

生命の起源と未来を宇宙に探る

(横浜国大院工¹・東工大理²) ○小林 憲正^{1,2}

Keywords : Origins of life; Extraterrestrial organic compounds; High energy particles; Amino acids; Astrobiology

e-mail : kobayashi-kensei-wv@ynu.ac.jp

【緒言】生命の起源は人類に遺された大きな謎であるが、その研究における最大の問題は、生命誕生時の痕跡が地球上にほぼ存在しないことである。しかし、近年、太陽系惑星探査や、宇宙望遠鏡などによる観測が活発化し、それらにより生命の起源や未来に関する情報が多く得られるようになってきた。本講演ではそのようなトピックスを中心に、生命の起源や人類の未来に関する研究の現状を紹介する。

【地球外有機物と生命】隕石は小惑星のかけらと考えられてきたが、はやぶさ・はやぶさ2計画で持ち帰られた試料の分析により、そのことが確かめられた。はやぶさ2により得られた小惑星リュウグウの試料にはアミノ酸や核酸塩基が確認されている。また、リュウグウ内部では液体の水が存在し、それが有機物生成に関与することも示唆された¹⁾。われわれは小天体内部での反応を模擬した実験によりアミノ酸などが効率的に生成することを見いだした²⁾。なお、隕石中の一部のアミノ酸からアミノ酸のL体過剰が見られ、これが地球生物がL-アミノ酸を用いる原因となった可能性が示唆されている。なぜ宇宙でアミノ酸のL体過剰が起きたかについて、さまざまな説があり、観測や室内実験により検証が行われている。

【太陽系生命・有機物探査】有機物から生命への進化に関しては種々の説があるもののその証拠はほとんどない。その解明には地球生命とことなる生命システムの発見が不可欠である。現在、太陽系では火星、木星の衛星のエウロパ、土星の衛星のタイタン・エンケラドゥスなどの生命の可能性が議論され、それらの天体での生命検出やその環境変遷の解明に向けた探査が行われている³⁾。

【太陽系外の観測】1995年以来、太陽系外の惑星が次々と発見され、さらに地球に似た「ハビタブル惑星」も検出されつつある。その発見のために打ち上げられたケプラー宇宙望遠鏡のデータをもとに、太陽に似た星が極めて激しいフレア（スーパーフレア）を起こしていることがわかった。このことは若い太陽が激しいフレアを繰り返し、それが地球生命の誕生に影響した可能性を示唆する。われわれは、想定される初期地球大気に太陽からの高エネルギー粒子を想定した陽子線を照射し、アミノ酸が大量に生成しうることを見いだした⁴⁾。なお、初期地球ではスーパーフレアは生命の源であったと考えられるが、一方で現代の電気に依存する文明にとっては大敵である。人類の将来を考える上で地球気候変動などとならびスーパーフレア対策は必須である。

【参考文献】1) H. Naraoka et al., *Science*, **2023**, 379, eabn9033. 2) Y. Kebukawa et al., *ACS Cent. Sci.*, **2022**, 8, 1864-1871. 3) 小林憲正, 地球外生命, 中央公論新社 (2021). 4) K. Kobayashi et al., *Life*, **2023**, 13, 1103.

SPring-8 における小惑星試料の分析

(JASRI/SPring-8) 上杉 健太朗

Keywords : Hayabusa; Itokawa; Ryugu; SPring-8; X-ray tomography
e-mail : ueken@spring8.or.jp

「はやぶさ」および「はやぶさ2」計画により、S型小惑星イトカワとC型小惑星リュウグウの物質が地球にもたらされた。イトカワにしてもリュウグウにしても、母天体が別の天体と衝突して破壊され、ラブルパイル天体となったことがわかっている。これは、イトカワの平均密度は 1.9g/cm^3 であり、地球にやってきた粒子の密度が 3.4g/cm^3 であったことから裏付けられた。同時にイトカワの構成物質とその存在比は、普通コンドライト隕石と似通っていることも示され、以前からの「普通コンドライトの母体はS型小惑星である」という推測も証明された。これらはわずか $15\mu\text{g}$ （体積では直径 $200\mu\text{m}$ の球に入る程度）の粒子を、放射光X線を利用したX線回折・CT計測したことにより得られた^{1,2}。さらに、質量分析や電子顕微鏡観察など様々な分析が実施され、それらの結果からイトカワの形成過程を明らかにした。

リュウグウは「地球の水、生命を構成する有機物の起源」を調査することを目的としている。水と有機物はX線で分析するには難しい物質であるが、液体水がないと生成されない物質（含水層状ケイ酸塩や炭酸塩など）の計測は可能である。イトカワと比較すると、リュウグウは構成物質が脆弱であり、それらが複雑な微細構造を有しているので計測は格段に難しい。それでもJAXAキュレーションチーム・各初期分析チームが入念な準備を行ってきたことが幸いし、様々な分析がなされている。その結果、リュウグウ母天体は太陽遠方の低温領域で形成され、液体水に曝されながら岩石-水の反応が進んだ。その後母天体は太陽方向に移動しつつほかの天体と衝突し破壊され、破片の一部がリュウグウとなった。というような形成史が明らかになりつつある。さらに、水や有機物は母天体形成当初から存在し、現在に至るまでリュウグウに保管されていることも示された^{3,4}。

講演ではこの一連の研究においてSPring-8ではどのような準備をし、どのような分析を行ってきたかを示す。

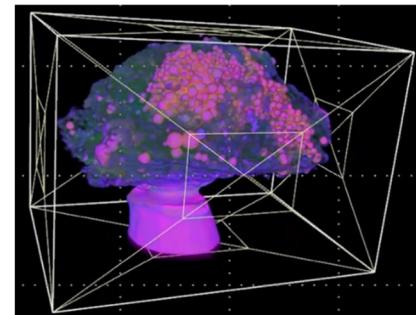


図1：リュウグウ粒子のナノCT像。視野幅約 $50\mu\text{m}$ 。

- 1) A. Tsuchiyama, *et al.*, *Science* **333**, 1125–1128 (2011).
- 2) T. Nakamura, *et al.*, *Science* **333**, 1113–1116 (2011).
- 3) M. Ito, *et al.*, *Nat. Astron.* **6**, 1163–1171 (2022)
- 4) T. Nakamura, *et al.*, *Science* **379**, eabn8671 (2022).

電磁波の分析で探る地球外文明 SETI の話

(兵庫県立大学 自然・環境科学研究所¹⁾ ○鳴沢 真也¹

Keywords : Astronomy; SETI; radio; laser; photon

e-mail : narusawa@hq.u-hyogo.ac.jp

地球以外の星にも知性を持った生命は存在するのだろうか。同様の議論があつたことは、少なくとも古代ギリシャ時代の記録に残されているので、これは人類の長年のテーマの一つと言える。

現在では太陽系内にはその証拠は存在しないことは自明であり、地球外の文明は太陽系外を探査することになるのであるが、また生命進化を考慮すると、文明の数密度は（定量的な推量は困難であるものの）決して高いものとは言えない。地球外文明の存在は、おそらく想像を絶するほど遠方にあり、故に直接的なコンタクトは非現実的なものである。従って、地球外文明探査は彼らの間接的な証拠を探究することになるのであるが、その中でも、電磁波の検出を試みる手法が現実的なものとなろう。

近代的な地球外知的生命探査（SETI）は、1960 年に太陽と類似のスペクトル型である恒星（太陽型星）をターゲットにアメリカで始まった。これは地球外文明が送信する電波の受信をチャレンジする試みで、現在でもそれが SETI の王道となっている。星間通信用として想定されている周波数（magic frequency）は、地球の電波天文学者が天の川銀河の構造調査などを目的に頻繁に用いている 1420 MHz であり、電波 SETI のおよそ半数がこの周波数を想定して行われている。なお、現在の電波望遠鏡の感度レベルでも 1000 光年以上の遠方から送信された人工的な電波でも検出が可能である。

電波に次いで実施されているものが 1970 年代から始まった可視光観測によるもので、こちらは光学的地球外知的生命探査（OSETI）と呼ばれるが、通常では地球外テクノロジーが放射するレーザ光線の検出を目的とするものを指す。太陽型星自身が放射する電波は微弱であるため、（到來したと仮定すると）人工的なものとの区別が容易であるが、この種の恒星が放射する電磁波のほとんどが可視光線であるため、地球上に届いたレーザ光線はそれに埋もれてしまうことになる。この問題を解決するために OSETI の手法はさらに光子係数法と分光法とに二分される。どちらも 1000 光年程度離れた星からのレーザでも現在の技術で検出が可能である。

光子係数法はナノ秒程度の時間分解能で観測し、同程度のパルス幅由来のパルスレーザからの光子を捉えようとするものである。一方で分光法は、恒星からの連続スペクトルにレーザ光線による特定の波長の輝線を見出そうとする試みであり、講演者も西はりま天文台の 2 m 望遠鏡で同様の観測を行った。こうした分光法による検出可能なレーザの出力は波長分解能に依存するが、原理的にはパルスレーザでも連続レーザでも（望遠鏡に入射すれば）発見が可能である。

なお、これまで分光法 OSETI では、相手が放射するレーザの波長（magic wavelength）は予測されていなかった。このため講演者は、高効率・大出力であるレーザや、太陽型星の磁場活動で頻繁に調査されている波長を magic wavelength として初めて提唱した。

本講演では、人類にとっての SETI 観測の意義についても触れてみたい。