

電波で探る、惑星誕生の現場

茨城大学 理学部 理学科 物理学コース
4年 間部莉帆



間部 莉帆(まべりほ)

- 所属: 茨城大学 理学部 物理学コース
- 研究: 原始惑星系円盤のデータ解析
- 出身地: 青森県
- 出身校: 八戸高専 → 茨城大学
- サークル: 星見同好会
- 趣味: 競プロ、釣り、麻雀など

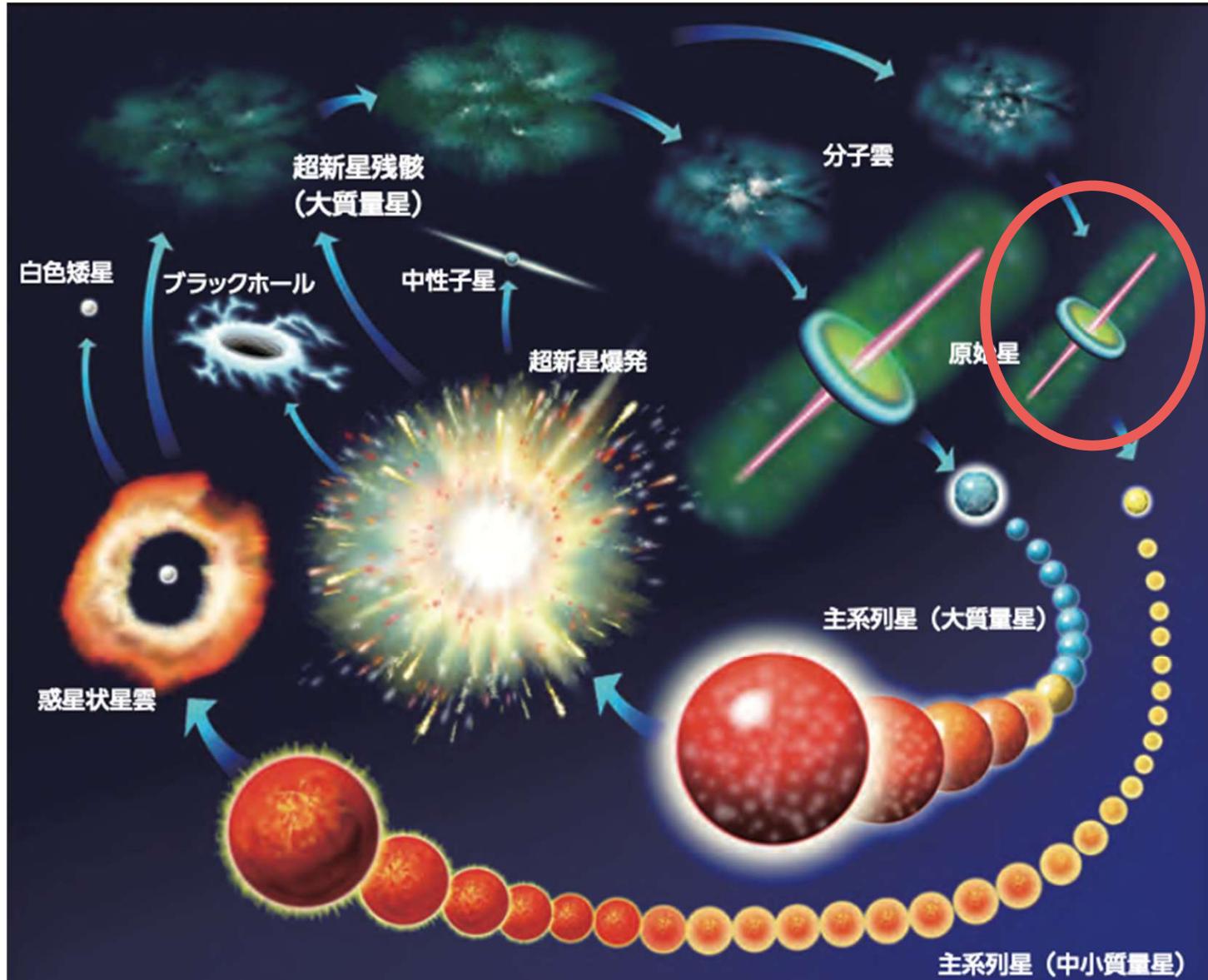
天文台で解説員ボランティアを始めました
(見習い)



発表の注意点

- ・ 原始惑星系円盤と電波による観測についてお話しします。
- ・ 原始惑星系円盤のことを円盤と呼ぶこともあります。
- ・ 今回は、惑星の材料となる「塵(ダスト)」の放射に注目してお話しします。
- ・ 数式は使わず、「円盤の見た目」を中心にご紹介します

星の一生



惑星誕生の現場

原始惑星系円盤

図1. 星の一生 (大宇宙の誕生 福井 康雄 著)

恒星と惑星の誕生

低温のガスと塵
濃い部分が自己重力で
集まり始める

原始星が輝き出す
回転の角運動量保存
によりガスが円盤に

円盤内でダストが
合体し、惑星へと
成長していく

円盤のガスが晴れ
上がる

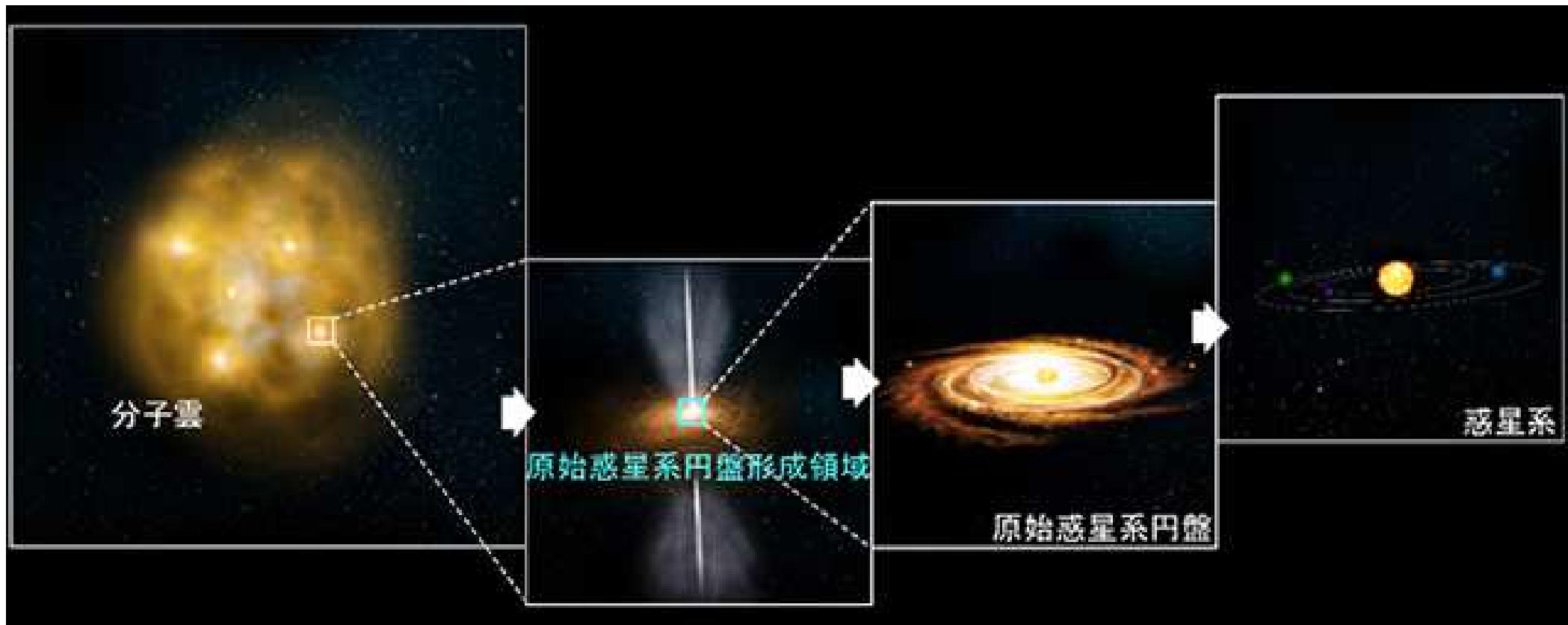


図2. 惑星系の誕生過程 (理化学研究所)

太陽系の誕生

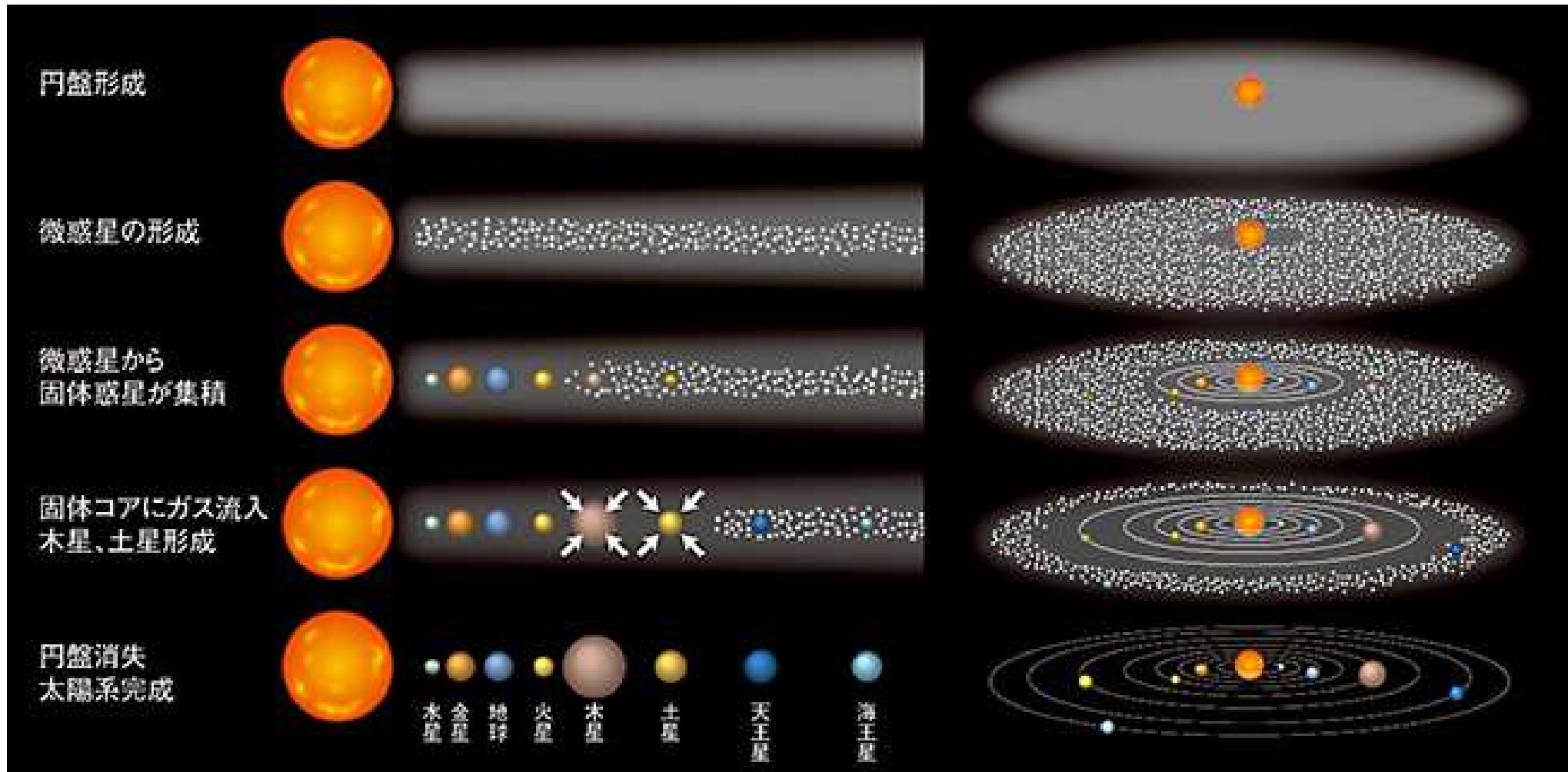


図3. 太陽系の誕生(理科年表)

太陽系以外の惑星 太陽系外惑星について

宇宙には、太陽系とはかけ離れた姿をした惑星がたくさんある(6000個以上)
たとえば、、、

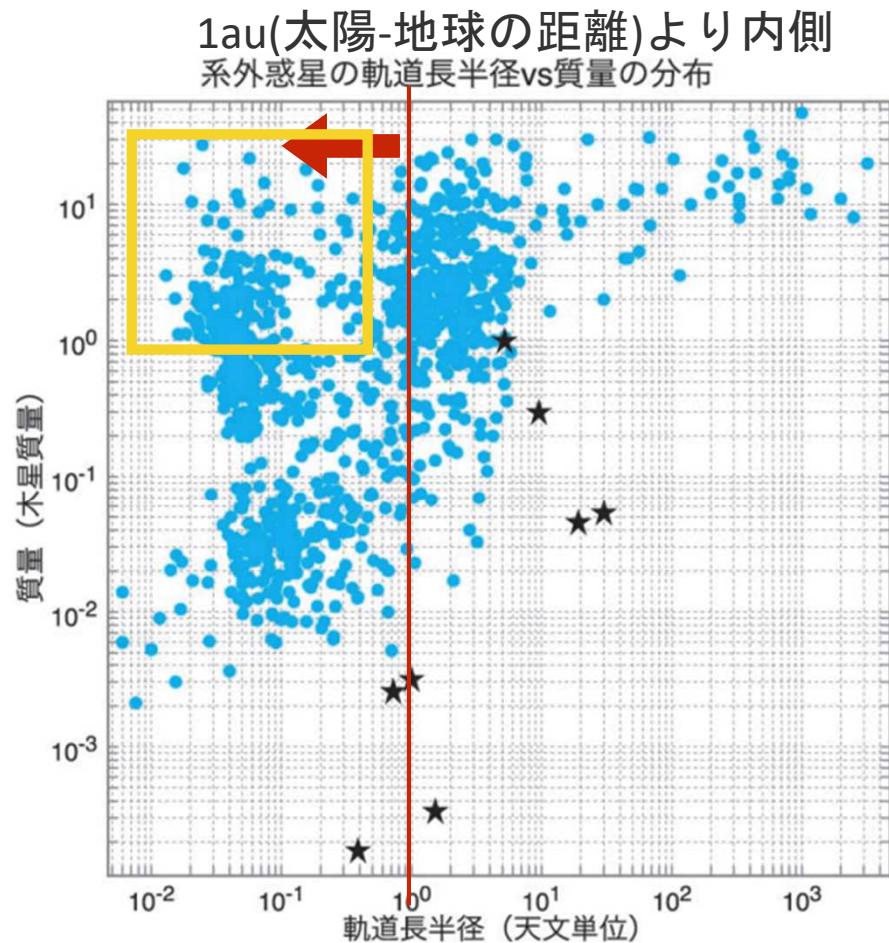


図4 既知の系外惑星(青丸)と太陽系の惑星(黒星)の軌道超半径と質量の分布
https://www.asj.or.jp/geppou/archive_open/2014_107_12/107_740.pdf

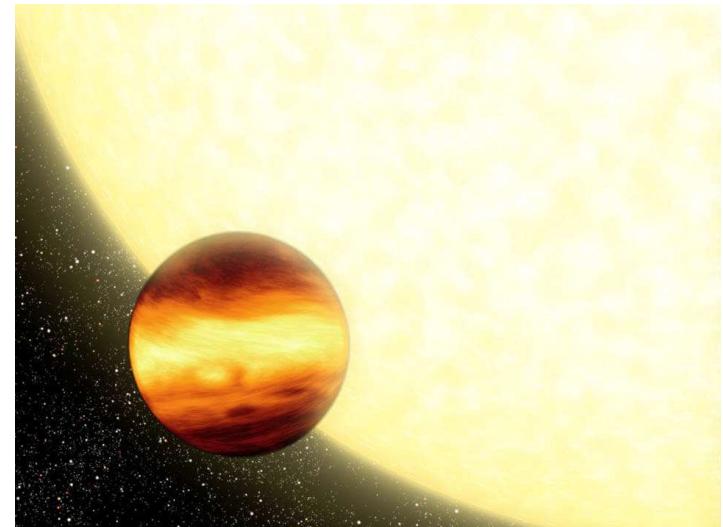


図5 典型的なホットジュピターの想像図
Image Credit: NASA, JPL-Caltech, R. Hurt)

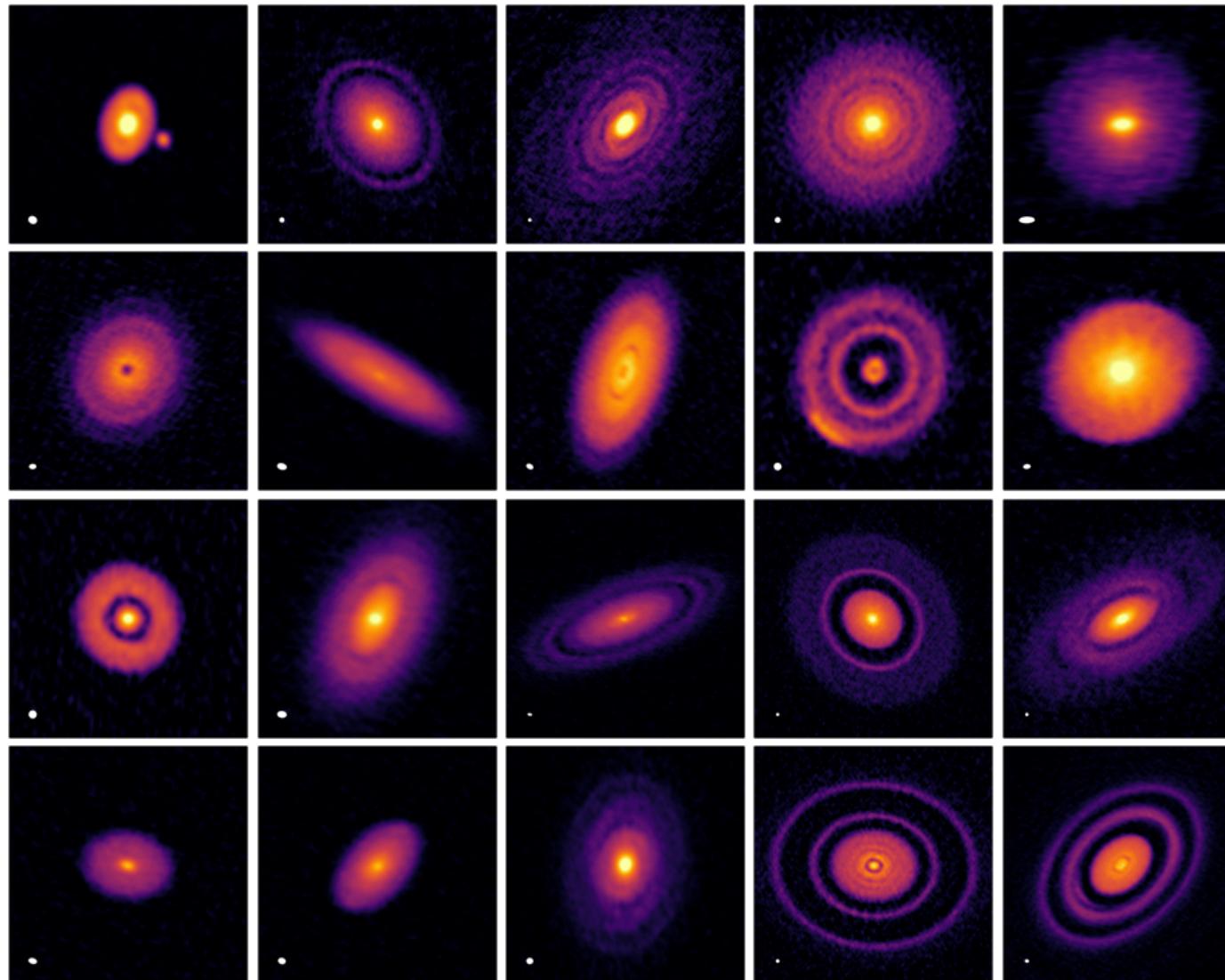
木星サイズ以上の惑星がたくさんある!?

- ・宇宙には、太陽系以外にも多種多様な惑星系が存在する
- ・宇宙に存在する多様な惑星系の誕生を、様々なサンプルを通じて物理的な側面から理解する

私たちの太陽系は宇宙でありふれた存在なのか？
という問いへの理解を深める

原始惑星系円盤

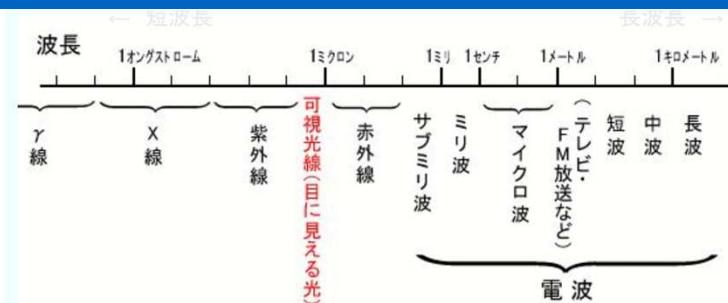
若い恒星を取り囲む濃いガスと塵からなる回転する円盤状の天体



惑星が誕生する現場

図6. 原始惑星系円盤の一覧 (Disk Substructures at High Angular Resolution Project:DSHARP)

なぜ電波で観測する？



円盤の塵は電波で見える

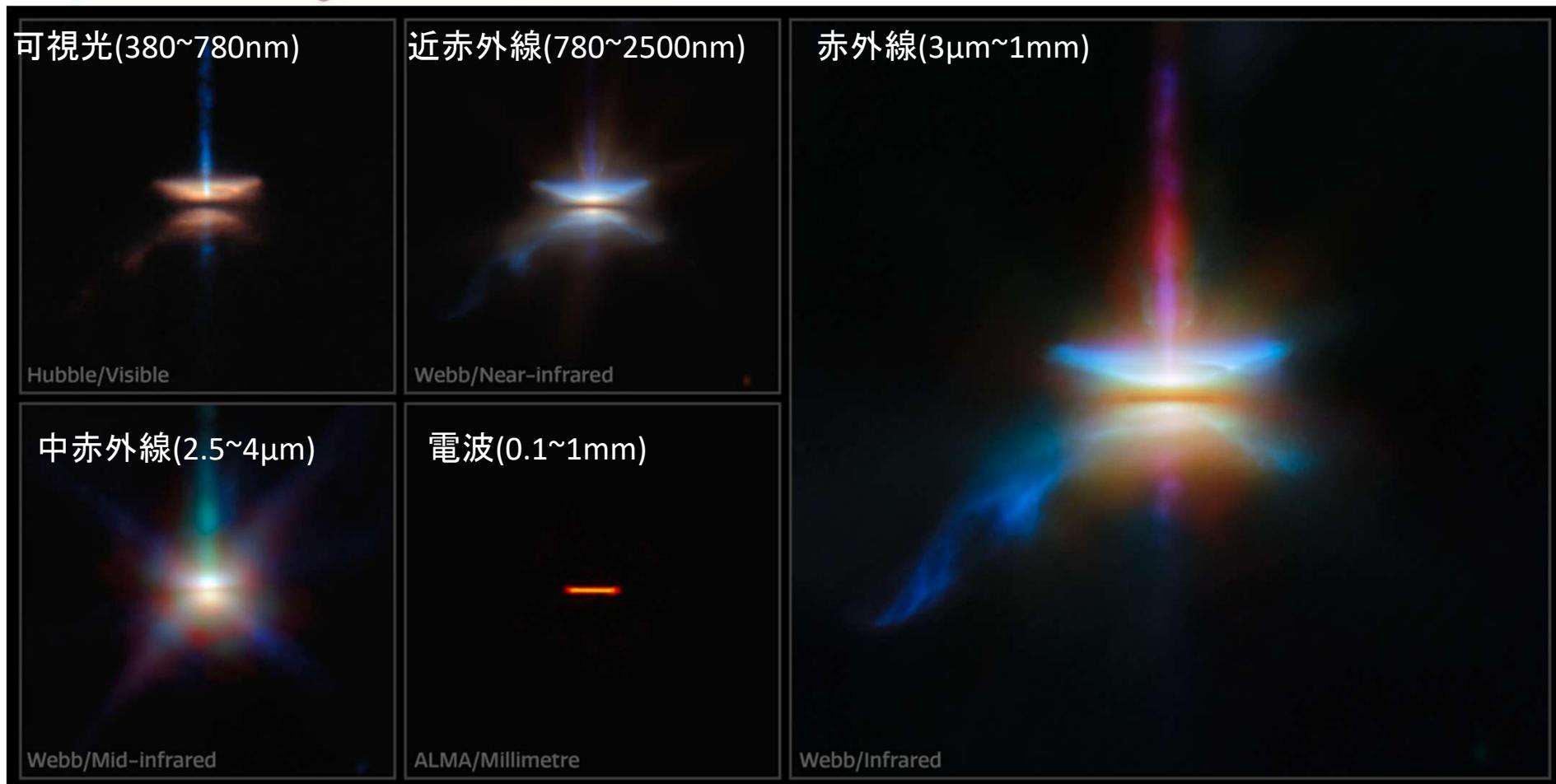
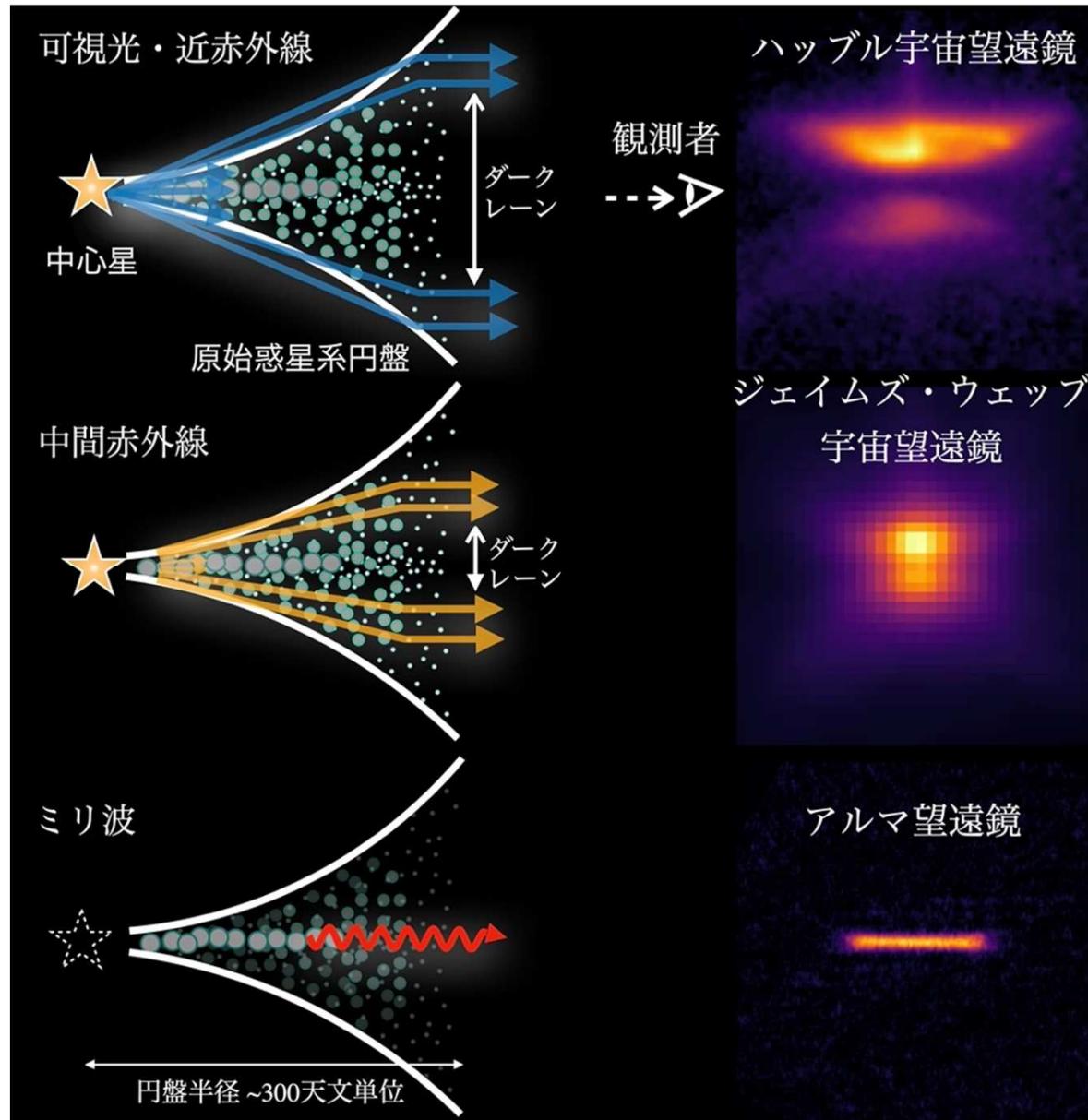


図7 地上・宇宙望遠鏡がとらえたHH 30星周りの原始惑星系円盤の姿
(クレジット: ERA/Webb, NASA & CSA, ESA/Hubble, ALMA(ESO/NAOJ/NRAO)

電波は何を見ている？



ガスと一緒に高いところまで舞い
上がった塵(ダスト)($\sim 1\mu\text{m}$)の散乱

中心星にある星からの熱で、
温められたダストの放射

大きなダスト(0.1~1mm)からの放射
大きなダストは重たいので円盤の底に沈む

図8 様々なサイズを持つ微粒子の円盤内での
空間分布と多波長観測画像との対応(クレジット: Tazaki et al.)

どうやって観測している？

ALMA望遠鏡



(a)ALMA望遠鏡の場所

Observing with ALMA – A Primer (Cycle 8 2021)

東京から大阪にある1円玉が判別できるほどの視力



(b)ALMA 望遠鏡

<https://www.nao.ac.jp/research/telescope/alma.html>

南米チリ、標高5,000 mにある電波干渉計

66台のアンテナを最大で16kmの範囲に展開し、「視力6000」に相当する圧倒的な解像度で宇宙の起源を探っている

図9 ALMA望遠鏡について

卒業研究で解析する天体 TW Hya

- とにかく近い!!! (180光年、他の円盤より2倍くらい近い)
- 最も詳しく研究されてきたベンチマーク天体

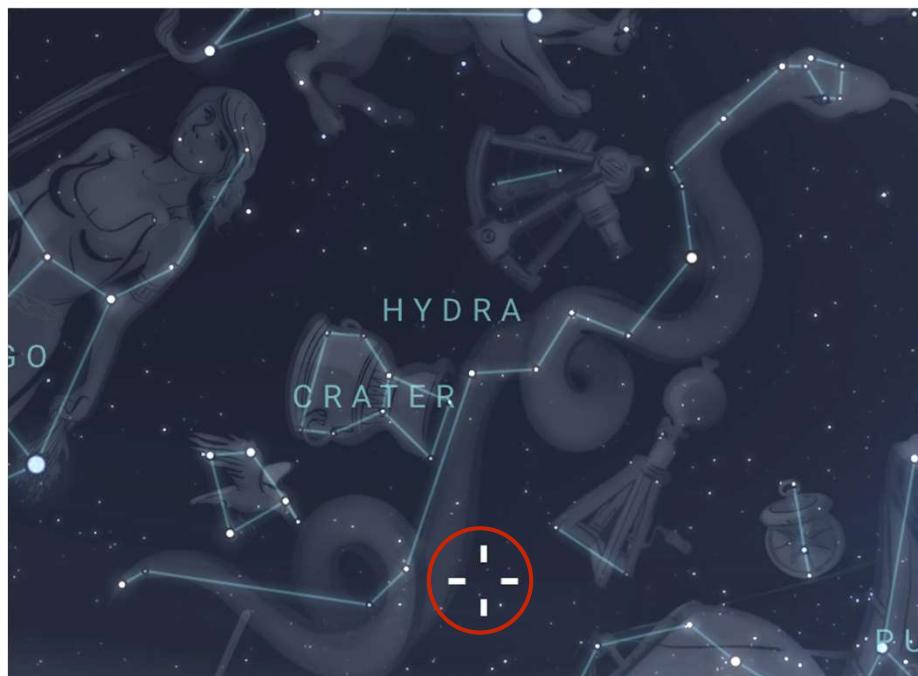


図10 TW Hyaの場所

stellarium web: <https://stellarium-web.org/>

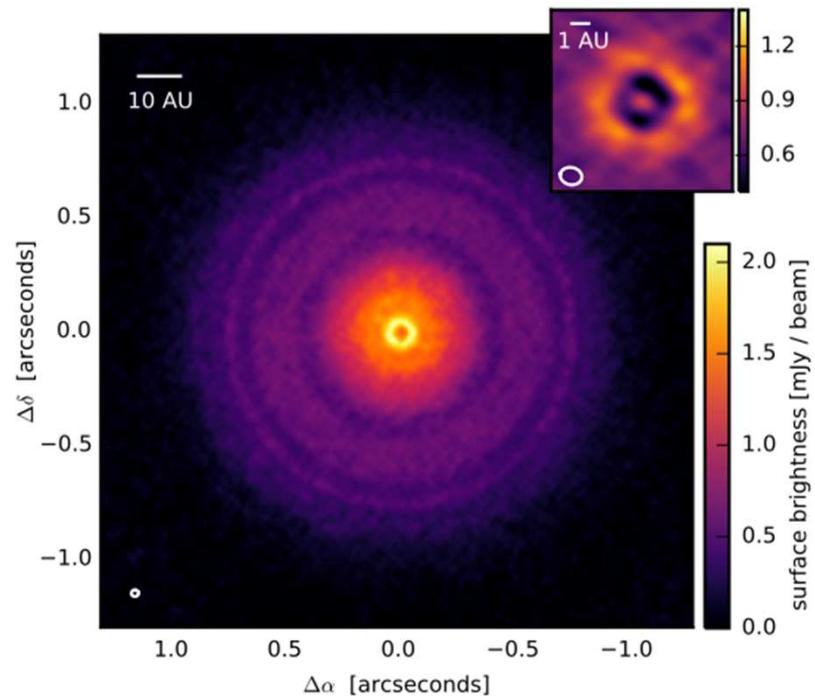


図11 TW Hya から放射される波長870μmの連続波を合成した画像 (Andrew et al. 2016)

最後に

- 惑星が生まれる現場は塵に隠れており、可視光では見えない
- ALMA望遠鏡(電波)なら、その奥にある塵からの光を捉えられる
- 原始惑星系円盤を解析することで、多種多様な惑星形成について円盤の幾何学的・力学的な視点から迫りたい。

ご清聴ありがとうございました

補足スライド+質問対応

参考文献

- [井田 茂 生命惑星学へ惑星のなりたちから生命を考える](#)
- [惑星系の科学蘇生は誕生前から多様? -アルマ望遠鏡で多くの原始星を化学調査-](#)
- [DSHARP DATA RELEASE](#)
- [NAOJ アルマ望遠鏡とは](#)
- [Andrew et al.2016](#)
- [Tazaki et al.2025](#)
- [Observing with ALMA -A Primer \(Cycle 12\)](#)

惑星系形成の標準モデル

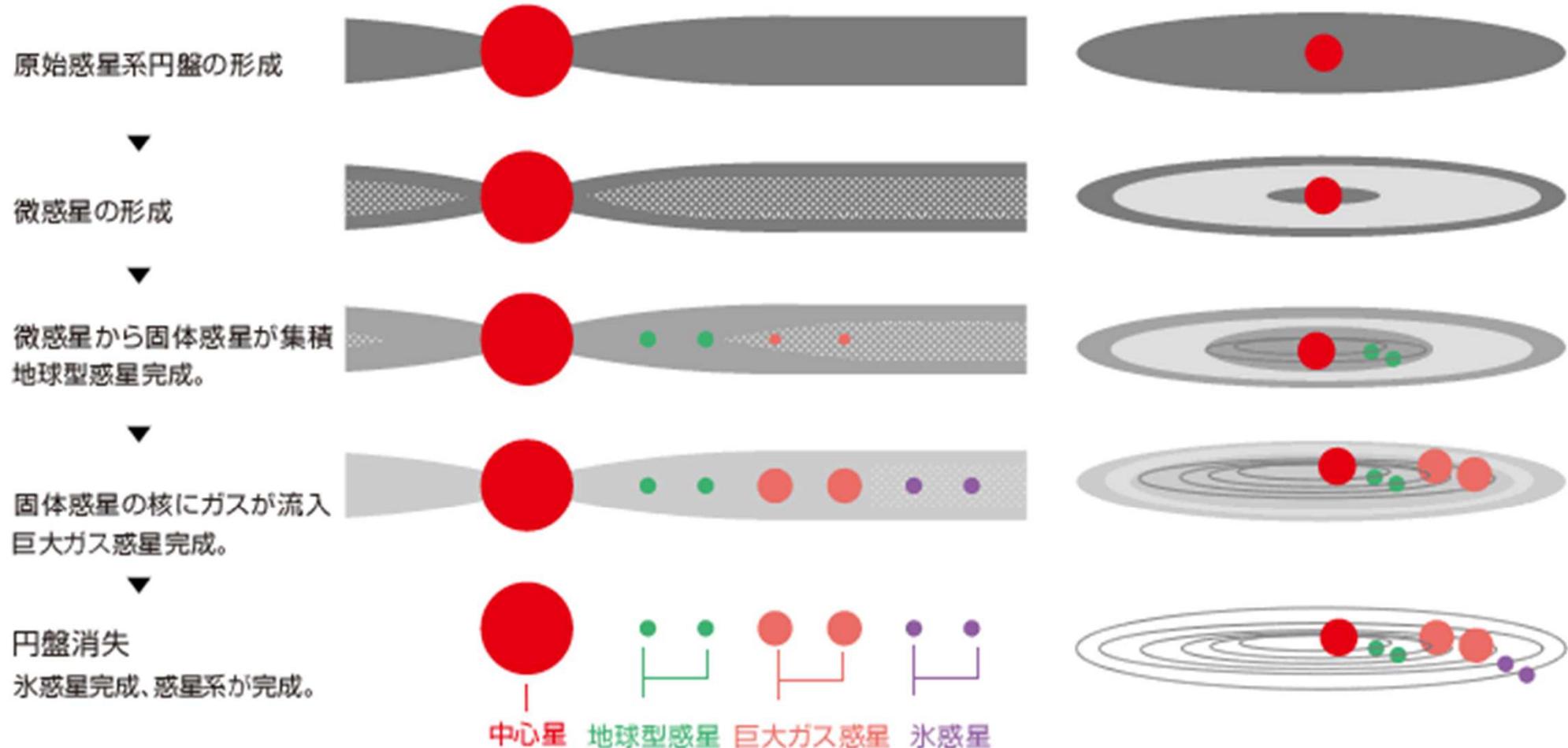


図5 惑星系形成標準モデル (生命惑星学へ 惑星のなりたちから生命を考える 井田茂)

https://www.brh.co.jp/publication/journal/053/research_11_2

おまけ 視力6000の計算

視力の計算式

$$\theta \approx \frac{\lambda}{D} \quad (\lambda \text{は観測波長, } D \text{は望遠鏡の口径})$$

ここで、

$D = 16 \text{ [km]}$ (最大基線長)

$\lambda = 0.87 \text{ [mm]}$ とする (バンド7 サブミリ波)

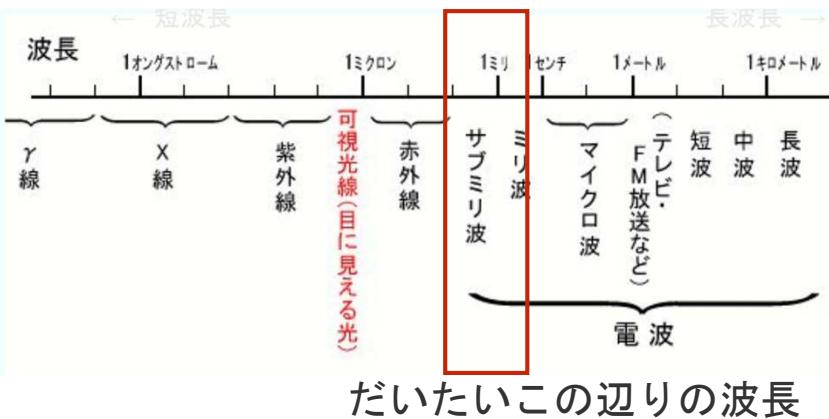
$$\theta_{ALMA} \approx \frac{\lambda}{D} = \frac{0.87 \times 10^{-3}}{16 \times 10^3} \times 3600 \times \frac{180}{\pi} \approx 0.011$$

$$\text{視力比} = \frac{\theta_{eye}}{\theta_{ALMA}} = \frac{60}{0.011} \approx 5455$$

視力1の人間は60秒の角分解能を持っている

ALMAについて

観測している周波数領域

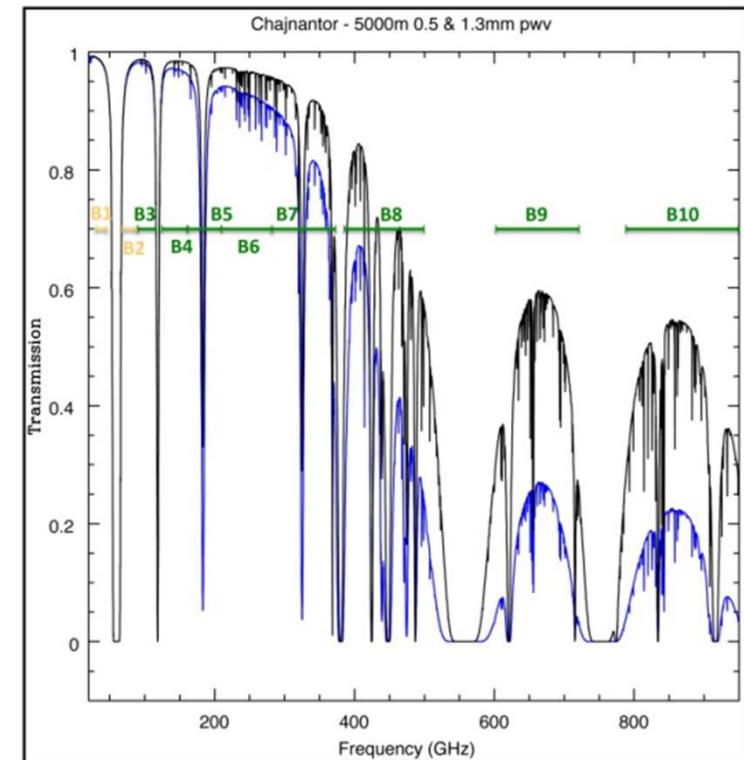


<https://www.miz.nao.ac.jp/veraserver/VERA/honma/lecture/komaba2014-3.pdf>

Cycle 8 2021 Receiver Bands					Most Compact			Most Extended [#]		
Band	Frequency (GHz)	Wavelength (mm)	Primary Beam (FOV; '')	Continuum Sensitivity (mJy/beam)	Angular Resolution (")	Approx. Maximum Scale ('') (see P.24)	Spectral Sens. ΔT _{line} (K)	Angular Resolution (mas)	Approx. Maximum Scale ('') (see P.24)	Spectral Sens. ΔT _{line} (K)
3	84-116	3.6-2.6	69-50	0.08	4.0-2.9	34-25	0.08	114-83	1.69-1.23	96
4	125-163	2.4-1.8	46-36	0.09	2.7-2.1	23-18	0.08	77-59	1.14-0.87	104
5	158-211	1.9-1.4	37-28	0.12	2.1-1.6	18-13.5	0.11	61-46	0.90-0.67	137
6	211-275	1.4-1.1	28-21	0.12	1.6-1.2	14-10	0.10	45-35	0.67-0.52	137
7	275-373	1.1-0.8	21-16	0.22	1.23-0.91	10.4-7.6	0.2	35-26	0.52-0.38	254
8	385-500	0.78-0.6	15-12	0.40	0.88-0.68	7.4-5.7	0.37	55-42	0.67-0.52	96
9	602-720	0.5-0.42	9.7-8.1	1.4	0.56-0.47	4.7-4.0	1.8	35-29	0.43-0.36	475
10	787-950	0.38-0.32	7.4-6.1	3.2	0.43-0.36	3.6-3.0	4.3	27-22	0.33-0.27	1150

[#]This cycle, the maximum baselines extend only to 8.5 km.

Note: These sensitivities were calculated using the expected receiver temperatures at the time of writing, and may not represent the values that are currently available. For the most up-to-date values, use the ALMA Sensitivity Calculator. To convert sensitivity in K to sensitivity in Jy/beam, see pages 28 & 36. Quoted angular resolutions are for sources which transit at the zenith.



ALMA のバンド透明度

ALMA のバンドの情報