

惑星系形成領域の有機物進化

相川祐理 (筑波大学計算科学研究センター)

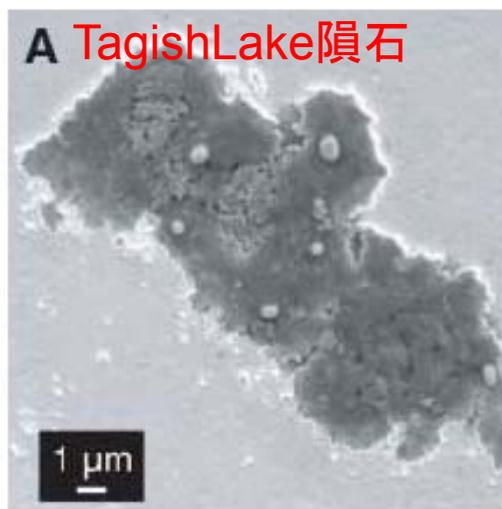
collaborators:

Kenji Furuya (JSPS fellow, Leiden Observatory)

Yusuke Tsukamoto (riken)

Haruaki Yoneda (Kobe Univ)

星・惑星系形成領域の有機物：太陽系始原物質

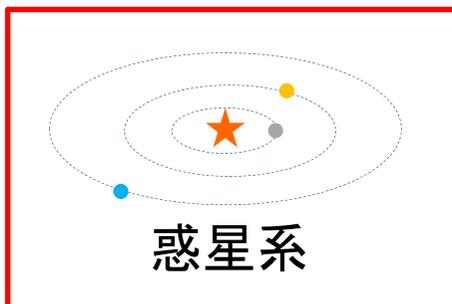


A TagishLake隕石

SEM

Class	Concentration (ppm)	
	TagishLake	Murchson
Aliphatic hydrocarbons	5	>35
Aromatic hydrocarbons	≥1	15–28
Polar hydrocarbons	n.d.	<120
Carboxylic acids	40.0	>300
Amino acids	<0.1	60
Hydroxy acids	b.d.	15
Dicarboxylic acids	17.5	>30
Dicarboximides	5.5	>50
Pyridine carboxylic acids	7.5	>7
Sulfonic acids	≥20	67

TagishLake Murchson



惑星系

<

重水素濃縮
¹⁵N濃縮

} 星間起源?

星・惑星系形成領域の有機物：観測

大型有機分子@原始星

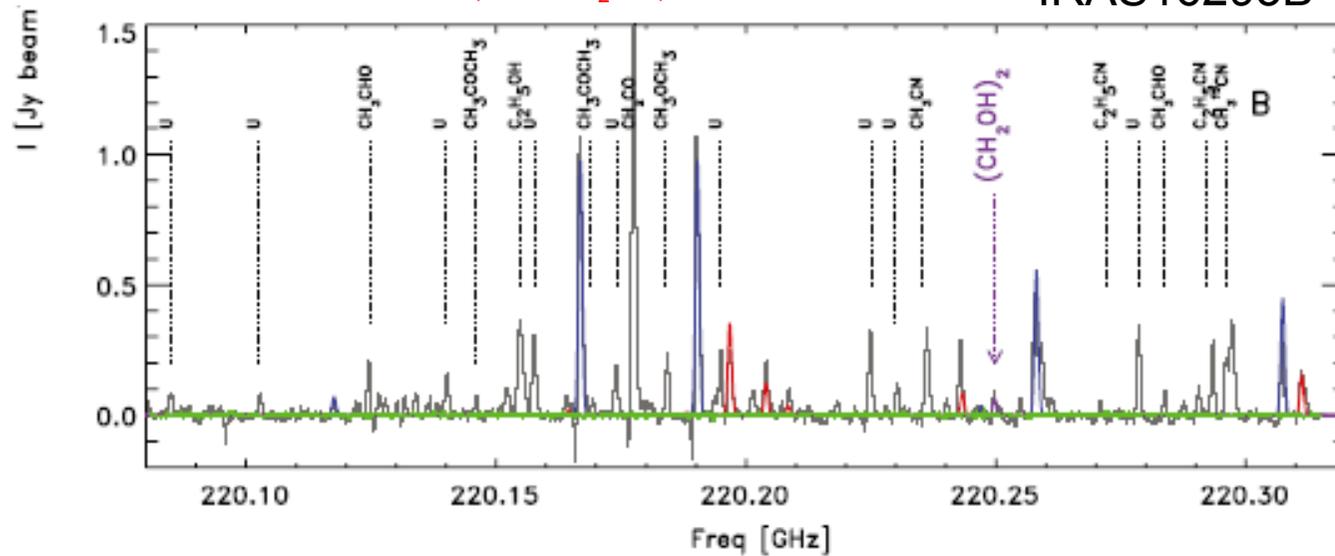
$$n(\text{ギ酸メチル})/n_{\text{H}} \sim 8 \times 10^{-8}$$

$$n(\text{グリコールアルデヒド})/n_{\text{H}} \sim 6 \times 10^{-9}$$

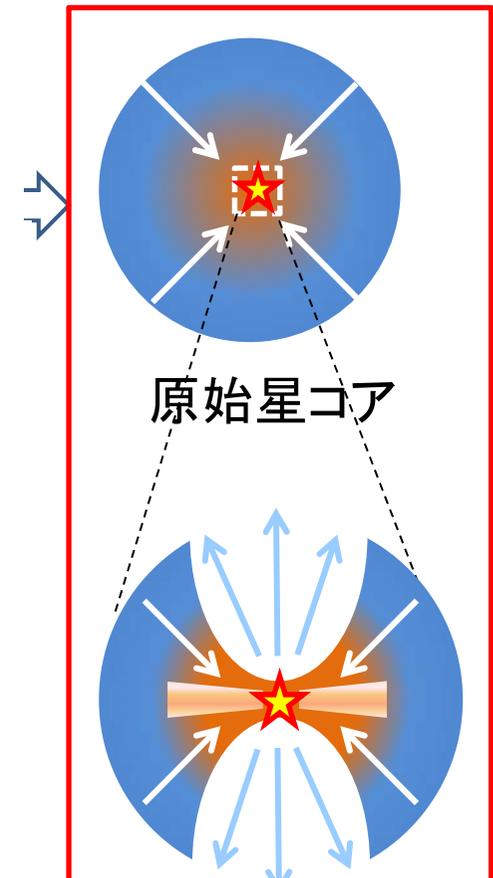
蟻酸メチル

グリコールアルデヒド (HCOCH₂OH)

IRAS16293B



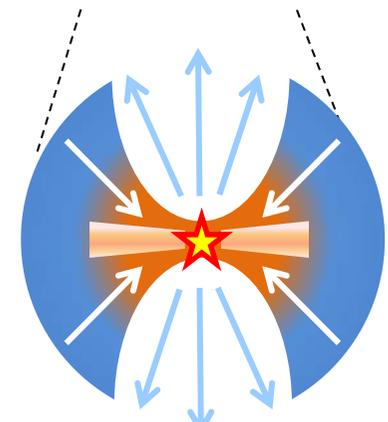
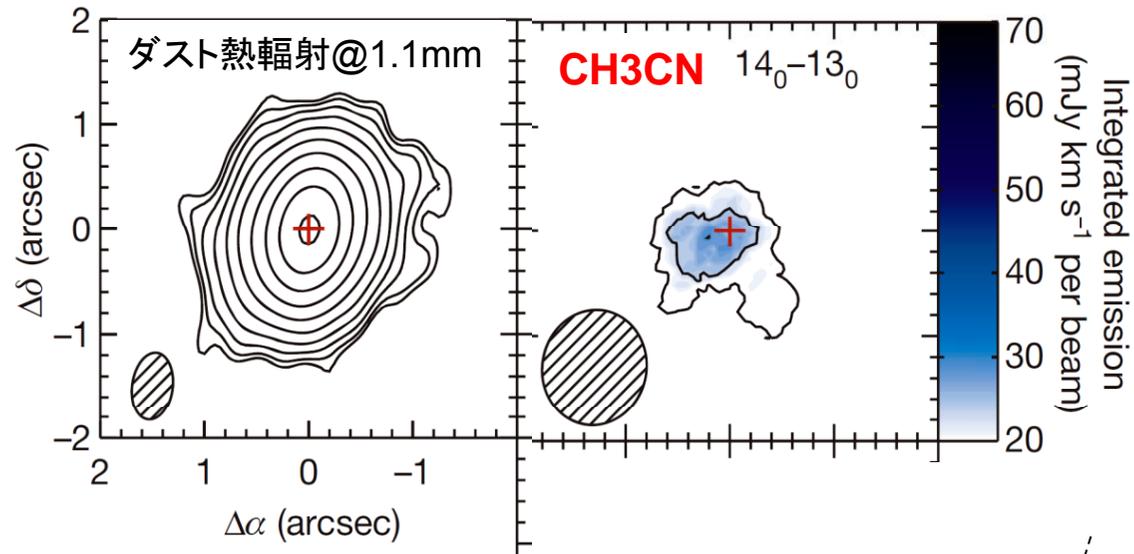
ALMA SV, Jorgensen et al. (2012)



星・惑星系形成領域の有機物：観測

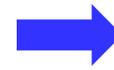
大型有機分子@原始惑星系円盤

MWC480 (Oberg, Furuya, Loomis, YA +15)



星・惑星系形成領域の有機物：星間から惑星系へ

原始星コアでの大型有機分子／Si $\sim 10^{-3}$
隕石中の有機物／Si $\sim 10^{-3} - 10^{-2}$
生物圏の炭素／地球のSi $\sim 10^{-9}$



星間物質は惑星形成において
有機分子の供給源となりうる

星・惑星系形成領域での観測 **気相のみ**
始原物質の分析 **固相のみ**

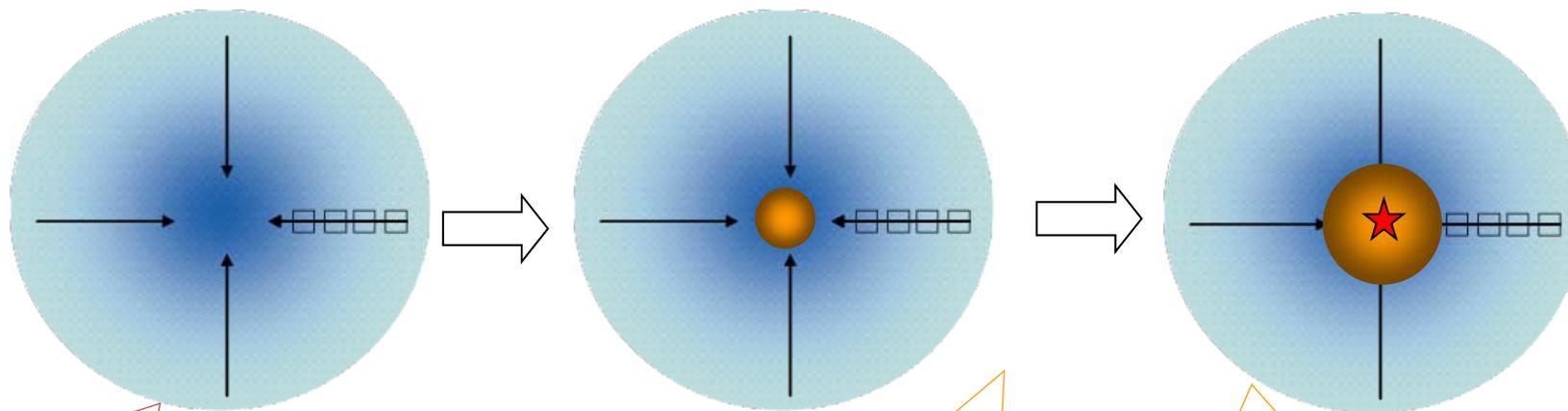


惑星系形成時の物質進化
惑星系形成過程の観測指標

星・惑星系形成領域での気相・固相の組成進化モデル

星形成領域の化学：気相＋固相

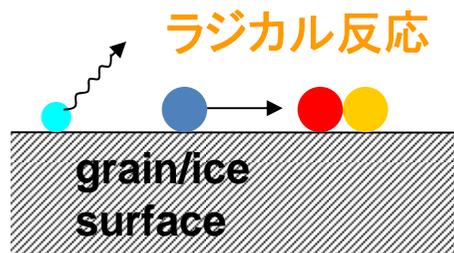
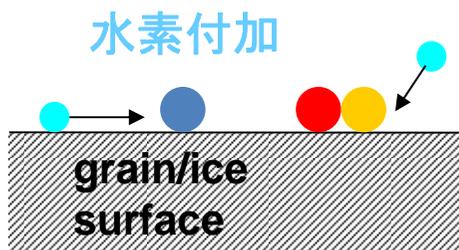
Garrod & Herbst (2006)



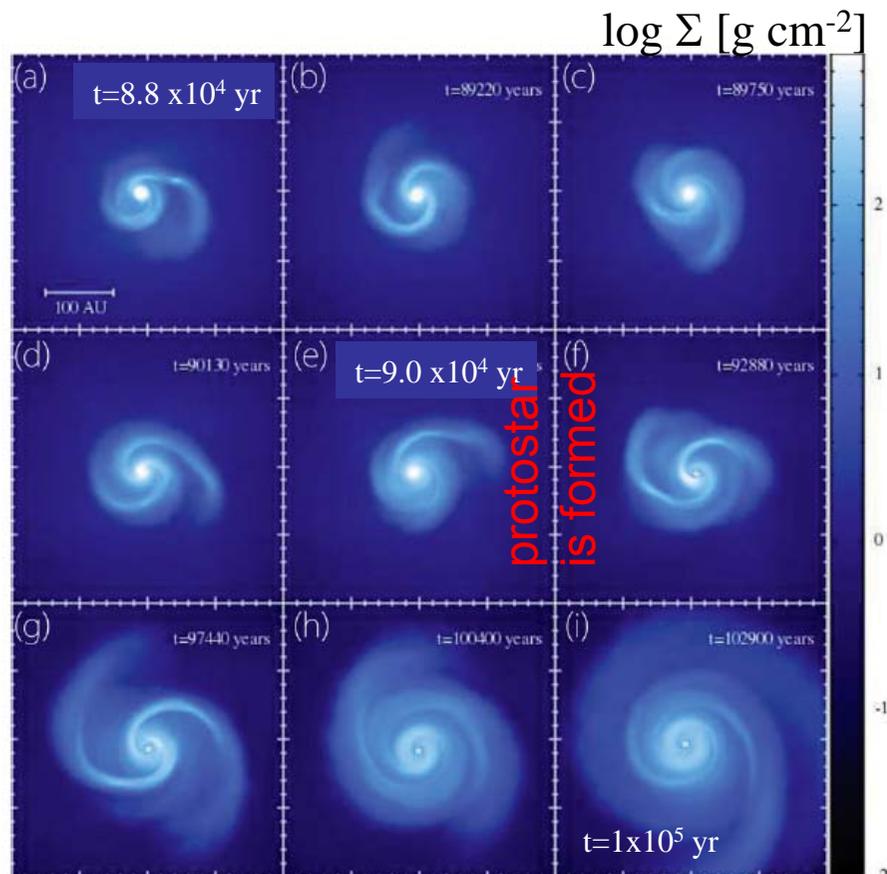
ダスト表面への分子凍結
水素付加
e.g. $\text{CO} \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$
 $T < 20\text{K}$

熱拡散による
ダスト表面反応
 $20\text{K} < T < 100\text{K}$

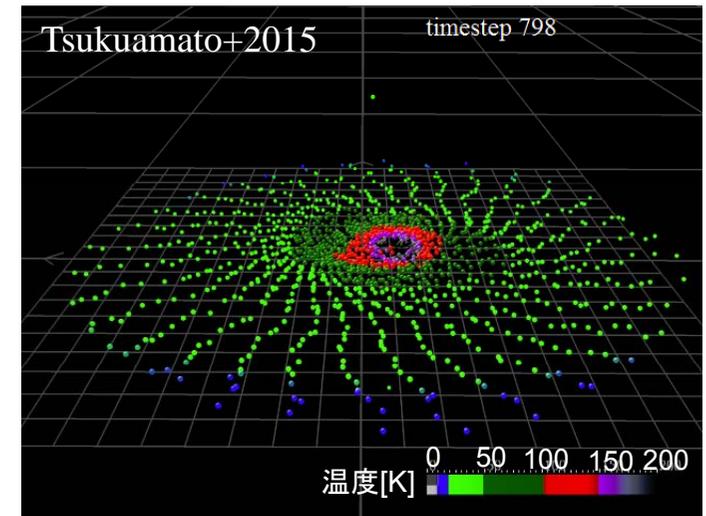
昇華分子同士の気相反応
 $T > 100\text{K}$



円盤形成時の組成進化



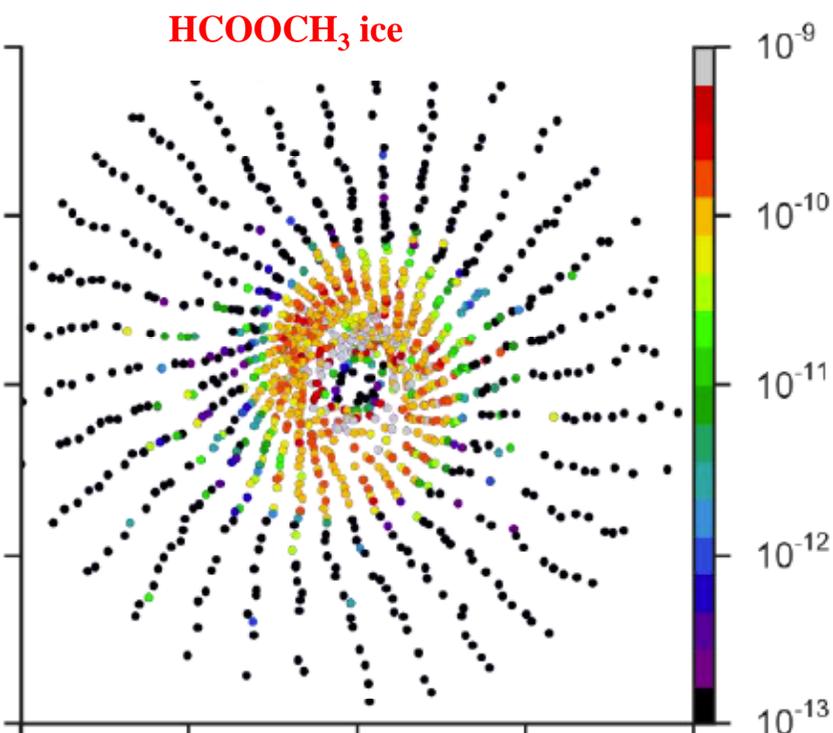
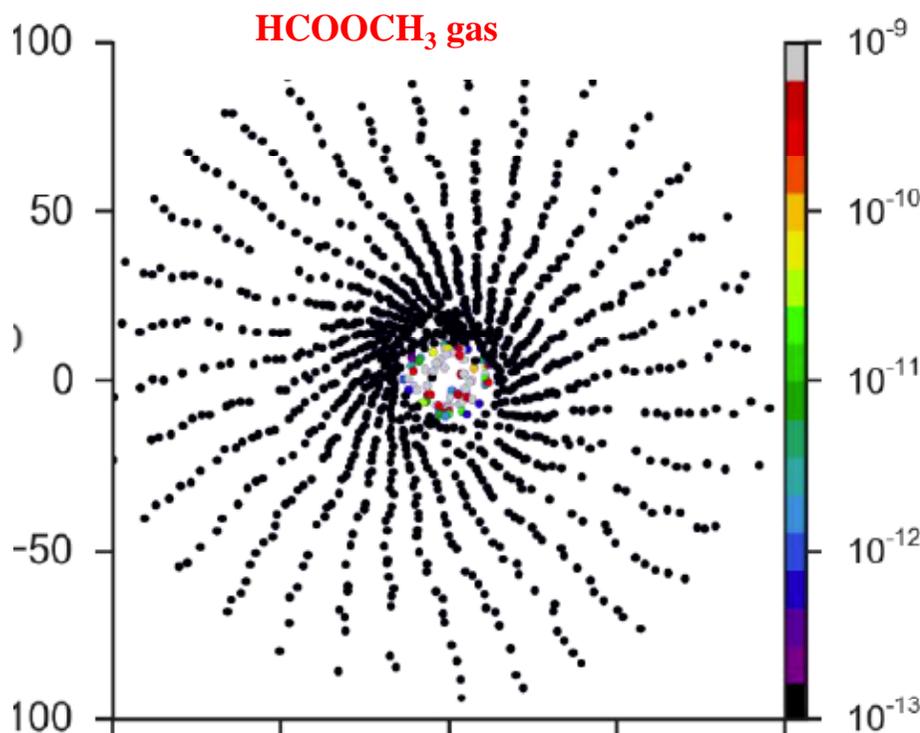
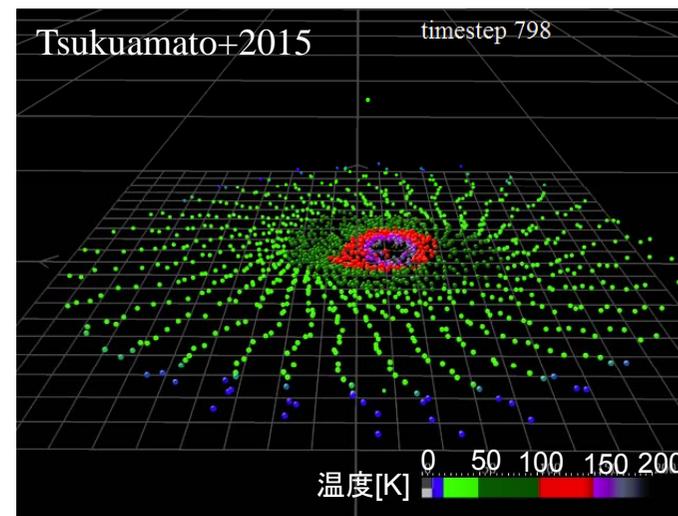
sink 粒子の導入による分子雲から円盤形成
までの輻射流体計算 (Tsukamoto et al. 2015)



cpu time: 数週間 (天文台スパコン)

円盤形成の組成進化

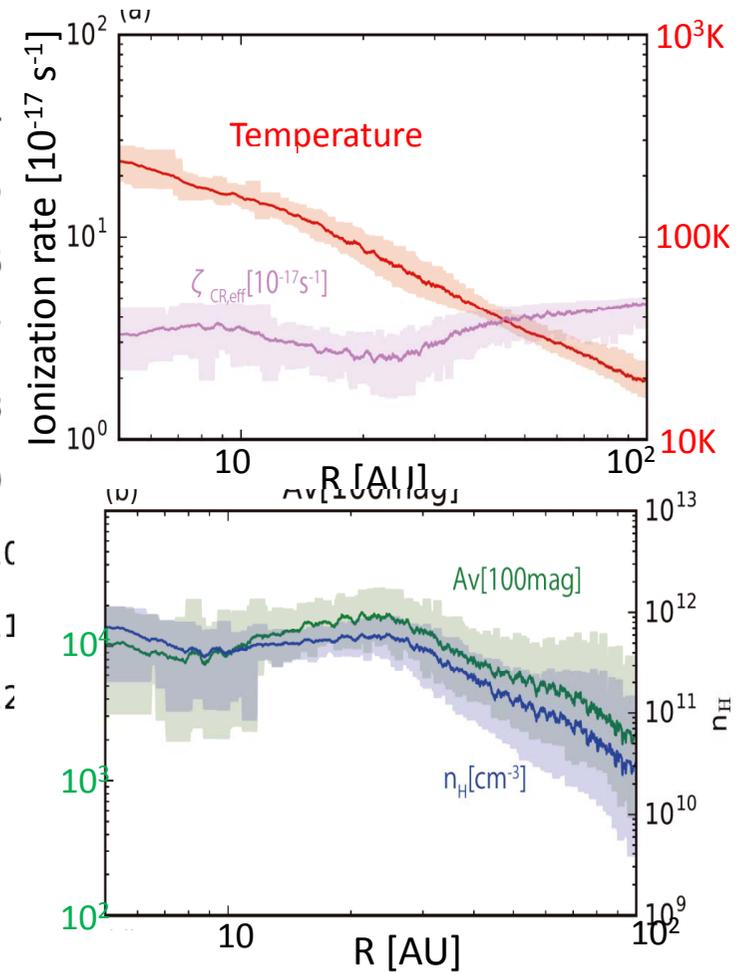
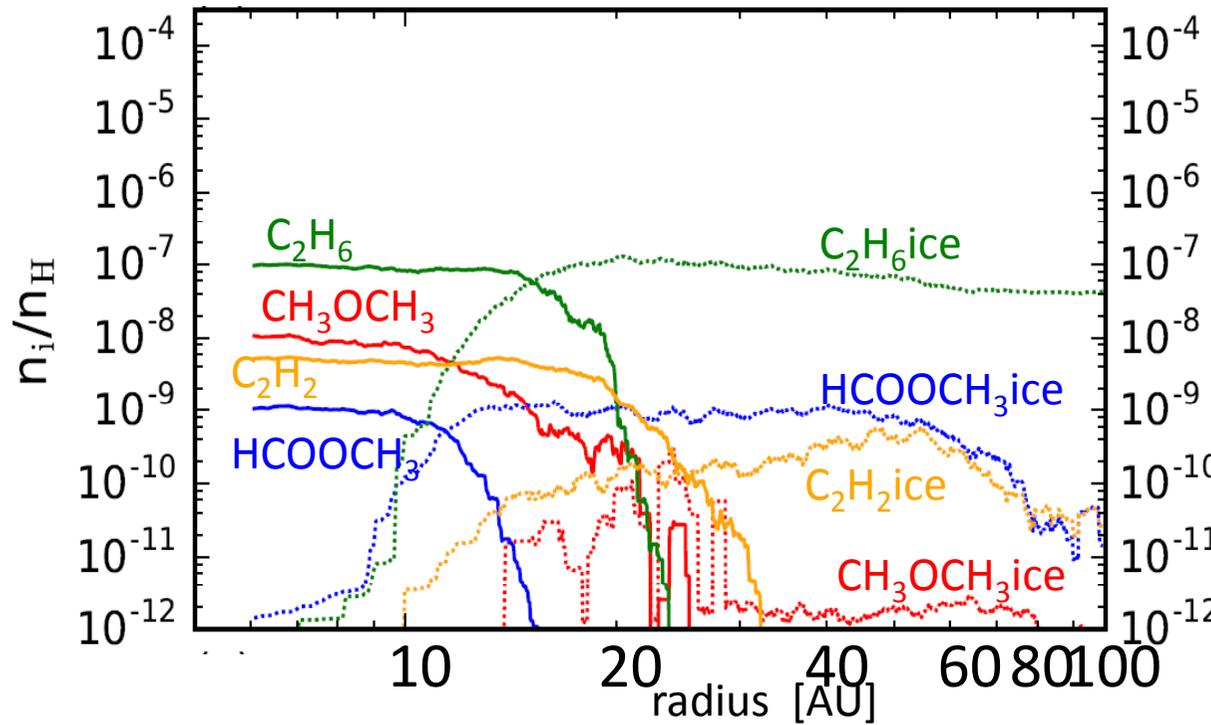
- コアの進化とともに高温領域拡大
- 流体素片内でラジカル反応の効く時間増加
- コア中心での大型有機分子増加



cpu time: 1-2週間 (ワークステーション)

Aikawa et al. (2008; 2012; in prep)
Furuya et al. (2012)

Radial Distribution



ex. peak abundances

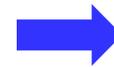
	gas	ice	mother molecule
CH_3OCH_3	10^{-8}	10^{-10}	CH_3OH
$HCOOCH_3$	10^{-9}	10^{-9}	H_2CO
C_2H_6	10^{-7}	10^{-7}	CH_4
C_2H_2	5×10^{-9}	6×10^{-10}	CH_4

More chemical processing than in the first core stage (Furuya+13; Hincelin+14)

• Longer timescale
in warm temperature

星・惑星系形成領域の有機物：星間から惑星系へ

原始星コアでの大型有機分子 / Si $\sim 10^{-3}$
隕石中の有機物 / Si $\sim 10^{-3} - 10^{-2}$
生物圏の炭素 / 地球のSi $\sim 10^{-9}$



星間物質は惑星形成において
有機分子の供給源となりうる

星・惑星系形成領域での観測 **気相のみ**
始原物質の分析 **固相のみ**

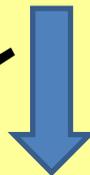


惑星系形成時の物質進化
惑星系形成過程の観測指標

星・惑星系形成領域での気相・固相の組成進化モデル

$$\frac{dn(i)}{dt} = \sum_j \alpha_{ij}(T, F_{UV})n(j) + \sum_{j,k} \beta_{ijk}(T, F_{UV})n(j)n(k)$$

キーリアクション
の抽出



反応ネットワークの
精度向上

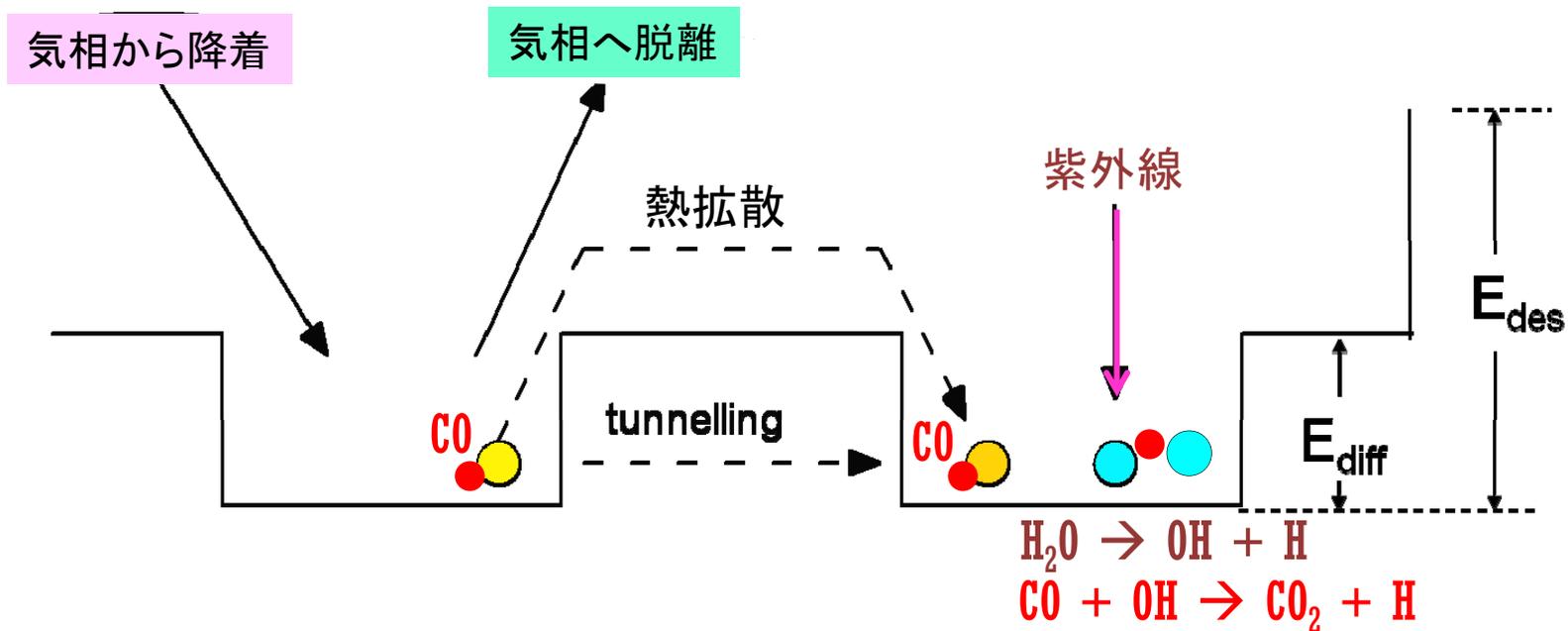


反応素過程の解明：

- －反応速度、活性化エネルギー ← 庄司さん講演
- －ダスト表面反応のkinetics

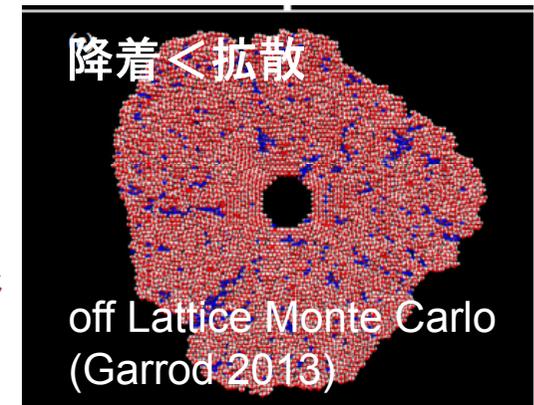
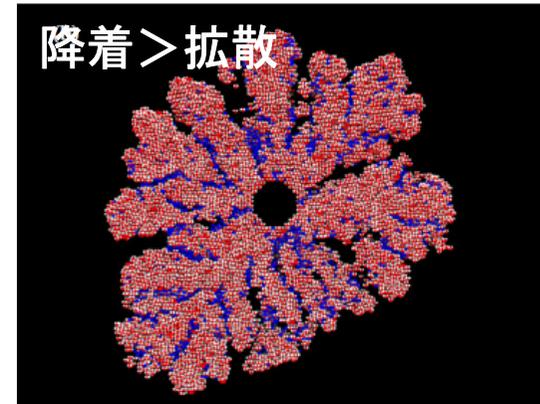
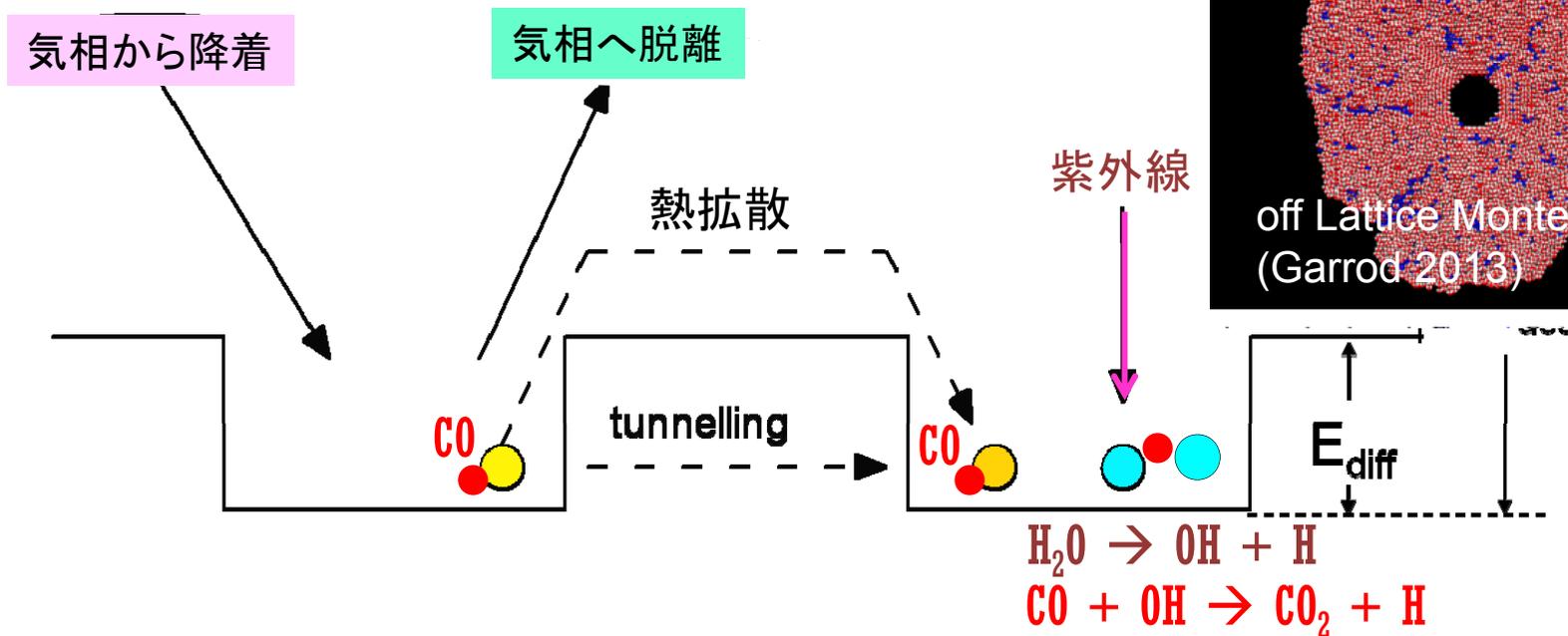
ダスト表面反応のkinetics

- 平均場近似(表面に何個)では不十分
e.g. 隣のサイトにある原子・分子



ダスト表面反応のkinetics

- 平均場近似(表面に何個)では不十分
e.g. 隣のサイトにある原子・分子
- 分子生成 \leftrightarrow 氷マントル表面構造
- Microscopic MonteCarlo
室内実験の解析にも有効



cpu time: 半日 (ワークステーション)

まとめ

星・惑星系形成領域での観測 **気相のみ**
始原物質の分析 **固相のみ**



惑星系形成時の物質進化
惑星系形成過程の観測指標

星・惑星系形成領域での気相・固相の組成進化モデル

$$\frac{dn(i)}{dt} = \sum_j \alpha_{ij}(T, F_{UV})n(j) + \sum_{j,k} \beta_{ijk}(T, F_{UV})n(j)n(k)$$

**キーリアクション
の抽出**



**反応ネットワークの
精度向上**



反応素過程の解明:

- ー 反応速度、活性化エネルギー ← 庄司さん講演
- ー ダスト表面反応のkinetics