

愛知の大地のなりたち 4 先カンブリア時代②

(1) ハビタブルゾーン

生物が誕生して生息するためには、液体の水の存在が不可欠と考えられています。そのための条件の一つに太陽からの距離があります。もちろん、中心となる恒星（地球の場合は太陽）の大きさ（質量）や放射エネルギーの大きさ（温度）によってその距離は変わります。次にその星（地球）が大気を自身の重力で捕まえておくだけの質量（大きさ）が必要です。また、地球ができてから生命の誕生まで数億年はかかっているようなので、その程度の安定した環境の継続も必要です。恒星の寿命はその質量に関係しますので、太陽が比較的寿命の長い恒星であったことが幸いしています。図1の水色部分がハビタブルゾーンです。現在の太陽系では地球のみがそれらの条件を満たしていると言えます。

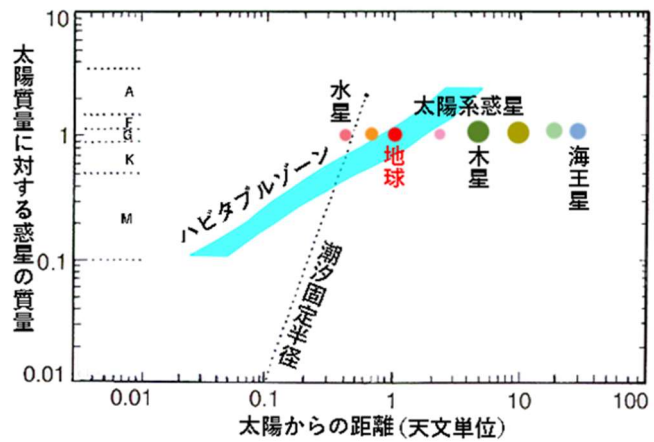


図1 太陽系のハビタブルゾーン (URL1を改)

潮汐固定半径と描かれた線より太陽に近いと太陽に対して同じ面しか向かなくなります（昼と夜の地域が固定されます）。

現在の太陽系では地球のみがそれらの条件を満たしていると言えます。もちろん、太陽もやがて赤色巨星に変化すると考えられていますので、地球がハビタブルゾーンから外れる時が来るかもしれません。その時まで人類が生き延びているかは疑問ですが。

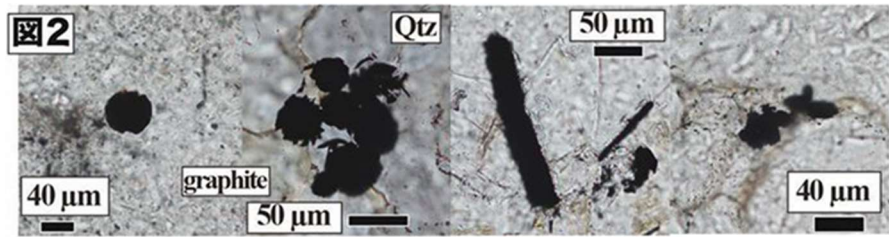
(2) 生命の発生

生命とは何かという明確な定義はありません。自己複製(細胞分裂によって、自身の複製を作る)ができる、エネルギー代謝(食物を体内に取り込みエネルギーに換える)ができる、外界との境界があるなどがよくあげられる特徴です。この条件からするとウイルスは生命体とされないようです。どのようにして生物が誕生したのかはわかりませんが、非生物から生物が生まれたのは確かです。生命の誕生まで何度も試行錯誤があったと思われます。最も原始的な塩基配列*を保持している種は、数十°C以上の高温の環境で繁殖する細菌類がほとんどですので、生命の誕生は海底の熱水噴出孔のような環境だったのではないかと考えられています。地球に最初に現れたのは原核生物で、初期の原核生物は酸素のない環境で生活する嫌気性細菌でした。その後、シアノバクテリア（後述）が出現し、その光合成によって酸素が増加すると好気性細菌が出現しました。この時期に、嫌気性細菌に他の原核生物が共生して（細胞内共生：会報 no.25 参照）、真核生物の祖先が誕生したと考えられています。酸素濃度の増加に伴ってコラーゲンの産生が可能になります。コラーゲンは細胞同士の接着に働き、細胞の強度を強めますので、それによって多細胞生物は大きな体を支えることが可能になったと考えられています。

*塩基配列：遺伝子の本体である DNA に並ぶ規則的な 4 種類の塩基の配列で、タンパク質をつくるための重要な暗号となります。

(3) 最古の化石

地球に生命が誕生した時期は直接的な証拠はありません。現在最も古いといわれるものは、カナダ北東部の黒色頁岩中のグラファイト（石墨）で、そこから生物起源と見なされる



現存する最古の生命の痕跡。39.5 億年前の堆積岩中の ^{12}C に富むグラファイト

図2 39.5 億年前のグラファイト (田代ほか, 2017)

炭素組成が見つかり、39 億 5000 万年前から有機生命体が存在していたといわれます。原始的な化石は化学化石と呼ばれ、どのような形態の微生物であったかは全く分かりません (図2)。

確実に遡れる生物の出現は 35 億年前頃です。その化石は、オーストラリアの Warrawoona 層群 Towers 層のチャートから発見されました (Schopf, 1993 : 図3)。地層の年代は 34.7 億年前より古いとされ、産出した化石は繊維状と球状の形態です。Schopf は、これをシアノバクテリアと考えましたが、否定的な意見もあります。私も Towers 層のチャートを見に、現地を訪れたことがあります。

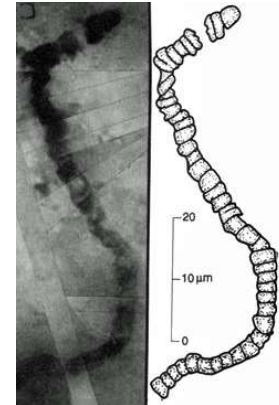


図3 シアノバクテリア? (Schopf, 1993)

(4) シアノバクテリア :

シアノバクテリア (藍色細菌) は酸素発生型の光合成細菌で、ラン藻とも呼ばれました。地球最古の還元的な硫黄細菌の出現は 27 億年前で西オーストラリアのピルバラから柱状のストロマトライトとして発見されました。ストロマトライトはシアノバクテリアと砂粒などからなる縞状の構造物です (図4・図5)。ストロマトライトとされる化石は 35 億年前ごろから知られますが、ストロマトライトのすべてがシアノバクテリアを含んだものではないと考えられています。海底でストロマトライトが発生した酸素ガスは鉄を酸化して酸化鉄が沈殿し、縞状鉄鉱層 (BIF) を作りました



図4 ストロマトライト
西オーストラリア Bunyerroo Gorge から 600m ほど東で撮影。縦断面も見られる良い露頭です。



図5 ストロマトライト (現在)
西オーストラリア ハメリンプルールにて干潮時に撮影 満潮時には水没します。

(図 6・図 7)。



図 6 縞状鉄鉱層

西オーストラリア Wittenoom 近くの Dales Gorge。赤褐色のほぼ水平な鉄鉱層が続きます。崖の上から手すりのない鉄梯子を降りて川沿いに歩きます。サンプルは鉄を含むためとても重いです。



図 7 縞状鉄鉱層中のアスベスト（石綿）

この地域にはかつてアスベスト鉱山があり、住民にも被害が出たそうです。ところどころに石綿層を挟みます。行く前に、現地の地質調査所から石綿に注意するよう助言されました。Dales Gorge で撮影。

(6) 真核生物の誕生：

最古の真核生物の化石は、米国ミシガン州で発見された約 21 億年前のグリパニアといわれています。グリパニアはリボンのような形をしています（図 8）。近年、アフリカ中部西海岸にあるガボン共和国南東部の前期原生代（約 22～21 億年前）の地層から親指大の化石が発見されています（図 9）。この頃には、遊離酸素が、海水中の Fe^{2+} を消費し尽くし、「大酸化イベント」（会報 no.31 参照）によって酸素濃度が 1% を超えたと考えられます。シアノバクテリアの光合成系（葉緑体）や、好気性細菌の酸素呼吸システム（ミトコンドリア）が共生して真核細胞が誕生した。また、19 億年前ころには最古の？ 超大陸（ヌーナ大陸）が形成されました。10 億年前には真核多細胞生物の出現が知られています。

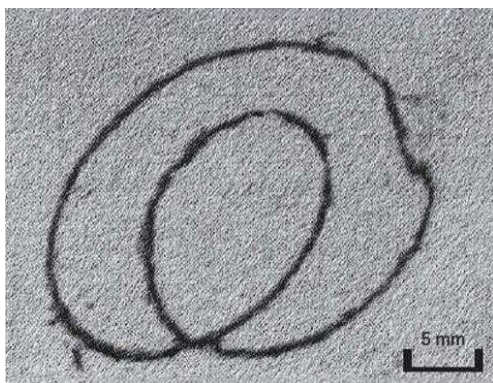


図 8 グリパニア (Han and Runnegar, 1992)



図 9 ガボンからの真核生物？ (URL2)

(7) 全球凍結（スノーボールアース）

過去に低緯度にあった地域に氷河によって侵食・運搬・堆積された礫、砂、泥などの氷河堆積物の存在が知られています。低緯度（赤道付近）に氷河があったのなら、おそらく地球全体が凍結し

ていただろうという考えです。約 7 億年前、そして約 6.5 億年前に起きたことは知られていますが、約 22 億年前にも起きたといわれています (図 10)。原因は、メタンなどの温室効果ガスの急激な減少や消失によるものです。約 23 億年前までにメタンが、酸素濃度の増加とともに急激に酸化されたため・大規模な火山活動があり、大量に供給された金属イオン (Ca²⁺など) によって二酸化炭素が炭酸塩鉱物として固定されるようになり、大気中の濃度が大幅に低下した・生物による大量の酸素放出による酸素増加で岩石の金属イオンと二酸化炭素の固定化 (石灰岩の形成) が促進された・超大陸ロディニア の分裂、などが全球凍結の原因とされています。全球凍結時の地表温度は -50°C で、海を覆う氷の厚さは 1000m 以上であったといわれます。

6 億 3000 年前ころに全球凍結が終了すると、同じ場所の気候が極地気候から熱帯気候へと急激に変化した (超温暖化: +50°C?) たようです。それは、氷河堆積物の直上にキャップカーボネートと呼ばれる炭酸塩岩 (石灰岩や苦灰岩) が堆積していることから推測されます。全球凍結の時代でも、火山や温泉は凍らず、二酸化炭素を出し続けていました。通常は、二酸化炭素は水に溶けていきますが、海が凍っていたために大気中に蓄積されて、「温室効果」を生み出したと考えられています。5 億 7000 万年前になると、エディアカラ生物群と呼ばれる「生き物らしい化石」が出現します。

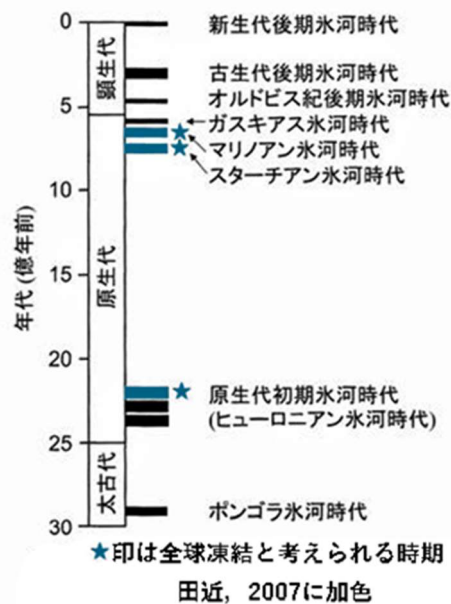


図 10 全球凍結 (田近, 2007 に加色)

引用・参考文献

Han, T.M., and Runnegar, B., 1992, Megascopic Eukaryotic Algae from the 2.1-Billion-year-Old Negaunee Iron-Formation, Michigan. *Science*, 257, 232-235.

川幡穂高, 2011, 地球表層環境の進化. 東京大出版会, 292 p.

小宮 剛 2017, 生命と地球の共進化. *Kagakuno-saizensen*. 246-257.

村松憲一, 1997, オーストラリアの地質見学案内. 名古屋地学, 59, 17-26.

沢田 健ほか, 2008, 地球と生命の進化学. 北海道大出版会, 272 p.

Schopf, W., 1993, Microfossils of the Early Archean Apex Chert: New Evidence of the Antiquity of Life. *Science*, 260, 640-646.

田近英一, 2007, 全球凍結と生物進化. 地学雑, 116, 79-94.

田代貴志ほか, 2017, 地球最古の海洋堆積物から生命の痕跡を発見! 約 40 億年前の微生物による炭酸固定の証拠. 東京大学プレスリリース.

<file:///C:/Users/owner/Downloads/20170928pressrelease.pdf>

URL1 : <https://ircamera.as.arizona.edu/NatSci102/NatSci102/lectures/habzone.htm>

URL2 : https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Gabonionta_II.jpg