

機関番号：12601
 研究種目：若手研究（スタートアップ）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20840012
 研究課題名（和文）3次元不均質構造を取り入れた丸い地球で、大地震に伴う地殻変動・重力変化を見積もる
 研究課題名（英文） Estimating crustal deformation and gravity variation caused by a large earthquake in a 3-D heterogeneous spherical Earth model
 研究代表者 田中 愛幸（TANAKA YOSHIYUKI）
 東京大学・地震研究所・助教
 研究者番号：90508350

研究成果の概要（和文）：

大地震が発生すると、数 10 年以上も成長し続ける広域的な地殻変動が生じる。我が国のように大地震が繰り返される地域において地殻変動を観測する場合、過去の様々な大地震による変動を正確に見積もって現時点のデータから差し引かなければ、次の地震の発生のための応力がどのように蓄積されているのか分からない。本研究は、人工衛星重力データを利用することで、大地震による広域変動をより正確に見積もる手法を初めて開発した。

研究成果の概要（英文）：

A large earthquake in a plate subduction zone causes long-term crustal deformation continuing over decades with a spatial scale exceeding 100 km. Observed crustal deformation includes the deformation due to past large events. The latter becomes noises when calculating the present stress accumulation on a plate boundary needed for the occurrence of a next event. To decrease those noises, this study has developed a new method to accurately estimate the deformation due to a large event, using satellite gravity data.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,320,000	396,000	1,716,000
2009 年度	960,000	288,000	1,248,000
総計	2,280,000	684,000	2,964,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・個体地球物惑星理学

キーワード：地震・測地・地殻変動・重力・余効変動・粘弾性・レオロジー・有限要素法

1. 研究開始当初の背景

海溝型大地震が発生すると、地震と同時に震源域を中心に大規模な地殻変動が生じる。地殻変動は、地震が収まったのちもゆっくりと進行し、最終的に収まるまでに数 10 年以上も要する例が観測されている。このような地震後の地殻変動（＝余効変動）が生じるメカニズムを調べると、次の大地震が発生するのに必要な応力が、プレート沈み込み境界付近のどの部分にどのように蓄積していくのか、推測することができる。

これまでの研究の結果、余効変動は、主に次の 2 つの要因により生じると考えられて

いる。プレート境界の断層深部がゆっくりする余効すべりと、地震時の急激な変動によって生じた応力変化が、下部地殻やマンツルの持つ粘弾性的性質のために徐々に緩和していくことで生じる粘弾性変形である。これら 2 つの効果観測データに重ね合わさっている。

しかしながら、一般に、GPS などによって得られる地表の地殻変動の観測データにおいて、それぞれの寄与を明瞭に区別することは難しい。なぜなら、両者の変化の空間パターンは互いに似ており、また、大地震が発生するプレート沈み込み帯は大部分が海洋に

囲まれているため、地殻変動観測データ自体が得られる空間的な範囲が限られてしまうからである。プレート境界での応力のふるまいを知るには、両要因からの寄与を評価する必要があるため、いかに両者を分離するかが課題となっている。

2. 研究の目的

人工衛星による重力観測では、全球的な重力変化を、海面上であっても手に入れることができる。2002年に米独を中心として開始されたGRACE衛星重力ミッションでは、地表重力の約10億分の1の精度の重力データが、ほぼリアルタイムに公開されている。重力値は、地下の質量あるいは密度分布に変化が生じると変化する。上に述べた余効すべりや粘弾性変形も、地下深部に密度の変化を引き起こす。空間的な制限がなく、かつ、地下深部の密度変化に感度の高い衛星重力データを通して見れば、両者のパターンを区別しやすくなると考えられる。衛星重力データにどのように両者によるパターンが現れるかは、理論的に見積もる必要がある。そこで、そのような重力変化を精密にモデル化する研究を行う。これにより、地殻変動データだけでは困難だった、地震後に発生する断層深部の余効すべりと粘弾性変形の分離を、衛星重力データを利用することで実現する。

研究期間内では、モデルの定式化、ソフトウェア開発、モデルと観測データとの比較による手法の検証を行う。

3. 研究の方法

(1) モデルの定式化

マグニチュード8以上の海溝型大地震によって生じる数10年スケールの地殻変動及び重力変化の計算を精密にモデル化するため、3次元球体地球モデルを用いて粘弾性変形をモデル化する。スペクトル有限要素法

(Martinec, 2000)を応用し、既存のモデルでは同時に考慮されてこなかった、地球の曲率及び自己重力、沈みこむスラブによる粘性の大きな不均質の3要素をモデルに組み込む。Martinec (2000)では、地球表面に与えられた荷重の境界条件に対して、粘性の水平不均質を考慮した球体地球モデルの粘弾性変形を求めるための表式が導出されている。本研究では、地震による変動を計算するため、地球内部に与えられた変位のくいちがいを境界条件として扱えるように、表式を理論的に拡張する。全球をモデル領域とするスペクトル有限要素法の利点を生かすため、この拡張には、断層面のすべりと等価なダブルカップ力(Dahlen, 1972)を用いる。

(2) ソフトウェア開発

(1)で導出した表式をフォートランのコー

ドに実装する。境界条件として表面荷重を与えた場合の計算を行うコードはすでにMartinec (2000)で開発されているため、これを取得し、拡張を行う。開発したコードの検証には、水平不均質モデルの特別な場合としての水平成層モデルの場合に、本コードによる計算結果と、研究代表者が博士論文で開発した手法(Tanaka et al., 2006; 2007; 2009a)による計算結果を比較する。両者は、同じ基本方程式を異なるアルゴリズム(実時間で計算を行うか、ラプラス空間を用いるか)で解いているので、これらを比較することで、信頼性の高い検証を行うことができる。

(3) モデルと観測データとの比較

開発したモデルの有効性を検証するため、実際の観測データとモデルとの比較を行う。モデル化の対象とする地震は、2004年スマトラ島沖地震である。この地震はマグニチュードが9と大きく、広域変動の研究に適しており、かつ、GRACE衛星によって地震前から現在までの比較的長期の重力データが蓄積されている。観測データの解析には、2003年から2010年までにGRACE衛星により取得されたひと月毎のデータを用い、地震による変動を求めるため、海洋や陸水の効果は数値モデルで補正する。一方、モデルは、GPSや地震波形の観測データから求められた震源でのすべり分布に基づいて、余効すべりと粘弾性変形による重力場をそれぞれ計算する。地球の密度及び弾性構造は、幅広く使用されているPREMモデルを用い、リソスフェアとスラブは弾性体、マントルは粘弾性体を仮定した。モデルから計算した重力場の変化をGRACEデータから求めた観測結果と比較し、両メカニズムの寄与の分離を試みる。その際、粘性の値もデータから推定する。

4. 研究成果

有限要素法と解析的表現を組み合わせた独自の定式化に基づいた球体地球モデルを構築することで、既存のモデルにおいて同時に考慮されることが困難だった、3次元粘性不均質構造、地殻・マントルの圧縮性、自己重力の効果を厳密に取り入れることに成功した(Tanaka et al., 2009b; 2011)。ケーススタディとして、2004年スマトラ島沖地震後のGRACE衛星重力データにこのモデルを適用したところ、余効すべりと粘弾性変形のそれぞれのメカニズムによる重力変化のパターンが、地震後の異なる時期に明瞭に現れることが分かった。図1及び図2にそれぞれ地震後1年間と地震後6年間における重力変化の観測結果とモデル計算結果を示す。この図から、衛星重力データを用いて両メカニズムを分離していくことができることが示された。

今後、2010年のチリ地震や2011年の東北地方太平洋沖地震による重力変化に対しても同様の解析を行い、モデルの有効性をさらに確かめることを予定している。その際、GPS等の地殻変動データを加えた解析もを行い、余効変動のメカニズムをさらに詳しく調査する。

の大地震によって累積する列島規模の変形を明らかにしていくことを将来的な目標としている。特に、日本で発生したマグニチュード9クラスの地震の繰り返しによる影響を、今後の推移の予測も含めて定量的に調査していくことを考えている。

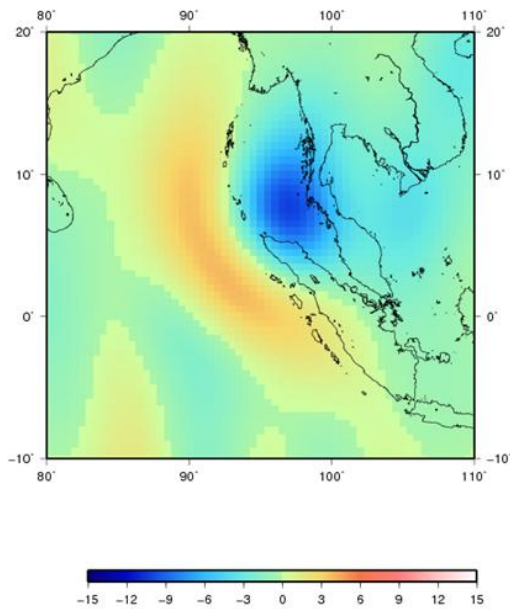


図1 (a) 地震後1年間に観測された重力変化(単位: 10^{-8} ms^{-2})

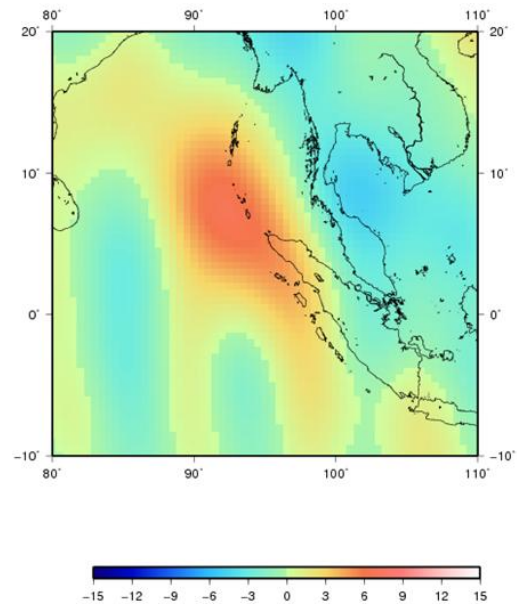


図2 (a) 地震後6年間に観測された重力変化(単位: 10^{-8} ms^{-2})

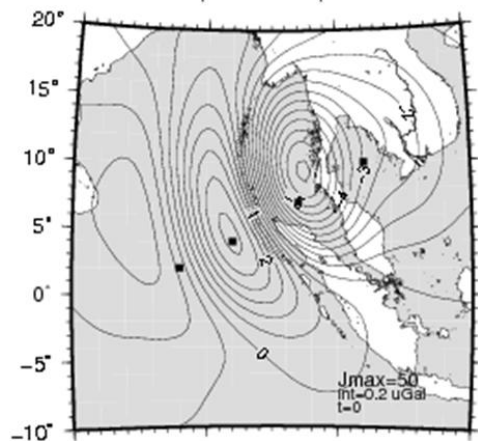


図1 (b) モデルにより計算した地震後1年間に余効すべりによって生じる重力変化 (単位: 10^{-8} ms^{-2})

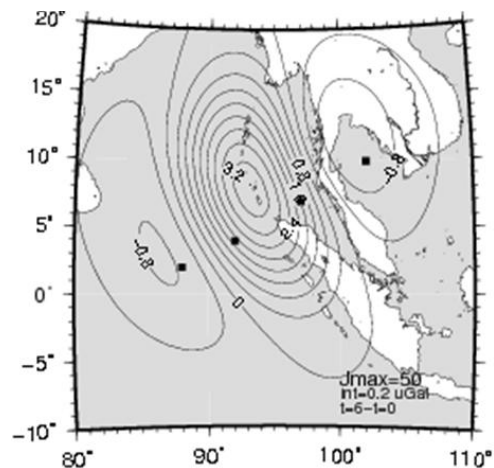


図2 (b) モデルにより計算した地震後6年間に粘弾性変形によって生じる重力変化 (単位: 10^{-8} ms^{-2})

また、今回開発したモデルは、重力変化をより正確に見積もることができるだけでなく、広域的な地殻変動を計算するのにも適している。このモデルを用いて、歪や応力の常時観測において経年的な誤差源となる、過去

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3件)

Tanaka, Y., V. Klemann, Z. Martinec, and R. E. M. Riva, Spectral-finite element approach to viscoelastic relaxation in a spherical compressible Earth: application to GIA modelling, *Geophysical Journal International*, 184, 220-234, 2011.

Tanaka, Y., V. Klemann, K. Fleming and Z. Martinec, Spectral finite element approach to postseismic deformation in a viscoelastic self-gravitating spherical Earth, *Geophysical Journal International*, 176, 715-739, 2009b.

Tanaka, Y., V. Klemann, and J. Okuno, Application of a Numerical Inverse Laplace Integration Method to Surface Loading on a Viscoelastic Compressible Earth Model, *Pure & Applied Geophysics*, 166, 1199-1216, 2009a.

〔学会発表〕(計6件)

田中愛幸, 3次元粘性構造を考慮した球体地球モデルの加重変形に対する圧縮性の導入について, 日本地球惑星科学連合 2010 年度連合大会, 千葉, 5/28, 2010.

Tanaka Y., V. Klemann and Z. Martinec, Spectral finite-element approach to three-dimensional viscoelastic relaxation in a spherical earth -extension for material compressibility, *European Geosciences Union General Assembly 2010*, Vienna (Austria), 5/6, 2010.

田中愛幸, V. Klemann and Z. Martinec, 曲率、自己重力、三次元粘性構造を考慮した余効変動モデルにおける圧縮性の取り込みについて(序報), 日本測地学会, つくば, 11/4, 2009.

田中愛幸, 奥野淳一, 圧縮性を考慮した粘弾性地球モデルにおける表面荷重変形への、数値逆ラプラス積分法の適用, 日本地球惑星科学連合 2009 年度連合大会, 千葉, 5/19, 2009.

Tanaka Y., V. Klemann, K. Fleming and Z. Martinec, Post-seismic gravity variation caused by a great earthquake in subduction zone -spectral finite-element approach to consider 3-D viscosity structure, 2008 American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco (USA), 12/15,

2008.

田中愛幸, スラブによる粘性水平不均質を考慮した球体地球モデルにおける粘弾性余効変動, 日本測地学会, 函館, 10/22, 2008.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/y-tanaka/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者 田中 愛幸
(TANAKA YOSHIYUKI)
東京大学・地震研究所・助教
研究者番号: 90508350

(2)研究分担者
()
研究者番号:

(3)連携研究者
()
研究者番号: