

海外特別研究員最終報告書

独立行政法人日本学術振興会 理事長 殿

採用年度 平成 31 年度

受付番号 201960251

氏 名 野津 翔太

(氏名は必ず自署すること)

海外特別研究員としての派遣期間を終了しましたので、下記のとおり報告いたします。

なお、下記及び別紙記載の内容については相違ありません。

記

1. 用務地（派遣先国名）用務地： ライデン （国名： オランダ ）

2. 研究課題名（和文）※研究課題名は申請時のものと変わらないように記載すること。

原始惑星系円盤・系外惑星大気の化学構造理論・観測研究による惑星形成過程の検証

3. 派遣期間：平成 31 年 4 月 1 日 ～ 令和 2 年 2 月 29 日

4. 受入機関名及び部局名

受入機関名：Leiden University 部局名：Leiden Observatory

5. 所期の目的の遂行状況及び成果…書式任意 **書式任意 (A4 判相当 3 ページ以上、英語で記入も可)**

(研究・調査実施状況及びその成果の発表・関係学会への参加状況等)

(注)「6. 研究発表」以降については様式 10-別紙 1~4 に記入の上、併せて提出すること。

次ページ以降記載

5. 所期の目的の遂行状況及び成果…書式任意

本研究員は海外特別研究員としての派遣機関中、派遣期間以前から行っていた国際共同研究を更に発展させた他、派遣先のオランダ・ライデン大学の研究者らと新たな国際共同研究を開始し、更に日欧合同の宇宙望遠鏡計画(SPICA)のサイエンス検討にメンバーとして参加したりする等、幅広く研究活動を行う中で当初の予定通り(研究テーマによっては当初の想定以上)の成果を挙げることができた。以下に個別の研究課題について、遂行状況及び成果の概要を述べる。

1. 原始惑星系円盤の H₂O スノーライン同定、CO 同位体輝線観測

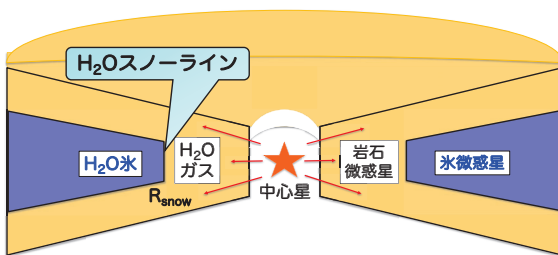


図1 H₂O スノーラインの概念図 (本研究員が作成)

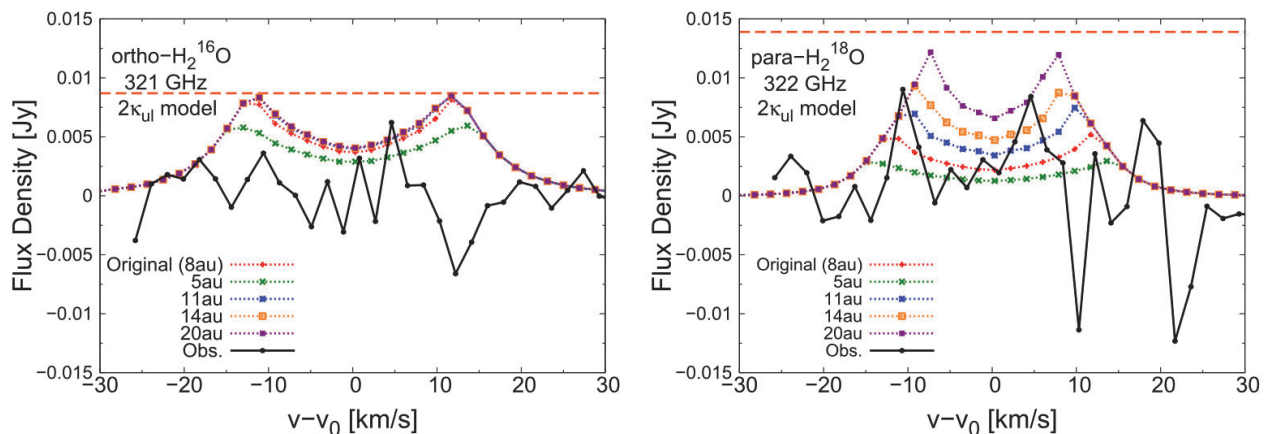


図2 H₂O 輝線の ALMA 観測結果。Notsu et al. (2019)より。

観測時間が要求時間以下だった事などが理由で、この観測では H₂O 輝線は未検出。

その為モデル計算結果との比較から、H₂O スノーラインの上限値(<20 au)などを議論。

原始惑星系円盤における H₂O スノーラインは、岩石(地球型)惑星とガス惑星の形成領域の境界と考えられており、その位置を観測的に決定する事は、微惑星・惑星形成過程を理解する上で極めて重要である(図 1)。また、円盤ガスは惑星の材料であり、様々な年齢の円盤においてその質量を精度良く決定する事も、これらの形成過程を理解する上で極めて重要である。本研究員は派遣開始以前

から、国立天文台の野村英子教授、英国・リーズ大学の Catherine Walsh 氏、Alice S. Booth 氏(2020 年 3 月からオランダ・ライデン大学の Ewine van Dishoeck 教授のグループへ異動)、John D. Ilee 氏、英国・ベルファスト大学の Tom Millar 教授、米国・ハーバード・スミソニアン天体物理学センターの Chunhua Qi 氏らとの共同研究として、原始惑星系円盤内の H_2O スノーライン同定や円盤ガス質量の詳細測定を目指した H_2O 輝線及び CO 同位体($^{13}\text{C}^{17}\text{O}$)輝線の ALMA 観測(図 2, 図 3)、及びそれらをサポートする詳細な理論モデル計算などを行ってきた。(e.g., Notsu et al. 2016, ApJ, 827, 113; 2017, ApJ, 836, 118; 2018, ApJ, 855, 62) 後者の円盤化学構造・ H_2O 輝線の理論モデル計算研究では、 H_2O の化学的・分光学的特徴に基づき、放射係数(アインシュタイン A 係数) が小さく励起エネルギーが大きい H_2O 輝線の速度プロファイルを高分散分光観測で調べる事で、円盤赤道面の H_2O スノーラインの位置測定が可能であることを初めて示した。

派遣期間中は従来の研究を更に発展させ、2 本の ALMA 観測に関する査読論文(うち 1 本は筆頭論文) が出版されている。(Booth et al. 2019, ApJL, 882, L31; Notsu et al. 2019, ApJ, 875, 96)

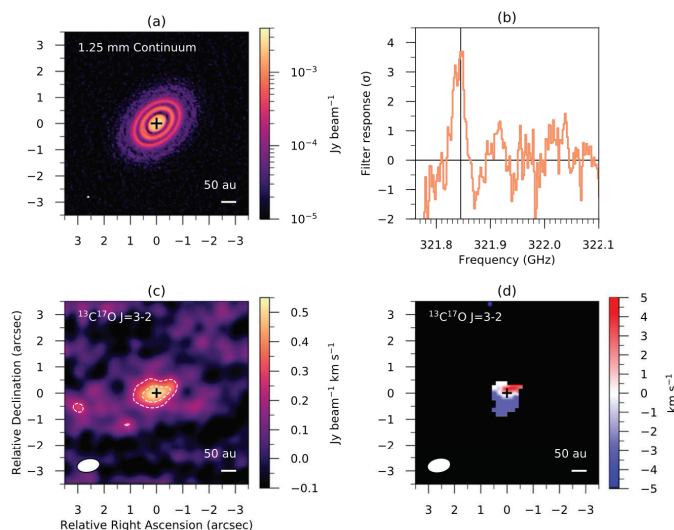


図 3: ALMA で原始惑星系円盤から $^{13}\text{C}^{17}\text{O}$ 輝線を初検出。Booth et al. (2019) より。

2.SPICA 高分散分光観測による H_2O スノーライン位置同定の可能性検討

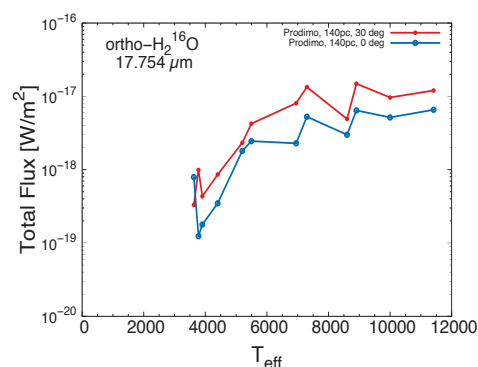


図 4: 様々な中心星温度のモデルにおける、 H_2O スノーライン検出に適した H_2O 輝線のフラックスの変化。本研究員らの計算結果より。

本研究員らの円盤化学構造・H₂O 輝線のモデル計算研究(Notsu et al. 2016, 2017, 2018, 2019)の結果に基づき、円盤内の H₂O スノーライン同定を目指した水輝線観測は、日欧合同ミッションである次世代赤外線天文衛星 SPICA の中間赤外線高分散分光観測の重要サイエンスの 1 つに取り上げられている。本研究員らの研究結果によると、中心星の質量が重い Herbig Ae 星を中心に数天体程度の観測が期待される ALMA と比較し、SPICA では T Tauri 星も含めより小さな中心星質量・より遠い距離の天体に対してもこの様な H₂O 輝線観測を実施し、H₂O スノーライン位置の進化について統計的な議論を行える可能性等が示されている。派遣期間中はオランダ・Groningen 大学の Inga Kamp 教授、Stefano Antonellini 氏、国立天文台の野村英子教授らとの共同研究を通じ、より幅広い物理量の元での円盤モデル計算を行うなど、SPICA での観測可能性について踏み込んだ議論を行った(図 4)。本研究内容については派遣期間終了後の日本天文学会 2020 年春季年会で報告した他(但しコロナウイルスの影響により現地開催は中止。学会参加申込者向けに発表資料を共有)、現在論文文化に向け準備を進めている。また、日欧の惑星形成に関する研究者が多数参加する SPICA の惑星形成科学検討ワーキンググループ(月に 1 回程度 web 会議を実施)にも参加している。本ワーキンググループには派遣国のオランダの研究者が多数参加しており、共同研究者の Inga Kamp 教授が代表を務めるほか、派遣先のライデン大学からも Melissa McClure 助教が参加している。更に本研究員は、日本側の SPICA サイエンス検討会 惑星形成班にも加わり、主に円盤ガス分子観測に関するサイエンス検討を主導し、最終報告書(現在公開準備中)の執筆にも該当部分の筆頭執筆者として関わっている。

3. 原始星円盤&エンベロープの化学進化計算

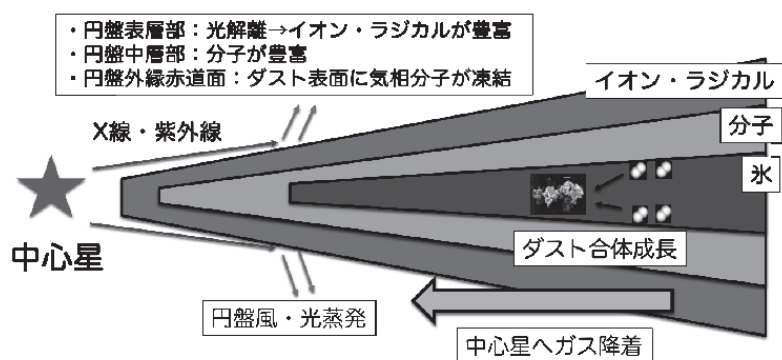


図 5: 原始惑星系円盤の物理・化学構造進化の概念図 (本研究員が作成)

本研究員は従来の円盤モデル計算研究を拡張し、スノーライン位置や分子組成分布の進化を探る事を目的として、円盤のダスト進化 (成長・破壊・落下)・中心星の光度変化・X 線&UV 放射等による影響も順次考慮した上で、最終的に原始星段階から円盤散逸期までの物理構造と化学構造の時間進化を同時に扱うモデルを構築することを目指している(図 5)。派遣期間中は原始星進化初期段階に着目し、ダスト表面反応、及び X 線&UV 放射による破壊反応などを取り入れた詳細な化学反応モデル

の構築を進めた。また、特に中心星 X 線放射を様々に変えたモデルの元で、原始星エンベロープの化学進化計算を行い、 H_2O や CH_3OH 分子等の生成・破壊過程・存在量への影響、及び受入教員の Ewine van Dishoeck 教授らのグループが近年取り組まれている原始星円盤・エンベロープの分子輝線観測結果(e.g., Persson et al. 2016)との比較の議論にも取り組んでいる。これらの研究内容については、現在査読論文を準備中であると共に、より詳細なモデル化を目指し現在も計算・議論を進めている。本研究は受入教員の Ewine van Dishoeck 教授のほか、英国・リーズ大学の Catherine Walsh 氏、アメリカ・ミシガン大学の Arthur Bosman 氏(お二人とも、前所属はオランダ・ライデン大学の Ewine van Dishoeck 教授のグループ)との共同研究の形で進めている。

4. 系外惑星大気の化学構造 -C/O 比と惑星形成領域への制限-

惑星は形成後に他の惑星や円盤との重力相互作用等で円盤内を移動する。惑星大気の元素組成は大気獲得時の円盤ガス元素組成を反映する為、円盤の化学進化過程の影響を強く受けると考えられる。そこで本研究員らは太陽系外惑星の大気化学構造と惑星形成環境の関係をより詳細に探る事を目的とし、Eistrup et al. (2016) で得られた円盤内元素組成分布の結果を初期条件としてガス惑星大気の化学平衡計算を行い、円盤の詳細な化学進化が系外ガス惑星大気の主要な分子組成分布におよぼす影響を調べる研究を行っている。派遣期間中はこれらの計算と議論を進め査読論文原稿の執筆を実施した。(近日中に論文投稿予定) 本研究は、英国・リーズ大学の Catherine Walsh 氏、米国・バージニア大学の Christian Eistrup 氏 (お二人とも、前所属はオランダ・ライデン大学の Ewine van Dishoeck 教授のグループ) 等との共同研究として実施している。

2020 年 3 月からは理化学研究所 開拓研究本部 坂井星・惑星形成研究室に基礎科学特別研究員として所属している。理化学研究所では海外特別研究員としての派遣時に取り組んだ研究テーマを継続し更に推進すると共に、ALMA 観測などを含めた新たな国際共同研究も行う。これらの研究活動を通し、引き続き原始星初期から系外惑星段階に至るまでの化学進化過程を理論・観測の両面から検証し、多種多様な太陽系外惑星の形成過程を明らかにする事を目指す。