

(1) 実施機関名：

東京大学理学系研究科

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）先進的な測地観測データの有効利用に向けた広域地殻変動モデルの開発

（英文）Global deformation modeling for effective use of advanced geodetic data

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測（重点研究）

ア. プレート境界巨大地震の長期予測

6 観測基盤と研究推進体制の整備

(1) 観測研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(5) 本課題の5か年の到達目標：

GNSS, GRACE等の宇宙測地技術や海底測地観測によって、巨大地震の直後から卓越する粘弾性緩和や、巨大地震の数カ月前に発生した列島規模の重力異常といった新しい現象が報告されている。これらに共通するのは変動の空間スケールが100 km以上にも及ぶことである。こうした大規模な変動や重力場の変化を物理モデルで扱うには、地球を自己重力の働く球体として扱うのが自然であるが、国内ではそのようなモデルがほとんど開発されていない。また、固体地球潮汐、海洋潮汐等の比較的空間スケールの大きな変動が、プレート境界に応力擾乱を及ぼしスロー地震を誘発させることも明らかになってきた。球体モデルは、そのような広域的な応力擾乱の影響を調べる際にも有用である。

本課題は、先進的な測地観測技術（海底地殻変動計測、欧米で開発中の新しい重力衛星、一般相対論に基づいて重力ポテンシャルを測る光格子時計）で得られるデータを有効に活用するため、広域地殻変動と重力場変化を正確に計算できる球体モデルを開発する。また、室内実験や地球物理観測から示唆されている非線形レオロジーも取り込めるよう拡張する。このモデルを用いると地殻変動の粘弾性グリーン関数を構築できるため、プレート境界すべりの把握やスロー地震を含む地震発生サイクルモデルの高度化に貢献することが期待できる。5か年で、1) 三次元的な粘弾性構造の不均質、自己重力、非線形レオロジーを考慮した球体モデルを実データへ適用するための効率的な計算手法を開発し、2) 先進的なデータが加わった場合に得られる効果をシミュレーションおよび実際の観測データを用いて定量的に示すことを目指す。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

研究期間全体を通してモデル開発を進めるとともに、研究期間後半で新しいデータを用いることによる改善効果を実証する。

1年目：非線形レオロジーの球体モデルへの取り込み

2年目：不均質やレオロジーのパラメータが地殻変動、重力場に与える影響のフォワードモデリングによる調査
3年目：新たな衛星重力データを用いた場合に拘束が可能となる、粘弾性レオロジーやプレート境界すべりの、疑似データを用いたシミュレーションによる特定
4年目：地殻変動の短波長成分の効率的な計算手法の開発
5年目：2011年東北地震の粘弾性緩和モデルと光格子時計データとの比較、南海トラフの測地データを用いたプレート境界すべりの球体モデルによる推定

(7) 令和6年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

海底地殻変動も含む広域の地殻変動データ、衛星重力観測や光格子時計による重力ポテンシャル計測などの先進的な測地データを有効活用するための、粘弾性変形の計算手法の確立を目指している。前計画では、層構造、自己重力を考慮した球体地球モデルを用いることで東北地方太平洋沖地震の近地から遠地までの地殻変動データをより整合的に説明できることを示すとともに、3次元水平不均質を取り入れた球体地球モデルの開発に取り組んだ。令和6年度は、計画のとおり、前計画のモデルをさらに発展させた、非線形レオロジーを考慮した粘弾性変形による重力変化の計算手法を開発した。計算の結果、線形レオロジーの場合に比べて短波長の変動が増幅されることが分かった。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

今年度実施したモデルの拡張により、衛星重力データやポテンシャル変化のデータと比較するための理論計算結果を提供することが可能となった。また、現在調査中であるが、非線形レオロジーを考慮することで、長期的な粘弾性変形の規模が線形レオロジーの場合と異なる可能性があることが分かった。今後、長期的な粘弾性変形の影響を定量化し、巨大地震発生サイクルにおける粘弾性変形の寄与をより正確に見積もることで、M8-9の大地震の繰り返し間隔の理解を通して長期予測に役立てる。

(8) 令和6年度の成果に関連の深いもので、令和6年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

田中愛幸 (2024) 衛星重力観測で捉えられた巨大地震数カ月前の重力変化（解説），地震ジャーナル，77, 69-75, 査読無, 謝辞無

中小路一真 (2025) 非線形レオロジーを考慮した球体地球モデルによる余効変動計算手法の開発, 東京大学大学院理学系研究科 修士論文 2025/2/28, 査読無, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

Ge L, Tanaka Y, Nakakoji K (2024) Co- and post-seismic gravitational change of the M9 2011 Tohoku earthquake from GRACE observation and viscoelastic deformation theory, Workshop on Slow-to-Fast Earthquake, P065, Beppu City, 2024/9/17

Nakakoji K, Tanaka Y, Klemann V, Martinec Z (2024) Development of a calculation method for viscoelastic relaxation incorporating nonlinear rheology in a self-gravitating spherical Earth model, EGU General Assembly 2024, EGU24-17911, Vienna, 2024/4/19

Nakakoji K, Tanaka Y, Klemann V, Martinec Z (2024) The effects of a nonlinear rheology on postseismic gravity changes, Workshop on Slow-to-Fast Earthquake, P082, Beppu City, 2024/9/17

Tanaka Y (2024) Gravity changes during earthquake cycles, 2024 Workshop on astrophysics and geophysics using superconducting gravimeters and the 1st ENIGMA collaboration meeting, Seoul, 2024/11/7 (invited)

中小路一真, 田中愛幸, Volker Klemann, Zdenek Martinec (2024) 人工衛星重力ミッション高度化へ

向けた、非線形レオロジーを考慮した粘弾性変形理論の開発（II）：Nonlinear Burgers modelへの拡張, 日本測地学会第142回講演会, 講演番号22, 広島県呉市, 2024/10/30

葛莉麗, 田中愛幸 (2024) 2011年M9東北沖地震における地震時および地震後の重力変化パターン～GRACE観測と粘弾性変位理論に基づいて～, 日本測地学会第142回講演会, P30, 広島県呉市, 2024/10/30

(9) 令和6年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

項目：ソフトウェア開発（その他）

概要：粘弾性余効変動に伴う広域重力場変化を計算するソフトウェア

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：

調査・観測期間：

公開状況：公開留保中（協議のうえ共同研究として提供可）

(10) 令和7年度実施計画の概要：

令和6年度に開発した非線形レオロジーのモデルを用いて、粘性や温度構造等のパラメータが重力変化に与える影響をフォワードモデリングによる調査する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

田中愛幸（東京大学大学院理学系研究科）, 中小路一真（東京大学大学院理学系研究科）, Lili GE（東京大学大学院理学系研究科）

他機関との共同研究の有無：有

Volker Klemann（GFZ Potsdam）, Henryk Dobslaw（GFZ Potsdam）, Zdenek Martinec（DIAS）

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：田中愛幸

所属：東大院理