

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25400229

研究課題名(和文) 原始惑星系円盤内のダスト・ガス・化学進化：汎惑星形成論と太陽系内物質起源の検証

研究課題名(英文) Evolution of dust, gas and chemistry in protoplanetary disks: diagnosing planet formation theory and origin of materials in the solar system

研究代表者

野村 英子 (NOMURA, Hideko)

東京工業大学・理学院・准教授

研究者番号：20397821

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：惑星形成の母胎である原始惑星系円盤内において、生命に繋がりうる有機分子が生成される過程や、多様な惑星の形成に繋がるガス・ダスト進化の物理過程を、輻射輸送計算や化学反応計算などを用いた詳細なモデルと、大型電波干渉計ALMAなどによる最新の赤外線・電波天文観測にもとづき調べた。また、ガスやダストの物性や化学的・分光学的特徴を利用して、円盤内物理・化学過程の観測的検証法を提案した。その際、中心星質量や金属量、若い星団における近傍の大質量星からの照射など、環境効果が円盤物理・化学進化におよぼす影響にも着目した。

研究成果の概要(英文)：Protoplanetary disks are the birthplace of planets. We studied the formation process of complex organic molecules, leading to life, and the evolution of gas and dust, leading to origin of diversity of exoplanets, in the disks, based on a detailed disk model, using radiative transfer calculations and chemical reaction network, and the latest infrared and (sub)millimeter observations, using ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) and other facilities. We proposed observational methods to diagnose physical and chemical processes in the disks, taking advantage of physical, chemical and spectroscopic properties of gas and dust. We also studied the environmental effects on the physical and chemical evolution in the disks, such as the properties of the central star, the metallicity, and the irradiation from nearby massive star(s) in young star clusters.

研究分野：星・惑星系形成の理論天文学

キーワード：理論天文学 星・惑星系形成 原始惑星系円盤

1. 研究開始当初の背景

観測技術の進展により、原始惑星系円盤の詳細観測とモデルの比較による円盤物理・化学構造の解明に関する研究が盛んに行われている。特に大型ミリ波・サブミリ波望遠鏡 ALMA は、円盤内縁の惑星形成領域の観測を可能にする。一方で、太陽系外惑星探査により発見された、太陽系内惑星と性質が大きく異なる系外惑星を説明する惑星形成論の研究が進んでいる。また、円盤内の物質進化を調べることにより、太陽系内物質の起源を探る研究もおこなわれている。

研究代表者はこれまで、円盤モデル構築の分野で世界的に先駆的な研究を行ってきた。特に、円盤内のダスト進化の影響も取り入れたガス・ダスト温度、密度分布のモデル計算や、降着流や乱流、円盤風などのガス流の影響を取り入れた化学反応計算、また、これらの円盤内物理・化学過程の観測的検証法に関する研究に取り組んできた(e.g., Nomura et al. 2007, Heinzeller et al. 2011)。

2. 研究の目的

本研究では、

(A) 原始惑星系円盤の物理・化学過程を包括的に取り入れた進化モデルの構築

(B) ALMA 等の円盤観測との比較による(A)の「包括的円盤進化モデル」の検証

の手法により、惑星形成論の検証と太陽系内物質の起源解明を目指す。特に、中心星質量や金属量、若い星団における近傍の大質量星からの照射が円盤物理・化学構造におよぼす影響を調べる。また、円盤内ダスト移動や有機分子生成の観点より、太陽系内物質の起源を探る。さらに、円盤内ガス・ダストの物性や化学的特徴を利用した、円盤物理・化学進化の観測的検証法の開発に取り組む。

3. 研究の方法

(A) 原始惑星系円盤のガス・ダスト・化学進化モデルの構築：研究代表者らのこれまでの研究を進展させ、各物理・化学過程の相互作用の取り扱いに注意を払い、ガス降着や光蒸発等のガス進化、ダスト進化、化学進化計算の開発を行う。最終的にはこれらを統合し、包括的円盤進化モデルを構築する。

(B) 原始惑星系円盤進化モデルの観測的検証：これまでに得られている赤外線望遠鏡や今後得られるミリ波サブミリ波干渉計 ALMA のデータとモデル計算を比較し、円盤内のダスト進化やガス流、有機物生成等の惑星形成領域の物理・化学過程、ひいては惑星形成論を検証する。一方で太陽系内物質から得られる情報も加味し、その起源を議論する。

4. 研究成果

(1) 原始惑星系円盤における有機分子生成

最新の塵表面反応ネットワークを取り入れた化学反応計算を行い、原始惑星系円盤における複雑な有機分子生成について調べた。

その結果、半径 50AU 以内の暖かな領域で、ラジカル同士の塵表面反応による複雑な有機分子生成が進むことを示した。モデル計算の結果は、分子輝線観測から見積もられた彗星中の複雑な有機分子の存在量とよい一致を示し、彗星中の複雑な有機分子が円盤内の塵表面反応で生成された可能性を示唆した。また輻射輸送計算にもとづき、ALMA による円盤からのメタノール分子輝線の検出、すなわち、円盤内の塵表面反応の観測的検証の可能性を示した(雑誌論文[21])。

さらにこの観測予測にもとづき ALMA 観測提案を行い、原始惑星系円盤からのメタノール輝線を初検出した。観測されたメタノールは円盤外縁の低温領域に存在し、また、メタノールと水の存在比は、彗星のものと一致していた。これは理論予測の通り、塵表面で生成されたメタノールが光脱離した結果と考えられる(雑誌論文[11])。

本研究は、詳細な理論モデルにもとづいて観測予測を行い、原始惑星系円盤からの複雑な有機分子輝線の検出に成功した世界初の研究であり、今後の円盤内の有機分子生成と太陽系内有機分子との関連の研究に大きなインパクトを与えた。プレスリリースが行われ、また、Nature index や NASA Astrobiology Newsletter などでも取り上げられた。

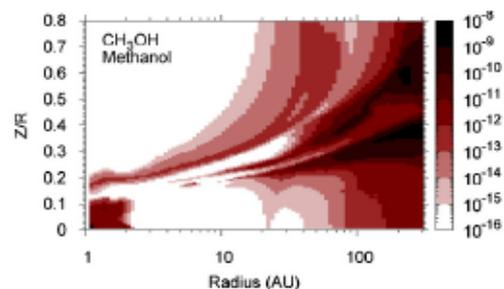


図1：気相中のメタノール存在量分布の計算結果(雑誌論文[21])

(2) 原始惑星系円盤における惑星形成の ALMA 観測

ALMA による TW Hya まわりの原始惑星系円盤のダスト連続光の観測により、ギャップ・リング構造の存在を発見した。さらに2つの波長帯で高空間分解能観測を行い、ギャップ領域において大きなダストが枯渇している可能性を示した。円盤内において惑星が形成されるとガスのギャップが形成され、大きなダストがギャップの外側に異動し、ギャップ内で大きなダストが枯渇することが理論的に示唆されている。理論予測と比較すると、海王星よりやや大きめの惑星が存在すると観測されたギャップの深さが説明できた(雑誌論文[12][7])。

本研究は、ALMA 観測所による HL Tau 円盤に次いで世界で2番目に円盤内のギャップ・リング構造を発見したものであり、年老いた円盤で、世界で初めてギャップ内の大きなダストの枯渇、すなわち惑星の存在を示唆した。本研究はプレスリリースされた。

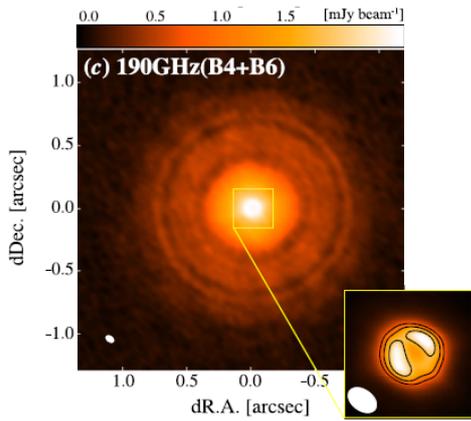


図2：TW Hya 円盤のダスト放射の ALMA 観測 (雑誌論文[7])

(3) 原始惑星系円盤のスノーラインの同定

化学反応計算と輻射輸送計算にもとづき、円盤からの水輝線の高分散分光観測により、H₂O スノーラインを検出する手法を提案した。モデル計算の結果、アインシュタイン A 係数が小さく、かつ励起エネルギーが数百~千度程度の遷移線が最も適していることを示した。さらに、存在量の小さい H₂¹⁸O の輝線は、赤道面付近のスノーラインをトレースすることを示した(雑誌論文[2][5][8])。

本研究にもとづき H₂O スノーラインの検出法が確立すれば、円盤内の岩石・ガス惑星形成理論や、地球などの岩石惑星の水の起源の研究に大きなインパクトを与えると考えられる。本研究の理論予測にもとづき ALMA 観測が実施されており、また、次世代赤外線天文衛星 SPICA に搭載予定の高分散分光器の重要サイエンスに選ばれた(学会発表[17])。

(4) 原始惑星系円盤内ダスト進化

① 輻射圧による結晶珪酸塩ダストの円盤外縁への移動

原始惑星系円盤表層部において中心星からの輻射圧により、ダストが円盤外縁に移動する過程を調べた。その結果、ダストが高空隙率であれば、効率よく円盤外縁に運ばれる可能性が示された。スターダストミッションで彗星内に発見された結晶化珪酸塩の円盤内縁から外縁への輸送プロセスを示唆する、重要な結果が得られた(雑誌論文[17])。

② 高空隙率ダストの光学的特徴

高空隙率ダストの光学的特徴を T-Matrix 法を用いて調べ、RGD 理論による近似が、従来よく用いられてきた平均媒質近似に比べて非常に高精度で近似できることを示した。今後の観測との比較による円盤内の高空隙率ダストの存在の検証に有用な、重要な結果が得られた(雑誌論文[10])。

③ ダストの整列と偏光観測への影響

輻射トルクによるダストの整列の最新の理論にもとづき、円盤内のダスト整列機構を調べた。その結果、従来の予想を覆し、特に長波長側ではダストは磁場ではなく輻射場に対して整列することを示した。今後の(サブ)ミリ波・中間赤外線での円盤偏光観測結

果の解釈に大きく寄与する、重要な結果が得られた(雑誌論文[3])。

(5) 原始惑星系円盤ガス不安定性

① 回転不安定性

乱流粘性による角運動量輸送で進化する円盤ガス面密度の自己相似解が、円盤外縁部において回転不安定であることを示した。この不安定性は、円盤内の大きな面密度変化を伴う構造に応用可能であり、ギャップを伴う円盤進化を考える上で重要な結果が得られた(雑誌論文[20])。

② ロスビー波不安定性

円盤内ギャップのような面密度変化にともなうロスビー波不安定性の線形解析を、幅広いパラメータ範囲の面密度変化に対して行った。ALMA で観測されている三日月状の非軸対称構造への応用が期待される、重要な結果が得られた(雑誌論文[9])。

(6) 原始惑星系円盤の物理・化学構造に対する環境効果の影響

① 光蒸発過程への金属量の影響

中心星からの紫外線照射により加熱された円盤ガスの光蒸発に対する金属量の影響を、輻射流体シミュレーションにより調べた。その結果、0.3 倍から 1 倍程度の太陽金属量の範囲では、金属量が低いほど円盤の寿命が短くなるという観測結果を再現した一方で、金属量が 0.1 太陽金属量以下になると逆に円盤の寿命は長くなった。本研究は、輻射流体シミュレーションにもとづき円盤光蒸発過程の金属量依存性を調べた世界初の研究であり、本研究により、今後の惑星形成への金属量依存性の影響の議論につながる、重要な結果が得られた(雑誌論文[1])。

② 化学構造への中心星質量の影響

褐色矮星、T Tauri 型星、Herbig Ae 星周囲の円盤内縁部の化学構造のモデル計算を行い、スピッツァー望遠鏡で観測された星の質量/光度による化学構造の違いに解釈を与えた。また円盤内縁部のガスと氷中の炭素/酸素/窒素比の違いを調べ、円盤内で形成される惑星大気との関連を議論した。本研究により、今後、系外惑星大気観測より惑星形成過程へ制限を与えるための重要な結果が得られた(雑誌論文[15])。

③ 化学構造への大質量星からの照射の影響

若い星団内における近傍の大質量星からの照射影響下にある円盤の化学構造及び分子輝線の観測のモデル計算を行い、特に CN, HCN, HCO⁺などの円盤表層部から放射される高励起輝線強度に影響を与えることを示した。今後の ALMA 観測による円盤光蒸発過程の観測的検証に繋がる、重要な結果が得られた(雑誌論文[27])。さらに円盤内ガス降着流の影響も考慮し、円盤内有機分子生成へ及ぼす影響も調べた。その結果、大質量星からの照射により円盤温度が上昇するため、蒸発温度の低い分子の生成率が孤立系に比べ著しく減少することが示された。太陽系も若い星

団内で形成されたことが示唆されており、今後の彗星内の有機分子との比較などにより、太陽系形成環境に制限を与える、重要な結果が得られた(雑誌論文[23])。

また、星惑星形成分野の最大の研究会である Protostars & Planets VI の集録の円盤モデルセクションを執筆した(雑誌論文[22])。

5. 主な発表論文等

(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 32 件) (以下は全て査読あり)

1. Nakatani, R., Hosokawa, T., Yoshida, N., Nomura, H., Kuiper, R. 2018, Radiation Hydrodynamics Simulations of Photoevaporation of Protoplanetary Disks by Ultraviolet Radiation: Metallicity Dependence, *Astrophysical J.*, 857, id.57 (23pp) 10.3847/1538-4357/aab70b
2. Notsu, S., Nomura, H., Walsh, C., Honda, M., Hirota, T., Akiyama, E. & Millar, T.J. 2018, Candidate Water Vapor Lines to Locate the H₂O Snowline through High-dispersion Spectroscopic Observations. III. Sub-millimeter H₂¹⁶O and H₂¹⁸O Lines, *Astrophysical J.*, 855, id.62 (16pp) 10.3847/1538-4357/aaa72
3. Tazaki, R., Lazarian, A. & Nomura, H. 2017, Radiative Grain Alignment in Protoplanetary Disks, *Astrophysical J.*, 839, id.56(17pp) 10.3847/1538-4357/839/1/56
4. Miura, H., Yamamoto, T., Nomura, H., Nakamoto, T., Tanaka, K.K., Tanaka, H. & Nagasawa, M. 2017, Comprehensive Study of Thermal Desorption of Grain-surface Species by Accretion Shocks around Protostars, *Astrophysical J.* 839, id.47(16pp) 10.3847/1538-4357/aa67df
5. Notsu, S., Nomura, H., Ishimoto, D., Walsh, C., Honda, M., Hirota, T. & Millar, T.J. 2017, Candidate Water Vapor Lines to Locate the H₂O Snowline through High-dispersion Spectroscopic Observations. II. The Case of a Herbig Ae Star, *Astrophysical J.*, 836, id.118(23pp) 10.3847/1538-4357/836/1/118
6. Walsh, C., Juhasz, A., Meeus, G., Dent, W.R.F., Maud, L.T., Aikawa, Y., Millar, T.J., Nomura, H., 2016, ALMA Reveals the Anatomy of the mm-sized Dust and Molecular Gas in the HD 97048 Disk *Astrophysical J.*, 831, id.200(15pp) 10.3847/0004-637X/831/2/200
7. Tsukagoshi, T., Nomura, H., Muto, T., Kawabe, R., Ishimoto, D., Kanagawa, K. D., Okuzumi, S., Ida, S., Walsh, C., Millar, T.J. 2016, A Gap with a Deficit of Large Grains in the Protoplanetary Disk around TW Hya, *Astrophysical J.*, 829, article id.L35(6pp) 10.3847/2041-8205/829/2/L35
8. Notsu, S., Nomura, H., Ishimoto, D., Walsh, C., Honda, M., Hirota, T., Millar, T.J., 2016, Candidate Water Vapor Lines to Locate the H₂O Snowline through High-dispersion Spectroscopic Observations. I. The Case of a T Tauri Star, *Astrophysical J.*, 827, id.113(20pp) 10.3847/0004-637X/827/2/113
9. Ono, T., Muto, T., Takeuchi, T., Nomura, H. 2016, Parametric Study of the Rossby Wave Instability in a Two-dimensional Barotropic Disk, *Astrophysical J.*, 823, id.84(21pp) 10.3847/0004-637X/823/2/84
10. Tazaki, R., Tanaka, H., Okuzumi, S., Kataoka, A., Nomura, H., 2016, Light Scattering by Fractal Dust Aggregates. I. Angular Dependence of Scattering, *Astrophysical J.*, 823, id.70(16pp) 10.3847/0004-637X/823/2/70
11. Walsh, C. Loomis, R.A., Oberg, K.I., Kama, M., van't Hoff, M.L.R., Millar, T.J., Aikawa, Y., Herbst, E. Wicidicus Weaver, S., Nomura, H., 2016, First Detection of Gas-phase Methanol in a Protoplanetary Disk, *Astrophysical J.*, 823, id.L10(7pp) 10.3847/2041-8205/823/1/L10
12. Nomura, H., T. Tsukagoshi, R. Kawabe, D. Ishimoto, S. Okuzumi, T. Muto, K.D. Kanagawa, S. Ida, C. Walsh, T.J. Millar, X.-N. Bai, 2016, *Astrophysical J.* 819, id.L7(7pp) 10.3847/2041-8205/819/1/L7
13. Muto, T., T. Tsukagoshi, M. Momose, T. Hanawa, H. Nomura, M. Fukagawa, K. Saigo, A. Kataoka, Y. Kitamura, S.Z. Takahashi, S. Inutsuka, T. Takeuchi, H. Kobayashi, E. Akiyama, M. Honda, H. Fujiwara, H. Shibai, 2015, Significant gas-to-dust ratio asymmetry and variation in the disk of HD 142527 and the indication of gas depletion, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 67, id.122(28pp) 10.1093/pasj/psv098
14. Muranushi, T., E. Akiyama, S. Inutsuka, H. Nomura, S. Okuzumi, 2015, Development of a Method for the Observation of Lightning in Protoplanetary Disks Using Ion Lines, *Astrophysical J.*, 815, id.84 (10pp) 10.1088/0004-637X/815/2/84
15. Walsh, C., H. Nomura & E. van Dishoeck, 2015, The molecular composition of the planet-forming regions of protoplanetary disks across the luminosity regime,

- Astronomy & Astrophysics*, 562, id.A88 (28pp) 10.1051/0004-6361/201526751
16. Aikawa, Y., K. Furuya, H. Nomura, C. Qi, 2015, Analytical Formulae of Molecular Ion Abundances and the N₂H⁺ Ring in Protoplanetary Disks, *Astrophysical J.*, 807, id.120 (19pp)
10.1088/0004-637X/807/2/120
 17. Tazaki, R. & Nomura, H. 2015, Outward Motion of Porous Dust Aggregates by Stellar Radiation Pressure in Protoplanetary Disks, *Astrophysical J.*, 799, id.119 (9pp)
10.1088/0004-637X/799/2/119
 18. Walsh, C., Juhasz, A., Pinilla, P., Harsono, D., Mathews, G.S., Dent, W.R.F., Hogerheijde, M.R., Birnstiel, R., Meeus, G., Nomura, H., Aikawa, Y., & Millar, T.J., Sandell, G. 2014, ALMA Hints at the Presence of two Companions in the Disk around HD 100546, *Astrophysical J.*, 791, id.L6 (6pp) 10.1088/2041-8205/791/1/L6
 19. Kataoka, A., S. Okuzumi, H. Tanaka, & H. Nomura, 2014, Opacity of Fluffy Dust Aggregates, *Astronomy & Astrophysics*, 568, id.A42 (15pp)
10.1051/0004-6361/201323199
 20. Ono, T., H. Nomura, & T. Takeuchi, 2014, Rotational Instability in the Outer Region of Protoplanetary Disks, *Astrophysical J.*, 787, id.37 (7pp) 10.1088/0004-637X/787/1/37
 21. Walsh, C., Millar, T.J., Nomura, H., Herbst, E., Widicus Weaver, S., Aikawa, Y., Laas, J.C., Vasyunin, A.I., 2014, Complex organic molecules in protoplanetary disks, *Astronomy & Astrophysics*, 563, id.A33 (35pp) 10.1051/0004-6361/201322446
 22. Dutrey, A., Semenov, D., Chapillon, E., Gorti, U., Guilloteau, T., Hersant, F., Hogerheijde, M., Hughes, M., Meeus, G., Nomura, H., Pietu, V., Qi, C., Wakelam, V. 2014, Structure of Planet-Forming Disks Probed by Millimeter Observations and Modeling, in *Protostars & Planets*, p.317-338
10.2458/azu_uapress_9780816531240-ch014
 23. Walsh, C., Herbst, E., Nomura, H., Millar, T. J., Widicus Weaver, S. 2014, Complex organic molecules along the accretion flow in isolated and externally irradiated protoplanetary disks, *Faraday Discussions*, 168, p.389-421, 10.1039/C3FD00135K
 24. Fukagawa, M., Tsukagoshi, T., Momose, M., Saigo, K., Ohashi, N., Kitamura, Y., Inutsuka, S., Muto, T., Nomura, H., Takeuchi, T., Kobayashi, H., Hanawa, T., Akiyama, E., Honda, M., Fujiwara, H., Kataoka A., Takahashi, S.Z., Shibai, H. 2013, Local Enhancement of the Surface Density in the Protoplanetary Ring Surrounding HD 142527, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 65, id.L14 (5pp) 10.1093/pasj/65.6.L14
 25. Furuya, K., Aikawa, Y., Nomura, H., Hersant, F., & Wakelam, V., 2013, Water in Protoplanetary Disks: Deuteration and Turbulent Mixing, *Astrophysical J.*, 779, id.11 (19pp) 10.1088/0004-637X/779/1/11
 26. Dent, W. R. F., Thi, W. F., Kamp, I., ... Nomura, H., ... (33rd in 50 authors), 2013, GASPS - A Herschel Survey of Gas and Dust in Protoplanetary Disks: Summary and Initial Statistics, *Publ. Astron. Soc. Pacific.*, 125, p.477-505, 10.1086/670826
 27. Walsh, C., Millar, T. J., and Nomura, H., 2013, Molecular Line Emission from a Protoplanetary Disk Irradiated Externally by a Nearby Massive Stars, *Astrophysical J.*, 766, id.L23 (8pp)
10.1088/2041-8205/766/2/L23
- [学会発表] (計 139 件)
1. Nomura, H., ALMA Observations of S-bearing Species in Ice in Protoplanetary Disks: a Possible Tracer of Evaporation of Icy Planetesimals, 10th RESCEU/Planet2 Symposium: Planet Formation around Snowline, 2017
 2. 野村英子, 原始惑星系円盤における水と有機分子, 宇宙生命計算科学連携拠点第3回ワークショップ, 2017
 3. Nomura, H., S-bearing Species in Ice in Protoplanetary Disks: a Possible Tracer of Evaporation of Icy Planetesimals/Exocomets, Workshop on gaseous debris disks, 2017
 4. 野村英子, 原始惑星系円盤における有機分子生成, 木星トロヤ群小惑星探査ワークショップ, 2017
 5. 野村英子, 原始惑星系円盤からの衝撃波トレーサー分子のALMA観測, 日本天文学会2017年秋季年会, 2017
 6. Nomura, H., ALMA Observations of S-bearing Species in Ice in Protoplanetary Disks: a Possible Tracer of Evaporation of Icy Planetesimals, TIARA/CHARMS Mini-Workshop on Disks in the Protoplanetary Systems, 2017
 7. Nomura, H., S-bearing Species in Ice in Protoplanetary Disks: a Possible Tracer of Evaporation of Icy Planetesimals, Evolution of Molecules in Space, 2017

8. Nomura, H., CO Gas Depletion and Formation of Complex Organic Molecules in Protoplanetary Disks, Astrochemistry VII ~ Through the Cosmos from Galaxies to Planets, 2017
 9. Nomura, H., Molecular Line Observations of Protoplanetary Disks, EA ALMA Science Workshop, 2017
 10. Nomura, H., CO Gas Depletion and Formation of Organic Molecules in Protoplanetary Disks, Search for Life: From Early Earth to Exoplanets, 2016
 11. Nomura, H., ALMA Observations of CO Gas Depletion in the Protoplanetary Disk around TW Hya, European Conference on Laboratory Astrophysics 2016 - Gas on the Rocks, 2016
 12. Nomura, H., ALMA Observations of Gaps and Rings in the Protoplanetary Disk around TW Hya, Japan-Germany Planet & Disk Workshop, 2016
 13. Nomura, H., ALMA Observations of Gas and Dust in the Protoplanetary Disk around TW Hya, TIARA/CHARMS Mini-Workshop on Disks in the Protoplanetary Systems, 2016
 14. Nomura, H., Water and Organic Molecules in Protoplanetary Disks, Pre-Forum Meeting on Future Cosmochemistry for the JSPS Forum, 2016
 15. 野村英子, ALMA Observations of CO Gas Depletion in the Protoplanetary Disk around TW Hya, 日本地球惑星科学連合連合大会 2016 年大会, 2016
 16. Nomura, H., ALMA Observations of Gas and Dust in the Protoplanetary Disk around TW Hya, Resolving planet formation in the era of ALMA and extreme AO, 2016
 17. 野村英子, SPICA による惑星形成過程と物質進化の解明, 日本天文学会 2016 年春季年会, 2016
 18. 野村英子, TW Hya まわりの原始惑星系円盤の ALMA 観測, 日本天文学会 2016 年春季年会, 2016
 19. Nomura, H., ALMA Observations of the Protoplanetary Disk around TW Hya, Exoplanets and Disks: Their Formation & Diversity III, 2016
 20. Nomura, H., ALMA Observations of CO Gas Depletion in the Protoplanetary Disks around TW Hya, Workshop on Astrochemistry in Star and Planet Formation, 2016
 21. Nomura, H., Diagnosing Evaporation of Icy Planetesimals in Protoplanetary Disks, IAU Division H: Interstellar Matter and Local Universe, 2015
 22. Nomura, H., Chemical Processes in Protoplanetary Disks ~ Water, Snowlines & Organic Molecules ~, DTA Symposium, 2015
 23. 野村英子, 氷微惑星蒸発の ALMA による観測的検証法, 日本天文学会 2015 年春季年会, 2015
 24. Nomura, H., Observationally Diagnosing Shock Heating of Icy Planetesimals with ALMA, German-Japanese Meeting, 2014
 25. Nomura, H., Complex Organic Molecules in Protoplanetary Disks, Origins 2014, 2014
 26. 野村英子, 原始惑星系円盤における複雑な有機分子生成モデル, 地球惑星連合大会, 2014
 27. 野村英子, 原始惑星系円盤における星間塵表面反応による複雑な有機分子生成モデル, 「自然科学における階層と全体」シンポジウム, 2014
 28. Nomura, H., Water and Organic Molecules in Protoplanetary Disks - High-R Spectroscopy -, Astronomy in the TMT Era, 2013
 29. 野村英子, 原始惑星系円盤の分子輝線観測と化学モデル, 原始惑星系円盤研究会, 2013
 30. Nomura, H., Diagnosing Gas Dispersal Processes in Protoplanetary Disks, Protostars & Planets VI, 2013
- [図書] (計 1 件)
1. 梅村雅之、福江純、野村英子, 日本評論社, シリーズ・宇宙物理学の基礎 3 『輻射輸送と輻射流体力学』, 2016, 396
- [その他]
- ホームページ等
<http://www.geo.titech.ac.jp/lab/nomura/research.html>
https://alma-telescope.jp/news/mt-post_659
https://alma-telescope.jp/news/press/mt-post_677
6. 研究組織
 - (1) 研究代表者
野村 英子 (NOMURA, Hideko)
東京工業大学・理学院・准教授
研究者番号: 20397821
 - (3) 連携研究者
細川 隆史 (HOSOKAWA, Takashi)
京都大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 30413967
 - (4) 研究協力者
ミラー トム (MILLAR, Tom J.)
ウォルシュ キャサリン (WALSH, Catherine)
石本 大貴 (ISHIMOTO, Daiki)
田崎 亮 (TAZAKI, Ryo)
小野 智弘 (ONO, Tomohiro)
野津 翔太 (NOTSU, Shota)