

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 4 月 15 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400450

研究課題名(和文)高精度重力異常データを活用した『重力逆断層アトラス』の作成

研究課題名(英文) Development of "Atlas of reverse faults in terms of gravity anomaly" using precise gravity anomaly data

研究代表者

平松 良浩 (Hiramatsu, Yoshihiro)

金沢大学・自然システム学系・教授

研究者番号：80283092

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：(1) 既往の重力データのコンパイル及び高密度デジタル標高データの活用による高精度重力異常データを作成し、(2) 東日本の43の主要逆断層系において地下の断層構造を解明するための重力測定と2次元密度構造解析、(3) 重力勾配テンソルを用いた東日本の主要逆断層系及び2016年熊本地震震源域周辺の断層帯の構造パラメータ解析を行い、地下の断層構造の連続性及び断層構造のセグメンテーションについて評価を行なった。

研究成果の概要(英文)：(1) We made a precise gravity anomaly dataset from the compilation of previously reported datasets and the utilization of a high density digital elevation data, (2) performed gravity observations and two-dimensional density structure analyses in/around 43 major reverse fault zones in northeastern Japan to elucidate subsurface fault structures, and (3) conducted structural parameters analyses using gravity gradient tensor for those faults zones and the fault zones around the source area of the 2016 Kumamoto earthquake. From these analyses, we have evaluated the continuity and the segmentation of the subsurface fault structure of the major reverse fault zones.

研究分野：固体地球物理学

キーワード：重力異常 活断層 密度構造 断層構造 セグメンテーション 重力勾配テンソル

### 1. 研究開始当初の背景

日本列島に存在する活断層や活褶曲などの活構造は、過去の複雑な応力場の下で形成・発達したものが多く、現在においてしばしば大地震を発生させる基となっている。このような活構造の評価は主に地形・地質学的データや地球物理学データに基づきなされているが、研究者の主観に依存する部分も少なくなく、その形状や運動様式の理解に不十分なところが残されている。したがって、客観的指標に基づく活構造の新しい評価法を確立することが必要である。

地下構造を知る上で、重力探査は他の探査法より測定が容易かつ費用対効果が高く、データ取得に優位性がある。本研究グループはこれまでに2万点を超える重力異常(ブーゲー異常)データを蓄積し、2012年11月にデータ公開を行い(本多・他, 2012)、このデータを用いた地震活動と活構造の関係の解明(本多・他, 2000; 田中・他, 2001, 2010; Tanaka et al., 2005; Honda et al., 2008; 澤田・他, 2012)を続けてきた。

本研究は、重力異常データを用いた地下構造解析と地形・地質学的データを活用した逆断層系の活構造の評価法の確立し、それを全国的に整備する高精度重力データに適用することにより、日本の主要逆断層帯の形状や活動様式・セグメント区分の解明を目指すものである。

### 2. 研究の目的

本研究では、以下の3点を研究目的としている。

(1) 既往の全ての公開データの統合・データマッチングを行い、海域も含めた高精度重力異常データセットを構築すること。

(2) 地表での変動地形が明瞭かつ地震波速度構造が得られている国内の複数の活断層において、重力異常(ブーゲー異常)に基づく密度構造解析を行い、逆断層構造におけるブーゲー異常と活断層の形状・活動様式・セ

グメント区分に関する評価法を開発すること。

(3) 上記の活構造評価法を高精度重力異常データに適用し、地形・地質学的データも活用し、日本全国における主要逆断層系の活構造及び2016年熊本地震の震源断層の形状・活動様式・セグメント区分を明らかにすること。

### 3. 研究の方法

高精度重力データセットの構築については、国土地理院([http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/gravity/grv\\_search/gravity.pl](http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/gravity/grv_search/gravity.pl))、産業技術総合研究所(日本重力CD-ROM(第2版))、西南日本重力グループ(Yamamoto et al., 2011)の測定データ間及び金沢大学測定データとの矛盾データの解決や沿岸部の海陸重力異常データ(澤田・他, 2009)の接続を行う。また従来の50 mグリッド地形データによる地形補正計算を10 mグリッド地形データにて行い、日

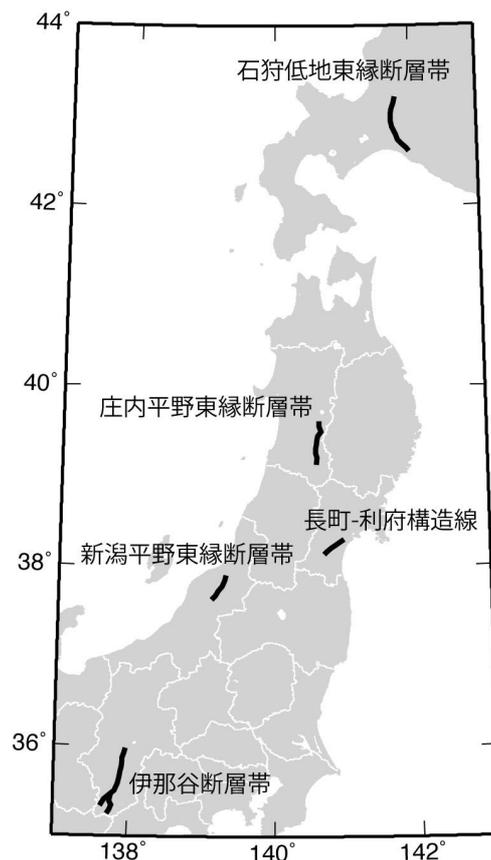


図1 本研究で基礎解析を行った逆断層帯。

本全国の重力異常データを高精度化する。

重力異常データを用いた活構造評価のための基礎解析として、新潟平野東縁断層帯、庄内平野東縁断層帯、長町-利府構造線、伊那谷断層帯、石狩低地東縁断層帯において重力測定を行い(図1)断層走向に直交する測線において二次元密度構造解析を行う。

重力異常データから求められる重力勾配テンソルを用いた構造パラメータを用いて、東日本の主要逆断層帯及び2016年熊本地震の震源域周辺の断層帯の形状・運動様式・セグメンテーションについて評価する。

#### 4. 研究成果

沿岸部で陸上と海上の重力異常データの連続性を保つように上記の既往データセットの統合を行い、10 m グリッド地形データを用いた地形補正計算に基づく高精度重力データセットを構築した。このデータセットについては公開の準備を現在進めている。

重力異常データを用いた活構造評価のための基礎解析の例として、新潟平野東縁断層帯の結果を示す(Wada et al., 2017)。新潟平野東縁断層帯は櫛形山脈断層帯と月岡断層帯から構成されている。地震調査研究推進本部では松田(1990)の5 kmルールに従い、これら二つの断層帯の連動は評価されていない。断層帯の走向と直交する測線での二次元タルワニ法による密度構造解析結果から重力異常の水平一次微分と鉛直一次微分が地下の断層構造を捉えていることを確認し、両断層帯全体に渡って水平一次微分と鉛直一次微分が良い連続性を示す(図2)ことを明らかにした。このことから、櫛形山脈断層帯と月岡断層帯は、地下の断層構造としては一体のものであり、そこで発生する地震の最大規模はMw 7.4と評価できる。

次に、2016年熊本地震の震源域周辺の断層帯(布田川断層帯、日奈久断層帯)の解析例を示す(Matsumoto et al., 2016)。重力異常から重力勾配テンソル(Mickus and

Hinojosa, 2001)を求め、それらから計算される構造パラメータ(水平一次微分、鉛直一次微分、傾斜角(Beiki, 2013)、次元指数(Beiki and Pederson, 2010)、正規化水平微分(Cooper and Cowan, 2006))を用いて地下の断層構造を評価した。水平一次微分、鉛直一次微分、正規化水平微分からは布田川

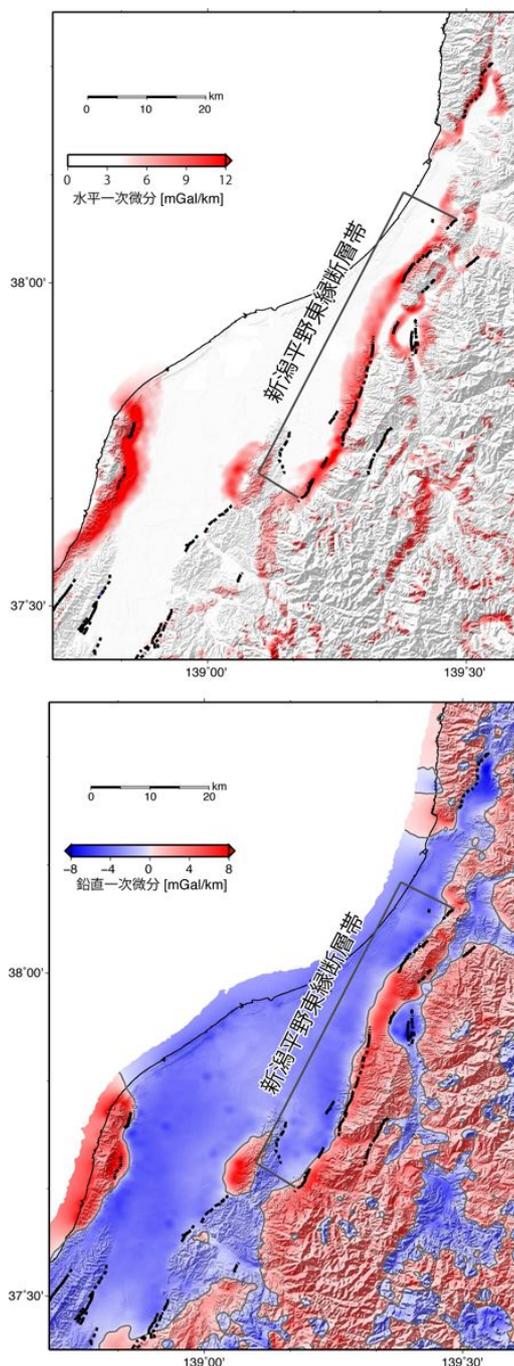


図2. 新潟平野東縁断層帯での重力異常の水平一次微分(上)と鉛直一次微分(下)。両者の分布から北西傾斜の断層構造が断層帯全体に渡り連続していることが分かる。

断層帯は明瞭に抽出されるが、日奈久断層帯は不明瞭であった。これは両断層帯における累積鉛直変位量の差を表していることが示唆される。傾斜角の解析からは両断層帯は正断層の構造を持つことが示され、地震学的な解析結果と調和的である。日奈久断層帯では、次元指数と正規化水平微分から高野 白旗区間と日奈久区間の間での地下のセグメント境界の存在が示された(図3)。この構造境界部分は震源断層の南西端に位置し、地質学的には変成岩と堆積岩の境界に対応し、熊本地震の震源断層の大きさはこのセグメント境界により規制されたと考えられる。

上記のように重力異常から計算される構

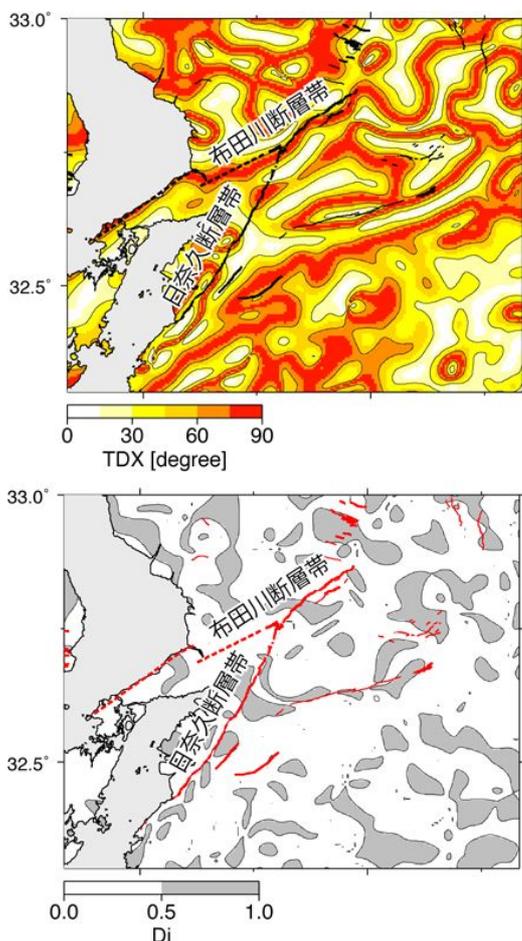


図3．2016年熊本地震の震源域周辺の正規化水平微分(上)と次元指数(下)。日奈久断層帯を正規化水平微分と次元指数の値が大きな領域が横切り、セグメント境界であることを示す。

造パラメータ解析により地下の断層構造の形状・活動様式・セグメント区分について一定の評価をすることが可能となった。東日本

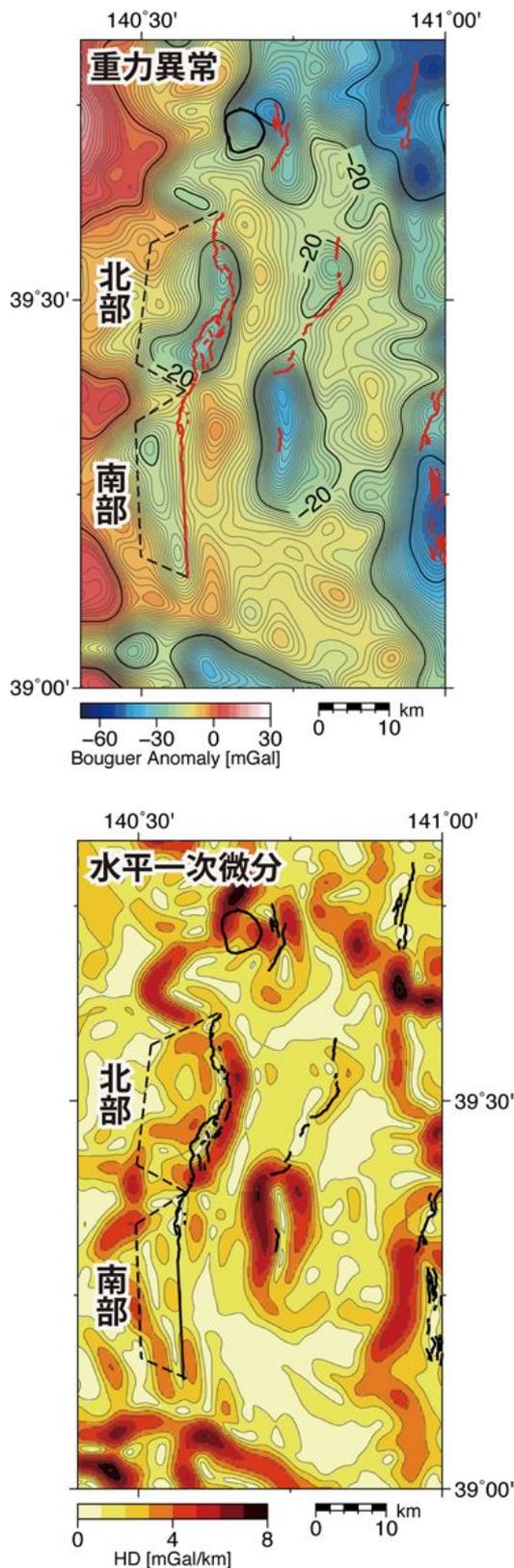


図4．横手盆地東縁断層帯周辺の重力異常(上)と水平一次微分(下)。

の43の主要逆断層帯にこの解析法を適用し、一律な地下の断層構造評価を試みた。21の逆断層帯においては地表断層トレースに沿うような地下の断層構造を明瞭に、13の逆断層帯においては部分的に捉えることができた。例として、横手盆地東縁断層帯の解析結果を以下に示す。重力異常及び水平一次微分(図4)、傾斜角から、推定される横手盆地東縁断層帯の構造は東傾斜の逆断層であり、東西圧縮応力場において奥羽脊梁山地のポップアップにより新たに生じた東傾斜の逆断層帯であることと一致する(池田・他, 2002)。水平一次微分、鉛直一次微分、正規化水平微分から断層帯は北部と南部に区分でき、水平一次微分の値は北部で大きく、南部でやや小さい。また、これらの微分量や次元指数から北部と南部の境界は、密度構造境界であり、セグメント境界を成していると解釈できる。実際、1896年の陸羽地震の際には北部のみが活動している。残り9の逆断層帯では地下の断層構造を示す結果を得ることはできなかったが、それらのうち3の逆断層帯の地表トレースは日本海拡大時のトラフ構造に起因する低異常領域内に発達しており、断層帯の大きさがトラフ構造に規制されていることが明らかとなった。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計11件)

Wada S., Sawada A., Hiramatsu Y., Matsumoto N., Okada S., Tanaka T., Honda R., Continuity of subsurface fault structure revealed by gravity anomaly: the eastern boundary fault zone of the Niigata plain, central Japan, *Earth Planets Space*, 69:15 doi: 10.1186/s40623-017-0602-x, 2017, 査読有, <<https://earth-planets-space.springeropen.com/articles/10.1186/s40623-017-0602-x>>.

Matsumoto N., Hiramatsu Y., Sawada A.,

Continuity, segmentation and faulting type of active fault zones of the 2016 Kumamoto earthquake inferred from analyses of a gravity gradient tensor, *Earth Planets Space*, 68, 167, doi: 10.1186/s40623-016-0541-y, 2016, 査読有, <<https://earth-planets-space.springeropen.com/articles/10.1186/s40623-016-0541-y>>.

Toda S., Kaneda H., Okada S., Ishimura D., Zoë K. M., Slip-partitioned surface ruptures for the Mw 7.0 16 April 2016 Kumamoto, Japan, earthquake, *Earth Planets Space*, 68, 188, doi: 10.1186/s40623-016-0560-8, 2016, 査読有, <<https://earth-planets-space.springeropen.com/articles/10.1186/s40623-016-0560-8>>.

Hamada M., Hiramatsu Y., Oda M., Yamaguchi H., Fossil tubeworms link coastal uplift of the northern Noto Peninsula to rupture of the Wajima-oki fault in AD 1729, *Tectonophysics*, 670, 38-47, 2016, 査読有, <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2015.12.019>>.

Okada S., Ishimura D., Niwa Y., Toda S., The first surface rupturing earthquake in 20 years on a HERP active fault is not characteristic: The 2014 Mw 6.2 Nagano event along the northern Itoigawa-Shizuoka tectonic line, *Seismol. Res. Lett.*, 86, 1287-1300, doi: 10.1785/0220150052, 2015, 査読有, <<http://srl.geoscienceworld.org/content/86/5/1287>>.

[学会発表](計44件)

Hiramatsu Y., Matsumoto N., Sawada A., Fault structures in the focal area of the 2016 Kumamoto earthquake revealed by derivatives and structure parameters of a gravity gradient tensor, AGU 2016 Fall Meeting, 2016.12.16., Moscone Convention Center (USA).

Tanaka T., Hiramatsu Y., Matsumoto N., Honda R., Wada S., Sawada A., Okada S., 2016, Application of indexes of underground structure

using land gravity data to the Eastern Boundary Fault zone of the Shonai Plain, northeastern Japan, AGU 2016 Fall Meeting, 2016.12.15., Moscone Convention Center (USA).

Matsumoto N., Sawada A., Hiramatsu Y., Okada S., Tanaka T., Honda R., Subsurface structures of the active reverse fault zones in Japan inferred from gravity anomalies, AGU 2016 Fall Meeting, 2016.12.15., Moscone Convention Center (USA).

松本なゆた、平松良浩、澤田明宏、重力異常により検出した断層構造と 2016 年熊本地震の余震分布の関係、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016 年 05 月 26 日、幕張メッセ国際会議場（千葉市）。

松本なゆた、和田茂樹、澤田明宏、平松良浩、岡田真介、田中俊行、本多亮、重力異常を用いた逆断層帯の解析、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016 年 05 月 23 日、幕張メッセ国際会議場（千葉市）。

澤田明宏、本多亮、平松良浩、金沢大学測定重力データおよび他機関公開データとを合わせた重力異常データセットの作成、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016 年 05 月 22 日、幕張メッセ国際会議場（千葉市）。

和田茂樹、本多亮、田中俊行、岡田真介、澤田明宏、平松良浩、庄内平野東縁断層下の密度構造、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016 年 05 月 22 日、幕張メッセ国際会議場（千葉市）。

Wada, S., Sawada, A., Hiramatsu, Y., Okada, S., Tanaka, T., and Honda, R., 2015, Fault structures of the eastern boundary fault zone of the Niigata plain, central Japan, revealed by gravity survey and analysis, AGU 2015 Fall Meeting, 2015.12.17., Moscone Convention Center (USA).

和田茂樹、澤田明宏、平松良浩、岡田真介、田中俊行、本多亮、重力異常からみた新潟平野東縁断層帯の特徴、日本地球惑星科学

連合2015年大会、2015年5月27日、幕張メッセ国際会議場（千葉市）。

和田茂樹、澤田明宏、平松良浩、岡田真介、本多亮、田中俊行、長町-利府断層帯周辺における重力探査、日本測地学会第122回講演会、2014年11月5日、つくばサイエンス・インフォメーションセンター（つくば市）。

〔図書〕(計2件)

松多信尚、岡田篤正、岡田真介 他(2016), 1:25,000都市圏活断層図「鶴来」, 国土地理院技術資料 D1-No.742, 1.

岡田篤正・岡田真介 他(2016), 1:25,000都市圏活断層図「津山東部」, 国土地理院技術資料 D1-No.744, 1.

〔その他〕  
ホームページ等

[http://earth.s.kanazawa-u.ac.jp/gravity\\_database.html](http://earth.s.kanazawa-u.ac.jp/gravity_database.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

平松 良浩 (HIRAMATSU YOSHIHIRO)  
金沢大学・自然システム学系・教授  
研究者番号：80283092

### (2) 研究分担者

岡田 真介 (OKADA SHINSUKE)  
東北大学・災害科学国際研究所・助教  
研究者番号：50626182

### (3) 研究分担者

田中 俊行 (TANAKA TOSHIYUKI)  
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  
研究者番号：60462941

### (4) 研究分担者

本多 亮 (HONDA RYO)  
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・副主任研究員  
研究者番号：70399814