

## 社会教養としての知識 1 — 生命誕生の研究状況 —

### Knowledge of Liberal Arts Education - The State of Research on the Origin of Life -

松本 治彦\*

Haruhiko Matsumoto

**要旨**：自然科学の分野で社会教養として知っておくべき知識について、調査する研究を開始した。その第1弾として「生命誕生の研究状況」について調べた。その結果、「新聞に記載されている内容」の範囲で、次のような研究成果は知っておくべきであることが分かった。生命の痕跡（化石）に関する研究は暗礁に乗り上げていること、「地下生命圏」の存在とその規模が巨大である可能性が出てきたこと、遺伝子から攻める分野ではRNAの役割が見直されていること、ミドルワールドの世界からアプローチが進んでいることなどである。

**Key Words**：社会教養としての知識、自然科学、生命誕生の研究、生命の痕跡、地下生命圏、ミドルワールドの世界、RNA

#### 1. はじめに

最近、新聞を見ると「ヒッグス粒子の発見を発表？」「暗黒物質が見つかるか？」「生命起源は地球外？」「本当に地球は温暖化になるの？」「太陽活動が100年ぶりに低下？」「人類最古のDNA解読」「炭素革命から水素革命へ」そして「第3の万能細胞作製」などの記事が載っています。これらの内容をどのように理解すればいいのかわかり、難しい世の中になりました。理系の人間だからこれくらいのことには理解しているのでしょうか、文系の人間だから知らなくて当然ですと言いたくなるかもしれません。

しかし、現実には、これらの情報を的確に判断することが理系、文系に限らず必要になってきています。

そこで、現在の社会教養として必要なこれら自然科学の知識について「新聞記事に掲載されている内容」を目安に、まとめてみることにしました。今回の研究では、その第1弾として「生命誕生の研究

状況」について、チャレンジしてみました。

#### 2. 概要

生命誕生の研究は未だに、なぜ地球に生命が発生したのか、という根本的な疑問さえ解決していません。19世紀半ばまで多くの人は生命が自然に発生すると信じていました。この自然発生説を実験で明確に否定したのがルイ・パスツールです。彼は19世紀の中頃に「白鳥の頸のフラスコ」を用いた実験を行い「生物が自然発生しない」ことを実験的に証明しました。

自然に発生しないのなら、最初の最も簡単な生命はどのようにして誕生したのだろうか？ここから生命起源が自然科学上の重要な問題として考えられるようになりました。

生命の起源研究が本格化したのは、20世紀後半からです。1953年のワトソンとクリックのDNA二重らせん構造の解明に始まる生命科学、および惑星

\* 宇部フロンティア大学人間社会学部福祉心理学科教授

探査で急速な進展を遂げた地球惑星科学が生命誕生の研究にとって重要な分野となりました。

2001年2月12日の全ゲノム解読後には、遺伝子からのアプローチが本格化、最近では海底探査をする調査船や地底を掘り進むことのできる機械などの登場で「地下生命圏」からのアプローチも盛んになりました。さらに、ミドルワールドの世界、すなわちブラウン運動を起源とする生命誕生へのアプローチも進んでいます。

以下に、「海・陸誕生期からのアプローチ」、「生命の痕跡」「地下生命圏」「パンスペルミア説」「地球上で有機分子を作る地球説」「アミノ酸から生命までの過程?」遺伝子から攻める」「細胞の研究」「ミドルワールドの世界」「ELSIの考え」に分けて、生命誕生の研究を整理しました。

### 3. 海・陸誕生期からのアプローチ

海がなければ現在のような生命であふれた惑星でないことは、生命の主要な構成元素が海水の元素組成に近いことから明らかです。人体の主要元素はH、O、C、N、Na、Ca、P、Sです。これに対して海水の主要元素はH、O、Na、Cl、Mg、S、K、Caです。

海の形成、陸の形成時期については現在、次のように考えられています。

大気や海洋には、地球内部や大陸地殻などの固体地球から様々な物質が供給され、長い時間をかけてそれらが蓄積した結果、現在の姿になりました。火成岩、海水、堆積物から物質収支を計算すると、収支が合わない元素は水、炭素、塩素、硫黄、窒素などで、大気・海洋の主要成分であることがわかりました。

これらの元素は「揮発性成分」と呼ばれ、過剰分は地球内部から「脱ガス」してきたと考えています。脱ガスの大部分は、地球形成期に発生。すなわち、地球誕生時には大気も海洋もすでに形成されていたこととなります。

したがって、海は約46億年前の地球誕生時から存在し、最初から塩辛かったのはほぼ間違いない。また、アルゴン40とアルゴン36の比からも、大気や海洋の形成は地球の形成とほぼ同時期だった可能性を強く示しています。

最古の岩石は約40億3100万年前のアカスタ片麻岩です。これは変成岩で大陸地殻を構成する花崗岩が高い圧力で変化したものと考えられるので、約40億年前には大陸地殻が存在していた可能性を

示しています。しかも花崗岩の形成に水が必要なので、これは海の存在も示しています(2008年9月、約42億8000万年前の岩石を発見したという論文(ネイチャー掲載)が発表されています)。

また西オーストラリアで発見されたジルコン(鉱物粒子)は約44億400万年前のもので、地球誕生の正確な年代は45.5億年前、この鉱物粒子が花崗岩に由来するものなら、地球誕生後1億年で大陸地殻、海の存在の可能性を示す、きわめて貴重な証拠となります(参考資料を参照)(以上の内容は、主に田近より引用して改編)。

### 4. 生命の痕跡

生命の痕跡を岩石より探る研究は現在、暗礁に乗り上げています。それは次のようなことから明らかです。硬い骨格をもつ生物が誕生したのは、5億4200万年前以降です。生物の体は死後、酸化分解されてしまいます。生きていた時の形態がそのまま保存されていても、何をもってそれを生物の化石であると認定するのには大変難しいのです。

この認定問題は1996年、火星隕石中に細菌の化石が発見されたというニュースから始まりました。これが本物の生物化石としたら、火星にも生物が存在していたことになり、まさに世紀の大発見です。しかし、火星隕石から発見されたフィラメント状の物質が細菌なのか、それとも無機物なのか、わからないのです。それはどんな条件が満たされれば生物の化石だとする「明確な基準」がないからです。この事件以来、5億4200万年前以前の化石とされた石はすべて証拠に決め手がなくなりました。

現在の高校・大学の教科書に掲載されている「シアノバクテリアの出現は約35億年前」にも問題が発生してきました。

2011年5月発刊のアメリカ版大学生物学の教科書第1巻細胞生物学の第1章に生命最古の証拠として、以下の岩石が取り上げられています。「地質学者のJ. ウィリアム・ジョプフは、オーストラリアで見つかった岩石の中に、鎖状あるいは塊状の、現代のシアノバクテリア(藍藻細菌)に非常によく似たものを発見した(1993.4.30サイエンス)。ジョプフはこれらが単なる化学反応の結果ではなく、かつては生命を持っていたことを証明しなければならなかった。彼とその同僚は光合成の科学的根拠を探した。光合成で二酸化炭素を利用することが生命の大きな特徴であり、生成する糖質に炭素の同

位元素である  $^{13}\text{C}$  と  $^{12}\text{C}$  を一定の割合で取り込むので、これが生命現象固有の科学的特徴となる。シヨプフはオーストラリアの岩石にこの化学的特徴が残っていることを示した。さらに、この試料を顕微鏡で観察すると、単なる化学反応の結果ではあり得ない生命体に特徴的な構造が明らかとなった。これらのことからオーストラリアで見つかったものは古代の生命体の痕跡であることが示唆された。」

ところが、この1993年の「サイエンス」に掲載された論文に対し、2002年「ネイチャー」で事実を覆す論文が発表されたのです。問題の微化石は、玄武岩の中に挟まれている石英脈（深海底の環境を意味する）の内部から発見されていました。したがって、この玄武岩は海洋地殻を構成する岩石です。石英脈は熱水の通り道に沿って海洋地殻内部に形成されたものです。シアノバクテリアは光合成を行う細菌なので、太陽の光が届く浅海が生息条件となります。「ネイチャー」の論文では、このバクテリアのような構造は無機的に作られたものであって生物化石ですらないと主張しています。

以下に最近、新聞に掲載された「微生物の化石」発見の記事を示します。

**(2011年8月23日、読売新聞より抜粋)**「最古の微生物化石？豪で発見、34億年前の岩石から」「西オーストラリアの約34億年前の岩石から、地球最古の微生物化石が見つかったと、西オーストラリア大学と英オックスフォード大学の研究チームが発表。同時代の微生物化石の発見報告はこれまでもあったが、異論も多かった。今回は、電子顕微鏡など最新の手法で微生物である証拠を確認したという。21日付のネイチャー・ジオサイエンス電子版に掲載された。」

**(2013年12月9日、日本経済新聞より抜粋)**「38億年前、最古の生物痕、グリーンランドで発見、東北大など、炭素を分析」「東北大の掛川教授とコペンハーゲン大学のチームは、グリーンランドの岩石の中から、38億年前の海に暮らしていたとみられる生物の痕跡を発見した。これまでに見つかった最も古い痕跡は34億年前。8日付のネイチャー・ジオサイエンス電子版に発表した。」

## 5. 地下生命圏

地球にサイズの大きい天体が衝突すると一時的に海水がすべて蒸発する「全海洋蒸発」が、地球誕生初期には数回程度生じていたと推定されていま

す。この時期に生命は誕生と絶滅を繰り返し、その最後の系統が現在へとつながる生物の共通祖先となったとする考え方があります。一方、生物が海洋地殻内部の深い領域に逃れ、絶滅を免れているとの考え方もあります。実際に、現在でも「地下生命圏」があり、その規模は地表の生物圏に匹敵すると推定されています。これらの微生物の起源は古い可能性あり、初期地球における隕石爆発の影響から逃れた者たちの子孫かもしれません。

生物の遺伝子解析では、熱に強い「好熱菌」もしくは「超好熱菌」と呼ばれるものが、最も古い系統に属すると考えています。最も初期の生命は、高温環境に適応していた可能性があります。このことは生命が海底熱水系のような高温環境で誕生した可能性を示しています。

1977年、アメリカの有人潜水艇アルビンによってガラパゴスリフトの深海底で発見された海底熱水活動は、地球科学における20世紀最大の発見の一つと呼ばれています。それは「深海熱水に未確認生物が高密度で生息していること」が発見されたからです。

その生物の生活様式が深海熱水で運ばれる地球内部エネルギーに依存している事実が強烈だったのです。太陽光ではなく、地球の熱エネルギーを利用する微生物を共生させることで、植物的な生活を行う動物が密集する生態系が発見されたのです（地球生命科学の分野が誕生）。

深海熱水の発見は、生命誕生の場も提供しました。1953年の「放電による模擬原始大気からのアミノ酸合成」の研究で、地球での生命誕生の可能性が示されたのですが、具体的な場に関する議論はなかったのです。深海熱水の発見以降、その環境が地球における生命誕生の場の最有力候補となっています。この科学仮説は今も、様々な証拠とともに強化されています。1977年の発見以降、2009年までに約550か所の海底熱水が見つかっています。そこには、未だ全貌がつかめないほど極めて多様な生物が生息しています。

この分野の研究は多様な環境条件と多様な生態系を結びつける共通の原理の探求に進んでいます。東太平洋の共生微生物は、硫化水素をエネルギー源とするイオウ酸化細菌であること、メキシコ湾の共生微生物はメタンをエネルギー源とするメタン酸化細菌であることがわかりました。これらの発見により深海化学合成生態系が、海底下から供給される還元物質に依存する可能性を示しました。

さらに、深海底熱水域に生息する様々な極限環境

での微生物の研究で、化学合成生物に共生する微生物とは異なり、自由生活を行う深海底熱水微生物が多様なエネルギー代謝を利用して生態系の一次生産を支えていることも明らかになりました。熱水中の水素濃度上昇で「水素と二酸化炭素からメタンを生成しエネルギーを得る微生物」の優占が確認されたのです。

この研究成果は、深海熱水化学合成生態系の基礎生産や組成に最も強く影響を与える因子が硫化水素やメタンではなく、水素であることを示しています。さらに、熱水中の水素濃度は海底下の「水-岩石」反応に強く依存しています。つまり、水素の挙動が多様な環境条件と多様な生態系の複雑な結びつきを示す深海底熱水という「地質-生命」システムを理解する最も重要なカギとなることがわかってきたのです（以上は主に高井から引用して改編）。

また、2014年2月3日には、地球の深部1400キロでも水分が存在することを実験で確認したとの報告がでてきました。本当に地底に巨大な生物圏が存在しているかもしれません。

以下に、最近、新聞に掲載された「地下生命圏」に関する記事を示します。

**(2006年8月29日、日本経済新聞より抜粋)**「液体二酸化炭素、微生物の竜宮城？海洋機構など、沖縄の海底1300メートルで微生物を発見、堆積物から18種類」

**(2007年7月3日、日本経済新聞より抜粋)**「深海細菌はピロリ菌先祖、海洋機構ゲノム解析、多くの遺伝子共通」「海洋研究機構の研究チームは、胃潰瘍などの原因とされるピロリ菌の“先祖”が、深海に生息する細菌であることを示す証拠を発見した。深海の細菌のゲノムを解読。多くの遺伝子が共通していた。病原菌の進化の歴史解明のほか、治療法の開発にもつながると期待している。」

**(2009年12月13日、日本経済新聞より抜粋)**「1000℃で作られた地底に微生物が、生命の起源・限界探るヒント」「海洋の底に深い穴を掘り、地殻とマンツルの境界面までの到達を目指す国際プロジェクト、日米欧などが組織する統合国際深海掘削計画（IODP）は、来春、掘削場所の候補を絞り込み、4～5年後のマンツル到達を目指し、準備に入る。海洋底（海洋地殻）は、海底山脈の割れ目で生まれる。そこは地殻を構成するプレートの境界でもあり、地下深くから上がってきた高温のマグマが冷え固まり、左右に分かれて海洋底となる。」

**(2011年4月3日、読売新聞より抜粋)**「300℃が

育む不思議な生物」「深い深海に豊かな生態系が広がっていることがわかったのは、1977年のこと。南米ガラパゴス諸島沖の深海に、300℃を越す熱水を噴き出す「熱水噴出孔」が見つかり、その周りに不思議な生き物たちがいた。熱水噴出孔は沖縄近海など300カ所以上で確認され、深海の生命の営みを探る研究が進んでいる。」

**(2011年10月11日、日本経済新聞より抜粋)**「海底下・約46万年前の地層、微生物の代謝活動観察、海洋機構と東大」「海洋機構と東大の研究チームは、海底下にある約46万年前の地層に住む微生物を採取し、栄養分を取り込む様子を世界で初めて観察することに成功した。」

**(2012年2月8日、日本経済新聞より抜粋)**「マリアナ海溝に深海の二枚貝、シロウリガイ、生命の起源知る手掛かり」「海上保安庁海洋情報部は8日までに、深海に生息するシロウリガイの大規模集団が、グアム島南西のマリアナ海溝で見つかったと発表した。この貝はエサを食べず、硫化水素を体内の菌で化学合成してエネルギーにしている。マンツルが露出する水深5620m付近で発見。岩石が別の岩石に変質する過程で発生する水素やメタンが反応してできる硫化水素で生きているという。マリアナ海溝やマンツルの湧水域でシロウリガイが発見されたのは初めて。」

**(2012年2月9日、日本経済新聞より抜粋)**「南極の氷床掘削「神秘の湖」到達、太古の微生物発見期待」「南極の氷床の下にあるボストーク湖の調査を目指すロシア北極南極科学調査研究所（サンクトペテブルク）は8日、同国調査隊が氷床を深さ約3800mまで掘削、ドリルが同湖に達したと発表。同湖は氷で「2千万年以上」外界から隔離、未知の微生物などが存在する可能性がある。太古の独自の進化を遂げた微生物などが見つければ、地球の生命体の起源解明につながる可能性もあると期待。」

**(2012年2月12日、読売新聞より抜粋)**「電気で生きる生物存在か、深海底、第3の栄養分合成法」「植物は、光のエネルギーを使って二酸化炭素から栄養分をつくる。温泉や土の中には、窒素や硫黄の化合物をエネルギー源に使う微生物がいる。そしていま、第3のエネルギー源として「電気」をもらって生きる生物たちが深海底にいる可能性ができてきた。その探求は、生命の起源に迫る大きなステップにもなるという。」

**(2013年1月6日、日本経済新聞より抜粋)**「「しんかい」地球ぐるり、生命の起源や謎を探る航海へ出発」「深海の厳しい環境の生態系を調べて生命の

起源に迫る、海洋研究開発機構の有人潜水調査船「しんかい 6500」が5日、横須賀から世界1周への航海に出発。母船の「よこすか」に乗り、1年かけてインド洋から大西洋、太平洋を回る。深海の海底は、500℃を超えると予想される熱水が湧き出る場所など過酷な環境にあり、細菌のような初期の生命が誕生したころの地球に似ていると注目されている。」

(2013年3月18日、日本経済新聞より抜粋)「海底1万メートル、微生物活発に、海洋機構など、マリアナで発見」「世界で最も深い太平洋マリアナ海溝の水深1万900メートルにある海底の泥の中で、原始的な微生物が活発に活動し、乏しい栄養の環境に適応した生態系が存在していることを海洋研究開発機構などのチームが見つかり、英科学誌電子版に17日、発表した。」

(2014年2月3日、日本経済新聞より抜粋)「地球深部にも水、1400キロの高温高压地点、愛媛大学解明」「地球内部には、地表から深さ約1400キロの高温高压地点にも、水分があるみられることを、愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センターなどのチームが解明し、2日付のネイチャー・ジオサイエンス電子版に発表した。チームによると、海などの水はプレートの沈み込みにより、鉱物の構成物の1つとして地球内部のマントルに運ばれる。深くなるにつれ温度や圧力が上昇し水分が抜けるため、これまでは約1250キロが限界とされてきた。水の惑星・地球の誕生や歴史の謎解明につなげたいという。チームは、岩板中に存在し、水分を含む性質がある蛇紋石と同じ成分を持った鉱物を作り、装置にかけて高温・高压にして深さ約1400キロの環境を作り出した。するとこの鉱物が水分を含む別の鉱物に変化したため、約1400キロの地点でも水分があると判断した。できた鉱物は「H相」と名付けた。H相にアルミニウムを加えると、さらに高温、高压の環境でも水分が抜けなかった。マントルにもアルミニウムがあることから、深さ2900キロ付近にある地球の核との境界までH相により水分が運ばれるとみて、今後検証する。」

チームによると、地球内部の水分量は海水の数倍から数十倍とされるが詳細は不明。今回の発見で水量はさらに多いと考えられる。センターの西は「深部の水量の把握や、なぜ地球に大量の水があるのかの解明につなげたい」と話している。」

## 6. パンスペルミア説

アミノ酸は宇宙から来たのか？生命を作るための材料物質の中で最も重要な物質はアミノ酸です。このアミノ酸が宇宙空間でできたのか（パンスペルミア説）、地球上でできたのか、意見は分かれています。

炭素質の隕石の中にアミノ酸が含まれていることは事実です。このことが、パンスペルミア説の大きな根拠となっています。一般的にアミノ酸には右型と左型の鏡像異性体が存在します。ところが現在の生物中のタンパク質には左型しかありません。これは、生命発生時の地球に左型アミノ酸が多かったためと考えられますが、左型を卓越させるメカニズムは不明でした。しかし、マーチソン隕石中の一部のアミノ酸は若干左型に富んでいることが分かったのです。その後、円偏光を持った宇宙線を浴びながらアミノ酸生成が行われると鏡像異性体の関係が崩れることが実験で確かめられました。このことは宇宙空間では左型が卓越した状態のアミノ酸を作り出せることを意味しています。この発見でパンスペルミア説が、さらに有力になりました。

近年、地球外にもさまざまな有機物が存在することがわかってきました。例えば、隕石からの熱水抽出液からは、多種類のアミノ酸が検出されています。また、1986年のハレー彗星接近時にはそのダストの質量分析が行われ、分子量100以上の複雑な有機物が多数存在することがわかりました。隕石や彗星に複雑な有機物が含まれていることから、これらにより地球に持ち込まれた有機物が、最初の地球生命の素材として用いられた可能性が示されたのです。

彗星や隕石中に見られる有機物の多くは非常に複雑な有機物です。模擬星間物質に放射線を照射した時に生じるものは分子量数千の複雑な有機物でした。

以上のことから、次のようなシナリオを描くことができます。

【原始大気や分子雲中の星間塵上で一酸化炭素・窒素などの単純な分子から、宇宙線エネルギーにより複雑な有機物が生じる。これは雑多な分子の集合体、大部分は役に立たない「がらくた分子」ですが、その一部は触媒活性に役立ち、アミノ酸や核酸塩基を生み出す能力があります。やがて、このがらくた分子の中に、自分自身を基質（酵素が作用する相手の物質）として自分と同じ分子を生み出すもの「自己触媒分子」が出現。この分子は、がらくた分子の供給が続く限り増殖していく。このような「がらくた分子」の中で、やがて自己触媒分子は周辺に存在

するアミノ酸や核酸塩基を用いて機能を進化させ、「RNAワールド」に移行、やがて「共通の祖先」に至った」というものです。

土星最大の衛星タイタンは原始地球環境と類似した「天然の化学進化実験室」として注目され、タイタン大気を模した窒素とメタンの混合気体を用いた模擬実験が数多く行われています。また、1997年にNASAとESAは土星探査機カッシーニから切り離されたタイタン探査機「ホイヘンス」は、タイタン大気を大気分析をしながら降下し、無事着陸させることに成功しました。タイタンの地表温度は、 $-170^{\circ}\text{C}$ 、液体（液体メタン？）の流れた跡と考えられる川のような地形が観察されました。メタンの窪地に集められた複雑有機物（ソーリン）にエネルギーが与えられれば、さらに進化し、生命に近づいた有機物が発見される可能性が考えられます。

近年の太陽系探査のもう一つのハイライトは、小惑星や彗星といった小天体の探査です。日本は探査機はやぶさを小惑星イトカワに送り、その表面物質のサンプルリターンに成功しました。彗星や小惑星からの試料を持ち帰り、その有機物分析ができれば、地球（および他の天体）での生命の誕生に向けた化学進化の解明が進みます（以上は主に掛川から引用して改編）。

以下に、最近、新聞に掲載された「パンスペルミア説」に関する記事を示します。

**(2006年12月1日、日本経済新聞より抜粋)**「生命の起源？隕石から発見、カナダ凍結湖から、太陽系誕生有機物」「カナダの北西部の凍結湖に2000年に落ちた隕石から、約46億年前の太陽系誕生期に形成された有機物を見つけたと、NASAの中村らの研究チームが12月1日付のサイエンスに発表。」

**(2008年11月30日、日本経済新聞より抜粋)**「生物のアミノ酸、なぜ左型、対称性崩す、結晶や隕石説」「対称性の破れ」は、2008年ノーベル物理学賞の主題となった。生物界にも同様に、対称性の破れに関する大きな謎がある。タンパク質の原料であるアミノ酸の型。アミノ酸には右手型、左手型の2種類があるが、地球の生物のタンパク質はすべて左型。どうしてなのか。右手や左手のように鏡に映した立体関係にある物質は「鏡像体」とか「光学異性体」と呼ばれる。構成する元素が同じで物理的、化学的な性質はよく似ているが、生体内での働きは全く違う。」

**(2010年4月7日、日本経済新聞より抜粋)**「地球生物のアミノ酸、宇宙の光が構造決定、国立天文

台など観測、生命の起源解明に手掛かり」「国立天文台などの国際共同チームは6日、地球の生命の起源を解き明かす手がかりとなる特殊な光をオリオン大星雲で観測したと発表した。観測した場所は太陽系が誕生した太古の環境に似ており、こうした光が地球の生物を形作るアミノ酸の構造決定にかかわった可能性があるという。」

**(2011年1月31日、日本経済新聞より抜粋)**「地球生命の起源、「太陽系星雲の表面」阪大など、隕石を分析」「阪大の橋爪らのチームは地球に生命をもたらした有機物が、太陽系誕生前に宇宙を漂っていたガスの表面で温められてきたとみられることを突き止めた。南極に落ちた隕石に手掛かりがあった。ネイチャー・ジオサイエンス電子版に31日掲載される。太陽系が誕生するまでの宇宙には、ガスやチリなどに満ちた「太陽系星雲」があった。研究チームは太陽系星雲でできたと思われる隕石の有機物を調べた。東大大気海洋研究所の特殊な装置を使い、酸素原子や炭素原子について重さの異なる同位体の比率を解析。酸素では重い同位体が地球上の約1.5倍、炭素では約1.3倍あった。摂氏マイナス210度以上でないといこの同位体比率にはならない。」

**(2011年8月13日、日本経済新聞より抜粋)**「生命起源は宇宙」裏づけ？隕石にDNA成分、NASA研究チーム発表」「南極などで見つかった隕石から、生物のDNAを構成する分子を発見したと、NASAなどの研究チームが11日付の米科学アカデミー紀要電子版に発表。」

**(2013年4月23日、読売新聞より抜粋)**「2013年4月23日、国立天文台、東大などのチームがアミノ酸が宇宙で作られたとする説を補強する有力証拠を「猫の手星雲」など9つの星雲で検出したと発表した。」

## 7. 地球上で有機分子を作る地球説

地球上でアミノ酸を作る研究もあります。有名な「ミラーの実験」はその先駆的なものです。「ミラーの実験」では、「初期地球大気に $\text{CH}_4$ や $\text{NH}_3$ が含まれていた」という前提のもので雷放電実験を行いアミノ酸の生成に成功しました。しかし、その後の研究で「 $\text{CH}_4$ や $\text{NH}_3$ に富んだ大気」は考えにくいことがわかりました。

初期地球のマグマオーシャンは岩石中の揮発性成分を大気にもたらすと同時に、大気の組成をコントロールする役目も果たしていました。このよう

なことから、初期大気はCO、CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>に富んでいたと考えられるようになりました。一般にCO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>からのアミノ酸生成は極めて困難であり、「ミラーの実験」の結果を初期地球に適用できるかどうか懐疑的意見が生まれました。

しかし、2008年12月に日本の研究者らが隕石が海洋に衝突することで、N<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>などができることを実験で証明しました。

隕石は海洋に衝突すると隕石・海水・地殻が蒸発して衝突蒸発雲ができます。隕石・微惑星には、金属鉄・硫化鉄などの還元剤が含まれていることが多いのです。これらが衝突蒸気雲の中で還元剤として作用すれば、生体有機分子を作るためのNH<sub>3</sub>などを作れると物質・材料研究機構の中沢弘基が提唱しました(中沢2006)。このアイデアにしたがって、東北大学と物質・材料研究機構のグループが、実験を行いました。

実験には一段式ガス銃高圧発生装置を用い、試料は水と模擬隕石物質(かんらん石や金属鉄、ニッケル、炭素)、それに窒素ガスを容器に封入して衝突させました。実験後の試料より、N<sub>2</sub>をNH<sub>3</sub>に還元できることを確かめました。次に、このNH<sub>3</sub>が炭素と反応しアミノ酸、アミン、カルボン酸などの有機分子を生成することがわかりました。

実験条件をさらに隕石海洋衝突状態に近づければ、生成される有機分子の種類も増す可能性があります(以上は主に掛川から引用して改編)。

以下に、最近、新聞に掲載された「地球上で有機分子を作る地球説」に関する記事を示します。

(2008年12月8日、読売新聞より抜粋)「(2008年12月8日にネイチャー・ジオサイエンスに発表。)物質・材料研究機構と東北大学のグループが、アミノ酸などの有機物が、隕石が衝突する際の化学反応で簡単に合成できることを実験で確かめた。グループは、窒素ガスで満たした金属筒に水と炭素、鉄などを入れ、超高速でプラスチック製弾丸を衝突させて筒の内部を瞬間的に約6万気圧に上げ、隕石の海洋衝突を再現した。その結果、アミノ酸の1種のグリシンや、脂肪酸、アミンといった、生物の体を構成する基本分子が生成した。」

## 8. アミノ酸から生命までの過程?

アミノ酸から生命誕生へつなげるには、ペプチドを作らなければならないのです。ペプチドがさらに結び付きタンパク質となり、次のステップに進みます。その一連の「化学進化」の中でペプチド生成が、

固体地球と生命起源との最も重要な接点になります。(ここで、ペプチドなどの言葉について説明を加えておきます。まず、ペプチド結合とは、二つ以上のアミノ酸分子の間で、一方のアミノ基ともう一方のカルボキシル基とが脱水縮合してできる結合のことです。縮合とは複数の化合物が互いの分子内から水など小分子を取り外しながら結合することです。したがって、脱水縮合とは水分子を取り外しながら結合することです。ペプチドとは、2個以上のアミノ酸がペプチド結合により縮合してできた化合物のことです。)

火山噴気孔、干潟、海底熱水孔などでペプチド生成が行われたとする仮説が過去の研究で提案され、実験が行われてきています。既存の説を想定した実験で確かにペプチドは生成されますが、ペプチド自身の寿命が数分しかなく、その後は分解されるなどの問題が発生しています。

そこで新たに登場したのが「地殻内胚胎説」です。(ここで、「胚胎」とは、物事の起こる原因を含み持つとの意味なので、「地殻内胚胎説」とは地殻の中が「生命誕生のポイント」であるとの説と解釈できます。)

まず、海洋中の粘土で海水中的アミノ酸などが吸着、海底に沈殿します。沈殿後にアミノ酸は粘土とともに海洋地殻内深部に埋没して、温度・圧力で変化していきます。生命発生前の堆積物中では、アミノ酸が分解・消費されずに地下深部までもたらされることとなります。すなわち地下深部がアミノ酸の貯蔵庫になっていた可能性があるのです。アミノ酸同士を結合させるにはエネルギーが必要ですが、地下には地熱としてエネルギーが存在しています。さらに地下の圧力でアミノ酸分子同士の反応が起こりやすくなります。アミノ酸が結合しペプチドを生成する反応は脱水反応(アミノ酸同士の結合で水分子が離れてしまうこと)です。堆積物が圧縮される過程で間隙水(隙間にある水)も移動します。その過程でアミノ酸が結合してできた水も移動しやすくなり、さらにペプチド生成反応が進むことが期待されます。また一部の粘土鉱物にはアミノ酸の結合を促進させる触媒効果があると言われていいます。すなわちアミノ酸同士の結合が地下深部で行われタンパク質に進化していったとする仮説を考えることができるのです。この仮説(地殻内胚胎説)のもとに、海底堆積物深部を想定した高温高圧実験を東北大学のグループが行い、グリシン、バリン、アスパラギン酸などのアミノ酸が容易に重合し、ペプチド(例えば、グリシンが10分子が結合

した10量体)が生成されていることが確認されました。これらの一連の実験の中で、注目するのは、ペプチドが高温環境でも長時間にわたり安定して存在できたことです。地質時間の中で化学進化が進行することを考えると、生命につながる物質が長時間安定に存在できることは、化学進化の次のステップへの大きなカギとなります(以上は主に、掛川から引用して改編)。

## 9. 遺伝子から攻める

遺伝子に関する解説は、2013年5月5日読売新聞掲載の「揺らぐ「遺伝子」の概念」が詳しいので、この記事の抜粋を以下に掲載します。

「人間の全遺伝情報のなかで、生命活動を担う遺伝子は、広大な砂漠に点在するオアシスのようなものだと考えられていました。ゲノムのほとんどの部分は不毛な砂漠のようなものであり、役割のない「ジャンク(くず)」と呼ばれていました。命を紡ぐ遺伝子は、その中で輝くオアシスのように例えられたのです。この見方を覆す研究成果が昨年9月、ネイチャーに発表されました。日米欧などの国際チームが、これまでジャンクと呼んでいた部分も含め、ゲノムの約8割に何らかの働きがある可能性を明らかにしたのです。「遺伝子の概念に再考を迫る成果だ」。ネイチャーの解説記事はそう指摘しました。

従来、タンパク質を作る情報を持つ「DNA」の領域を遺伝子と呼んでいました。遺伝子の情報は「RNA」と呼ばれる伝令役の分子に読み取られ、タンパク質が作られます。しかし、国際チームは、タンパク質を作る情報を持たないのに、RNAに読み取られる部分が、ゲノムの約7割に上ることを突き止めたのです。新たに示されたゲノムの働きの大半が、RNAによるものです。これらのRNAの一部は、遺伝子の働きを制御するなどの役割が分かっています。しかし、99%以上は明確な機能が分かっています。理化学研究所のピエロは「RNAの未知の役割が明らかになれば、タンパク質を作る部分だけを重視して、遺伝子と呼ぶことに意味がなくなる」と話しています。

一方、反対の声もあります。国立遺伝学研究所の斉藤は「大半のRNAに働きはなく、無駄に読まれているだけではないか」と指摘しています。細胞内のすべての反応に意味があるわけではなく、ゲノムの大半はやはりジャンクではないかと見えています。果たして、遺伝子はゲノムの中のオアシスなのか。議論の行方によって、遺伝子という概念が大きく揺

らいできます。ゲノム解読だけでは見えなかったヒトゲノムの実相が見え始めた一方、人類は、微生物のゲノムの大規模改変という新技術に近づいています。東大の米本は「人類は宅地を造成し景観を変えたが、同様に生命の姿を変えることが許されるのか、社会的な議論が必要」と話しています。」

以上のように、ゲノムの中のRNAの働きについての研究が今後、急速に進むことによって、生命活動の具体的なことが解明される可能性があります。以下に最近、新聞に掲載された「遺伝子」関係の記事を示します。

(2003年2月2日、日本経済新聞より抜粋)「バイオ研究に革命、RNA生物学の次の主役、多様な機能を示す、研究成果相次ぐ」「一般に生物の設計図はDNAに書き込んであり、これを写し取る形でRNAができて、最終的にタンパク質が合成される。ここで重要なのは遺伝情報を持つDNAと、生体内で様々な機能を発揮するタンパク質。その中間にあるRNAを、多くの研究者は単なる脇役にすぎないと考えてきた。」

(2007年9月17日、日本経済新聞より抜粋)「微生物ゲノム研究活発化、腸内細菌、国際計画発足、培養不要の新技術」「人体や海、土壌など地球のあらゆるところにいる微生物のゲノム(全遺伝子情報)を調べる動きが各国で活発になっている。人体では腸内細菌のゲノムを調べる国際計画が発足する。背景は「メタゲノム」と呼ぶ新技術によって微生物を培養しなくても研究できるようになったことがある。人類が知り得ている微生物はわずか。微生物は新たな資源で、新薬やバイオ燃料などの製造に役立てようと期待が高まっている。」

(2012年1月18日、日本経済新聞より抜粋)「鉱山地下に最古の細菌、35~40億年前、生命誕生の解明期待」「海洋研究開発機構の高見らは、これまで知られている中で最古の細菌を見つけたと発表した、35億年~40億年前に登場したと考えられる。鹿児島県の鉱山の地下坑道内で、約70℃の熱水中に存在。米オンライン科学誌プロス・ワンに18日掲載。菱刈鉱山、地下300m。微生物の塊を採取、最新のゲノム解析手法を使い、16種類の細菌を見つけた。遺伝子の特徴から、このうちの1種がこれまで知られていたなかでも最も原始的な特徴を持つことを突き止めた。」

(2012年9月11日、日本経済新聞より抜粋)「ゲノムの中で、タンパク質を作る領域を「遺伝子」と呼ぶ。これは、人間のゲノムの約2%、残りは役割のない「ジャンク(くず)」と呼ばれていた。」



ころが、2012年9月に理化学研究所などが参加する国際研究プロジェクト「エンコード計画」は、人間のゲノムの8割以上が何らかの機能を持つことをつきとめたとネイチャーに発表した。ゲノムを詳細に調べ、80.4%が遺伝子を働かせるスイッチなどの役割を果たしていることが判明。スイッチに関係する異常でタンパク質がうまくできないと、病気になることがわかってきた。」

(2013年5月5日、読売新聞より抜粋)「揺らぐ「遺伝子」の概念」「人間の全遺伝情報のなかで、生命活動を担う遺伝子は、広大な砂漠に点在するオアシスのようなものだと考えられていた。ゲノムのほとんどの部分は不毛な砂漠のようなものであり、役割のない「ジャンク(くず)」と呼ばれていた。命を紡ぐ遺伝子は、その中で輝くオアシスのように例えられた。そうした見方を覆す研究成果が昨年9月、ネイチャーに発表。日米欧などの国際チームが、これまでジャンクと呼ばれていた部分も含め、ゲノムの約8割に何らかの働きがある可能性を明かした。「遺伝子の概念に再考を迫る成果だ。」

## 10. 細胞の研究

2010年5月21日、サイエンスは「人工生物」の作製に成功したという論文を掲載しました。人工的に合成したゲノムを持つ細菌を作ったのです。作ったのはJ・グレイグ・ベンター研究所です。彼らは、あらかじめ解読済みのマイコプラズマ細菌のゲノム情報を基に、4種類の遺伝文字(塩基)を機械で順番通り並べ、ゲノムの断片を作成しました。次に、大腸菌と酵母の中で断片をつなぎ合わせて、人工のゲノムを作製しました。これを別の細菌に移植してゲノムを置き換え、人工的に合成した細菌が増殖することを確認したのです。この研究の最も重要な点は「生命の本質は情報」ということです。生命誕生に関する研究の重要な要素となります。

山中伸弥教授は、体の様々な組織に変わるiPS細胞の作製で、2012年のノーベル生理学・医学賞を受賞しました。老化する運命であった細胞の時間を生まれたところに巻き戻す「初期化」にiPS細胞で成功したのです。

初期化とは、細胞の過去をいったん消去し、様々な細胞に育つ受精卵のような状態に戻す操作です。これは「生命科学の常識を覆した」研究と評価されています。初期化を可能にした4種類の遺伝子「山中4因子」を特定、2006年にマウスの皮膚細胞で作製、2007年には人間の皮膚細胞で作製に成功し

ました。これも、老化した(成長した)細胞をもとの状態に戻すという点で、生命誕生に関する研究の重要なヒントになります。

この論文を執筆中に、さらにすごいニュースが飛び込んできました。理化学研究所の小保方晴子さんらのチームが様々な組織や臓器の細胞に育つ「万能細胞」を作り出すことに成功したのです。マウスの細胞(リンパ球)を弱い酸性の液につけたり、毒素を加えたり、細いガラス管に通したりと色々な刺激で作製できたそうです。ヒトの細胞でも成功すれば、傷んだ細胞や臓器を蘇らせる再生医療に応用できます。作り出した万能細胞「STAP細胞」は生物の細胞にもともと備わった能力を生かして作られています。刺激を加えたことで細胞に何が起きたのか。その仕組みの詳しい解明ができれば、生物誕生のメカニズム解明にもつながると思います。

以下に最近、新聞に掲載された「細胞の研究」関係の記事を示します。

(2014年1月30日、読売新聞より抜粋)「第3の万能細胞作製、刺激与え初期化促す、STAP細胞、iPS細胞より容易、理研チーム」「細胞に強い刺激を与え、様々な組織や臓器に変化する「万能細胞」を作る新手法をマウスの実験で発見したと、理化学研究所発生・再生科学総合研究センター(神戸市)と米ハーバード大学などの国際チームが発表した。30日付のネイチャーに論文を掲載する。外部からの単純な刺激だけで、細胞の役割がリセットされ、あらゆる組織、臓器に変化する「多能性」を獲得するという発見は、生命科学の常識を覆す研究成果だ。研究チームは今後、再生医療への応用を視野に、人間の細胞で同様の実験を進める。」「研究チームの代表の同センターの小保方晴子らは、今回の発見を「刺激によって引き起こされた多能性の獲得」という意味の英語の頭文字から「STAP(スタップ)」と呼び、作製した細胞をSTAP細胞と命名した。iPS細胞(人工多能性幹細胞)、ES細胞(胚性幹細胞)に続く「第3の万能細胞」といえる。」

## 11. ミドルワールドの世界

以下の内容は英国の物理学者マーク・ホウが2009年に執筆した「ミドルワールド(動き続ける物質と生命の起源)」をコンパクトにまとめたものです。

これは、ミクロとマクロの間の大きさの物質がランダムに動き回る、ブラウン運動から始まる研究分野の話です。

ここではマクロ（1000分の1mm以上）の世界は、宇宙（銀河、ブラックホール、惑星、恒星、彗星）、蒸気機関、自動車、自転車、バイク、大砲の弾、羽毛、砂、小石、動物、植物、微生物、ヒトなどです。

マイクロ（100万分の1mm以下）の世界は、分子、原子、原子核、素粒子、光子、陽子、中性子、電子、陽電子などがある。

ミドルワールドはこの2つの中間に位置する世界で、細胞（DNA、RNA、タンパク質、ミトコンドリア、リボソーム、分子モーター）、ウイルス、バクテリア、筋肉（アクチン、ミオシン）、天然樹脂（ガンボージ、シェラック、ゴム）、合成高分子（シャンプー、リンス、界面活性剤）、石鹸、ミルクに浮かぶ脂肪の粒などです。

例えば細胞の中で起こる生命現象は、ランダム性（変則性・無秩序）や小刻みな動きがあり、それを予測するのは不可能です。

細胞には水があります。水に溶けているカルシウム、マグネシウム、亜鉛、カリウムなどのイオンや塩類は、例えば細胞の活性を制御する化学信号や引き金として働き、重要な役割を演じます。しかし細胞は、一般に何百何千という原子からなるもっと複雑な分子をたくさん含んでいます。これらの巨大分子には、タンパク質、酵素、DNA、RNA、分子モーターなどがあります。これらの巨大分子は、直径数ナノメートルから1000分の1ミリメートルです。細胞の中は、どこにでもブラウン運動がみられます。静止しないでいるのを免れないというのが、生命の基本的しくみとして避けられない重要な意義を持っています。

光ピンセットの開発で、この動き回るDNAを絶対零度近くまで冷却し、動きを減速させることに成功しました。この方法でミドルワールドからの生命誕生の研究は加速しています。ミドルワールドは、大別すると2つの部分「物質」と「生命」に分けられます。しかし、物質と生命の相違は、ぼんやりとした領域にあります。ポリマー（簡単な構造を持つ分子化合物が2分子以上結合して分子量が大きくなったもとは別の化合物のこと）、界面活性剤、そして膜は、タンパク質、分子モーター、細胞へと次第に変化すると考えています。

## 12. ELSI の考え（生命起源の岩石説）

「生命起源の岩石が重要な栄養分の供給源になっている」という、奇抜な新説も登場してきました。

2013年3月に東京工業大学地球生命研究所（ELSI）が発足しました。ここでは、地球初期の様子を詳しく再現し、生命誕生のなぞ解明を目指します。

「生命が深海の熱水が噴出している環境で生まれた説」、「火星で誕生した説」、「クリープ（KREEP）岩」が深く関与した新説などを検証します。

地球誕生期に天体衝突で地球がどろどろに溶けた後の状態は今まで、マンツルの底から固まるとみられていました。しかし最近、その状態はマンツルの中ほどから固まり始め、上下に固体層が発達していくことが分かりました。その後、斜長岩とクリープ岩から成る原始の陸地ができたと推測しています。この過程を、超高压・高温を作る装置で実験して確かめるそうです。陸地ができれば、項目3で述べたように、生命につながった可能性があります。クリープ岩のKはカリウム、REEはレアアース（希土類元素）、Pはリンを指しています。KとPは生物に重要な栄養分です。レアアースの様々な元素は化学反応を促進する触媒の機能を持ち、生物的な仕組みに関係しています。生命には水のほかに多種の元素が必要になります。炭素や窒素は大気から供給可能ですが、カリウムなどはクリープ岩からも供給されたと新説では推定しています（以上は2013年5月12日、日本経済新聞「生命起源の「岩石説」とは？重要な栄養分の供給源」より引用して改編）。

## 13. まとめ

自然科学の知識のうち、第1弾として「生命誕生の研究状況」を「新聞記事に掲載されている内容」を目安にまとめてみました。

生命誕生の研究は、今では生物学だけでなく、化学、物理学、地学の様々な分野でアプローチしていることがわかりました。

特に最近では、地下生物圏へのチャレンジが盛んに行われていることに驚きました。

また、顕微鏡を使ってミドルワールドの世界より、物質から生命への探求をしている分野のあることを知り、ブラウン運動が生命誕生のキーポイントになっていることもわかりました。

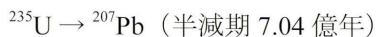
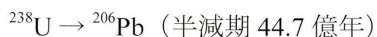
さらに、この論文を執筆中に飛び込んできた万能細胞「STAP細胞」を応用して、ミドルワールドで利用されている光ピンセットを使い、外部刺激を与えた場合にターゲットの分子の動きを追う研究も始まると私は思います。

いずれにしろ、生命誕生の研究は、すごいスピードで進んでいることは確かです。

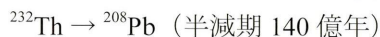
## 参考資料

(平朝彦、地球史の探求、岩波書店 2009、p 47 - 54 を参考にして改編しています)

【地質年代測定】物質の年代を認定する方法を知ることが「事実」か「意見」かの判断を下すのに必要である。地質学の年代測定は地球誕生後に様々な地層なのでどのようなことが起こったのかを議論する上で非常に重要である。この測定法は、近年、急速に進歩している。そこで事例として、現在、最も古い時代の情報として知られている西オーストラリアのジャックヒルズで発見されたジルコンが約 44 億 400 万年前とした根拠について説明する。岩石の中には、ジルコンのようにウランを豊富に含む鉱物が存在している。とくにジルコンは、風化変質に対して強いので、堆積物の中の碎屑粒子(さいせつ粒子で砕けたくず(屑)からできている)として多く存在している。そこで、岩石サンプルだけでなく、碎屑物に含まれる粒子を使用して、地質学的な情報を得ることができる。自然界には  $^{238}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{234}\text{U}$  が存在し、いずれも壊変するが、 $^{234}\text{U}$  は  $^{238}\text{U}$  の中間壊変生成核種であり、最終的な親核種と娘核種は、



となる、これを用いて 2 種類の年代測定ができる。Th と U とは科学的に類似しており、Th/U は様々な地質現象を通じて、それほど大きな変化をしない。したがって、次の Th - Pb の年代測定が適用できる。



すなわち、U、Th から Pb への 3 つの壊変系列を用いて年代測定ができる。これらはそれぞれ独立の壊変系列なので、個々に年代を描くことができる。つまり、同一試料で複数の壊変系列を利用できる(ウラン、トリウム-鉛系列年代測定法)。

このほかに、炭素同位体年代 ( $^{14}\text{C}$  年代) がある。これは、年輪の年代や、海洋の深層大循環のサイクルを調べるのに利用されている。また、ルビジウム-ストロンチウム法 (Rb - Sr 法)、カリウム-アルゴン法 (K - Ar 法)、アルゴン-アルゴン法 (Ar - Ar 法)、サマリウム-ネオジミウム法 (Sm -

Nd 法)、フィッシュトラック法 (FT 法)、電子スピン共鳴法、熱ルミネッセンス法などがある。

## 参考文献

- 1) 大栗博司、重力とは何か、幻冬舎新書、2012.
- 2) 多田将、すごい宇宙講義、イースト・プレス、2013.
- 3) 竹内薫、ヒッグス粒子と宇宙創成、日本経済新聞社、2012.
- 4) D. サダヴァ他、石崎泰樹監訳、アメリカ版大学生物の教科書第 1 巻細胞生物学、講談社、2011.
- 5) D. サダヴァ他、石崎泰樹監訳、アメリカ版大学生物の教科書第 2 巻分子遺伝学、講談社、2011.
- 6) D. サダヴァ他、石崎泰樹監訳、アメリカ版大学生物の教科書第 3 巻分子生物学、講談社、2010.
- 7) 平朝彦、地質学 3 地球史の探求、岩波書店、2009.
- 8) マーク・ハウ、三井恵津子訳、ミドルワールド - 動き続ける物質と生命の起源、紀伊國屋書店、2009.
- 9) 松井孝典、地球倫理へ、岩波書店、1995.
- 10) 田近英一、地球環境 46 億年の大変動史、化学同人、2010.
- 11) ジョンジョー・マクファデン、斉藤成也監訳、量子進化、共立出版、2005.
- 12) ジェームス・D・ワトソン、青木薫訳、DNA 上、講談社、2010.
- 13) ジェームス・D・ワトソン、青木薫訳、DNA 下、講談社、2010.
- 14) フランク・ライアン、夏目大訳、破壊する創造者、早川書房、2011.
- 15) 小林憲正、生命の起源を探る～原始地球環境と地球外有機物～、Japan Geoscience Letters、Vol.2、No.4、2006.
- 16) 山岸明彦、生命の起源と初期進化～何がどこまで分かっているのか?～、Japan Geoscience Letters、Vol.4、No.1、2008.
- 17) 掛川武、生命の起源：新しい地球惑星科学の課題、Japan Geoscience Letters、Vol.5、No.2、2009.
- 18) 高井研、深海熱水をめぐる地球生物学、Japan Geoscience Letters、Vol.7、No.4、2011.