

# 生命の起源

# そもそも、生命とは何だろうか？

- 子孫を作れる？
- 細胞から成っている？
- DNAを持っている？

.....古代から哲学者たちが悩み続けてきた命題だが、  
未だに明快な定義は存在しない  
科学の進歩と共に、混乱は増す一方でもある

## 一応の「生命の定義」

- 細胞膜など、外界から区切る境界を持つ
- 外界から物質・エネルギーなどを取り込み、自らを維持する(代謝)
- 自己を複製できる(細胞分裂、子孫を作る)
- 進化する

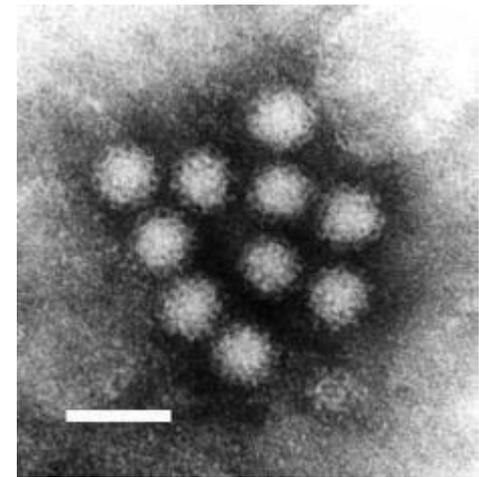
# ウイルスは生命なのか?

- ・タンパク質の殻(カプシド)が、遺伝子を包み込んだ構造
- ・他の生物の複製機構を乗っ取り、自分のコピーを作る
- ・代謝機能は持たない

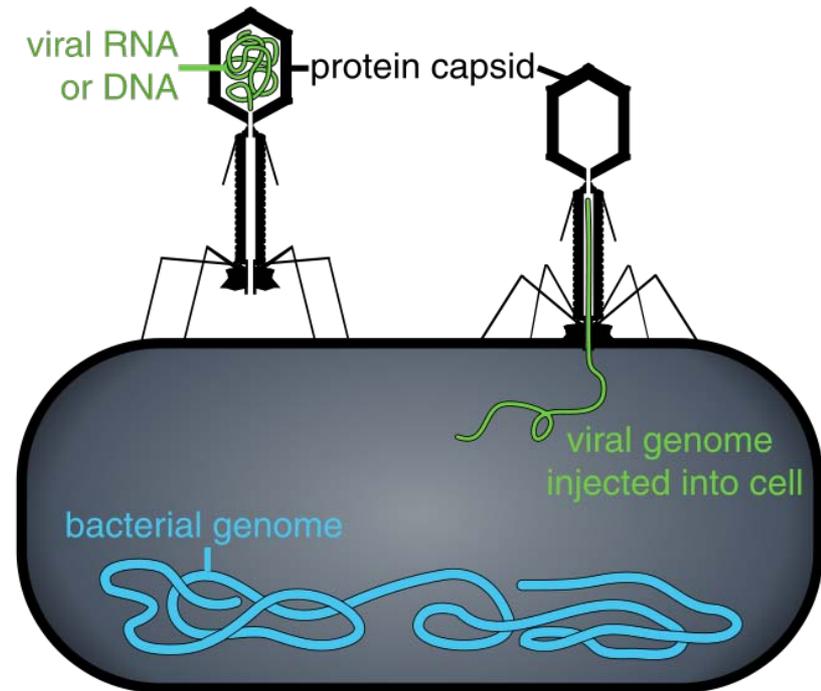


増殖機能はあっても、  
生きているとはいえない

.....が、最近はその境界線上のウイルスが  
見つかり、定義も揺らいでいる



ノロウイルス



生命誕生に必要な、最低条件は何だろうか？

- 水
- 熱

化学反応を行うための溶媒と、  
反応を進行させるための温度は、  
最低限生命のために必要と見られる

(水は絶対なのだろうか.....?)

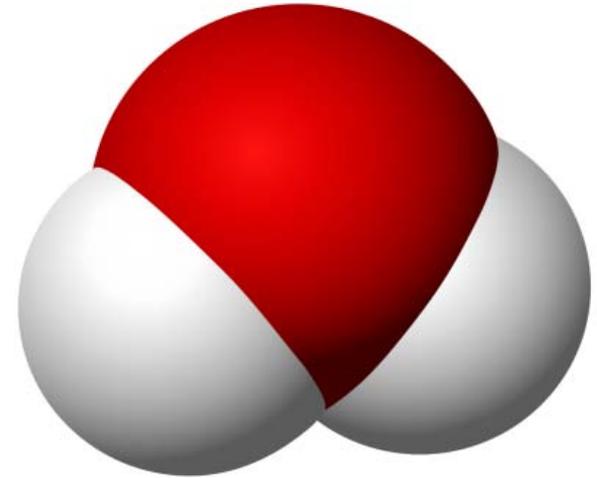


熱水噴出孔に棲む「チューブワーム」

# 水の特徴

- ・電荷の偏りによって、イオン性物質から有機物までをよく溶かし、反応を促す
- ・水素結合により、このサイズの分子としては異例に高い融点・沸点を持つ
- ・固体の比重が液体より低い、珍しい物質  
このため、海が底まで凍らない
- ・比熱が大きいいため、海水の循環が起き、地球全体の温度が平均化された

少なくとも、現在知られている地球上の生命が誕生するために、水は欠かせないものであった



# 生命に必要な元素

## 地殻における元素の存在比率

順位	元素	クラーク数
1	酸素	49.5
2	ケイ素	25.8
3	アルミニウム	7.56
4	鉄	4.70
5	カルシウム	3.39
6	ナトリウム	2.63
7	カリウム	2.40
8	マグネシウム	1.93
9	水素	0.83
10	チタン	0.46
11	塩素	0.19
12	マンガン	0.09
13	リン	0.08
14	<b>炭素</b>	<b>0.08</b>
15	硫黄	0.06
16	窒素	0.03

## 人体における元素の存在比率

順位	元素名	%
1	酸素	65
<b>2</b>	<b>炭素</b>	<b>18</b>
3	水素	10
	窒素	3
5	カルシウム	1.5
6	リン	1
7	硫黄	0.25
8	カリウム	0.2
9	ナトリウム	0.15
10	塩素	0.15
11	マグネシウム	0.05

生命は、地球上のわずかな**炭素**をかき集めて成り立っている

# ケイ素生命はありうるか

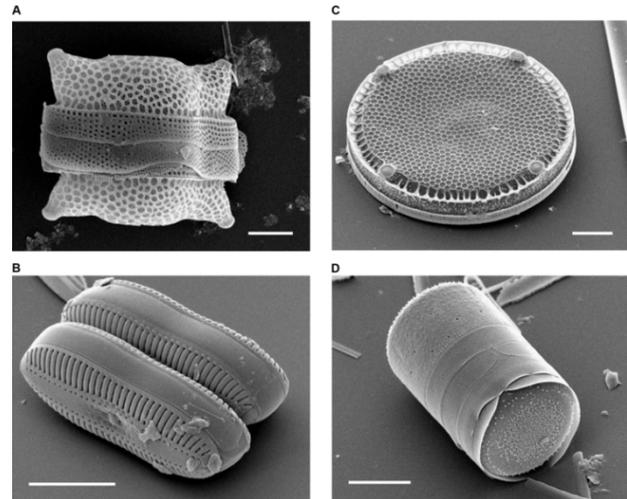
ケイ素は炭素と類似の化学的性質を持つが、  
Si-Si結合はC-C結合より不安定、多重結合も  
ほぼ作らない

酸素と結合し、硬い固体になりやすい(岩石)  
ことなどから、ケイ素を中心とした生命は  
無理があると(今のところ)考えられている

ケイ素を使っている生物も少ない  
珪藻、イネ科植物などにいくつか見つかっ  
ているのみ  
なぜケイ素はこれほど存在していながら、  
生命には縁遠いのだろう？



スター・トレックに登場した  
ケイ素生物



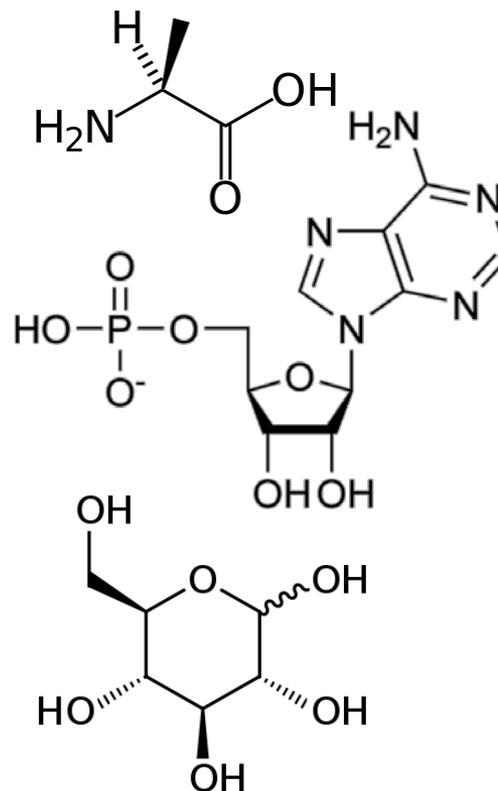
珪藻類

# 生命を構成する単位

アミノ酸 20種

核酸 8種

糖 7～8種



生体を構成する主要パーツはせいぜい35種程度  
パーツは6炭素以下の比較的単純な物質 (芳香族アミノ酸除く)



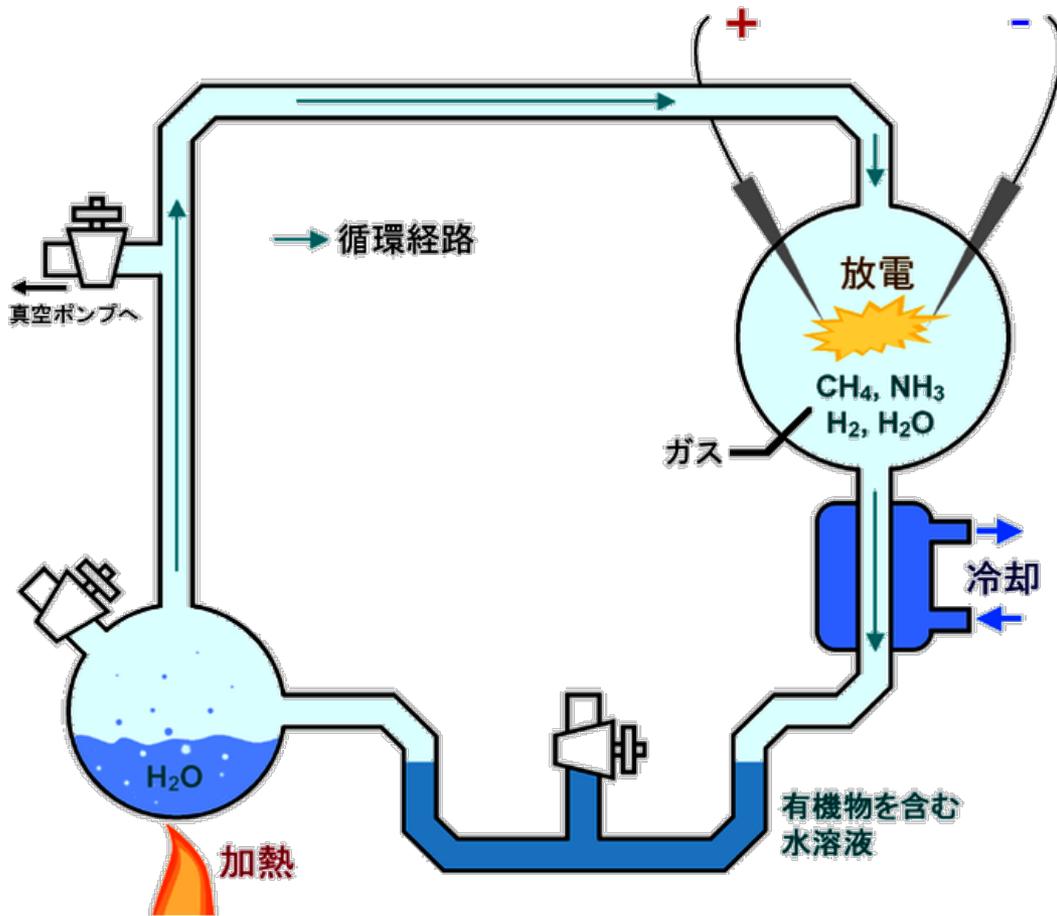
では、これらはどこから来たのか？

# 前生物的合成

生物の力なしに、生命の材料はどうやってできたか？

# Urey-Millerの実験(1953)

原始地球のシミュレーション

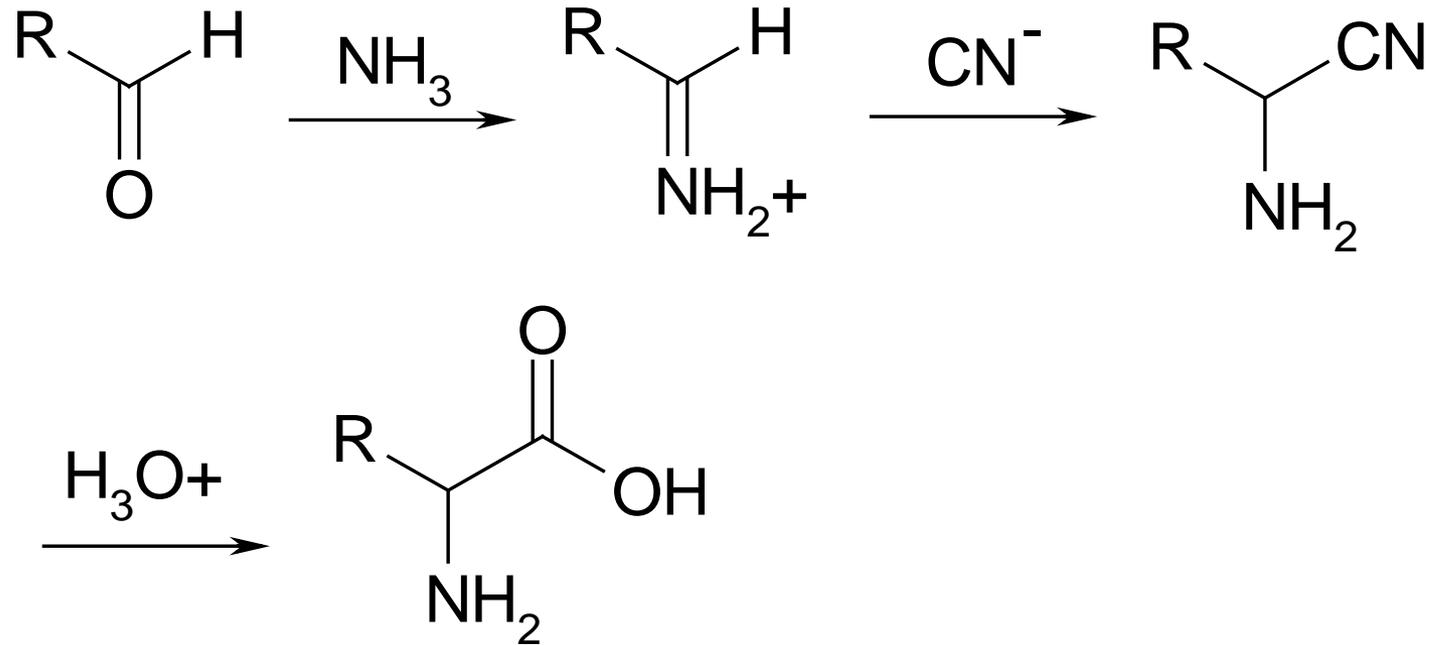


Stanley Miller  
(1930-2007)

メタン・アンモニアなどを含む原始大気に、雷に見立てた放電を行い、生成物が水に溶ける

一週間後、水溶液は茶色に変色、得られた有機物から各種のアミノ酸を検出した

# Strecker反応



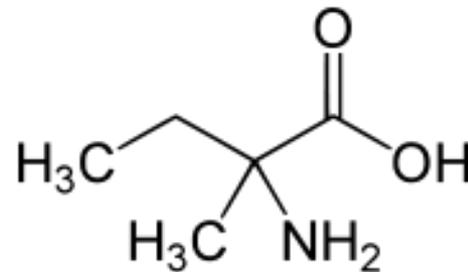
現在では、原始大気の組成はUrey-Millerの実験とは違っていただけと考えられているが、火山などでこうした過程が起こった可能性もあるさまざまな条件が試されている

# マーチソン隕石



1969年、オーストラリアに落下した隕石  
10種類ほどのアミノ酸を含んでいた

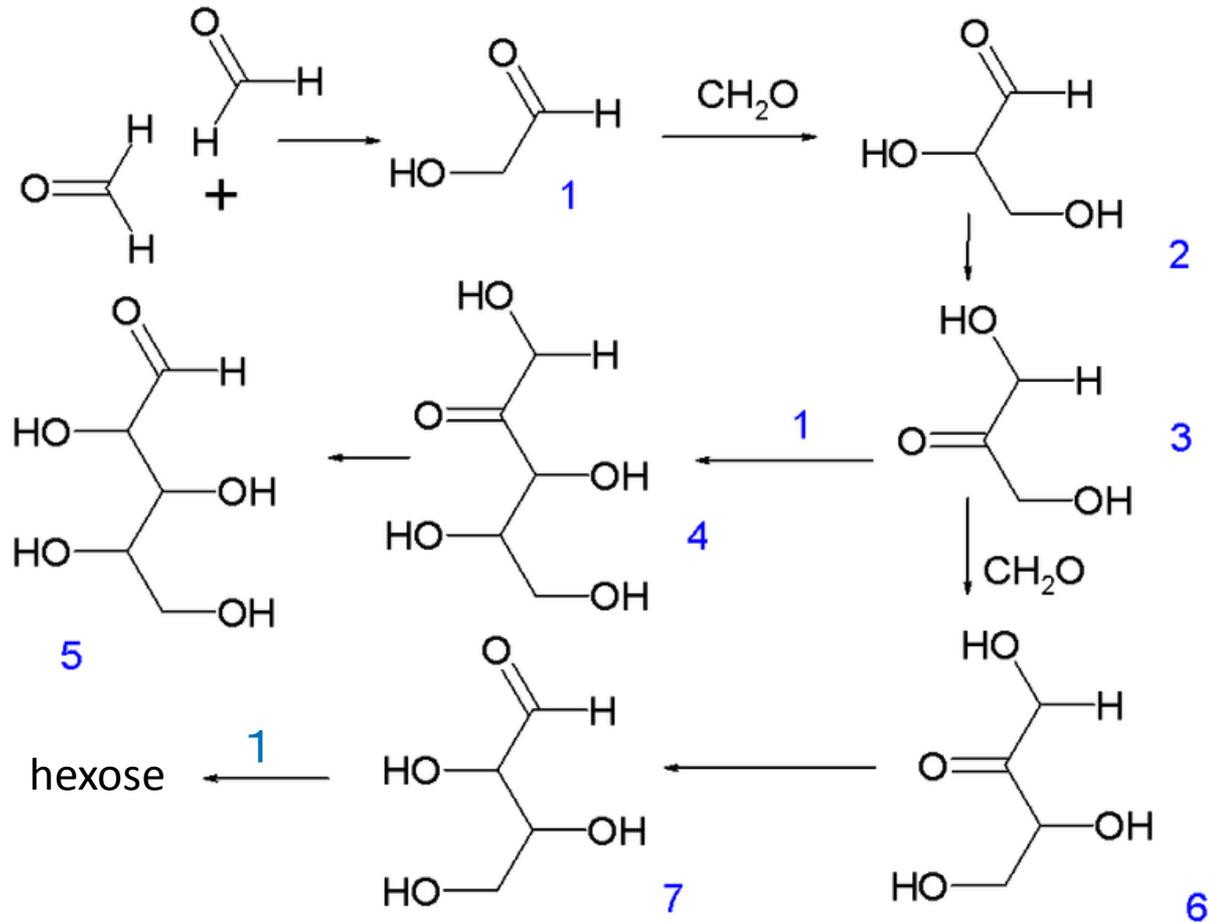
含まれていたアミノ酸・イソバリンは、  
光学異性体比が54:46であった



キラリティの起源は諸説あるが、  
いまだ科学の解けない大きな謎のひとつ

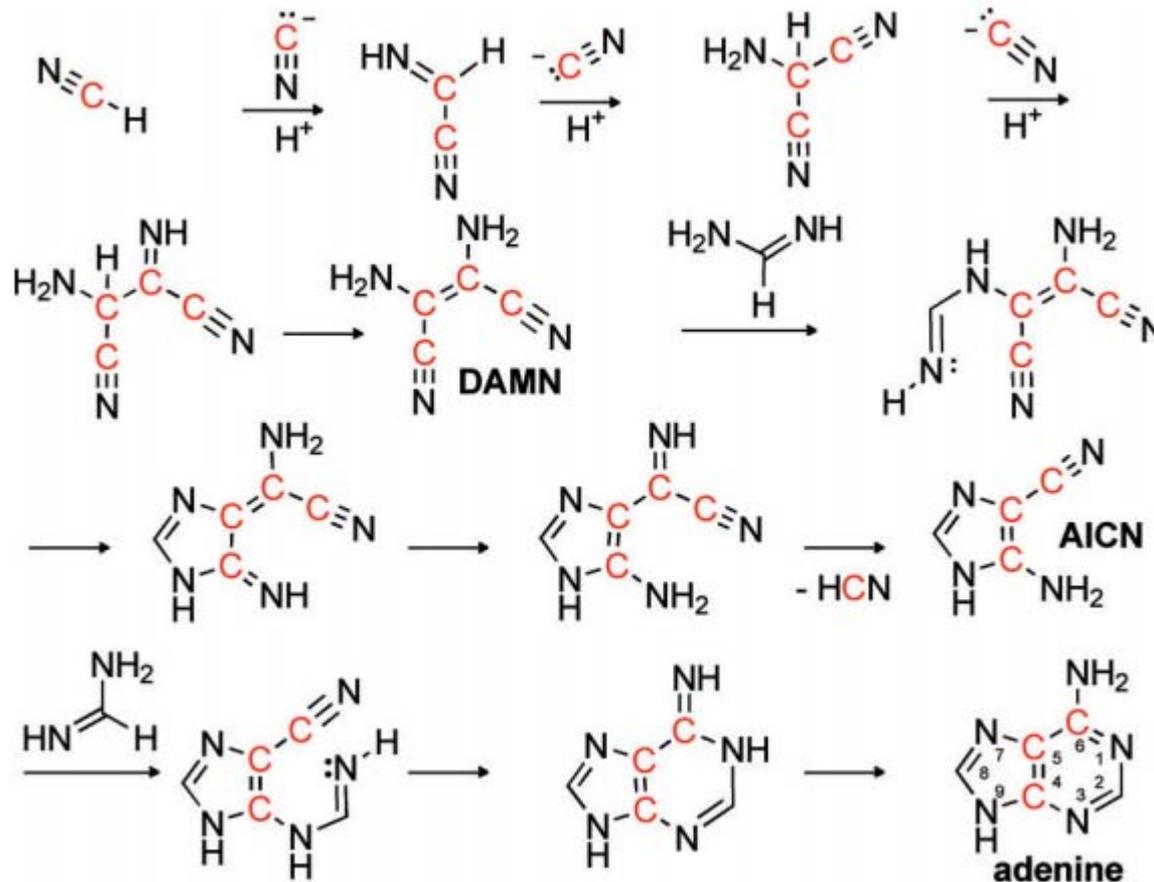
碓合教授の自己触媒不斉増幅の研究は、その鍵を握る？

# 糖の前生物的合成



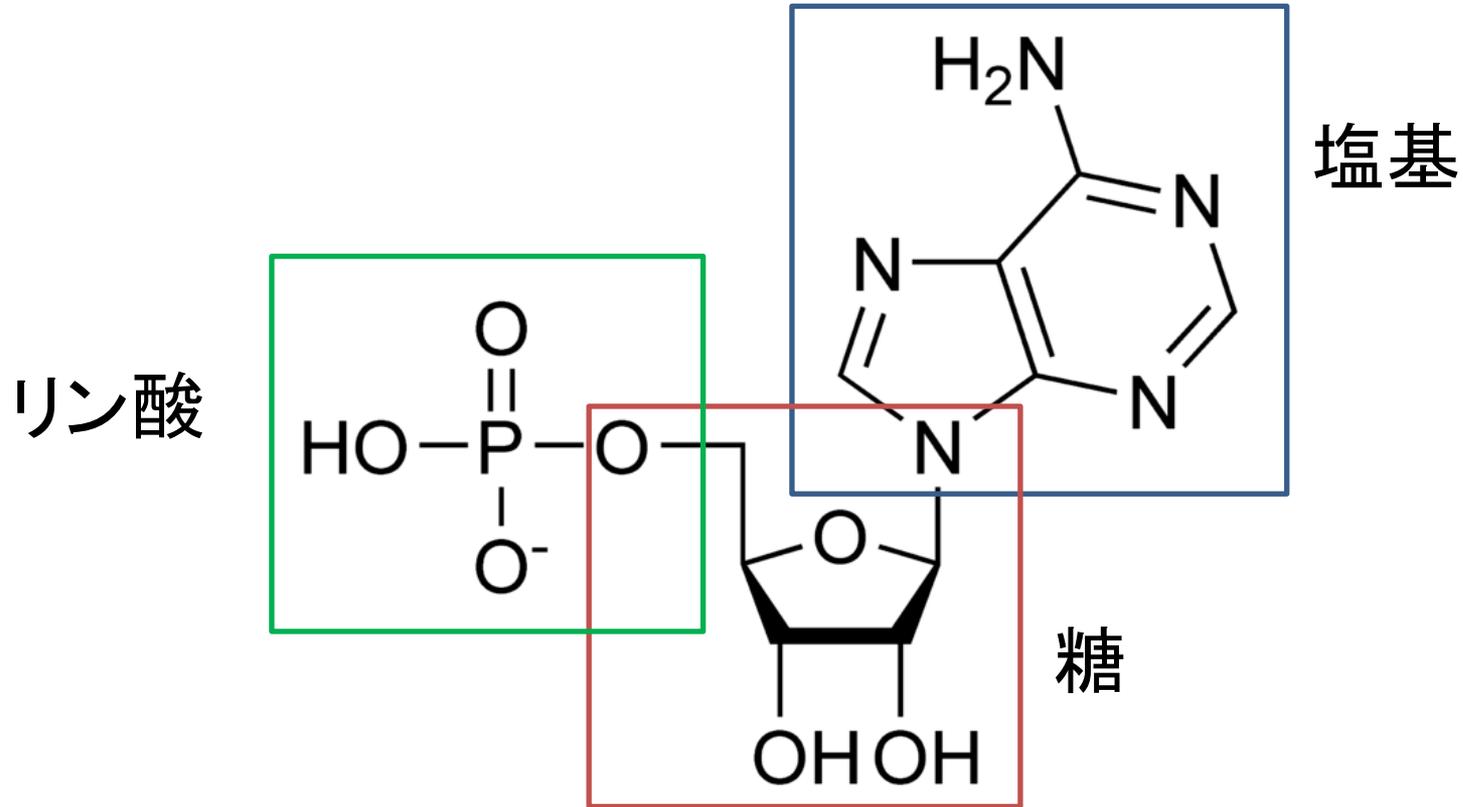
塩基性条件下でホルムアルデヒド同士が縮合し、糖を形成する  
ホウ素が存在すると、安定化されて糖の収率が上がる

# アデニンの前生物的合成



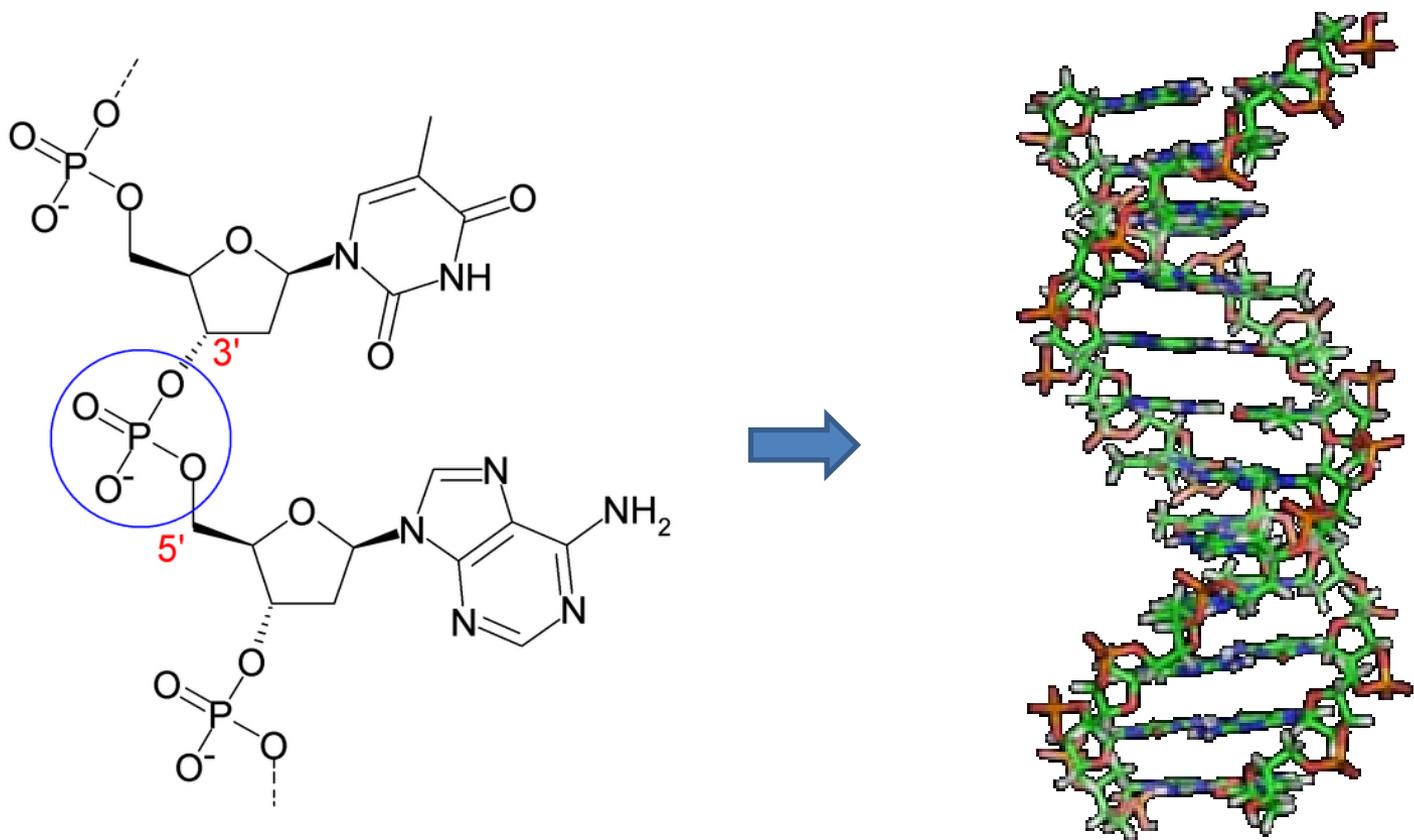
アンモニアとシアン化物イオンの水溶液を加熱するだけで、  
3割近い収率でアデニンが得られる(!)  
他の核酸塩基も、こうした反応で生成する

# ヌクレオチドは3つのパーツから成る



3つのパーツは、生物の力なしに出来上がることがわかった  
だがこの3つが、なぜこう都合よくくっついたのだろうか.....？

# DNAの構造



DNAのヌクレオシド同士は、リン酸を介してつながっている  
リン酸の電荷反発のため、これらは外を向いて二重らせんの形成を促す  
情報保存に向けた二重らせん構造を作るため、極めて合理的なしくみ

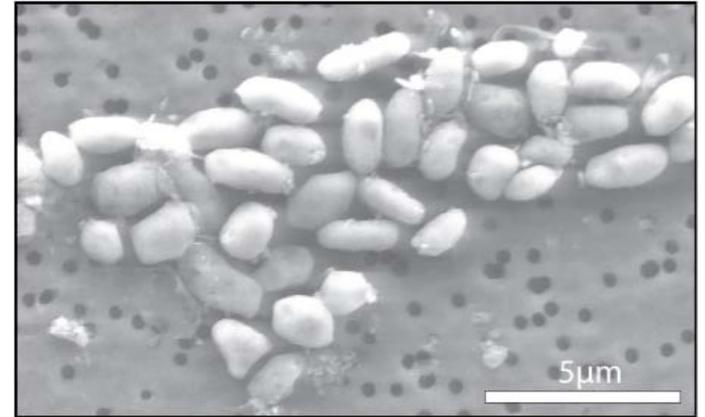
寄り道：

# ヒ素細菌の発見とその後

生命のシステムは、これしかない「必然」なのか？  
他の星、他の環境では、全く別のシステムが  
成立しているのだろうか？

# ヒ素細菌登場！

・2010年12月、NASAのチームが「宇宙生物学上の発見に関する発表を行う」と発表、宇宙人でも見つかったかと世界が色めき立つ

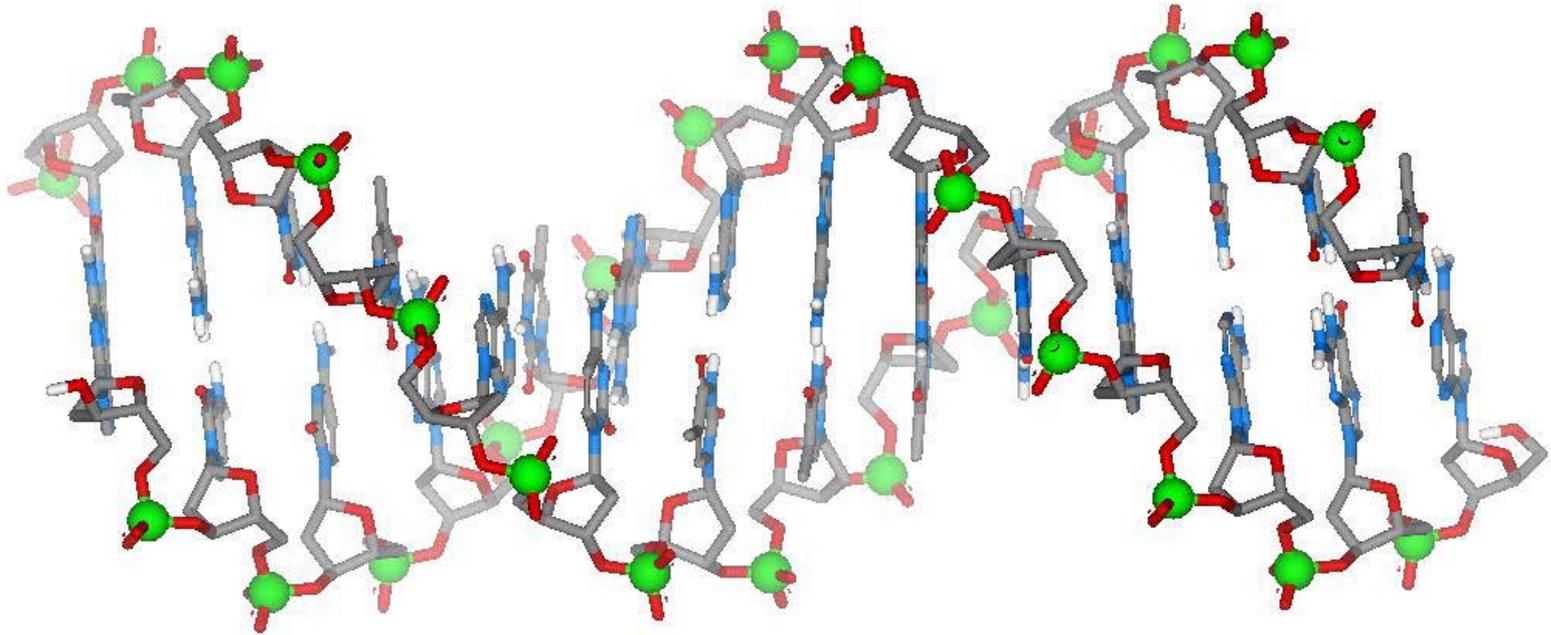


実際には、「DNAにヒ素を持った細菌を見つけた」という発表であった。当然、世界中から怒りの声が殺到

しかしこれはこれで、歴史をひっくり返すほどの大発見ではあった(本当であったのなら)。論文は学術誌の最高峰*Science*誌に掲載。

ヒ素細菌のDNAでは、リン酸の代わりにヒ酸が入り、二重らせんを形成するとされた。

生命は、基本的に炭素(C)、水素(H)、酸素(O)、窒素(N)、硫黄(S)、リン(P)の6元素で成るとされてきたから、ここにヒ素が入るとなれば、生物学史上の一大事件となる



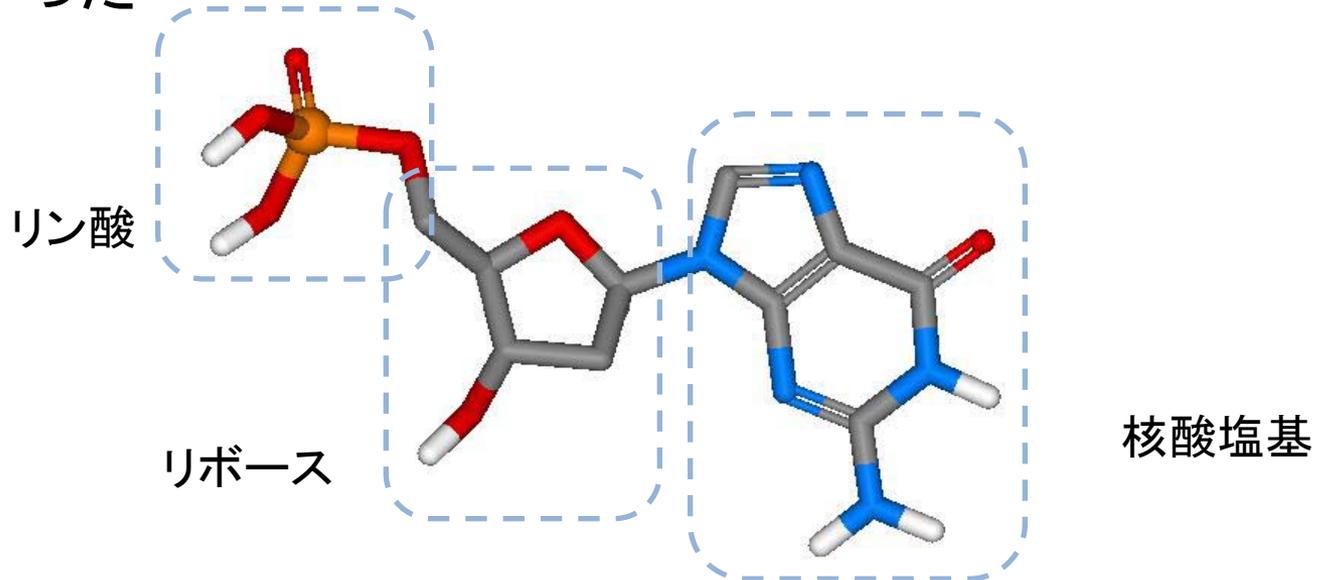
「宇宙生物」を考える上でも、この発見は大きな考え方の変更を迫る

# DNAは「聖域」

あらゆる生物は核酸塩基・リボース・リン酸の  
組み合わせでDNAを構成している

例外はひとつもない

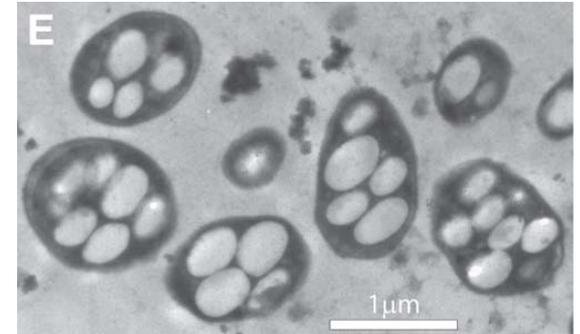
そこに、こともあろうに猛毒のヒ素を持ち込んできた  
生物がいたというのだから、科学者たちの驚きは  
大きかった



## しかし、各方面から批判が殺到

- ・DNAに、リンの代わりにヒ素を取り込んでいるという証拠が薄弱。単に体内に貯め込んでいるだけでは？
- ・DNAを純粹に取り出してヒ素を検出すればはっきりするのに、そうした実験が行われていない
- ・ヒ素の結合はリンよりずっと弱い。水中30分で分解。こんなもので遺伝情報を保存できるわけがない
- ・この細菌は、ふだんは普通の菌と同じようにリンでDNAを作っているが、リンが足りないとヒ素を利用し出すという。そんな器用なことができるのか？

2011年5月の*Science*誌に、多数の反論が掲載  
NASA側から新しい証拠の提出があるかと思いきや  
何もなし



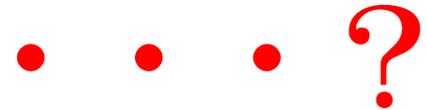
# お粗末な結末

Redfield

2012年7月、Science誌に「とどめ」の論文を掲載  
DNAをどう分析してもヒ素は入っていないという結論

これに対しNASAチーム:

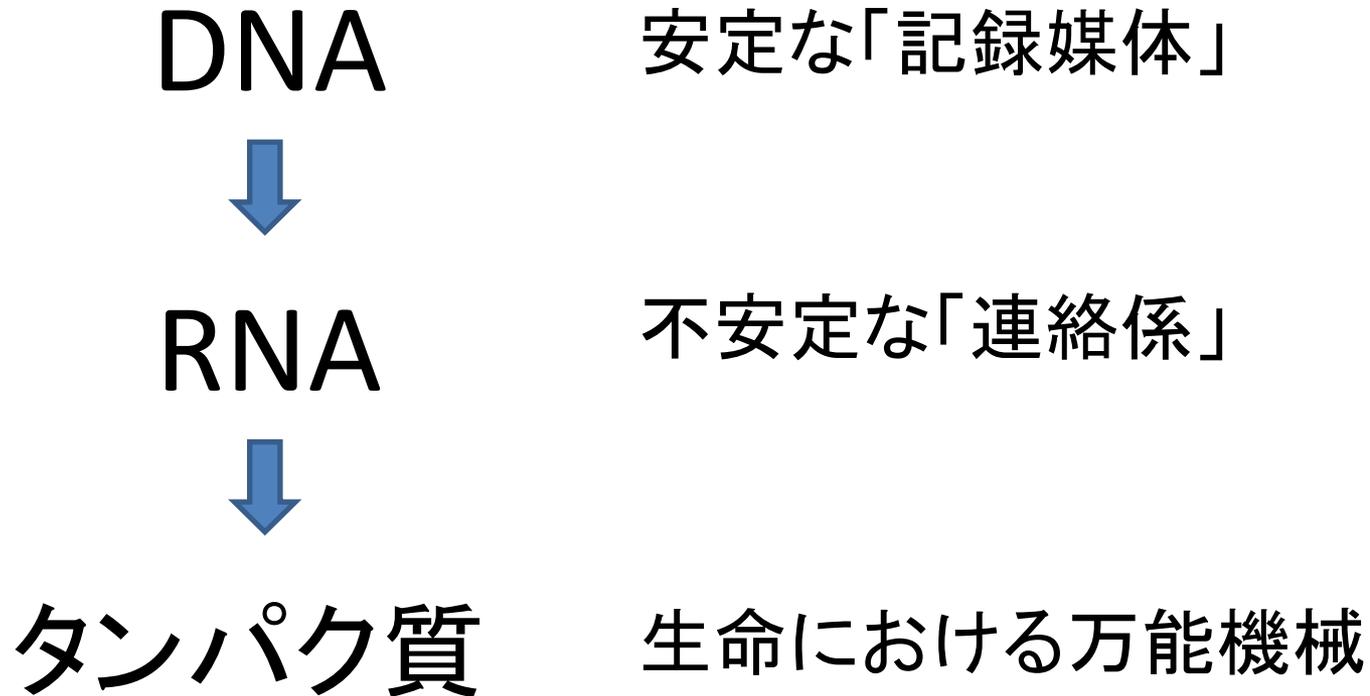
DNAにヒ素が見当たらないことを示しているにすぎず、  
この細菌がヒ素を活用していないということの証明には  
ならない



~~ヒ素細菌は幻であった~~

# DNAとRNA

# セントラルドグマ



DNAの情報はRNAに転写され、タンパク質へと翻訳される  
RNAは、重要なDNAとタンパク質の間をつなぐ、単なる「パシリ」と  
思われていた

## ニワトリとタマゴの矛盾

タンパク質が合成されるためには、  
DNAの**情報**が必要

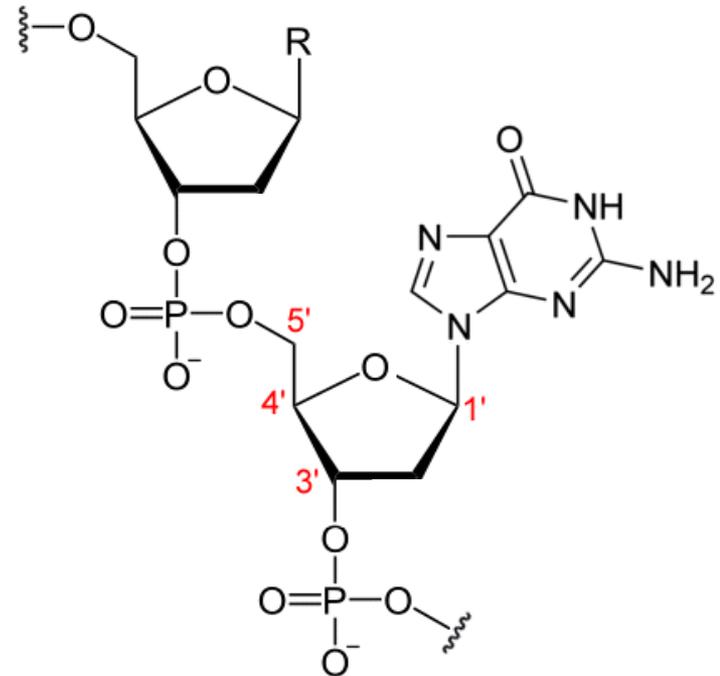
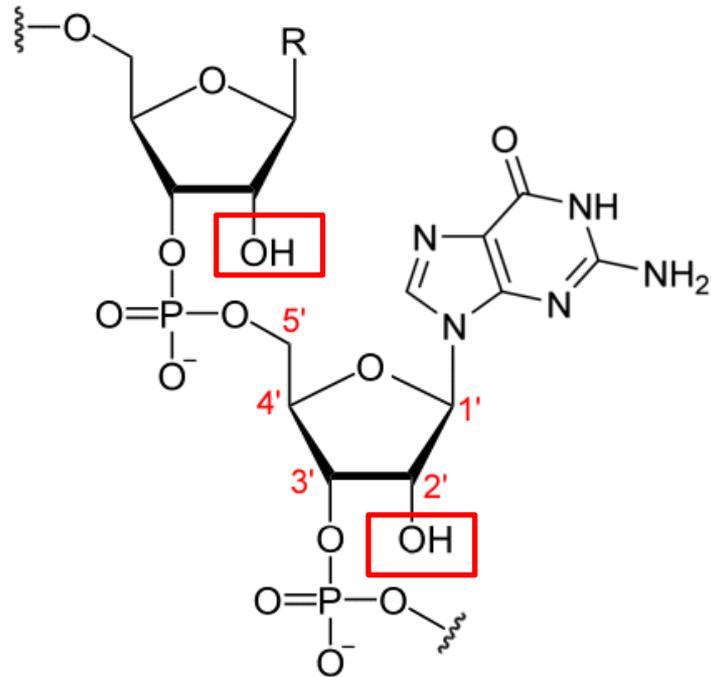


DNAが合成されるためには、  
タンパク質の**触媒能力**が必要

生命誕生の際、どっちが先にできたのか？

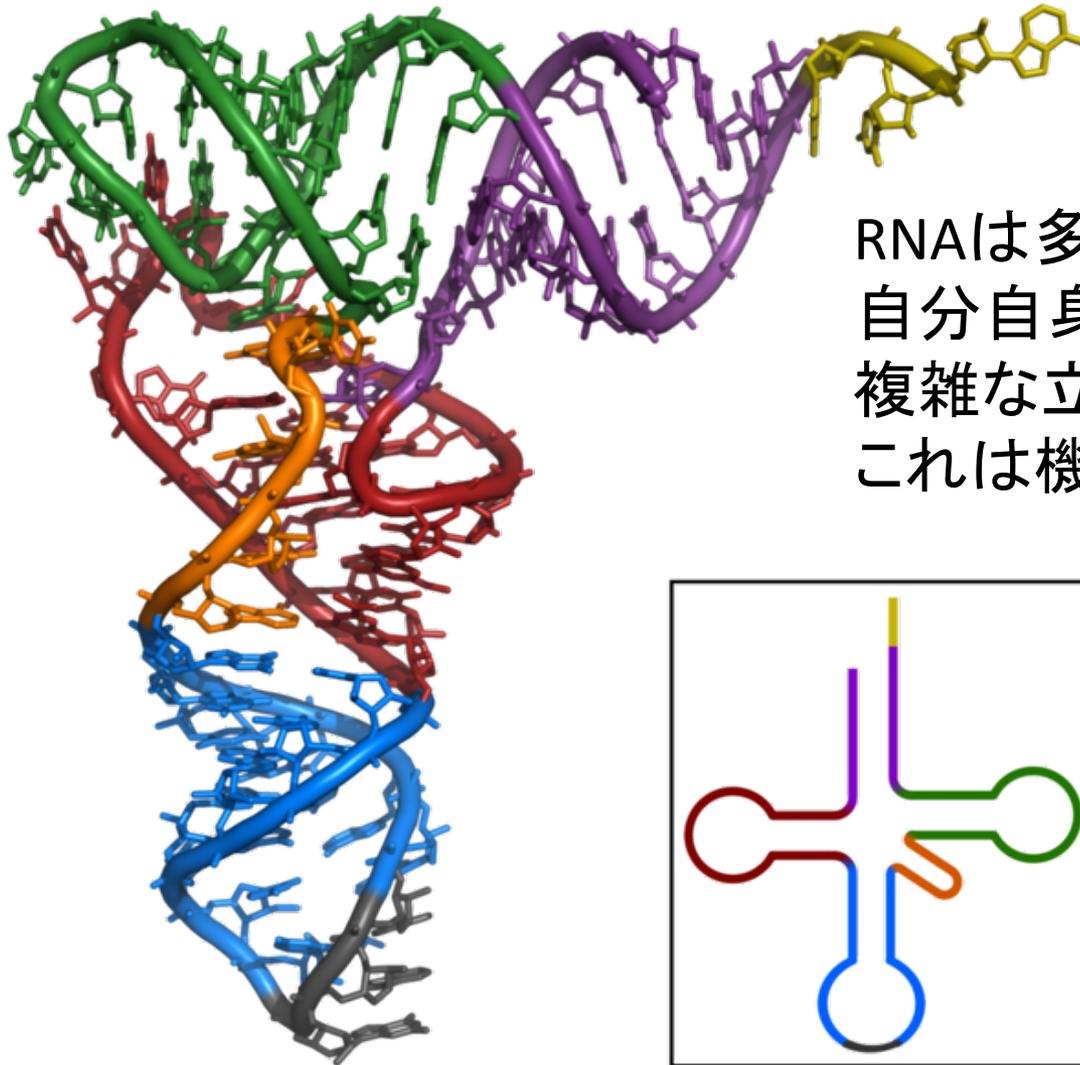
実は、RNAこそが最初の生命物質だったので

# DNAとRNAの差

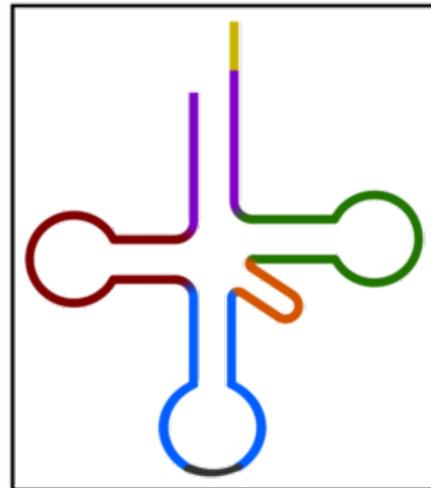


DNAとRNAの構造上の差は、基本的に2'位の水酸基ひとつ  
しかしこれがあるためにRNAはDNAよりずっと不安定  
.....逆にいえば、反応性に富む

# RNAの構造



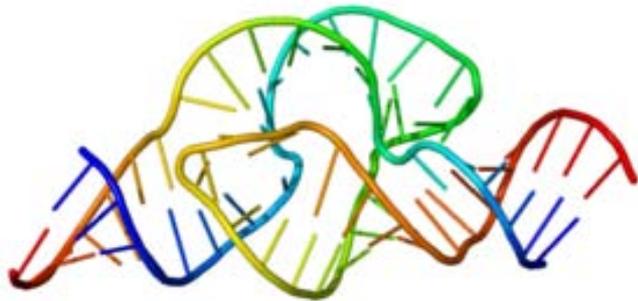
RNAは多くの場合、一本鎖で存在  
自分自身の塩基と水素結合し  
複雑な立体構造をとる  
これは機能発現につながる



# リボザイムの発見

1981年、CechとAltmanは、ある種のRNAが触媒機能を持つことを発見、RiboseとEnzymeから「リボザイム」と命名

つまりRNAは、情報保持機能と、触媒機能の両方を持ちうるということになる



生命の始まりは、RNAによっていたのでは？



T. Cech  
(1947～ )

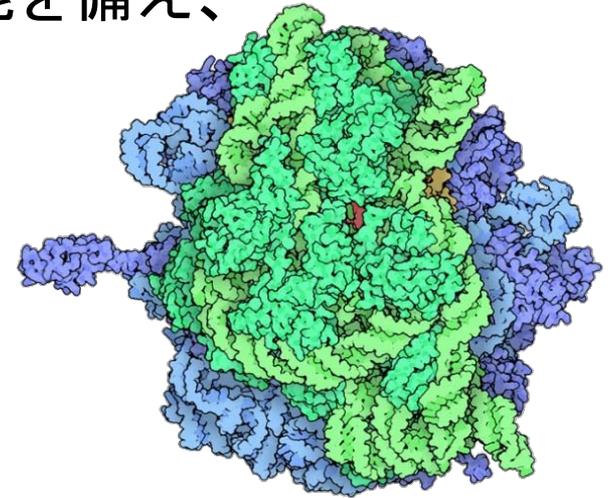


S. Altman  
(1939～ )

# RNAワールド仮説

初期の生命は、RNAを基礎としていたのではないか？  
やがてこれがタンパク質を作り出す機能を備え、  
共同して効率的な自己複製システムを  
生み出したのでは？

→ 今も、タンパク質を作る  
「リボソーム」は、RNAが主体



ただしRNAは不安定で、情報の長期保存には向かない  
どこかの段階で、リボースのOHを除き、安定化した  
DNAが記録媒体として「開発」されたのでは？

.....このあたり、まだまだ議論は尽きない

## 今回のまとめ

- ・生命の発生に必要な条件は、水と熱であると考えられる地球はうまく数々の要件を満たす惑星であった
- ・生命の基礎となりうる元素は、炭素以外にない
- ・火山ガスなどから、糖・タンパク質・核酸ができる過程がある程度明らかになっている
- ・最初の生命分子は、触媒能と情報保持能を持ったRNAという説が有力(RNAワールド)