

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

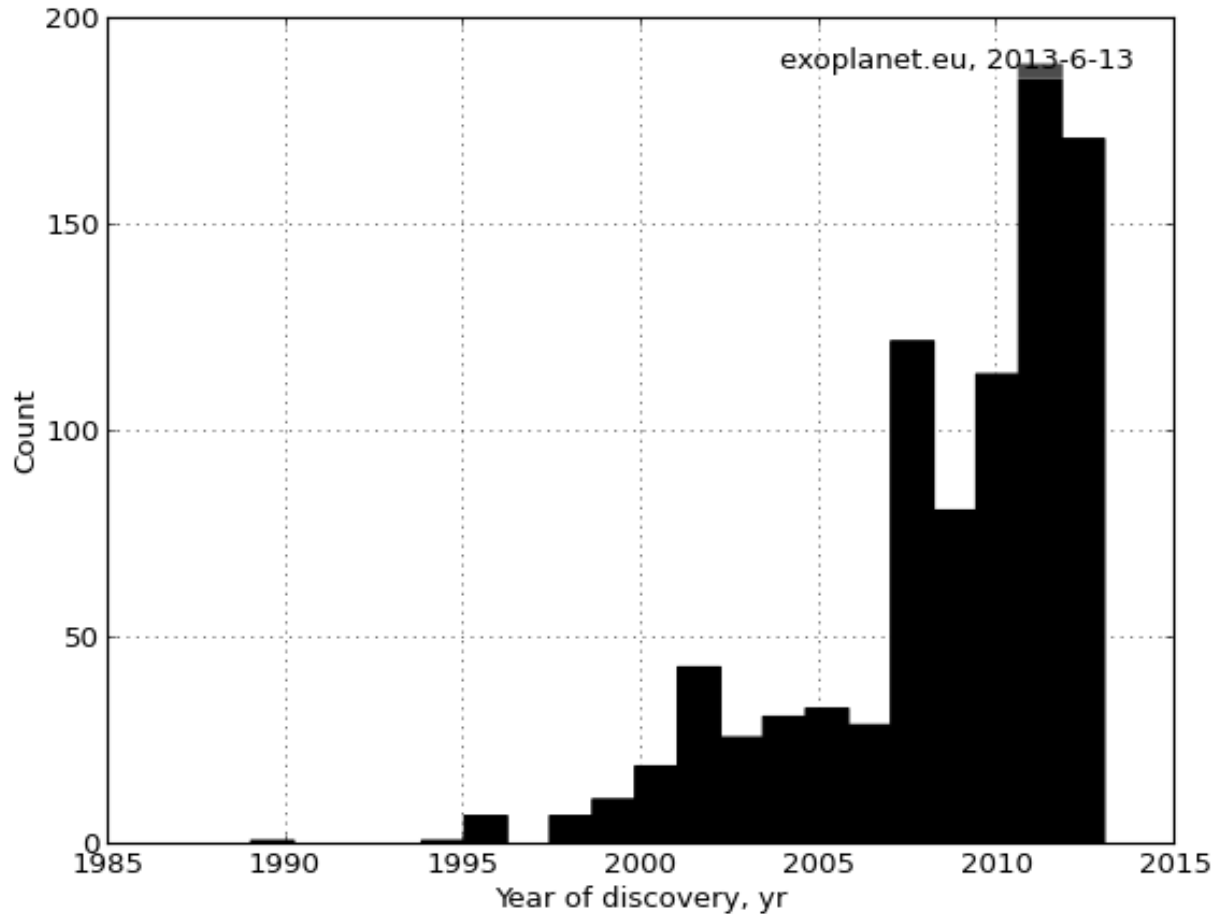
NINS

大学共同利用機関法人
自然科学研究機構

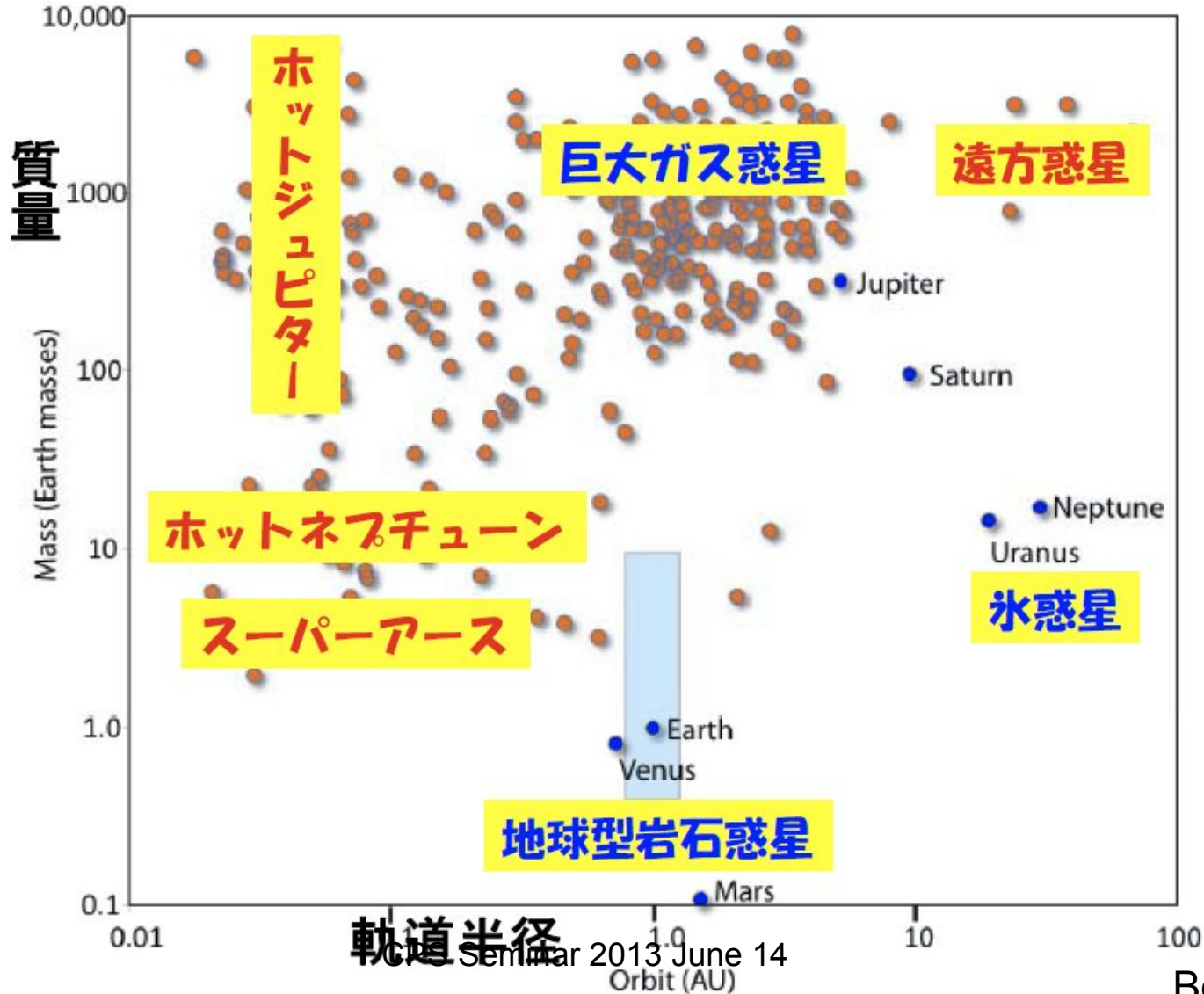
Outline of my talk

- (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

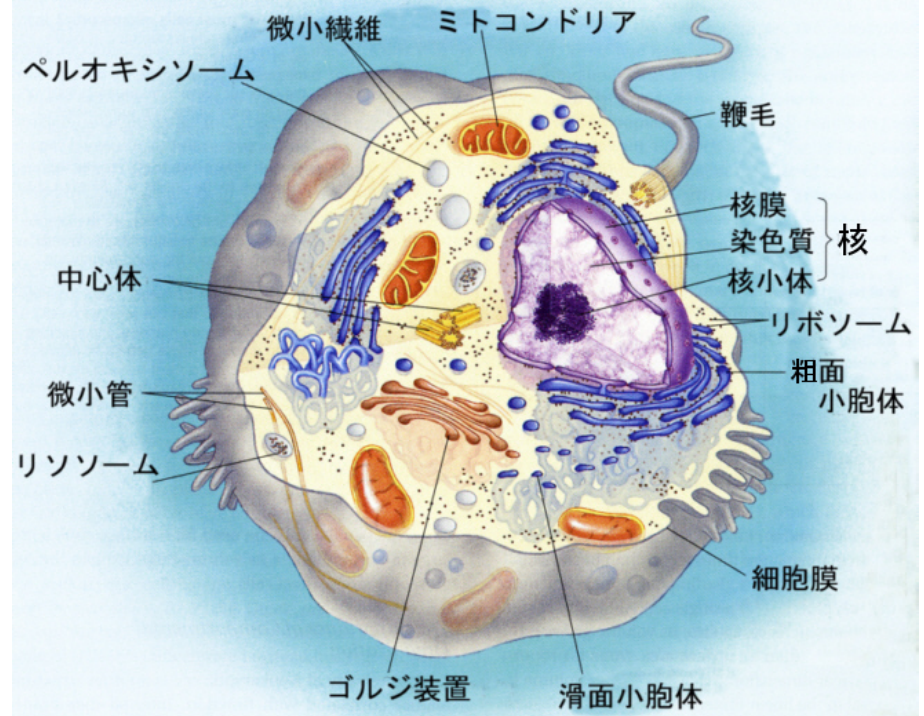


きっとどこかの系外惑星には
生命が宿っているに違いない

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

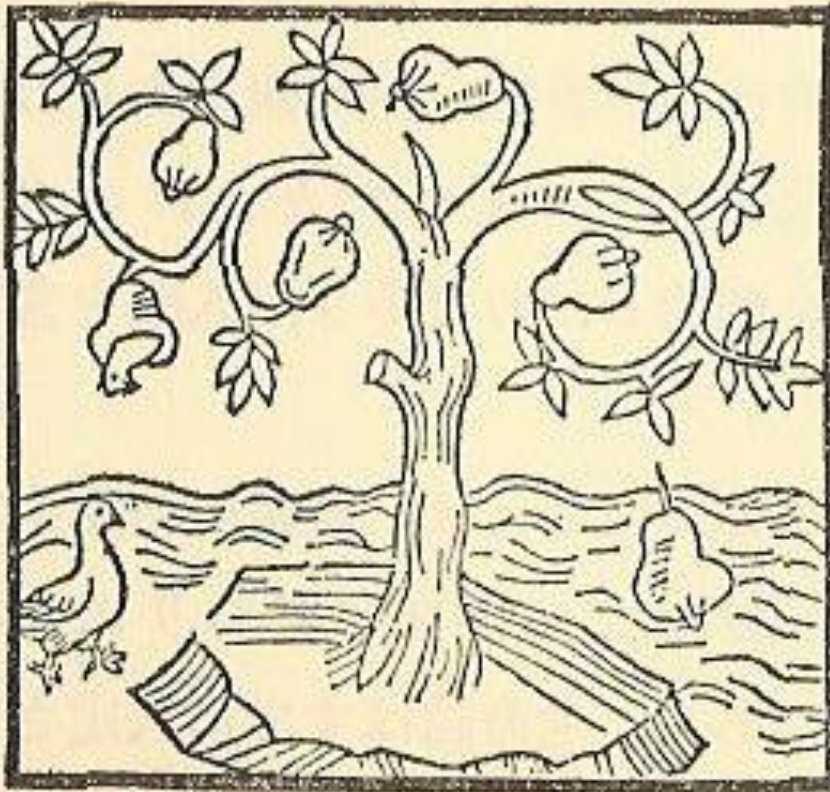
- タンパク質 (アミノ酸がたくさん繋がったもの)
: 体を構成する
- 糖 : エネルギー源、DNAの基盤
- 脂質 : エネルギー源
- 微量元素
- 水



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

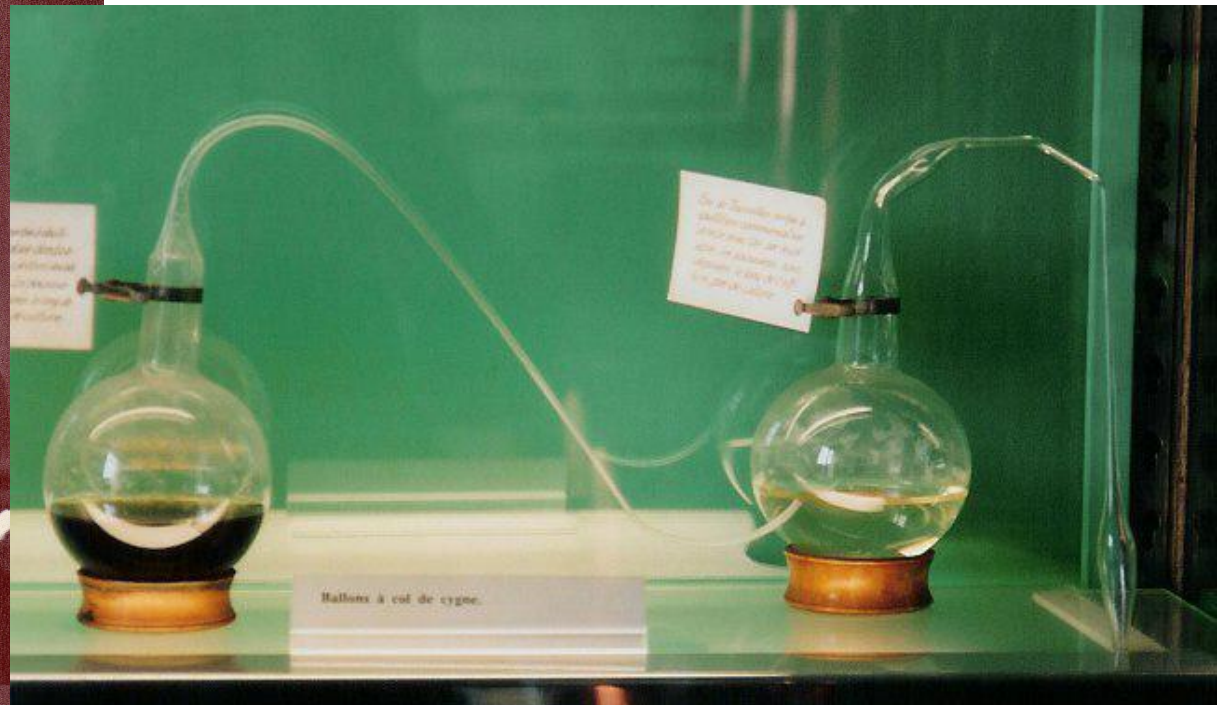
Spontaneous Generation of Life



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



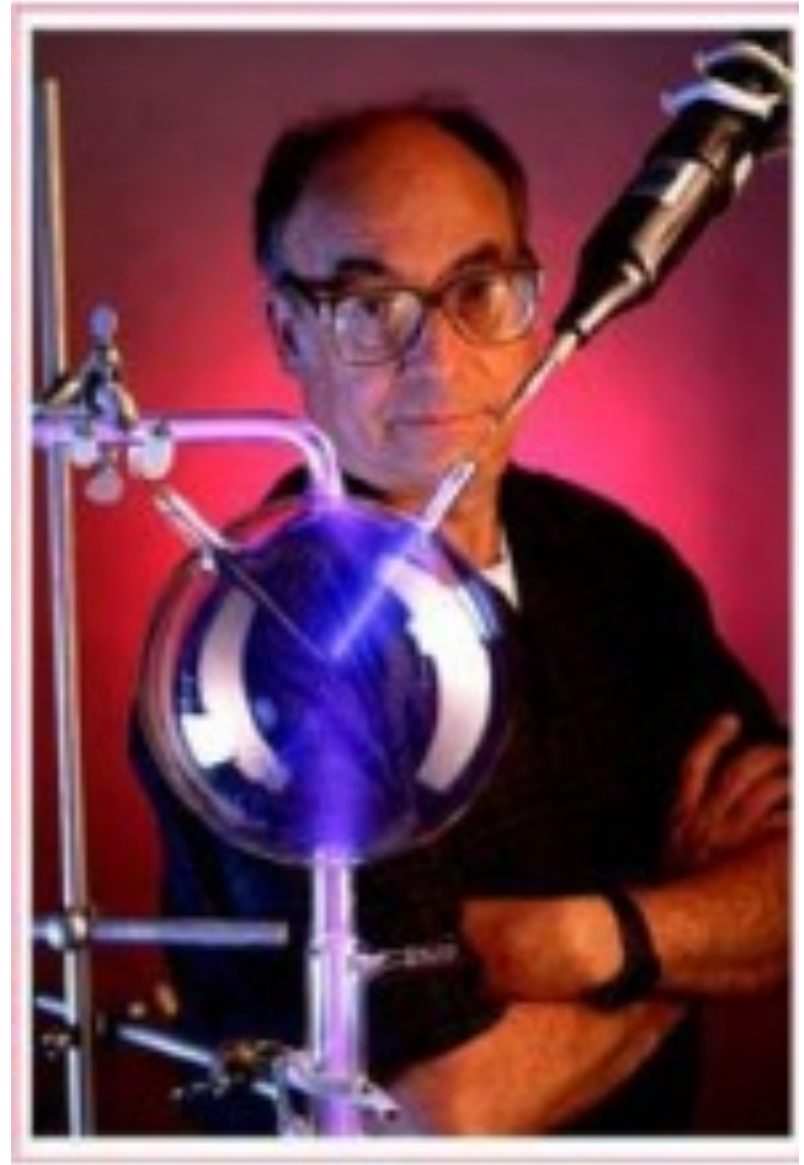
オパーリンの墓(モスクワ)

ミラーの実験 (1953)

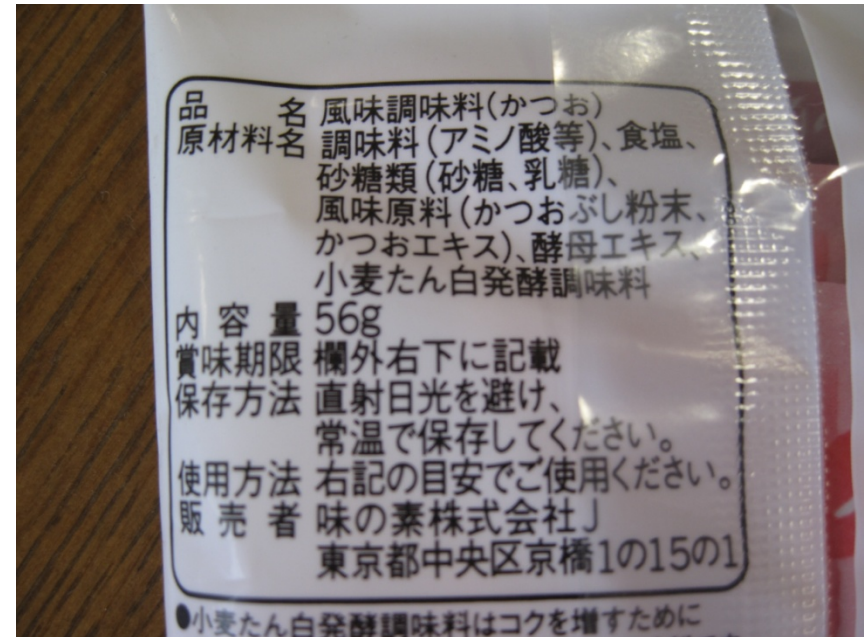
- 原始地球大気(無機物)から有機物が生成するか
- メタン, アンモニア, 水素, 水蒸気(還元的大気)

↓ 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)

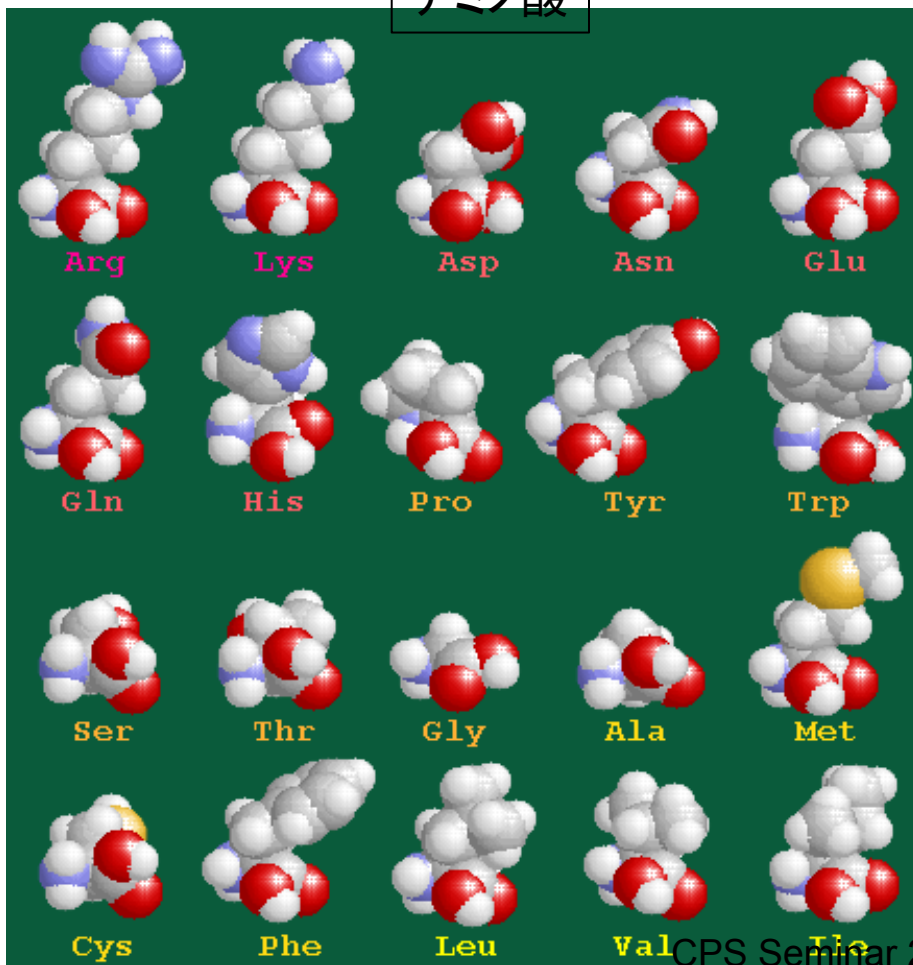
- ウィルキンス (右上)
- フランクリン (左下) DNAのX線回折測定
- クリック (左上)
- ワトソン (右下)

DNA二重螺旋構造の提案



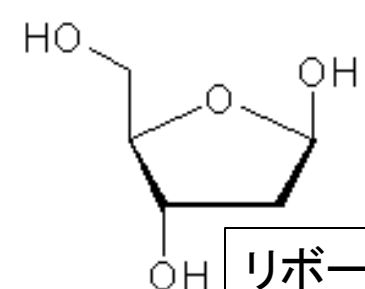
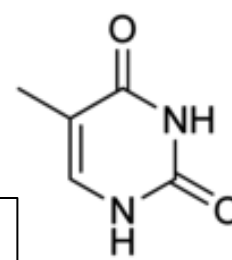
タンパク質・核酸(DNA/RNA)の構成分子

アミノ酸

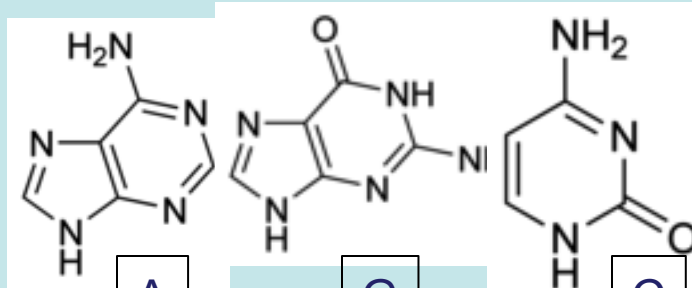


DNA

T



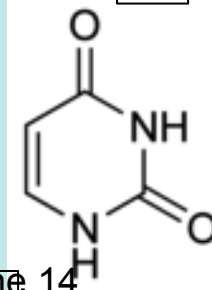
リボース



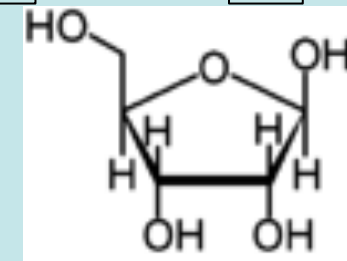
A

G

C



U



デオキシリボース

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

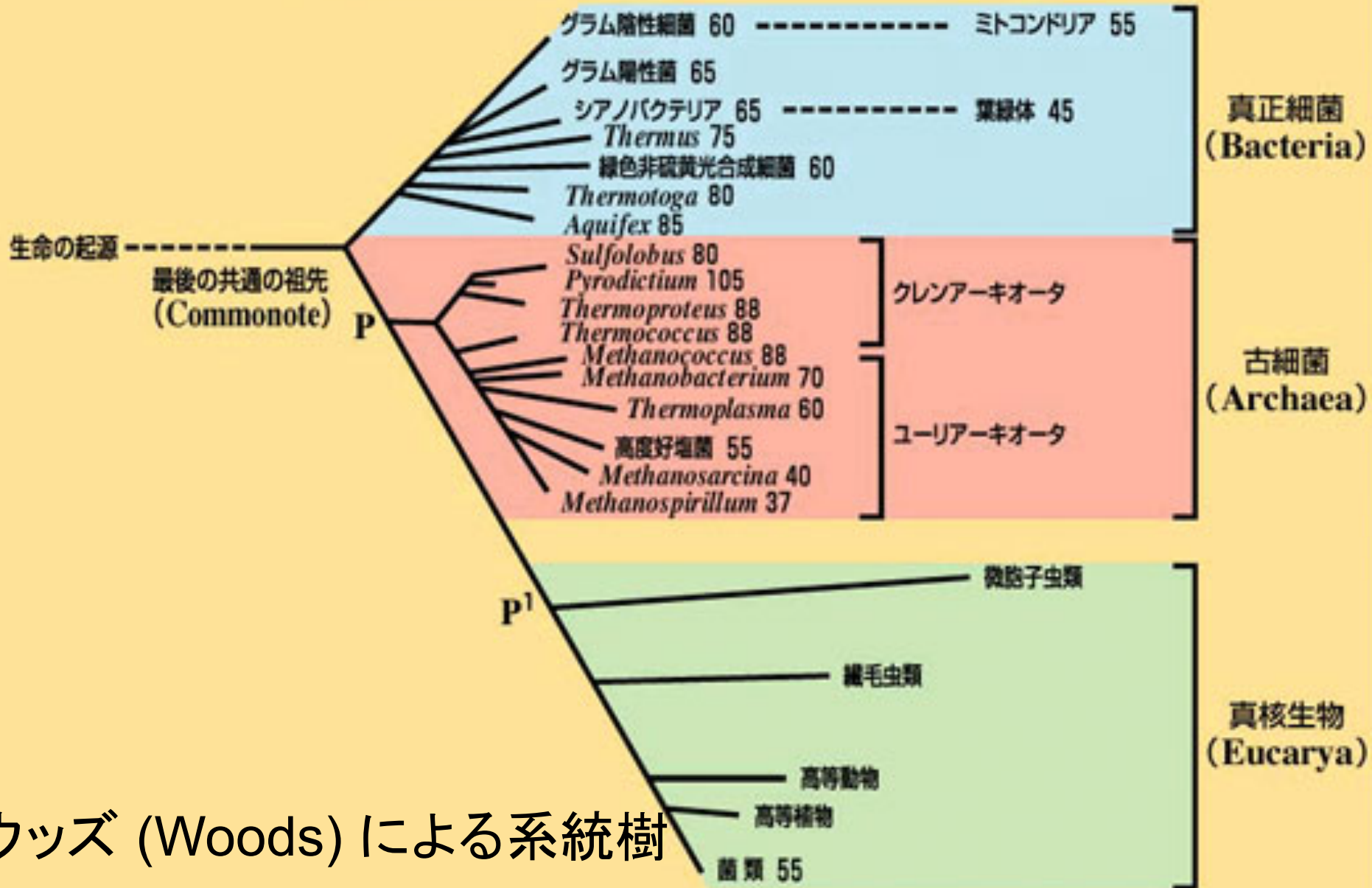
TKTYFPHF

コイ

SLSDKSKAAVKIAWAKISPKADDIGAEALGRMLTVYPQTK

TYFAHW

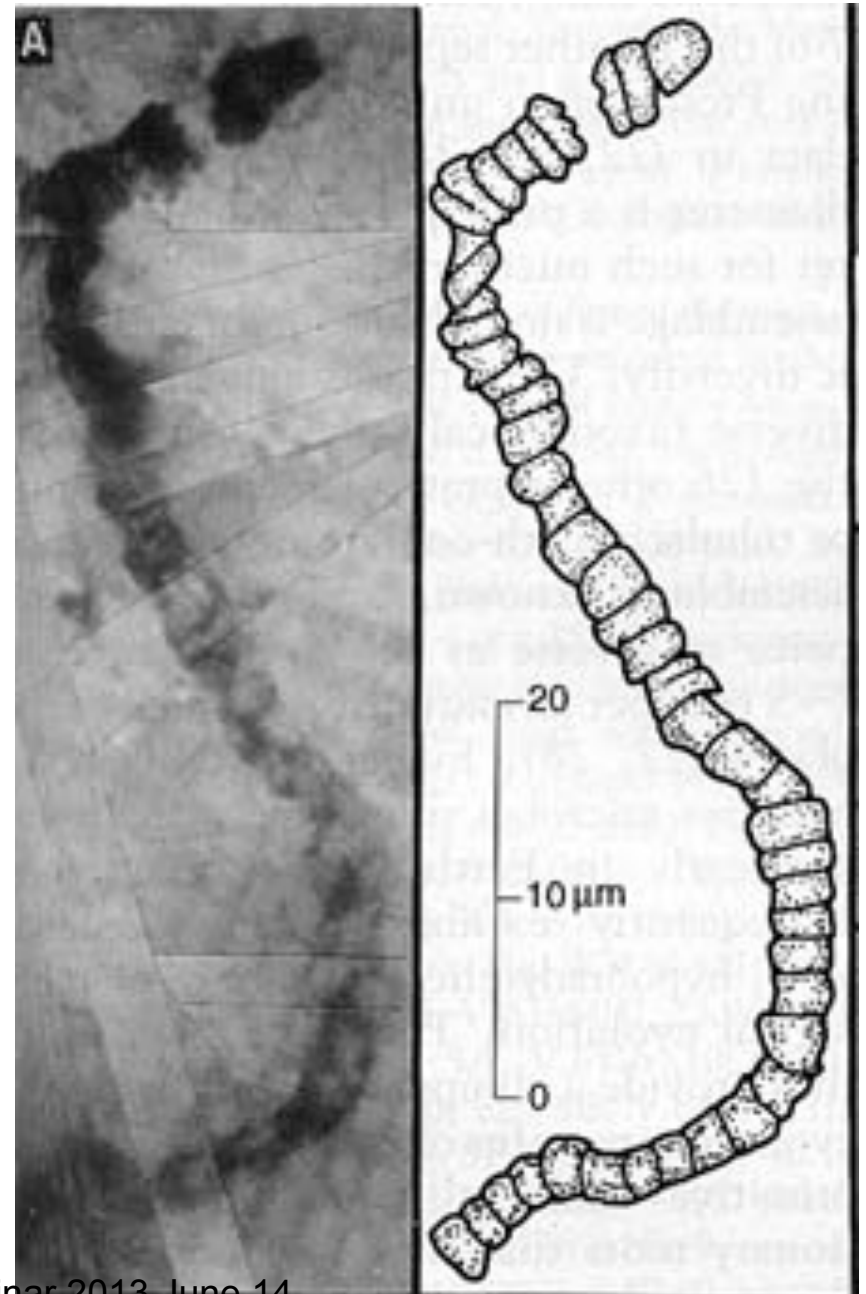
全生物の進化系統樹



ウッズ (Woods) による系統樹

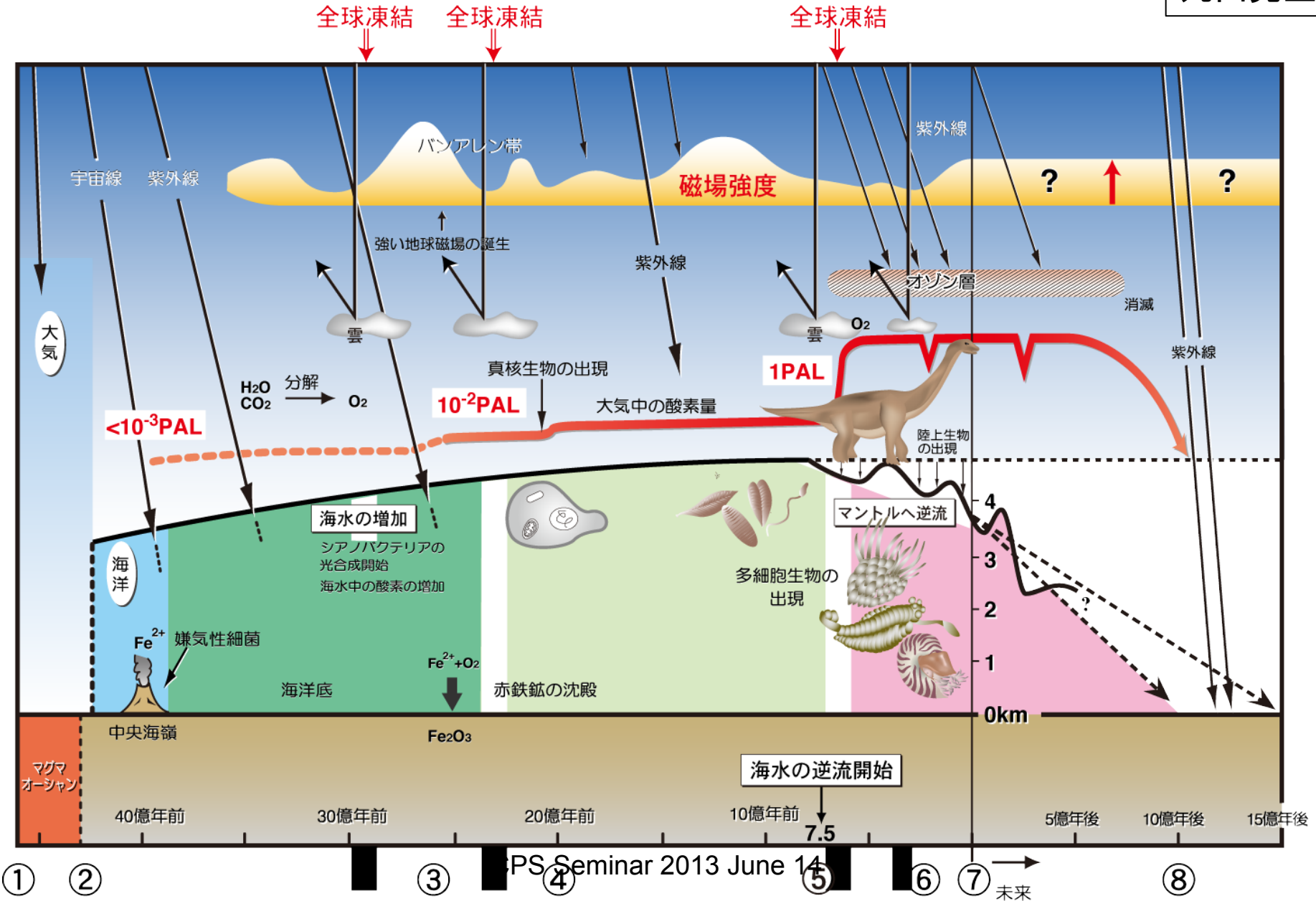
35億年前の 微化石

- 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

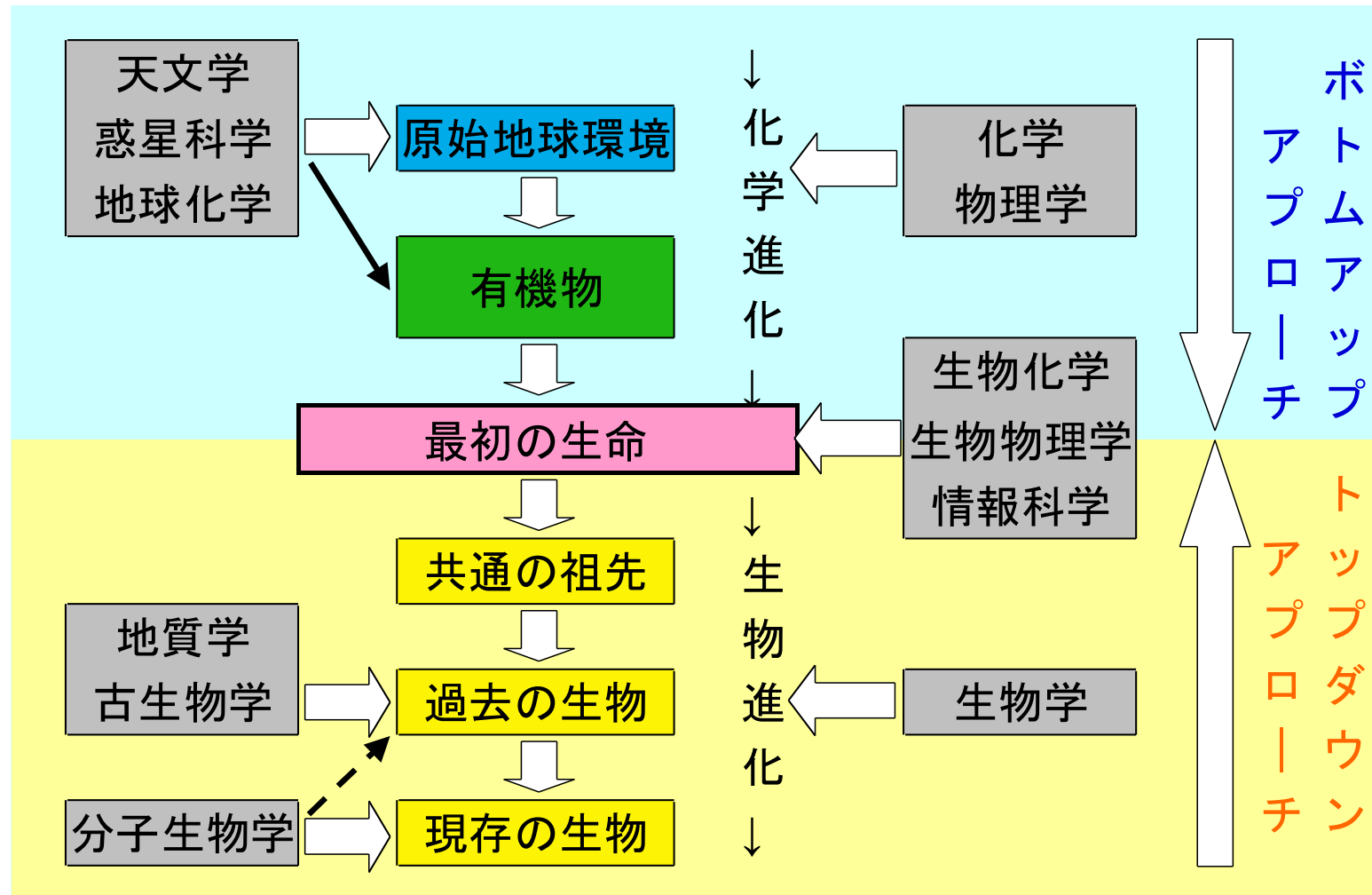
- ・NASA Astrobiology Institute (NAI) 設立 (1997)

<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

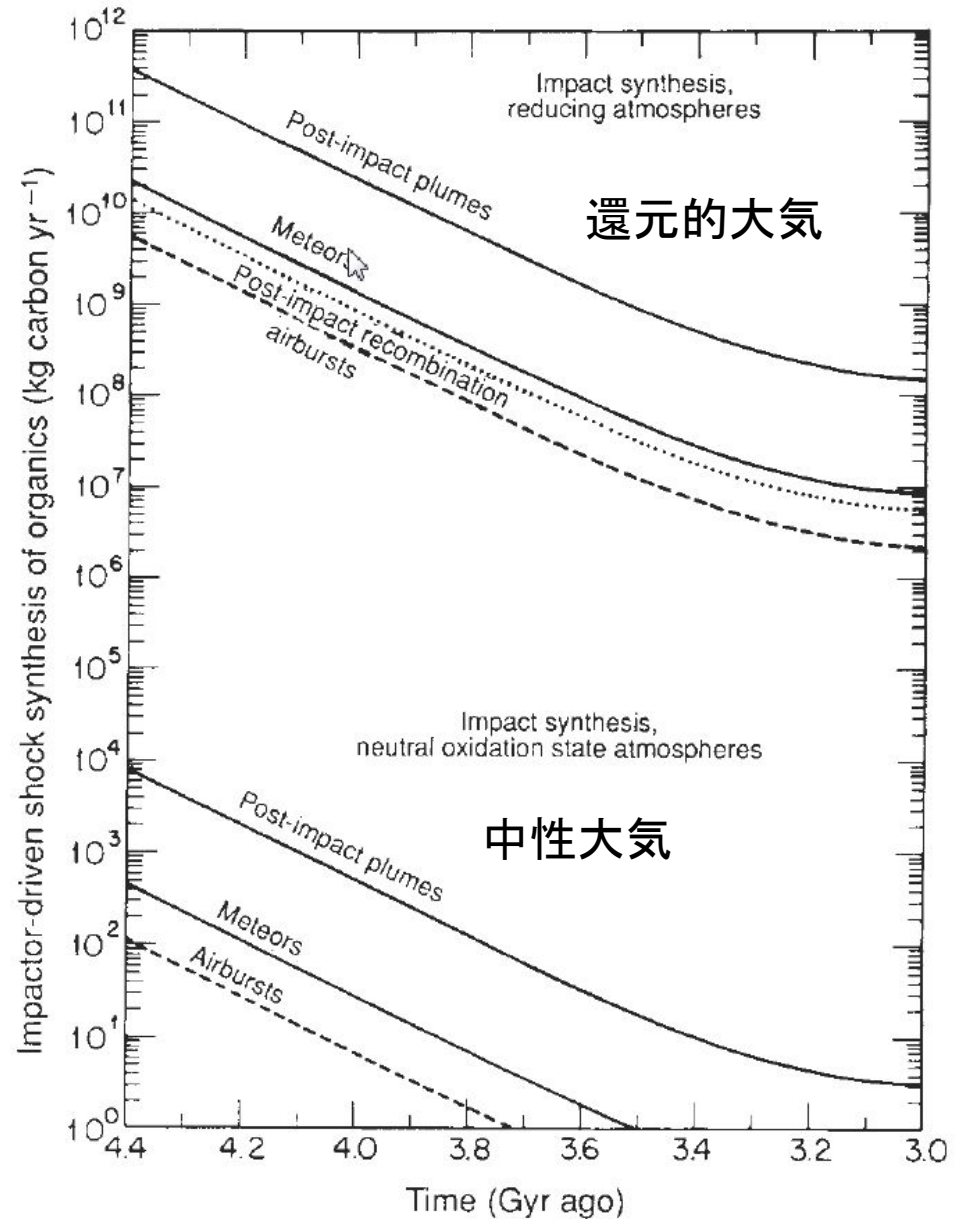
還元的大気:

→ 十分な量が生成

中性大気

→ 8桁ほど少ない

(Chyba & Sagan, 1992)

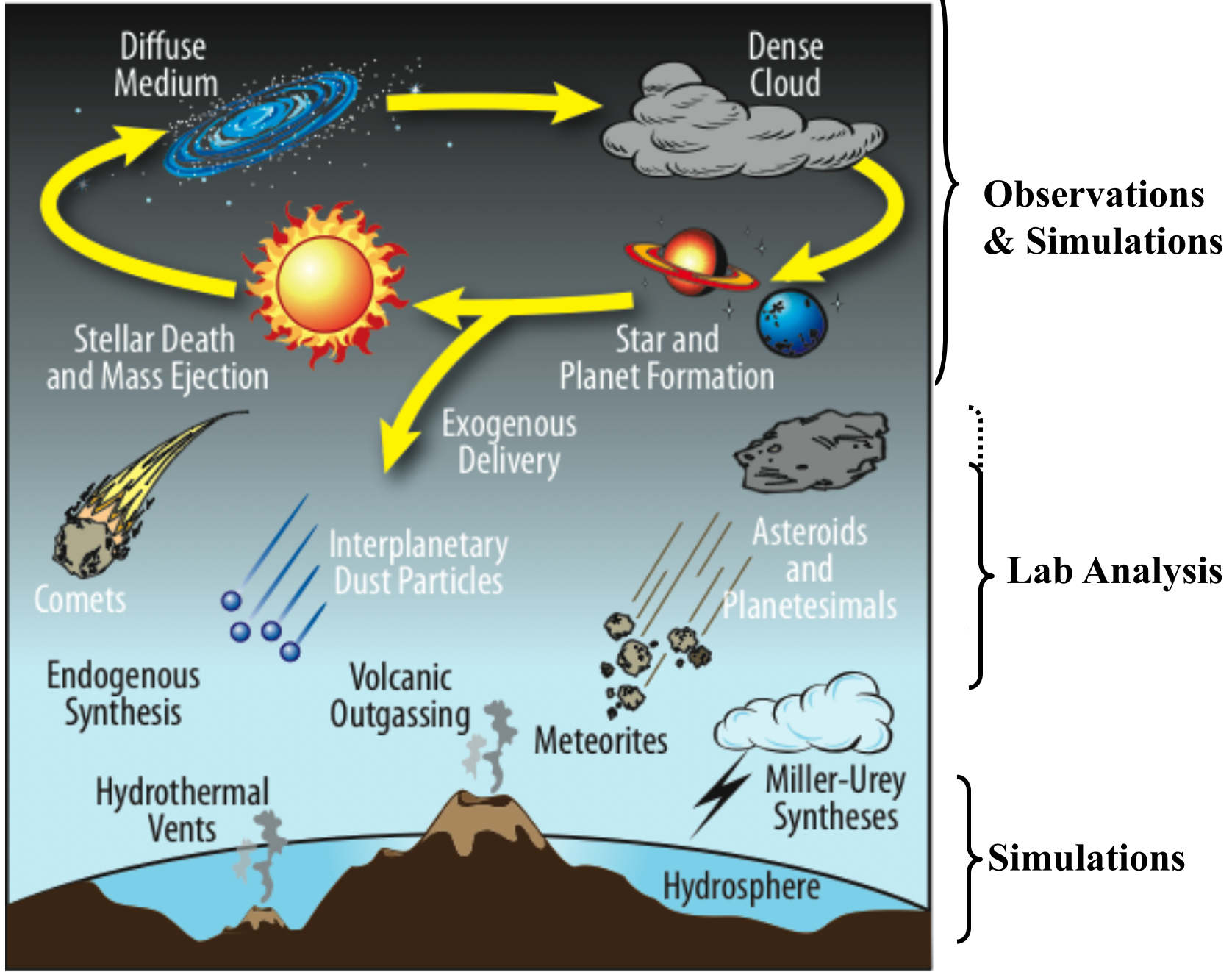


Formation of Organic Material

Terrestrial sources	(kg yr ⁻¹) ^a
UV photolysis ^b	3×10^8
Electric discharge ^c	3×10^7
Shocks from impacts ^d	4×10^2
Hydrothermal Vents ^e	1×10^8
Extraterrestrial sources ^f	(kg yr ⁻¹) ^a
IDP's	2×10^8
Comets	1×10^{11}
Total	10^{11}

From Ehrenfreund et al. (2002), Table 6

Stars, Planets, and Life

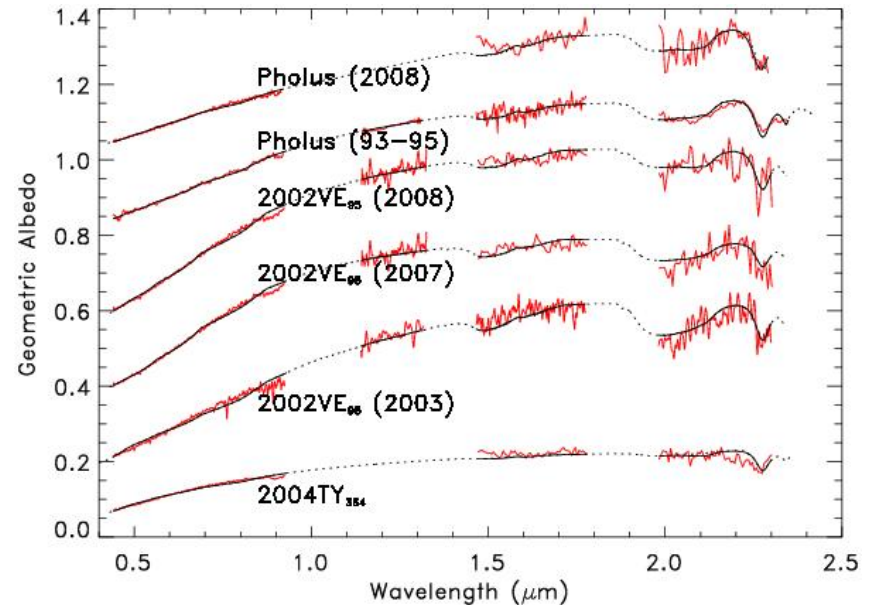


Prebiotic Molecules in the Solar System

CH₃OH on Small Solar Bodies

- CH₃OH absorption on Trans-Neptunian Objects (TNO)
- Primordial material when the object was formed

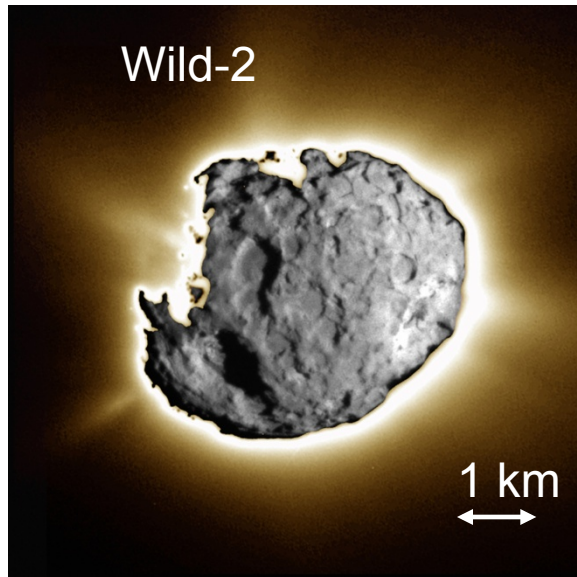
H₂O-CH₃OH ice
ν₄, ν₅, ν₉, ν₁₀



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

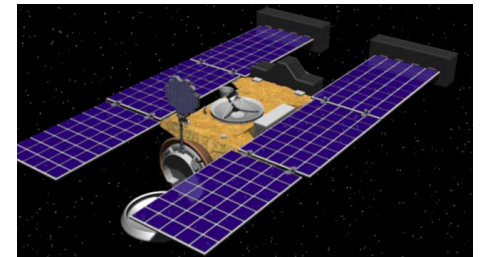
Fly-bys and Sample Return

- 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



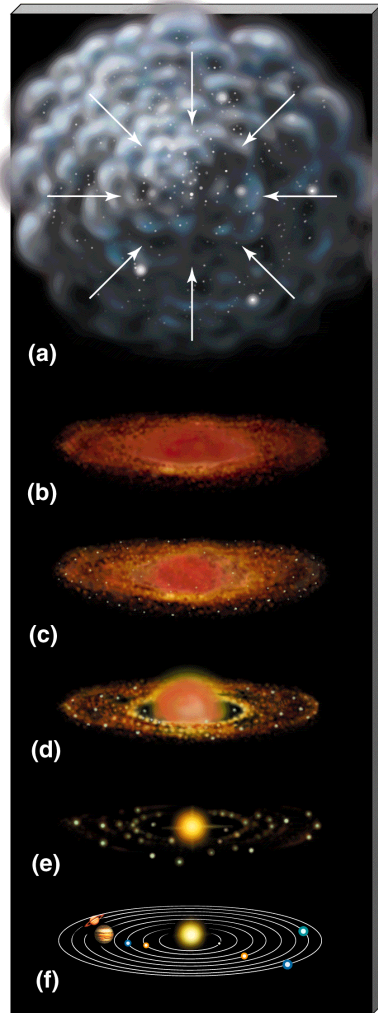
Stardust mission

Report on Glycine
(Elisia et al. 2009)



Organic Molecules in the Interstellar Space

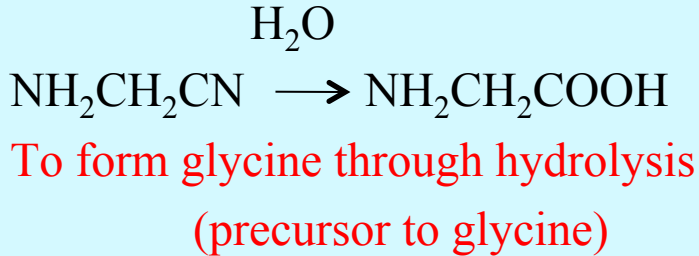
Prebiotic Species in Space



- 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,,,

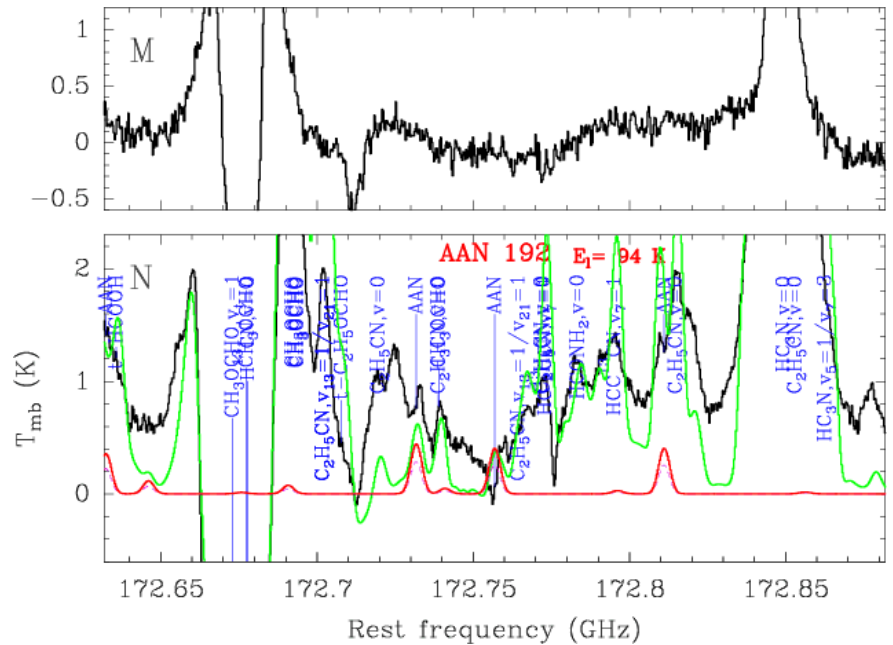
Aminoacetonitrile

NH₂CH₂CN



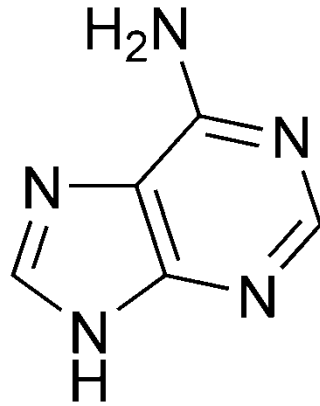
SgrB2(N): Source size < 2 arcsec
 (very compact)

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

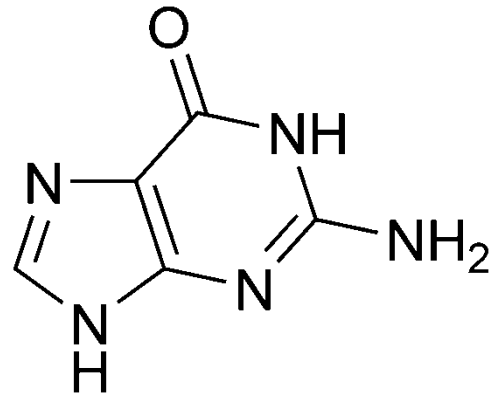


Need Confirmation

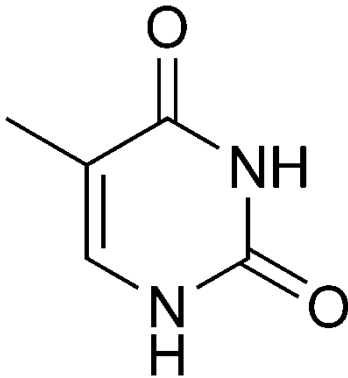
核 酸



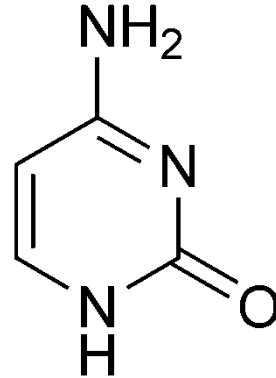
Adenine



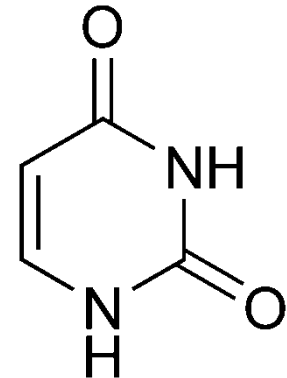
Guanine



Thymine



Cytosine

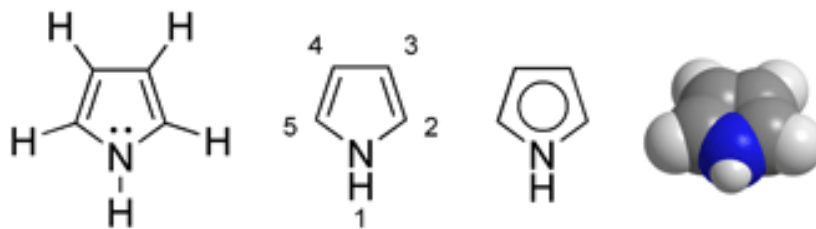


Uracil

リング分子：核酸の(前駆)ⁿ体

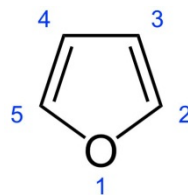
- Pyrrole

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



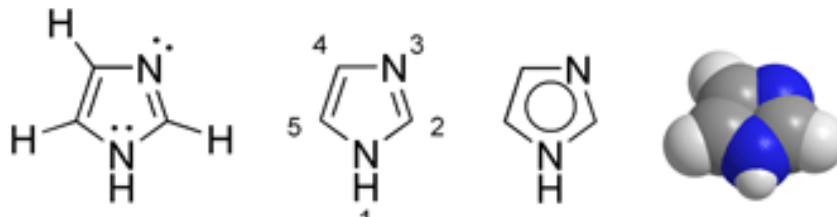
- (Furan)

- Kutner et al. (1980)



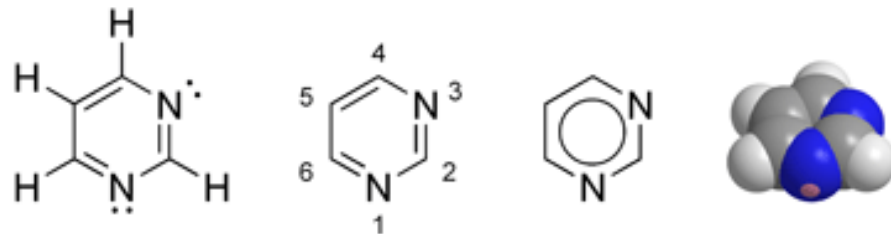
- Imidazole

- Irvine et al. (1981)



- Pyrimidine

- Kuan et al. (2003)

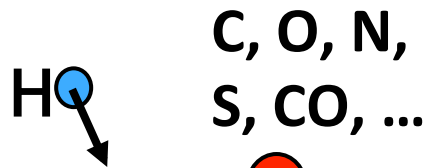


全て星生成領域で探査 → 不成功

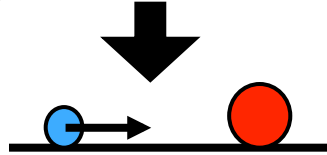
Hot Core Chemistry – Cold & Hot

Prestellar

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

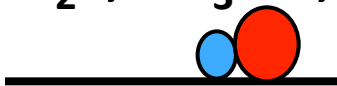
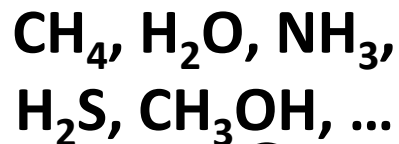


grain surface



Hydrogenated,

saturated molecules

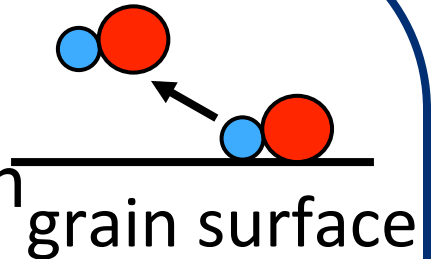


Protostellar

H. Nomura

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

→ thermal evaporation
from grains



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

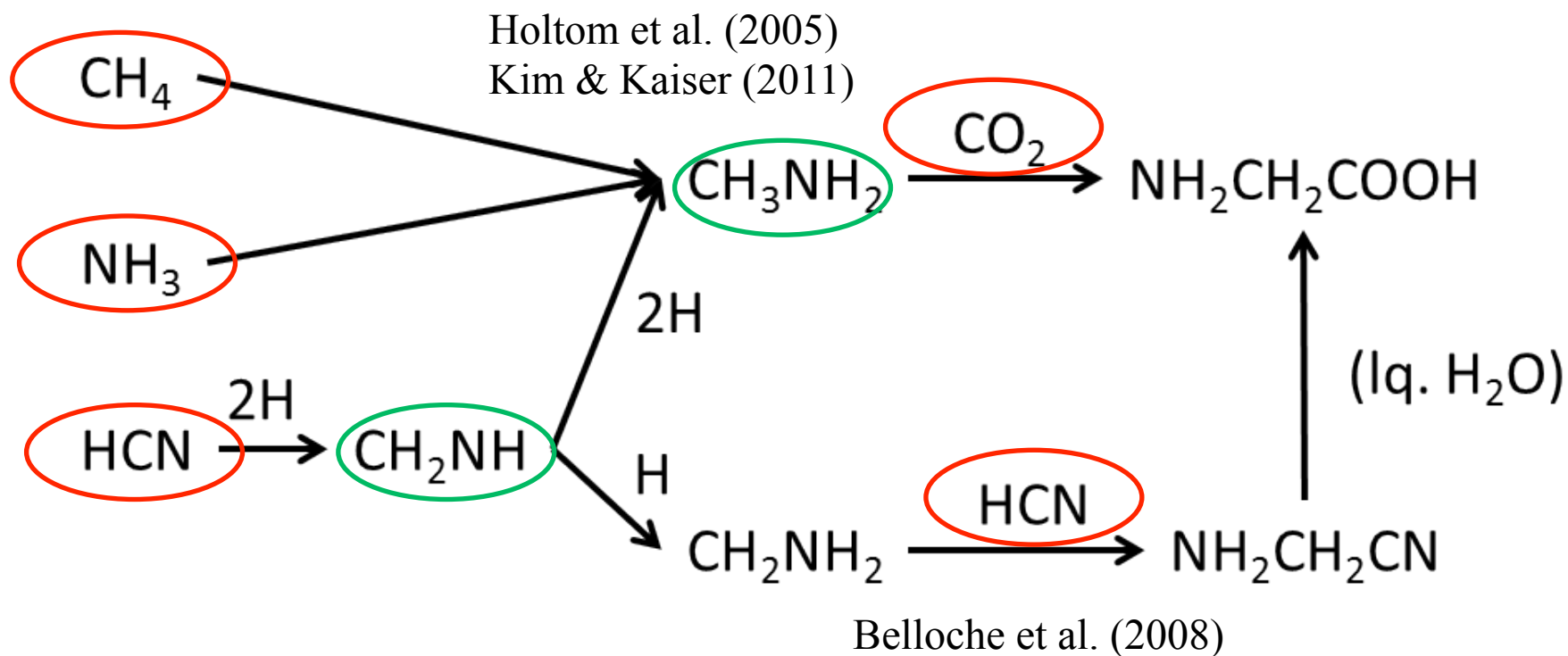
Glycine Formation on Ice (1)

- Bernstein et al. (2002)
- UV irradiation onto interstellar ice at 15 K
 - H₂O ice with 0.5-5 % NH₃, 5-10% CH₃OH, 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)

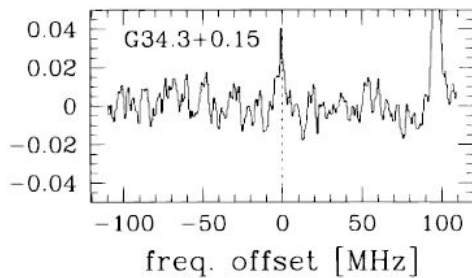
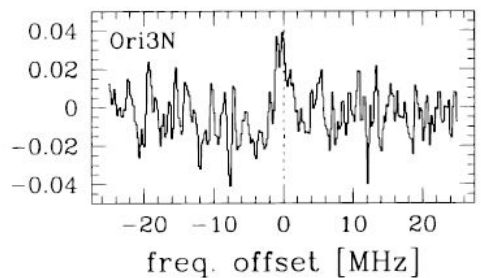
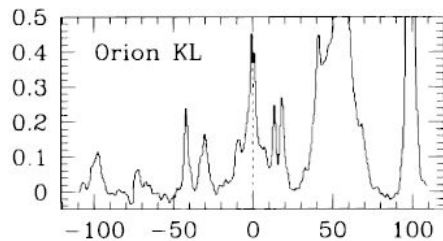
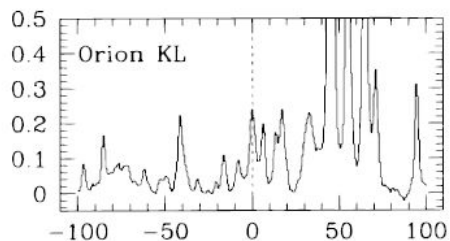
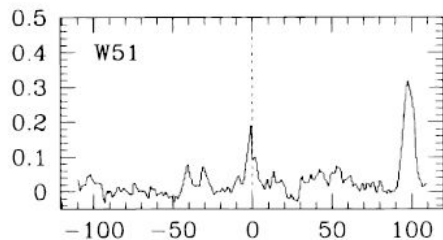
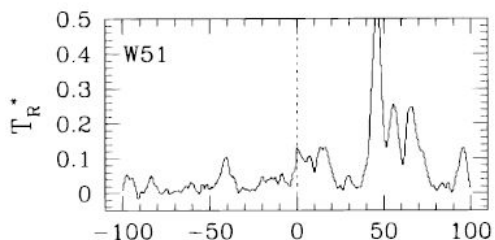
- Holtom et al. ApJ, 626, 940 (2005)
 - Reaction between CH_3NH_2 and CO_2
 - $\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{CR} \rightarrow \text{CH}_2\text{NH}_2 / \text{CH}_3\text{NH} + \text{H}$
 - $\text{CO}_2 + \text{H} \rightarrow \text{HOCO}$
 - $\text{NH}_2\text{CH}_2 + \text{HOCO} \rightarrow \text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$
 - $\text{CH}_3\text{NH} + \text{HOCO} \rightarrow \text{CH}_3\text{NHCOOH}$
 - Confirmed on ice (lab.) and by quantum chemical calculations (gas phase !)
- Kim & Kiser, ApJ, 729:68 (2011)
 - observed CH_3NH_2 on ice with NH_3/CH_4 (lab)

Possible Formation Paths



Rich in interstellar molecular clouds

Past Survey of CH₂NH/CH₃NH₂



~ 220 GHz

- CH₂NH 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 CH₃OH sources.

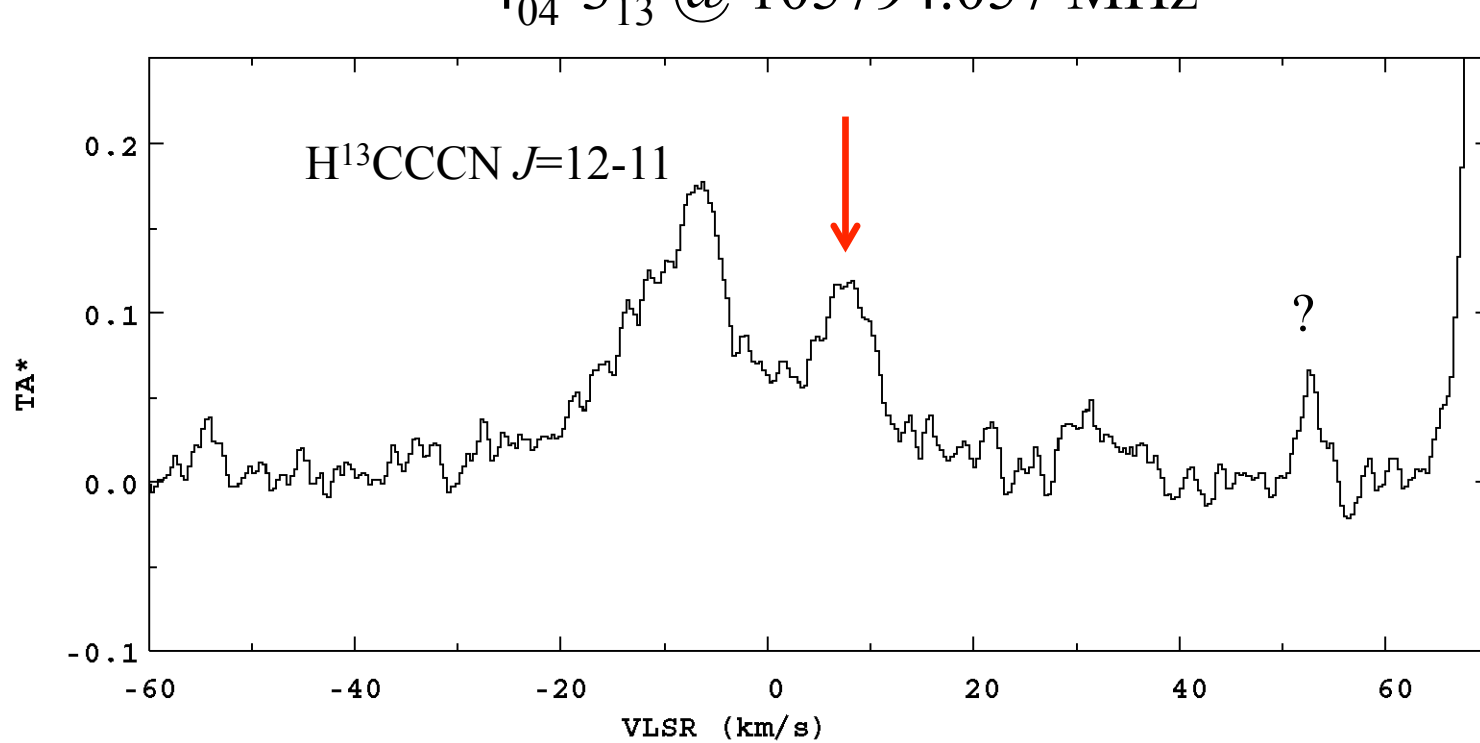
Our New Observations

- 2013 April
- Rx: TZ (H+V pol.s)
T_{sys} = 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: CH₂NH,
CH₃NH₂, NH₂CH₂CN



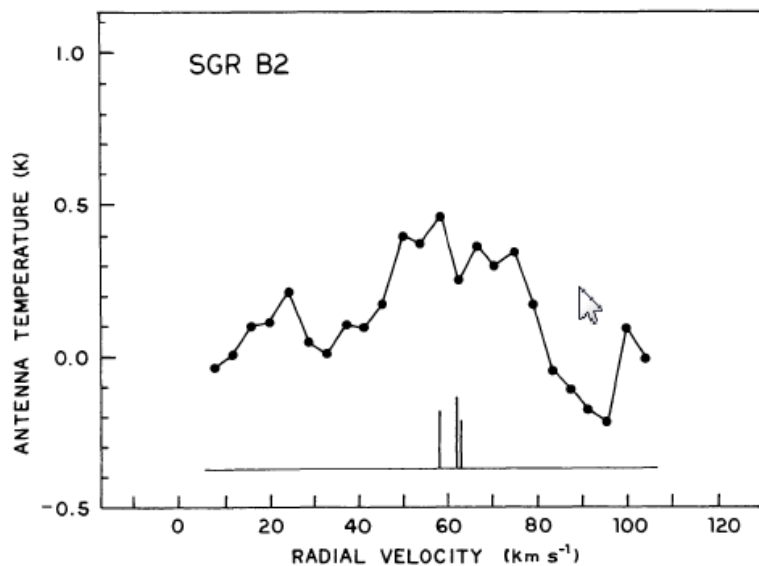
CH₂NH in Orion KL

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



CH₃NH₂

- Detected by Kaifu et al. (1974)
- Known only in Orion KL, SgrB2, so far
- CH₃NH₂/H₂ ~ 10⁻⁷



Toward Detection of Amino Acids in Space

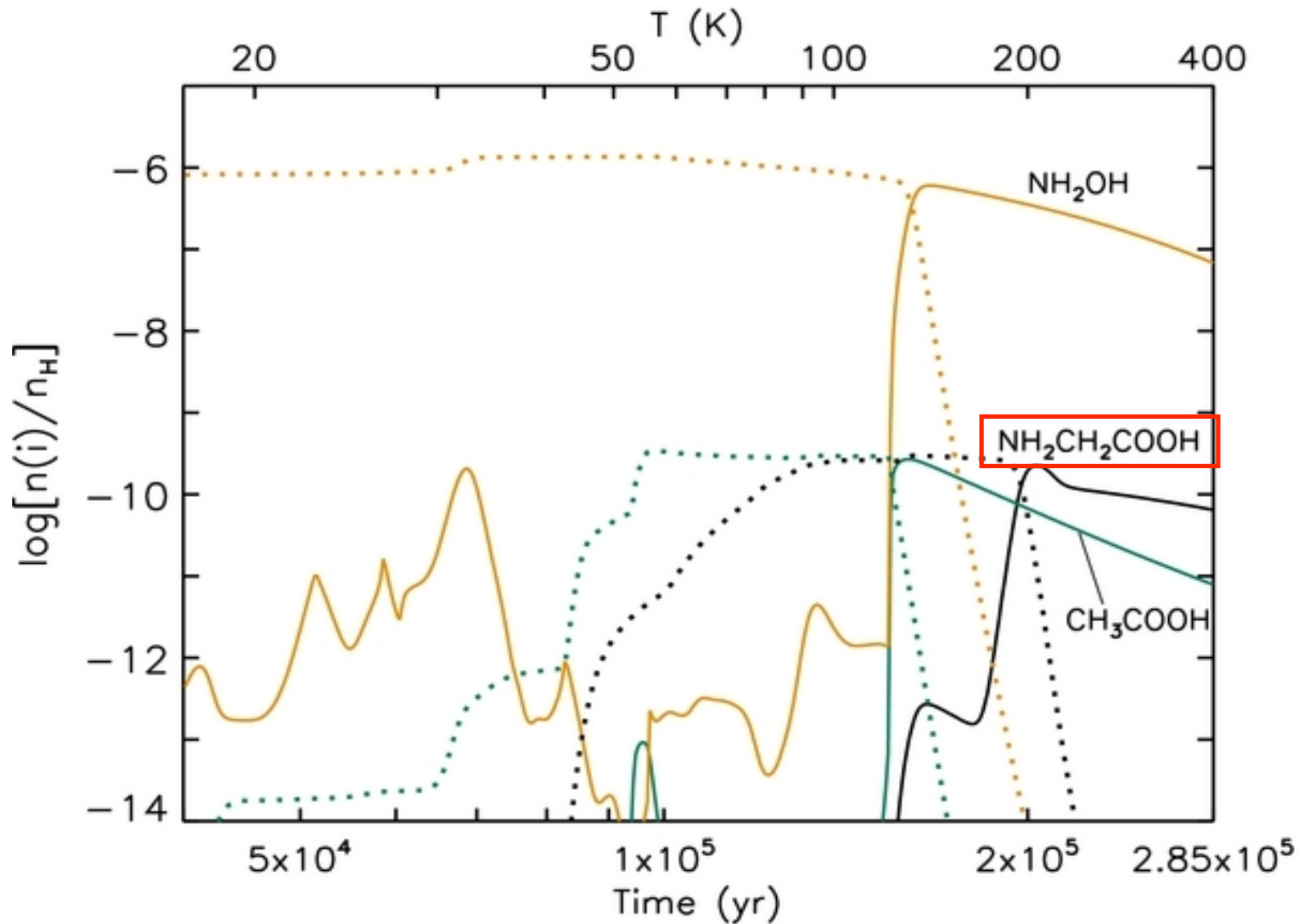
ALMA

(Atacama Large Millimeter/submillimeter Array)

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



Glycine May be Detectable by ALMA



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

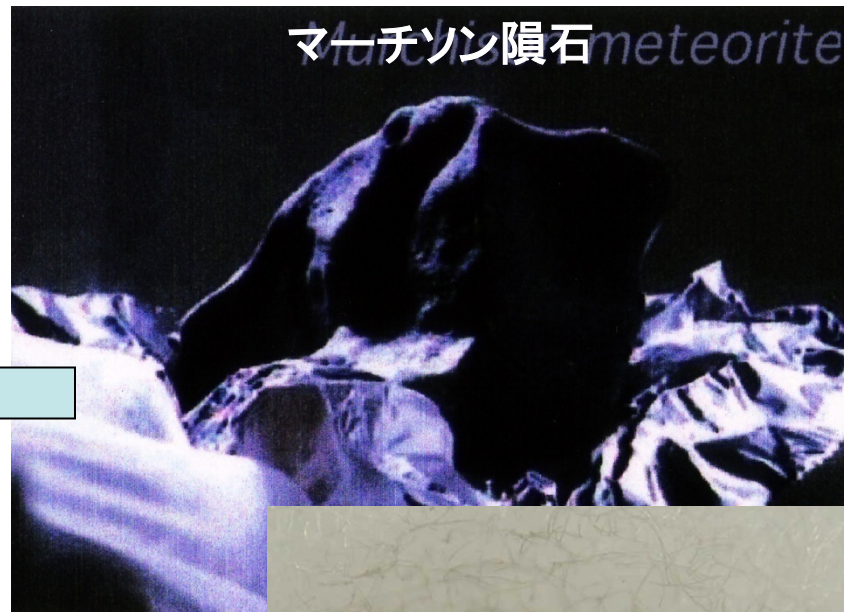
Where Should We Search ?

- 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”



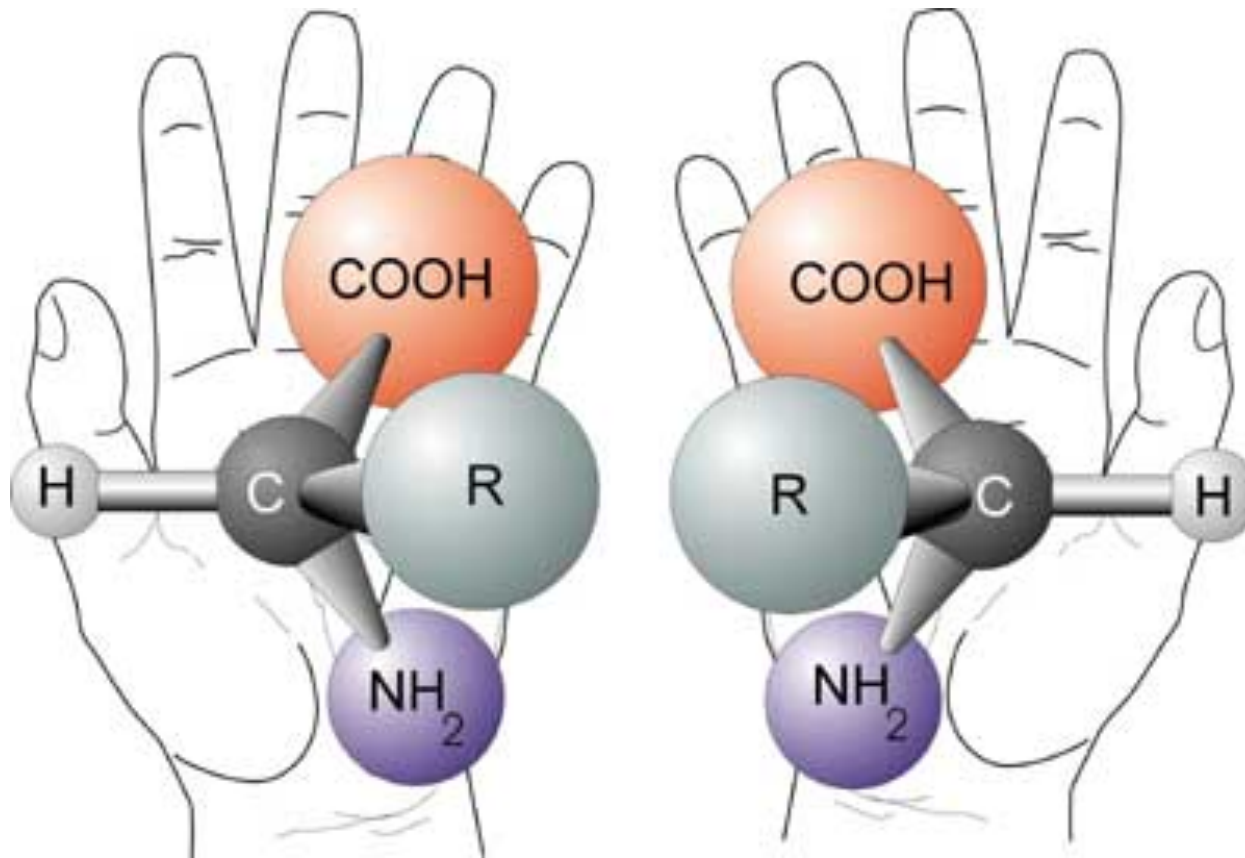
有機構造体

CPS Seminar 2013 June 14

タグッシュレーク隕石

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

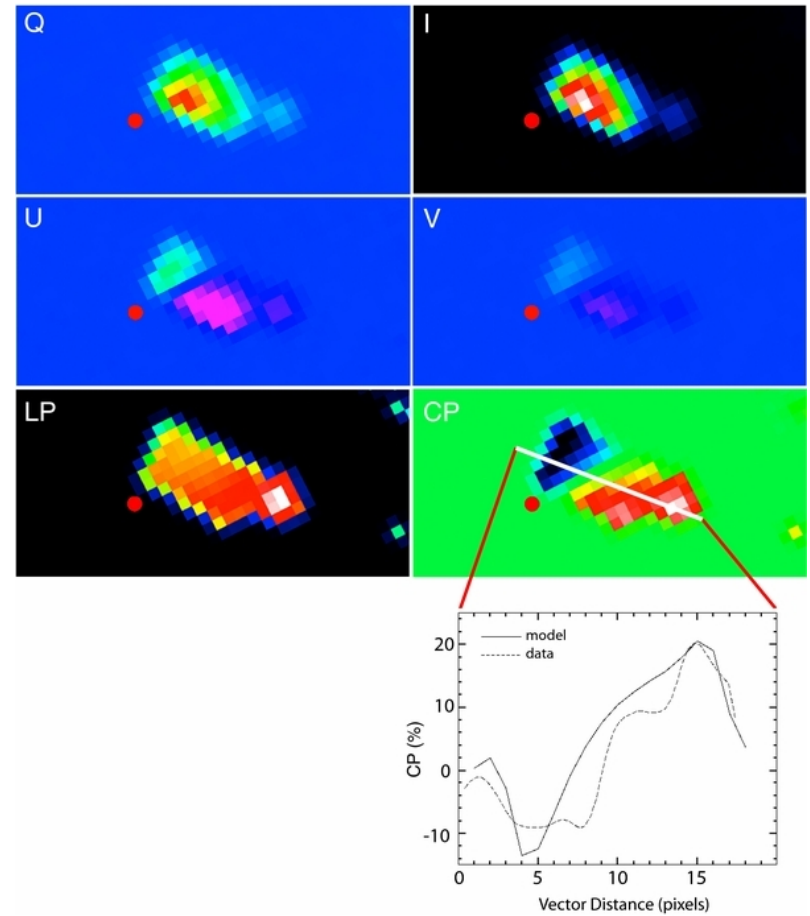
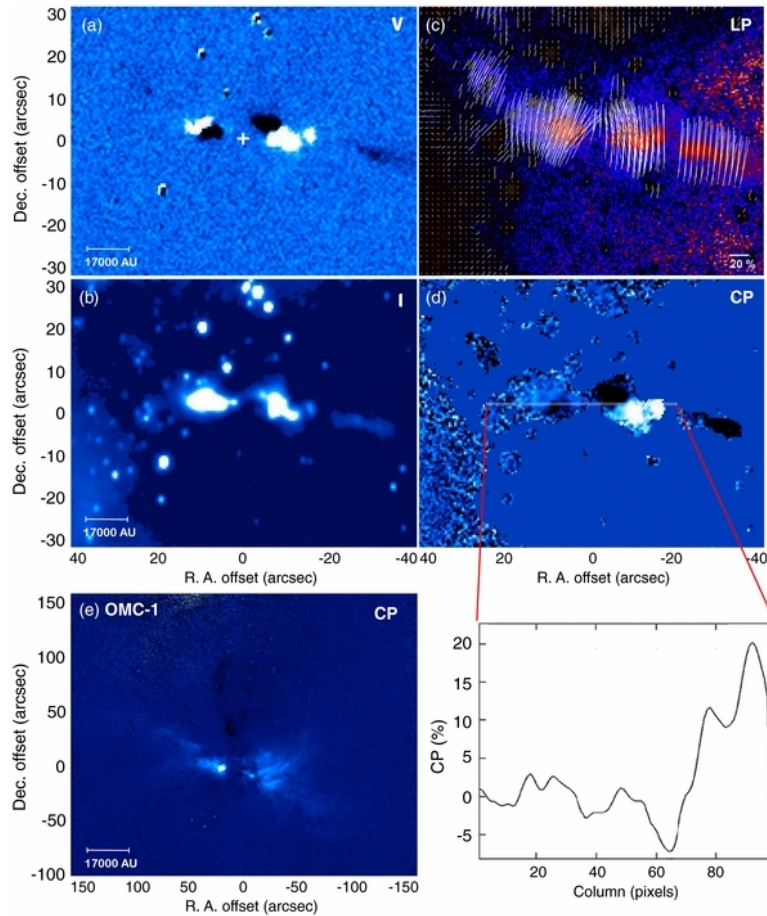
模擬星間有機物への円偏光紫外線照射による アミノ酸不斉の創生

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



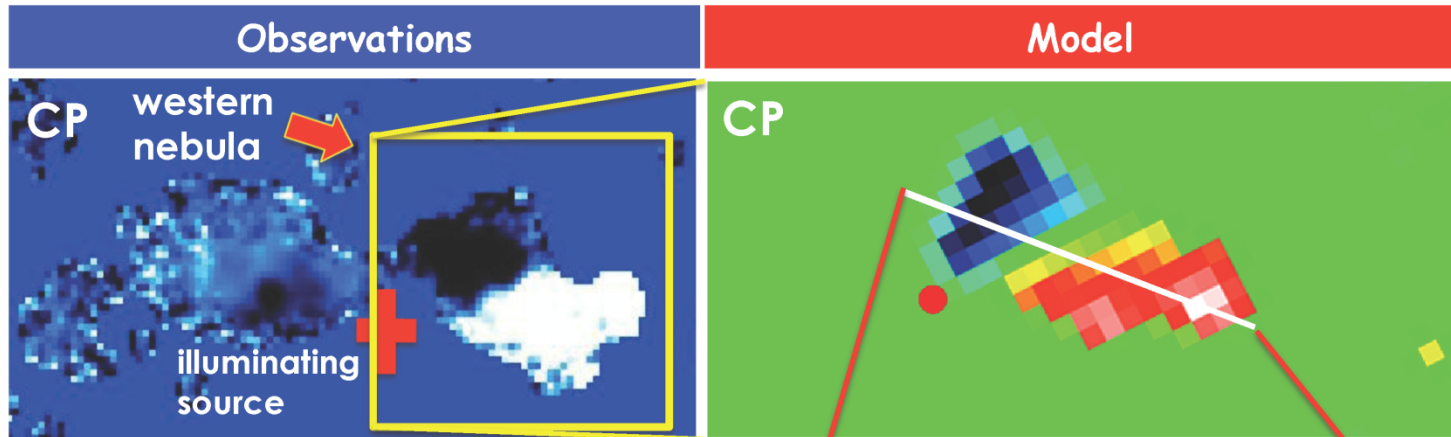
Kwon, J.M, et al, 2013 ApJ 765 L6

CPS Seminar 2013 June 14



3D Monte Carlo simulation

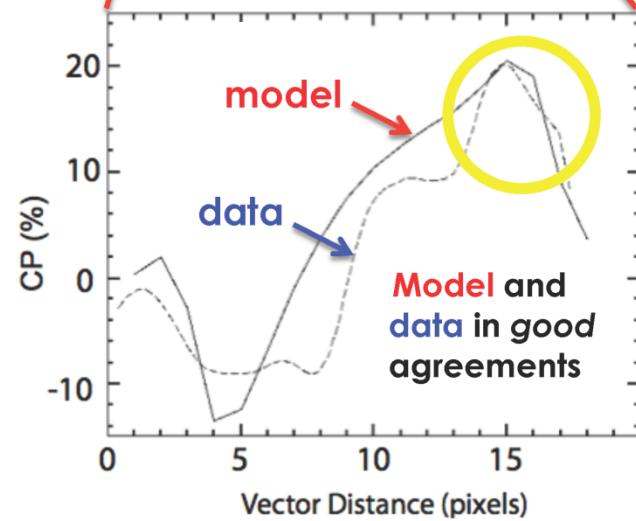
NGC 6334-V (Kwon et al. 2013, ApJL)



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.

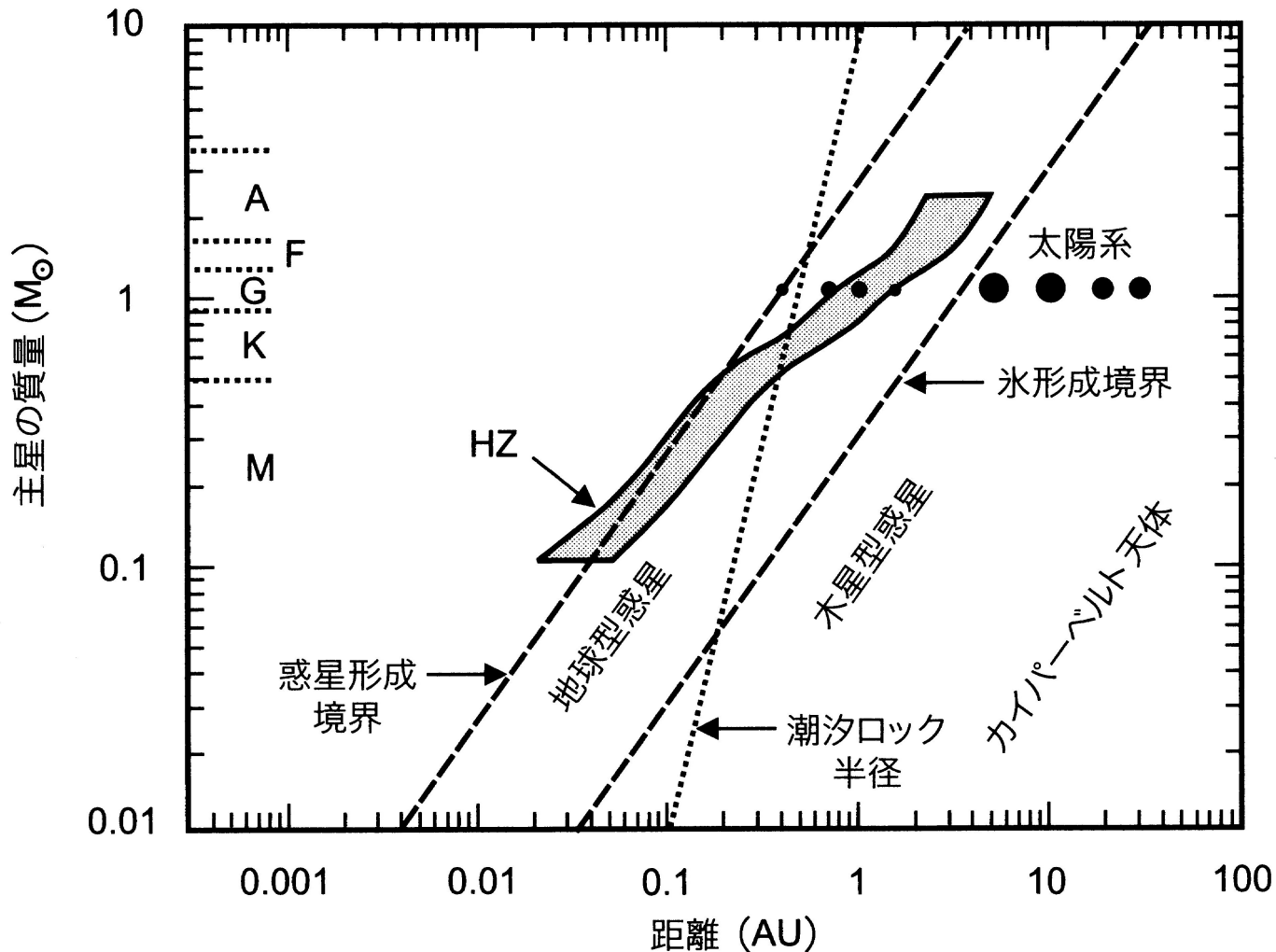
Our model with magnetic field reproduces

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



Biomarkers
~ signatures for life ~

居住可能性 - 液体の水

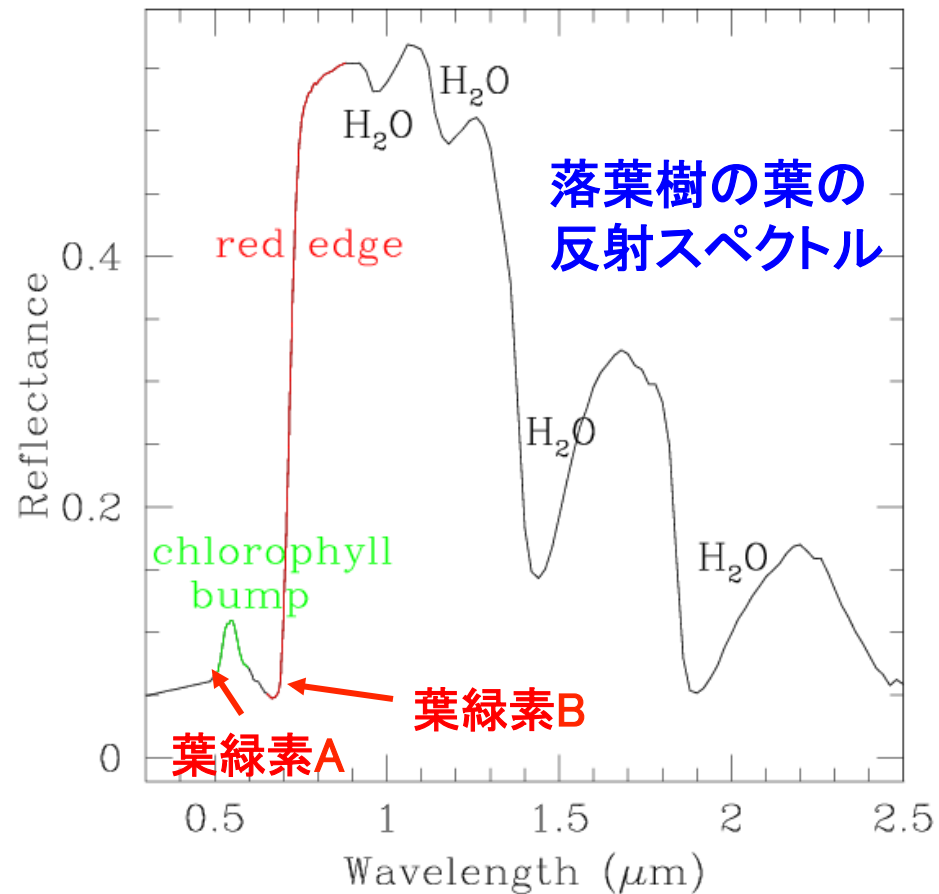


Biomarkerと地球照：我が地球を用いて「第2の地球」がどのように見えるかを予測

- 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**
 - **O₂, O₃**
- 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/>



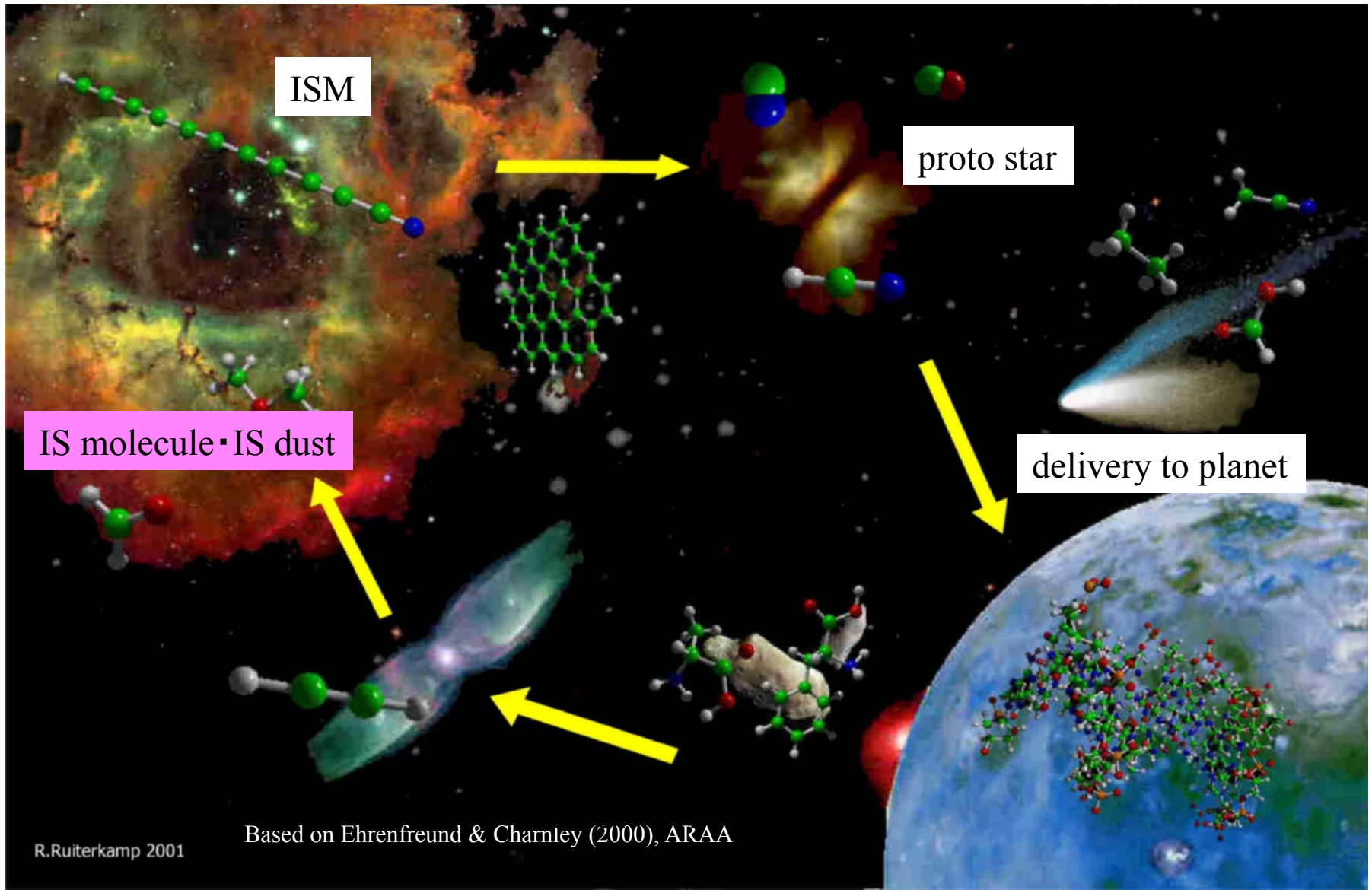
講談社・945円



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。

