

宇宙における生命の起源と生命探査： 惑星科学フロンティアセミナー 2018参加報告

野口 克行¹，木村 駿太²

1. はじめに

2019年2月18日から19日にかけて，2018年度の惑星科学フロンティアセミナーが札幌市北海道大学において開催された（図1）．今年度は東京薬科大学の山岸明彦氏を講師に迎え，宇宙における生命の起源と生命探査というテーマでの講演であった．総勢25名の研究者と学生が参加し，2日間とも朝から夕方までの日程であった．講師の山岸氏からはこまめに質問の時間を取っていただくことで，参加者からの活発な質疑応答があった．ここでは，筆者らのメモを元に，講演の内容を振り返りながら本セミナーの様子を簡単に紹介する．セミナーの詳細や講義ノートは，惑星科学会のWebページ（<https://www.wakusei.jp/meetings/fs/2018/2019-02-18/index.html>）を参照されたい．

2. 講演概要

講演は，1日目に主に生命の起源や進化に関する内容，2日目は生命の定義や地球外生命に関する内容であった．

2.1 生命の起源

セミナーの初めに，宇宙の誕生及び元素の生成，太陽系や地球の形成についての簡単な紹介があった後，生命が誕生するにはどのような過程が起こりやすく，どのような過程が困難であるのかという点についての

解説があった．例えば，アミノ酸は自然界での生成が比較的容易で，既に隕石等からも見つかっている．しかし，そのアミノ酸が組み合わさったタンパク質や酵素，さらにはDNA，そして生命となると途端に偶発的な生成が難しくなる（つまり，生命の誕生までの各ステップには，大きなギャップが存在する）．個人的な話であるが，生物学の教科書で触媒としての酵素の解説やその複雑な模式図を初めて見たとき，このようなものが自然に生成し得るのかと，驚きを超えてショックを受けた記憶がある．生命の誕生において，どのような物質の生成過程が困難であるかということを知ることは，取りも直さずそれこそが今後の研究で焦点を当てるべき点であろうと感じた．

生命の起源に関する話題として，RNAが重要な役割を果たしたというRNAワールド仮説の解説も重点的に行われた．この仮説が誕生した背景としては，タンパク質はDNAの情報を元に生成される一方で，そのDNAはタンパク質の触媒機能により生成されるという事実が挙げられる．いわゆる「鶏が先か，卵が先か」の話であるが，この問題を解決し得るのがRNAワールド仮説とのことであった．RNAが遺伝情報とタンパク質機能を兼ねることで，まずRNAによる自己複製系が成立した，という仮説である．この仮説を導入することで，生命誕生における上述のギャップの一つを埋めることができる．遺伝情報と触媒機能を兼ね備えた分子であるリボザイムの発見が鍵となり，RNAワールド仮説は現在では世界中の研究者から広く受け入れられているとのことであった．RNAゲノム生物はその後進化してDNAゲノム生物が誕生した．それらは様々な温度に適応したが，超高熱菌のみが生き残

1. 奈良女子大学自然科学系

2. 東京大学農学生命科学研究科
nogu@ics.nara-wu.ac.jp

り、現在の全地球生命の共通祖先、コモノート(LUCA, 祖先細菌などとも呼ばれる)となったと考えられている[1].

2.2 生命の進化

ダーウィンの進化論、例えばヒトはサル(との共通の祖先)から進化したということは多くの人が知識として知っていることであるが、形態からだけではなく分子遺伝学という新たな科学的手段によって我々の祖先が何から進化したのかということが明らかになりつつある。遺伝子解析により、すべての地球上生物の共通祖先としてコモノートにまで遡ることができる。コモノートの性質の一つとして好熱性が挙げられることは、現在の海底熱水噴出孔にも好熱菌をはじめとする生態系が存在する事実と併せて大変興味深く感じた。熱水噴出孔であれば、必ずしも大気に覆われた現在の地球のような「生命に優しい」惑星でなくとも、より多くの天体において存在し得ると思われるからである。生命の誕生は地球に限らず宇宙において普遍的に起こり得ることなのではないか、という期待を持たせる。この後の地球外生命探査に関する話題を示唆するような内容であった。

現在の地球生命の分類は、真正細菌(Bacteria)、古細菌(Archaea)、真核生物(Eukaryotes)の3つに分ける3ドメイン説が広く受け入れられているが、どうやら真正細菌と古細菌よりも、我々ヒトが属する真核生

物と古細菌の方が遺伝的には近縁らしい。直観的には受け入れにくい事実であるが、それだけ地球生命の多様さを感じさせる。アミノアシルtRNA合成酵素(ARS)に注目した新しい系統樹として、真核生物を“Subdomain Eukaryotes”として“Domain Archaea”に入れてしまうという最近の論文も紹介され、刺激的であった。非常に複雑な遺伝子の水平伝播も紹介され、昔から馴染みのある“系統樹”から、より複雑な“系統網”として生物の進化を捉え、膨大なデータや情報科学を駆使して研究する時代に到達したことを感じた。生物の分類はこれからも白熱した議論が交わされることが予測される。個人的には、山岸氏の「Bacteriaは原子、Eukaryotesは分子のようなもの。全部を同じ階層の“生物”と思うからいけないのでは」との提案に賛同しつつ、今後の展開に注目したい。

いったん脊椎動物が誕生した後の様々な形態変化による進化過程は、むしろこれ以前の進化過程に比べれば比較的容易ではないかと感じた。その理由の一つとして、収斂進化の例が挙げられる。哺乳類のイルカやクジラが水中で生活しやすいように全く異なった種である魚類と結果的に同じような形態を持つように進化できたことは、脊椎動物の進化の多様性や柔軟性を示唆しているように思われる。そのような事例を見た時、サルからヒト(知的生命体)への進化もそれほど困難ではないのではないかと感じた。つまり、いったんある程度的高等生物が誕生できれば、条件さえ整えば知的



図1：参加者の集合写真。

生命体への進化もそれほど困難ではないのではないか、ということである。この点も、この後の講義内容である地球外知的生命探査につながる内容であった。

2.3 生命の定義

生命の定義としてよく挙げられる条件としては、複製する、代謝する、膜に囲まれている、進化する、などであるが、これら条件の組み合わせによってはコンピュータやコンピュータウイルスも生命と分類されかねない。時代と共に生命の定義が変化しており、定義自体が可能なのか、意味があるのかという意見も存在する。しかし地球外の生命を探すことを考えるならば、何を探すのか決めなければならないため、生命を定義することは必須である。NASAの定義として、「生命とは、ダーウィン進化を行いうる、自己維持できる化学システムである」というジョイスの定義が紹介された。少々ずるい言葉づかいのようにも思えるが、これはよくできた定義に感じた。セミナー参加者からも様々な意見が出て、山岸氏とも議論を行うことで理解が深まった。ローソクの炎、赤血球、働きアリ、家畜や人間の保護の下で生き延びている絶滅危惧種は生命なのか、という議論には個人の倫理観や感性も加わり、誰もが納得できる定義を示すことは極めて困難に思えた。必要に応じて考えていくのが中庸であるように思える。

2.4 地球外生命

地球生命が宇宙におけるありふれた元素で作られていることを考えれば、地球外生命と言えども水素、炭素、窒素、酸素を使わない生物は恐らくいないのではないかという前提のもとで、有機生命体探査が有効であろうとのことであった。

生命探査を行う対象としては、水の痕跡やメタンが検出されたことから、まずは火星がもっとも興味深い天体の一つと言えるだろう。火星における生命探査は、サンプルリターンや宇宙飛行士による現地作業を伴わない、探査機を用いた無人探査が簡便である。過去のバイキング計画の生命検出実験は、アタカマ砂漠にいる微生物(土壌1 gあたりおよそ 10^4 細胞)を検出「できない」程度の精度しかないものであった。火星地表面で存在が想定される細菌としては、メタン酸化細菌、鉄酸化細菌、硫黄酸化細菌などが挙げられる。このよ

うな細菌を検出することを想定して、日本のチームは水が存在すると思われる領域に焦点を絞り、核酸を選択的に染める試薬と蛍光顕微鏡を用いてバイキングの1000倍の感度で生命を検出する計画を進めている。

火星以外にも直接探査の有望な天体としては、距離を考慮すればまずは太陽系内の天体であろう。地下海が存在が期待される土星の衛星エンセラダス、メタンの大気を持つ土星の衛星タイタンなどが挙げられた。究極的な生命探査として、系外惑星の直接探査が紹介された。具体的な対象としては、地球から最も近い恒星であるプロキシマ・ケンタウリが挙げられた。撮像センサを持つ数グラムの探査機に対して地上から打つレーザー光線で光速の2割程度まで加速し、現実的な探査期間(30年程度)で結果を得ようとする野心的なミッションとのことだった。

一方、現在も行われている宇宙生命探査として、山岸氏が研究グループのリーダーを務める「たんぼぼ計画」が紹介された。地球生命の起源が宇宙由来であるとするパンスペルミア仮説は、広くは支持されていないものの、確かめようがなく、否定されていない。宇宙から地球に生命が移動する可能性があるならば、逆に地球の生命が宇宙へ飛び出し、他の惑星に到達する可能性もありうる。たんぼぼ計画では、地球の微生物が宇宙に飛び出すことはあるだろうか、あるならばどれくらい生き残るであろうか、という問いに答えるために、地球の高度400 kmを周回している国際宇宙ステーション(ISS)の日本実験棟(きぼう)の外部曝露部を用いて、微生物・宇宙塵の捕集と微生物・有機物の曝露実験が行われている。捕集実験では、超低密度のエアロゲルを用いて8 km/秒という恐ろしい速さで宇宙空間を飛んでいる微粒子を捕まえることが計画された。2015年の打ち上げの後、既に微粒子の採取に見事成功し、今まさに地球帰還後の分析が進められているとのことだった。曝露実験では、乾燥状態の放射線耐性菌やシアノバクテリアが宇宙曝露され、厚みがあった場合や、光を遮った場合、宇宙曝露後に蘇生したとのごく最近の結果が紹介された。これらの結果は、条件を整えば、生命が宇宙空間を移動しようとの考えを支持していた。今後の進展に心から期待したい。

上記の生命探査は比較的単純な生命体を探索する計画である。では地球外に知的生命が存在するかどうかについては、物理学者はやや肯定的、生物学者はやや

否定的な意見が多いとのことだった。その中で山岸氏は「信じているわけではないが、地球外生命が存在することを願っている」としている[1]。液体の水が存在できる星であること、多細胞化できる条件を満たすこと、感覚器官や道具を作るための手をもつこと、音波や電波を用いた意思疎通や情報交換を行うことといった条件は太陽系外の生命にも共通であろうと推測した上で、太陽系外に知的生命がいた場合、おそらく体長は1~20 mで、かなり無理すれば(かつ、悪意が無ければ)握手できるのではと、夢のある(少し楽観的な?)見解を述べられた。

我々が子供のときにはSF小説の域を出なかった観測事実や探査計画が次々と現れていることは、大変感慨深い。生命の起源に関する究極的な答えが自分の生きている間に得られるかも知れない、と感じさせる二日間のセミナーであった。

3. 最後に

二日間の講義と議論を通して、多数の質疑に対してその度毎に山岸氏から真摯な応答を戴いたことに深く感謝したい。専門外の分野における自分の素朴な疑問を思いつくままに質問し、その回答を第一線の専門家から直にいただけるという贅沢な体験を通して、知的好奇心が満たされるという満足感を十分に得ることができた。懇親会ではおいしいジンギスカンを食べる機会を頂いた。にぎやかな雰囲気の中で参加者の親睦を深め、胃袋も満たされるという満足感も十分に得た。本セミナーの影響か、広い宇宙の中、地球で知的生命(ヒト)が高等動物(羊)と発酵産物(ビール)を電気明かりの下で摂取する奇跡に思いを馳せつつも、食は進むのであった。本セミナーを企画いただいた世話人の皆様、会場となった北海道大学の関係者の皆様にも深くお礼を申し上げたい。ありがとうございました。

参考文献

- [1] 山岸明彦, 2016, アストロバイオロジー: 地球外生命の可能性 (丸善出版)。