Star Formation Newsletter Seminar Astro-ph GAEP 1025-28 (1022-23)

野村英子 (国立天文台)

Filament Accretion and Fragmentation in the Perseus Molecular Cloud

Michael Chun-Yuan Chen [1], James Di Francesco [1,2], Rachel K. Friesen [3], Jaime E. Pineda [4], Paola Caselli [4], Adam Ginsburg [5], Helen Kirk [1], Anna Punanova [6]

GAS Collaboration

accepted to ApJ

Observations suggest that filaments in molecular clouds can grow by mass accretion while forming cores via fragmentation. Here we present one of the first large sample studies of filament accretion using velocity gradient measurements of star-forming filaments on the ~ 0.05 pc scale with NH_3 observations of the Perseus Molecular Cloud, primarily obtained as a part of the GBT Ammonia Survey (GAS). In this study, we find significant correlations between velocity gradient, velocity dispersion, mass per unit length, and the number of cores per unit length of the Perseus filaments. Our results suggest a scenario in which filaments not only grow through mass accretion but also form new cores continuously in the process well into the thermally supercritical regime. Such behavior is contrary to that expected from isolated filament models but consistent with how filaments form within a more realistic cloud environment, suggesting that the cloud environment plays a crucial role in shaping core formation and evolution in filaments. Furthermore, even though velocity gradients within filaments are not oriented randomly, we find no correlation between velocity gradient orientation and the filament properties we analyzed. This result suggests that gravity is unlikely the dominant mechanism imposing order on the ~ 0.05 pc scale for dense star-forming gas.

・概要

・GBT Ammonia Surveyの一環として、Perseus分子雲中のフィラメントの速度構造を~0.05 pcスケールで観測した。

・フィラメントの速度勾配、速度分散、単位長さ当たりの質量とコアの数に相関があった。

・この結果は、フィラメントが質量降着により成長する一方で、新たなコアが形成され続けていることを示唆する。

・速度勾配の方向とフィラメントの性質に相関はなかった。

・この結果は、~0.05 pcスケールでは、重力はdominantではないことを示唆する。

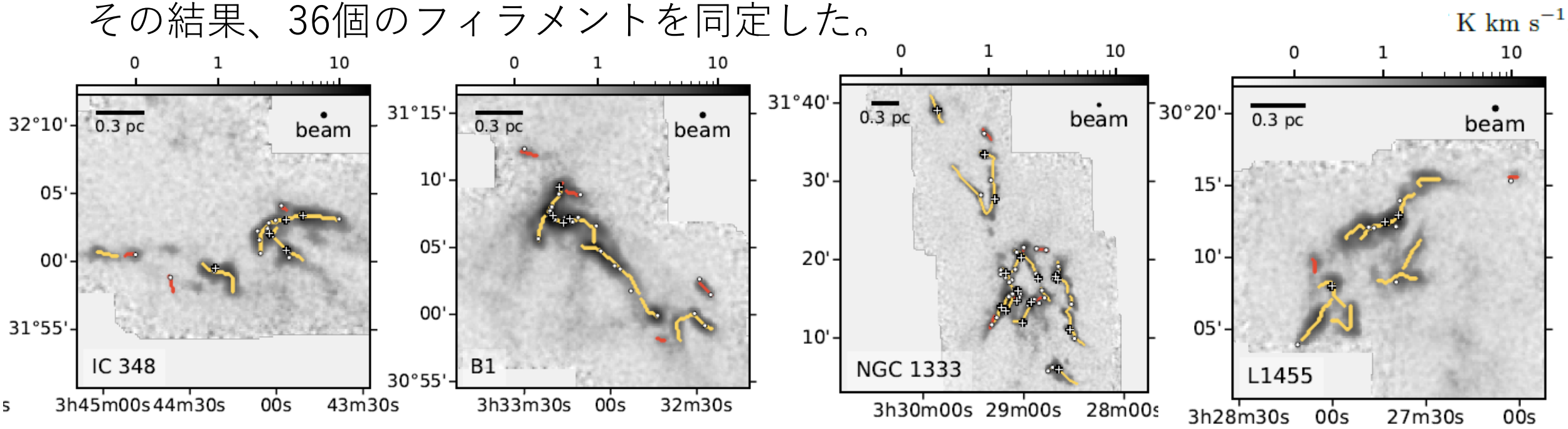
・Introduction

・フィラメント内の速度構造や速度分散より、フィラメント内の降着流や乱流の情報を得ることができる。また、fragmentationによるコア形成シナリオによると、コアは等間隔に形成される。

・本研究では、初めて高空間分解能(~0.05pc)でフィラメントの速度勾配、速度分散、単位長さ当たりの質量、コアの数、原始星の数のサーベイを行った。

・観測:
GBT Ammonia Surveyの一環として、Perseus分子雲をNH3 (1,1) & (2,2)で観測
(今回の研究ではNH3 (1,1)のみ使用)。
空間分解能：32” (~0.05pc @ d=300pc), 速度分解能： ~0.07 km/s

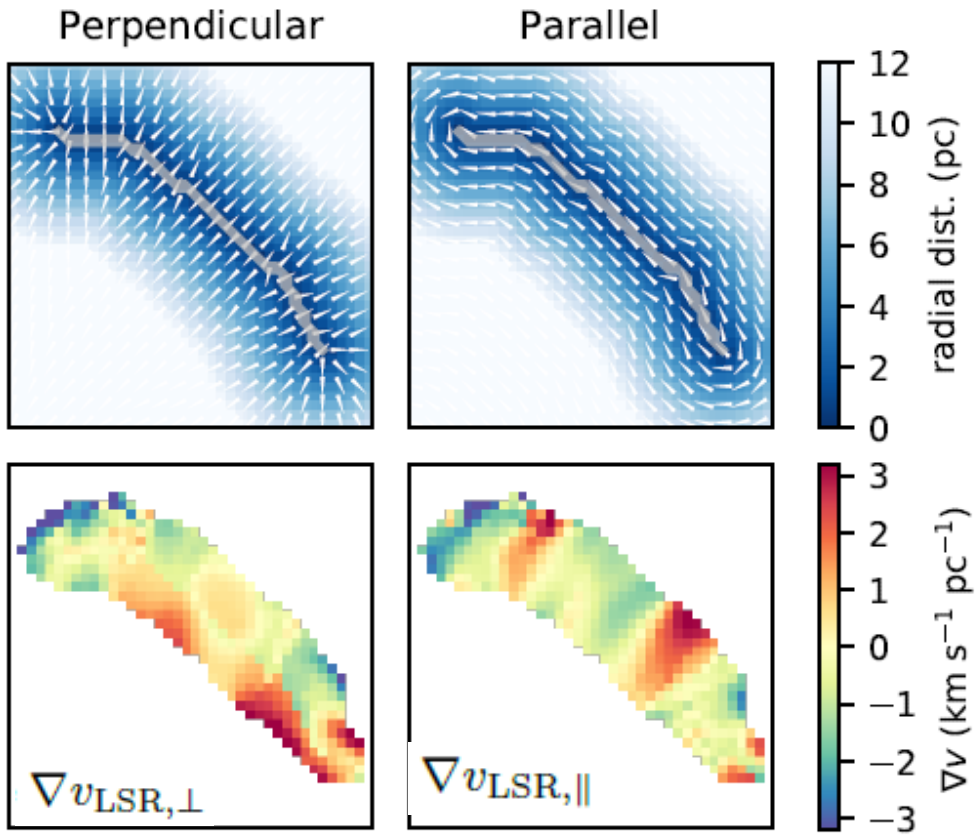
・手法：
- NH3 (1,1)の18本のhyper-fine structure linesを用いて、速度分散、励起温度、
光学的厚さを求めた(MUFASAを使用)。
- フィラメントの同定は、CRISPyを用いて position-position-velocity 空間で行った。
その結果、36個のフィラメントを同定した。



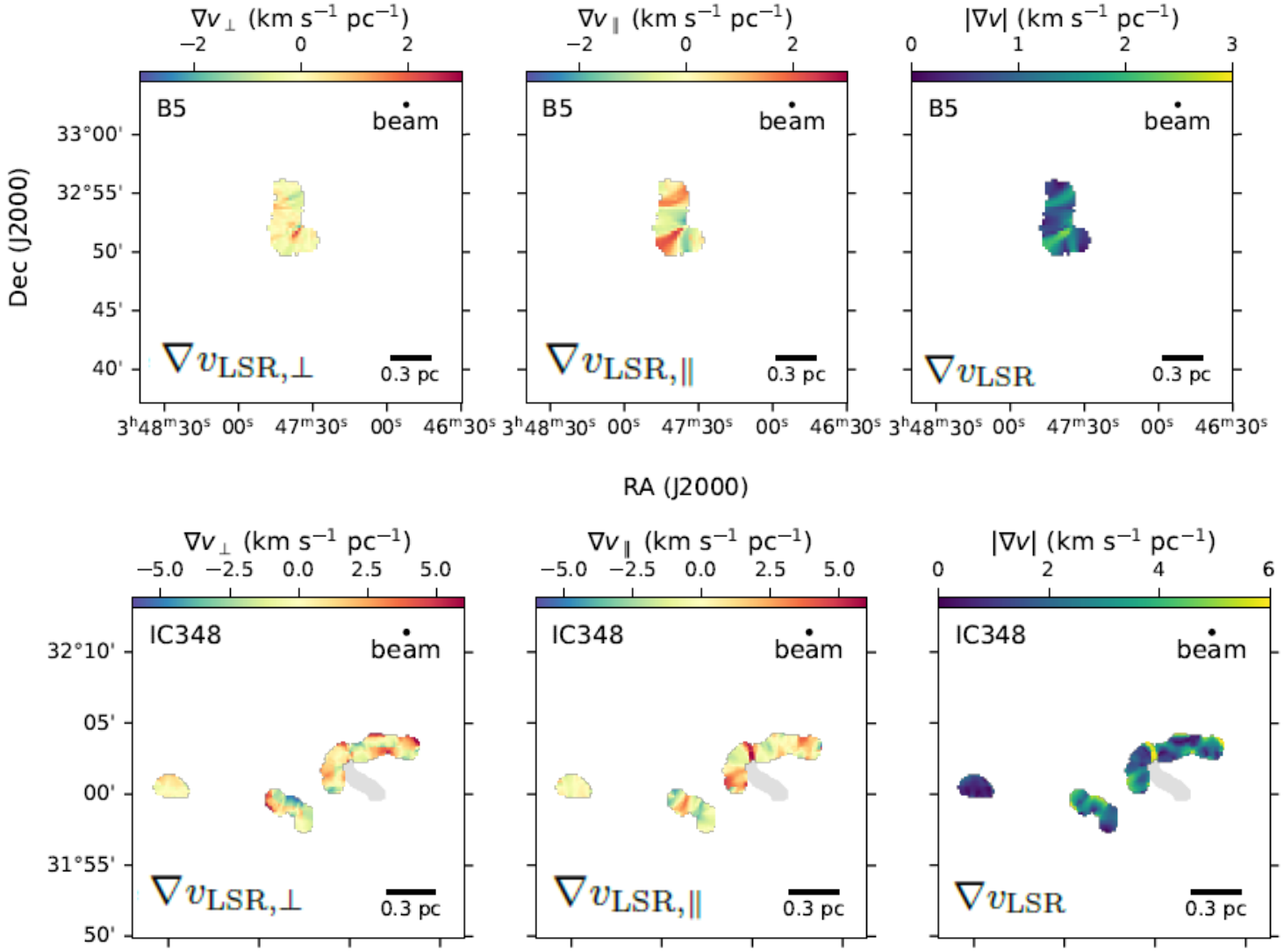
・gray contour: NH3 (1,1) 積分強度、黄・赤線：同定されたフィラメント

・速度勾配の測定

・例(モデル計算)



・観測

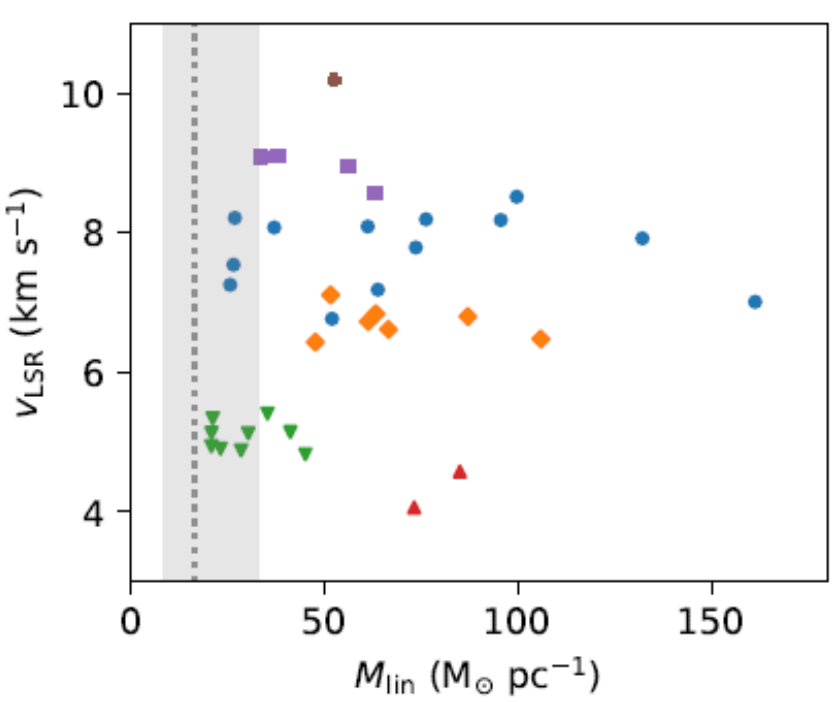


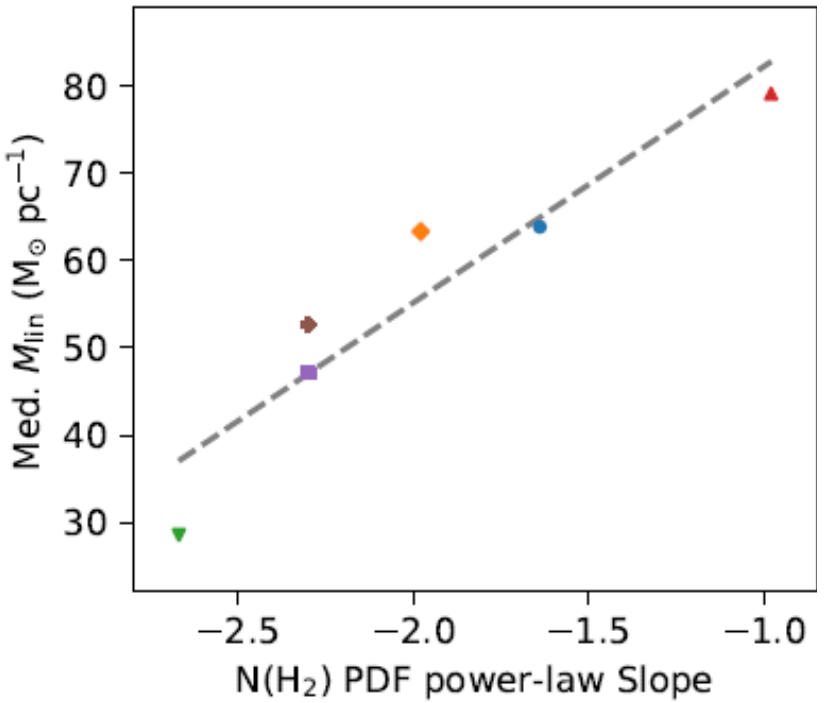
・質量の測定：Herschelのダストmapより導出

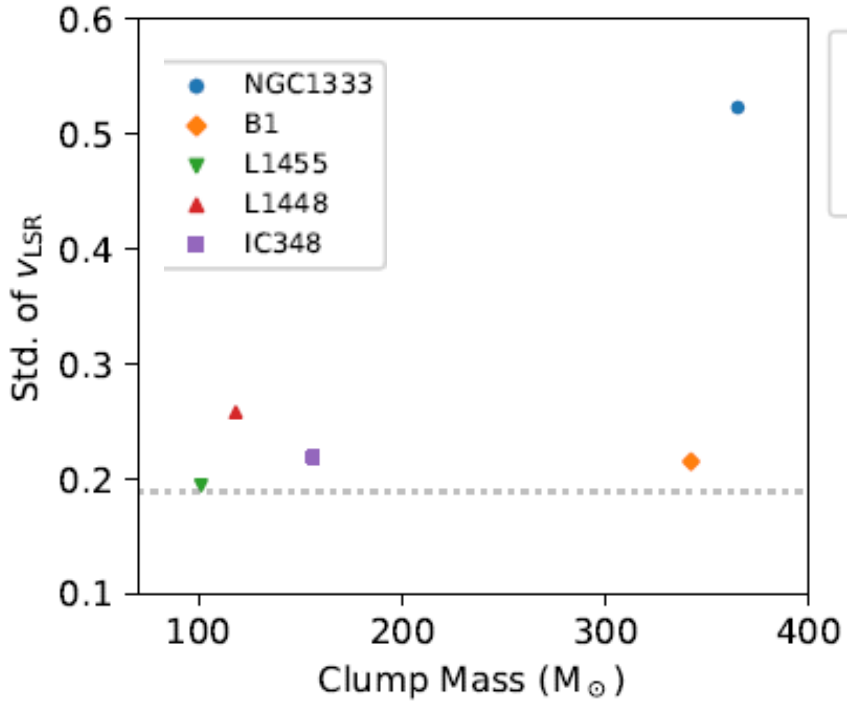
・コア：JCMT GBS core catalogを使用

・原始星：Spitzer c2d catalogを使用

・解析結果

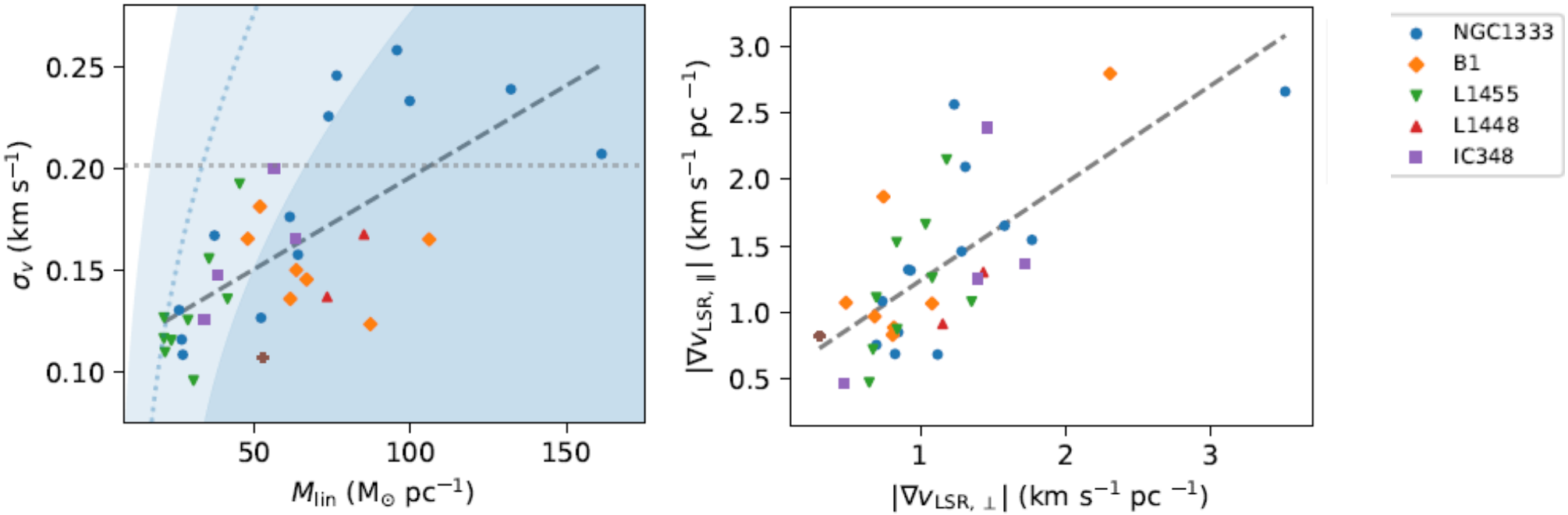




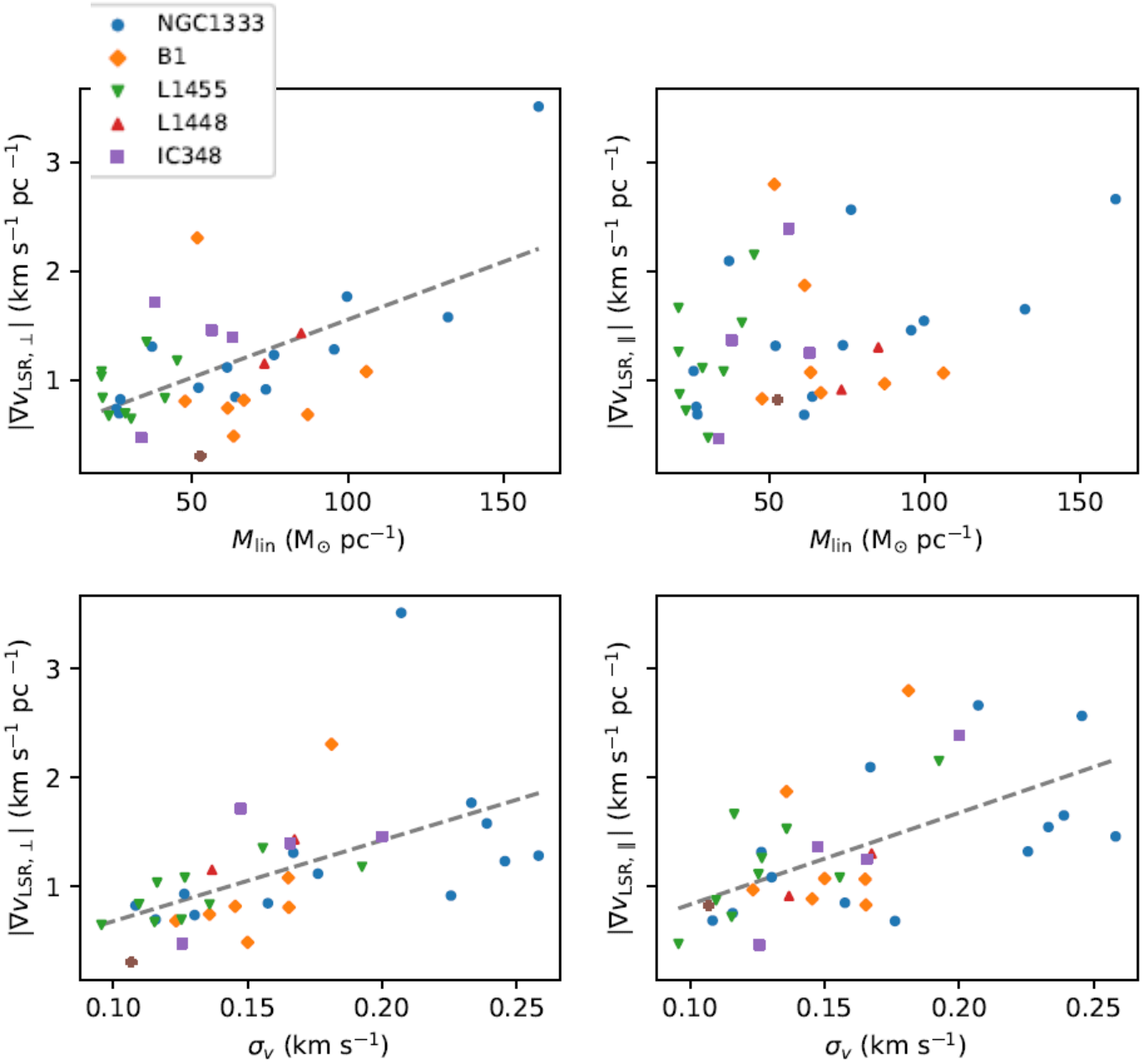


- フィラメントごとのV_{LSR}の平均値と単位長さ当たりの質量(M_{lin})のちらばりは、分子雲クランプによって異なる。
- $M_{\rm lin,crit} = 2c_s^2/G$ =16.6Msun/pc (点線)に比べて、全てのクランプの質量は大きい(thermally supercritical)→重力的に不安定。
- クランプ内のフィラメントのM_{lin}の平均値が大きいほど柱密度のPDFのslopeは緩やかになる⇔PDF slopeとSFEに相関がある (シミュレーション＆観測)
- 分子雲クランプ内のV_{LSR}のばらつきは、クランプ質量に寄らずほぼ一定で、音速(点線, 10K)よりやや大きい。

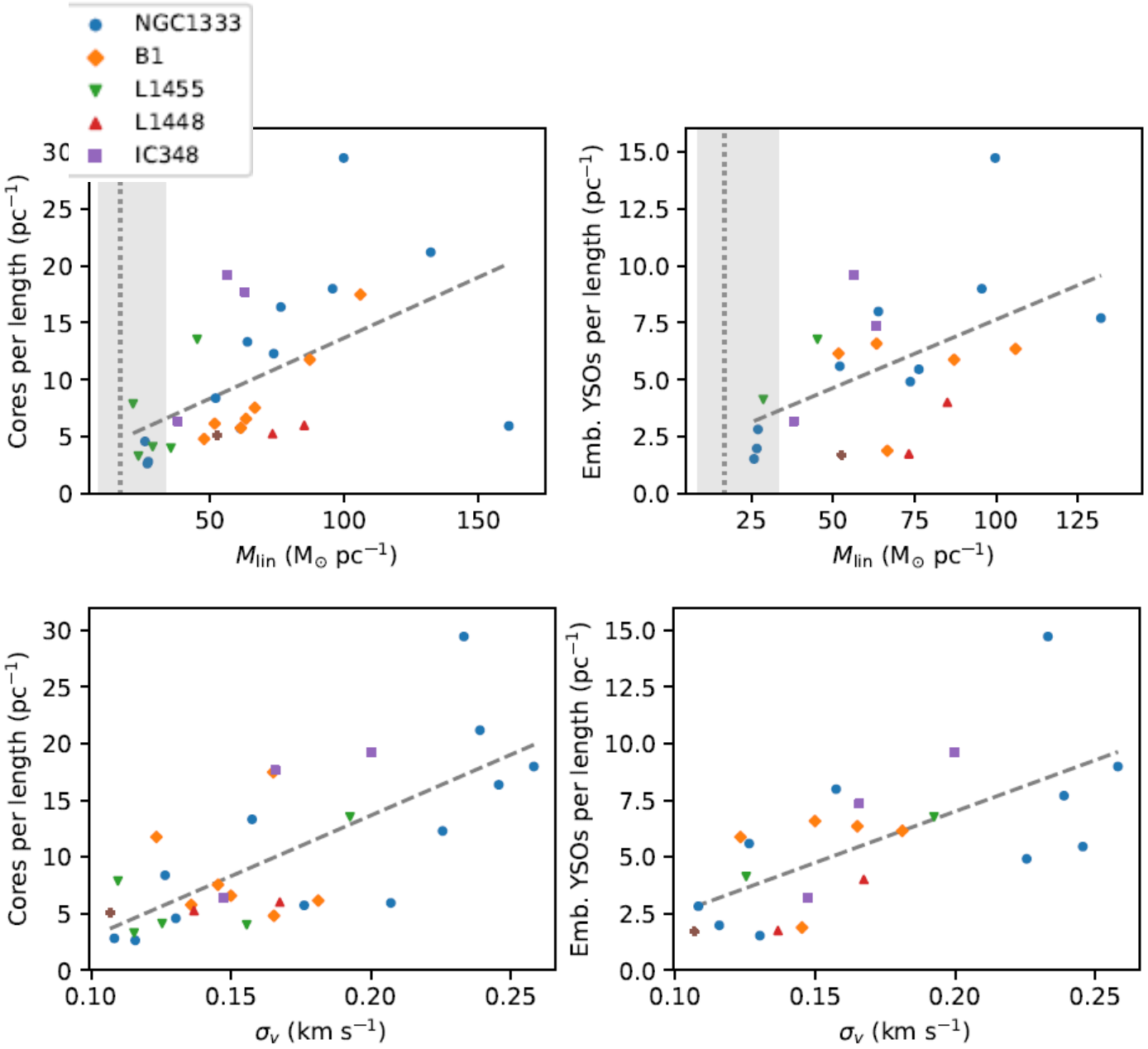
- ただし、NGC1333は例外で、V_{LSR}のばらつきが大きい。NGC1333の質量はB1よりわずかに大きいだけだが、NGC1333の方が平均柱密度が大きく、PDF slopeが緩やかである→より進化が進んだ段階にあり、dynamicalな状態にあると考えられる。速度勾配も他のクランプに比べて大きく、周囲の分子雲からの質量降着が活発であると考えられる。



- M_{lin}と速度分散の間には相関がある。
  フィラメント内の速度分散は、質量降着流起源であることが示唆されており、
  この結果は、フィラメントのM_{lin}が質量降着により大きくなっていることが示唆する。
- $V_{LSR,\perp}$と$V_{LSR,||}$の間には相関がある。



- M_{lin}と$V_{LSR,\perp}$の間には相関があるが、$V_{LSR,||}$の間との相関は弱い。
  →フィラメントに垂直方向の降着流により質量が増加している可能性を示唆。
- 速度分散と$V_{LSR,\perp}$, $V_{LSR,||}$の間には相関がある。→ $V_{LSR,||}$の起源はフィラメントに平行な方向の収縮運動よりは、fragmentationなどが起源の可能性がある。



- フィラメントの単位長さ当たりのコアの数や原始星の数と$M_{\rm lin}$の間には相関がある。→フィラメントの質量が降着流により増加しつつ、fragmentationによりコア(と原始星)が形成され続けていることを示唆する。
- 速度分散とコアや原始星の数にも相関がある。→速度分散には、コアや原始星へのlocalな質量降着も寄与している可能性がある。

Linking the primordial composition of planet building disks to the present-day composition of rocky exoplanets

V. Adibekyan[1,2], M. Deal[3], C. Dorn[4], I. Dittrich[4], B. M. T. B. Soares[1,2], S. G. Sousa[1], N. C. Santos[1,2], B. Bitsch[5], C. Mordasini[6], S. C. C. Barros[1,2], D. Bossini[7,8], T. L. Campante[1,2], E. Delgado Mena[1], O. D. S. Demangeon[1], P. Figueira[9,1], N. Moedas[1,2], Zh. Martirosyan[10], G. Israelian[11,12], and A. A. Hakobyan[13]

Accepted by A&A

Context. The composition of rocky planets is strongly driven by the primordial materials in the protoplanetary disk, which can be inferred from the abundances of the host star. Understanding this compositional link is crucial for characterizing exoplanets.
Aims. We aim to investigate the relationship between the compositions of low-mass planets and their host stars.
Methods. We determined the primordial compositions of host stars using high-precision present-day stellar abundances and stellar evolutionary models. These primordial abundances were then input into a stoichiometric model to estimate the composition of planet-building blocks. Additionally, we employed a three-component planetary interior model (core, mantle, water in different phases) to estimate planetary compositions based only on their radius and mass.
Results. We found that although stellar abundances vary over time, relevant abundance ratios like Fe/Mg remain relatively constant during the main sequence evolution for low temperature stars. A strong correlation is found between the iron-to-silicate mass fraction of protoplanetary disks and planets, while no significant correlation was observed for water mass fractions. The Fe/Mg ratio varies significantly between planets and their stars, indicating substantial disk-driven compositional diversity, and this ratio also correlates with planetary radius.
Conclusions. While stellar abundances, as a proxy of the composition of protoplanetary disk, provide a baseline for planetary composition, significant deviations arise due to complex disk processes, challenging the assumption of a direct, one-to-one elemental relationship between stars and their planets.

・概要

- 系外岩石惑星の特徴づけを考える上で、原始惑星系円盤、主星中の物質組成との関係を考えることは重要である。

- 高精度の恒星進化モデルに基づき計算を行った結果、恒星が進化して恒星中の物質の存在量が変化しても、低温の主系列星の場合、Fe/Mgなど組成比は大きく変化しない。
- 原始惑星系円盤と惑星の間のSi/Fe比には強い相関があるが、水の質量にはほとんど相関がない。
- 主星と惑星の間のFe/Mg比は大きく変化し、円盤起源の多様性を生み出す。また、Fe/Mgは惑星の半径にも依存する。
- 主星と惑星の組成比は円盤内の複雑な過程で変化するので、注意が必要である。

・Introduction

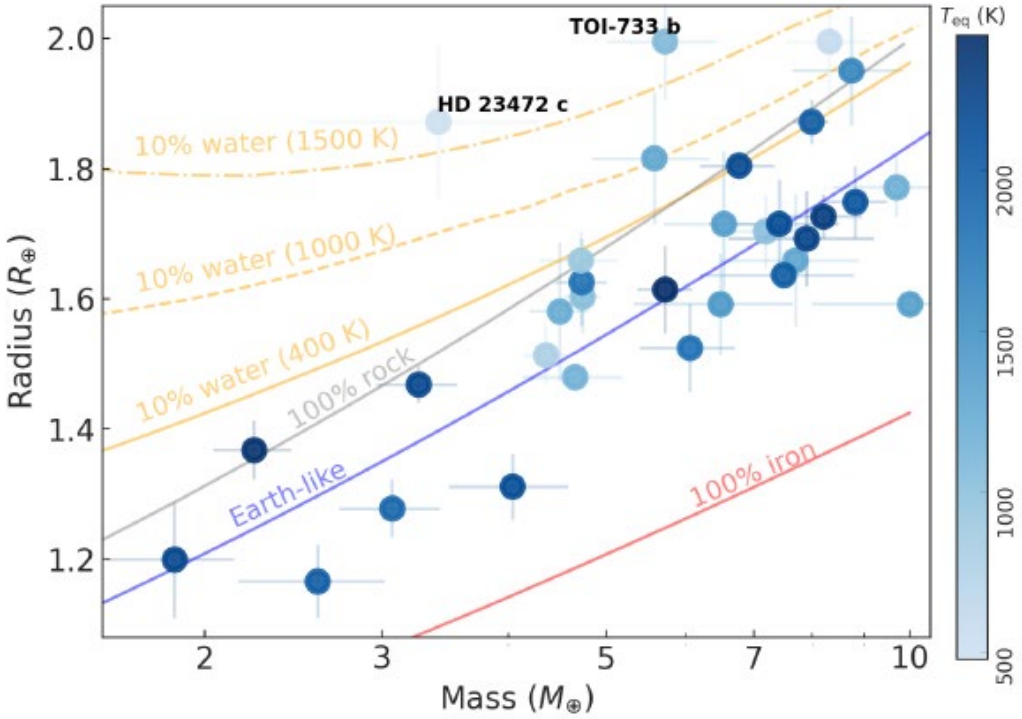
- 地球や金星、火星と太陽の間の組成比は１対１対応しているが、水星の場合は異なる。また、主星の表面組成は、現在と生成時では大きく違い得る。
- 本研究では系外惑星系におけるその違いの可能性について、モデル計算と観測に基づいて議論する。

・サンプル (PlanetS Catalogより):
- F, G, K型星 (4600K < Teff < 6500 K) まわりの<2R_Eの岩石惑星32個 (30個の恒星)
(gas-richのsub-Neptuneなどは外す)

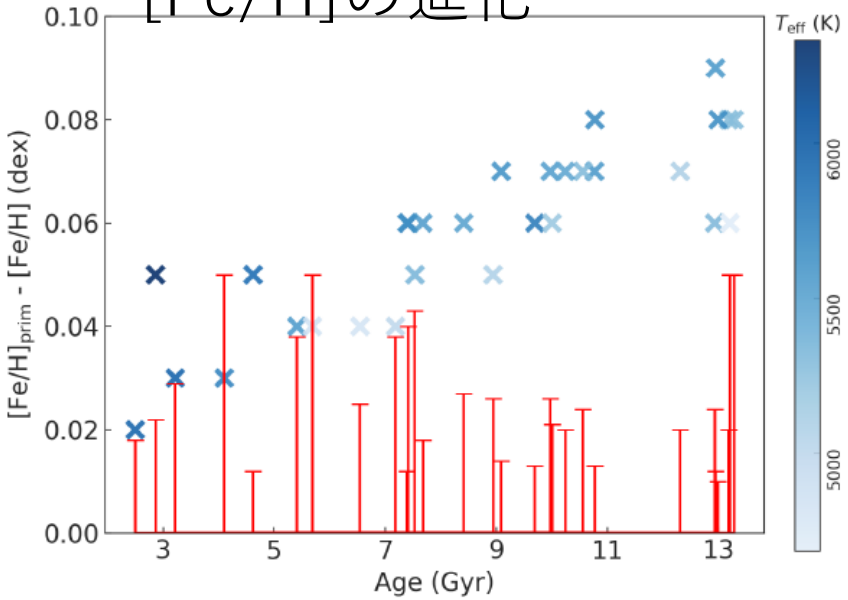
・恒星パラメータ:
Teff, log g(表面重力), Vturb (乱流)、[Fe/H](金属量), 組成(Fe,Mg, Si, C, O)

- F, G, K型星 (4600K < Teff < 6500 K)まわりの<2R_Eの岩石惑星32個 (30個の恒星)
(gas-richのsub-Neptuneなどは外す)

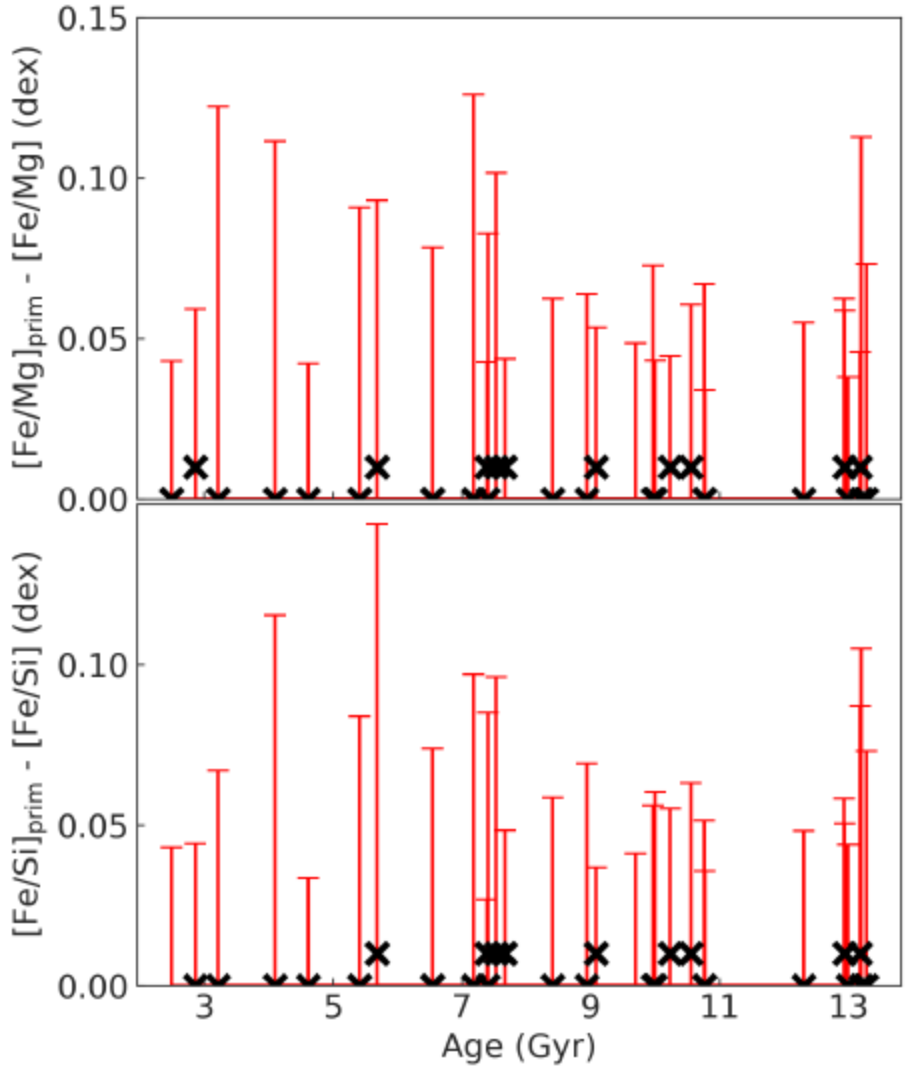
・恒星進化モデル:
public Code d'Evolution Stellaire Adaptatif et Modulaire



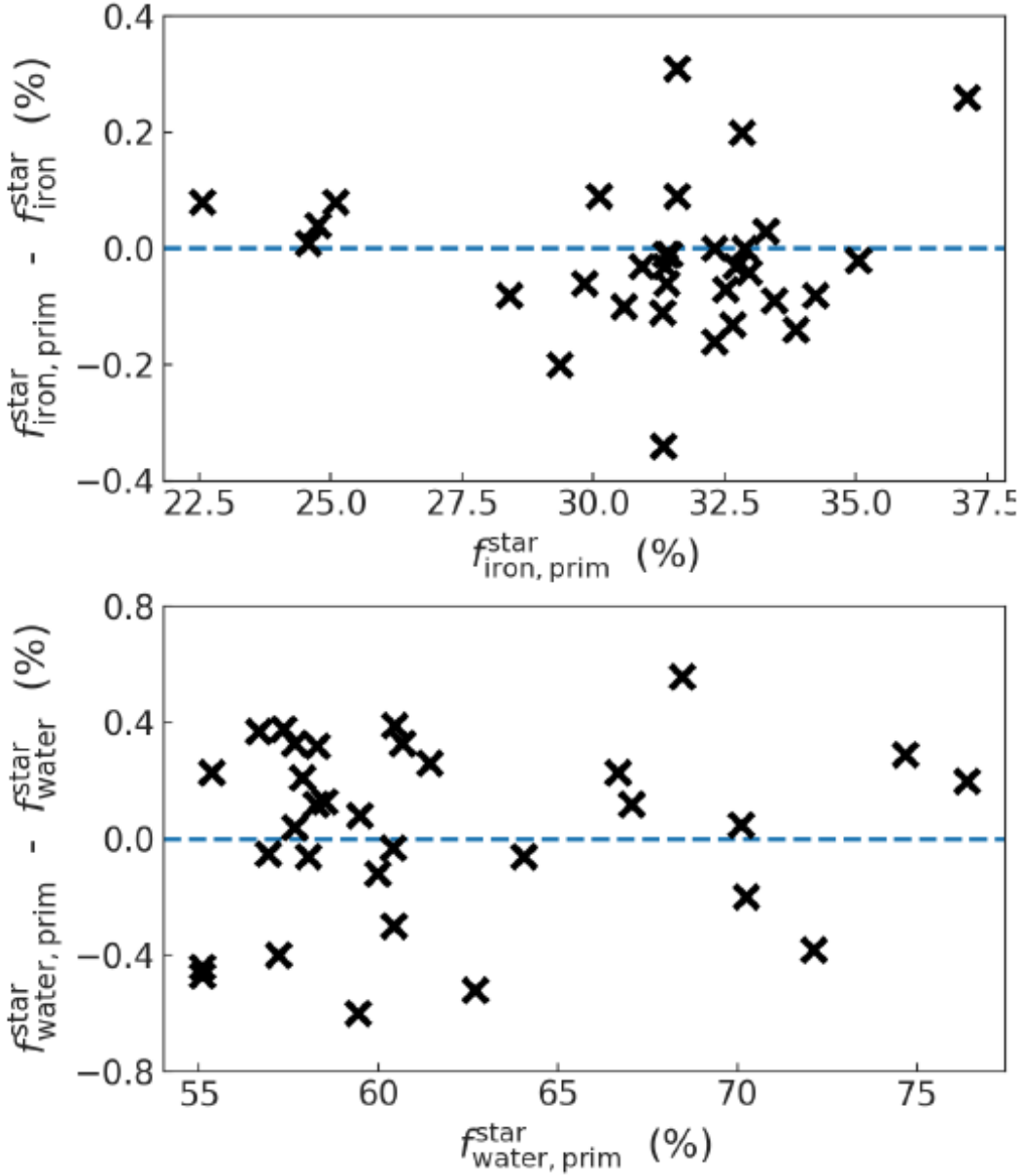
・[Fe/H]の進化



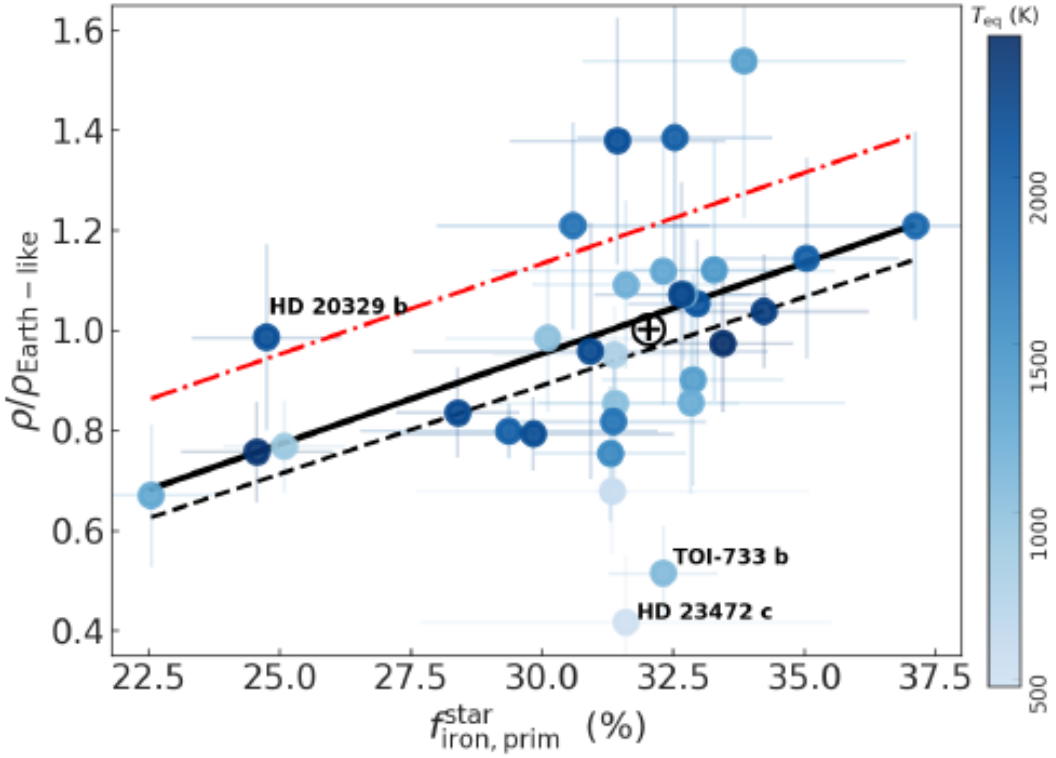
・[Fe/Mg], [Fe/Si]の進化
(ほとんど変化しない)

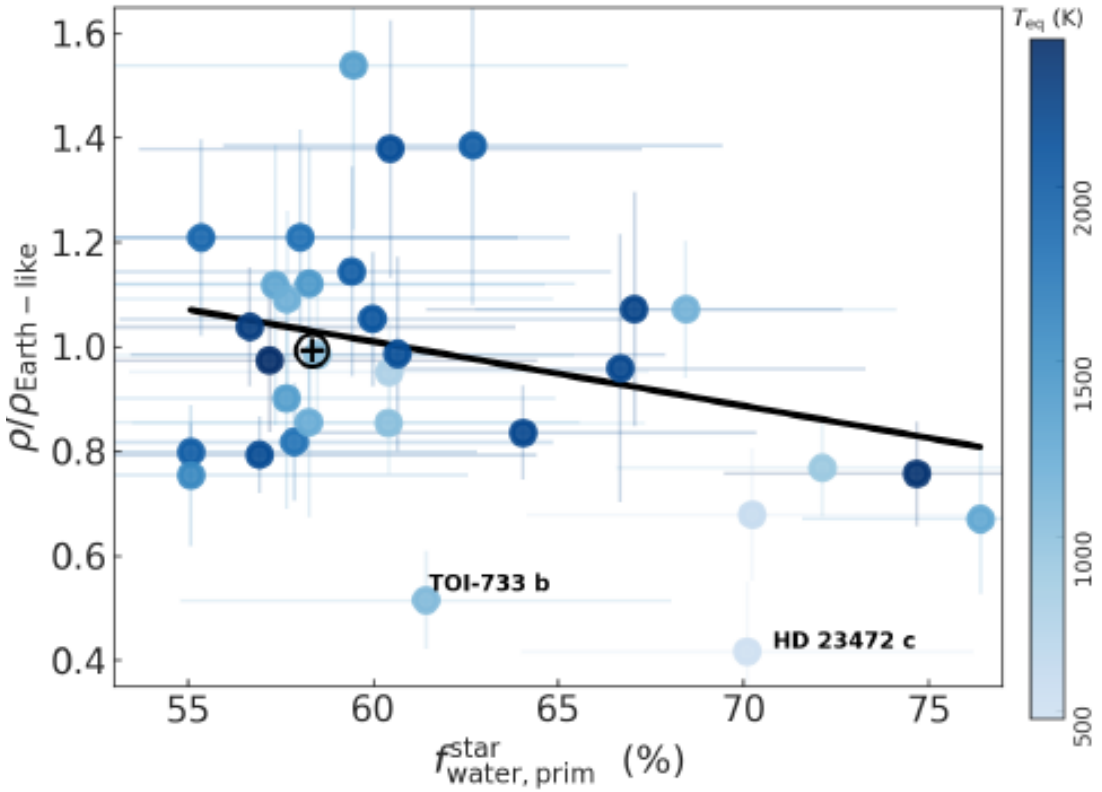


・Fe/Si, water(酸素)の変化量
(変化量は小さい)



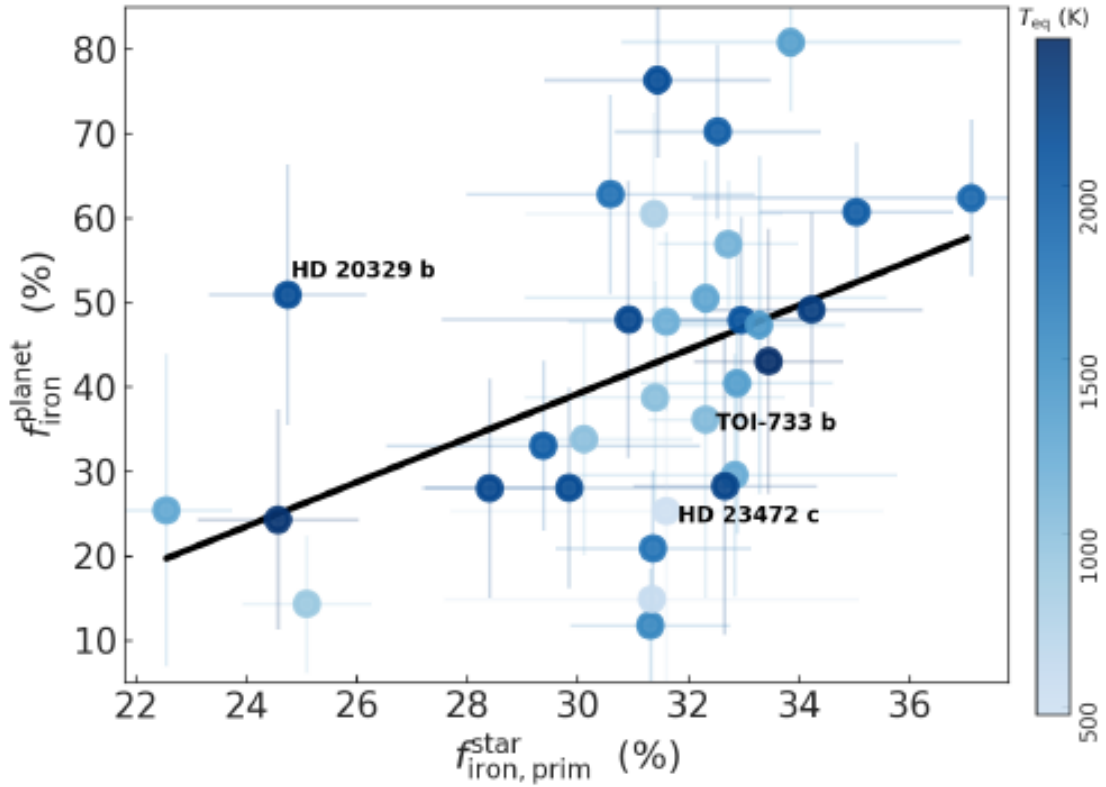
・惑星の密度と主星におけるFe/Siやwater(酸素) との関係

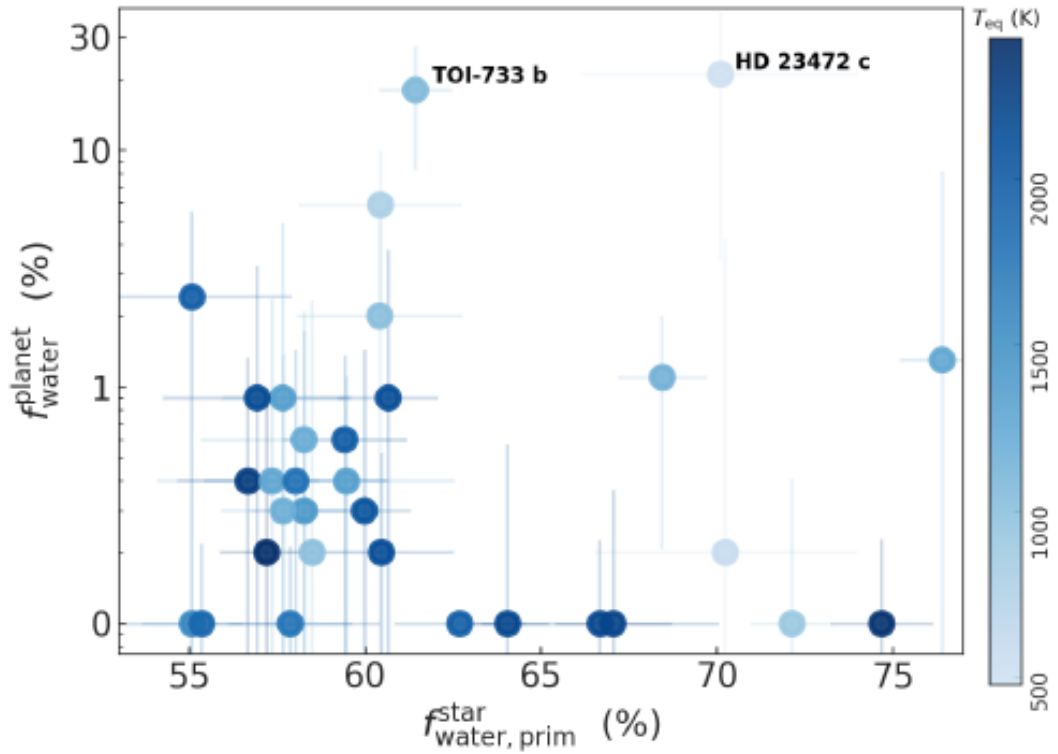




- 主星のFe/Siと惑星の密度には相関がある([Fe/H]とは相関は弱い)。
- HD20329bは惑星中のFeの割合が高い
- 赤線は水星を想定した場合→系外惑星も２極化？
- Water/Siの相関は弱い(傾向としては惑星の密度とconsistent)

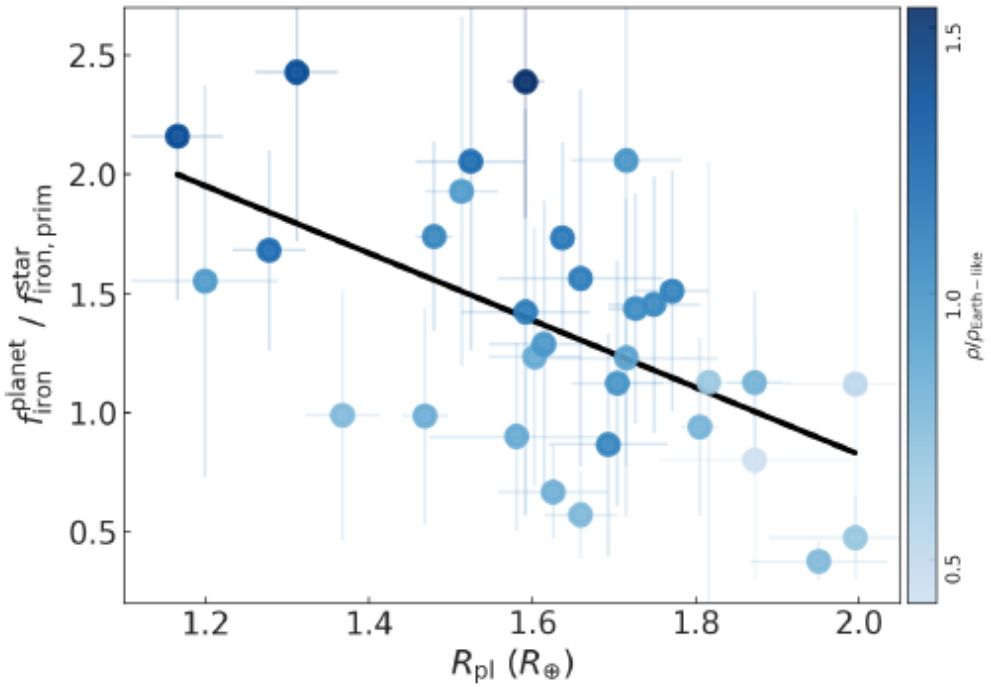
・惑星と主星におけるFe/Siやwater(酸素) との関係

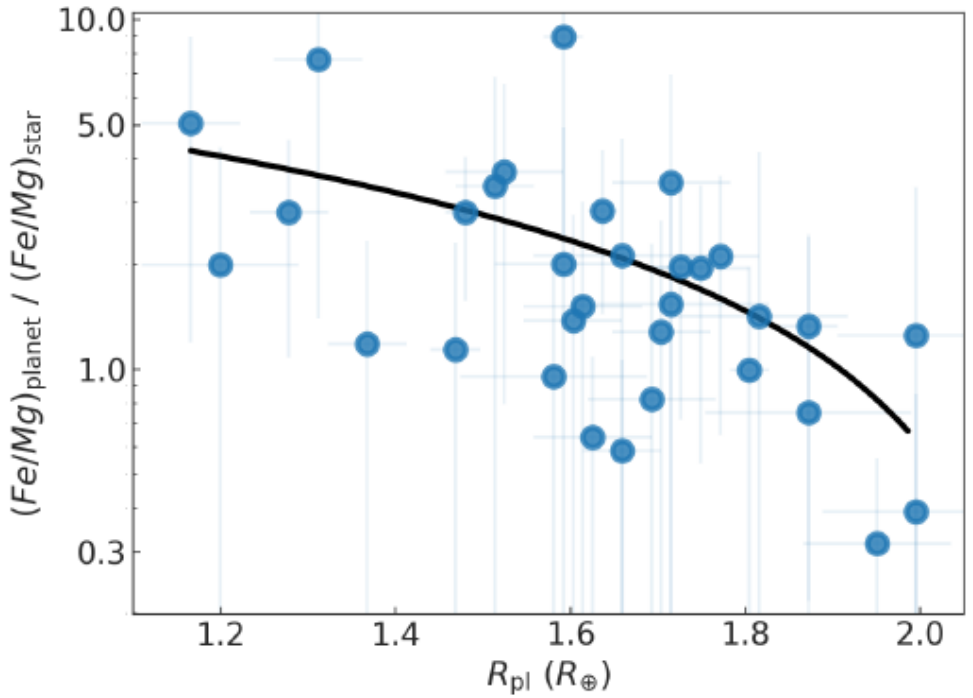




- 主星のFe/Siと惑星のFe/Siには相関がある。
- Waterには相関はない (原始惑星系円盤中では、water iceは岩石惑星形成領域にはないと考えられる)

- $f_{\mathrm{iron}}^{\mathrm{planet}}$ / $f_{\mathrm{iron,prim}}^{\mathrm{star}}$ ・$(Fe/Mg)\mathrm{planet}$ / $(Fe/Mg)\mathrm{star}$ と惑星半径の関係





- 惑星のFeの割合が高いものほど密度が高い
- 惑星形成・進化過程でFeが濃集された？

JWST/MIRI detection of a carbon-rich chemistry in the disk of a solar nebula analog

María José Colmenares [1], Edwin A. Bergin [1], Colette Salyk [2], Klaus M. Pontoppidan [3,4], Nicole Arulanantham [5], Jenny Calahan [6], Andrea Banzatti [7], Sean Andrews [6], Geoffrey A. Blake [4], Fred Ciesla [8], Joel Green [5], Feng Long (龙凤) [9], Michiel Lambrechts [10], Joan Najita [11], Ilaria Pascucci [9], Paola Pinilla [12], Sebastiaan Krijt [13], Leon Trapman [14] and the JDISCS Collaboration

Accepted to ApJ

It has been proposed, and confirmed by multiple observations, that disks around low mass stars display a molecule-rich emission and carbon-rich disk chemistry as compared to their hotter, more massive solar counterparts. In this work, we present JWST Disk Infrared Spectral Chemistry Survey (JDISCS) MIRI-MRS observations of the solar-mass star DoAr 33, a low-accretion rate T Tauri star showing an exceptional carbon-rich inner disk. We report detections of H_2O, OH, and CO_2, as well as the more complex hydrocarbons, C_2H_2 and C_4H_2. Through the use of thermochemical models, we explore different spatial distributions of carbon and oxygen across the inner disk and compare the column densities and temperatures obtained from LTE slab model retrievals. We find a best match to the observed column densities with models that have carbon enrichment, and the retrieved emitting temperature and area of C_2H_2 with models that have $C/O = 2-4$ inside the 500 K carbon-rich dust sublimation line. This suggests that the origin of the carbon-rich chemistry is likely due to the sublimation of carbon rich grains near the soot line. This would be consistent with the presence of dust processing as indicated by the detection of crystalline silicates. We propose that this long-lived hydrocarbon rich chemistry observed around a solar-mass star is a consequence of the unusually low M-star-like accretion rate of the central star, which lengthens the radial mixing timescale of the inner disk allowing the chemistry powered by carbon grain destruction to linger.

・JWST/MIRIによりDoAr33円盤(降着率が小さいT Tauri円盤)を観測

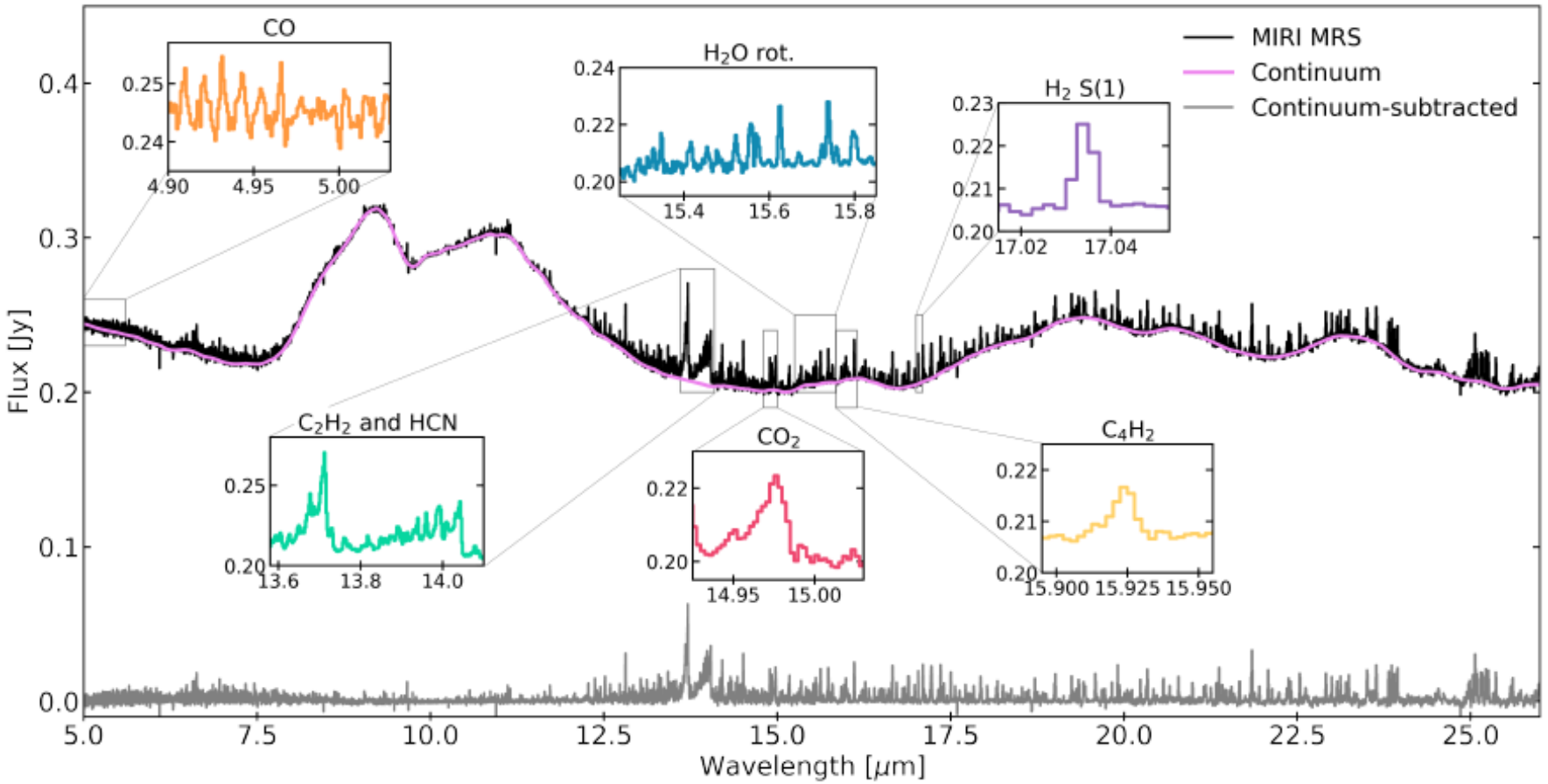


Table 1. Stellar and disk properties of DoAr 33

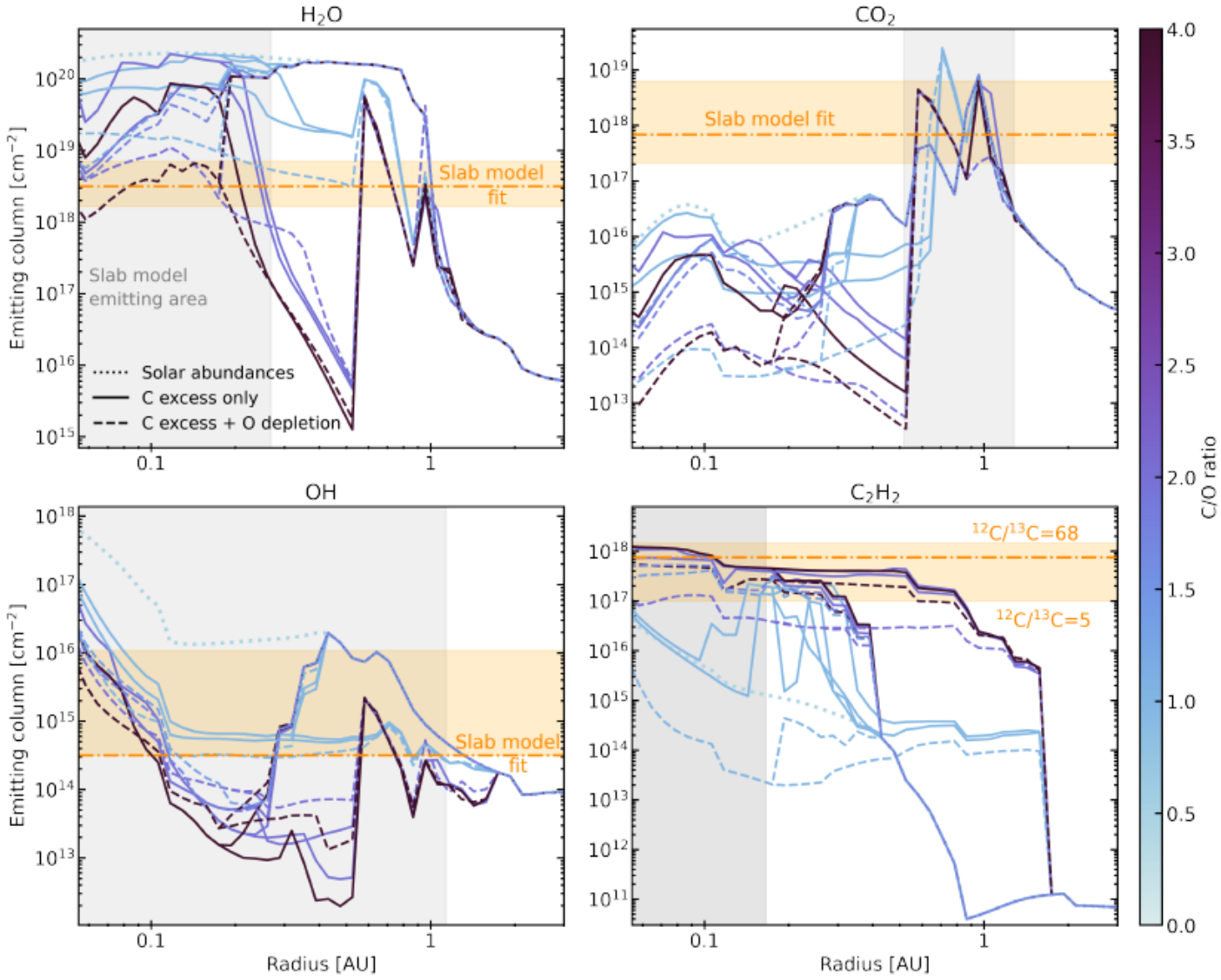
Property	Value
Spectral type	K4
Distance	139 pc
$T_{\rm eff}$	4467 K
Luminosity	$1.5\,L_\odot$
Mass	$1.1\ M_\odot$
Inclination	41.8°
Accretion rate	$2.52 \times 10^{-10}\ M_\odot$/yr

・観測をもとに分子の柱密度、
放射領域の温度、円盤半径を導出

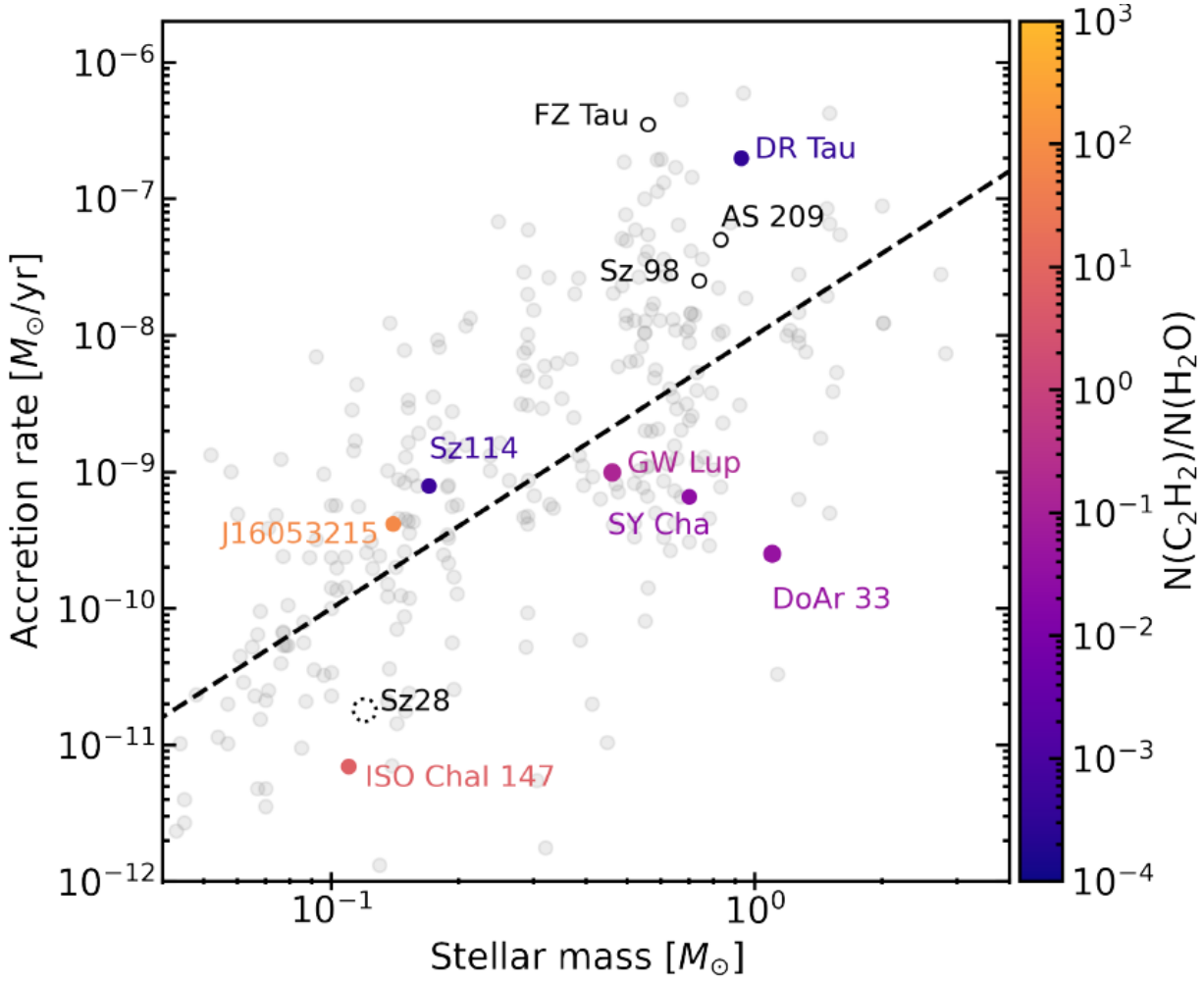
Molecule	log N_{col} [cm^{-2}]	T_{slab} [K]	R_{slab} [au]
H_2O	$18.5^{+0.4}_{-0.3}$	600^{+106}_{-85}	0.27
CO_2	$17.8^{+1.0}_{-0.5}$	200^{+65}_{-57}	0.77
C_2H_2[a]	$17.0^{+0.3}_{-0.3}$	500^{+87}_{-74}	0.17
$^{13}C^{12}CH_2$[b]	16.3	(500)	(0.17)
HCN	14.0	600	3.99
C_4H_2	15.3	150	1.36
OH	14.5	950	1.14

C/O元素存在量比が高いモデル
(+酸素元素が枯渇しているもの)
が観測を再現する

・thermochemical modelに基づき、
観測量を再現するC/O ratioに制限



・これまでにJWST/MIRIでC2H2とH2Oが観測されている天体に対し、
星質量と質量降着率と分子の存在量比の関係をプロット



低質量星周りの円盤
→ soot lineが星の近くに存在する

→ $$t_\nu = \frac{H}{\alpha c_s} = \frac{1}{\alpha\Omega} \propto R^{3/2} M_\star^{-1/2}.$$

より、vertical mixingのtimescaleが短い
＆ 質量降着率が小さい
→ 低質量星周りの円盤ほど、soot lineで
炭素ダストが蒸発して形成された
C2H2が観測しやすい