

# 日本天文学会早川幸男基金渡航報告書

2017年06月10日採択

申請者氏名	辰馬未沙子 (会員番号 6796)
連絡先住所	〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1 国立天文台 理論研究部
所属機関	東京大学/国立天文台
職あるいは学年	M2
任期 (再任昇格条件)	
渡航目的	研究集会での口頭発表、大学のセミナーでの口頭講演
講演・観測・研究題目	Gravitational Instability of a Porous Silicate Dust Disk
渡航先 (期間)	アメリカ (2017年8月20日～8月30日)

私は2017年8月20日～24日にアメリカ合衆国アイダホ州ボイシで行われた国際会議“Exoclipse”に参加し、“Gravitational Instability of a Porous Silicate Dust Disk (高空隙率シリケートダスト円盤の重力不安定性)”というタイトルで口頭発表を行った。本会議は、系外惑星の観測から惑星形成の理論まで様々な研究者が集まっており、私の研究に対する助言をもらい、最先端の研究知識を吸収する貴重な機会となった。また、その後カリフォルニア大学バークレー校のEugene Chiang氏、Jeffrey Fung氏、Paul Kalas氏を訪問し、8月28日に同タイトルの口頭講演を行った。Chiang氏とFung氏は惑星形成の理論、Kalas氏は系外惑星の観測を専門としており、微惑星形成に関する議論をより深めることができた。

惑星がどのように形成されたのかという問題は未だ解決されていない。惑星は1 km から10 km程度の大きさの微惑星が合体し、形成されると考えられている。そして、その微惑星は0.1  $\mu\text{m}$ 程度の大きさのダストが合体して形成される。しかし、このような微惑星の形成過程には多くの困難が存在している。私が特に着目しているのは、氷ではなく地球のように岩石で構成される惑星の元となる、岩石微惑星の形成過程だ。岩石微惑星の元となる岩石ダストは氷ダストと異なり、衝突で容易に破壊されてしまう。実際に、惑星の元となるダストが存在する原始惑星系円盤(以下、円盤とする)内での衝突速度では、岩石ダストは破壊されてしまうことが知られている。近年、岩石ダストの大きさが10 nm程度以下であれば、破壊されずに合体できる可能性が提唱された。これは、ダストの大きさが小さいほど、衝突により破壊される速度が大きくなるためである。そして、合体成長の結果、内部に隙間がある空隙率の高いダストが形成され、岩石微惑星が形成可能であるということが示された(Arakawa & Nakamoto 2016)。しかし、そのような空隙率の高い岩石ダストの層の安定性はまだ調べられていない。もし、このようなダストの層が重力的に不安定であれば、層が分裂しダストのかたまりが形成され、急速な微惑星形成へとつながると考えられる。

そこで、我々は岩石微惑星の形成過程を明らかにするために、空隙率の高い岩石ダストの層の重力的な安定性を調べた。層の安定性はToomreの安定性パラメータ $Q$ 値を用い

て評価した。 $Q$  値を求めるには、ダストの赤道面円運動からのズレであるランダム速度が必要となる。そのために、氷ダストの層の安定性を調べた Michikoshi & Kokubo (2016) の手法を用いて、ランダム速度の増加メカニズム (ダスト同士の重力散乱、ガスの乱流による攪乱、ガスの乱流が引き起こすガス密度のゆらぎによる重力散乱) と、減少メカニズム (ダスト同士の衝突合体、ガスの平均的な流れからの摩擦) を考慮し、ダストのランダム速度を計算した。その結果、岩石ダストが合体成長していく途中で、ダストの層が不安定になることがわかった。また、ダストの層が重力的に不安定となるような円盤の条件を、円盤質量、ガスに対するダストの質量比、ガスの乱流の強度、中心星である恒星からの距離、ダストを構成している微小粒子の半径に関して、定量的に明らかにした。

今回の渡航ではこの研究についての口頭発表、口頭講演を行った。国際会議では、発表前日のランチタイムに惑星形成の理論を専門としている Katherine Kretke 氏と議論し、私が何を研究しているのかを説明した。その甲斐もあり、彼女の発表の際に微惑星形成の別のシナリオとして、この後に発表する私のトークを聞くようにと紹介してもらえた。私の発表後の質疑応答では彼女から質問され、なぜダストのサイズ分布を考えず単一のサイズとして計算しているのか、それは妥当であるのかどうかなど、議論をすることができた。また、観測による惑星形成理論への制限を専門としている Ruth Murray-Clay 氏からも質問され、ダストが円盤内で十分赤道面に沈殿しているという仮定は正しいのかどうか、議論をすることができた。さらに、円盤観測に関するポスター発表をしていた Hannah Jang-Condell 氏と Mara Zimmerman 氏の研究内容について興味を持ったので、彼女らと議論を行った。その結果、観測から円盤の性質やダストの組成への制限を行う難しさを認識し、私の研究をどう観測に繋げられるかが重要だと強く感じた。カリフォルニア大学バークレー校では、Chiang 氏、Fung 氏、Kalas 氏に私の研究を紹介し、彼らとそれぞれ深い議論をすることができた。Chiang 氏が特に気にしていたのは、円盤内のガスの乱流の強度を表すパラメータ  $\alpha$  の不定性だ。観測によって明らかとなった中心星への降着率を説明するには強い乱流を示す  $\alpha = 10^{-2}$  が必要であるが、最近の非理想磁気流体力学シミュレーションでは、惑星が形成される場所は乱流が抑制され、 $\alpha$  が非常に小さいデッドゾーンと呼ばれる領域を作る。彼はこのように話し、実際の惑星形成の現場では、 $\alpha$  は一般的に考えられているよりも小さいのではないかという結論に達した。その場合はダストの層が不安定になりやすく、急速な微惑星形成が期待される。Fung 氏は予想以上に惑星を形成するダストが“すかすか”であることに驚いており、ダストの内部密度の低さを考慮してシミュレーションを行うことの重要性について、彼に強く訴えることができた。また、どのような観測を行えばダストが“すかすか”であることの証明ができるのか議論を行い、その難しさと重要性について認識を共有することができた。Kalas 氏はダストが“すかすか”であることを理解しており、彼の研究の一部である観測論文を紹介され、その結果が空隙率の高いダストを証明していること、しかもその空隙率は非常に高くないと観測を説明できないことについて教えてもらった。彼との議論の中で、このような“すかすか”なダストの性質について研究することは、観測と繋げる上で非常に重要であるという結論に達した。今後は、今回の渡航で重要性を認識した空隙率の高いダストの性質を明らかにし、観測への応用を探るために、ますます研究に励んでいきたい。

最後になりましたが、今回の渡航に際し多大な援助をいただいた、日本天文学会早川幸男基金および関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。ありがとうございました。