

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24740120

研究課題名(和文) 汎惑星形成理論を用いた太陽系外地球型惑星の形成と進化に関する数値計算

研究課題名(英文) General model of the formation and evolution of extrasolar terrestrial planets

研究代表者

佐々木 貴教 (Sasaki, Takanori)

京都大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：70614064

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：一般的な地球型惑星について、その形成と進化の過程を議論した。主に以下の3つの研究を行った。(1) 内部海を持つ地球型惑星について、その存在・持続条件を検討した。(2) 巨大天体衝突の破片が地球型惑星に再集積する際に、惑星の初期進化シナリオに対して力学および化学的に大きな影響を与える可能性を指摘し、これまでとは全く異なる新しいシナリオを提案した。(3) 太陽系外の巨大ガス惑星周りで、地球サイズの衛星が形成される可能性、およびその天体上での生命居住可能性について検証した。

研究成果の概要(英文)：I studied about the formation and evolution of general terrestrial planets. (1) I discussed the conditions that terrestrial planets must satisfy for an internal ocean to exist on the timescale of planetary evolution. (2) I proposed a new scenario that protoplanetary fragments produced by the giant impacts might affect the evolution of the early Earth dynamically and chemically. (3) I showed the existence of Earth-sized moons around extrasolar gas giants and discussed the habitability of the moons.

研究分野：惑星科学

キーワード：太陽系外惑星 地球型惑星 惑星形成論 生命居住可能惑星 初期地球 巨大衛星 内部海 巨大天体衝突

1. 研究開始当初の背景

太陽系外惑星の発見数が加速度的に増加し、ケプラー宇宙望遠鏡により地球型惑星候補天体についても、大量の観測データが公開され始めていた。それらの中には、太陽系には存在しないタイプの惑星も大量に存在しており、惑星形成理論の再考が求められることになった。

一方、惑星形成の現場である原始惑星系円盤についても、重要な観測が相次ぎ、多様性に富んだ円盤が存在していることが明らかになってきていた。

これまで太陽系外惑星系の特徴を説明するために、太陽系形成理論を拡張した「汎惑星形成理論」が提案されてきたが、特に地球型惑星の多様性の説明には、まだ不十分なモデルであった。

2. 研究の目的

近年発見が相次いでいる太陽系外地球型惑星について、その形成と進化の過程を明らかにすることを目的とする。特に、原始惑星系円盤の進化や惑星の衝突進化・大気進化などを考慮した新しいモデルのもと、多様な地球型惑星が形成されることを示す。

本研究により、宇宙における一般的な地球型惑星の特徴が明らかにし、それらの惑星の生命居住可能性について大きな示唆を与えることを、最終目的とする。

3. 研究の方法

汎惑星形成理論に基づいたモンテカルロシミュレーションと、個別の地球型惑星(衛星)に対する基礎的理論研究を組み合わせ、相互補完的に研究を進める。前者では大量のパラメータスタディによる統計的な議論を行い、後者では数値計算による詳細な議論を行う。

具体的な数値計算コードについては、過去の研究において作成したものを拡張する：汎惑星形成理論に関する数値計算コード (Sasaki et al., 2010) N 体計算に関する数値計算コード (Sasaki et al., in prep.) ハイドロダイナミックエスケープの数値計算コード (Sasaki & Abe, 2008) などを用いる。

4. 研究成果

一般的な地球型惑星について、その形成と進化の過程を議論した。主に以下の3つの研究を行った。

(1) 生命居住可能な惑星の多様性を議論するために、内部海を持つ地球型惑星の形成と進化についての基礎的研究を行った。Tajika (2008) を参考に地球とは異なる海水量・放射性熱源量を持つ地球型惑星の熱進化を解き、多様な内部海を持つ地球型惑星が存在すること、および高圧氷の発生により内部海の構造が大きく変化することを示した。

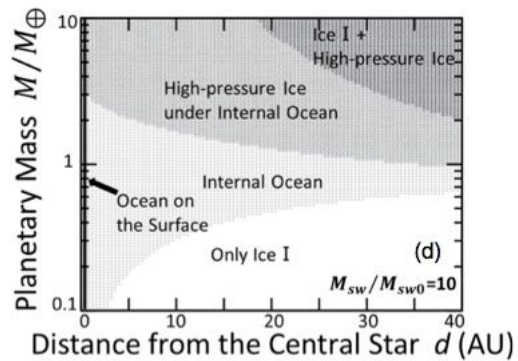


図1: 内部海を持つ地球型惑星の内部構造
中心星からの距離と惑星の質量に応じて、多様な内部構造が実現されること、および高圧氷が形成される場合があることがわかる。(Ueta & Sasaki, 2013 より引用)

(2) 巨大天体衝突の破片が地球型惑星に再集積する際に、惑星の初期進化に対して力学および化学的に大きな影響を与える可能性を指摘し、これまでとは全く異なる新しいシナリオを提案した。特に生命の進化と発生に有利とされる、還元的な大気環境を長期間保持する可能性を提示したことは、一般的な地球型惑星における生命居住可能性を議論する上で、非常に重要である。

(3) 汎惑星形成理論に関する基本的な数値計算コードを、Sasaki et al. (2010) で用いた数値計算コードを拡張することにより作成した。作成した汎惑星形成理論に関する数値モデルを、ガス惑星周りの衛星形成に応用し、太陽系外の巨大ガス惑星周りで、地球サイズの衛星が形成される可能性、およびその天体上で生命居住可能性についての研究を行った。太陽系外において、木星の10倍近いサイズの惑星が多数発見されており、そうした超巨大ガス惑星の周りには、放射性熱源などの内部熱のみで十分なエネルギーを獲得できる、地球サイズの巨大衛星が形成される可能性があることがわかった。また、それらの衛星の進化・安定性についても議論した。

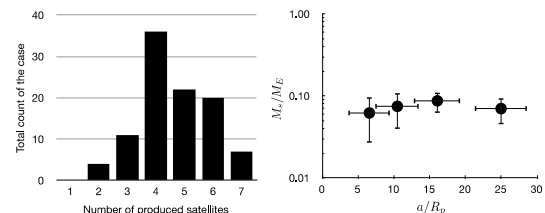


図2: モンテカルロシミュレーションにより求められた、系外巨大ガス惑星周りに形成される衛星の数・位置・質量
火星サイズの巨大衛星が、内側から主に互いの共鳴軌道の位置に複数個形成されることが示唆される。(Heller et al., 2014 より引用)

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)

Takanori Sasaki, Origin and Early Evolution of the Earth, Journal of Japanese Society for Extremophiles, 13, 71-75 (2014) 査読有
http://sasakitakanori.com/wp-content/uploads/2015/01/jjse_2014_satellite.pdf

René Heller, Darren Williams, David Kipping, Mary Anne Limbach, Edwin Turner, Richard Greenberg, Takanori Sasaki, Émeline Bolmont, Olivier Grasset, Karen Lewis, Rory Barnes & Jorge I. Zuluaga, Formation, Habitability, and Detection of Extrasolar Moons, Astrobiology, 14, 798-834 (2014) 査読有
doi:10.1089/ast.2014.1147

Shoji Ueta & Takanori Sasaki, Structure of surface-H₂O layers of ice-covered planets with high-pressure ice, Astrophysical Journal, 775, 96 (8pp) (2013) 査読有
doi:10.1088/0004-637X/775/2/96

[学会発表](計20件)

芝池諭人, 佐々木貴教 & 井田茂, 天体衝突による冥王代大陸の溶融と生命の起源, 第7回アストロバイオロジーワークショップ, 東京大学(東京都), 2014年11月1日

Takanori Sasaki, Re-entry of giant-impact fragments and early evolution of the Earth, German-Japanese Meeting, Haus der Astronomie, MPI-Astronomy Campus, Germany, 4 November, 2014

Shoji Ueta & Takanori Sasaki, Surface H₂O conditions of cold terrestrial planets, German-Japanese Meeting, Haus der Astronomie, MPI-Astronomy Campus, Germany, 4 November, 2014

芝池諭人, 佐々木貴教 & 井田茂, 後期重爆撃による冥王代大陸の消失可能性, 日本惑星科学会 2014 年度秋季講演会, 東北大学(宮城県), 2014年9月24日

上田翔士, 佐々木貴教, 玄田英典, 細野七月, 井田茂 & 齋藤貴之, 天体衝突シミュレーションコードの開発と、その岩石惑星における小天体衝突現象への適用, 日本惑星科学会 2014 年度秋季講演会,

東北大学(宮城県), 2014年9月24日

Shoji Ueta, Takanori Sasaki, Hidenori Genda, Natsuki Hosono & Shigeru Ida, Development of numerical code for simulation of the impacts of small planetary bodies, Origins 2014, Nara-ken New Public Hall, Nara, Japan, 6 July, 2014

Yuhito Shibaïke, Takanori Sasaki & Shigeru Ida, Destruction and melting of Hadean continent by Late Heavy Bombardment, Origins 2014, Nara-ken New Public Hall, Nara, Japan, 6 July, 2014

佐々木貴教, 地球の形成と初期進化: 生命誕生の場ができるまで, 極限環境生物学会第15回シンポジウム, 東京工業大学(東京都), 2014年6月7日

芝池諭人, 佐々木貴教 & 井田茂, 冥王代における後期重爆撃による大陸の破壊と溶融, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, パシフィコ横浜会議センター(神奈川県), 2014年4月28日

Yuhito Shibaïke, Takanori Sasaki & Shigeru Ida, Destruction and melting of Hadean continents by Late Heavy Bombardment, 2nd ELSI International Symposium, Hitotsubashi Hall, Tokyo, Japan, 24 March, 2014

佐藤貴央, 佐々木貴教 & 井田茂, 氷ダストの“こしとり”による地球への水供給量の調整, 日本惑星科学会 2013 年度秋季講演会, 石垣市民会館(沖縄県), 2013年11月20日

佐藤貴央 & 佐々木貴教, 系外巨大ガス惑星周りのハビタブルムーンの形成とその安定性, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉県), 2013年5月19日

古橋尚典, 寺田香織, 佐々木貴教, 関華奈子, 藤原均, 寺田直樹 & 笠羽康正, 初期地球型惑星大気における流体力学的散逸と太陽フレアの影響, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉県), 2013年5月19日

Takanori Sasaki, Amount of Water to be Habitable, 1st ELSI International Symposium, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan, 27 March, 2013

上田翔士 & 佐々木貴教, 地球型惑星が保持する内部海に対して高圧氷が与える影響, 日本惑星科学会 2012 年度秋季講演会, 神戸大学統合研究拠点 (兵庫県), 2012 年 10 月 24 日

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
なし

古橋尚典, 寺田香織, 佐々木貴教, 関華奈子, 市川義則, 藤原均, 寺田直樹 & 笠羽康正, 初期地球型惑星大気における流体力学的散逸と太陽フレアの影響, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2012 年秋学会, 札幌コンベンションセンター (北海道), 2012 年 10 月 20 日

Takanori Sasaki, Glen R. Stewart & Shigeru Ida, Formation of The Jovian and Saturnian Satellite Systems, Japan Geoscience Union Meeting 2012, Makuhari Messe, Chiba, Japan, 20 May, 2012

佐々木貴教, 玄田英典, 上野雄一郎, 飯塚毅 & 生駒大洋, 新たな海形成機構の提案:地球と金星の初期表層環境への応用, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 幕張メッセ国際会議場 (千葉県), 2012 年 5 月 20 日

玄田英典, 小久保英一郎, 佐々木貴教, 上野雄一郎, 飯塚毅 & 生駒大洋, 巨大天体衝突による“ばらまき”:その力学的影響と化学的影響, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 幕張メッセ国際会議場 (千葉県), 2012 年 5 月 20 日

上田翔士 & 佐々木貴教, 内部海を持つ地球型惑星の生命居住可能性, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 幕張メッセ国際会議場 (千葉県), 2012 年 5 月 20 日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://sasakitakanori.com>

アウトリーチ活動

一般講演 18 件

6. 研究組織

(1)研究代表者

佐々木 貴教 (Takanori Sasaki)

京都大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号: 7 0 6 1 4 0 6 4