

生物多様性学II ～生命・地球環境進化～ (第四回目)

-生命の化学進化とパンスペルミア-

東京大学総合文化研究科：

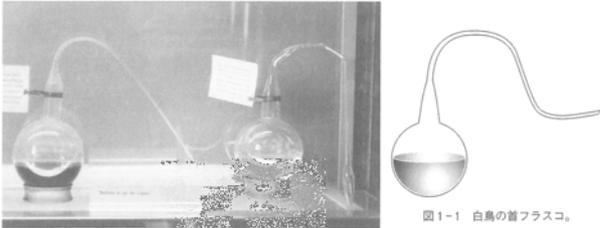
小宮 剛 准教授

2016/10/26

(1) 生命の自然発生説とパストゥールの実験

① **プーシェ**(ルーアン自然史博物館(仏)館長)
→枯れ草を入れたフラスコを密閉し、放置した後に枯草菌が発生する。

② **パストゥール**(1822-1895)
→パストゥールの**自然発生説の否定**の論文(1860年)
→微生物であっても自然発生することはない



(1) 生命は無機物から、生じるのか？

～生命の自然発生説～

① **古代ギリシア時代**：アリストテレス(384~322BC)
→『動物誌』～動物植物を問わず親から誕生するもの他に、自然発生するものが存在する(昆虫やネズミ等)

② **17世紀**：レディ(1626-1698), イタリア
→『昆虫の発生に関する実験』
→蓋をしたフラスコからはウジは発生せず、蓋の空いたフラスコからのみウジが生じた(ハエの出入りがあった)
→昆虫も自然発生しない
c.f. 微生物の発見～1674年

③ **スパンツァーニ**(イタリア)
→フラスコにスープをいれ煮沸、密封。→微生物は発生せず(1768)。⇨空気(や生気)が入らないためとの反論

③ **19世紀**：
全ての生物に自然発生はない。Vs 微生物ならある。

(1) ダーウィンと生物進化+生命の起源

① **ダーウィン**(1809-1882)
→『**種の起源**』(1859年11月)
→生物は単純なものから高等なものへと進化した。
→最も、単純なものはなに？その先は(生命の起源)？

② **アレニウス**(1859-1927)
→**パンスペルミア説**(1908年, 『宇宙の始まり』)
→宇宙空間に微生物の微小な萌芽が広く分散していて、それが宇宙空間を移動して地球にやってきた
問題点
①その宇宙に広がっている生命はどのようにして生じたのか？
②微生物が宇宙空間で生き続けられるのか？

(1) 生命の起源(地球上)についての科学的考察

① **エンゲルス**(1820-1895)
→1870年代～物質の進化的発展のみが生命起源を説明し得ると説く。

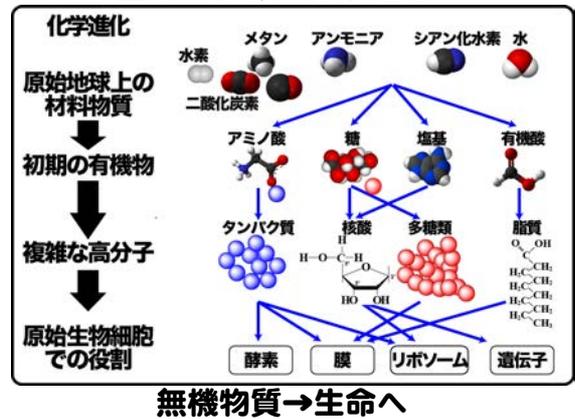
② **オパーリン**(1894-1980, ロシア, 化学者)
→化学的に生命の起源を考察『**生命の起源**』(1924年)

→①還元的な大気条件(メタン, アンモニア, 水素)で有機物が生じ、さらにそれが海洋に溶け込み、複雑化し、コアセルベートのような細胞状の構造体が生じる。
②その中に取り込まれた有機物は触媒

能を獲得し、原始スープの中で、自己維持機能を、さらに成長する能力を獲得するようになる(プロトビオント)。プロトビオントが生命へと進化する。

③ **ホールデン**(1892-1965, イギリス)
オパーリンと同時期にイギリスで同様の化学進化を提唱

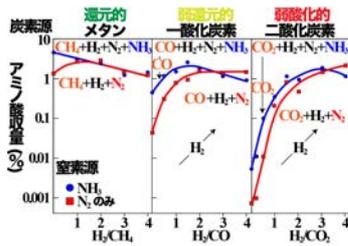
生命の起源—化学進化—



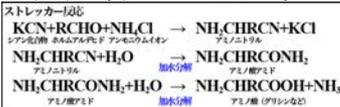
アミノ酸の合成



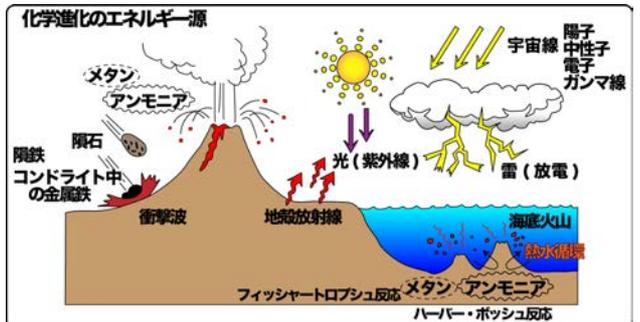
図2-2 ミラーの実験



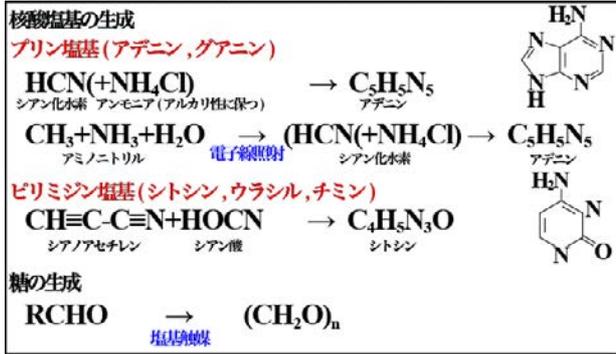
①水素を含む様な還元的な条件下でアミノ酸が形成される
②生成物を系から除く機構→非平衡(平衡だと逆反応)



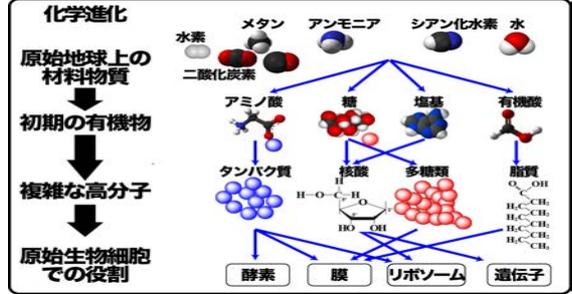
アミノ酸の合成



その他の材料物質の合成の合成

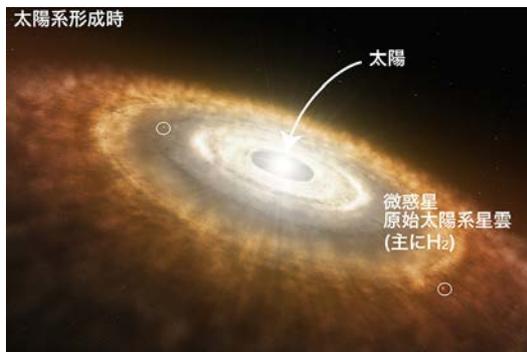


生命の起源物質の合成は可能? 問題点は

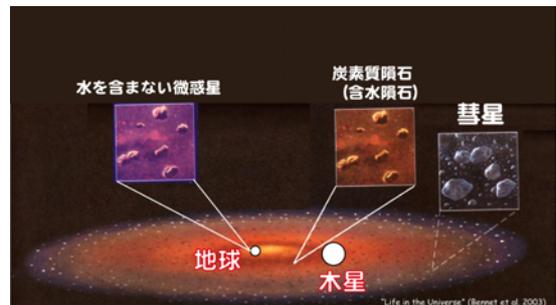


- ①初期大気の問題
- ②加水分解の問題
- ③高度の実験
- ④最適なpHなどの条件
- ⑤阻害分子の除去
- ⑥フンボット合成とステップワイズ合成
- ⑦正しい結合を必要とする。異性体が多く生じる。
- ⑧光学異性体

①初期大気の問題 地球型惑星大気の形成過程 一次大気モデル 1



水(海)の起源 二次大気モデル(衝突脱ガス)



太陽-地球(1AU) 太陽-火星(1.5AU)
太陽-含水隕石(>2AU) 太陽-木星(5AU)

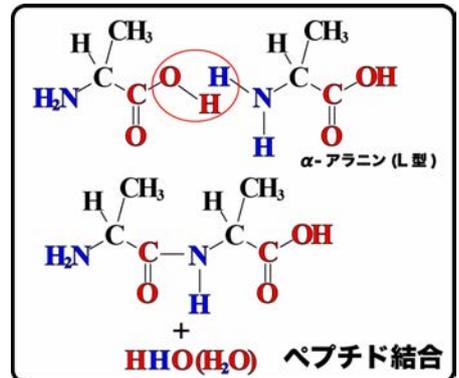
②他の地球型惑星の大気の組成

成分	濃度 (bars)	存在比 (%)
金星 (Venus)		
CO ₂	86.4	96
N ₂	3.2	3.5
H ₂ O	0.009	1×10 ⁻²
Ar	0.0063	7×10 ⁻³
地球 (Earth)		
N ₂	78	77
O ₂	21	21
H ₂ O	0.01	1
Ar	0.0094	0.93
CO ₂	3.55×10 ⁻⁴	3.5×10 ⁻⁴
火星 (Mars)		
CO ₂	0.0062	95
N ₂	0.00018	2.7
Ar	0.00010	1.6
H ₂ O	3.9×10 ⁻⁷	6×10 ⁻³
CO, O ₂ , CH ₄		<1

他の惑星はCO₂が多い。地球大気はO₂が特徴的
初期大気組成は弱還元的
CO₂, CO, H₂O, N₂
CH₄, NH₃, (H₂)などの還元的成分は乏しい

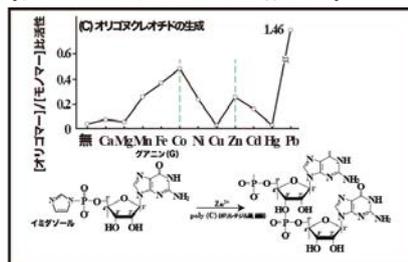
②高分子化(多くは脱水縮合反応)

①アミノ酸からタンパク質の合成: ペプチド結合による



②高分子化(多くは脱水縮合反応)

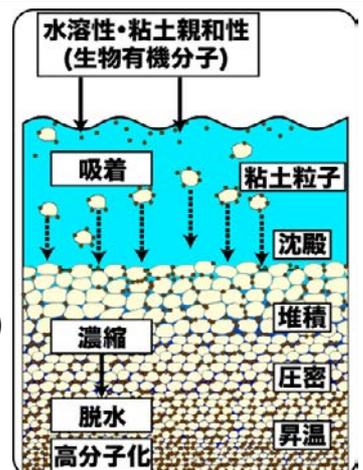
①金属イオンの効果



種類	イオン	濃度[M]
陰イオン	HPO ₄ ²⁻ , SO ₄ ²⁻	0.01
	Cl	0.07
	NO ₃	0.005
主要成分	Na ⁺	0.015
	金属イオン K ⁺	0.05
微量金属イオン	Zn ²⁺ , MnO ₄ ²⁻ , Fe ²⁺ , Cu ²⁺ , Co ²⁺ , Mn ²⁺	0.0001

②高分子化(多くは脱水縮合反応)

①地下(高温高圧下+粘土鉱物の役割)での合成



①宇宙線照射によるアンモニアと有機化合物合成

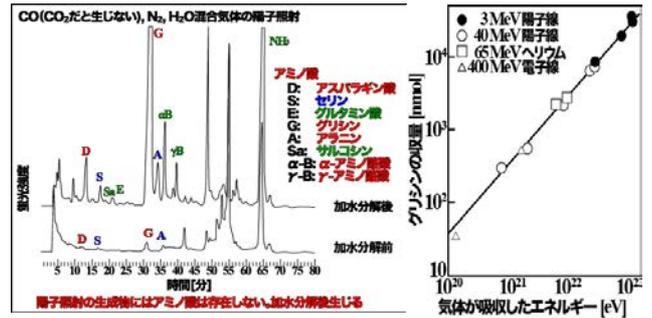
窒素分子の解離
 $N_2 \rightarrow N+N$ 945 (kJ/mol, 127 nm, 真空紫外～極端紫外)

アンモニア分子の解離
 $NH_3 \rightarrow NH_2+H^+$ 386 (kJ/mol, 310nm 紫外線)

イオン化 $N_2 \rightarrow N_2^++e^-$

化学進化のエネルギー源

①宇宙線照射によるアンモニアと有機化合物合成



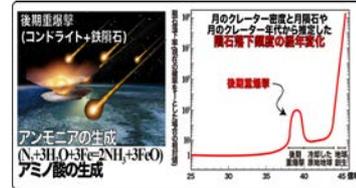
①宇宙線照射によるアンモニアと有機化合物合成

種々のエネルギーによる弱還元型原始大気(CO, N₂, H₂O大気)からのアミノ酸生成率

エネルギー源	エネルギー推定値 [eV/m ² /yr]	グリシンのエネルギー収率 [分子/eV]	グリシンの生成率 [分子/m ² /yr]
太陽からの輻射全体	6.8x10 ²⁸	0	0
λ<200nm(真空紫外線)	2.2x10 ²⁵	0	0
λ<150nm(真空紫外線)	9.1x10 ²³	0	0
λ<110nm(真空紫外線)	4.2x10 ²²	0	0
λ<10nm(X線)	4.2x10 ²²	8x10 ⁻⁵	3x10 ¹⁷
雷	1.8x10 ²² ~1.0x10 ²⁴	7x10 ⁻⁹	1x10 ¹³ ~7x10 ¹⁵
火山熱	3.4x10 ²²	0	0
宇宙線	2.9x10 ²¹	2x10 ⁻⁴	6x10 ¹⁷
隕石衝突	1.0x10 ²²	2x10 ⁻⁷	2x10 ¹⁵

②隕石衝突モデル

- ①衝撃波によるアミノ酸合成
- ②還元物質(Fe)の供給によるアンモニア合成



試料名	実験試料 (N ₂)	実験試料 (NH ₃)
Fe (mg)	200	200
Ni (mg)	20	20
出発試料	°C (mg)	30
H ₂ O (mg)	130	130
NH ₄ q (mmol)	0	1.95
N ₂ (μmol)	15	15
衝突速度 (km/s)	0.9	0.9
°C-エタン酸	1360	2200
°C-プロパン酸	440	1020
カルボン酸	°C-ブタン酸	88
°C-ペンタン酸	24	
°C-ヘキサン酸	NO	
生成物 (μmol)	°C-2-メチルプロパン酸	検出
°C-メチルアミン	7430	
アミン	°C-エチルアミン	280
°C-プロピルアミン	12	
°C-ブチルアミン	未検出	
アミノ酸	°C-グリシン	24

①核酸塩基の合成

混合気体からの核酸塩基の合成

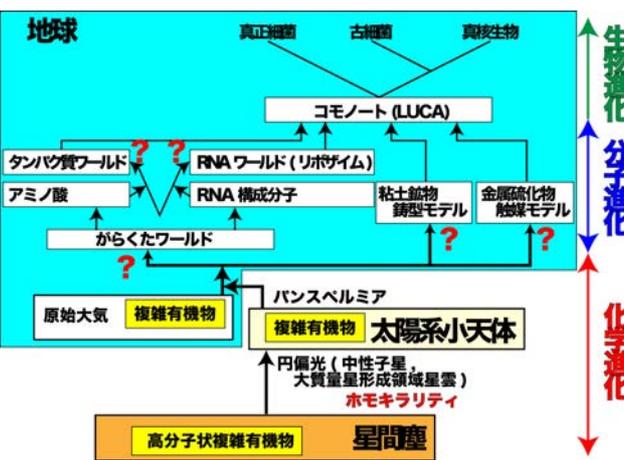
出発物質	エネルギー源	生成する主要核酸塩基
	電子線	アデニン
メタン+アンモニア+水(強還元)	火花放電	アデニン, グアニン
メタン+窒素+水(アンモニウムイオン)	火花放電	シトシン, チミン
一酸化炭素+アンモニア+水	陽子線照射	シトシン, ウラシル
一酸化炭素+メタン+アンモニア+水	陽子線照射	シトシン, グアニン
二酸化炭素+メタン+窒素+水(弱還元)	陽子線照射	ウラシル, チミン
一酸化炭素+窒素+水(弱還元)	高温プラズマ放電	ウラシル, シトシン, グアニン

生命原材料物質は宇宙起源？ —パンスペルミア—



マーチソン隕石

隕石の有機物と放電実験比較		
アミノ酸	マーチソン隕石	放電
グリシン	○○○○	○○○○
アラニン	○○○○	○○○○
α-アミノ-n-酸	○○○○	○○○○
α-アミノ/β-酸	○○○○	○○
β-アミノ	○○○○	○○
β-アミノ-n-酸	○○○○	○○
β-アミノイミン酸	○○○○	○○
γ-アミノ/β-酸	○○○○	○○
サルコニン	○○○○	○○○○
N-エチルグリシン	○○○○	○○○○
N-メチルアラニン	○○○○	○○○○



生命出現の場所

- ① 深海・熱水環境 **脱水縮合反応**
- ①' 海底の粘土層 **紫外線**
- ② 干潟→prebiotic molecule の形成 (粘土鉱物, 脱水縮合)
- ③ 陸上の熱水環境 (Yellowstone)
- ③' 陸上の熱水環境 + 気液分離 & 気相濃集泥湖沼 **仮想的環境**
- ④ 初期大陸 (斜長岩 + KREEP)