

星惑星形成研究の中長期展望

本田充彦(神奈川大学)

星惑星形成分野において将来計画 中に挙げられているサイエンス例

- 星形成
 - 高分散分光観測による新しい星間分子の探査(TMT, SPICA)
 - 若い星の質量と年齢、初期質量関数(TMT)
 - 若い星からのジェット・アウトフロー現象の観測的研究(TMT)
 - 大質量星形成(TMT, SPICA)
- 惑星形成
 - 星周円盤の詳細構造の観測(TMT)
 - 円盤中の固体物質分布観測、スノーライン (TMT, SPICA)
 - 円盤における磁場構造(TMT)
 - 水素分子輝線で探る原始惑星系円盤ガス散逸機構(TMT, SPICA)
 - 原始惑星系円盤ガス中の有機分子の空間分布(TMT)

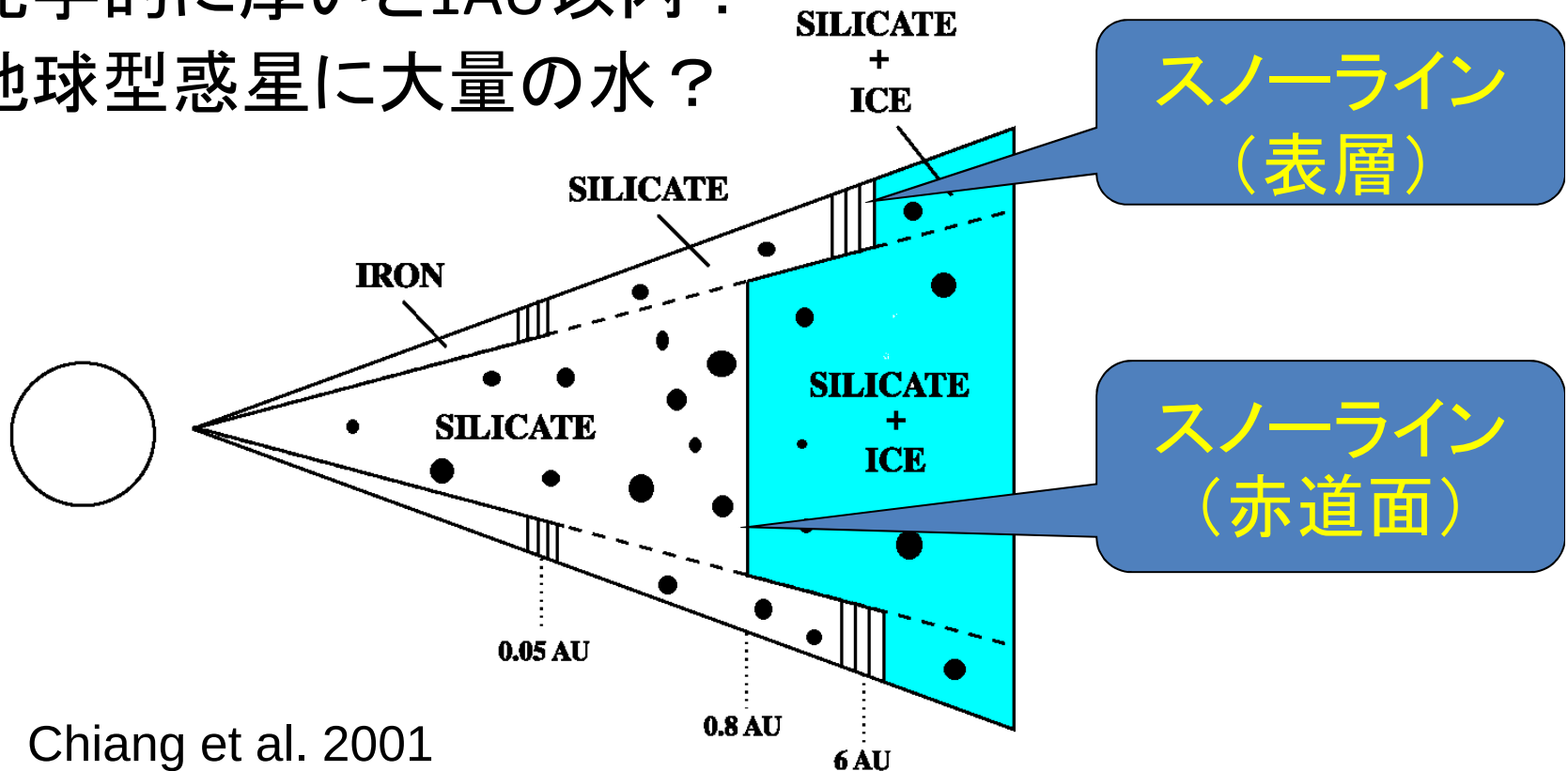
今回はスノーラインの観測+ α に焦点をあてる
(他はごめんなさい...)

~~星惑星形成研究の中長期展望~~ スノーラインの観測の中長期展望

本田充彦(神奈川大学)

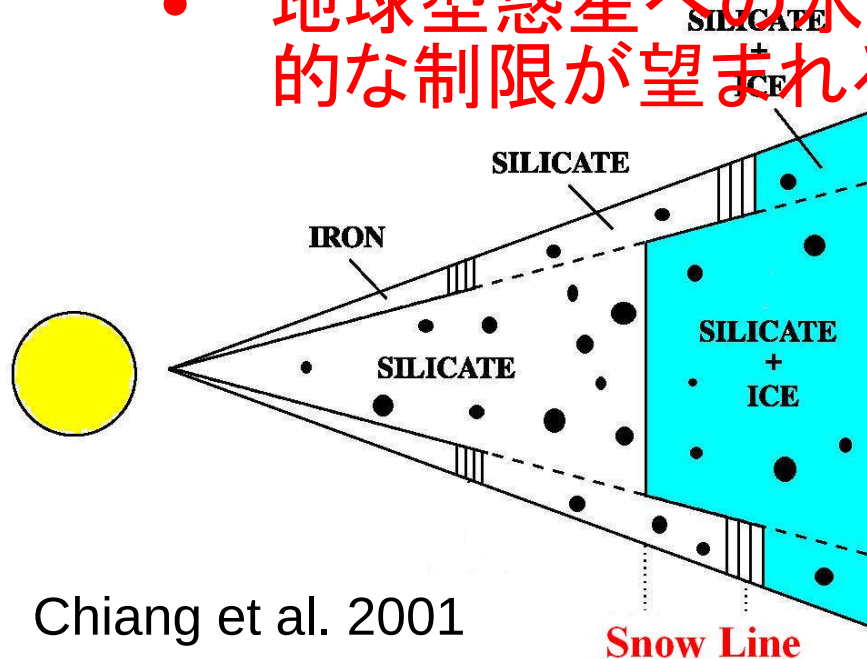
スノーライン(雪境界線)

- H_2O 氷が昇華・凝縮する位置
 - ダスト温度が約110-170Kの場所(ガス圧による)
 - 中心星光度、ダストの光学特性・サイズ等に依存
 - 太陽系では3~4.2AU (巨大ガス・地球型惑星境界)
 - 光学的に厚いと1AU以内?
 - 地球型惑星に大量の水?



惑星形成における氷ダストの役割

- 粒子の合体成長を促進
- 固体質量(面密度)の増加 (e.g., Hayashi et al. 1985)
 - 木星型惑星のコア成長を助ける
 - snowlineはガス惑星と地球型惑星領域の境界
 - 地球型惑星への水供給の初期条件として、観測的な制限が望まれる



Chiang et al. 2001

- これまで、円盤氷ダストの観測的情報は限られていたのが現状
- 近年、ようやく少しずつ進展開始



ALMA

アルマ望遠鏡 | 宇宙への究極の挑戦

English | 広報活動 | 採用情報 | お問い合わせ | サイトマップ | RSS

文字サイズ 小 中 大

検索

HOME

アルマについて

ニュース&コラム

マルチメディア

研究者向け

よくある質問

HOME > ニュース&コラム > 最新情報 > 2013年記事一覧 > 観測成果:若い星のまわりのスノーラインを直接撮像

ニュース&コラム

アルマ通信

最新情報

▶ 2013年

▶ 2012年

▶ 2011年

▶ 2010年

▶ 2009年

▶ 2008年

▶ 2007年

▶ 2006年

▶ 2005年

プレスリリース

コラム

Atacama Large Millimeter/submillimeter Array

最新情報

2013年7月19日 観測成果:若い星のまわりのスノーラインを直接撮像

ツイート 0

いいね! 0

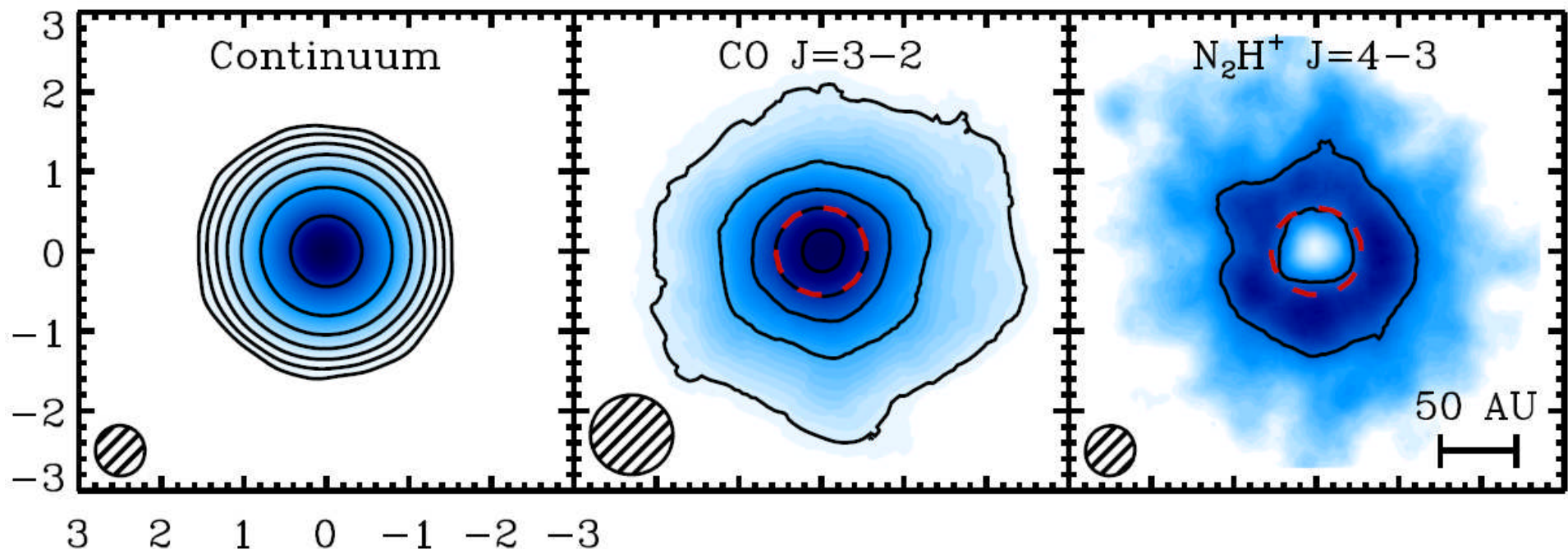
アメリカの研究者を中心とする研究チームは、アルマ望遠鏡を用いて若い星を取り巻くガスと固体間微粒子の円盤を観測し、史上初めて「スノーライン (snow line)」を画像としてとらえることに成功しました。このスノーラインは、惑星の形成やその化学組成の起源を考えるうえで非常に重要な役割を持っています。

地球上では、標高が高くなって温度が下がり、空気中の水分が凍ってしまう境界のことをスノーラインと呼びます。星のまわりでも同様に、星からの距離がある程度以上遠くなると温度が下がり、物質が凍りつき始める領域が存在します。また、生まれたばかりの星のまわりには、多種多様な分子を含んだガスや固体微粒子が円盤状に広がっています。これを原始惑星系円盤と呼びます。その円盤に含まれる物質の種類によって凍り始める温度、すなわち星からの距離は異なるので、星のまわりのスノーラインの位置は物質ごとに異なります。

星から一番近い位置で凍り始めるのが、私たちになじみ深い水です。そしてその外側には、順に二酸化炭素、メタン、一酸化炭素が凍り始めるスノーラインが存在すると考えられています。このような物質が凍ると、原始惑星系円盤に含まれる固体微粒子の上に霜が降るように降り積もっていきます。こうした固体微粒子が集積することで、惑星や彗星が作られます。

ALMA resolved CO snow line (Qi et al. 2013 Science)

- N_2H^+ の分布に $\sim 30\text{AU}$ の“穴”
 - COが気相に入るとabundanceが減るイオン
 - CO snow line を空間分解した
- CO snow lineの惑星形成における意義:
 - CO snow line 以遠で固体面密度の上昇 $\rightarrow$ 天王星・海王星コア形成を助けた？(Dodson-Robinson+2009)
 - H_2O ice snow line が重要とされており、その半径はより内側にあるとされている

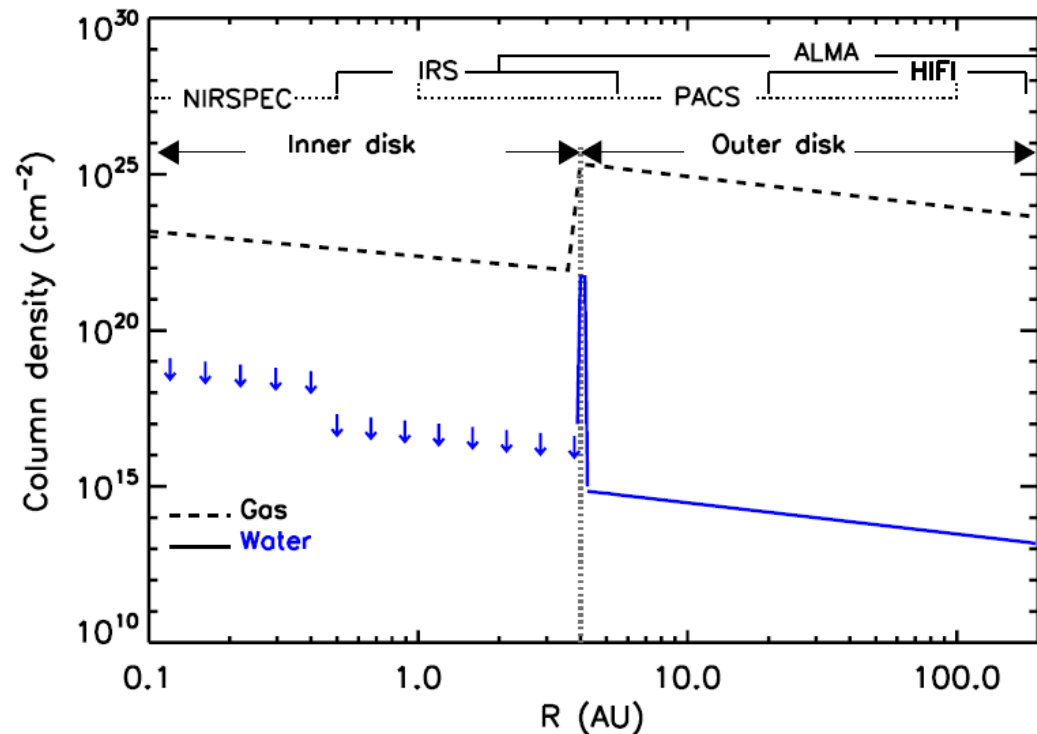


H₂O Snow line を間接的に導出 (Zhang+2013)

- SST/IRS, Hershel/PACS, Hershel/HIFI による TW Hya 円盤からの H₂O line をモデリング
- 4-4.2 AU のリング状に H₂O vapor 面密度が上昇しているモデルだと、観測されたライン強度を説明可能

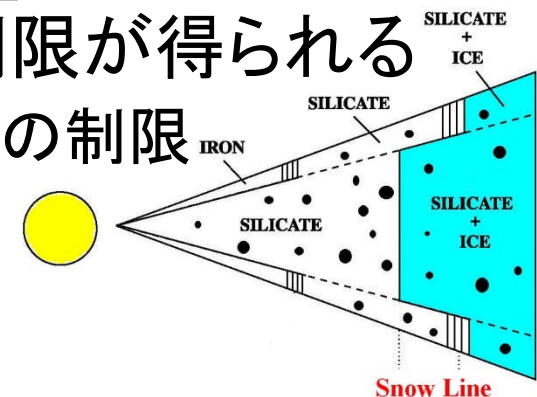
Snow line at ~4.2 AU
in TW Hya disk ?

ただし、間接的な導出であり、直接空間分解していない！



H₂O ice snow line の空間分解へ

- やはり惑星形成論の観点からは、H₂O ice の snow line を空間分解することが望まれる
 - 太陽型星で $r=3\text{-}5\text{AU}$ なので近傍星形成領域($\sim 140\text{pc}$)では $20\text{-}40\text{ mas}$ の角度分解能が必要 → **ALMA, TMT**
 - ただし、表層スノーラインであればさらに広がっているので要件は緩和される → **8m**
 - より luminous な Herbig Ae/Be 型星 ($L^* = \text{数}10L_{\text{sun}}$) の場合、数 10AU ($\sim 0.2''$)
 - また、近傍($\sim 10\text{pc}$)であっても要件は緩和される → **SPICA**
- Snow line の進化を探ることで、地球型惑星に水がどのようにもたらされるのか、の観測的制限が得られる
 - 地球型惑星での生命誕生の初期条件への制限

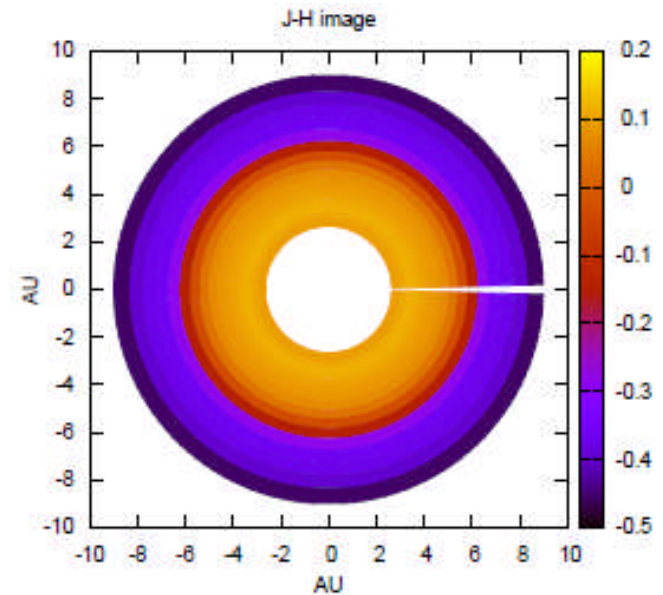


H₂O ice snow line の空間分解へ

- **ALMA** → HDO等のH₂O ice tracer を用いて10masの空間分解能を出せれば分解可
- **TMT** → 高い空間分解能 (~10mas)により近傍星形成領域でも空間分解可能

(Muto et al. in prep. 右図)

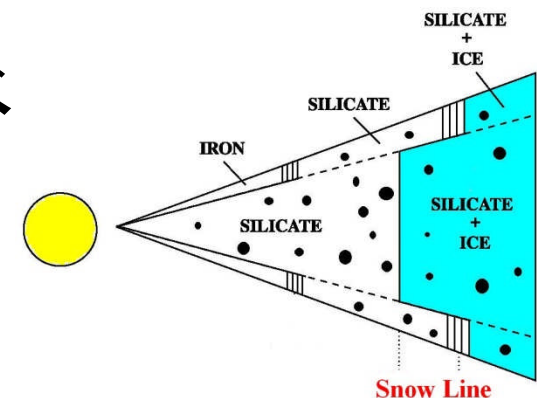
- **SPICA** → H₂O ice 44μm emission feature を用いて最近傍ベガ型星のsnow lineを狙う



J-H model image observed by TMT (Muto et al. in prep.)

H₂O ice snow line の空間分解へ

- 実は8mでもまだまだやれることはある！
 - ただし、装置がないのが現状
- 2-4um (L-band)に感度のある PDI (偏光差分撮像)の可能な装置が欲しい
 - PDIであれば IWAが良く、Herbig Ae/Be disk surface snow line (～0.2”)に迫れる可能性あり
 - さらに散乱光(面)分光が出来れば、より詳しく円盤氷物性について調べることが出来る

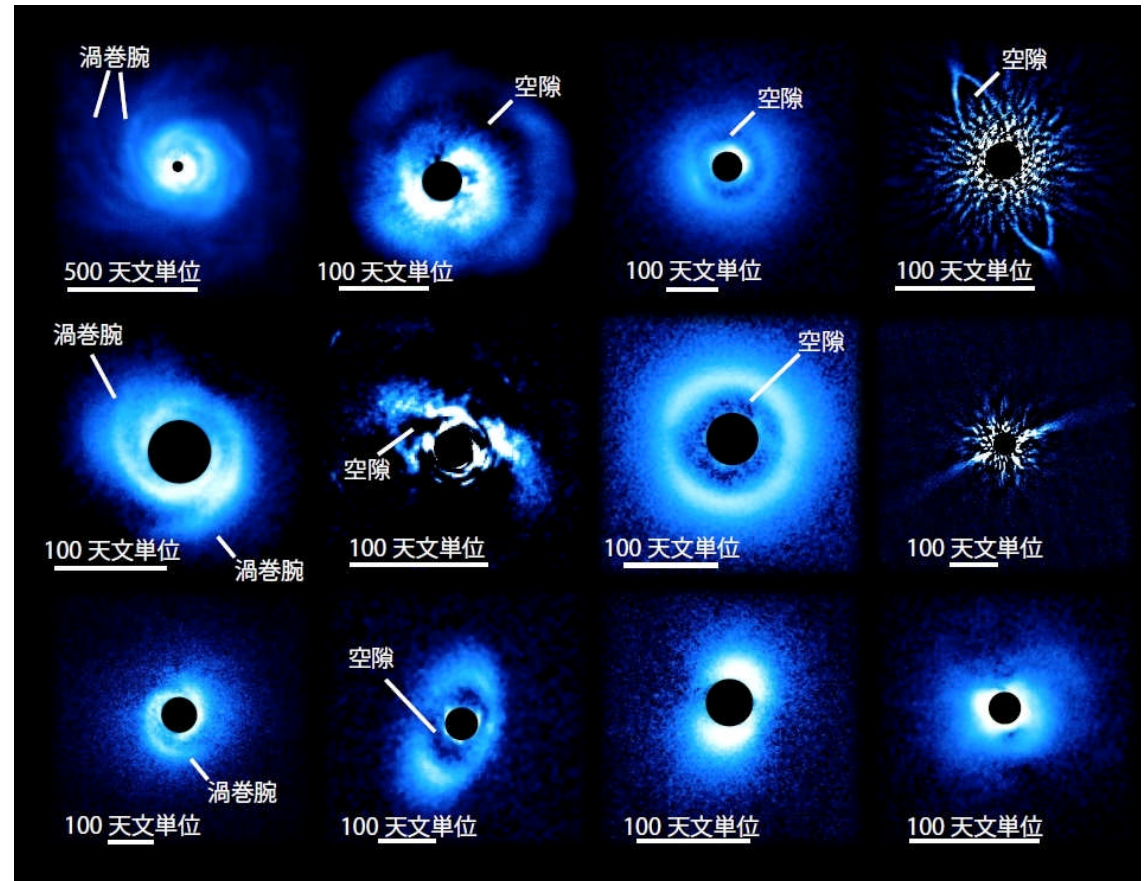


原始惑星系円盤中で形成中の 惑星の直接撮像

レビューというより話題提供ですが...

円盤詳細構造の観測

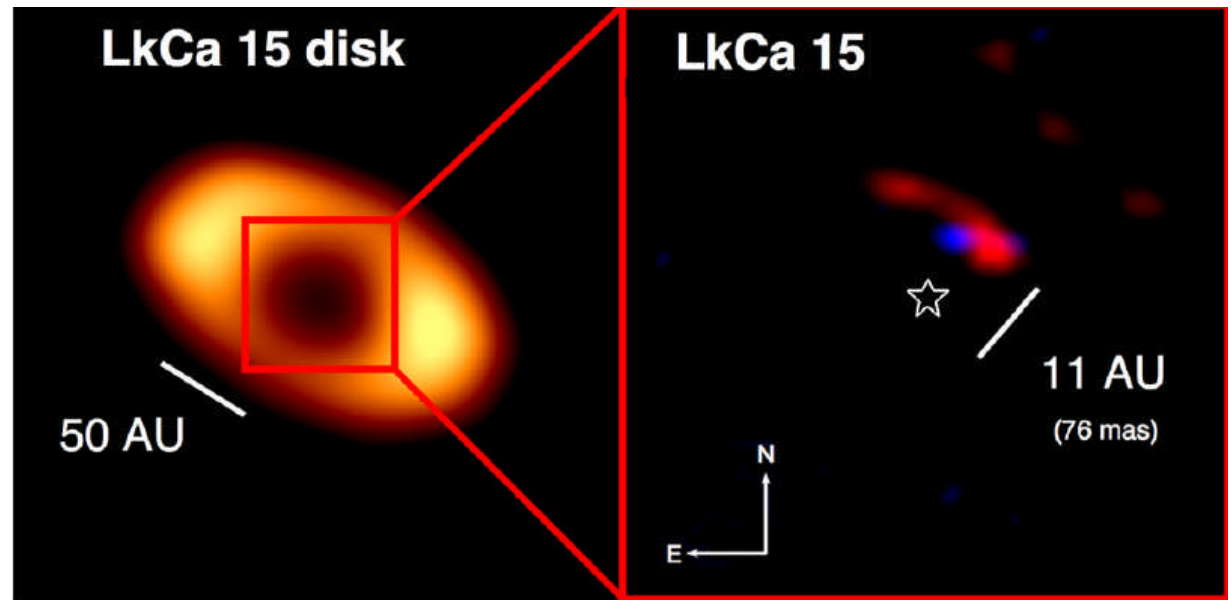
- 今後5-10年に於いても円盤の詳細構造の観測は重要
 - 惑星形成母体の初期条件・進化
 - 形成中の惑星の間接証拠
- 今後は形成中の惑星そのものの観測が次のステップ
 - サイエンスケースに明示的に挙げられていないため指摘



SEEDSプレスリリースより

形成中惑星 の観測例： LkCa15b

Kraus & Ireland 2012

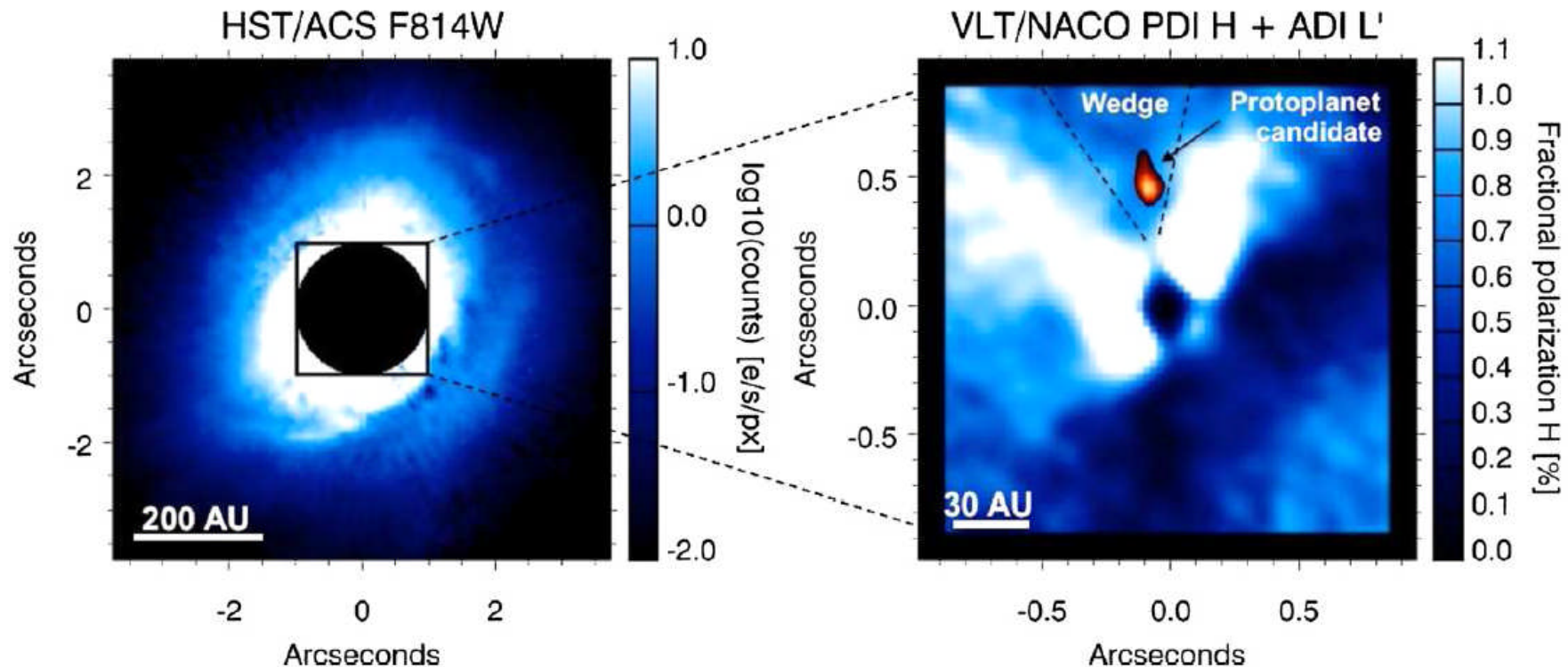


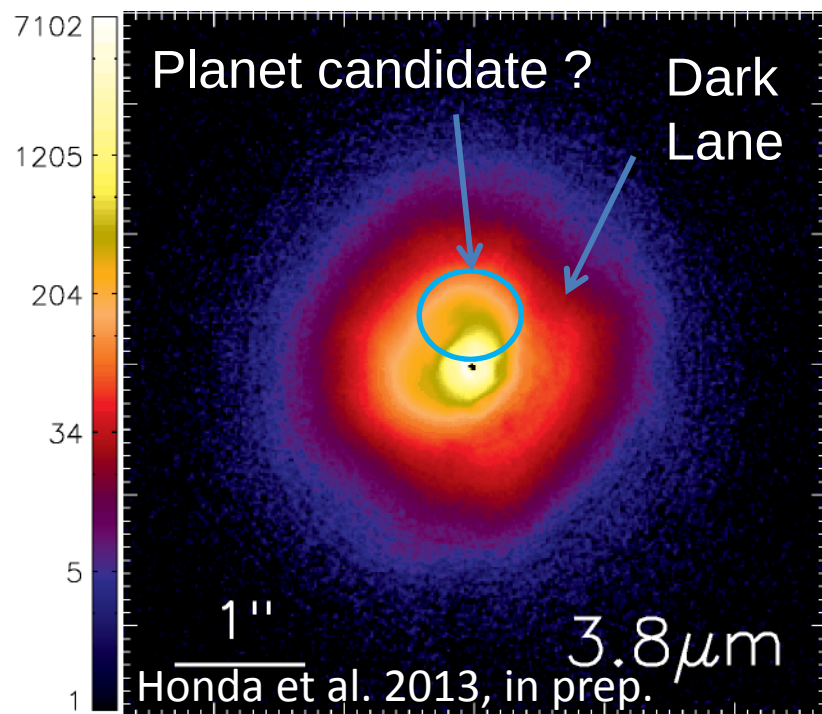
- Non-redundant aperture masking interferometry
によって gap (~ 55 AU) 中にソース検出 (blue: K-band, red: L-band)
- (Pre-)transitional disk gap 中に見つかった“惑星候補”としては初めて
 - これまで散々 gap は惑星形成の証拠と言われてきたが、形成中の惑星そのものはみつかっていなかった
ので、重要である！
- ただし、干渉計による像再生であり、今後の直接撮像等他の手法による follow-up が待たれる

形成中惑星の観測例：HD100546b

Quanz et al. 2013

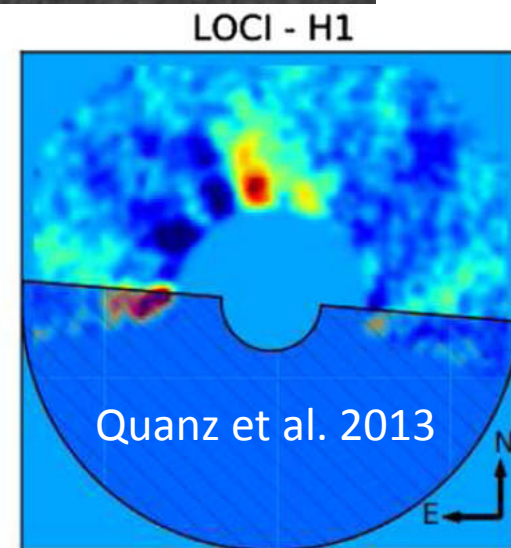
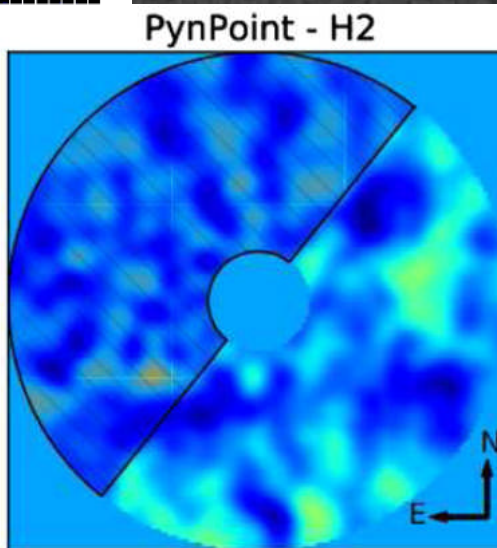
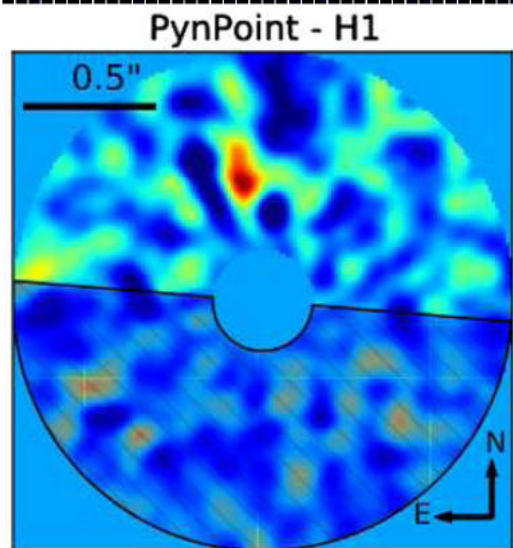
- VLT/NaCo APP(Apodosing Phase Plate) coronagraphic imaging in L'(3.8 μ m) in ADI
- 0.48'' (47AU deprojected radius is 68AU)
PA=8.9deg に少し広がった点源検出
→ 形成中の惑星である！





Kudo, private communication

LOCI (Locally Optimized combination of images) 処理画像



形成中の惑星の直接撮像

- サイエンスケースに明示的に挙げられていないが、**形成中の惑星の検出**こそ重要だと思うので指摘
 - Gap, spiral, warp, etc... disk 形態は結局間接的証拠
 - 実際に形成中の惑星はどのように“見える”のか？
- 8mでも候補天体の報告：LkCa15b, HD100546b....
- ただし、**現段階ではあくまで候補天体**であり、確定したとは言えない(と思っている)
- また、形成中の惑星がどのように見えるのか？についての**理論予想が不足**している気がする...
 - 周惑星円盤があれば明るい？
 - 深く円盤に埋もれていて光赤外では厳しい？
 - 今後の検出可能性の理論的検討を期待したい

まとめ

- 2010～2020年代にかけて、H₂O, CO, 等の揮発性物質の氷のスノーラインの観測が進む
 - 2010年代: ALMA, 8m
 - 2020年代: TMT, SPICA
 - 地球型惑星への水の供給の初期条件の制限
- 原始惑星系円盤中での形成途上惑星の観測、理論的研究の進展は重要となるであろう
 - 観測はもとより、理論的検討が不足している状況にある印象

Extra slides

CO snow line resolved (Qi et al. 2013 Science)

- N_2H^+ はCO gas が増えると形成反応が減り、崩壊反応が進む
 - $\text{N}_2 + \text{H}_3^+ \rightarrow \text{N}_2\text{H}^+ + \text{H}_2$ (形成反応)
 - $\text{N}_2\text{H}^+ + \text{CO} \rightarrow \text{N}_2 + \text{HCO}^+$ (崩壊反応)
- N_2H^+ の穴のサイズが $\sim 30\text{AU} \Leftrightarrow \text{CO snow line}$ ($T \sim 17\text{K}$) とよく一致 $\rightarrow$ CO snow line を見ている
- CO snow line と惑星形成 $\rightarrow$ 天王星・海王星のコア形成速度を速めたかもしれない (面密度上昇) 形成時間の問題を緩和? (Dodson-Robinson+)
- Comet のCO abundance のvariation は形成場所を反映?

