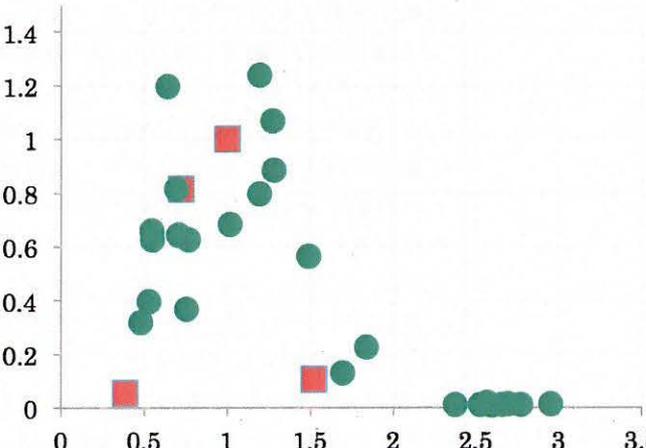


平成25年度国立天文台共同研究報告書

平成26年4月30日

国立天文台長 殿

代表者	氏名	(ふりがな) パトリックソフィアリカフカ		
		Patryk Sofia Lykawka		
	所属・職	近畿大学総合社会学部総合社会学科・講師		
	電話	06-6721-2332 (内3252)	E-mail	patryksan@gmail.com
研究テーマ	太陽系小天体の初期軌道進化と地球型惑星の形成			
研究期間	平成25年4月1日 ~ 平成26年3月31日			
研究場所	国立天文台三鷹地区			
共同研究者 氏名・所属等	伊藤孝士・国立天文台天文シミュレーションプロジェクト			
研究概要	<p>太陽系の惑星は微惑星の相互衝突により形成されたと考えられており、その残滓が現在の太陽系小天体であると考えられている。従って、太陽系小天体の初期軌道進化を推定・模擬することにより惑星や衛星の誕生に関する重要な手がかりを得られよう。けれども現段階の知見は不完全であり、以下のような課題と問題が残されている。例えば惑星形成理論に基づくモデルでは4つの地球型惑星の現在の軌道及び質量を正確に再現できない。特に(a)質量の小さな水星と火星の同時再現に成功したモデルは現在まで存在しない。また(b)太陽系初期の巨大惑星動径方向移動が地球型惑星形成に及ぼす影響が十分に考慮されていない。本研究では平成23年度に実施した国立天文台共同研究の拡張として、地球型惑星及び惑星系小天体の力学進化を正確に再現するモデルの構築を目指す。最終的には地球型惑星の形成メカニズムを解明し、太陽系小天体の進化を包括的に理解することを目指している。</p> <p>私たちは原始惑星系環境下における小天体の起源と軌道進化に関する理論的な研究をN体・数値計算に基づいて実施し、様々な成果を挙げてきた。本研究では上述したように、惑星集積過程と小天体の力学分布の再現を目指すN体・数値計算を実施する。これにより前記した課題(a)(b)を克服する理論力学モデルを構築する。具体的には、巨大惑星の動径方向移動および小惑星帯に存在する大質量天体の影響に基づいた現実的な初期条件での地球型惑星の形成過程を再現するため、従来よりも詳細なN体数値計算を実行する。この問題設定により課題(b)を解消し、その上で課題(a)が解決されるかどうかを検分する。今回の共同研究ではとりわけ質量の小さな地球型惑星である火星と水星の形成機構に注目する。</p> <p>本研究は以下の成果をもたらすと期待される。(1)地球型惑星の起源と進化に関する新たなモデルの提案。特に質量の小さな地球型惑星に着目する。(2)天体衝突過程や原始生命や海の起源などに関する新たな基礎的知見の発見と集積。(3)基礎学術的な成果に留まらず、社会全体に強い衝撃を与える最先端成果の情報発信。上述したように、本研究は将来的に実行されるべきこうした課題解決のための新たな理論モデルを提案し、惑星や小天体形成に関する首尾一貫した精密解析を目指すものである。私達の研究はそのモデルが先行研究群に比べて質的に新しいために優位性を持つのみならず、国立天文台が誇る大型・高速の共同利用計算機システムを利用する事で量的にも世界各地の同業他グループを大きくリードするものとなる。</p>			

<p>研究成果</p>	<p>今回の研究では従来の拡張として、地球型惑星となる材料である多数の微惑星と惑星胚 (embryos)、及びコンパクトな軌道構成での巨大惑星といった原始システムの衝突進化・軌道進化を長期間にわたり(10億年)数値計算で調べた。まず今回実施した研究方法、つまり上記のモデルを用いて太陽系の惑星及び小天体の軌道進化計算を行なった際のやり方を述べる。要するに巨大惑星の軌道進化という制約初期の下で地球型惑星の集積をN体計算によって再現するのだが、原始惑星系内の小天体を数千-数万個の小天体で代表させる(先行研究よりも天体数がかかなり多い)。天体の軌道進化計算のための主要なコード開発は終了しているが、他の結果(例えば天体同士の衝突破壊過程)を検証するために新しい補助コードを作成している。</p> <p>次に本研究で用いる理論モデルについて説明する。私達のモデルが表現する初期状態は46億年前の原始惑星系円盤であり、その中には多数の小天体およびそれより少数の大質量天体を含む。モデルの主な制約条件となる4個の巨大惑星の軌道分布としては太陽から5-15AU以内にあったと想定する。即ち現在の巨大惑星系に比べてだいぶコンパクトな系より出発する。主に0.2-5AUの領域では巨大惑星の重力・共鳴の力学的な影響を受けながら多量の小天体の重力かつ衝突の相互作用により地球型惑星の形成が進行するものと仮定する。私達が従前に行った計算によれば、巨大惑星の動径方向移動は地球型惑星が現在のような軌道形態を獲得する上で重要な役割を果たしたことが推定されている。今回は地球型惑星、特に質量の小さな惑星形成に対する巨大惑星の進化の重要性に焦点を当てて検討した。また、上記のようにコンパクトな巨大惑星系は小天体との相互作用により動径方向に移動する。この惑星移動がもたらす地球型惑星形成への影響、及び小惑星帯の空間分布構造への影響に焦点を当てた。</p> <p>右下図は今回の共同研究に於いて得られた成果の一部である。横軸は軌道半長径[AU], 縦軸は惑星質量[地球質量], 赤点は現在の地球型惑星、その他は今回のモデル計算の結果であり、五種類の数値シミュレーション結果を重ねて描いている。これは従来の私たちの研究の中でも特に解像度の高いモデル計算を実施したものであるが、質量の大きな惑星である地球と金星の形成は比較的高い確率で再現されているのに対し、質量の小さな火星と水星は再現の確率が依然として低い。これまでの一連の研究では微惑星および大型惑星移動のパラメータについてかなり多くの場合を試してきた。それにも関わらず惑星配置や質量の再現確率が低いという事より、おそらくは初期の原始惑星系円盤すなわち微惑星円盤が従来言われているように均質ではなく、無視できない非一様性を動径方向に有していた可能性が高い。私たちの今後の研究ではそのような微惑星円盤の非一様性をも取り込んだ数値シミュレーションを実行して行く予定である。</p> 
<p>その他参考となる事項(希望事項も含む)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 本研究による成果の一部が以下の論文として出版された。出版費用についても国立天文台出版委員会に支出して頂いた。研究交流委員会に対してと共に感謝を申し上げる。 Ptryk Sofia Lykawka and Takashi Ito, "Terrestrial planet formation during the migration and resonance crossings of the giant planets", <i>Astrophys. J.</i>, 773, 65, 2013. ● 研究の遂行に当たっては国立天文台天文シミュレーションプロジェクトの共同利用計算機、特に計算サーバを大いに活用した。運用に携わる方々に感謝したい。 ● この成果報告書の書式ファイル(MS Word)が国立天文台研究交流委員会のウェブページに掲載されていなかった。今後はぜひ掲載をお願いしたい。また、本報告書に印を要求される理由が不明である。押印を必要とする法的な根拠が存在するのか? 押印が無い場合の論理的な問題点は?