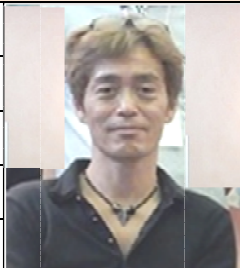


## 2019年度 第 11 回 講演会 記録

|     |                                      |                                                                                     |
|-----|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 日 時 | 2019年 9月 28日 (土) 13:00~16:00         |  |
| 会 場 | 此花会館 梅香殿                             |                                                                                     |
| 講 師 | 国立研究開発法人 海洋研究開発機構 研究員 高井 研 先生        |                                                                                     |
| 演 題 | 「生命の起源解明の最前線」                        |                                                                                     |
| 備 考 | 参加者数 169 名 (会員 167 名、聴講 2 名) 記録 花住 繁 |                                                                                     |

はじめに

## 【田中 克 先生】

- 高井先生は私と同じ京都大学農学部水産学科のご卒業ですが、研究室が異なり、研究面での直接の繋がりはありませんでした。経歴に 1992 年に水産学科卒と記載されていますが、その頃農学部でのソフトボール大会で共にプレイした記憶が鮮明に残っています。水産微生物学からスタートされ、現在は海洋微生物学研究をベースに、特に熱水噴出孔のバクテリアの研究をもとに生命の起源解明の前線で研究に取り組まれています。さらに、深海から宇宙へと研究範囲を広げられ、生命の起源解明では世界の第一線で大活躍されています。本日は生命の起源について、時間（約 40 億年前～）と空間（深海から宇宙へ）の広がりを中心に、研究の最前線のお話をさせていただきます。

## 【高井 研 先生】

- 本日は生命起源研究についての最新の状況、そしてその研究について日本の研究者がどれだけ貢献しているかについてお話をしていきたいと思います。まず初めに私の所属している海洋研究開発機構 “JAMSTEC” について簡単に紹介します。海洋研究における JAMSTEC の世界的な位置づけは、圧倒的に TOP レベルの研究機関ですが、日本国内での知名度はそれほど高くはありません。同じ国の研究開発機構である “JAXA”（宇宙航空研究開発機構）は国際的には 6～7 番目の位置づけですが、日本国内では大きな知名度を得ています。この点は、大学生の就職したい会社・組織ランキングを見ても明らかに違いが出ていて、JAXA は毎年 100 位以内に入っていますが、JAMSTEC は入ってきません。唯一 2012 年の理系女子の人気ランキングで 97 位に入ったのが特筆されるくらいです。しかし公社・団体の部門に限れば、JAXA と共に 10 位以内には入る国内研究開発法人の二大巨頭と言えます。
- JAMSTEC は 8 隻の調査船を持っていましたが、2016 年に 2 隻を潰して最新鋭の設備を備えた大型海底広域研究船「かいめい」（5,747 トン）を就航させました。この時は（少しでも JAMSTEC の知名度が上がるように）佳子様が進水式に、真子様は号証式に来ていただきました。本船は海底資源の分布等、海底の広域調査を効果的に行うとともに、鉱物・鉱床の生成環境を捉える総合的科学調査を可能とする研究船です。
- 深海探査機は有人潜水艇「しんかい 6500」をはじめ 12 機を保有しています。最近の方向性はロボットで深海を無人探索し、コンピュータ上で探査活動ができるようになっています。海底探査ロボットの国際的な賞金レースがありますが、民間からのクラウドファンディングで資金を募り参加しました。14 チーム参加で決勝レースに進出し 2 位になりました。これからの調査は国の資金ではなく、民間からの資金募集で調査ができるという、JAMSTEC の今後の一つの方向性ができました。（国の予算が得られにくい調査について）
- JAMSTEC の研究開発 5 本柱は、①海洋機能利用研究開発、②地球環境変動研究開発、③地震・火山研究開発、④付加価値創成研究開発、⑤超先鋭研究開発であり、その中で私は⑤超先鋭研究開発の部門長です。60 名の研究員が在籍し、生命の起源についての先端研究を実施しています。アヴァンギャルド（超先鋭的）な研究として、地球の生命は、どのような環境で誕生し進化してきたのか、宇宙には生命がいるのか、といった研究を進めています。

## &lt;講演要旨&gt;

## 【本日のテーマ】

## 1. 生命の起源はどこまでわかったか？

## (1) 「生命はなぜ生まれたのか」

## 1) JAMSTEC モデルの完成 (高井 研 2011 年 幻冬舎新書)

現在の生命の種数は、動植物は 870 万種、微生物は 100 億種いると言われています。圧倒的に微生物の方が多いのですが、その微生物のうち 90 億種は海の底の底もしくは地中の中にいます。そしてそれらのすべての生命は 40 億年前に生まれた一つの祖先から派生してきています。その共通祖先まで遡って最古の生態系の姿と場所を明確にしました。深海底の熱水噴出孔に 40 億年前の最古の生態系の姿としてハイパースライムの存在を見だし、生命の共通祖先であると推定したのが JAMSTEC モデルで、2011 年に「生命はなぜ生まれたのか」(2011 年幻冬舎新書)として著しています。

## 2) その後の 7 年間 の成果「生命の起源はどこまでわかったか」(高井 研 編 2018 年 岩波書店)

生命の共通祖先と生命の起源は別であり、非生命世界から生命がどのように誕生し現在の生命の共通祖先となったのかは不明です。生命の起源は、無数の多様な(死ぬほど)生命が生まれてその中の一つがたまたま共通祖先になったのか、完全に必然的に生命が同じ形で生まれて共通祖先になったのか、たまたま一つの祖先が生まれてそれが共通祖先になったのかは不明でした。人類の有史以来 2400 年間ずっと謎のままでした。JAMSTEC は 2011 年からその後の 7 年間で、非生命世界から生命が誕生するまでの世界を科学的に解明し、2018 年にその成果を「生命の起源はどこまでわかったか」(高井 研 編 2018 年 岩波書店)としてまとめ記述しています。上記 1)、2) の内容を踏まえて以下説明していきます。

## 3) 地球におけるエネルギーバランス

- ① 生命を維持するためにはエネルギーが必要です。地球には 3 つの大きなエネルギーインプットがあります。最大のエネルギーインプットは太陽放射エネルギーで、地球におけるエネルギー量の 99.9% (174,000 Terawatts/sec) を占めています。1 日当たりでいえば M(マグニチュード) 11.5 のエネルギーになります。M12 の地震では地球がパカッと割れるエネルギーの大きさです。この膨大なエネルギーによって植物は光合成をし、地球の生命活動のほぼすべてが支えられています。
- ② 第二のエネルギーインプットは地球の内部熱エネルギーです。地球におけるエネルギー量の 0.013%(23 Terawatts)に相当します。太陽からのエネルギー量の 1/10000 の大きさですが、1 日当たりのエネルギーは M8.9 でかなりの大きさです。この地球内部エネルギーにより火山活動や温泉湧出、深海での熱水噴出などが起こっています。そして深海での熱水噴出口では化学合成による独立栄養微生物が発生し生存しています。これが暗黒の生態系と言われています。地球上の全生物を太陽エネルギーを起点とする生物(光合成生物とその従属栄養生物など)と暗黒生態系の生物とに分けてその量比を見れば 10,000 : 1 になり、これは地球におけるエネルギーバランスの比率にピタッと一致します。地球上の生物の量は地球へのエネルギー量で決まっており、生命の誕生・生態系の決定にエネルギーは重要な要素を持っていると言えます。
- ③ 第三のエネルギーインプットは月の潮汐エネルギーです。このエネルギー量は地球内部エネルギーの 1/10 です。地球と月の間の引力で生じる潮汐力は海水の満ち引きや地球の内部熱エネルギーに変換されています。40 億年前は地球から月までの距離は非常に近く、一日の長さ(地球の自転周期は地球と月までの距離に影響される)は 2 時間くらいで、月による潮汐は数百メートルの満ち欠けがあったと考えられています。その時の地球から見える月の大きさは空の 1/4 くらいあったと想像されます。その後月までの距離は少しずつ遠くなり、一日の長さは 24 時間になっています。しかし月の潮汐エネルギーを直接食べて生きている生物はいません。現在は月の潮汐エネルギーは潮汐発電等への利用が進められています。

## (2) 生命惑星「地球」の誕生とその進化

### 1) 化学合成エネルギー代謝（地球を食べる）生命の発見

1977年にアメリカの有人潜水艇Alvinが太平洋の深海底熱水噴出孔の周辺に地球内部エネルギーに依存した生態系「地球(内部エネルギー)を食べる生命体」を発見しました。深海底の温泉の周りにチューブワーム(3mくらいの大きさ)、ゴカイ・タニシのような無数の生物が生息しているのを見つけました。それらの生物は口、肛門がなく、エラに微生物をためて熱水を供給し有機物を合成し生命を維持しています。即ちこれらの生物は太陽光エネルギーに依存していない生態系であることが分かりました。私はこの発見で生命の誕生は深海底にあると確信しました。



### 2) 光合成で地表面が酸素で覆われる以前の世界「地球内部エネルギーによる生命の誕生」

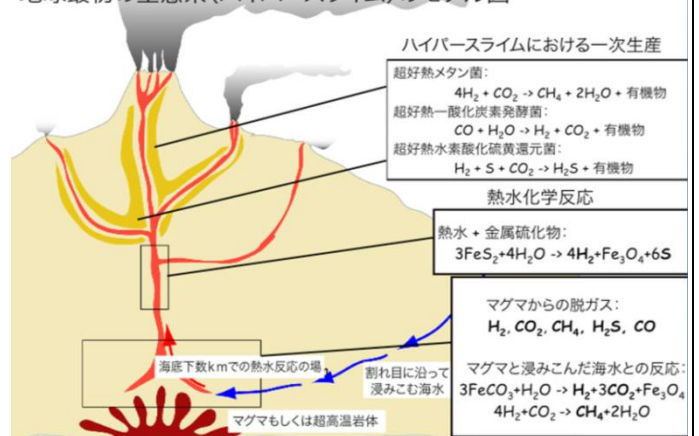
太陽系・地球の誕生は46億年前で生命の誕生は40億年前とされています。地球表面が酸素で覆われるのは、25億年前に地球の生命体が光合成をして酸素を大量に大気に放出してからです。地球上の生命の化石は40億年前から見つかっていますが、光合成に基づく生命の化石はいくら遡っても30億年前以降にしか発現してきません。40億年前から30億年前までの初期の10億年間は光合成に依存しない生命が地球に存在していたということです。そうした生命体は地球の第2のエネルギー（内部エネルギー）で誕生し、生命を維持していたと考えられます。さらに重要なことは、太陽系宇宙の他の惑星（その衛星も含め）のエネルギーバランスを考えると、太陽からずっと遠くに離れた惑星系では太陽エネルギーよりも内部エネルギーの方が大きくなると考えられ、地球と同様に内部エネルギーで生命が誕生している可能性があるということです。

### 3) 地球最初の生態系「ハイパースライム」の誕生モデル

現在の深海底熱水噴出口の海底面は40億年前の地球の深海底熱水活動域と同じ条件にはなりません。

25億年前から始まった光合成により、地球に大量の酸素が発現し現在の深海は酸素が満ち溢れています。先のアメリカの有人潜水艇Alvinが発見した深海底生命の中には酸素を吸って生きているものもあります。40億年前の深海底と同じ条件を再現するためには、酸素が入り込まない深海底熱水活動域を想定する必要があります。その条件として考えられるのが、右図で示した熱水噴出口の地底内部の海底下数kmでの熱水化学反応の場です。ここでは酸素の溶存はなく40億年前の姿を再現しています。この条件下で

深海底熱水活動域の海底下に存在すると考えられてきた、地球最初の生態系(ハイパースライム)のモデル図



有機物の一次生産システムを考え、地球最初の生態系「ハイパースライム」誕生のモデルとしました。

- |                                                                                                   |                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| ① 超好熱メタン菌: $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{有機物}$ | } ハイパースライム<br>{ 超好熱性化学合成<br>{ 独立栄養生命 |
| ② 超好熱一酸化炭素発酵菌: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_2 + \text{有機物}$ |                                      |
| ③ 超好熱水素酸化硫黄還元菌: $\text{H}_2 + \text{S} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{有機物}$ |                                      |

#### 4) 地球最初の生態系「ハイパースライム」の現在の深海底での探索

現在、世界の深海底には 550 か所以上の熱水鉱床があります。これらの熱水鉱床の中に「ハイパースライム」が存在する鉱床があるのか、噴出口から噴出する熱水を直接採取し、世界中の深海熱水活動域の探査を行いました。日本周辺の沖縄トラフや伊豆小笠原弧、パプアニューギニアの周りにはありませんでした。そして 2002 年に行われた「しんかい 6500」を用いた航海調査で、インド洋中央海嶺「Kairei」フィールドに「ハイパースライム」存在の証拠を得ました。世界で初めて、地球の内部エネルギーによってのみ支えられる微生物生態系「ハイパースライム」の存在が、微生物学および地球化学の側面から証明された大きな成果でした。

#### 5) 「ハイパースライム」が存在する条件「ウルトラH<sup>3</sup>リンケージ」<sup>[注1]</sup>

「ハイパースライム」は日本周辺の深海熱水活動域では存在せず、インド洋の深海熱水活動域には多く存在が確認できました。この違いは何なのか、熱水の化学組成を調べてみると、日本周辺の深海熱水は水素濃度が低く、「Kairei」フィールドの熱水は水素濃度が非常に高いことが分かりました。では何故「Kairei」フィールドの熱水は水素濃度が高いのか？ 熱水の化学組成は熱水が貫通してくる岩石・岩盤の種類により決定されます。それは家庭でスープを作る時に、鶏ガラを入れてスープを作れば鶏ガラスープになり、豚骨では豚骨スープ、カツオではカツオスープ、昆布では昆布だしスープになるのと同じです。深海熱水は鍋に岩石と海水を入れて煮たてただし汁と同じです。日本周辺の深海熱水活動域の岩石は安山岩が多く熱水には水素が含まれません。インド洋中央海嶺「Kairei」フィールドの岩石・岩盤は超マフィック岩<sup>[注2]</sup>であり、マフィック岩にはカンラン石が豊富に含まれており、それは高温の水と反応すると蛇紋岩に変わり、同時に水素を発生します。「Kairei」フィールドの熱水の高濃度水素はこの蛇紋岩化反応によってもたらされています。このように超マフィック岩の岩盤域で深海熱水活動が起こると高濃度の水素が発生しハイパースライムが存在するという関係性を「ウルトラH<sup>3</sup>リンケージ」仮説として提起しました。

**[注1] 「ウルトラH<sup>3</sup>リンケージ」仮説：**（「生命の起源はどこまでわかったか」（高井研編））

超マフィック岩 (Ultramafic rock) — 熱水活動 (Hydrothermal activity) — 高濃度水素発生 (Hydrogenesis)  
— ハイパースライム (HyperSLiME) — これらの関係性 (Linkage) を表している。

**[注2] 超マフィック岩** (英: Ultramafic rock、超苦鉄質岩) : (Wikipedia)

ほとんどがカンラン石、輝石、角閃石などのマフィック鉱物（苦鉄質鉱物、(Mg, Fe)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> 等）からなり、長石や石英などの珪長質鉱物（フェルシチック鉱物）をほとんど含まない岩石。

#### 6) マッカラム・ショック予想の証明、「40 億年前の生態系」を再現実証

マッカラム・ショック予想 (McCollom & Shock, 1997) は地下生物圏(特に深海熱水)微生物の生態系を支配するエネルギー論的原理、物理的法則を示しています。<sup>[注3]</sup>

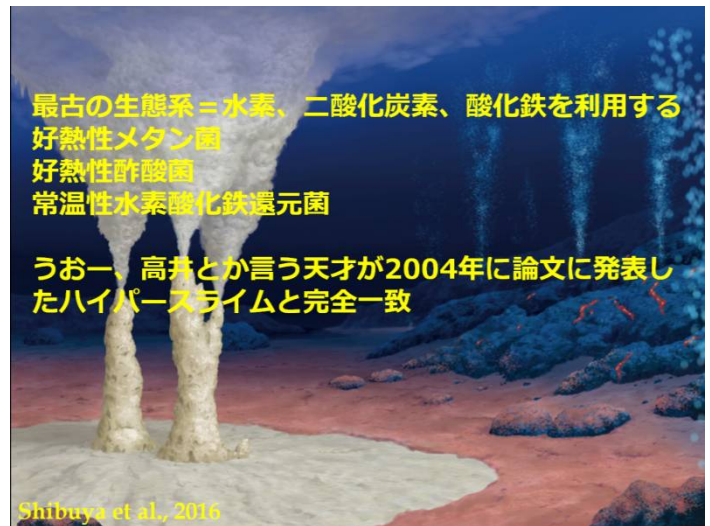
##### マッカラム・ショック予想 (McCollom & Shock, 1997)

- 1) 地質学的条件がその環境の化学環境を支配する
- 2) その環境の化学環境がその環境に起こり得るエネルギー代謝を支配する
- 3) その環境に起こり得るエネルギー代謝の多様性はその環境の微生物生態系を支配する
- 4) その環境に起こり得るエネルギー代謝は物理・化学条件から熱力学計算で予想できる

**[注3] マッカラム・ショック予想 (McCollom & Shock, 1997) :** (記録者補足)

地下生物圏微生物が行う代謝は、還元物質（電子供与体）と酸化物質（電子受容体）との間の反応として表すことができ、酸化還元反応から得られる生物利用可能エネルギー量は、その環境の熱水化学組成にもとづいた熱力学計算から求めることができる。化学エネルギー源たる還元物質（電子供与体）としては、水素、メタン、イオウ、および鉄が主たるものである (McCollom and Shock, 1997)。そして微生物のなかで電子供与体および電子受容体の双方とも無機物のみを使って生きられるものは、メタン生成菌、酢酸生成菌、および硫酸還元菌の 3 種であり、これらはいずれも絶対嫌気菌である (Stevens and McKinley, 1995; Stevens, 1997)。

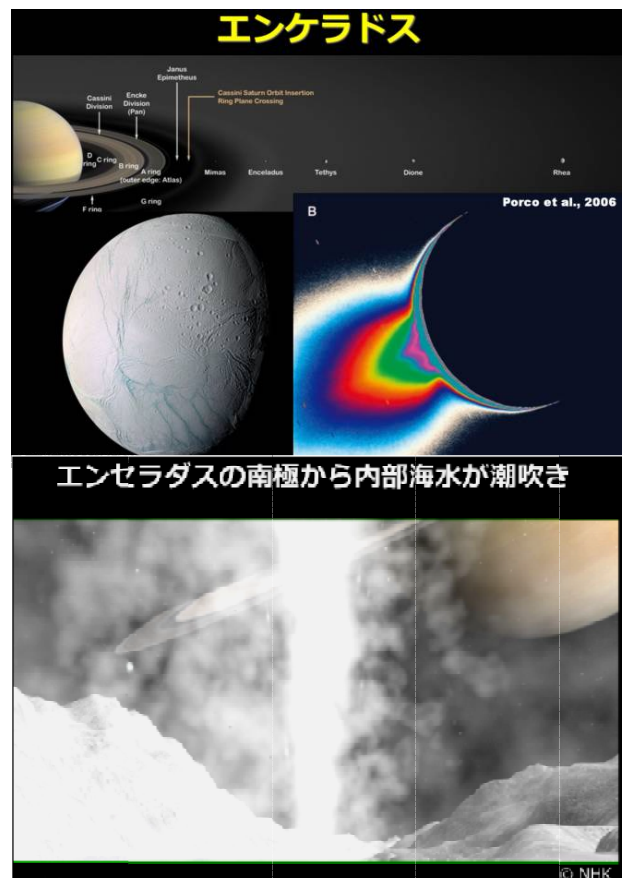
現生の海でこのマッカラム・ショック予想が正しいことを、実際にインド洋の「Kairei」フィールドの熱水鉱床でハイパースライムの存在を確認することで実証しました。では 40 億年前の海ではどうでしょうか、現生の海で正しいなら太古の海でも正しいと推測可能です。40 億年前の岩石と 40 億年前の海水を熱水実験装置（300℃、500 気圧）でモデル的に再現実験すると共に、コンピュータ上で反応させてどのような生物が誕生するかを計算すると、インド洋で見つけたハイパースライムと全く同じものが生まれることが実証できました。このように約 40 億年前の深海熱水活動域での生命の誕生と初期進化のシナリオを“JAMSTEC モデル”と呼んでいます。



### (3) 地球外生命探査への道

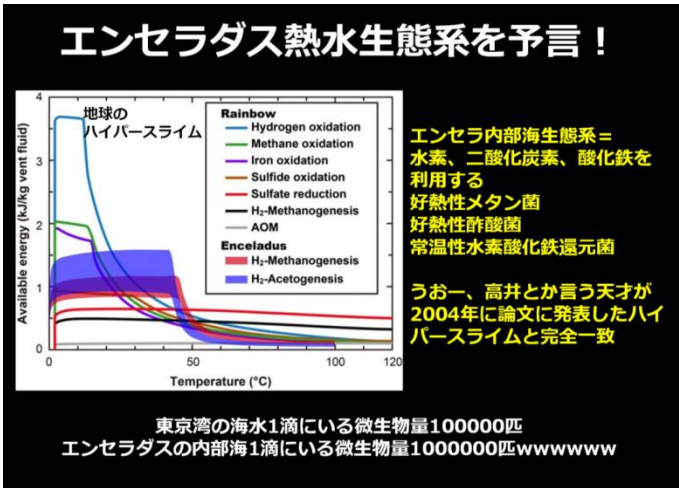
#### 1) マッカラム・ショック予想に基づく宇宙における生命存在可能性

マッカラム・ショック予想はいかなる生命にも当てはまる物理法則であり、一般性原理が存在することを予想したもので、それが現生の地球の海ではほぼ正しいことを実証しました。その物理法則は地球だけでなく地球外惑星を含めた宇宙にも当てはまるはずです。今の地球の海で正しいなら、今の地球外惑星の海でも正しいのではないかと？ 太陽系には地球以外に海のある星が複数個あります。木星より以遠の惑星の月（衛星）では表面が氷で覆われている月（衛星）がありますが、その月の内部核は惑星や他の月（兄弟衛星）との間で引き合う内部エネルギーで高温になり、表面の氷の下には水の海（内部海）があると推定されます。木星の衛星は小さいものを含めると 70 個以上、土星は 80 個以上の衛星がありますが、それらの衛星のうち海があると推定されるのは、**エウロパ**（Europa、木星の第 2 衛星）、**ガニメデ**（Ganymede、木星の第 3 衛星）、**カリスト**（Callisto、木星の第 4 衛星）、**エンケラドス**（Enceladus、土星の第 2 衛星）等 10 個以上あります。完全に海があると確実視されているのはエンケラドスです。2005 年に NASA の無人土星探査機カッシーニがエンケラドスに接近し、エンケラドスの南極から内部海水が潮吹きしている状態を写真撮影しました。そしてその噴き出した水蒸気を質量分析計で測定しました。その成分は塩化ナトリウムや炭酸塩が含まれており、地球の海水成分とほぼ同じであることが分かりました。海水と岩石核と内部エネルギーがあればマッカラム・ショック予想に基づく熱力学的計算で生命の存在を確認することができます。



2) エンケラドスにおける生命存在のシミュレーション

エンケラドスから噴出する水蒸気成分から、炭素質コンドライト [注4] の岩石核の存在と地球とほぼ同じ成分の海水の存在が強く示唆されました。これに基づきコンピューター上で深海熱水活動を再現し、生命存在のシミュレーション計算を行いました。また、JAMSTEC の熱水実験装置でモデル的に再現実験 (500℃、500 気圧、1 年間) をしました。その結果は、エンケラドス内部海生態系としてハイパースライム (水素、二酸化炭素、酸化鉄を利用する、好熱性メタン菌、好熱性酢酸菌、常温性水素酸化鉄還元菌) が存在するとの結果が出ました。さらに注目すべきはその存在量で、エンケラドスの内部海には東京湾にいる微生物量の 10 倍量の濃度の微生物が存在するとの結果です。



[注4] 炭素質コンドライト (carbonaceous chondrite) : (記録者注、世界大百科事典 第2版)

炭素化合物、水、その他の揮発性の化合物や元素を多く含むコンドライト隕石の一種。含水ケイ酸塩、鉄を多く含むカンラン石などの黒い細かい粒子 (約 1  $\mu\text{m}$  以下) と球粒状のコンドルールなどから成る。炭素質コンドライト (特に、タイプ 1 と呼ばれるコンドルールを含まない種類) は、一部の揮発性元素を除くと太陽大気とよく似た元素組成をもつ。揮発性化合物が多いこと、金属鉄などの還元状態の化合物を含まないことから、太陽系形成の初期につくられて以来、ほとんど熱変成をうけておらず、太陽系物質中最も始原的なものと考えられる。

2. 宇宙における生命存在の可能性を踏まえた「地球生命誕生のシナリオ」

(1) 生命の定義、生命の起源研究、

1) 生命の定義

生命の定義を初めて行ったのは 2400 年前の古代ギリシアの哲学者アリストテレスです。19 世紀以降も著名な天才がその定義を試みていますが、誰もが納得できるものにはなっていません。(下図)



生命でない無機物質から生命が誕生する事象を論じようとすれば、「生命とは何か」という定義が必要ですが、現在においてもまだ確たる定まった定義がないのが現状です。

2) 生命の起源研究はサイエンスではない、生命の起源を巡る混沌

古今東西、世界には「生命の起源や初期進化」に関する仮説、物語、主義、教典、妄想、etc が溢れかえっています。多くの科学仮説にはそれぞれ一理あり、実際この地球で起きたことは「世界に 1 つだけの話」であり、正しいか正しくないかを決着させることはできません。科学ができることは、確率論

的に可能性の大きさを見積もり、現時点でどの説がより確率が高いか、を示すことぐらいまではできませんが、結論をだすことはできません。これはボクシングでだれが一番強いかを戦い、防衛戦をするのと同じで、どの説が現時点のチャンピオンで次の有力な説（挑戦者）はどこから現れるのか、といったドラマのようになっています。従って、生命の起源については、私を含めまともな研究者はあまりやりたくなかった命題になっています。

### 3) 生命の起源研究は… なぜ真実を見つけることができないのか

生命の起源は科学哲学上の問題であり、サイエンスでは解けないとも言われています。「科学的な真実」とは「帰納と演繹」の相互妥当性と「反証可能な方法の存在」によって「決断される」ものです。我々の知る生命は一例かつ一度きりの事象なので何が生命なのか、生命誕生が必然なのか偶然なのか判断できません。帰納(理論)と演繹(観察)が通用しない、「反証可能な方法」の無い問題になっています。「我、生命の起源を思う。ゆえに我あり」これはほとんど妄想の世界です。科学と妄想の境界であり、先ほどはプロボクシングと言いましたが、どちらかというショー要素の強いプロレスの世界です。いろいろな説が過去に有りまた新しく出てきますが、知的好奇心として楽しむような話です。私は「生命は深海熱水で誕生した」派ですが、日経サイエンス[2018 年 3 月号]は、「生命の起源、それは海ではなかった」と挑発するような特集記事を出しています。

### 4) 生命誕生を巡る多神教派 vs 一神教派、偶然派 vs 必然派

生命誕生の起源について多神教派と一神教派、偶然派と必然派があります。私は多神教派を妖怪人間ベムベラベロオープニングアニメ説、一神教派を今西錦司進化論的説と仮に名付けています。

その内容は、

#### ① 多神教的生命起源説（多系統的生命起源説）：(妖怪人間ベムベラベロオープニングアニメ説)

複雑かつランダムな有機物から、機能をもった有機物ネットワークが進化し、あまたの生命が生まれ、そのうちの一つが持続的な我々の祖先生命として選択された。

#### ② 一神教的生命起源説（単系統的生命起源説）：(今西錦司進化論的説)

非常に単純な有機物からちょっと複雑な有機物ネットワークが誕生し、その有機ネットワークの自己組織化と定向的進化によって、生まれるべく形の生命が生まれ、我々の祖先生命となった。

この生命誕生の起源は生物学最大の謎であり、生命の起源を巡るブラックホール(ニック・レーン)になっています。現存する地球生命の遺伝的共通祖先は解明されています(LUCA: 深海熱水に生存しているハイパースライム様の生命)が、「生命の誕生」と「共通祖先」の繋がりの部分は未解明になっています。右図はその関係を示したものです。

#### (A) 単独単系統生命起源モデル

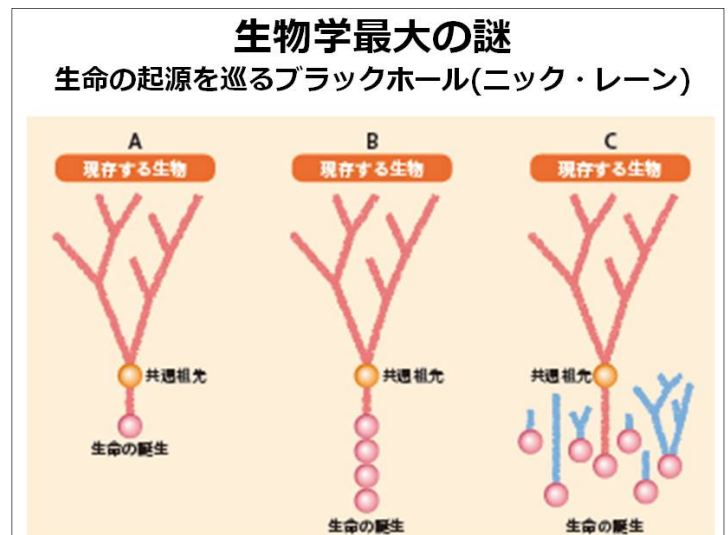
- ・ある条件で一つの生命が誕生し、それが現在の生物の共通祖先に進化した。

#### (B) 多重単系統生命起源モデル

- ・ある条件で一つの生命が誕生するが何らかの条件で没滅し、またその同じ条件で誕生し没滅する。その一定の条件で誕生⇒没滅を繰り返しているうちに、ある時に共通祖先に進化するものが現れた。

#### (C) 多重多系統生命起源モデル

- ・色々な条件で様々な生命が誕生し、その内の一つが共通祖先に進化した。



## (2) 生命とは何か → 生命の本質とは何か

### 1) 生命の誕生に必要な要素の第一はエネルギーである

生命とは何かについて今現在の 100 点満点の答えはありません。但し、それに答えるべき本質はあります。その最も重要な本質はエネルギーです。エネルギーがないと生命は誕生しないし、持続的にその生命を維持することはできません。現在の地球上には太陽エネルギーに由来する生物と地球内部エネルギーに由来する生物が存在していますが、その生物量比は地球におけるエネルギーバランスの比率にピッタリと一致します。生命の誕生・生態系の決定にエネルギーは重要な要素を持っていると言えます。

### 2) 生命の誕生に必要な第二の要素、元素供給とその利用性

エネルギー論的生命存在条件とその持続性が満たされた場合、次に重要な制約因子が出現します。生命の誕生に必要な第二の要素、それはおそらく元素供給とその利用性です。地球上のすべての生物が生命活動を維持するのに不可欠の元素は、炭素(C)、水素(H)、酸素(O)、窒素(N)、硫黄(S)、リン(P)の6種類の元素です。それらの元素は生命体の構成要素になっています。そして、生命は複雑な化学反応で生命を維持していますが、その化学反応はほとんどがタンパク質の反応です。そのタンパク質の中心部には微小元素が配置されていて、その元素の違いにより生命を維持するための様々な働きの違いを作っています。そのための微量元素として、上記元素に加えて、鉄(Fe)、ニッケル(Ni)、亜鉛(Zn)、銅(Cu)、カルシウム(Ca)など、少なくとも 20 種類以上の元素が必要です。そしてそうした元素を生体内に取り込むためには、元素はイオンとして溶媒(水)の中に存在している必要があります。元素の利用性を保証する溶媒として、水は必須で重要な物質となります。

### 3) 生命の誕生に必要な第三の要素、有機分子

生命の誕生と持続的な生命活動には、機能の多様性が必要であり、機能の多様性は構造の多様性に依ります。生命体の構造を作る骨組みとして、柔軟な動きが可能な有機分子が必要です。

以上述べたように生命の誕生に必要な要素・条件は、第一位がエネルギー、第二位が元素供給とその利用性、第三位が有機分子であり、生命誕生の可能性を論議・確認する時にはこの要素の順番に従って確認することが重要です。

## (3) 生命誕生のシナリオとその評価

### 1) 生命誕生シナリオの可能性の大きさはどのように評価すればいいのか

地球生命の誕生を考えるときに、その生命誕生の可能性の大きさはどのように評価すればいいのか、次にまとめました。ここで重要なことは、生命が誕生した後にその生命が安定的、持続的に存続していけるのか、という生命の持続性の観点からの評価です。そしてその生命が残した形跡を現在の地球上の化石等で検証できることが必要です。

#### <生命誕生の可能性の評価>

#### ① 原始生命が発生する可能性の大きさ

- 生命が利用できるエネルギーの豊富さ(量)
- 必須元素の利用しやすさと適正さ
- 非生命的に合成される有機物の量と適正さ

#### ② 原始生命が存続(持続)する可能性の大きさ

- エネルギーと元素供給の持続性と安定性
- 生命が拡散・伝播し、持続確率を高めることができるハビタブル環境の豊富さと適正さ

#### ③ 地球と生命の進化記録との整合性

- 化石等でその生命が存在していたことを検証できること

## 2) これまでの生命誕生のシナリオに欠落していた視点＝生命の持続性の観点

## ①「ウナギの産卵と回帰」に観る、生命の持続性の評価

ニホンウナギの養殖は天然で捕れる稚魚シラスウナギに依存していますが、絶滅危惧種のレッドリストに登録されています。親ウナギは 2000 km 離れた太平洋のグアム島やマリアナ諸島の西側沖まで回遊して産卵し、その仔魚（レプトセファルス）は海流に乗りシラスウナギとなり日本に帰ってきます。産卵をしてから日本の河川に帰還し成魚になるまでには様々なリスクがあり、その生命の持続性を評価すれば、生存確率はおよそ 1000 万分の一になります。

## ◎ ニッポンうなぎの生活史や生態（産卵から回帰までの生命の持続性評価）

$$\begin{array}{ccccccc} \text{卵} & \Rightarrow & \text{レプトセファルス} & \Rightarrow & \text{シラスウナギ} & \Rightarrow & (\text{捕獲}) \Rightarrow \text{成魚 (帰還)} \\ 10000000 & \times & 0.01 & \times & 0.005 & \times & (0.002) = 1 \end{array}$$

## ② 地球の生命誕生から共通祖先に至るまでの生命の持続性評価

地球の生命誕生についても、生命誕生の初期進化から共通祖先に至るまでの各段階で、生命の持続性とリスクを確認し、その生存確率と持続性評価をすることが重要です。

## ◎ 地球生命の誕生と初期進化（共通祖先に至るまでの生命の持続性評価）

1) 化学進化  $\Rightarrow$  2) 有象無象の原始生命  $\Rightarrow$  3) 原始持続的生態系  $\Rightarrow$  4) 祖先型生態系  
各段階での必要な要件と評価のポイント

1) 化学進化：非生命的に（無機物質から）合成される有機物の量

2) 有象無象の原始生命：生命が利用できるエネルギーの豊富さ（量）と  
必須元素の利用しやすさと適正さ

3) 原始持続的生態系：エネルギーと元素供給の持続性と安定性

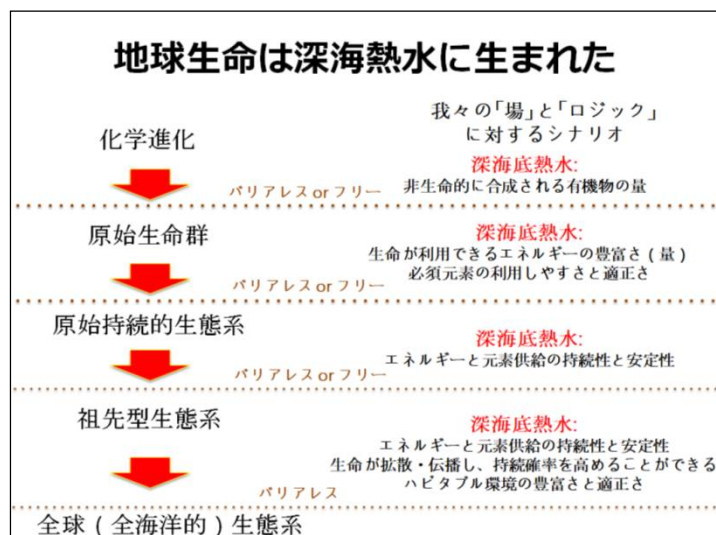
4) 祖先型生態系：エネルギーと元素供給の持続性と安定性

生命が拡散・伝播し、持続確率を高めることができるハビタブル環境の  
豊富さと適正さ

## 3) 地球の生命誕生の「場」について、そのシナリオと生命の持続性評価をしてみると

地球の生命誕生の場として、① 深海熱水域誕生説、② 陸上温泉誕生説、③ 火星で誕生説の各シナリオを、初期の化学進化から共通祖先に至るまでのリスクを確認し、生命の持続性評価を実施しました。

## ①「地球生命は深海熱水域で誕生した」説：高井 研ら（Takai et al., 2004）



・深海底熱水域においては、化学進化  
 $\Rightarrow$  原始生命群  $\Rightarrow$  原始持続的生態系  
 $\Rightarrow$  祖先型生態系 への進化の各段階  
で、必要な要件は十分に満たされている。

・生命誕生の化学進化から祖先型生態系に移行していく過程がすべて深海底熱水域であり、バリアレス・バリアフリーである。

## ② コマチアイト温泉で地球生命は誕生した」説<sup>[注5]</sup> : スザーランド (Sutherland, 2016)) ら

- ・化学進化の場合は陸上火山と温泉熱水循環域であるが、40 億年前の地球に陸がたくさんあったか？
- ・コマチアイト火山の頻度とエネルギー供給としての温泉熱水循環の安定性が十分であったか？
- ・淡水系から海水系への伝播・適応は最大の障壁である。(生命の共通祖先は深海底)

[注5] コマチアイト (英: komatiite) : (Wikipedia 他)

超苦鉄質 ( $(\text{Mg}, \text{Fe})2\text{SiO}_4$  等からなる) マントルに由来すると考えられる火山岩の一種。マグネシウム分が 18% 以上と高く、シリカ他の成分が少ない特徴を持つ太古代 (25~35 億年前) の岩石。超マフィック岩の一種。

## ③ 「火星で地球生命は誕生した」説 : ジョゼフ・カーシュビンクラ (Kirschvink et al., 2003)

- ・化学進化から原始持続的生態系までの進化の場として、火星のどこか？よくわからないという障壁。
- ・火星から地球 (深海熱水域) への 伝播・適応は巨大障壁。

リスクヘッジから見た生命誕生の場について、生命の持続性を評価した結果、深海熱水域は陸上温泉に比して格段に生命の持続性が高く、危険率を出して算出すれば 1 億倍の生命存続可能性があります。

深海熱水 >>>> 陸上温泉、 >1 億倍の生命存続可能性、 >1 億倍安全

## 4) 地球生命は深海熱水域で誕生したとする最大のアドバンテージ

地球生命の誕生について深海熱水域の最大のアドバンテージは、進化の過程での必要な要件がすべて同じ場所で揃っていることです。そして生まれた生命体は、熱水噴出口のチムニーにある無数の小さな孔の中で集団で生存するため、死の確立が非常に少ないことです。JAMSTEC では「深海熱水で地球生命は誕生した」PV (プロモーションビデオ) を作り、その考え方を普及しています。

## (4) 宇宙における生命存在条件

### 1) Habitability とは何か

宇宙における生命存在条件は、まず第 1 位にエネルギー供給、第 2 位に元素 (水)、第 3 位に有機物の存在と言いましたが、この 3 つがある一定の条件で存在することにより、生命が宇宙の中で生きていきます。この一定の条件にあることを Habitability (ハビタビリティ、生命存在可能性) があると言います。そしてこの生命が存在できる領域のことを Habitable zone (ハビタブルゾーン、生命存在可能領域) と言います。それではエネルギー、元素 (水)、有機物を個別に見た場合の条件はどのようになるのでしょうか。どういう条件であれば生命が誕生し持続的に生存することができるのか、を次に考えてみましょう。

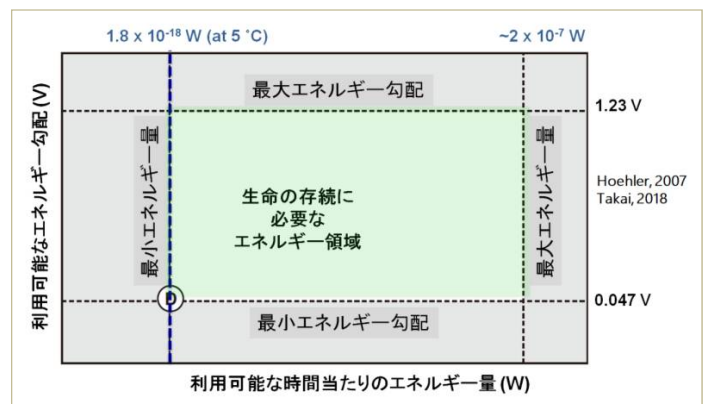
### 2) エネルギーから見たハビタビリティ (Habitability)

#### ① 生命の存続に必要なエネルギー領域

宇宙において生命が存続できるエネルギー条件は、右図のようになります。これは 2007 年にホエラー (Hoehler) が概念として示したものに、高井 (Takai) が 2018 年に、現存する地球生物の実験・観察に基づき具体的な概算値を加えたものです。生命一個が生きるのに必要とするエネルギー領域を電気エネルギー単位<sup>[注6]</sup> (V・W) で表しています。一般的な家庭で使用するコンセントは 100V・100W ですから、この図では右上方のかなた先になります。もっとも小さな家庭電化製品である LED 電灯は 1.4V、0.35W ですが、それでもこの図の範囲には入りません。

人間は 1V、100W で生命を維持していますが、体内には 37 兆個の細胞があり、一つの生命 (細胞) でみれば、この図の真ん中に入ってきます。

[注6] (記録者注) : エネルギーは様々な単位で表示できる。電気エネルギーの 1 W・hr は約 0.86kcal となる。



## ② エネルギー論から見た生命誕生の場

ダーウィンは地球生命の誕生を「暖かい小さい池」としました。これをエネルギー論的に再検証してみましょう。10m x 10m x 10m の水たまりに最低限度の生命(100 細胞/cc)が蔓延するのに必要な時間は、今の微生物並みの増殖速度で全く失敗せずにどんどん増殖したとして 20 年の時間が必要です。つまり生命が誕生するためには生命を生み出す絶妙なエネルギー環境が最低 100-1000 年以上は安定して存在しなければならないということです。これまで様々な生命誕生のシナリオが提起されてきましたが、このような” エネルギー量 x 時間” といった視点での考察がほとんどされていませんでした。宇宙における生命の誕生は、エネルギー論を抜きに論じることはいけません。

## 2) 元素(水)から見たハビタビリティ(Habitability)

元素の無い空間では生命は誕生も存続もできません。宇宙の中で元素は岩石の中にありますが、生命が元素を有効に利用するためには液体中にイオンとして溶解していることが必要です。最も普遍的かつ豊富な宇宙の液体は水です。宇宙の中で生命が誕生し存続するためには液体の水があることが重要な条件です。地球の表面は 70%が水で覆われており、生命の誕生、存続にはとても良い条件です。先に述べた木星の衛星エウロパ (Europa)や土星の衛星エンケラドス (Enceladus) は、星の表面は凍っていますが氷の下には内部海(液体の水)があり、ハビタブル(Habitable) と言えます。

## 3) 有機物から見たハビタビリティ(Habitability)

### ① 有機物の存在がハビタビリティ(Habitability) か？

宇宙(惑星)には、エネルギーも元素も水もありふれて存在しています。だから生命の誕生に有機物が注目され、有機物の起源が生命の起源を考えるはじめての一步とされてきました。ミラー(Miller) は 1953 年に「ユーリ・ミラーの実験」で、フラスコ内に入れた疑似原始大気に雷放電を行うことにより有機物が生成されることを実証しました。しかし地球創世記の大気は実験条件と異なり、現在では注目されなくなっています。セーガン(Sagan)は、宇宙には有機物はあふれており、隕石の中にも有機物はある、として宇宙飛来説を展開しました。しかし現在の科学では、宇宙から飛来する有機物は石炭、タールのようなものであり、とても生命の始原となるものではないことが分かってきました。また、39.5 億年前の地球生命の痕跡化石(化学化石)の炭素、窒素の同位体 ( $^{12}\text{C}$ 、 $^{13}\text{C}$ )、( $^{14}\text{N}$ 、 $^{15}\text{N}$ ) 分析結果では、その生命は宇宙由来のものではなく地球起源であることが示されました。現在、化学合成技術の高まりで生命を構成するすべての有機物は有機化学的に合成することが可能になっています。しかしそのようにして合成されたすべての有機物を水中のある一定条件にならべても(混合しても)生命は誕生しません。またそうした有機物を合成した条件をすべて満足するような自然条件はないでしょう。従って、上述のように単なる有機物の存在だけでは、生命誕生のハビタビリティにはなりません。

### ② 有機物のハビタビリティは、生命(有機物)の進化が起きるのに適した条件(領域)があること

生命の誕生は、単純な有機物から生命の共通祖先にまで進化する条件がなければ起こりません。この進化する条件が揃っている領域を有機物のハビタブルゾーンとすることができるのではないのでしょうか。そうした有機物のハビタブルゾーンは地球のどこにあるのか、それが、私たちが研究している深海底熱水域です。海底熱水域での「岩石(超マフィック岩)―熱水―化学合成生命(有機物)」の相互作用の場は、化学合成生態系の 1)化学進化  $\Rightarrow$  2)有象無象の原始生命  $\Rightarrow$  3)原始持続的生態系  $\Rightarrow$  4)祖先型生態系への進化の場でもあり、地球・地球外惑星・衛星における熱水系生命のハビタビリティ(habitability)と考えることができます。

## (5) 深海底熱水域における生態系の進化(仮説)

### 1) 深海熱水メタボリズムファースト仮説

生命の進化の段階として、まず初めに単純な無機物から代謝生命(メタボリックライフ)が誕生し、

その代謝生命が自前で代謝し分裂しながら必要な機能（生存に有利な機能）を獲得し進化していく、このときの生命は遺伝メカニズムを持たずに代謝して分裂を繰り返し増殖する、と考えるのがメタボリズムファースト説です。ホイザー（Iron-Sulfur World 仮説, Wächtershäuser, 1988b）は深海熱水噴出孔のチムニー周辺にある硫化鉱物が二酸化炭素を固定し生体有機物生成に重要な役割を果たし、代謝生命の誕生に繋がったと唱えました。

## 2) 深海熱水電気化学メタボリズムファースト仮説

JAMSTECは2014年頃に深海熱水噴出孔のチムニーの岩体に電流が流れているのを発見しました。それは熱水域の岩体を数kmにわたり電流が流れる発電現象〔注7〕です。この電流により深海熱水域では電気化学反応が起こっていると推定しました。ホイザーが唱えた反応（硫化鉱物が二酸化炭素を固定して代謝生命ができる）や、その他の多種多様な反応が電気化学的に起こるため、代謝生命の進化にとり非常に有利な場になっていると考えることができます。

JAMSTECでは深海熱水域の電気化学反応系を再現できる実験設備を考案し、検証実験を実施しています。人間の身体は2000種類くらいの化学反応（代謝生命）でできています。一番単純な代謝生命は500種くらい、さらにしぼり込むと200個くらいの代謝生命があれば生命を維持できます。その中で重要な代謝生命50個を選び、まずその50個の代謝生命を作ればあとは必要な代謝生命は代謝生命自身が自分で作り出すと考えました。そしてたんぱく質がない状態で、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、と電気のみで代謝生物ができることを確認しました。現在は50個のうち30個くらいの代謝生物ができるところまで確認しています。さらに実験を進めて50種の代謝生命を作り出すうちに、代謝生命を包む膜ができ、さらに遺伝メカニズム（遺伝生命）と融合できれば、我々が深海熱水域で見つけた共通祖先型の生命に到達することができます。

### 〔注7〕 深海熱水活動域における発電現象：（「生命の起源はどこまでわかったか」（高井研編））

熱水には電子( $e^-$ )を放出しやすい硫化水素( $\text{H}_2\text{S}$ )が、海水には電子を受け取りやすい酸素( $\text{O}_2$ )が大量に含まれている。硫化鉱物を主成分とする熱水噴出孔の鉱物は電極触媒と導体として機能し、硫化水素から電子を受け取り、酸素に渡す。

## 3) 遺伝特化生命の誕生、進化は深海底熱水域で遅れて起こる（仮説）

メタボリズムファースト説では、初めに代謝生命が誕生し代謝分裂を繰り返して様々な機能の代謝生命を作り出す。遺伝特化生命は別のステージで遅れて誕生し進化する。その後代謝生命と遺伝特化生命は相互作用を繰り返しながら終には融合一体化して遺伝情報を持つ共通祖先型生命の誕生となる、と考えています。遺伝特化生命は、初期の生命が深海熱水域の鉱物の表面で作られることから、鉱物表面の電化的な+-の規則性に従って、規則性のある電解物質構造を持つ高分子生命体に進化していき、最終的にDNAのような構造を持ち、遺伝特化生命へ発展したと考えることができます。この考え方は今後の研究によって明らかにしていく必要があります。

JAMSTECではいろんな分野の組織、研究者と連携し、地球および宇宙における生命の起源・進化・分布について研究を進めています。（大日本アストロバイオ研究所）



## (6) 宇宙の海に生命を探す

さらに帰納的にも検証可能！ です。

宇宙で生命が誕生しているのを確認できれば、観察で（帰納的に）証明ができます。

エンケラドス・Europa で、同じ生命が存在しておれば一神教説（深海底熱水域で生命誕生）の正しいことが実証されます。まったく別の生命であれば多神教説になります。これはもう

**エンセラダス生命探査に行くしかない**

**たったの 500-1000 億円！！**

これは現在、クラウドファウンディングで資金を募る等、実現への努力をしています。

エアロジェルで氷の粒を補足しカプセルに閉じ込めて回収する。そうすれば、2400 年間、人類が誰も解けなかった最大の謎が解けるんです！ 生物学が本当に生命の誕生を論ずることができるようになります。



以上、今回の講演で「生命の起源はどこまでわかったのか」、どうすればわかることができるか、を最新の話題を含めて示すことができました。少なからずご理解していただけたものと思います。

（講演 以上）

## 【質疑応答】

1. 生命が光のエネルギーを使えるようになる前の生態系とは？ 光エネルギーが使えるようになってからの進化は必然的なものでしょうか？

A：暗黒のエネルギー、化学的エネルギーのみでは微生物しか存在できません。光合成ができるようにならないと大きな生物（動物、植物）は生まれません。光合成で酸素が生まれないと多細胞生物が発展しません。生命が生まれるまでの進化は物理化学的で必然性がありますが、生命が生まれた後の進化は偶然性があります。特に地球上が酸素で覆われた後の進化は偶然的で物語性があります。

2. 深海熱水チムニーに電気が発生しているのは、どのようにして測ったのでしょうか？

A：計算上の電流電圧は、そこに存在している化学物質の成分、状態から計算することができます。そして帰納的にはチムニーのある現場で実測しました。具体的には電流電圧計で実際に計測しました。

3. 論より証拠で我々は現在ここに存在していますが、その存在証明はできるのでしょうか？

A：我々はどこから生まれたか、我々がどのように進化してきて現在ここに存在しているのか、については必然性や偶然性が積み重なり、それを証明するのは非常に難しいですし、私はそれを証明しようとは思ってもいません。私が取り組んでいるのは、私たちの祖先となる最初の生命がまったくの無から原始生命として誕生し、どのようにして共通祖先に進化したかの過程を解き明かそうとしているのです。

4. 生命の誕生とは一言でいえばエネルギーのことでしょうか？

A：そう単純ではなく様々な条件が揃って必然的に生命は誕生しています。エネルギーはその第一番目に必要な要素です。簡単には一言でまとめることはできません。

5. 熱水誕生説が有力に聞こえましたが、熱水の温度はどれくらいか？ 現在の生命（ヒト）はなぜ 100 度でやけどをするのか？

A: 今の深海熱水の温度は最高で 469℃であり、その周りの海水は 1~2℃です。熱水誕生説と言っていますが、生命はそのような高温の熱水中で生まれたのではなく、熱水と海水の間の平衡的な温度の中で誕生します。40 億年前の海水温は 50℃くらいであり、生命の誕生は最高でも 120℃くらいまでの温度であったと推定しています。現在の生物（ヒト）は 20~30℃位の温度条件で生存できるように細胞が設計されているので、100℃の温度ではやけどをします。では現存する生命は何度までの温度で生きられるか？といえは 122℃が最高です。これは私の実験での記録で世界記録になっています。

6. 共通祖先は一つの生命から生まれたとのことですが、二つの生命から生まれたと考えることはできますか？他の星ではそのようなになっていることはあり得ますか？

A: その考え方はできます。物理法則には揺らぎがあり、その振れ幅が大きくなればそういうことは起こります。しかし我々に到達する共通祖先になるのはその中の一つの生命です。また今の、現生のあらゆる生物(生命)の祖先をずっと遡っていけば一つの共通祖先にたどり着きます。一つの生命が一つの共通生命になりそこから分化して様々な生物(生命)になっています。宇宙において生命が生まれているとすれば、我々と同じような共通祖先型の生命でしょう。宇宙では生命は一つのものからでしか作れないし誕生しません。それは宇宙に存在している物質が地球を含めすべて同じであるというのが理由です。(生命の誕生は一神教である)

7. 今の質問と同じですが、地球内の生命の起源、生命については DNA、RNA ワールドの世界をどのように論ずるかということだと思いますが、地球外の生命については、物理化学的な存在ではなく哲学的な別の生命の存在があるのではないのでしょうか？

A: おっしゃる通りで、実は現在、この地球でも研究者が作った人工生命はあり、自然界の生命とは全く異なる生命があります。しかし生命の定義にもよりますが、理論上自然界に生まれるのは、一個の生命しかありません。宇宙空間で自然の物質、自然の状態から生まれる生命は一つだけです。但し、宇宙自体がマルチ宇宙で、今我々が存在している宇宙以外に別の宇宙があるとすれば、そこではどのようなになっているかはわかりません。

8. 今の現実の世界では、生物の絶滅危惧種が多くなっている一方で、新しい生命（生物）の新種発見が多ありますが、それは新しく生命（生物）が生まれているのですか？

A: 新種発見は今までに見つけられていなかった種が見つかっただけです。人為的に交配などにより新しい種を作り出そうとしている人もいますし、実験室で新種を作っている人もいますが、それは例えば今の生命である大腸菌をスタートにして何世代も条件や環境を変えて人工的に進化(?)させているような物です。まったく無から生命を作り出しているではありません。

9. 一つの共通型生命を起源として多種多様な生命(生物) が生まれたが、現在では生存していない生物がありその証拠は残っています。それでは、多神教説で多くの生命が生まれ、その中の一つが共通型生命になったとすれば、その淘汰された生命の存在を証明するような化石(痕跡)のようなものはありますか？

A: 初めに言われた、滅び去っていった生命（生物）は多くあります。恐竜がそうです。しかし生命の誕生の時代に、多神教説で多くの生命が生まれて一つの共通祖先になったとした場合に、淘汰された生命はどうなったのか？ということですが、多神教説の共通祖先にならなかった生命は現在の地球上では共存していませんし、その証拠、痕跡も見つかっていません。

10. メタボリズムファースト説で生命の進化を代謝生命と遺伝特化生命に分けられて、代謝生命が初めに誕生し進化したとするのは理解できますが、遺伝特化生命の進化で説明されたように、タンパク質の DNA や RNA がそう簡単に発生、進化できるとは思えないのですが、現状はどのように研究が進められているのでしょうか？

A : RNA の発生誕生は、めっちゃ奇跡っぽい偶然があるのかもしれませんが。安定した海ができた後でも RNA ができるまでに 1 億年位の時間がかかったのかもしれませんが。RNA の発生誕生が奇跡的だと言われるのには同意します。しかし生命の発生場としての岩石鉱物の表面(生命体が棲むチムニーの微小孔の内表面)が電気化学的に (+) (-) の規則的な並びになっていたという事は、その棲みごこちの確保という事で、その生命の身体末端を (+) (-) にあわせて酸(リボ核酸)、塩基(アデニン(A)、グアニン(G)、等)として進化したと考えるのは論理的ではありません。RNA がないと生命とは言わないという人もいます。私たちは生命の誕生は、代謝だけでも生命ということで研究を進めています。タンパク質や RNA の発生誕生には窒素原子が必要です。窒素分子は化学的に非常に安定ですが、生命が体内に取り込むためには窒素はアンモニアのような水中でイオン化できる形でなければなりません。JAMSTEC ではここでも電気化学反応が一つのキーを持っていると考えています。高温高压で実験できる電気化学セルを開発しこの問題の研究を行っています。

#### 【田中克先生コメント】

1. 大阪人は何で一言で結論をまとめたがるのか、これは大阪人の特色であるかどうかは別にして、我々の年代になれば私も含めてそう先は長くはありませんので、結論が早くほしいという事の現れなのかもしれません。
2. 今日は「生命の起源」というテーマ自体が非常に面白いお話でしたが、こういう科学者こそ現在求められているのだと感じました。今日は研究者 高井研の成長、進化そのものを見せて頂いたなと思っています。そして今日の「Q & A」は非常に活発なものでしたが、聴講者の皆さまの興味の現れと発表された内容の理解が深まった結果だと思います。今後の「Q & A」の前例になればと思います。
3. 物事の原点を探るのが今年度のテーマですが、生命の起源として、我々が現在生きている生命の共通の祖先のさらに以前の「生命の誕生」について興味深い内容で講演いただきました。少し話題を変えて、漢字で書く生命は「いのち」とも読めますが、物理的な生命とは別に今日のお話が「心豊かに暮らす命(いのち)」につながればと思います。
4. 次回の西田先生の講座は、おそらく 3.6 億年前位の「人類の遠い祖先」のお話になりますが、今日はその 10 倍以上の以前の 40 億年前の「生命の誕生」の話でした。「生命の誕生」から「人類の祖先」と繋がっていきます。高井先生、本日はどうもありがとうございました。

以上