

ALMAによる系外惑星観測 へのお誘い

西合一矢 (国立天文台 ALMA)

1. ALMA計画
2. 系内天体
3. 系外惑星
4. 原始惑星系円盤
5. まとめ



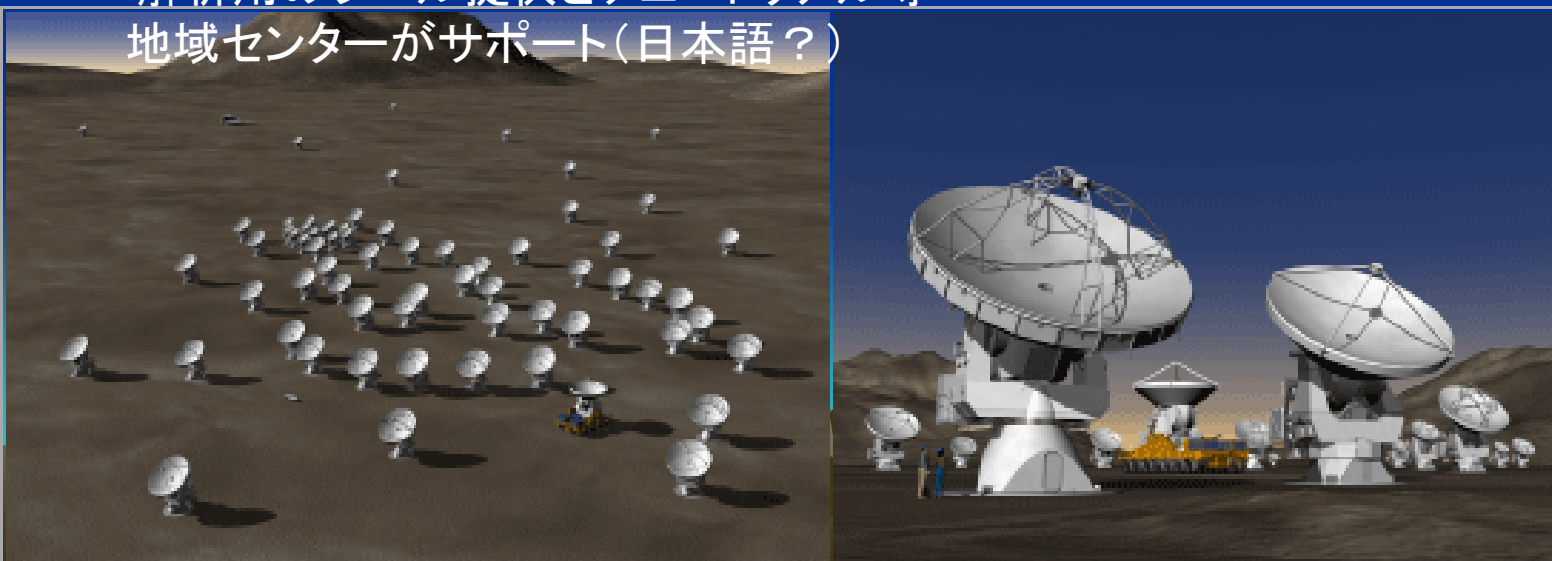
ALMA計画概略

- 日、米、欧の国際共同計画。 地域センター(ARC)が日、米、欧に設置。
- 60機を超える12m/7mサブミリアンテナがチリのアタカマ高地(5000m)に建設。
現在、山麓基地にて数機のアンテナをテスト中
- 2010年末に初期サイエンスのプロポーザル受付開始 (観測は2011年春より)
事前準備(科学準備、組織作り、根回しなど)をしないと食い込めない恐れあり。
研究会開催などALMA ARCがサポートします(資金等)。その際にご連絡を！

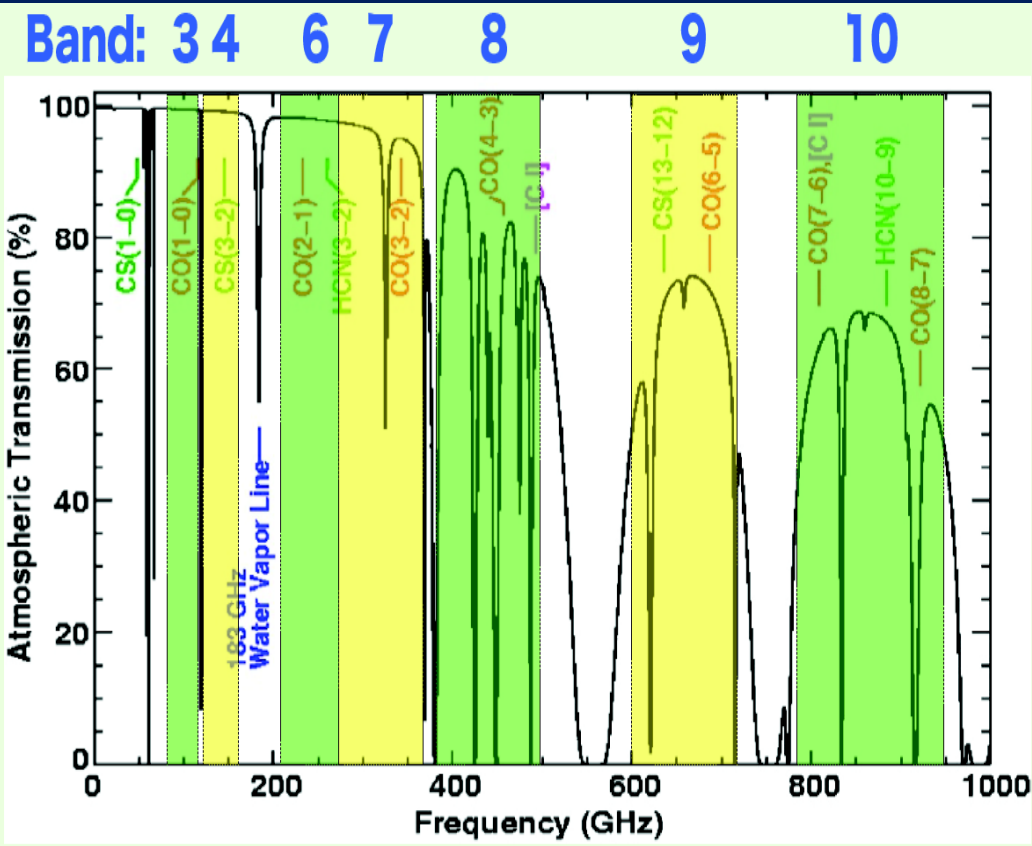
saigo.kazuya *at* nao.ac.jp

- 2012年 full operation
- 観測者へデータ送付後、12ヶ月でデータの一般公開。
- 初心者でも安心観測。
リダクション後の画像やプロフィールなどを観測者に提供
解析用のツール提供とチュートリアル等

地域センターがサポート(日本語?)



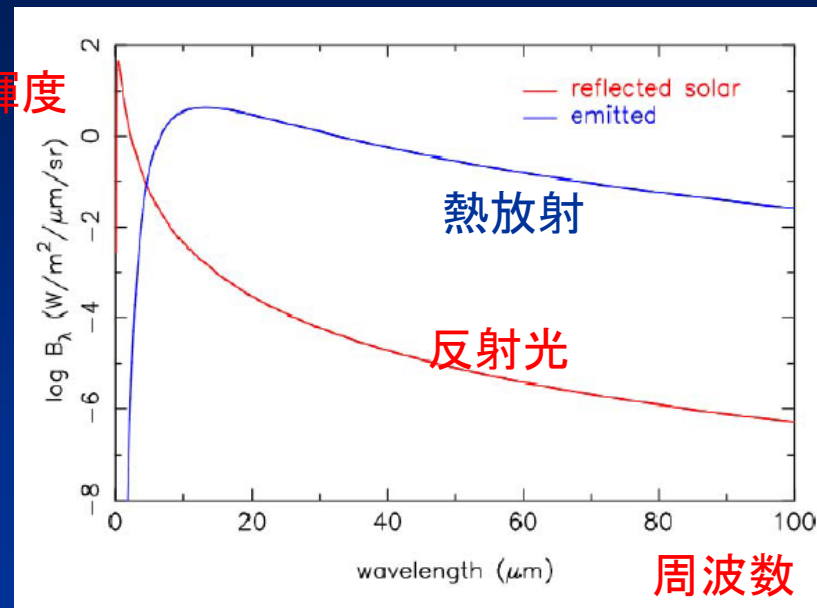
ALMAの観測性能



- サブミリ波帯 [80GHz~950GHz]
- 連続波、輝線、偏光 (同時観測可)
- 大集光力+高感度
[単一鏡換算でR=85m]
[3分の積分で0.1mJy@345GHz]
- 高空間分解能 [~0.01"]]
- 高分散 [最高0.01km/s@230GHz]
- 広帯域 [~16GHz]

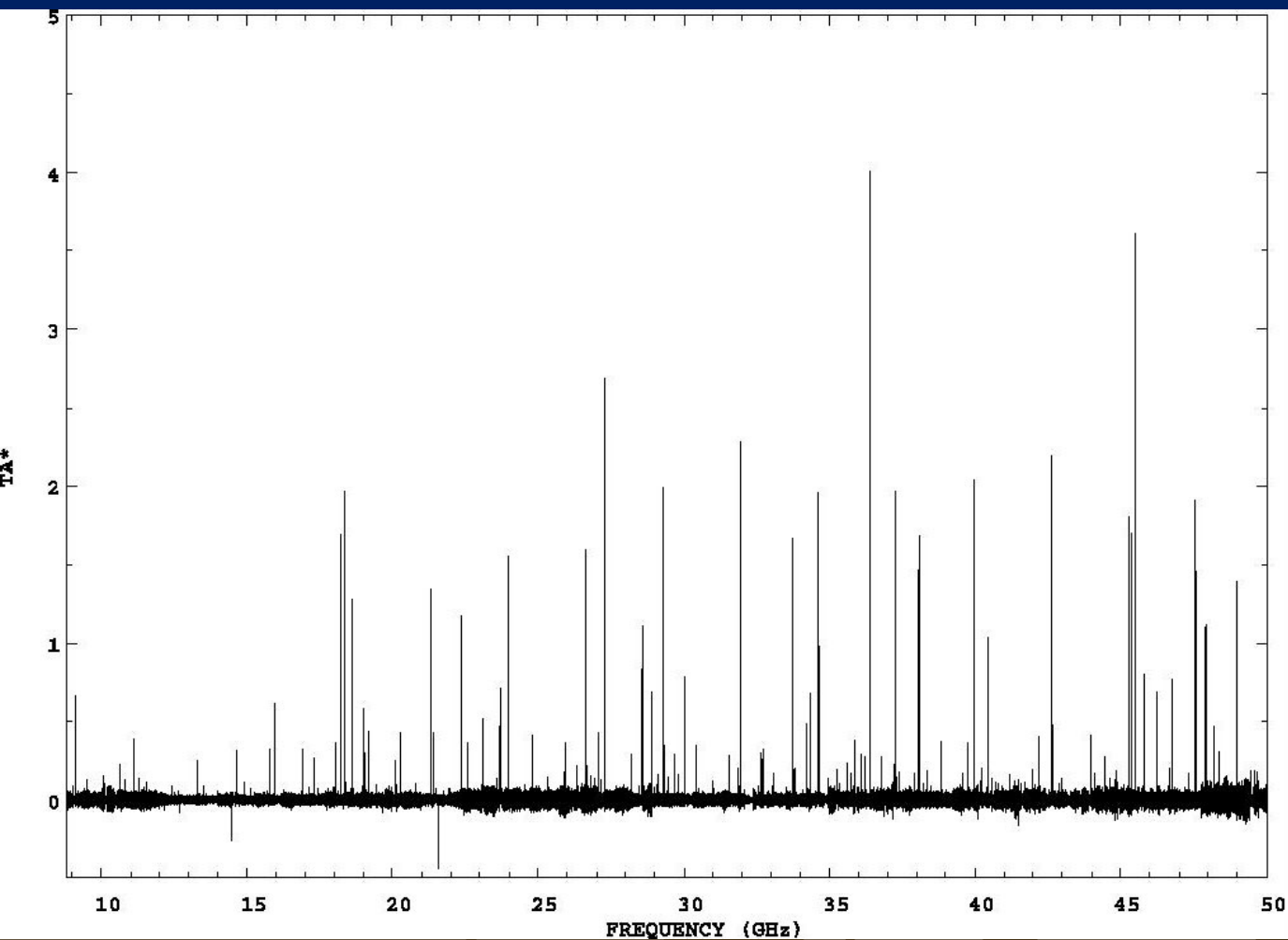
サブミリ波電波観測

- 連続波放射の低温度成分
ALMA観測周波数帯では、ほとんど熱放射
($\nu > 30\text{GHz}$, $\lambda < 10\mu\text{m}$)
- ガス運動(線幅、大気循環風)
ALMAでは最高0.01km/sの速度分解能
- 分子化学組成の解明
各分子種の回転・変形遷移、振動遷移
1000輝線以上の同時観測
- アstrometry? ($\sim 0.01''$ full operationではより高分解能可?)
- 偏光観測



太陽系TNOでの反射と放射の比較

おうし座分子雲に存在する有機物 line survey 野辺山45m宇宙電波望遠鏡による物質探査結果(Kaifu et al. 2004)

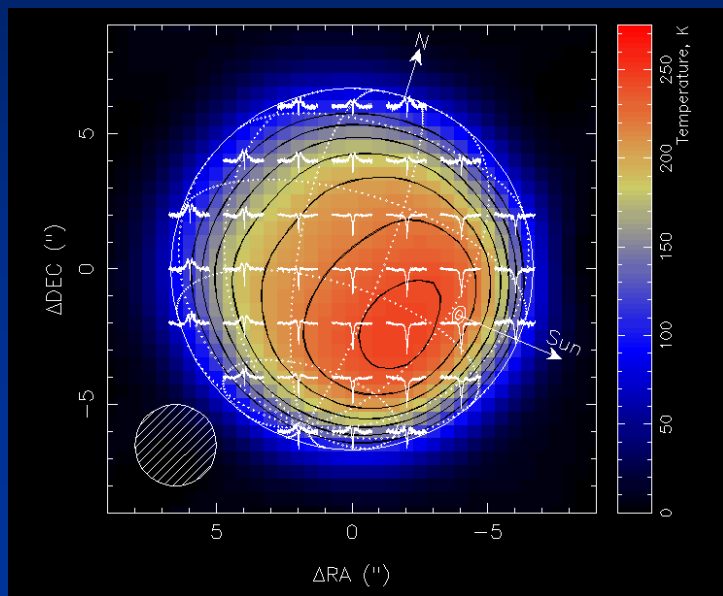


Species	(1)	(2)	(3)	Species	(1)	(2)	(3)
CS	4	3	3	HC ₅ N	46	6	30
HCS ⁺	1	0	0	HC ₇ N	34	0	0
SO	2	1	1	HC ₉ N	16	0	0
OCS	1	0	0	H ₂ C ₃	4	0	0
NH ₃	6	0	0	H ₂ C ₄	12	0	0
HNCO	5	0	0	H ₂ CO	1	0	0
<i>l</i> -C ₃ H	6	0	0	H ₂ CCO	3	0	0
C ₄ H	27	0	0	H ₂ CS	2	1	1
C ₅ H	16	0	0	CH ₂ CN	38	0	0
C ₆ H	42	0	0	CH ₃ CN	5	0	0
C ₃ N	12	0	0	CH ₃ C ₃ N	8	0	0
CCO	1	0	0	CH ₃ CCH	3	0	0
C ₃ O	2	0	0	CH ₃ C ₄ H	8	0	0
CCS	11	1	3	CH ₃ OH	1	0	0
C ₃ S	8	1	1	CH ₃ CHO	2	0	0
HC ₃ N	47	5	27	HCCCHO	1	0	0
HCCNC	5	0	0	CH ₂ CHCN	12	0	0
HNCCC	4	0	0	<i>c</i> -C ₃ H	6	0	0
HC ₃ NH ⁺	2	0	0	<i>c</i> -C ₃ H ₂	10	2	6
Total				38 molecules	414	20	72
				unidentified	1		

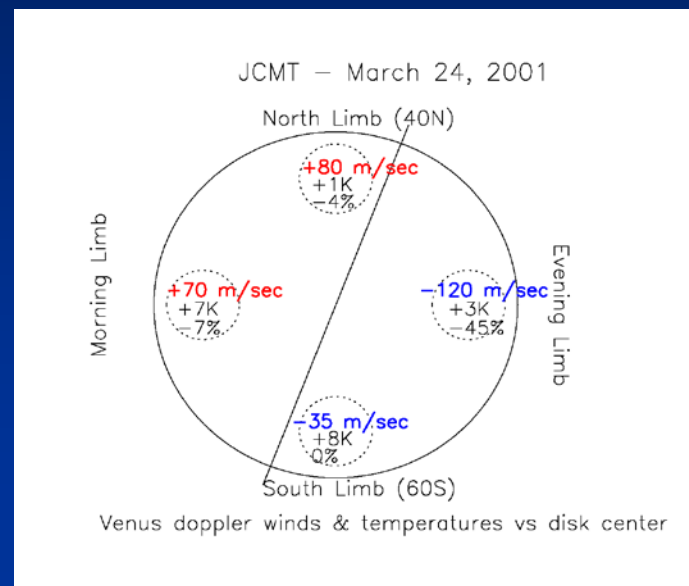
Note: (1) total number of detected lines of each species, (2) number of detected rarer isotopomers, and (3) total number of detected lines from rarer isotopomers.

ALMAによる系内天体の観測1

電波による系内惑星観測の例(火星のCO2-1と速度)



SMA Mars CO 2-1 Map



JCMT Venus Wind Measurement

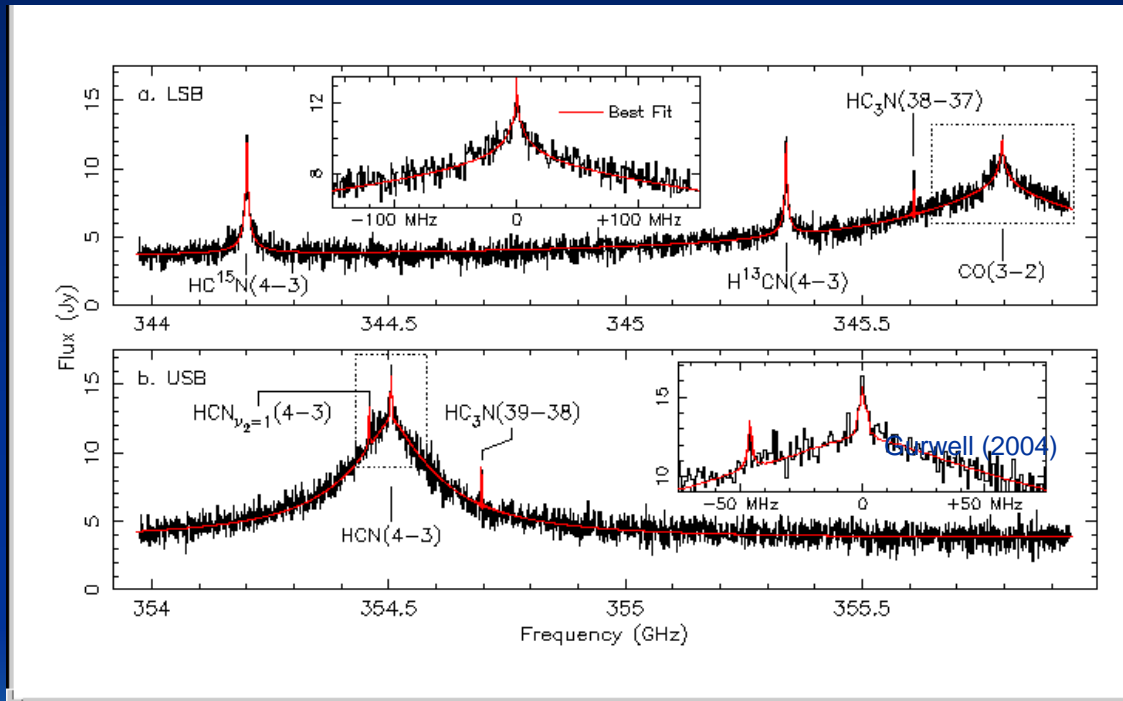
ALMAなら同様の観測を100 km以下のスケールで行える。

※ HSTとほぼ同じ分解能。

※ Charonを20秒積分で検知できる能力(@345GHz)。

ALMAによる系内天体の観測2

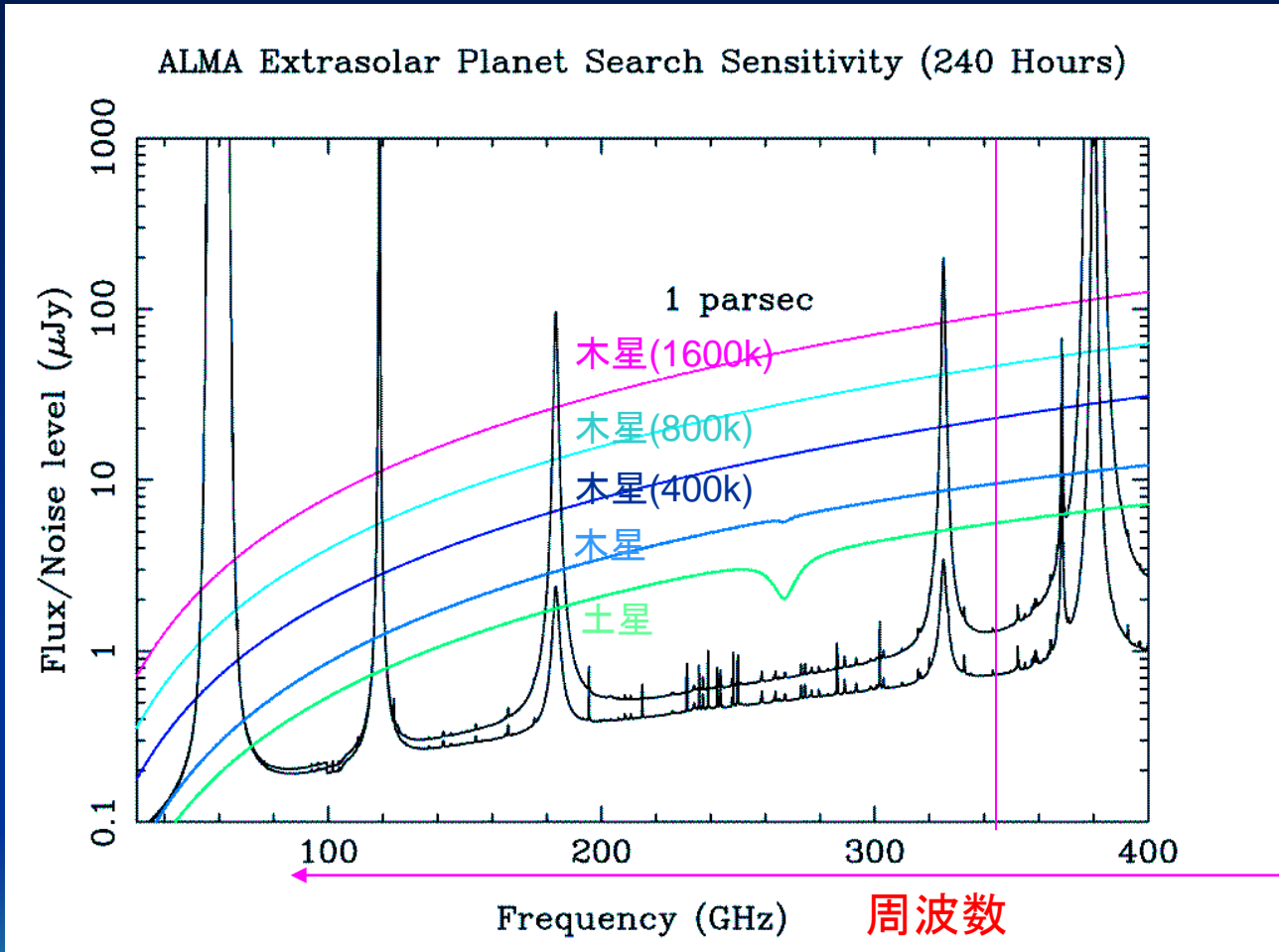
Titanでも衛星上の風の流れ、3D構造、数100kmスケールの化学組成分布がわかる



SMA 850 micron観測(空間分解はしていない)

表面の温度分布、有機分子種の輝線？ 高層大気での化学反応？

系外の木星型惑星の電波観測



Mark Gurwell ALMA Science Workshop, May 2004より

黒の実線がALMAで240時間積分したときの観測限界感度
カラーの線が各表面温度のときの木星の輝度(距離1pcを仮定)

系外惑星のサブミリ波での観測可能性

$$F_{345} = 6 \times 10^{-2} T \frac{R_J^2}{D_{pc}^2} [\mu Jy] \quad @ 345 \text{ GHz} \quad \text{熱放射}$$

Distance (pc)	Jupiter	Gl229B	Proto-Jupiter
1	12	130	59000
5.7	.36	4.1	1820
10	.12	1.3	590
120	.0008	.009	4.1

Super Earth(2R_E)

0.72

0.021

0.0072

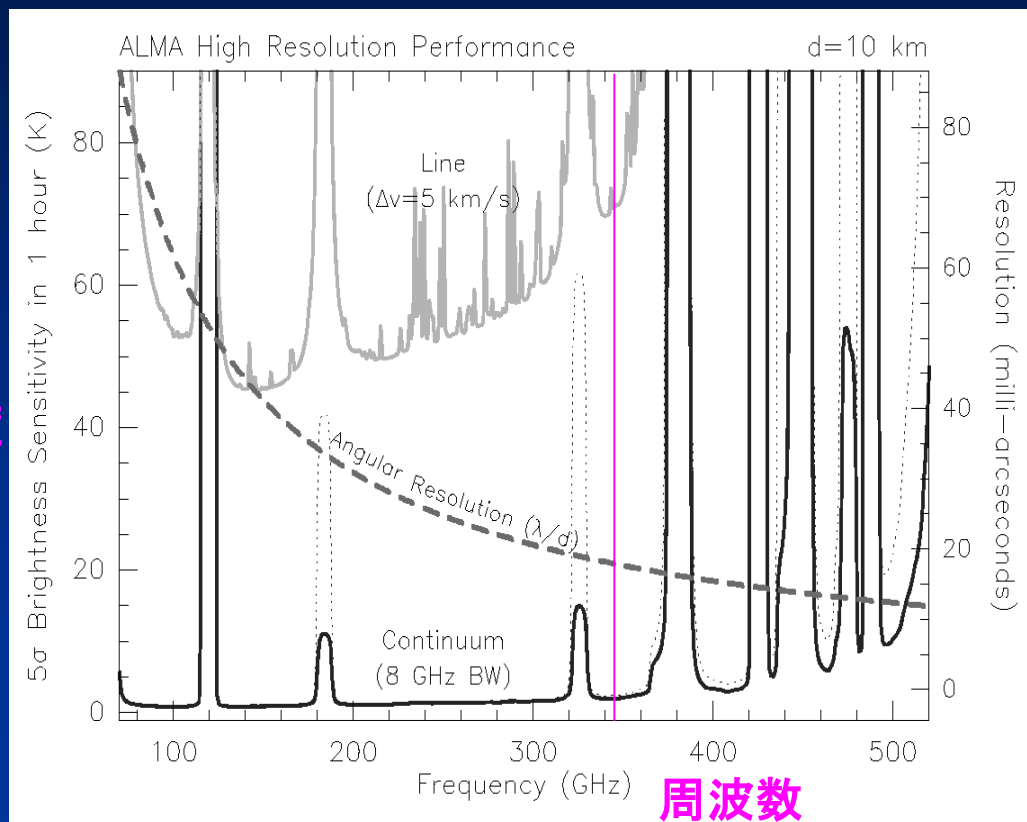
0.00005

Butler, Wooten, & Brown 2003

5hr積分で約11 μ Jyの感度@345GHz

Proto-Jupiterなら十分に観測可能

分解能と波長の関係



Mark Gurwell およびKarl MentenのALMA Science Workshop, May 2004の発表より

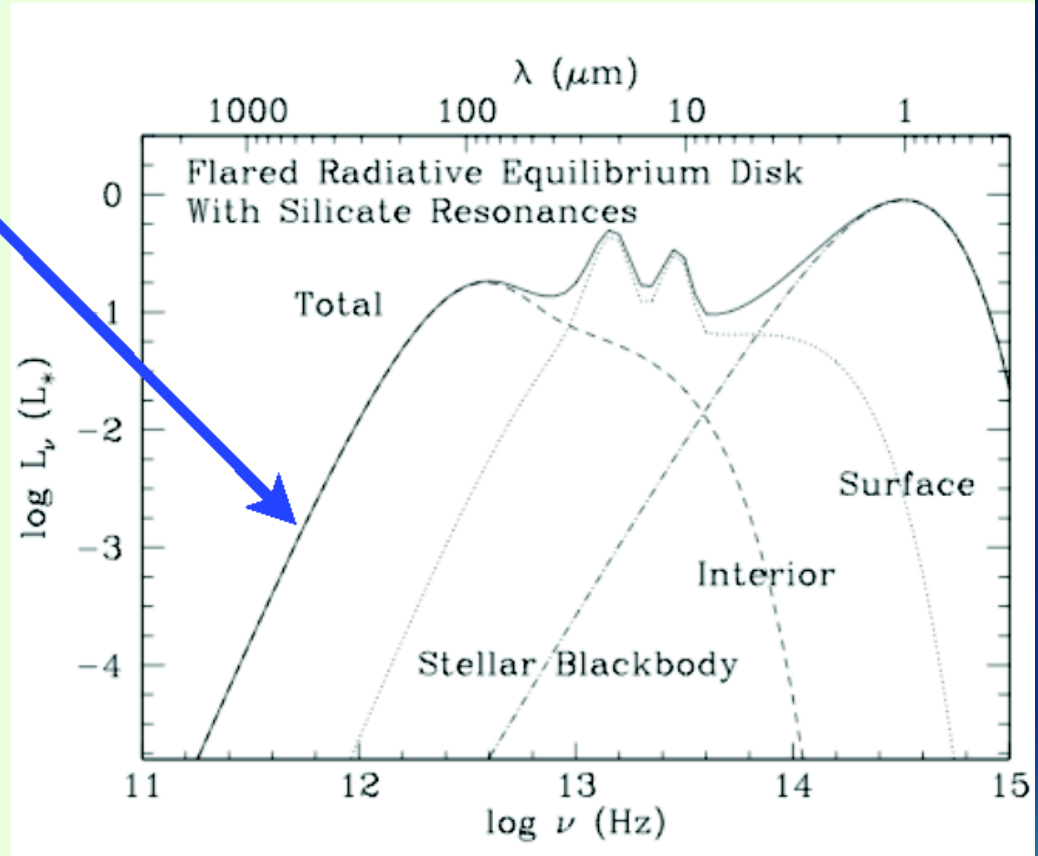
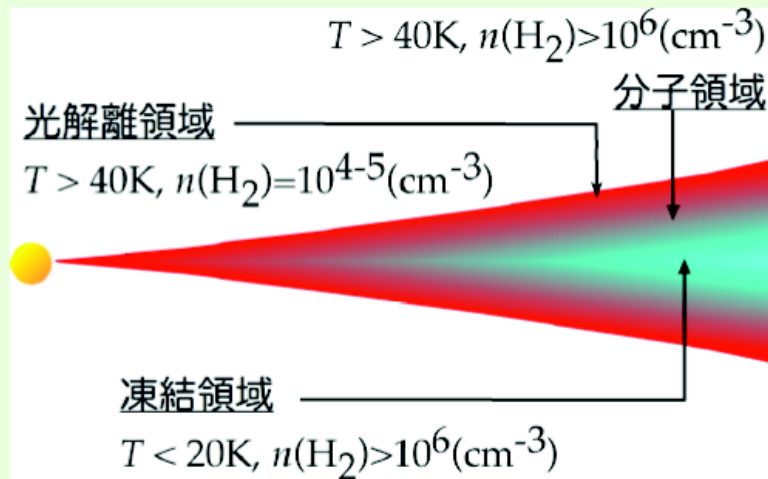
高周波になるほど、分解能は良くなるが観測感度は悪くなる。

細かく速度分解するほど、感度は悪くなる。

⇒ 系外の地球型惑星は低周波数の連続波でのみ観測可能(?),
木星型は何とか速度分解可能

形成途中の惑星へのアプローチ

Almost all the Submm - mm Continuum will come from interior part because of its lower opacity ...
→ “I-D” approx. is OK



Chiang & Goldreich (1997)
see also Dullemond et al. (2001)

まとめ

- ALMAは来年にサイエンスプロポーザル受付開始。数年後にfull operation。事前準備のための研究会などをALMA ARCがサポート(資金、会場)します。
- ALMAを用いての系内天体大気では100kmスケールの大気構造が分解観測され、種々の分子種がみえる。
- ALMAを用いての系外惑星観測は、
近傍の星形成領域(~120pc)でも proto-Jupiterなら検出可
近傍(5pc)程度なら系外の木星型ガス惑星も検出可
1pc程度なら、Super-Earthもものすごくがんばれば検出可？
- **形成途中の惑星の観測の劇的進展**も期待される。
物質状態の分布(温度、密度、氷・有機分子などの分布)
形成途中の惑星と円盤の相互作用(ギャップ?)