

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

吉村義隆¹、山岸明彦²、内海裕一³、長沼毅⁴、本多元⁵、山下雅道⁶、橋本博文⁶、横堀伸一²、宮川厚夫⁷、河崎行繁⁸、伊藤隆⁹、矢野創⁶、佐々木晶¹⁰、才木常正¹¹

¹玉川大学農学部、²東京薬科大学生命科学部、³兵庫県立大学高度産業科学技術研究所、⁴広島大学大学院 生物圏科学研究科、⁵長岡技術科学大学 生物系、⁶宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部、⁷静岡大学工学部、⁸IAS 総合科学研究所、⁹理化学研究所バイオリソースセンター、¹⁰国立天文台、¹¹兵庫県立工業技術センター

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

Yoshitaka Yoshimura¹, Akihiko Yamagishi², Yuichi Utsumi³, Takeshi Naganuma⁴, Hajime Honda⁵, Masamichi Yamashita⁶, Hirofumi Hashimoto⁶, Shin-ichi Yokobori², Atsuo Miyakawa⁷, Yukishige Kawasaki⁸, Takashi Itoh⁹, Hajime Yano⁶, Sho Sasaki¹⁰, Tsunemasa Saiki¹¹

¹Tamagawa University, 6-1-1 Tamagawagakuen, Machida-shi, Tokyo 194-8610;

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

²Tokyo University of Pharmacy and Life Science, ³University of Hyogo, ⁴Hiroshima University, ⁵Nagaoka University of Technology, ⁶Institute of Space and Astronautical Science,

⁷Shizuoka University, ⁸Institute of Advanced Science, ⁹RIKEN BioResource Center,

¹⁰National Astronomical Observatory of Japan, ¹¹Hyogo Prefectural Institute of Technology

Abstract: We have discussed current plans of astrobiology in worldwide, especially for searching life on Mars and proposed a new life detection project on Mars. Our proposal was to search methane-oxidizing microbes from a depth of about 5 - 10 cm below the surface at methane emitting sites by fluorescence microscopy combined with amino acid analysis and mass spectrometry. We have also designed a small microscope that is several kg in weight. To save electricity and detect low fluorescent emission, laser diodes (LD) as the illuminant to excite dye-labeled samples and back-illuminated charge-coupled device detectors would be useful, respectively.

1. 研究チームの目的

本研究チームは、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。昨年度、国内外における火星生命探査の研究動向について調査と検討を行い、探査場所を精査し、独自の探査機器を開発することによって、圏外生命探査において我が国が貢献できる可能性が出てきた。そこで、本年度は、具体的な火星探査計画を議論、提案することを目的とした。

2. 今年度の活動内容

メールでのディスカッションや JAXA 宇宙科学研究所（相模原）等での会合を重ね、独自の火星探査

計画を作成した（Yamagishi et al. in press）。また、2010 年 9 月にロシアで開催された European Astrobiology Network Association 会合で探査計画を発表し、欧米の研究者と意見交換を行った。さらに、蛍光顕微鏡法による生命探査法の開発に関する実験や、火星探査を想定した小型蛍光顕微鏡の設計等を行った。

3. 作成した火星探査計画の概要

生命が存在するためには、水と、酸化還元反応によって得られるエネルギー（ギブズ自由エネルギー）が必須であるが、これまでの探査計画は主として水の探査に重点がおかれてきた。我々は、火星に存在するメタン（Formisano et al. 2004, Mumma et al. 2009）と、硫酸塩等の酸化物質（Gendrin et al.

2000) に着目し、地球上で、これらの酸化還元物質からエネルギーを獲得することが知られているメタン酸化菌 (Beal et al. 2009) が、火星表面付近にも存在することを想定した。火星の表面環境は、極度に酸化した過酷な環境であると考えられているが (Benner et al. 2000)、その環境因子は、地球上に存在する極限環境微生物の生育範囲内であり (Table. 1)、紫外線の影響が及ばない、表面から 5 - 10 cm 下であれば、現在も微生物が生存している可能性がある。

Table 1. 地球上の生命の生存限界と火星環境 (Yamagishi et al. in press)

Factor	Limit for terrestrial life	Measurement/estimate on Mars
Gravity	~ 0 to unknown higher g	0.376 g
Temperature	Active from -20°C to 122°C	-87°C to 20 °C
Pressure	Survivable lowest: unknown	Atmosphere 0.4 to 0.87 kPa
	Survivable highest: 1.6 GPa	(ca. 6/1000 of the Earth's)
Vacuum	Survivable	0.4 kPa
Salinity (NaCl%)	0 to >30% (saturation)	Evaporites
Water activity (Desiccation)	~ 0.6 (bio-activity)	~ 0
	~ 0 (survival)	
UV radiation	~ 5000 J m ⁻²	~ 20 W m ⁻²
Ionizing radiation	~ 20000 Gy (1440 Gy day ⁻¹)	0.4 mGy day ⁻¹
pH	-0.06 to 12.5	7.7±0.5
Redox potential	Limits undefined	Highly oxidizing

生命探査法としては、蛍光顕微鏡を用いた検出法と、検出した生命体を加水分解し、アミノ酸を液体クロマトグラフや質量分析装置等で検出する方法を組み合わせた方法を検討した。蛍光顕微鏡法は、局在化した生体分子を蛍光色素によりラベリングする方法であり、検出感度が高いことが利点である。これまでに数多くの蛍光色素が開発されており、その中から、生命の定義に対応した各種蛍光色素を組み合わせて用いる。すなわち、細胞の内外を区別する細胞膜検出色素、核酸等の遺伝物質検出色素、酵素活性等の代謝活動を検出する色素等と組み合わせて用いる。蛍光顕微鏡により生命体と思われる粒子を検出した後、その粒子を抽出してアミノ酸分析を行う。地球の生物はすべて、20 種類の L 型アミノ酸からなるタンパク質を持っており、火星の生命体と思われる粒子が地球と同じアミノ酸かどうかを調べる事により、生命体の由来を知ることができると考えている。

4. 生命探査法開発の進捗状況

蛍光顕微鏡法開発において、各種蛍光色素のスクリーニングを行った。数十種類の蛍光色素の中から、極地や高山の土壌試料、模擬火星土 (JSC MARS-1A SIMULANT) 等を用いて、環境中の微生物検出に適した蛍光色素を選抜した。その結果、細胞膜検出色素としては、TMA-DPH, FM1-43 等、遺伝物質検出色素としては、SYBR Green, SYTO9, Propidium Iodide, Acridine orange 等、代謝活動検出色素としては、

CFDA, CFDA-AM 等が有効であることが分かった。

小型蛍光顕微鏡の設計では、X 軸、Z 軸、θ 軸駆動機構を取り付け、約 32.1cm² の範囲を走査し、広い範囲での検出を可能にする顕微鏡を設計した (Fig. 1.)。光源部は、省電力化のため、波長 375nm (405nm)、488nm、638nm のレーザーダイオードを光源とし、レーザービームコンバイナーを用いて 1 本の光ファイバーに入射して顕微鏡本体へ導入する構造を考案した。これにより、1 種類のレーザーダイオードによる蛍光観察だけでなく、複数のダイオードを点灯させ、白色光として用いる反射光観察も可能である。また、蛍光観察波長は、蛍光フィルタホイールを利用することによって、5 波長から選択可能にし、多種類の蛍光色素に対応できるようにした。レーザーの集光には非球面レンズを用いるが、光学設計ソフトを利用してシミュレーションを行い、高効率で光ファイバーへ入射することができるようになった。検出装置は、微弱な蛍光に対応するため、裏面入射型 CCD 撮像素子を用いる予定である。

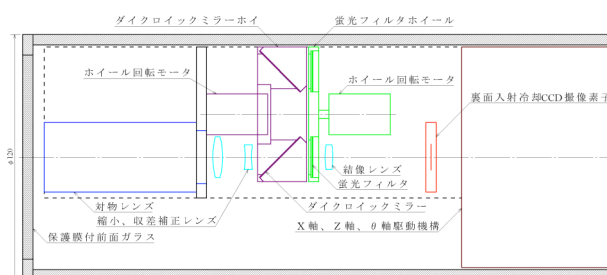


Fig. 1. 蛍光顕微鏡の内部構成

4. 参考文献

1. Beal, E. J. et al. 2009. Manganese- and iron-dependent marine methane oxidation. *Science*, 325(5937), 184-187.
2. Benner, S. A. et al. 2000. The missing organic molecules on Mars. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97, 2425-2430.
3. Formisano, V. et al. 2004. Detection of methane in the atmosphere of Mars. *Science* 306, 1758-1761.
4. Gendrin, A. et al. 2005. Sulfates in Martian layered terrains: the OMEGA/Mars Express view. *Science*, 307(5715), 1587-1591.
5. Mumma, M. et al. 2009. Strong release of methane on Mars in northern summer 2003. *Science*, 323(5917), 1041-1045.
6. Yamagishi, A. et al. Japan Astrobiology Mars Project (JAMP): Search for microbes on the Mars surface with special interest in methane-oxidizing bacteria. *Biol. Sci. Space*, in press.