

	研究代表者	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・専任教授	
		中川 貴雄(なかがわ たかお)	研究者番号:20202210
	研究課題情報	課題番号: 23H05441	研究期間: 2023年度~2027年度
		キーワード: 原始惑星系円盤、ガス惑星、固体惑星、スノーライン、イメージング・グレーティング	

なぜこの研究を行おうと思ったのか(研究の背景・目的)

●研究の全体像

惑星系の進化において、岩石惑星とガス惑星を分けた最も重要な因子は、H₂Oガスと固体の境界である「スノーライン」であると考えられている(図1)。しかし、その直接的な観測は未だなく、その存在は理論的なものにとどまっている。本研究では、スノーラインの存在を観測的に実証することを最終的な目標とし、それをスペースからの中間赤外線H₂Oスペクトル線の高分散分光観測により実現することを目指す。本研究では、まずそのための(1)「技術開発」を行う。リソースの限られたスペースで高分散分光を行うためには、分光器を大幅に小型化する必要がある。そのために、小型化に有効な「イメージング・グレーティング」技術を中間赤外線領域で実用化する。さらに、この成果を活用した高分散分光システム($R = \lambda/\Delta\lambda \sim 30,000$)を試作し、(2) 地上望遠鏡を用いた原始惑星系円盤からのH₂Oスペクトル線の「試験観測」を行う。地上観測ではスノーラインの直接検出は難しいが、スノーラインと関係の深い高温H₂Oガスを観測することで、理論モデルの妥当性を検証することができる。将来のスペースからのスノーラインの直接観測実現を目指して、このように「技術開発」と「科学的な試験観測」とを本研究の中で実現する。

スノーライン

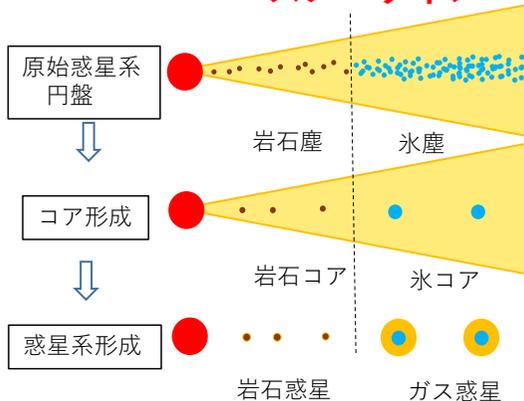


図1: 原始惑星系円盤の進化のイメージ図。H₂Oが気体であるか、固体であるかの境界である「スノーライン」が、固体惑星とガス惑星のそれぞれの生成の場所を特徴づけたと考えられている。

●本研究の核心をなす学術的「問い」: スノーラインは存在するのか?

我々の太陽系を含む多くの惑星系には、地球に代表される「岩石惑星」と、木星に代表される「ガス惑星」の2種類の惑星が存在する。両者の違いを生んだのが、水(H₂O)の存在形態であると考えられている。具体的には、H₂Oが「ガス」の領域では岩石型惑星が、「氷」の領域ではガス型惑星が形成され、その境界が「スノーライン」であると考えられている(図1)。

しかし、スノーラインの直接的な観測は未だなく、その存在・位置は理論的なものにとどまっている。そこで本研究課題の核心をなす「問い」として、スノーラインは本当に存在するのか、理論通りの位置に存在するのかを掲げ、これを将来の観測で検証することを目指す。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●本研究の独自性: 赤外線高分散観測

将来原始惑星系円盤のスノーラインを空間的に分解して観測することは、現在の技術では難しい。そこで、本研究では赤外線高分散分光観測により、ガスのケプラー運動を利用して、ガスの分布を探ることを目指す。図2に原始惑星系円盤におけるH₂Oガス分布を示す。2au付近(中心星のタイプに依存する)よりも遠方でガスが急激に減少している(固体になる)所が、スノーラインに対応している。このガスの減少を分光観測で捉えることを目指す。ただし、A係数(放射確率)が大きな、明るいスペクトル線(図2右上)ではなく、むしろA係数の小さな、暗いH₂Oスペクトル線を用いると、原始惑星系円盤の中まで見通せ、スノーラインの位置でのケプラー運動(図2右下図の矢印)がダブルピークとして見られると期待される[1][2]。図2からわかるように、 $\Delta v \sim 10 \text{ km/s}$ ($R \sim 30,000$)の高分散分光が赤外線領域で達成できれば、原始惑星系円盤内部のガス成分の運動観測によりスノーラインの位置を同定できると期待される。

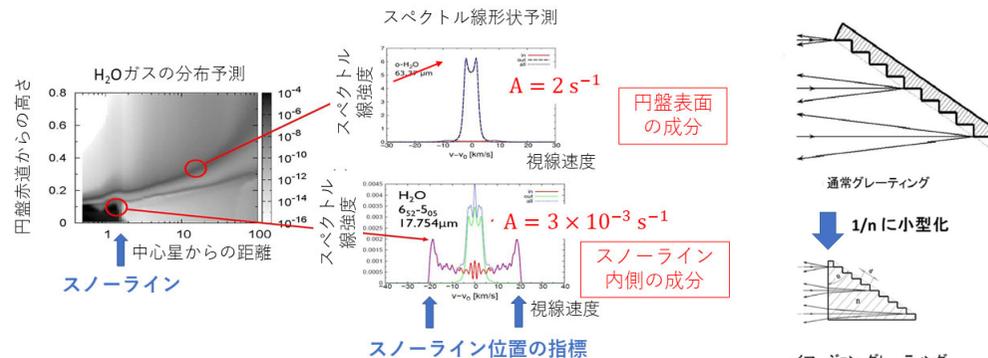


図2: 原始惑星系円盤におけるH₂Oガス分布(左)。2 au付近のガスの減少が「スノーライン」に対応する。明るいスペクトル線(右上)では円盤の表面しか捉えられないが、暗いスペクトル線(右下)では円盤内部を見通し、スノーライン位置を同定することができる [1][2]。

図3: (上)通常グレーティングに比べ、(下)イメージング・グレーティングでは大幅な小型化が期待される。

●本研究計画

スノーライン検出に最適な上記のスペクトル線は地球大気の不透明な中間赤外線領域に位置するため、最終的にはスペースからの高分散分光観測が必要である。本研究では、将来のスペースからの本格的なスノーライン観測実現に向けて、段階的に研究を進める。

- (1) スペースからの高分散分光を可能とする分光技術を開発する。スペースからの観測は、重量・体積の制限が大変に厳しい。そのため、高分散分光器を大幅に小型化する必要がある。そのために、本研究では、「イメージング・グレーティング」を中間赤外線ですべて実用化する技術開発を行う。イメージング・グレーティング(図3下)は、高屈折率nの媒質を用い、グレーティングを通常(図3上)に比べ1/nに小型化する技術である。
- (2) 上記の技術を用いた分光器を試作し、性能評価試験を兼ねて地上からの原始惑星系円盤のH₂Oスペクトル線の試験観測を行う。地上からの観測では、スノーラインを直接にトレースすることは難しいが、スノーラインと関係の深い高温のH₂Oガスの存在を探ることにより、スノーライン位置に大きな制限を与えることをめざす。

これらにより、将来のスペースからのスノーラインの直接観測に向けて、(1)技術開発と、(2)科学的な試験観測とを、本研究の中で実現することを目指す。

●引用文献

- [1] Notsu, S., Nomura, H. et al., 2016, ApJ, 827, 113
- [2] Notsu, S., Nomura, H. et al., 2017, ApJ, 836, 118