

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 25 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21310115

研究課題名（和文） SAR 画像解析とモデル実験を用いた地表変動定量計測と高精度深部地震変動モデリング

研究課題名（英文） Qualitative surface measurements and high resolution deep earthquake modeling by using SAR analysis and analog modeling

研究代表者

山田 泰広（YAMADA YASUHIRO）

京都大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20362444

研究成果の概要（和文）：

地震が頻発している「ひずみ集中帯」での深部地殻構造の形態を高精度に把握するために、衛星画像を用いた地表面の高精度な変動解析を行い、それに基づく地質モデルを使った実験を行った。実験結果を高精度に解析した結果、断層や褶曲などの変形構造は地殻の強度構造に依存し、ひずみ集中帯では小規模断層が多数形成された後に大規模構造が形成されることが分かった。このことは、詳細に地表地質構造を調査することによって、ひずみ集中帯などの特徴的な地下深部の地殻構造を補足できる可能性を示している。

研究成果の概要（英文）：

In order to investigate detailed geometry and crustal structure in the 'strain accumulation zones', this research analyzed satellite images to extract detailed motion of earth's surface and performed experiments that use geologic models based on the satellite image analysis. High resolution analysis on the model results show that deformation structures such as faults and folds strongly depend on the crustal strength structure and a number of minor structures are followed by major deformations in the strain accumulation zones. This suggests that detailed surveys on surface geology may bring information on characteristic crustal structures such as the strain accumulation zones.

交付決定額

（金額単位：円）

|        | 直接経費       | 間接経費      | 合計         |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2009年度 | 12,800,000 | 3,840,000 | 16,640,000 |
| 2010年度 | 700,000    | 210,000   | 910,000    |
| 2011年度 | 700,000    | 210,000   | 910,000    |
| 年度     |            |           |            |
| 年度     |            |           |            |
| 総計     | 14,200,000 | 4,260,000 | 18,460,000 |

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：地震災害

## 1. 研究開始当初の背景

中越地震（H16年）、中越沖地震（H19年）など、「ひずみ集中帯」と呼ばれる褶曲・断層

帯において相次いで大規模地震が発生していた。しかし「ひずみ集中帯」はそれまでの地震本部などの調査対象としては明記されておらず、このタイプの地震断層に対する調

査・研究が必要であった。これを受けて、政府による「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」事業が開始され、佐藤（東大地震研）を中心として「制御震源を用いた地殻構造探査」が実施されつつある状況であった。

このような構造探査で取得されるデータから比較的規模の大きな断層を含む上部地殻構造を把握するためには、高精度地質モデルの構築が必須である。一般に地質モデルは探査データの質に左右されるが、陸域での大深度地下に存在する断層を探査データで明瞭にイメージすることは困難である。そこで本研究では、衛星画像の一種である SAR 画像を用いて地表面変動を精密解析し、それを用いることで地質モデルを構築する手法（Yamada et al., 2006）を採用し、1）衛星画像解析手法の改良と精度評価、2）モデル実験結果の定量化を行って、上部地殻構造モデル構築手法の定量化・高精度化を図ることとした。

## 2. 研究の目的

新潟県中越地域とインドネシア・ジャワ島地域における SAR 衛星画像データを使用して InSAR 解析などを実施し、地表変動を定量的に計測するとともに、この変動パターンとモデリング手法を組み合わせ、上部地殻構造を定量的に決定することを目的とする。

## 3. 研究の方法

中越地震・中越沖地震前後に取得された SAR データを用いて InSAR 解析などを実施し、地表面変動履歴の解析を行う。解析によって得られた地震前中後の変動パターンから中越地域の地殻構造モデルを構築する。また構築された地質モデルに対する変形実験を実施して表面変動の定量計測を実施する。両者が一致するようにモデルを改良することで、地震断層を含む4次元上部地殻変形を物理的等価かつ定量的に再現する。

## 4. 研究成果

主として下記の成果を得た。

### 1) 「衛星画像解析手法の改良と精度評価」

インドネシアや新潟中越地域ほか東北日本各地で取得された SAR データを用いて InSAR 解析を実施した。その結果、取得された精密地表面変動パターンから、インドネシア国バンドン市周辺の盆地構造内に局所的な沈降箇所が存在すること、2011年東北沖地震に関連して各地で局所的な沈降域が生じたことなどが確認された。

このうち、バンドン盆地内の沈降現象には、盆地内の小規模で円形の沈降現象や盆地縁

辺部での直線状の沈降現象など、変動パターンの異なるものが存在する。後述するモデル実験表面での変動計測結果と対比することにより、後者は地質構造的要素が卓越すると推定された。後者の現象が観察された地域には、周辺地質情報から実際に何らかの地質構造が地下に存在すると考えられる。

また、2011年東北沖地震に関連して各地で認められた局所的な沈降現象パターンを、後述するモデル実験表面での変動計測結果と対比した。その結果、この地震で生じた沈降パターンの多くは構造性ではなく、地盤液状化など表層部の変動によるものである可能性が高いことが推定された。

### 2) 「モデル実験結果の定量化」

モデリング手法を高精度化するためにはモデル実験結果を定量化する必要がある。このため、モデル実験表面の起伏を精密計測する装置を導入した。導入後、この装置を試運転するとともに、予備実験を繰り返し実施してモデル実験表面地形を高精度に計測するための方法を確認した。

次に検討対象地域の新潟中越地域に関して、地表地質図や地質断面図などを元に構造を横断する方向（WNW-ESE 方向）の地質断面図に関して構造復元作業を行い、構造発達過程を推定して地質モデル（初期モデル）を設定した。この初期モデルに関するフォワードモデル（数値解析）を追加実施することで初期モデルを修正し、中越地域地質モデルとした。

この地質モデルについて乾燥砂材料を用いたモデル実験を実施して、変形構造を横断する方向での断面形態をデジタル画像撮影するとともに、導入した機器を用いてモデル表面の起伏を精密計測した。

その結果、これまで探知できなかった微小変形構造の存在を確認し、その形成過程を計測することに成功した。観察・計測されたモデル実験結果によると、変動初期に微小変形構造が多数形成された後で、顕著な褶曲構造形成期に移行することが読み取れた。

この実験結果は、歪集中帯地域での地殻強度の低下に伴ってより均一な短縮変形が堆積層に発生することと関連していると考えられる。

このことは、検討対象地域である新潟中越地域での地質構造形成過程は、歪集中帯における特有の短縮変形運動と密接な関係にあることや、詳細な地質構造形態から地殻構造を推定できる可能性を示している。

また、新潟中越地域の構造形成過程とは別タイプの地質構造に関する変動現象を比較検討するために、岐阜県における活断層周辺の地質変動に関するモデリングを実施した。その結果、物理探査（地下探査）・周辺地質

調査などで存在が確認されている断層・変形構造の構造的特徴がモデル実験の高精度計測で再現できていることが判明した。このことは、モデル実験手法が活断層関連の変形構造評価にも有用なツールであることを示している。

さらに、活発な地質変動が観察される北海道新第三系堆積盆地の縁辺地域（丘陵地）における活断層周辺の地質変動に関するモデリングを実施した。その結果、物理探査（地下探査）・周辺地質調査で存在が確認されている断層・変形構造の構造的特徴が、隆起／削剥作用によって説明できることを明らかにした。このことは、地質変動に伴って変形構造が隆起し、丘陵地・山地を形成している場合には、地殻構造に関する検討を行なう際に隆起／削剥などの表層作用を考慮すべきであることを示している。

#### 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 13 件）

下記に記載する著書・論文はすべて査読付である。

- ① Yamada, Y., Kawamura, K., Ikehara, K., Ogawa, Y., Urgeles, R., Mosher, D., Chaytor, J., and Strasser, M. (2012), Submarine Mass Movements and Their Consequence. In: Yamada Y. et al (Eds), Submarine Mass Movements and Their Consequences. Advances in Natural and Technological Hazards Research Series, Springer. p.1-12. ISBN 9789400721616
- ② Yamada, Y., Oshima, Y., Matsuoka, T. (2012), Slope failures in analogue model experiments of accretionary wedges In: Yamada Y. et al (Eds), Submarine Mass Movements and Their Consequences. Advances in Natural and Technological Hazards Research Series, Springer. p.343-354. ISBN 9789400721616
- ③ 石塚師也, 辻 健, 松岡俊文, 水野敏実 (2012), 干渉SAR解析を用いた 2011 年東北地方太平洋沖地震で発生した東京湾臨海域の液状化に伴う広域地表変動量の推定, 土木学会論文集C in press.
- ④ Miyakawa, A., Tsuji, T., Yamada, Y., Matsuoka, T. (2011). An analysis by using self-organizing maps for DEM simulation results. In:Sainsbury, Hart, Detournay & Nelson (eds.), Continuum and Distinct Element Numerical Modeling in Geomechanics.

Itasca International Inc., Minneapolis, pp. 633-640. ISBN 978-0-9767577-2-6

- ⑤ Yamada, Y., (2011), Submarine Slides – A Hidden Geohazard. Proceedings of EIT-Japan Symposium 2011 on Human Security Engineering. p.32-37.
- ⑥ Takeshi Tsuji, Yoshihiro Ito, Motoyuki Kido, Yukihito Osada, Hiromi Fujimoto, Juichiro Ashi, Masataka Kinoshita, and Toshifumi Matsuoka (2011), Potential tsunamigenic faults of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Earth Planets and Space (EPS), 63, 831-834. (PDF)
- ⑦ 山田泰広, 山下佳彦, 松岡俊文. (2010), アナログモデル実験からみた逆断層活動に伴う海底斜面崩壊の発達過程. 月刊地球号外 61「海底地盤変動学のスズメ」. p. 163-174.
- ⑧ Yamada, Y., Yamashita, Y., Yamamoto, Y., (2010), Submarine landslides at subduction margins: Insights from physical models. Tectonophysics. 484, p. 156-167. doi: 10.1016/j.tecto.2009.09.007.
- ⑨ 鶴田忠彦, 松岡稔幸, 栗原 新, 田上雅彦, 天野健治, 小池克明, 山田泰広, (2010), 地質構造の空間モデリング手法の開発—瑞浪超深地層研究所における取り組み. 資源・素材 2010.資源・素材学会論文集, 3313, pp.109-110.
- ⑩ Yamada, Y. and McClay, K. (2010), Influence of shear angle on hangingwall deformation during tectonic inversion. Island Arc, 19: 546--559. doi: 10.1111/j.1440-1738.2010.00731.x
- ⑪ Tsuji, T., Yamamoto, K., Matsuoka, T., Yamada, Y., Onishi, K.,Bahar, A., Meilano, I., Abidin, H.Z., (2009), Earthquake Fault of the 26 May, 2006 Yogyakarta Earthquake Observed by SAR Interferometry. Earth Planets Space (E-letter), 61, e29-e32.
- ⑫ 辻 健, 山本勝也, 山田泰広, 松岡俊文, 朝倉俊弘 (2009), 干渉SAR解析による新潟県中越沖地震に伴う山岳トンネル被害メカニズムの解明, 土木学会論文集C, Vol. 65, No. 4, pp.989-997.
- ⑬ 水野敏実, 松岡俊文, 山本勝也 (2009), SAR画像を用いた地盤変動解析による地質構造の推定, 地盤工学会誌, 第 57 巻, 5 号, 12-15

〔学会発表〕（計 26 件）

- ① Yamada, Y., McNeill, L., Moore, J.C.,

- Nakamura, Y. (2012), Structural styles of the Nankai Accretionary Prism, off SW Japan: comparisons of core, LWD and seismic data. TSG Annual meeting, Edingburgh. UK.
- ② Yamada, Y. (2011), Geologic modelling and its applications to petroleum exploration/production. Basin Studies PoP. Petronas Twin Tower. KL, Malaysia. (13 May 2011) (INVITED)
  - ③ Yamada, Y., (2011), Slope failures in analogue model experiments of subduction margins. JpGU meeting, M-IS01.
  - ④ Yamada, Y., (2011), Submarine Slides – A Hidden Geohazard. Proceedings of EIT-JSCE, Bangkok, Thailand. Aug 2011.
  - ⑤ Yamada, Y., Oshima, Y., Matsuoka, T. (2011), Slope failures in accretionary wedges in physical experiments. Eos Trans. AGU, Fall. Meet., Suppl., Abstract T21E-05.
  - ⑥ 山田泰広 (2011), 地質構造モデリングとモデル実験に見る斜面崩壊, 京都大学防災研究所ジオフォーラム. (招待講演)
  - ⑦ 山田泰広 (2011), 沈み込み帯における海底斜面崩壊のモデル実験. 日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集. MIS001-01
  - ⑧ Yamada, Y., Yamashita, Y., and Yamamoto, Y. (2010), Periodic development of slope failures due to thrust displacement in physical models: application to submarine landslides, EGU Geophysical Research Abstracts, 12, EGU2010-6416.
  - ⑨ Yamada, Y., and Yamashita, Y. (2010), Development of submarine landslides due to active thrusting revealed from physical experiments, Eos Trans. AGU, 91(26), West. Pac. Geophys. Meet. Suppl., Abstract S51B-06.
  - ⑩ Yamada, Y., Yamashita, Y., and Yamamoto, Y. (2010), Analogue modeling of slope failures and their application to submarine landslides at subduction margins, Joint Meeting of Korean and Japanese Geological Societies. August 23-25, Kochi, Japan
  - ⑪ Yamada, Y., Ohshima, Y., and Matsuoka, T. (2010), A life of a fault: from birth to death, International Geological Modelling Conference – GeoMod2010. September 27-29, Lisbon.
  - ⑫ Yamada, Y. (2010), Submarine landslides as a risk to human security, International Joint Symposium on Human Security Engineering 'Contribution of Geosciences for Human Security'. October 4-5, Bandung, Indonesia
  - ⑬ Yamada, Y. (2010), Accretionary prisms, analogue experiments and their consequences, International Small Symposium on Submarine Slides and Their Consequences (ISSSSTC). (INVITED)
  - ⑭ Yamada, Y., and Matsuoka, T. (2010), Faulting and its surrounding topographic undulations in analogue models revealed by optical measurements and image correlation techniques, AGU Fall Meeting, T52A-05. (INVITED)
  - ⑮ 山田泰広, 山下佳彦, 宮川歩夢, 鶴田忠彦, 松岡稔幸, 田上雅彦 (2010), 岐阜県瑞浪地域の地質構造発達史の検討Ⅱ – 月吉断層の運動像 –, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集, SCG084-12.
  - ⑯ 山田泰広, 山下佳彦, 山本由弦 (2010), スラスト活動に伴う斜面崩壊: モデル実験結果の海底地すべりへの応用, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集, SSS023-10.
  - ⑰ 山田泰広, 宮本広樹, 芦田貴史 (2010), 二条の逆断層が交差する背斜構造の形成過程: アナログモデル実験による検討, 平成 22 年石油技術協会春季講演会.
  - ⑱ 山田泰広 (2010), スラスト帯形成のモデル実験, 日本地質学会第 117 年学術大会 故勘米良亀齡追悼シンポジウム: 造山帯を読み解く. (招待講演)
  - ⑲ Yamada, Y., Yamashita, Y., Yamamoto, Y., 2009, Development of slope failures in front of a thrust in physical models. Eos Trans. AGU, Fall. Meet., Suppl., Abstract NH41C-1270.
  - ⑳ 山田泰広, 日野亮太, 小林励司, 宍倉正展, 2009, IODP における Geohazard 研究の提案: INVEST 国内ワークショップからの報告. 日本地球惑星科学連合大会. 講演要旨 (CD-ROM) G126-001.
  - ㉑ 山田泰広, 大島佑介, 松岡俊文, 2009, モデル実験による剪断帯の微細構造と発達過程. 日本地球惑星科学連合大会. 講演要旨 (CD-ROM) J172-014.
  - ㉒ 山田泰広, 山本由弦, 山下佳彦, 2009, 付加体先端部のスラスト活動に伴う海底地すべり発達過程. 日本地球惑星科学連合大会. 講演要旨 (CD-ROM) J241-005.
  - ㉓ 山田泰広, 山下佳彦, 山本由弦, 2009, モデル実験で観察されたスラスト活動に伴う斜面崩壊: 海底地すべりへの応用. 日本地質学会第 116 年学術大会講演

要旨.

- ②④ 山本由弦, 山田泰広, 2009, 沈み込み帯における海底地すべりの発達様式: 地質とモデル実験の比較. 東京大学海洋研究所研究集会「海底地盤変動学のススmeer地形学, 地質学, 地盤工学からのアプローチ」招待講演.
- ②⑤ 山田泰広, 2009, アナログモデル実験にみる海底地すべり (斜面崩壊). 東京大学海洋研究所研究集会「海底地盤変動学のススmeer地形学, 地質学, 地盤工学からのアプローチ」招待講演.
- ②⑥ 山田泰広, 2009, 地質構造形成モデリングによる最近の知見. 九州大学応用力学研究所研究集会「地形のダイナミクスとパターンとその境界領域」招待講演.

[図書] (計1件)

- ① Yamada, Y., Kawamura, K., Ikehara, K., Ogawa, Y., Urgeles, R., Mosher, D., Chaytor, J., and Strasser, M. (Eds), 2012, Submarine Mass Movements and Their Consequences. Advances in Natural and Technological Hazards Research Series, Springer.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山田 泰広 (YAMADA YASUHIRO)  
京都大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 20362444

### (2) 研究分担者

松岡 俊文 (MATSUOKA TOSHIFUMI)  
京都大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 10303851  
(H21, H22)

尾西 恭介 (ONISHI KYOSUKE)  
研究者番号: 20402969  
秋田大学・工学資源学部・助教  
(H21)

辻 健 (TSUJI TAKESHI)  
京都大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 60455491  
(H21, H22)

### (3) 連携研究者

佐藤 比呂志 (SATO HIROSHI)  
東京大学・地震研究所・教授  
研究者番号: 00183385  
(H21)

尾西 恭介 (ONISHI KYOSUKE)  
研究者番号: 20402969  
秋田大学・工学資源学部・助教  
(H22)

松岡 俊文 (MATSUOKA TOSHIFUMI)  
京都大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 10303851  
(H23)

辻 健 (TSUJI TAKESHI)  
京都大学・工学研究科・助教  
研究者番号: 60455491  
(H23)