

ALMAの高分散分光観測による、原始惑星系円盤のH₂Oスノーラインの同定可能性

Possibility to locate the position of the H₂O snowline in protoplanetary disks using high-dispersion spectroscopic observations with ALMA

*野津 翔太¹、野村 英子²、本田 充彦³、廣田 朋也⁴、秋山 永治⁴、Walsh Catherine⁵、Millar T.J.⁶

*Shota Notsu¹, Hideko Nomura², Mitsuhiro Honda³, Tomoya Hirota⁴, Eiji Akiyama⁴, Catherine Walsh⁵, T. J. Millar⁶

1. 京都大学 大学院理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻 宇宙物理学教室、2. 東京工業大学 理学院 地球惑星科学系、3. 久留米大学 医学部 物理学教室、4. 国立天文台、5. School of Physics and Astronomy, University of Leeds, UK、6.

Astrophysics Research Centre, School of Mathematics and Physics, Queen's University Belfast, UK

1. Department of Astronomy, Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Department of Earth and Planetary Science, Tokyo Institute of Technology, 3. Department of Physics, School of Medicine, Kurume University, 4. National Astronomical Observatory of Japan, 5. School of Physics and Astronomy, University of Leeds, UK, 6. Astrophysics Research Centre, School of Mathematics and Physics, Queen's University Belfast, UK

原始惑星系円盤(以後、"円盤")において、中心星近傍では高温のためH₂Oはダスト表面から脱離し気体となるが、遠方では低温のためダスト表面に凍結する。この境界がH₂Oスノーラインであり、ダストの合体成長で惑星を作る際、H₂Oスノーラインの内側では地球型の岩石惑星が形成される。一方外側ではダストの総量が増加する。このため重力で周りのガスを大量に集める事が可能となり、木星型のガス惑星が形成される (Hayashi et al. 1981, 1985)。そのためH₂Oスノーラインを観測的に同定する事は、微惑星・惑星形成過程や、地球上の水の起源を考える上で重要である。

太陽質量程度の前主系列星(T Tauri星)周りの円盤の場合、円盤赤道面におけるH₂Oスノーラインは、中心星から数auの位置に存在する。しかし、撮像観測によってこのような円盤のH₂Oスノーラインを検出する事は、空間分解能が足りない為に困難である。一方で円盤はほぼケプラー回転している為、円盤から放射される輝線はドップラーシフトを受け広がっている。この輝線のプロファイル形状の解析から、輝線放射領域の中心星からの距離の情報が得られる。

そこで本研究(Notsu et al. 2016, 2017)では、数値計算の結果に基づき、H₂O輝線プロファイルの観測から円盤内のH₂O分布、特にH₂Oスノーラインを同定する方法を提案する。具体的にはまず円盤の化学反応ネットワーク計算を行い、H₂Oの存在量とその分布を調べた。この際、中心星にT Tauri星 ($T_{\text{star}} \sim 4,000\text{K}$, $M_{\text{star}} \sim 0.5M_{\text{sun}}$) とHerbig Ae星 ($T_{\text{star}} \sim 10,000\text{K}$, $M_{\text{star}} \sim 2.5M_{\text{sun}}$) を考えた2つの円盤物理構造モデルを用いた。するとH₂Oスノーラインの内側の円盤赤道面付近だけでなく、円盤外側の上部高温領域や光解離領域でもH₂Oガスの存在量が多い事が分かった。

またその計算結果を元に、円盤から放出されるH₂O輝線のプロファイルを多数の輝線について計算した。その結果、インシュタインA係数(放射係数)が小さく($\sim 10^{-6} - 10^{-3} \text{ s}^{-1}$)、エネルギーが比較的高い($\sim 1000\text{K}$) 輝線のプロファイルを高分散分光観測で調べる事で、H₂Oスノーラインを同定できる可能性がある事が分かった。そして、このような特徴を持つH₂O輝線が、中間赤外線からサブミリ波までの幅広い波長帯に多数存在し、その強度は波長が短い程大きい事が分かった。更に、Herbig Ae円盤の方がT Tauri円盤に比べ中心星の温度が高くH₂Oスノーラインの位置が中心星から遠い事から、スノーラインを同定しうるH₂O輝線の強度が大きくなる事が分かった。

本発表ではこれらの解析結果を紹介した上で、今後のALMA観測でのH₂Oスノーラインの同定可能性につい

て議論を行う。

また、最近新たにALMA band 5 領域のH₂O輝線の計算も行っており、その結果も併せて紹介する予定である。

参考文献 : Notsu, S., et al. 2016, ApJ, 827, 113

Notsu, S., et al. 2017, ApJ, 836, 118

キーワード : H₂O スノーライン、原始惑星系円盤、化学反応、高分散分光観測、分子輝線、惑星形成

Keywords: H₂O snowline, Protoplanetary disks, Chemical reactions, High-dispersion spectroscopic observations, Molecular emission lines, Planet formation