

宇宙における生命探査



若 者

松 尾 太 郎*

Search for life in the Universe

Key Words : Exoplanets, Infrared astronomy, Terrestrial life

はじめに

夜空を見上げた時、誰もが一度は「Are we alone?」と問いかけたことはないだろうか? 筆者もその一人であるが、それを科学的に明らかにしたいと考え始めた(意識し始めた)のは、大学二年生のときに聴講した芝井広先生(現大阪大学教授)の講義においてであった。以来、筆者は10年以上かけてこのテーマに取り組んでおり、現在、アメリカ航空宇宙局NASAが提案する将来の大型宇宙望遠鏡計画における生命探査のための技術開発を行っている。本稿では、宇宙における生命探査がどのように学問として天文学の中に根付いてきたのかを筆者の視点から紙面の許す限り紹介したいと思う。

宇宙における文明の探査

宇宙観が確立するずっと前より人々は、宇宙における生命(とりわけ、人類が築いてきたような地球外の文明)の存在可能性を求めていた。日本におけるその好例は、日本最古の物語と言われている「竹取の翁(通称、竹取物語)」であろう。

地球外生命を探す試みの出発点は、1959年に出版されたNature論文¹⁾に遡る。この論文の著者である、イタリアの物理学者Giuseppe Cocconi氏とアメリカの物理学者Philip Morrison氏(両著者ともに、当時コーネル大学)は、「Searching for

Interstellar Communications」というタイトルで、科学的な根拠に基づいて地球外生命と交信する方法を提案した。これが有名なSearch for Extra Terrestrial Intelligence (SETI) プロジェクトの基礎となっている。また、SETIプロジェクトのもう一人の生みの親である、Franck Drake氏は、1961年の会議においてドレークの方程式と呼ばれる、人類と電波で交信できる文明の数を見積もる方法を提案した。ちなみに、2011年に米国のマウンテンビュー市にあるSETI InstituteにおいてDrake氏とお会いする機会があり、その当時から活躍されている印象を受けたことを覚えている。最近、SETIプロジェクトから引き継がれたBreakthrough Listenによる結果が公表され、地球から160光年以内にある1702個の星からの電波に含まれるテクノシグナル(人工的な電波源から放出された電波信号)の有無を調査し、そのうちの1327個の星(約80%)の周りからは検出されなかったという報告が行われている²⁾。ただし、地球生命の歴史と比べて人類の歴史は一瞬であることを踏まえれば(生命の誕生が約40億年前に起こり、最初の文明誕生が約1万年前、電波による通信の開始が約120年前である)、他の星の周りで生命が誕生したとしても文明まで発展する確率は約4万分の1、電波を利用する文明までに発展する確率は約400万分の1である。つまり、生命がどの星の周りでも誕生していたと楽観的な仮定を立てても、約1000の星の周りから人工的な電波が受信されなかったことは不思議ではない。今後もBreakthrough Listenプロジェクトにおいて、2026年まで大規模な太陽系外の文明の探査が続けられる予定であるが、地球の文明と比較して科学的に意味のある結果になるには、現在の何百倍ものサンプルが必要になるだろう。



* Taro MATSUO

1981年3月生まれ
名古屋大学大学院 理学研究科 素粒子宇宙物理学専攻博士後期課程(2008年)
現在、大阪大学大学院 理学研究科 素粒子宇宙物理学専攻 助教 理学博士
赤外線天文学
TEL : 06-6850-5502
E-mail : matsuo@ess.sci.osaka-u.ac.jp

生命とシステム

筆者は、先の SETI プロジェクトの紹介において、(地球外) 生命という言葉は何度も使用した。しかし、読者もご存知のように、生命固有の特徴を挙げることはできても³⁾、生命単体 (つまり生物) を定義することはできない。したがって、地球外生命の探査とは、明確な定義がない個体を探すことであり、つまりは答えのない作業と同じである。ちなみに、生物と無生物の境界を設けることができないのは、その境界にある個体が科学の発展とともに発見され、その境界が常に揺らいでいるからだとして筆者は考えている。その最たる例は、ウイルスらしい特徴を持たないパンドラウイルスであろう⁴⁾。紙面の都合上、これ以上深くは立ち入らないが、気になる読者の方は中屋敷均著の「ウイルスは生きている」⁵⁾をぜひ参照いただきたい。

1992年に NASA は、宇宙生物学の研究のために、米国の生物学者である Gerald Joyce 氏 (当時、NASA の Exobiology working group のメンバー) の言葉を引用して、生命を次のように定義した: “Life is a self-sustaining system capable of undergoing Darwinian evolution.” ここで、読者に注目していただきたいのは、system (系) という言葉を使っている点である。つまり、生命を個体として定義するのではなく、システム (系) として生命を捉えていることである。この定義に立てば、SETI プロジェクトでは、我々人類が想像できる (経験した) システムの中で、「最も発展した極限のシステム」をターゲットとしていることになる。

ガイア理論

実は、生命をシステム (系) として捉えることは、1992年当時新しかったわけではなく、1960年代後半にはその考えが確立しつつあった。その考えの基礎になったアイデアが、1965年に James Lovelock 氏により発表された論文である⁶⁾。この論文において、生物圏と大気圏の相互作用が初めて注目され、生物の活動によって生じる「大気圏の非平衡性」が議論された。後述のように、この大気圏の非平衡性は、今日においても生命探査の指針として用いられている。Lovelock 氏は、生物圏と大気圏の相互作用を地球の表層全体へ発展させて、Gaia hypothesis (ガイア理論) を提唱した⁷⁾。ちなみに、Gaia はギリシ

ヤ神話に登場する地母神 (大地の象徴) を意味している。このガイア理論において、地球は単純に複数のシステムの足し合わせから成り立つのではなく、地球における生物圏、大気圏、水圏、土壌圏が密接に一つの進化システム (系) として結びつき、地球は自己制御されたシステム (系) として表現された。Lovelock 氏は、この一つに結びついた全体の系を Gaia と呼び、Gaia は一つの巨大な生命体のように、生命にとって最適な物理・化学的な環境を形成すると述べた。

実際の地球史において、Gaia (すなわち、生物圏および地球の表層圏) は、生命誕生から現在に至る 40 億年の間に、初期太陽からのエネルギーをより吸収し、効率よく利用できるように進化してきた。そのエネルギー史における最大の出来事は、「酸素発生型光合成の誕生」と「好気呼吸による生物 (真核生物) の誕生」であろう。酸素発生型光合成生物の誕生以前の独立栄養生物は、光合成の材料として限られた資源の水素や硫化水素を利用していたため、その当時の光合成によるエネルギーの生産は極めて限定的であった。このときに誕生した原核生物の一種がメタン生成菌である。他方、海として地球に蓄えられていた莫大な液体の水を材料として利用できる酸素発生型光合成の誕生 (つまり、水素結合を開裂できる生物の誕生) により、光合成材料の制限はなくなり、莫大なエネルギーを光合成によって生み出すことが可能となった (リンの供給により光合成が制限された可能性が指摘されている)。この結果、光合成の副産物として放出された酸素が地球大気に蓄積され、また表層環境を酸化させた。また、この環境の変化において、酸素を燃焼することで嫌氣的代謝や解糖に比べて 18 倍ものエネルギーを獲得する真核生物の誕生につながった。酸素の燃焼によって、生物の高機能化が進み、最終的に我々のような多細胞生物の誕生へと繋がったと考えられている。

以上のように、地球の表層環境は酸素発生型光合成により還元的な環境から酸化的な環境へと変化し、さらにその酸化的な環境を利用した、好気呼吸の生物の誕生により生物の高機能化がなされた。現在の地球は、初期の地球に比べて、地表の酸化と有機物の埋没により、エネルギーの満ち溢れた惑星であると言える。人類は、地表の木々や地中に埋没した化石燃料を燃焼することで文明を発展させてきた。こ

れは、長い年月をかけて光合成により惑星表層を生命にとって最適な環境に作りかけてきたおかげであり、その資源は有限であることを我々は忘れてはならないだろう。

バイオマーカー

地球のように生命と惑星の共進化が他の惑星においても普遍的に起こるのであれば、生命にとって最適な物理・化学的環境がその惑星表層において形成されるはずである。生命は炭素を基本とした還元的な物質から構成されていることを踏まえれば、おそらく生命の発生には還元的な環境が不可欠であったであろう。その一方で、還元的な環境での生物の代謝では生命を進化させるだけのエネルギーは得られない。また、嫌氣的生物が利用する水素や硫化水素は限定的である。宇宙において最も普遍的に存在する液体は水である。この液体は、初期の光合成生物が光合成の材料として利用することは困難であるが(水素や硫化水素に比べて、水素結合により水の分解には高いエネルギーが必要だからである)、莫大なエネルギーを獲得するために水を利用する光合成生物が生まれることは自然なシナリオである。そして、光合成で生じた酸素を燃焼することで生命はさらにエネルギーを獲得し、生命の機能を格段に高めたはずである。つまり、「嫌氣的環境に適した独立栄養生物の発生」→「水を利用する光合成生物の発生」→「酸素燃焼を行う真核生物の発生」というのは、生物がエネルギーを効率よく獲得し、進化するシナリオとして自然であり、他の惑星においても十分に考えられるであろう。このような進化を経る生物が生息する惑星は、初期の頃に誕生した嫌氣的生物と水を利用する光合成生物によって、還元性ガスと酸化性ガスが大気中に排出され、化学的に非平衡な大気を保有する可能性が高いと考えられる。

米国の天文学者でSETIプロジェクトを推進し、SFの小説家(映画「コンタクト」の作者)でも有名なCarl Sagan氏は、1989年に打ち上げられた木星の探査機ガリレオ衛星により地球の可視光から赤外線のスペクトルを測定し、 $0.76\ \mu\text{m}$ の酸素と $3.3\ \mu\text{m}$ のメタンの吸収線が地球大気に含まれることを実際に確認した⁸⁾。これは、惑星の大気が生命の活動によって熱力学的に平衡な状態から外れていることを遠隔から初めて確認した最初の例である。

宇宙における生命探査の展開

最後に、これからの生命探査について紹介して本稿を締めくくりたい。約20年前に太陽系外で惑星が初めて発見され、現在までに4000を超える惑星が報告されている。2009年に打ち上げられたKepler衛星によって、地球サイズの惑星が恒星の約3割に存在することがわかってきた。つまり、地球のような小さな惑星は宇宙において普遍的である。実際、太陽系に最も近い恒星系であるProxima Centauri星において地球質量の惑星が発見された⁹⁾。この惑星系の特筆すべき点は、単に太陽系に近いだけでなく、その惑星が主星から程よい距離にあるため、その惑星の表層において液体の水を有する可能性があることである。このような主星から程よい距離にある領域をハビタブルゾーン(生命居住可能領域)と呼び、生命探査のためのターゲット選定の一つの指標となっている。また同時期に、30光年の距離にあるTrappist-1系の周りで7つの地球サイズの惑星が発見され、そのうちの3つはハビタブルゾーンにあると考えられている¹⁰⁾。現在、2018年に打ち上げられたTransiting Exoplanets Survey Satelliteにより、太陽系に近い恒星の周りで生命を宿す可能性のある惑星の探査が進められている。太陽系に近い恒星は明るいため、惑星大気の分光観測に適していると考えられている。現在NASAでは、生命を宿す可能性のある惑星の大気を分光するための宇宙望遠鏡計画が進められており、次の20年以内に生命探査の最初の機会が訪れるであろう。筆者は、その望遠鏡計画において鍵となる新しい技術をNASAと共同で開発している。その技術を成熟させ、最初の生命探査の機会を実現することができれば科学者として幸せである。

参考文献

- 1) Giuseppe Cocconi and Philip Morrison: Searching for Interstellar Communications, Nature 184, 844-846, 1959.
- 2) Danny C. Price 他: The Breakthrough Listen Search for Intelligent Life: Observations of 1327 Nearby Stars over 1.10 – 3.45GHz, Submitted to Astrophysical Journal, (astro-ph: 1906.07750).
- 3) 江上不二夫著:「生命を探る」, 岩波新書(1980).

- 4) 中屋敷均著：「ウイルスは生きている」，講談社現代新書 (2016).
- 5) Nadege Philippe 他：Pandoraviruses: Amoeba Viruses with Genomes Up to 2.5 Mb Reaching That of Parasitic Eukaryotes, *Science* 341, 281 (2013).
- 6) James Lovelock: A Physical Basis for Life Detection Experiments, *Nature* 207, 568-570, 1965.
- 7) James Lovelock: Gaia as Seen Through The Atmosphere, *Atmospheric Environment Pergamon Press* 6, 579-580, (1972).
- 8) Carl Sagan 他：A search for life on Earth from the Galileo spacecraft, *Nature* 365, 715-721, (1993).
- 9) Guillem Anglada-Escude 他：A terrestrial planet candidate in a temperate orbit around Proxima Centauri, *Nature* 536, 437-440, (2016).
- 10) Michael Gillon 他：Seven temperate terrestrial planets around the nearby ultracool dwarf star TRAPPIST-1, *Nature* 542, 456-460, (2017).

