

第4講 生命の誕生

http://ext-web.edu.sgu.ac.jp/koide/chikyuu/

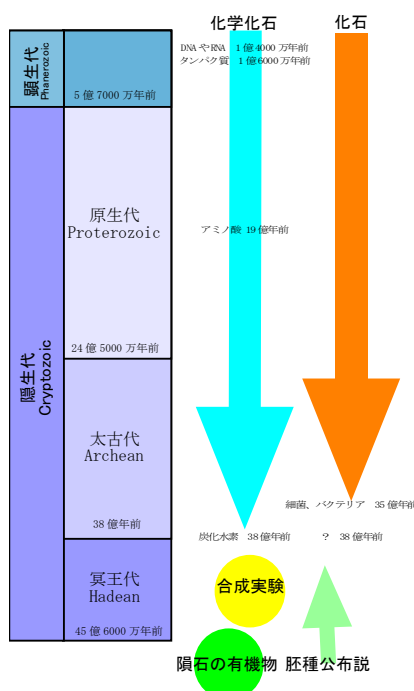
Email: chikyuu2019@ykoide.com

▼ 調べかた

- ・直接法
- ・間接法

▼ 最初の生命の探し 1: 化石

- 1 最古の化石
確実な証拠は、約35億年前のもの
- 2 証拠
 - ・化学成分
 - ・形態(細胞)の特徴
- 3 どんな生物か
 - ・ショッフ: シアノバクテリア
 - ・その後の研究者(日本人): 高熱性嫌気性古細菌



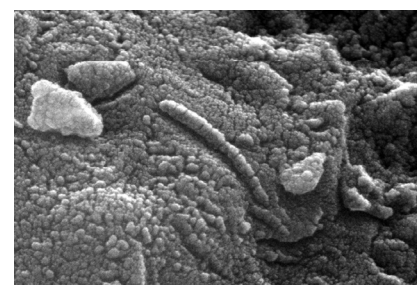
- ・合成のための原動力
- ・合成の場合
- 3 合成実験の結果
- 4 倫理が問題

▼ 現在の生物から推定: 比較生化学

- 1 古細菌の発見
細胞共生説
- 2 分子時計

▼ 材料物質からの推定: 隕石の有機物

- 1 生命の地球外起源説: パンスパーミア説
現在のパンスパーミア説
- 2 火星起源の隕石から生命化石
・衝撃的発表
1996年、マッケイら



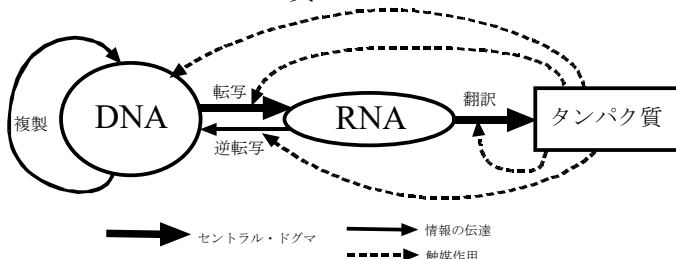
- ・隕石の経歴
- ・根拠
- ・問題点
- ・鉱物の性質
- 年代が古すぎる
ナノバクテリア
原岩
- 3 隕石からの有機物
- 4 宇宙空間の有機物

▼ 最初の生命の探し 2: 化学化石

- 1 アミノ酸
- 2 タンパク質
コラーゲン: 3万8500年前ナウマンゾウの牙、島根県日御碕沖海底
カルボキシル基: ジュラ紀後期(1億5000万年前)恐竜の骨から検出
酸性ペプチド: ジュラ紀中期(1億6500万年前)カキの化石から検出
- 3 DNAやRNA
700万年前のモクレンのDNA化石
コハクの昆虫: 白亜紀前期(1億4000万年前)
- 4 炭化水素
バイオマーカー(生物指標化合物)
- 5 最古の化学化石
1978年、フラッグ、イースト菌状の化石
→石英中の液体包有物と判明。
シドロウスキー、石墨の炭素同位体組成が生物起源
→無機的に合成できる
1996年、モーリスら、堆積物中の磷酸塩鉱物中の炭素同位体組成
→2002年、火成岩

▼ 生命誕生のストーリー

- 1 セントラル・ドグマ(中心教義)
遺伝情報の流れ
DNA→RNA→タンパク質



- 2 冥王代は、化学的進化の時代

▼ 生命をつくる: 合成実験

- 1 研究の歴史
 - ・オパーリン
 - ・ユーリー・ミラーの実験
- 2 合成の条件
 - ・素材

▼ レポートについて

第1回テーマ: あなたが考える地球史上の重大事件はなんですか
締め切り: 5月16日(木) 24:00(時間厳守)

第4講 生命の誕生

<http://ext-web.edu.sgu.ac.jp/koide/chikyuu/>

Email: chikyuu2019@ykoide.com

▼ 前口上：夢を実現するための方法3：目標を見定めること。

南淵君（司法試験合格者）の例。人文学部人間科学出身、卒業後4年目にして司法試験に合格した。車の免許や教員免許の例。最初のハードルの高さに、本来の目標をまどわれないこと。本当のゴールはどこか。ゴールの重要性は他人が決めるのではなく、自分が決めるものである。

▼ 調べかた

生命の誕生を、どのようにして調べるか。
2つの方法がある。

- ・直接法
- ・間接法
- ・直接法
過去の生物の一部（化石）をさがす：化石
生物がつくった構造や物質をさがす：化学化石
- ・間接法
実験室でつくる：合成実験
現在の生物から推定：比較生化学
材料物質からの推定：隕石の有機物

▼ 最初の生命の探し1：化石

最初の生命の化石は、最古の化石と同じ時期か、それより古い。

1 最古の化石

確実な証拠は、約35億年前のもの

1978年、ダンロップ（J.S.R. Dunlop）が、西オーストラリアのマーブルバーの西のダッファー層中から、直径数 μm の球状の化石を数百個発見。シアノバクテリア（藍藻類）と考えた。

その中には、2つや4つに細胞分裂しているものも発見。同じ地域から、1987年にショップとパッカー（J. W. Schopf & B. M. Packer）が、タワー層とアペックス玄武岩層中のチャートから球状のコロニーと繊維状のシアノバクテリアの化石を発見した。

2 証拠

- ・化学成分
- ・形態（細胞）の特徴

などから、生物の化石であるというのは、多くの研究者が認めている。

3 どんな生物か

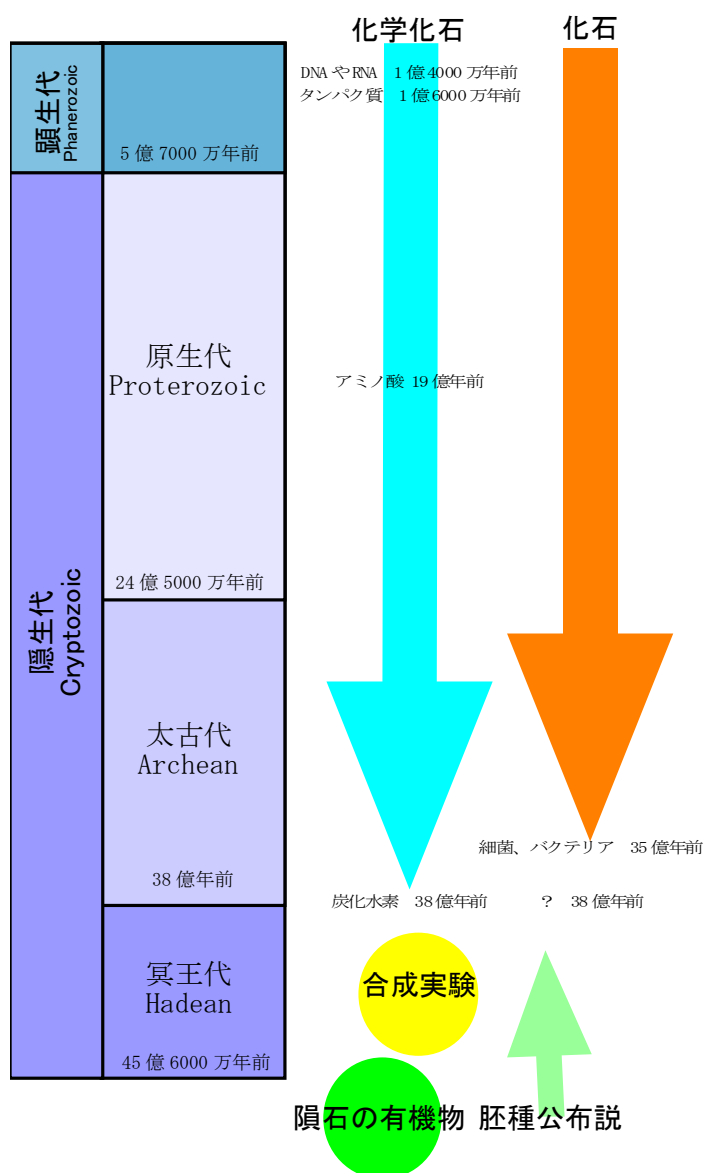
どんな生物であるかは、論争中である。

- ・ショップ：シアノバクテリア

形や性質から推定。光合成をする生物。ストロマトライト状の構造がみえる。

- ・その後の研究者（日本人）：高熱性嫌気性古細菌

地質調査で、地層ができた環境を推定しいった。中央海嶺（光の届かない）の熱水噴出口。そんなところに生きているのは、高熱性嫌気性古細菌の仲間だけ。



▼ 最初の生命の探し 2：化学化石

1968年、エグリントンとカルビン (G. Eglinton and M. Calvin) は、「過去の堆積物中に残されている有機物」を化学化石と定義した。

そのような有機物には

- ・アミノ酸
 - ・タンパク質
 - ・DNA や RNA
 - ・炭化水素
- などがある。

1 アミノ酸

1954年、アメリカのアーベルソン (P.H. Abelson) によって、デボン紀のオハイオ頁岩の板皮類の化石から、7種類のアミノ酸 (グリシン、アラニン、ズルタミン酸、ロイシン、プロリン、アスパラギン酸、バリン) が検出された。

この研究によって、化石中に有機物が残っていることがわかった。1960年代に古い時代の岩石で、有機物探しがはじまった。

南アフリカ、トランスパールのフィグツリー層群から、31億年前のアミノ酸が検出された。

ところが、1969年に、アーベルソンとヘアー (P.H. Abelson & P.E. Hare) は、カナダのスペリオル湖北岸のガンフリント層のチャートのアミノ酸が、すべて現生生物の汚染であることを指摘した。

生命の起源の化石探しは、挫折した。

しかし、チャートに中のアミノ酸は、安定に保存され、実験によれば、19億年前のチャートには、アミノ酸が保存されている可能性があるとされている。

しかし、もっと古くまである有機物でないと、生命起源には、せまれない。

2 タンパク質

ヒトの体には、500万種のタンパク質あるといわれている。そのうち最も多いのは、コラーゲンとよばれる線維のタンパク質である。コラーゲンは全タンパク質の3分の1を占めている。コラーゲンは、象牙質、骨、軟骨、腱、皮膚の真皮、内蔵の膜などを構成している。コラーゲンは、安定した物質である。

古いコラーゲンとしては、現在、島根県日御碕沖の海底から見つかったナウマンゾウの牙 (3万8500年前) から、コラーゲンが検出されている。

その他のタンパク質

カルボキシル基：ジュラ紀後期 (1億5000万年前) の恐竜の骨から検出

酸性ペプチド：ジュラ紀中期 (1億6500万年前) のカキの化石から検出

3 DNA や RNA

DNAは、今まで、400万年以上は保存されないとされていた。しかし、特別な条件 (フェノールやタンニンの存在下、コハク中) では、DNAは安定に存在できる。

フェノールやタンニンの存在下

1700万年前のモクレンのDNA化石が発見されている

コハクの昆虫の利用

現在、一番古いDNAは、レバノン産の白亜紀前期 (1億4000万年前) のゾウムシの仲間の昆虫からリボソームRNAが検出された。

4 炭化水素

バイオマーカー (生物指標化合物)

化学的に安定な炭化水素 (炭素と水素の化合物) を、生物の指標として考えている。炭化水素の炭素同位体は、生命起源の研究には、非常に有効である。この炭化水素は、生命起源の化石として利用できる

5 最古の化学化石

最古の生命活動の痕跡、あるいは化石探しが、38億年前 グリーランドのイスアというところにある堆積岩：地球最古の堆積岩で続いている。

1978年、ドイツのフラッグ (H.D. Pflug) は、イースト菌状の丸いものを化石とした。

→その後、それは、石英中の液体包有物と判明。

ドイツのシドロウスキー (M. Schidlowski) は、石墨の炭素同位体組成が、生物起源の炭素であるとした。
→そのような炭素同位体は無機的 (生物によらず) に合成できることを証明された。

1996年、モージスら (S. J. Mojzsis et al.) が、堆積物中の、磷酸塩鉱物 (アパタイト) 中の炭素同位体組成が、生命活動の痕跡であると、指摘した。

→しかし、2002年、その岩石が火成岩で、堆積岩でないことがわかり、否定された。

▼ 生命をつくる：合成実験

実験室で、生命誕生の条件を再現していく。初期地球の各種の条件をアレンジして、生命活動をするものを作るかどうかを、再現して、実験してみる方法である。

1 研究の歴史

・オパーリン

1922年、ソ連 (当時) のオパーリン (A. I. Oparin) が講演で発表。1924年「生命の起源」で展開。

第1段階：生体の基本となる窒素誘導体 (アミノ酸、核酸など) が、メタンがアンモニアと反応して合成

第2段階：アミノ酸が集まり、タンパク質を合成

第3段階：タンパク質を中心とする集合体が、外界と物質代謝をする

・ユーリー・ミラーの実験

オパーリンの第1段階を実験した。1953年、シカゴ大学の大学院生のミラー (S. L. Miller) とユーリー (H. C. Urey) が実験した。

素材

原始大気：メタン、アンモニア、水素の混合ガス

原始海洋：水

条件

雷：混合ガスで火花放電

水を沸騰

実験結果

1週間で、シアンやアルデヒド、各種のアミノ酸が合成

2 合成の条件

・素材

大気、海洋、地殻にあるもの

大気は、かつては還元的 (メタン、アンモニア、水素) であったが、現在では酸化的 (二酸化炭素、窒素、水蒸気) と考えられている。

・合成のための原動力

当時の地球表面にあったと考えられるものであれば、何でも良い。

激しい火山活動、激しい雷、激しい干満の差など

・合成の場

深海熱水噴出口、雷、火山、干潟

3 合成実験の結果

どんな条件を用いても、生命の材料の合成実験は成功している。

条件さえ、整えば、生命の入れ物 (細胞膜) の合成実験も成功どちらも、いいところまでいっている。

4 倫理が問題

実験室で、完全な生命体はつくられていない。

しかし、生命を試験化の中で合成できる可能性があるときには、生命に関する倫理の整備や、検疫、隔離などの安全対策を考えておくべきであろう。

▼ 現在の生物から推定：比較生化学

1 古細菌の発見

生命として非常にシンプルな生活様式をもつ。古細菌の名前は原始地球に最初に登場した細菌の直系の子孫

とされたことに由来

最近、その存在が発見された。メタン細菌、高度好塩菌、好熱菌など、異常環境下にしか生育できないほど特異的な生化学的特徴をもつ細菌のこと。全生物は、古細菌、真正細菌、および真核生物の3つに大きく分類
最近の研究では古細菌は真核細胞と類縁性があることがわかってきた。

細胞共生説

古細菌に、真正細菌が共生してミトコンドリアや葉緑体になり、現在の真核生物になったという説。ほぼ定説化してきた

2 分子時計

現在の真核生物がすべてもっている、5S リボゾーム RNA (5S rRNA) の核酸塩基配列の解析で、配列の変化のスピードが推定でき、そこから、ある生物がいつごろの時代から進化したかが計算できる。すると 20 億年前という値が出てきた。

▼ 材料物質からの推定：隕石の有機物

1 生命の地球外起源説：パンスパーミア説

パンスパーミア説 (panspermia) とは、胚種広布説とも呼ばれるものである。パンスパーミア説は、古くは Arrhenius が 1908 年に提唱した。

最近では、現在版パンスパーミア説を提唱されている。パンスパーミア説は、生命は地球外から飛来したというものだが、現在ではその内容は多様化し、生命の地球外起源説の総称としてパンスパーミア説が使われている。

パンスパーミア説の起こりは、Pasteur の長フラスコによる生命の自然発生説の否定によって、地球外に生命の由来を求めるようになったものである。

現在のパンスパーミア説

Crick & Orgel (1973) では、他の文明生物が、地球に生命を打ち込んできたと考えた。Hoyle & Wickramasinghe (1973) では彗星で発生した生命が、地球に降ってきたという説。生命は今も地球に降り、病原微生物にも地球外生物が含まれているという。

多くの説は、根拠が不十分であったり、実証されてなかったり、信頼性が低い。

パンスパーミア説は、いまのところ論理的に完全に否定されたわけではない。太陽系は、宇宙ではごくありふれた化学成分から構成されており、元素組成に特異性は見られないことから、地球外生命も似たような元素組成でできているかもしれない。

地球外知的生命が、タネが育ちやすい、化学組成の同じ天体として地球を選び、送り込まれたとしても区別できない。

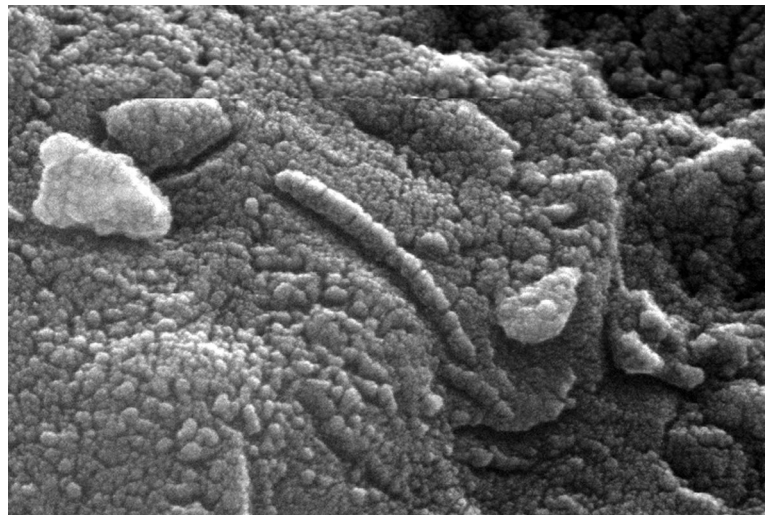
2 火星起源の隕石から生命化石

・衝撃的発表

1996 年、マッケイら (McKay et al.) が発表。

生命の痕跡が発見されたのは、ALH84001 という、火星起源の隕石。ALH84001 は、地球の斜方輝石岩に類似する火成岩。火成岩からは化石がでないはず。

ALH84001 には割れ目があり、炭酸塩鉱物の小球体 (globule) が特徴的に存在する。そこに化石のようなものがある。



<http://cass.jsc.nasa.gov/lpi/meteorites/s9612609.gif>

・隕石の経歴

ALH84001 は、45.6 億年前と 45.0 億年前の火成年代と 40 億年前の衝突年代が得られている。炭酸塩鉱物の年代は 36 億年前と 13.9 億年前の 2 つの年代が発表されている。

このような年代から、ALH84001 の履歴は以下のように考えられる。

45.6 億年前に形成 (固結、結晶化) され、40 億年前に亀裂ができ、36 億年前にその亀裂に炭酸塩鉱物が形成された。1500 万年前に小天体の衝突によってはじき飛ばされ、宇宙空間を漂い続けた。多数の破片のうち、発見されたときに約 1.9 kg となる破片が、地球軌道に入り、1 万 3000 年前に南極に落下し、1984 年に発見された。1993 年に火星起源隕石とされ、1996 年に生命化石の痕跡が発見されたと報告された。

・根拠

McKay et al. (1996)の論文では、以下の4点が、生命化石の根拠とされている。
炭酸塩鉱物は無機的に形成されにくい化学組成である
炭酸塩鉱物には数種類のPAHが存在する
炭酸塩鉱物の微粒子の周りに化学的に共存できない鉱物の共存する
炭酸塩鉱物の表面に特異な形態の微粒子が存在する

・問題点

本当にPAHsか(下山, 1997) PAHsの無機起源(Anders, 1996; Bell, 1996; 池田, 1997)の可能性や汚染によるPHA s(秋山, 1997; 下山, 1997; Bell, 1996; 赤井, 1996, 1997a, 1997b)が指摘されている。

・鉱物の性質

化学的に共存できない鉱物とされているが、無機的に共存可能である(Anders, 1996)。炭酸塩粒子に見られる各種の現象は、生物源か無機起源かは判断できない(Mikouchi et al., 1997)。REEパターンから炭酸塩が無機的にできた(Gleason et al., 1997)。炭酸塩鉱物は、含水鉱物を作らずに、炭酸塩物質のみを析出する条件は、生命生存には不適である(池田, 1997)。黄鉄鉱のイオウ同位体分析から、無機形成の可能性はある(Sheater & Papike, 1996)。

各種の非生物起源の形態との比較検討が不十分。形態の類似で、生体の証拠とはならない(Anders, 1996)、炭酸塩小球体のサイズは生物としては小さすぎる(池田, 1997; 秋山, 1997)、バクテリアと鉱物のサイズ分布が異なる(小島, 1997)、ことが指摘されている。

年代が古すぎる

地球最古の還元的硫黄細菌の出現は27億年前。走磁性バクテリアは20億年前に出現し、38億年前の火星では出現できなかった可能性がある(Sheater & Papike, 1996; 赤井, 1996, 1997a, 1997b)。

ナノバクテリア

地球のナノバクテリアが化石や現世種として発見の報告があるが、まだ生命であると立証されていない(秋山, 1997)。地球での磁鉄鉱のバイオミネラリゼーションは主要なタイプでない。磁鉄鉱を利用しているのは走磁性バクテリアで、磁気のない火星で有効でない(赤井, 1996, 1997a, 1997b)。火星生命を地球型生命と比べることへの疑問がある。

原岩

地球の微化石はチャートから産するのに対し、火星隕石では石灰岩である(秋山, 1997)。水があるなら風化過程があり、粘土鉱物が産出するはずがない。

3 隕石からの有機物

隕石の精密分析から、有機物が検出されている。発表当初地球の有機物の汚染が指摘された。

汚染のない南極隕石の分析や1969年にオーストラリアに落下した汚染のないMurchison隕石の分析など各種の検証によって、隕石に有機物が含まれていることが確実になった。

有機物は、炭素質コンドライトからたくさん発見された。隕石には、地球生命の生体物質あるいはその前駆体、材料物質となるものが多数発見されている。

隕石から発見される有機物は、アミノ酸も糖もD-体とL-体が1:1に混合しているラセミ体である。

表 有機物の一覧

地球
核酸塩基：アデニン、クアニン、シトシン、チミン、ウラシル
アミノ酸：20種
糖質：30種
脂肪酸：8種
隕石
核酸塩基：アデニン、クアニン、ピポキサンチン、ウラニル、チミン
核酸塩基誘導体：4種
核酸塩基様化合物：3種
アミノ酸：26種

カルボン酸：46種 芳香族炭化水素：18種
宇宙空間 簡単な水酸化物、酸化物、ハロゲン化合物など：20種 ニトリル、アセチレン誘導体など：27種 アルデヒド、アルコール、エーテル、ケトン、アミドなど：21種 環状分子：4種 分子イオン：13種 ラジカル：30種

地球生命の生体物質は代表的なものだけを示した。隕石中の有機物は、各種の炭素質コンドライトで発見されたもの示した。宇宙空間の有機物は1997年6月までに観測されたものを示した。データは国立天文台（1997）、下山（1987）による。

4 宇宙空間の有機物

宇宙空間の主成分はH₂とHeである。しかし、その他の成分も量は少ないながら含まれている。O、C、Nなど有機物合成に不可欠な成分もある。宇宙線によって分子合成がおこなわれている。

多くは低分子量の成分であるが、生命の材料として重要な成分もたくさん発見されてきた。このような成分から直接生命が合成されることはないであろう。

しかし、このような分子の存在は、宇宙空間のような真空中に近い低密度、極低温、低エネルギー状態であっても分子合成が可能であることを示している。生命の材料物質は、特別な元素や特別な物理化学的条件を必要とするものではない。ごくありふれた存在であることを示している。宇宙は生命の材料合成の場として不適ではない。まして、天体上の恵まれた環境では、生命の合成はより有効におこなわれるであろう。

▼ 生命誕生のストーリー

1 セントラル・ドグマ（中心教義）

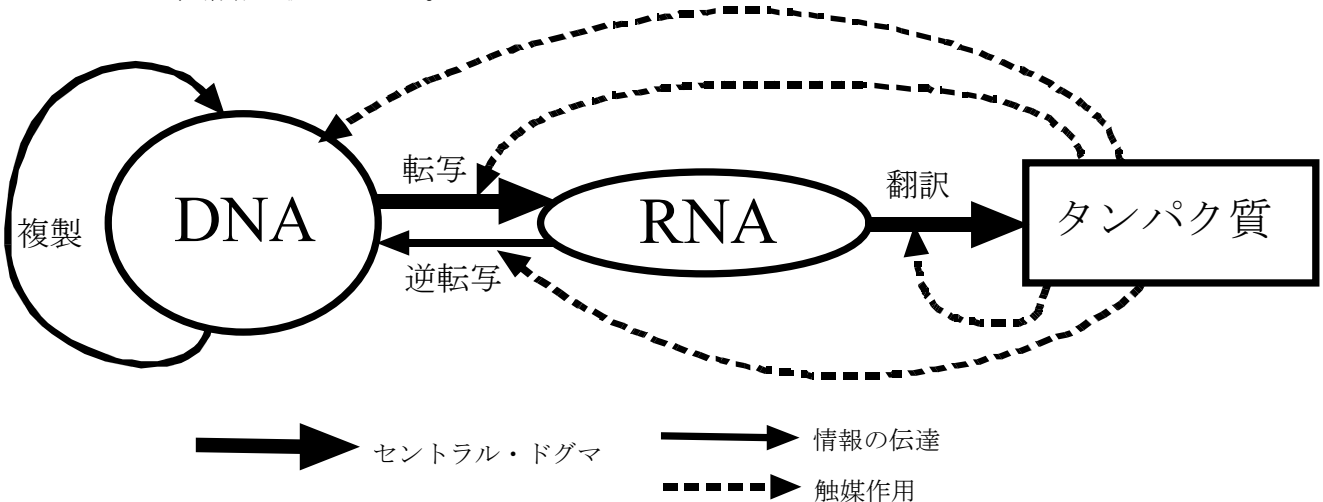
生命に共通する仕組み

遺伝情報の流れ

DNA→RNA→タンパク質

しかし、このドグマは、いまや、潰れた。

さまざまな、情報の流れがある。



2 冥王代は、化学的進化の時代

原料の分子の合成

↓

低分子有機物の合成

↓

高分子の合成

↓

膜の合成

簡単な合成過程で丸い液滴ができる（コアセルベート）



RAN やたんぱく質の合成

RAN（RNA ワールド）か、たんぱく質（プロテインワールド）が先か



生命誕生



化石として残る生命の誕生

▼ レポートについて

自分の考えを書くようにしてください。レポートは可能な限り e-mail で提出して下さい。紙によるレポートも受けつけます。充実した内容のレポートを出したものには、多くの加点をします。レポートは**時間厳守**です。少しでも遅れたら加点対象にしません。

第1回テーマ：あなたが考える地球史上の重大事件はなんですか

締め切り：5月16日（木）24：00（時間厳守）