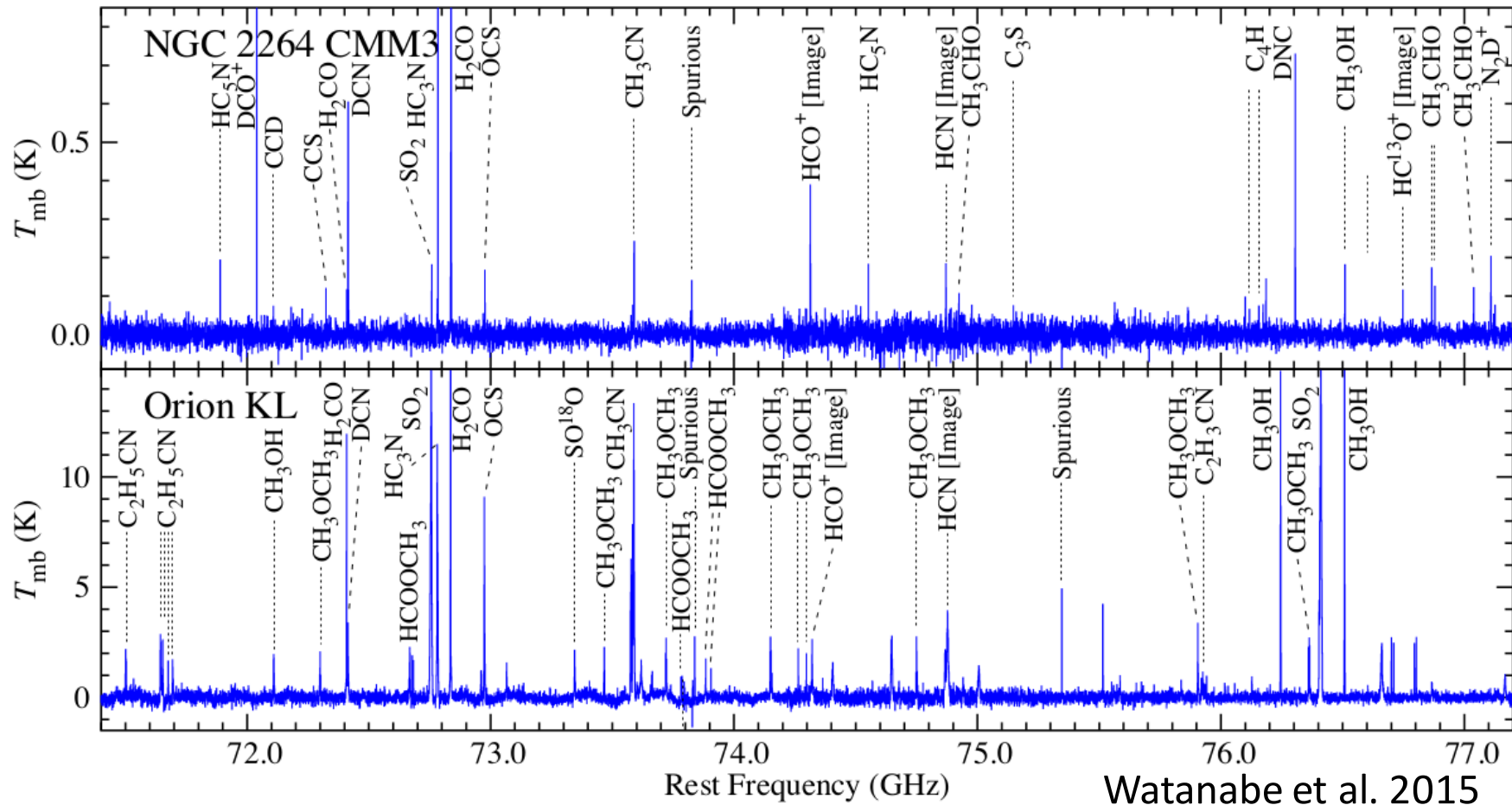


テラヘルツ帯における星間物質と その観測

渡邊祥正 (東京大学)

ミリ波・サブミリ波における星間物質の観測 (e.g. NGC 2264 CMM3)



ミリ波・サブミリ波で観測される分子輝線

重い原子2-3個からなる分子の低励起遷移
大型の有機分子や炭素鎖分子



化学組成の多様性
ALMA

THz Astronomy

- 高密度・高温の分子ガストレーサー

(Continuum & Spectral Lines)

e.g.) HCN ($J=17-16$), HCO⁺($J=17-16$)

Star Forming Regions, Protoplanetary Disks,
Shocked Regions, AGNs, & SBGs

- 基本的な分子の観測

(Spectral Lines)

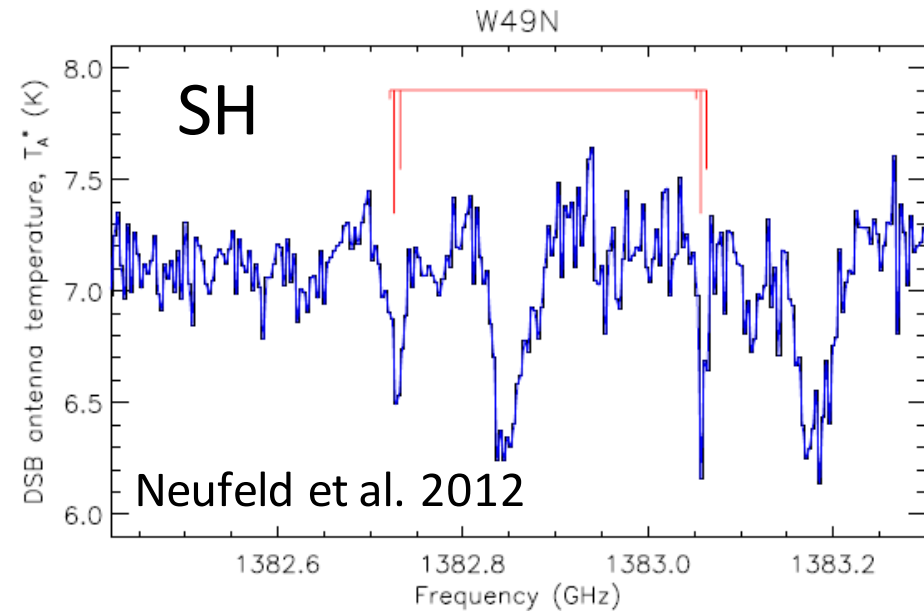
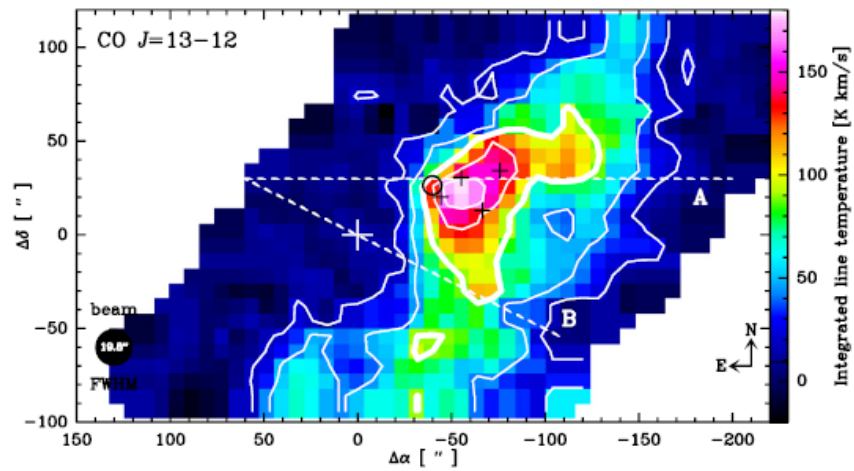
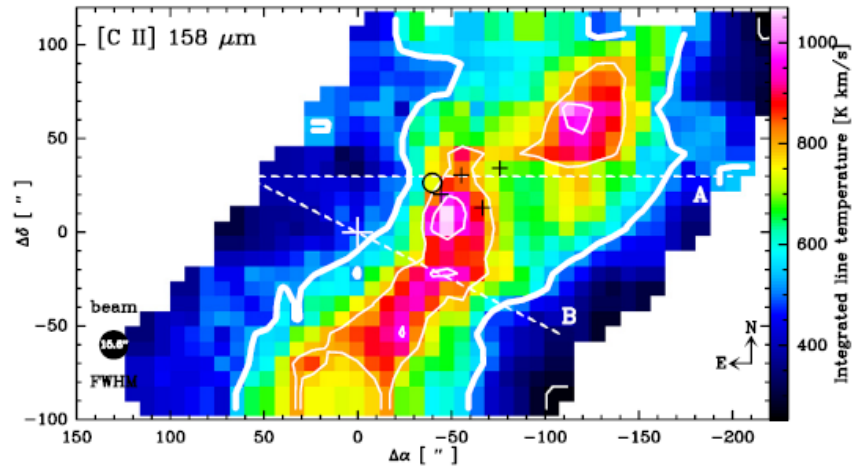
Simple Hydrides (HF, OH⁺, H₂O⁺, H₂D⁺ etc.)

Atomic Lines (C, C⁺, N⁺, O etc.)

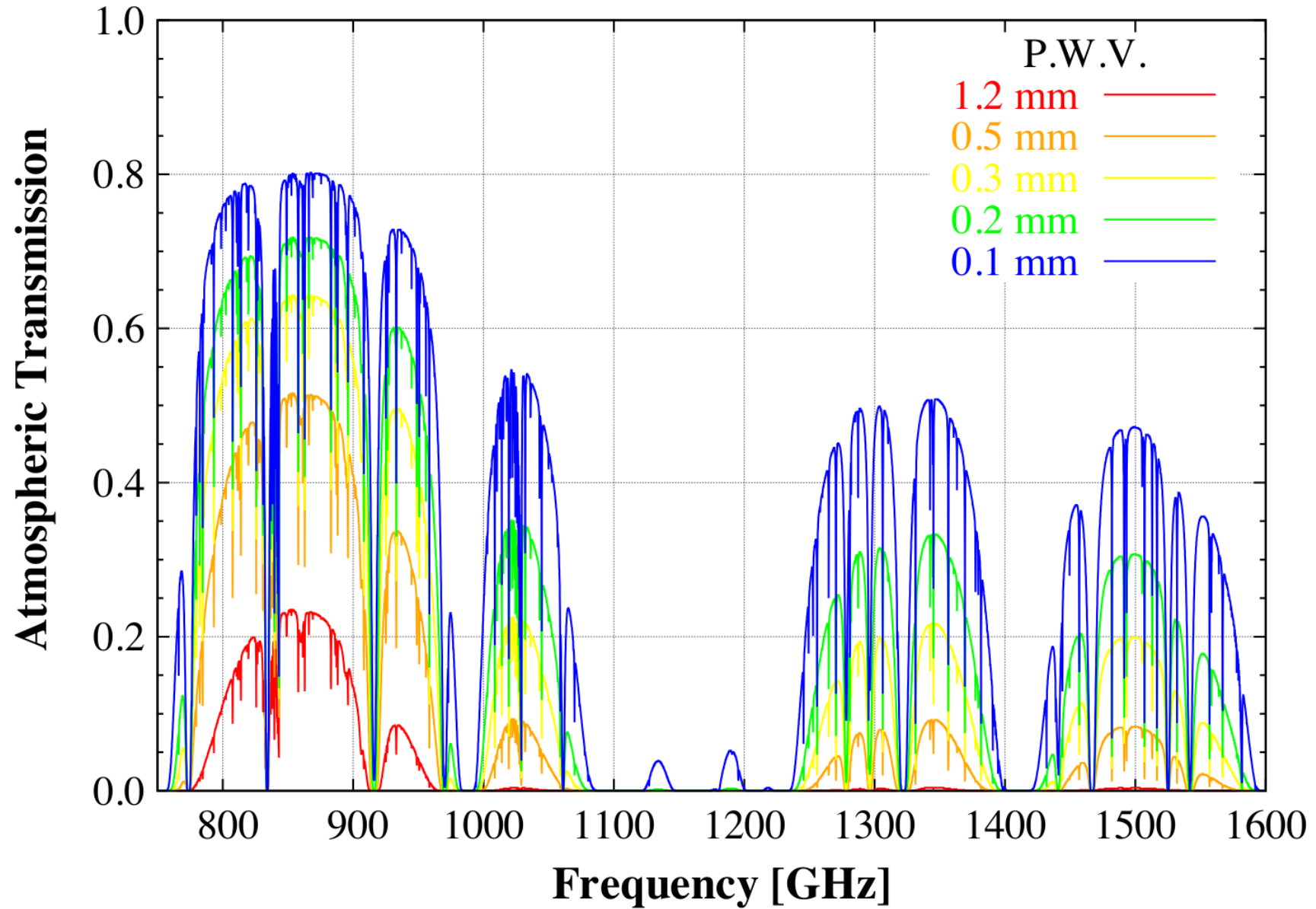
e.g. $\nu (J=1-0) = h/(4\pi^2\mu r^2)$

SOFIA in Operation

Perez-Beaupuits et al. 2012
M17SW



Atmospheric Window in the THz Region



Main Targets in the 1.3-1.5 THz Band (For Galactic Sources)

重水素濃縮

p-H₂D⁺ (1.37 THz) and o-D₂H⁺ (1.48 THz)

超高密度分子ガストレーサー

			E_u	n_{crit}
HCN	$J=17-16$	1505.029 GHz	650 K	2(9) cm ⁻³
HCO ⁺	$J=17-16$	1514.583 GHz	650 K	3(8) cm ⁻³
	$J=15-14$	1336.714 GHz	510 K	2(8) cm ⁻³
CO	$J=13-12$	1496.922 GHz	350 K	2(6) cm ⁻³
	$J=11-10$	1267.014 GHz	250 K	1(6) cm ⁻³

分子スペクトル線サーベイ

重水素濃縮

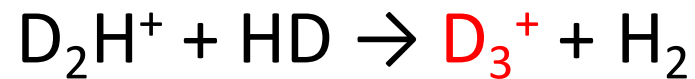
- H_2D^+ is a key molecule. -

Tracer of Evolution of Starless Cores



Depletion of CO enhances H_2D^+

c.f. For heavy depletion of CO,



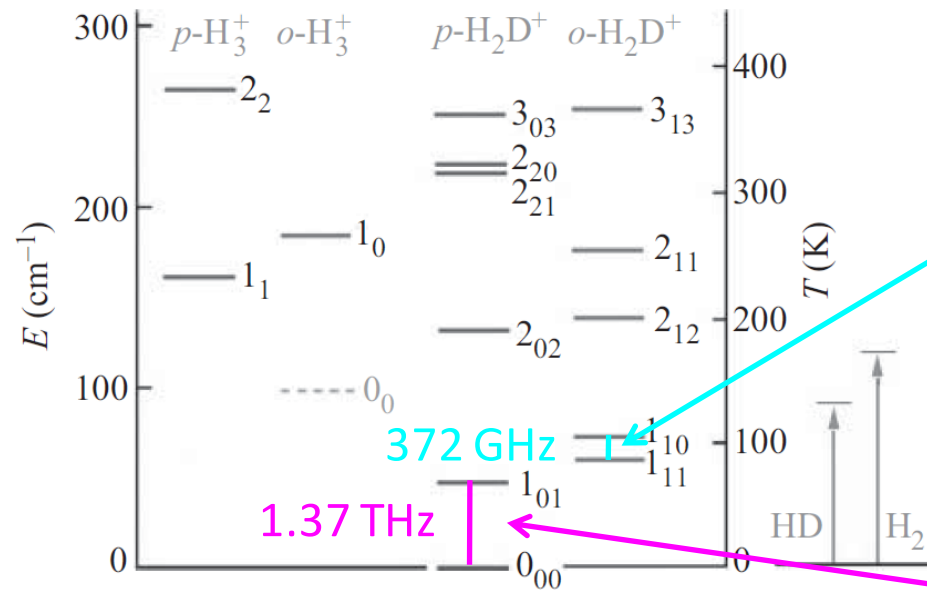
Tracer of Onset of Star Formation



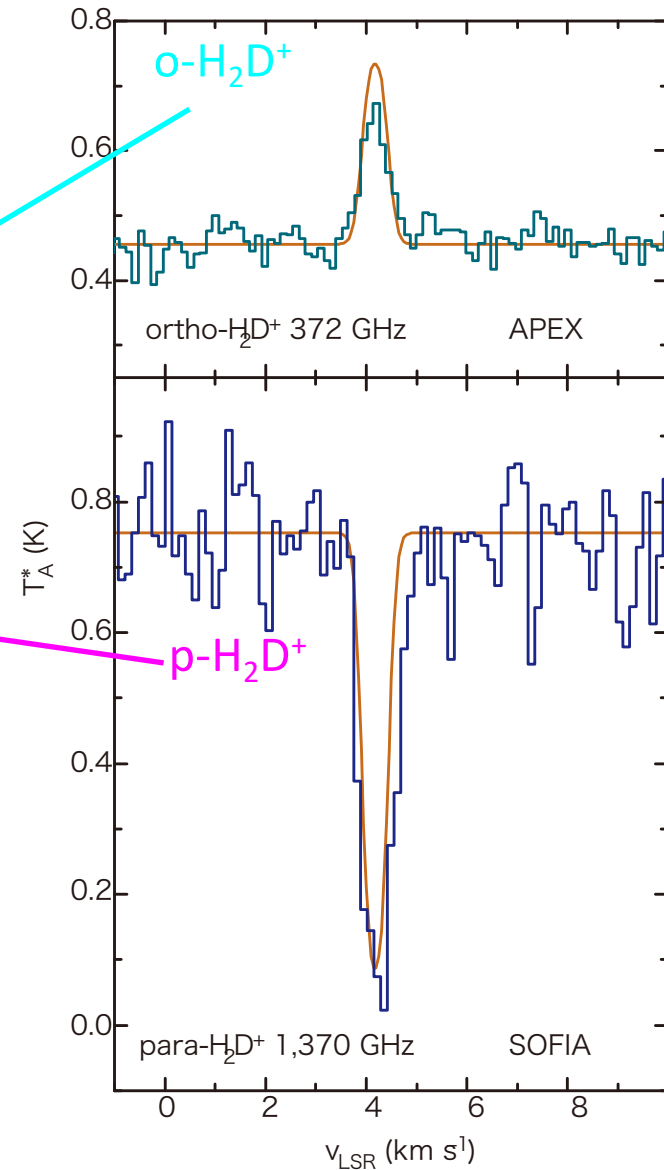
Evaporation of CO destroys H_2D^+

SOFIAによるp-H₂D⁺の初検出

IRAS 16293-2422



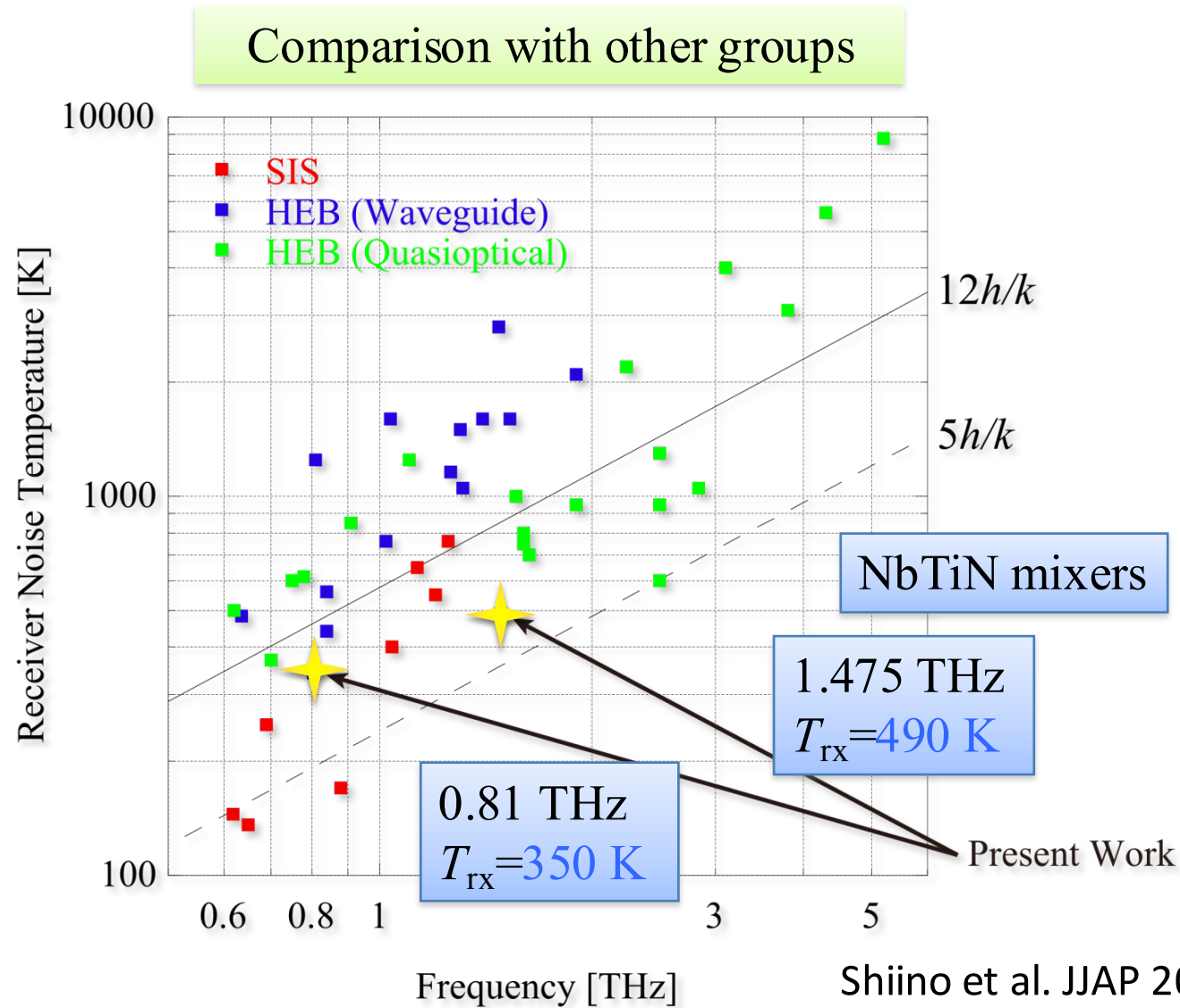
$$o\text{-H}_2\text{D}^+ / p\text{-H}_2\text{D}^+ = 0.07 \pm 0.03$$



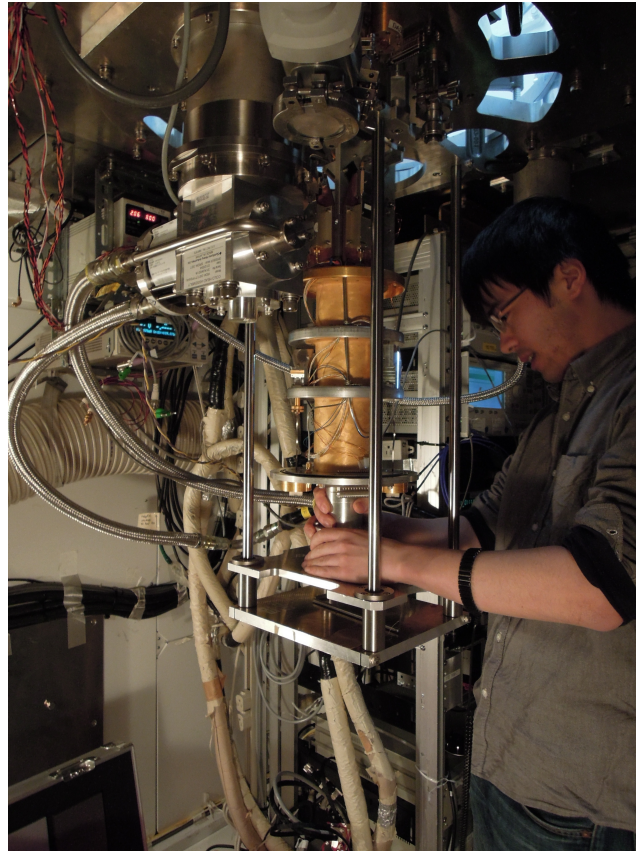
HEB Mixersの開発 at UT

- Waveguide-Type HEB Mixer Using a Relatively Thick NbTiN Film
- Waveguide-Type HEB Mixer Using a NbN/AlN Film
- Quasi-Optical HEB Mixer Using an NbTiN Film
(in collaboration with Dr. Maezawa)
(QCL as a Local Osc. in collaboration with
Drs. Hosako, Sekine, and Irimajiri)

Our Waveguide-type HEB Mixer Receiver



THz受信機のASTEへの搭載実験



搭載期間: 2015/9/26 - 10/23

搭載受信機: HEB9

(LO: 880-960 GHz)

HEB13

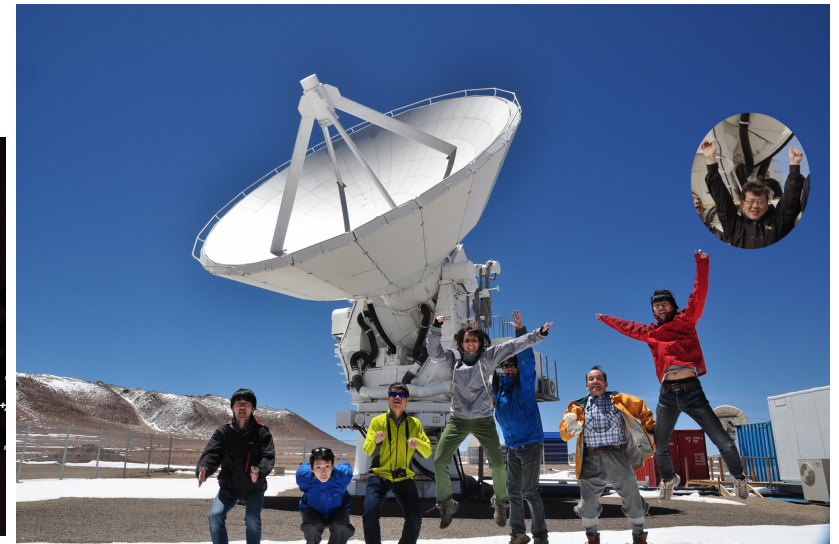
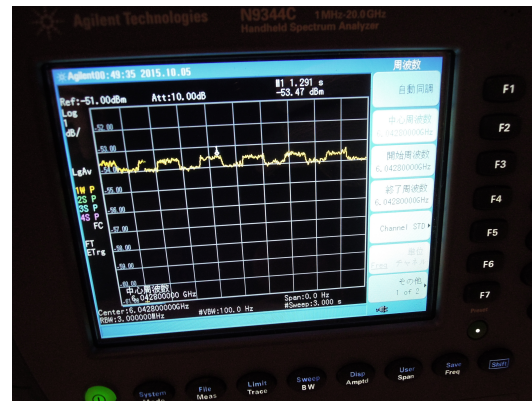
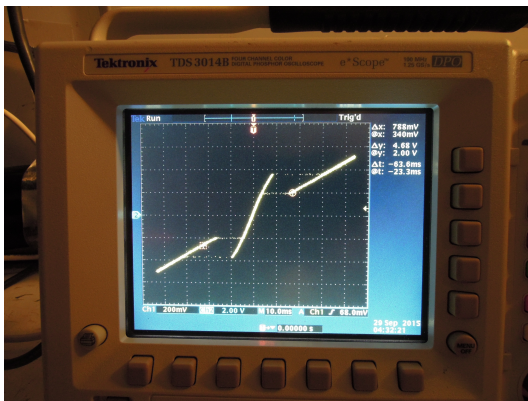
(LO: 1360 - 1480 GHz)

受信機雑音: 1500 K (HEB9)

2200 K (HEB13)

ビームサイズ: ~ 10" (HEB9)

Underilluminated to 7 m



ASTEによるTHz帯観測

観測日: 10/1, 4, 5, 6, 13, 14, 15

P.W.V.: 1.0 – 0.4 mm

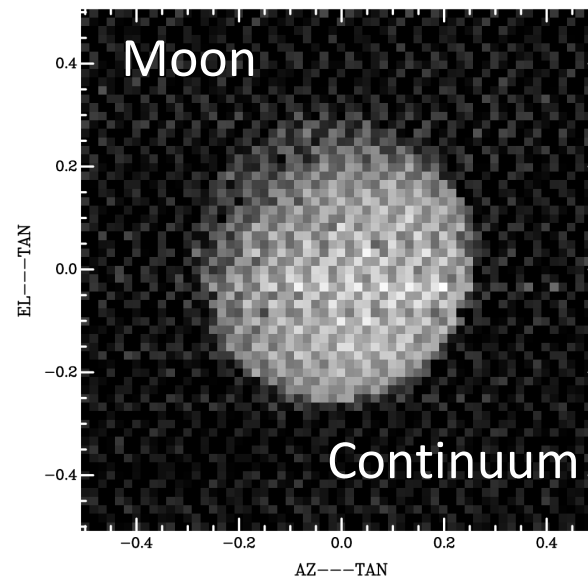
大気込みの雑音温度: 4000 – 8000 K

主ビーム能率: ~ 15 - 20 % (0.9 THz)

< 数 % ? (1.4 THz)

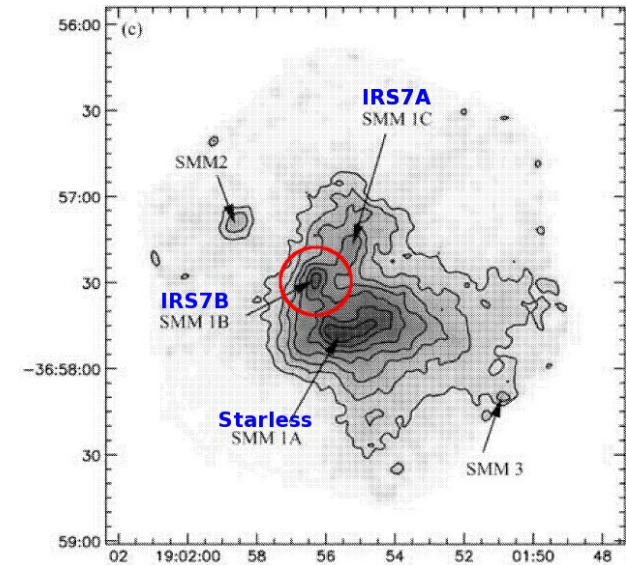
開発したHEBIによる天体観測の実証

$^{13}\text{CO}(J=8-7)$



ASTEによるR CrA IRS7Bの観測

- R CrA IRS7B
 - 南のかんむり座のClass 0 天体
 - $d = 170 \text{ pc}$
 - Herbig Be 星からのUV放射の影響
 - CCH, CNの組成比が高い



ASTEによるTHz帯観測のまとめ

HEBミキサー受信機による観測の実証

- 0.9 THz帯観測でいくつかの科学的成果

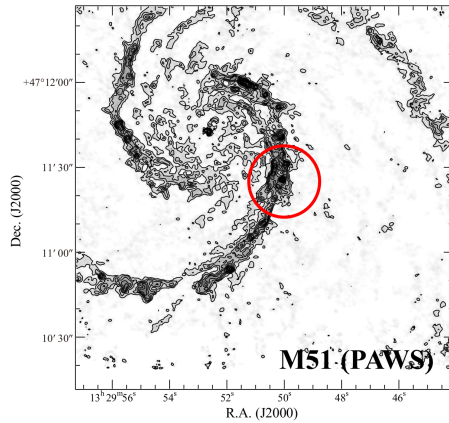
1.4 THzでは観測に至らず

- 原因
- 大気条件 (P.W.V. > 0.4 mm)
 - 鏡面精度が低い (主ビーム能率数% 1.4 THz?)

本格的なTHz帯観測のためには

- 良い大気透過度
- 鏡面精度の高いTHz専用望遠鏡

系外銀河における分子輝線サーベイ観測

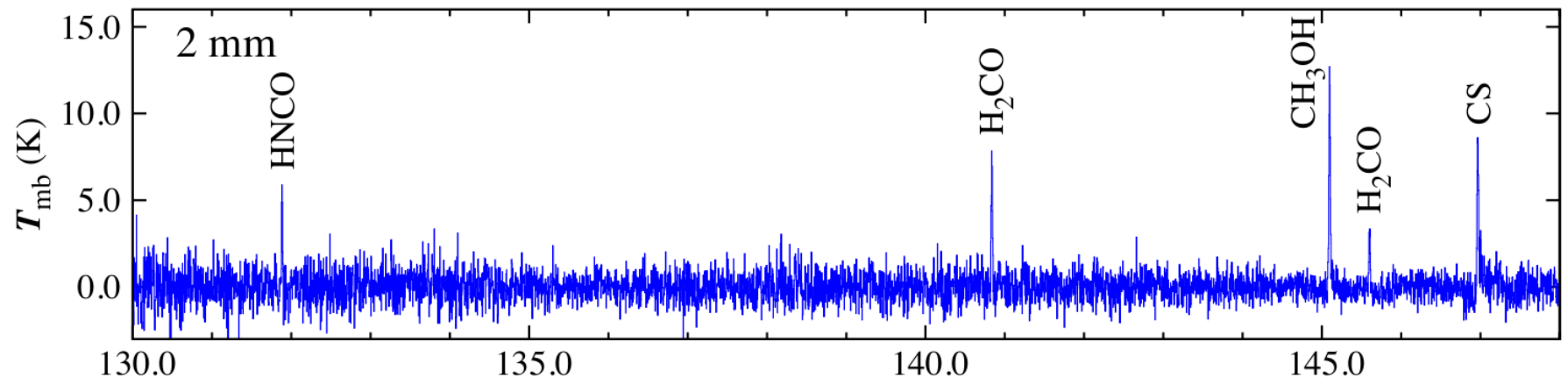
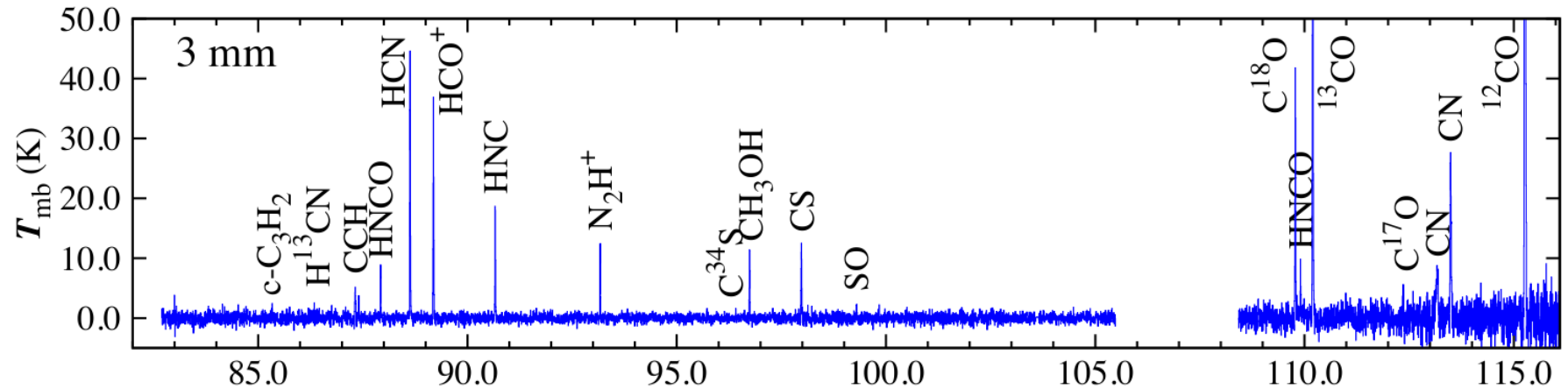


Spiral arm in M51 ($d = 8.2$ Mpc)

Observation with IRAM 30 m

13 molecular species, 6 isotopologues

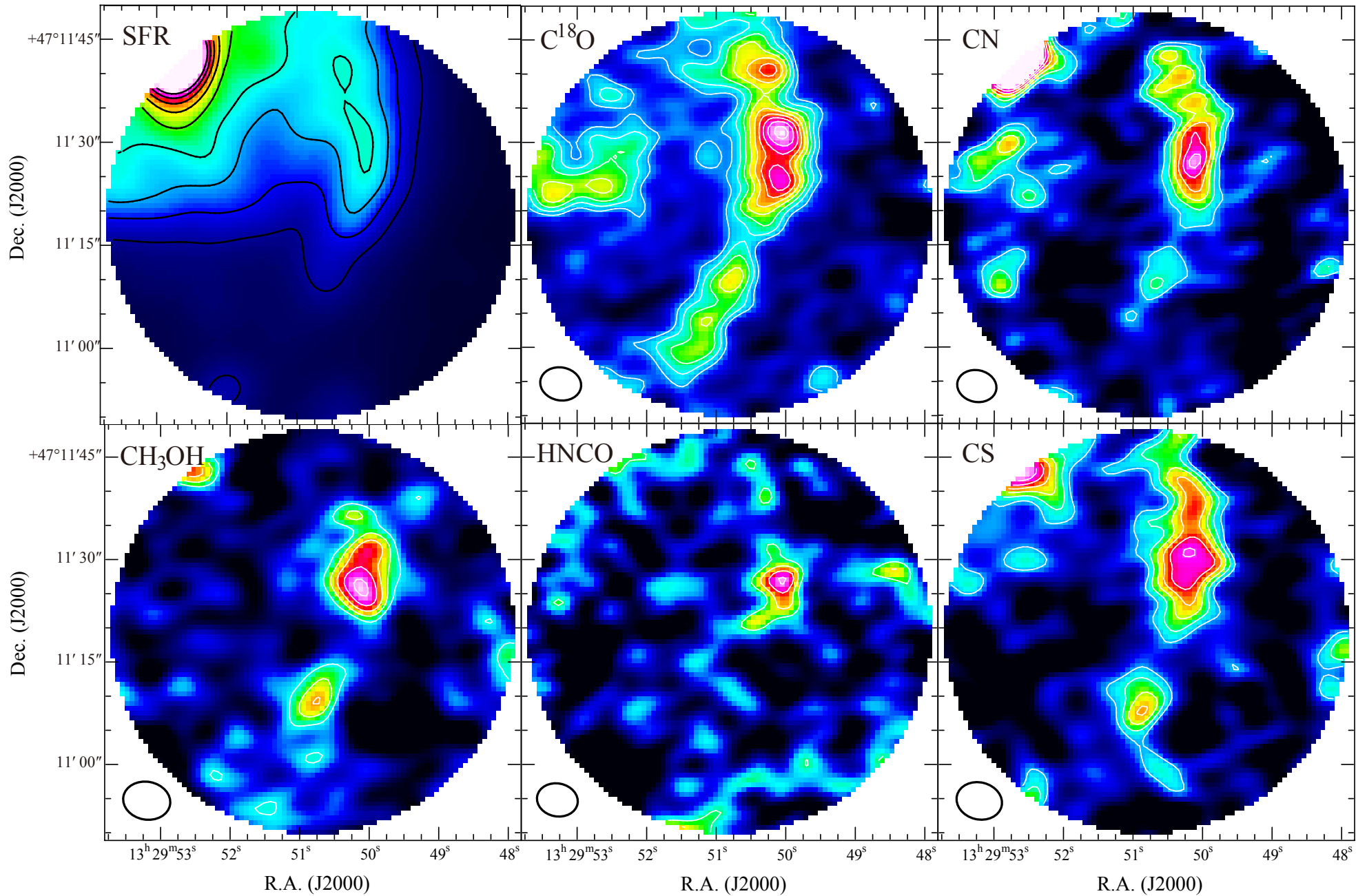
H^{13}CO^+ , CCH, HNCO, HCN, HCO^+ , HNC, N_2H^+ , C^{34}S ,
 CH_3OH , CS, SO, C^{18}O , ^{13}CO , C^{17}O , CN, CO, H_2CO



Rest Frequency (GHz)

Watanabe et al. 2014

渦状腕上の分子の分布



THz帯での近傍銀河観測

GMCスケールの化学組成の起源

- 基本的な原子・分子の化学組成
- 化学モデルとの比較

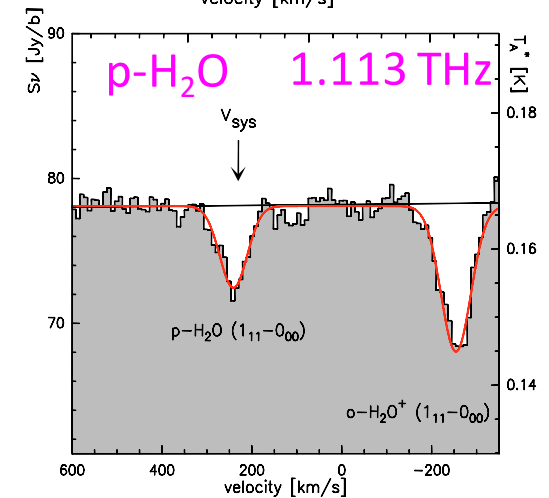
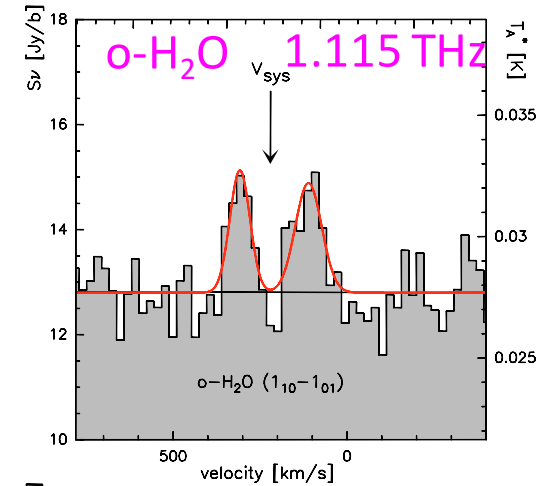
銀河中心核(AGN,SB)の化学組成

- 超高密度トレーサ

渦状腕上でのGMC形成・進化

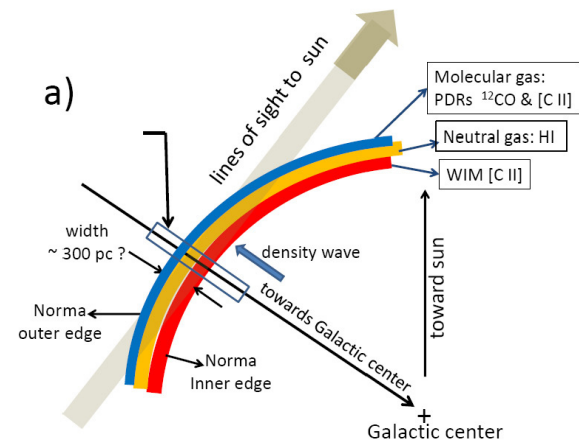
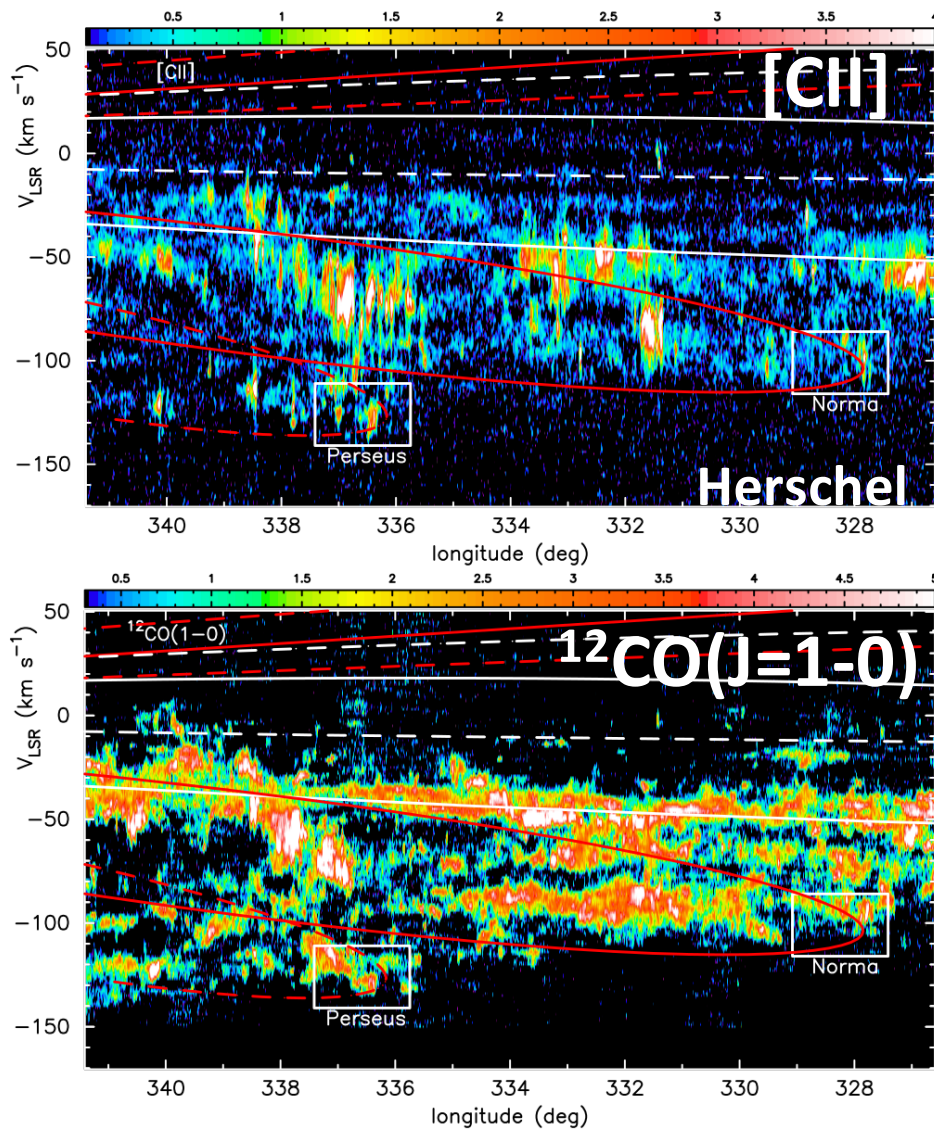
- Atomic Lineの観測
- 重水素濃縮度
- H_2 や H_2D^+ のオルソ・パラ比

H_2O in M82

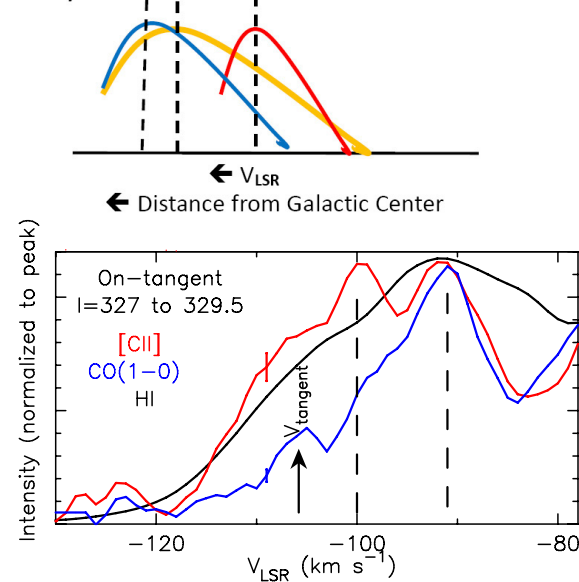


Weiß et al. 2010

Atomic Lineと渦状腕上のGMC形成



b) Tangent Emission - V_{LSR} spectra



Velusamy et al. 2015

系外銀河の渦状腕で密度波理論の検証も！

THz天文学の方向性

南極テラヘルツ望遠鏡は科学的に面白い

ヘテロダイン分光機能が重要

- 星間物質の観測

10 m クラスの望遠鏡が望ましい

- c.f. Herschel: 3.5 m, SOFIA: 2.5 m

- 吸収線に対する感度

- 高密度領域に対する感度