

アストロバイオロジーにおける 研究動向とSKAへの期待

国立天文台／総合研究大学院大学
大石雅寿

masatoshi.ohishi@nao.ac.jp

National Institutes of Natural Sciences

National Astronomical Observatory of Japan

国立天文台

National Astronomical Observatory of Japan

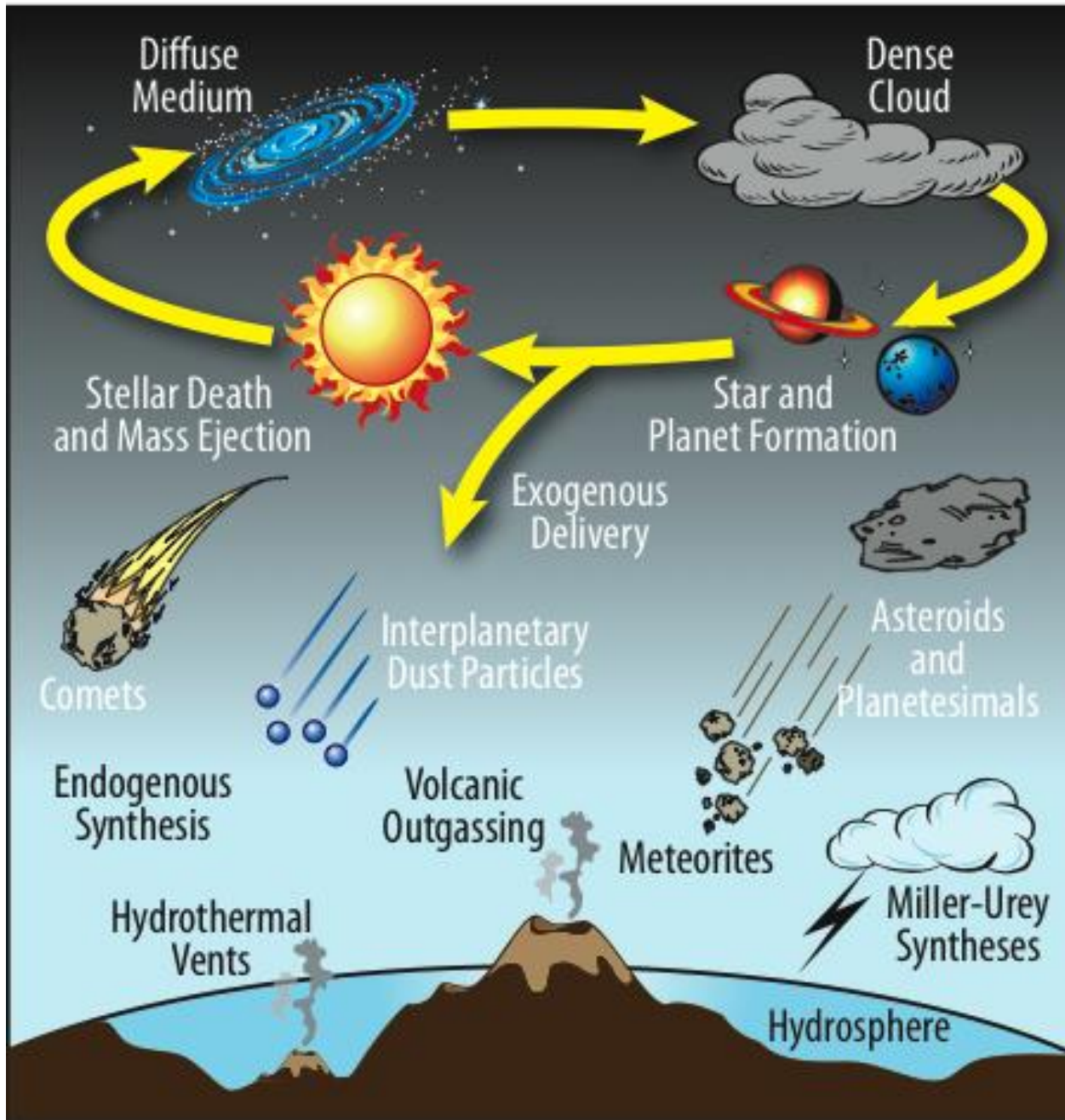
NINS

大学共同利用機関法人
自然科学研究機構

トピックス

1. 宇宙と生命
2. 地球外での有機物
3. 宇宙前生命関連物質
4. SKAでのターゲット
 - a. 重い前生命関連物質探査
 - b. 衛星からの噴出物
 - c. キラリティの原因
5. 時間があれば・・・

前生物の化学



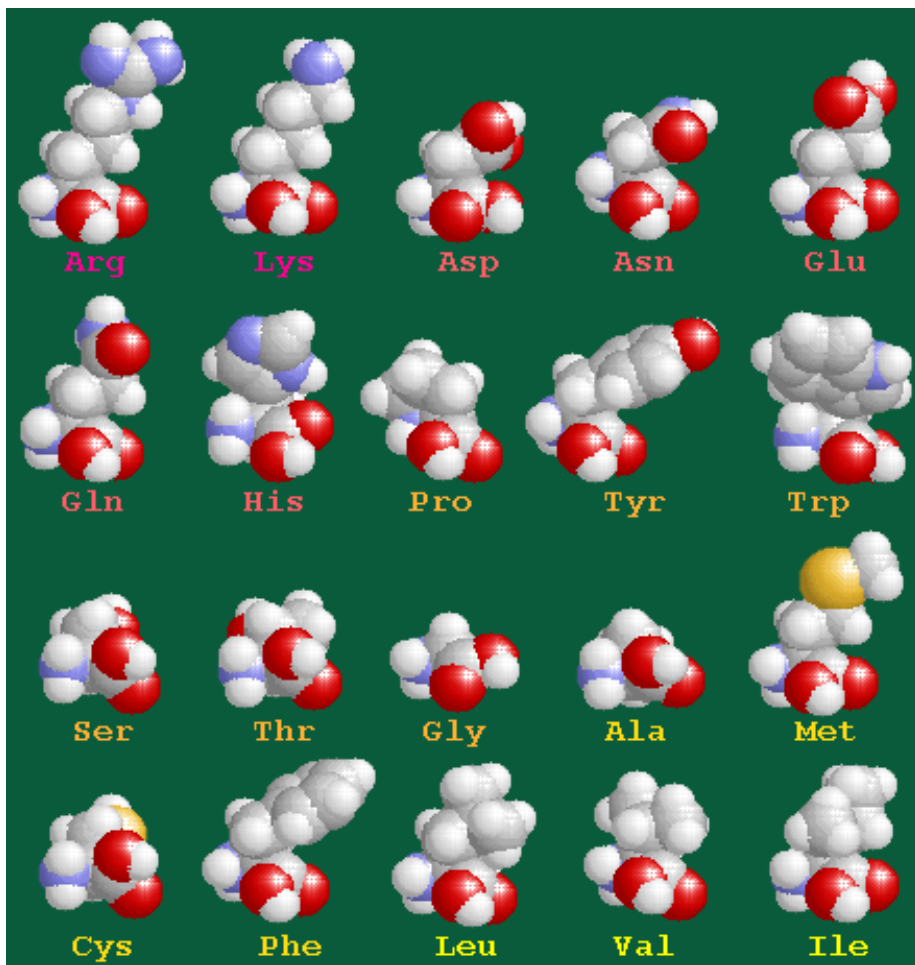
観測 &
シミュレーション

実験

シミュレーション

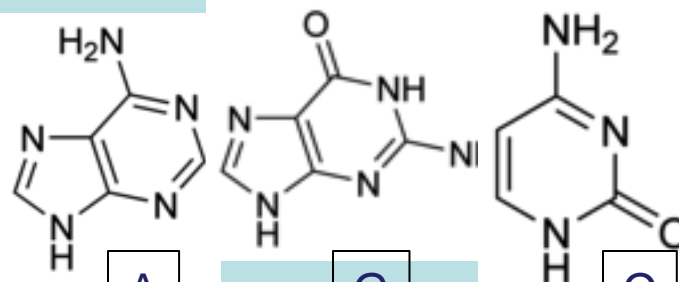
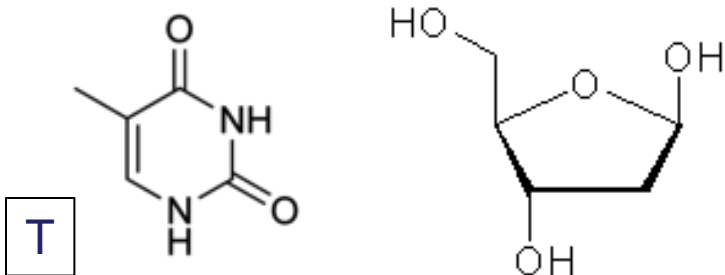
タンパク質・核酸(DNA/RNA)の構成分子

アミノ酸



DNA

デオキシリボース



RNA

U

リボース

ミラーの実験 (1953)

- 当時想定された原始地球大気(無機物)から有機物が生成するか
- メタン, アンモニア, 水素, 水蒸気

↓火花放電

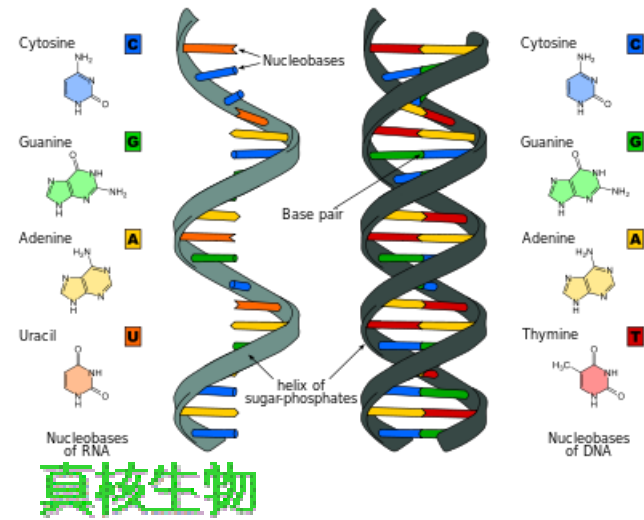
無機的にアミノ酸・尿素・
カルボン酸などが生成



昔は、生物のみが有機物を作ると信じられていた。

最初の生き物は？

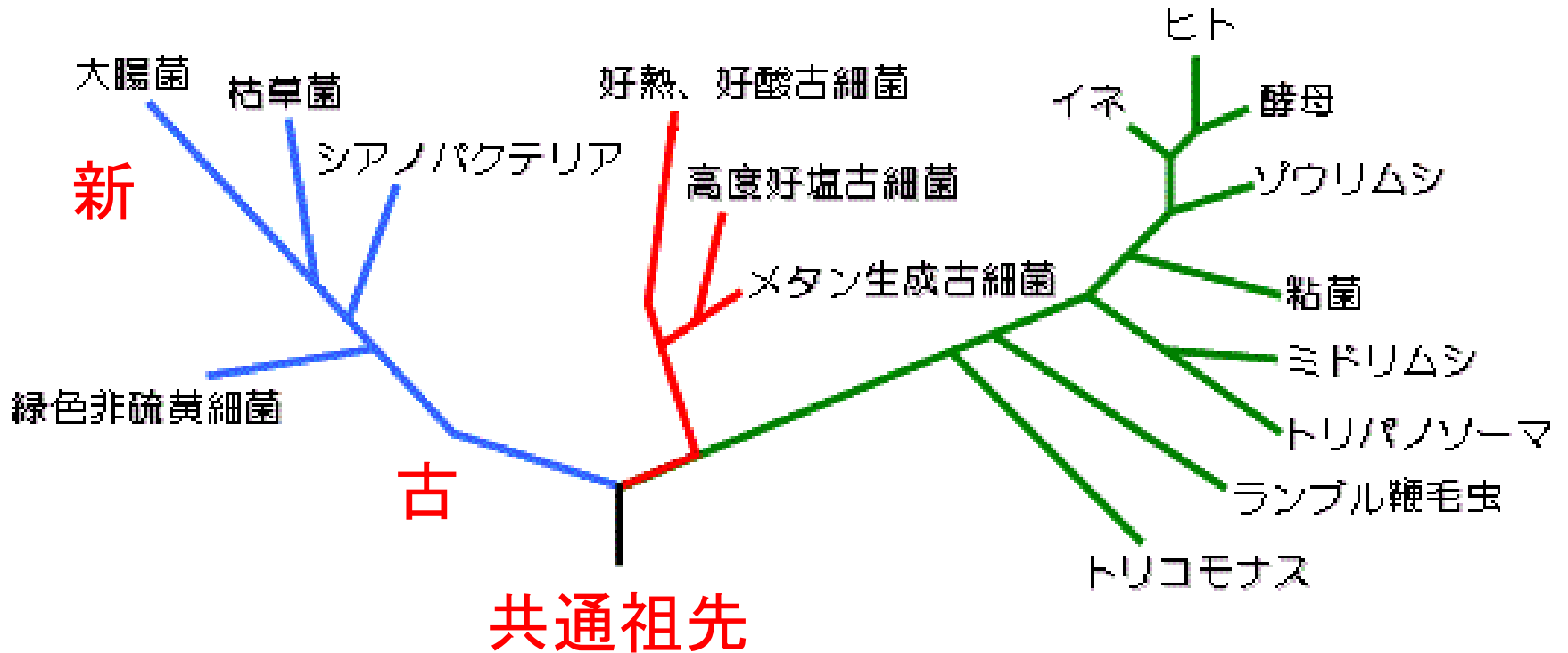
生き物をDNAで分類する



真正細菌

古細菌

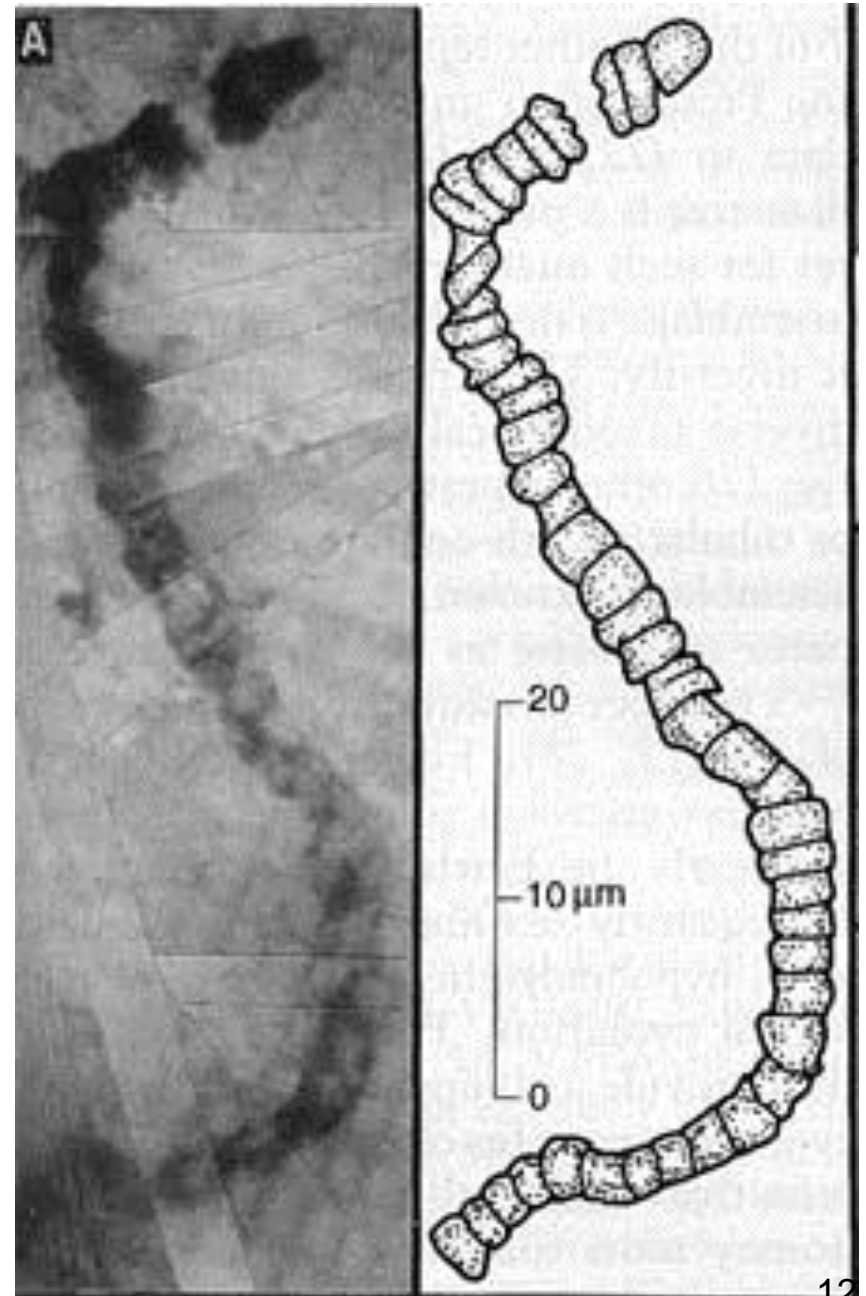
真核生物



35億年前の 微化石

- オーストラリア・ノースポール^oの古い岩石中の微化石(左)とそのスケッチ(右)

これが一番古いらしい



生命に至る過程

- 化学進化

- 単純な分子の反応により複雑な物質(前生命物質)が形成、集積
- CO₂が多かった原始地球を模した環境ではうまくできない?? → 地球外からの持ち込み

- 閉鎖系の形成

- 膜で外界と仕切られた構造 – 膜を通じてエネルギーや物質を交換

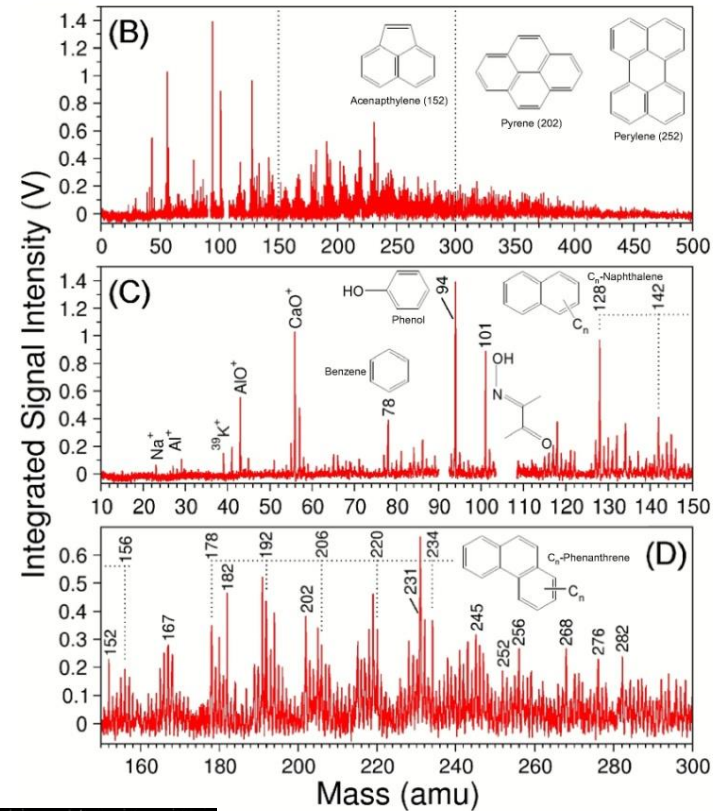
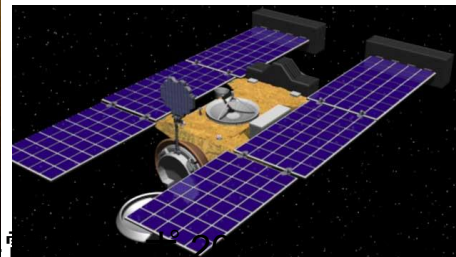
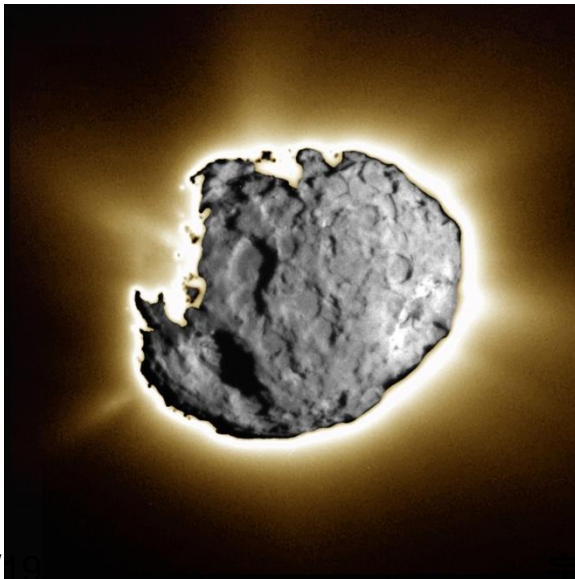
- 生物進化

- 遺伝機能(自己複製)

太陽系内の有機物質

彗星から有機物が見つかった

- 様々な有機物が検出された
- ヴィルド2彗星
 - スターダスト計画
 - グリシンの検出報告
New Scientist, 2009年



Sandford et al. 2006
Clemett et al. 2007

炭素質コンドライト中の有機物

炭素を多く含む隕石

- アミノ酸
- 核酸塩基
- 糖 (ジヒドロキシアセトン)
- カルボン酸
- アミン
- 炭化水素
- “複雑な有機物”



有機構造体

宇電懇シンポ 2013

Asteroid Impact

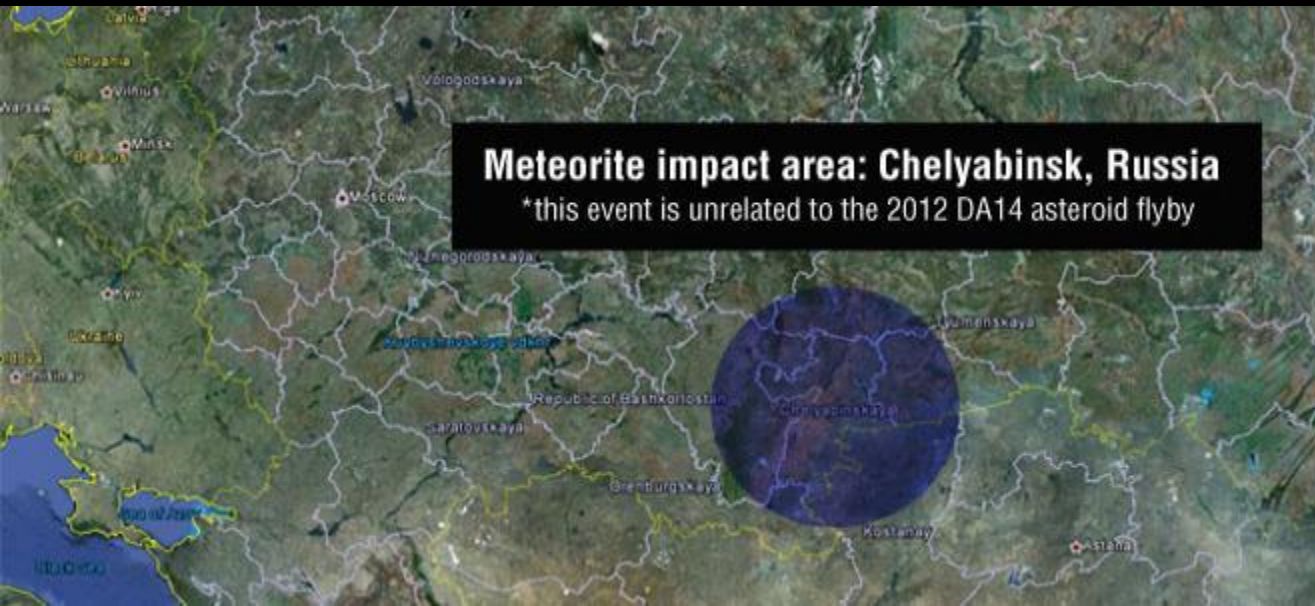
Date: 15 February 2013

Entry speed: 18 km/s

Trajectory: NE-SW

Diameter: 17m

Explosion altitude: 15-25 km



Meteorites

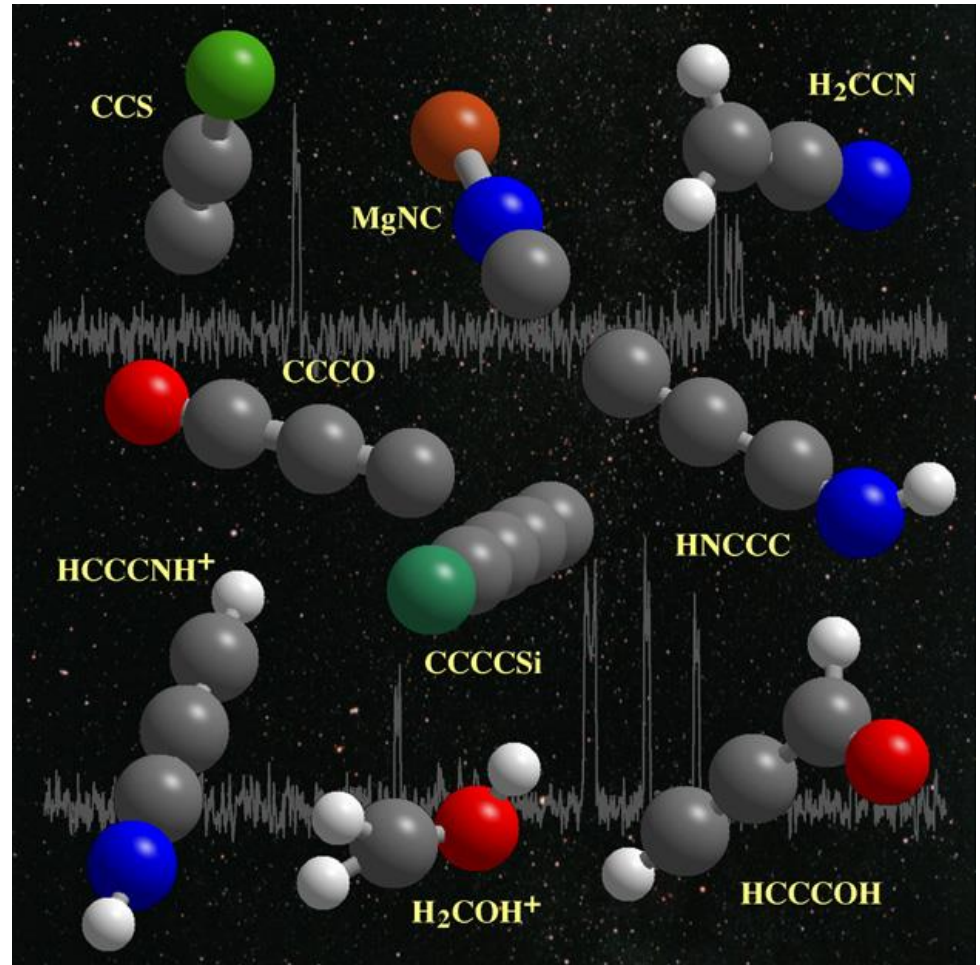


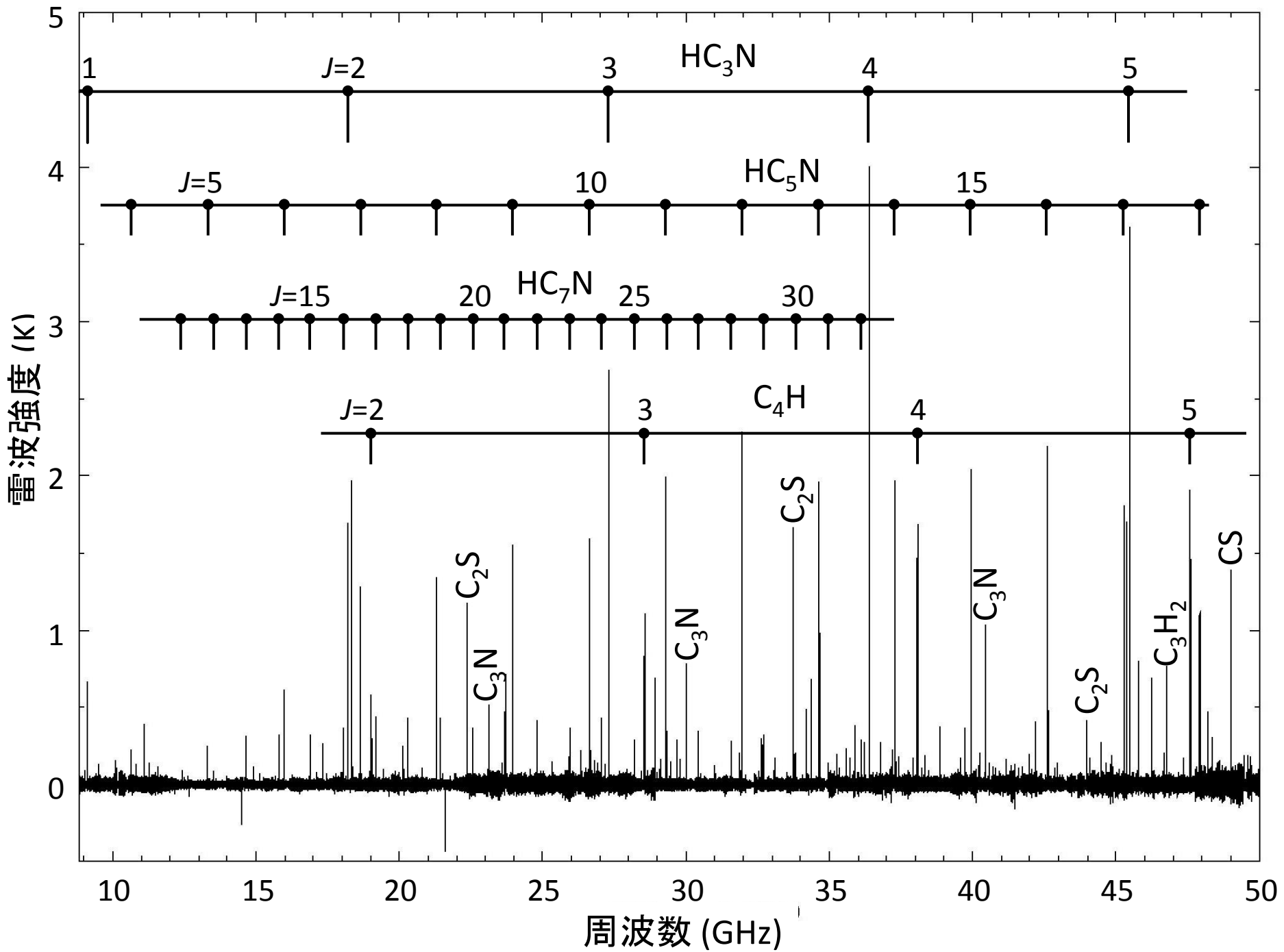
有機物質の惑星への運搬

- 隕石や彗星
 - 後期重爆撃期: ~40億年前(38~41億年) ← アポロ宇宙船が持ち帰った月の石の年代分析
 - 惑星衝突時の熱でかなりの部分は破壊されるだろうが, 一部は残る?
 - 彗星による有機物の持ち込みは、地球上における生成量の1000倍(Ehrenfreund et al, 2002)
- 一旦有機物が持ち込まれれば, さらに化学進化が続き, 生命発生までの時間を短縮(?)

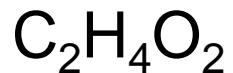
どういう物質があるのか？

～電波望遠鏡による観測～





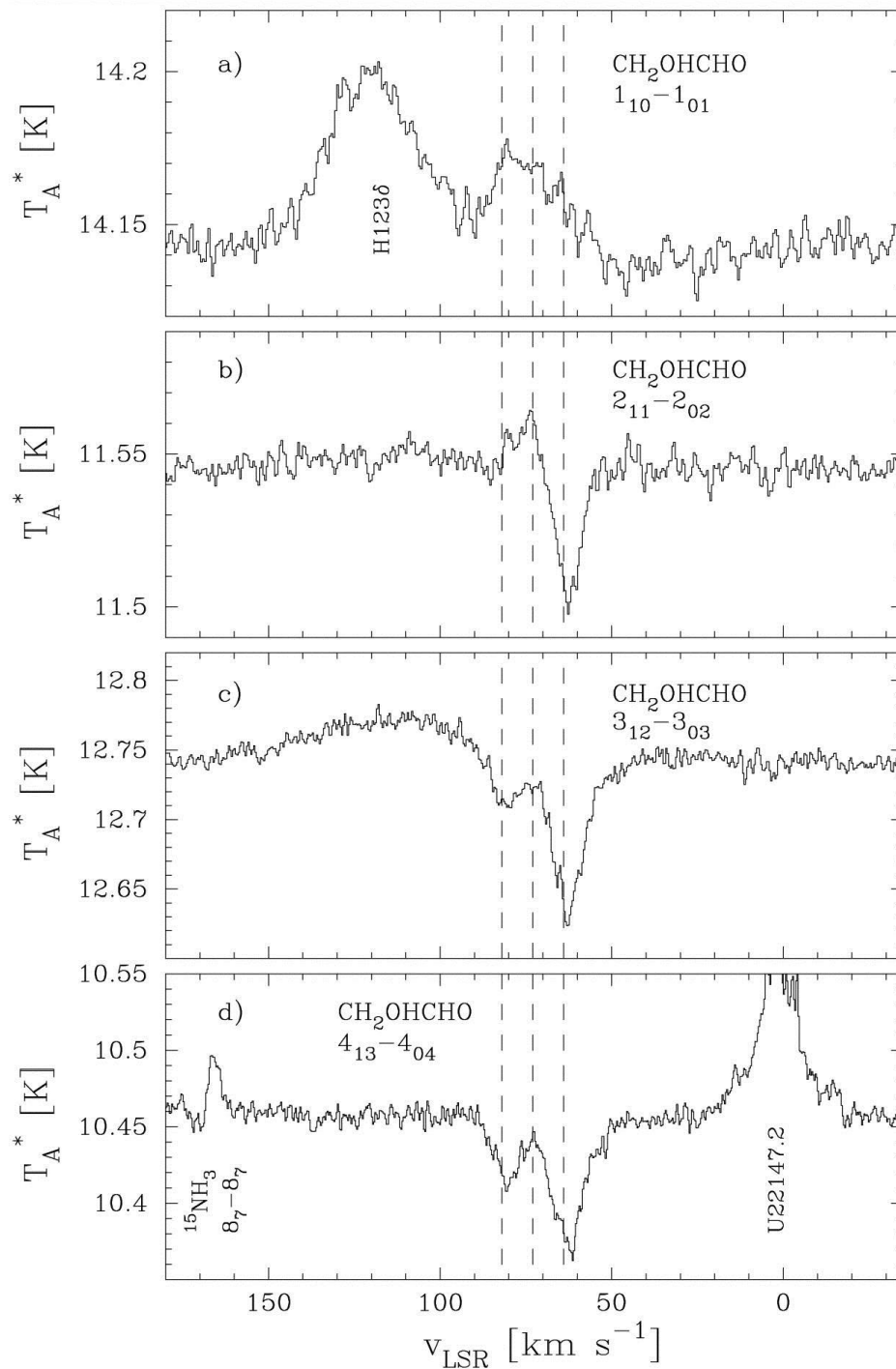
グリコールアルデヒドの 発見



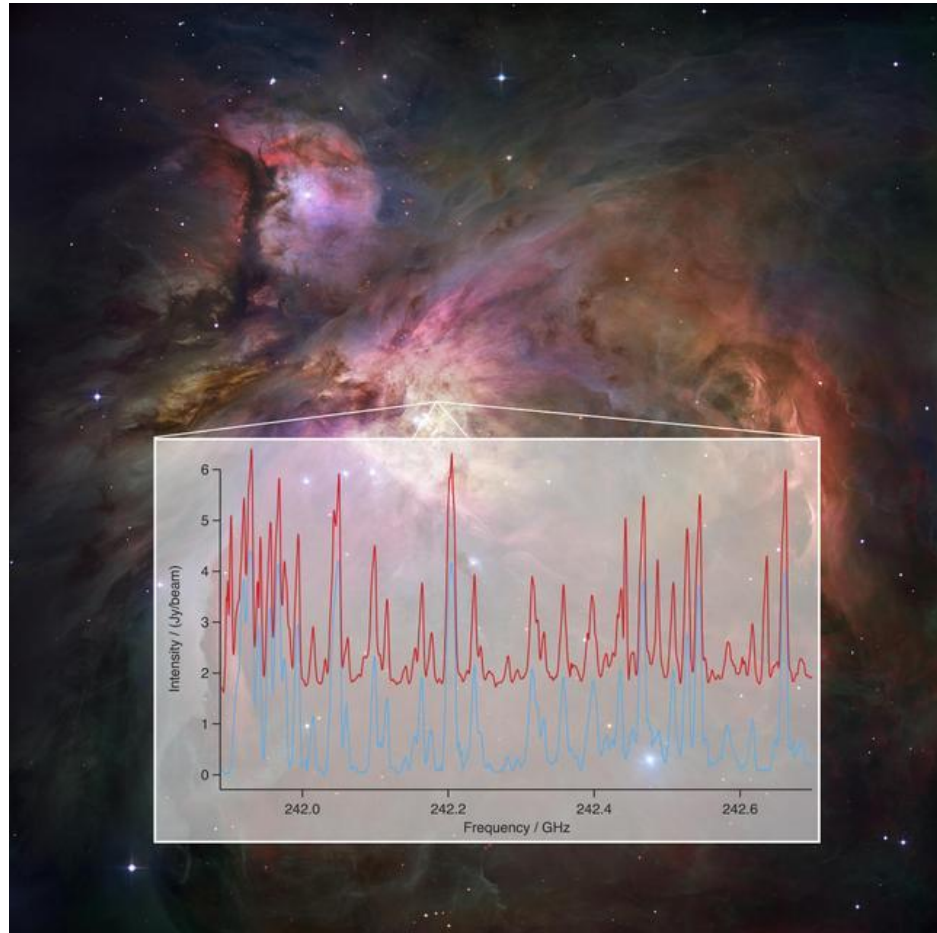
(Hollis et al. (2004),
ApJ, 613, L45)

最も単純な「糖類」が宇宙に存在!

糖類: $(\text{CH}_2\text{O})_n$, $n > 1$



Nice ALMA Images



宇宙の有機物質（主なもの）

- H_2CO
- CH_3OH
- $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
- CH_3COOH
- HCOOCH_3
- $(\text{CH}_3)_2\text{O}$
- $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$
- CH_2OHCHO
- CH_2NH
- CH_3NH_2
- $\text{CH}_2\text{NH}_2\text{CN}$

アミノ酸は未発見！

有機分子をつくる化学反応

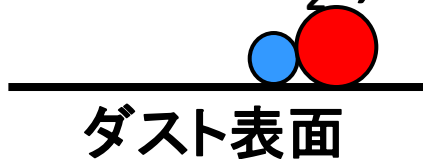
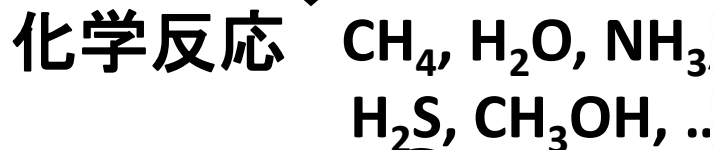
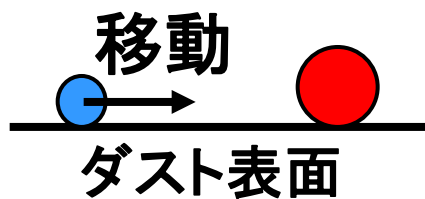
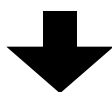
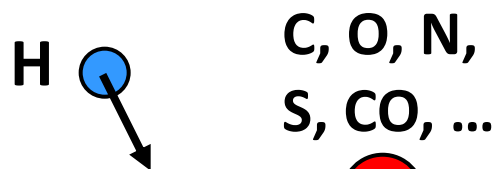
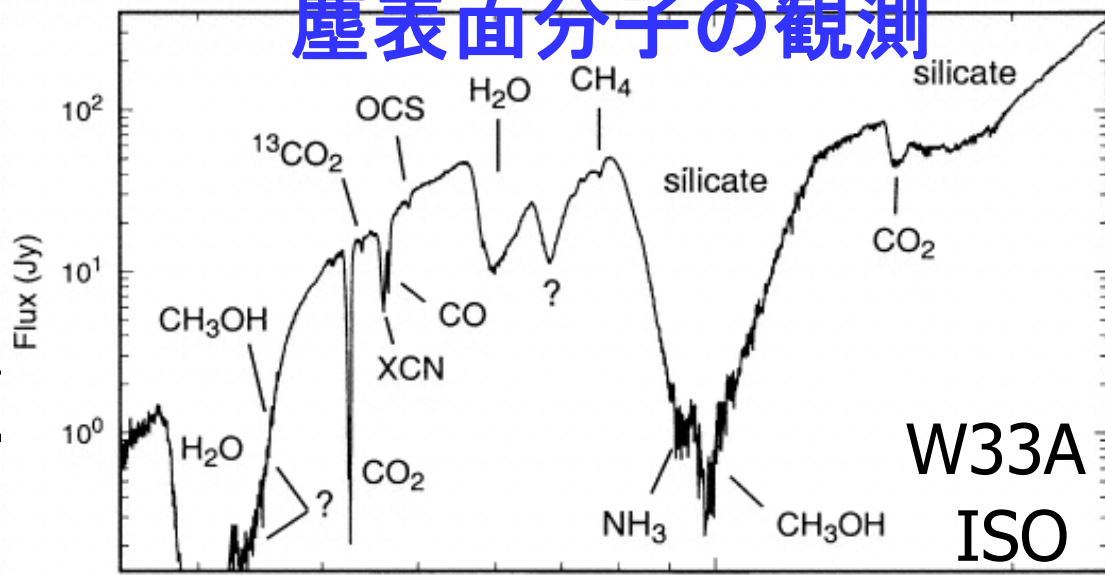
塵表面反応 (低温: < 20K)

星間空間で最も豊富な元素は水素
水素: 塵上をトンネル効果で移動可能



塵表面では、主に水素付加反応により
飽和した分子種が生成

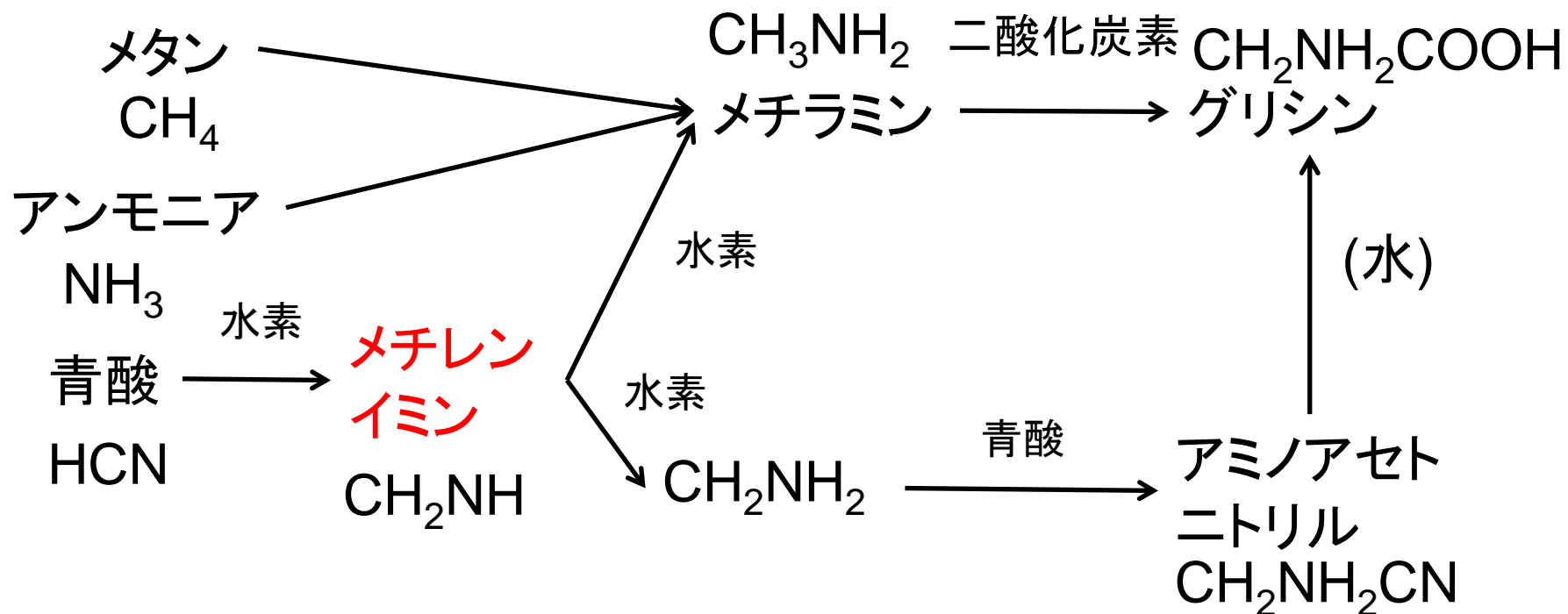
塵表面分子の観測



(Gibb et al. 2000)

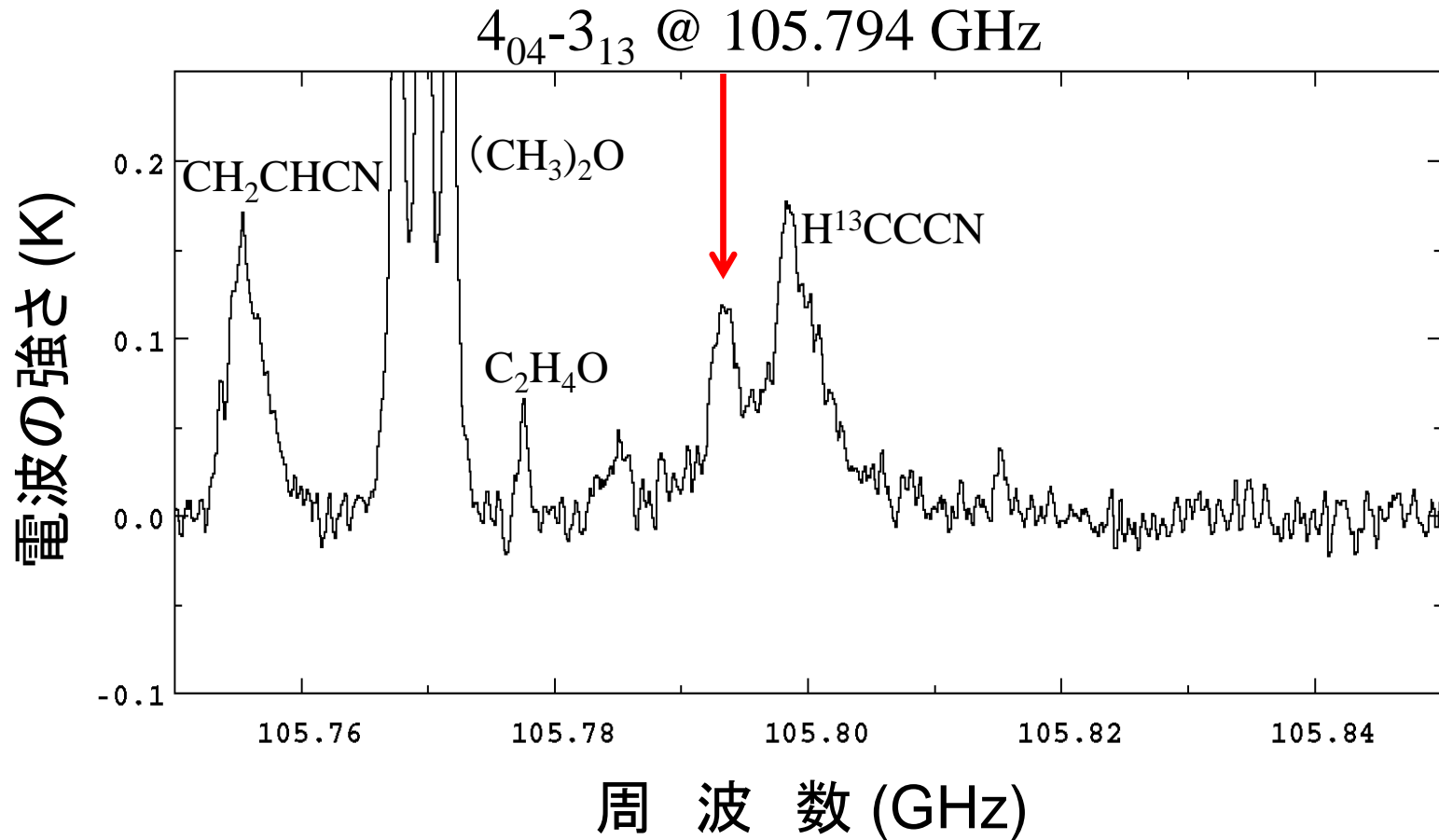
宇宙でのグリシン生成仮説

- 紫外線照射下のダスト上での生成



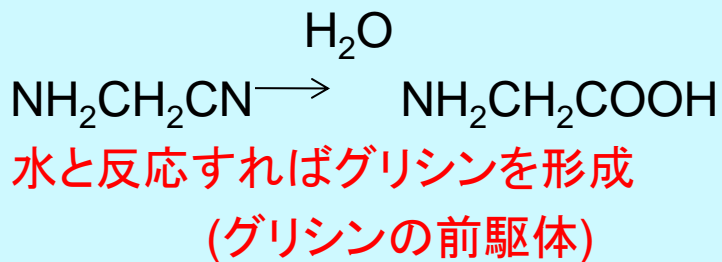
メタン、アンモニア、二酸化炭素、青酸、水は宇宙に豊富に存在する

オリオン大星雲でのメチレンイミン



アミノアセトニトリル

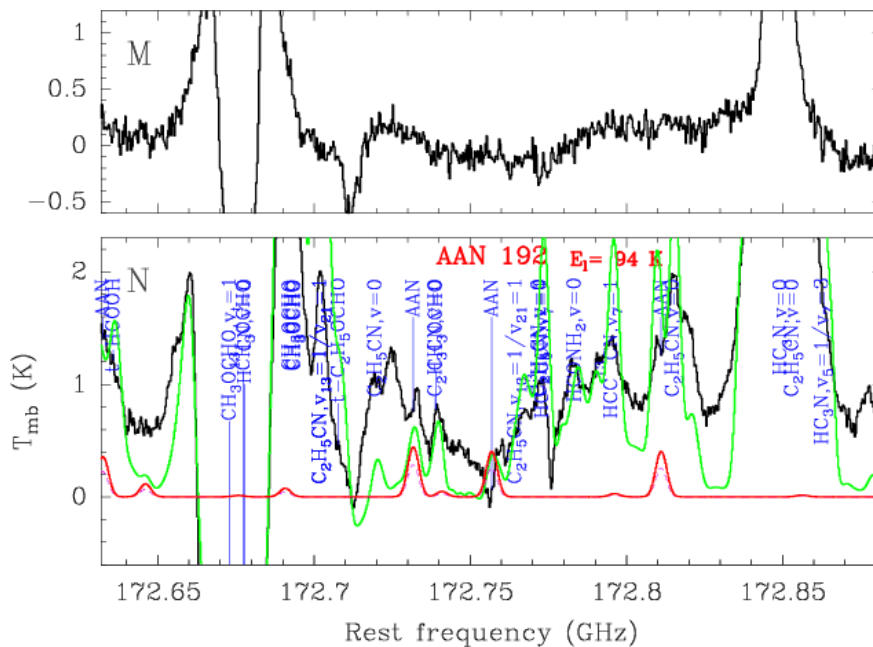
NH₂CH₂CN



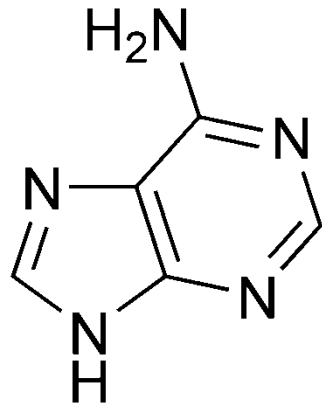
SgrB2(N)内の2秒角ほどの領域に
存在すると報告

S/Nは低いが、本当だろう
→ 追試が必要

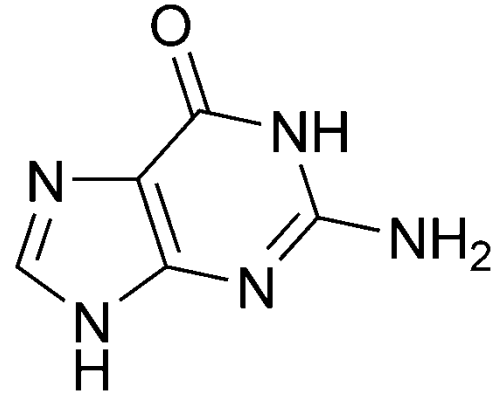
Belloche et al,
A&Ap, 482, 179 (2008)



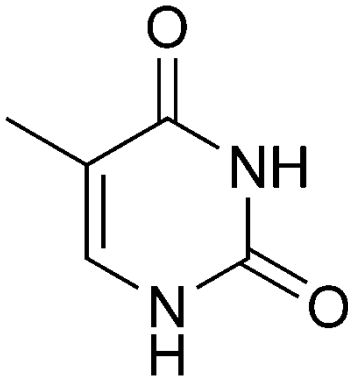
核 酸



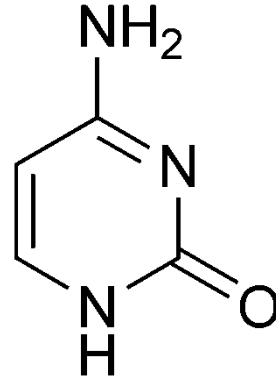
アデニン



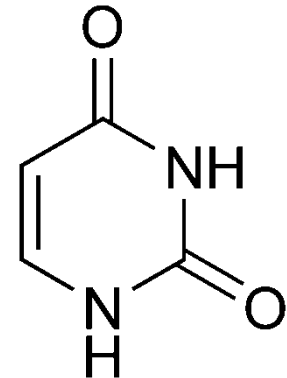
グアニン



チミン

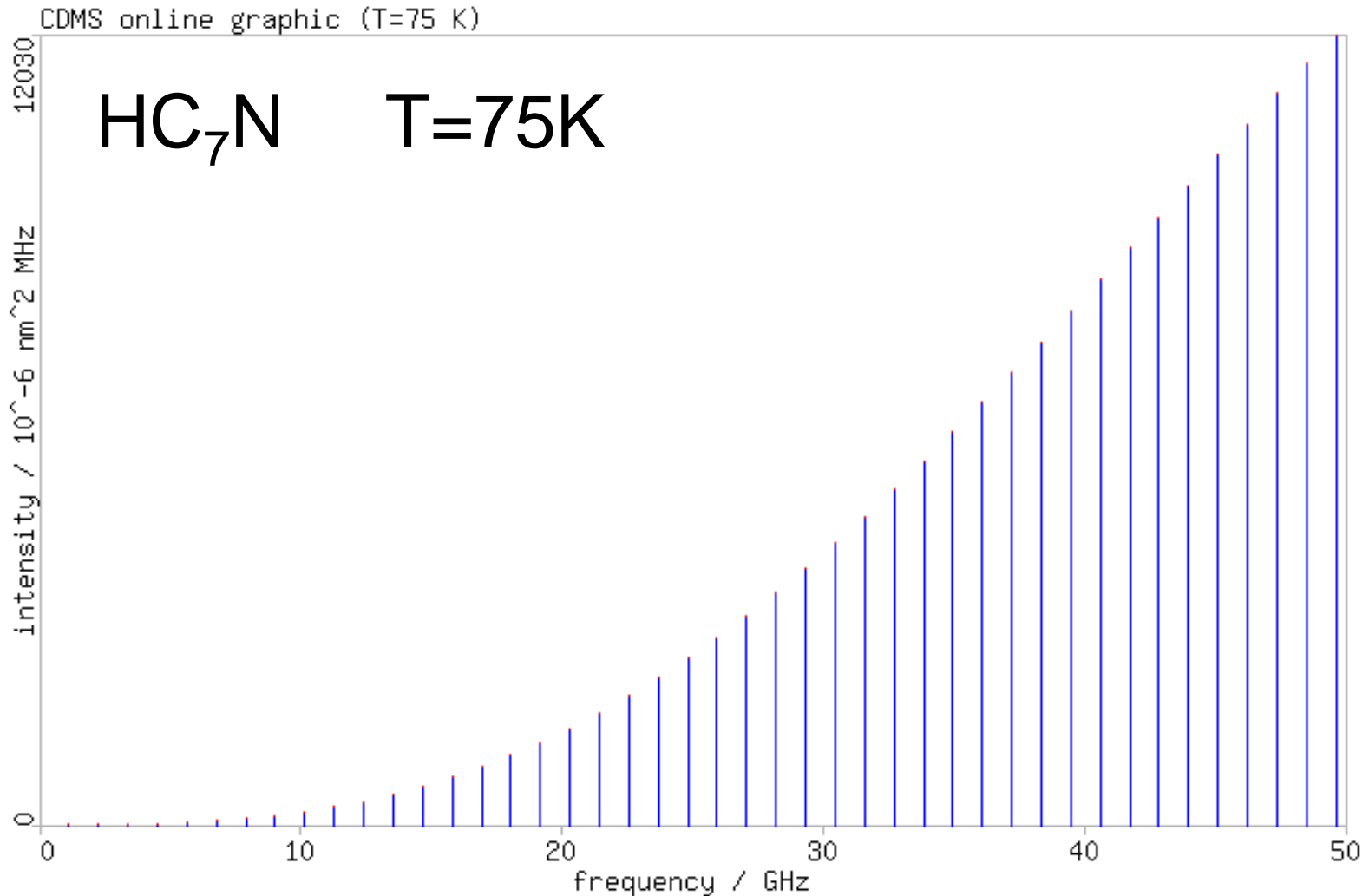


シトシン

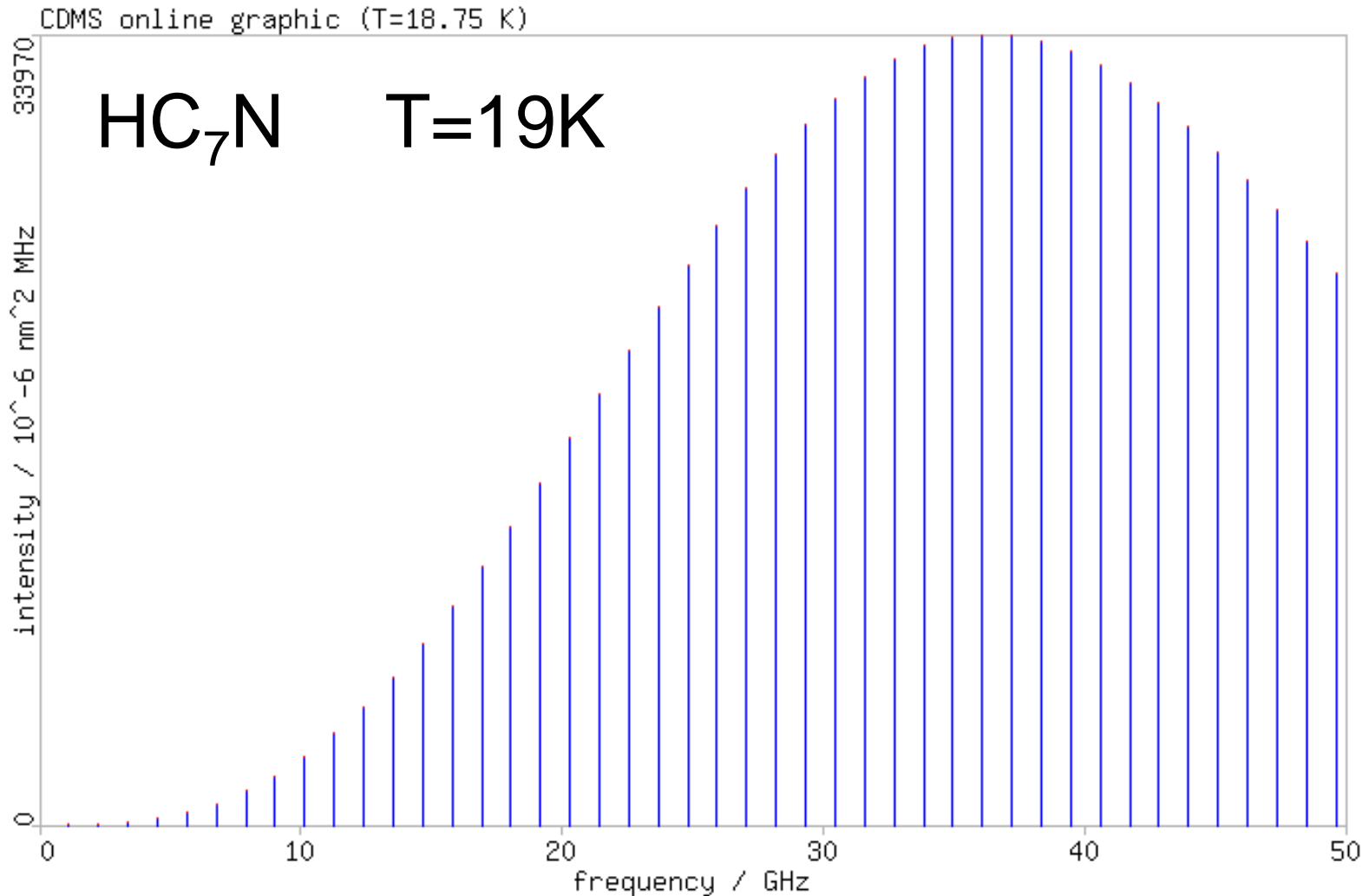


ウラシル

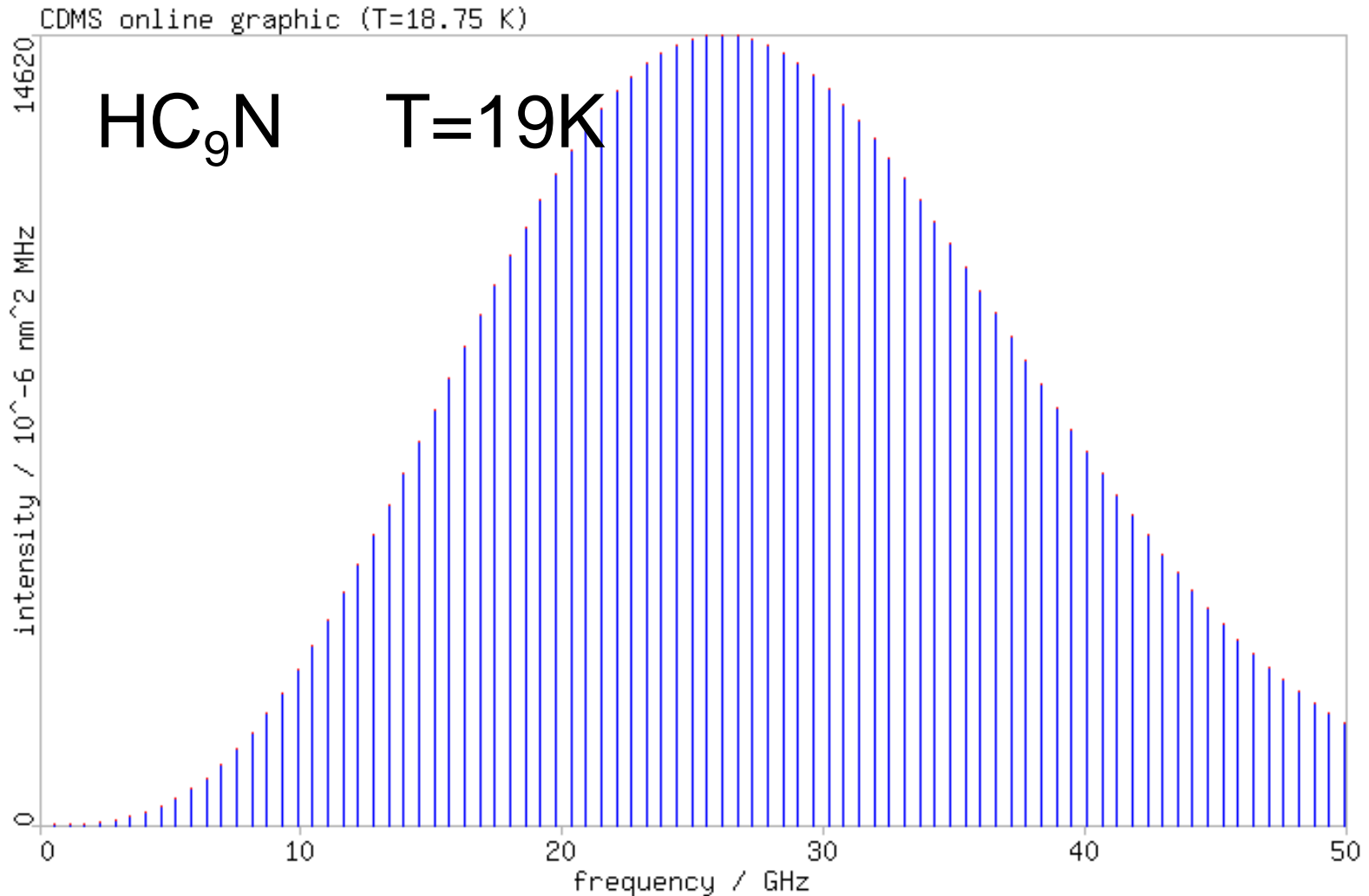
Heavyな分子のスペクトル



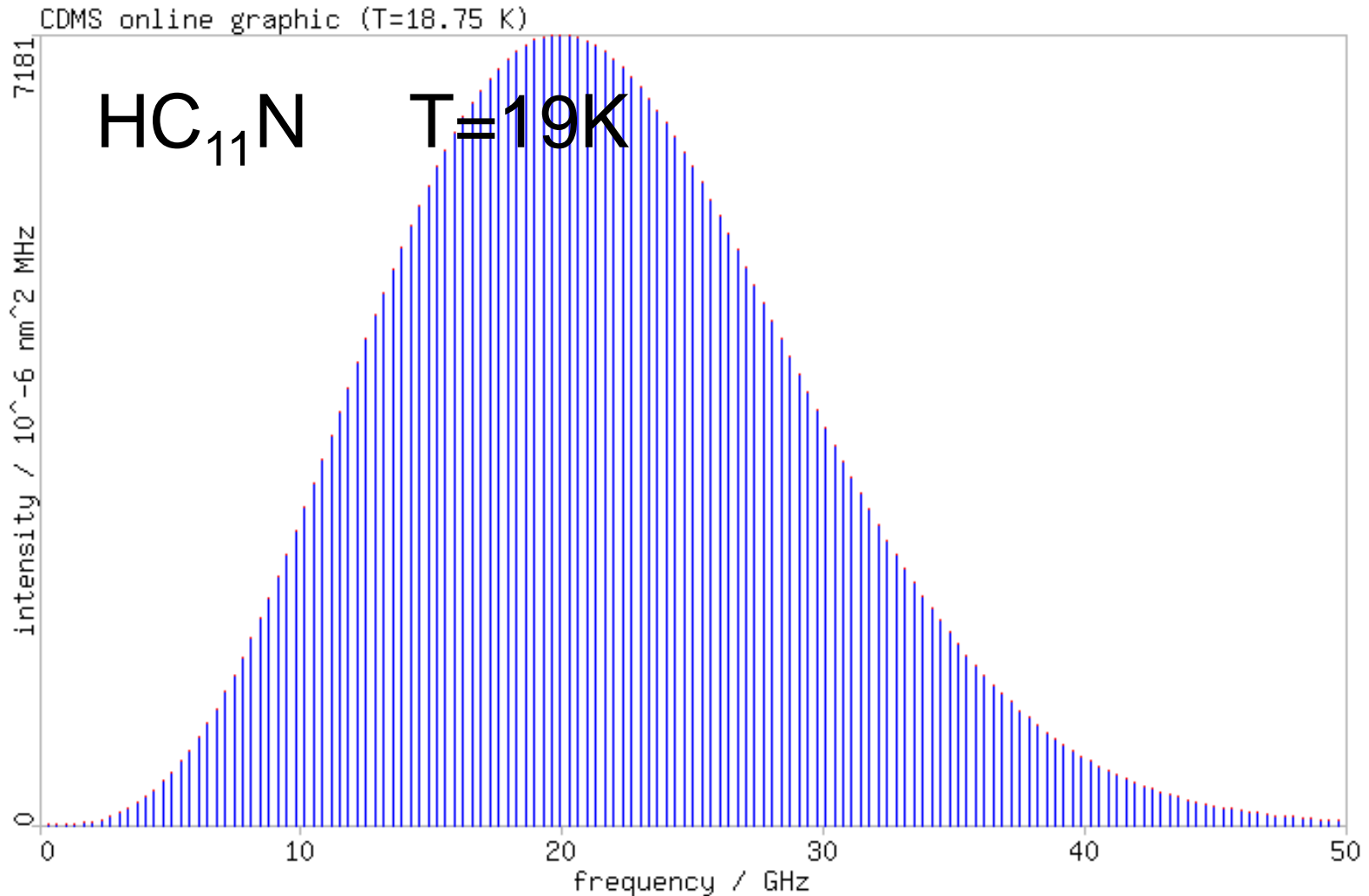
Heavyな分子のスペクトル



Heavyな分子のスペクトル

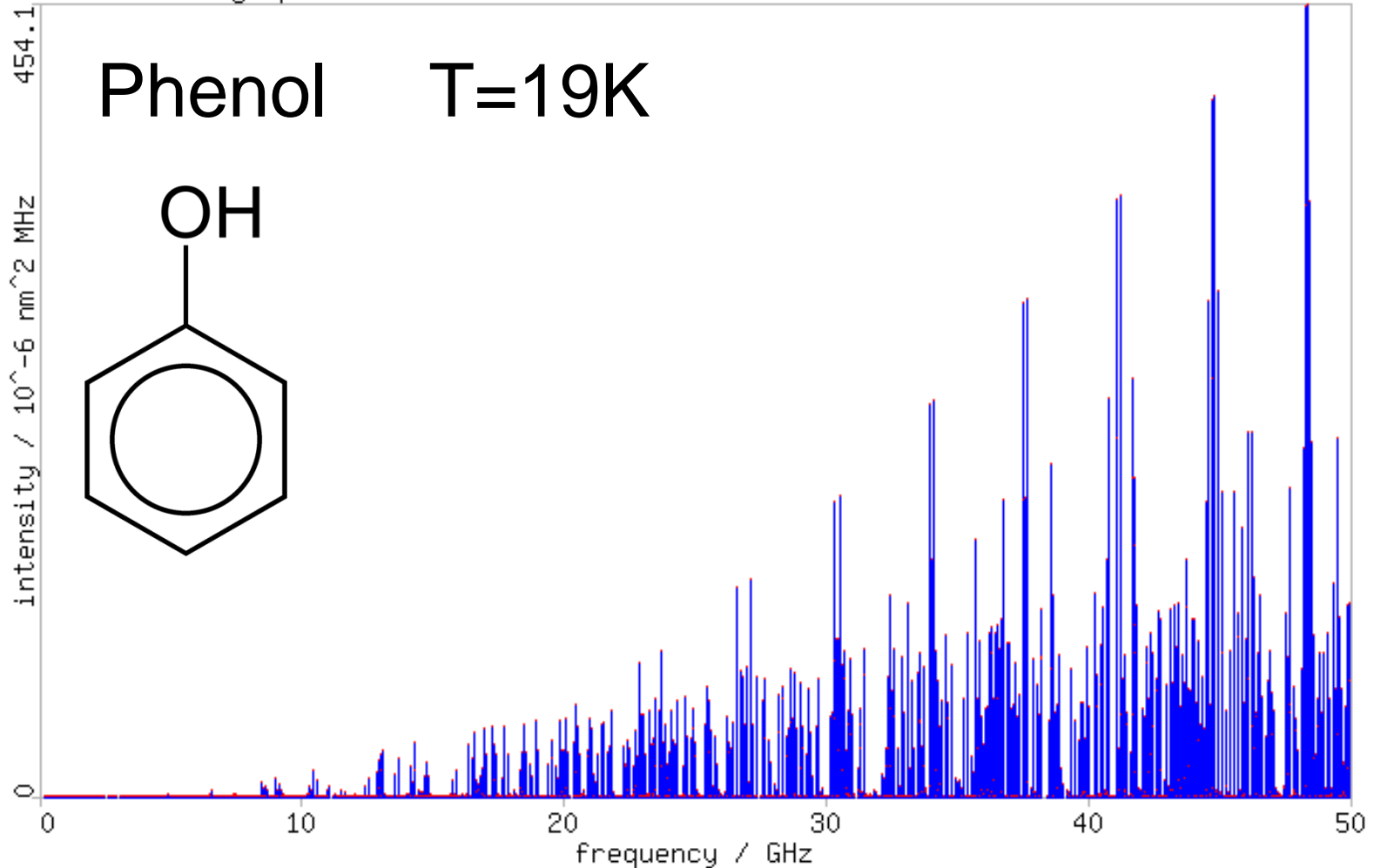


Heavyな分子のスペクトル



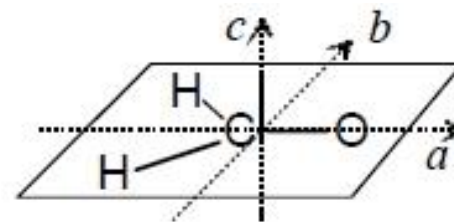
環状分子のスペクトル

CDMS online graphic (T=18.75 K)



Line Intensity

$$\frac{N_u}{g_u} = \frac{N_{total}}{Q} \exp\left(-\frac{E_u}{kT_{ex}}\right)$$



$$Q \propto \sqrt{\frac{1}{ABC}}$$

$$A \propto \frac{1}{I_A}, B \propto \frac{1}{I_B}, C \propto \frac{1}{I_C}$$

Large molecules:

- large momenta of inertia
- small rotation constants
- large partition function
- less population
- small line intensities

太陽系内での生命探査

Moons of . . .

Earth



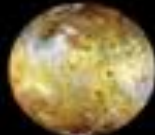
Moon

Mars

Phobos

Deimos

Jupiter



Io



Europa



Ganymede



Callisto

+ at least
24 smaller
moons

Saturn

- Mimas
- Enceladas
- Tethys
- Dione
- Rhea



Titan

- Hyperion
- Iapetus
- Phoebe

+ at least
21 smaller
moons

Uranus

- Puck
- Miranda
- Ariel
- Umbriel
- Titania
- Oberon

+ at least
15 smaller
moons

Neptune



Triton

- Nereid

+ at least
6 smaller
moons

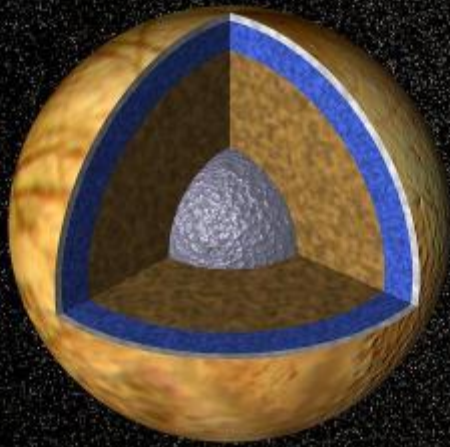
Pluto



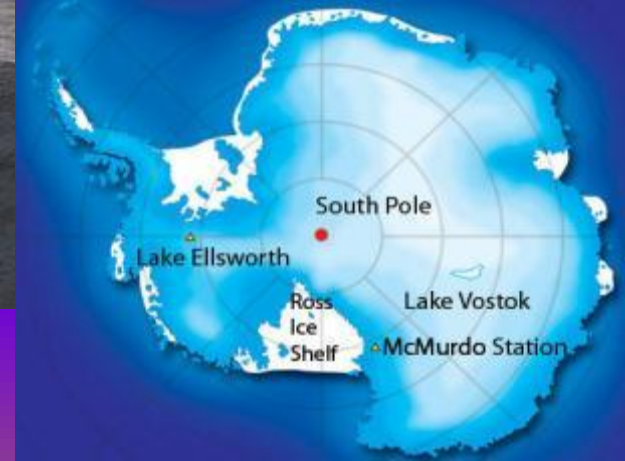
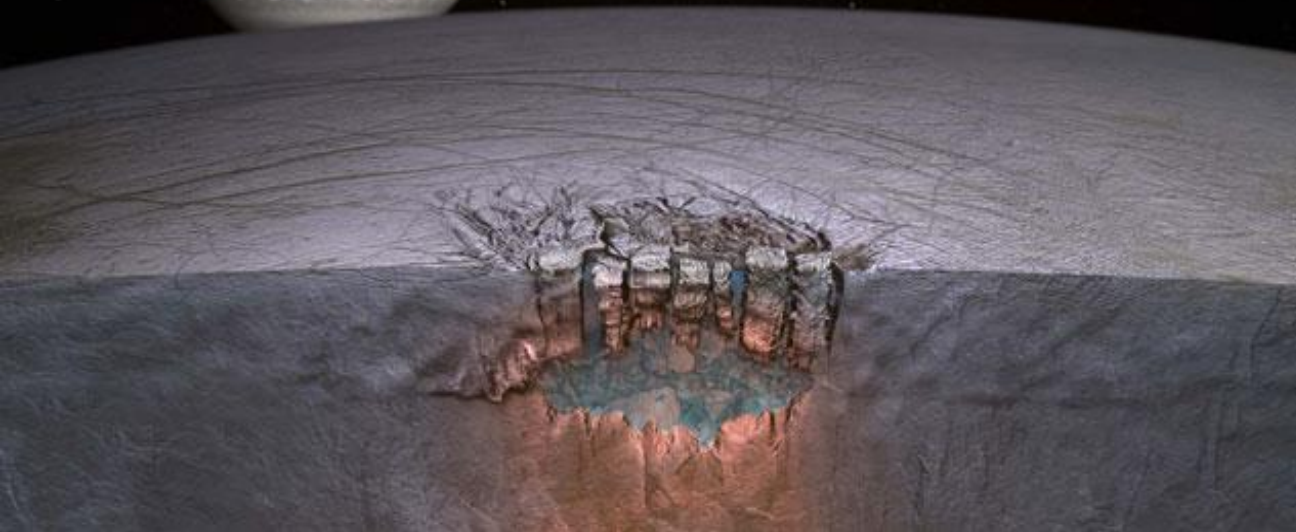
Charon

Earth





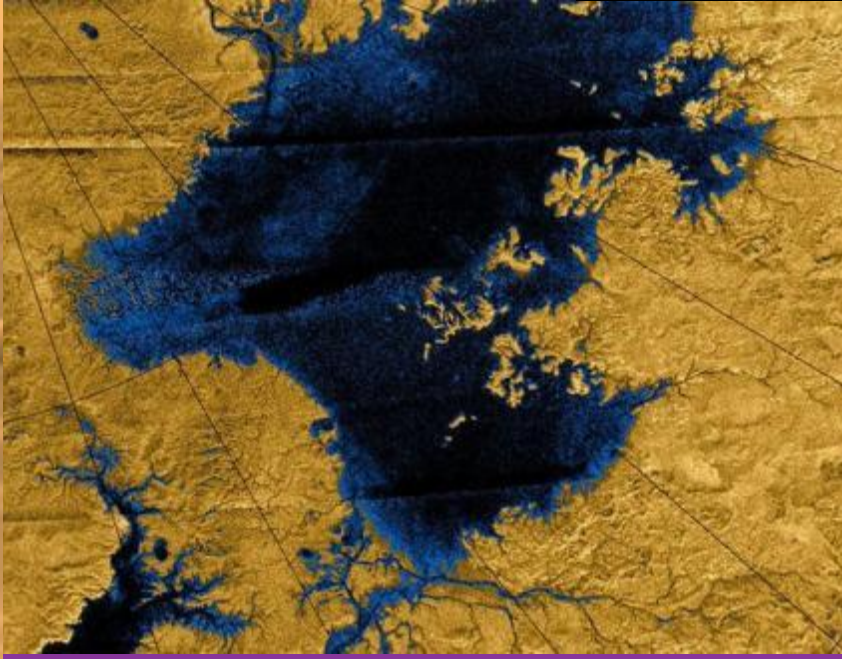
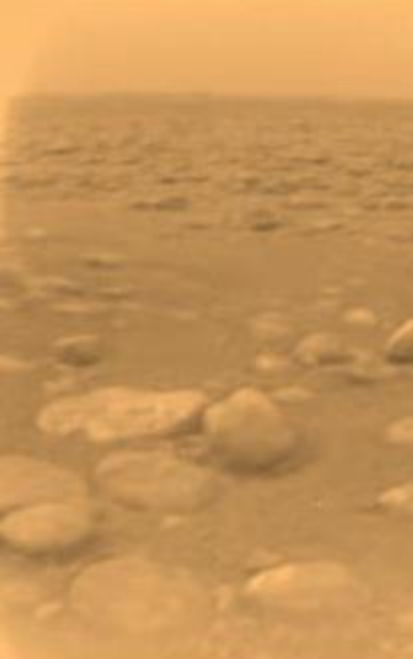
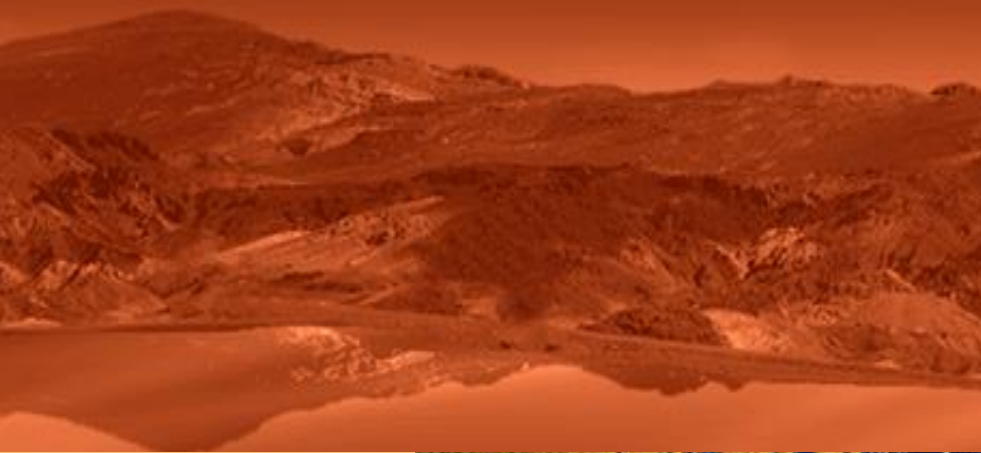
Europa's oceans and ice-shell



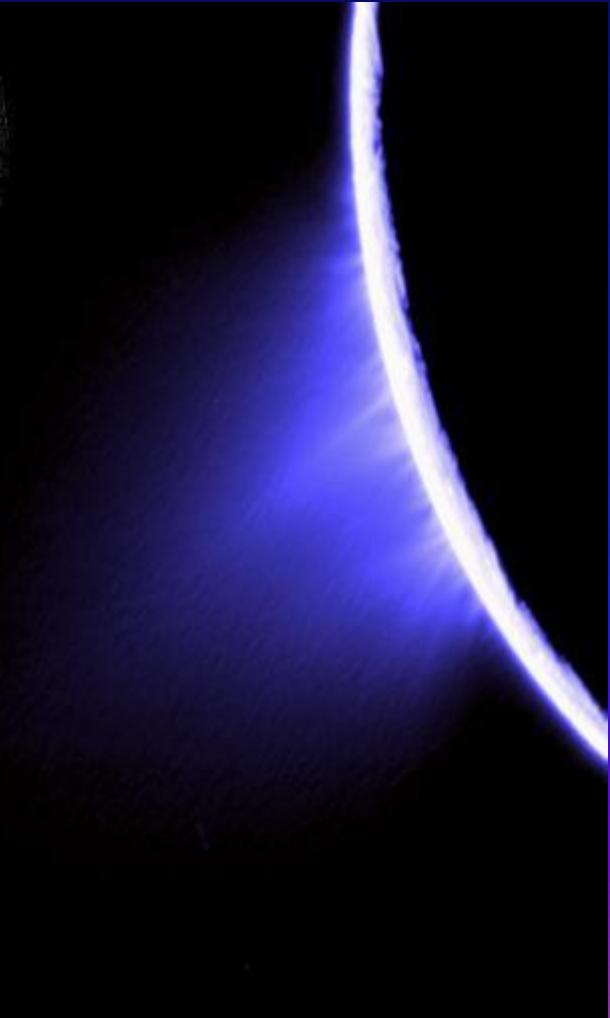
Habitats for life?

Titan – continents, lakes, dunes, mountains, rivers

Cassini-Huygens Mission

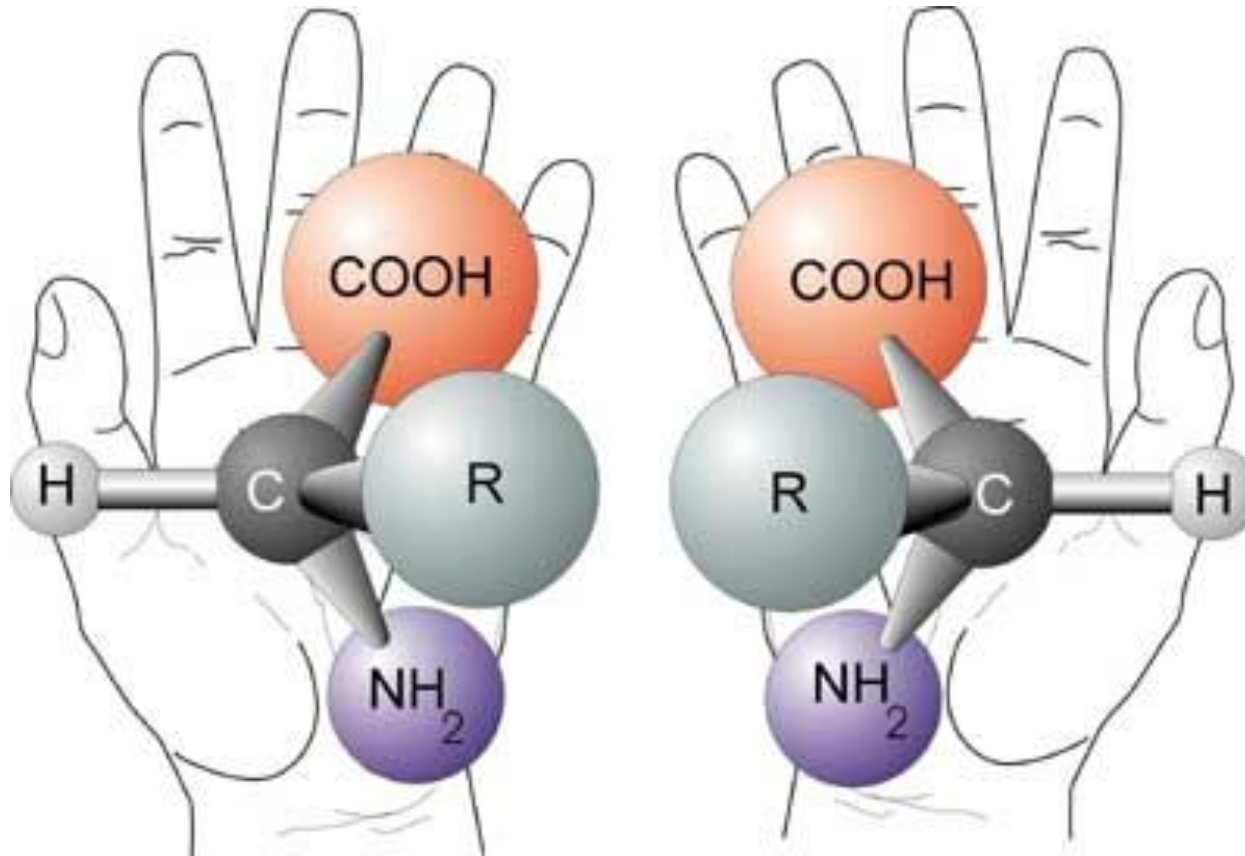


Enceladus - geysers of ice particles and organics....



Origin of Homo-Chirality

生体分子の**非対称性**の起源？



左手型(L-)アミノ酸

右手型(D-)アミノ酸

Dextro、Levoはそれぞれギリシャ語で右、左を意味

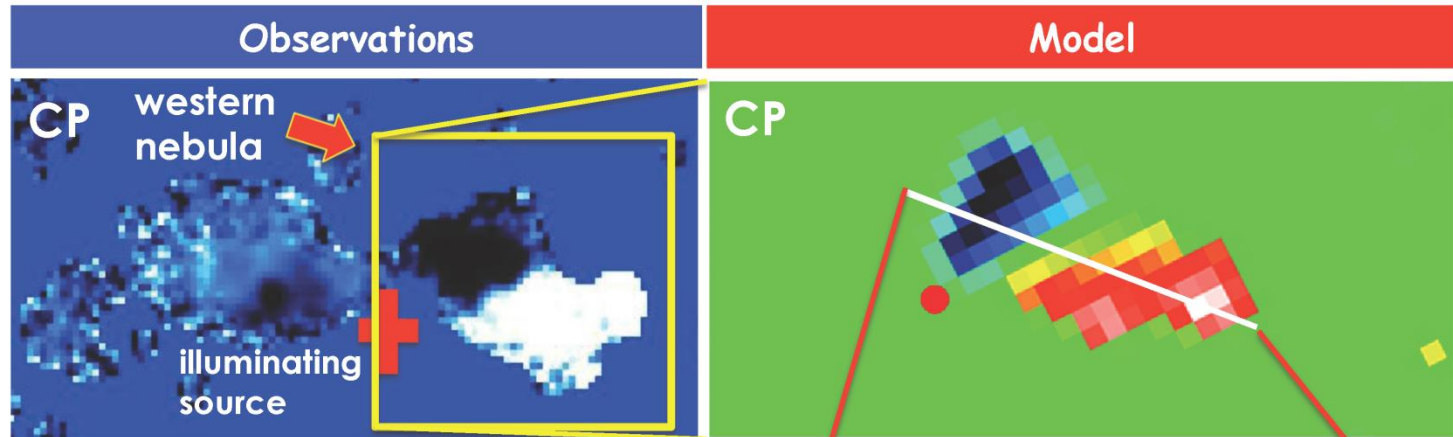
Homo-chiralityの起源への提案

- 円偏光説
 - 円偏光が照射されることによりL/D体の非平衡が生じた
 - 左偏光 → L体過剰 / 右偏光 → D体過剰
- 弱い相互作用説 (Vester-Ulbricht仮説)
 - 弱い相互作用をするフェルミオンのヘリシティは左巻きのみ
 - この非対称性がL/D体間の非対称さを生んだ



3D Monte Carlo simulation

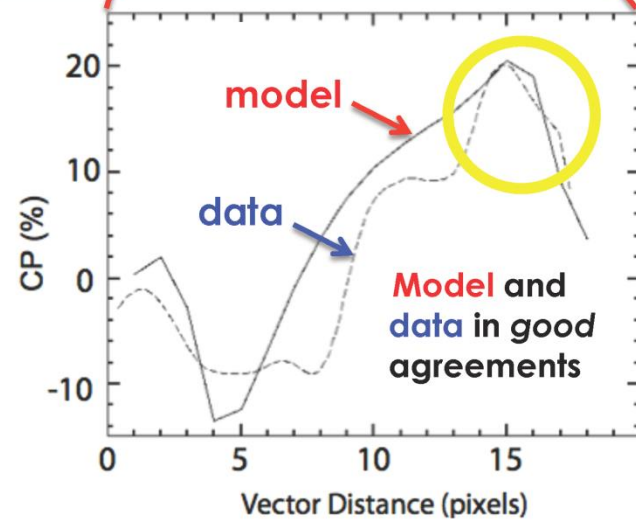
NGC 6334-V (Kwon et al. 2013, ApJL)



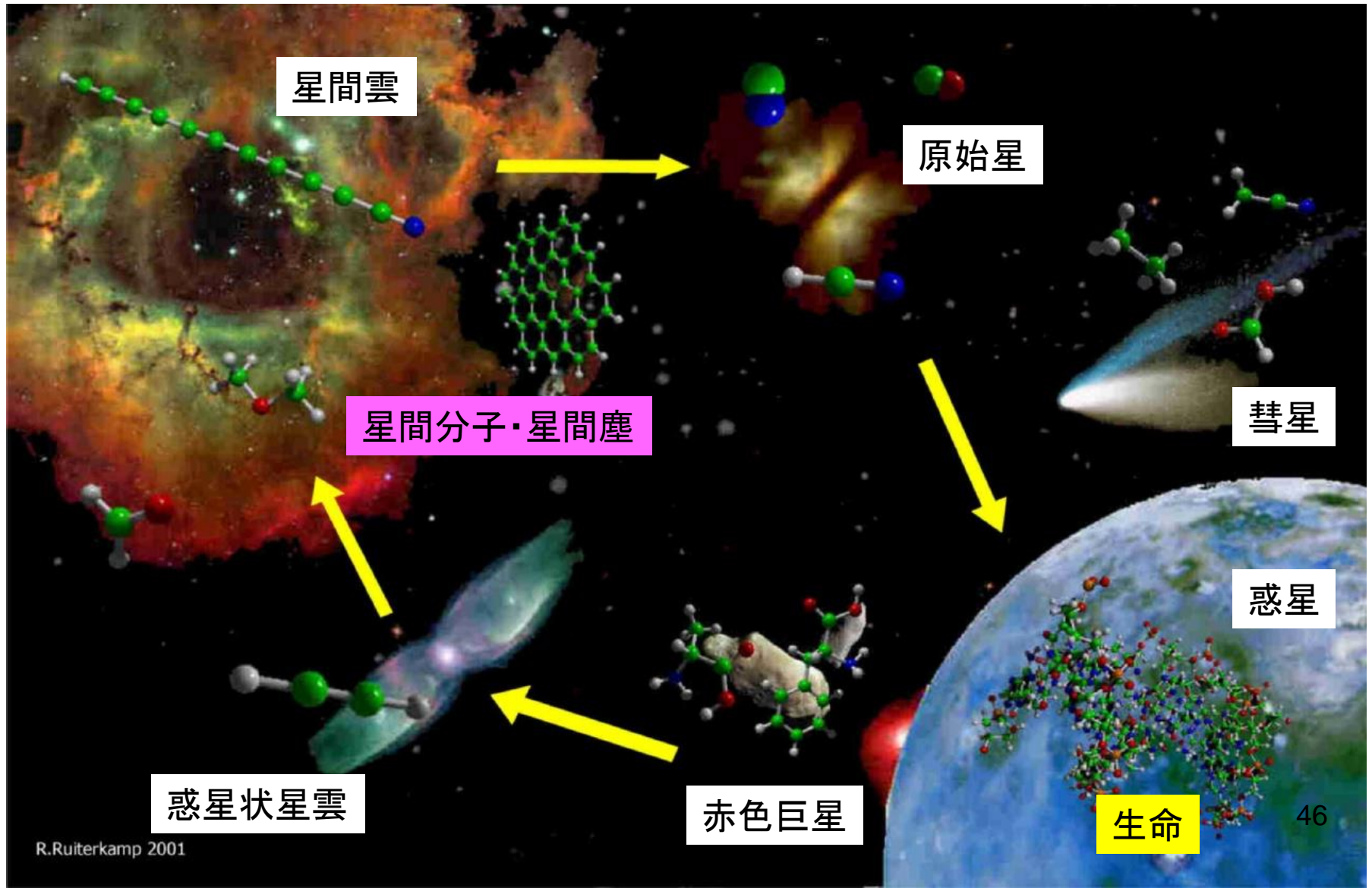
A Monte Carlo light scattering simulation incorporating aligned non-spherical particles is used to calculate Stokes I , Q , U , and V of the resultant scattered and extinct light.

Our model with magnetic field reproduces

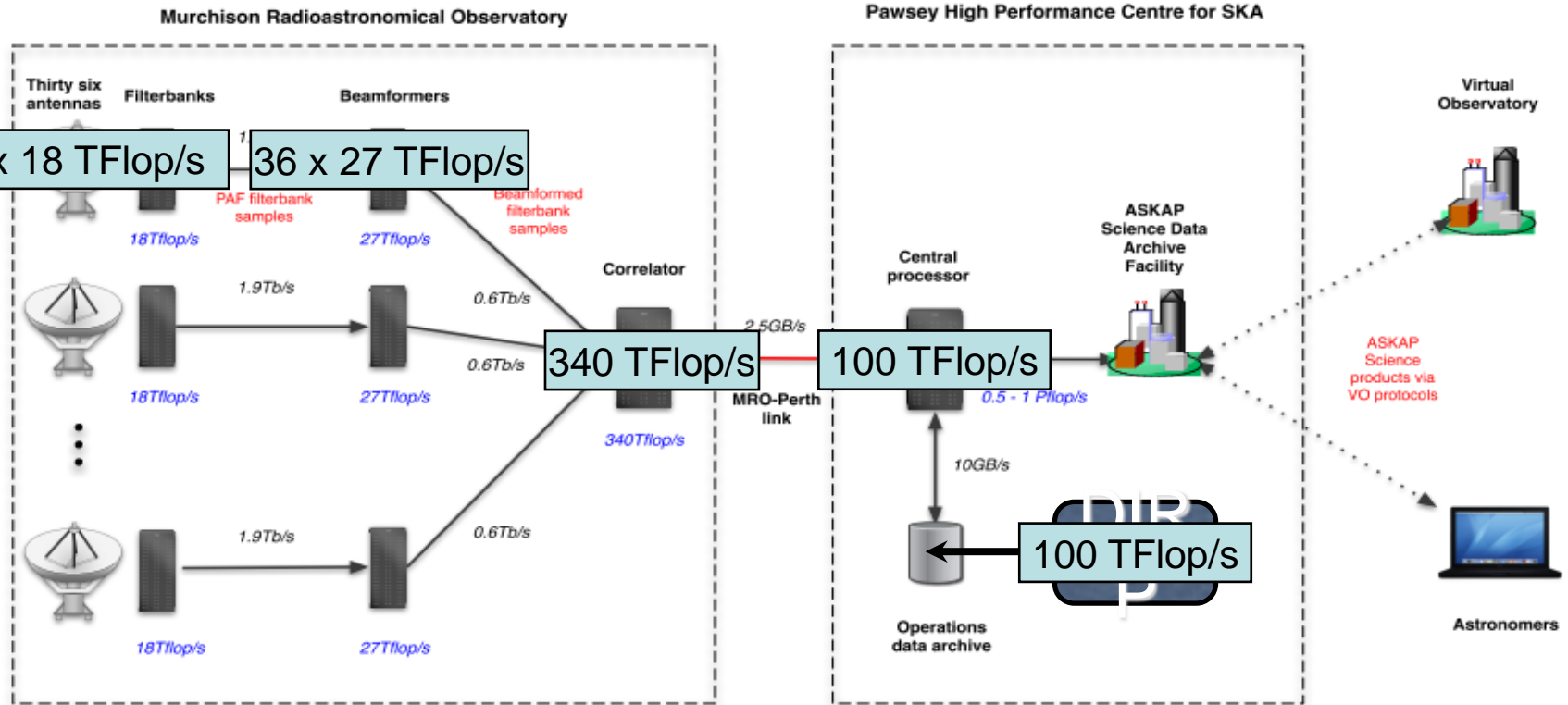
- CP as **high** as 20 %
- +/- pattern and large extent



宇宙の有機物質が地球に到達して 生命の種になったと思う



Schematic ASKAP Data Flow



T. Cornwell, July 9 2010
with additions by A. Wicenec



Total: 2160 TFlop/s

宇電懇シンポ 2013

Courtesy of A. Wicenec

Special Challenges

- HPC in real-time data reduction chain.
- High volume data streaming through top 100 supercomputer.
- Very big data sets. Data life cycle undefined.
 - ALMA data can (may) be manageable
- Towards SKA: Solutions should scale from ASKAP (1%) to SKA1 (10%) and SKA2 (100%)
- Algorithms are still mostly serial, or don't scale to hundreds of thousands of cores.
- Budget is constrained, and power consumption has to come down by factor 10-100.

Japan's
possible
contribution ?

BLUE BACKS

地球外生命 9の論点

存在可能性を最新研究から考える

立花 隆 / 佐藤勝彦 ほか 著
自然科学研究機構 編



945 円