

研究チーム「火星生命探査を中軸とするアストロバイオロジーのロードマップ」活動報告

玉川大学農学部

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部

東京薬科大学生命科学部

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部

福岡工業大学工学部

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部

横浜国立大学大学院工学研究科

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部

IAS 総合科学研究所

吉村義隆

橋本博文

横堀伸一

矢野創

三田肇

田畑誠

小林憲正

山下雅道

河崎行繁

Activity Report of JAXA “Road Map of Astrobiology and Search for Extraterrestrial Life on Mars” Study Team

Yoshitaka Yoshimura¹, Hirofumi Hashimoto², Shin-ichi Yokobori³, Hajime Yano², Hajime Mita⁴, Makoto Tabata², Kensei Kobayashi⁵, Masamichi Yamashita², and Yukishige Kawasaki⁶

¹Tamagawa University, 6-1-1 Tamagawagakuen, Machida-shi, Tokyo 194-8600;

E-mail: ystk@agr.tamagawa.ac.jp

²Institute of Space and Astronautical Science, ³Tokyo University of Pharmacy and Life Science, ⁴Fukuoka Institute of Technology, ⁵Yokohama National University,

⁶Institute of Advanced Science

Abstract: Search for extraterrestrial life is an important scientific issue, since it is associated with fundamental question of science, such as the origin of life or universal concepts of biology. However, astrobiology requires a road map that summarizes research subjects and the perspective of space missions. This study team aim to define our road map based on the latest achievements of planetary science and current plans of astrobiology in worldwide. Among many research subjects, we focus on a case study of search for life on Mars. In this report, we discussed the road map to search extraterrestrial life, biomarkers, and instruments.

近年、数多くの宇宙探査によって、太陽系の惑星や宇宙の起源などに関する情報は増加している一方、生命の起源など、アストロバイオロジーの重要な課題に関する知見は限られている。圏外生命探査は、地球生命との比較により、このような課題を解明するものであり、地球圏外、圏内のすべてにおける生物学の基本命題のひとつにせまるものである。しかしながら、圏外生命探査により、この広範な科学の課題に取り組むためには、最新の知見に裏打ちされたロードマップを作成し、検討すべき課題を整理してそれぞれの方法を明確にする必要がある。

そこで、本研究チームでは、惑星科学で得られている情報や、国内外での圏外生命探査の研究動向を調査し、圏外生命探査のロードマップを作成し、今

後の我が国における圏外生命探査の方向性、特に太陽系の惑星で生命が存在する（あるいは過去に存在した）可能性の高い火星における探査計画について議論・提案することを目的としている。

1. 火星における生命探査の動向

現在、欧米では火星等の惑星に、積極的に探査機を送り、着実にデータを集積しつつあり、火星、木星の衛星エウロパ、土星の衛星タイタンなどで生命の存在が議論されるようになってきた。火星においては、1970年代の *Viking* が行った表面土の GC-MS 分析では有機物が検出されず(3)、少なくとも火星の表面には生命は存在しないと考えられるようになった。しかし、火星起源の隕石 ALH84001 (10) によって

再び火星における生命の存在が注目されるようになり、その後のミッション等によっても、水の存在や(8, 14)、生物起源あるいは生命活動に利用できる可能性も考えられるメタンの存在が明らかになるなど(5)、火星に生命が存在する可能性を示す知見は近年高まっている。2011年打ち上げ予定の *Mars Science Laboratory* (<http://marsprogram.jpl.nasa.gov/msl/>)や、2016年と2018年に打ち上げ予定の *ExoMars* (http://www.esa.int/SPECIALS/ExoMars/SEM10VLPQ5F_0.html)においても、生命探査が大きな目的の1つになっている。

このような欧米の状況に対して、我が国はこれまで、圏外生命探査に関して大きな計画を立案しておらず、大きく立ち遅れているのが現状である。しかしながら、科学先進国として、独自の計画を提案することにより、この分野に貢献することを目指すべきであると考えている。特に、生命探査技術の開発は、火星のみならず、欧米もまだ行っていない、エウロパやタイタンなどでの生命探査にも応用できるため、推進すべき課題の1つである。

2. 生命探査技術

生命探査技術は、*Viking* の時代からは大きく進化している。*Mars Science Laboratory* では、GC-MSの他、Tunable Laser Spectroscopyによるメタンなどの同位体分析(17)も計画されており、大気中のメタンが生命起源によるものかの調査が計画されている。*ExoMars* では、深さ2mまでの掘削機やキャピラリー電気泳動(CE)などの小型検出器を搭載した高性能ローバーを火星に送り、生命が存在する可能性が高い地点での掘削およびサンプル分析等が予定されている。しかしながら、同位体分析は、生命の存在を示唆することはできるが、決定づけることにはならない。また、火星表面は、極度に酸化的環境であると推測されており(1)、表面付近の酸化された砂を掘削・調査しても生命を検出できる可能性は低い。メタンの発見や、地球との比較から、火星において地下生物圏が存在する可能性も考えられており(19)、液体の水が存在する地下深部にアクセスする方法は、今後の重要な検討課題である。

生命検出器では、ターゲットとする生体物質を規定することが重要であるが、1細胞でも検出可能であり、形態情報が得られる顕微鏡はベースになる機器と考えている。現在、蛍光顕微鏡法(11, 12)や、ラマン顕微鏡法(4, 6, 7, 16)等を用いた研究がおこなわれており、蛍光顕微鏡法では、各種の蛍光色素を組み合わせることによって、核酸、細胞膜、酵素等、多様な物質成分を検出することが可能である。また、微生物が持っている自己蛍光物質(NADH、Flavin、メタン生成菌のF420、光合成微生物の

Chlorophyll や Phycoerythrin 等)を利用した検出法も検討されている(2, 15)。このような顕微鏡法と、CE等の有機物分析法(13)や質量顕微鏡法(9, 18)などと組み合わせることによって、生命を高い精度で検出する方法を議論している。このような複合機器においては、小型化や複雑な前処理工程が重要な課題であり、我が国が得意とするマイクロな技術を生かすことによって独自の検出器を開発できると考えている。

3. おわりに

我が国の圏外生命探査は、欧米に比べ大きく遅れているのが現状である。しかしながら、圏外生命はいまだ発見されておらず、生命探査は、火星のみならず、エウロパ、タイタンなど、今後、何十年にもわたって人類が取り組むべき重要な課題であり続けることを考えると、我が国も独自の視点や技術で推進していくべきであり、また、その余地も残されていると思われる。

4. 参考文献

1. Benner, S. A., K. G. Devine, L. N. Matveeva, and D. H. Powell. 2000. The missing organic molecules on Mars. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97:2425-2430.
2. Bhartia, R., W. F. Hug, E. C. Salas, R. D. Reid, K. K. Sijapati, A. Tsapin, W. Abbey, K. H. Nealson, A. L. Lane, and P. G. Conrad. 2008. Classification of organic and biological materials with deep ultraviolet excitation. *Appl. Spectrosc.* 62:1070-1077.
3. Biemann, K., J. Oro, P. Toulmin, III, L. E. Orgel, A. O. Nier, D. M. Anderson, P. G. Simmonds, D. Flory, A. V. Diaz, D. R. Rushneck, J. E. Biller, and A. L. Lafleur. 1977. The Search for organic substances and iorganic volatile compounds in the surface of Mars. *J. Geophys. Res.* 82.
4. Ellery, A., and D. Wynn-Williams. 2003. Why Raman Spectroscopy on Mars? - A case of the right tool for the right job. *Astrobiology* 3:565-579.
5. Formisano, V., S. Atreya, T. Encrenaz, N. Ignatiev, and M. Giuranna. 2004. Detection of methane in the atmosphere of Mars. *Science* 306:1758-1761.
6. Huang, W. E., K. Stoecker, R. Griffiths, L. Newbold, H. Daims, A. S. Whiteley, and M. Wagner. 2007. Raman-FISH: combining stable-isotope Raman spectroscopy and fluorescence in situ hybridization for the single cell analysis of identity and function. *Environ. Microbiol.* 9:1878-1889.
7. Kudryavtsev, A. B., J. W. Schopf, D. G. Agresti, and T. J. Wdowiak. 2001. In situ laser-Raman imagery of Precambrian microscopic fossils. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 98:823-826.

8. Malin, M. C., and K. S. Edgett. 2003. Evidence for persistent flow and aqueous sedimentation on early Mars. *Science* 302:1931-1934.
9. McDonnell, L. A., and R. M. Heeren. 2007. Imaging mass spectrometry. *Mass Spectrom. Rev.* 26:606-643.
10. McKay, D. S., E. K. Gibson, Jr., K. L. Thomas-Kepprta, H. Vali, C. S. Romanek, S. J. Clemett, X. D. Chillier, C. R. Maechling, and R. N. Zare. 1996. Search for past life on Mars: possible relic biogenic activity in martian meteorite ALH84001. *Science* 273:924-930.
11. Nadeau, J. L., N. N. Perreault, T. D. Niederberger, L. G. Whyte, H. J. Sun, and R. Leon. 2008. Fluorescence microscopy as a tool for *in situ* life Detection. *Astrobiology* 8:859-874.
12. Saito, T., Y. Kawasaki, T. Kaneko, K. Kobayashi, and A. Miyakawa. 1999. Fluorescent microscopic system for detection of microorganisms and organic compounds on Mars, p. 24-32, *Part of the SPIE Conference on Instruments, Methods, and Missions for Astrobiology II*, vol. 3755, Denver, Colorado.
13. Skelley, A. M., J. R. Scherer, A. D. Aubrey, W. H. Grover, R. H. Ivester, P. Ehrenfreund, F. J. Grunthaner, J. L. Bada, and R. A. Mathies. 2005. Development and evaluation of a microdevice for amino acid biomarker detection and analysis on Mars. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102:1041-1046.
14. Squyres, S. W., R. E. Arvidson, J. F. Bell, 3rd, J. Bruckner, N. A. Cabrol, W. Calvin, M. H. Carr, P. R. Christensen, B. C. Clark, L. Crumpler, D. J. Marais, C. d'Uston, T. Economou, J. Farmer, W. Farrand, W. Folkner, M. Golombek, S. Gorevan, J. A. Grant, R. Greeley, J. Grotzinger, L. Haskin, K. E. Herkenhoff, S. Hviid, J. Johnson, G. Klingelhofer, A. H. Knoll, G. Landis, M. Lemmon, R. Li, M. B. Madsen, M. C. Malin, S. M. McLennan, H. Y. McSween, D. W. Ming, J. Moersch, R. V. Morris, T. Parker, J. W. Rice, Jr., L. Richter, R. Rieder, M. Sims, M. Smith, P. Smith, L. A. Soderblom, R. Sullivan, H. Wanke, T. Wdowiak, M. Wolff, and A. Yen. 2004. The Opportunity Rover's Athena science investigation at Meridiani Planum, Mars. *Science* 306:1698-1703.
15. Storrie-Lombardi, M. C., and B. Sattler. 2009. Laser-Induced Fluorescence Emission (L.I.F.E.): *In situ* nondestructive detection of microbial life in the ice covers of Antarctic lakes. *Astrobiology* 9:659-672.
16. Villar, S. E., H. G. Edwards, and C. S. Cockell. 2005. Raman spectroscopy of endoliths from Antarctic cold desert environments. *Analyst* 130:156-162.
17. Webster, C. R. 2005. Measuring methane and its isotopes $^{12}\text{CH}_4$, $^{13}\text{CH}_4$, and CH_3D on the surface of Mars with *in situ* laser spectroscopy. *Appl. Opt.* 44:1226-1235.
18. Wiseman, J. M., D. R. Ifa, Y. Zhu, C. B. Kissinger, N. E. Manicke, P. T. Kissinger, and R. G. Cooks. 2008. Desorption electrospray ionization mass spectrometry: Imaging drugs and metabolites in tissues. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105:18120-18125.
19. 山下雅道. 2007. 地下にもぐる太陽系内の生命. *科学* 77:143-146.