

LIFE SEARCH ON MARS

Yoshitaka YOSHIMURA

College of Agriculture, Tamagawa University

6-1-1 Tamagawagakuen, Machida, Tokyo, 194-8610

FAX: +81-42-739-8854

Email: ystk@agr.tamagawa.ac.jp

(Received: 1, August, 2017 Acceted: 28, August, 2018)

Abstract

Recent findings on Mars, the discovery of organic molecules, methane and reduced sulfur compounds that could be potential energy sources for microbes, possible liquid water flows on recurring slope lineae (RSL) and so on suggested that life might exist near the surface at present. Although life search experiments carried out by the Viking missions in 1970's failed to detect life in Martian soil, more sensitive instruments have been developed, especially a fluorescence microscope would be a powerful tool to detect and visualize organic compounds surround by membranes and possessing metabolic activities, which are considered to be living cells.

(Keywords) life detection instruments, organic compounds, membranes, methane, cells, fluorescence microscopy

火星生命探査

東京都町田市玉川学園 6-1-1

吉村 義隆

(玉川大学 農学部)

1. はじめに

約 40 億年前の火星には、海や大気を保護する磁場があるなど[1,2]、生命が誕生したころの地球とよく似た環境であり、火星にも生命が誕生した可能性が考えられるようになってきた。現在の火星は乾燥した低温環境で、生命が存在するには一見厳しい環境であるが、表面から数 cm 下であれば、有害な紫外線が遮蔽され、温度、圧力、放射線などの環境要因も、地球の微生物が生存できる範囲内にある[3]。地球の微生物は、極地、深海、砂漠など、さまざまな環境に適応し生息域を広げてきたことから、現在の火星でも生命（微生物）が生き残っている可能性がある。本稿では、生命が存在する可能性が高い場所と生命探査装置の研究動向について紹介する。

2. 生命はどこにいるのか

現在も生命が存在する可能性が高い場所として、まず考えられるのは液体の水が存在する場所である。低温の火星では、多くの水は氷として存在しているが、クレーター斜面などで、気温が上昇する春から夏にかけて出現する黒い筋状部分 (RSL: Recurring Slope Lineae) には、過塩素酸塩などの塩類を含んだ水が流れている可能性が示唆されている[4]。塩濃度が高ければ凝固点が下がり、火

星でも水は液体で存在することができるので、RSL は生命が存在する可能性が高い場所である。また、微生物のエネルギー源となる物質が存在する場所にも生命が生息している可能性がある。火星にある物質でエネルギー源になり得るものは、メタン[5]や還元された硫黄[6]などである。特にメタンは、火星大気中での寿命が 340 年程度であることから[7]、表面に放出源があり持続的に大気中に供給されていると考えられている。2016 年に打ち上げられた、微量気体成分を分析できる火星周回機 トレース・ガス・オービターによって、メタンの放出源が見つかれば有力な探査場所として議論されるようになるだろう。

3. どのように生命を見つけるのか

生命探査では、生命の特徴（物質）を検出する。火星の生命がどのようなものかは分からないが、地球の生命の特徴としては以下のものであろう。①有機物でできている。②膜で囲まれた細胞のような構造を持つ。③代謝している。これら 3 つの特徴を全て満たしている場合には、(生きている) 生命である可能性が高い。1970 年代のバイキング計画 (NASA) では①と③に着目して、ガスクロマトグラフィー質量分析装置による有機物分析や、土に栄養液や光を与えて発生する代謝産物の分析 (呼吸活性や光合成反応の検出) を行った。その結果は、火星由来と思われる有機物は検出されず[8]、明らかな生物活動は見られないという結論が出されたが[9]、その後、バイキングが使用した質量分析装置は検出感度が低く、地球上でも微生物密度の低い試料では有機物が検出されないなどの問題点が指摘されている[10]。ガスクロマトグラフィー質量分析装置は、MSL 計画 (NASA) のキュリオシティローバーにも搭載されており、近年、クロロメタンなどの有機塩素化合物やチオフェンなどが検出され[6,11]、火星にも有機物が存在することが確かめられた。検出された有機塩素化合物は、分析時の加熱によって火星表面の過塩素酸と反応して生成されたものと考えられるため、火星に存在している有機物の種類は不明であり、隕石など非生物由来の有機物の可能性もある。2020 年打ち上げの Mars 2020 計画 (NASA) や ExoMars 2020 計画 (ESA) では、ラマン分光法を用いて有機物の種類を調べる装置が搭載される予定である[12,13]。Mars 2020 計画の装置 (SHERLOC) は、試料上を紫外線レーザー光がスキャンし、有機物の自家蛍光を検出し、さらにラマン散乱光の分光スペクトルを使って物質の種類を推定する。空間分解能が 30 μm のため微生物細胞の検出はできないが、凝集して塊状になっている有機物が見つかる

れば、火星の有機物についてももう少し詳しい情報が得られるかもしれない。

日本のグループは、蛍光顕微鏡技術を使うことで検出感度を上げ、細胞も検出できる探査装置 (LDM: Life Detection Microscope) の開発を行っている[3]。試料 (表面から数cm下の土) に蛍光色素を添加して、特定の波長の光 (励起光) を照射したときに発する蛍光を検出し、その形態を CCD カメラで映像化する。蛍光法は、ラマン分光法に比べて感度が高く、LDM では土 1 g あたり 10^4 個の細胞を 1 細胞単位で検出できる。これは、細胞密度が低く、火星のモデルとして使われることが多いアタカマ砂漠の土でも十分に検出できる感度である。また、蛍光色素の種類を変えることによって、核酸やタンパク質などの有機物、膜構造、代謝活性など、上記の生命の特徴①~③の全てを検出できる。例えば、有機物検出には、タンパク質を染色する SYPRO Red などの蛍光色素を用いる。アミノ酸は、隕石にも含まれるほど宇宙では容易に生成される物質であることから、火星の生命も、アミノ酸が重合したタンパク質のような物質を有している可能性は高いと思われる。膜構造の検出には、細胞膜透過性の異なる 2 種類の色素 (SYTO24 と propidium iodide (PI)) を混合して用いる。SYTO24 は膜透過性が高く、PI は低いため、PI では染色されず、SYTO24 の蛍光のみ検出された場合には膜構造を有する細胞と考えられる。代謝活性は、酵素 (エステラーゼ) によって加水分解されると蛍光を発する CFDA-AM などで検出できる。エステラーゼは、多くの地球生命が有している酵素である。有機物、膜構造、代謝活性の 3 つを有する細胞が見つければ、生きている生命である可能性が高い。また、空間解像度が $1 \mu\text{m}/\text{pixel}$ と高いため、細胞以外にも、鉱物粒子などの微細な形状や分布を詳細に知ることができることも利点の一つである。

4. おわりに

火星は、距離的に地球に近く、今後も多くの探査機が打ち上げられる予定になっており、生命の存在の有無を明らかにできる可能性が高い天体であるが、地球外生命の存在は、火星の他にも、木星の衛星エウロパや土星の衛星エンセラダスなどでも議論されている。これらの衛星では、表面を覆う厚い氷の下の海に生命 (微生物) が存在している可能性があり、生命探査を行う場合には、有機物の同定だけでなく、微生物細胞を探すことが重要になってくる。細胞レベルで生命を検出できる LDM は、火星のみならず、衛星での生命探査にも有効な装置になるだろう。

謝辞

LDM の開発は、JAXA の生命探査顕微鏡ワーキンググループで、平成 29 年度および平成 30 年度宇宙科学委員会戦略的基礎開発予算 (JAXA)、平成 30 年度自然科学研究機構アストロバイオロジーセンタープロジェクト (課題番号: AB301019) の助成を受けて行っている。

引用文献

1. Villanueva, G., Mumma, M., Novak, R., Käufel, H., Hartogh, P., Encrenaz, T., Tokunaga, A., Khayat, A. and Smith, M. Strong water isotopic anomalies in the martian atmosphere: Probing current and ancient reservoirs. *Science*, 348, 6231, 218-221, (2015)
2. Acuna, M., Connemey, J., Lin, R., Mitchell, D., Carlson, C., McFadden, J., Anderson, K., Rème, H., Mazelle, C. and Vignes, D. Global distribution of crustal magnetization discovered by the Mars Global Surveyor MAG/ER experiment. *Science*, 284, 5415, 790-793, (1999)
3. Yamagishi, A., Yokobori, S., Yoshimura, Y., Yamashita, M., Hashimoto, H., Kubota, T., Yano, H., Haruyama, J., Tabata, M., Kobayashi, K., Honda, H., Utsumi, Y., Saiki, T., Itoh, T., Miyakawa, A., Hamase, K., Naganuma, T., Mita, H., Tonokura, K., Sasaki, S. and Miyamoto, H. Japan Astrobiology Mars Project (JAMP): Search for microbes on the Mars surface with special interest in methane-oxidizing bacteria. *Biological Sciences in Space*, 24, 2, 67-82, (2010)
4. Ojha, L., Wilhelm, M. B., Murchie, S. L., McEwen, A. S., Wray, J. J., Hanley, J., Masse, M. and Chojnacki, M. Spectral evidence for hydrated salts in recurring slope lineae on Mars. *Nature Geoscience*, 8, 829-832, (2015)
5. Webster, C. R., Mahaffy, P. R., Atreya, S. K., Flesch, G. J., Mischina, M. A., Meslin, P. Y., Farley, K. A., Conrad, P. G., Christensen, L. E. and Pavlov, A. A. Mars methane detection and variability at Gale crater. *Science*, 347, 6220, 415-417, (2015)
6. Ming, D., Archer, P., Glavin, D., Eigenbrode, J., Franz, H., Sutter, B., Brunner, A., Stern, J., Freissinet, C. and McAdam, A. Volatile and organic compositions of sedimentary rocks in Yellowknife Bay, Gale Crater, Mars. *Science*, 343, 6169, 1245267, (2014)
7. Krasnopolsky, V. A., Maillard, J. P. and Owen, T. C. Detection of methane in the martian atmosphere: evidence for life? *Icarus*, 172, 2, 537-547, (2004)
8. Biemann, K., Oro, J., Toulmin, P., III, Orgel, L. E., Nier, A. O., Anderson, D. M., Simmonds, P. G., Flory, D., Diaz, A. V., Rushneck, D. R., Biller, J. E. and Lafleur, A. L. The search for organic substances and inorganic volatile compounds in the surface of Mars. *Journal of Geophysical Research*, 82, 28, 4641-4658, (1977)
9. Klein, H. P. The Viking biological investigation: general aspects. *Journal of Geophysical Research*, 82, 28, 4677-4680, (1977)
10. Navarro-Gonzalez, R., Navarro, K. F., de la Rosa, J., Iniguez, E., Molina, P., Miranda, L. D., Morales, P., Cienfuegos, E., Coll, P., Raulin, F., Amils, R. and McKay, C. P. The limitations on organic detection in Mars-like soils by thermal volatilization-gas chromatography-MS and their implications for the Viking results. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103, 44, 16089-16094, (2006)
11. Eigenbrode, J. L., Summons, R. E., Steele, A., Freissinet, C., Millan, M., Navarro-González, R., Sutter, B., McAdam, A. C., Franz, H. B., Glavin, D. P., Archer, P. D., Mahaffy, P. R., Conrad, P. G., Hurowitz, J. A., Grotzinger, J. P., Gupta, S., Ming, D. W., Sumner, D. Y., Szopa, C., Malespin, C., Buch, A. and Coll, P. Organic matter preserved in 3-billion-year-old mudstones at Gale crater, Mars. *Science*, 360, 6393, 1096-1101, (2018)
12. Beegle, L., Bhartia, R., DeFlores, L., Darrach, M., Kidd, R., Abbey, W., Asher, S., Burton, A., Clegg, S. and Conrad, P. SHERLOC: Scanning Habitable Environments with Raman and Luminescence for Organics and Chemicals, an Investigation for 2020. *LPI Contributions*, 1783, 5101, (2014)
13. Edwards, H. G., Hutchinson, I. B., Ingley, R., Parnell, J., Vitek, P. and Jehlička, J. Raman spectroscopic analysis of geological and biogeological specimens of relevance to the ExoMars mission. *Astrobiology*, 13, 6, 543-549, (2013)