

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25年 5月 8日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22540440

研究課題名（和文） コア対流変動・マントル対流・表層変動を考慮した地球回転変動の研究

研究課題名（英文） Changes in surface environments and Earth's interior and Earth's rotational variations

研究代表者

中田 正夫（MASAO NAKADA）

九州大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号：50207817

研究成果の概要（和文）：地球磁場の急激な変動に関係したコア表面流は地球の自転速度に影響するが、チャンドラー章動には影響しないことを明らかにした（国際誌に公表）。マントル対流と氷床変動の効果を考慮した極移動評価に基づくマントル対流の時間変化の研究に関しては、この研究テーマの基礎になる D'' 層の粘性率構造を、Chandler 極運動と潮汐変形によりを明らかにし（国際誌に 2 編公表）、現在 D'' 層の粘性率と最近の温暖化による山岳氷河や極氷床の融解をも考慮した研究を継続している。

研究成果の概要（英文）：Rapid geomagnetic fluctuations with periods less than a few years, so called geomagnetic jerks, seem to be coincident with changes in Earth's length of day (LOD) and phase of the Chandler wobble. We indicated that rapid accelerations in the CMB flow can produce torques at the CMB generating observed LOD derivative with $\sim 0.1 \text{ ms yr}^{-1}$, but do not produce much for the polar motion. On the other hand, viscosity of the D'' layer of the Earth's mantle, the lowermost layer in the Earth's mantle, controls a number of geodynamic processes such as the Earth's rotational variations due to mantle convection and glacial isostatic adjustment. We showed that the decay of Chandler wobble and semi-diurnal to 18.6 years tidal deformation combined with the constraints from the postglacial isostatic adjustment observations suggest that the effective viscosity in the bottom $\sim 300 \text{ km}$ layer is $10^{19}\text{-}10^{20} \text{ Pa s}$, and also the effective viscosity of the bottom part of the D'' layer ($\sim 100 \text{ km}$ thickness) is less than 10^{18} Pa s . By considering these results and recent melting events of mountain glaciers and polar ice sheets, we are now studying the Earth's rotational variations caused by the temporal changes in mantle convection.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：地球回轉變動、マントル対流、コア対流、マントルレオロジー、氷床変動、チャンドラー章動、D”層

1. 研究開始当初の背景

本研究の研究テーマは、(i)「地球磁場の急激な変動に関係したコア表面流を原因とする地球回轉變動の研究」と、(ii)「マントル対流と氷床変動の効果を考慮した極移動評価に基づくマントル対流の時間変化の研究」である。

(1) (i) に関する研究開始当初の背景：Decadal タイムスケールの一日の長さ (length of day, LOD) の変動は、コアの運動や地球深部の物性を評価するために精力的に研究が行われている。しかし、最近の人工衛星のデータ解析等により、時間の2回微分が不連続で~1年くらいの急激な磁場変動 (geomagnetic jerk) に伴い、LOD の~0.1ミリ秒/年の変化や Chandler wobble(チャンドラー章動)の位相の1~2年程度の急激な変化が明らかになってきている。しかしこれらの急激な地球回轉變動に関する定量的な研究はほとんど行われていない。LODの時間変化と Chandler wobbleの位相変化を同時に説明しうるモデルを構築し、コアの流れや地球深部の物性(電気伝導度等)を定量的に評価することを目的に本申請課題を申請した。

(2) (ii) に関する研究開始当初の背景：過去100年間の緯度観測データから推定された極移動は~1°/Myrで、ハドソン湾の方向へ移動している。この観測値は過去2万年間の両極の氷床変動と地球の粘弾性変形に基づき議論されている。しかし、この観測値は氷床変動とマントル対流の影響を反映しているはずである。つまり、マントル対流している地球を background とし、氷床変動にともなう地球回轉變動を評価すべきである。この基本的なモデリングは Nakada (2009) により行われ、これらのモデリングを発展させることにより、地球内部のマントル対流の時間変化を議論できる可能性がある。地震トモグラフィにより、現在のマントルの状況(第ゼロ近似で質量異常)は議論できるが、その時間変化を議論することは現状では難しいであろう。しかし、本研究では質量異常の時間変化が議論できる可能性がある。また、副次的な成果であるが、地球温暖化に伴う極氷床(グリーンランドと南極氷床)や山岳氷河の最近の融解についても議論することが可能である。これらのことを考慮して、本申請課題を申請した。

2. 研究の目的

種々の時間スケールの地球回轉變動(1日の長さ(LOD)の変動と極移動)は、大気・海洋変動に伴うトルク変動、コアの対流変動、コア・マントル結合、数万年から数十万年スケールの氷床変動、マントル対流(マントルブルーム、プレート運動、大陸移動等を含む)と、これらに対応した固体地球の粘弾性変形による地球の慣性テンソルの変化が原因である。本研究のテーマは、(i)「地球磁場の急激な変動に関係したコア表面流を原因とする地球回轉變動の研究」と、(ii)「マントル対流と氷床変動の効果を考慮した極移動評価に基づくマントル対流の時間変化の研究」である。これらの研究を通して、地球回轉變動のメカニズム、マントル深部と内核の粘性率、マントル深部と核の電気伝導度、内核表面での半径方向(radial成分)の磁場強度、マントル対流の時間変化に関する研究を遂行し、地球内部ダイナミクス、コア-マントルカップリング、Chandler wobbleの励起、短周期(数年以下)のコアダイナミクスの研究に貢献することを本研究の目的とする。

3. 研究の方法

[i]「地球磁場の急激な変動に関係したコア表面流を原因とする地球回轉變動の研究」では、CMBとICB表面流、電磁結合、マントルの密度不均質に伴う内核へのトルク、内核の粘性緩和、ICBでの半径方向の磁場強度、マントル最深部と核の電気伝導度を考慮した地球回轉變動のプログラムを開発し、短周期(数年程度)の地球回轉變動を議論する。[ii]「マントル対流と氷床変動の効果を考慮した極移動評価に基づくマントル対流の時間変化の研究」では、マントル対流、氷床変動、最近の山岳氷河や極氷床の融解の効果をすべて含む計算プログラムを開発し、マントル対流に対応する慣性テンソル(質量異常の積分値)の時間変化を推定し、その変化量とマントル対流の時間変化の関係について、地震トモグラフィ等のデータをもとに議論する。具体的な方法を以下に述べる。

(1)課題[i]に関する研究計画・方法：氷床変動とCMBとICBでの電磁結合を考慮した数万年スケールの地球回轉變動(Nakada,

2003,2006)、外核表面流と CMB 境界での半径方向の磁場による電磁結合を考慮した数年スケールの地球回転変動 (Nakada, 2009) の研究をもとに、本課題の定式化とプログラムの開発を行う。コアの電気伝導度は $\sim 5 \times 10^5$ S/m (Jeanloz,1990)を採用する。マンツルの電気伝導度に関しては CMB 直上の値が非常に重要であるが、Decadal スケールの LOD の変動や強制章動の研究成果である $\sim 10^8$ S コンダクタンス、実験的に求められたポストペロブスカイの電気伝導度 $\sim 10^2$ S/m 等を考慮する。

Nakada(2009)の外核表面流に基づく研究によると、LOD の観測値は説明可能であるが、Chandler wobble の位相の変化は説明できない。そのため、(a)CMB と ICB 両境界でのコアの流れによる電磁結合 (ICB での磁場の半径方向の強度に強く依存)、(b)マンツル対流に起因した質量異常 (non-hydrostatic geoid に対応) に起因する内核へのトルク、(c)内核の粘性緩和等の効果を Nakada(2009)に組み込みこむ。ICB 境界の流れ((a)の効果)により内核の wobble が励起され、かつ、角運動量保存のためマンツルの wobble も励起されることが予想される。その結果、傾いた内核にマンツルからトルク (効果(b))が働き、かつ、内核の粘性緩和(c)が生じ、wobble の減衰が予想される。これらの効果を取り組んだプログラムを開発し、各々トルク(上記(a)と(b))と内核の粘性緩和(上記(c))の影響を評価し、さらに、Wardinski et al. (2008)らが公表したコア表面流を用い LOD と極運動を評価した。

(2)課題[i]に関する研究計画・方法：静水圧 (hydrostatic) 状態を background に持つ地球での氷床変動 (Nakada,2002; Nakada and Okuno,2003) と大陸移動に伴う極移動 (Nakada,2007)、マンツル対流を原動力 (non-hydrostatic geoid に対応) とした極移動 (Nakada,2008)、マンツル対流を background にもつ地球での氷床変動に伴う極移動(Nakada,2009)の研究を基に、本課題の定式化とプログラムの開発を行った。

開発したプログラムにより、マンツル対流を考慮した氷床変動に伴う極移動を評価したが、課題(i)及び(ii)の研究を進めているうちに、これらの現象、及び、チャンドラー章

動の減衰・固体地球の潮汐変形が地球マンツル最深部の D”層の粘性率に強く依存することを発見した。そこで、チャンドラー章動の減衰・固体地球の潮汐変形を評価する粘弾性変形を考慮したプログラムを開発し、D”層の粘性率、コア・マンツル境界の温度分布の推定を行う研究を実施した。これらの研究により、世界で初めて観測データをもとにD”層の粘性率を評価することに成功した。

現在は、D”層の粘性構造、最近の地球温暖化に伴う山岳氷床や極氷床の融解の影響を取り入れ、マンツル対流と氷床変動の効果を考慮した極移動評価に基づくマンツル対流の時間変化の研究を行っている。最近の地球温暖化に伴う山岳氷床や極氷床の融解の評価に関しては現在国際誌に投稿中である、さらに、氷床変動に伴う D”層の低粘性率を考慮した地球回転変動に関する研究に関しても研究を進め、現在投稿準備中である。

4. 研究成果

(1) 地球磁場の急激な変動に関係したコア表面流を原因とする地球回転変動の研究急激な磁場変動に関係した外殻の表面 (コアとマンツル境界面(CMB)と、外核と内核の境界面(ICB)) の流れが短周期 (1~2 年程度) の地球回転変動にどのように影響するかを評価した。その結果、CMB での流れは電磁カップリングを通して地球の自転速度 (LOD) の時間変化に強く影響し、ICB での流れは内核とマンツルの重力的カップリングを通して極運動に影響を与えることが判明した。自転速度の時間変化の計算結果は観測値をほぼ説明するが、極運動の計算値 (チャンドラー章動の位相の変化) は観測値を説明できないことが判明した (国際誌に 2011 年に公表)。さらに、地形結合 (CMB 境界の地形の凹凸) をも考慮したモデルの定式化・プログラムの開発を行い数値計算を行ったが、Chandler wobble の位相の 1~2 年程度の急激な変化に関しては説明できていない。

(2) D”層の粘性率及びコア・マンツル境界の温度

Chandler wobble の減衰と地球の潮汐変形が、最下部マンツル D”層 (厚さ 300km 程度) の粘性率に非常に敏感であることを定量的に評価し、D”の粘性率は下部マンツル (D”層より上部) より 3桁程度小さいことを定量的に示した。つまり、平均粘性率は 10^{19} Pa s で、かつ、最深部 100km の領域

の粘性率は 10^{18} Pa s 以下であることが推定された。また、これらは Maxwell レオロジーに基づく結果で、地球を構成する物質のレオロジーの周波数依存性に関して重要な知見を与える(2012年度国際誌に公表)。

上記のモデルを発展させ、(i)D”層がマントル対流の下部熱境界層、(ii) D”層内で小規模の対流が生じている、という2つのモデルに基づき、温度依存性を考慮した D”層の粘性率構造を評価した。得られた深さ依存性を考慮した粘性率構造に基づき、D”層内の温度上昇(1000-1600 K)、コア・マントル境界の温度(3500-4000 K)、コアからマントルへの熱の輸送(5 TW 以上)に関する新たな成果を得た(2012年度に国際誌に公表)。地球物理学的観測量から評価された D”層の粘性率、コア・マントル境界の温度の定量的結果は申請者の知る限り世界で初めてである。今後、地球深部のダイナミクス(マントル対流やマントルプルームの成因)やコアとマントルの相互作用の研究に重要な役割を果たすと思われる。

(3) マントル対流と氷床変動の効果を考慮した極移動評価に基づくマントル対流の時間変化の研究

現在観測されている極移動は過去2万年スケールによる氷床変動とマントル対流の影響以外に、(a)最近の地球温暖化に伴う極氷床や山岳氷河の融解と(b)本研究で推定された低い粘性率をもつD”層の影響も非常に重要である。(a)と(b)に関する研究を行い、(a)に関しては、既に結果を得て現在国際誌に投稿中である。(b)のD”層の影響に関してはほぼ結果を得て現在論文作成中である。これらの研究成果をもとに、マントル対流の時間変化の研究を行う予定である。

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 3 件)

- ① Nakada, M., Chihiro, I., Karato, S., The viscosity structure of the D” layer of the Earth’s mantle inferred from the analysis of Chandler wobble and tidal deformation, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 208-209, 11-24, 2012, 査読有
- ② Nakada, M., Karato, S., Low viscosity structure of the D” layer of the bottom of the Earth’s mantle inferred from the analysis of Chandler wobble and tidal

deformation, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 192-193, 68-80, 2012, 査読有

- ③ Nakada, M., Earth’s rotational variations due to rapid surface flows at both boundaries of the outer core, *Geophysical Journal International*, 184, 235-246, 2011, 査読有

[学会発表] (計 3 件)

- ① Nakada, M., Karato, S., Viscosity structure of the D” layer inferred from the decay time of the Chandler wobble and tidal deformation, *The International Workshop on Core Dynamics 2012: East-west Asymmetry of Inner Core and Rotational Dynamics (invited)*, 2012年5月22日, 中国(武漢)
- ② Nakada, M., Karato, S., Low viscosity of the bottom of the Earth’s mantle inferred from the decay time of Chandler wobble and tidal deformation, *American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting 2011*, 2011年12月5日, USA(サンフランシスコ)
- ③ 中田正夫, 唐戸俊一郎, チャンドラー運動の減衰時間と潮汐変形から推定される D”層の粘性率, 地球惑星科学連合学会, 2011年5月23日, 千葉(幕張メッセ)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中田 正夫 (NAKADA MASAO)
九州大学・大学院理学研究院・教授
研究者番号: 50207817