

二国間交流事業 共同研究報告書

平成 23年 4月 7日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

共同研究代表者所属・部局 自然科学研究機構・国立天文台

職・氏名 ^(ふりがな) 准教授・花田英夫
はな だ ひで お

1. 事業名 相手国（ロシア）との共同研究 振興会対応機関（RFBR）
2. 研究課題名 かぐやとILOMによる月の自転と軌道進化、内部構造、裏側の重力地形異常の研究

3. 全採用期間

平成21年4月1日～平成23年3月31日（2年 ヶ月）

4. 研究経費総額

(1) 本事業により交付された研究経費総額 4,300 千円

初年度経費 2,400 千円、 2年度経費 1,900 千円、 3年度経費 千円

(2) 本事業による経費以外の国内研究経費総額 千円

5. 研究組織

(1) 日本側参加者

氏名 (ふりがな)	所属・職名	研究協力テーマ
佐々木 晶 へき こうすけ	国立天文台・RISE 月探査プロジェクト・教授 北海道大学・理学研究院・教授	月惑星の回転・重力場と内部構造 月惑星の回転理論
並木 則行 なみき のりゆき	千葉工業大学・惑星探査研究センター・主席研究員	月の重力場と地形と内部構造
荒木 博志 あらかき ひろし	国立天文台・RISE 月探査プロジェクト・助教	月回転と内部構造
松本 晃治 まつもと こうじ	国立天文台・RISE 月探査プロジェクト・助教	月重力場と内部構造
野田 寛大 のだ ひろとも	国立天文台・RISE 月探査プロジェクト・助教	月回転と内部構造
菊池 冬彦 きくち ふゆひこ	国立天文台・RISE 月探査プロジェクト・研究員	月重力場と内部構造

(2) 相手国側研究代表者

所属・職名・氏名 Kazan Federal University・Associate Professor・Natalia Petrova

(3) 相手国参加者（代表者の氏名の前に○印を付すこと）

氏名	所属・職名（国名）	研究協力テーマ
Alexsander Gusev	Kazan Federal University・Professor	月惑星の回転理論
Yurii Barkin	Moscow State University・Professor	多層構造の月モデルの理論
Tamara Ivanova	Applied Astronomy Institute・Researcher	月の回転変動の数値解析

6. 研究概要（研究の目的・内容・成果等の概要を簡潔に記載してください。）

目的:月の内部構造の研究は、月全体の構成物質、温度、物性がわかることにつながり、月の起源と進化の解明にとって本質的な情報をもたらす。月の重力場の高精度データは、精密地形データと組み合わせることによって、地殻の厚さの分布やクレーターの重力異常がわかる。さらに、年代と対応させることによって、地殻の堅さの変化を通して月の熱史に制約を与えることができる。また、重力場の長波長成分は月の慣性モーメントに密接に関係し、この精度を一桁向上させることによって月内部の密度分布、とくに中心核の密度、物質をより正確に推定することが可能となり、月と地球の構成物質の比較から月の起源に迫ることができる。

そのためには、「かぐや」の月の重力分布のデータと、次期月探査で計画している月の回轉變動のデータから、月の中心核の物性に迫るために、観測データの精度向上と同時に、観測データと月の内部構造を結びつける理論やモデルの開発が必要である。これまではアポロ計画時代の月震のデータに基づいて作られた弾性体の内部構造モデルが用いられてきたが、今後はそれでは不十分で、流体核や非弾性体のマントルを考慮した新しい理論的な研究が必要になる。そのために、月の内部構造の理論的な研究で実績のあるロシアのカザン州立大学を中心とした研究グループと共同で、新しい理論を構築するための基本的な理論式を開発することを目的とする。

内容:本研究では、これまでより複雑な、流体核を含む3層構造で、内部のエネルギーの消散を取り入れた月の内部構造モデルを構築し、そこから予想される月の重力場、月の回轉變動を計算するソフトウェアを開発し、「かぐや」で得られる新しい高精度のデータとの比較を行い、月の深部、とくに流体核の存在は、月の重力場、回轉變動、軌道進化にどの程度影響し、「かぐや」のデータではその存在をどこまで制約でき、足りない部分は将来どのような観測をする必要があるかを明らかにする。それによって月の起源と進化に関係する新しい重要な証拠を得る。また、この結果をさらに発展させて、次期月探査計画で提案している月の回転の高精度観測に対応できるような、月の中心核の状態による月の自転軸の微細な揺らぎを取り入れた新しいモデルを構築する。

成果:

- 1) 液体コアを持つ楕円体の惑星モデルに基づく、月の回轉變動の解析的な理論を構築した。その中で、過去10~15年の間に行われた月探査で得られた新しい重力場モデルを初めて使用した。
- 2) 月の多層モデルの月回転を解析的に解くために、必要な方程式を組み合わせ、それらの解を解析的な形で表すことに成功した。これらの解析解を用いて、月の内部構造を調べた結果、月の内部構造の影響を大きく受ける月回転パラメータを新たに見つけた。
- 3) 上記の解析解をさらに発展させて、楕円体の流体核と弾性マントルの重力場係数の相関を考慮に入れたモデルを提案し、ある条件に対して線形近似で解を求めることができた。その結果、中心核とマントルの間の相互作用が、月の回轉變動の強制項の振幅と周波数に影響することを見だし、中心核とマントルの大きさ、厚さ、密度などの地球物理的なパラメータの何種類かの組について強制項の振幅と周波数を求めた。
- 4) 月の中心核とマントルの幾何学的扁平率を計算するために、一般化された Radau 法を、密度が深さに依存する場合について適用し、その数値解を得た。
- 5) 月面天測望遠鏡 (ILOM) 計画のためのコンピュータシミュレーションソフトウェアを開発した。星の位置から月の回轉變動パラメータを求める「逆」問題を解くための方程式系を検討し、解が求まることを確認した。
- 6) 逆問題を解くために傾斜法を開発し、必要な精度を満たすことを確認しながら、方程式の解法を改良し、コンピュータに実装した。また、「観測された」直交座標の星の位置の精度と秤動パラメータの精度の関係についても調べた。
- 7) ILOM 計画の観測方式の最適化について理論的な観点から提案した。月の南極または北極から観測できる星を選定するソフトウェアを開発した。これらの研究には、カザン連邦大学天文学部の学生達が参加した。

- 8) ILOM 計画と並行して、次期月探査計画に提案している超長基線電波干渉法(VLBI)、月レーザ測距(LLR)を用いた観測計画の科学目標についても検討し、両観測を組み合わせることにより、月の中心核の状態について制約を与えることができることを示した。
- 9) 月レーザ測距の反射鏡と地上局の開発について、ロシア側の研究者を中心とする国際会議に参加することができ、国際協力を進めていく枠組みができた。