見えない光で迫る惑星形成

2019年11月18日

岐阜県立大垣東高等学校遠隔授業
北海道大学高等教育推進機構
秋山永治

Credit: ESO

本日の講義

1. イントロダクション
   1) これまでの惑星に関する研究
2. アルマ望遠鏡とは
   1) アルマ国際プロジェクト
   2) アルマ望遠鏡の特徴
3. 惑星の形成現場(原始惑星系円盤)
   1) 太陽系の惑星と系外惑星との比較
   2) 有機分子の発見
4. まとめと今後の展望

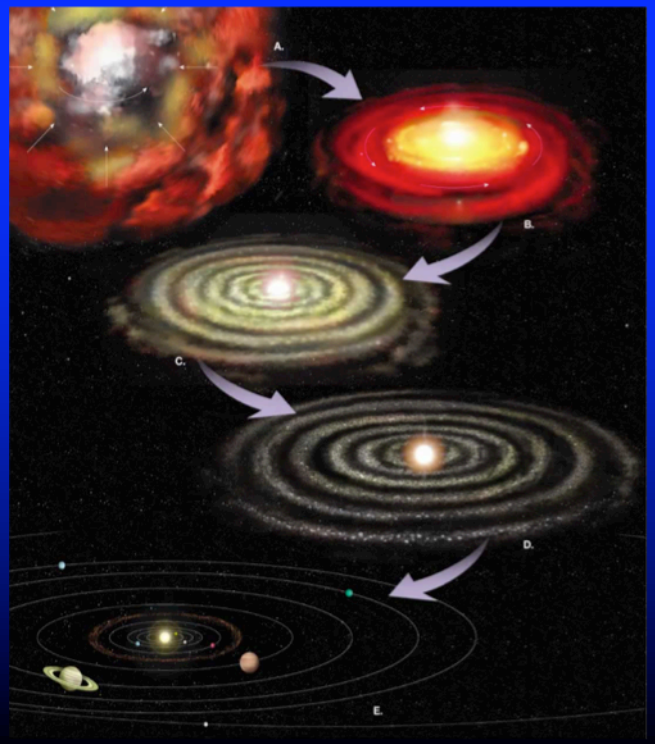
イントロダクション

星雲仮説

Swedenborg 1688-1772

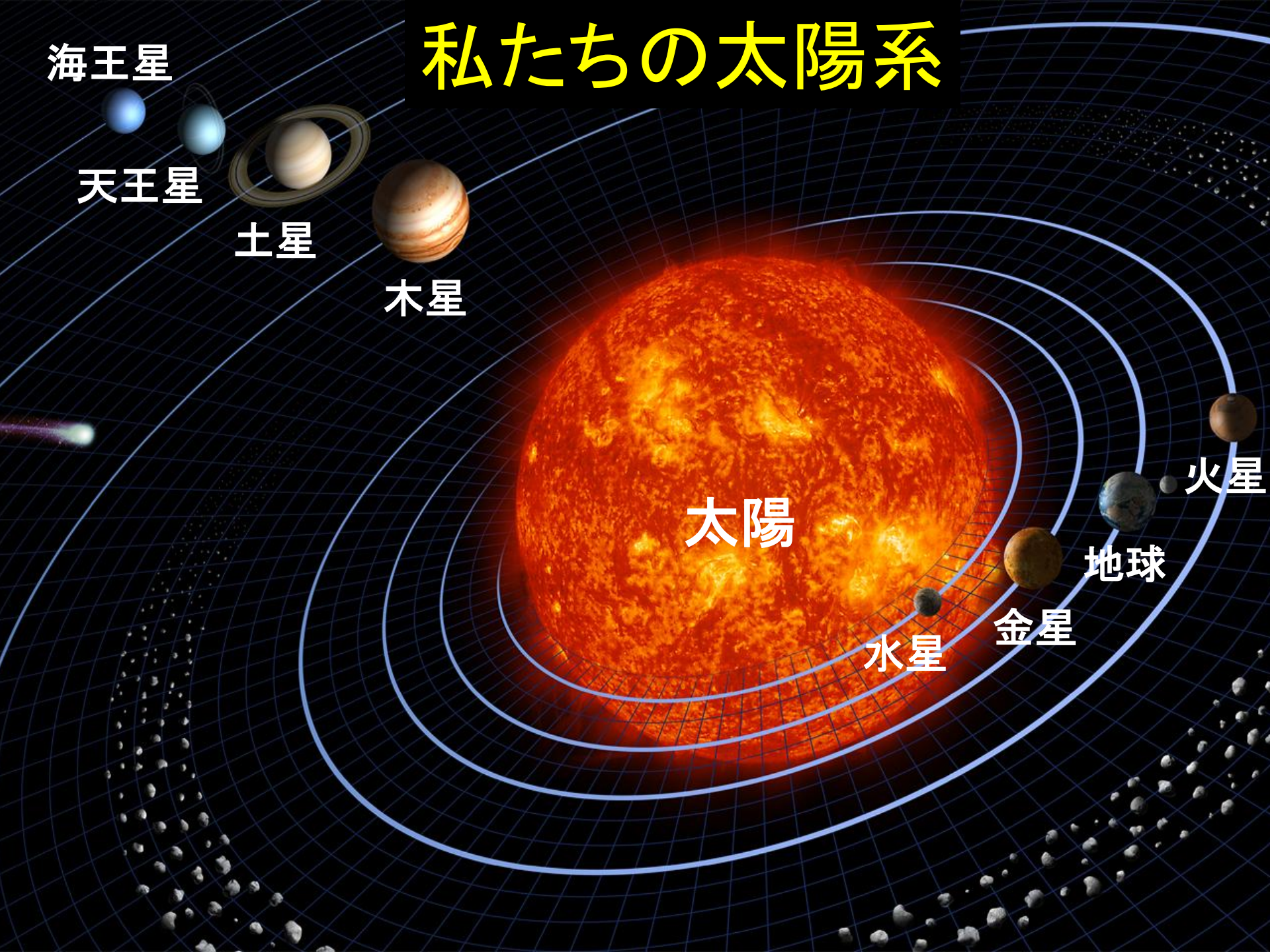
Kant 1724-1801

Laplace 1749-1827



1. ガスの雲（塊）が重力で収縮する。
2. 回転軸方向では収縮が進み、動径方向では収縮が進まず円盤構造が形成される。
3. 重力と円心力で釣り合う。
4. リング形状が生じ惑星が形成される。

私たちの太陽系



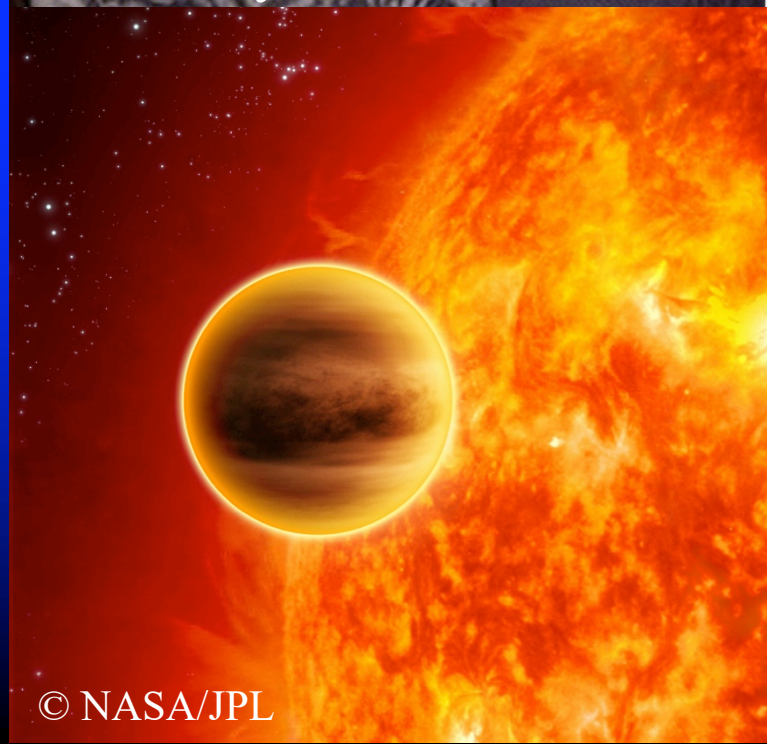
©Masahiro Iizuka

系外惑星の発見

ペガスス座51番星b
（別名: ベレロフォン）

M. Mayor & D. Queloz
1995年10月、太陽のような星の周囲を公転する系外惑星が初めて発見される。

- 太陽からの距離: 約51光年
- 主星質量: 1.06太陽質量
- 公転周期: 4.23078日



2019年ノーベル物理学賞を受賞

EXOPLANET EXPLORATION

Planets Beyond Our Solar System

http://planetquest.jpl.nasa.gov/

Exoplanets

Last update: November 16, 2019

4,093	4,720	3,039
CONFIRMED	NASA CANDIDATES	PLANETARY SYSTEMS

Glossary ›

FAQ ›

EXOPLANET EXPLORATION
Planets Beyond Our Solar System

http://planetquest.jpl.nasa.gov/

惑星はたくさん存在する

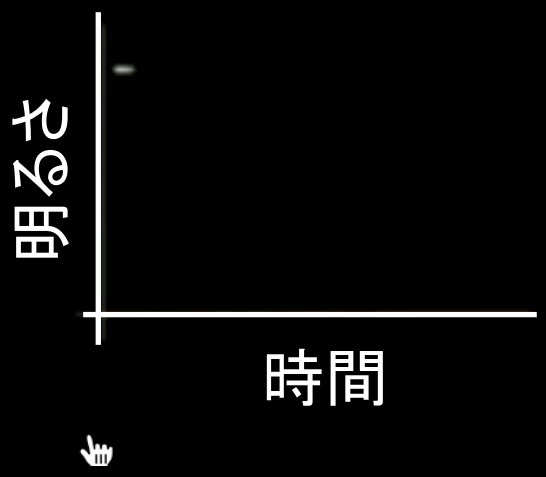
Exoplanets

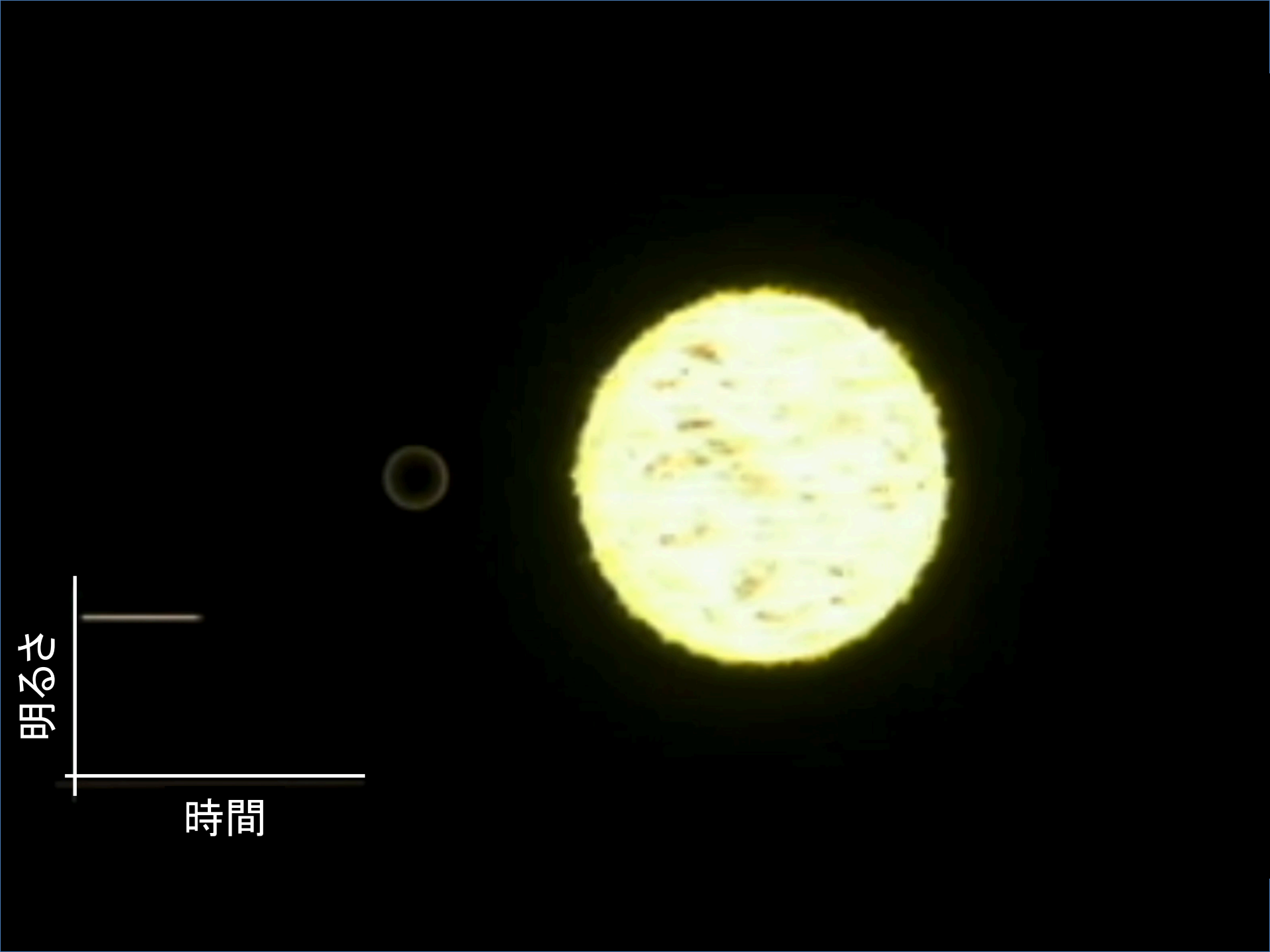
Last update: November 16, 2019

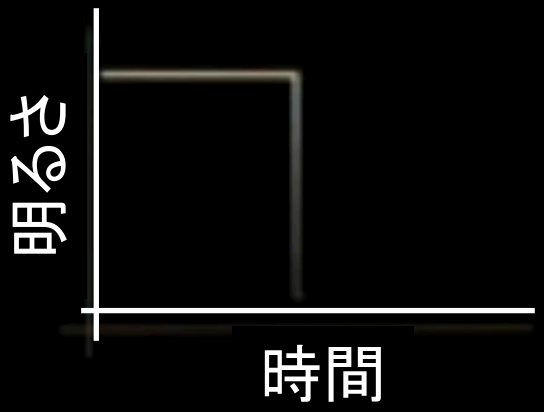
4,093	4,720	3,039
CONFIRMED	NASA CANDIDATES	PLANETARY SYSTEMS

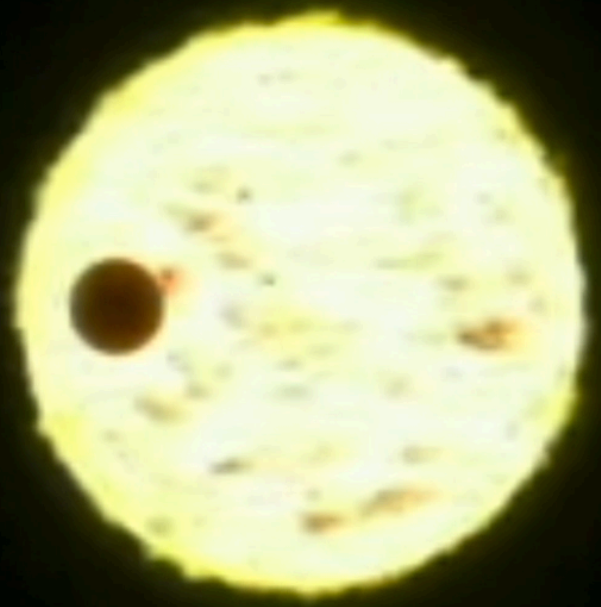
Glossary ›

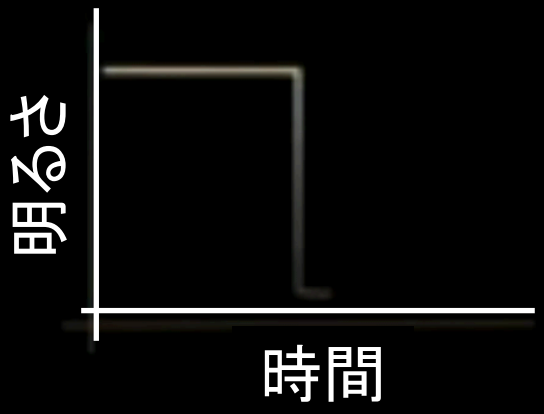
FAQ ›

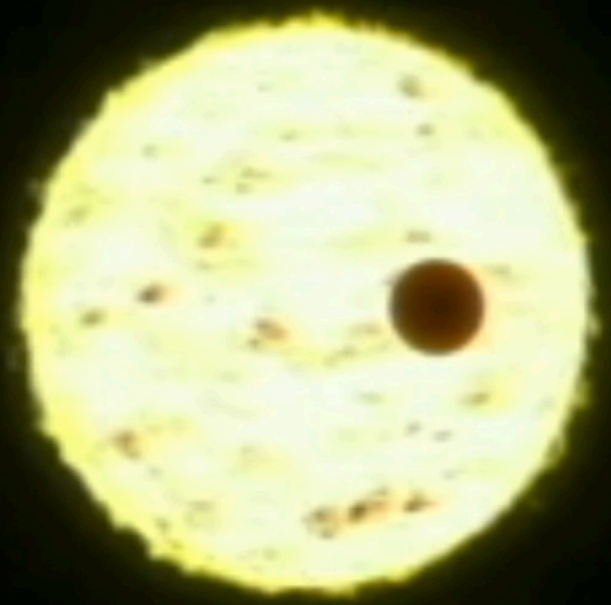

明るさ
時間

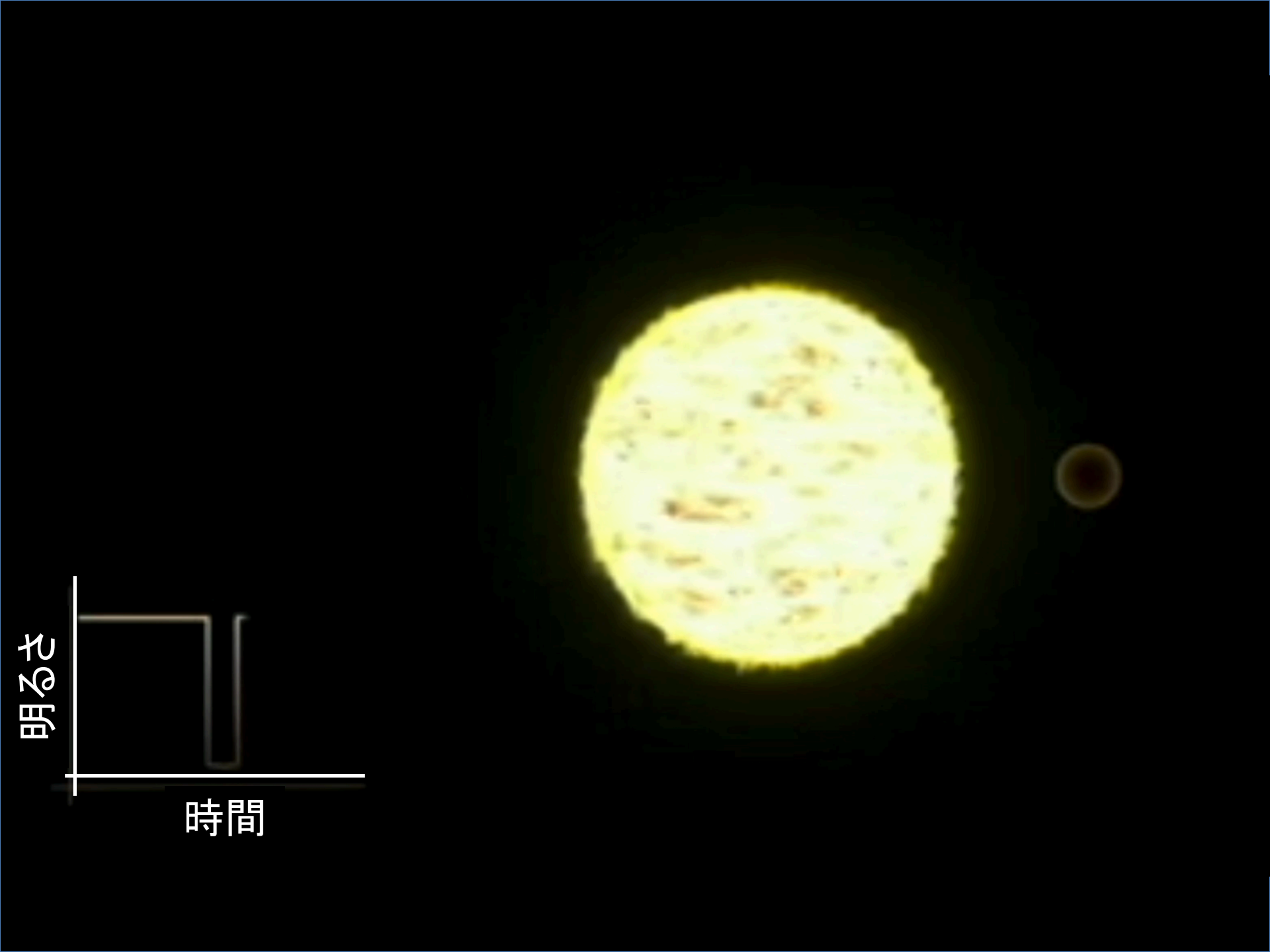

明るさ
時間


明るさ
時間

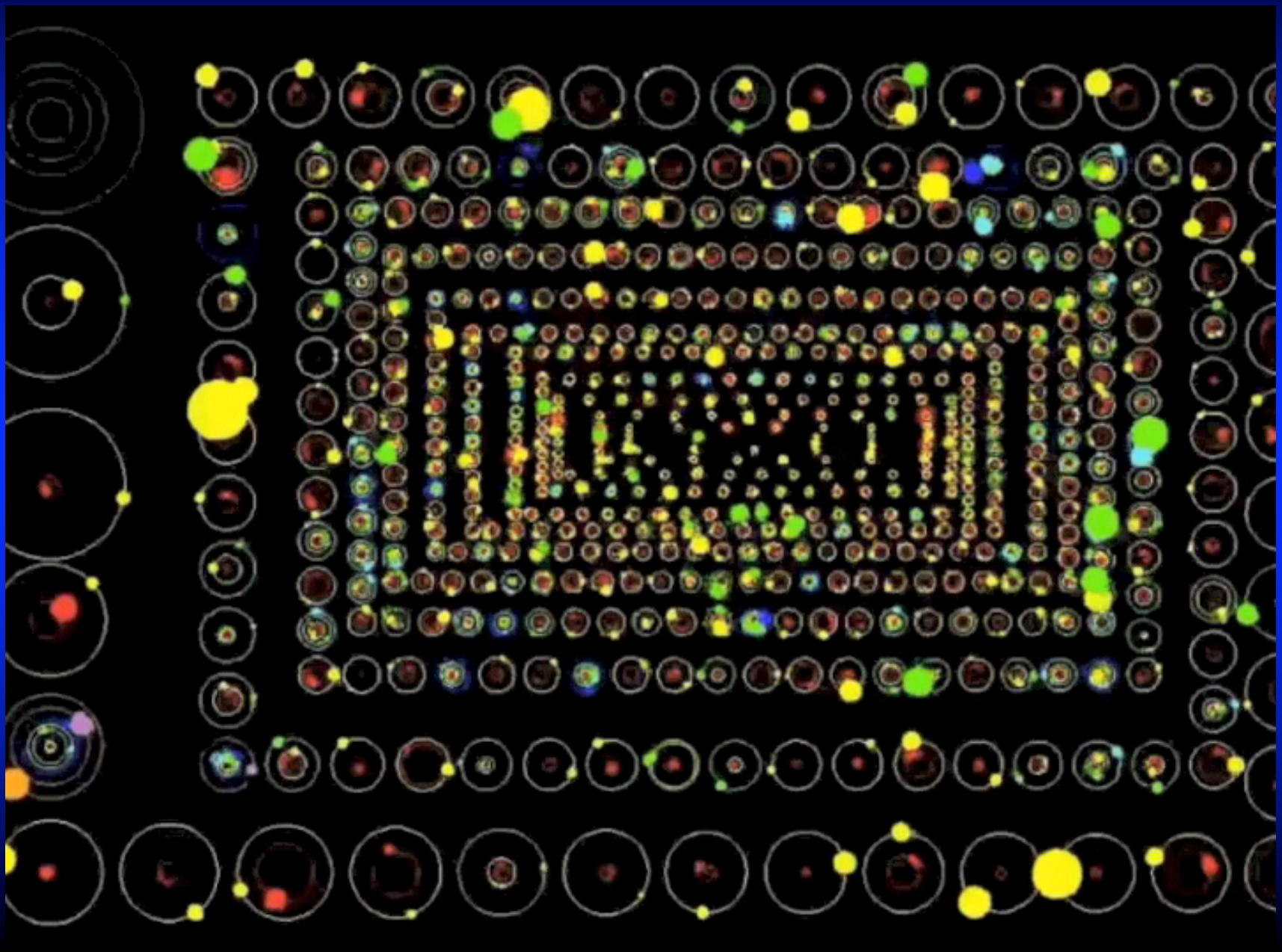



明るさ
時間




明るさ
時間

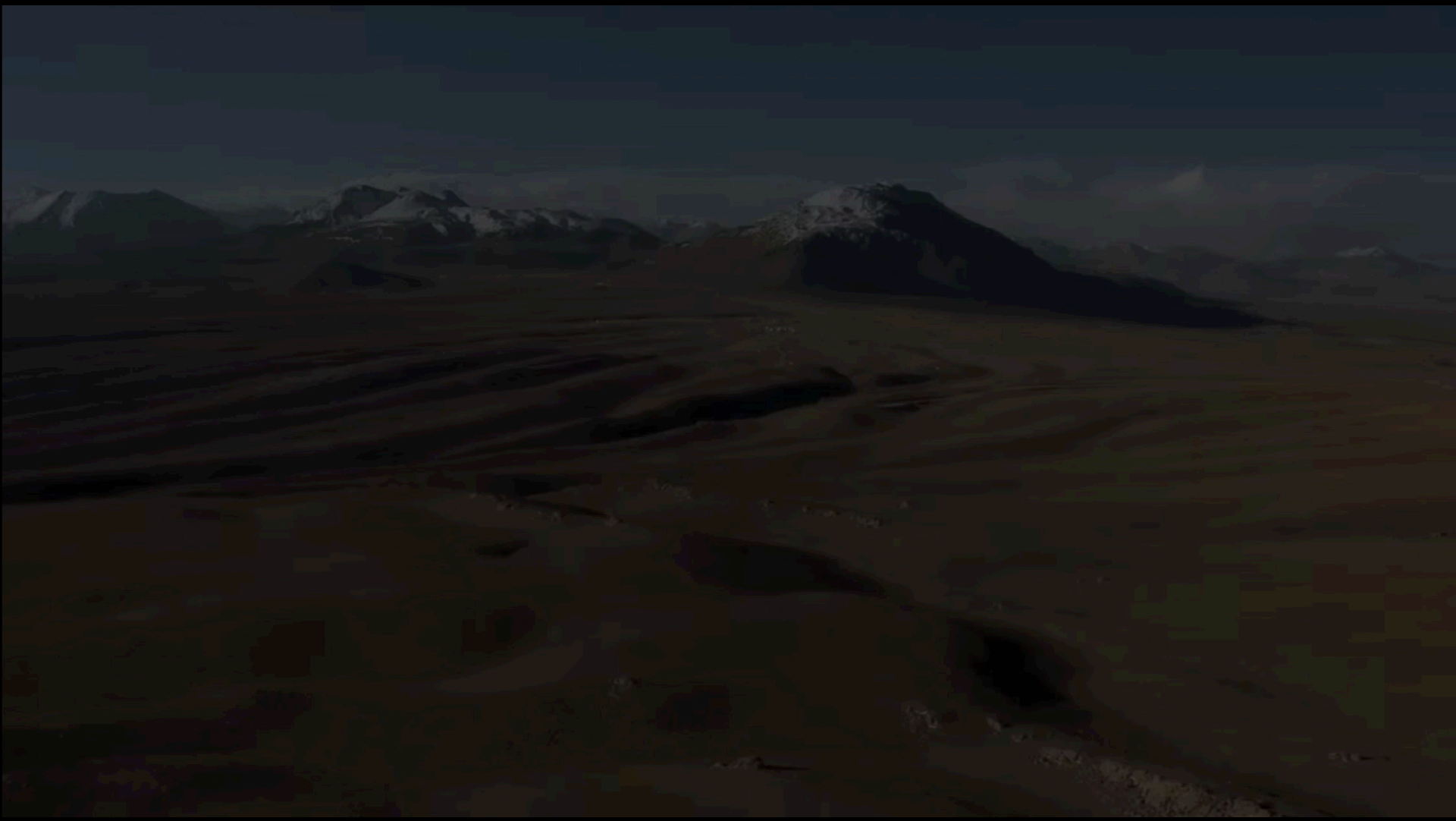
太陽系外の惑星系（動画）



双子の太陽を持つ居住可能領域の惑星
例　ケプラー47
スターウォーズの世界が現実に存在する

アルマ望遠鏡とは

アルマ望遠鏡（動画）



アルマ望遠鏡の秘密

アルマ望遠鏡の秘密

アルマ望遠鏡の秘密

アルマ望遠鏡の秘密

アルマ望遠鏡を作った場所がすごい！

- 飛行機＋車で1日半
- 時差12~13時間
- 季節も逆

標高5000mの砂漠
アンテナ間の最大距離 18.5km
大垣市の面積とほぼ同じ
Credit: Clem & Adri Bacri-Normier (wingsforscience.com)/ESO

山廊施設(標高約3000m)

観測および開発棟

宿泊所の建物

仕事の様子

プロジェクトの仲間

望遠鏡サイト（標高約5000m）

望遠鏡サイトの建物

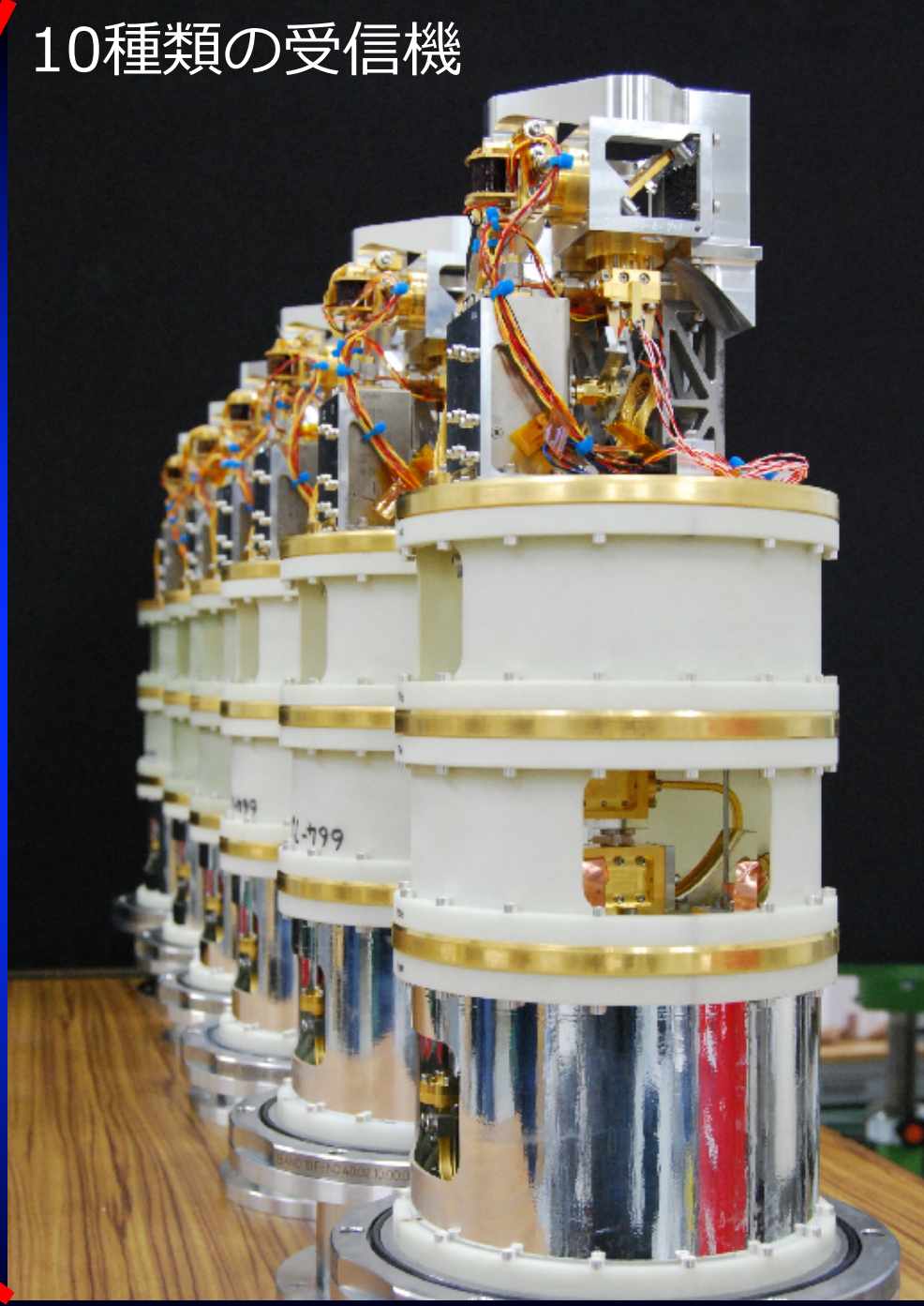
大きなアンテナで
天体が発するかよわい電波を受信
表面の凹凸は
髪の毛の太さの1/3以下

光（電磁波）は宇宙の情報の運び屋

専用トランスポーターでアンテナを移動
観測対象に応じて配列を変える

- 超高感度電波受信機
- -269℃まで冷却
- ミクロンサイズの部品も国立天文台で作成。

10種類の受信機



ALMAは目で見えない光を観測し宇宙の謎を解き明かす！

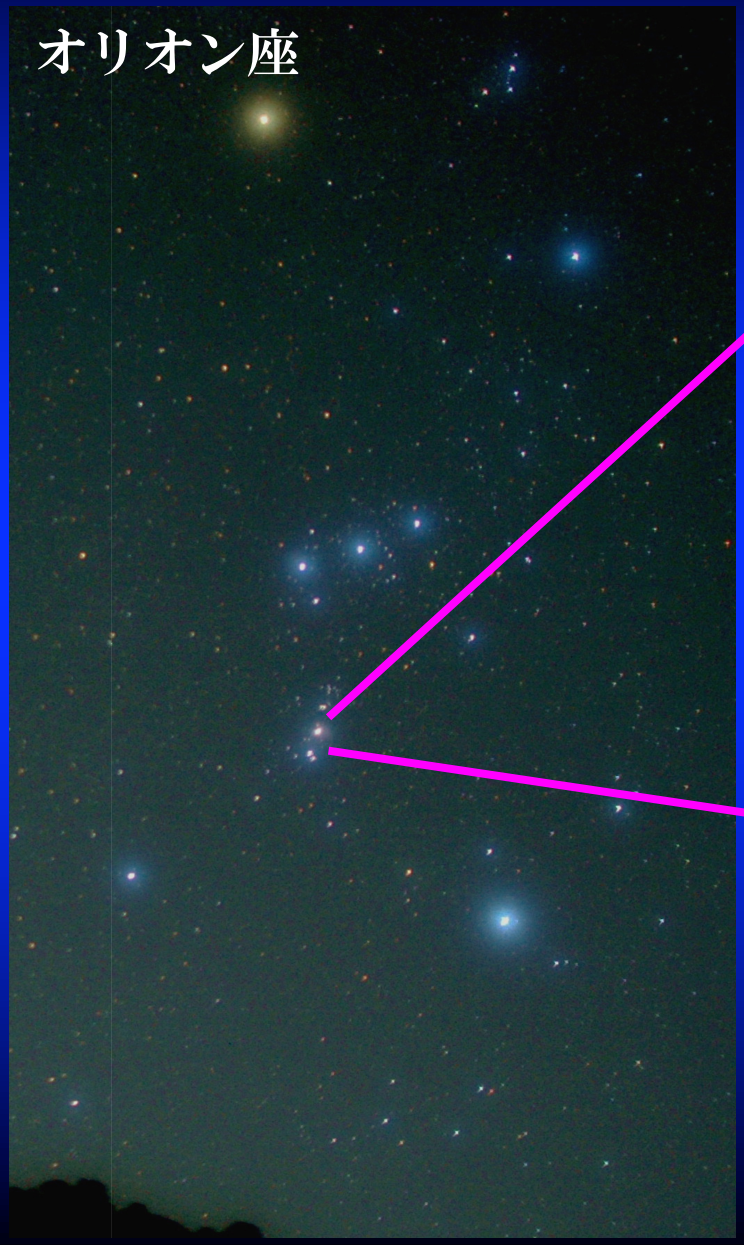
ALMAの3大テーマ

- 銀河の誕生を探る
  宇宙の始まりに迫る
- 惑星の誕生を探る
  太陽系や地球の起源に迫る
- 宇宙物質の進化を探る
  アミノ酸や生命起源の謎に迫る

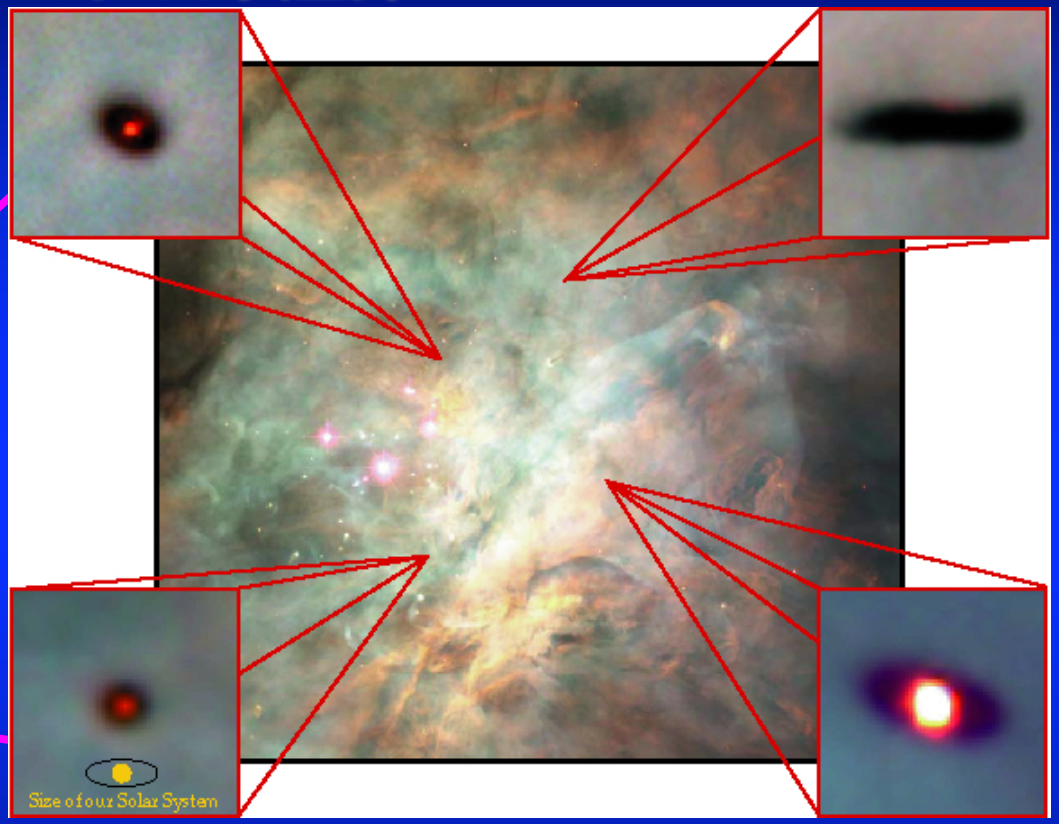
原始惑星系円盤

惑星形成の現場

原始惑星系円盤

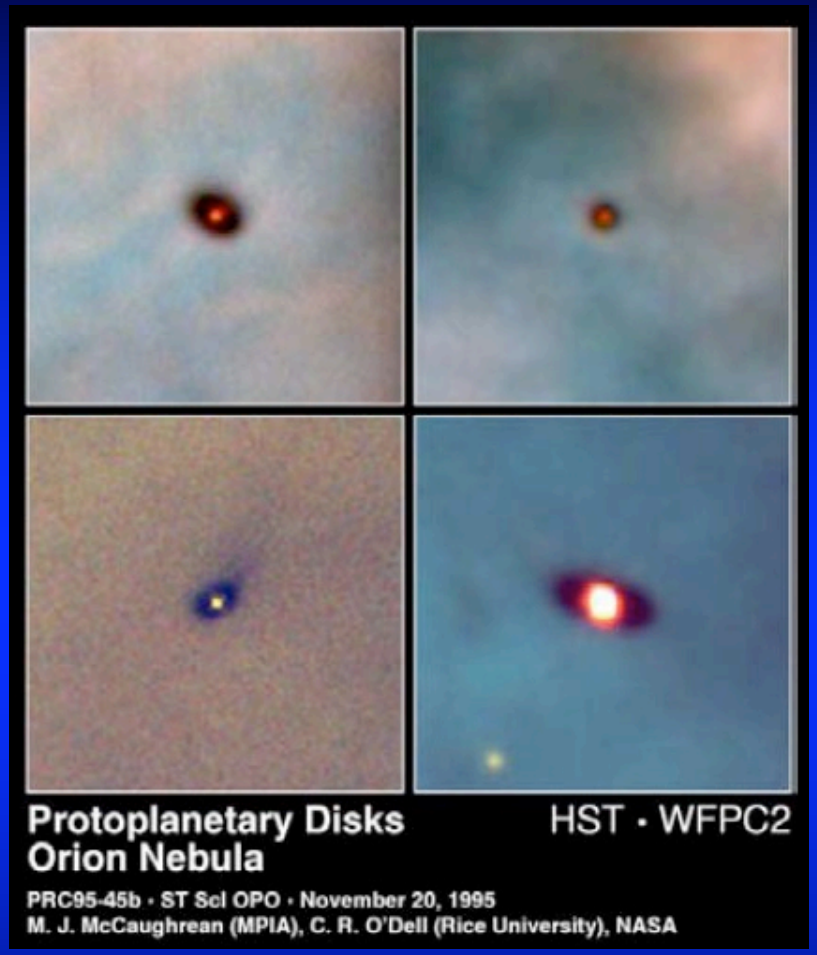


オリオン大星雲

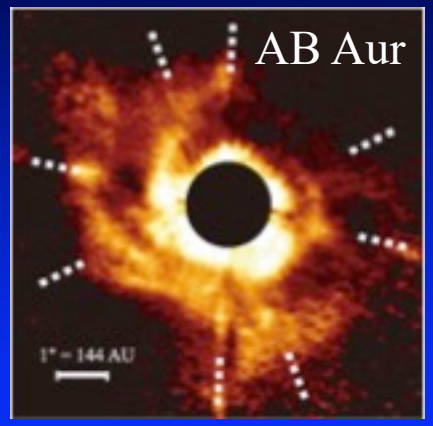


Credit: C. R. O'Dell and S. K. Wong

原始惑星系円盤

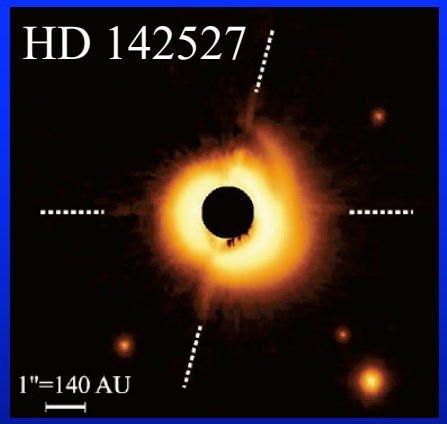


McCaughrean & O'Dell 1995

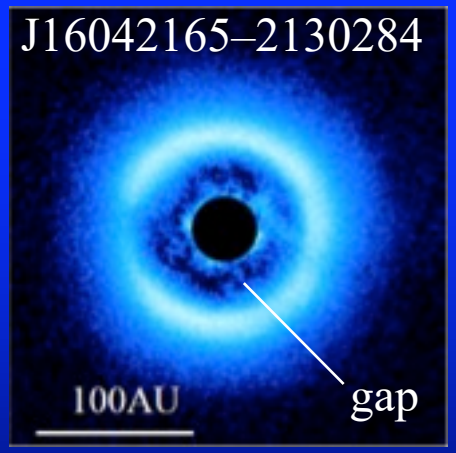


Fukagawa+2004

Muto+2012



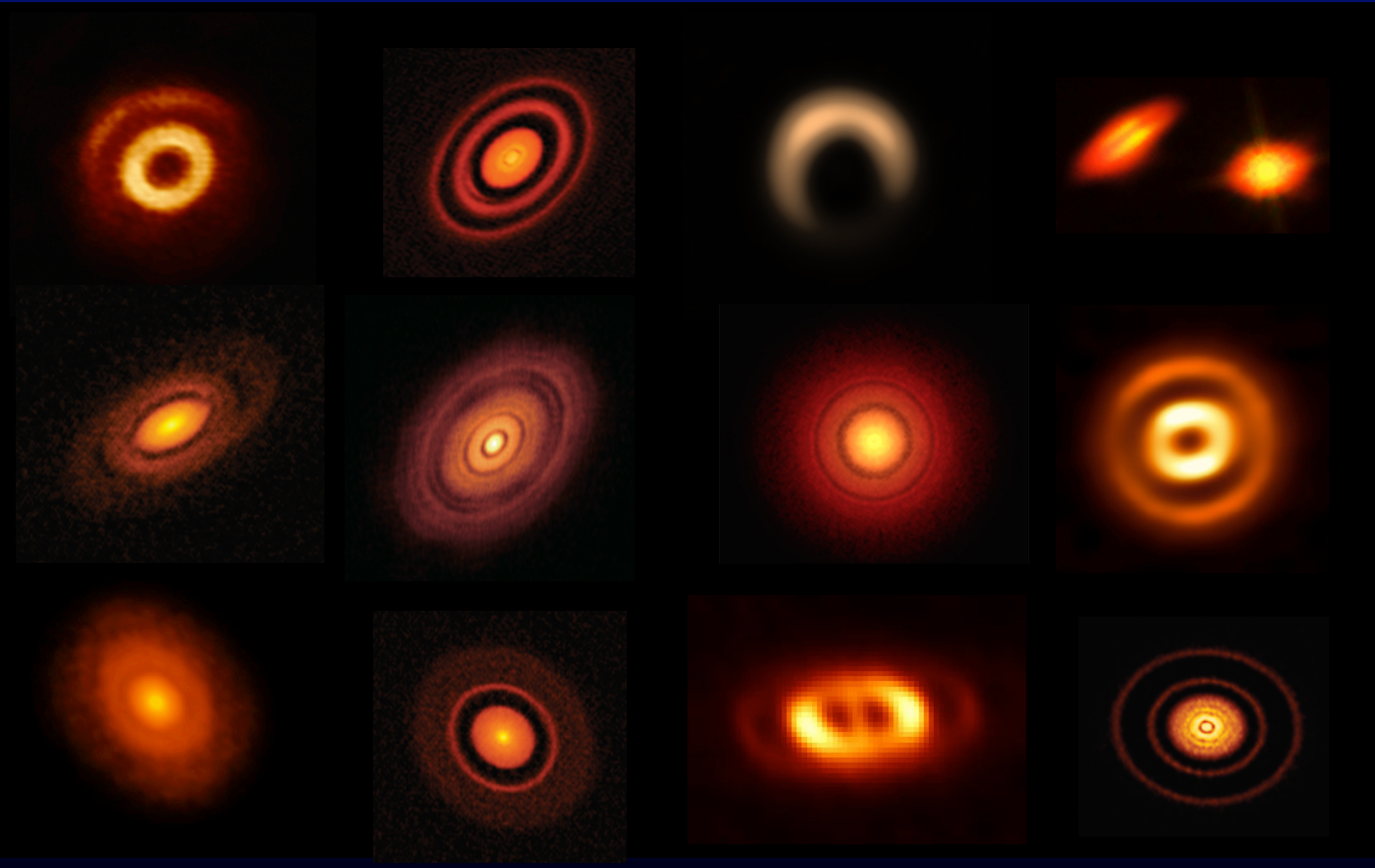
Fukagawa+2006



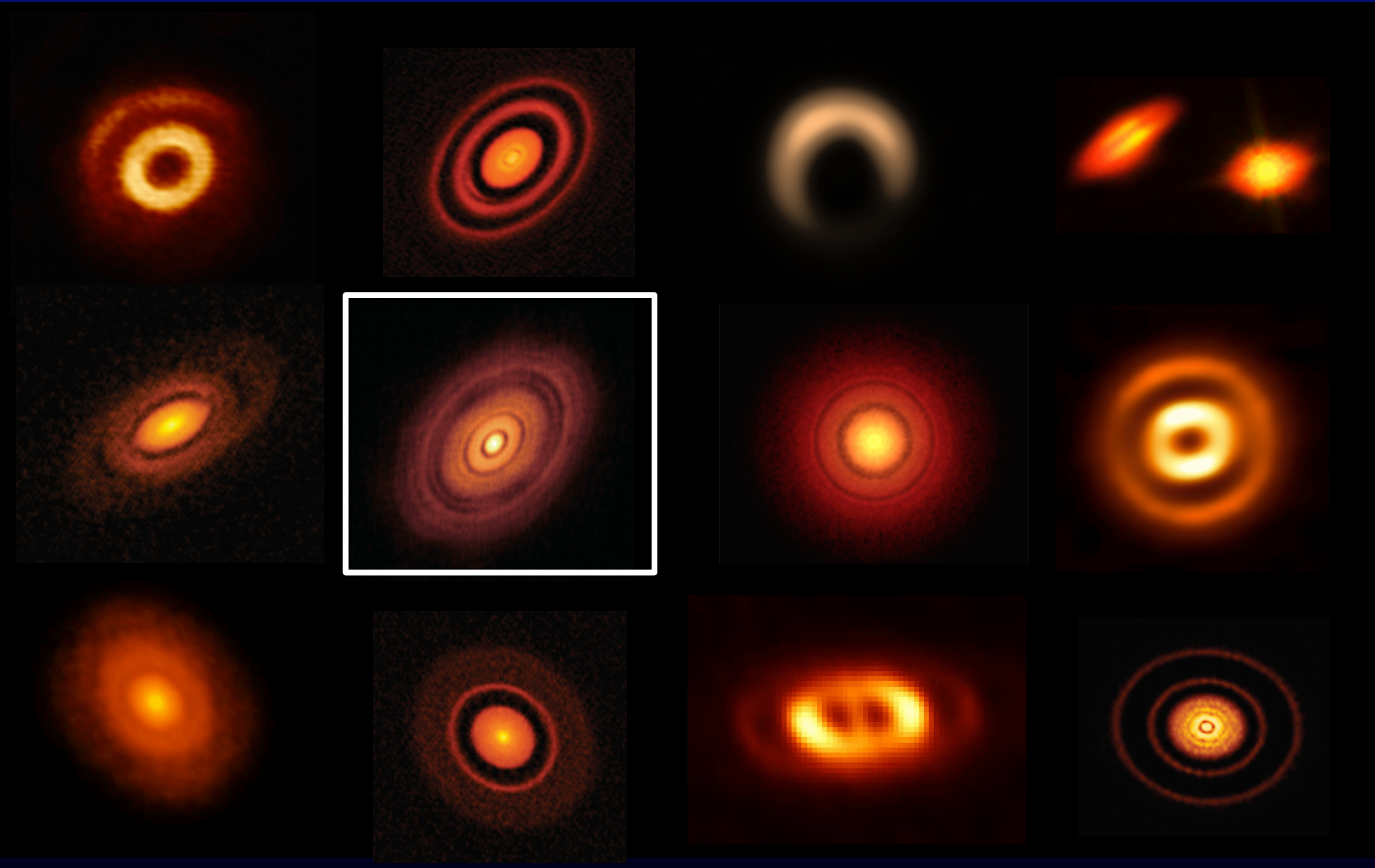
Mayama+2012

円盤は複雑な構造を持つ

原始惑星系一覧(電波)円盤



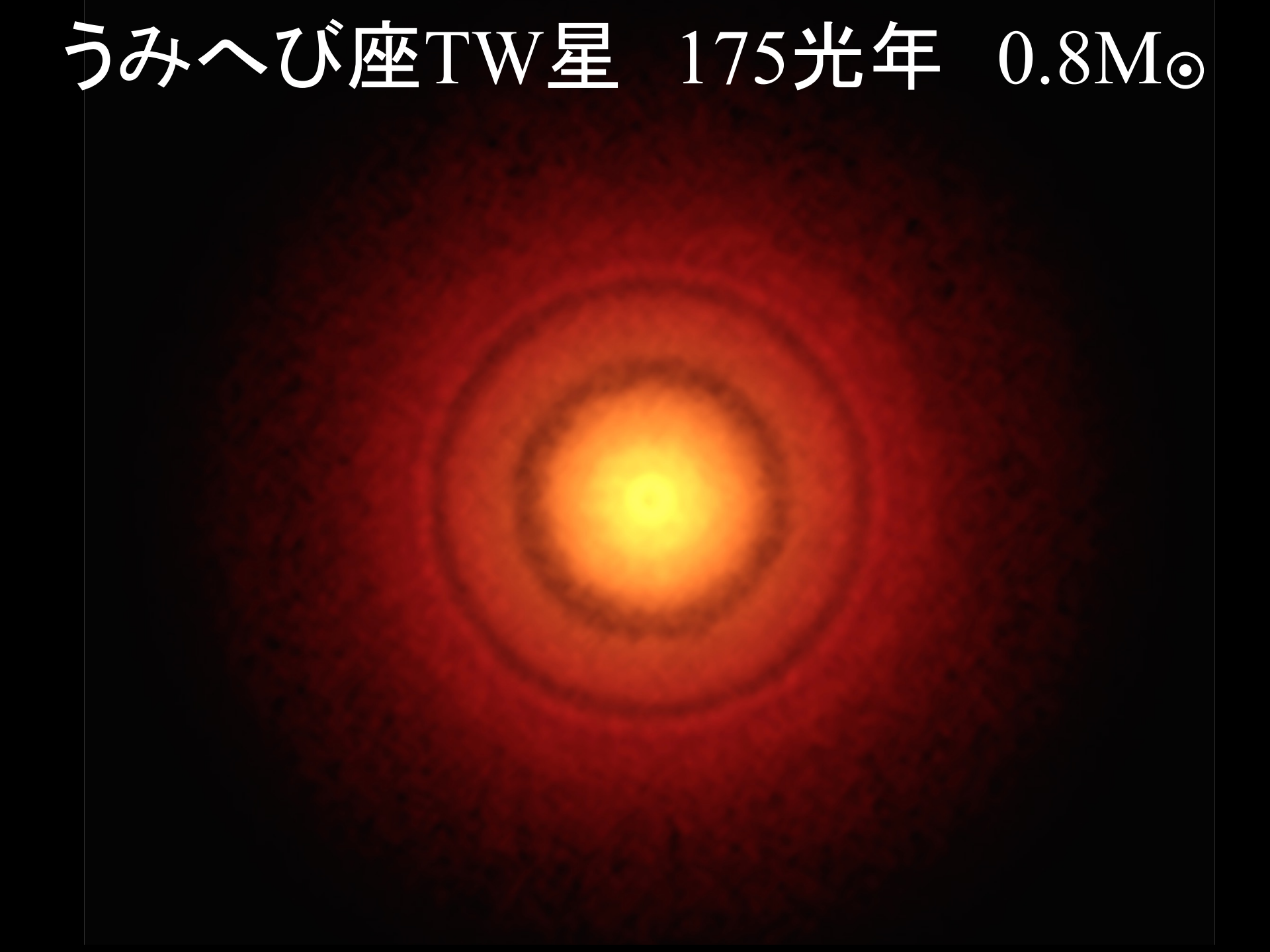
原始惑星系一覧(電波)円盤



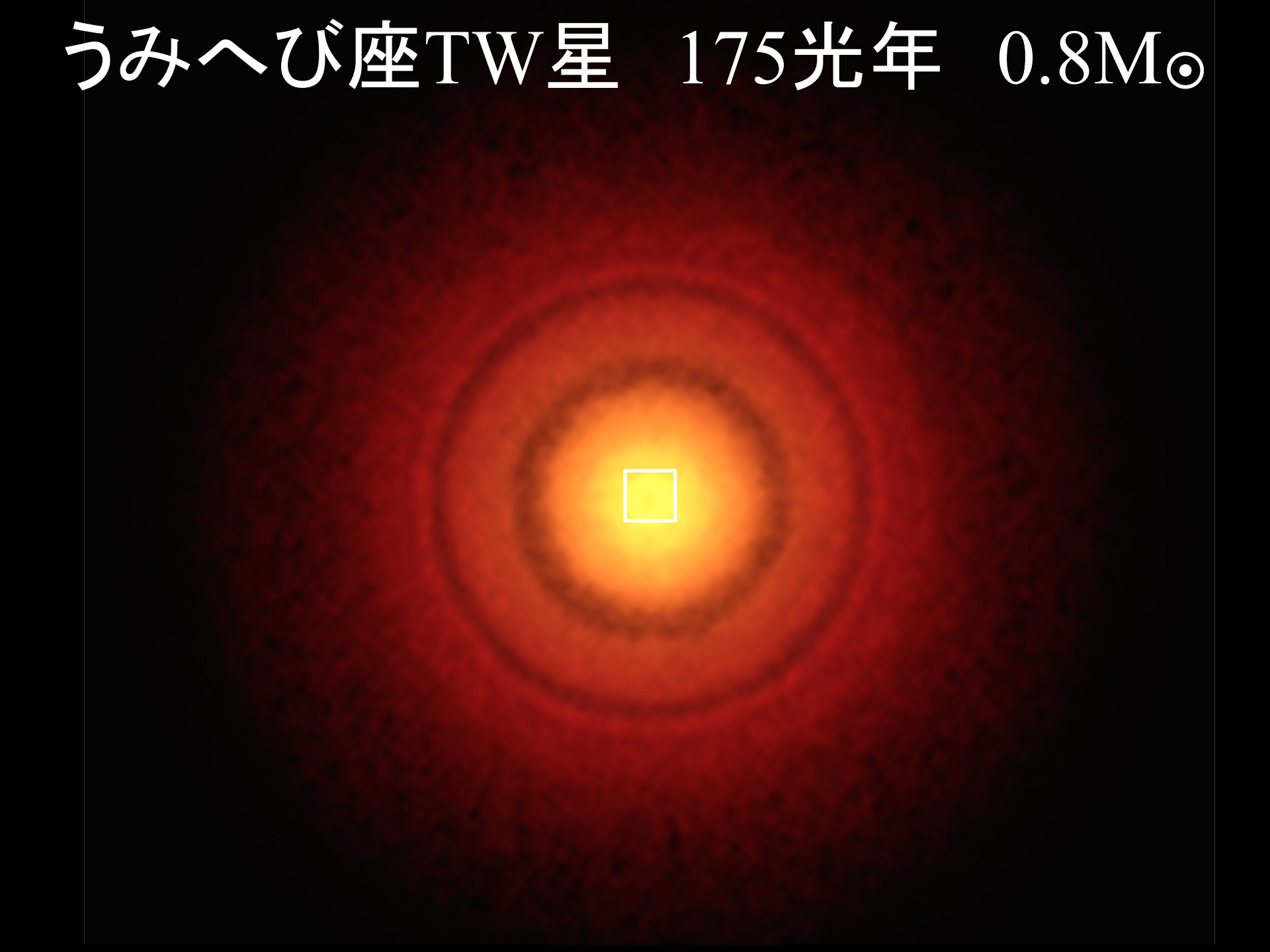
多重リング　おうし座HL星（動画）

G. Dipierro, D. Price, G. Laibe, K. Hirsh, A. Cerioli, & G. Lodato
Credit: ESO

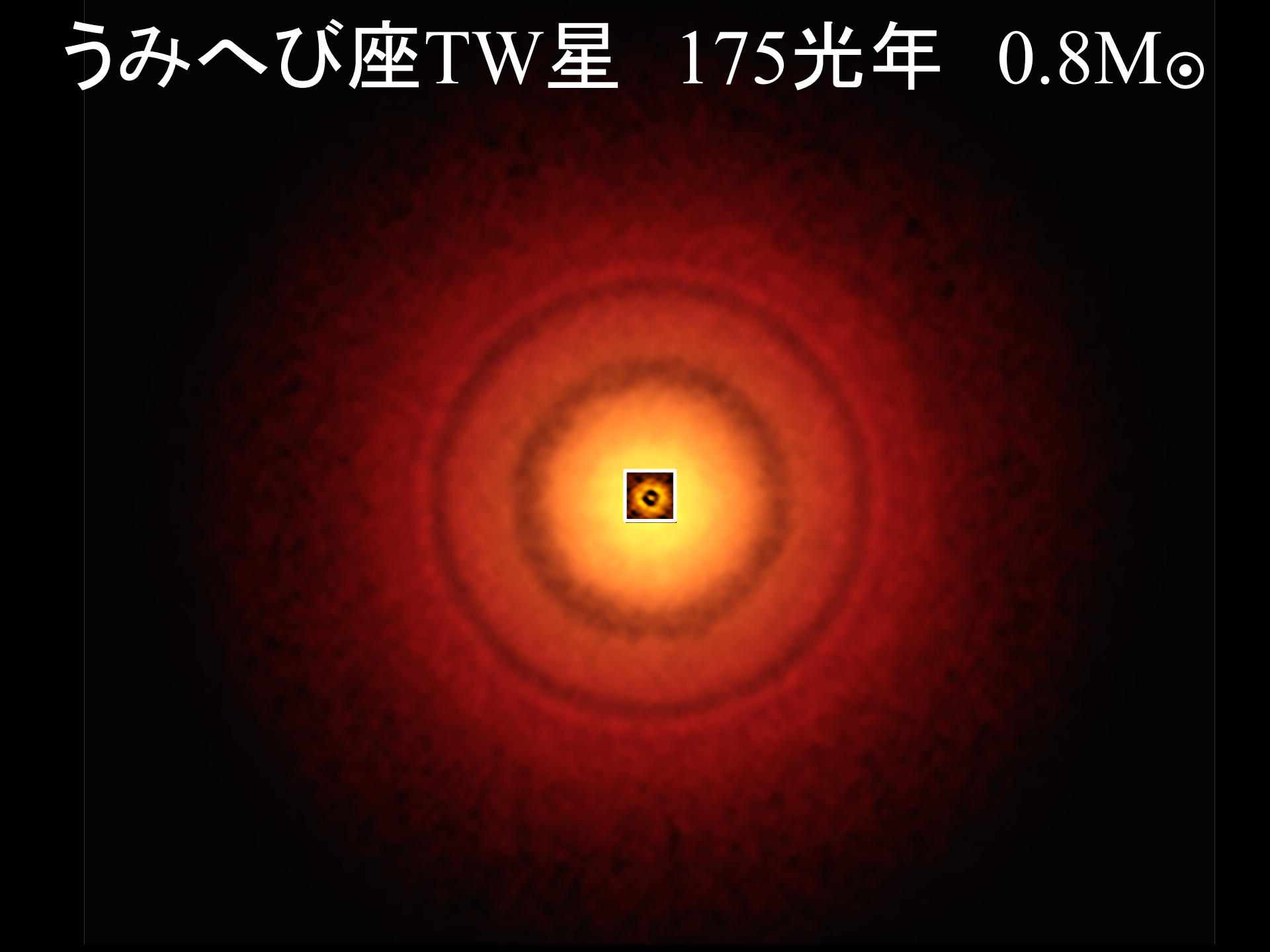
うみへび座TW星　175光年　0.8M⊙



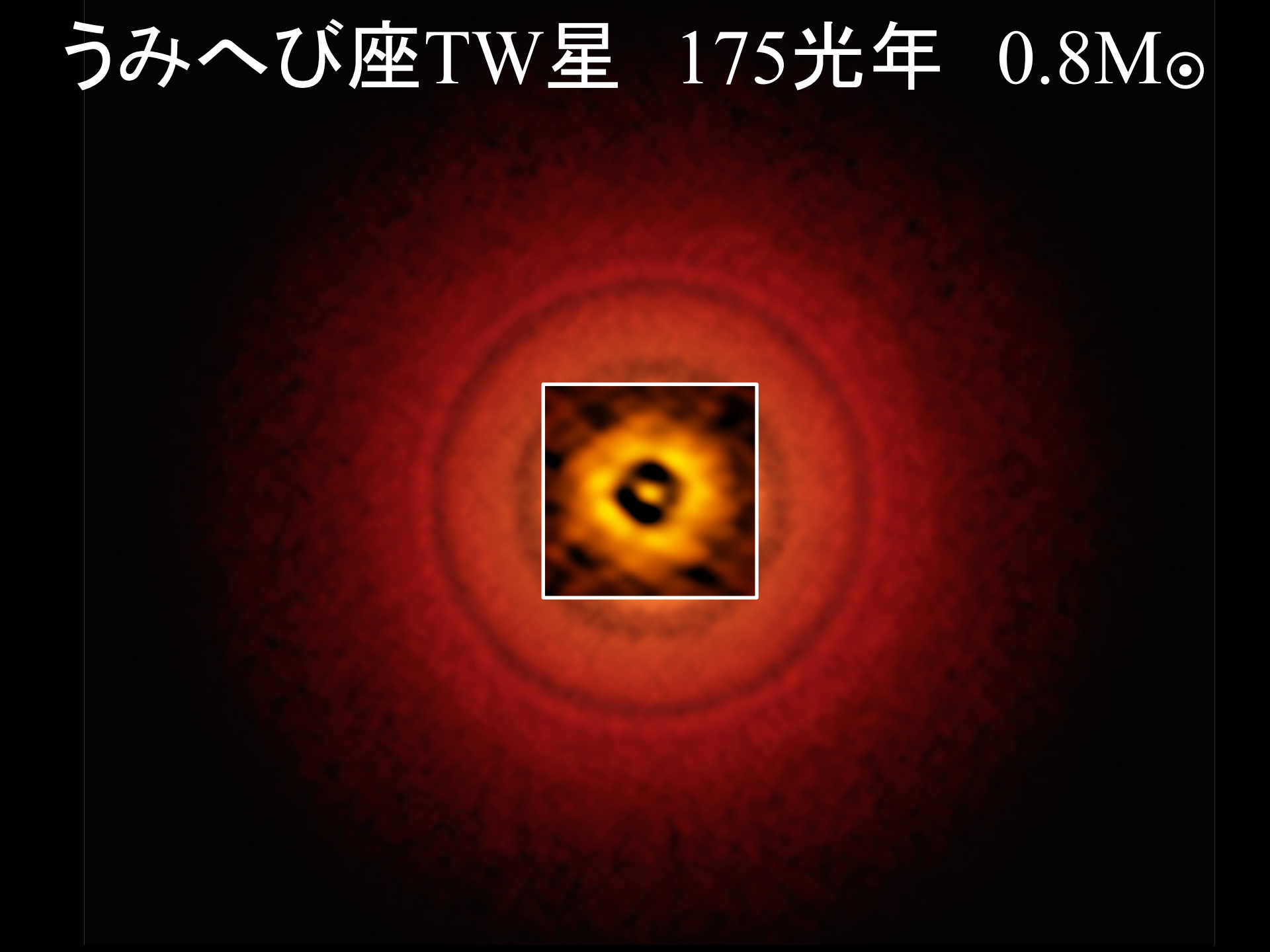
うみへび座TW星　175光年　0.8M⊙



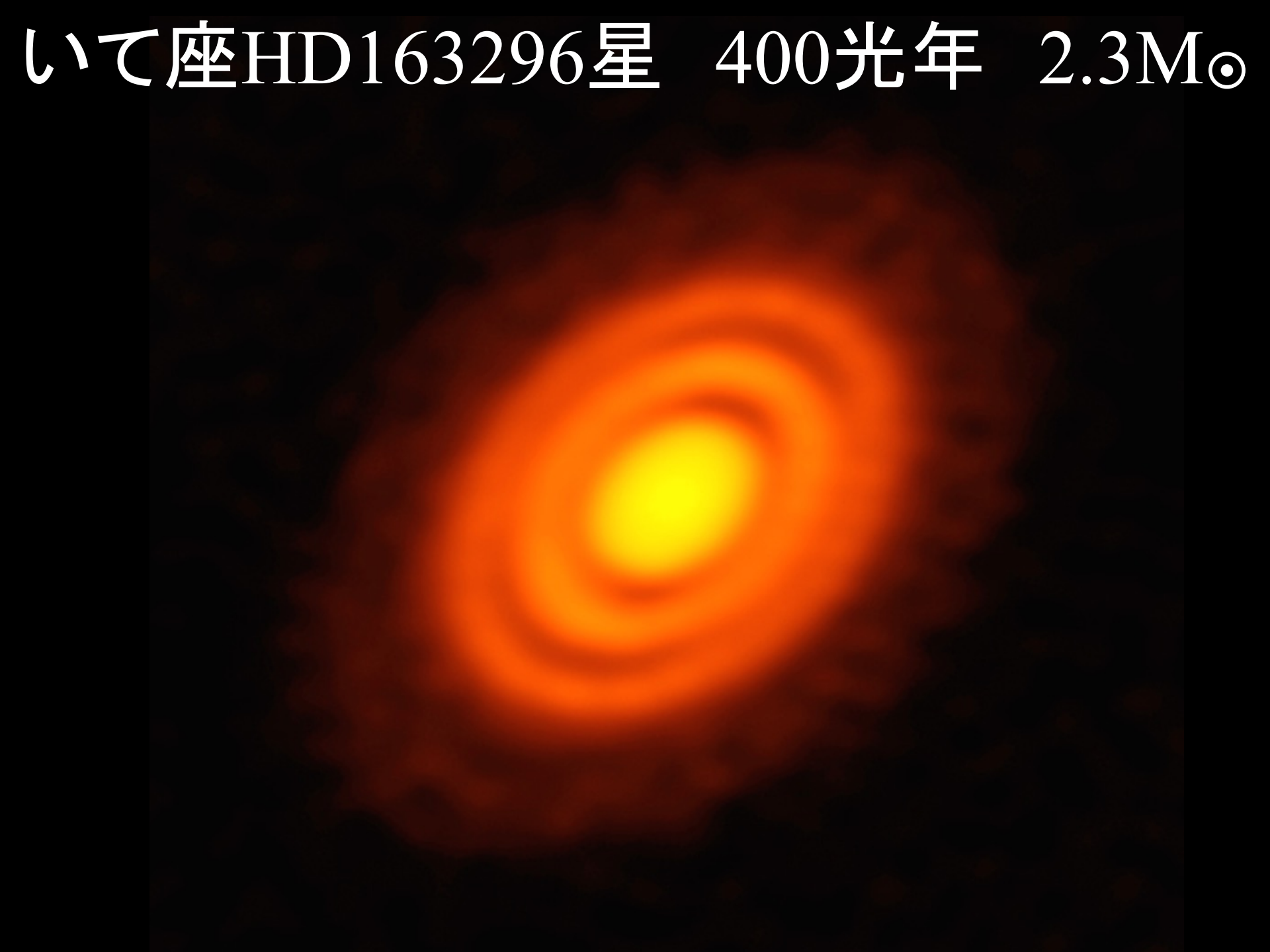
うみへび座TW星　175光年　0.8M⊙



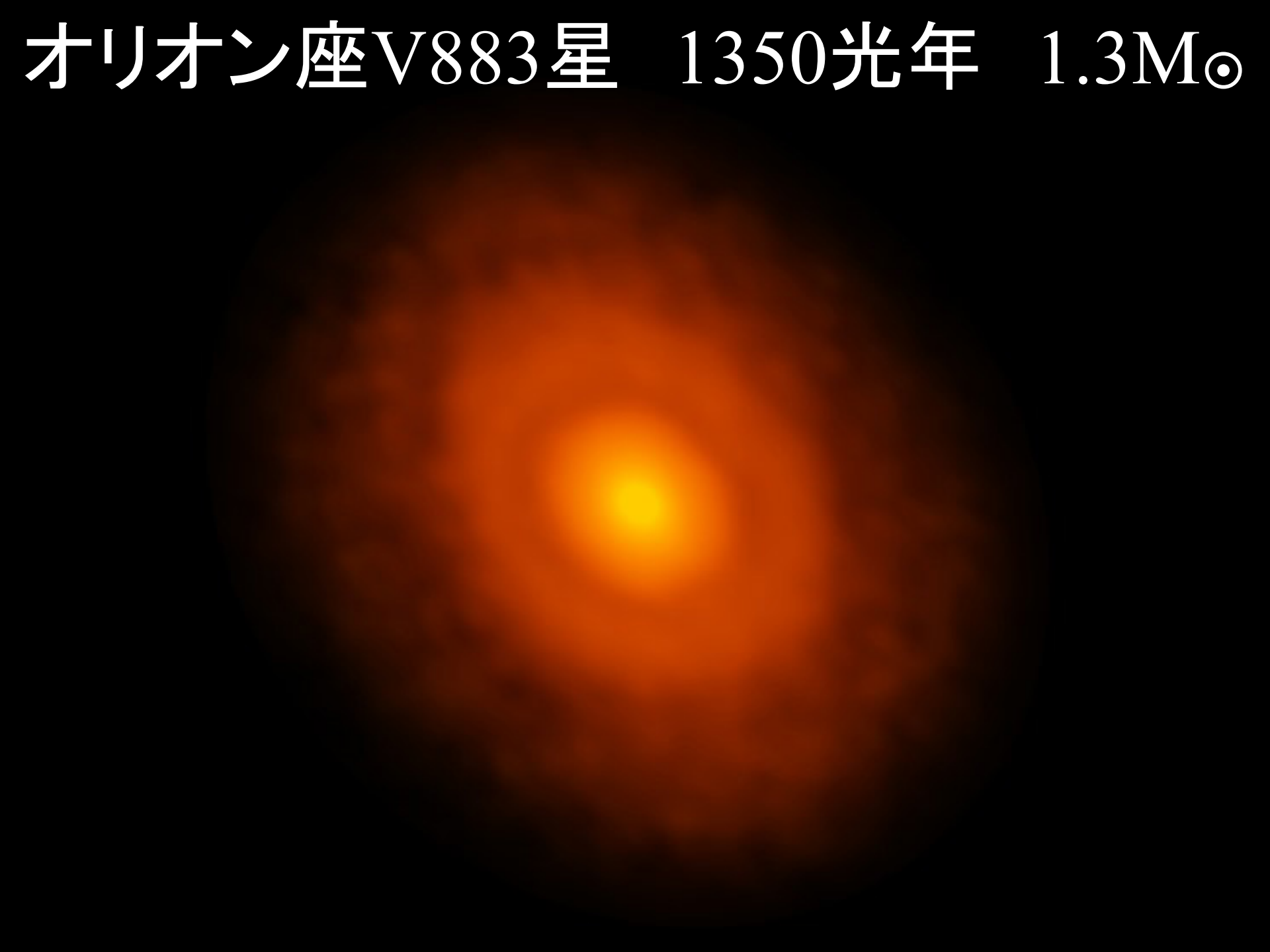
うみへび座TW星　175光年　0.8M⊙



いて座HD163296星　400光年　2.3M⊙

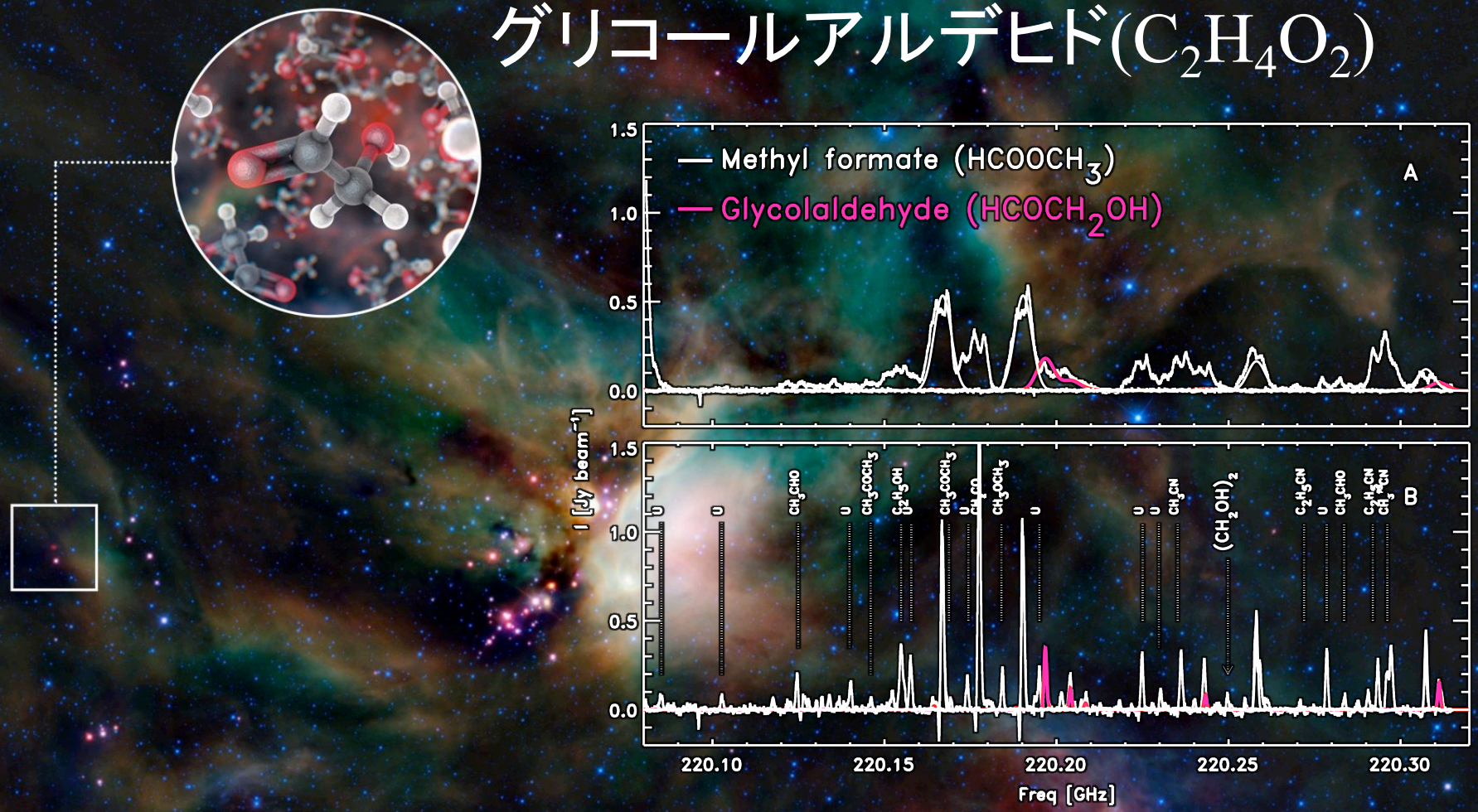


オリオン座V883星　1350光年　1.3M⊙



大型有機分子 1

グリコールアルデヒド($C_2H_4O_2$)



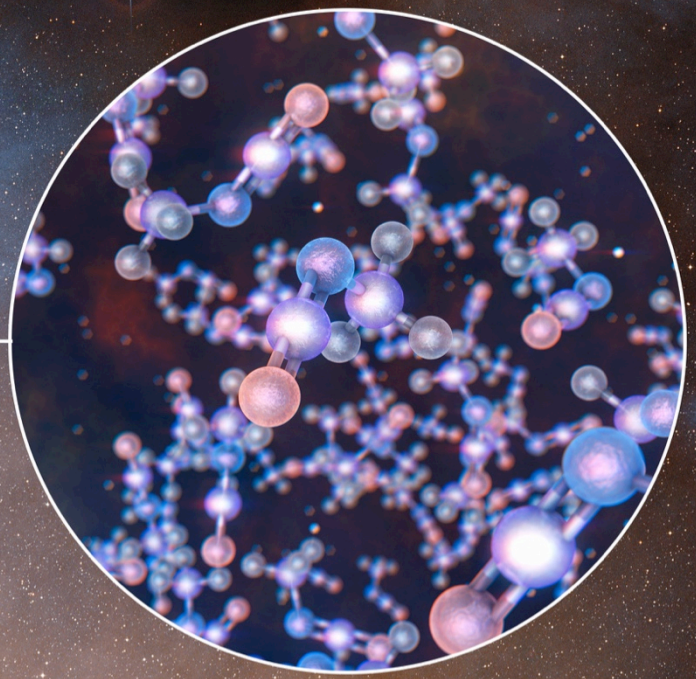
Jorgensen et al. 2012を改編

Credit: ESO/L. Calçada

大型有機分子 2

Martín-Doménech et al. 2017
Ligterink et al. 2017

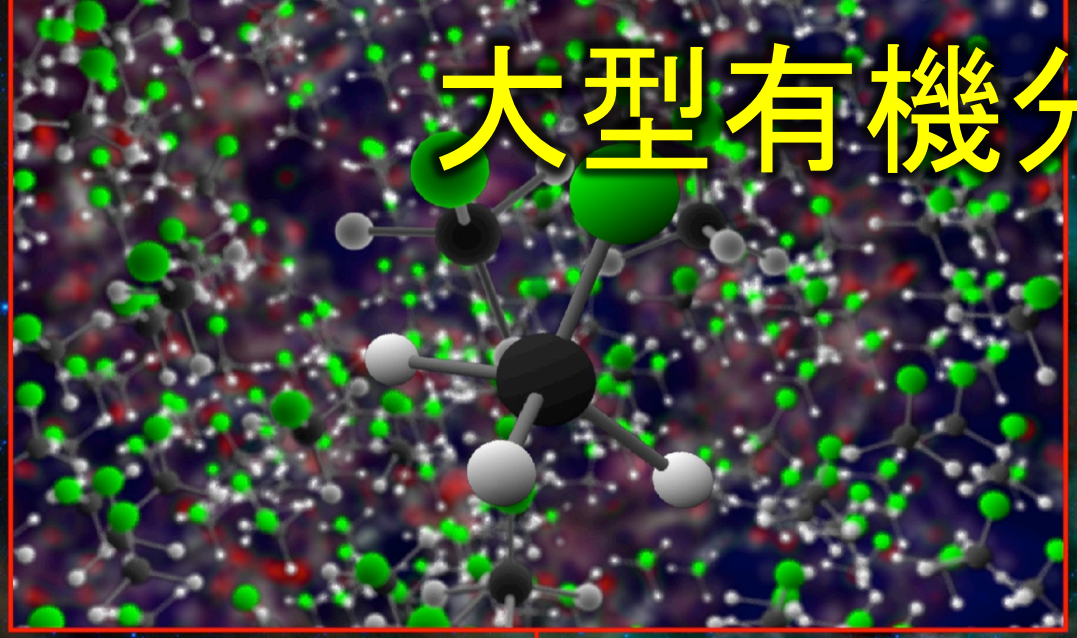
イソシアン酸メチル(CH_3NCO)



Credit: ESO/Digitized Sky Survey 2/L. Calçada

大型有機分子 3

Fayolle et al. 2017



クロロメタン
(CH_3Cl)

生命の起源につながる物質は
宇宙に多く存在している？

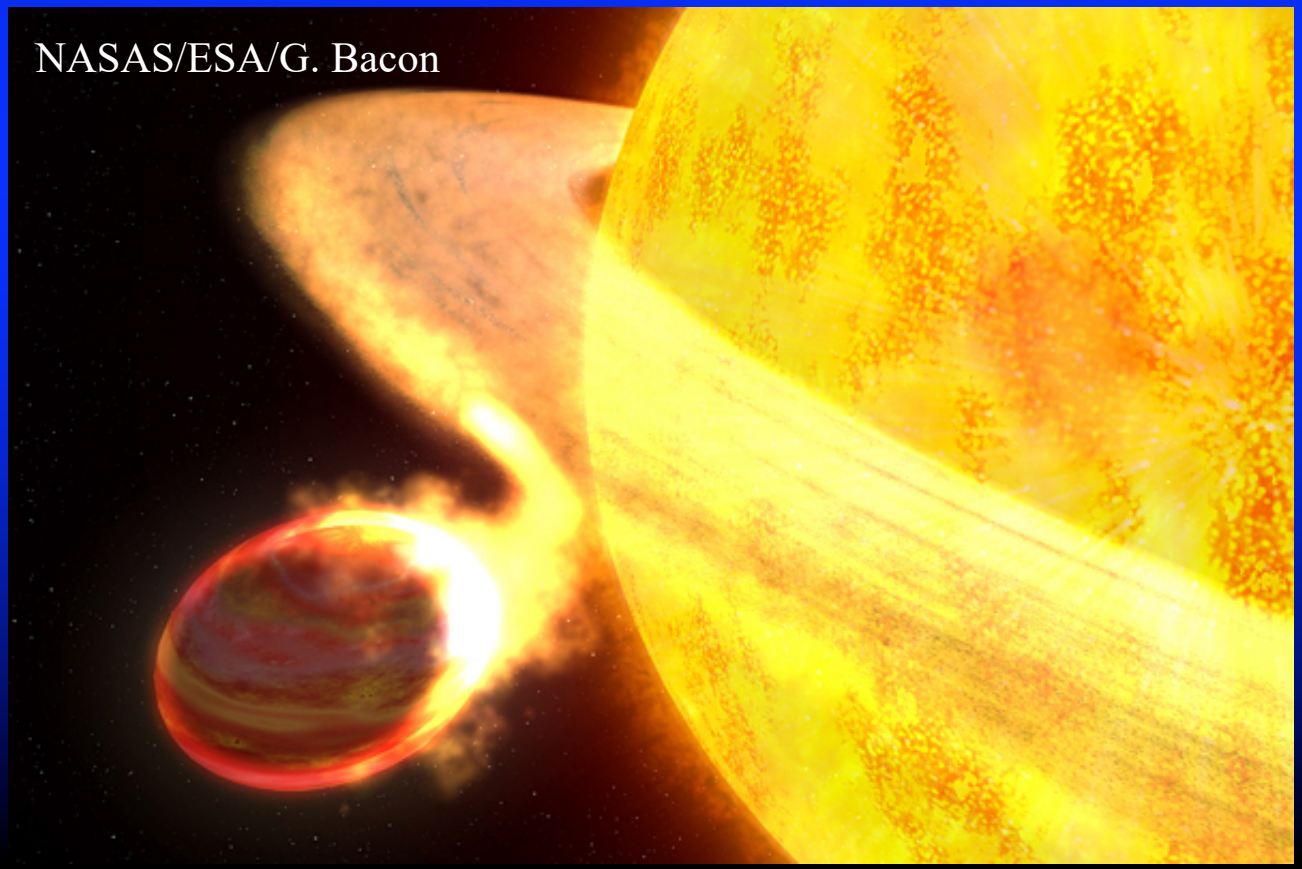
Credit: B. Saxton (NRAO/AUI/NSF); NASA/JPL-Caltech/UCLA

標準理論による惑星形成（動画）

国立天文台4D2U Project動画を編集

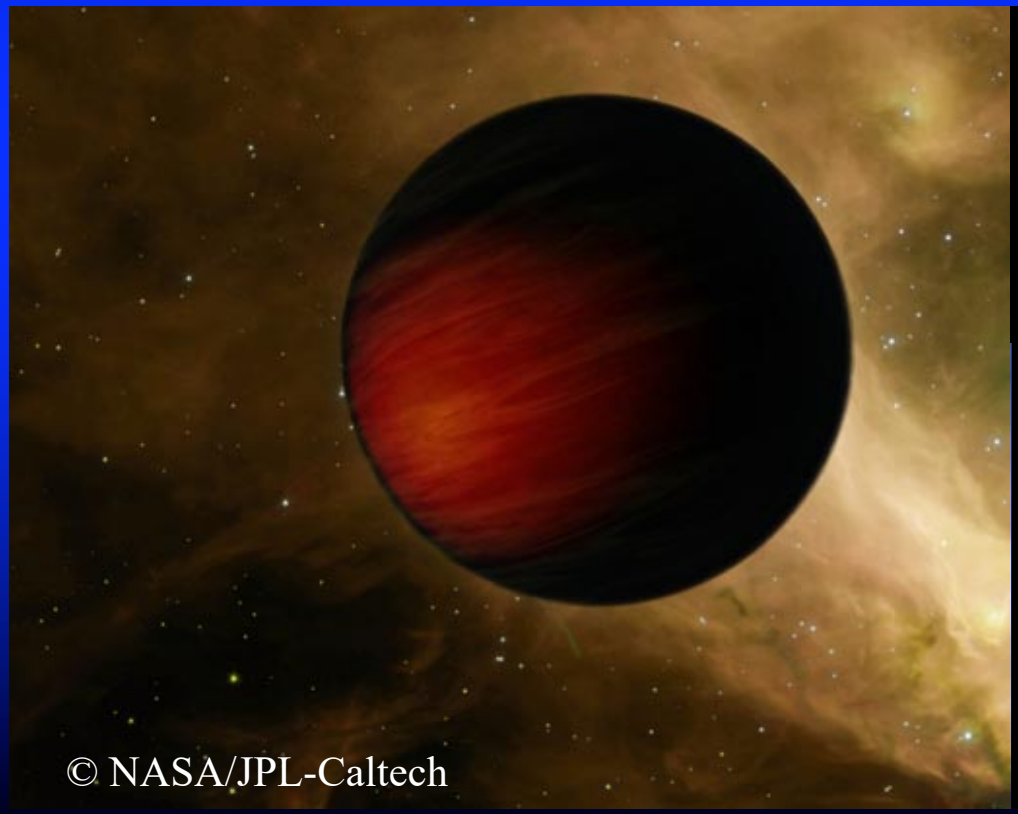
系外惑星の例　WASP–12b

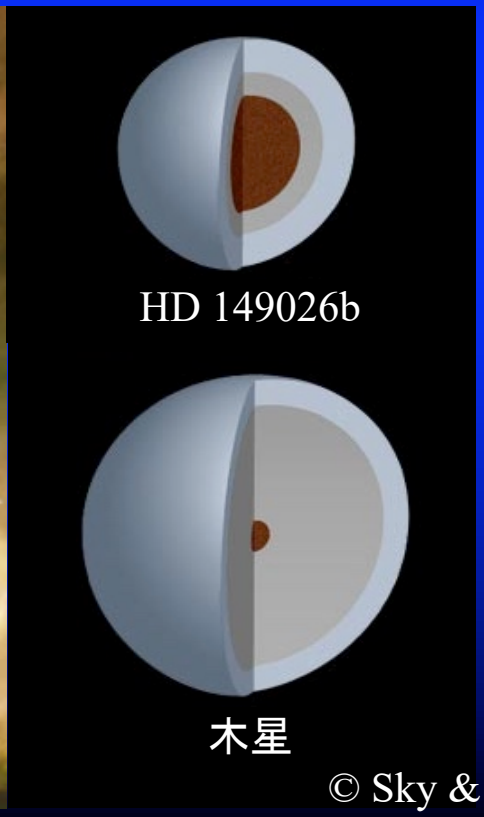
- 主星からの距離がたったの0.0229au(約345万km)で公転周期が1日のHot Jupiter。
- 潮汐力でフットボールのように膨らんでいる。
- ガスが主星に降着しており、1000万年でガスを失う。



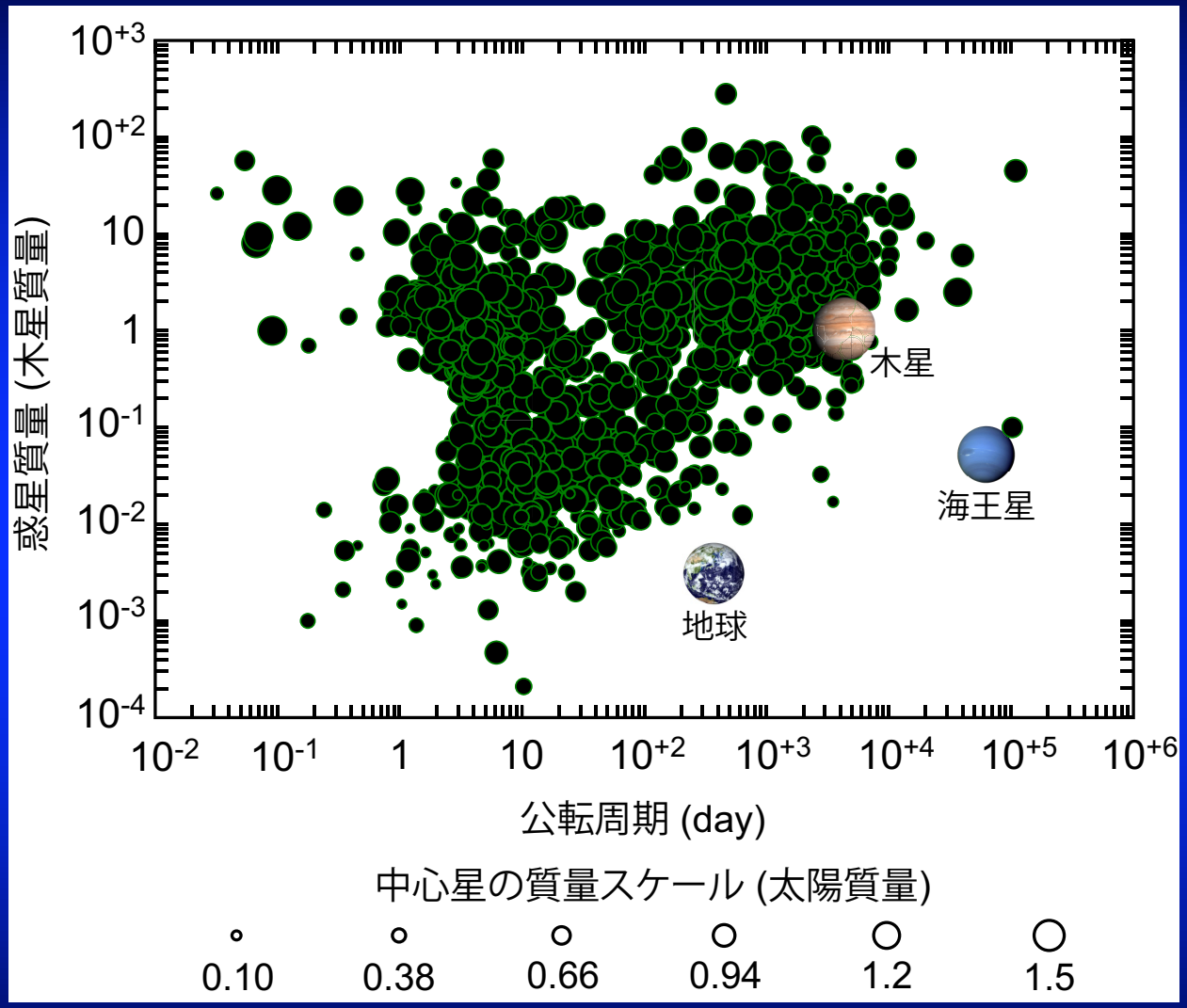
系外惑星の例　HD 149026b

- 巨大な中心核(地球質量の67倍)を持つ。
  一般的な惑星形成論では地球の10倍以上の核を形成することは困難である。
- すばる望遠鏡で発見された。





太陽系の惑星と系外惑星



太陽系は必ずしも標準的な惑星系ではないことを示している。

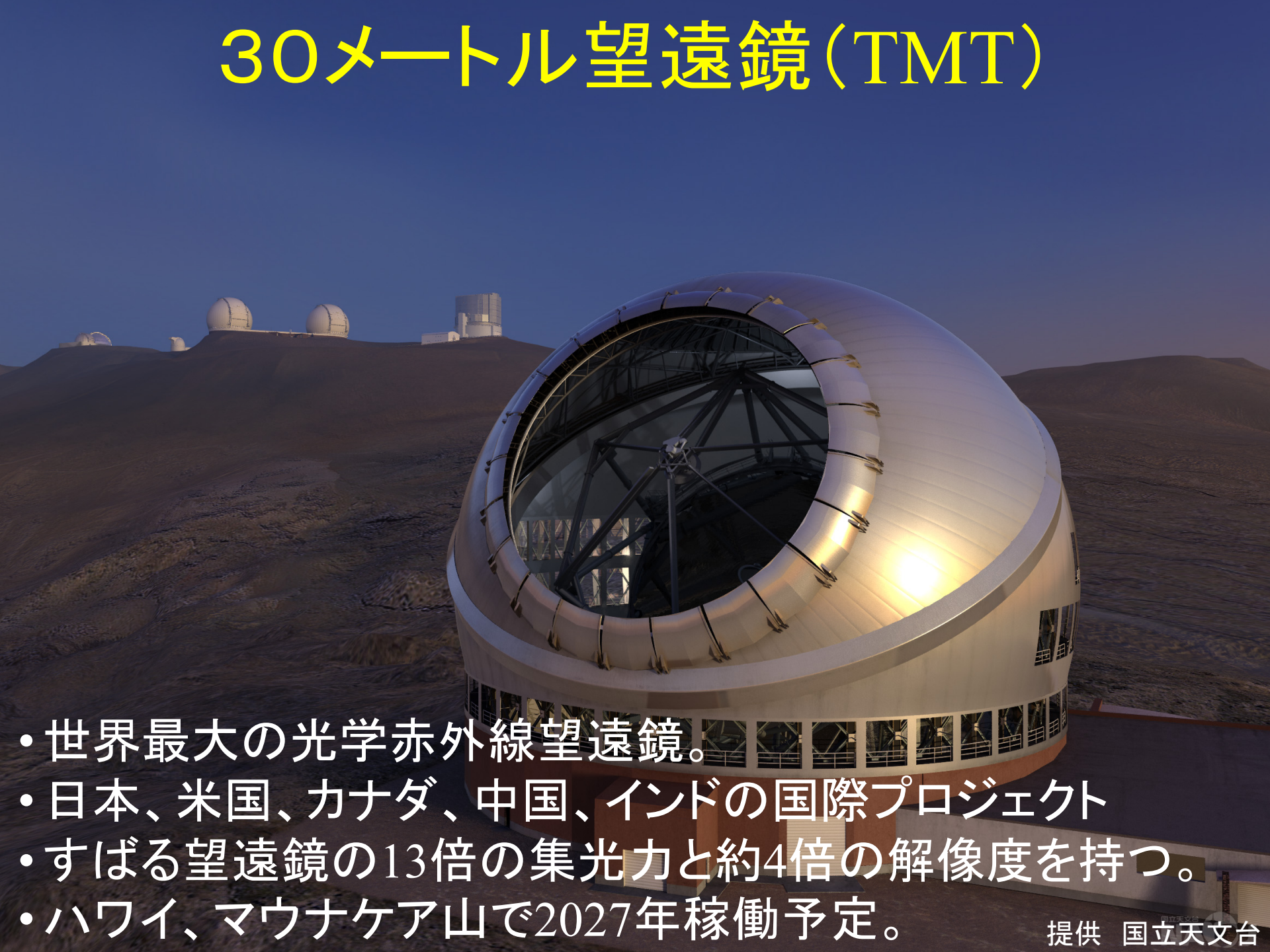
今後の研究と将来計画

•50kmまでの拡張を検討
•さまざまは電波（波長）による観測
提供　国立天文台

- 地球のような惑星が見えるスケールで詳細な観測。
  惑星の直接撮像。
- 宇宙物質の進化を探る。
  生命の起源につながる物質の探査。

提供　国立天文台

30メートル望遠鏡（TMT）



- 世界最大の光学赤外線望遠鏡。
- 日本、米国、カナダ、中国、インドの国際プロジェクト
- すばる望遠鏡の13倍の集光力と約4倍の解像度を持つ。
- ハワイ、マウナケア山で2027年稼働予定。

提供　国立天文台

まとめと今後の展望

- 多様な惑星系が存在する。
  標準理論では観測結果の説明はできない。
  太陽系は標準ではない可能性が示されている。

- 星・惑星形成領域には多くの有機分子が存在する。
  生命の起源は宇宙かもしれない。

- 次世代の観測装置が計画されている。
  太陽近傍の生命居住可能惑星の探査。
  生命根拠の探索。