

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：82401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2022

課題番号：20K22376

研究課題名(和文) 原始惑星系円盤・系外惑星大気の化学構造研究から探る、普遍的な星・惑星形成過程

研究課題名(英文) Exploration of universal star and planet formation processes through the studies of chemical structures in protoplanetary disks and exoplanetary atmospheres

研究代表者

野津 翔太 (Notsu, Shota)

国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・特別研究員

研究者番号：40874649

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、原始星段階から原始惑星系円盤までの化学構造計算と系外惑星大気の化学構造計算等を通じ、最新の観測結果による裏付けも踏まえた現実的な惑星形成理論を構築する事を目的とした。具体的な成果として、中心原始星のX線放射が周囲のエンベロープおよび円盤の化学進化に与える影響や、H₂Oスノーライン以遠にダスト濃集に伴う影構造(低温領域)が形成された円盤におけるスノーライン位置や組成分布、元素組成比が受ける影響等を、詳細な化学反応ネットワーク計算を通じ調べた。更に並行して、原始星天体及び円盤のスノーライン位置や分子組成分布の同定を目指した分子輝線観測や将来観測検討も各波長の望遠鏡に対して進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

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の構築を進める中で、最新の観測結果による裏付けも踏まえた現実的な円盤進化・惑星形成の描像の理解に寄与した。また、原始星天体および原始惑星系円盤のスノーライン位置や分子組成分布の同定を目指した分子輝線観測(ALMA, 野辺山45m)を進めるのみならず、赤外線・サブミリ波の将来望遠鏡サイエンス検討(GREX-PLUS, ngVLA, LST等)にも大きく貢献した。さらに、円盤化学構造計算の結果は、彗星・小惑星等における物質科学的な情報の理解にも役立つことが見込まれ、高い波及効果が期待される。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research project is to develop a realistic theory of planet formation based on the latest observations and calculations of the chemical structure of the protostellar envelopes, protoplanetary disks, and exoplanetary atmospheres. We investigated the effects of X-ray emission from the central protostar on the chemical evolution of the protostellar envelope and disk, and chemical evolution (such as evolution of snowline positions and distribution of elemental abundance ratios) in the disk where a shadow structure is formed due to dust concentration beyond the water snowline, through detailed chemical reaction network calculations. In parallel, we conducted molecular emission line observations and discussion for future observations to identify snowline positions and molecular abundance distributions in protostellar objects and disks for infrared and submillimeter wavelengths.

研究分野：星・惑星形成

キーワード：原始惑星系円盤 アストロケミストリー 星・惑星形成 原始星 太陽系外惑星 スノーライン ALMA
X線

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

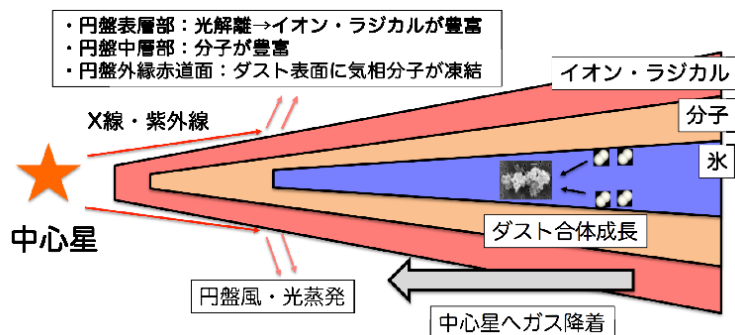
研究代表者は以前から、円盤中の H₂O 存在量とその分布を化学反応計算により調べた上で、その結果を元に多数の H₂O 輝線プロファイルを計算し、高分散分光観測による H₂O スノーライン決定の可能性を調べてきた。また計算の結果 H₂O スノーライン同定に使用可能な H₂O 輝線が中間赤外線 (e.g., SPICA) からサブミリ波 (e.g., ALMA) までの幅広い波長帯に多数存在する事が分かったので、ALMA (アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計) への観測提案や、SPICA (次世代赤外線天文衛星) 等での将来の観測可能性検討を進めてきた (e.g., Notsu et al. 2016, ApJ, 827, 113; 2017, ApJ, 836, 118; 2018, ApJ, 855, 62; 2019, ApJ, 875, 96)。なお申請者の研究が評価され、スノーライン同定を目指した H₂O 輝線観測は、SPICA (及びその計画を引き継ぐ GREX-PLUS) の中間赤外線高分散分光観測における重要サイエンスの 1 つにも取り上げられている。

これまでの申請者の円盤化学構造計算では、典型的な円盤の定常的な物理構造モデル (Nomura et al. 2007, ApJ, 661, 334; Walsh et al. 2015, A&A, 582, A88) を仮定していた為、スノーラインの位置の時間変化は考慮されていなかった。しかし現実の円盤ではダスト進化・中心星光度進化等に伴い温度分布が変化し、スノーラインの位置が時間変化する事が想定される (e.g., Oka et al. 2011, ApJ, 738, 141)。またスノーラインの時間進化が生じる事で、円盤内でダスト進化・微惑星形成が効率よく起きる時期・位置が、従来の理論と比べ変化する事も期待される。その為、円盤の物理構造と化学構造の進化を同時に扱う事は重要である。しかし従来の円盤輻射流体シミュレーション等を元にした化学反応計算研究では、ダスト進化等の効果は十分に取り入れられていなかった。

また、円盤進化による質量降着率の減少に伴い、中心星からの定常的な紫外線放射強度は減少する。一方で進化や中心星フレア等の磁気活動に伴い、紫外線・X線放射強度は時間変化する。これらは光蒸発過程や円盤表層・内縁部での化学進化 (特に H₂O 関連分子) などに影響を与えると考えられ、極めて重要である。

惑星大気元素組成は、大気獲得時の円盤ガスの元素組成を反映すると考えられる。円盤内ではスノーライン内外でガス中 C/O 比が異なるので、円盤内と惑星大気の C/O 比の比較を通じ、惑星形成領域に制限が与えられる。これまで申請者は、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べく、C, O, N の元素組成比等を Eistrup et al. (2016, A&A, 595, A83) で得られた複数の円盤化学進化モデルの場合の値を採用した上で、系外ガス惑星大気の化学平衡計算を行ってきた (Notsu et al. 2020, MNRAS, 499, 2229)。本研究では物理構造・化学構造進化を同時に扱ったより詳細な円盤モデルのもとで、惑星大気構造と惑星形成環境の関係を詳細に探る事を目指す。

図 1: 原始惑星系円盤物理・化学構造進化の概念図



2. 研究の目的

H₂O スノーラインは、地球型と木星型ガス惑星の形成領域境界とされ、微惑星・惑星形成過程を理解する上で重要である。従来の申請者の化学構造計算では、典型的な円盤の定常的な物理構造モデルを仮定していた。しかしダスト進化・中心星光度進化等に伴い、円盤内の物理・化学構造 (図 1)、特にスノーラインの位置が時間変化する事が想定される (e.g., Oka et al. 2011)。近年の理論研究と若い円盤での多重リング・ギャップ構造の観測的発見 (e.g., ALMA Partnership et al. 2015, 808, L3) 等から、従来の理論より早期にダスト進化・微惑星形成が進んでいる可能性が示唆されている。ダストサイズの成長と、成長したダストの落下・破壊による小さなダストの再生成が起きる事で、ダスト不透明度が変化し円盤内の温度分布が変化する。またダスト総表面積の変化に伴い、ダスト上での吸着・脱離・表面反応等も影響を受ける。これにより、円盤内のスノーラインの位置や各分子種の組成分布が時間進化すると考えられる。スノーラインの時間進化が生じる事で、ダスト進化・微惑星形成が効率よく起きる時期・位置が従来の理論と比べ変化する事も期待される。

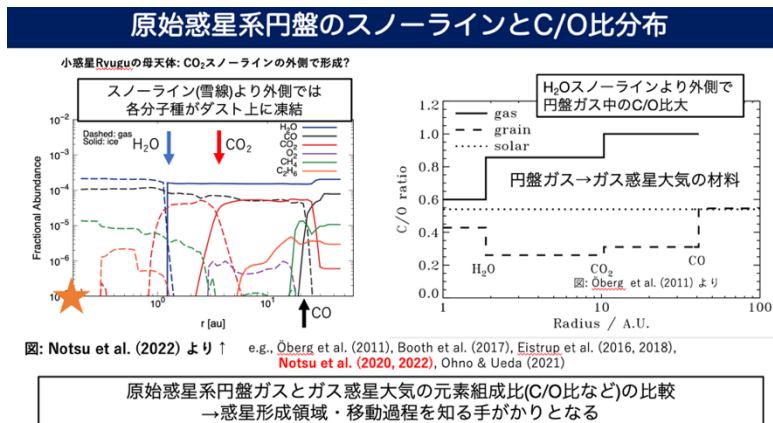
近年 ALMA 等で円盤が形成されつつある原始星周囲での有機分子探索が進んでいるが、これらの分子の多くはダスト上での吸着・脱離・表面反応等の影響を強く受ける為、早期ダスト進化との関係も議論が必要である。

更に進化や磁気活動に応じて、中心星由来の紫外線や X 線放射強度は大きく変動する。これらの効果もこれまで考慮されてこなかったが、これらは光蒸発過程や円盤表層・内縁部での化学進化過程(特にイオンや H₂O 関連分子など)に影響を与えるとされ、円盤進化の議論上重要である。そこで本研究では申請者の従来の研究を拡張し、スノーライン位置や分子組成比分布の進化を探る事を目的として、円盤のダストサイズ成長・光蒸発・中心星への質量降着・中心星の光度変化等円盤のダスト進化(成長・破壊・落下)・中心星の光度変化・X 線&UV の時間進化・光蒸発等による影響も順次考慮した上で、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(図 1)。本研究を通じ、より現実的かつ最新の観測結果との詳細比較が可能な円盤物理・化学進化構造計算を実現できる。

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(図 2)。近年の詳細な円盤化学進化計算の結果(e.g., Eistrup et al. 2016)によると、H₂O スノーラインの影響に加え円盤内の電離状態や初期化学組成等を変えた場合にも、円盤内の C/O 比分布が大きく変化する事が示されている。

そこで系外惑星大気化学構造と惑星形成環境の関係の詳細理解を目的とし、初期元素組成として物理構造と化学構造の進化を同時に扱う円盤進化計算の結果を用い、大気化学構造計算を行う。

図 2: 原始惑星系円盤内の様々な分子種のスノーラインと、C/O 比の半径分布(概念図)



3. 研究の方法

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計算を行う。この際、まずは物理構造のうち中心星の光度変化・X 線&UV の時間進化の影響を考慮した場合について化学反応計算を行い、その影響を調べる。その後光蒸発の影響・ダスト進化なども順次物理構造進化に取り入れた計算を行い、円盤内での現実的な物理進化を考慮した化学進化過程(図 1)を明らかにする。

なお化学反応計算の際は、申請者の共同研究者らが取り組んできたダスト表面反応等(e.g., Walsh et al. 2015)を新たに取り入れる。計算結果を元に円盤中のスノーラインの位置とガス・ダスト中の C/O 比分布の進化過程を明らかにする。更に物理構造進化の影響を受けやすい H₂O 関連分子や有機分子の組成進化を調べ、ALMA 等の観測結果と比較する事で、化学進化モデルの検証を行う。

上記研究に並行して、赤外線～サブミリ波の分子輝線の放射輸送計算を実施し、H₂O や CO 等主要な揮発性分子のスノーライン等を同定するのに有効な輝線の特徴を調べる。更に ALMA、SPICA(次世代赤外線天文観測衛星)、JWST(ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡)等、今後も各波長の望遠鏡を用いた分子輝線の観測と観測予測を行い、我々が構築する化学進化モデルを検証したり、検証法を確立する。この際申請者の研究室の坂井南美氏らと協力し、従来よりも対象天体を拡張し、若い原始星段階の天体も含めた様々な進化段階の天体に対して観測と観測予測を行う。

さらに、申請者らの円盤化学反応計算の手法を応用し、新たに系外ガス惑星大気化学反応計算を行う。初期元素組成として物理構造と化学構造の進化を同時に扱う計算の結果を用いる。これらの計算を通じ系外惑星大気化学構造と円盤化学構造を理論・観測の両面から比較する事で、惑星形成領域に制限を加える。

4. 研究成果

原始星・原始惑星系円盤・太陽系外惑星大気化学構造研究を通じ、多様な系外惑星の大気構

造・分布も説明可能な普遍的な惑星形成理論の構築を目指している。この目標のもと理論の観測的検証も視野に入れ、原始惑星系円盤・惑星大気・原始星天体の化学構造に関する研究等を行ってきた。また化学反応ネットワーク計算を用いた理論モデルに基づき、将来の赤外線・電波望遠鏡の観測計画への提言も行ってきた。これらの研究内容の惑星科学分野における重要性が評価され、研究代表者は2023年5月に日本惑星科学会2022年度最優秀研究者賞を受賞した。

以下、研究成果の中から2つの査読論文に関連した研究について詳述する。

(1) 太陽系外惑星大気と円盤の化学構造の関係 -元素組成比と惑星形成環境-

該当論文：Notsu et al. (2022, ApJ, 936, 188)

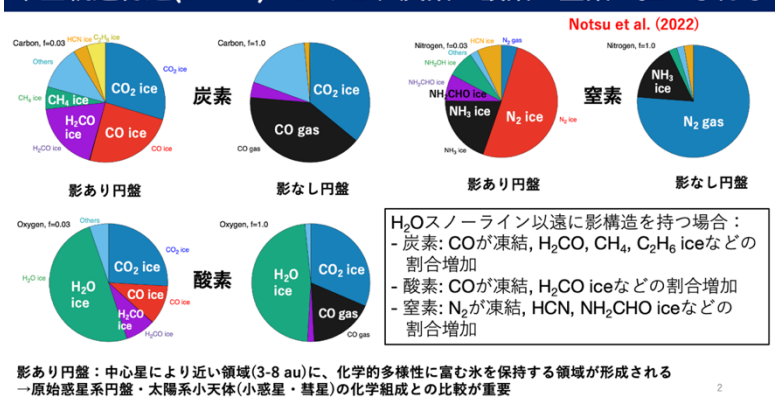
原始惑星系円盤の化学構造の理解は、円盤観測や惑星大気観測、さらには彗星や小惑星などの太陽系小天体の観測結果を解釈する上でも重要である。近年の円盤輻射輸送計算 (e.g., Ueda et al. 2019, ApJ, 871, 10) によると、ダストが動径方向に濃集する領域が存在する場合、中心星からの放射が遮られる事で影構造が形成され、円盤内側領域においても低温な領域が形成される可能性が示唆されている。最近 Ohno & Ueda (2021, A&A, 651, L2) は、T Tauri 円盤 (原始太陽系円盤) において H₂O スノーライン (= 1.3 au) 前後で 30 倍程度以上のダスト面密度差があれば、その外側 (現在の木星軌道付近) では影になる事で温度が 30K を下回り、N₂ や希ガスなどがダスト上に凍結可能である事を示した。

そこで発表者らは同じ円盤物理構造モデルの下で詳細なガス・ダスト化学反応ネットワーク計算を実施し、各分子種のスノーライン位置や組成分布、元素組成比が受ける影響等を調べた (Notsu et al. 2022)。その結果、影構造を持つ円盤では HCN, CH₄, H₂CO など先行研究 (Ohno & Ueda 2021) では考慮されていない分子も豊富に存在する事、2 au 以遠で CO₂ や CH₄, C₂H₆ などがダスト上に凍結する事、円盤ガス C/O 比が広範囲で均質 (概ね 1) になる一方 窒素-酸素組成比 (N/O 比) が影領域で著しく増加する事などが分かった。この事から、N/O 比が惑星形成環境 (影領域での形成か否か) の指標として使用できる可能性が示唆された (図 3)。

また有機分子に着目すると、影領域では H₂CO や CH₃OH などの飽和有機分子の存在量が増加する一方、不飽和有機分子 (C₂H₂, C₃H₂, HCOOCH₃ など) の存在量が減少する事などが分かった。これは前者の生成には冷たいダスト上の水素付加反応が重要である一方、後者の生成にはガス中での反応や暖かいダスト上でのラジカル同士の衝突反応が重要である点に関わっていると考えられる。これらの結果は主著査読論文 (Notsu et al. 2022) として出版済みである。論文の中では太陽系内の彗星・小惑星の化学組成への影響も議論した。

木星軌道付近(5.3au)における、炭素・酸素・窒素の担い手分子

図 3: 影構造(低温領域)を持つ原始惑星系円盤赤道面の詳細な化学構造計算の結果例



(2) 原始星天体の化学的多様性: H₂O 及び関連分子組成に対する X 線放射の影響

該当論文：Notsu et al. (2021, A&A, 650, A180)

近年の観測により、複数の低質量原始星周りの降着エンベロープ内縁高温部において、分子雲の H₂O 氷組成 (~10⁻⁴) と比べ 2 桁以上低い H₂O ガス分子組成が報告されている (e.g., Persson et al. 2016, A&A, 590, A33)。原始星の X 線放射による H₂O 分子の破壊反応が効いている可能性があるが、その詳細な化学反応過程や、代わりに酸素原子を保持する関連分子の組成等は詳しく調べられていなかった。一方で近年 Class 0 原始星においても強い X 線放射の存在が理論・観測の両面から示唆されている事 (e.g., Takasao et al. 2019, ApJ, 878, L10) 等もあり、X 線が原始星天体の物理・化学構造進化に与える影響を議論する重要性が高まっている。そこで応募者らは、低質量 Class 0 原始星周りのエンベロープの詳細な化学反応ネットワーク計算を行い、H₂O や関連分子組成の X 線放射に対する依存性等を調べた。その結果原始星の X 線放射が比較的強い場合、H₂O スノーラインの内側で X 線由来の光解離反応やイオン・分子反応により H₂O ガス分子組成が減少する事、及び H₂O スノーラインの外側で X 線由来の光脱離反応により H₂O ガス分子の組成が増加する事が示された。また H₂O ガス分子の破壊に伴い、O 及び O₂ ガス分子の組成が著しく増加し、X 線放射の影響が小さい CO と合わせて、酸素原子のほとんどを保持する事が分かった (図 4)。そして原始星天体において HCO⁺ や CH₃OH ガス分子の組成分布は H₂O スノーラインの指標としても用いられるが、これらの分子組成が X 線放射に対する強い依存性を示す事等も分かつ

た。応募者らはこれらの計算結果を査読あり論文(Notsu et al. 2021)にまとめ、ALMA・野辺山 45m 電波望遠鏡での原始星天体の分子輝線観測提案に繋げている。また、将来望遠鏡(ngVLA, LST 等)での観測可能性の議論にも繋げている。

総酸素原子組成に対する主要な酸素含有分子の割合 (H₂Oスノーライン内側)

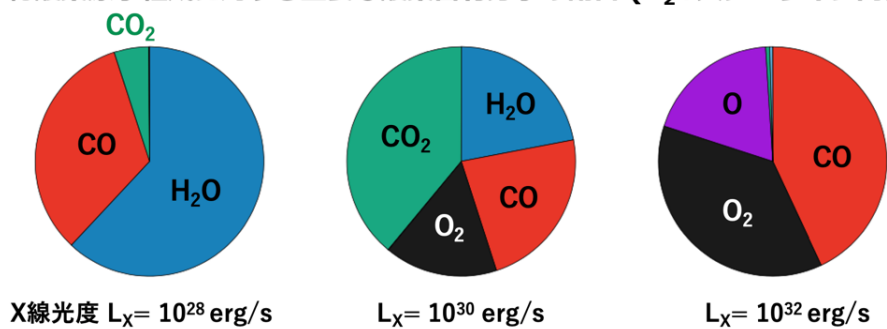


図 4: X 線光度を様々に変えた原始星エンベロープモデルにおける、総酸素原子組成に対する主要な酸素含有分子の割合

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Notsu Shota, Ohno Kazumasa, Ueda Takahiro, Walsh Catherine, Eistrup Christian, Nomura Hideko	4. 巻 936
2. 論文標題 The Molecular Composition of Shadowed Proto-solar Disk Midplanes Beyond the Water Snowline	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 188 ~ 188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac87fa	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Notsu Shota, van Dishoeck Ewine F., Walsh Catherine, Bosman Arthur D., Nomura Hideko	4. 巻 650
2. 論文標題 X-ray-induced chemistry of water and related molecules in low-mass protostellar envelopes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A180 ~ A180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202140667	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kamp I., Honda M., Nomura H.,, Notsu S., et al.	4. 巻 38
2. 論文標題 The formation of planetary systems with SPICA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Australia	6. 最初と最後の頁 e055
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/pasa.2021.31	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Shota Notsu, Christian Eistrup, Catherine Walsh, Hideko Nomura	4. 巻 499
2. 論文標題 The composition of hot Jupiter atmospheres assembled within chemically evolved protoplanetary discs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2229 ~ 2244
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa2944	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Shota Notsu	4. 巻 1
2. 論文標題 Water Snowline in Protoplanetary Disks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Springer Theses	6. 最初と最後の頁 1-134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-7439-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計44件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Shota Notsu
2. 発表標題 X-ray induced chemistry of water and related molecules in low-mass protostellar envelopes
3. 学会等名 Astrochemical Frontiers 2021 - Quarantine Edition 2 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shota Notsu
2. 発表標題 X-ray-induced chemistry of water and related molecules in low-mass protostellar envelopes
3. 学会等名 RSC/RAS Astrochemistry Group Meeting 2021 - Astrochemistry in the JWST Era (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shota Notsu
2. 発表標題 X-ray-induced chemistry of water and related molecules in low-mass protostellar envelopes
3. 学会等名 Workshop on Interstellar Matter 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野津翔太
2. 発表標題 GREX-PLUSによる惑星サイエンス
3. 学会等名 GREX-PLUS サイエンス検討会 FY2021 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野津翔太、大野和正、植田高啓、野村英子、Catherine Walsh, Christian Eistrup
2. 発表標題 H2Oスノーライン以遠に影構造を持つ原始惑星系円盤の赤道面化学構造
3. 学会等名 新学術領域「新しい星形成理論によるパラダイムシフト」2021年度大研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野津翔太
2. 発表標題 アルマ望遠鏡で探る惑星形成と水・有機分子の起源
3. 学会等名 宇宙電波懇談会シンポジウム2021 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野津翔太、大野和正、植田高啓、野村英子、Catherine Walsh, Christian Eistrup
2. 発表標題 H2Oスノーライン以遠に影構造を持つ原始惑星系円盤の詳細化学構造 II. 有機分子組成 & 電離度・初期化学組成依存性
3. 学会等名 日本天文学会 2022年春季年会 星・惑星形成(原始惑星系円盤)セッション
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野津翔太
2. 発表標題 星惑星形成
3. 学会等名 2021年度光赤天連シンポジウム 「2030年代の戦略的中型をどうするのか」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野津翔太、Ewine F. van Dishoeck, Catherine Walsh, Arthur D. Bosman, 野村英子
2. 発表標題 低質量原始星エンベロープ(と円盤)の分子組成に対するX線放射の影響
3. 学会等名 2021年 星・惑星形成研究会@博多
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野津翔太、Ewine F. van Dishoeck, Catherine Walsh, Arthur D. Bosman, 野村英子
2. 発表標題 低質量原始星エンベロープの分子組成に対するX線放射の影響
3. 学会等名 第34回 理論懇シンポジウム 2021 「挑戦的アイデアで広げる宇宙物理の可能性」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野津翔太、植田高啓、大野和正、野村英子、Catherine Walsh, Christian Eistrup
2. 発表標題 H2Oスノーライン以遠に影構造を持つ原始惑星系円盤の赤道面化学構造
3. 学会等名 太陽系天体若手研究会 2021 (SSBW2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野津翔太
2. 発表標題 X-ray-induced chemistry of water and related molecules in low-mass protostellar envelopes
3. 学会等名 RIKEN r-EMU Workshop 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野津翔太、植田高啓、大野和正、野村英子、Catherine Walsh, Christian Eistrup
2. 発表標題 H2Oスノーライン以遠に影構造を持つ原始惑星系円盤の赤道面化学構造
3. 学会等名 日本惑星科学会 2021年秋季講演会 原始惑星系円盤1 セッション
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野津翔太、坂井南美、大橋聡史
2. 発表標題 次世代地上単一鏡の分子輝線観測で探る、原始星エンベロープの電離率と化学的多様性の起源
3. 学会等名 日本天文学会 2021年秋季年会 企画セッション：次世代サブミリ波-テラヘルツ地上単一鏡
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野津翔太、坂井南美、野村英子、Ewine F. van Dishoeck, Catherine Walsh, Arthur D. Bosman
2. 発表標題 ngVLAで探る、原始星エンベロープと円盤の分子組成に対するX線放射の影響
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合(JpGU) 2021年大会 セッション：宇宙における物質の形成と進化
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野津翔太
2. 発表標題 Astrochemistry and molecular composition in protoplanetary disks
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合(JpGU) 2021年大会 セッション：アストロバイオロジー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野津翔太
2. 発表標題 Investigating the impact of X-rays on the molecular abundances of inner envelopes and disks around low-mass protostars with ALMA and ngVLA
3. 学会等名 Linking the science of large interferometers in the 2030s
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野津翔太、大野和正、植田高啓、野村英子、Catherine Walsh, Christian Eistrup
2. 発表標題 H2スノーライン以遠に影構造を持つ原始惑星系円盤の詳細化学構造
3. 学会等名 日本天文学会 2021年秋季年会 星・惑星形成(原始惑星系円盤)セッション
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shota Notsu
2. 発表標題 X-ray induced chemistry for water and related molecules in low-mass protostar envelopes
3. 学会等名 European Astronomical Society 2020 Annual Meeting (EAS Leiden 2020, Virtual Meeting) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shota Notsu, Ewine F. van Dishoeck, Catherine Walsh, Arthur D. Bosman, Hideko Nomura
2. 発表標題 X-ray induced chemistry for water and related molecules in low-mass protostar envelopes
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (Virtual Meeting)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野津 翔太, Ewine F. van Dishoeck, Catherine Walsh, Arthur D. Bosman, 野村 英子
2. 発表標題 低質量原始星エンベロープのH2O関連分子組成に対するX線放射の影響
3. 学会等名 日本天文学会2020年秋季年会, 星・惑星形成(星形成)セッション (オンライン開催)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野津 翔太
2. 発表標題 低質量原始星エンベロープのH2O関連分子組成に対するX線放射の影響
3. 学会等名 新学術領域「星惑星形成」2020年大研究会 (オンライン開催)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野津 翔太, Christian Eistrup, Catherine Walsh, 野村 英子
2. 発表標題 詳細な円盤化学進化計算を初期条件としたホットジュピター大気の平衡化学構造
3. 学会等名 日本惑星科学会 2020年秋季講演会 (オンライン開催)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野津 翔太
2. 発表標題 低質量原始星エンベロープのH2O関連分子組成に対するX線放射の影響
3. 学会等名 分子雲から原始星誕生までを追う ~新時代の星形成モデル構築に向けて~ (オンライン開催)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shota Notsu
2. 発表標題 Water and 13C17O lines, and multiple ring and gap structures of the protoplanetary disk around HD 163296 observed by ALMA
3. 学会等名 Five years after HL Tau: a new era in planet formation (Virtual Meeting) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野津 翔太
2. 発表標題 低質量原始星エンベロープと円盤のH2O関連分子組成に対するX線放射の影響
3. 学会等名 惑星系形成若手研究会 (オンライン開催)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shota Notsu
2. 発表標題 X-ray induced chemistry for water and related molecules in low-mass protostar envelopes
3. 学会等名 From cores to codes: planning for the next steps in planet formation (Virtual Meeting) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野津 翔太, 坂井 南美, 野村 英子, Ewine F. van Dishoeck, Catherine Walsh, Arthur D. Bosman
2. 発表標題 ngVLAで探る、原始星エンベロープと円盤の分子組成に対するX線放射の影響
3. 学会等名 日本天文学会 2021年春季年会, 企画セッション: 次世代 Very Large Array (ngVLA) で切り拓く新しい天文学の地平
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shota Notsu
2. 発表標題 FAUST: Chemical layered structures in the disk around a low-mass Class 0 protostar NGC 1333 IRAS 4C
3. 学会等名 FAUST 8th plenary meeting at Univ. of Tokyo (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shota Notsu
2. 発表標題 The Molecular Composition of Shadowed Proto-solar Disk Midplanes Beyond the Water Snowline
3. 学会等名 East-Asian ALMA Science Workshop 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shota Notsu
2. 発表標題 The Molecular Composition of Shadowed Proto-solar Disk Midplanes Beyond the Water Snowline
3. 学会等名 A half century of millimeter and submillimeter astronomy: Impact on astronomy/astrophysics and the future (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shota Notsu
2. 発表標題 X-ray-induced chemistry of water and related molecules in protostellar envelopes and disks
3. 学会等名 Molecules in Extreme Environments: Near and Far (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shota Notsu
2. 発表標題 Chemical layered structures in the NGC1333-IRAS 4C disk
3. 学会等名 FAUST 7th plenary meeting at IPAG (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shota Notsu
2. 発表標題 The Molecular Composition of Shadowed Proto-solar Disk Midplanes Beyond the Water Snowline
3. 学会等名 Symposium on Next Generation Astrochemistry (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野津 翔太, 坂井 南美, Ziwei E. Zhang, Yichen Zhang, Ana Lopez-Sepulcre, Cecilia Ceccarelli, Claudio Codella, Claire J. Chandler, 山本智, FAUST Team Members
2. 発表標題 FAUST: 低質量 Class 0 原始星天体 NGC 1333 IRAS 4C 円盤の化学層状構造
3. 学会等名 日本天文学会 2023年春季年会, 企画セッション: ALMAサーベイ観測による星・円盤・惑星系形成研究の進展
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野津 翔太
2. 発表標題 ALMA・GREX-PLUSの水輝線観測による原始惑星系円盤のH20スノーライン位置同定
3. 学会等名 新学術領域「星・惑星形成」2022年度大研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野津 翔太
2. 発表標題 将来の中間赤外線・遠赤外線宇宙望遠鏡が切り拓く原始惑星系円盤・惑星形成サイエンス
3. 学会等名 2040年代のスペース天文学研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野津 翔太
2. 発表標題 H20スノーライン以遠に影構造を持つ原始惑星系円盤の詳細化学構造
3. 学会等名 計算アストロバイオロジー2022 研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野津 翔太, 野村 英子, 井上昭雄
2. 発表標題 次世代赤外線天文衛星 GREX-PLUS が切り拓く原始惑星系円盤サイエンス
3. 学会等名 日本惑星科学会2022年秋季講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野津 翔太, 大小田 結貴, 坂井 南美, 大和 義英, 相川 祐理, 野村 英子
2. 発表標題 ALMA 分子輝線観測で迫る低質量 Class 0 原始星天体 IRAS15398-3359 の円盤 H ₂ O, CO ₂ スノーライン
3. 学会等名 日本天文学会 2022年秋季年会, 星・惑星形成(星形成)セッション
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野津 翔太
2. 発表標題 ガス惑星大気のC/N/O/S元素組成や同位体: 円盤化学との関連+観測可能性
3. 学会等名 系外惑星大気研究会 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野津 翔太, 大野 和正, 植田 高啓, 野村 英子, Catherine Walsh, Christian Eistrup
2. 発表標題 H ₂ Oスノーライン以遠に影構造を持つ原始惑星系円盤の赤道面化学構造
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 (JpGU) 2022年大会, セッション:宇宙における物質の形成と進化
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野津 翔太
2. 発表標題 H ₂ Oスノーライン以遠に影構造を持つ原始惑星系円盤の詳細化学構造
3. 学会等名 第35回 理論懇シンポジウム 2022 「理論天文学・宇宙物理学の広がり:さらなる発展に向けて」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野津 翔太, 大野 和正, 植田 高啓, 野村 英子, Catherine Walsh, Christian Eistrup
2. 発表標題 H2Oスノーライン以遠に影構造を持つ原始惑星系円盤の赤道面化学構造 II. 有機分子組成 & 電離度・初期化学組成依存性
3. 学会等名 日本惑星科学会2022年秋季講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 野津翔太	4. 発行年 2022年
2. 出版社 日本天文学会	5. 総ページ数 11
3. 書名 天文月報 2022年4月号 「低質量原始星エンベロープと円盤の化学進化：H2Oスノーラインと中心星X線放射」	

1. 著者名 本田 充彦, 野村 英子, 野津 翔太, SPICAサイエンス検討会・惑星形成班	4. 発行年 2020年
2. 出版社 日本天文学会	5. 総ページ数 10
3. 書名 天文月報 2020年12月号 "SPICA特集 (2) SPICAで探る惑星形成過程の物質進化"	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Website of Shota Notsu https://sites.google.com/view/shotanotsu/ SPICAサイエンス検討会 最終報告書 https://www.ir.isas.jaxa.jp/SPICA/SPICA_HP/suishin/docs/SPICA_final_report_20201201.pdf The ngVLA-J memo series https://ngvla.nao.ac.jp/researcher/memo/</p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
オランダ	Leiden University	University of Groningen		
英国	University of Leeds	Queen's University Belfast		
米国	University of California, Santa Cruz	University of Virginia	University of Michigan	
フランス	University Grenoble Alpes			
ドイツ	MPE	Max Planck Institute for Astronomy		