

# アストロバイオロジーへのお誘い Why Not Join Astrobiology ?

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

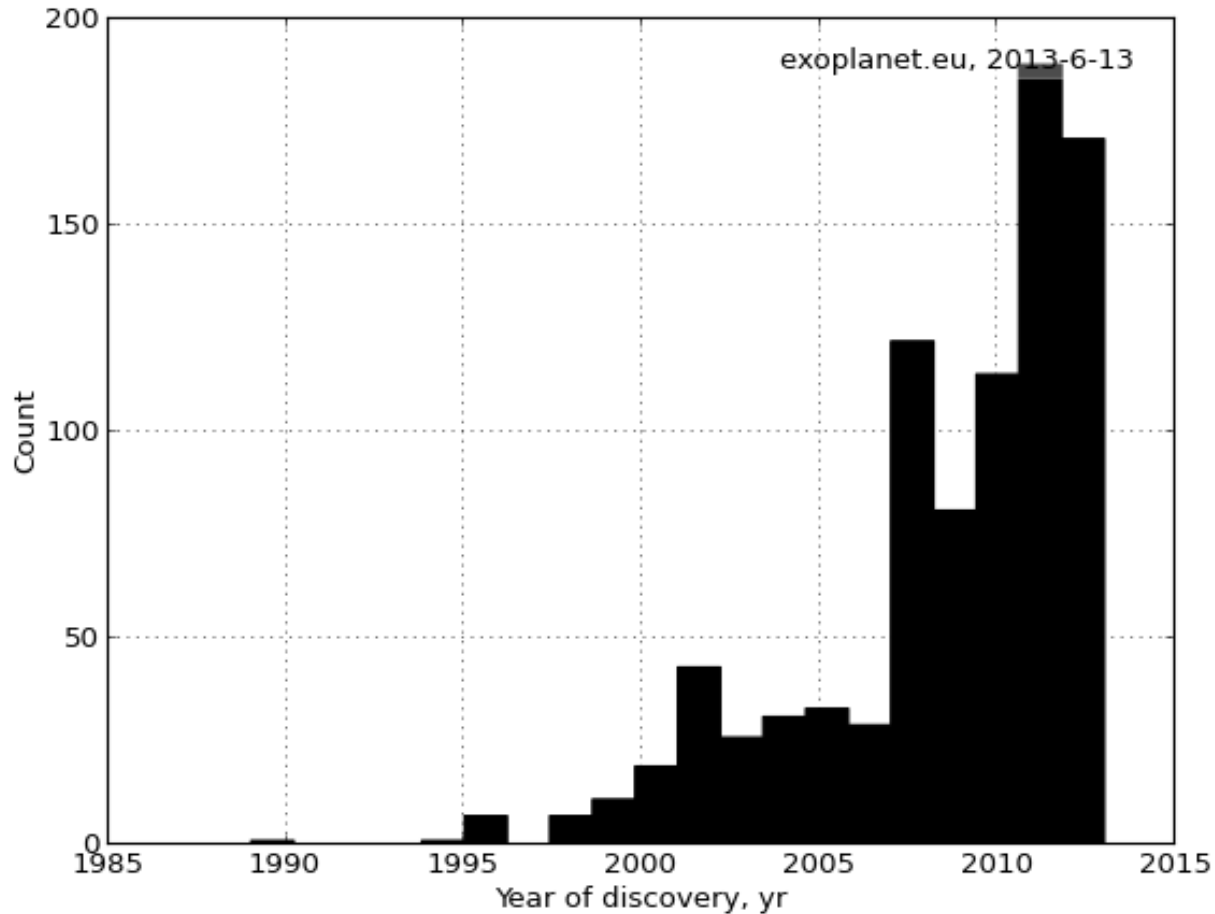
大学共同利用機関法人

自然科学研究機構

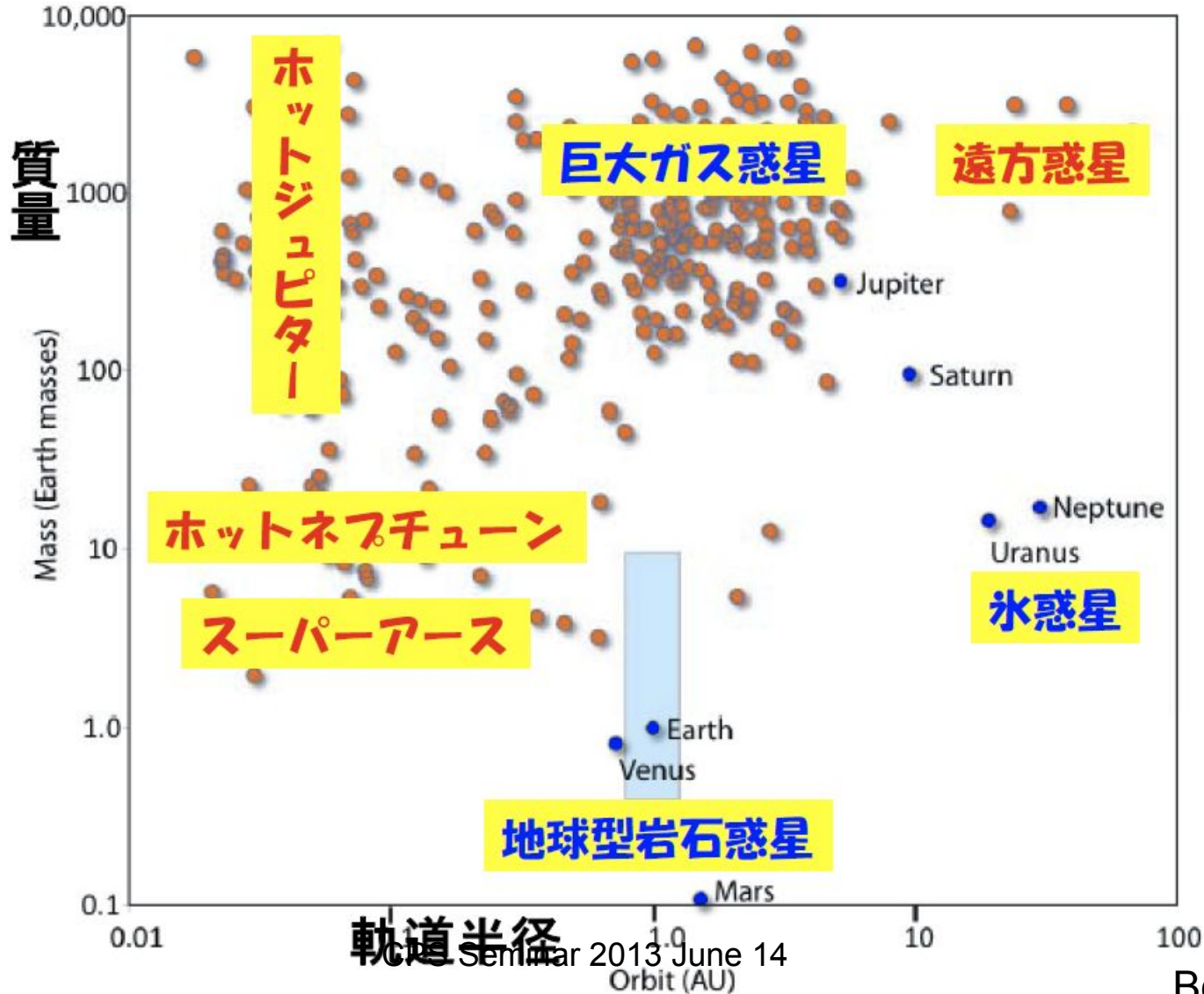
# Outline of my talk

- (long) introduction – history in commencing “Astrobiology”
- Pre-biotic materials in the ISM
- Homo chirality
- Biomarkers
- Concluding advertisement

# 太陽系外惑星 (891個) @ June 11, 2013



# 系外惑星の分類



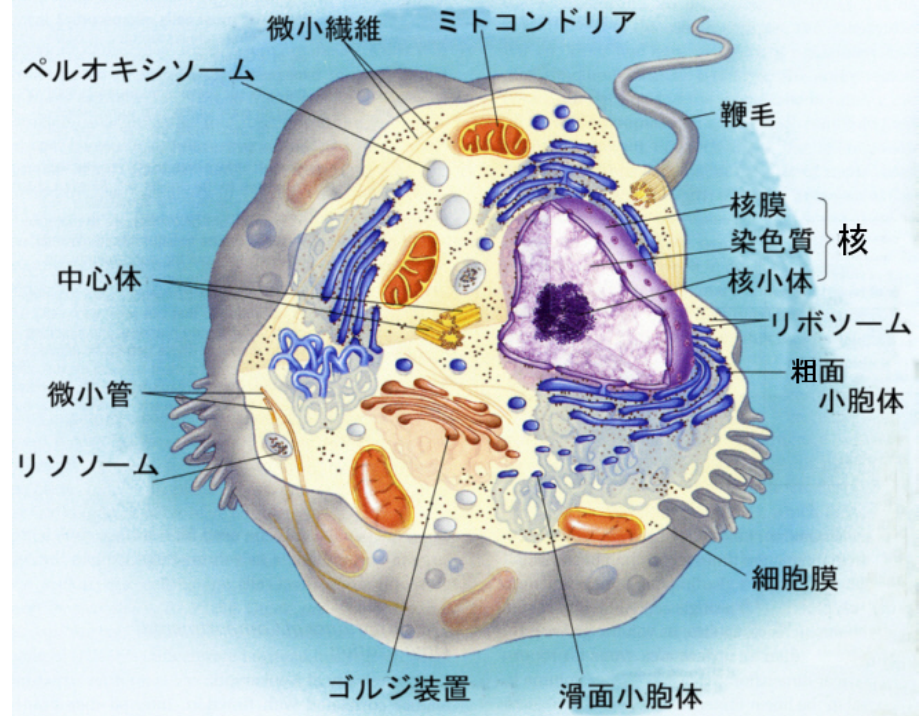


きっとどこかの系外惑星には  
生命が宿っているに違いない

でも、生命ってどうやって  
生まれたんだ？

# 生命とは何か

- 代謝を行う ← タンパク質
- 自己複製を行う ← 核酸
- 外部との境界をもつ  
← 細胞膜
- 進化する



# 生物を構成するもの

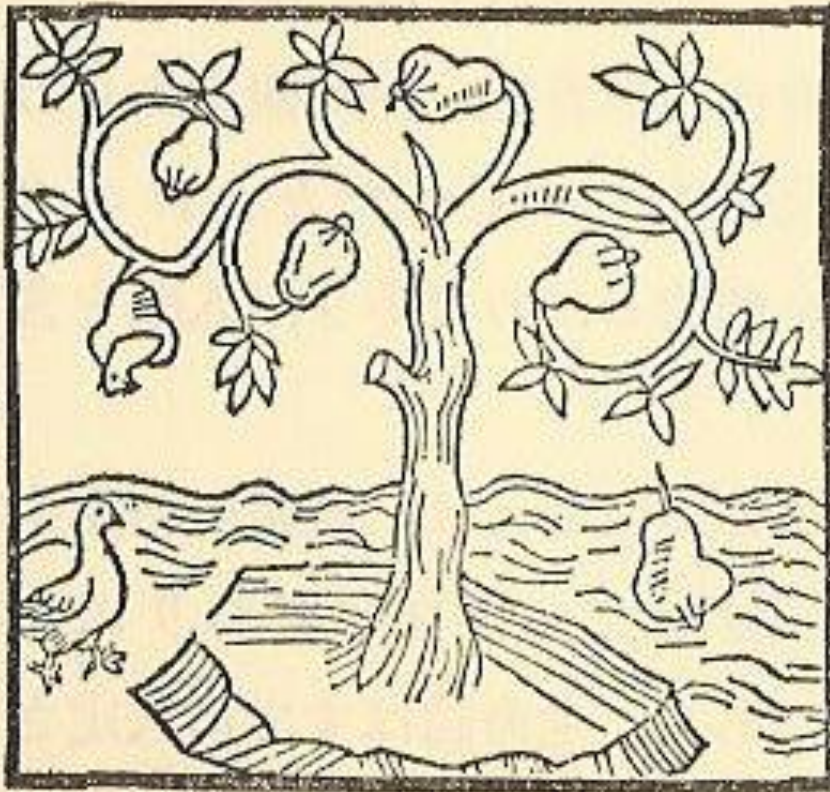
- タンパク質 (アミノ酸がたくさん繋がったもの)  
: 体を構成する
- 糖 : エネルギー源、DNAの基盤
- 脂質 : エネルギー源
- 微量元素
- 水



# 生命の始まり(起原)についての 過去の考察

# 生命自然発生説

## *Spontaneous Generation of Life*

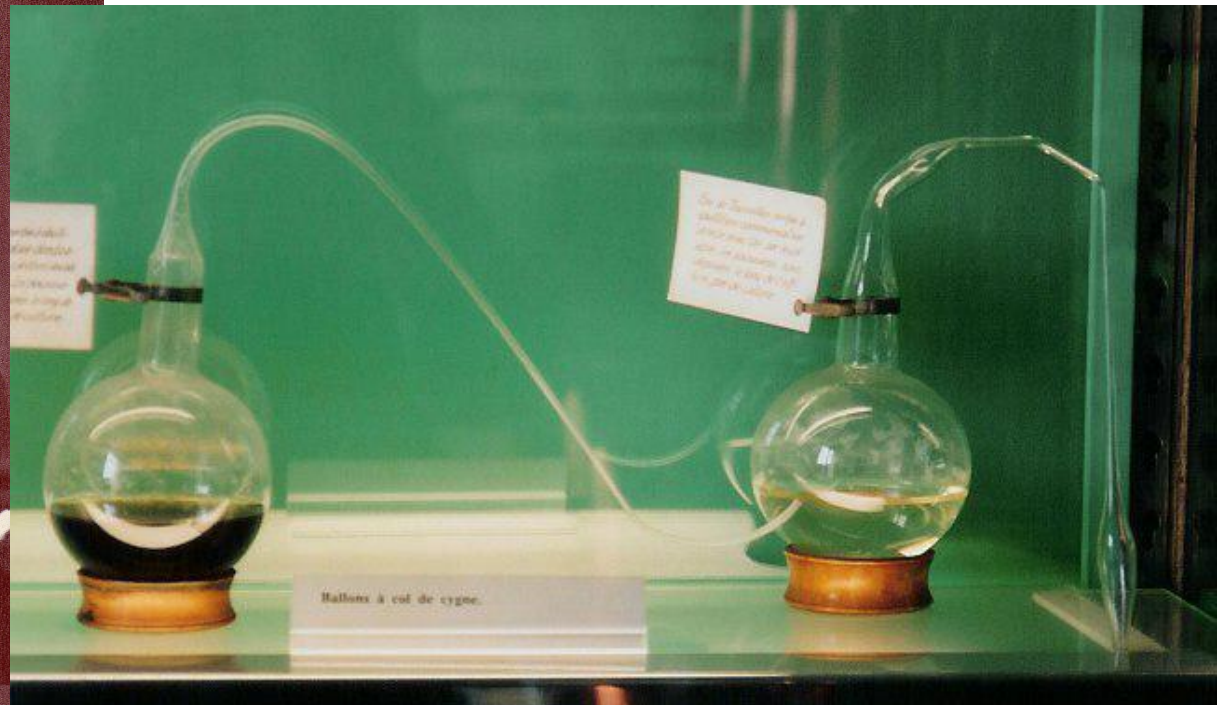


15世紀のガチョウのなる木の版画

- アリストテレスより19世紀まで
- 原田馨: 生命の起源(1977)



# パストゥール： 自然発生説の否定(1860)



# S. アレニウス

*Svanta Arrhenius*

(1859-1927)

- **パンスペルミア説**(地球外から飛んできた生命の胚種がもとになって地球生命が誕生)を提唱
- ノーベル化学賞1903年受賞





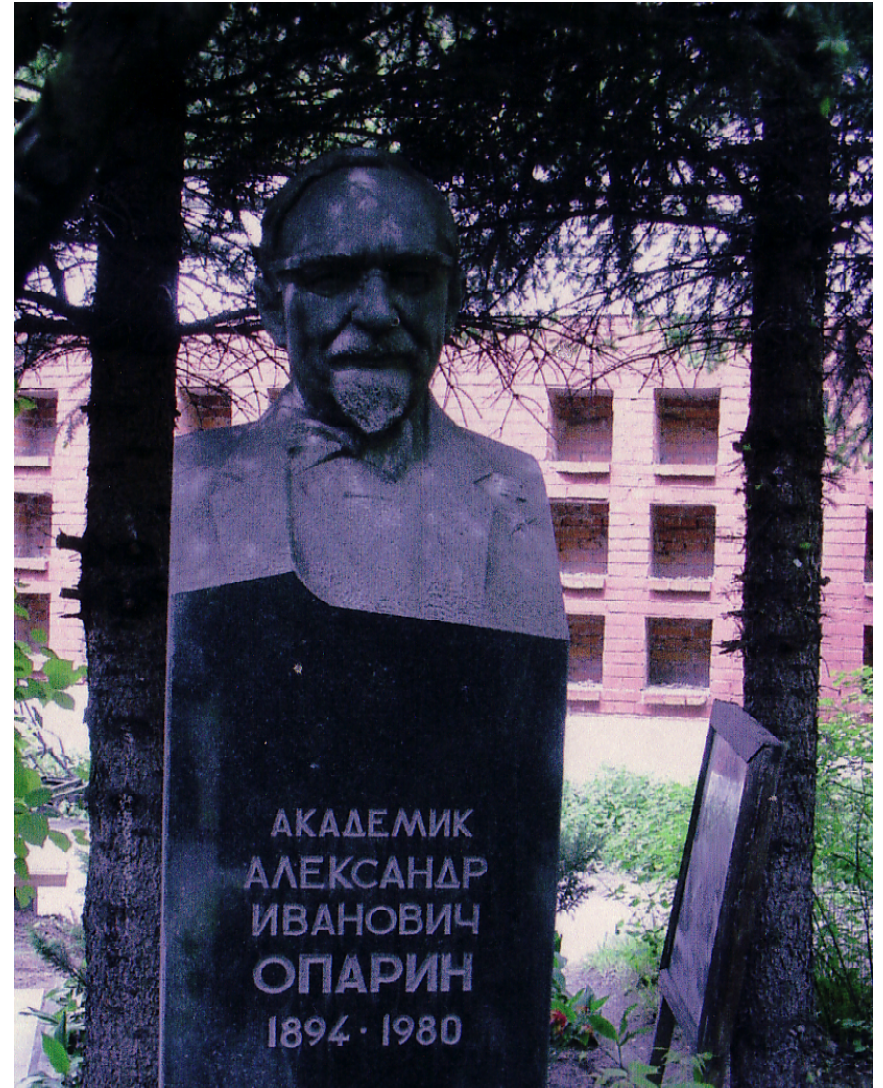
# オパーリン

*A. Oparin*  
(1894-1980)

- 1924年, 「生命の起源」をロシア語で出版
- ホールデン

J. B. S. Haldane  
(1892-1964)

も1928年, イギリスで  
同様の説を発表



オパーリンの墓(モスクワ)

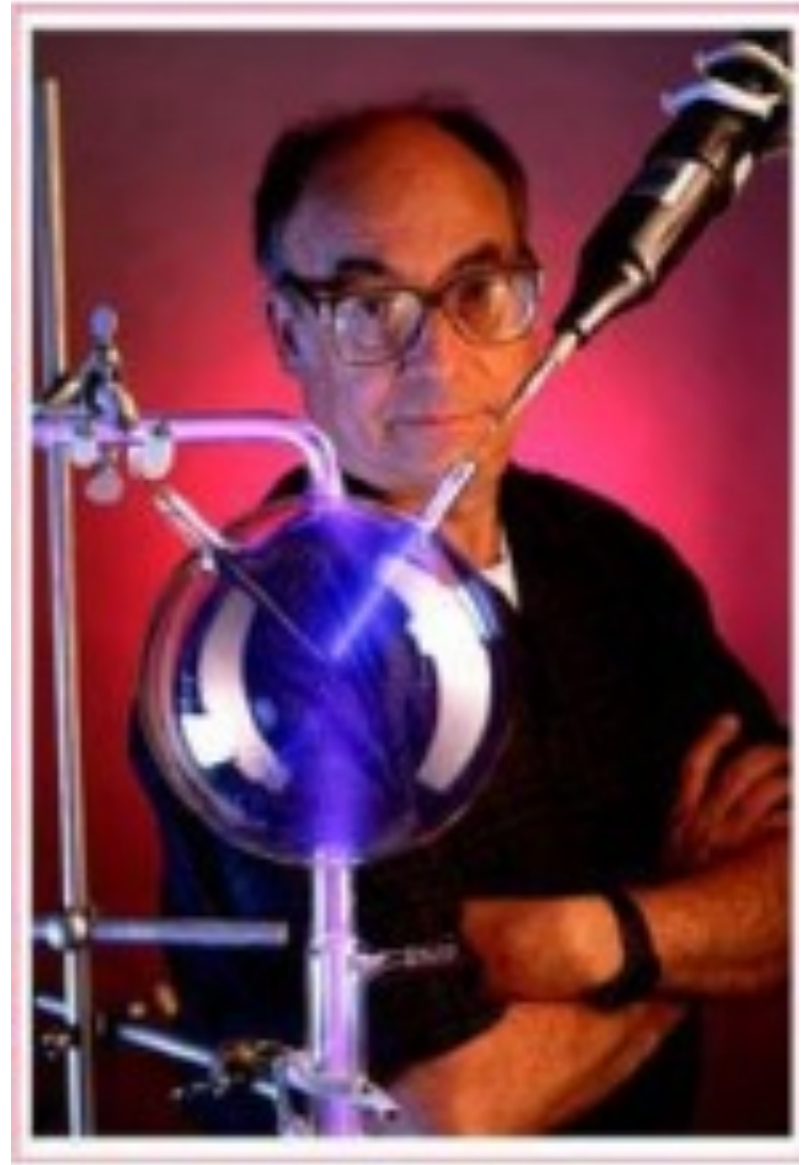


# ミラーの実験 (1953)

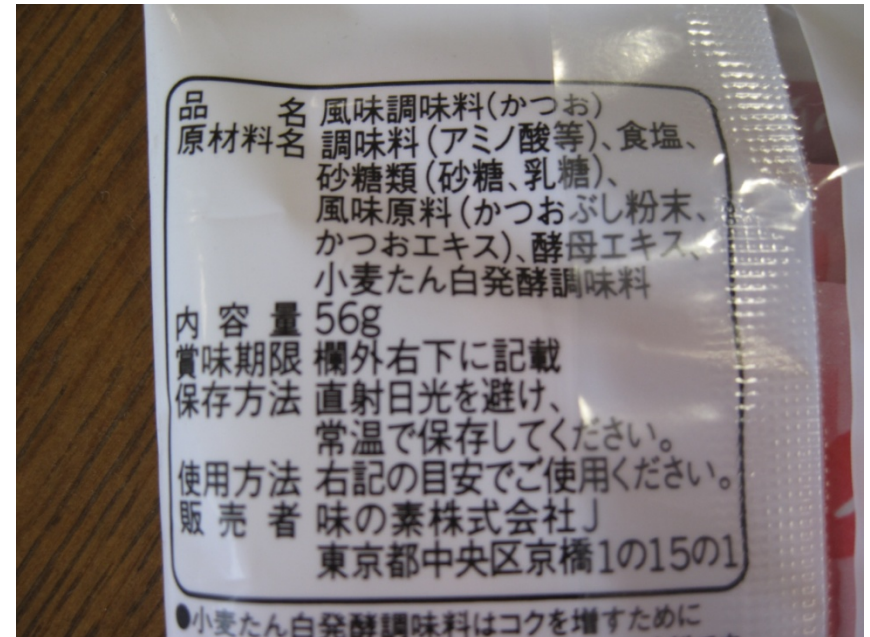
- 原始地球大気(無機物)から有機物が生成するか
- メタン, アンモニア, 水素, 水蒸気(還元的大気)

↓ 火花放電

アミノ酸・尿素・  
カルボン酸などが生成



# ダシはアミノ酸(グリシン等)

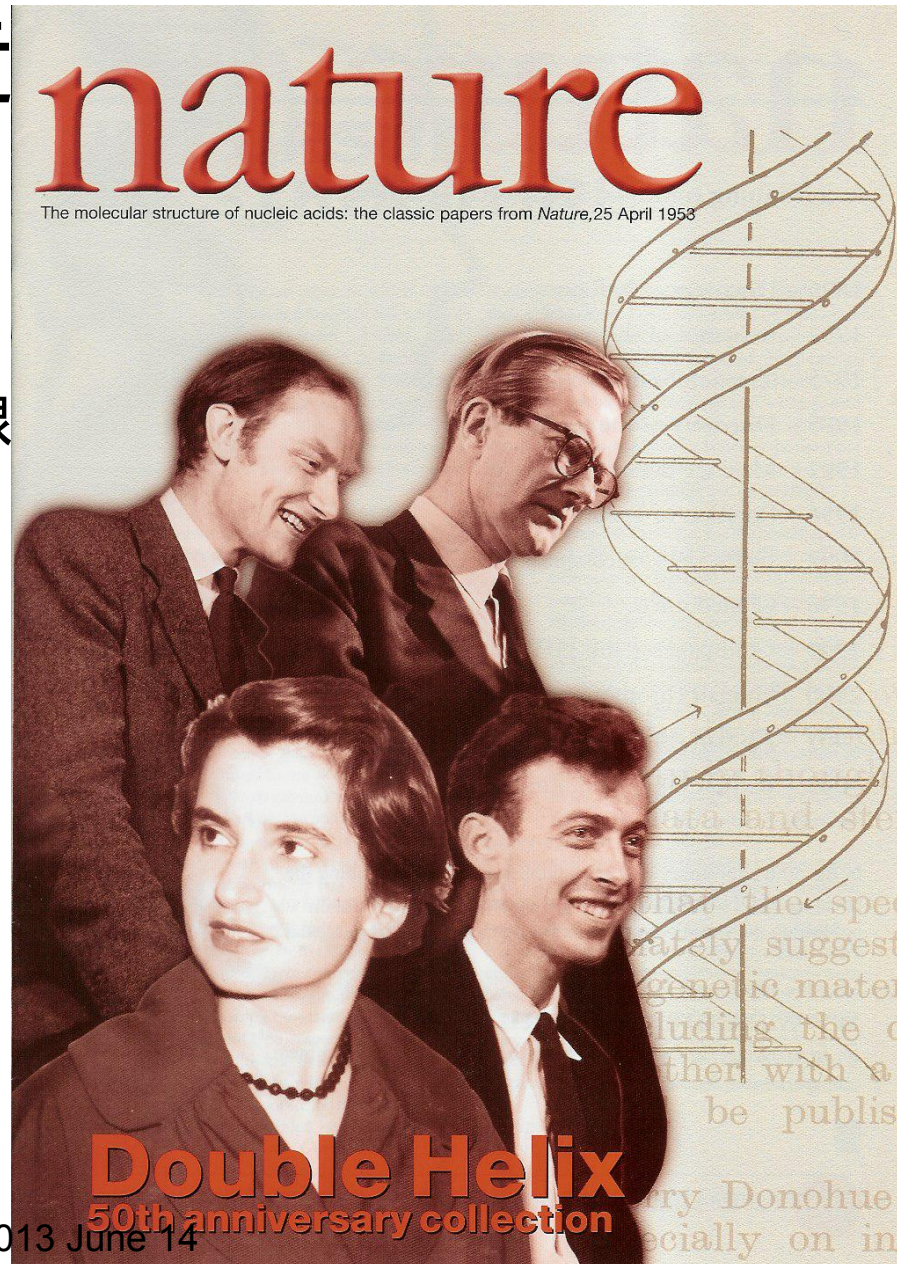




# DNA二重螺旋構造 の発見(1953)

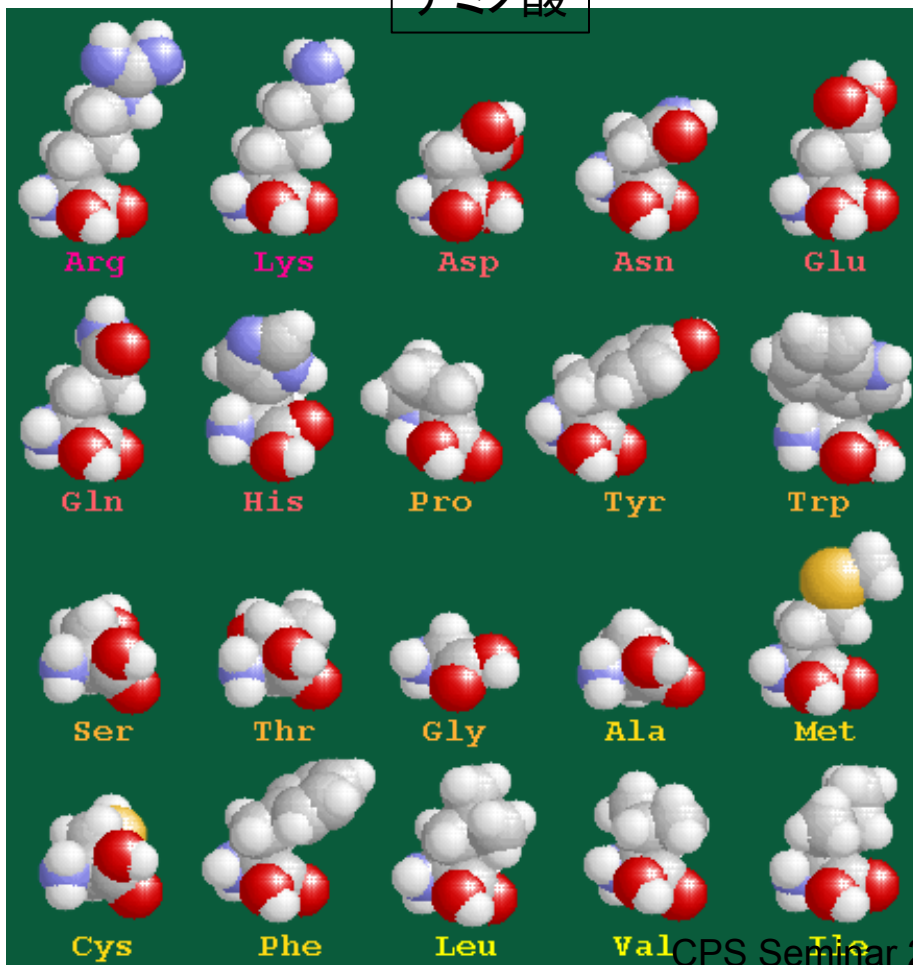
- ウィルキンス (右上)
- フランクリン (左下) DNAのX線回折測定
- クリック (左上)
- ワトソン (右下)

DNA二重螺旋構造の提案

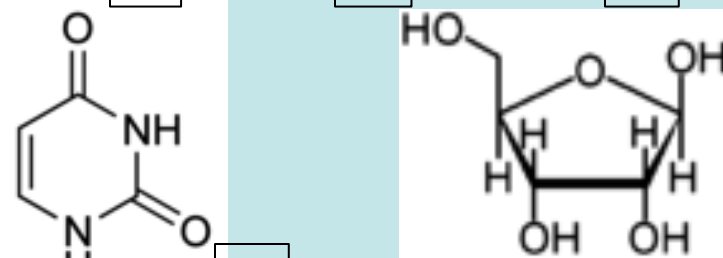
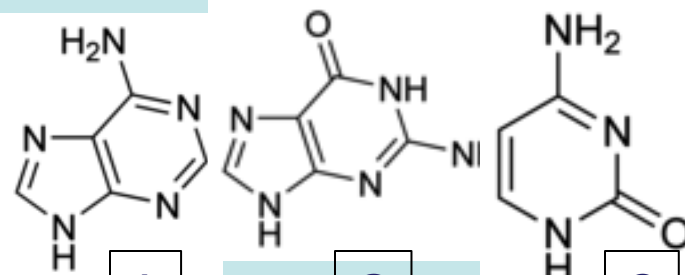
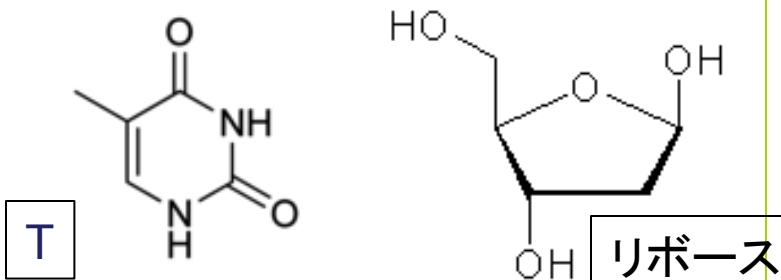


# タンパク質・核酸(DNA/RNA)の構成分子

アミノ酸



DNA





# 遺伝暗号(コドン)

全生物は共通して20個のアミノ酸を使う

1文字目	2文字目								3文字目
	U		C		A		G		
U	UUU	フェニルアラニン	UCU	セリン	UAU	チロシン	UGU	システイン	U
	UUC	フェニルアラニン	UCC	セリン	UAC	チロシン	UGC	システイン	C
	UUA	ロイシン	UCA	セリン	UAA	終止	UGA	終止	A
	UUG	ロイシン	UCG	セリン	UAG	終止	UGG	トリプトファン	G
C	CUU	ロイシン	CCU	プロリン	CAU	ヒスチジン	CGU	アルギニン	U
	CUC	ロイシン	CCC	プロリン	CAC	ヒスチジン	CGC	アルギニン	C
	CUA	ロイシン	CCA	プロリン	CAA	グルタミン	CGA	アルギニン	A
	CUG	ロイシン	CCG	プロリン	CAG	グルタミン	CGG	アルギニン	G
A	AUU	イソロイシン	ACU	トレオニン	AAU	アスパラギン	AGU	セリン	U
	AUC	イソロイシン	ACC	トレオニン	AAC	アスパラギン	AGC	セリン	C
	AUA	イソロイシン	ACA	トレオニン	AAA	リジン	AGA	アルギニン	A
	AUG	メチオニン	ACG	トレオニン	AAG	リジン	AGG	アルギニン	G
G	GUU	バリン	GCU	アラニン	GAU	アスパラギン酸	GGU	グリシン	U
	GUC	バリン	GCC	アラニン	GAC	アスパラギン酸	GGC	グリシン	C
	GUA	バリン	GCA	アラニン	GAA	グルタミン酸	GGA	グリシン	A
	GUG	バリン	GCG	アラニン	GAG	グルタミン酸	GGG	グリシン	G

コドンとアミノ酸の関係

# 現存する生物の遺伝子を比較すると進化系統樹を推定できる

ヒト

VLSPADKTNVKAAWGKVGHAHAGEYGAERALERMFLAFPT

TKTYFPHF

ウマ

ヒト

ウマ

コイ

VLSAADKTNVKAAWSKVGGHAGEYGAERALERMFLGFPT

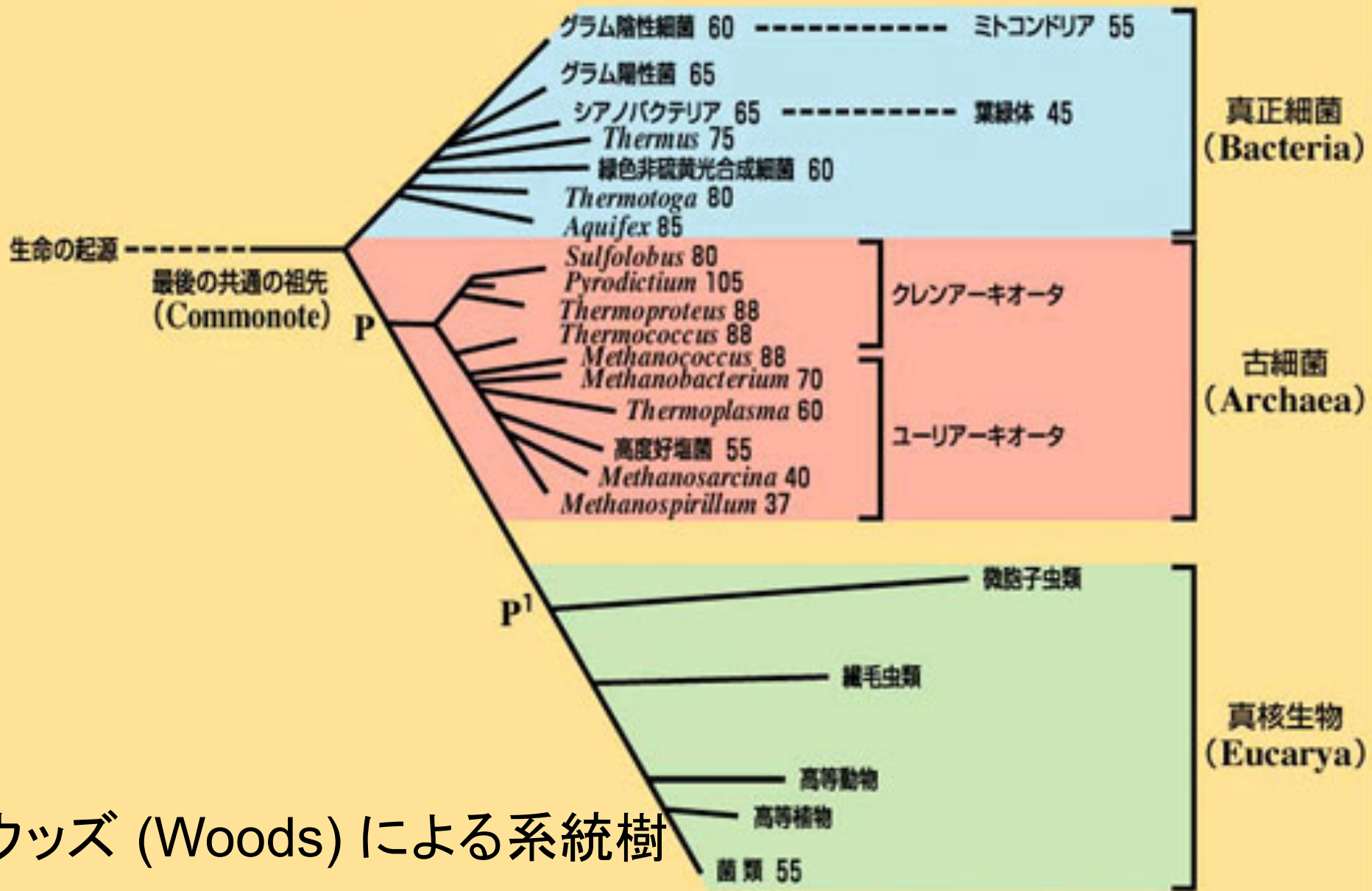
TKTYFPHF

コイ

SLSDKSKAAVKIAWAKISPKADDIGAEALGRMLTVYPQTK

TYFAHW

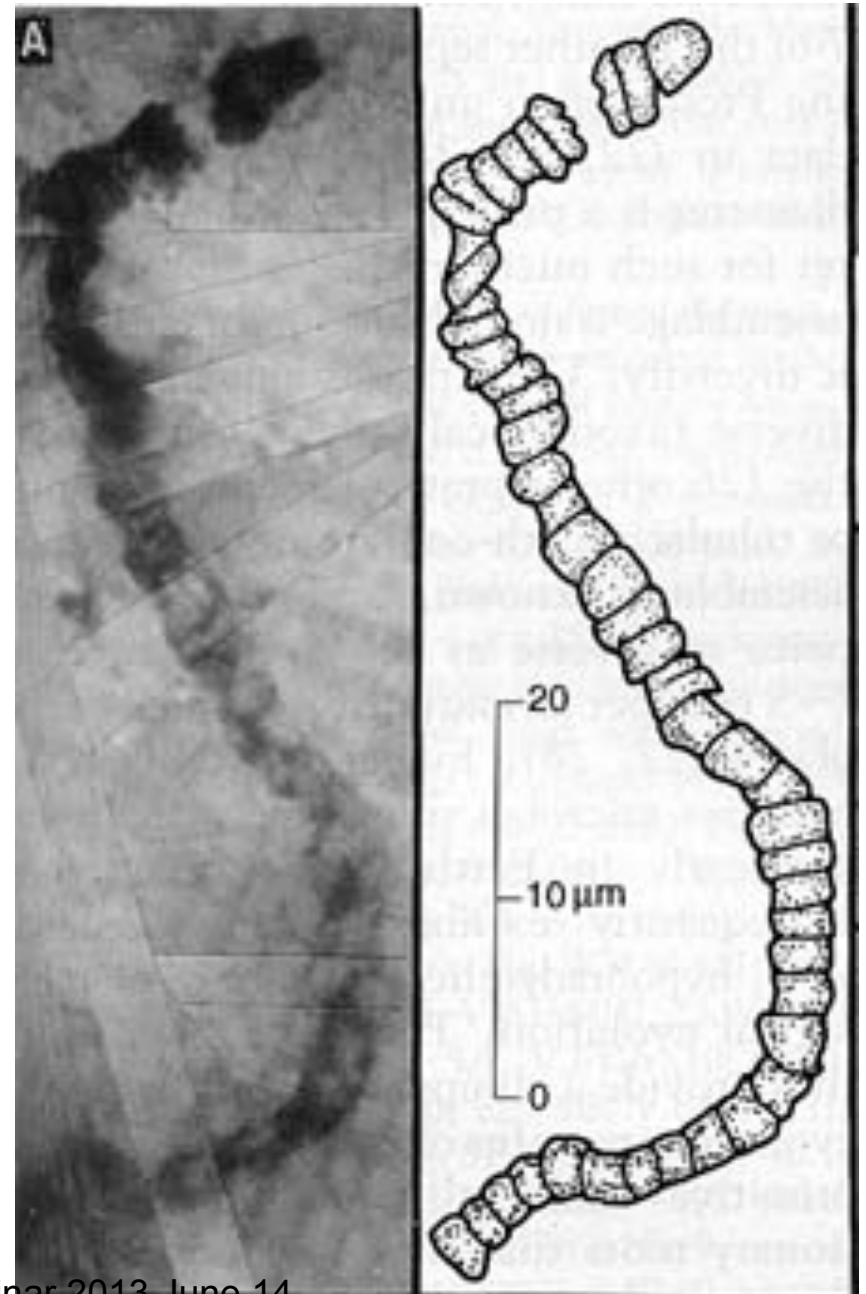
# 全生物の進化系統樹



ウッズ (Woods) による系統樹

# 35億年前の 微化石

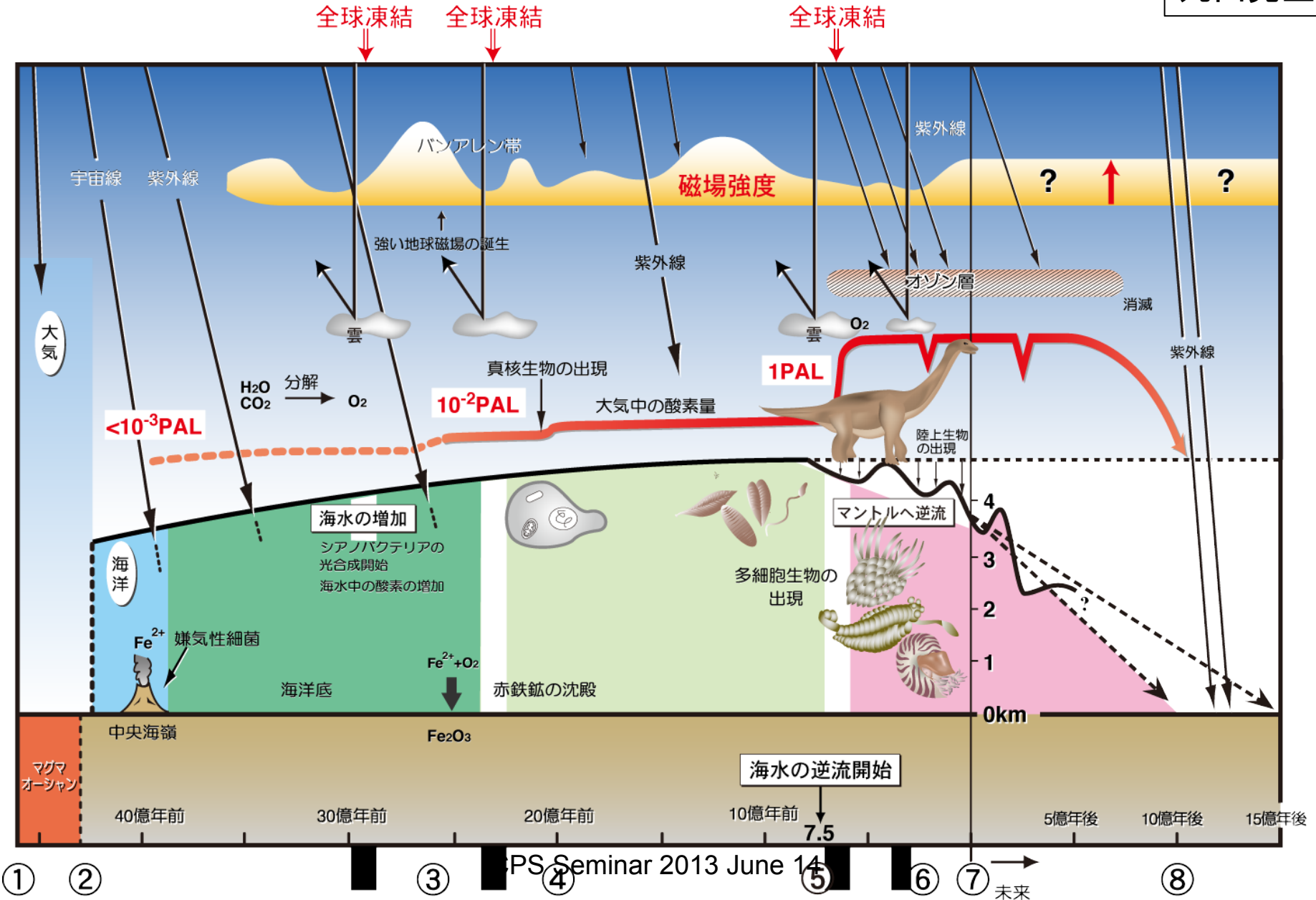
- ショップ (Schopf) が発見したオーストラリア・ノースポールの古岩石中の微化石(左)とそのスケッチ(右)





# 海水の化学組成進化と生命進化

東工大・丸山先生



# アストロバイオロジー *Astrobiology*

- ・NASAにより20世紀末に提唱
- ・地球および地球外における

生命の起源・進化

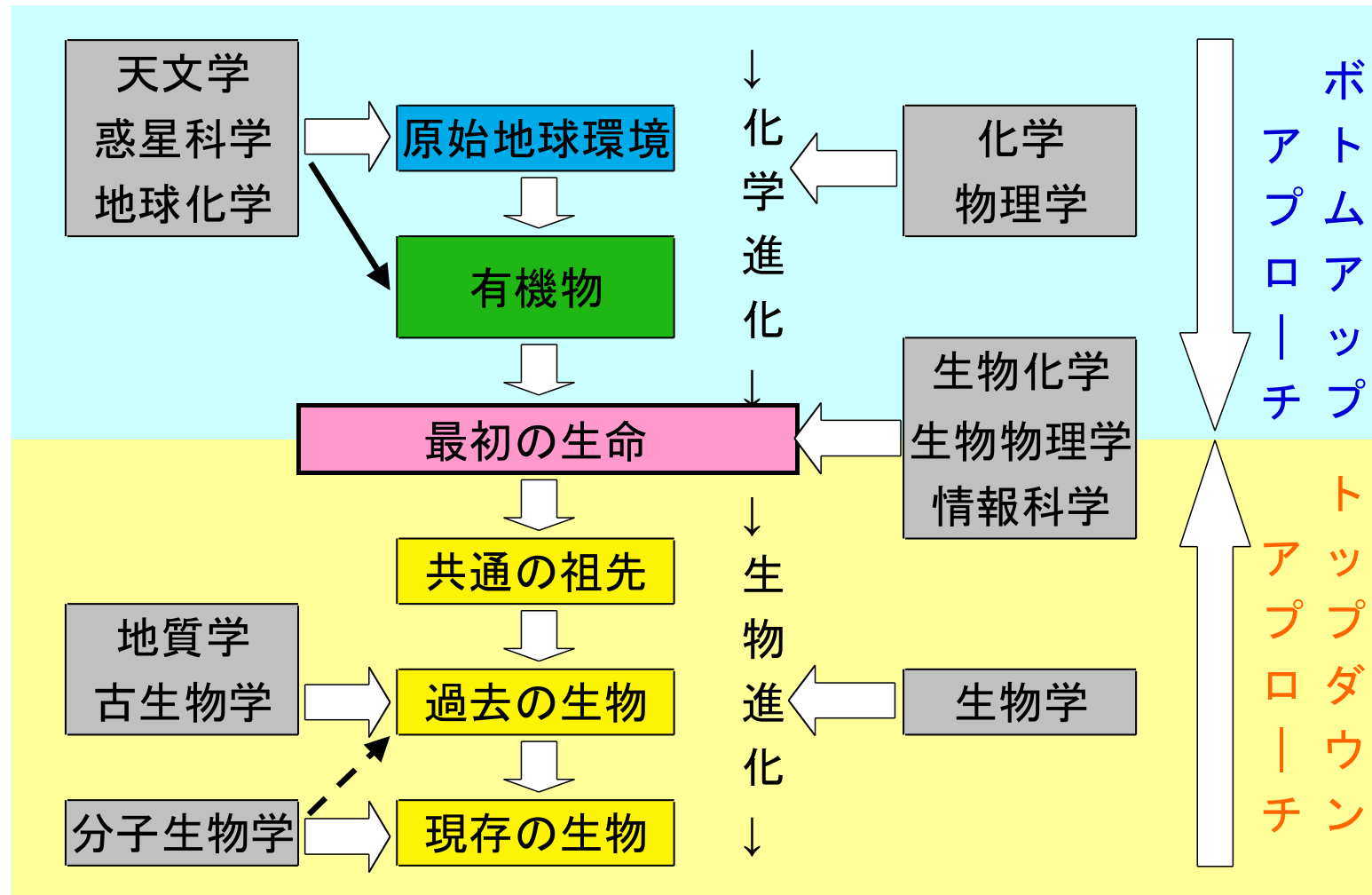
- ・NASA Astrobiology Institute (NAI) 設立 (1997)

<http://www.nasa.gov/>

我々の存在は宇宙でどのような意味を持つのか？  
我々はどこから来てどこに向かうのか？

天体生物学 (Exobiology) (Lederberg, 1960)  
生物天文学 (Bioastronomy)

# 生命の起源へのアプローチ



# 地球科学の発展



## 原始地球大気は中性・酸性的

# 原始地球における有機物生成

- Chyba & Sagan, Nature, 355, 125-132, (1992); Ehrenfreund et al., Rep. Prog. Phys., 65, 1427-1487 (2002)
- 原始大気の酸化度に依存
  - 還元的大気: 隕石衝突、放電による生成
  - 中性大気: 生成効率が3桁少ない
    - 地球外からの有機物搬入

# 隕石衝突等による原始地球大気内の有機物生成

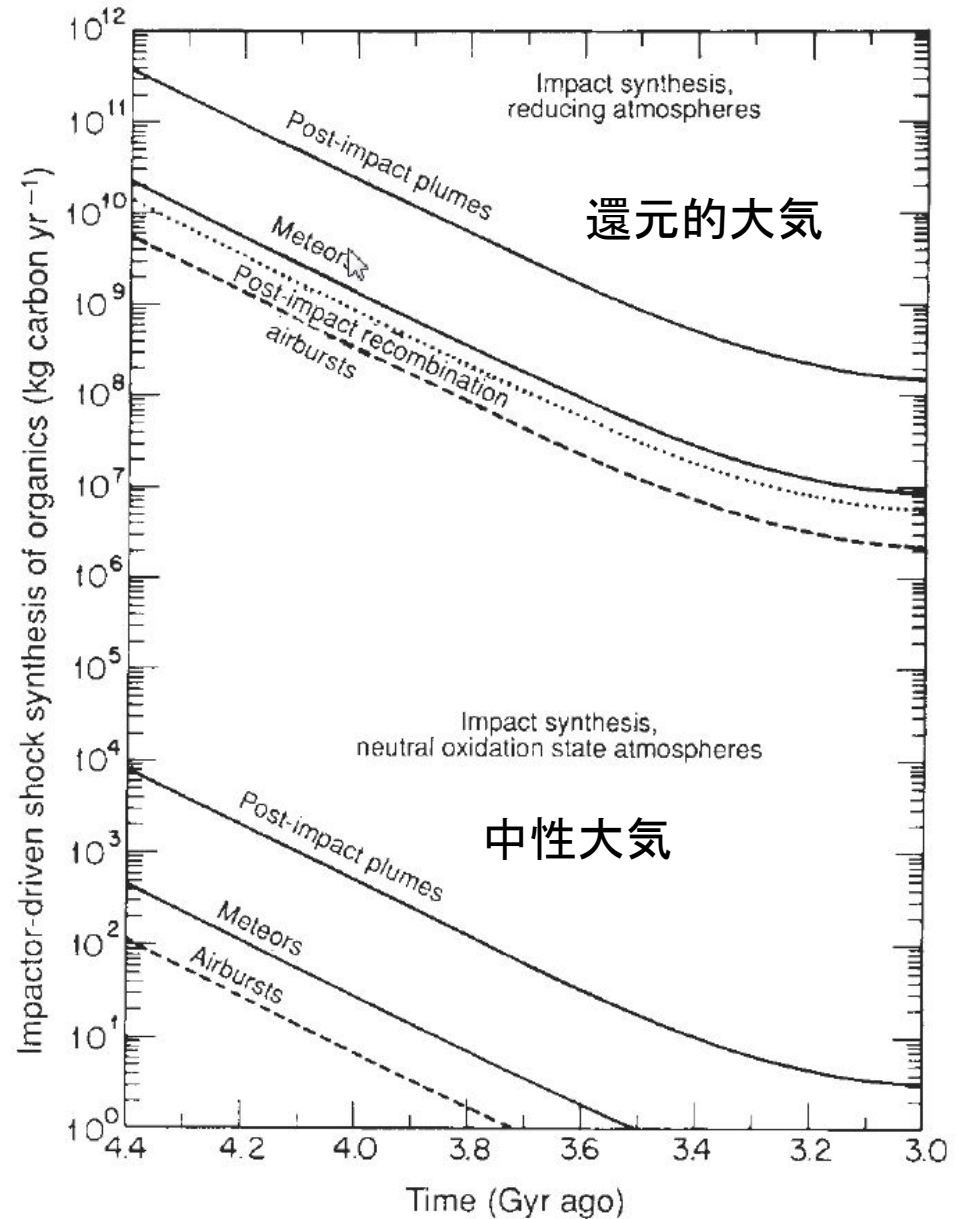
還元的大気:

→ 十分な量が生成

中性大気

→ 8桁ほど少ない

(Chyba & Sagan, 1992)



# Formation of Organic Material

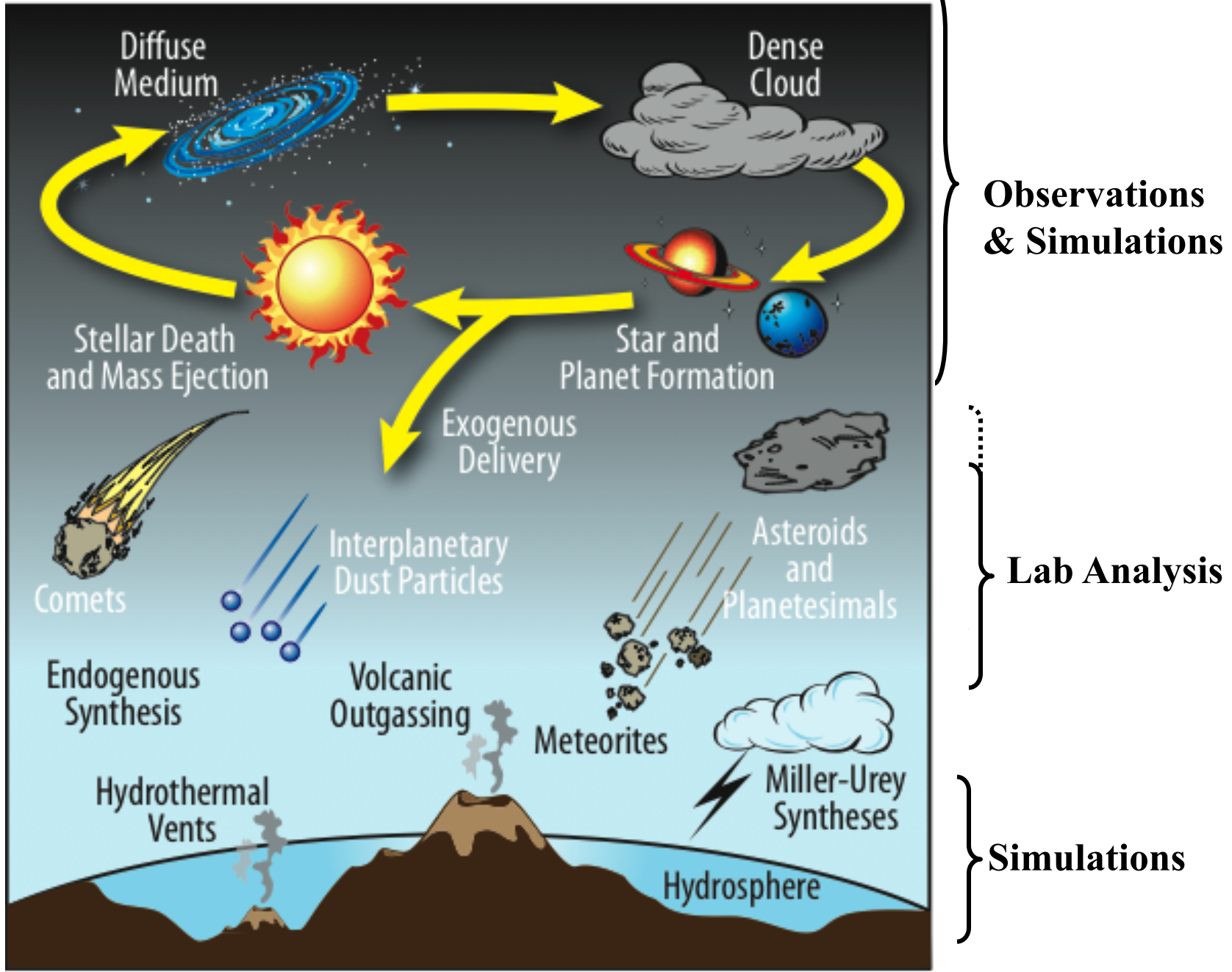
---

Terrestrial sources	(kg yr <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>
UV photolysis <sup>b</sup>	$3 \times 10^8$
Electric discharge <sup>c</sup>	$3 \times 10^7$
Shocks from impacts <sup>d</sup>	$4 \times 10^2$
Hydrothermal Vents <sup>e</sup>	$1 \times 10^8$
Extraterrestrial sources <sup>f</sup>	(kg yr <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>
IDP's	$2 \times 10^8$
Comets	$1 \times 10^{11}$
Total	$10^{11}$

---

From Ehrenfreund et al. (2002), Table 6

# Stars, Planets, and Life



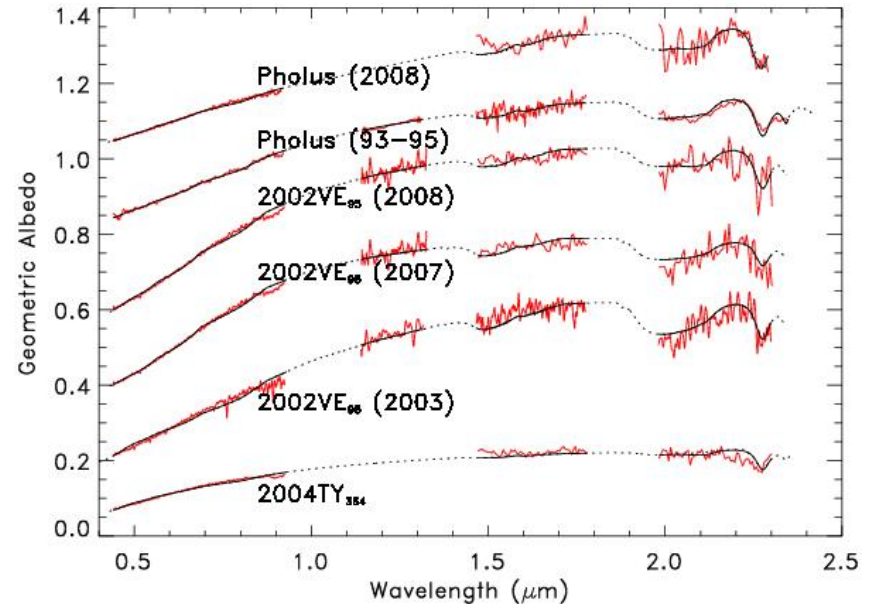


# **Prebiotic Molecules in the Solar System**

# CH<sub>3</sub>OH on Small Solar Bodies

- CH<sub>3</sub>OH absorption on Trans-Neptunian Objects (TNO)
- Primordial material when the object was formed

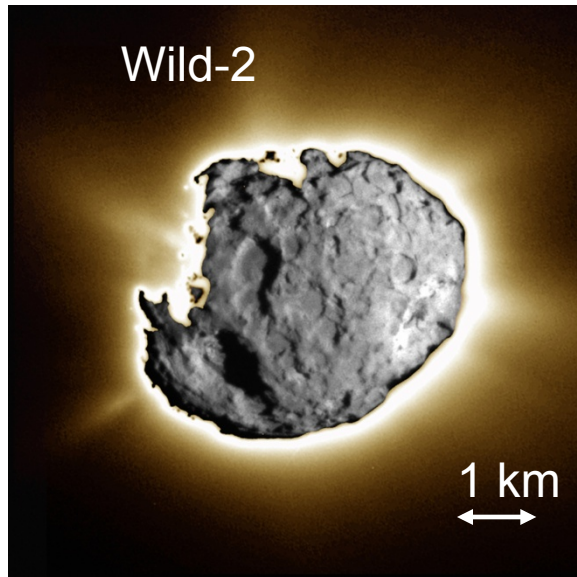
H<sub>2</sub>O-CH<sub>3</sub>OH ice  
ν<sub>4</sub>, ν<sub>5</sub>, ν<sub>9</sub>, ν<sub>10</sub>



F. Merlin et al., A&Ap, 544, A20 (2012)

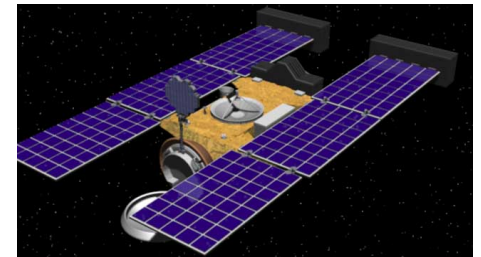
# Fly-bys and Sample Return

- Comets Halley, Borelly and Wild-2
  - Halley: CHON particles detected
  - Wild-2 less evolved comet, spent most of its time in Kuiper Belt, captured into current orbit only 30 years ago



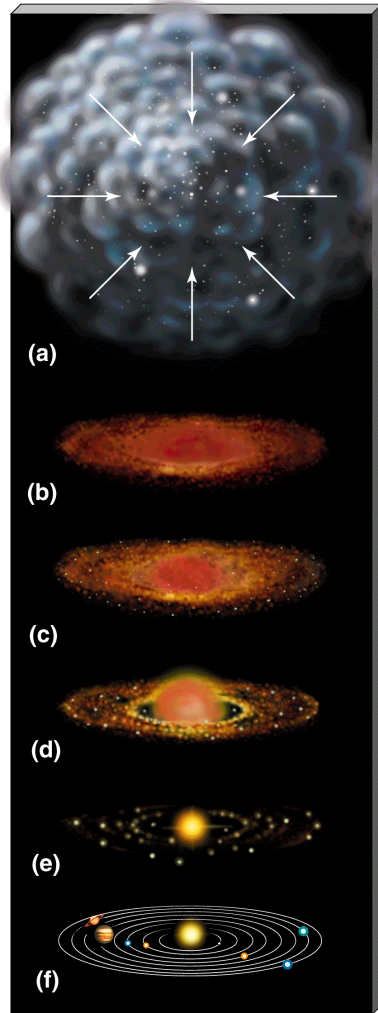
Stardust mission

Report on Glycine  
(Elisia et al. 2009)



# **Organic Molecules in the Interstellar Space**

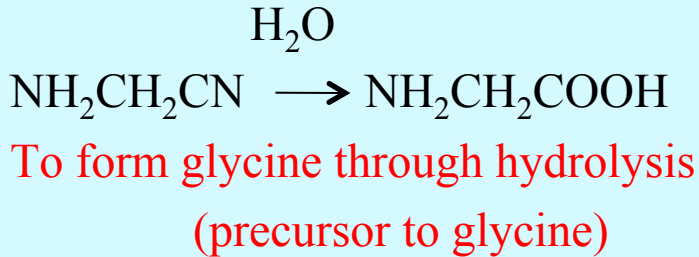
# Prebiotic Species in Space



- Amino acids
  - Glycine, Alanine (trials only)
  - **Amonoacetonitrile (G.C.)**
- Sugars
  - **Glycolaldehyde (G.C.)** : simplest
- Nucleic acids
  - No searches
  - Trials for their building blocks  
pyrimidine, imidazole, pyrrole,,,

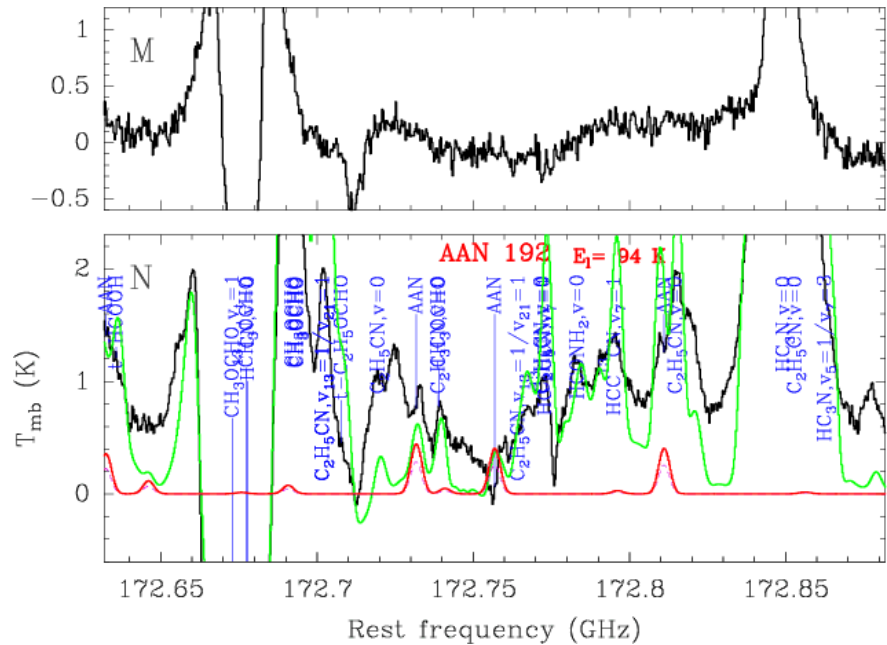
# Aminoacetonitrile

## $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CN}$



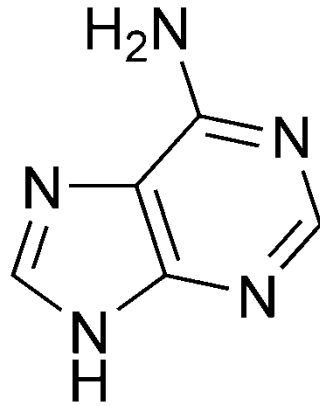
SgrB2(N): Source size < 2 arcsec  
 (very compact)

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

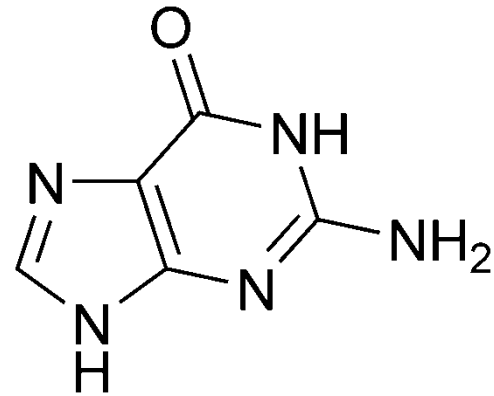


**Need Confirmation**

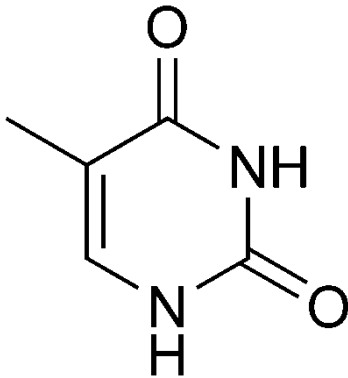
# 核 酸



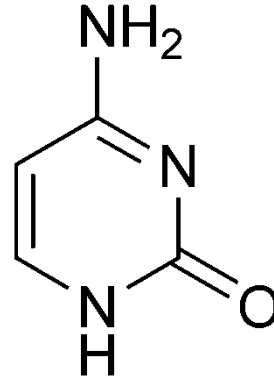
Adenine



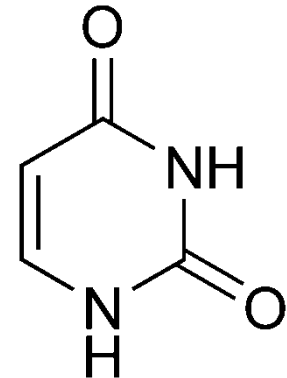
Guanine



Thymine



Cytosine

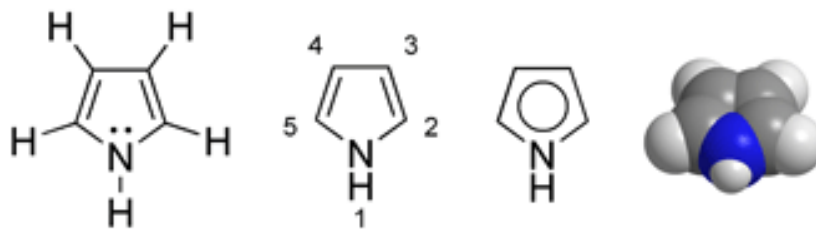


Uracil

# リング分子：核酸の(前駆)<sup>n</sup>体

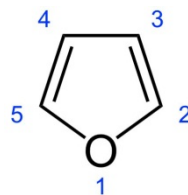
- Pyrrole

- Myers et al. (1980),  
Kutner et al. (1980)



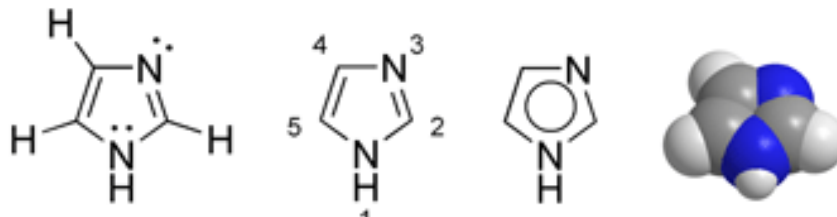
- (Furan)

- Kutner et al. (1980)



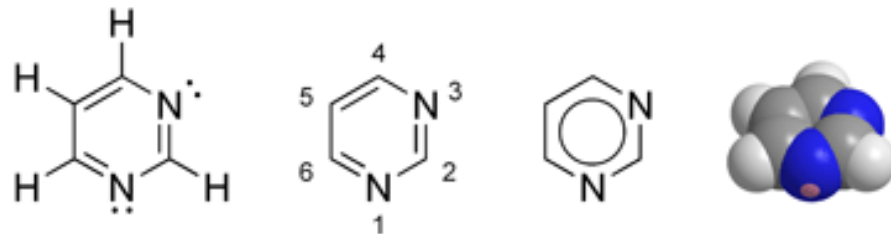
- Imidazole

- Irvine et al. (1981)



- Pyrimidine

- Kuan et al. (2003)



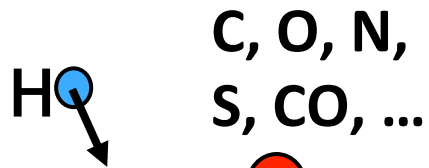
全て星生成領域で探査 → 不成功



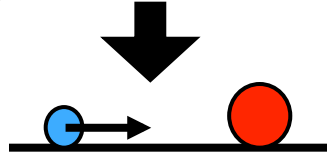
# Hot Core Chemistry – Cold & Hot

## Prestellar

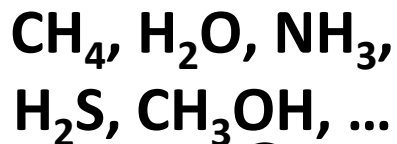
Grain surface  
 $T \sim 10\text{K}$



grain surface



**Hydrogenated,  
saturated molecules**

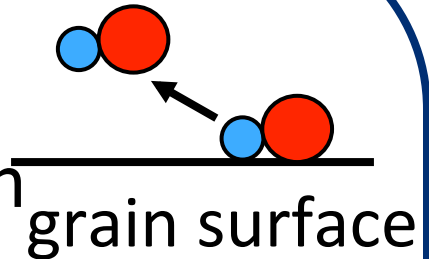


## Protostellar

H. Nomura

Gas-phase reactions  
 $T > 100\text{K}$

→ thermal evaporation  
from grains



(Charnley+ 1992, Millar+ 1997, ...)

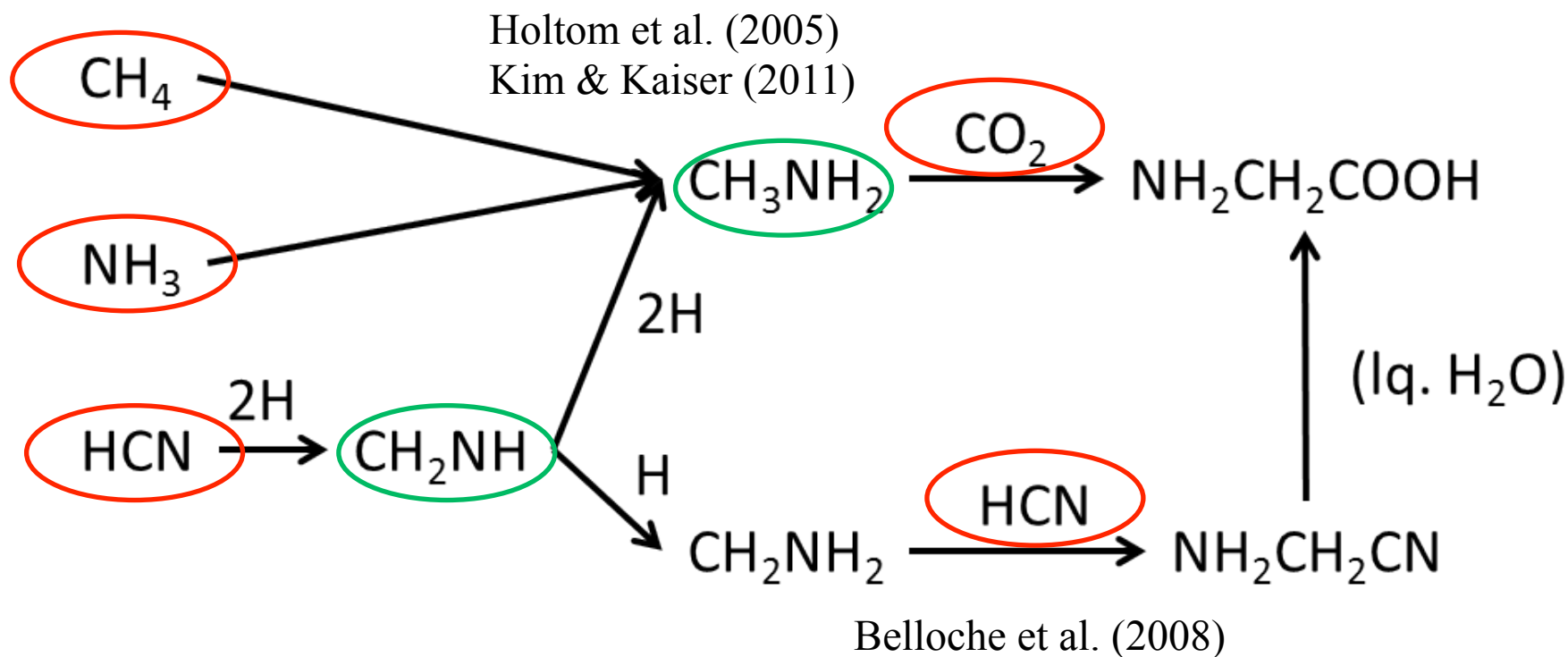
# Glycine Formation on Ice (1)

- Bernstein et al. (2002)
- UV irradiation onto interstellar ice at 15 K
  - H<sub>2</sub>O ice with 0.5-5 % NH<sub>3</sub>, 5-10% CH<sub>3</sub>OH, 0.5-5% HCN
- Amino acids were formed :
  - glycine, alanine, serine, etc.
- These are racemic → not contamination
- Munos Caro et al. (2002) obtained similar results.

# Glycine Formation on Ice (2)

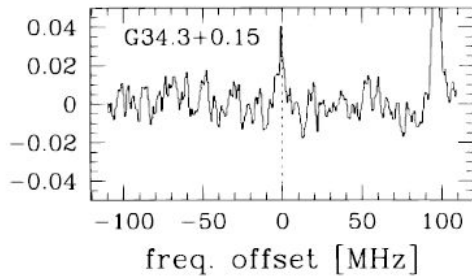
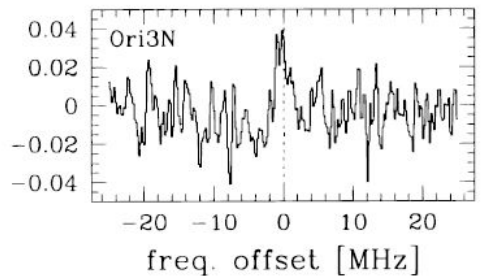
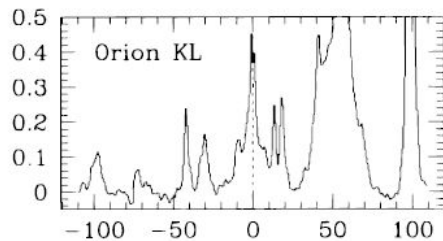
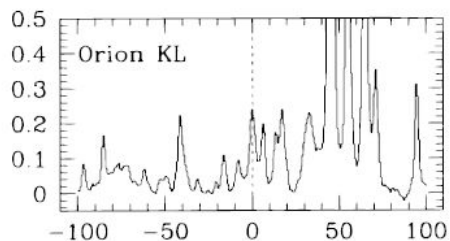
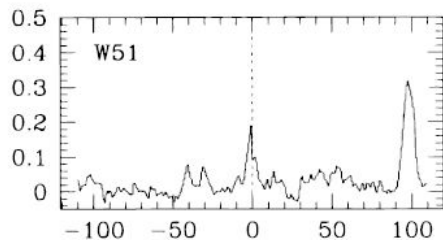
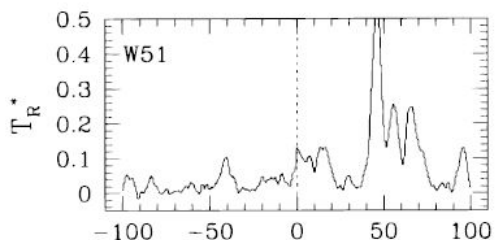
- Holtom et al. ApJ, 626, 940 (2005)
  - Reaction between  $\text{CH}_3\text{NH}_2$  and  $\text{CO}_2$ 
    - $\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{CR} \rightarrow \text{CH}_2\text{NH}_2 / \text{CH}_3\text{NH} + \text{H}$
    - $\text{CO}_2 + \text{H} \rightarrow \text{HOCO}$
    - $\text{NH}_2\text{CH}_2 + \text{HOCO} \rightarrow \text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$
    - $\text{CH}_3\text{NH} + \text{HOCO} \rightarrow \text{CH}_3\text{NHCOOH}$
  - Confirmed on ice (lab.) and by quantum chemical calculations (gas phase !)
- Kim & Kiser, ApJ, 729:68 (2011)
  - observed  $\text{CH}_3\text{NH}_2$  on ice with  $\text{NH}_3/\text{CH}_4$  (lab)

# Possible Formation Paths



 Rich in interstellar molecular clouds

# Past Survey of CH<sub>2</sub>NH/CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>



~ 220 GHz

- CH<sub>2</sub>NH survey toward high-mass SFR by Dickens et al. (1997); very small number of known sources.
- We have extended this work through selecting hot, compact and CH<sub>3</sub>OH sources.

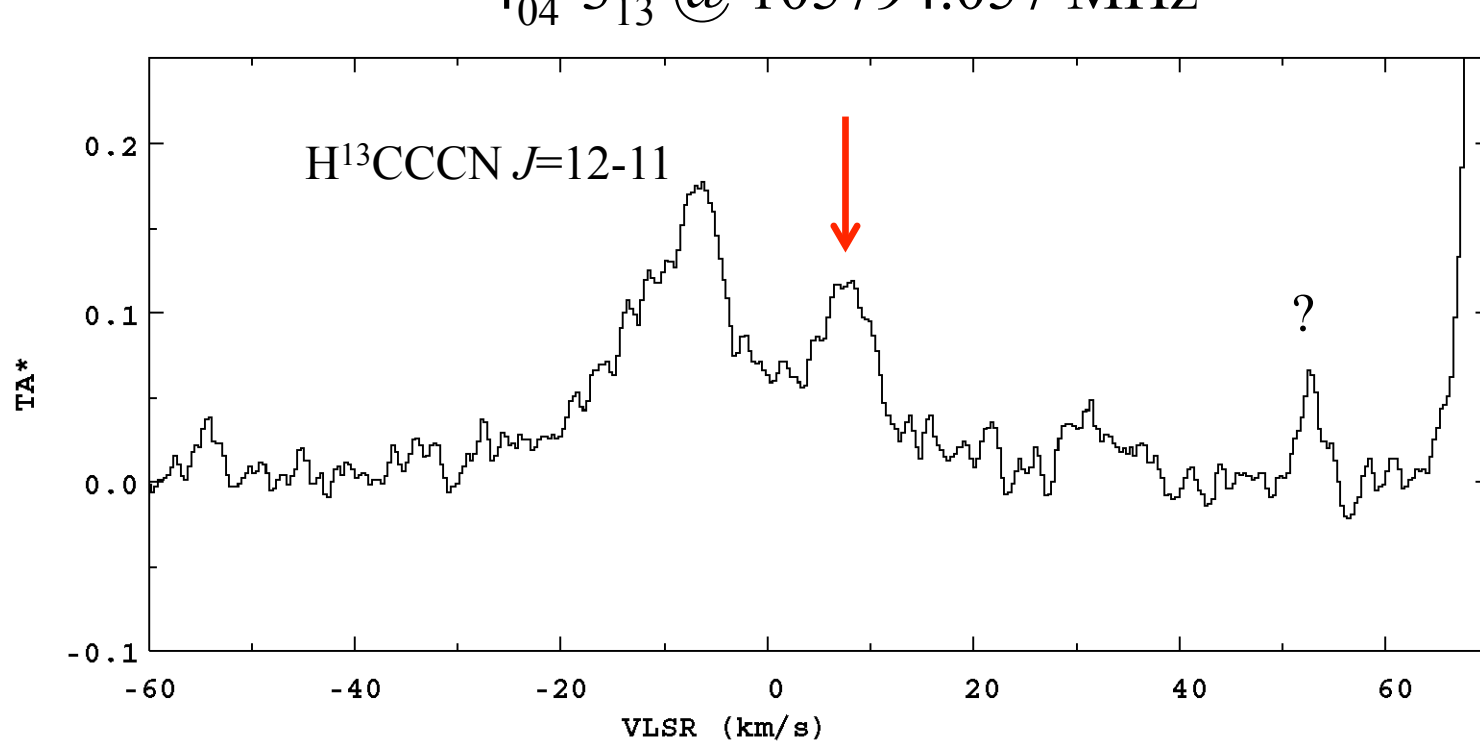
# Our New Observations

- 2013 April
- Rx: TZ (H+V pol.s)  
T<sub>sys</sub> = 120 ~ 200 K for  
80~110 GHz
- Objects: Orion KL,  
W51 e1/e2, NGC6334F,  
G34.3+0.15, G31.4+0.3,  
and others
- Molecules: CH<sub>2</sub>NH,  
CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>, NH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CN



# CH<sub>2</sub>NH in Orion KL

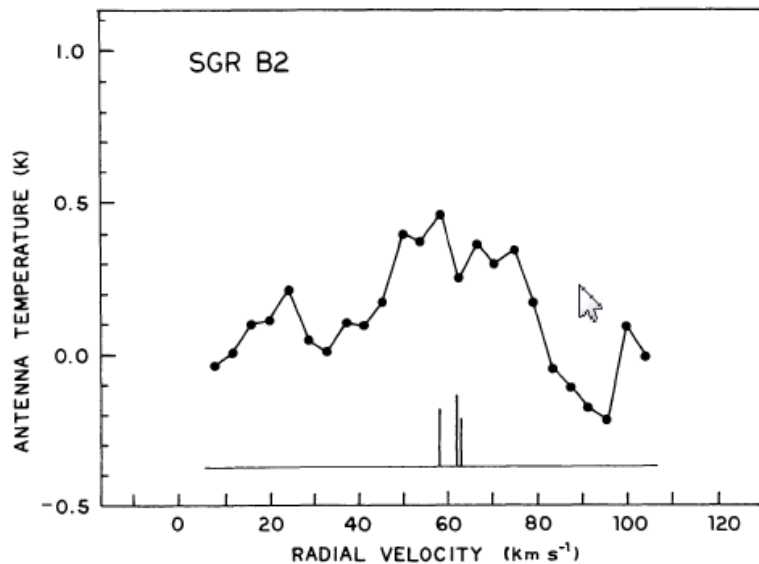
$4_{04}-3_{13}$  @ 105794.057 MHz





# CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>

- Detected by Kaifu et al. (1974)
- Known only in Orion KL, SgrB2, so far
- CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> ~ 10<sup>-7</sup>





# **Toward Detection of Amino Acids in Space**

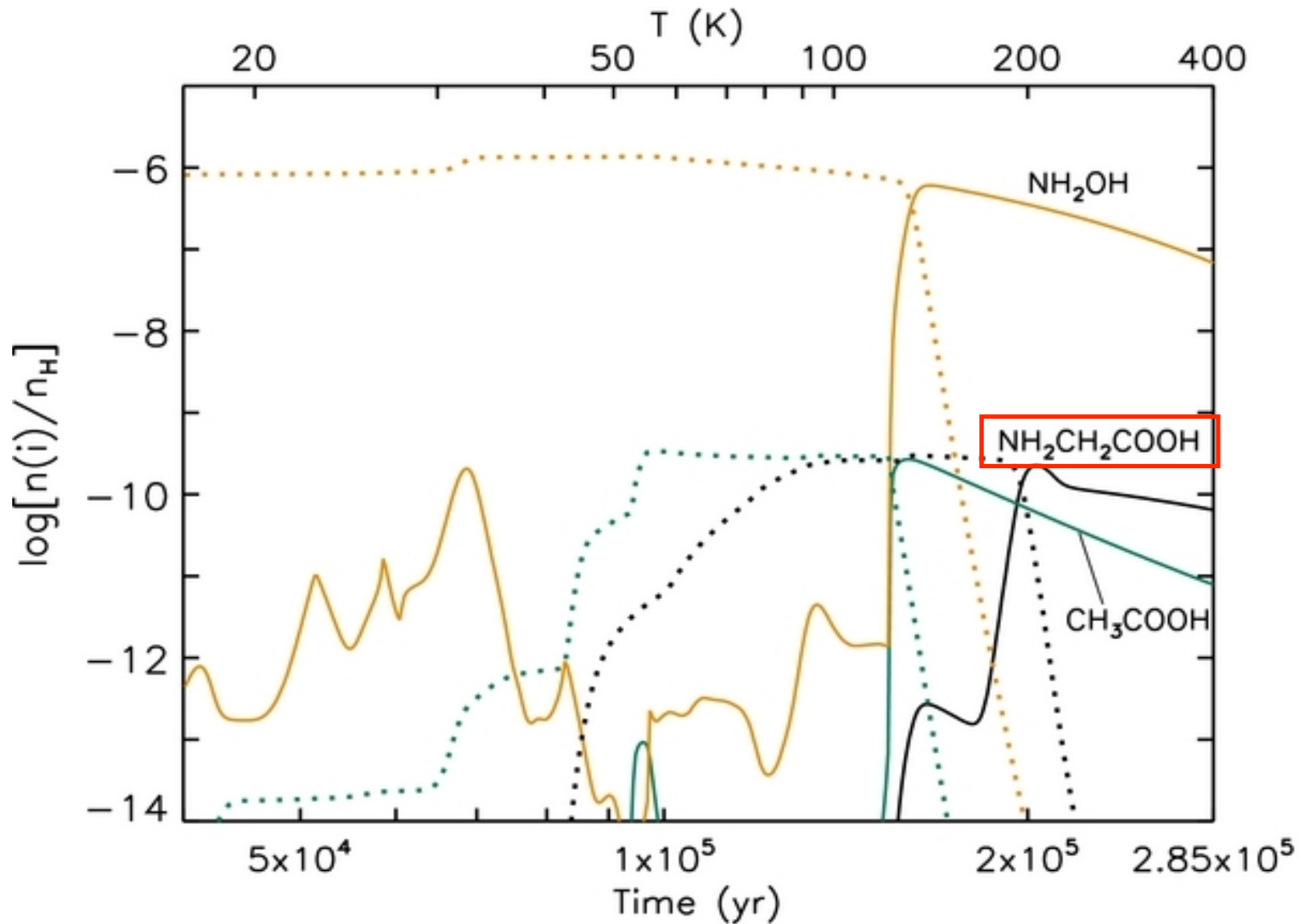
# ALMA

(Atacama Large Millimeter/submillimeter Array)

Int. Collaboration – Japan/N.A./Europe  
30~950 GHz, max. resolution  $\sim 0.01$  sec



# Glycine May be Detectable by ALMA



From Figure 4 of Robin T. Garrod 2013 ApJ 765 60

# Where Should We Search ?

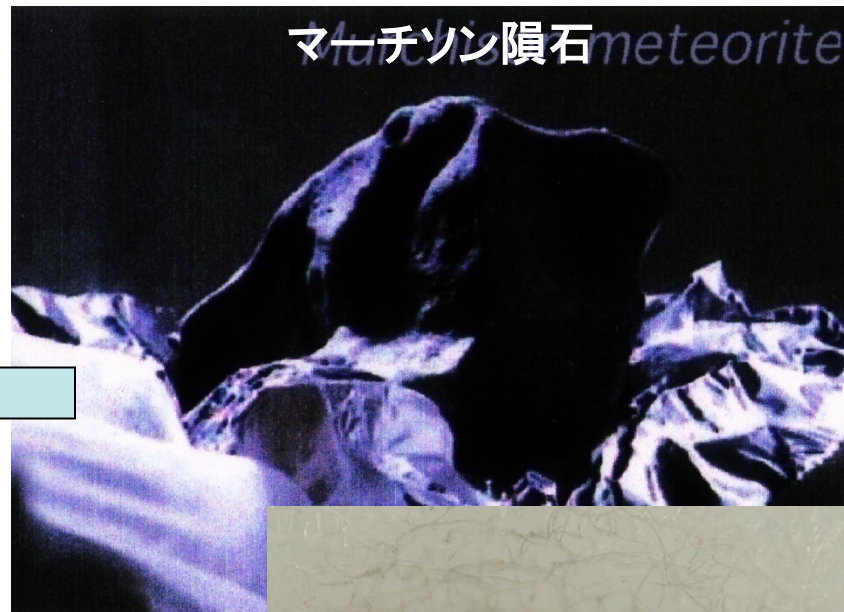
- Star forming regions
- Proto-Planetary nebulae
- Comets
- Planets or satellites



# 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”



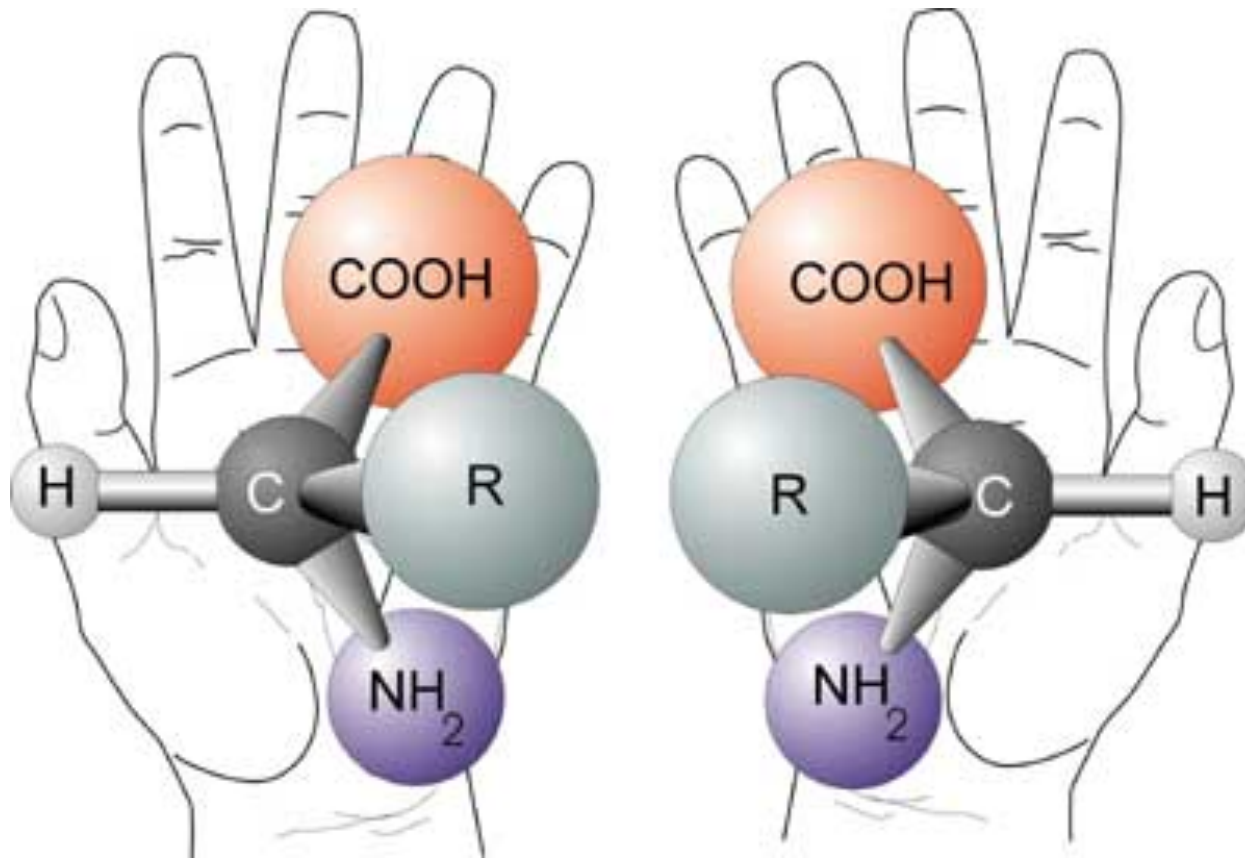
有機構造体

CPS Seminar 2013 June 14

タギッシュレーク隕石

# 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



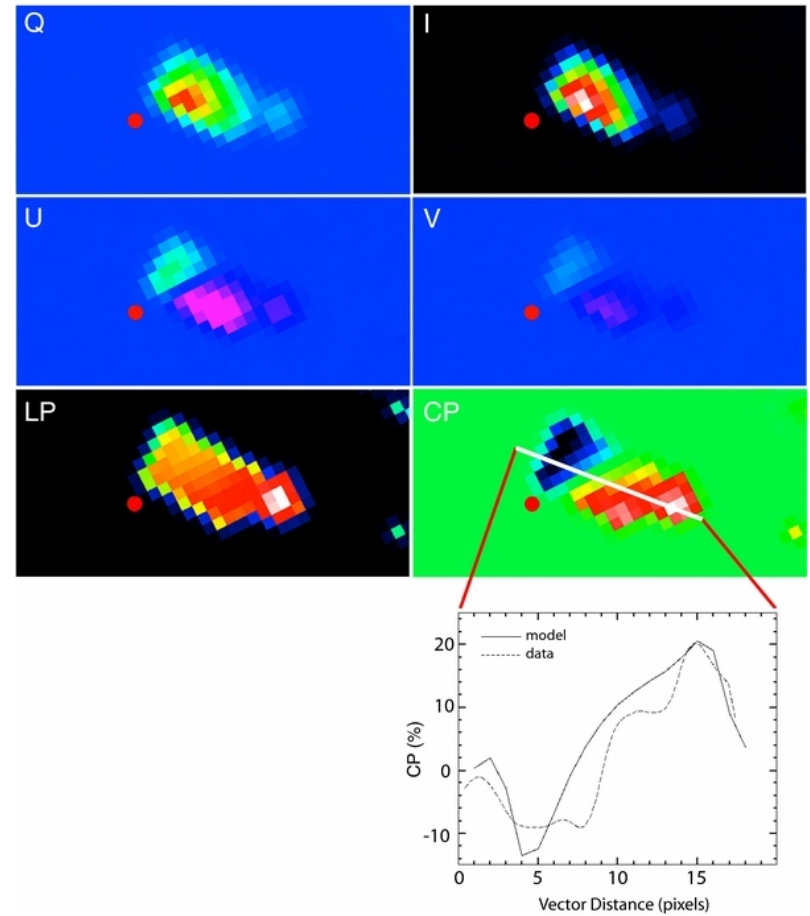
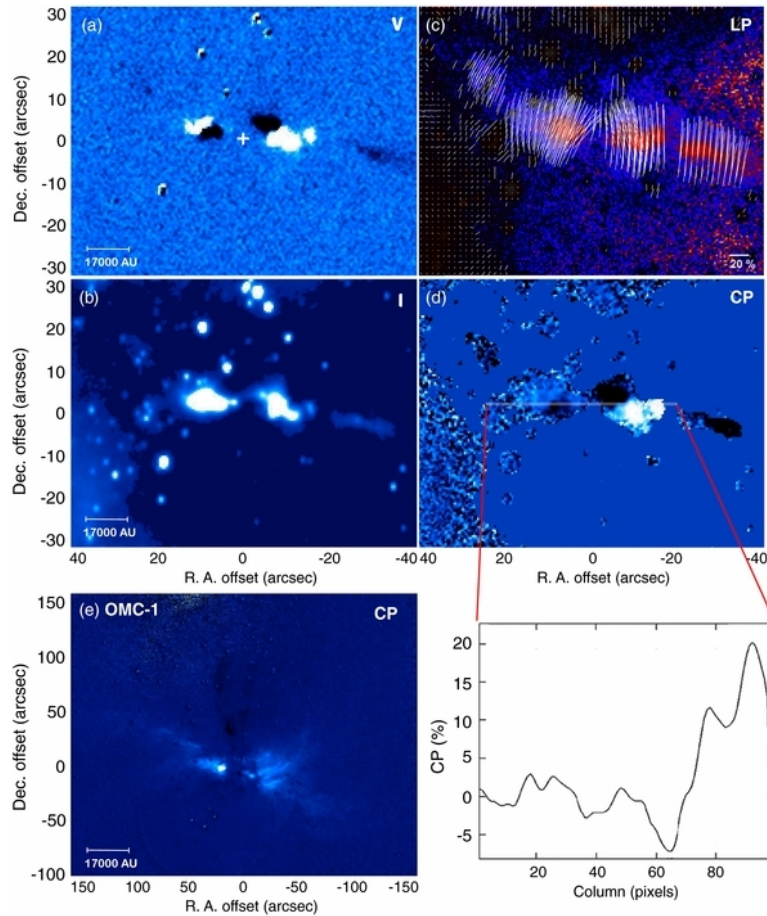
# 模擬星間有機物への円偏光紫外線照射による アミノ酸不斉の創生

CPL beam	Energy / eV	Enantiomer ratio		Enantiomeric excess			Confidence level
		D / %	L / %	(D - L) / %*	SD**		
none		51.32	48.68	2.64	(0)	0.34	
RCPL	1.57 E 10	51.54	48.46	3.08	(+0.44)	0.30	> 95 %
LCPL	1.57 E 10	50.99	49.01	1.98	(-0.66)	0.22	> 99.8 %

\* Figures in brackets are corrected values based on the non-irradiated sample.

\*\* Standard deviations: Number of each set is 7.

# NGC6334での円偏光観測



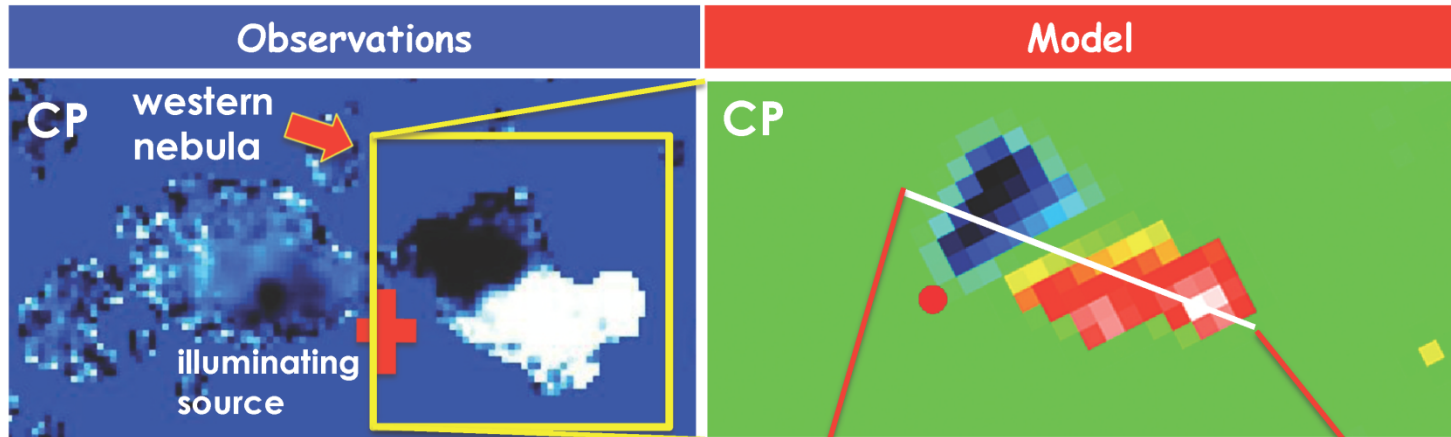
Kwon, J.M, et al, 2013 ApJ 765 L6

CPS Seminar 2013 June 14



# 3D Monte Carlo simulation

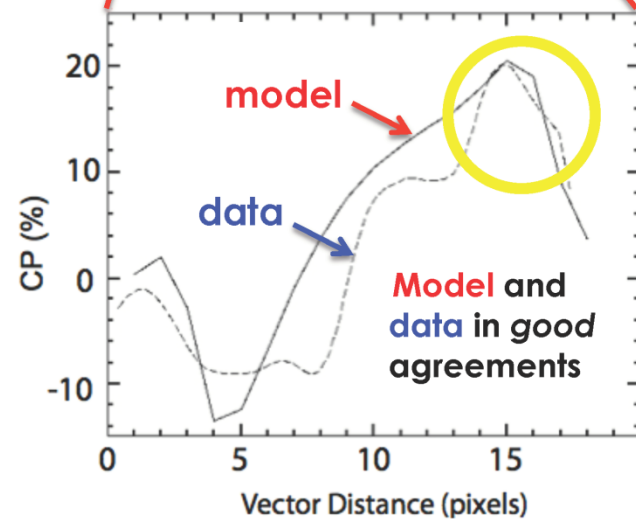
NGC 6334-V (Kwon et al. 2013, ApJL)



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.

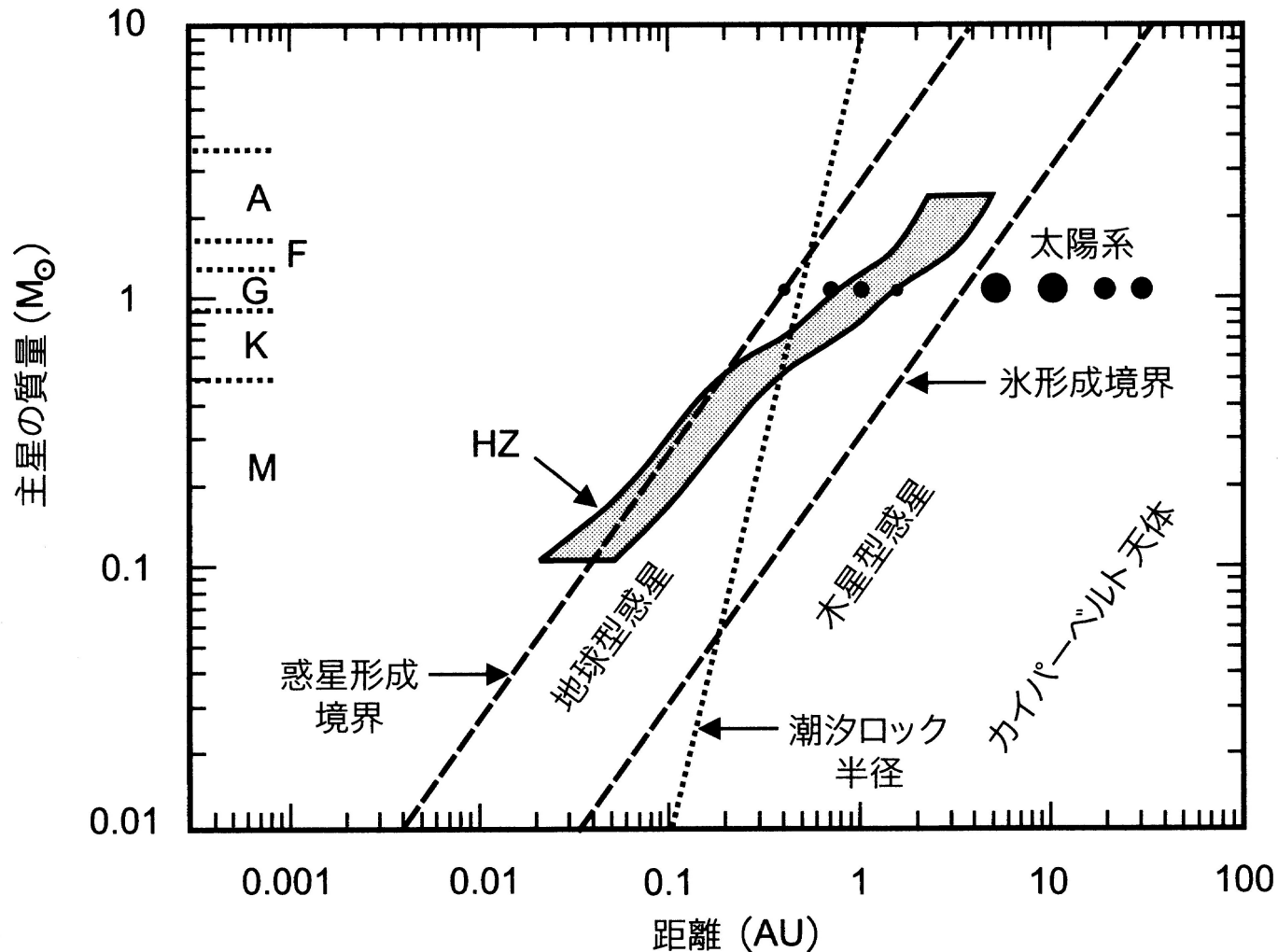
**Our model with magnetic field reproduces**

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



**Biomarkers**  
~ signatures for life ~

# 居住可能性 - 液体の水

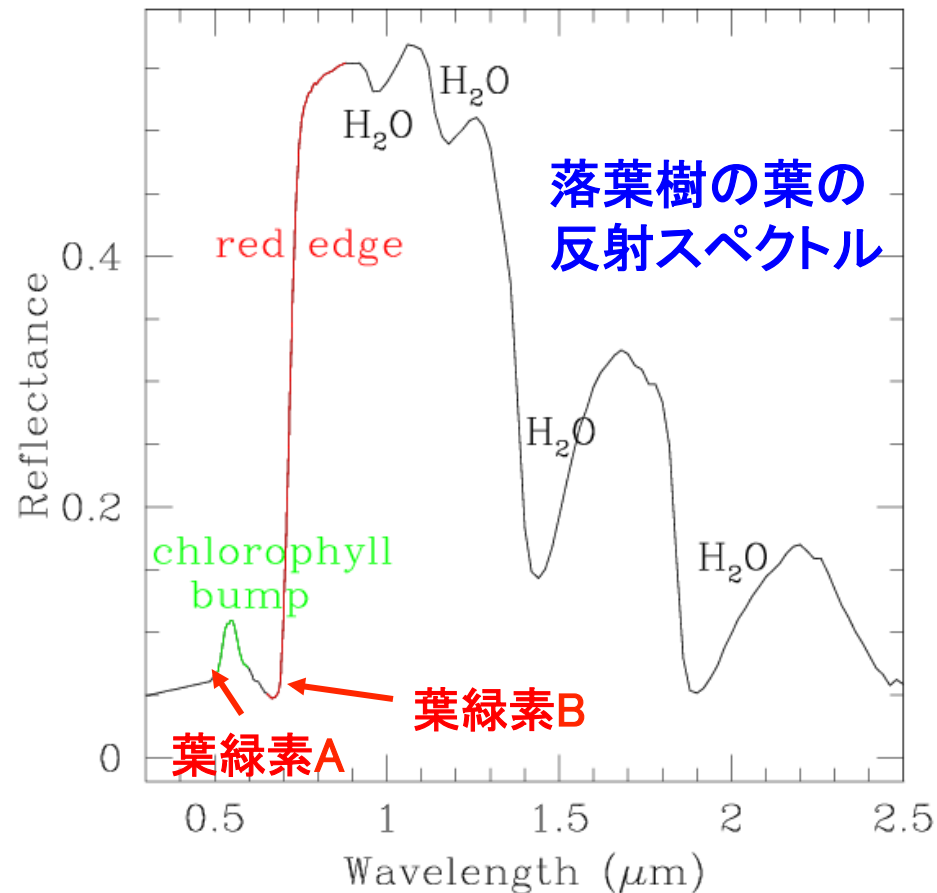


# Biomarkerと地球照：我が地球を用いて「第2の地球」がどのように見えるかを予測

- 惑星を発見するだけでは、そこに生命があるかどうかはわからない
- **Biomarker** の探求
  - 植物の反射スペクトルに見られる**red edge**
  - **O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>**
- 遠くに我々の地球をおいたとき、分光観測からその特徴を同定できるか？
  - **地球照**
- 衛星による分光測光観測の可能性を探る

# *Red edge* of (*extrasolar*) plants as a biomarker in *extrasolar planets*

- 植物は7000Åよりも長波長側で反射率が急激に増す
- 5000Å前後の葉緑素による吸収よりもずっと顕著な特徴
- これをextrasolar planetにおけるbiomarkerとして使えないか？ (**extrasolar plant** as a biomarker in **extrasolar planets**)





# Astrobiologyを巡る動き

- 東工大: ELSI
- 自然科学研究機構
  - 新分野創成センター 「宇宙における生命」分野
- アストロバイオロジーネットワーク
  - <http://logos.ls.toyaku.ac.jp/~astrobiology-japan/>



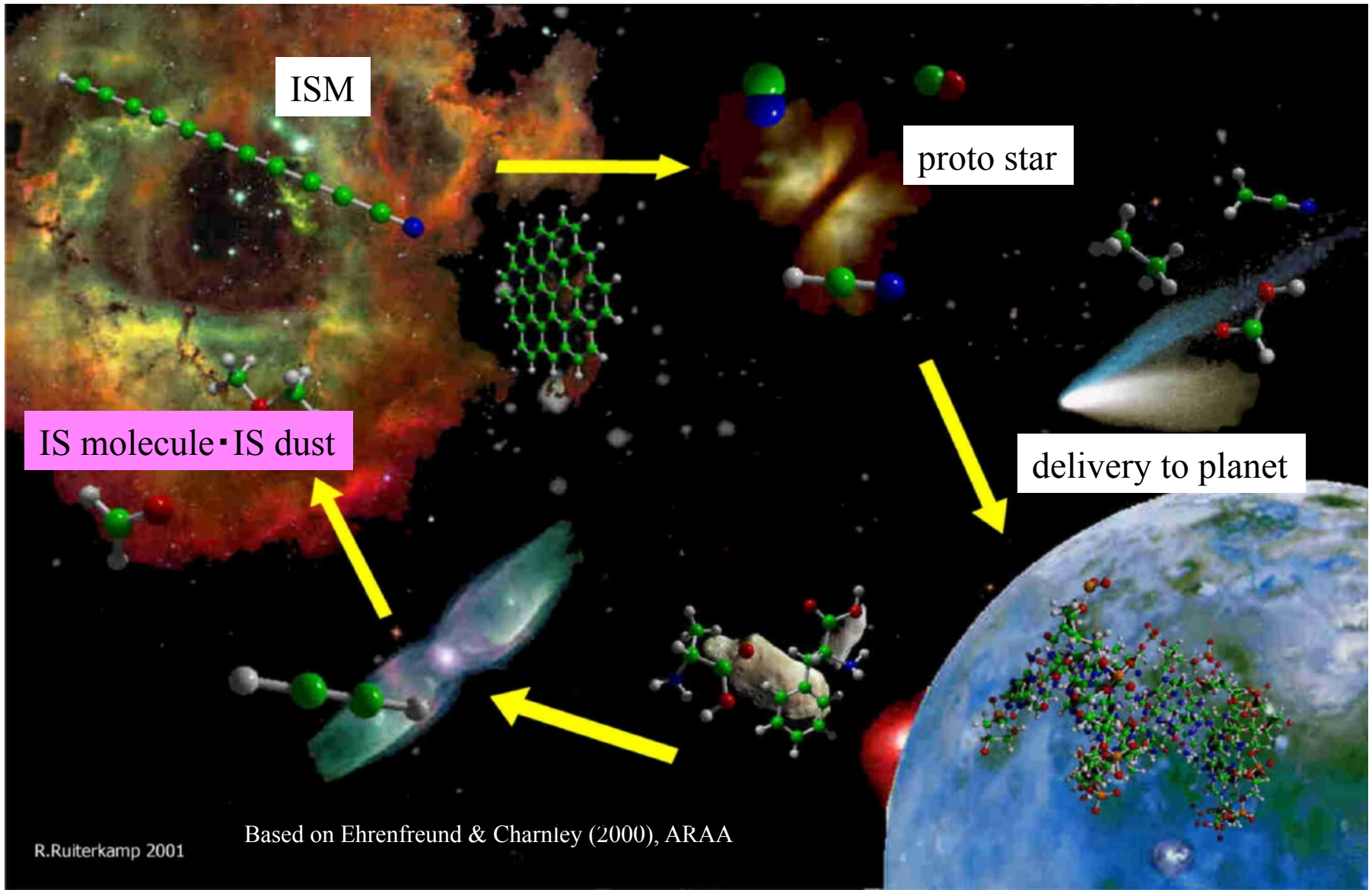
講談社・945円



CPS Seminar 2013 June 14 化学同人・7245円

# Lifecycle of (Organic) Material:

*Which species are included in new planetary systems?*





ご静聴ありがとうございました。

