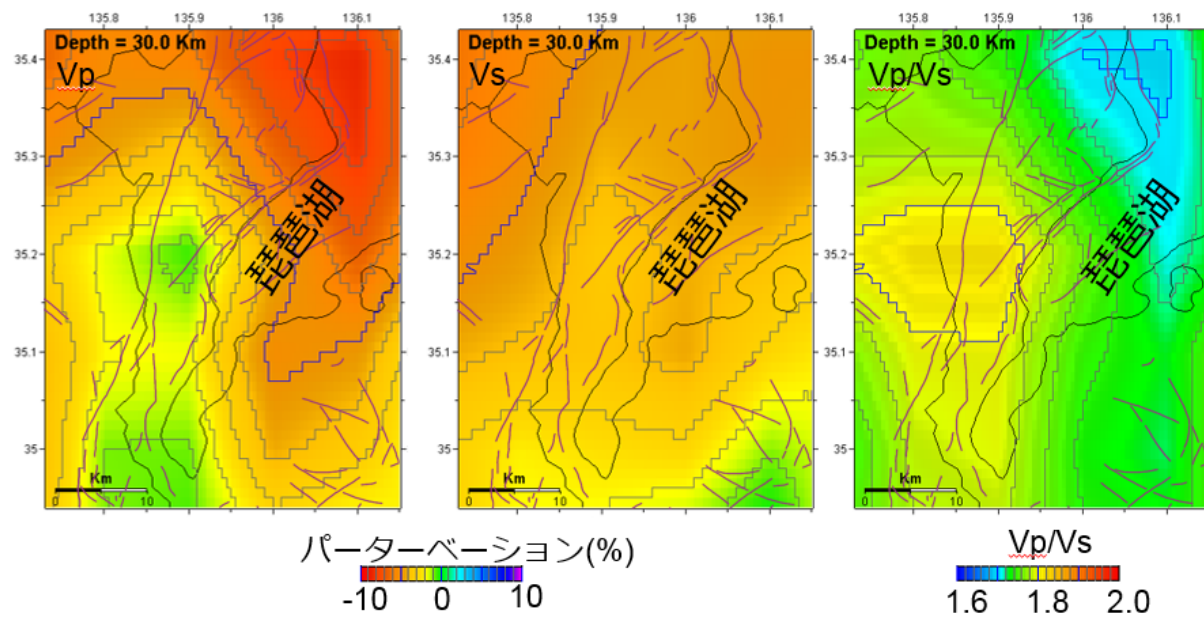


図6 深さ 30 km における速度構造(Matsubara et al., 2017)と震源分布。(a) P 波速度パーターベーション、(b)S 波速度パーターベーション、(c)Vp/Vs。

近畿地方北部の微小地震の P 軸および T 軸の分布を図 7 に示す。
琵琶湖西岸断層帯および花折断層帯を横切る東西断面を図 8～13 に示す。

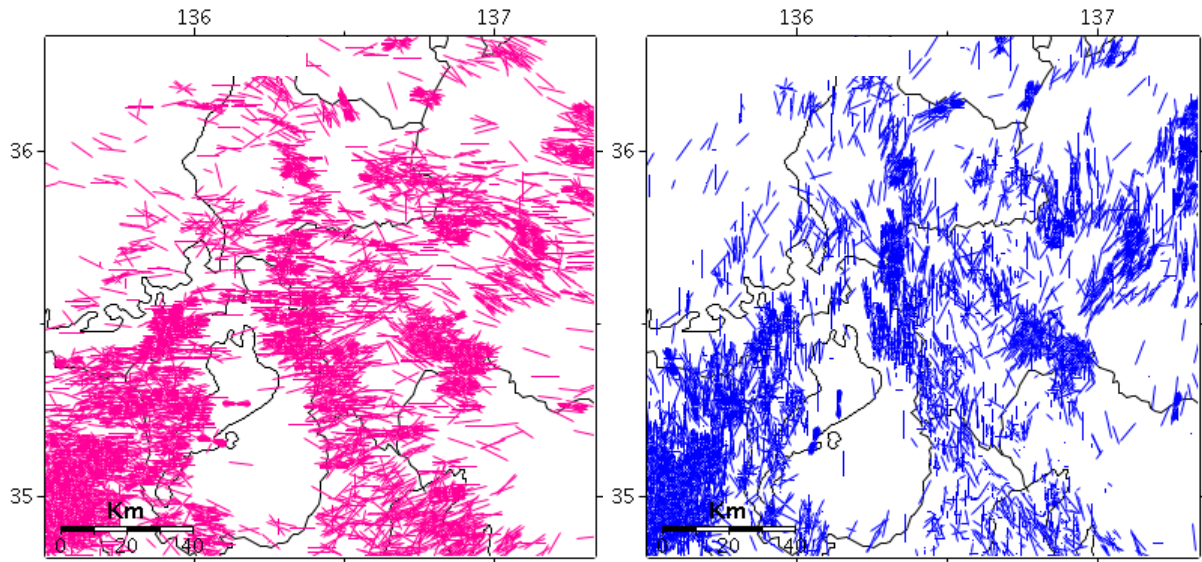


図 7 近畿地方北部における(a)圧縮 (P) 軸および(b)伸張 (T) 軸の分布。

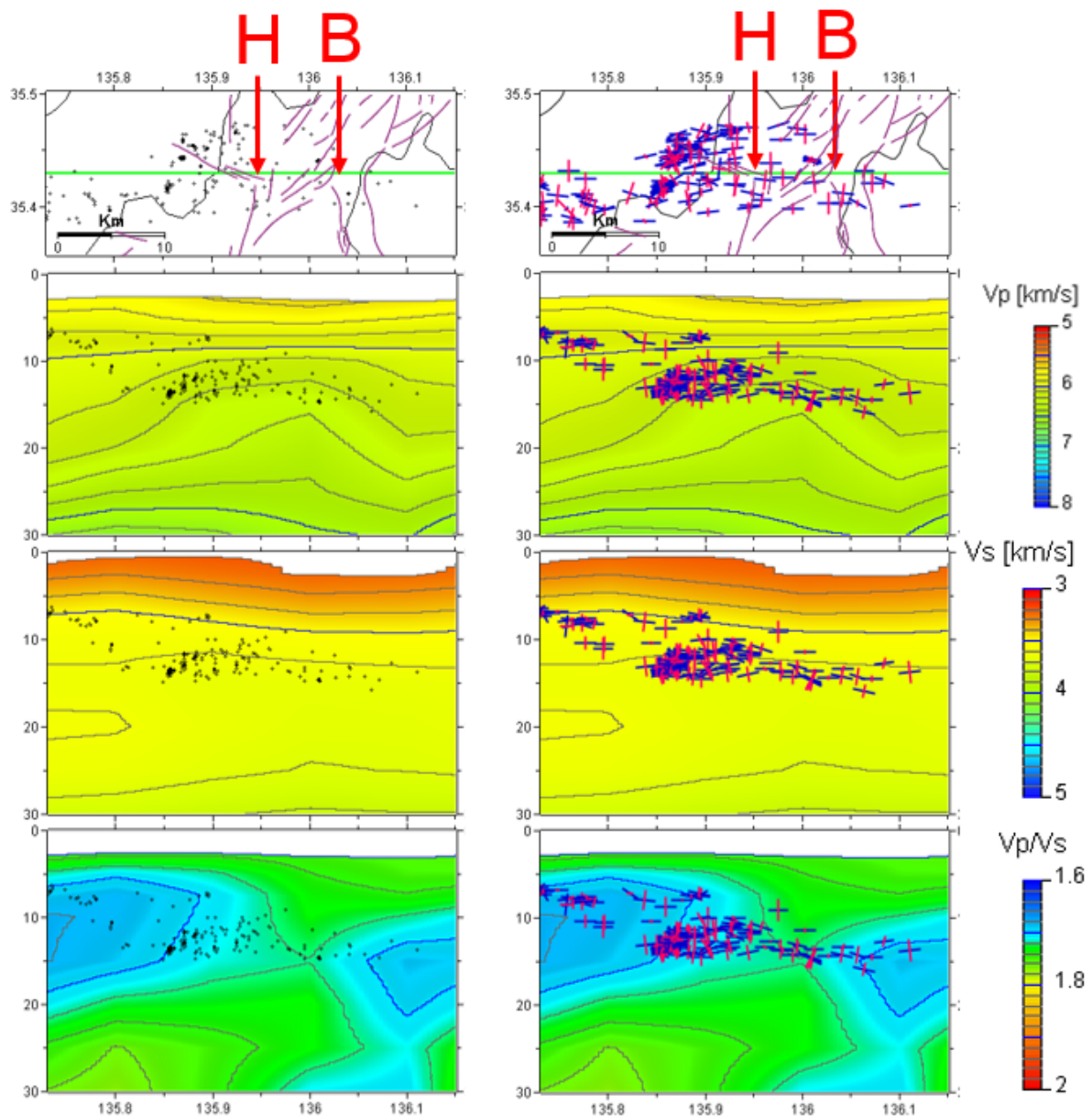


図 8 北緯 35.43°における速度構造(Matsubara et al., 2017)と震源と P 軸および T 軸の分布。(a) P 波速度パターン、(b)S 波速度パターン、(c)Vp/Vs.地図上の H, B はそれぞれ花折断層帯、琵琶湖西岸断層帯の位置を示す。

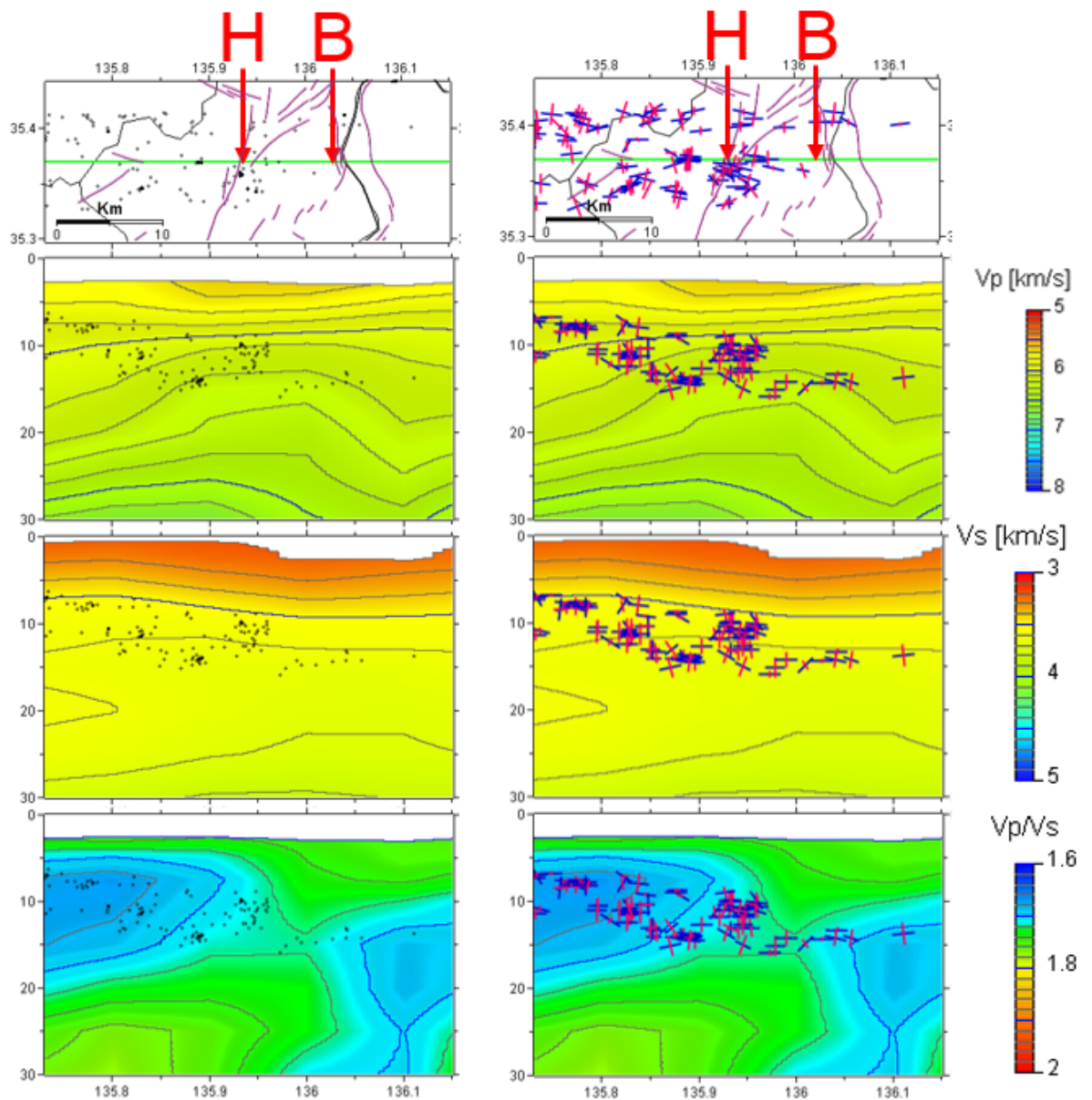


図9 北緯 35.37°における速度構造(Matsubara et al., 2017)と震源分布。(a) P 波速度
 パターバージョン、(b)S 波速度パターンバージョン、(c) V_p/V_s 。

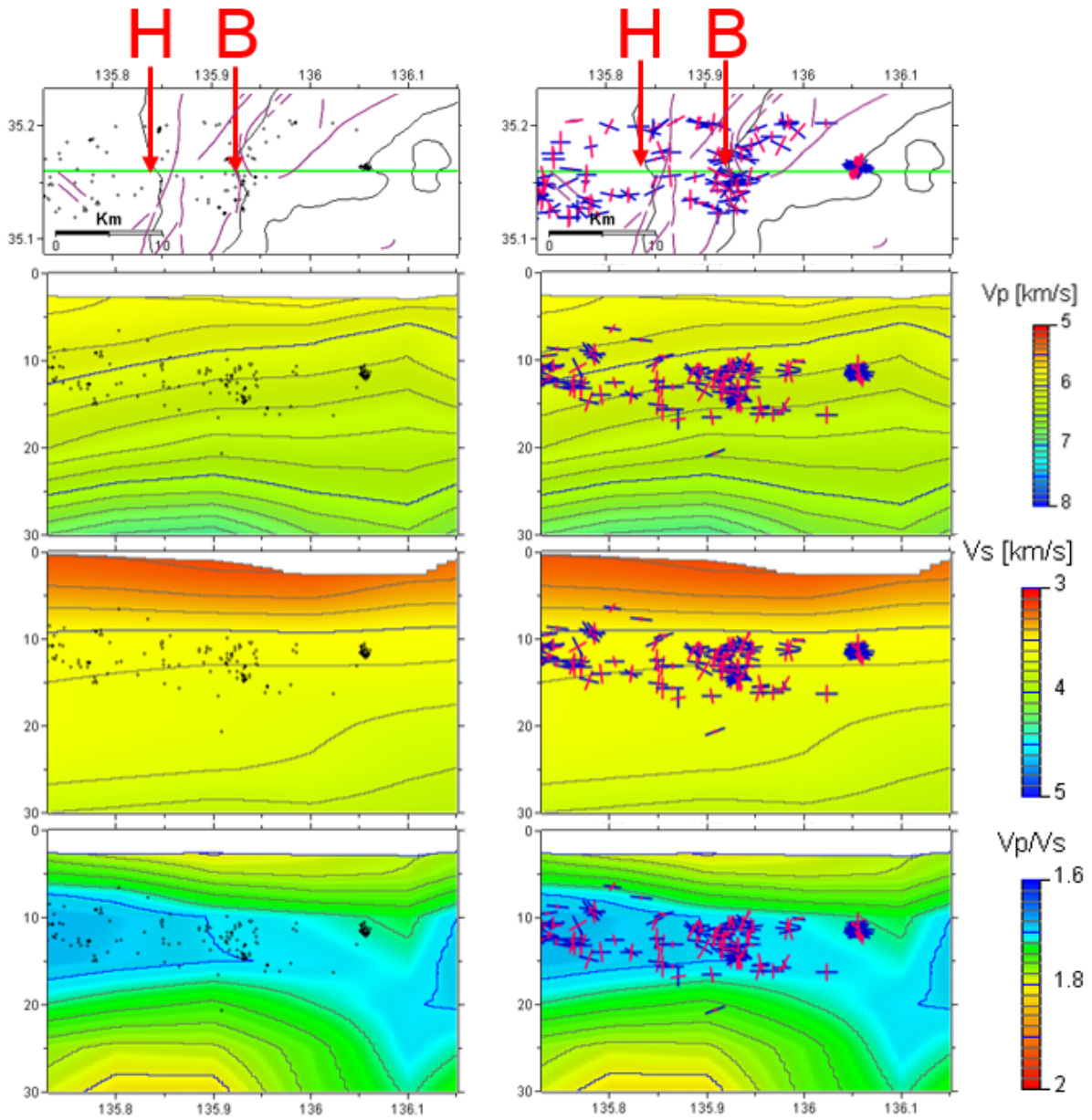


図 10 北緯 35.16°における速度構造(Matsubara et al., 2017)と震源分布。(a) P 波速度
 パターベーション、(b)S 波速度パターンベーション、(c)Vp/Vs。

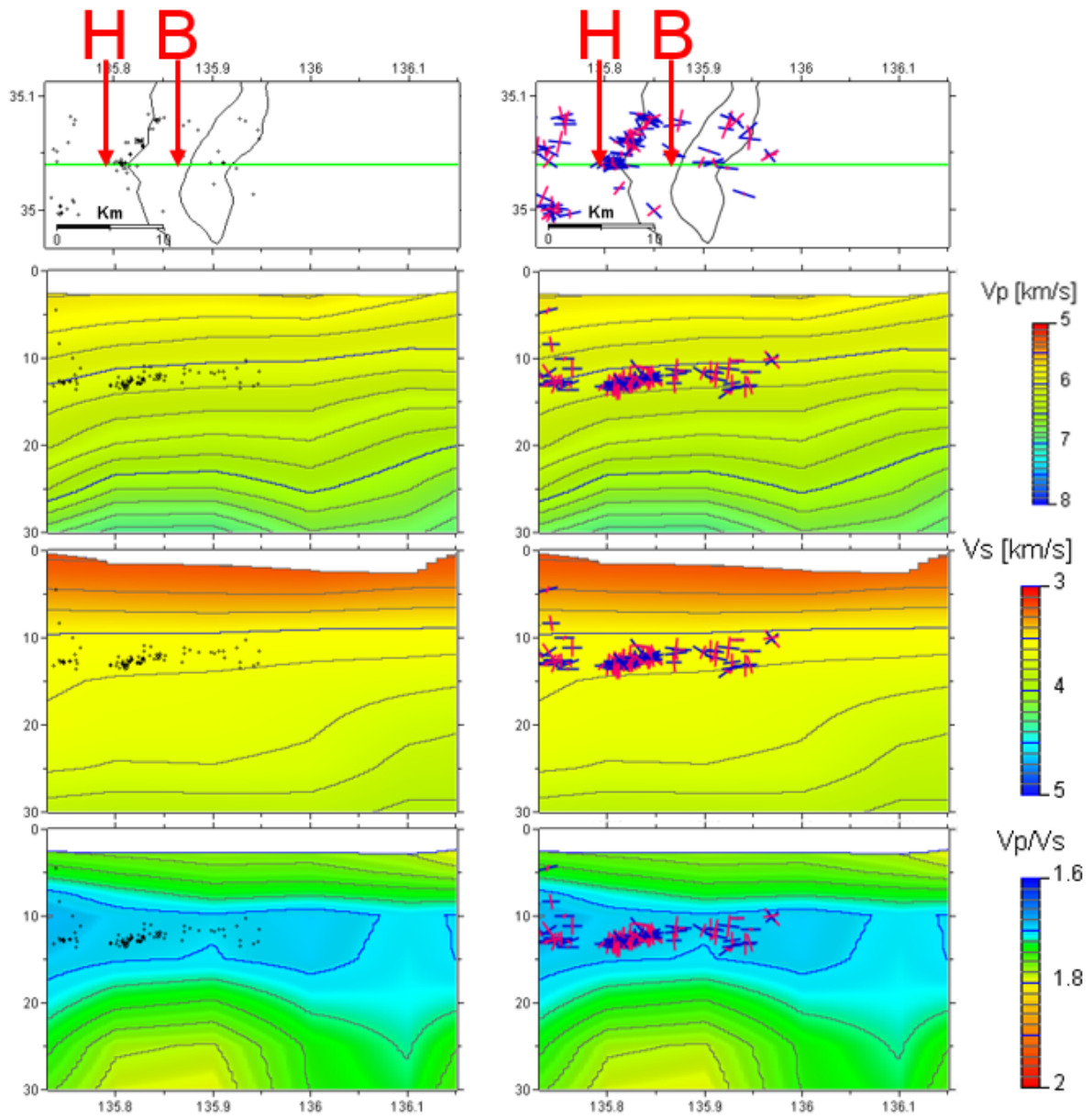


図 11 北緯 35.04°における速度構造(Matsubara et al., 2017)と震源分布。(a) P 波速度パーターベーション、(b)S 波速度パーターベーション、(c)Vp/Vs。

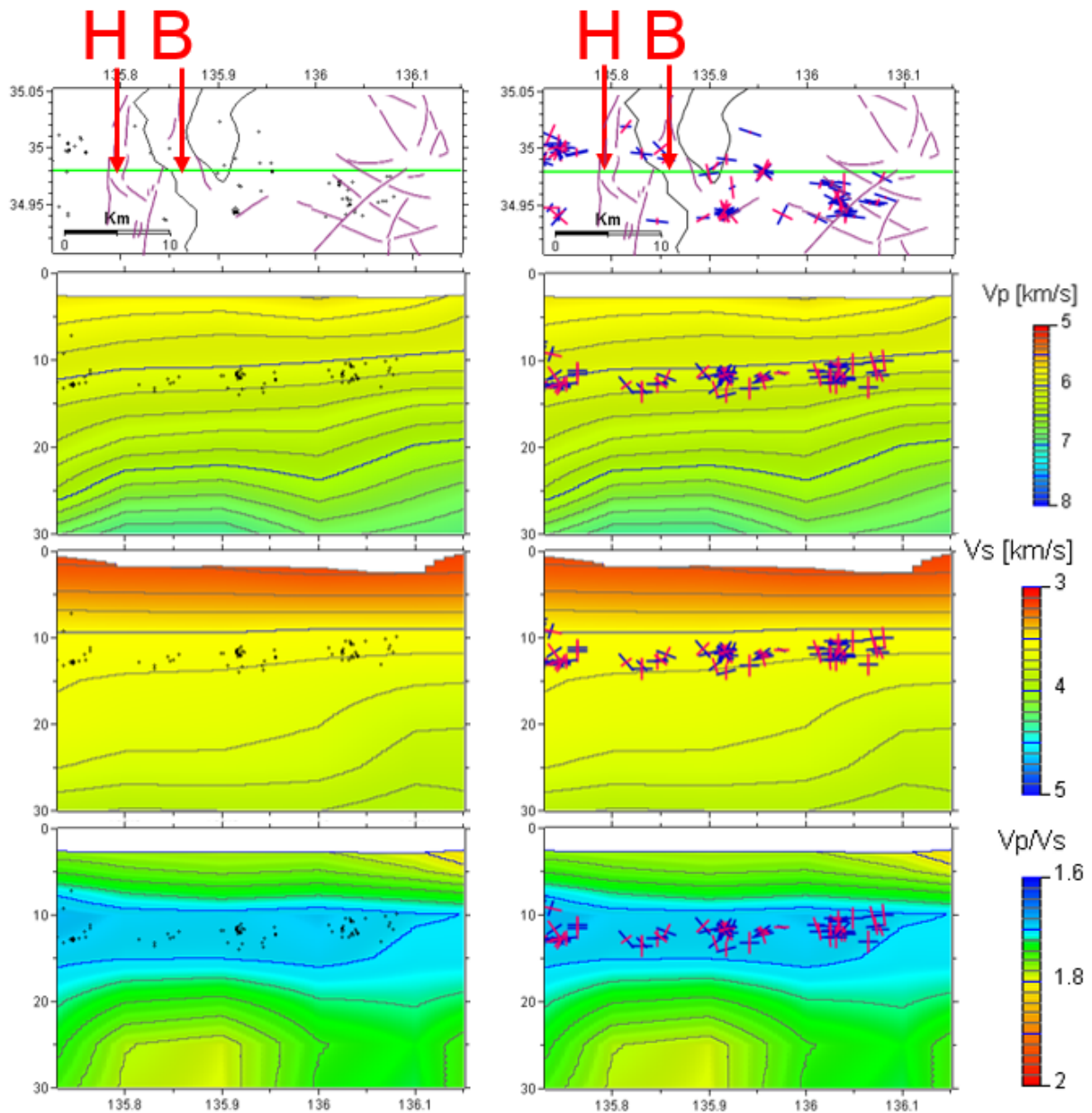


図 12 北緯 34.98°における速度構造(Matsubara et al., 2017)と震源分布。(a) P 波速度パーターベーション、(b)S 波速度パーターベーション、(c) V_p/V_s 。

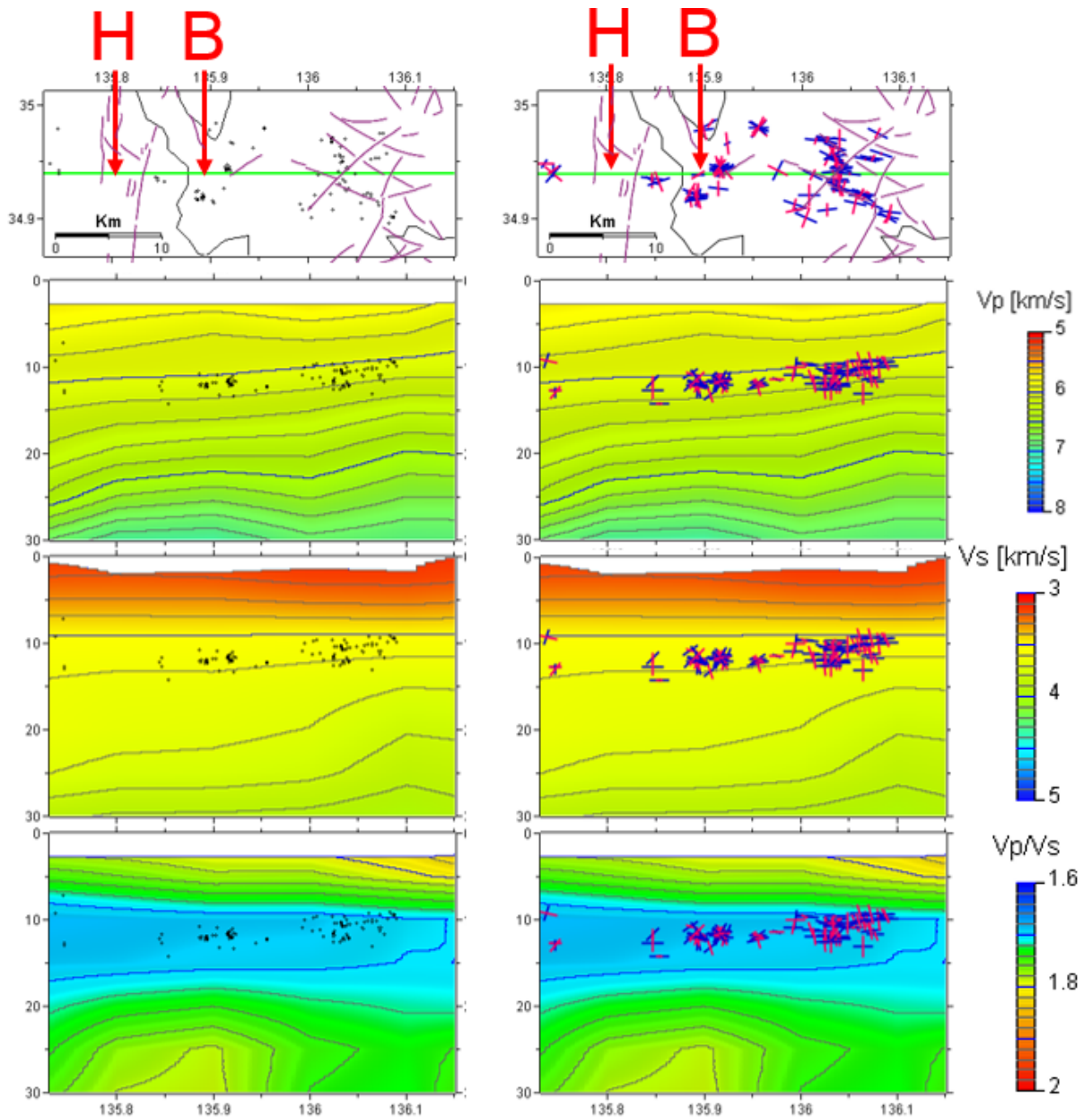


図 13 北緯 34.94°における速度構造(Matsubara et al., 2017)と震源分布。(a) P 波速度パーターベーション、(b)S 波速度パーターベーション、(c)Vp/Vs。

(d) 結論ならびに今後の課題

琵琶湖西岸・花折断層帯について、3次元地震波速度トモグラフィ・微小地震活動などの地震学的データの収集・整理を行った。その結果、地震活動は花折断層帯の下では深さ 10-15 km に多く、横ずれ型の地震が多かった。一方、琵琶湖西岸断層帯の下では深さ 15 km 以深で地震活動が活発であり、逆断層型の地震が多く発生していた。発震機構については、これまでの活断層の長期評価における断層の型と一致する。

一方で、地表の活断層トレースの位置から深部に至る断層に沿った地震の分布は明瞭ではない。活断層と発震機構解を精査することによって、それぞれの位置関係や関連性を明らかにする必要がある。

(e) 引用文献

Matsubara, M., H. Sato, K. Uehira, M. Mochizuki, and T. Kanazawa, Three-dimensional seismic velocity structure beneath Japanese Islands and surroundings based on NIED seismic networks using both inland and offshore events, *Journal of Disaster Research*, 12, 844-857, doi:10.20965/jdr.2017.p0844, 2017.

Matsubara M. and K. Obara, The 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake related to a strong velocity gradient with the Pacific plate, *Earth Planets Space*, 63, 663-667, doi:10.5047/eps.2011.05.018, 2011.

3. 4 断層帯周辺の岩石物性に基づく地震発生層推定

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 断層帯周辺の岩石物性に基づく地震発生層推定

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
横浜国立大学大学院環境情報研究院	教授	石川正弘

(c) 業務の目的

より正確な地殻構成岩石モデルを構築するために岩石鉱物の弾性波速度測定実験を行い、基礎データを得るとともに、岩石と鉱物の弾性波速度およびレオロジーに関する既存データを整理し、地殻構成岩石に関する初期モデルに基づき、活断層深部の震源断層域における地震波速度構造に基づく地殻構成岩石モデルを考慮した地震発生層の厚さを検討する。

(d) 3ヵ年の年次実施業務の要約

1) 平成29年度：

日本列島の活断層-震源断層システム、特に20世紀以降に発生した内陸地震の形状推定に必要な地震発生層の厚さを推定するための、地殻構成岩石に関する初期モデルを検討した。

2) 平成30年度：

前年に引き続き正確な地殻構成岩石モデルを構築するために岩石鉱物の弾性波速度測定実験を行い、基礎データを得るとともに、日本列島の活断層-震源断層システム、特に20世紀以降に発生した内陸地震の形状推定に必要な地震発生層の厚さを推定するための、地殻構成岩石モデルを検討する。

3) 平成31年度：

断層帯周辺の岩石物性に基づく地震発生層推定に関する研究のまとめを行う。

(2) 平成29年度の成果

(a) 業務の要約

岩石鉱物の弾性波速度の視点から地震波トモグラフィーを解釈することで琵琶湖周辺の上部地殻の層厚や地殻構成を推定した。Vp/Vsトモグラフィーから同一岩石種が分布すると推定される領域のVpパータベーションを抽出することで、琵琶湖を中心とした近畿地方の地殻内部の定性的な温度分布を判読した。深さ25 kmでは近畿地方北部周辺に相対的な高温域が分布する一方で、太平洋側に向かって相対的に低温になることが判読された。P波速度パータベーションから温度構造を推定する際に岩石の弾性波速度の温度依存性を決定することは重要である。本年度は、三波川変成帯に産するざくろ石角閃岩の弾性波速度測定を行い、P波速度やVp/Vsと温度との関係に関する基礎データを得た。

(b) 業務の実施方法と成果

先行的に行われてきた日本海地震・津波調査プロジェクトの地殻構成岩石モデルに関する研究において、岩石鉱物の弾性波速度の視点から防災科学技術研究所の三次元地震波速度構造を解釈することで、東北本州弧の上部地殻と下部地殻の境界は 6.5 km/s の P 波速度とほぼ一致することが示されてきた (図 1)。また、石英を主要鉱物として含む上部地殻は低 V_p/V_s で特徴付けられること、一方、中新世リフト活動に伴う玄武岩質マグマ活動で新たに形成した苦鉄質上部地殻は高 V_p/V_s で特徴付けられることも示されてきた。本研究では、同様に、岩石鉱物の弾性波速度の視点から防災科学技術研究所の三次元地震波速度構造を解釈することで、琵琶湖周辺の上部地殻・下部地殻境界の推定や上部地殻の構成岩石の推定を行う。

これまでの高温高压条件における弾性波速度測定実験から、岩石の P 波速度や S 波速度には温度依存性がある一方で、 V_p/V_s は温度依存性が著しく小さく、岩石種に大きく依存することがわかっている (例えば、Nishimoto et al., 2008)。本研究では、防災科学技術研究所の三次元地震波速度構造を用いて、特定範囲の V_p/V_s 域の P 波速度構造を抽出することで、同一岩石種が分布すると推定される範囲において、温度のゆらぎを速度構造から定性的に推定することを試みる。

岩石の弾性波速度と温度の関係を決定することは、P 波速度パータベーションから温度構造を推定する際に重要となる。本研究では、弾性波速度データが欠落もしくは不十分な岩石種について測定を行う。高温高压発生装置としては、横浜国立大学設置のピストンシリンダー装置を用いて、最大圧力 1.0 GPa で P 波速度と S 波速度を同時測定し、 V_p/V_s を決定する。なお、実験は鈴木里菜氏 (横浜国立大学) の協力を得て実施した。

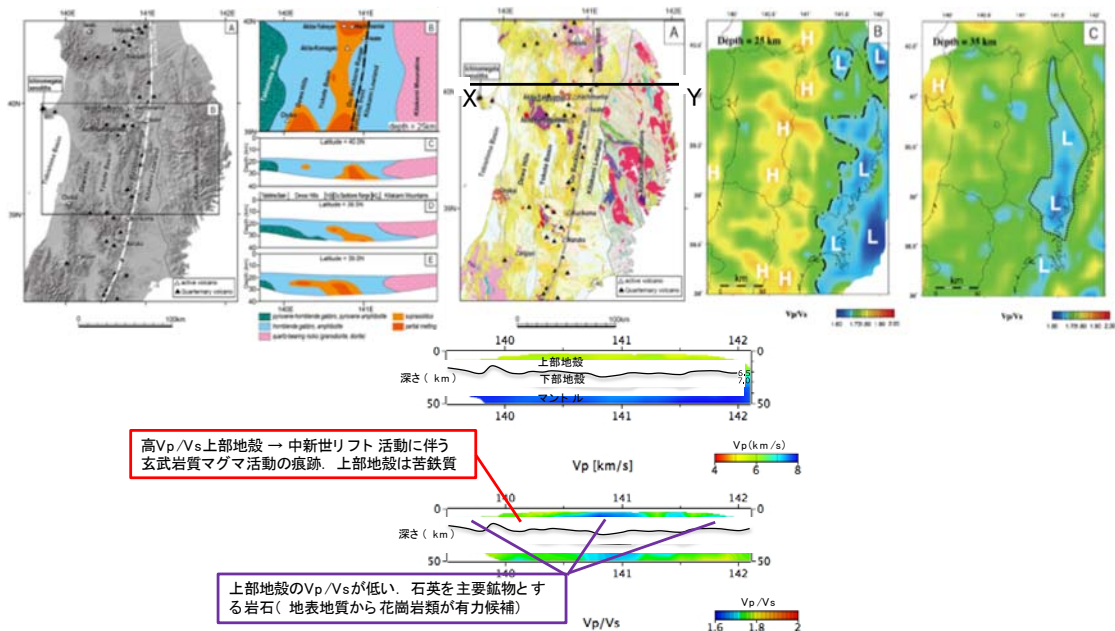


図 1 東北地方の地殻構成岩石モデル(Nishimoto et al, 2008; 石川, 2017)の例。岩石鉱物の弾性波速度と地震波速度構造を比較することで東北本州弧の地殻構成を推定した。高 V_p/V_s の上部地殻は中新世リフト活動に伴う玄武岩質マグマ活動の痕跡と解釈され、低 V_p/V_s の上部地殻は石英を主要鉱物とする岩石で構成されると解釈される。

まず、東北本州弧の地殻構成と同様の方法を用いて、岩石鉱物の弾性波速度の視点から防災科学技術研究所の三次元地震波速度構造を解釈することで琵琶湖周辺の地殻構成を推定した(図2)。図2cは琵琶湖南部を東西に横断するP波速度断面である。P波速度6.5 km/s(太線)を上部地殻・下部地殻境界と仮定すると、上部地殻の層厚は約25 kmと見積もられ、東北本州弧と比較して琵琶湖周辺の上部地殻は非常に厚いことが判読される。図2dは琵琶湖南部を東西に横断するVp/Vs断面であり、青色で示された低Vp/Vs層の底面はP波速度6.5 km/sにほぼ一致しており、上部地殻が石英を主要鉱物とする岩石で構成されると推定した。

次に、防災科学技術研究所の三次元地震波速度構造を用いて、琵琶湖を中心とした近畿地方の地震波速度構造から温度構造を推定した(図3)。図3aと図3bは琵琶湖を中心とした近畿地方における深さ15 kmのP波速度パートバージョン構造とVp/Vs構造である。Vp/Vs構造から低Vp/Vsで示された石英質地殻と高Vp/Vsの苦鉄質地殻が分布することが読み取れる(図3b)。図3cは石英質岩石が分布すると推定される領域(図3bの青で示された範囲)からVp/Vs=1.69-1.71の領域を抽出したVpパートバージョンである。つまり、同一岩石種の地殻内部の定性的な温度分布であると解釈される。図4には深さ15 kmと25 kmで推定された温度構造である。深さ25 kmでは近畿地方北部周辺に相対的な高温域が分布することと、太平洋側に向かって相対的に低温域が分布することが読み取れ、深さ15 kmと比較して広域的な温度分布傾向が判読された。

次に、四国、三波川変成帯に産するざくろ石角閃岩の弾性波速度測定を行った。ピストンシリンダー装置を用いて、直径14 mm、長さ12 mmのコア状に成型したざくろ石角閃岩試料を対象として最大圧力1.0 GPa最高温度500 °CでP波速度とS波速度を同時測定し、Vp/Vsを決定した。図5に実験結果を示した。P波速度の100°Cあたりの速度低下率は約0.09 km/sである。一方、Vp/Vsは100-500 °Cの範囲でほとんど変化しないことが実験から示された。

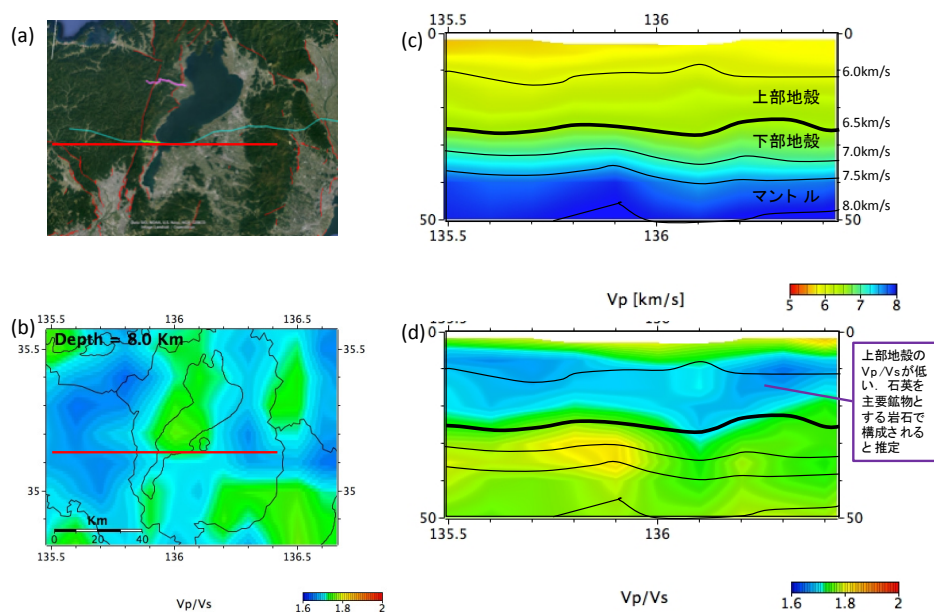


図2 琵琶湖周辺の地殻構成モデル。(a)速度断面の位置(赤線)、(b)深さ8 kmのVp/Vs、(c)赤線に沿ったP波速度断面、(d)赤線に沿ったVp/Vs断面。

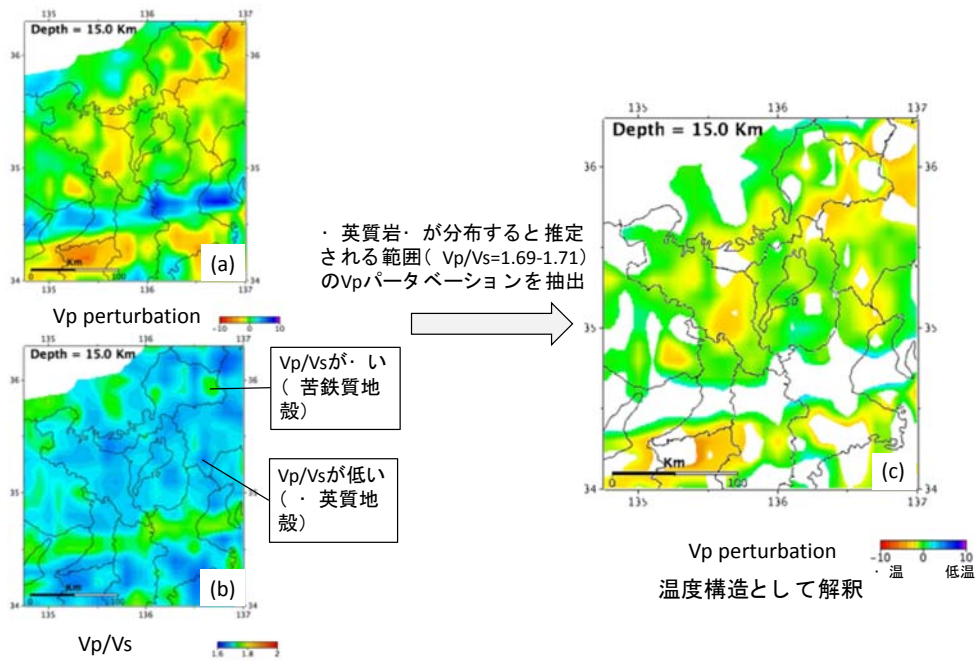


図 3 地震波速度構造から温度構造を推定する手順。(a)P 波速度パーテーション、(b) Vp/Vs 、(c)定性的な温度構造。

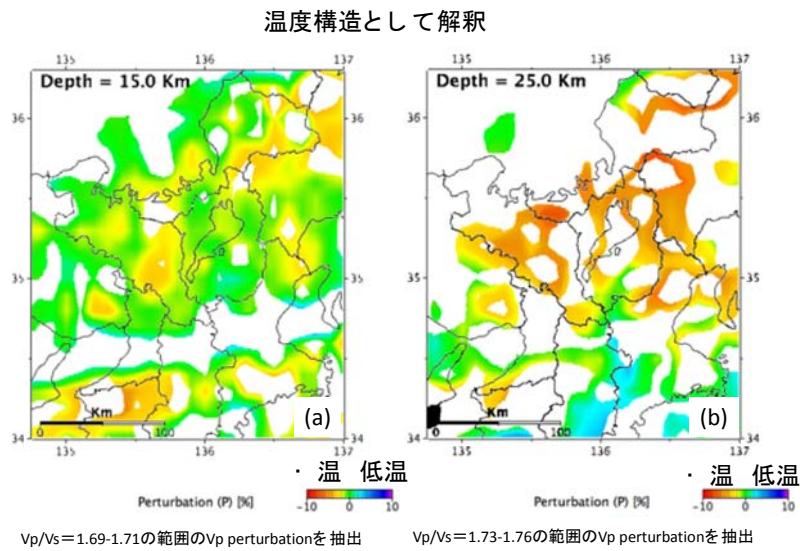


図 4 地震波速度構造から推定される定性的な温度構造。(a)深さ 15 km、(b) 25 km。

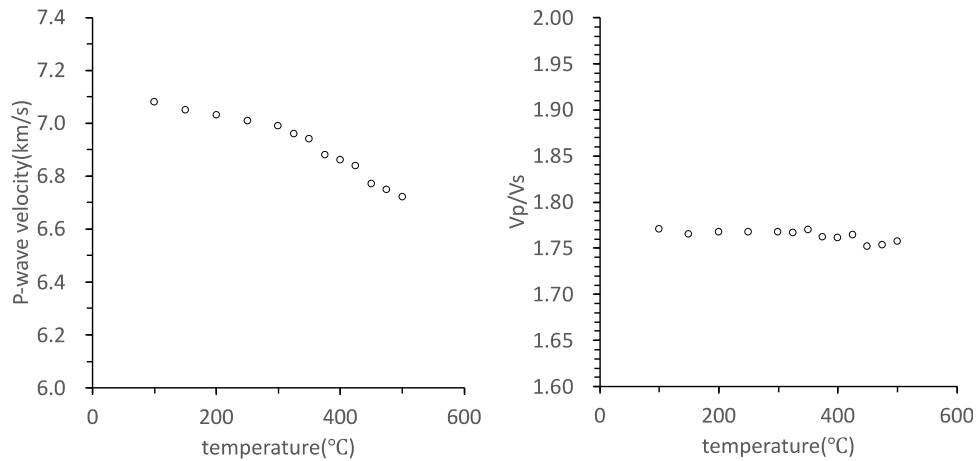


図5 圧力 1.0 GPa におけるざくろ石角閃岩の P 波速度と V_p/V_s 。

(c) 結論ならびに今後の課題

はじめに、岩石鉱物の弾性波速度の視点から地震波トモグラフィーを解釈することで琵琶湖周辺の地殻構成を推定した。その結果、琵琶湖周辺の上部地殻の層厚は約25 kmと見積もられ、非常に厚い石英質な上部地殻から構成されることが推定された。今後は西南日本のより広範囲において上部地殻・下部地殻境界の推定と上部地殻の構成岩石の推定を行うことが課題である。

次に、琵琶湖を中心とした近畿地方の地震波速度構造から温度構造を推定した。 V_p/V_s トモグラフィーから同一岩石種が分布すると推定される領域の V_p パータベーションを抽出することで、地殻内部の定性的な温度分布を判読した。例えば、深さ25 kmでは近畿地方北部周辺に相対的な高温域が分布する一方で、太平洋側に向かって相対的に低温になることが推定された。今後の課題としては、より広範囲において温度構造を推定することと、半定量的に地殻内部の温度分布を推定することが挙げられる。

さらに、三波川変成帯に産するざくろ石角閃岩の弾性波速度測定を行い、P波速度や V_p/V_s と温度との関係に関する基礎データを得た。P波速度パータベーションから温度構造を推定する際に重要なので、これまでの実験データを取りまとめるとともに、未測定 of 岩石種について引き続き測定を行う必要がある。

今後はP波速度パータベーションと岩石の弾性波速度の温度依存性を組み合わせることで半定量的な温度構造を推定することが課題となる。

また、推定した温度構造および構成岩石モデルを用いて、本プロジェクトの研究対象とする断層について、地震発生層の下限を推定することが課題となる。

(d) 引用文献

石川正弘, 岩石の弾性波速度に基づく島弧地殻深部及び最上部マンツルの構成岩石の推定 : 伊豆弧と東北本州弧, 地質学雑誌, 123, 355-364, 2017.

Nishimoto, S., M. Ishikawa, M. Arima, T. Yoshida, and J. Nakajima, Simultaneous high P-T measurements of ultrasonic compressional and shear wave velocities in Ichino-megata mafic xenoliths: Their bearings on seismic velocity perturbations in lower crust of northeast Japan arc, J. Geophys. Res., 113, B12212, doi:10.1029/2008JB005587, 2008.

3. 5 震源断層モデルの構築と推定手法の検討

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 震源断層モデルの構築と推定手法の検討

(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	助教	石山 達也
国立大学法人東京大学地震研究所	教授	佐藤 比呂志

(c) 業務の目的

サブテーマ(1)(2)で得られる資料を総合させて、地表から深部までの断層モデル・震源断層像を提示するとともに、残された課題と課題解決の手法を提案する。さらに、サブテーマ(3)(4)の検討結果を踏まえて、日本列島の活断層・震源断層システムの推定とその課題および解決の手法について提案し、長期評価の手法改良に資する。

(d) 3カ年の年次実施業務の要約

1) 平成29年度：

日本列島の活断層・震源断層システムの構造的な特徴の抽出に必要な重力・空中磁気などのデータの収集・整理を行った。

2) 平成30年度：

変動地形・構造地質学的データとサブテーマ(3)および(4)で得られた地殻・最上部マントルの構造的な特徴や地震発生層の厚さに基づき、近年発生した内陸地震およびサブテーマ(1)で反射法地震探査を実施した活断層の深部形状に関する構造的な特徴について統合的な検討を行う。

3) 平成31年度：

本課題で取得した地下構造データの構造地質学的な解析結果に基づき、既存資料のレビューも踏まえて、課題1～4について個別ケースの地表から深部までの断層モデル・震源断層像を提示するとともに、残された課題と課題解決の手法を提案する。さらに、日本列島の活断層・震源断層システムの推定とその課題および解決の手法についても提案する。最後に、本課題の調査研究と検討結果を踏まえ、地表から地下深部までの断層形状の統一的理解の手法と課題についての総合的な取り纏めを行い、長期評価の手法改良に資する。

(2) 平成29年度の成果

(a) 業務の要約

日本列島の活断層-震源断層システムの構造的な特徴の抽出に必要なポテンシャルデータとして、重力異常および空中磁気異常データの収集を行い、重力異常データについては活断層に随伴する重力異常値の急変部を抽出する目的で、水平一次微分を行った。

(b) 業務の実施方法と成果

活断層の深部形状を推定する上で、サブテーマ1や2で取得するような個別の活構造に関する反射法地震探査や重力探査などに基づく2次元的な地下構造データに加えて、面的に分布する地球物理学的なデータを活用する手法がある。工藤・河野(1993; 1994)は日本列島のブーゲー重力異常データに基づいて陰影図を作成し、重力異常値の空間変化を可視化するとともに、活断層などの活構造との関連を議論した。また、工藤・河野(1999)は西南日本のブーゲー重力異常について勾配を計算し、地震活動や活断層との関係を議論した。同様に、Kudo et al. (2004)は中国地域のブーゲー重力異常の勾配や粗さ(roughness)を計算し、活断層などの活構造との関連を議論した。重力異常データは地下の密度異常を反映することから、断層運動に伴う造盆地運動や密度の異なる岩体の配置など、活断層の累積的な活動に伴う地質構造を指示することが期待される。したがって、2次元的な地下構造データに加えて面的な重力異常データを活用することで、伏在断層や震源断層の候補となりうる未確認の断層構造の検出や、既知の震源断層の長さに関する情報を得ることが期待される。

このように、日本列島の活断層-震源断層システムの構造的な特徴の抽出を行う基礎的なデータとして、重力異常(地質調査総合センター(編), 2013)・空中磁気異常(地質調査総合センター(編), 2005)のデータを収集した。重力異常データとしては、地質調査総合センター(編)(2013)に含まれる陸域部のブーゲー重力異常値のグリッドデータを使用した(図1)。グリッドデータのブーゲー仮定密度は 2.67 g/cm^3 である。このグリッドデータに対して波長2-125 kmのバンドパスフィルターを適用した。このデータを用いて水平一次微分を計算し、表示した(図2)。この図面をみると、色の濃い部分は重力異常値の勾配が大きく、ブーゲー重力異常値の急変帯にあたる。これらのデータは、サブテーマ3で提示される地震波速度トモグラフィや微小地震活動など地理情報システムや地質構造解析ソフトウェアの共通のプラットフォームで比較検討できるよう、グリッドデータやgeotiffなどのデータ形式で作成した。

次年度は、これらの収集データと活断層の位置情報に加えて、サブテーマ3で提示される地震波速度トモグラフィや微小地震活動データを比較検討し、震源断層の構造的な特徴について具体的に検討する。また、サブテーマ1で行う個別の活断層についての深部形状の検討の際にもこれらの重力異常データを利用する。

(c) 結論ならびに今後の課題

日本列島の活断層-震源断層システムの構造的な特徴の抽出に必要なポテンシャルデータとして、重力異常および空中磁気異常データの収集を行い、重力異常データについては活断層に随伴する重力異常値の急変部を抽出する目的で、水平一次微分を行った。今後はこれらの収集データと活断層の位置情報に加えて、サブテーマ3で提示される地震波速度トモグラフィや微小地震活動データを比較検討し、震源断層の構造的な特徴について具体

的に検討する。また、サブテーマ1で行う個別の活断層についての深部形状の検討の際にもこれらの重力異常データを利用する。

(d) 引用文献

地質調査総合センター(編)：日本空中磁気データベース，数値地質図 P-6，産業技術総合研究所地質調査総合センター，2005.

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.

工藤 健・河野芳輝，日本列島の重力異常陰影図 (I)重力異常陰影図の作成. 地震 第 2 輯, 46, 237-243, 1993.

工藤 健・河野芳輝，日本列島の重力異常陰影図 (II)フォッサマグナ周辺の重力異常陰影図と地質構造. 地震 第 2 輯, 46, 371-379, 1994.

工藤 健・河野芳輝，西南日本の重力異常勾配と地震活動との関連. 地震 第 2 輯, 52, 341-350, 1999.

Kudo, T., Yamamoto, A., Nohara, T., Kinoshita, H., & Shichi, R., Variations of gravity anomaly roughness in Chugoku district, Japan: Relationship with distributions of topographic lineaments. *Earth, planets and space*, 56(5), e5-e8, 2004.

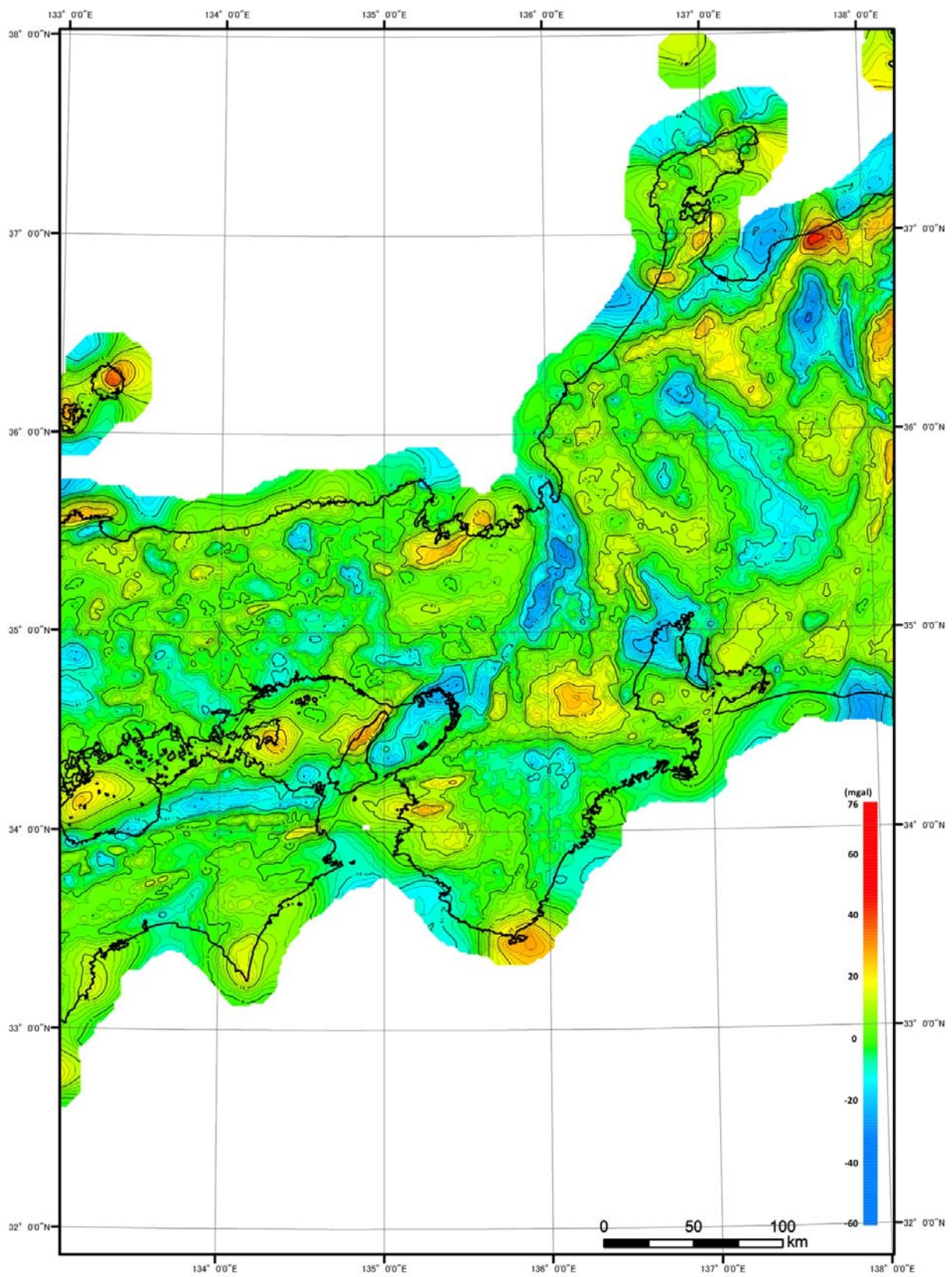


図 1 近畿地域のブーゲー重力異常値。データは地質調査総合センター(編)(2013)に基づく。

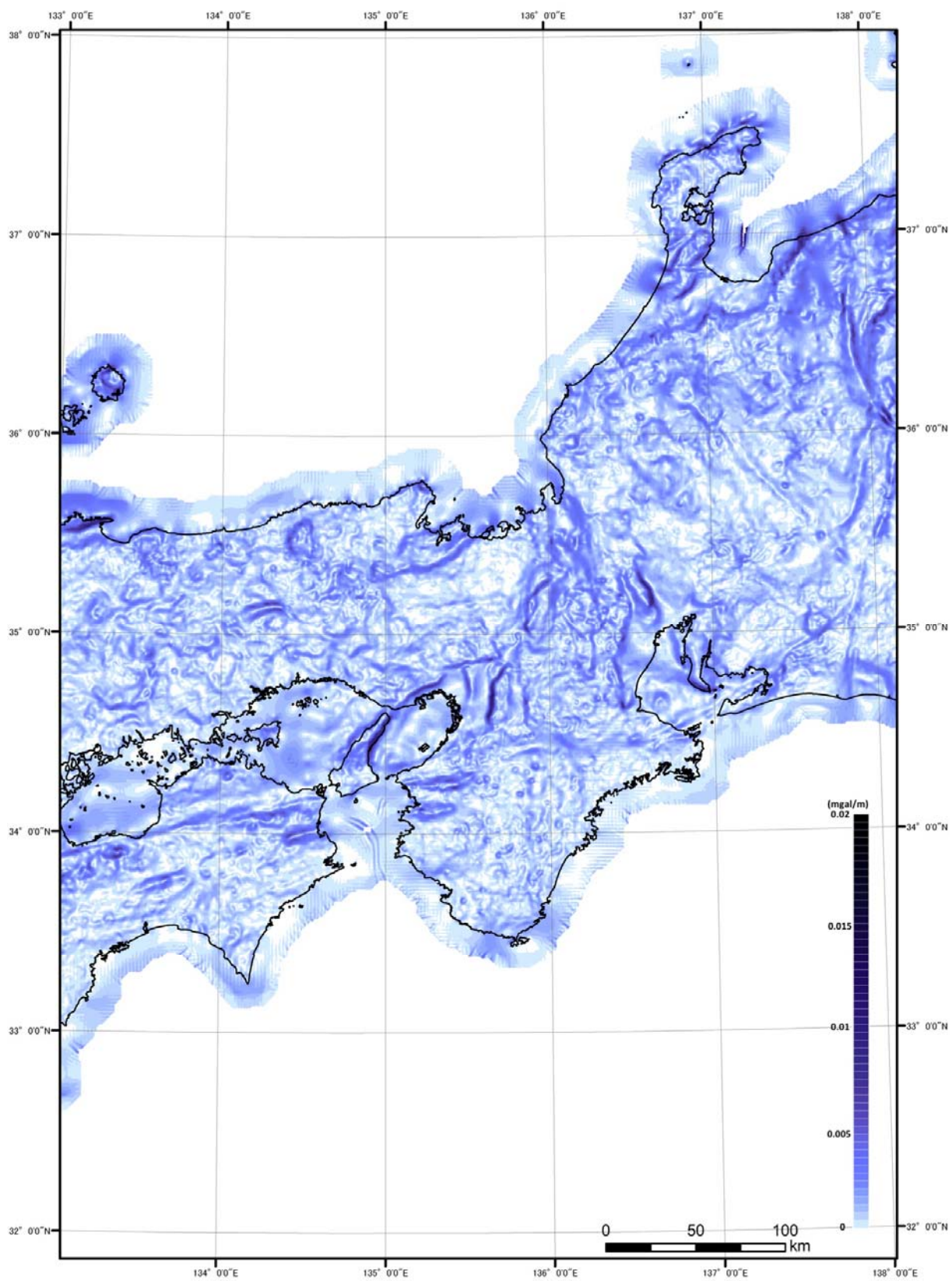


図 2 近畿地域のブーゲー重力異常値の水平一次微分図。

4. 全体成果概要

「1. プロジェクトの概要」に記した本課題の目的に鑑みて設定した5つのサブテーマに基づき、平成29年度においては、サブテーマ1：活断層の地表～深部構造および変動地形・地質構造解析、サブテーマ2：活断層の稠密重力探査、サブテーマ3：断層帯の地震波速度構造および地震活動解析、サブテーマ4：断層帯周辺の岩石物性に基づく地震発生層推定、サブテーマ5：震源断層モデルの構築と推定手法の検討、の5つのサブテーマについての調査観測研究を進めた。

サブテーマ1：活断層の地表～深部構造および変動地形・地質構造解析（3. 1参照）では、琵琶湖西岸断層帯・花折断層帯について変動地形・地質構造と既存の反射法地震探査断面を検討し、断層形状を明らかにする目的でこれらを横断する2測線（安曇川測線および和邇川測線）で大型バイブレーター型震源と独立型地震波計収録器を用いた高分解能反射法地震探査を行い、反射法解析に供するデータを取得した。

サブテーマ2：活断層の稠密重力探査（3. 2参照）では、逆断層・横ずれ断層の構造とすべり分配の典型例として、琵琶湖西岸断層帯・花折断層帯などを対象に、変動地形・地質構造を検討するとともに、琵琶湖西岸断層帯および花折断層の両方を横切る測線に合わせて約200mの測定間隔の稠密重力調査を行った。その結果、同測線沿いにおける相対重力値（読み値）を求めた。

サブテーマ3：断層帯の地震波速度構造および地震活動解析（3. 3参照）では、日本列島の活断層・震源断層システムの構造的な特徴の抽出のために必要となる3次元地震波速度トモグラフィー・微小地震活動などの地震学的データの収集・整理を行った。

サブテーマ4：断層帯周辺の岩石物性に基づく地震発生層推定（3. 4参照）では、岩石鉱物の弾性波速度の視点から地震波トモグラフィーを解釈することで琵琶湖周辺の上部地殻の層厚や地殻構成を推定した。 V_p/V_s トモグラフィーから同一岩石種が分布すると推定される領域の V_p パータベーションを抽出することで、琵琶湖を中心とした近畿地方の地殻内部の定性的な温度分布を判読した。深さ25kmでは近畿地方北部周辺に相対的な高温域が分布する一方で、太平洋側に向かって相対的に低温になることが判読された。P波速度パータベーションから温度構造を推定する際に岩石の弾性波速度の温度依存性を決定することは重要である。また、三波川変成帯に産するざくろ石角閃岩の弾性波速度測定を行ない、P波速度や V_p/V_s と温度との関係に関する基礎データを得た。

サブテーマ5：震源断層モデルの構築と推定手法の検討（3. 5参照）では、日本列島の活断層・震源断層システムの構造的な特徴の抽出に必要なポテンシャルデータとして、重力異常および空中磁気異常データの収集を行い、重力異常データについては活断層に随伴する重力異常値の急変部を抽出する目的で、水平一次微分を行った。

5. 成果の論文発表・口頭発表等

(1) (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，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(2) (サブテーマ2)

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

(b) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) (サブテーマ3)

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

(b) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(4) (サブテーマ4)

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

(b) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(5) (サブテーマ5)

(a) 成果の論文発表・口頭発表等

なし

(b) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

6. むすび

活断層から発生する地震像を推定する上で、震源断層の地下形状を正確に理解することは本質的に重要である。一方、地表付近で観察される断層の形状は、既存の弱面の存在や堆積層の物性、断層近傍の応力場の変化などの条件に支配されて、深部にかけて複雑に変化する可能性があり、断層の深部から地表付近（変動地形）までの構造と断層すべりを統一的に説明することが必要である。この様な問題意識を念頭に、断層帯深部形状を推定する手法の確立を目的として、平成 29 年度より活断層の評価に関する調査研究「断層帯深部形状の評価に関する活断層調査研究」を3カ年計画で開始した。

サブテーマ1：活断層の地表～深部構造および変動地形・地質構造解析では、琵琶湖西岸断層帯・花折断層帯について変動地形・地質構造と既存の反射法地震探査断面を検討し、断層形状を明らかにする目的でこれらを横断する2測線（安曇川測線および和邇川測線）で大型バイブレーター型震源と独立型地震波計収録器を用いた高分解能反射法地震探査を行い、反射法解析に供する波形データを取得した。このデータを用いて次年度に共通反射点重合に基づく反射法解析を行い反射断面を作成し、変動地形・地質構造および既存の反射法地震探査断面を合わせて断層形状を検討する。

サブテーマ2：活断層の稠密重力探査では、詳細な密度構造を明らかにすべく、琵琶湖西岸断層帯・花折断層帯周辺で稠密重力探査を行い、安曇川測線のブーゲー異常値の変化が明らかになった。今後、同測線で行われた反射法地震探査の結果および既往の地形・地質情報と合わせて地下密度構造の推定を行う。本地域のブーゲー異常値の分布は地質調査総合センター（2004）で公表されており、この結果と地質情報を合わせて、地下密度構造を推定し、活断層の地下深部形状の推定に資する。

サブテーマ3：琵琶湖西岸・花折断層帯について、3次元地震波速度トモグラフィ・微小地震活動などの地震学的データの収集・整理を行った。その結果、地震活動は花折断層帯の下では深さ10-15kmに多く、横ずれ型の地震が多かった。一方、琵琶湖西岸断層帯の下では深さ15km以深で地震活動が活発であり、逆断層型の地震が多く発生していた。発震機構については、これまでの活断層の長期評価における断層の型と一致する。一方で、地表の活断層トレースの位置から深部に至る断層に沿った地震の分布は明瞭ではない。活断層と発震機構解を精査することによって、それぞれの位置関係や関連性を明らかにする必要がある。

サブテーマ4：岩石鉱物の弾性波速度の視点から地震波トモグラフィを解釈することで琵琶湖周辺の地殻構成を推定した。その結果、琵琶湖周辺の上部地殻の層厚は約25kmと見積もられ、非常に厚い石英質な上部地殻から構成されることが推定された。今後は西南日本のより広範囲において上部地殻・下部地殻境界の推定と上部地殻の構成岩石の推定を行うことが課題である。次に、琵琶湖を中心とした近畿地方の地震波速度構造から温度構造を推定した。 V_p/V_s トモグラフィから同一岩石種が分布すると推定される領域の V_p パータバージョンを抽出することで、地殻内部の定性的な温度分布を判読した。例えば、深さ25kmでは近畿地方北部周辺に相対的な高温域が分布する一方で、太平洋側に向かって相対的に低温になることが推定された。今後の課題としては、より広範囲において温度構造を推定することと、半定量的に地殻内部の温度分布を推定することが挙げられる。さらに、三波川変成帯に産するざくろ石角閃岩の弾性波速度測定を行い、P波速度や V_p/V_s と温度との関係に関する基礎データを得た。P波速度パータバージョンから温度構造を推定する際に重要であり、これまでの実験データを取りまとめるとともに、未測定 of 岩石種について引き続き測定を行う必要がある。今後はP波速度パータバージョンと岩石の弾性波速度の温度依存性を組み合わせることで、半定量的な温度構造を推定することが課

題となる。また、推定した温度構造および構成岩石モデルを用いて、本プロジェクトの研究対象とする断層について、地震発生層の下限を推定することが課題となる。

サブテーマ5：日本列島の活断層・震源断層システムの構造的な特徴の抽出に必要なポテンシャルデータとして、重力異常および空中磁気異常データの収集を行い、重力異常データについては活断層に随伴する重力異常値の急変部を抽出する目的で、水平一次微分を行った。今後はこれらの収集データと活断層の位置情報に加えて、サブテーマ3で提示される地震波速度トモグラフィや微小地震活動データを比較検討し、震源断層の構造的な特徴について具体的に検討する。また、サブテーマ1で行う個別の活断層についての深部形状の検討の際にもこれらの重力異常データを利用する。

本年度は実施期間が実質3ヶ月程度と非常に短い期間の中で、次年度以降の調査研究を行う上で必要な基礎的な観測データを取得することができた。また、全体会議などでの議論を通じて、研究体制の構築や内容の方向付けを行うことができた。平成30年度は、平成29年度に取得した観測データの解析を実施するとともに、中央構造線断層帯でも観測・データ解析を行う。さらに、震源断層の反射法断面の構造地質学的な解析および断層帯の変動地形的解析と、重力解析・地震波速度構造および地震活動解析・岩石物性の検討を行い、これらに基づく震源断層の深部形状に関する議論をさらに進める予定である。

7. 全体会議・外部評価委員会

7. 1 活動報告

第1回（平成29年度第1回）活断層の評価に関する調査研究「断層帯深部形状の評価に関する活断層評価研究」全体会議 議事概要

日時 平成30年3月2日 13時30分～15時50分

場所 東京大学地震研究所 1号館会議室

議事 1. 平成29年度の事業成果報告と平成30年度の事業実施計画について
2. その他

第1回（平成29年度第1回）活断層の評価に関する調査研究「断層帯深部形状の評価に関する活断層評価研究」外部評価委員会 議事概要

日時 平成30年3月2日 16時00分～17時00分

場所 東京大学地震研究所 1号館事務会議室 A

議事 1. 全体計画と平成29年度の調査計画・調査進捗状況と平成30年度の調査計画

活断層の評価に関する調査研究「断層帯深部形状の評価に関する
活断層評価研究」外部評価委員会規則

平成29年12月21日制定

(趣旨)

第1条 この規則は、「活断層の評価に関する調査研究（断層帯深部形状の評価に関する活断層評価研究）」を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、外部有識者を招聘して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調査・研究計画
- (2) 委員会の構成員
- (3) その他、研究推進に関わる事項

(構成)

第4条 委員会の委員は、次に掲げる職員の中から東京大学地震研究所長（以下「所長」という。）が委嘱する。

- (1) 有識者若干名（変動地形学・地震学・地質学）
- 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。

(研究支援組織)

第8条 調査・研究の円滑な推進と有機的な連携を保つため、東京大学地震研究所（以下「研究所」という。）に研究支援組織を持つものとする。

(庶務)

第9条 委員会の事務は、研究所において実施する。

(委員会の期限)

第10条 委員会の期限は本プロジェクトの終了までとする。

(補則)

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

附 則

1. この規則は、平成29年12月21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、平成30年3月31日までとする。

7. 2 全体会議・外部評価委員会構成員名簿

1. 委託・再委託機関の研究者

国立大学法人東京大学地震研究所	石山 達也 (研究代表者)
国立大学法人東京大学地震研究所	佐藤 比呂志
国立大学法人岩手大学	越谷 信
国立研究開発法人防災科学技術研究所	松原 誠
国立大学法人横浜国立大学	石川 正弘

2. 外部評価委員会委員

国立大学法人千葉大学	宮内 崇裕
国立大学法人弘前大学	小菅 正裕
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	重松 紀生

3. オブザーバー

(委託元)	文部科学省研究開発局地震・防災研究課
(事務局)	国立大学法人東京大学地震研究所研究支援チーム