

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540489

研究課題名(和文) 未認識活断層を抽出・評価するための応力不均一性の解析

研究課題名(英文) Stress fluctuations to identify / evaluate unrecognized active faults

研究代表者

山田 泰広 (YAMADA, Yasuhiro)

京都大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：20362444

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：南海トラフの海底坑井で取得された物理検層データの中から孔壁イメージデータを用いて、孔壁破壊現象の幅と方向から詳細な応力解析を実施した結果、反射法地震探査で認められている大規模断層帯付近で応力的に活性的な断層(応力活断層)を複数特定できた。また地質構造モデリングを実施して南海トラフの地質環境を再現したところ、構造形成過程において内部応力が非常に変動することが判明した。これらの成果は、付加体での応力活断層の検出方法とその応力変動に関する新知見である。

研究成果の概要(英文)：We have newly identified several active faults in terms of stress field, around a major earthquake fault zone detected in geophysical seismic dataset, by analyzing borehole images acquired at a drill hole in the Nankai Trough area. Geologic modelling results show that internal stresses of an accretionary prism should be highly fluctuated during its deformation process. These are new and significant understandings to detect 'stress-active faults' and the nature of stress fluctuations.

研究分野：構造地質学・掘削科学・石油地質学

キーワード：テクトニクス 応力変動 坑井検層解析 モデリング

1. 研究開始当初の背景

地質体の中には多種多様な断層が非常に多く含まれており、その中から今後活動する可能性がある断層を抽出・特定することは困難である。

最近では平成 23 年 4 月 11 日の福島県浜通りで発生した地震(図 1)は、活動する可能性がほとんどないと考えられてきた断層活動に伴うものである。また、2000 年 10 月 6 日に鳥取県西部で発生した M7.3 の地震など、「地震空白域」と考えられていた地域における断層活動に伴う地震は多数発生している。このような「地震断層の活動性が低い地域」での断層活動性を評価する社会的な要請が高まっている。

現世応力は、地球表層におけるテクトニクス場によって決定され、ある地域の地質体の中では比較的均一かつ安定的であると考えられてきた。しかし鳥取県西部地震の場合(西田ほか 2001)など、地震発生の数年前から周辺地域での断層活動パターンが変化することが観察されている。断層活動は、断層面に作用する力のバランスによって生じるため、断層活動パターンの変化はその周辺地域での応力場の変動と連動している可能性が高い。

地質学的時空間スケールの中で形成される断層や褶曲などの地質構造形成過程を理解するためには、スケールを縮小して現象を再現する地質構造モデリングの手法が有効である。個別要素法シミュレーションによると、付加体形成に伴って断層が停止・再活動を頻繁に繰り返し、そのサイクルの中で応力場も変動していることが Yamada et al (2006) によって報告されている(図 2)。

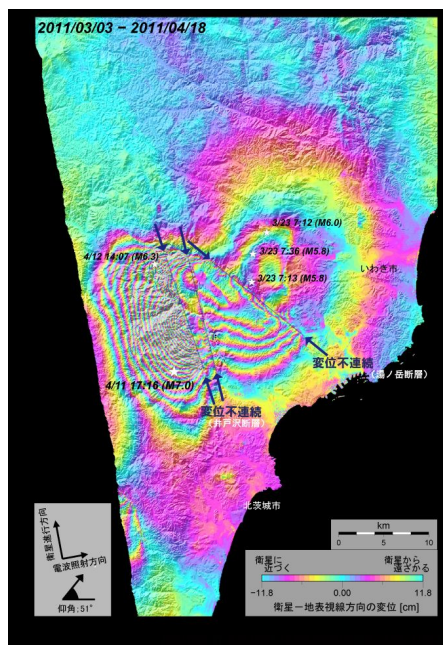


図 1 未認識活断層の例
平成 23 年 4 月 11 日福島県浜通りの地震に伴う地殻変動(国土地理院 HP)

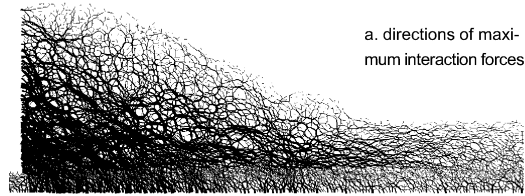


図 2 地質構造モデリングによって抽出された応力分布(Yamada et al., 2006 SL-SP) 付加体内の応力が不均一であることが読みとれる

2. 研究の目的

「応力場の局所的な不均一性を発生させている断層」は現世応力によって断層面が滑動していることを示している。この研究では、坑井検層データから応力不均一現象を検出することで、このような「応力的に活性な断層」群を認定する。また、モデル計算によって構造変形過程における活断層周辺での応力不均一現象を再現し、検層解析から検出された応力活性断層と比較することによって、「応力的に活性な断層」と「実際の活断層」の位置関係と活動連動性をモデル化する。さらにこのモデルを使って、これまで未認識であった活断層を新たに検出し、その活動性を評価するための方法論を提案する。

3. 研究の方法

(1) 「検層データの解析による応力不均一現象の抽出」

南海トラフで取得された IODP 掘削坑井における坑壁破壊(ブレイクアウト: Chang et al, 2010, Moore et al, 2011) を数メートルスケールで詳細に観察し、その方向や幅の変化から応力場が局所的に変動していることが読み取る。応力場の局所変動の原因としては「岩相」と「断層」の二つが考えられるが、前者は検層やコアデータを使って除去できるため、「断層による応力不均一現象」を抽出できる。これによって「応力場に反応している断層(応力活断層)」を判別することが可能である。ここでの「断層」は規模が大きいもの(スプレー断層などの断層帯)と小さいもの(フラクチャー)の両方を含む。

(2) 「地質構造モデリングによる検討」

地質構造の形成に要する時間は数万～数百万年スケールであるため、人間が感覚的に理解することは困難である。そこで、現象を単純化・縮小して実験室や計算機の中で再現するモデリングが行われてきた。今回はモデリング手法として、アナログモデル実験と個別要素法シミュレーションを用いた。前者は乾燥砂などのアナログ材料を用いることで地質現象を物理的等価に縮小して再現できる手法である。一方、後者は解析対象を粒子集合体と近似することで、不連続面をあらかじめ設定しておくことなしに地

質変形構造を再現できる。本研究では、アナログモデル実験と個別要素法シミュレーションを実施して一般的な付加体形成過程を再現し、モデルの中で断層がどのように形成・発達してゆくか、またその過程における変動の不均一性はどのようなものか、詳細に観察した。

4. 研究成果

主として下記の成果を得た。

(1) 「検層データの解析による応力不均一現象の抽出」

南海トラフの海底坑井で取得された物理検層データの中から孔壁イメージデータを用いて、データ上に認められた孔壁破壊現象の幅と方向から数メートル精度での詳細な応力解析を実施した。その結果、反射法地震探査で認められている大規模断層帯の内部やその外側などに複数個所の応力活断層が存在していることを示す異常個所が見いだされた。

また、破壊幅を使用して地下応力の絶対値を解析によって求めた。応力活断層では断層面に沿う方向のせん断力が解放されるため、応力値も低下すると考えられているが、本解析の結果も応力活断層箇所での応力絶対値が低下していることを示している。

孔壁画像には多数の断裂系が見つけられているが、個々の断裂系の活動性や断裂系の密集箇所での活動性について明らかにはなっていない。そこで応力絶対値の低下箇所と断裂系密度の関連について検討した。その結果、断裂密度の高い箇所は一般には応力低下箇所と一致しているが、完全に一致しているわけではないことが分かった。この成果は、応力的に活性な断層を認定するためには断裂の高密度帯だけに注目することでは不十分であることを示している。

(2) 「地質構造モデリングによる検討」

実験装置を改良して実施した逆断層形成モデル実験の結果、新規断層形成過程は形成初期に微小変形構造が不連続かつ不均一に多数形成された後で、顕著な断層形成期に移行することと、断層活動期にもその変位は不連続かつ不均一であることが読み取れた。

粒子法数値シミュレーションを実施して、南海トラフの坑井掘削箇所に近い地質環境を再現したところ、構造形成過程において内部応力が非常に変動することが検出された。また、断層が存在する場合での孔壁破壊の場所変化について、粒子法シミュレーションを用いて検討した結果、断層面の存在によって孔壁破壊の場所が影響を受けることが確認された。これは実際の孔壁破壊現象でも観察されている事実と一致する。

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10件)

Yamada, Y., Shibamura, J., 2015. Small-scale stress fluctuations in borehole breakouts and their implication in identifying potential active faults around the seismogenic megasplay fault, Nankai Trough, SW Japan. *Earth, Planets and Space*, 67, doi:10.1186/s40623-014-0176-9 査読有

Ishitsuka, K., Fukushima, Y., Tsuji, T., Yamada, Y., Matsuoka, T., Gao, P.H., 2014. Natural surface rebound of the Bangkok plain and aquifer characterization by persistent scatterer interferometry. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 15, 965-974. doi: 10.1002/2013GC005154 査読有

Miyakawa, A., Saito, S., Yamada, Y., Tomaru, H., Kinoshita, M., Tsuji, T., 2014. Gas hydrate saturation at Site C0002, IODP Expeditions 314 and 315, in the Kumano Basin, Nankai Trough. *Island Arc*, 23, 142-156. doi: 10.1111/iar.12064 査読有

Yamada, Y., K. Baba, A. Miyakawa, T. Matsuoka, 2014. Granular experiments of thrust wedges: insights relevant to methane hydrate exploration at the Nankai accretionary prism. *Marine and Petroleum Geology*, 51, 34-48. doi:10.1016/j.marpetgeo.2013.11.008 査読有

Eguchi N., Moe K., Fukuhara M., Kusaka K., Malinverno A. and Tobin H., 2014. Ultra deep scientific ocean drilling- Probing the Seismogenic Zone. *Oilfield Review Summer*, 26, 2. 査読有

Yamada, Y., R. Masui, T. Tsuji, 2013. Characteristics of a tsunamigenic megasplay fault in the Nankai Trough. *Geophysical Research Letters*, 40, 4594-4598. doi:10.1002/grl.50888 査読有

T.Tsuji, S. Kodaira, J. Ashi, O.Park. 2013. Widely distributed thrust and strike-slip faults within subducting oceanic crust in the Nankai Trough off the Kii Peninsula, Japan. *Tectonophysics*, 600, 52-62. doi:10.1016/j.tecto.2013.03.014 査読有

鶴田忠彦・田上雅彦・天野健治・松岡稔幸・栗原新・山田泰広・小池克明・2013・瑞浪超深地層研究所における深部地質環境のモデル化を目指した地質学的研究・地質学雑誌, 119, 59-74. 査読有

山田泰広・柴沼潤・松岡俊文, 2013. 坑壁破壊から見た応力場変動と石油鉱業への応用. *石油技術協会誌*, 78, 28-35. 査読有

Yamada, Y., Shibamura, J., Matsuoka, T., 2012. Uncertainties in shale gas

exploration/production. Proc. AIT-NUS-ITB-KU Joint Symposium on Human Security Engineering. 85-88. 査読無

〔学会発表〕(計 35 件)

Y. Yamada, Drilling to fault zone: what we can get from there? 京都大学防災研究所特定研究集会「西日本大震災の減災に向けたスロー地震研究の今後の可能性」国際セッション。(招待講演)2014年9月8日,京都大学宇治キャンパス(京都府宇治市)

山田泰広・真田佳典・稲垣史生・Kai-Uwe Hinrich・久保雄介・IODP337乗船研究者, 下北掘削航海で実施された物理検層. 日本地球惑星科学連合2014年大会, 2014年4月30日, パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

山田泰広, 掘削科学への期待. 日本地球惑星科学連合2014年大会, 2014年4月30日, パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)

山田泰広, 超深度掘削への期待. 日本地質学会第121年学術大会, 2014年4月30日, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)

Moe K., Y. Yamada, S.Kuramoto. Deepwater Exploration Lessons from Scientific Drilling, Executive Exploration Forum, 2014年4月14日, Barcelona (Spain)

山田泰広・中務真志・松岡俊文, スラスト帯における地表削剥の断層活動への影響: 地質モデルからの検討. 石油技術協会探鉱技術委員会探鉱新技術分科会。(招待講演)2013年7月17日, 京都大学(京都府京都市)

Ishitsuka, K., T. Tsuji, Y. Yamada, T. Matsuoka, Recent surface displacement in Bangkok, Thailand inferred from persistent scatterer SAR interferometry, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium,, 2013年7月25日, Melbourne(Australia)

Yamada, Y., Nakatsukasa, M., Matsuoka, T., Stress fluctuations in fold-and-thrust belts under surface erosion; observations in analogue experiments and DEM simulations. 2012年7月15日~7月20日, Moscone center, San Francisco(USA)

山田泰広, 柴沼潤, 松岡俊文, ブレークアウトから見た泥質岩層内の応力場変動. 石油技術協会春季講演会。(招待講演)2012年6月10日~6月13日, 朱鷺メッセ(新潟県新潟市)

〔図書〕(計 1 件)

Matsuoka T., Kadir, W G A., Sule, R., Yamada, Y. et al, The contribution of geosciences to human security, Logo Verlag Berlin GmbH, 2012, p248

6. 研究組織

(1)研究代表者

山田 康広 (YAMADA Yasuhiro)
京都大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授
研究者番号: 20362444

(2)研究分担者

Kyaw Thu Moe (KYAW Thu Moe)
独立行政法人海洋研究開発機構・海洋掘削科学研究開発センター・研究開発センター長代理
研究者番号: 10371725

辻 健 (Tsuji Takeshi)

九州大学・学内共同利用施設等・准教授
研究者番号: 60455491