

宇宙での生命の起原と進化

山岸明彦
東京薬科大学
生命科学部

Are we alone in the universe?

生命は、宇宙で我々だけか？

アストロバイオロジー

- 天文学
- 惑星科学、地球物理学
- 地球化学、化学進化
- 地学的証拠
- 生化学的研究
- 熱水地帯の微生物生態
- 遺伝子の証拠、分子進化学
- 宇宙での微生物探査
- 知的生命体探査

目次

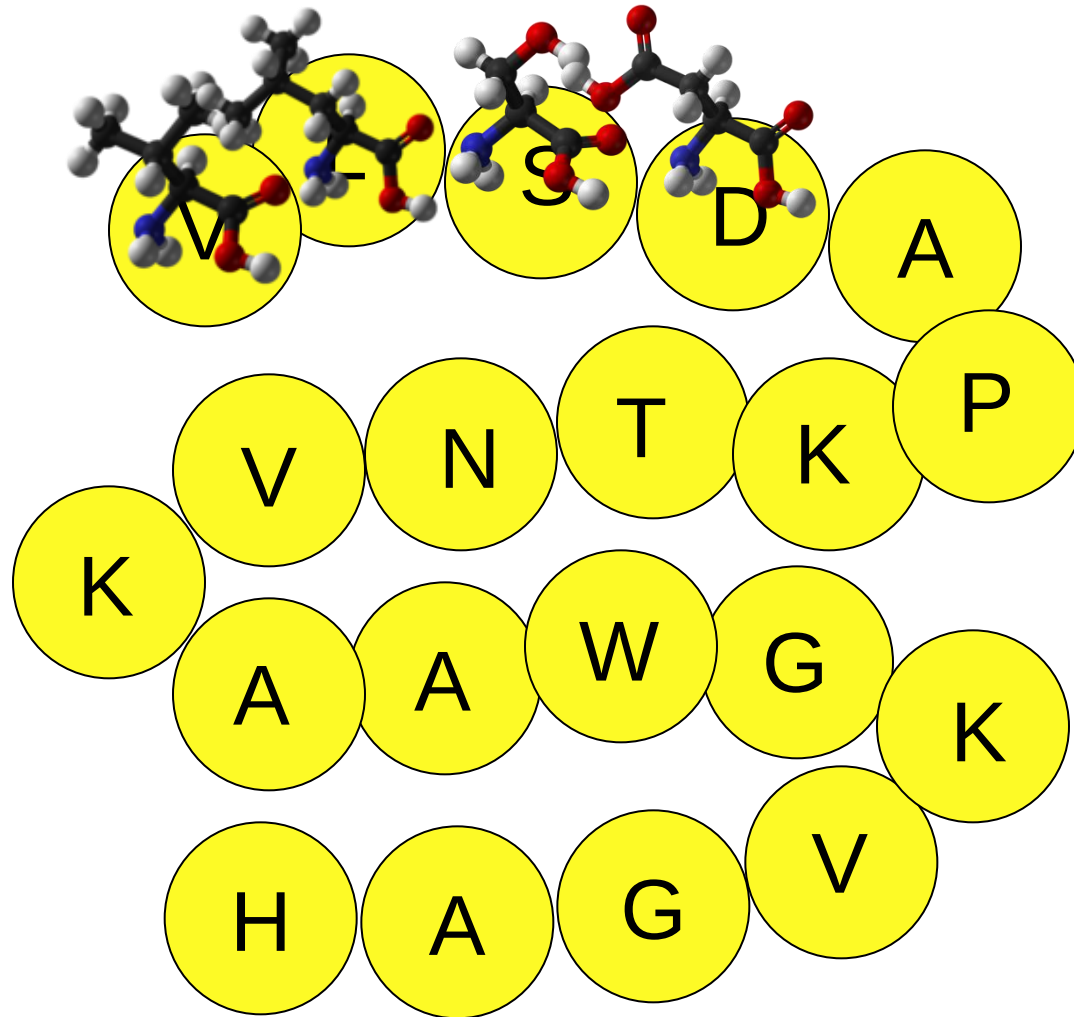
- 高分子の重要性
- 水の役割
- 元素の可能性
- 液体の可能性
- なぜ、HOCNなのか
- 他の可能性はあるが、地球型はかなり普遍的な可能性がある。
- おまけ

大腸菌の分子組成

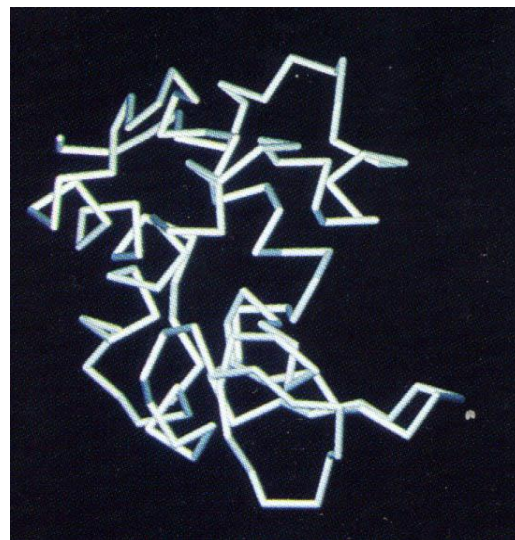
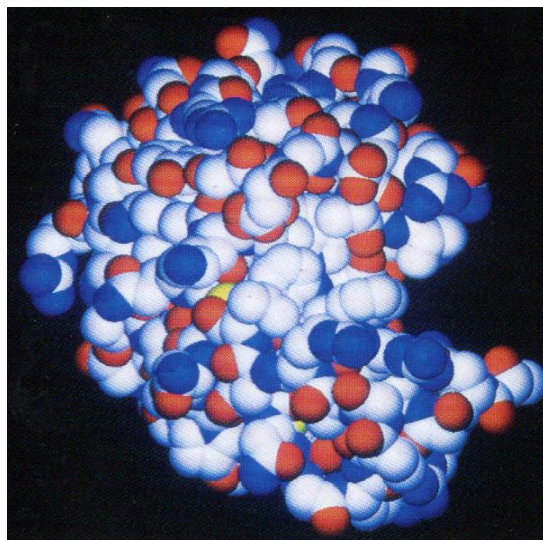
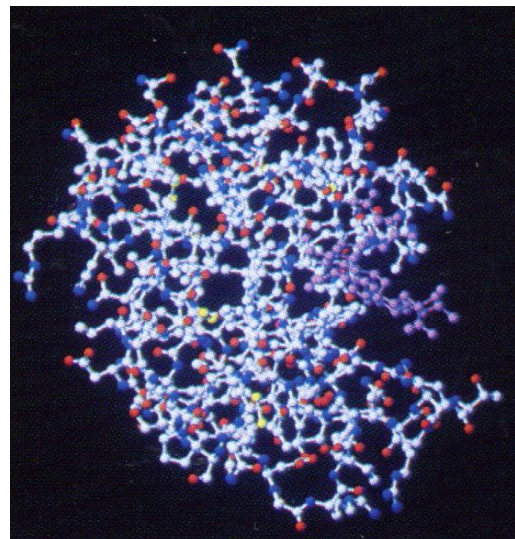
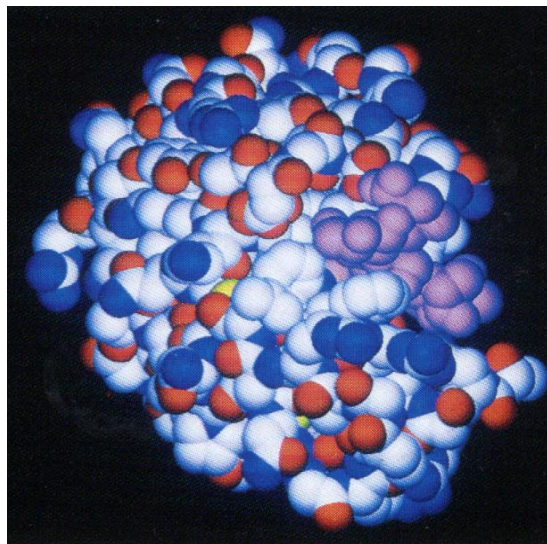
成分	重量%
水	70
タンパク質	15
核酸	
DNA	1
RNA	6
糖類	6
脂質	2
その他の有機分子	1
無機イオン	1

生き物にとって高分子が重要

タンパク質：アミノ酸が決まった順で並んでいる



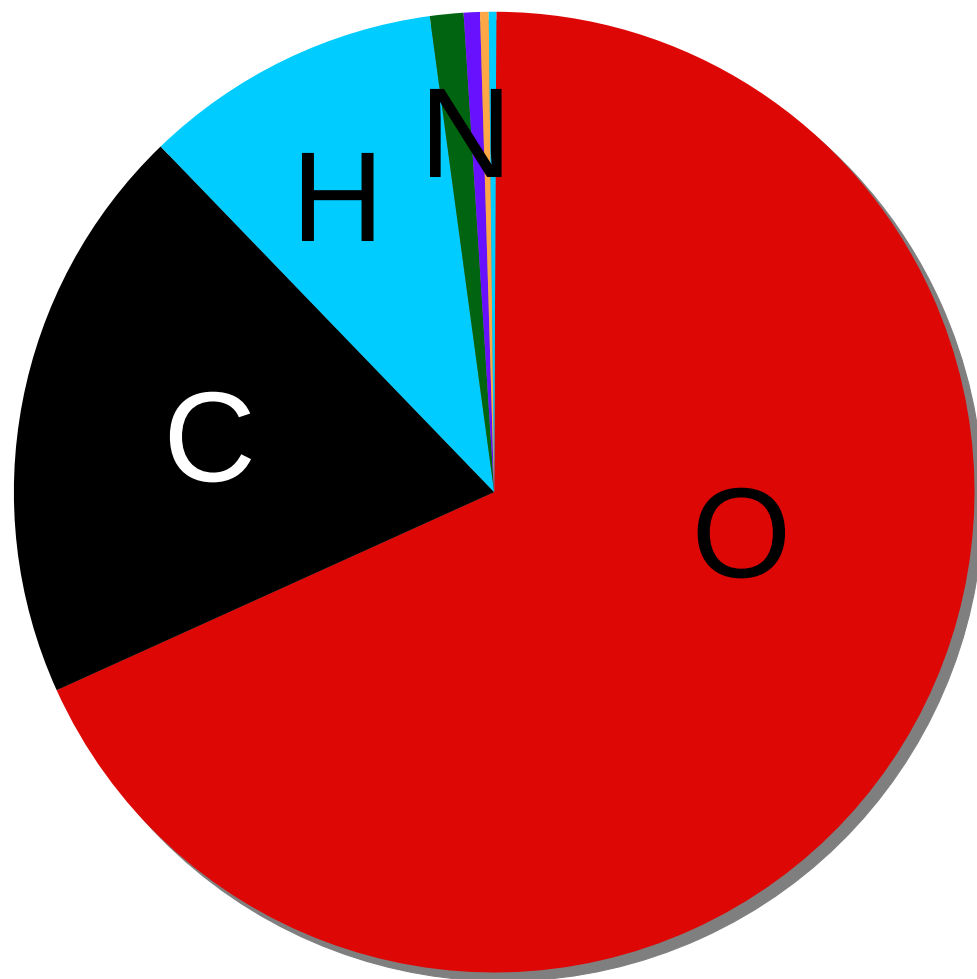
タンパク質：立体構造を取って機能を発揮する
内側が疎水性、外側が親水性



水の役割

- タンパク質の構造維持に重要
- 非常に良い溶媒
- 反応への関与: 加水分解、官能基の供与
- 疎水膜形成
- タンパク質構造形成
- 水素結合による多量体性、蒸発熱、凝固熱、比熱、
水に氷が浮く、液体存在条件
- 宇宙に普遍的

水を含むヒトの元素組成



ヒトの元素組成

ヒトの身体は海水

元素	乾燥重量(%)	元素	乾燥重量(%)	海水	mg/kg
C	61.7	F	痕跡	Cl	19350
N	11.0	Si	痕跡	Na	10780
O	9.3	V	痕跡	Mg	1280
H	5.7	Cr	痕跡	S	898
Ca	5.0	Mn	痕跡	Ca	412
P	3.3	Fe	痕跡	K	399
K	1.3	Co	痕跡	Br	67
S	1.0	Cu	痕跡		
Cl	0.7	Zn	痕跡		
Na	0.7	Se	痕跡		
Mg	0.3	Se	痕跡		
B	痕跡	Mo	痕跡		

宇宙における元素存在量

H 水素

C 炭素

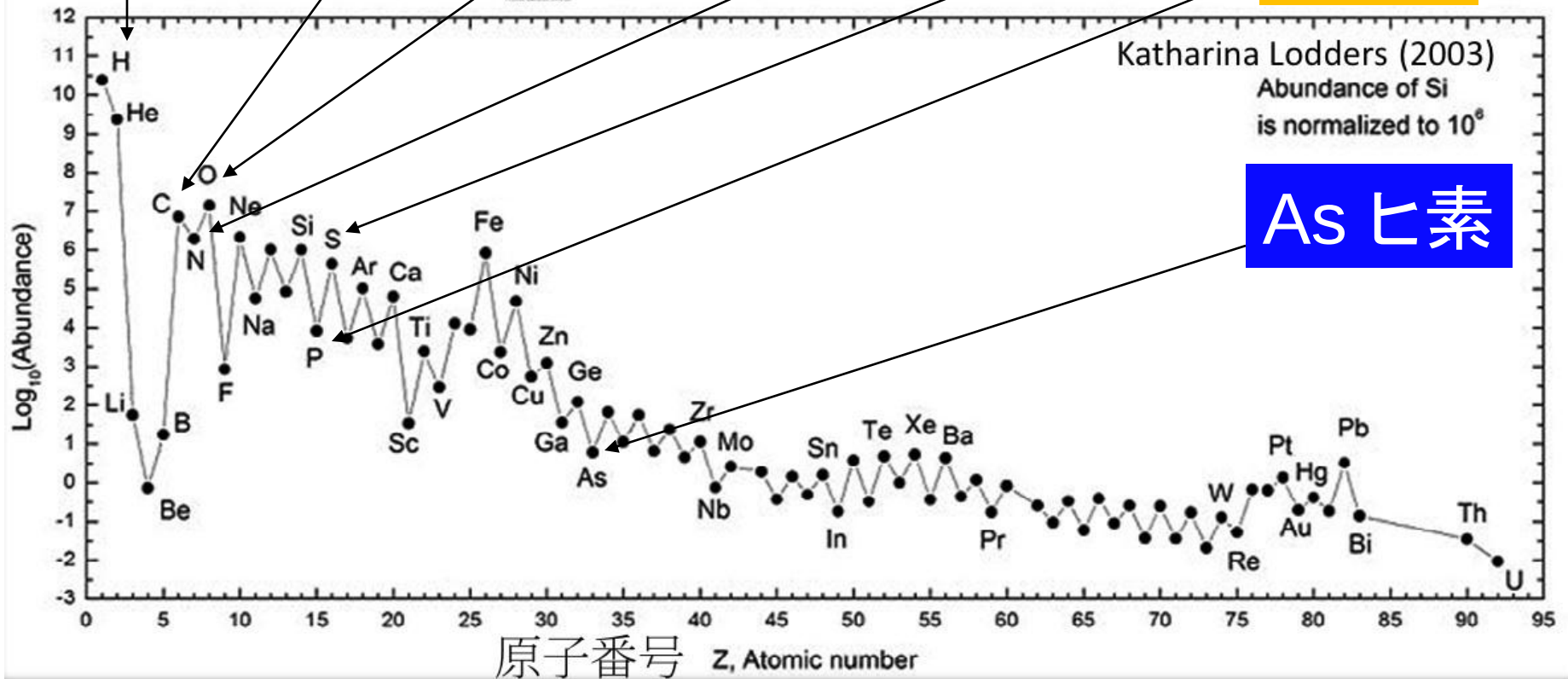
O 酸素

N 窒素

S 硫黄

P リン

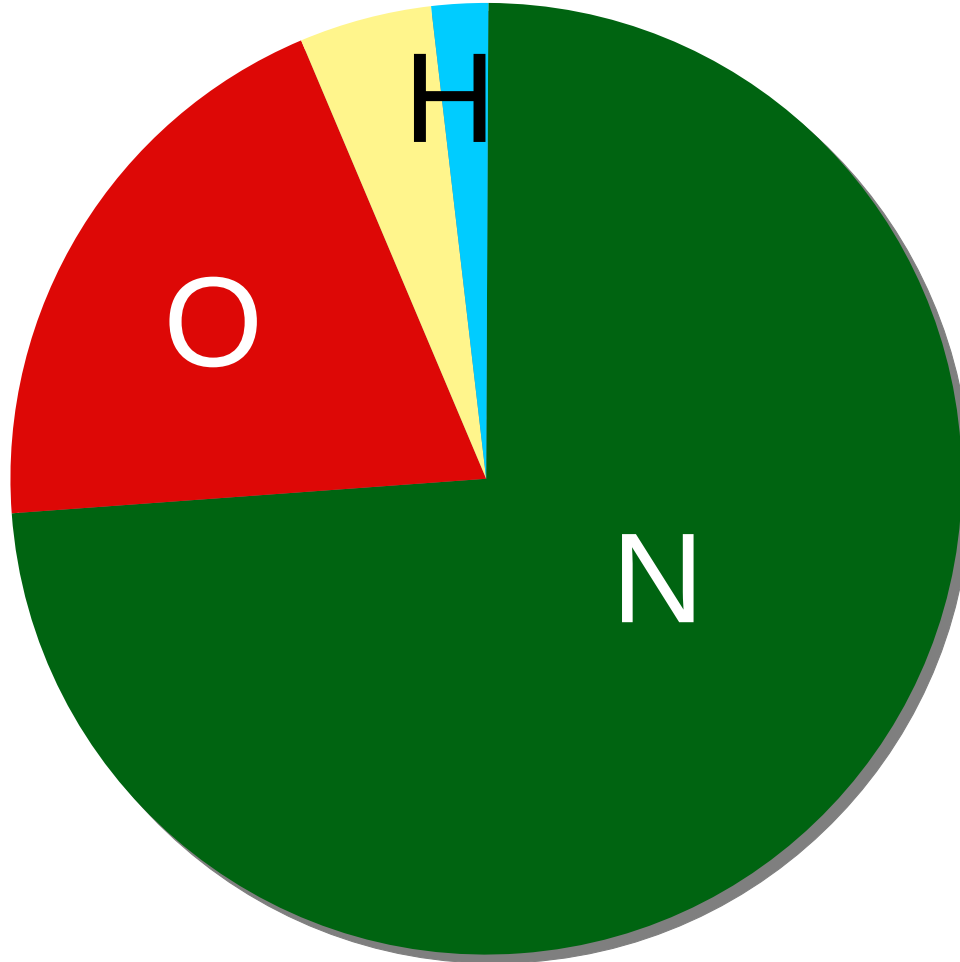
As ヒ素



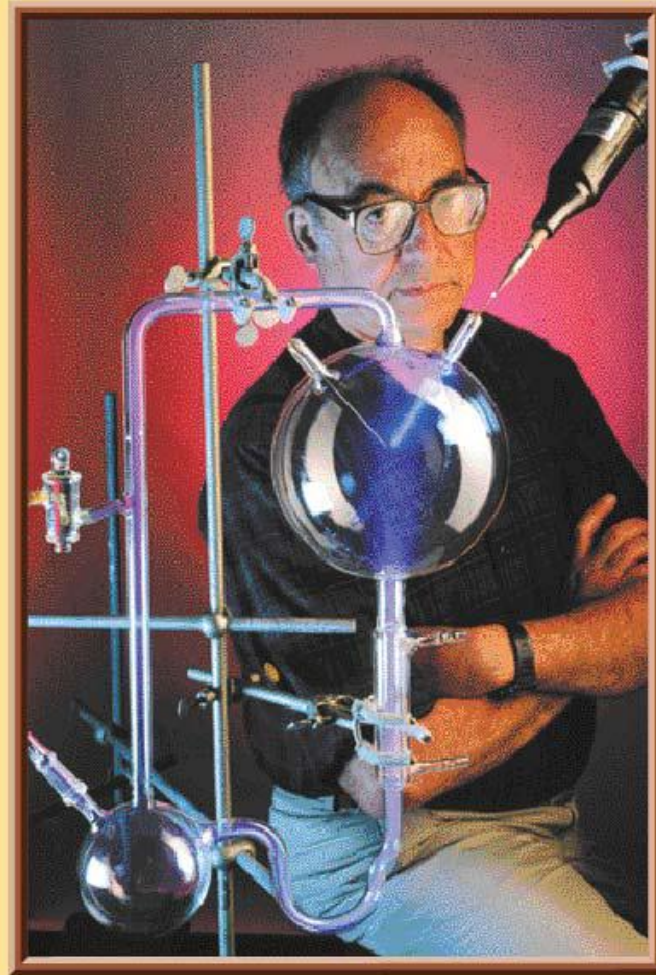
ヒトの身体に残りは宇宙

大気 of 元素組成

あるいはヒトの身体の残りは大気



ミラーの実験装置



アンモニア
メタン
水素
水
の混合気
で放電

放電により生じる有機化合物

化合物	収量 (%)
グリシン [†]	2.1
グリコール酸	1.9
サルコシン	0.25
アラニン [†]	1.7
乳酸	1.6
N-メチルアラニン	0.07
β -アラニン	0.76
コハク酸	0.27
アスパラギン酸 [†]	0.024
グルタミン酸 [†]	0.051
ギ酸	4.0
酢酸	0.51
プロピオン酸	0.66

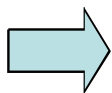
タンパク質の材料となるアミノ酸は無生物的に合成される

宇宙空間での有機物の生成

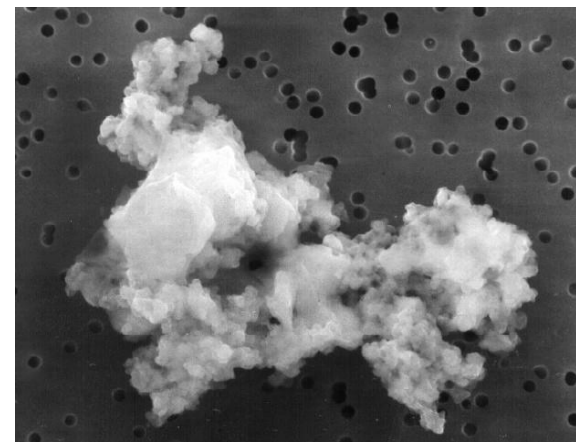
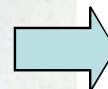


分子雲有機物

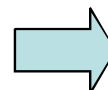
宇宙線による創生
紫外線による変成



隕石有機物



惑星間塵有機物

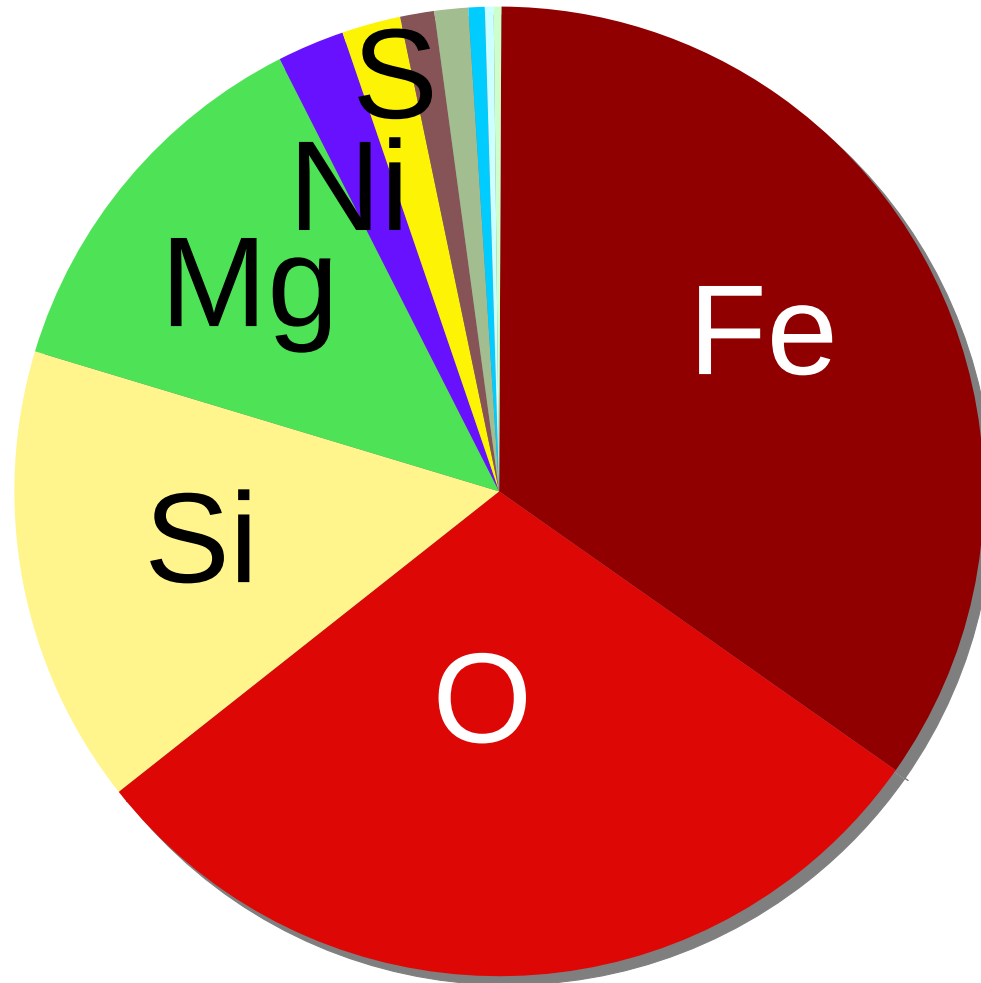


彗星有機物



地球へ

地球の元素組成

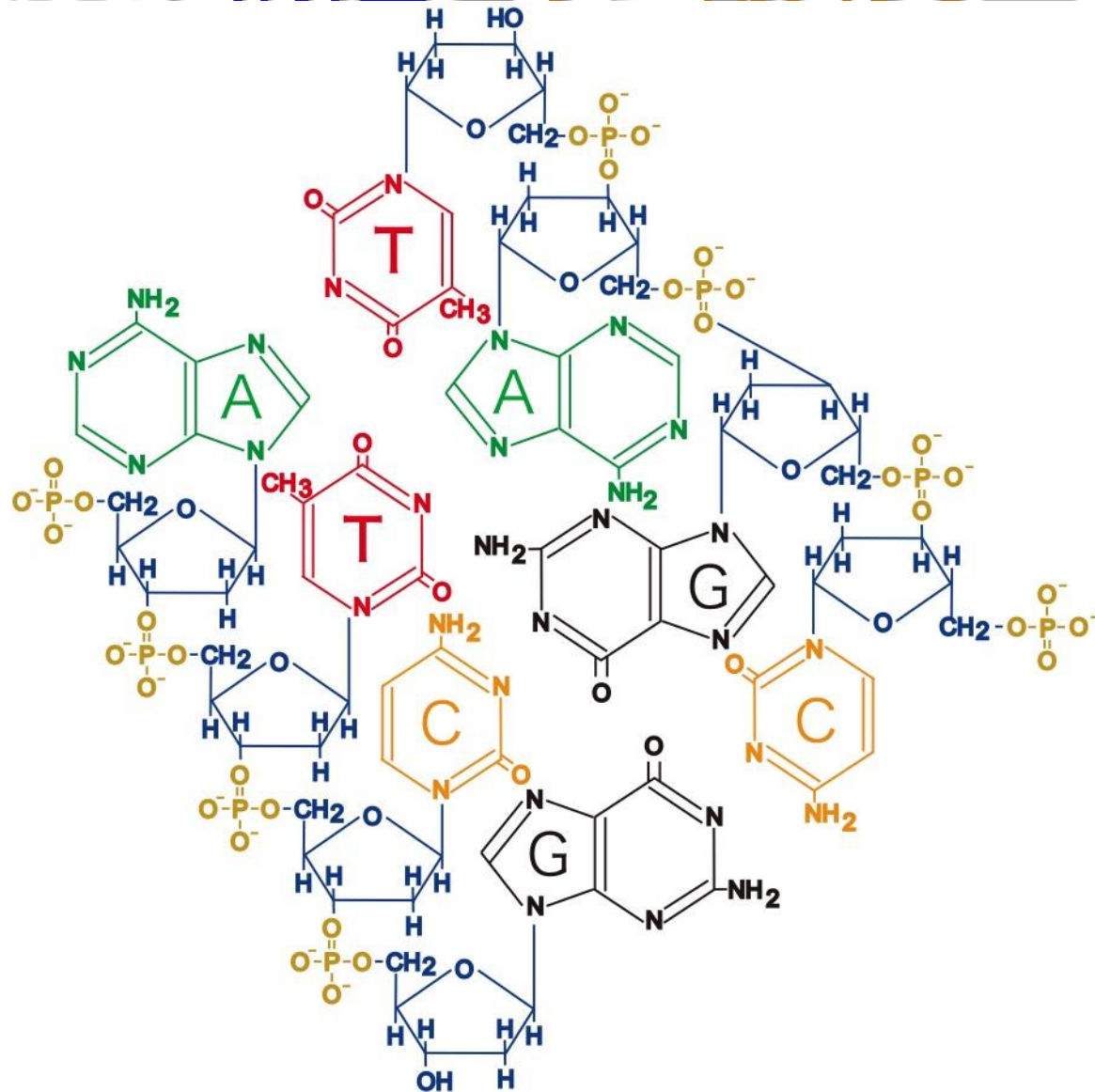


地球の生命は宇宙(大気)のありふれた原子でつくられた。

水素、炭素、窒素、酸素を使わない生物は多分少ない。

アミノ酸の多量体を使う可能性大

DNAの構造とリン酸(黄土色)



1. 液体として水を使うとする。

O → S 無意味

C → Si 可能

H → Li 不可能

N → P 可能

P → As 可能

S → Se 可能

2. Si ケイ素生命の可能性

- 還元型 CH_4 SiH_4 気体
- 光合成 CO_2 SiO_2
- SiO_2 融点 1650°C 沸点 2230°C
- 高压(300気圧)高温(300°C)で溶解度大
- アミノ酸の変わりあるか？
- 可能な代謝系あるか？
- シリコンオイル、長鎖が作れない、枝分かれしない。
- 2重結合、3重結合?安定に存在しない。
- 最初からケイ酸
- ケイ酸は酸化剤、光合成難しい(安定すぎる)

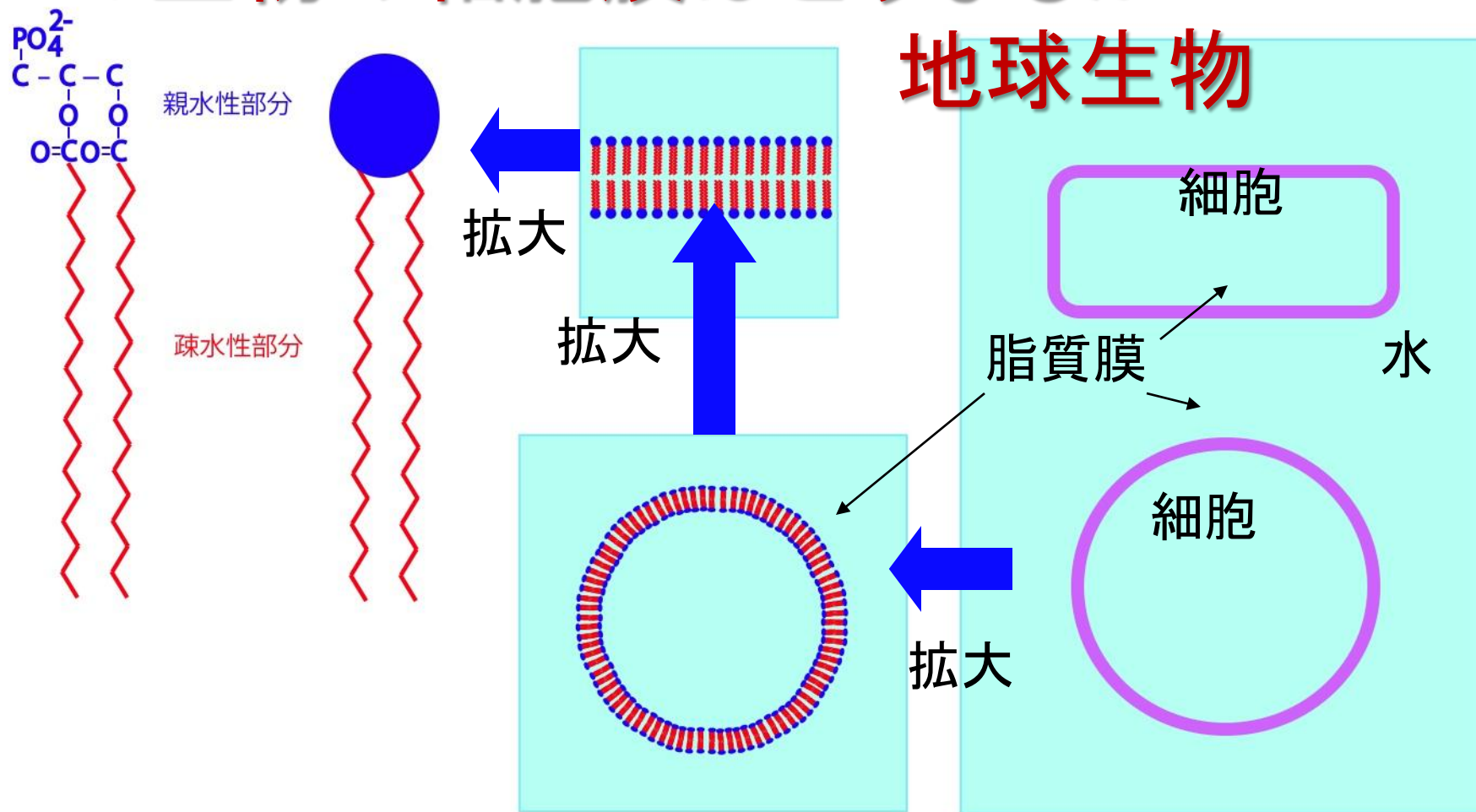
3. 水以外の液体を溶媒とする可能性

		融点(°C)	沸点(°C)	存在	場所
水	H ₂ O	0	100	ある	表面
アンモニア	NH ₃	-77.7	-33.3	ある	内部
メタン	CH ₄	-182.5	-161.6	ある	表面
ケイ酸	SiO ₂	1650	2230	ある	表面
鉄	Fe	1535	2750	ある	内部

水とメタン可能性あり。
メタン、

4. 生物の細胞膜はどうなるか

地球生物



メタンの場合： 親水性基を内側にすればよい
可能、メタン水について多い(メタンの活性が高い場所)。

地球の生命は宇宙(大気)のありふれた原子でつくられた。

ヒ素生物(リンの代わり)はあるかもしれない、セレン生物(硫黄の代わり)もあるかもしれない。しかし、大部分はリンと硫黄。

水素、炭素、窒素、酸素を使わない生物は多分少ない。

進化：なぜ進化できたか

- タンパク質は1個もできない
 - 20^{100}
 - 宇宙 10^7 銀河 10^7 個星 $2 \times 10^{33} \text{g} 10^{23} = 10^{70}$ 原子
 - 137億年 $= 10^{11}$ 年 $365 \times 24 \times 60 \times 60$ 秒 $= 3 \times 10^{18}$ 秒

ダーウィン型の進化

自己と非自己の区別
(個体あるいは細胞)



何らかの境界が必要
(膜で囲まれたベシクル)

多くの子

変異の存在



最適者の生存

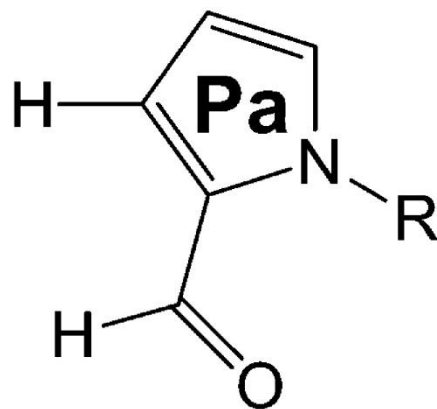
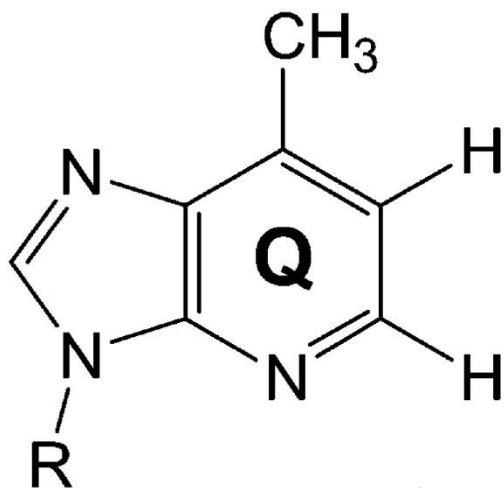


進化:なぜ進化できたか

- 少数のライブラリー(選択肢)を繰り返し選択
 - $20 \times 20 \times \dots = 20^{100}$
- 1世代で個体数通りの変異の調査
- 海水 10^{21} L $\times$ 10^7 細菌 = 10^{28}
- 100世代/年 = $(10^{28})^{100}$
- 変異確立 10^{-8} としても年 $(10^{20})^{100}$
- 生物はステップバイステップで進化する
- ヒトの数 = $10^8 \times (\text{歴史 } 10^6 \text{ 年} / \text{世代 } 10 \text{ 年}) = 10^{13}$ 少ない

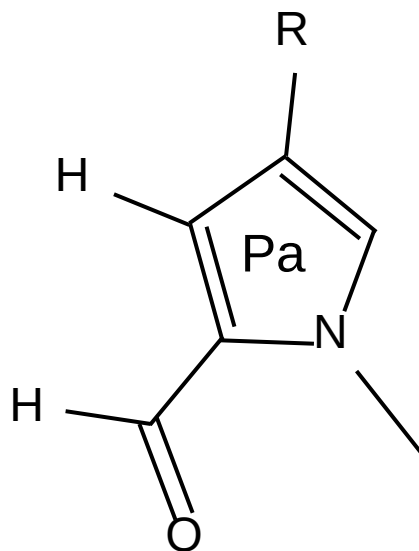
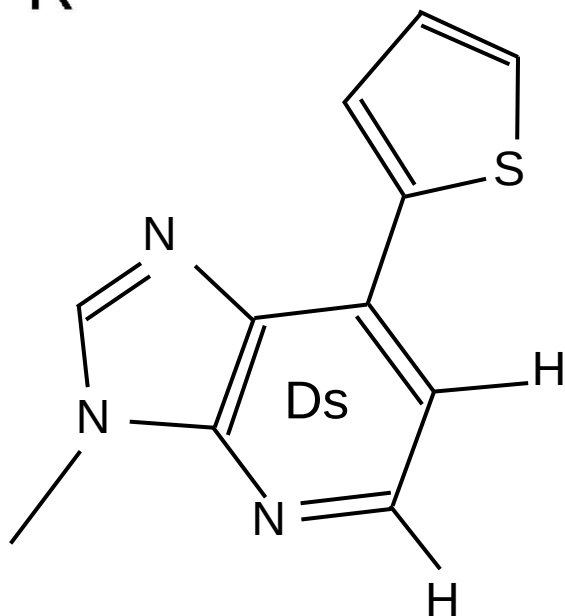
段階的進化の問題点

- ・グローバルな最適化ではなく、
局所的最適化
- ・最適化図形によっては行き止まり
- ・時々、戻って再開する必要がある？



Mitsui et al. J. Am. Chem. Soc., 2003, 125, 5298–5307

pyrrole-2-carbaldehyde
(Pa), 9-
methylimidazo[(4,5)-
b]pyridine (Q)



Nature Methods -
3, 729 - 735
(2006)
Hirao, et al.

太陽系外惑星がすでに1400個以上

生命はいるか

知的生命はいるか

どんな形か

水がある、重力同じ、大きさ同じ、
生命は海から、流線形、ひれ
地上へ、足は4本か6本
手が必要、足は2本か4本
頭(脳)は上、口、目(二つ)
音波による意思疎通(言語)
電波による情報交換

参考文献

- Mitsui T, Kitamura A, Kimoto M, To T, Sato A, Hirao I, Yokoyama S., 2003: An unnatural hydrophobic base pair with shape complementarity between pyrrole-2-carbaldehyde and 9-methylimidazo[(4,5)-b]pyridine., *Journal of the American Chemical Society*, 125, 5298-5307
- Hirao I, Kimoto M, Mitsui T, Fujiwara T, Kawai R, Sato A, Harada Y, Yokoyama S., 2006: An unnatural hydrophobic base pair system: site-specific incorporation of nucleotide analogs into DNA and RNA., *Nature Methods*, 3, 729-735