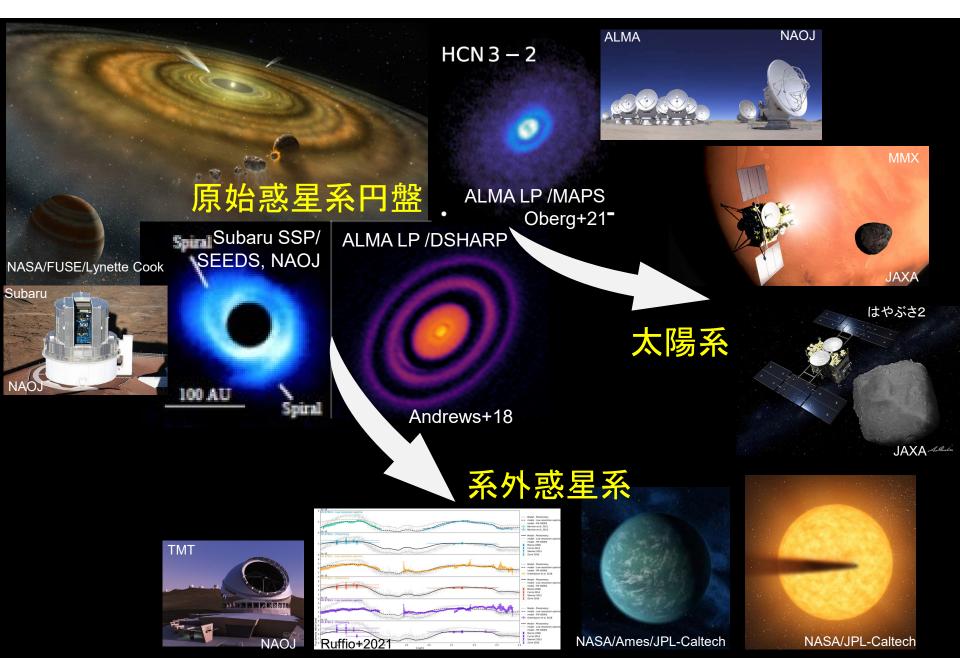
# 光赤天連シンポジウム 2022年7月12-13日

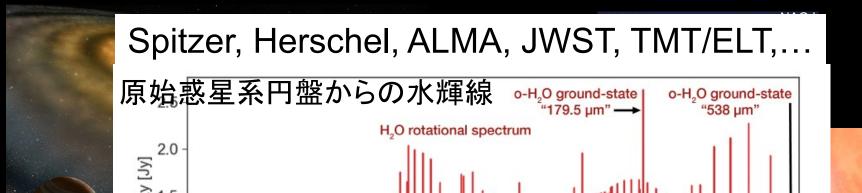
# GREX-PLUS: 原始惑星系円盤 サイエンス

野村 英子(国立天文台)

# 原始惑星系円盤から惑星系へ



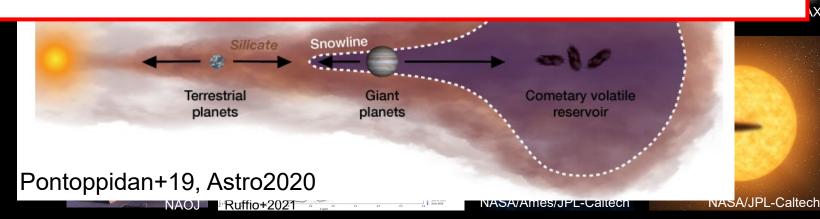
# 原始惑星系円盤から惑星系へ



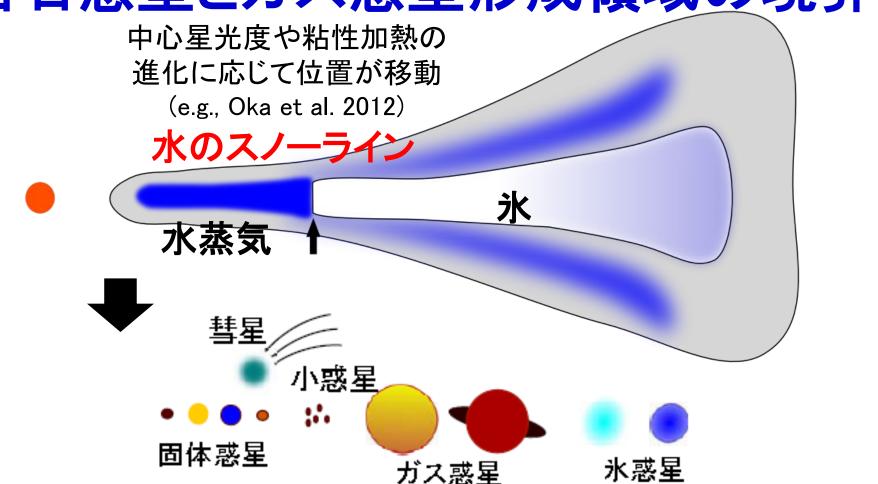
NAS Suba

#### **GREX-PLUS:**

高分散中間赤外線スペース観測により、 原始惑星系円盤内の 水のスノーラインのサーベイを可能にする



# 円盤内の水のスノーライン: 岩石惑星とガス惑星形成領域の境界

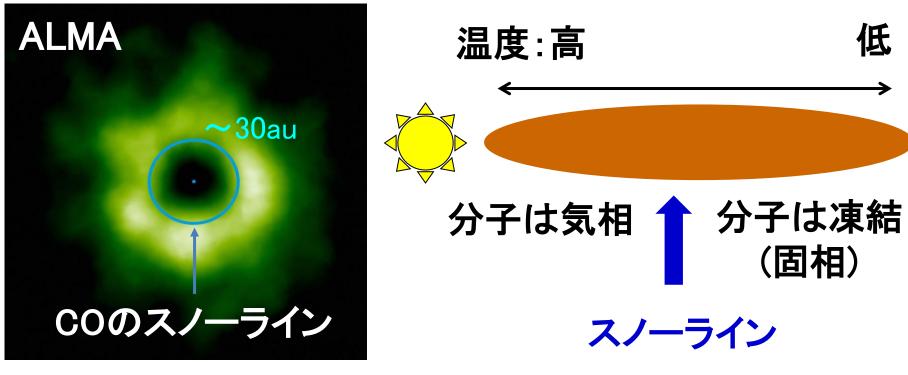


スノーラインは惑星形成時にどのように進化するのか? 水や有機物はどのようにして岩石惑星に運ばれるのか?

#### 円盤内の物質の分布:スノーライン

N₂H⁺ガスの分布

(Qi et al. 2013)



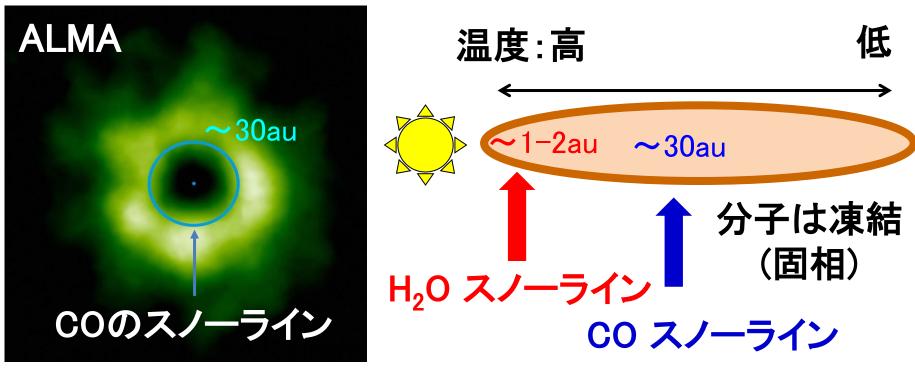
N<sub>2</sub>H<sup>+</sup>ガスの分布は、一<mark>酸化炭素分子</mark>のスノーラインを トレースしている(N<sub>2</sub>H<sup>+</sup>ガスは、COによって壊される)

⇒ 水のスノーラインの観測? R<sub>H2O snowline</sub> << R<sub>CO snowline</sub>

### 円盤内の物質の分布:スノーライン

N<sub>2</sub>H<sup>+</sup>ガスの分布

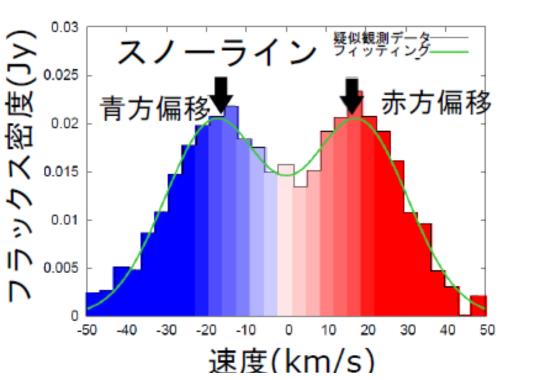
(Qi et al. 2013)



N<sub>2</sub>H<sup>+</sup>ガスの分布は、一<mark>酸化炭素分子</mark>のスノーラインを トレースしている(N<sub>2</sub>H<sup>+</sup>ガスは、COによって壊される)

⇒ 水のスノーラインの観測? R<sub>H2O snowline</sub> << R<sub>CO snowline</sub>

水のスノーラインの観測法



円盤のケプラー回転

$$\Delta v = \sqrt{\frac{GM_s}{r}} \sin i$$
*i*: 傾斜角

ケプラー回転円盤の ドップラー・シフトの 観測により水のスノー ラインの位置を測定する

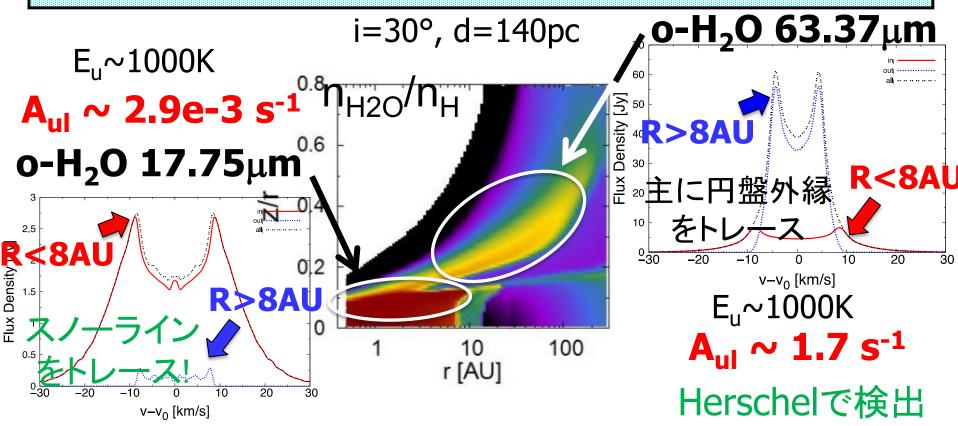
円盤からの赤外線輝線の 速度幅 ~ 30km/s →速度構造の解析には R~30,000 の波長分解能が 必要 → GREX-PLUS 高分散分光

水のスノーラインの観測 (Notsu+ 2016,2017, Kamp+2021) (Pontoppiddan+ 2010) GREX-PLUS: R=50,0000.5 分解可 原始惑星系円盤 0.4 JWST: 0.03 R=3,000輝線が分解可 0.025 0.3 赤方偏移 青方偏移 0.02 R = 6000.015 0.2 0.01 TW Cha 0.005 30 17.0 17.2 17.1速度(km/s) Wavelength [micron]

密度(Jy)

#### スノーライン・トレーサーの水輝線

物理構造モデル + 化学反応ネットワーク計算 + 輝線輻射計算



A<sub>ul</sub> < 10<sup>-3</sup>s<sup>-1</sup> & E<sub>u</sub>~10<sup>3</sup>K の水輝線が スノーライン・トレーサーに適している!

(Notsu+ 2016,2017)

#### スノーライン・トレーサーの水輝線

物理構造モデル + 化学反応ネットワーク計算 十 輝線輻射計算

GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光器で スノーライン・トレーサー水輝線@17.75µmを観測

> (比較的近傍の大小質量星形成領域で 様々な年齢の円盤~100天体、~300時間)

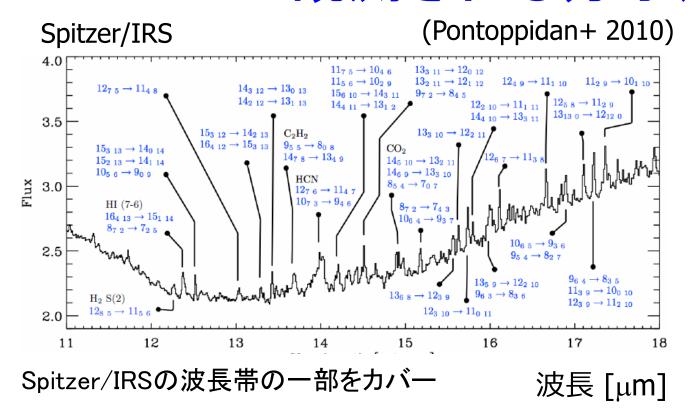
- → スノーラインの時間進化を調べる
- → 惑星形成、岩石惑星への水の供給

「地球型惑星形成領域は氷環境になりうるか?」

A<sub>...</sub> < 10<sup>-3</sup>s<sup>-1</sup> & E<sub>..</sub>~10<sup>3</sup>K の水輝線が スノーライン・トレーサーに適している!

(Notsu+ 2016,2017)

#### GREX-PLUSで観測される分子輝線



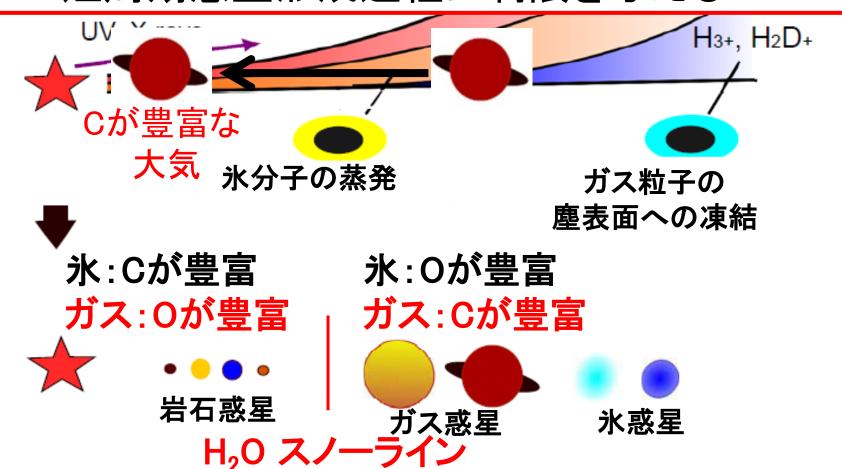
H<sub>2</sub>O, OH, HCN, CO<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> など、C/O元素組成比の 測定に有用な輝線が多数存在

→ GREX-PLUSではその円盤内の半径分布が分かる

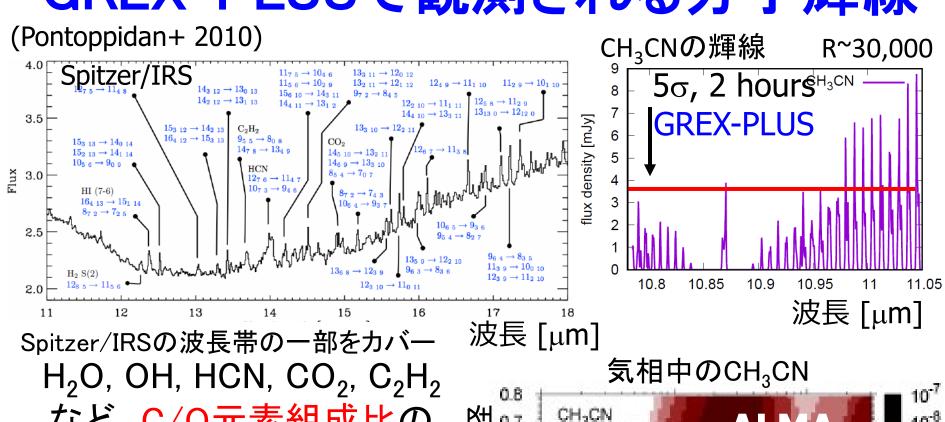
#### スノーラインと惑星大気組成・惑星形成

(e.g., Dutrey+ 1997, Markwick+2002, Aikawa+ 2002, Bergin+ 2007)

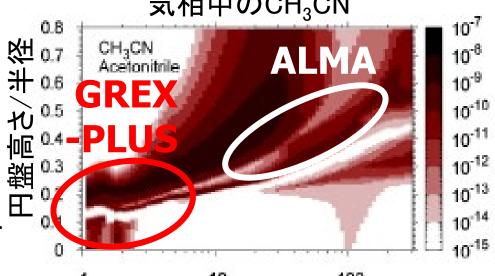
原始惑星系円盤内の元素組成(炭素・酸素比) 分布 と系外惑星大気の組成比との比較により 短周期惑星形成過程に制限を与える



# GREX-PLUSで観測される分子輝線



H<sub>2</sub>O, OH, HCN, CO<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> など、C/O元素組成比の 測定に有用な輝線 + 複雑な有機分子の輝線 ALMA & GREX-PLUSにより 円盤全体の元素組成比分布 がわかる



円盤半径 (au) (Walsh et al. 2014)

#### **Summary**

GREX-PLUS 中間赤外線高分散分光モードを用いた原始惑星系円盤からの水と有機分子輝線の観測

- 17.75μm H<sub>2</sub>O 輝線の解析による 水のスノーラインの位置の同定
- R<sup>2</sup>30,000で同定可能、近傍の大小質量星観測領域で 100天体の観測→水のスノーラインの時間進化
- →惑星形成過程、岩石惑星への水・有機分子の供給
  - H₂O, OH, CO₂, HCN, C₂H₂等の観測による 原始惑星系円盤中の炭素・酸素比の分布の観測
    - → 系外惑星の形成過程の議論
    - 周惑星円盤からの分子輝線の観測
    - → 惑星大気の化学組成・中心惑星質量へ制限

# スノーライン・トレーサー水輝線の

Flux distributions of the candidate **ortho-H**<sub>2</sub><sup>16</sup>**O** lines for a Herbig Ae disk

$$i=30^{\circ} d=140 pc$$

ALMA: Herbig Ae円盤であれば、~10時間積分で検出可

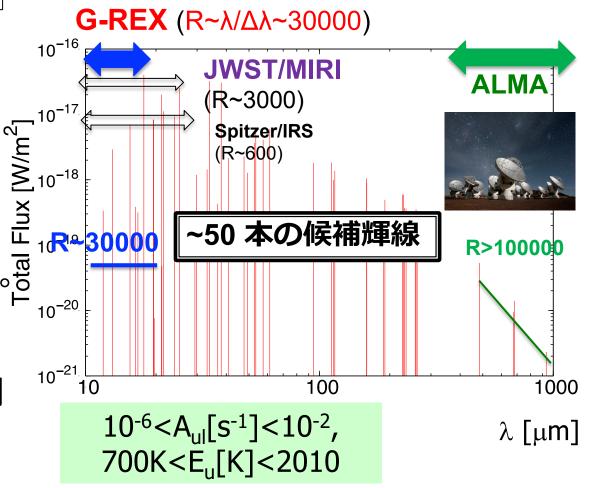
T Tauri円盤でも~3.2時間 積分で検出可。

JWSTで候補天体探し

Vertical line: 5σ, 1hour obs.

# フラックス予測

(Notsu+ 2016, 2017)



中間赤外線からサブミリ波にかけて~50本の候補輝線