

原始惑星系円盤の化学反応と、H₂O スノーラインの分光観測による検出可能性 Chemical Reactions in Protoplanetary Disks and Possibility of Detecting H₂O Snowline using Spectroscopic Observations

野津 翔太^{1*}; 野村 英子²; 石本 大貴¹

NOTSU, Shota^{1*}; NOMURA, Hideko²; ISHIMOTO, Daiki¹

¹ 京都大学大学院理学研究科宇宙物理学教室, ² 東京工業大学理工学研究科

¹Department of Astronomy, Kyoto University, ²Tokyo Institute of Technology

原始惑星系円盤において、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。太陽質量程度の前主系列星周りの円盤の温度分布を計算すると、H₂O スノーラインは中心星から数 AU 程度に存在するとされている。しかし系外惑星系の場合空間分解能が足りず、撮像観測による H₂O スノーラインの検出は困難であった。

一方最近 Spitzer や Herschel で円盤から放射される H₂O 輝線を検出できるようになった。異なる波長の H₂O 輝線の強度比を用いて H₂O スノーラインの位置を見積もる研究もなされつつあるが、円盤の温度分布のモデルに依存するものであった (Zhang et al. 2013)。しかし今後波長分解能の高い分光観測が可能になれば、輝線スペクトルの速度プロファイルを解析する事で、モデルに依存せず H₂O スノーラインを同定できると考えられる。

そこで我々はこれまで、このような観測による H₂O スノーライン決定の可能性を調べてきた。具体的にはまず原始惑星系円盤の化学反応計算を行い、H₂O の存在量とその分布を調べた。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、円盤上層部の高温領域でも 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、近赤外線からサブミリ波までの複数の輝線について計算した。その結果放射係数 (アインシュタイン A 係数) が小さく励起エネルギーが高い複数の輝線のプロファイル分光観測で調べる事で、H₂O スノーラインを同定できる事が分かった。

また本研究では、新たに化学反応計算においてダスト表面反応を導入した場合と、ダストサイズを成長させた場合についての結果についても報告する。

まずダスト表面反応を導入した場合は、スノーライン内側の円盤赤道面付近では H₂O ガス存在量が増加する一方、円盤上層部の高温領域では減少した。その結果放射係数が小さく励起エネルギーが高い H₂O 輝線の放射強度が増加し、かつその増加幅は波長が短い輝線ほど大きい事も分かった。そして円盤上層部の高温領域からの寄与が小さくなった事で、放射係数がより大きな輝線も H₂O スノーラインの決定に使える可能性が示された。

一方ダストサイズを成長させた場合は、円盤上層部の高温領域での H₂O ガス存在量が増加する事が分かった。そのため、この場合は H₂O スノーラインの同定のためにはより小さな放射係数を持つラインを使用する必要があると考えられる。

本発表ではこの解析結果、及び将来の中間赤外線、遠赤外線、サブミリ波高分散分光観測 (ALMA, TMT, SPICA etc.) との関係について議論する。

キーワード: H₂O スノーライン, 原始惑星系円盤, 化学反応計算, ダスト表面反応, ダストサイズ成長, 分光観測

Keywords: H₂O snowline, protoplanetary disk, calculation of chemical reactions, grain surface reaction, dust size growth, spectroscopic observation