

H₂O スノーライン検出を目指す SPICA高分散分光観測シミュレーション

中川貴雄、前嶋宏志、松本光生、和田武彦、磯部直樹、石原大助 (ISAS/JAXA)、野津翔太 (理化学研究所)、森昇志 (東京大学)、野村英子 (国立天文台)、Inga Kamp (Univ. of Groningen)、本田充彦 (岡山理科大学)、平原靖大、金田英宏 (名古屋大学)、SPICA SMI チーム

◆概要

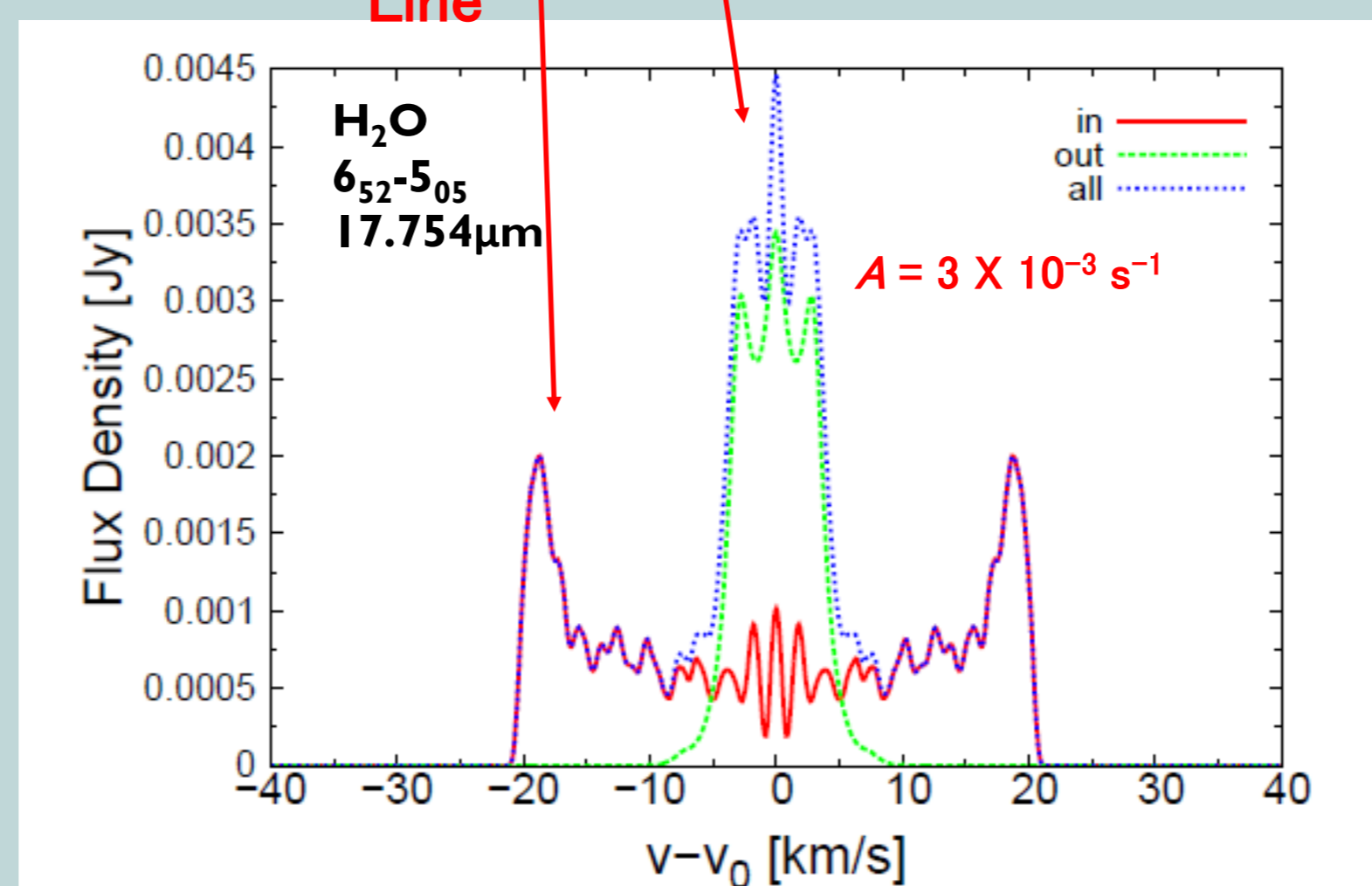
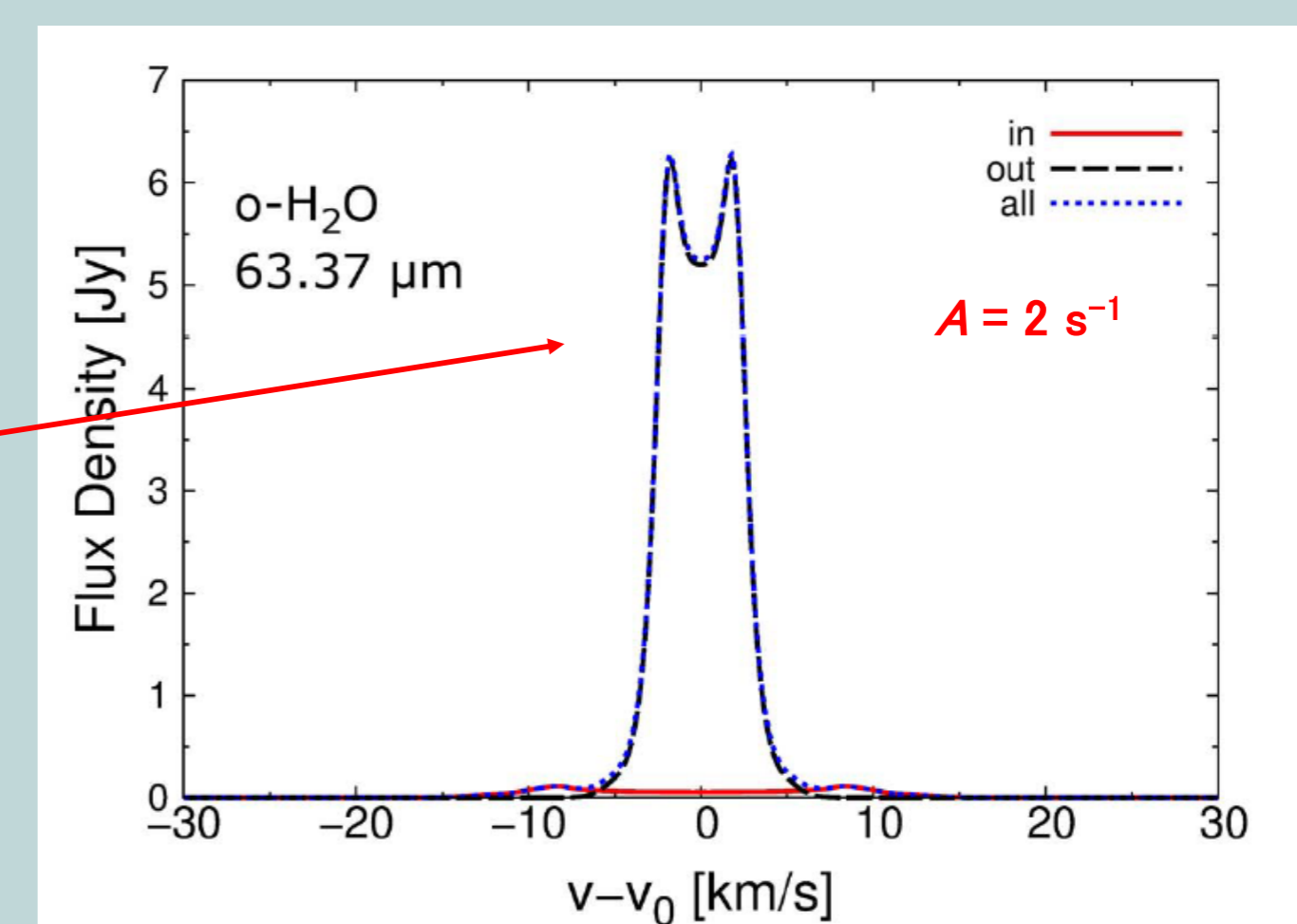
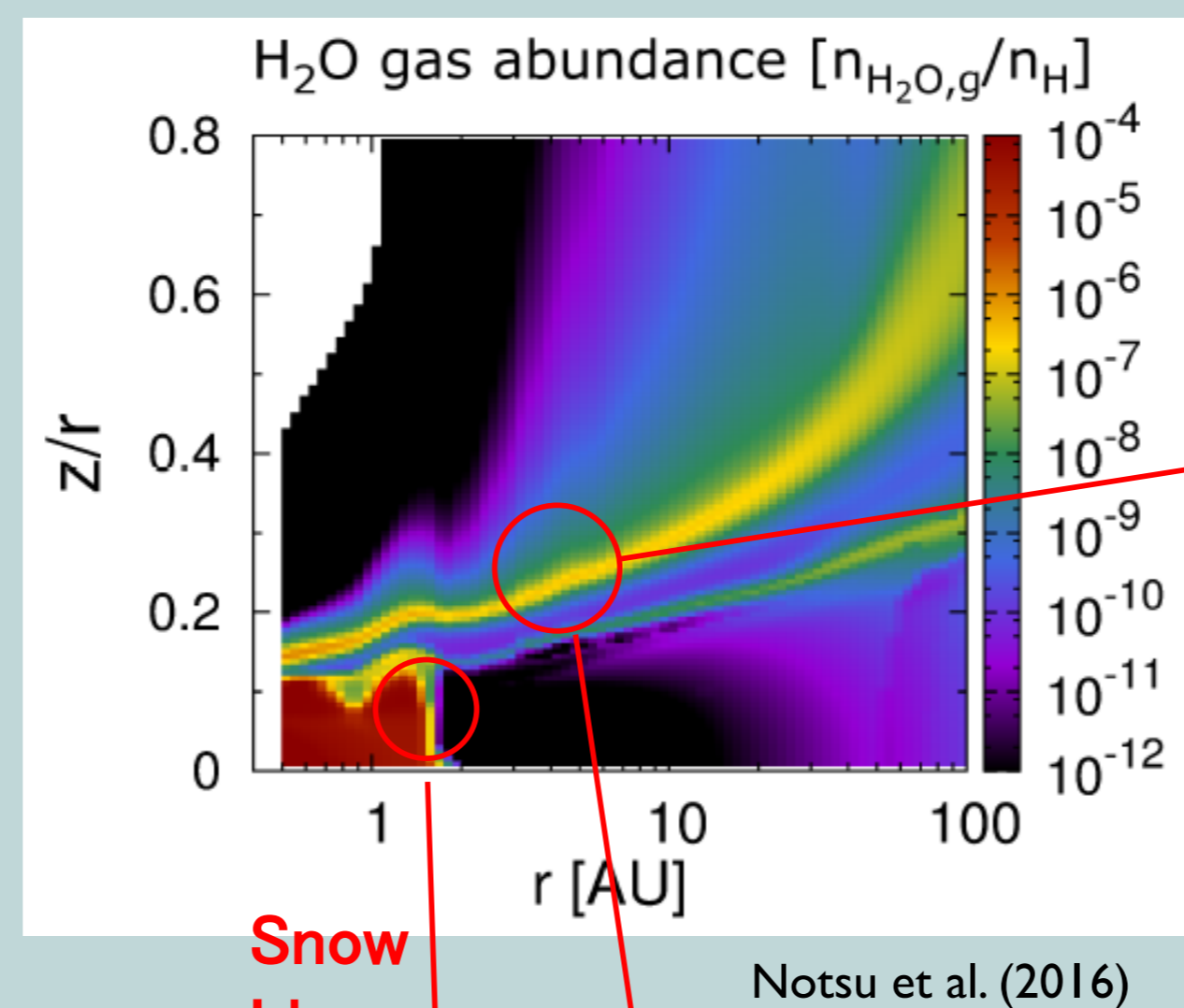
- 惑星系の構成には、水の凝縮境界領域に相当する H₂O スノーラインが重要な役割を荷っている。しかし、その位置の理論的予測にはまだ不定性が大きい(本年会における森らの講演)。したがって、スノーライン位置を観測的に決めることは、惑星系形成理解のための重要課題である。本講演では、原始惑星系円盤における H₂O スノーラインを、SPICA による中間赤外線高分散分光観測で観測するための要求とその実現性について議論する。
- 原始惑星系円盤においてスノーラインを検出するためには、中心星からの放射の影響を受ける円盤表面ではなく、H₂O の凝縮が起こる円盤赤道面付近における H₂O の分布を調べる必要がある。野津ら (本年会講演) は、アインシュタイン A 係数 (放射係数) が小さく ($\sim 10^{-6} - 10^{-3} \text{ s}^{-1}$)、励起エネルギーが比較的高い ($\sim 1000 \text{ K}$) H₂O 輝線を用いることにより、円盤赤道面付近での H₂O が観測できることを、理論計算により示した。
- 円盤赤道面付近でのガス運動の主要成分がケプラー回転であるとすると、ガス輝線の視線速度観測から、H₂Oガスの分布、そしてスノーラインの位置を同定できると期待される。その実現可能性を、観測シミュレーションにより検討した。スノーライン近傍でのガスの運動速度 (v_{gas}) は、中心星の質量を M とすると、 $v_{\text{gas}} \sim 15 \text{ km/s} (M/M_{\odot})^{-1/4}$ 程度になると予想される。この速度成分を同定するためには、 $R = \lambda/\Delta\lambda \geq 25,000$ の波長分解能、および波長方向にナイキスト周波数以上のサンプリングを持つことが必要であることが分った。これらの条件は、SPICA 搭載観測装置 SMI の高分散分光チャネル (HR) で実現される見込みである。

◆目的

- ガス惑星と固体惑星の違いの成因は、水の凝縮境界領域に相当する H₂O スノーラインが重要な役割を荷っていると考えられている。
- しかし、その位置には不定性が多い。
- スノーラインの存在と位置とを観測的に明らかにすることができるか？

◆課題

- スノーラインは、円盤の表面には存在せず、円盤の内部に存在する。
- したがって、円盤の内部を見通す手段が必要である。

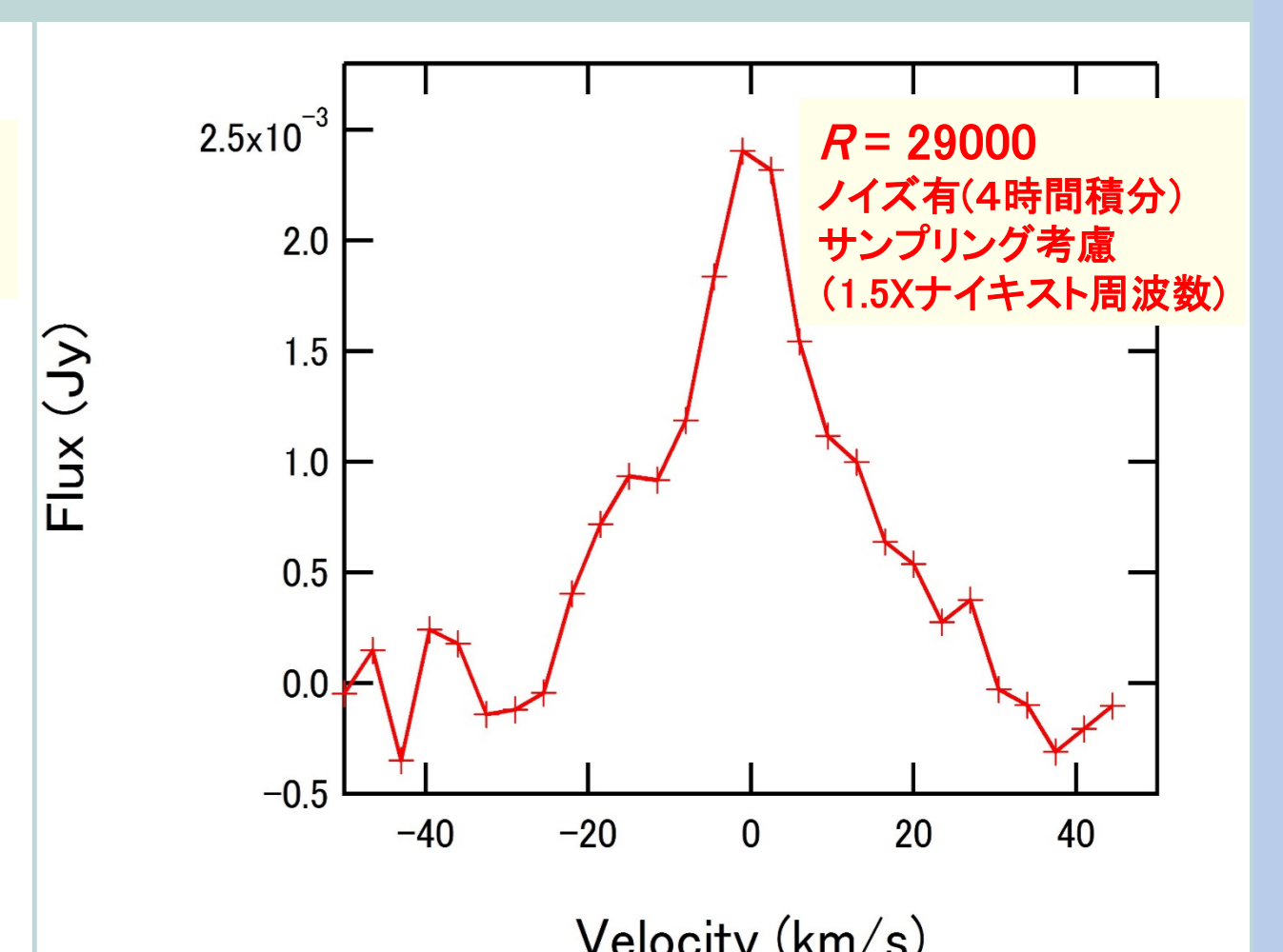
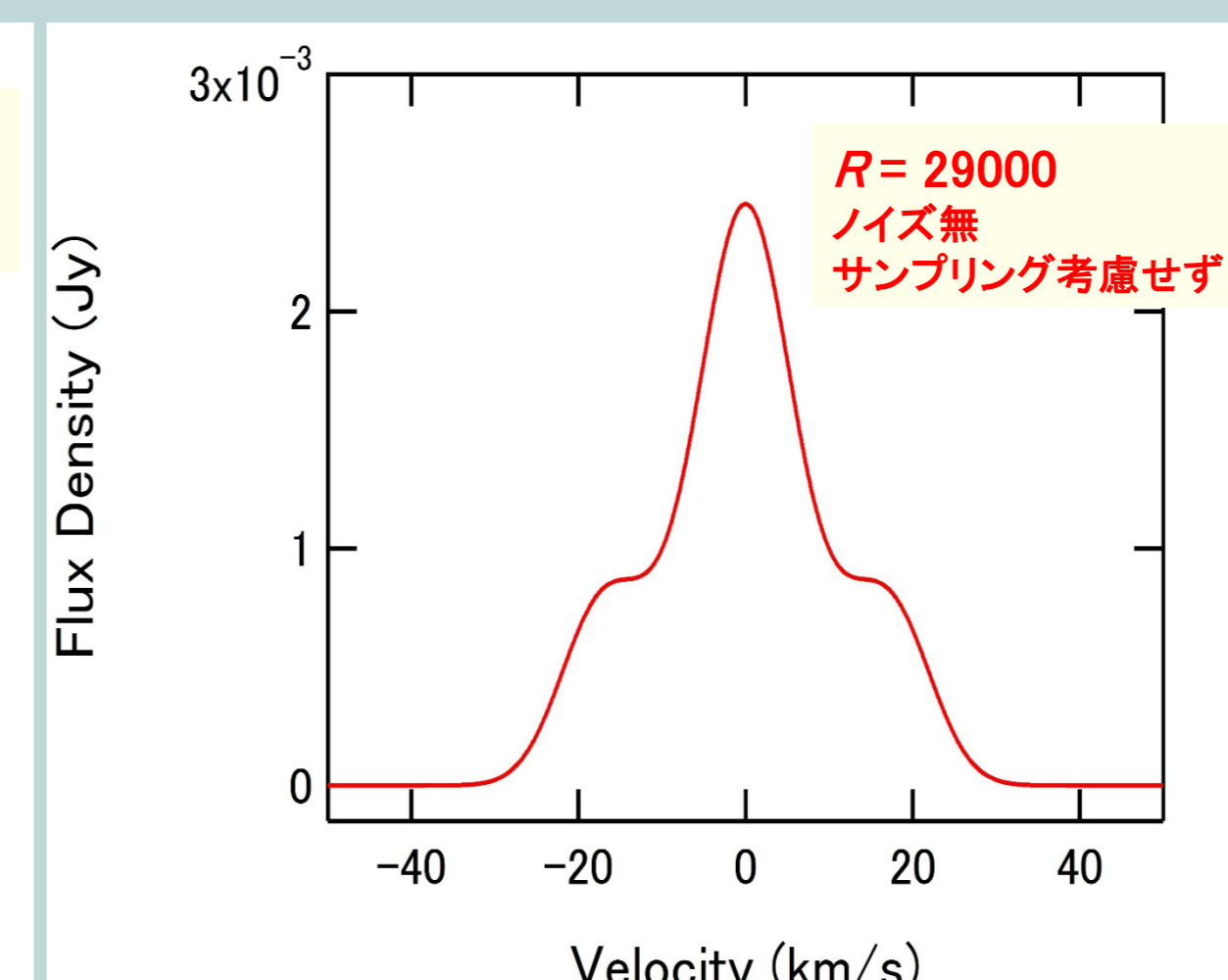
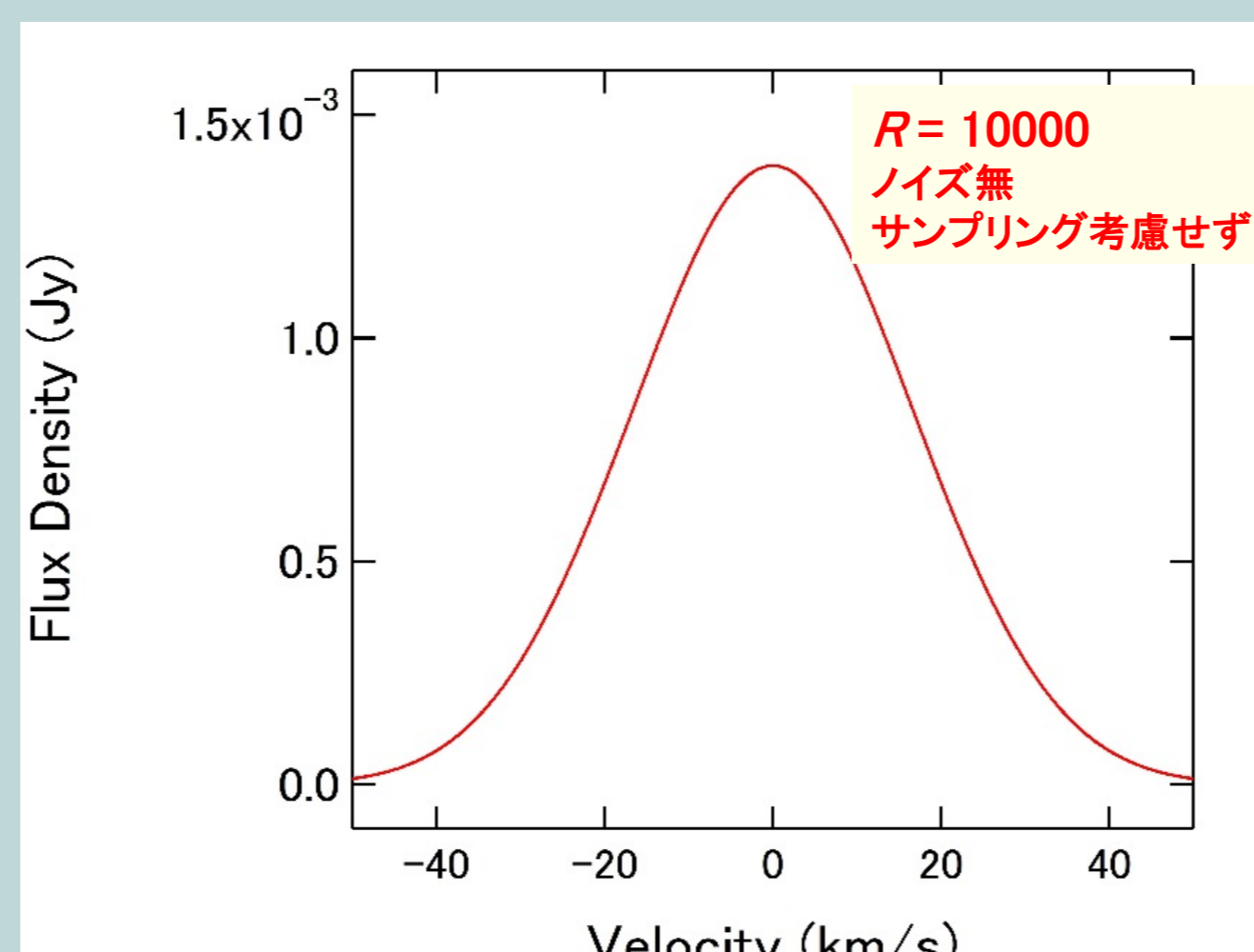


◆手法

- アインシュタイン A 係数が小さな ($10^{-6} - 10^{-3} \text{ s}^{-1}$) スペクトル線を用いることにより、円盤の中を見通すことができる。(Notsu et al.)
- SPICA/SMI/HR がもつ高い波長分解能観測により、速度成分から、スノーラインの位置を明らかにする。

◆観測要求

- 理論予測
 - ライン幅
 - $v_{\text{gas}} \sim 15 \text{ km/s} (M/M_{\odot})^{-1/4}$
 - 星質量への依存性が小さい。
 - 観測には $R > 25,000$ が必要である。
 - ラインの明るさ
 - 星質量に強く依存する。
 - 高感度観測 (特に T-Tauri 型星) が必要
- SMI/HR
 - 高分解能: $R = 29000$ ($\Delta v \sim 10 \text{ km/s}$)
 - 高感度: 1.4 mJy (5σ , one hour)



◆まとめ: 観測実現性

- 必要な S/N
 - スノーラインの明確な検出のためには $S/N > 10$ が必要
- SMI/HR 能力
 - 波長分解能 $R = 29,000$ はスノーライン検出に適する。
 - Continuum 感度 1.4 mJy は重要なパラメータ
- SPICA での観測実現性
 - Herbig Ae/Be 星は短時間での観測が可能。
 - T Tauri 型星は、一天体当たり数時間の観測が必要。
 - SPICA では、 ~ 100 の T-Tauri 型星および Herbig Ae/Be 星について、スノーライン検出観測が期待される。

◆シミュレーション結果

- SMI/HR の高波長分解能により、スノーラインの検出が可能である。
- スノーライン観測は、JWST/MIRI ($R \sim 3000$) では、全く観測が不可能であり、SPICA のユニークな特徴である。