

原始惑星系円盤のメタノール メーカーサーベイ提案



国立天文台チリ観測所 秋山永治

共同研究者: 杉山孝一郎、米倉覚則、廣田朋也、元木業人、藤沢健太

2017年11月3-4日 VERA User's Meeting

6.7 GHzメタノールメーザーの理解1

6.7 GHzメタノールメーザーは大質量星のみに付随する。

Monthly Notices

of the

ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY

MNRAS **435**, 524–530 (2013)

Advance Access publication 2013 August 13



doi:10.1093/mnras/stt1315

研究例1

Confirmation of the exclusive association between 6.7-GHz methanol masers and high-mass star formation regions

S. L. Breen,^{1★} S. P. Ellingsen,² Y. Contreras,¹ J. A. Green,¹ J. L. Caswell,¹
J. B. Stevens,³ J. R. Dawson² and M. A. Voronkov¹

¹CSIRO Astronomy and Space Science, Australia Telescope National Facility, PO Box 76, Epping, NSW 1710, Australia

²School of Mathematics and Physics, University of Tasmania, Private Bag 37, Hobart, Tasmania 7001, Australia

³CSIRO Astronomy and Space Science, Australia Telescope National Facility, Locked Bag 194, Narrabri, NSW 2390, Australia

Accepted 2013 July 16. Received 2013 July 16; in original form 2013 May 25

ABSTRACT

Recently, a comparison between the locations of 6.7-GHz methanol masers and dust continuum emission has renewed speculation that these masers can be associated with evolved stars. The implication of such a scenario would be profound, especially for the interpretation of large surveys for 6.7-GHz masers, individual studies where high-mass star formation has been inferred from the presence of 6.7-GHz methanol masers and for the pumping mechanisms of these masers. We have investigated the two instances where 6.7-GHz methanol masers have been explicitly suggested to be associated with evolved stars, and we find the first to be associated with a standard high-mass star formation region, and the second to be a spurious detection. We also find no evidence to suggest that the methanol maser action can be supported in the environments of evolved stars. We thereby confirm their exclusive association with high-mass star formation regions.

6.7 GHzメタノールメーザーの理解1

6.7 GHzメタノールメーザーは大質量星のみに付随する。

Monthly Notices
of the
ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY

MNRAS **435**, 524–530 (2013)
Advance Access publication 2013 August 13

doi:10.1093/mnras/stt1315

研究例1

Confirmation of the exclusive association between 6.7-GHz methanol masers and high-mass star formation regions

S. L. Breen,^{1★} S. P. Ellingsen,² Y. Contreras,¹ J. A. Green,¹ J. L. Caswell,¹
J. B. Stevens,³ J. R. Dawson² and M. A. Voronkov¹

¹CSIRO Astronomy and Space Science, Australia Telescope National Facility, PO Box 76, Epping, NSW 1710, Australia
²School of Mathematics and Physics, University of Tasmania, Private Bag 37, Hobart, Tasmania 7001, Australia
³CSIRO Astronomy and Space Science, Australia Telescope National Facility, Locked Bag 194, Narrabri, NSW 2390, Australia

Accepted 2013 July 16. Received 2013 July 16; in original form 2013 May 25

We thereby confirm their exclusive association with high-mass star formation regions.

of these masers. We have investigated the two instances where 6.7-GHz methanol masers have been explicitly suggested to be associated with evolved stars, and we find the first to be associated with a standard high-mass star formation region, and the second to be a spurious detection. We also find no evidence to suggest that the methanol maser action can be supported in the environments of evolved stars. We thereby confirm their exclusive association with high-mass star formation regions.

6.7 GHzメタノールメーザーの理解2

6.7 GHzメタノールメーザーは大質量星のみに付随する。

A&A 485, 729–734 (2008)
DOI: [10.1051/0004-6361:200809472](https://doi.org/10.1051/0004-6361:200809472)
© ESO 2008

研究例2

**Astronomy
&
Astrophysics**

A high-sensitivity 6.7 GHz methanol maser survey toward H₂O sources[★]

Y. Xu^{1,2}, J. J. Li³, K. Hachisuka³, J. D. Pandian¹, K. M. Menten¹, and C. Henkel¹

¹ Max-Planck-Institute für Radioastronomie, Auf dem Hügel 69, 53121 Bonn, Germany
e-mail: xuye@mpi-fr-bonn.mpg.de

² Purple Mountain Observatory, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, PR China

³ Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 20030, PR China

Received 28 January 2008 / Accepted 6 March 2008

ABSTRACT

We present the results of a high sensitivity survey for 6.7 GHz methanol masers towards 22 GHz water masers using the 100 m Effelsberg telescope. A total of 89 sources were observed and 10 new methanol masers were detected. The new detections are relatively faint with peak flux densities of between 0.5 and 4.0 Jy. **A nil detection rate from low-mass star forming regions enhances the conclusion that the masers are only associated with massive star formation.** Even the faintest methanol maser in our survey, with a luminosity of $1.1 \times 10^{-9} L_{\odot}$, is associated with massive stars, as inferred from its infrared luminosity.

6.7 GHzメタノールメーザーの理解2

6.7 GHzメタノールメーザーは大質量星のみに付随する。

A&A 485, 729–734 (2008)
DOI: [10.1051/0004-6361:200809472](https://doi.org/10.1051/0004-6361:200809472)
© ESO 2008

研究例2

**Astronomy
&
Astrophysics**

A high-sensitivity 6.7 GHz methanol maser survey toward H₂O sources[★]

Y. Xu^{1,2}, J. J. Li³, K. Hachisuka³, J. D. Pandian¹, K. M. Menten¹, and C. Henkel¹

¹ Max-Planck-Institute für Radioastronomie, Auf dem Hügel 69, 53121 Bonn, Germany
e-mail: xuye@mpi-fr-bonn.mpg.de

² Purple Mountain Observatory, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, PR China

³ Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 20030, PR China

Received 28 January 2008 / Accepted 6 March 2008

A nil detection rate from low-mass star forming regions ...
the masers are only associated with massive star formation.

過去の観測 IRAS 22198+6336

光度/質量

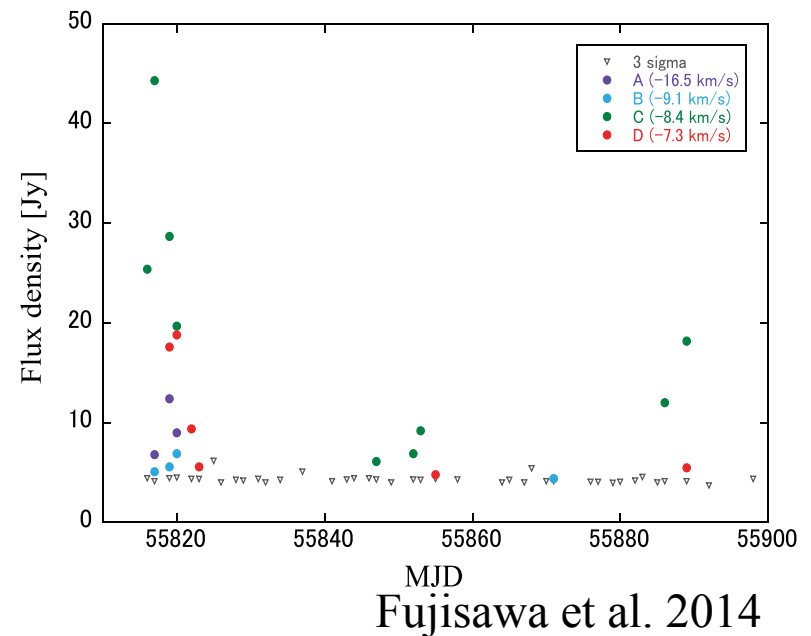
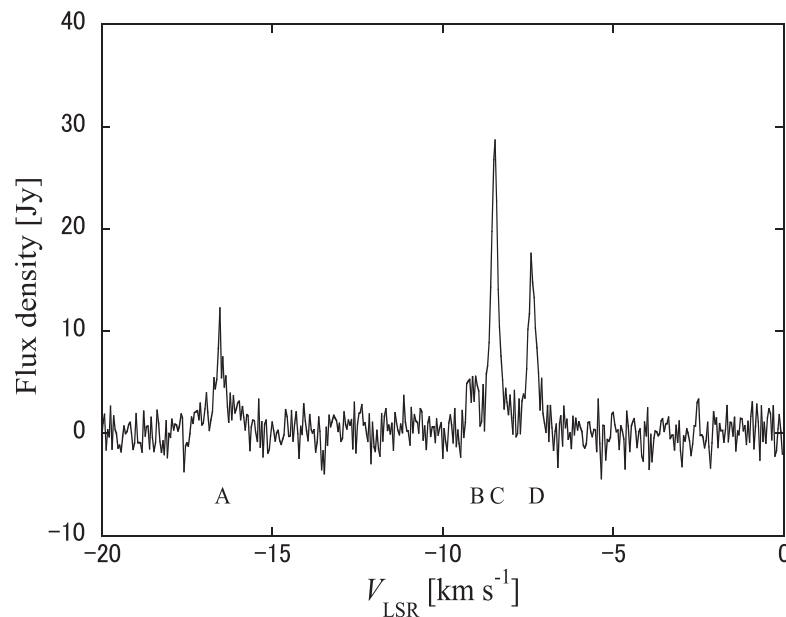
450 L_{\odot} , 7 M_{\odot} (Hirota et al. 2008)

370 L_{\odot} , 5 M_{\odot} (Sanchez-Monge et al. 2010)

距離 764 ± 27 pc (Hirota et al. 2008)

変動周期 34.6日 (This Work)

最大/最小値 40 Jy, 1.3 Jy 以下 (This Work)



Fujisawa et al. 2014

過去の観測 G 014.23-00.50

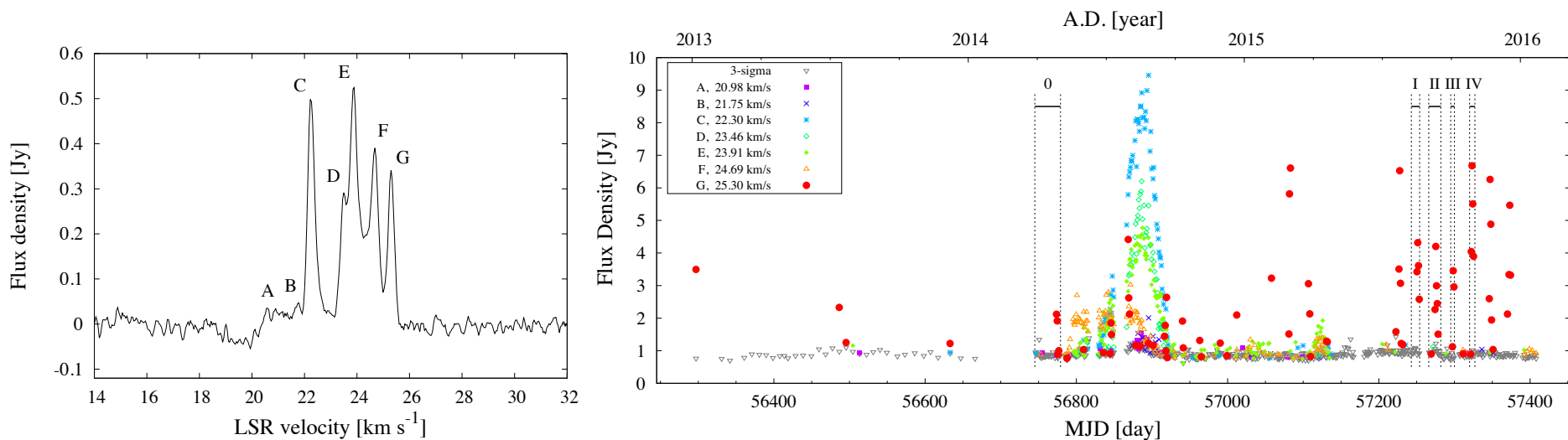
質量 $3.3 M_{\odot}$ (Povich & Whitney 2010)

注) 下限値であることに注意

距離 ~ 2 kpc (Xu et al. 2011)

変動周期 23.9日 (This Work)

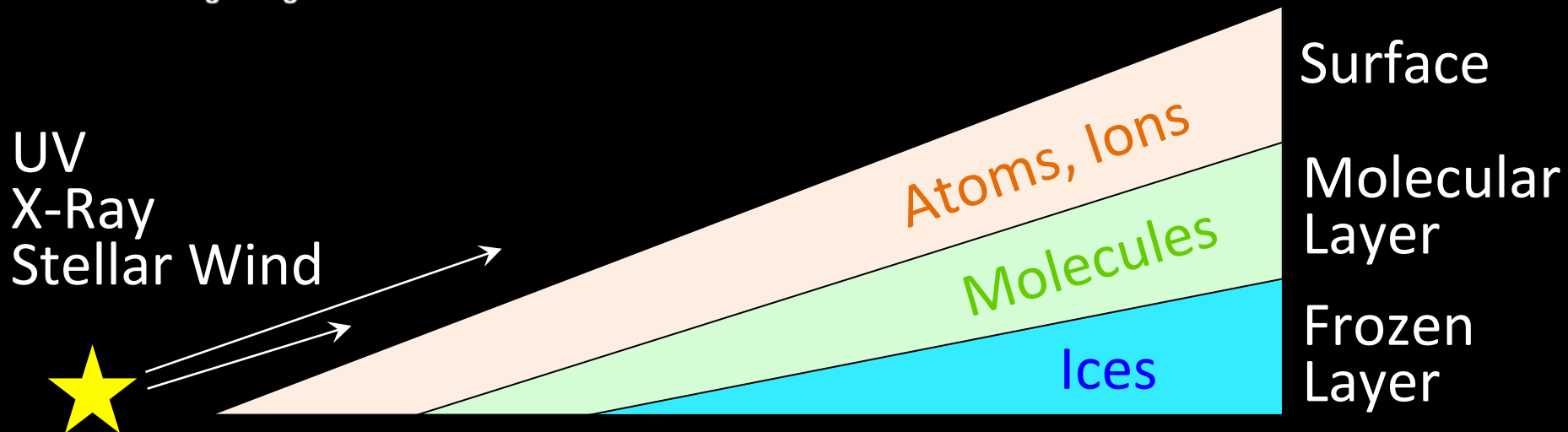
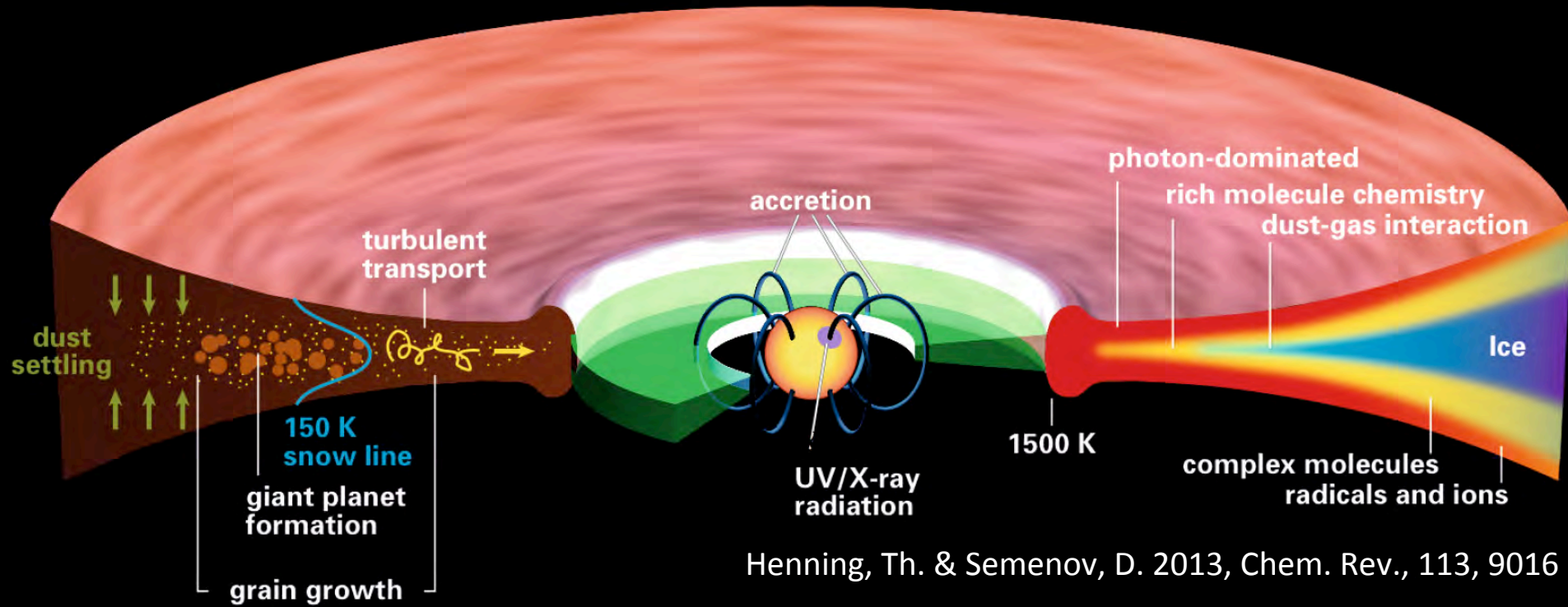
最大/最小値 180 Jy / 0.9 Jy 以下 (This Work)



Sugiyama et al. 2017

小質量星にも付随する可能性が得られた。

原始惑星系円盤の概要

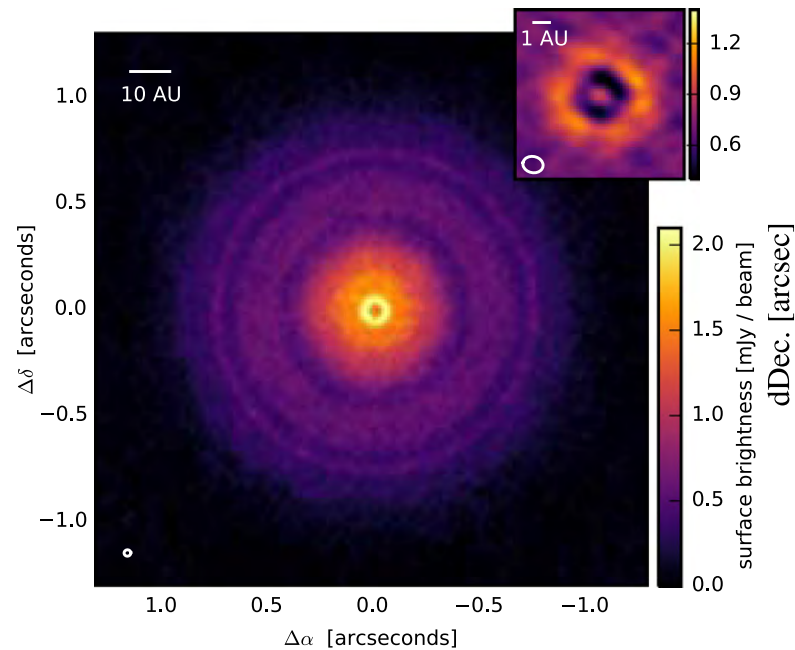


TW Hya

ALMA Long Baseline Observations

$d = 59 \text{ pc}$, $M_* = 0.8 M_\odot$, $i = 7^\circ$, $\phi = 335^\circ$, Age = 7 - 10 Myr

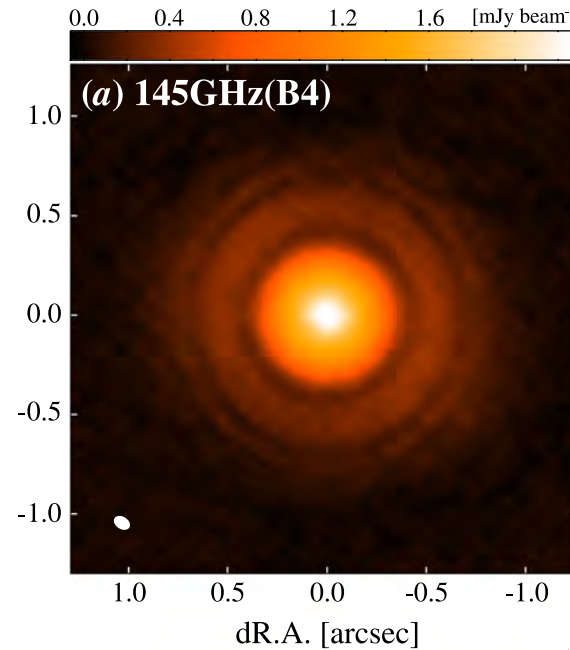
Band 7 (350GHz)



res. 24 x 18 mas

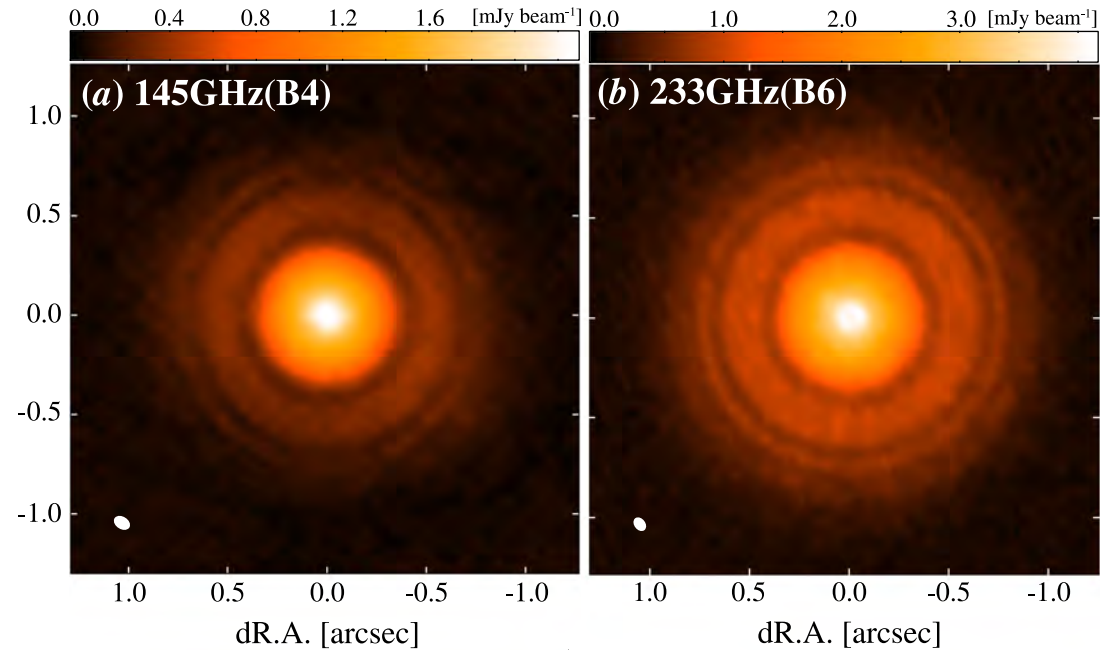
Andrews et al. 2016

Band 4 (145GHz)



res. 88 x 61 mas

Band 6 (233GHz)

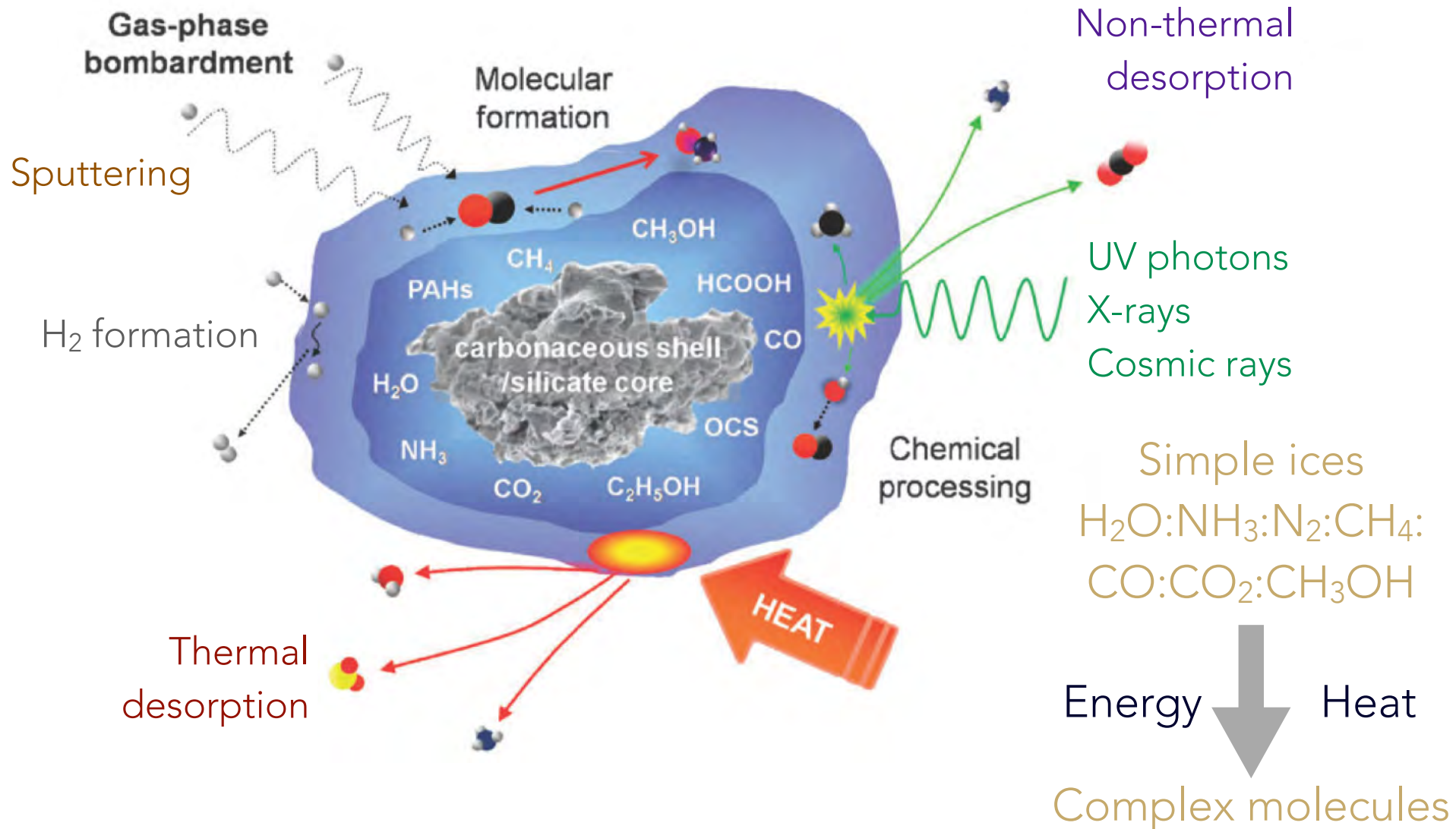


res. 75 x 55 mas

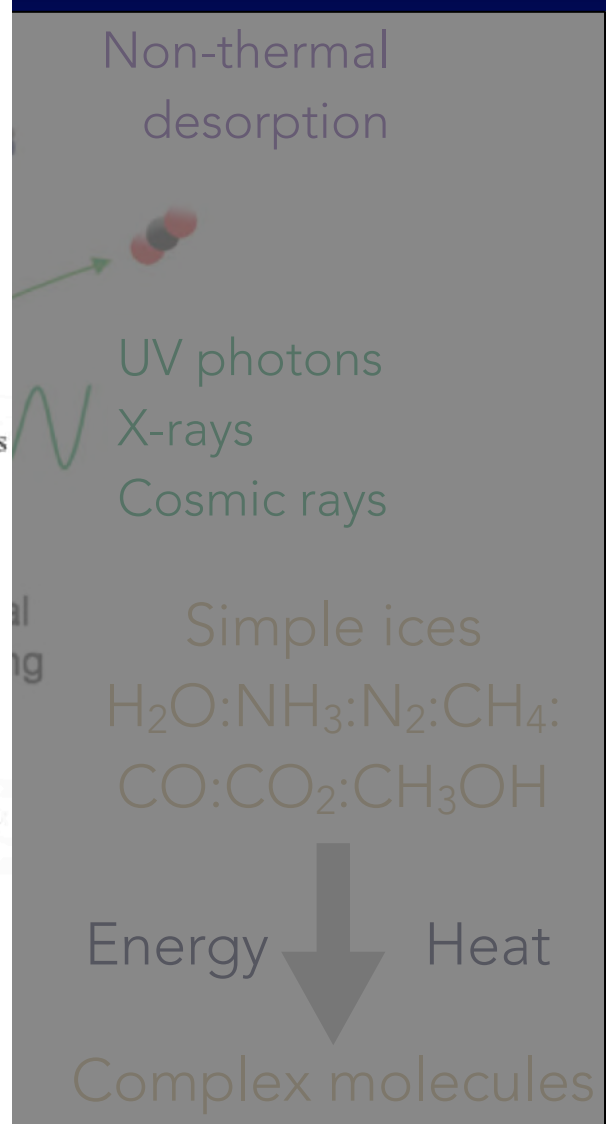
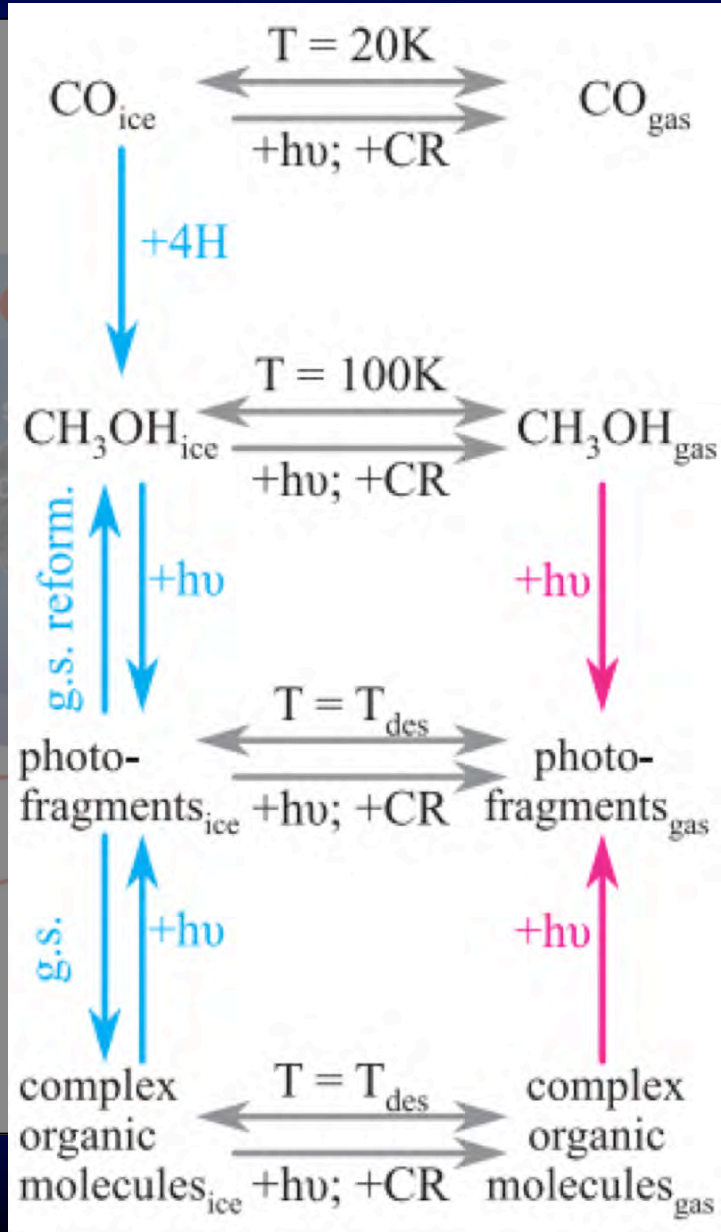
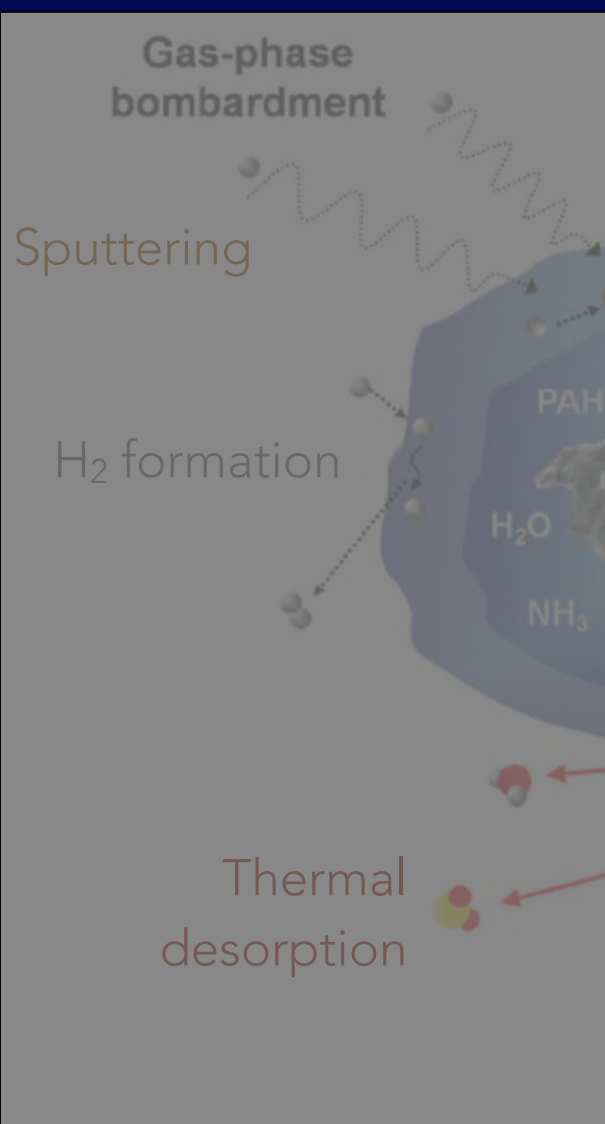
Tsukagoshi et al. 2016

ダストが豊富に存在する

メタノールガスの主な起源 1

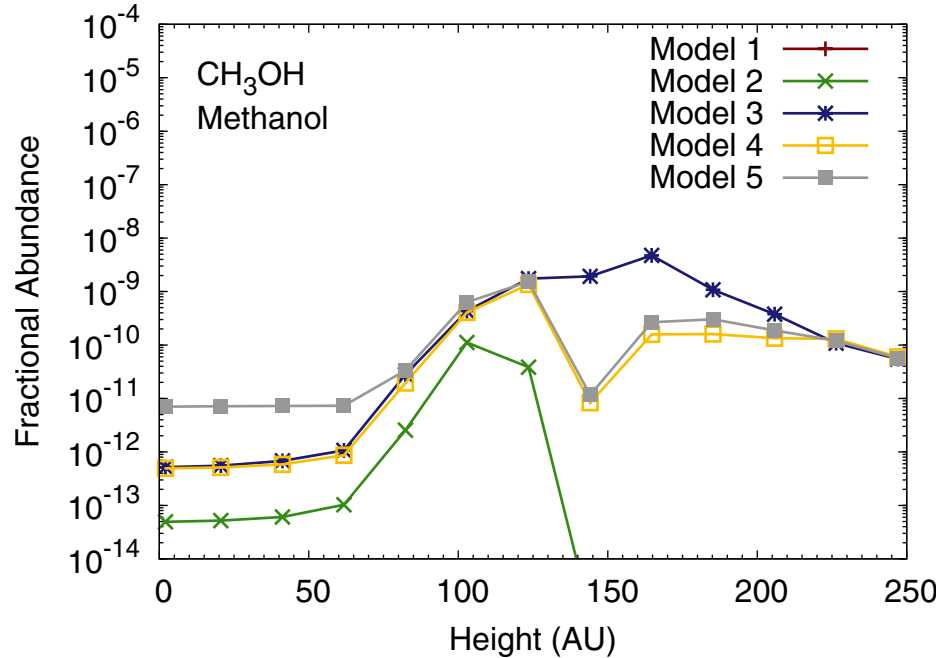


メタノールガスの主な起源 2



メタノールの理論研究 1

水素(原子)に対するメタノールの存在比分布



- Model 1: 凍結、熱脱離 (適用外)
- Model 2: 非熱的脱離(UV、宇宙線など)
- Model 3: Model 2 +
ダスト表面化学反応
- Model 4: Model 3 +
個体(ice)からの破壊的脱離
- Model 5: Model 4 +
化学反応脱離

各有機分子の柱密度(cm^{-2})

注) $a(b) = a \times 10^b$

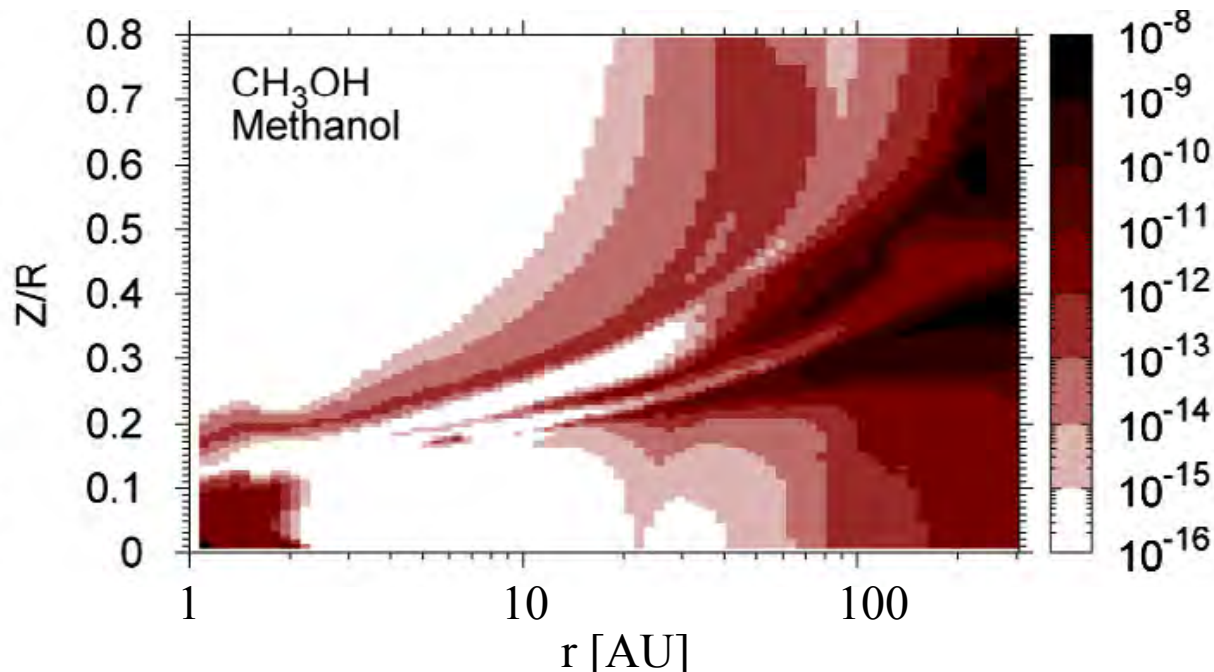
Species		Gas phase				Grain surface			
		10 AU	30 AU	100 AU	305 AU	10AU	30 AU	100 AU	305 AU
Formaldehyde	H ₂ CO	3.7(12)	5.1(13)	1.5(12)	8.3(12)	6.7(09)	6.4(18)	3.4(17)	6.0(17)
Methanol	CH ₃ OH	1.0(09)	2.2(11)	5.8(12)	1.7(13)	2.3(18)	8.4(17)	1.1(18)	8.8(17)
Formic acid	HCOOH	8.1(10)	7.5(11)	9.1(12)	8.2(12)	1.1(18)	2.4(17)	1.1(17)	3.3(16)
Cyanoacetylene	HC ₃ N	2.0(12)	6.9(11)	2.1(11)	9.8(10)	1.7(18)	1.3(15)	8.2(12)	5.5(12)
Acetonitrile	CH ₃ CN	5.5(12)	2.9(12)	6.9(11)	4.1(11)	1.2(17)	2.1(17)	2.7(16)	2.0(15)

⋮ 以下省略

Walsh et al. 2014b

メタノールの理論研究 2

水素(原子)に対するメタノールの存在比分布



メタノールガスの存在が示された

Formaldehyde	H ₂ CO	3.7(12)	5.1(13)	1.5(12)	8.3(12)	6.7(09)	6.4(18)	3.4(17)	6.0(17)
Methanol	CH ₃ OH	1.0(09)	2.2(11)	5.8(12)	1.7(13)	2.3(18)	8.4(17)	1.1(18)	8.8(17)
Formic acid	HCOOH	8.1(10)	7.5(11)	9.1(12)	8.2(12)	1.1(18)	2.4(17)	1.1(17)	3.3(16)
Cyanoacetylene	HC ₃ N	2.0(12)	6.9(11)	2.1(11)	9.8(10)	1.7(18)	1.3(15)	8.2(12)	5.5(12)
Acetonitrile	CH ₃ CN	5.5(12)	2.9(12)	6.9(11)	4.1(11)	1.2(17)	2.1(17)	2.7(16)	2.0(15)

⋮ 以下省略

Walsh et al. 2014b

ALMAによるメタノール観測



ALMAによるメタノール観測

Project No. 2013.1.00902.S

アンテナ数 39

観測日 2015年1月2日

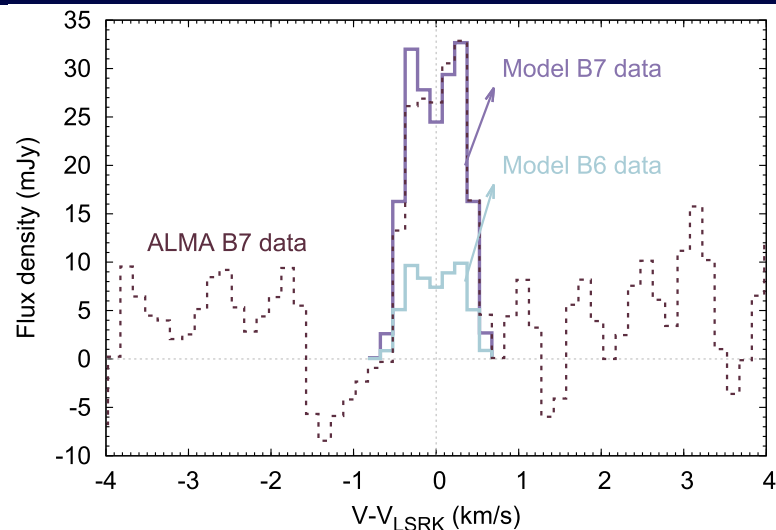
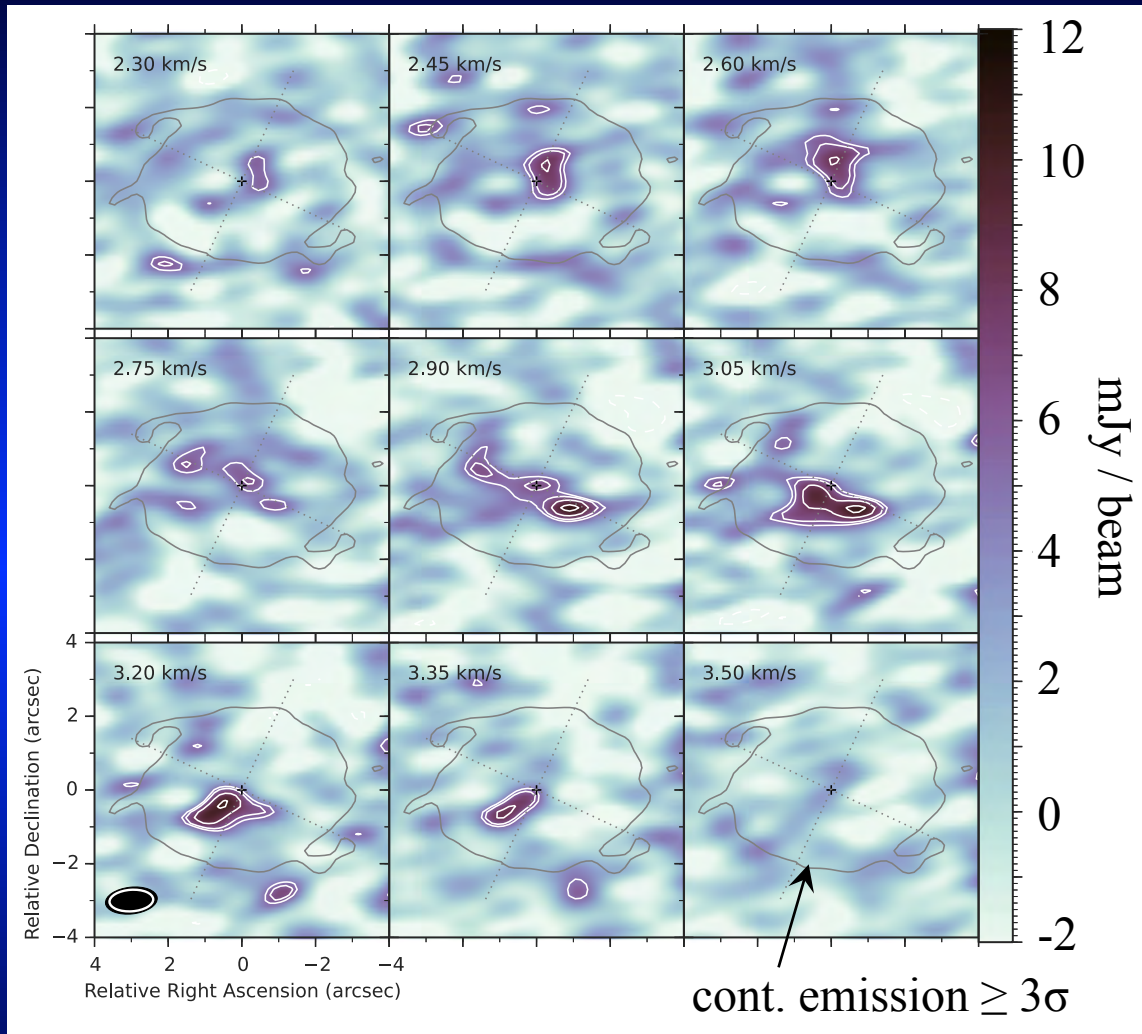
速度分解能 0.12 km/s

Methanol Transitions		
Transition	Frequency (GHz)	Upper Level Energy (K)
Band 7		
2 ₁₁ -2 ₀₂ (A)	304.208	21.6
3 ₁₂ -3 ₀₃ (A)	305.473	28.6
4 ₁₃ -4 ₀₄ (A)	307.166	38.0
8 ₁₇ -8 ₀₈ (A)	318.319	98.8

Band6でメタノール観測(2013.1.00114.S)が行われたが未検出

Methanol Transitions		
Transition	Frequency (GHz)	Upper Level Energy (K)
Band 6		
5 ₀ -4 ₀ (E)	241.700	47.9
5 ₋₁ -4 ₋₁ (E)	241.767	40.4
5 ₀₅ -4 ₀₄ (A)	241.791	34.8

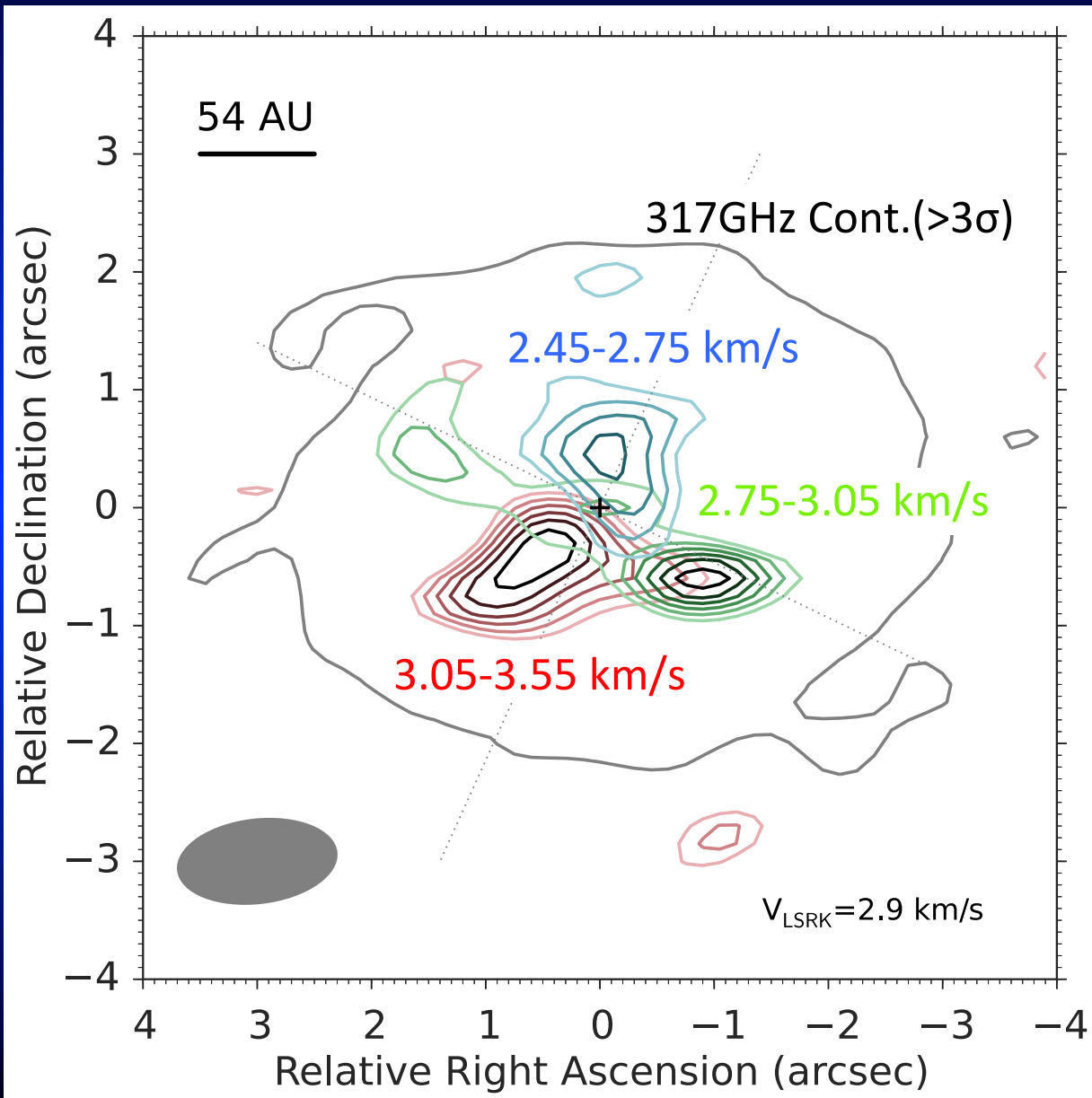
メタノールの観測結果1



左: チャネルマップ
上: ラインプロファイル
 $F_v = 33 \text{ mJy}$
 $S/N = 5.1$
(rms noise = 6.5 mJy)
Integ. time = 43min

- ・メタノール放射のピークと星の位置がずれている(offset)ことから、メタノールガスがリング状に分布していると思われる。
- ・ 3σ 以上の放射が星の位置にも検出されている。

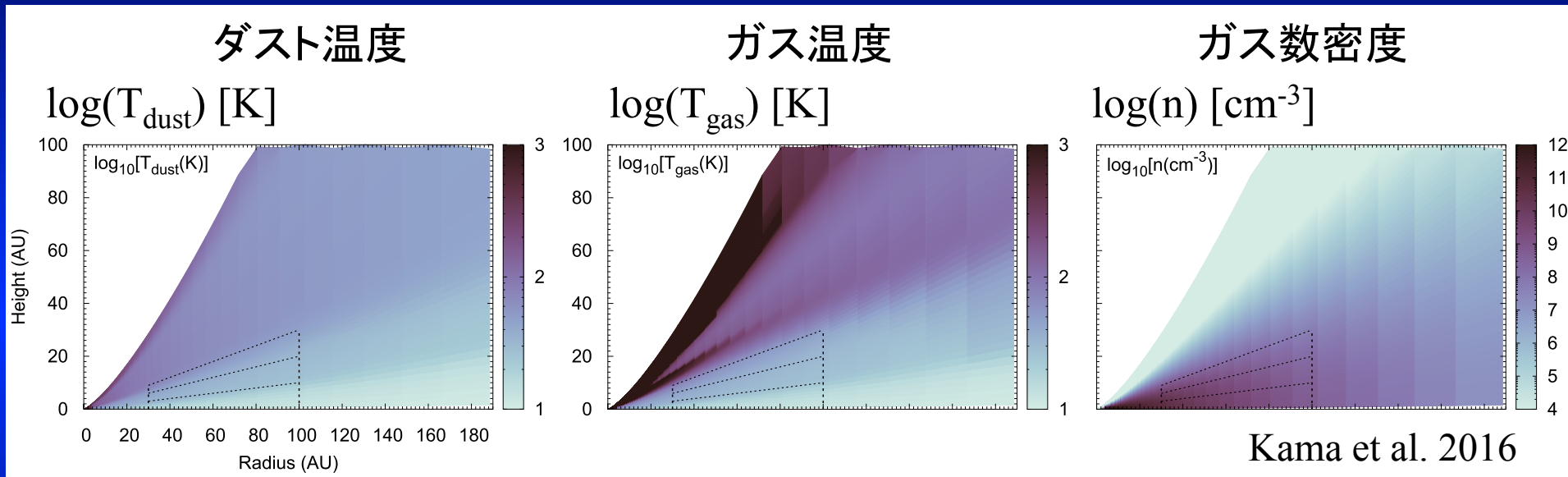
メタノールの観測結果2



メタノールの観測3

TW Hya円盤の温度や数密度の2次元分布

SEDやCO, CI輝線のALMAやハーシェルの観測結果を再現



鉛直方向は3つ領域に区切り観測量への影響を調べている。

H_2 に対するメタノールの存在比 (Walsh et al. 2016)

$$n_{\text{CH}_3\text{OH}} / n_{\text{H}_2} = 3 \times 10^{-12} \sim 4 \times 10^{-11}$$

メタノールメーザー温度密度環境 (Cragg et al. 2005)

温度範囲: 100 – 300 K

密度範囲: $10^4 - 10^9 \text{ cm}^{-3}$

メタノールメーザー観測提案1

背景

- ・6.7GHzメタノールメーザーは大質量星のみ付随している。
- ・近年、比較的小さい質量の星形成領域でも検出されている。

目的

小質量星の形成領域における6.7 GHzメタノールメーザーの存在の検証

ex. 原始惑星系円盤、原始星

ターゲット: 質量 $1-2M_{\odot}$ の若い星

TW Hya ($0.8M_{\odot}$)	59pc	Class II
IRAS 16293-2422 ($1M_{\odot}\times 2$)	120pc	Class 0
MWC 480 ($2.3M_{\odot}$)	145pc	Class II
HD163296 ($2.3M_{\odot}$)	122pc	Class II
AB Aur ($2.4M_{\odot}$)	144pc	Class II

メタノールメーザー観測提案2

モニター観測

- ・メタノールメーザーは周期変動をする。
- ・変光の場合、短周期の可能性が考えられる。

P-L relation

- ・5日間隔で期間2、3ヶ月程度
感度よりも特にタイムレゾリューションを考慮。
過去の観測から、数Jyの強度が見込まれる。

メタノールメーザー観測提案3

期待される成果

検出の場合

- ・小質量星でもメーザー発生環境を有することが示せる。
- ・小質量星の場合、物理量や物理環境が比較的よく理解されているので、メーザーの発生機構に制限が与えられる可能性がある。
- ・大質量星のトレーサーとして考えられているが、再考の必要性を示すことができる。

未検出の場合

- ・メーザーの発生機構に制限が与えられる可能性がある。
(上と同じ)