

教授 山本 智
助教 坂井南美
助教 渡邊祥正
D3 椎野竜哉
D2 山口貴弘
D1 柴田大輝
M2 相馬達也
M2 徳留智矢
M1 猪熊宏士
M1 西村優里

ALMA望遠鏡による星・惑星系形成の探求

本来あるべき

高等教育の目的 早わかりの図

高校

決められた課程を
修める

専門学校

特定の「知、技能」
を身に着ける

大学(学部)

既存の「知」を学ぶ
だけど、終わりなし境界なし
わかっていないことがある
ことを知る

修士、博士は
資格ではない！
能力・経験

大学院博士課程

わかっていないことを見つけ出し
それを解決する

- ①問題解決能力をもつ人材は社会で最も求められるはずの人材
- ②専門性に埋没させているのは研究者の問題
- ③博士は「もの知り」ではない。博士に対するイメージは社会に誤解されている！

大学院修士課程

わかっていないことを解決する
テーマは与えられる

問題設定・問題解決
能力を持った人材

問題認識のできる
人材

- ①だから研究と教育は不可分
- ②資格取得は大学教育の主目的ではない

問題解決経験を
持った人材

- ①わかっていないことは「難しい」ことではない！どの大学でもできる！
- ②大学院を単なる大学の補習の場にしてはいけない。力はつけるのはわからないことに挑むため。
- ③「質の保証」は画一的にはできない

宇宙物理学

- 宇宙を「実験室」とした物理学
地上では実現できない状態
c.f. 高エネルギー、高密度、高磁場、、、
- 低温、低密度、、、
- 宇宙そのものの物理学
宇宙における構造形成・物質進化の歴史
c.f. BB、インフレーション、銀河形成、星形成、、

宇宙における構造形成

初期宇宙における揺らぎ

物質の進化

銀河形成

星形成

惑星系形成

原子

分子

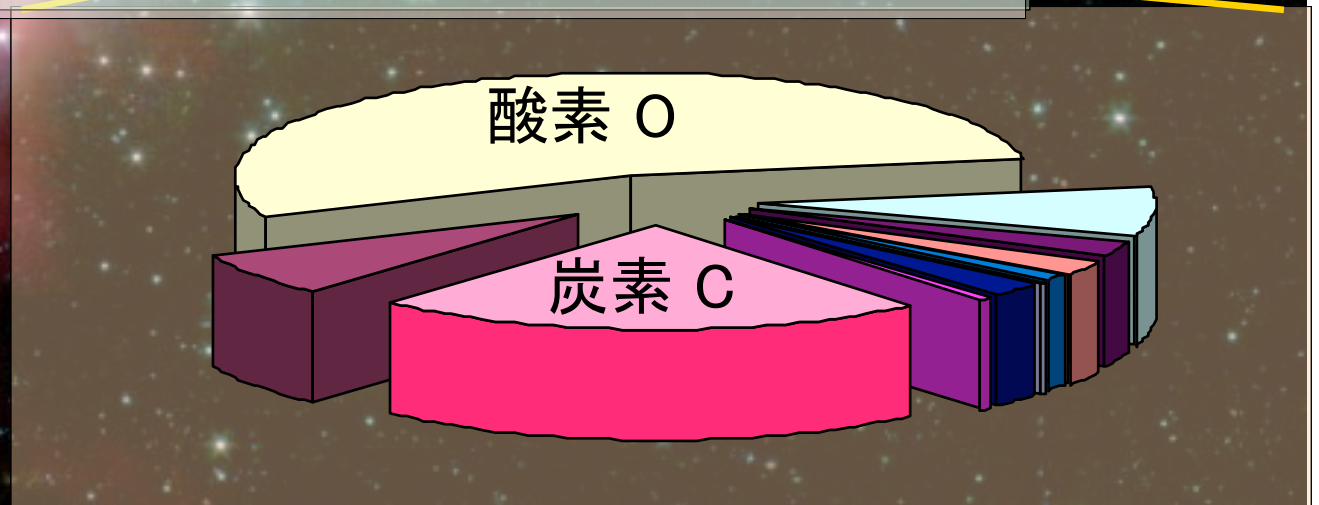
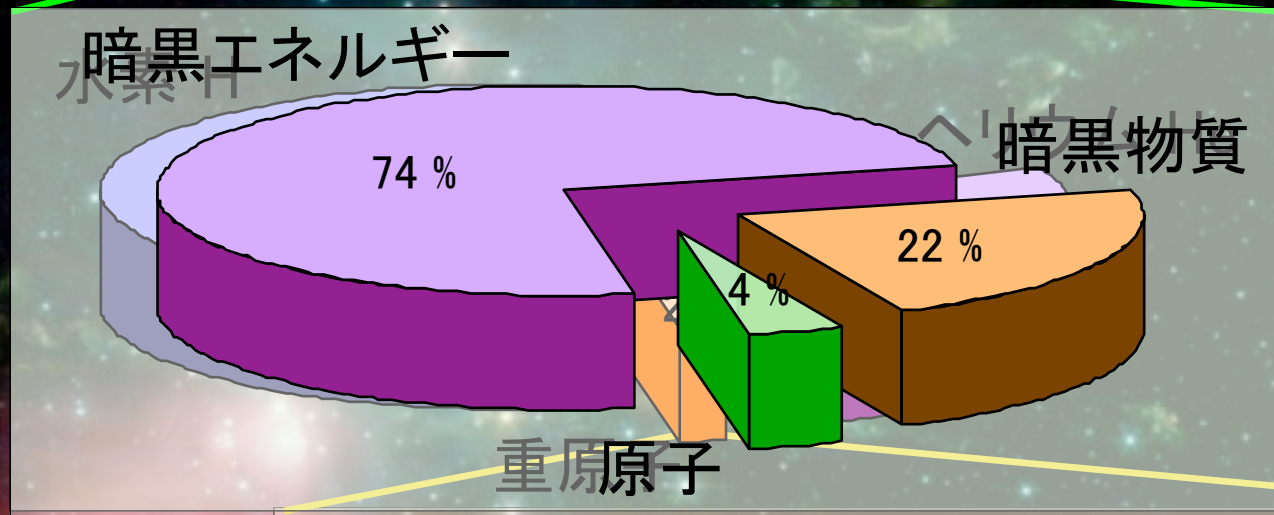
原始太陽系の環境はどうやってできあがったの？



Hubble Deep Field
PRC96-01a · ST ScI OPO · January 15, 199



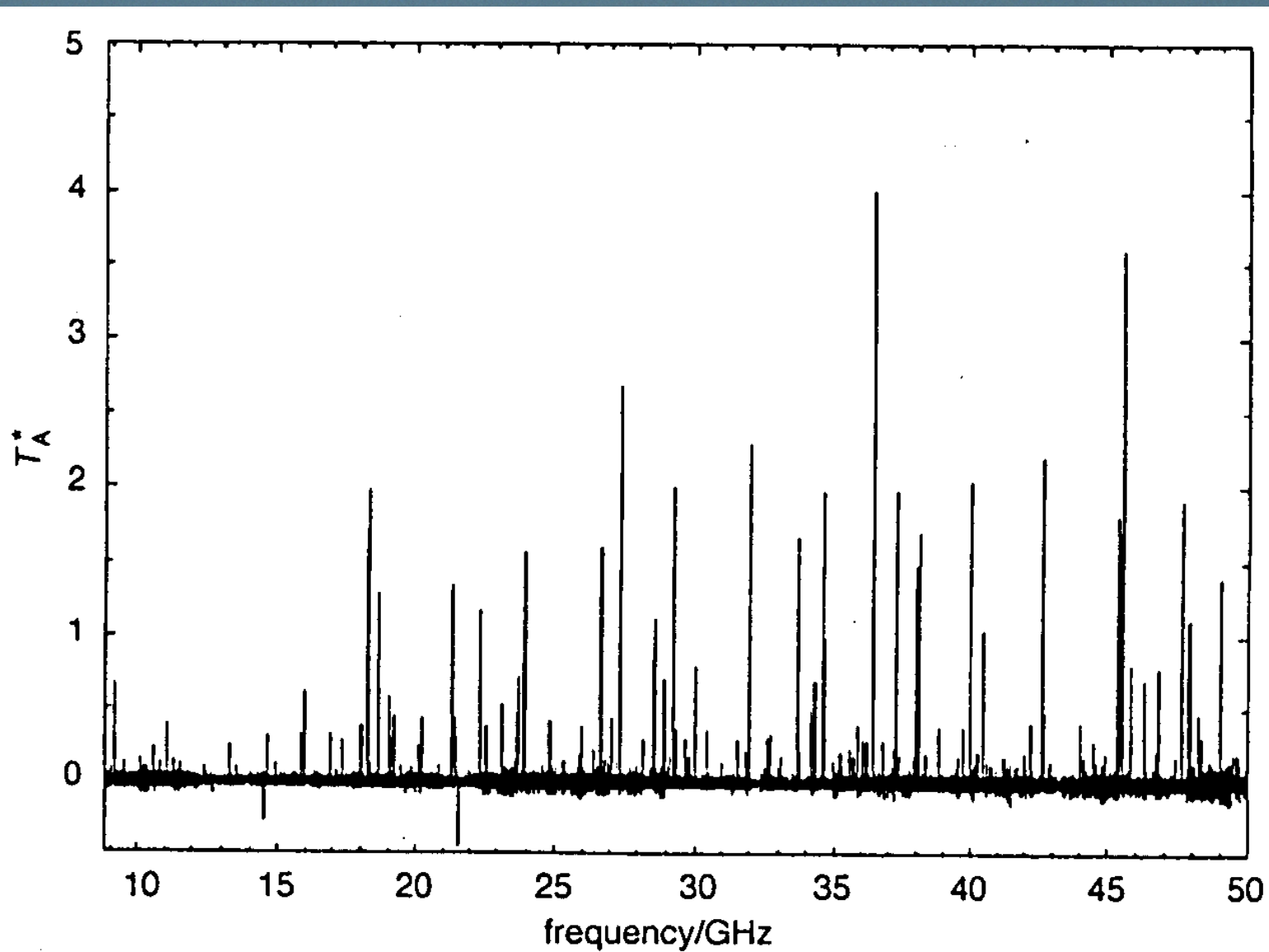
Matter in the Universe



なぜ電波か？

- (1) 電磁波の中で並外れた透過力
構造形成の核心に迫れる
(例) 星形成、惑星系形成、活動銀河核
遠方銀河
- (2) 物質が詳細に見える
様々な分子の回転スペクトル線
構造形成とともに物質進化を探求できる
- (3) 高い波長分解能($R=1,000,000$)
天体の運動が詳細にわかる

国立天文台野辺山宇宙電波観測所 45m電波望遠鏡



星間分子と星間分子雲

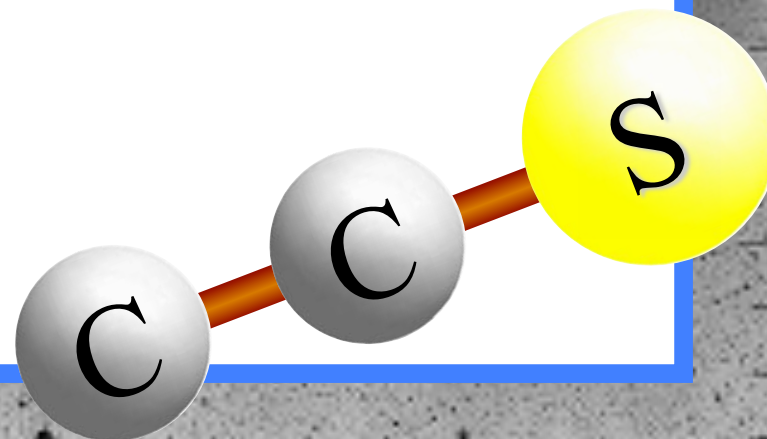
H₂

1

~10⁻⁴

星間分子の種類

炭素鎖分子



R Coronae Australis

望遠鏡の解像度 $\delta = k(\lambda/D)$ (回折限界)

光 $\lambda = 5 \times 10^{-7} \text{ m}$ $D = 8 \text{ m}$ $\delta = 0.02''$

電波 $\lambda = 3 \times 10^{-3} \text{ m}$ $D = 45 \text{ m}$ $\delta = 18''$

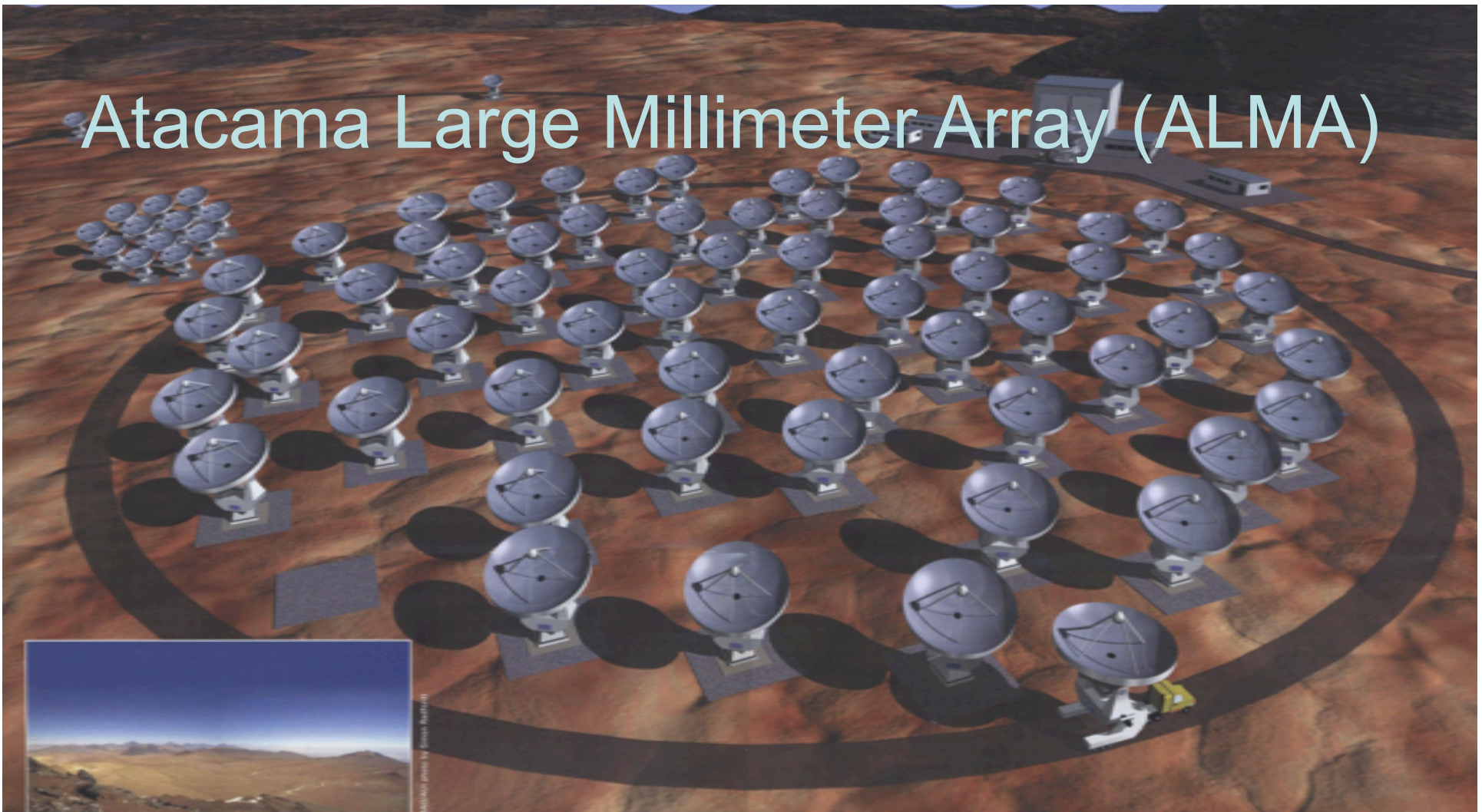
解像度を上げるには $D \rightarrow$ 大



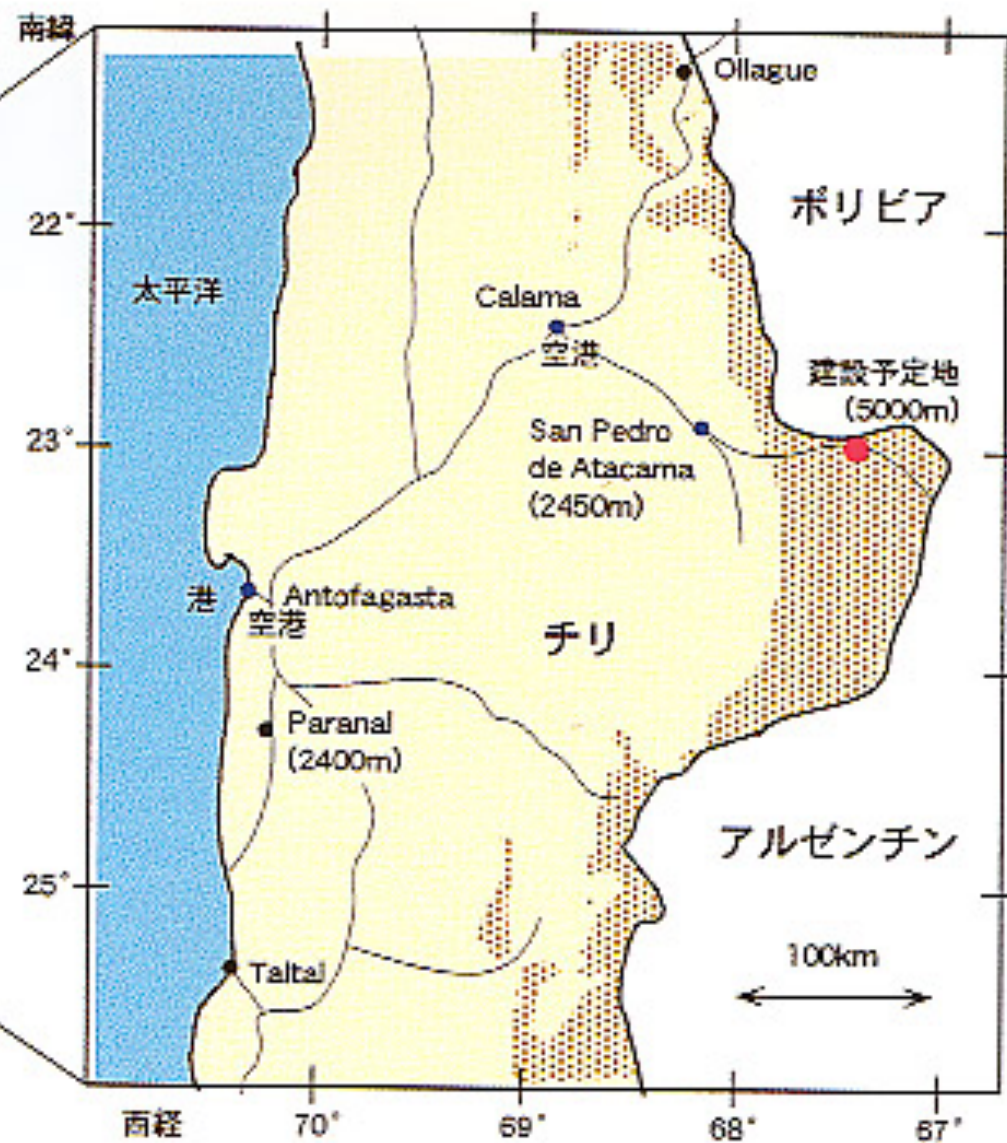
アンテナを複数台並べて信号を干渉
→ 干渉計：開口合成
アンテナ間隔がDになる！

$$\lambda = 3 \times 10^{-3} \text{ m}, D = 800 \text{ m} \rightarrow \delta = 1''$$

Atacama Large Millimeter Array (ALMA)



- 12 m アンテナ50台を中心とする干渉計をチリの高地に展開
- 高感度、高分解能(0.01秒角)でミリ波、サブミリ波を観測
- 日、米、欧の国際協力で建設中(1,000億円規模)
- 2012年に運用開始予定



動き出すALMA

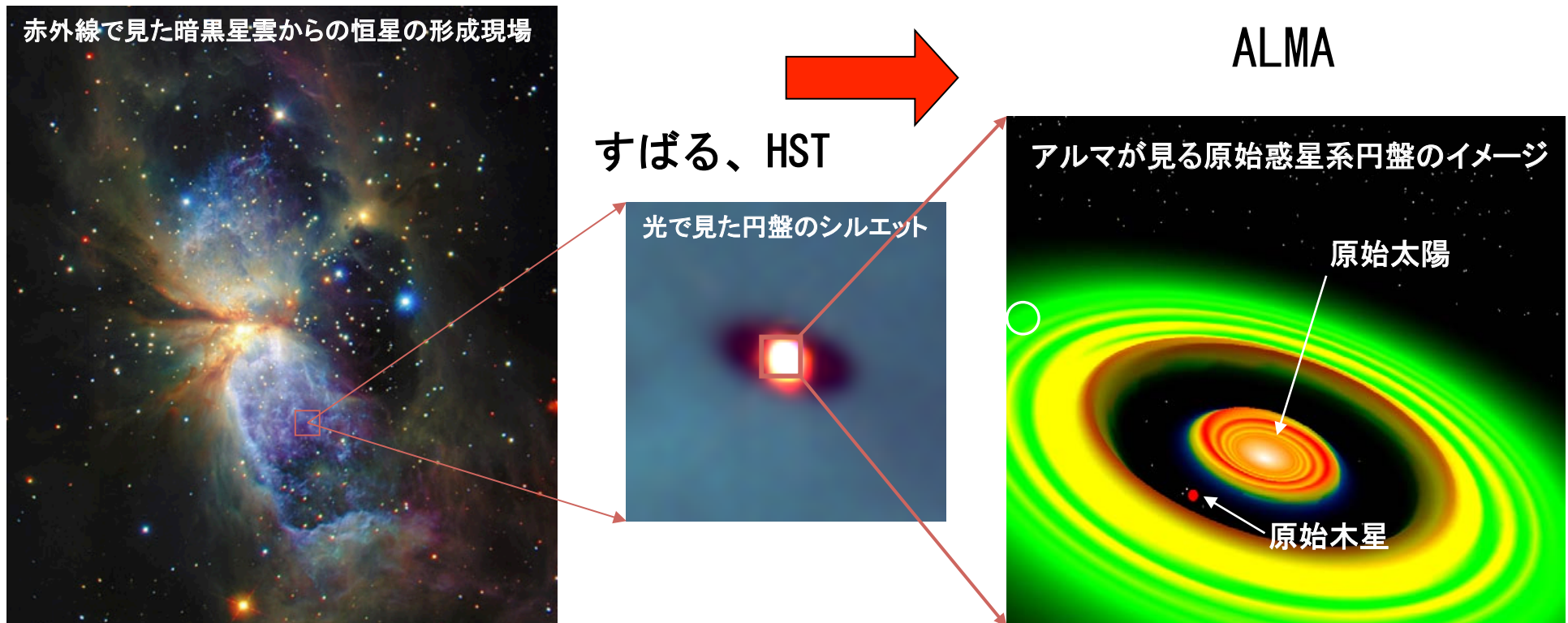
初期運用開始: Oct. 2011

本格運用開始: 2013 -



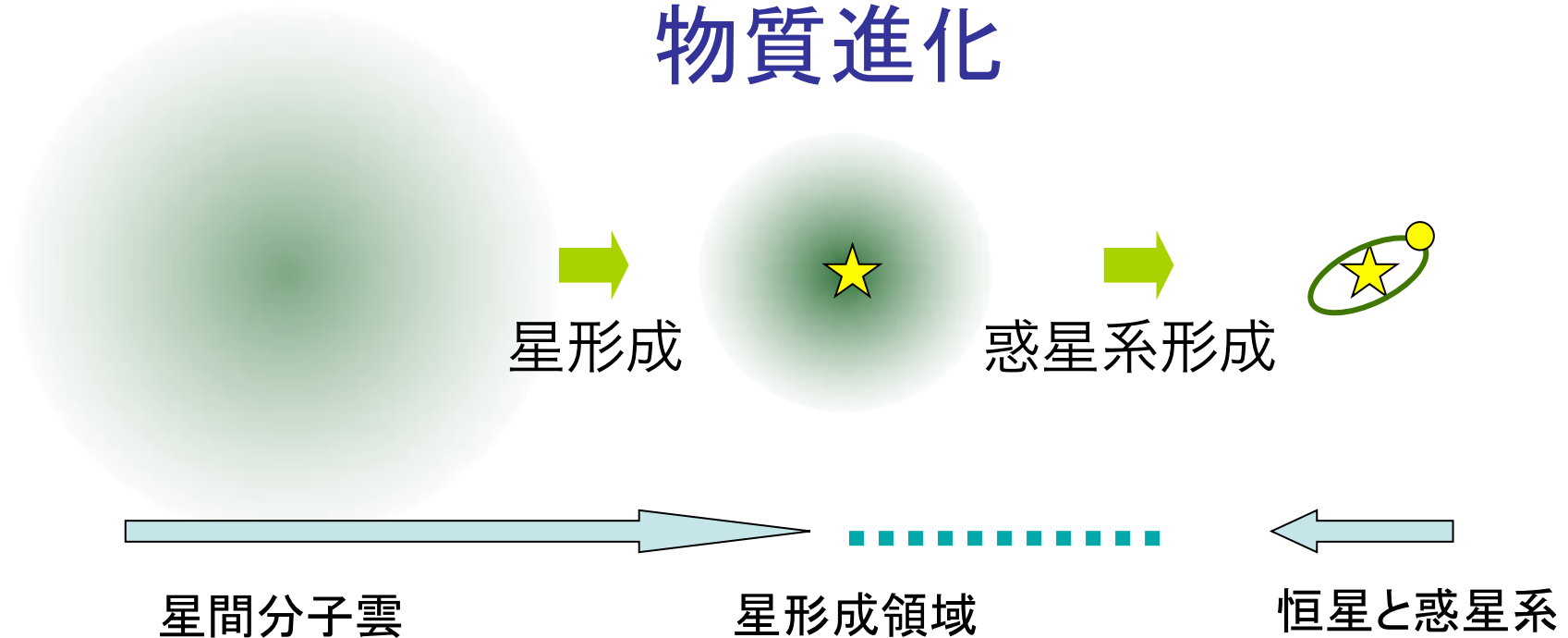
太陽系以外の惑星系とその形成

- 最高の空間分解能(0.01秒角)で、恒星を周る原始惑星系円盤の構造を観測し、さまざまな惑星の形成プロセスを解明。
- 日本のACAシステムとサブミリ波受信機で、正確詳細な円盤構造を描く。
- 日本の高分散相関器は、円盤の内部運動や化学組成から、惑星系の多様性や生命の起源に迫る。



星形成と惑星系形成

物質進化

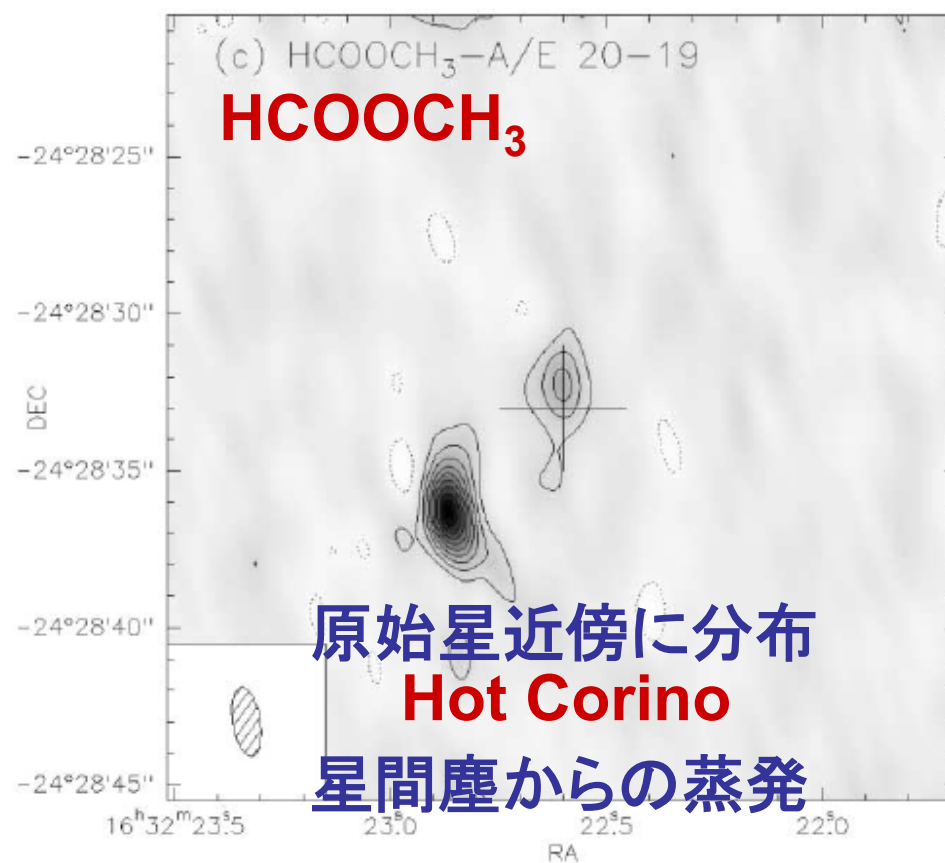
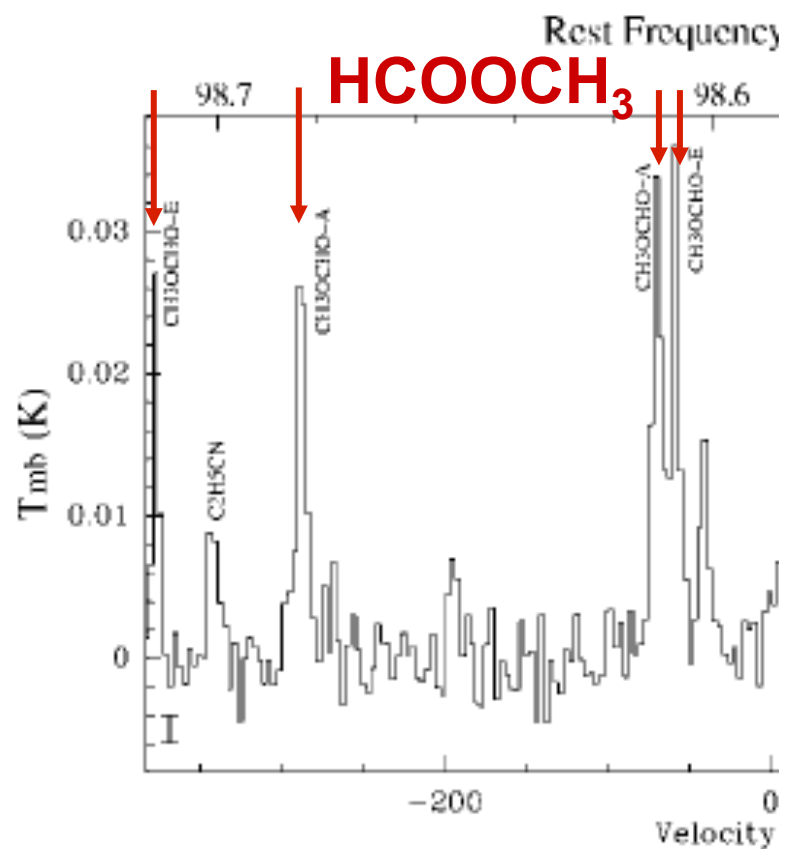


星間化学と惑星科学をつなぐ

星・惑星系形成の物質診断を開拓

低質量原始星 IRAS16293-2422 における 複雑な有機分子の検出

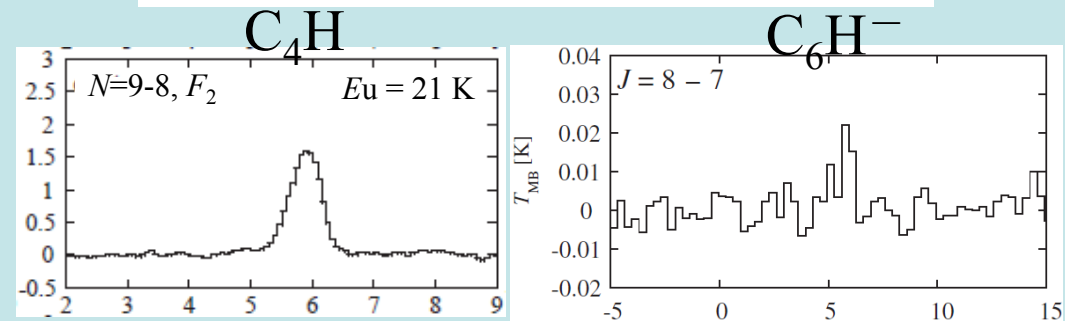
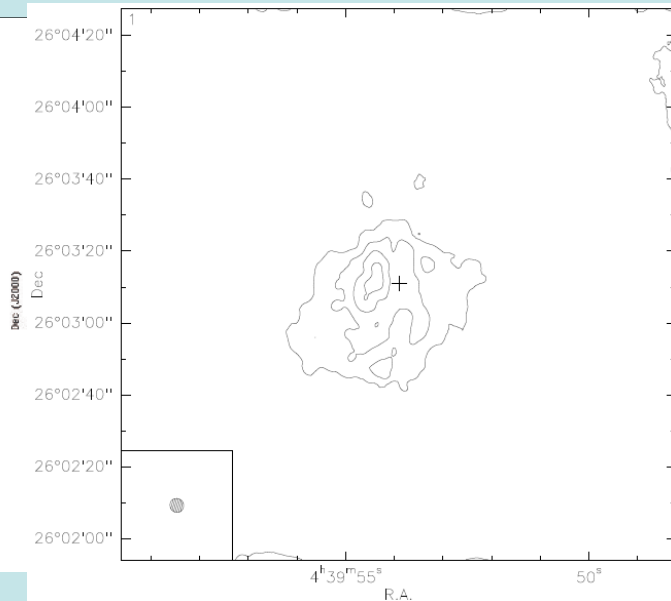
Cazaux et al. 2003; Bottinelli et al. 2005



炭素鎖分子が異常に豊富な低質量原始星 L1527の発見

Sakai et al. 2008; Sakai et al. 2009

多種多様な炭素鎖分子の存在



C_5H , C_6H , C_4H_2 , HC_5N , HC_7N , HC_9N , C_4H^+ etc.

Warm Carbon-Chain Chemistry (WCCC)

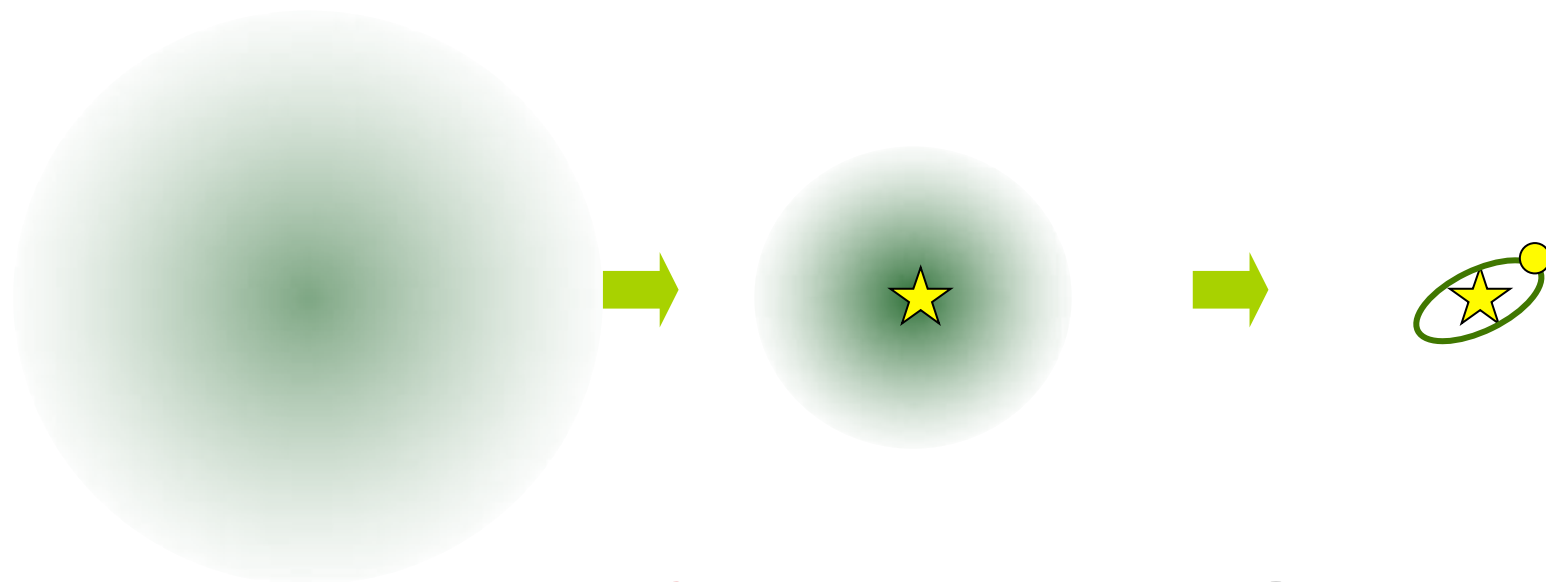


冷たい暗黒星雲での
炭素鎖分子生成と異なる

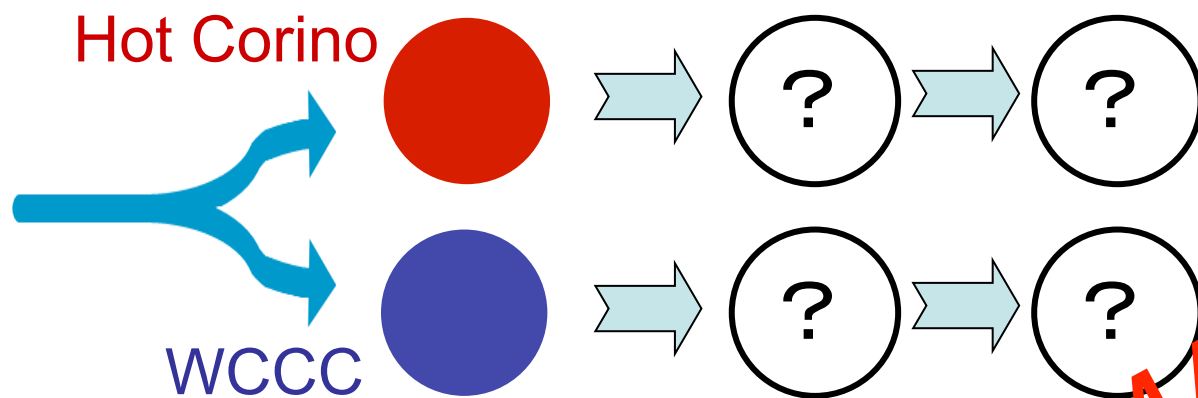
星間塵からの CH_4 の蒸発による炭素鎖分子の爆発的生成



星形成から惑星系形成に至る物質進化



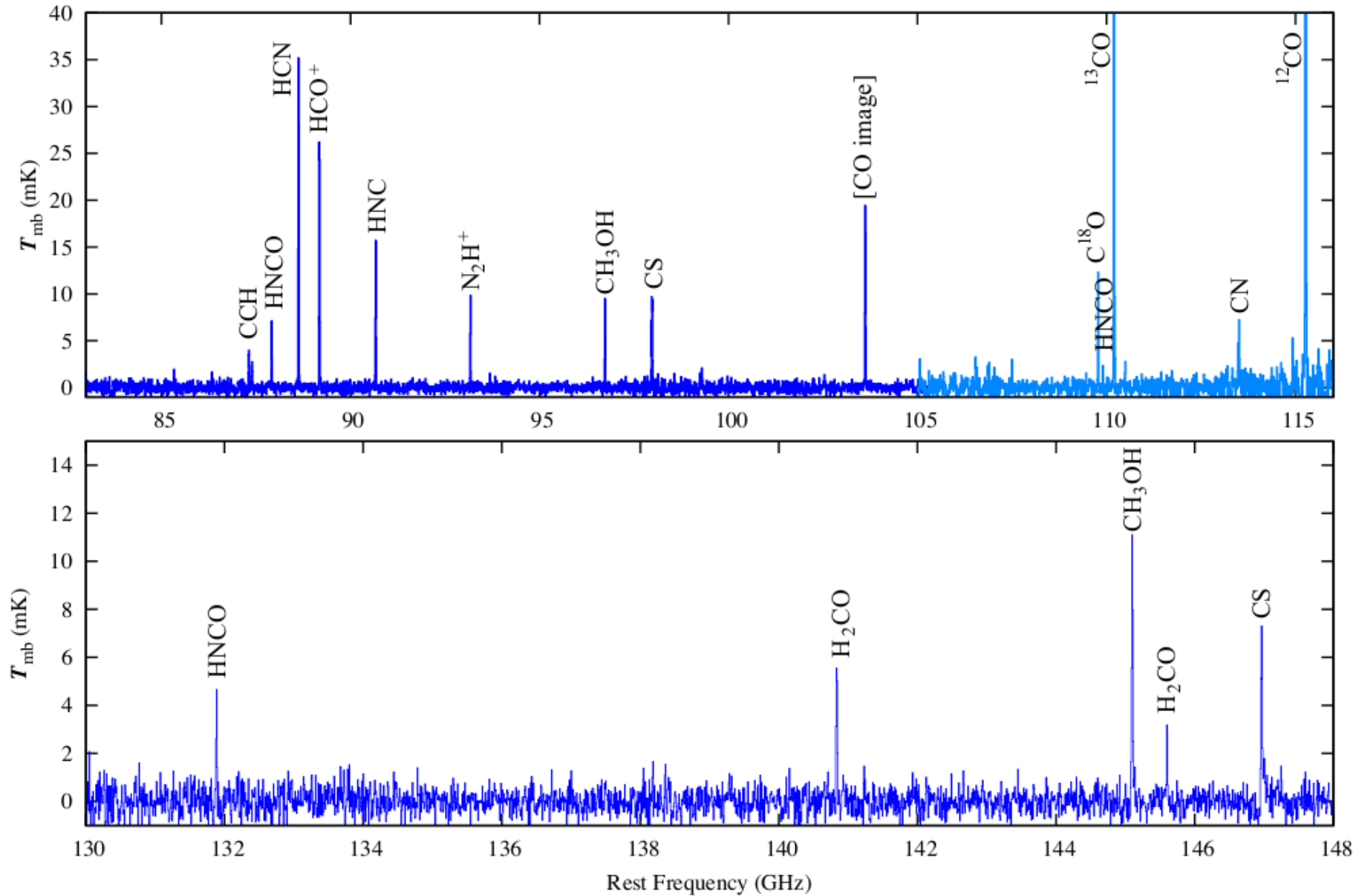
星形成過程
の違い



化学組成の多様性

ALMA

銀河のスペクトル線観測

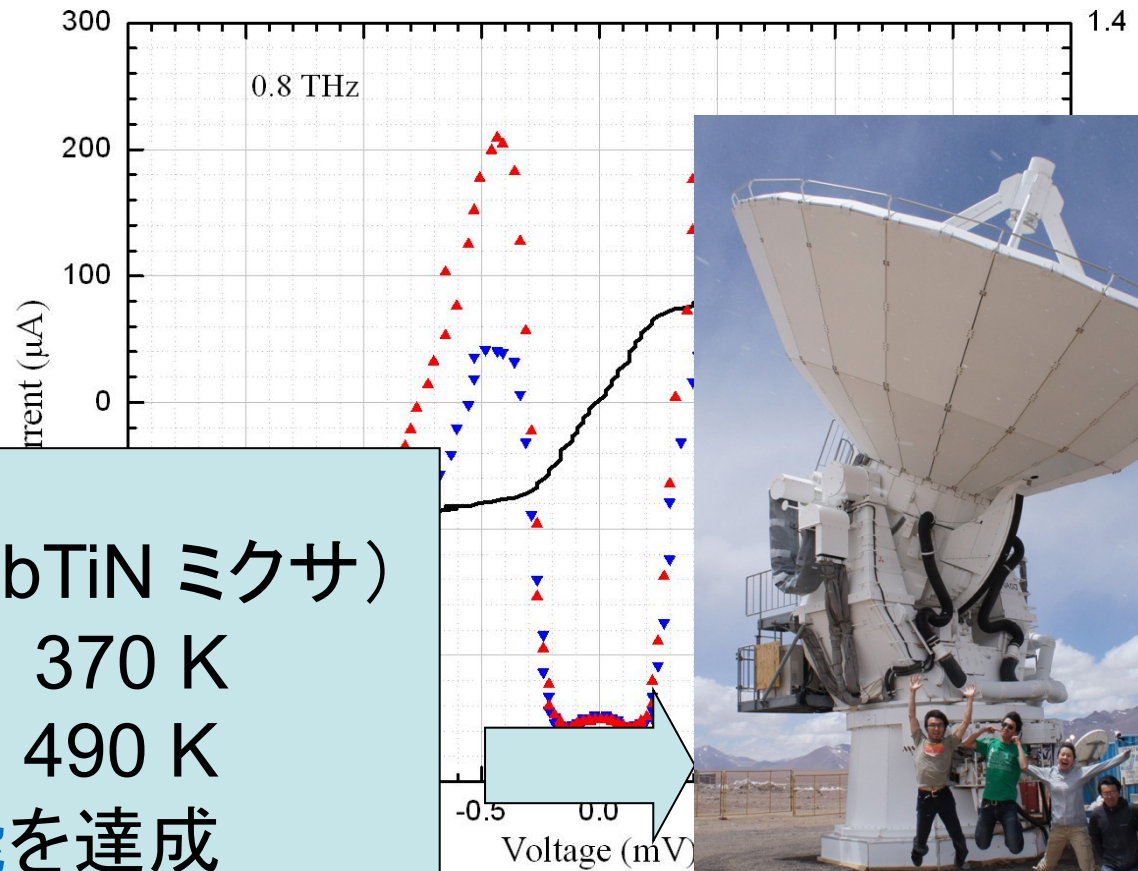
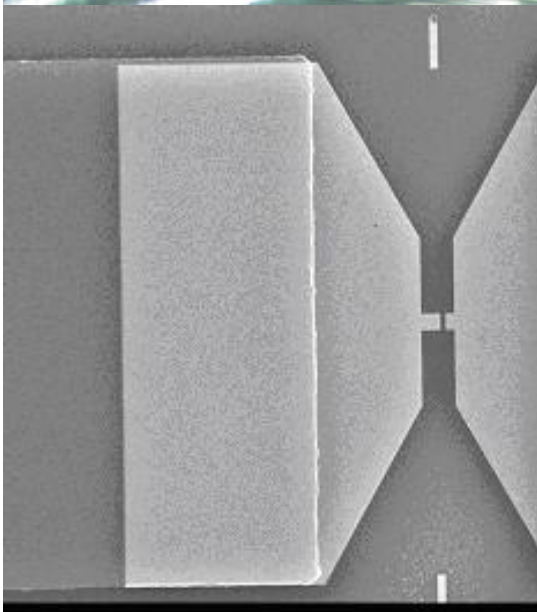


ALMAの次..

ALMA 85 – 900 GHz
テラヘルツ帯 (遠赤外線) の観測へ
(1000 – 3000 GHz; 1 – 3 THz)



テラヘルツ帯 Hot Electron Bolometer (HEB)ミクサの開発



受信機雑音温度 (NbTiN ミクサ)

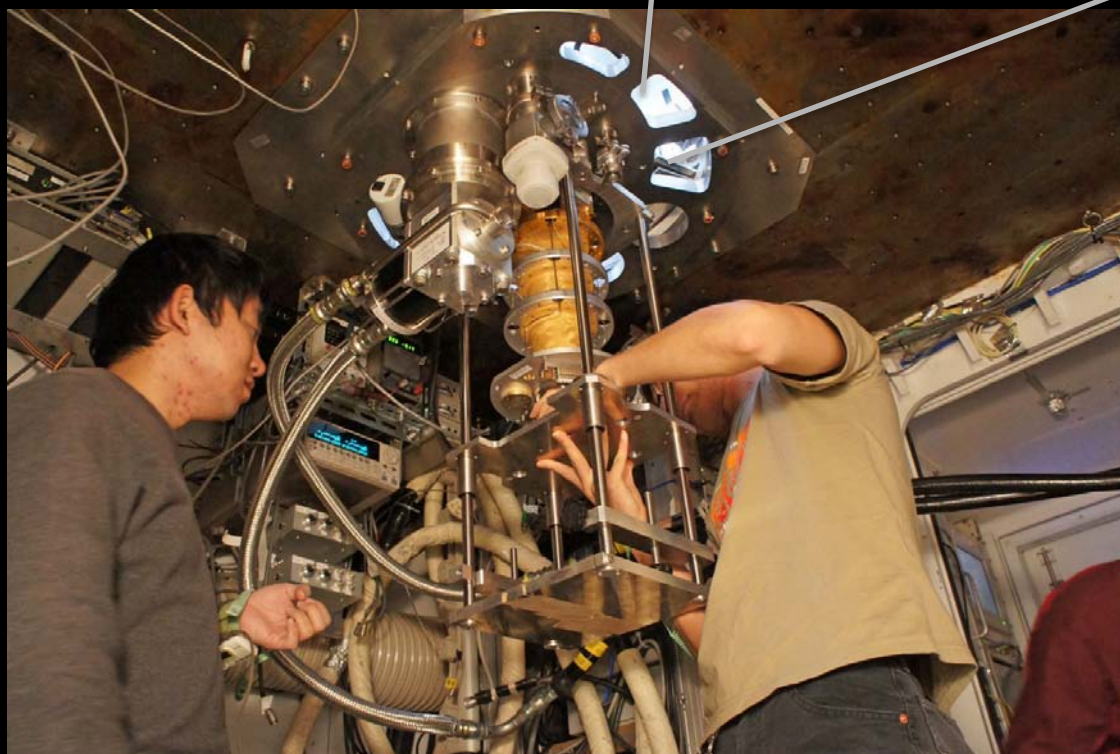
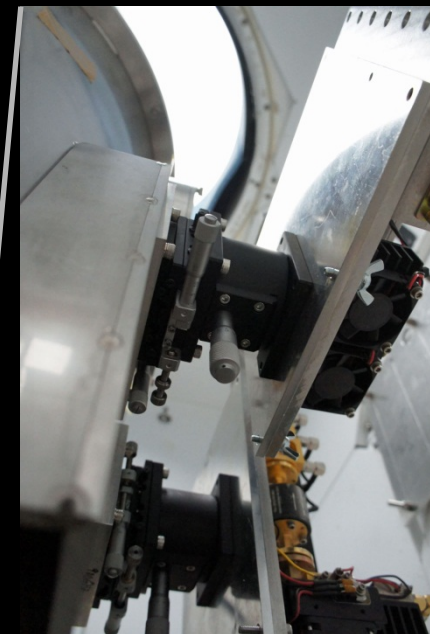
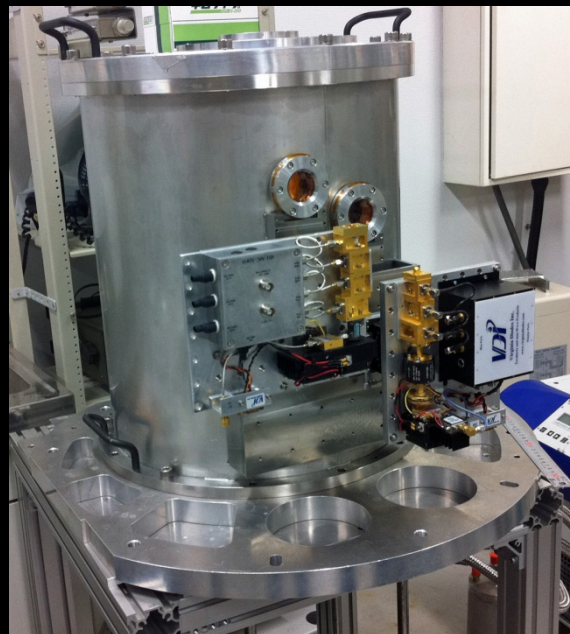
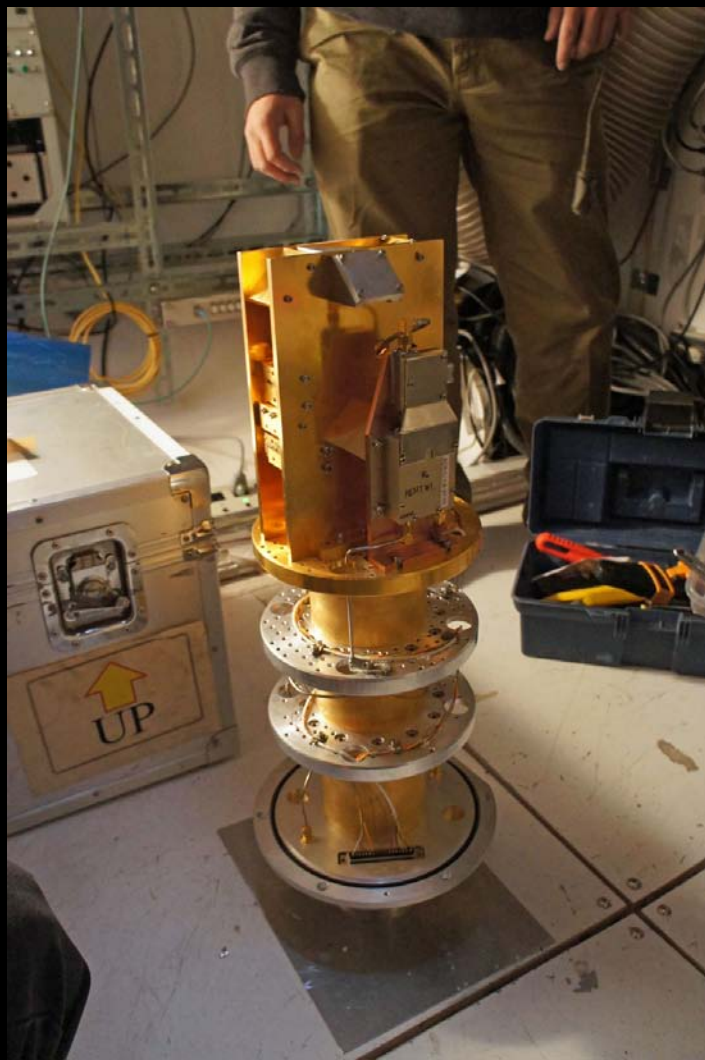
800 GHz 370 K

1500 GHz 490 K

世界最高性能を達成



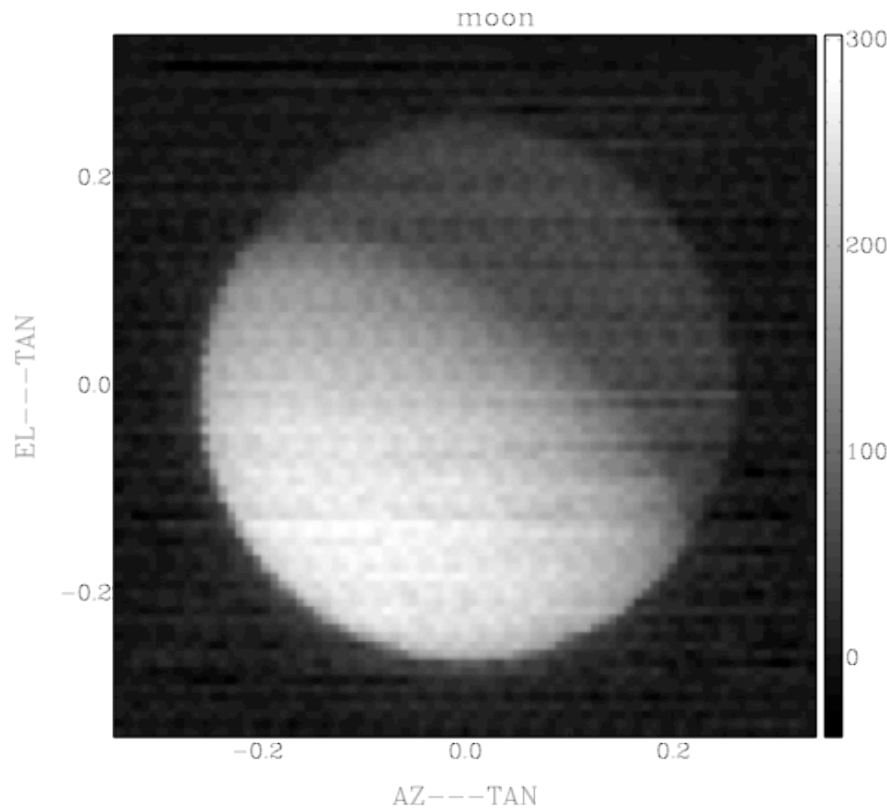
THz 受信機の搭載



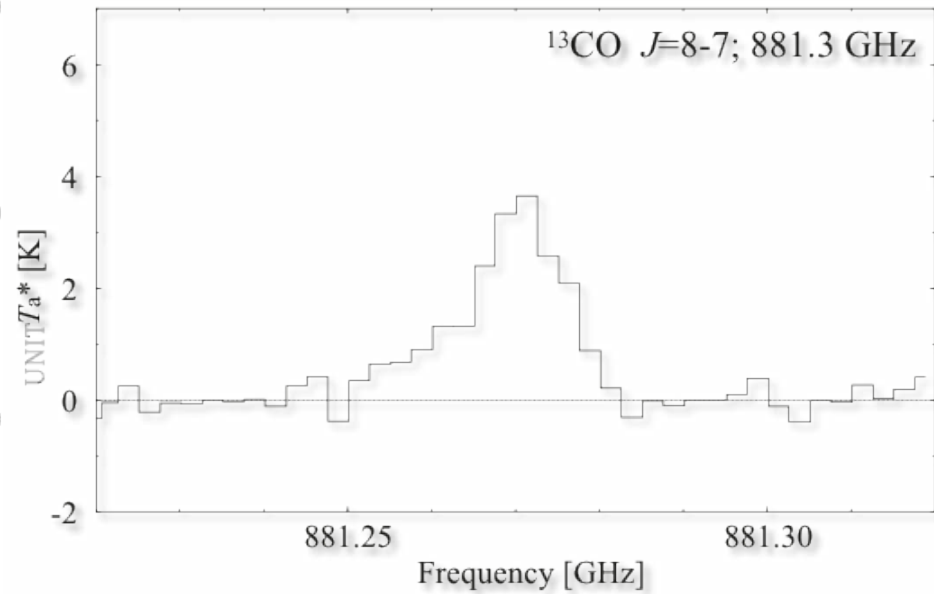
初めての試験観測

10/4 20:45~ 連続波で月が見えた！

快晴 P.W.V.~0.61 mm,
wind~10m/s,
Y factor ~ 0.40 dB



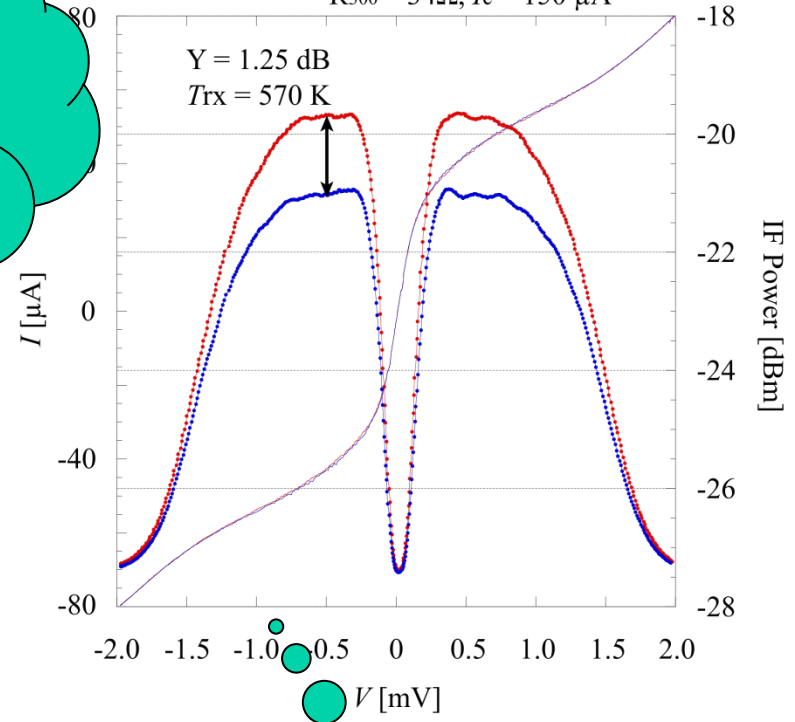
10/6 朝 Orion KLで
 ^{13}CO が見えた！



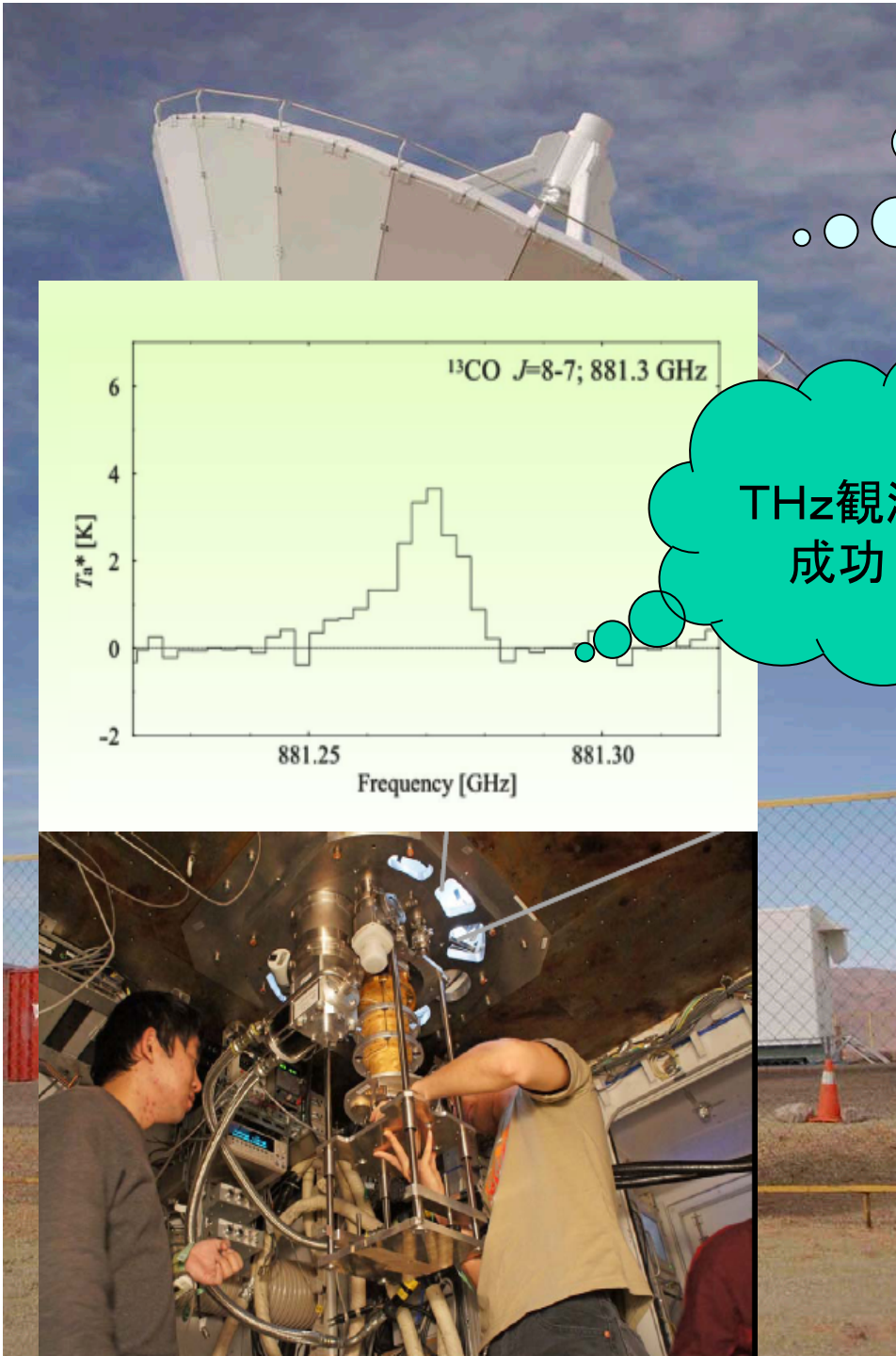
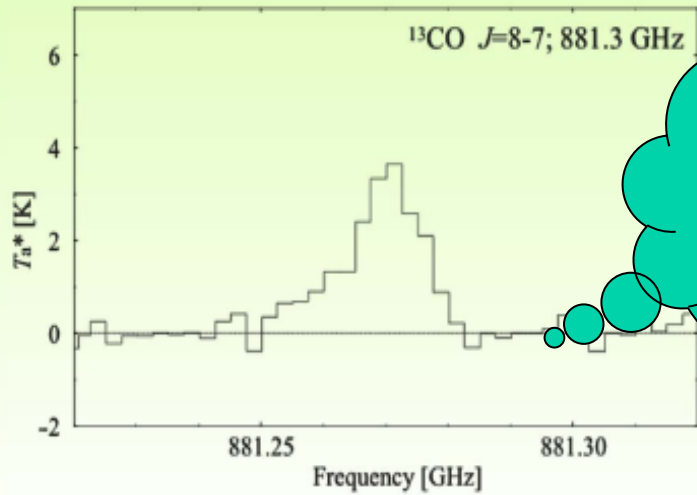
チリ、アタカマ砂漠の
ASTEサイトにて
(標高4800 m)

THz観測の
成功！

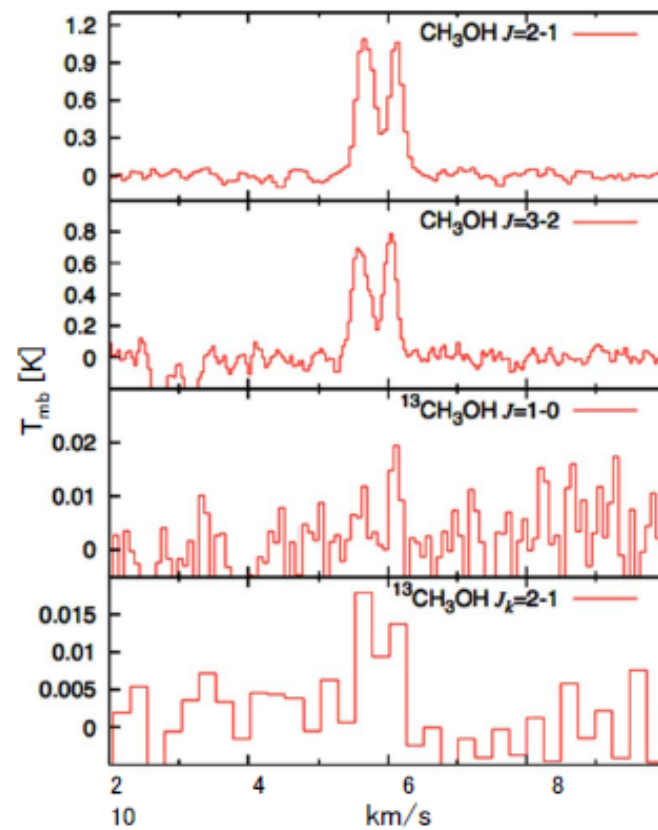
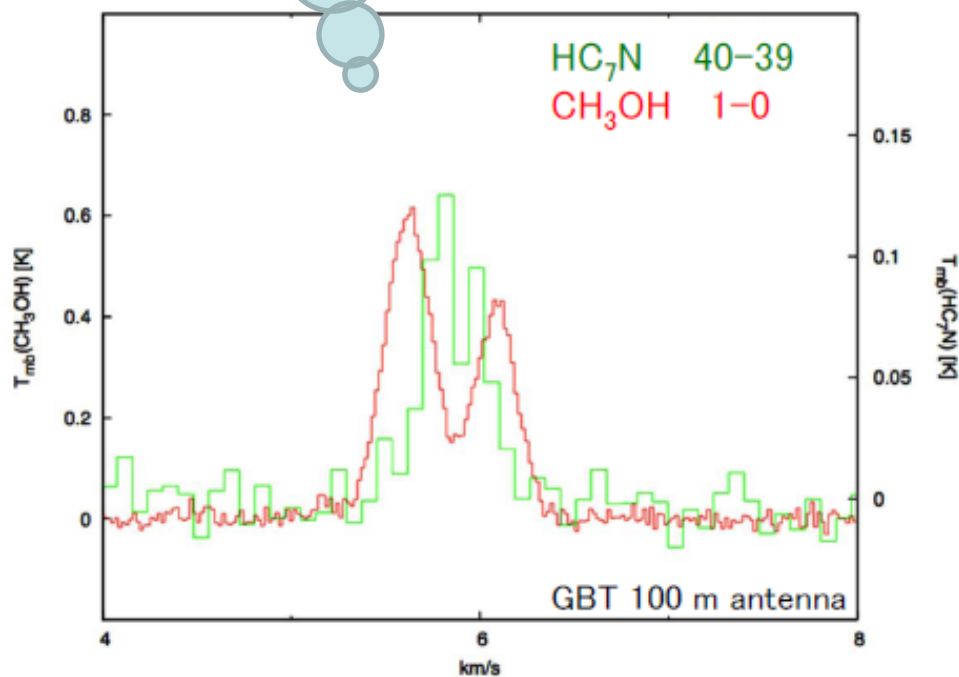
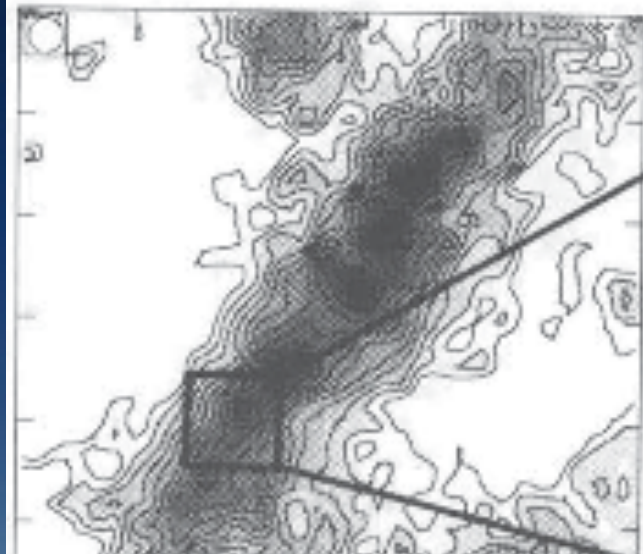
LO 1475 GHz
width 1.5 μ m, length 0.15 μ m
 $R_{300} = 34\Omega$, $I_c = 150\ \mu$ A



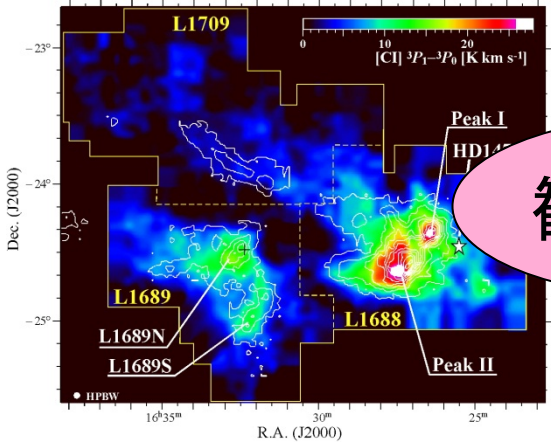
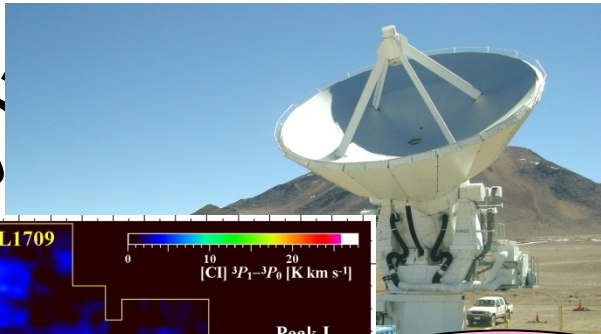
世界一の性能を
達成！



CH₃OHは星
間塵上ででき
ている! ?



観測的研究までのステップ



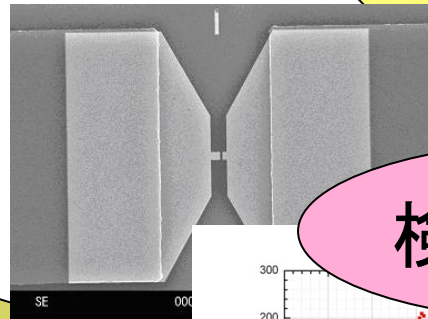
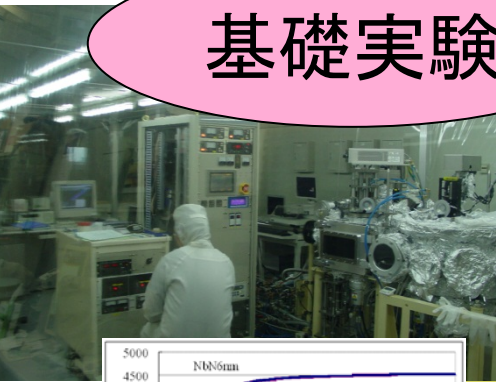
観測研究



望遠鏡開発



基礎実験



検出器開発

