

平成29年 3月3日

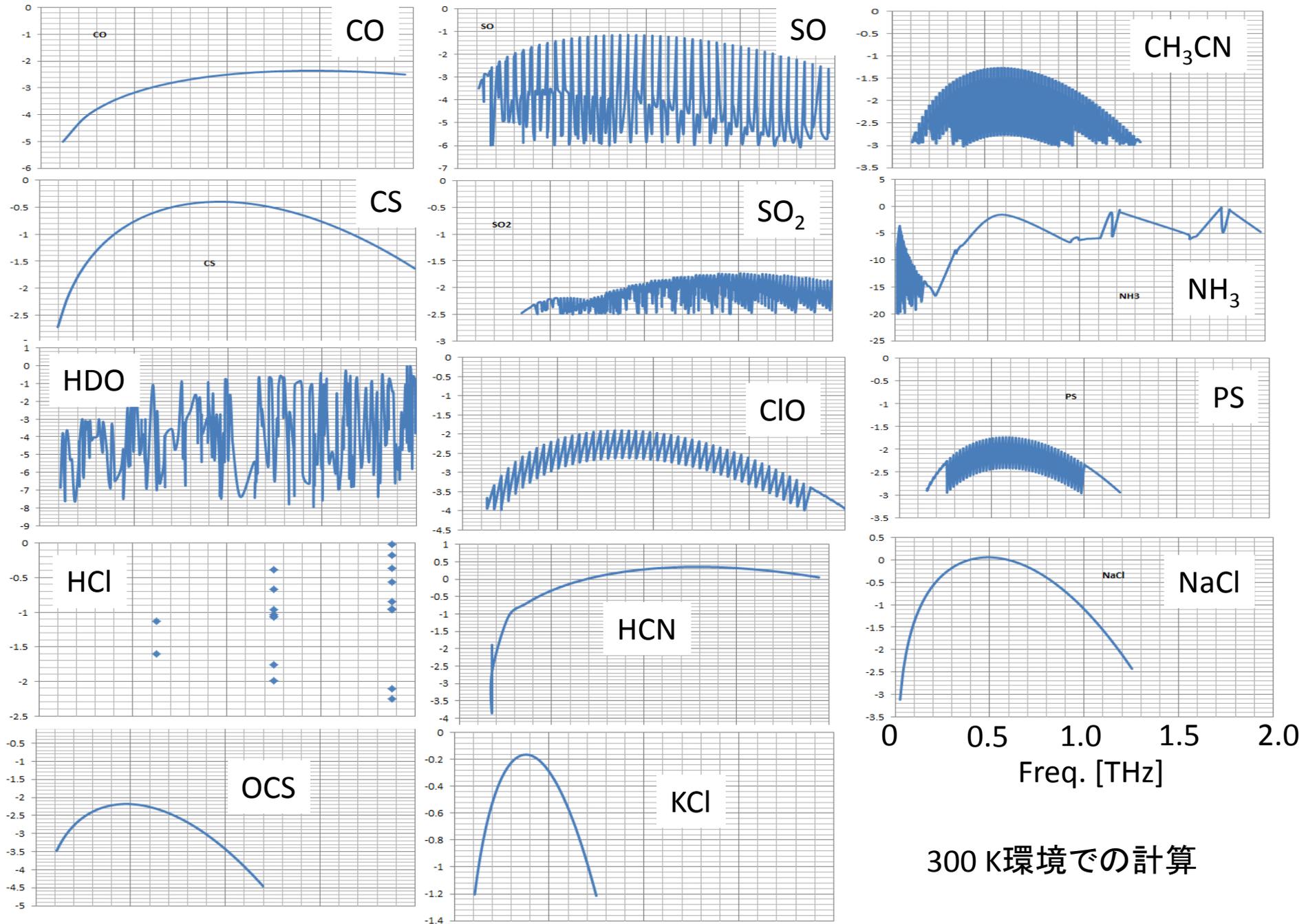
南極30m級テラヘルツ望遠鏡によるサイエンス
極地研(立川市)

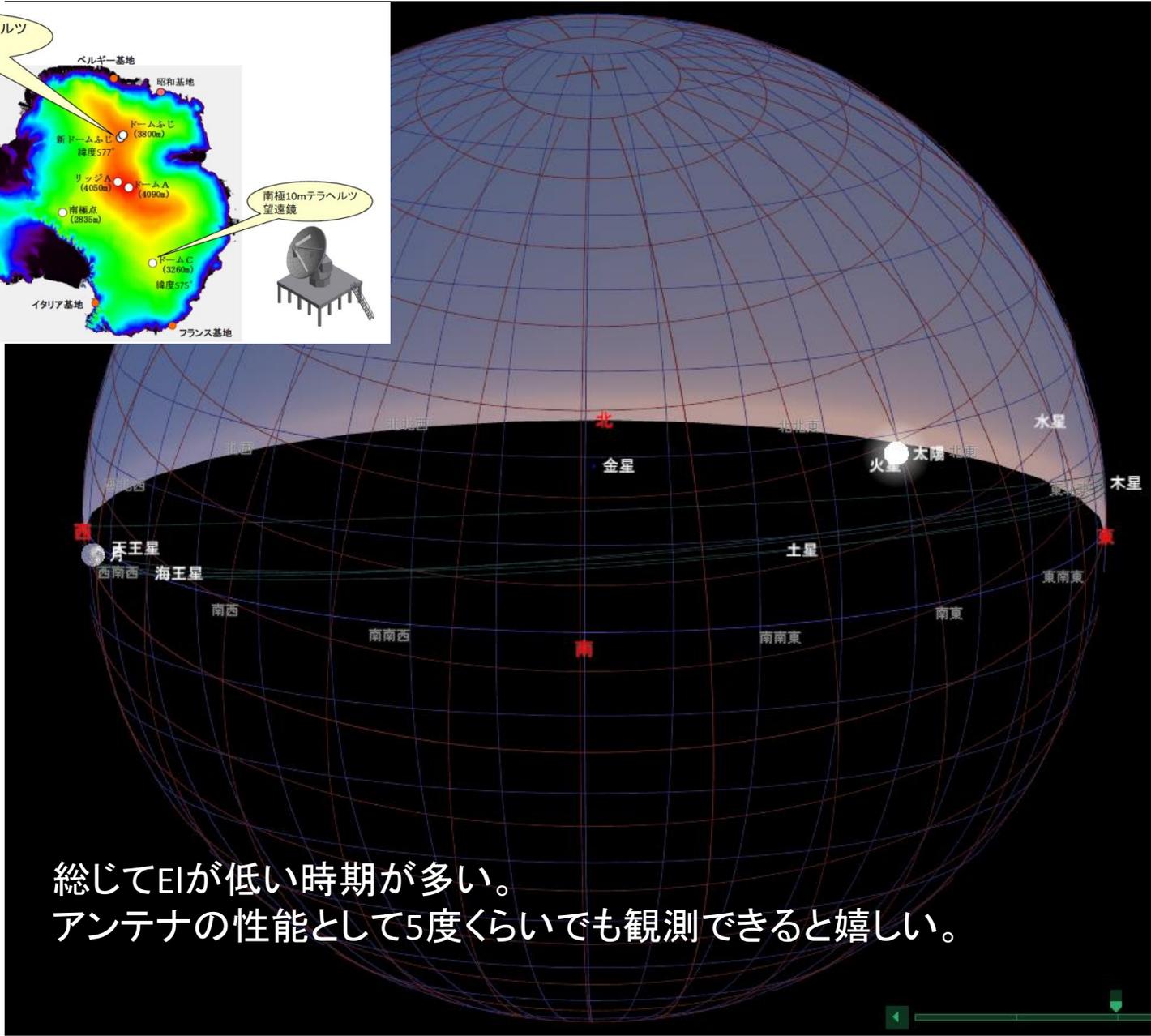
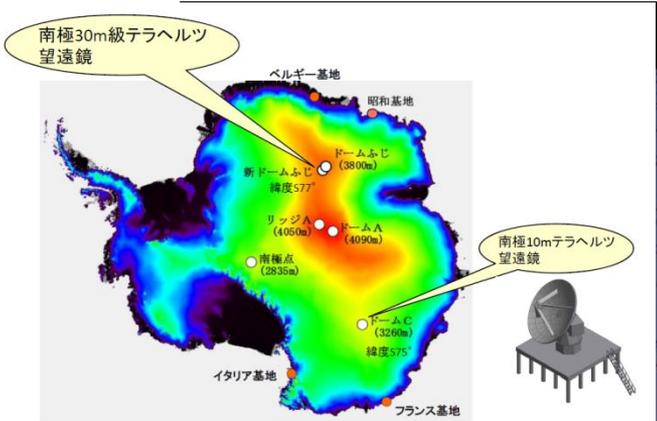
南極THz望遠鏡を用いた太陽系惑星観測の可能性

前澤裕之

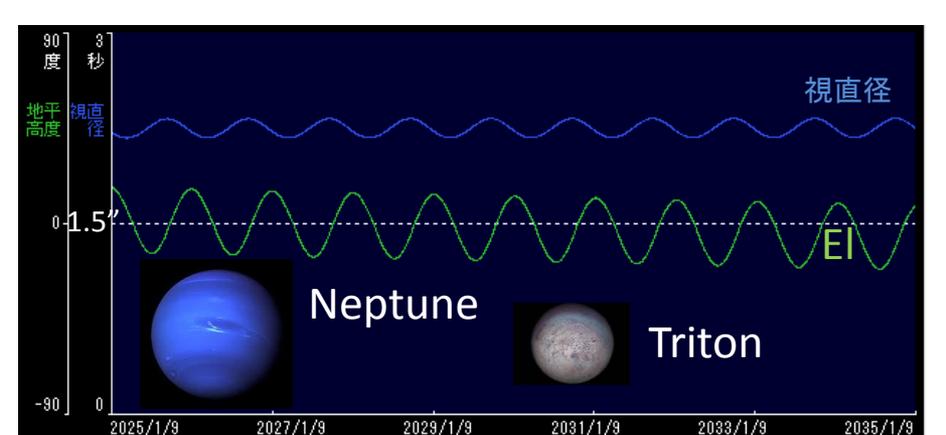
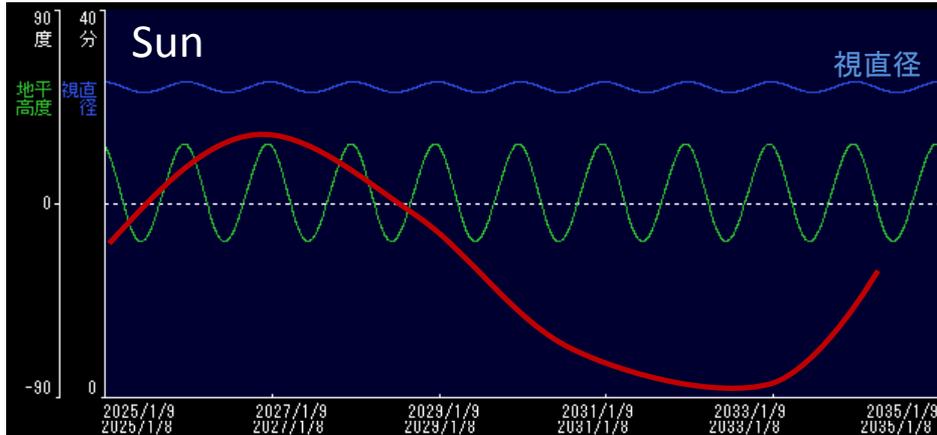
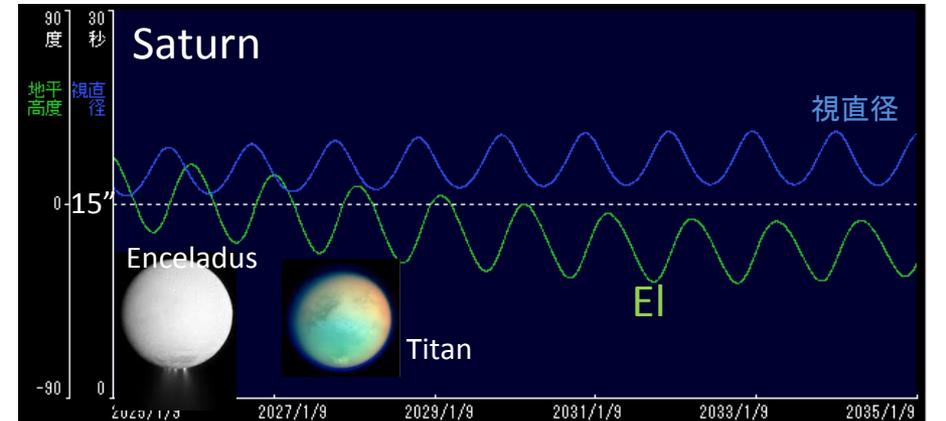
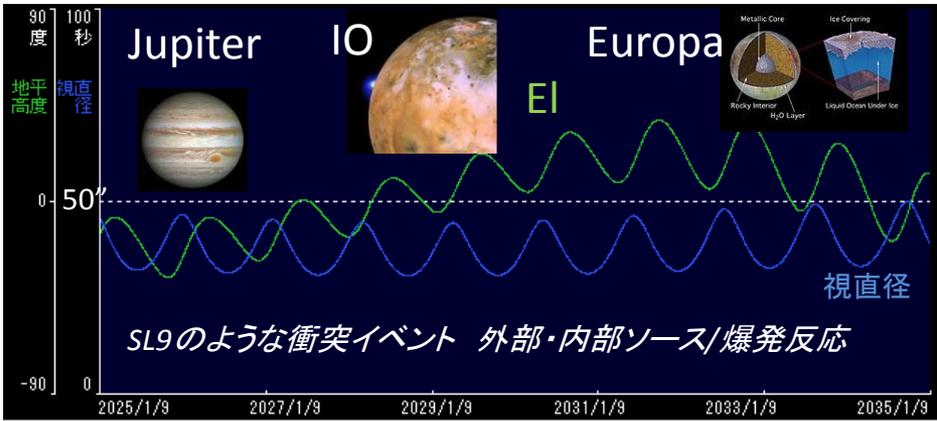
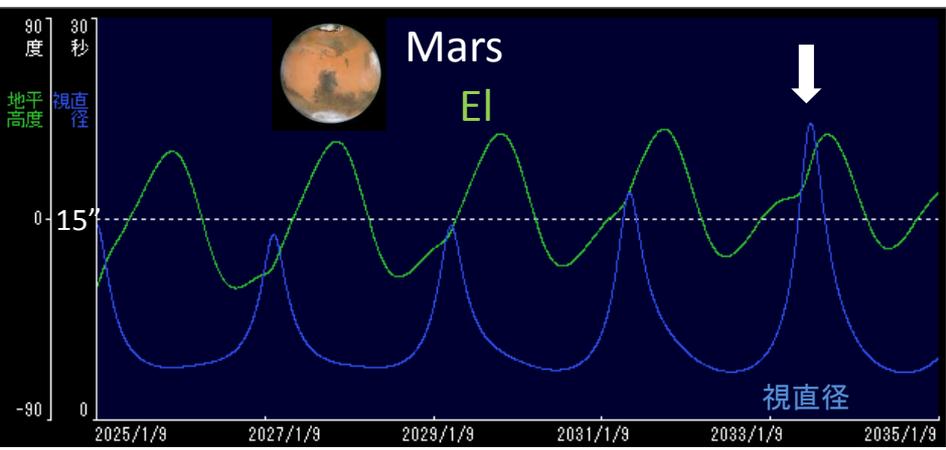
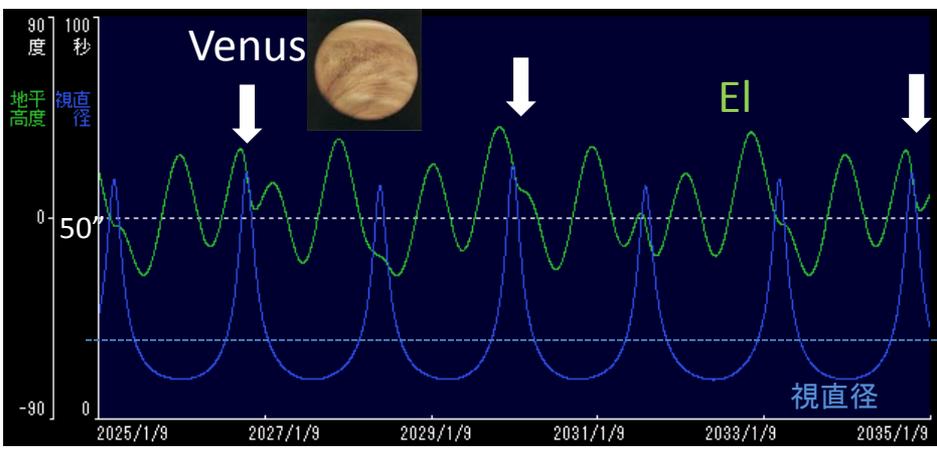
大阪府立大学大学院理学系研究科

サブミリ波-THz波ヘテロダイン分光は、惑星観測の強力なツール





総じてEIが低い時期が多い。
アンテナの性能として5度くらいでも観測できると嬉しい。



中心星の活動が惑星大気環境に与える影響

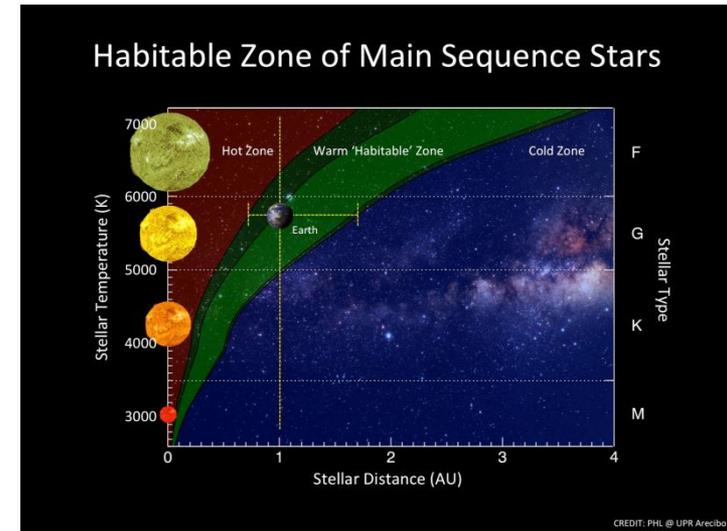
1) M-G型星は、初期は活動が活発

Flare/CMEが惑星大気環境やhabitabilityに与える影響は？

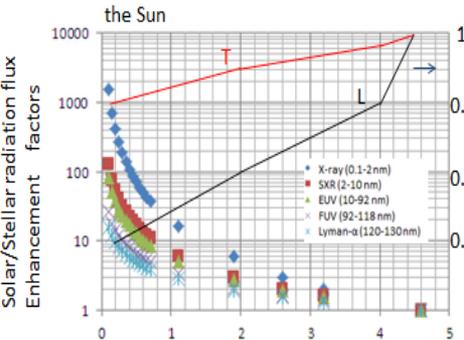
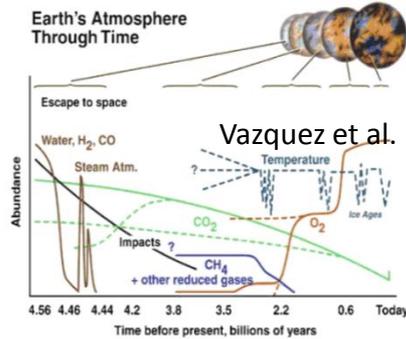
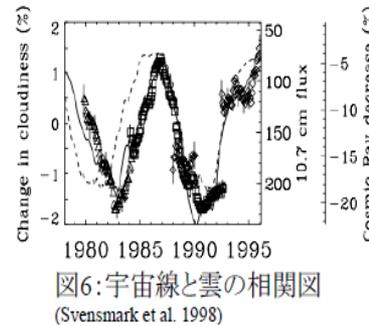
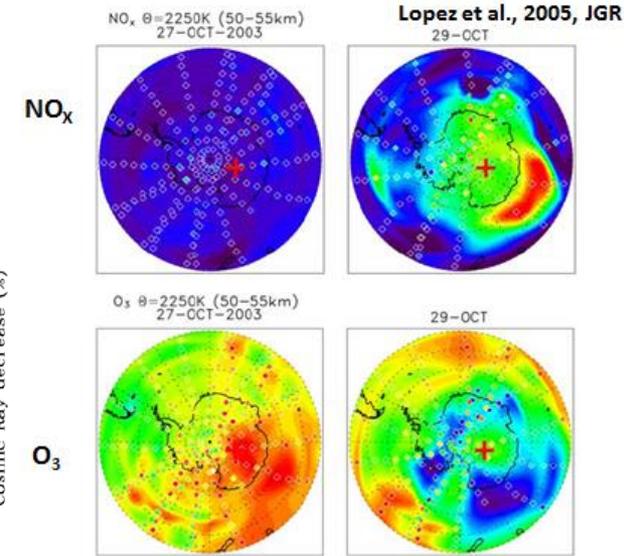
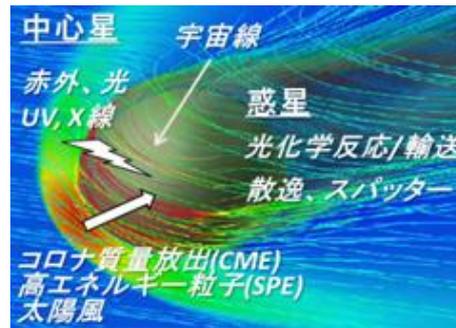
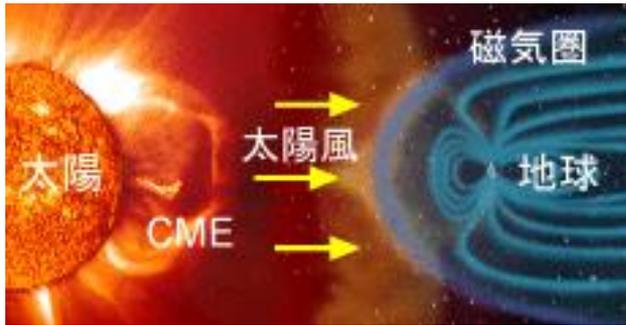
2) CO₂安定問題 COの酸化プロセス

中心星の活動のもと、地球型惑星の中層大気環境がどのように物理的・化学的に確立されてきたのか。

- ・ 中層大気は対流圏と超高層の大気散逸を繋ぐ重要な領域
 - ・ 地球は人為活動の影響もあり、素の太陽系気候/宇宙天気の影響把握が難しい
- ⇒金星、火星：固有磁場を持たないCO₂大気の惑星



<http://phl.upr.edu/library/media>



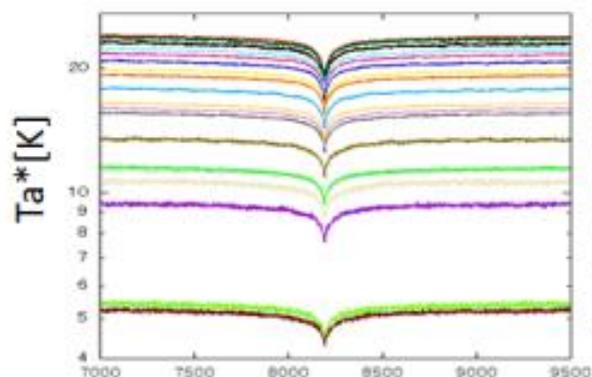
金星・火星の惑星大気スペクトルのモニタリング

2013年度の例

Venus

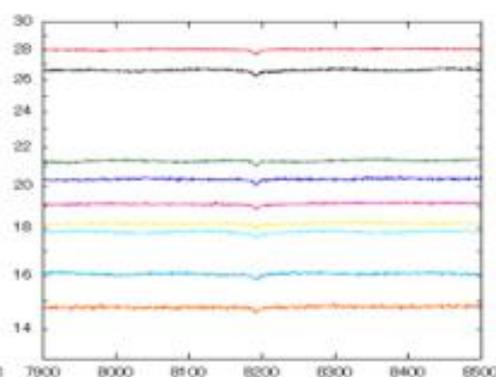
10"-63"

$^{12}\text{CO } J=2-1$

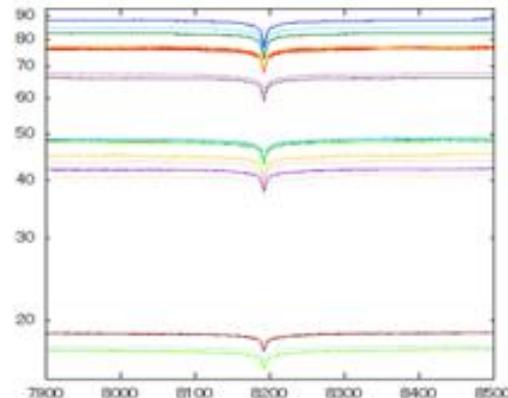


分光計channel [ch]

$^{13}\text{CO } J=2-1$

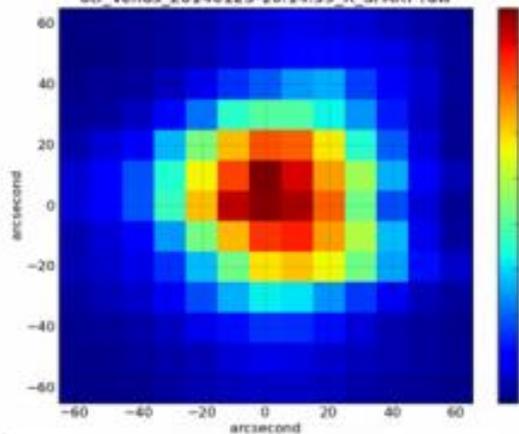


$^{12}\text{CO } J=1-0$



Venus/OTF $^{12}\text{CO } J=2-1$

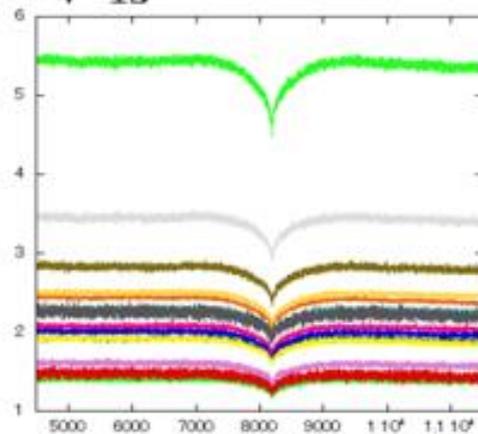
otf Venus 20140123-10.14.59 X SPART raw



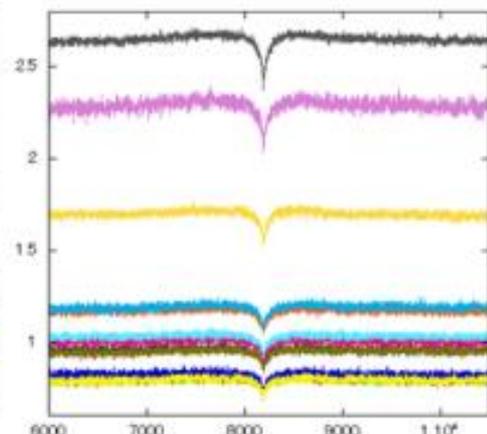
Mars

4"-15"

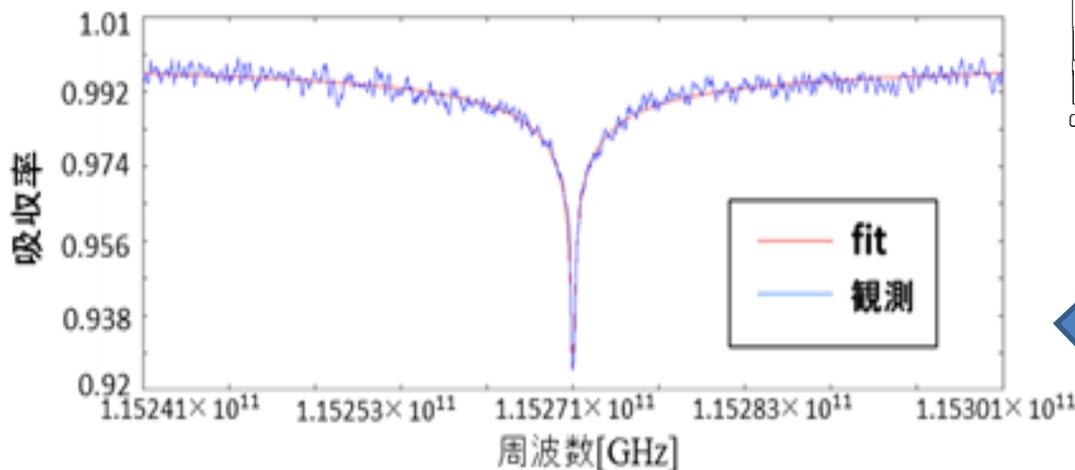
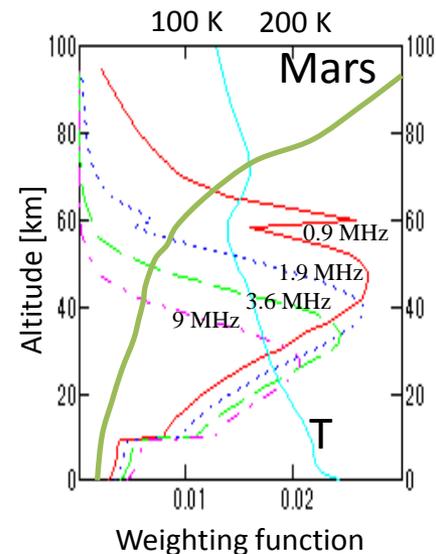
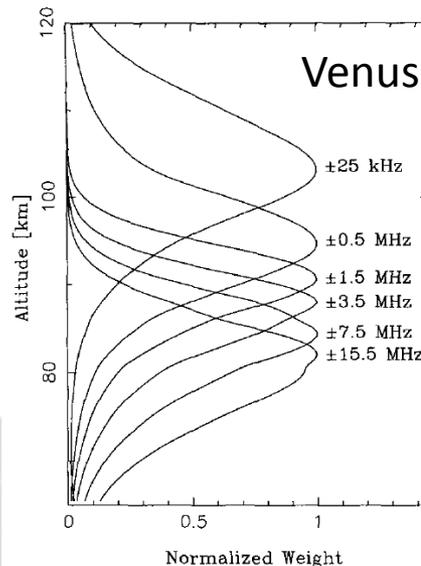
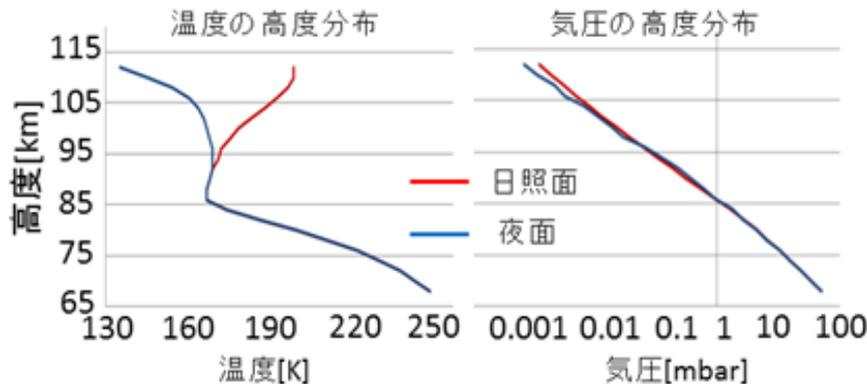
$^{12}\text{CO } J=2-1$



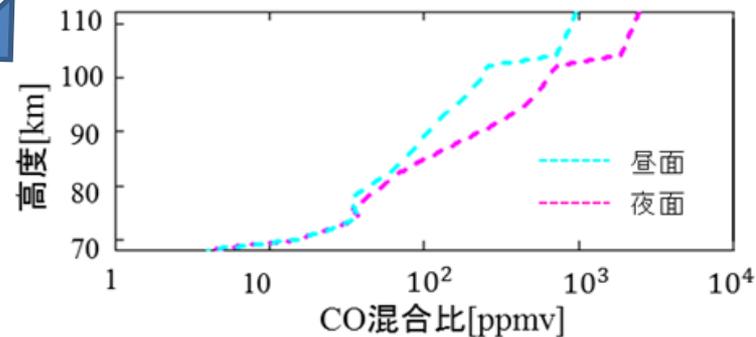
$^{12}\text{CO } J=1-0$



COスペクトル線のRetrieval解析により、CO混合比の高度分布を導出



Weighting functions in the mesosphere due to CO J=1-0 absorption and emission



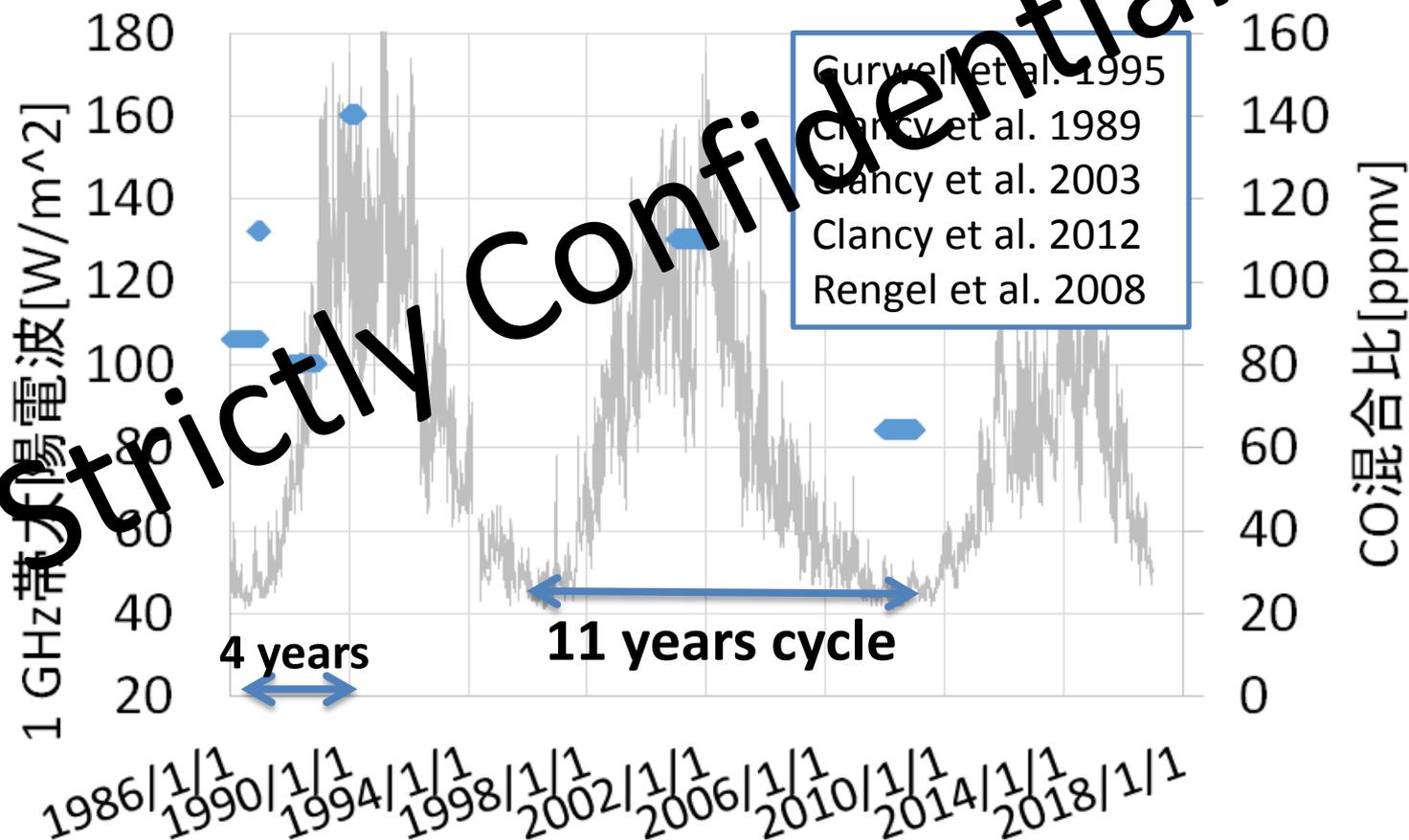
$$T_B(\nu, \mu) = T_0 \prod_{n=1}^{\mu} e^{-\tau_n(\nu)/\mu} + \sum_{n=1}^{\mu} \frac{[T_n \tau_n(\nu)/\mu]}{[\prod_{i=n+1}^{\mu} e^{-\tau_i(\nu)/\mu}]} \quad (1)$$

$$\tau_n(\nu) = \frac{C\sqrt{\ln 2}}{\pi^2 C_d C_p} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{C_p^2 P_l^2 + (\nu_i - \nu_0 - y)^2}{C_p^2 P_m^2 + (\nu_i - \nu_0 - y)^2} \right] e^{-\ln 2 \left(\frac{y}{C_d}\right)^2} dy \quad (2)$$

T_B : 惑星中心の輝度温度 T_0 : 連続波の輝度温度 μ : 大気長さ T_n はn番目の層の温度
 $\tau_n(\nu)$: n番目の層の光学的厚さ C_p : 衝突の広がり係数 C_d : ドップラー係数 ν_0 : 回転遷移 $J=1 \rightarrow 0$
 P_l : n番目の層の一番高度が低い場所 P_m : n番目の層の一番高度が高い場所の圧力

金星におけるのCOの混合比と太陽電波

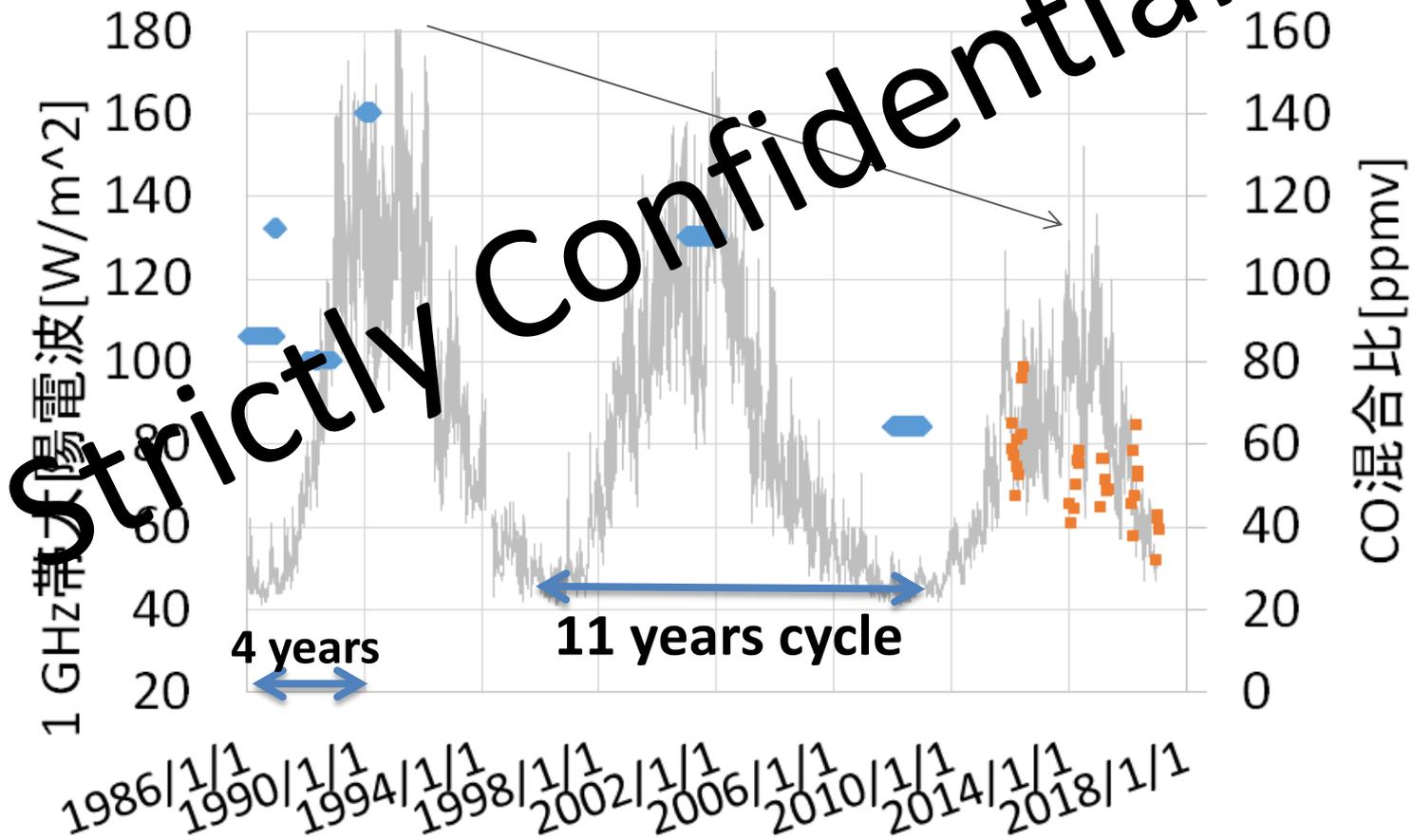
金星¹²CO(J=1-0)の観測結果より導出した
高度80 kmCO混合比と先行研究のCO混合比の比較



ここ30年は金星のCOは減少傾向にある

金星におけるのCOの混合比

金星¹²CO(J=1-0)の観測結果より導出した
高度80 kmCO混合比と先行研究のCO混合比の比較



ここ30年は金星のCOは減少傾向にある

他の低層の分子種との関連性

2008年以降 CO, SO₂は伴に低下傾向!?

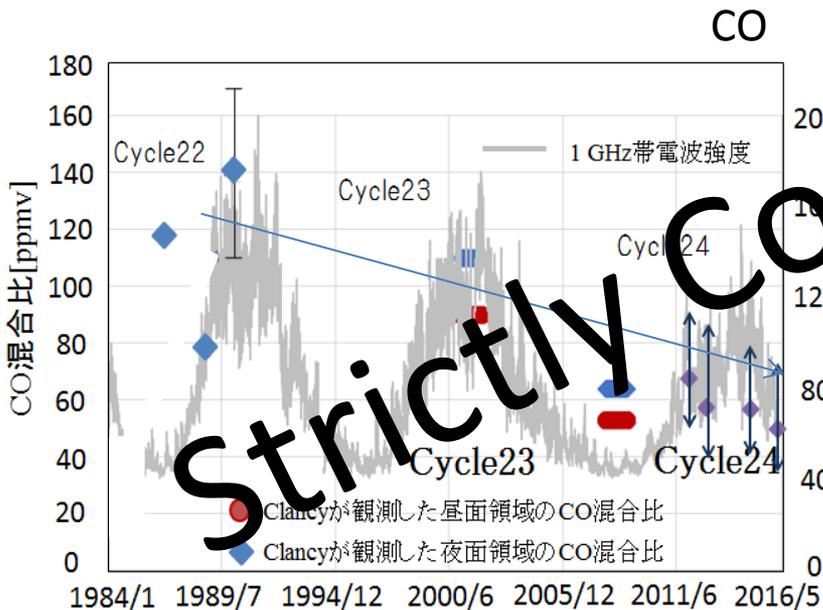
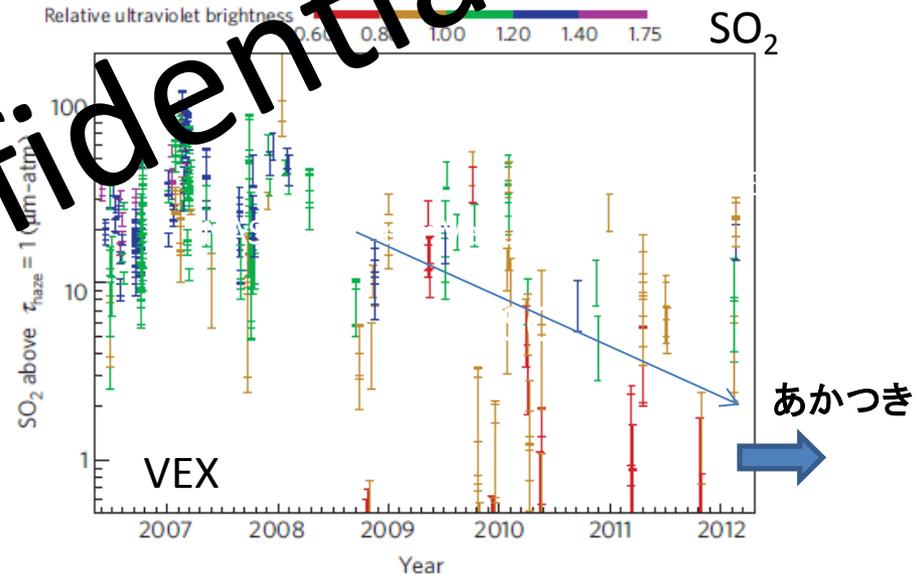
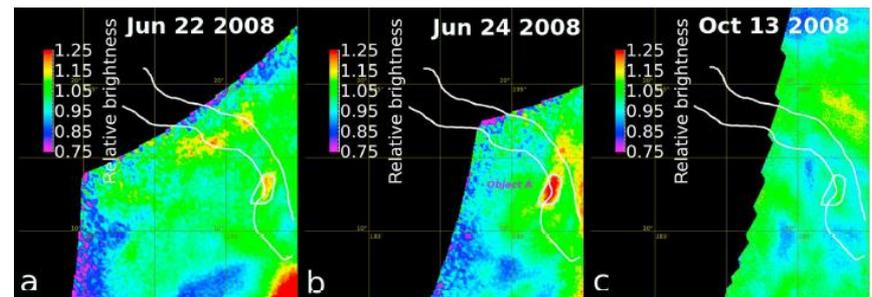


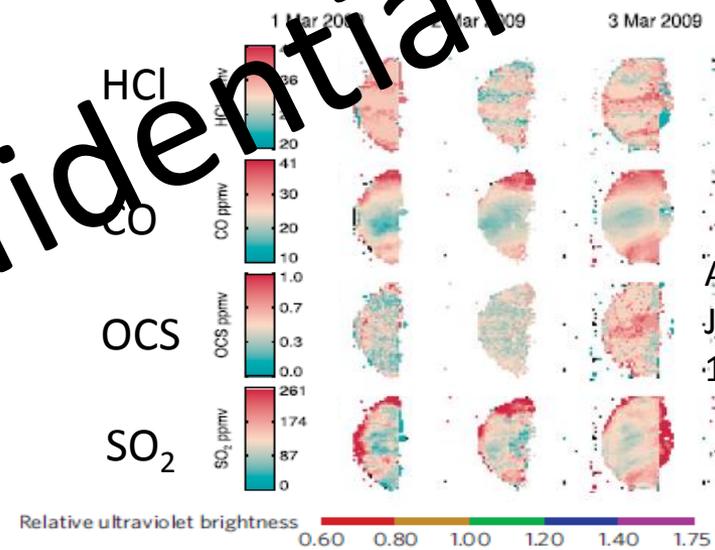
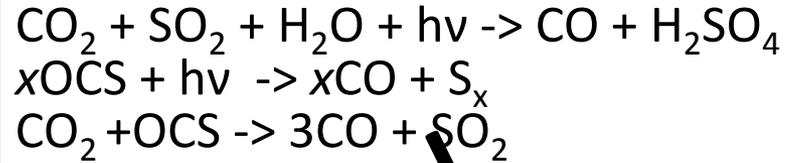
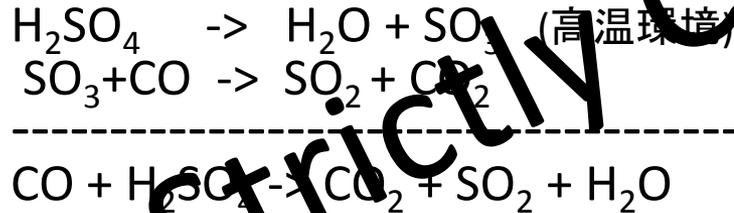
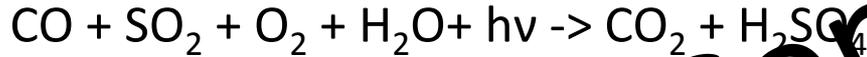
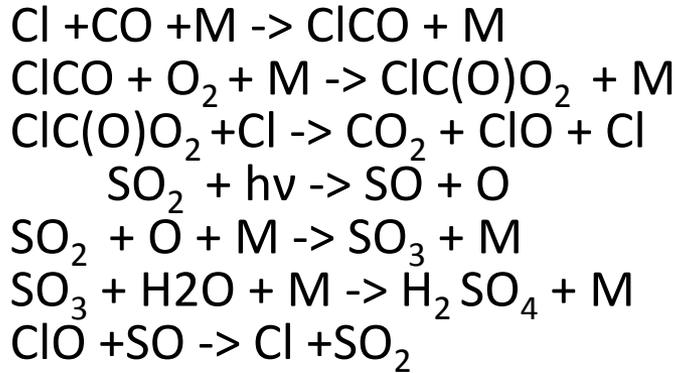
図14:Clancyが求めたCO混合比と1 GHz帯電波の比較
(Clancy et al. 1991)(Clancy et al. 2012)



Credits: Data: E. Marcq et al. (Venus Express); L. Esposito et al. (earlier data); background image: ESA/AOES



大気化学反応ネットワークと輸送メカニズムのリンク



Arney et al.
JGR Planets,
119, 2014

Y.-L. Yung et al.

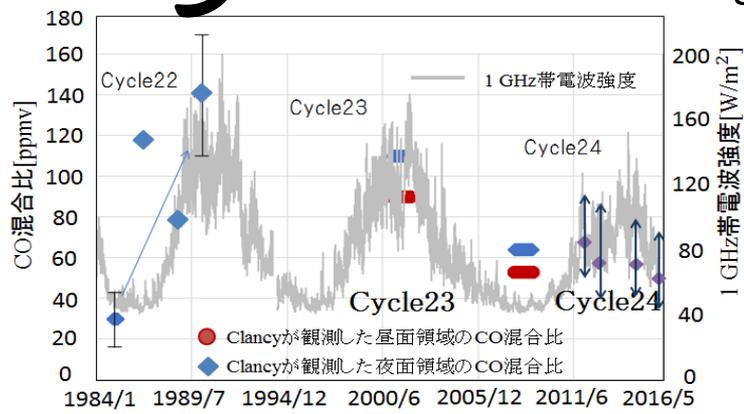
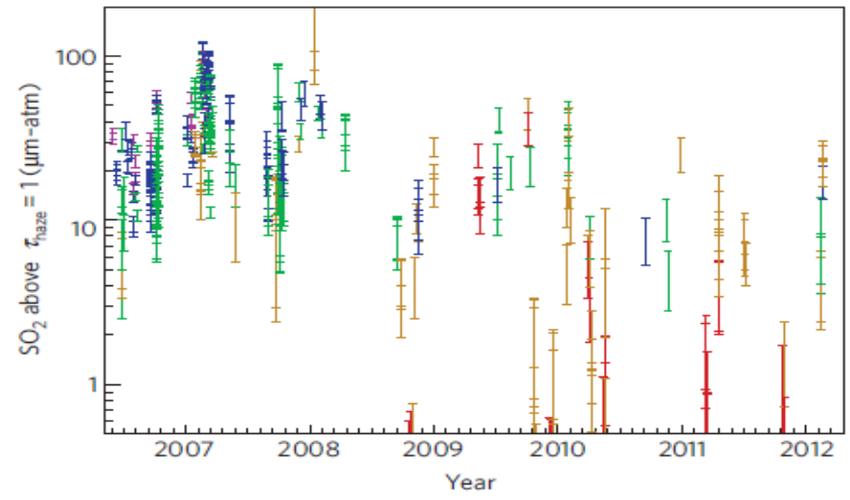


図14: Clancyが求めたCO混合比と1GHz帯電波の比較
(Clancy et al. 1991) (Clancy et al. 2012)



Credits: Data: E. Marcq et al. (Venus Express); L. Esposito et al. (earlier data); background image: ESA/AOES

金星のSO₂の空間分布の時間変化

TEXES/ NASA Infrared Telescope Facility :

5 and 25 μm infrared imaging spectrometer

high spatial (about 1.5 arcsec)/ spectral ($R = 80\,000$) resolution

子午面循環では説明できず

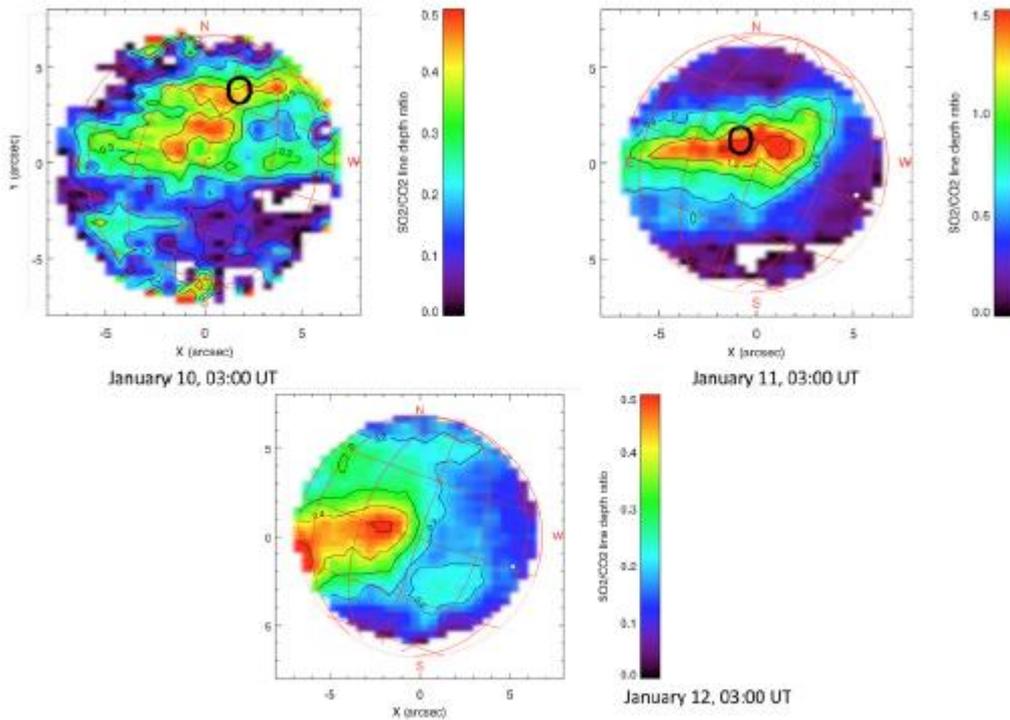


Fig. 5. Map of the SO₂/CO₂ line depth ratio derived from the 1350.16 cm⁻¹ SO₂ line and the 1350.40 cm⁻¹ CO₂ line (Jan. 10 and 12) and the 1366.48 cm⁻¹ SO₂ line and the 1366.41 cm⁻¹ CO₂ line (Jan. 11).

Encrenaz et al. 2012

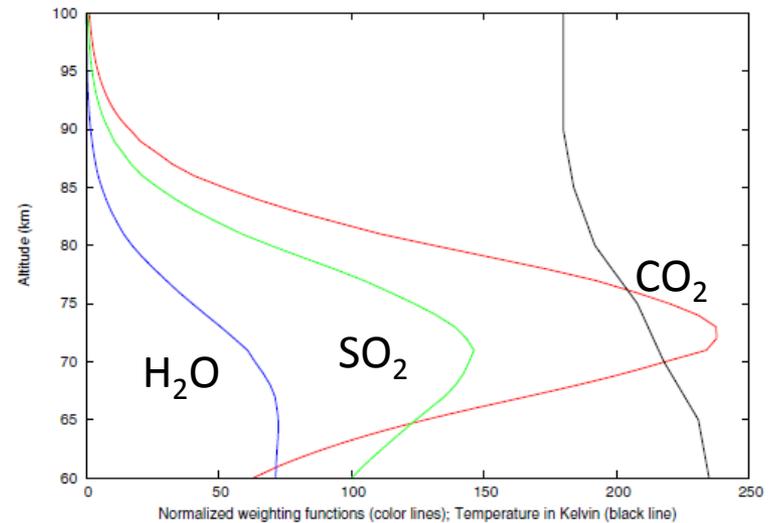
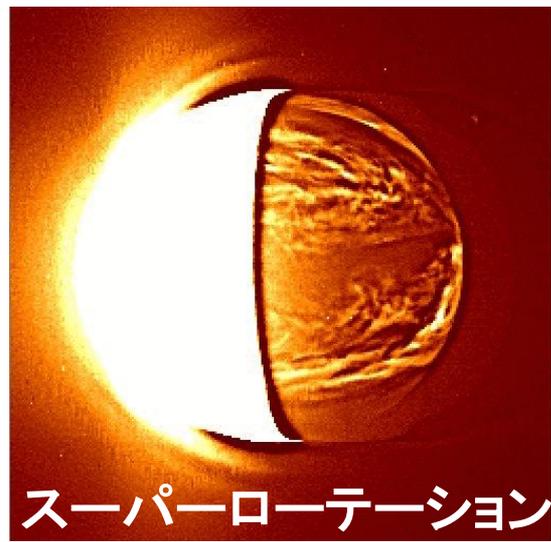
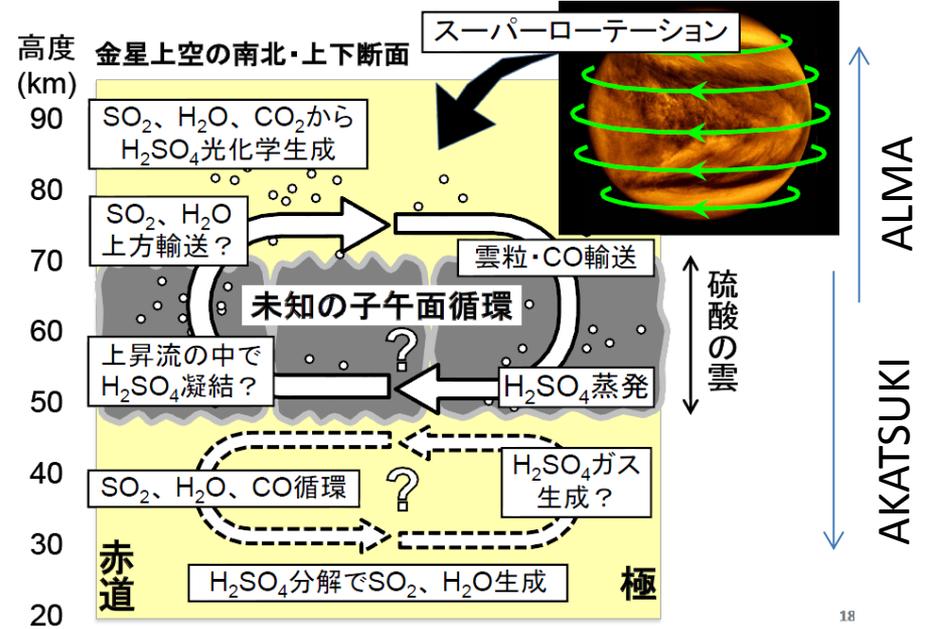


Fig. 2. Weighting functions in the Venus atmosphere for three weak transitions used in our calculations: (red) CO₂ at 1350.40 cm⁻¹, (green) SO₂ at 1350.16 cm⁻¹, and (blue) HDO at 1350.30 cm⁻¹ (Doppler-shifted frequencies). The mixing ratios of SO₂ and H₂O are, respectively, 100 ppb and 1 ppm (with D/H = 200 times the terrestrial ratio). Black line: temperature vertical profile.

SO₂の変化は、詳細な鉛直分布、鉛直流
火山活動、など今後の赤外領域の観測
が重要。

微量分子の空間分布・時間変動/大気重力波の影響評価

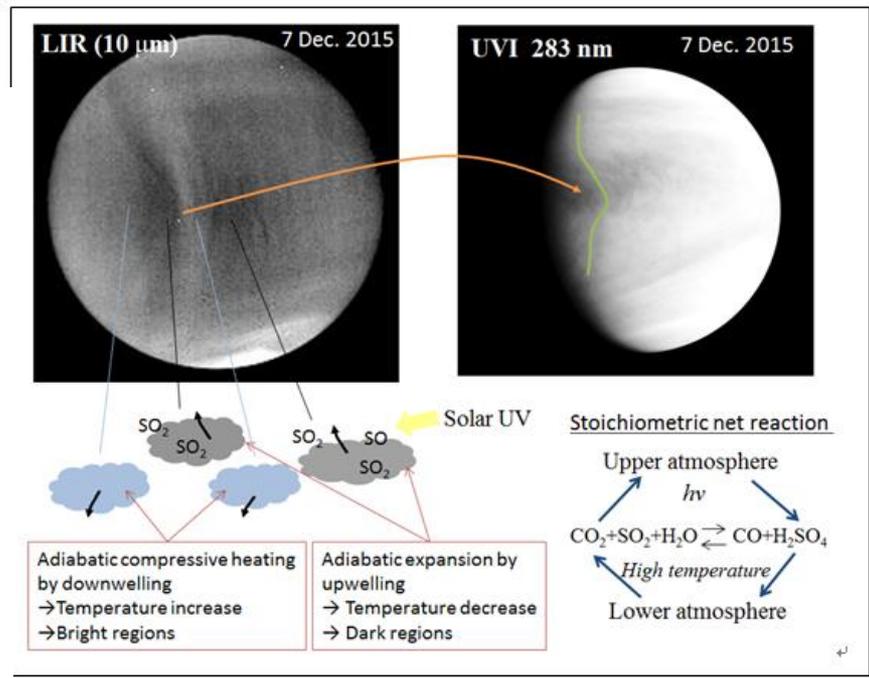
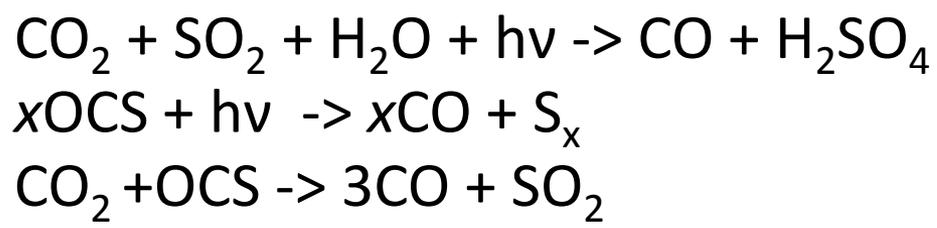
SPART/AKATSUKI/ALMA/名寄光・赤外望遠鏡



SPARTが捉えたCO短期変動の要因を探る。

- ・定常的な変動(準定常)4日循環
- ・突発的な乱れ(大気重力波)

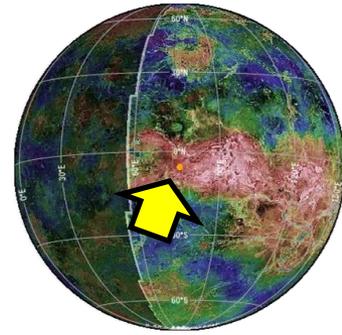
に関わる上下間のダイナミクス/化学的なリンクを捉える試み。



ALMA ToO観測

重力波発生時のCO・SO・SO₂・HDO
Band6,7の3次元分布

12m-array (50台)、ACA 7m-array(12台), 12m-TP Array(4台)

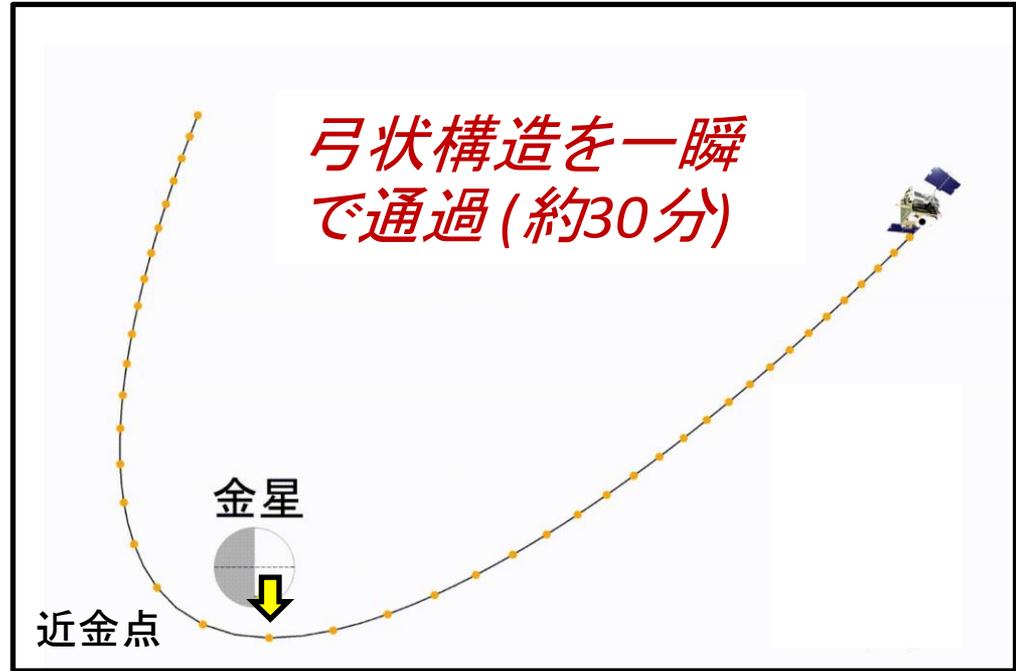
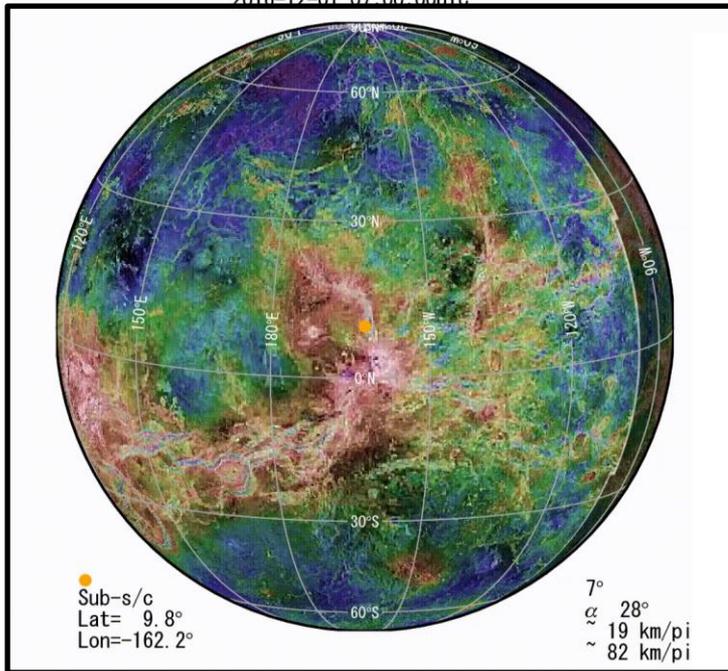


発生時期を予想 2016/11/20~12/13

アフロディテ大陸

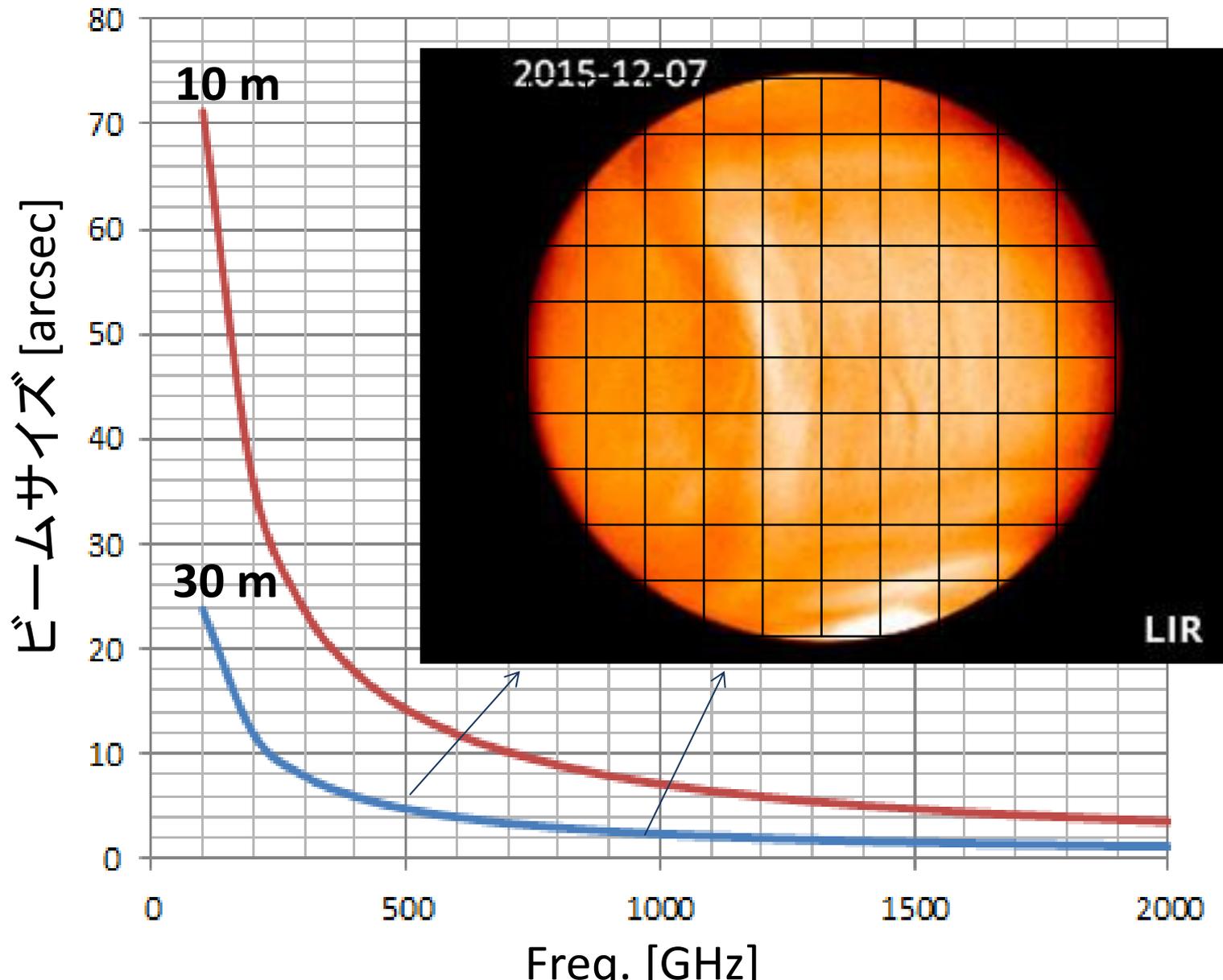
⇒ Akatsuki の姿勢を修正/LIR(10μm)カメラで連射を実施
ALMAは半日後のdelayをもって観測を実施(金星が上がってから)

Venus as seen from Akatsuki
2016-12-01 07:00:00UTC



THz 30m望遠鏡の場合の解像度

サブミリ波の単一鏡でも観測可能。resolve-out/配列・季節/タイミングの運不運に翻弄されない



(1) ALMAのconfigがたまたま合致し、季節的にもギリギリ。ラッキーが重なった。

⇒ configやresolve-outの影響を受けずに、必要なtimingで観測できる高解像度のサブミリ波望遠鏡の重要性

(2) スーパーローテーションは、1日で90度回転してしまう(4時間で15度)。

⇒ マルチビーム/OTFによる短時間の観測

(3) ALMAでは周波数、アンテナの観測に時間差

南極THz望遠鏡では300GHz帯のSO₂やCO、700GHz帯のHClなどを周波数分離フィルターにより同時観測したい。

(4) ALMAでは、日中の観測は控えめ。

日射の影響や、風、重力変形など・・・(ビーム、pointing 45m鏡の場合はドリフト)

(5) Band特性、定在波。チョッパーにアクリルのモードなど。On点とSKYの差を軽減。

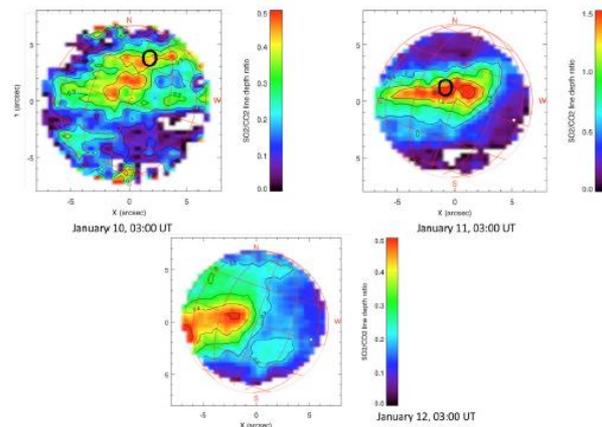
(6) 12CO, 13COなどを同時にとれるIF帯域。

(7) DSB,SSBいずれでもOKなので、毎回のtuning後のSBRの正確な情報が欲しい。(10dB以上とかではなく)

(8) スーパーローテーション(4日循環)とその発生・停止プロセス、鉛直輸送、高層の輸送(subsolar to antisolar)と大気化学のリンク

⇒ 4日間の中間圏の分子の分布の変動を捉える。

白夜での連続観測(夜間の中断がない。他測器との同時観測もしやすい)



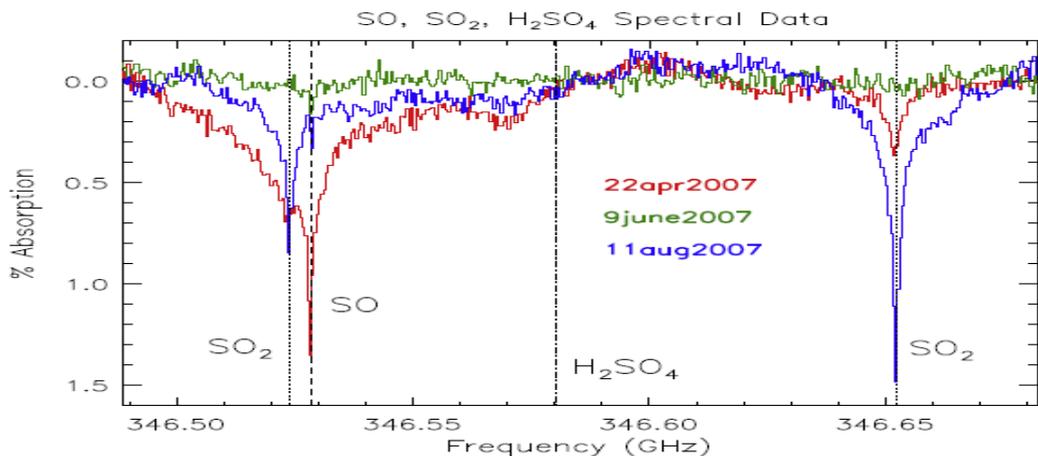
ALMAの実施状況

	1回目の観測 Band6			1回目の観測 Band7			2回目の観測 Band6			2回目の観測 Band7		
	12m	7m	TP	12m	7m	TP	12m	7m	TP	12m	7m	TP
11月20日	24. 87/16:07	52. 7/16:43	55. 45/16:45									
11月22日				30. 32/18:26	66. 31/18:26	92. 76/18:41						
11月23日			88. 93/15:54									
11月25日						32. 25/21:40						
12月1日						97. 89/21:33	26. 26/19:02	52. 62/18:26	88. 98/16:55	30. 58/23:52	60. 39/23. 29	97. 65/23:45
12月2日												53. 31/12:39

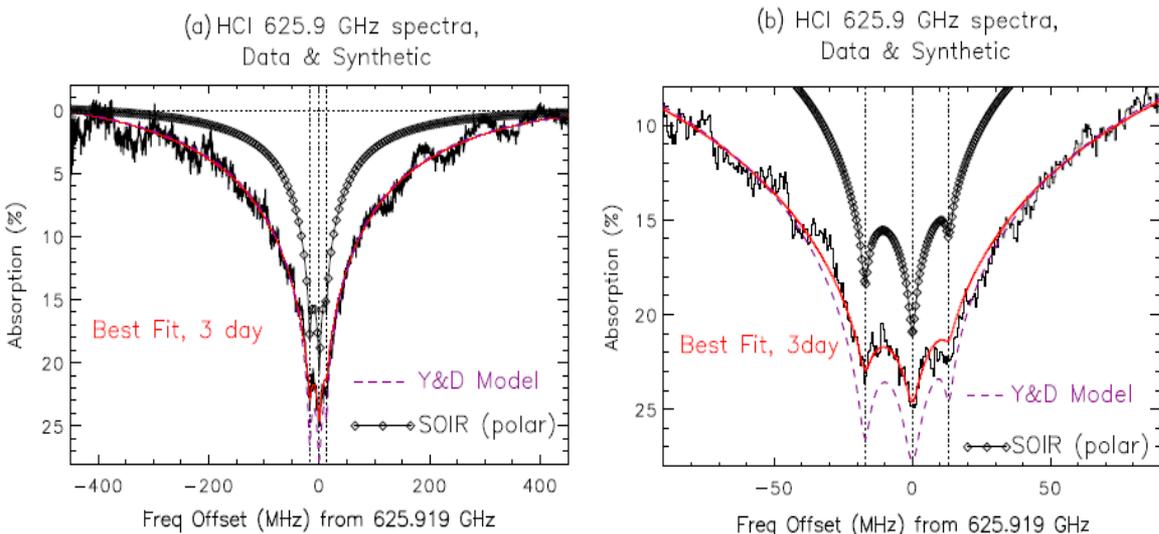
同じ日に観測してくれた(大感謝)

周波数帯域/分解能

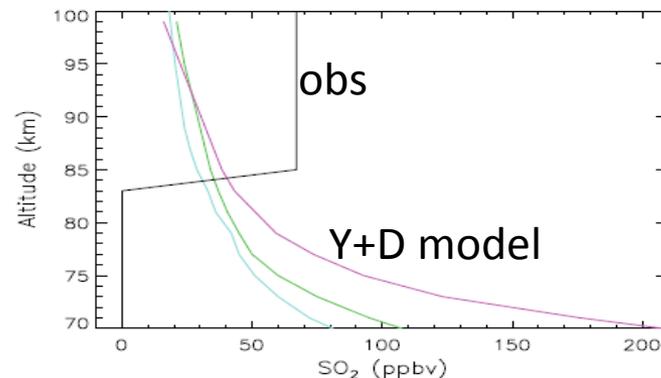
2GHz(ALMA etc)あれば充分カバーできる。ただし、分解能も10kHzは欲しい。



Sandor et al. Icarus 2012

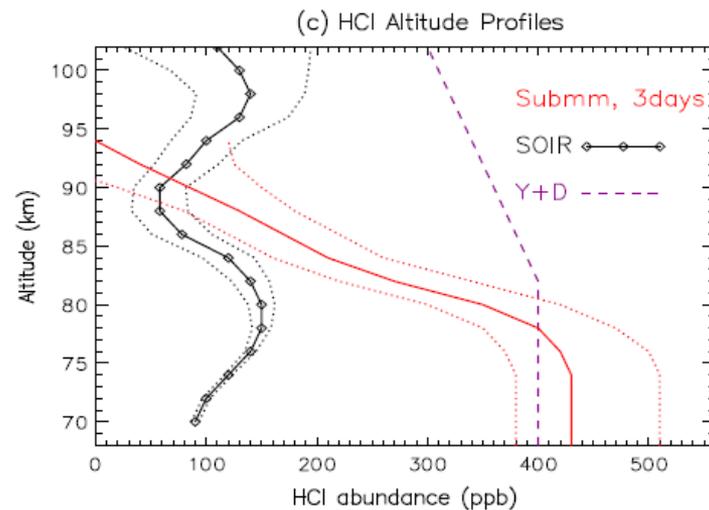


Sandor et al. Icarus 2015



Sandor et al. Icarus 2010

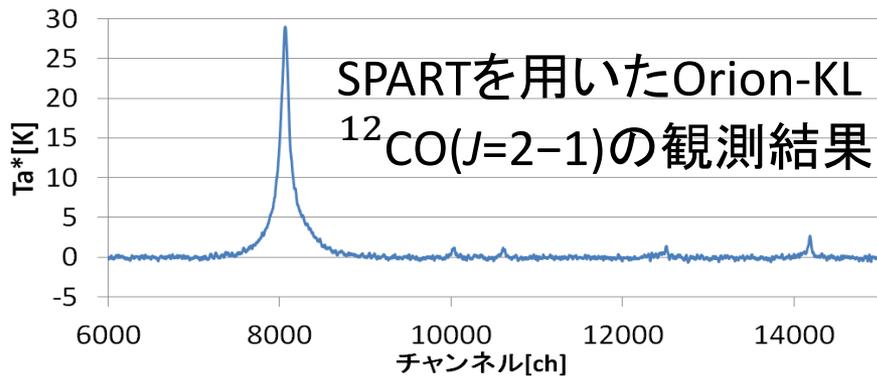
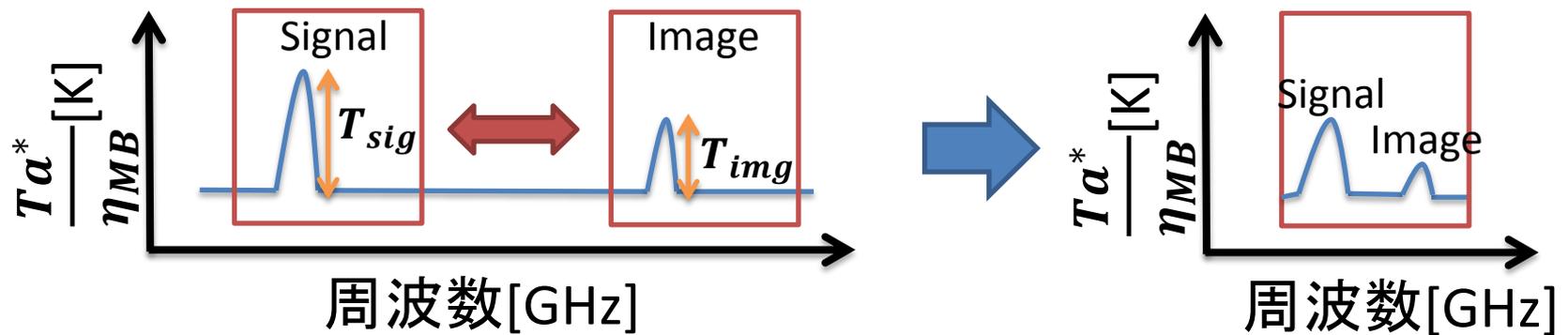
モデルと観測の不一致



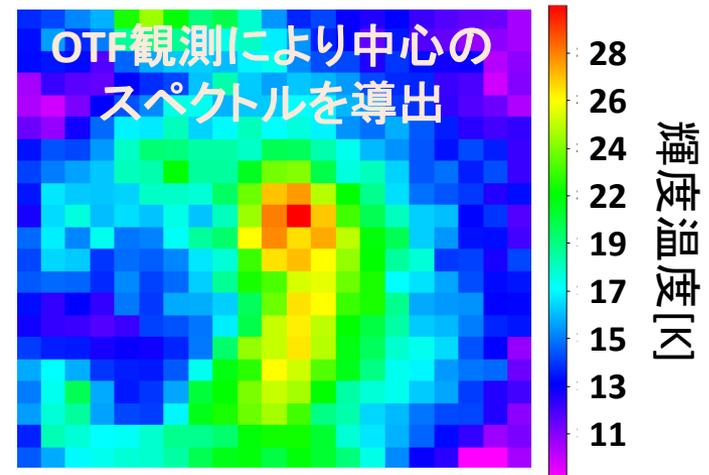
モデルと観測の不一致

イメージバンドからの漏れ込みをチェック

ヘテロダイン分光法ではImageバンドのスペクトルがSignalバンドに折り重なって観測される



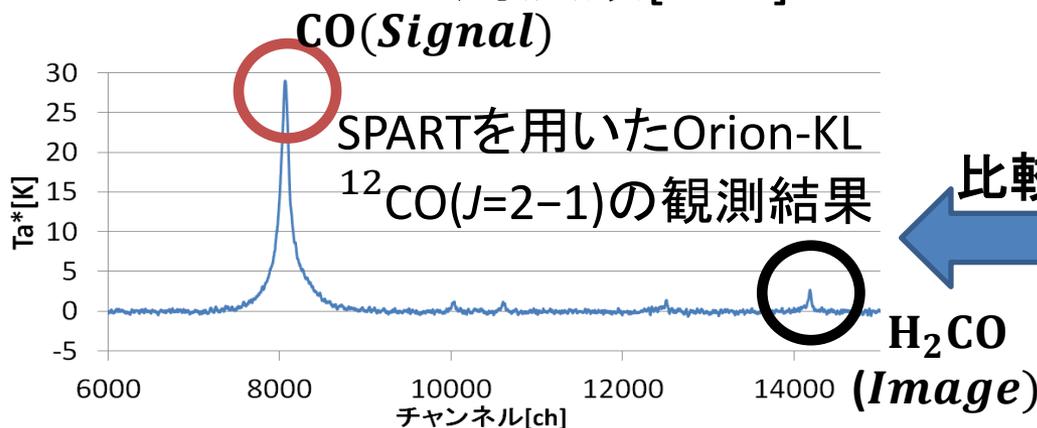
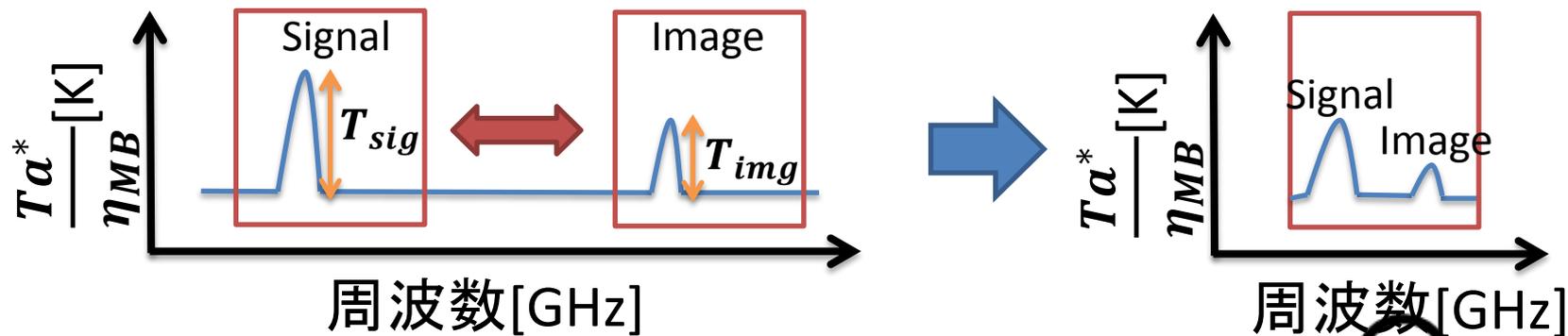
導出



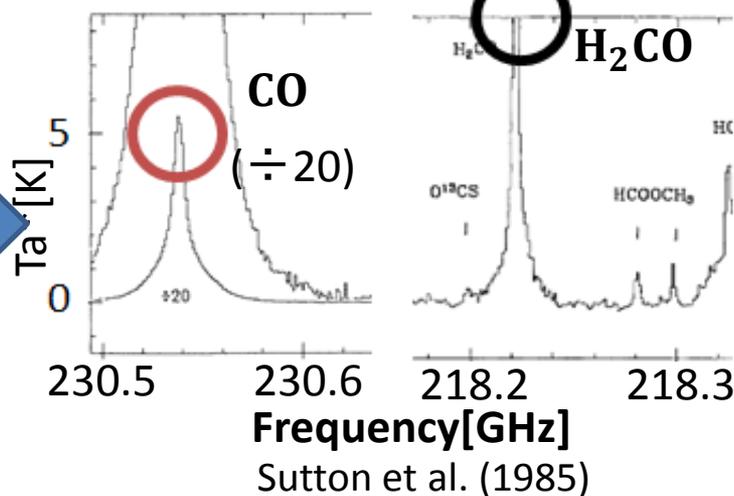
既知のOri-KLのスペクトルを用いて
Orion-KLの $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ の観測結果を比較校正

イメージバンドからの漏れ込みをチェック

ヘテロダイン分光法ではImageバンドのスペクトルがSignalバンドに折り重なって観測される



比較



簡易な手法で観測毎に自動チェックできると安心

Neptune

上層におけるCOやHCNの起源が不明

- ・内部からの輸送
- ・彗星などのimpact
- ・Tritonからの窒素の流入
- ・季節変化の可能性

⇒ 単一鏡で監視/ALMAで空間分布

