

令和 2 年 5 月 20 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05629

研究課題名（和文）重力異常データを用いた活構造解析の高度化と横ずれ断層系への展開

研究課題名（英文）Advancement of active structure analysis using gravity anomaly data and application to strike-slip fault system

研究代表者

平松 良浩（Hiramatsu, Yoshihiro）

金沢大学・地球社会基盤学系・教授

研究者番号：80283092

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：地震発生を理解する上で重要な地下の断層構造を解明するため、横ずれ断層における断層構造の特徴を重力異常データから抽出する方法を開発した。1943年鳥取地震の震源断層や中央構造線断層帯讃岐山脈南縁部を対象とした重力測定を行い、一部地域において横ずれ断層に特徴的な重力異常解析結果を得た。また、測定された重力異常データに基づく複数の重力異常解析結果の組み合わせから地下の断層構造のセグメント境界を抽出できる可能性を示した。これらの成果は地震規模の予測の高度化に資するものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本の内陸部では活断層で地震が起こり、地下に断層の本体がある。そのため、地下の断層構造を正確に知ることが地震発生予測のためには重要になる。本研究では、地下の密度構造を反映する重力異常データの解析から、横ずれ断層の地下の断層構造を推定する方法を開発し、実際のデータに適用した。その結果、地震規模を評価する上で重要な断層構造を区分する境界位置の情報を得ることが可能となり、地震発生予測の高度化に寄与することが期待できる。

研究成果の概要（英文）：To clarify subsurface fault structures, which is important in understanding the generation process of earthquakes, we have developed a method to highlight the features of fault structures on the strike-slip fault from gravity anomaly data. We conducted gravity measurements around the source faults of the 1943 Tottori earthquake and the southern boundary of the Sanuki Mountains of the Median Tectonic Line fault zone. In some areas, we obtained results of gravity anomaly analyses, which characterize strike-slip faults. We also demonstrated that the combination of results of several gravity anomaly analyses has the potential to highlight the segment boundary of subsurface fault structure. These findings are useful to improve the estimate of the size of earthquakes.

研究分野：地震学，地球物理学

キーワード：重力異常 活断層 重力勾配テンソル セグメント境界 断層構造 1943年鳥取地震 中央構造線断層帯

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

プレート境界の変動帯は活発な地震・火山活動、多様な地形・地質構造をもち、日本列島も日本海の形成を通じて伸張場から圧縮場への変遷など複雑な応力場を経験している。そのため、日本列島における地震発生ポテンシャル評価の高度化のためには、過去の構造発達と地形・地質学的データを十分に考慮した上で、客観的な指標となる地球物理学的データを用いた活構造の評価、すなわち活構造の形状・運動様式・セグメント区分の評価を高度化し、その評価を実施しなければならない。本研究グループのメンバーはこれまで、データ取得に優位性がある重力異常データを用いて地震活動と活構造の関係の解明を続けてきた(本多・他, 2000, 地震2; 田中・他, 2001, 2010, 地震2; Tanaka et al., 2005, Tectonophys.; Honda et al., 2008, EPS; 澤田・他, 2012, 地震2)。近年は重力勾配テンソルを用いた重力異常データの新しい断層構造解析手法の開発を進め(楠本, 2015, 2016)、2016年熊本地震では、分解能や精度に問題はあるものの地下の断層形状や震源域南端のセグメント境界等に関して、重力異常データから情報を引き出すに至った (Kusumoto, 2016, EPS; Matsumoto et al., 2016, EPS)。

これまで横ずれ断層系は逆断層系と比べて、通常の重力探査から地下の断層構造の情報を得るのが困難であった。本研究では、重力勾配テンソルを用いた解析手法の高度化により上記の分解能や精度の問題を克服し、横ずれ断層系の重力異常データを主とした活構造評価を目指すものである。

2. 研究の目的

日本各地域の横ずれ断層系の地震発生ポテンシャルを解明するために、地下の断層構造を密度異常として反映する重力異常に特に着目し、以下の2項目の達成を目的とする。

- (1) 重力異常を用いた活構造評価の高度化: 過去のテクトニクス・構造発達(密度構造、地震波速度構造、地形・地質構造)に基づいた、重力異常データを用いた横ずれ断層系の断層形状・運動様式・セグメント区分に関する評価方法を高度化する。
- (2) 重力異常を用いた活構造評価の展開: 上記の評価方法を全国規模の高精度重力異常データセットに適用し、全国規模での横ずれ断層系の断層形状・運動様式・セグメント区分を評価する。

3. 研究の方法

- (1) 重力勾配テンソルから計算される指標を用いて横ずれ断層の地下断層構造を評価する解析法を開発する。
- (2) 1943年鳥取地震の震源域(鹿野-吉岡断層)および中央構造線断層帯讃岐山脈南縁部周辺、阿寺断層系を研究対象とし、断層を横切る測線上または断層帯周辺で面的に重力測定を実施し、断層構造の解析や(1)の結果との比較による、横ずれ断層に特有の指標パターンの検出を試みる。また、地下の断層構造区分にとって重要であるセグメント境界に対して、重力勾配テンソルから計算される指標による検出可能性を検証する。また、逆断層である富来川南岸断層について、同様の重力勾配テンソルを用いた重力異常解析を実施し、地下構造の解析性能を評価する。
- (3) 日本全国の主要な横ずれ断層について重力勾配テンソルを用いた重力異常解析を実施し、各断層の地下の断層構造について考察を行う。

4. 研究成果

(1) 重力勾配テンソルを用いた解析法の開発

Okubo (1992)による断層運動に起因する重力変化の理論モデルに基づき、断層運動によって生じる重力異常(図1A)およびその重力勾配テンソル(図1B)、それから計算される指標の空間分布を計算するプログラムを開発した。ここで採用した指標はTDX(Cooper and Cowan, 2006)と重力異常の水平1次勾配(HD)である。TDXにより横ずれ断層の走向とそれに直交する方向を(図1C)、重力異常のHDにより横ずれ断層端部(図1D)を推定する。これを用いた数値シミュレーションを行い、断層境界や断層端部がこれらの指標により推定可能であることを明らかにした。

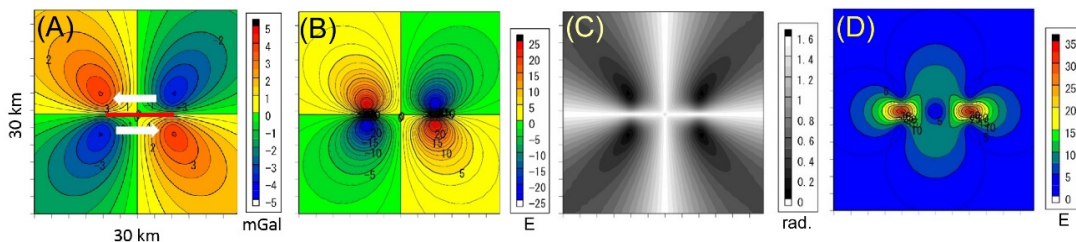


図1. (A)右横ずれ断層運動の累積により形成される重力異常 (B) 重力異常から Mickus and Hinojosa, (2001)の方法により計算された重力勾配テンソルの g_{zz} 成分 (C) TDX の分布 (D) HD の分布

(2) 1943年鳥取地震の震源域（鹿野-吉岡断層）

2017年6月と9月、10月に現地で測定した重力異常データに加えて、鳥取大学の既往データ、国土地理院（2006）、Yamamoto et al.（2011）、産総研地質調査総合センター（2013）のデータを使用した。2300 kg/m³の補正密度でブーゲー補正および地形補正を行い、さらにトレンド処理および遮断波長1 kmのローパスフィルター処理を行ったブーゲー異常データを解析に用いた。ブーゲー異常からは鹿野-吉岡断層に関連する特徴を見るのは困難であるが、断層に直交する方向の水平勾配をとると、吉岡断層と岩坪断層では横ずれ断層に特徴的な分布と似た勾配分布が部分的に得られた。鳥取平野に設定した測線上のブーゲー異常の変曲点の位置は、吉岡断層と鳥取平野を挟んで東側に位置する断層を結んだ線とほぼ一致し、平野下に伏在する断層を捉えている可能性がある。野口ほか(2003)の解析結果を参照し、鳥取平野中央部の測線において二次元タルワニ法による密度構造解析を行った結果、約130 mの深度において約30 mの鉛直変位が存在する可能性があることが判明した。

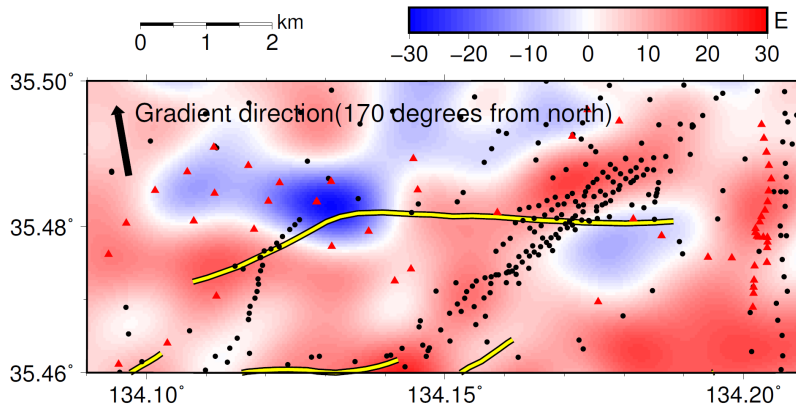


図2. 吉岡断層周辺における重力異常勾配（170度方向）。

(3) 中央構造線断層帯讃岐山脈南縁部周辺

2018年7月18日～25日および9月17日～21日にかけて重力測定を実施した。これらの測定データと既往の重力測定データを用いて、2600 kg/m³の補正密度でブーゲー補正および地形補正を行い、ブーゲー異常データを作成した。中央構造線断層帯讃岐山脈南縁部の中央部において、地下の断層構造を反映する重力異常の水平一次微分の大きい領域、鉛直一次微分のゼロ線、TDXの大きい領域が断層帯を横切り、東部と西部において断層帯の地下構造に変化があることが示唆される。また、次元指数（図3左）は中央部において3次的であり、断層構造の二次元性が乱れていることを示唆する。この中央部は大局的には地形的特徴からのセグメント境界と一致し、地下の断層構造においてもセグメント境界としての特徴があると考えられる。しかし、詳細には地表のセグメント境界位置と重力異常解析で示唆されるセグメント位置は異なり、地下の断層構造と地表におけるセグメント境界の対応関係の複雑さを示している。断層帯の走向方向の微分（図3右）からは、正負の異常が交互に現れる特徴が見られた。このパターンは横ずれ断層による密度異常から予測されるパターンと類似し、走向方向の微分からも断層構造の情報が得られる可能性があることが明らかとなった。

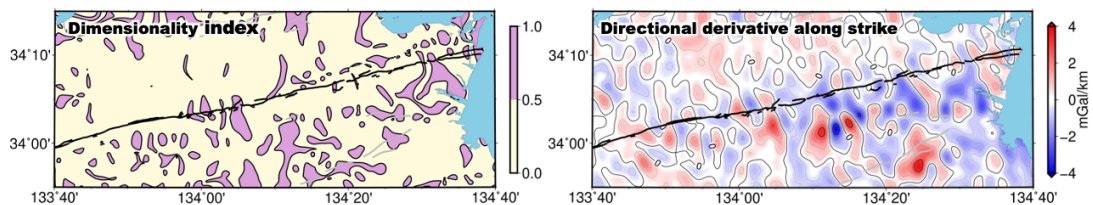


図3. 中央構造線断層帯讃岐山脈南縁部周辺における（左）走向方向の重力異常勾配、および（右）次元指数。

(4) 阿寺断層系

阿寺断層系で断層構造評価を行った結果、左ずれが卓越する阿寺断層帯では、舞台峠周辺で破碎帯および共役断層の影響を反映する特徴が見られた (図 4 右)。南東側隆起の逆断層が卓越する屏風山・恵那山断層系では、物質境界 (堆積層と花崗岩類) の屏風山断層が低角、花崗岩類中の恵那山断層と堆積層中の手賀野断層が高角となる特徴が最大固有ベクトルの解析から得られた (図 4 左)。また、1984 年長野県西部地震の震源断層付近にも断層的な特徴が見られた。

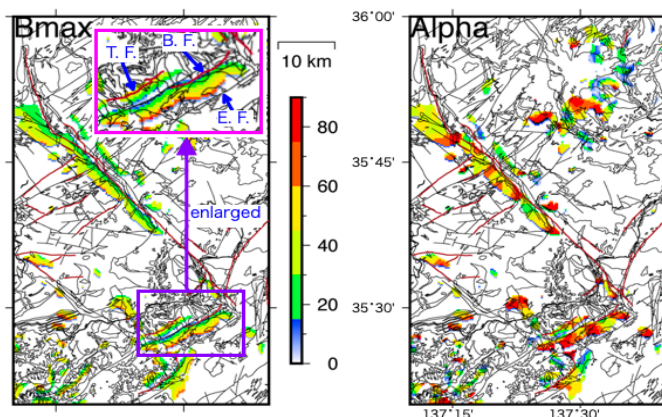


図 4. 阿寺断層系の最大固有ベクトルによる傾斜角指標 (左) と走向方向指標 (右)。(左)の拡大図中の頭文字は、T.F.: 手賀野断層、B.F.: 屏風山断層、E.F.: 恵那山断層である。着色の領域は次元指数 0.5 以下かつ水平一次微分 15 エトベス以上を表す。

(5) 富来川南岸断層

2018 年 4~6 月に現地にて測定した重力データに加えて、金沢大学の既往データ、国土地理院 (2006)、Yamamoto et al. (2011)、産総研地質調査総合センター (2013) の重力データを使用した。2300 kg/m³ の補正密度でブーゲー補正および地形補正を行い、さらにトレンド処理および遮断波長 3 km のローパスフィルター処理を行ったブーゲー異常データを用い、重力勾配テンソルおよびそれから計算される諸指標を計算した。

ブーゲー異常の値は富来川南岸断層より南東側で高く、北西側で低い。また、水平一次微分 (図 5 上) と TDX の極大域および VD のゼロ線は断層の南東側に地表トレースに平行に延びることから、富来川南岸断層の地下構造として、南東傾斜の逆断層構造が考えられる。地下の断層構造領域として水平一次微分の値が大きく次元指数 (図 5 中) が二次元的である領域のみ抽出すると、その領域は富来川南岸断層と平行に延び、走向方向の領域サイズは地表で確認される富来川南岸断層のサイズと一致する。また、断層の傾斜角 (図 5 下) は約 45~60 度と推定される。富来川南岸断層を横切る測線における重力異常データの二次元タルワニ法によるモデリングからも逆断層構造の傾斜角の最適値は 55 度であり、重力勾配テンソル解析に基づく断層構造の推定に信頼性があることを示す結果となった (Hiramatsu et al., 2019)。

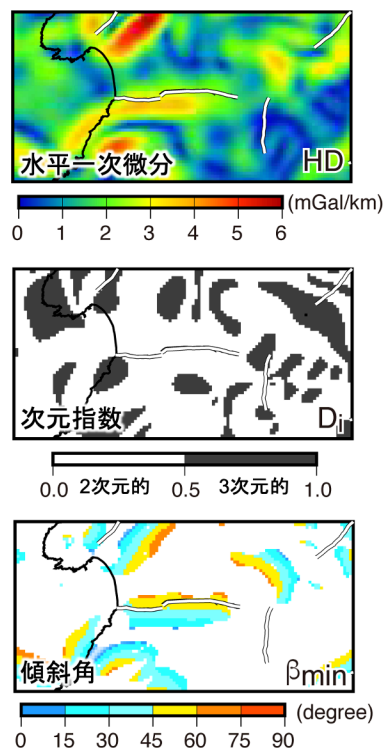


図 5. 富来川南岸断層における重力勾配テンソル解析例。(上) 水平一次微分、(中) 次元指数、(下) 傾斜角。

(6) 全国の主要な横ずれ断層帯における解析

全国の主要な横ずれ断層帯において重力勾配テンソル解析を実施したが、ほとんどの断層帯では既往重力異常データが不十分であり、地下の断層構造の有意な情報を得ることはできなかった。北伊豆断層帯では地下の断層構造のセグメント境界を表す特徴が重力勾配テンソル解析から得られる諸指標に見られ、その位置は地表におけるセグメント境界とほぼ一致する結果となった。今後、重力異常データ分布を密にすることにより、他の断層帯においても地下の断層構造を解明することが期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hiramatsu Yoshihiro, Sawada Akihiro, Kobayashi Wataru, Ishida Satoshi, Hamada Masaaki	4. 巻 71
2. 論文標題 Gravity gradient tensor analysis to an active fault: a case study at the Togi-gawa Nangan fault, Noto Peninsula, central Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40623-019-1088-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 本多亮, 柳澤孝一, 田中俊行, 浅井康広	4. 巻 72
2. 論文標題 重力変化で捉える既知の水利地質構造中の地下水流動 - 岐阜県東濃地域における長期水圧低下を例として -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 物理探査	6. 最初と最後の頁 34-48
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tanaka T., Honda, R.	4. 巻 5
2. 論文標題 Vertical gravimeter array observations and their performance in groundwater level monitoring	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Earth and Space Science	6. 最初と最後の頁 62-74
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/2017EA000311	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 田中俊行
2. 発表標題 局地客観解析を用いた大気引力効果の評価
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田真介, 小坂英輝, 楢原京子, 今泉俊文, 阿部恒平, 坂下 晋, 三輪敦志, 小鹿浩太, 小田佑介, 塚本勇樹, 宮内崇裕, 越後智雄
2. 発表標題 2019, 青森湾西岸断層帯を横断する重力探査とその地下構造(その2: 岩石密度測定値を使った地下構造の推定)
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 澤田明宏, 平松良浩, 石田聡史, 宮本慎也, 吉田 進
2. 発表標題 海底重力測定による能登半島西方沿岸域の重力異常分布
3. 学会等名 日本測地学会第132回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本多亮, 田中俊行, 大久保慎人, 浅井康広
2. 発表標題 2011年東北地方太平洋沖地震時に岐阜県東濃地域で観測された水圧変化と重力変化
3. 学会等名 日本測地学会第132回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲生健人, 平松良浩, 澤田明宏, 楠本成寿
2. 発表標題 重力異常を用いた横ずれ断層のセグメント 境界の検出: 中央構造線断層帯
3. 学会等名 日本測地学会第132回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kento Inao, Yoshihiro Hiramatsu, Akihiro Sawada, Shigekazu Kusumoto
2. 発表標題 Detection of a segment boundary of lateral faults through gravity anomaly: a case study of the Median Tectonic Line fault zone, Japan
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Okada S., Kosaka H., Kagohara K., Imaizumi T., Abe K., Sakashita S., Koshika K., Oda Y., Miyauchi T., and Echigo T.
2. 発表標題 Gravity survey and subsurface structure across the Aomoriwan-Seigan Fault Zone, Northeast Japan,
3. 学会等名 Hokudan International Symposium on Active Faulting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本多亮
2. 発表標題 重力勾配テンソル解析からみた富士山の特徴
3. 学会等名 日本火山学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮田慎也, 澤田明宏, 松本なゆた, 平松良浩, 坂本尚也, 野口達也, 楠本成寿
2. 発表標題 重力異常から見た鹿野 - 吉岡断層の特徴
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会,
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 澤田明宏, 平松良浩
2. 発表標題 重力異常および音波探査による堆積層構造から推定される能登半島西方沖の基盤構造
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 楠本成寿, 平松良浩
2. 発表標題 重力偏差テンソルを用いた横ずれ断層位置の推定
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中俊行, 平松良浩, 松本なゆた, 本多亮, 澤田明宏, 岡田真介
2. 発表標題 重力勾配テンソル解析による断層発達史 - 庄内平野東縁断層帯を例として -
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡田真介, 小鹿浩太, 小田佑介, 塚本勇樹, 楳原京子, 坂下晋, 今泉俊文, 宮内 崇裕, 越後智雄
2. 発表標題 青森湾西岸断層帯を横断する重力探査とその地下構造
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中俊行
2. 発表標題 農研機構メッシュ農業気象データを用いた積雪の引力効果の補正
3. 学会等名 日本測地学会第130回講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平松良浩, 澤田明宏, 穴田文浩, 吉田進, 浜田昌明, 石田聡史, 宮本慎也, 長貴浩, 小鹿浩太
2. 発表標題 重力異常解析による富来川南岸断層の構造
3. 学会等名 日本地震学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akihiro Sawada, Yoshihiro Hiramatsu
2. 発表標題 Estimation of basement depth from coastal to offshore areas in western Noto Peninsula, central Japan, by integrating acoustic explorations and gravity anomaly
3. 学会等名 2018 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本なゆた, 和田茂樹, 澤田明宏, 平松良浩
2. 発表標題 重力異常による石狩平野東縁断層帯の密度構造解析
3. 学会等名 日本地震学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Matsumoto N., Hiramatsu Y., Sawada A., Okada S., Honda R., Tanaka T.
2. 発表標題 The gravity anomalies analysis over the active reverse fault zones in Japan
3. 学会等名 IAG- IASPEI 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中俊行, 本多亮
2. 発表標題 地下水位と土壤水分の関係 - 重力観測の補正に向けて -
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中俊行, 古本宗充
2. 発表標題 重力計鉛直アレイ観測の減算処理による浅部地下水量評価
3. 学会等名 日本測地学会第128回講演会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 熊原康博, 岡田真介, 楳原京子, 金田平太郎, 後藤秀昭, 堤 浩之	4. 発行年 2017年
2. 出版社 国土地理院	5. 総ページ数 1
3. 書名 1:25,000都市圏活断層図「熊本(改訂版)」	

〔産業財産権〕

〔その他〕

金沢大学重力データベース
http://earth.s.kanazawa-u.ac.jp/gravity_database.html

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	楠本 成寿 (Kusumoto Shigetoshi) (50338761)	富山大学・学術研究部都市デザイン学系・教授 (13201)	
研究分担者	岡田 真介 (Okada Shinsuke) (50626182)	岩手大学・理工学部・准教授 (11201)	
研究分担者	田中 俊行 (Tanaka Toshiyuki) (60462941)	公益財団法人地震予知総合研究振興会・東濃地震科学研究所・主任研究員 (82669)	
研究分担者	本多 亮 (Honda Ryo) (70399814)	山梨県富士山科学研究所・その他部局等・研究員 (83501)	