

New face

荒川 創太¹ (海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 数理科学・先端技術研究開発センター)

皆様、こんにちは。荒川創太(あらかわ そうた)と申します。今年の4月から海洋研究開発機構(JAMSTEC)の横浜研究所で研究をしております。2020年3月に中本泰史先生のご指導の下、東京工業大学で博士号を取得し、2020年4月から今年の3月まで国立天文台科学研究部に日本学術振興会特別研究員として所属していました(受入研究者は小久保英一郎先生)。学位取得から時間が経過し、学生時代の記憶が曖昧になってきておりますが、このようなありがたい機会をいただきましたので簡単に自己紹介をさせていただきます。

私は東京都府中市で生まれ育ちました。府中市の郷土の森博物館には素敵なプラネタリウムがあり(天文月報の裏表紙で一部の皆様にはお馴染みの五藤光学研究所も博物館の周辺にあります)、また、NEC航空宇宙システムや航空自衛隊の宇宙作戦群なども市内にあり、「宇宙」との距離は近かったのかもしれない。ですが、大学進学以前に惑星科学・天文学に特別な興味・関心を持つことはなかったのではないかと思います。

東京工業大学(東工大)の理学部(当時の名称は第1類)に入学した際、一緒に特別入試(当時の東工大には数学1科目のみで受験できる学部入試がありました)で入学した同級生の大多数が数学科や情報科学科への進学を希望していましたが、私には彼女らほどの数学への情熱はないと感じました。理学部の学生としていくつかの講義を履修していくなかで、地球惑星科学科の先生方の講義が面白いと思ったため進学を決めました。特に、綱川秀夫先生の講義で感じた「現実世界を簡単な(?)数理モデルでざっくりと理解する」雰囲気惹かれた記憶があり



ます。

その後、地球惑星科学科で学部4年生になり、惑星科学の理論の研究室である中本研究室に所属させていただきました。卒業研究のテーマは「木星型連惑星の形成確率と惑星形成環境への制約」で、長澤真樹子先生にご指導いただきました。初期に木星型惑星が3つ以上存在する惑星系において、惑星の軌道が不安定になって系外に飛ばされたり(浮遊惑星)ホットジュピターが形成されたりすることが知られています[1]が、この軌道不安定の初期に2つの惑星が接近し(動的な)潮汐散逸によって連惑星(連星の惑星版のこと、二重惑星とも)が形成される場合があります[2]。私の卒業研究ではこの連惑星の形成を、(1)まず潮汐の効果を無視した軌道計算を行い、(2)その後、惑星同士の接近時の情報を用いて連惑星が形成されるかどうか判定する、という方法を採用して議論しました。この方法の長所は、軌道計算が規格化できるため、惑星系の軌道長半徑や惑星半径を変えた場合についても(追加の軌道計算を行わずに)判定できるという点です。卒業研究では長澤先生から数値計算に関する基本的なことから、研究に対する姿勢など大切なことを教わり

1. arakawas@jamstec.go.jp

ました。

修士・博士課程も東工大の中本研究室で研究を続けました。修士進学時に中本先生に「複合コンドルールの研究がしたいです」とお願いしたところ、すぐに論文 [3] を紹介していただき、「(いきなり高度な数値シミュレーションに取り掛かるよりも) まずはどのような理論モデルが存在し、それらの問題点は何か整理しましょう」ということになりました。その後、複合コンドルール形成における最大の困難は衝突後に2つのコンドルール同士が融合してしまう [4] ことだとわかり、「浮遊したコンドルールは過冷却状態を経て結晶化する」という長嶋剣氏らの実験結果 [5] に基づく新しい形成シナリオを短い論文として発表することができました [6]。その後もコンドルール形成に関する研究を(細々とではありますが) 楽しく続けております [7, 8]。

卒業研究後に一旦わたしの手を離れた連惑星の研究について、天体のかすり衝突でも連惑星が形成可能なのではないかというアイデアが修士2年の後半に浮かんできました。この話を長澤氏に相談したところ、天体衝突の問題であれば東工大ELSIの玄田英典氏と議論するのがよいのではないかというアドバイスをいただきました。その後、木星型惑星の連惑星を衝突で作るのは簡単ではないということがわかったのですが、一方で、冥王星・カロン系のような1000 kmサイズの天体においては様々な衝突条件で多様な連星系・衛星系が形成され得ることも明らかになりました。その過程で、「大型の太陽系外縁天体のまわりには高確率で衛星が存在する」という観測的な事実があることを偶然知り、我々の結果と整合的だと気がつきました。そして玄田氏、兵頭龍樹氏のご指導の下、衝突数値計算と潮汐軌道進化計算を行い、なんとか論文にまとめることができました [9]。さらに潮汐軌道進化については庄司大悟氏に共同研究をお願いし、簡単な熱進化とレオロジーモデルを考慮した、熱進化・軌道進化のカップリング計算もできるようになりました [10, 11]。今後は天体の内部構造とその進化を考慮した計算にも取り組み、外縁天体の熱史・形成史の研究を発展させていきたいと考えております。

博士課程において取り組んだテーマのうち、ダスト集合体(アグリゲイト)の熱伝導率に関する研究

は個人的に特に気に入っているもののひとつです。よく知られているように、惑星形成の第一歩は原始惑星系円盤中のダスト粒子の付着成長、そして微惑星の形成です。つまり生まれたての微惑星は巨大なダスト集合体であり、その物性を知ることは微惑星の進化を理解する上で非常に重要です。当然、ダスト集合体の機械・熱物性は室内実験で精力的に調べられており、また、圧縮強度 [12] や引張強度 [13] などの機械物性については数値計算による研究も行われています。一方で、ダスト集合体の熱物性、特に熱伝導率については(城野信一氏による先駆的な研究 [14] がありますが) 惑星科学の分野においてはあまり理論研究が進んでいませんでした。そこで私は、片岡章雅氏および辰馬末沙子氏に準静的に圧縮されたダスト集合体の構成粒子の位置情報を提供していただき、そのデータを用いて熱伝導率を数値的に求めることにしました [15, 16]。そして、充填率が低いふわふわのダスト集合体において、熱伝導率が充填率の約2乗に比例するという美しい関係式を導きました。その後、どうにかしてこの結果を理論的に解釈したいという気持ちになり、中本研究室の竹本正輝氏にも協力していただきダスト集合体の内部構造の解析に取り組みました。最終的に、ダスト集合体内部の小さな構造のフラクタル次元および粒子鎖の迂回の程度を表す指数(この指数に名前が付いているのかどうかは不明です)から熱伝導率の充填率依存性を導出可能であるということが明らかになりました [17]。この結果が得られたときには非常に興奮しました。

こうして得られた熱伝導率の理論モデルを現実の太陽系小天体の問題に応用したいと思い、まずは彗星の熱慣性の再解釈に取り組むことにしました。彗星はその集積メカニズムや内部構造が盛んに議論されており、天体表層の熱物性から起源に迫ることができるのではないかと考えたからです。ここで、彗星には大量の有機物が存在することが知られているのですが、有機物の物性(光学特性、機械・熱物性など)に関する知識が私にはありませんでした。そこで、東工大の同期であった大野和正氏に相談したところ、惑星大気へのヘイズ等の文脈で調べられている有機物について様々な情報を教えていただきました。また、大野氏との議論によって研究の問題意識

が明確になり、具体的にどのような設定で計算するのかという方針が立てられました。その後、大野氏にダスト集合体の光学特性の計算も行っていただき、共著で論文を書くことができました [18]。我々の論文の結論は、彗星の熱慣性を説明するためには、従来の研究で仮定されているよりも大きいダスト集合体(ペブル)が表層に存在することが望ましい、というものです。この論文は査読者から大変好意的なコメントを頂き、修正なしで受理されたことが大変嬉しかったという記憶があります。

熱伝導率の研究で片岡氏にデータの提供を依頼した際、「一度まじめに数値シミュレーションをやってみると良いのではないのでしょうか」といった趣旨のアドバイスをいただきました。そこで、最近(ようやく)ダスト集合体の数値シミュレーションに取り組み始めました。具体的には、ダスト粒子(いわゆるモノマー粒子)の衝突において重要であるとされている粘性的なエネルギー散逸 [19] をダスト集合体の衝突数値計算の粒子間相互作用モデルに取り入れ、その影響を調べるというものです(田中秀和氏、小久保英一郎氏との共同研究です [20])。今後もダスト集合体の物理を探究するべく、JAMSTECではまじめな(?)数値シミュレーションにも向き合っていきたいと思います。

惑星科学会の皆様にはこれまでも大変お世話になりました。共同研究者の皆様のサポートによって私がこの記事で紹介した研究(および紹介できなかった研究、例えば [21])を論文というかたちでまとめることができました。また、東工大、国立天文台で議論に付き合ってくださいました皆様、秋季講演会やその他の研究会などで質問してくださいました皆様、質問に快く回答してくださいました皆様のおかげで視野が広がり、新たな問題に挑戦することができるのだと感じております。今後も惑星科学の発展に微力ながら貢献できるよう精進してまいります。また、遊星人の編集委員としても、皆様に素敵な記事を届けられるよう努力いたします。何卒よろしく願いいたします。

参考文献

- [1] Nagasawa, M. et al., 2008, ApJ 678, 498.
- [2] Ochiai, H. et al., 2014, ApJ 790, 92.
- [3] Hubbard, A., 2015, Icarus 254, 56.
- [4] Yasuda, S. et al., 2009, Icarus 204, 303.
- [5] Nagashima, K. et al., 2006, J. Crystal Growth 293, 193.
- [6] Arakawa, S. and Nakamoto, T., 2016, Icarus 276, 102.
- [7] Arakawa, S. and Nakamoto, T., 2019, ApJ 877, 84.
- [8] Arakawa, S. et al., 2022, ApJ 927, 188.
- [9] Arakawa, S. et al., 2019, Nat. Astron. 3, 802.
- [10] 荒川創太ほか, 2020, 遊星人 29, 104.
- [11] Arakawa, S. et al., 2021, AJ 162, 226.
- [12] Kataoka, A. et al., 2013, A&A 554, A4.
- [13] Tatsuuma, M. et al., 2019, ApJ 874, 159.
- [14] Sirono, S., 2014, Meteorit. Planet. Sci. 49, 109.
- [15] Arakawa, S. et al., 2017, A&A 608, L7.
- [16] Arakawa, S. et al., 2019, Icarus 324, 8.
- [17] Arakawa, S. et al., 2019, PTEP 2019, 093E02.
- [18] Arakawa, S. and Ohno, K., 2020, MNRAS 497, 1166.
- [19] Arakawa, S. and Krijt, S., 2021, ApJ 910, 130.
- [20] Arakawa, S. et al., 2022, ApJ 933, 144.
- [21] 荒川創太ほか, 2022, 遊星人 31, 50.