

機関番号：12608

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008 ~ 2011

課題番号：20540232

研究課題名 (和文) ベガ型星の観測により検証可能な微惑星形成理論の構築

研究課題名 (英文) Modeling the Planetesimal formation Process and Its Comparison to Observations of Vega-like stars

研究代表者

竹内 拓 (TAKEUCHI TAKU)

東京工業大学・大学院理工学研究科・研究員

研究者番号：40372651

研究分野：天文学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：理論天文学、惑星形成、原始惑星系円盤、ベガ型星

1. 研究計画の概要

本研究は、新たな素過程を考慮した微惑星形成モデルの構築およびその観測的検証を目的とする。まず、(1) 微惑星形成の理論シミュレーションを、「付着成長説」に立脚して行う。1 μ m程度のダストが衝突合体をくり返し、1km程度まで徐々に成長する過程を解き、現在観測されている原始惑星系円盤から、どのような分布の微惑星ができるのかを計算する。並行して、(2) 微惑星の衝突破壊の数値シミュレーションを行い、ベガ型星ダスト円盤において、観測されたダスト円盤の構造を再現する微惑星分布を求める。(1)、(2)のシミュレーションはそれぞれ、惑星形成理論が予想する微惑星分布、および観測から導かれる微惑星分布であるので、両分布を比較し、観測を説明する微惑星形成モデルの構築、および重要な素過程の検討を行う。

2. 研究の進捗状況

(1) 微惑星形成プロセスの理論シミュレーションコードの開発、およびそれに必要な解析的議論、微惑星形成過程の数値シミュレーションの実行を行った。コードの開発においては、衝突破壊の効果、ダストのフラクタル成長の効果を取り入れた。これにより、ダストの成長過程をより現実的な状況でシミュレーションが行えるようになった。解析的議論においては、衝突破壊による定常解、ダストの静電反発の効果、ダスト層起源乱流の強さの見積もり、を行った。これらは、ダスト成長のシミュレーションに組み込むべき物理的素過程を明らかにした。特に、個々の衝

突破壊現象の結果をモデル化する際に、どのモデルパラメーターが重要であるかを明らかにした。また、ダストの静電反発により、ダストの合体成長が大きく妨げられる領域が、原始惑星系円盤内に広く広がっていることを示し、微惑星形成過程の新しい問題点として指摘した。さらに、ダスト層が形成されることにより励起される乱流の強さを見積もり、ダスト層の厚みがどの程度になるかを明らかにした。これらの結果のいくつかを組み込んだ数値シミュレーションを実行し、円盤内で静電反発によってダストの成長が阻害される領域を求めた。また、ダスト衝突破壊によって作られた細かい破片が円盤赤道面に濃集していることを明らかにした。さらに、初期のダストガス比が大きいと、衝突破壊の効果乗り越えてダスト成長が進むことを示した。

(2) 上記の研究で開発した、ダストの破壊を取り入れた数値シミュレーションコードをベガ型星ダスト円盤の進化に応用できるよう、コードを開発中である。また、ベガ型星ダストを生成するような高速度での衝突破壊実験を、行った。これは、レーザーによって模擬ダストを加速し、これまででない高速度衝突を行うものである。高速度衝突の結果、非常に細かい破片が、これまで考えられていた以上に生成されることを示した。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

まず、(1)の微惑星形成プロセスの解明に関しては、フラクタル成長の効果、衝突破壊の効果、静電反発の効果というまったく新しい効果について研究を進め、解析的な理解を進めることができた。またダスト層起源の乱

流についても解析的見積もりを可能とした。これらの知見を活かした、数値コードの開発も行った。それらの結果、フラクタル成長・衝突破壊・静電反発・ダスト層が誘発する乱流の影響を取り入れたダスト成長の研究を、解析的・数値的の両面からすすめ、衝突破片の円盤赤道面への濃集や、円盤内でダスト成長が静電反発により阻害される領域の確定など、大きな進展が得られた。(2)のベガ型星ダスト円盤については、現在まではコード開発及び、高速衝突実験によるダスト生成素過程の研究を重点的に行った。実験により、高速衝突によるダスト破片のサイズ分布が明らかになり、数値シミュレーションへの応用が可能となった。

4. 今後の研究の推進方策

(1) 微惑星形成過程については、これまでの研究で得られた素過程についての知見を取り入れた、ダスト成長シミュレーションの実行を続行し、各素過程がダスト成長にどのような影響を及ぼしていくのかを個別に明らかにしていく。最終的にはすべての知見を総合して、ダストが微惑星形成に成長できる条件を明らかにすることを目標とする。(2) ベガ型星ダスト円盤については、実験結果を取り入れた数値シミュレーションを実行し、観測されたベガ型星円盤との比較から微惑星分布を求め、(1)の結果と比較検討する。

5. 代表的な研究成果

(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 14 件)

- ① Okuzumi, S., Tanaka, H., Takeuchi, T., & Sakagami, M-a., Electrostatic Barrier Against Dust Growth in Protoplanetary Disks. I. Classifying the Evolution of Size Distribution, *The Astrophysical Journal*, 731, in press, (2011), 査読有
- ② Okuzumi, S., Tanaka, H., Takeuchi, T., & Sakagami, M-a., Electrostatic Barrier Against Dust Growth in Protoplanetary Disks. II. Measuring the Size of the "Frozen" Zone, *The Astrophysical Journal*, 731, in press, (2011), 査読有
- ③ H. Kobayashi and H. Tanaka, Fragmentation Model Dependence of Collision Cascades, *Icarus*, 206, 735-746, (2010), 査読有
- ④ T. Takeuchi, Growth of Settling Dust Particles in Turbulent Disks, *Exoplanets and Disks: Their Formation and Diversity*, eds. T. Usuda, M. Ishii, and M. Tamura, 1158, 163-164, (2009)、査読無
- ⑤ Takeuchi, T., & Krauss, O.,

Photophoretic Structuring of Circumstellar Dust Disks, *The Astrophysical Journal*, 677, 1309-1323, (2008), 査読有

[学会発表] (計 37 件)

- ① 竹内拓, ダスト層起源の乱流とダスト衝突破壊, 日本天文学会 2011 年春季年会, 2011/3/18, 筑波大学
- ② 竹内拓, ダストの沈殿、衝突合体、破壊によるダスト層の構造について, 日本天文学会 2010 年秋季年会, 2010/9/24, 金沢大学
- ③ T. Takeuchi, Dust in Protoplanetary Disks: Dust Growth and Planetesimal Formation, NCU-CPS Japan-Taiwan Planetary Science Workshop 2009, 2009/12/8-9, National Central University (台湾中れき市)
- ④ Takeuchi, T., Growth of Settling Dust Particles in Turbulent Disks, 5th Spitzer Conference "New Light on Young Stars: Spitzer's View of Circumstellar Disks", 2008/10/26-30, Pasadena Hilton, CA, USA
- ⑤ 竹内拓, 乱流円盤中で沈殿しながら合体成長するダストの数値計算, 日本天文学会秋季年会, 2008/9/11-13, 岡山理科大学

[図書] (計 2 件)

- ① 相川祐理, 現代の天文学 第 11 巻, 日本評論社, 2009, p. 212-232
- ② Takeuchi T., *Small Bodies in Planetary Systems*, Springer-Verlag GmbH, 2009, 1-35