

Life-search package for Mars Lander Exploration

(火星着陸探査計画における生命探査パッケージ)

Akihiko Yamagishi¹, Takehiko Satoh², Atsuo Miyakawa¹, Yoshitaka Yoshimura³, Takeshi Naganuma⁴, Satoshi Sasaki⁵, Eiichi Imai⁶, Hirohide Demura⁷, Hikaru Yabuta⁸, Hajime Mita⁹, Yoko Kebukawa¹⁰, Kensei Kobayashi¹⁰, Keigo Enya², Hideaki Miyamoto¹¹, Genya Ishigami¹², Kazuhisa Fujita¹³ and Tomohiro Usui¹⁴

¹Tokyo University of Pharmacy and Life Sciences, 1432-1 Horinouchi, Hachiojishi, Tokyo 192-0392 Japan, ²Institute of Space and Astronautical Science(ISAS), Kanagawa, Japan, ³Tamagawa University, Tokyo, Japan, ⁴Hiroshima University, Hiroshima, Japan, ⁵Tokyo University of Technology, Tokyo, Japan, ⁶Nagaoka Institute of Technology, Niigata, Japan, ⁷Aizu University, Fukushima, Japan, ⁸Osaka University, Osaka, Japan, ⁹Fukuoka Institute of Technology, Fukuoka, Japan, ¹⁰Yokohama National University, Yokohama, Japan, ¹¹The University of Tokyo, Tokyo, Japan, ¹²Keio University, Tokyo, Japan, ¹³Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), Tokyo, Japan, ¹⁴Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan

ABSTRACT

Past trial of direct detection of life on Mars by 1970's Viking mission ended up with a negative conclusion [1]. Whereas, numbers of new finding provided by Mars exploration missions in the last decade indicate that there are good reasons to perform another life detection program. The sensitivity of the gas chromatograph mass spectrometer onboard the Viking mission was not very high, and was not able to detect 10^6 cells of microbes in 1-gram clay [2,3]. Here we propose Life Detection Microscope (LDM) that has much higher sensitivity than the instrument onboard Viking.

Recent observations on Mars have found the evidences of past water activities. MSL Curiosity has found the temporal increase of methane concentration in Martian atmosphere [4]. The presence of reduced sulfur compound such as pyrite in Martian soil was also detected by MSL [5]. Methane and reduced sulfur compound can be the energy source to support

the growth of chemoautotrophic microbes [6]. Possible presence of liquid water at Recurring Slope Lineae has been supported by the detection of hydrated salts [7]. The presence of organic compounds of Martian origin has been reported [8]. These evidences tend to support the possible presence of living microbes near the surface of Mars.

Physical and chemical limits for terrestrial life have been major foci in astrobiology [9], and are summarized in ref. [6]. Combining the environmental factors, anywhere in the Martian environment where we can find the three components, water molecules, reducing compounds and oxidative compounds could be an environment where life can be sustained for long periods of time, if other factors such as temperature, pressure, UV and other radiations permit [6]. Among these factors, most of the factors including ionizing radiation can be endured by terrestrial extremophiles. Only UV can kill the most UV-resistant microbes within minutes. However, UV can be shielded by a few-centimeter soil layers. These evaluation lead to the conclusion that the Martian soil under a few cm can be the place to support the growth of microbes, if the water activity is higher than 0.6.

We propose to search for cells from a depth of about 5 - 10 cm below the surface, which is feasible with current technology. LDM could detect less than 10^4 cells in 1-gram clay [6]. LDM has the sensitivity that is two orders of magnitude higher than the one onboard Viking. LDM is capable of identifying what we think to be the most fundamental features that a cell should possess to constitute life. Our Investigation Goals are the followings. 1) Identify cell-like structure in which organic compounds are enveloped by membrane, which may represent Martian life. 2) Search for any type of organic compounds in Mars surface samples: cells, other biological materials, and abiotic polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH). 3) High-resolution characterization of regolith and dust particles.

References: [1] Margulis, L. et al. *J. Mol. Evol.* **14**, 223-232 (1979). [2] Glavin, G.P. et al, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **185**, 1-5 (2001). [3] Navarro-González, R. et al., *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* **103**, 16089-16094 (2006). [4] Webster, C.R. et al. *Science Express* Dec. 16 (2014). [5] Ming, D.W. et al. *Science Express* Dec.19 (2013). [6] Yamagishi, A. et al. *Biol. Scie. Space.* **24**, 67-82 (2010). [7] Ojha, L. et al. *Nature Geoscie.* **8**, 829-832 (2015). [8] Freissient, C. et al. *J. Geophys. Res. Planets* **120**, 495-514 (2015). [9] Marion, G.M. et al. *Astrobiol.* **3**, 785-811 (2003)

2016年7月21日宇宙研
月惑星シンポジウム

火星着陸探査計画における 生命探査パッケージ

山岸明彦(東薬大・生命)、佐藤毅彦(ISAS/JAXA)、宮川厚夫(東薬大・生命)、吉村義隆(玉川大・農)、長沼 毅(広島大・生命圏科学)、佐々木聰(東京工科大・医療保健)、今井栄一(長岡技大・生命機能工学)、出村裕英(会津大・コンピュータ理工)、藪田ひかる(阪大・理)、三田 肇(福岡工大・工)、癸生川陽子(横浜国大・工)、小林憲正(横浜国大・工)、塩谷圭吾(ISAS/JAXA)、宮本英昭(東大・総博)、石上玄也(慶大・理工)、藤田和央(JAXA・研究開発)、臼井寛裕(東工大・ELSI)

1. なぜ火星での生命探査か

アストロバイオロジー: 宇宙における生命の起源、進化、伝播および未来

- 有機物の起源: 有機物は宇宙から来た。
- 生命の起原
 - 約40億年前RNA生命(複製リボザイム)が陸で誕生した。
- 系外惑星候補が5000個見つかри、
- 地球に似た惑星も複数個あり、
- 生命探査: 酸素、メタン、光合成色素の探査装置検討
- 系外惑星から生命を地球に持ち帰ることはできない。
- 太陽系での生命探査が重要(火星、氷衛星)。
- 最も生命がいそうな惑星、最も地球に似た惑星。

1. なぜ火星での生命探査か：最近の発見

NASAバイキング計画の見直し
GC-MS 感度がとっても悪かった。

The detection limit of Viking GC-MS was not very good. Viking GC-MS is not able to detect bacteria **10^6 cells/gram** soil.

(Glavin, et al, *Earth Planet. Scie. Lett.*, **185**, 1-5 (2001)
Navarro-González, et al., *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* **103**,
16089-16094 (2006)。

地球でも微生物見つけられない。

Whereas microbes in least populated soils contain **only 10^4 cells/gram**, on the Earth.

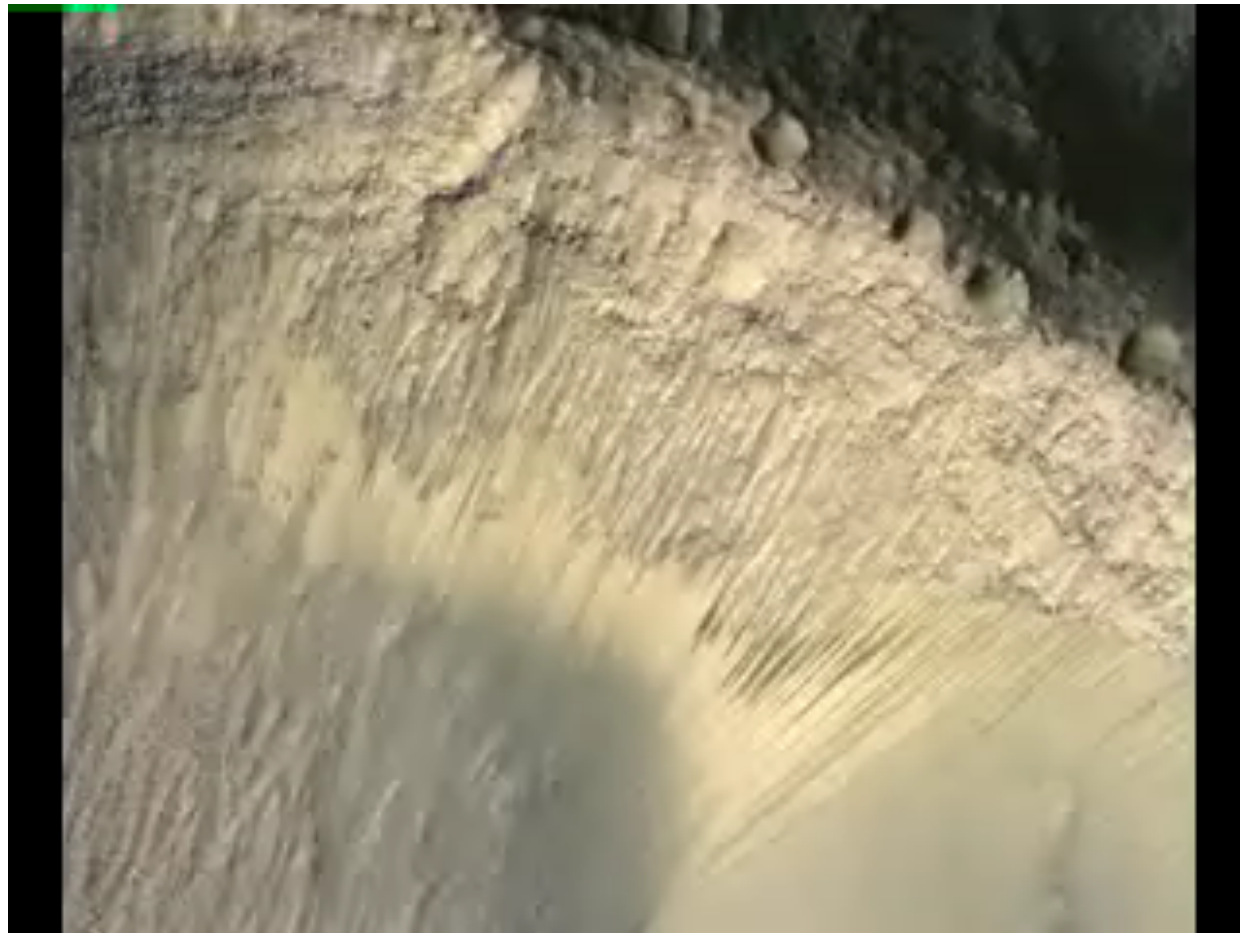
(Dress et al. 2006, *Appl. Environ. Microbiol.* **72**, 7902-7908;
Karner et al. *Nature* **409**: 507-510; Kato et al. *Environm. Microbiol.* **11**: 3210-3222.)

1. なぜ火星での生命探査か：最近の発見

- 誕生初期の火星：地球と同じ（海、大気、地磁気、陸）
- 地球よりも生命誕生に適していた。
 - 過去の火星には水があった。
 - Large outflow channels (the Mars Global Surveyor mission)
 - H₂O ice (the Mars Odyssey and the Phoenix mission)
 - Hydrated sulfate and phyllosilicates (the Mars Express mission)
 - Sedimentary rocks and hematite (the Mars Exploration Rover Opportunity)

1. なぜ火星での生命探査か：最近の発見

クレーター斜面に春と夏に現れる水の流出？

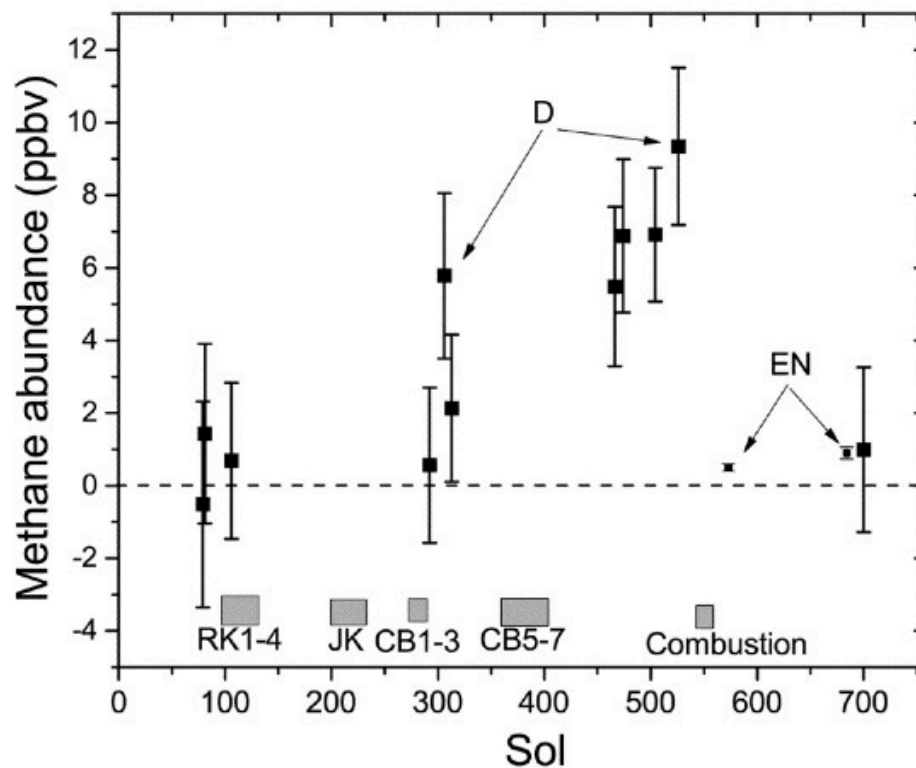


NASA

1. なぜ火星での生命探査か：最近の発見

•NASA探査車MSL：メタンの放出が検出された

Webster, C.R. et al. Science Express (2014)



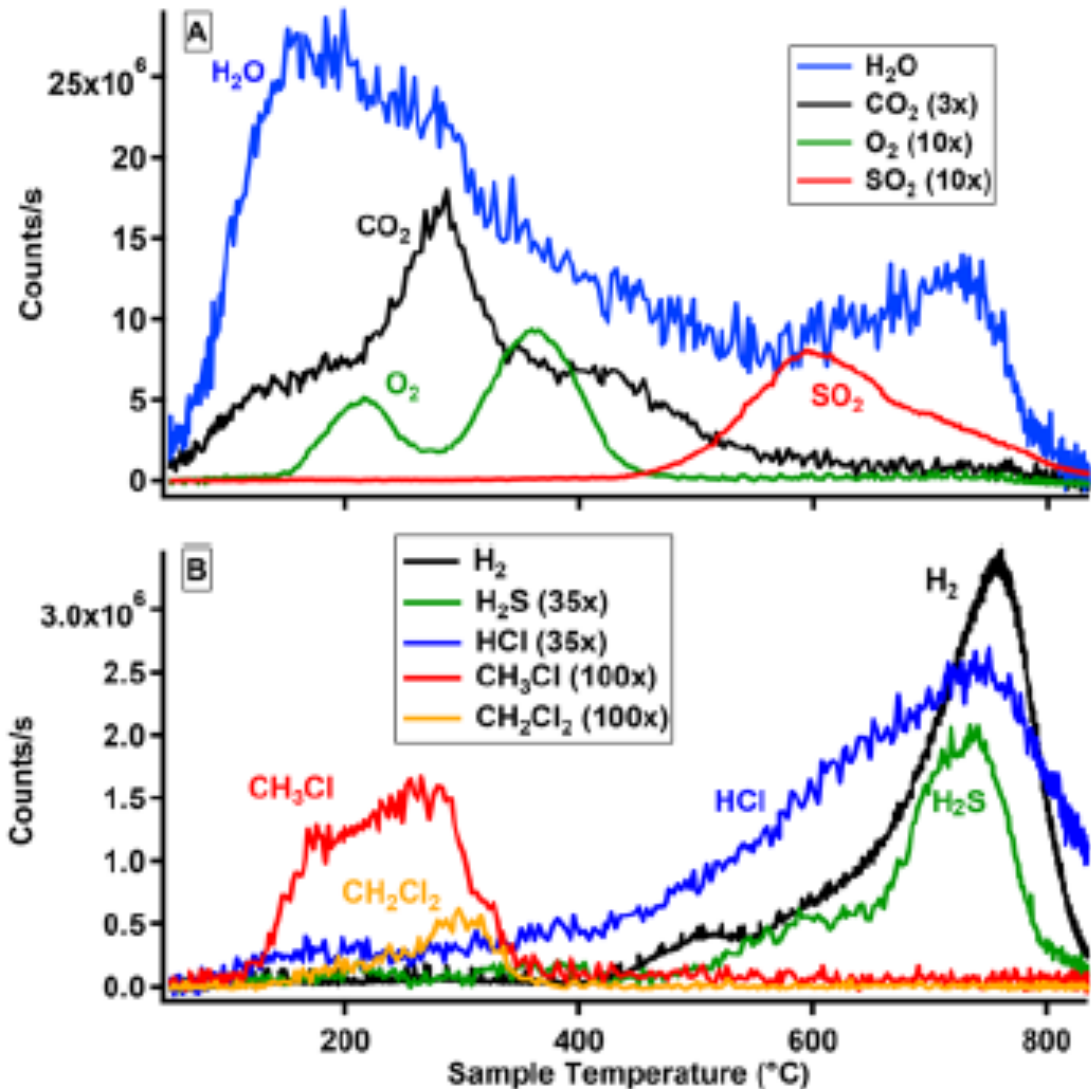
Methane can be energy source for methane-oxidizing bacteria, which is different from well known metanongen.

Methane was measured from nighttime ingest, except D that was ingested during the day and analyzed at night. EN were retrieved form the “enrichment measurement”.

1. なぜ火星での生命探査か：最近の発見

火星探査車
MSLキュリオシティ
が還元型鉱物を検
出した。
生物のエネルギー
源となる

D. W. Ming et al. 2013
science.1245267
Scienceexpress Dec.19



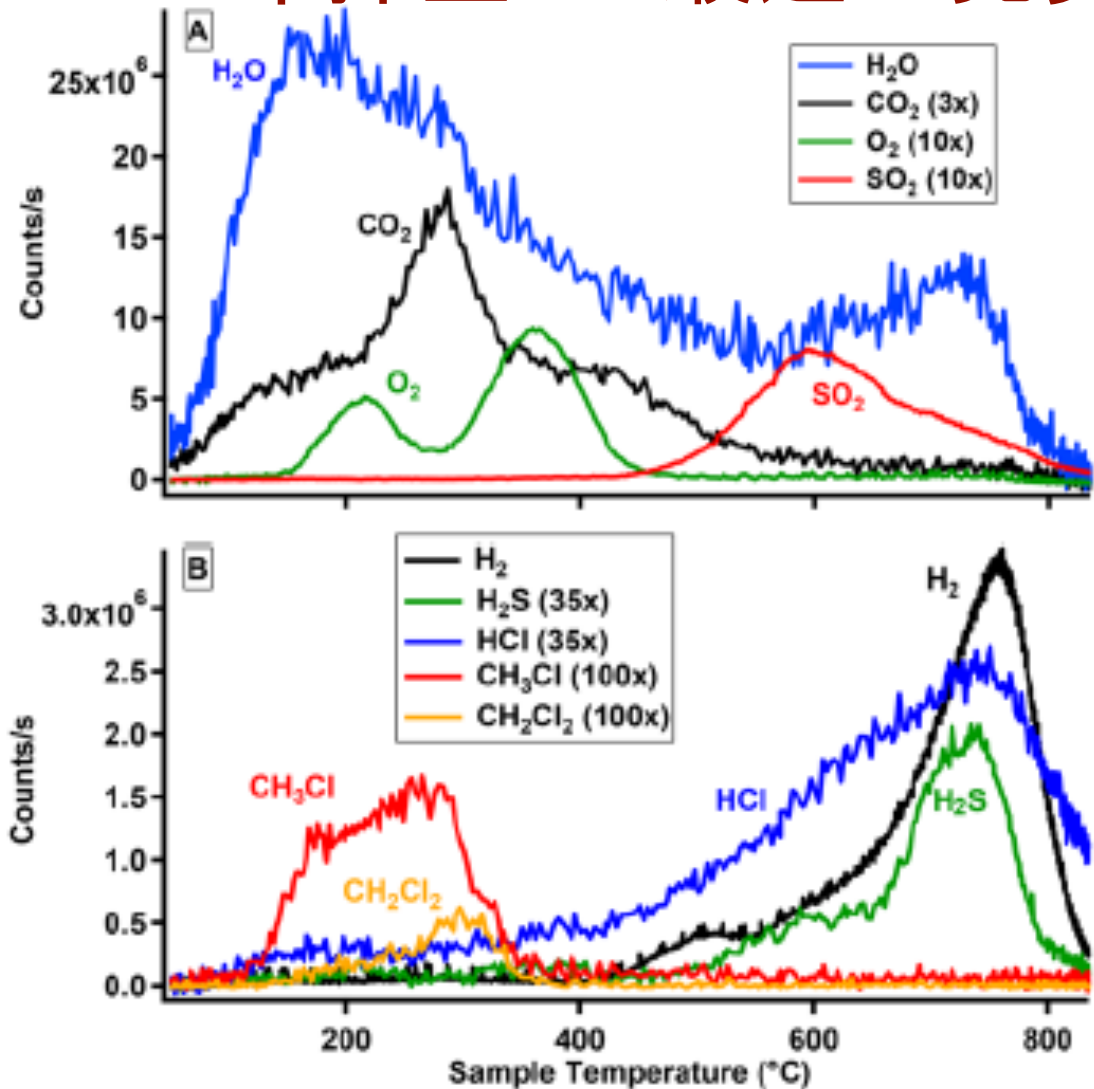
1. なぜ火星での生命探査か：最近の発見

火星探査車キュリオ
オシティが有機物を
検出した。

D. W. Ming et al. 2013
science.1245267
Science express Dec.
19

Organic molecules in
the Sheepbed
Mudstone, Gale Crater,
Mars

Freissient, C. et al.
J. Geophys. Res.
Planets, 2015



今後の火星メタン、水、有機物探査 これらを見据えて微生物探査

- 2016 Hawaii Tohoku-U Telescope et al. **メタン**
- 2016 ALMA **H₂O** 数百km resolution
- 2016 ESA Trace Gas Orbiter **メタン PPT**
- 2018 ESA/Russia ExoMars Lander 1.5 m drilling
Raman spectrometer: **有機物 画像解像度
10um**
- 2020 NASA Mars2020 **SHERLOC UV Flu. Raman,**
有機物 画像解像度10um

2. 生命はいるか

火星表面で可能な化学合成細菌

電子供与体	電子受容体	化学合成細菌
(H ₂)	CO ₂	(メタン生成菌)
(H ₂)	ClO ₄ ⁻ , NO ₃ ⁻ , Fe(OH) ₃ , SO ₄ ²⁻ , etc.	(水素酸化細菌)
CH ₄	NO ₃ ⁻ , MnO ₂ , Fe(OH) ₃ , SO ₄ ²⁻ , etc.	メタン酸化細菌
Fe (II)-sulfides	NO ₃ ⁻ , MnO ₂ , etc.	鉄酸化細菌
S ⁰	ClO ₄ ⁻ , NO ₃ ⁻ , MnO ₂ , etc.	硫黄酸化細菌

2. 生命はいるか

地球微生物の火星表面での生存可能性

因子	地球生物生存範囲	火星表面環境
Gravity	~ 0 to unknown higher g	0.376 g
Temperature	Active from -20°C to 122°C	-87°C to -5°C or 20 °C?
Pressure	Growth lowest: 0.6 kPa Survivable highest: 1.6 Gpa	Atmosphere 0.6 kPa (ca. 6/1000 of Earth)
Salinity (NaCl%)	0 to >30% (saturation)	Evaporates
Water activity (Desiccation)	~ 0.6 (bio-activity) ~ 0 (survival)	Liquid water? ~ 0
Ionizing radiation	1440 Gy	150 mGy year ⁻¹
pH	-0.06 to 12.5	7.7±0.5
Redox potential	Limits undefined	Highly oxidizing
UV radiation	~ 5000 J m ⁻²	~ 20 J m ⁻² s ⁻¹

UV は簡単に遮蔽される
過塩素酸はエネルギー源になる

2. 生命はいるか

現在の火星に生育環境があるか？

1. 水活量0.6以上の場所？
2. CHONSP 軽元素
3. エネルギー源
4. 微生物生存環境：紫外線が遮蔽される場所
5. 有機物

3. 探査原理

微生物をどう見つけるか？

1. 有機物でできている

水、初期火星環境、隕石由来有機物

2. 膜に囲まれている：生命の定義

細胞膜：細胞内分子濃度を高くたもつ

3. 探査原理

DNAのない細胞も検出可能: 大きさ1 μm

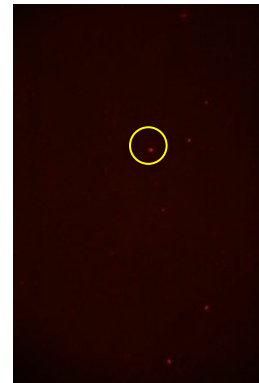
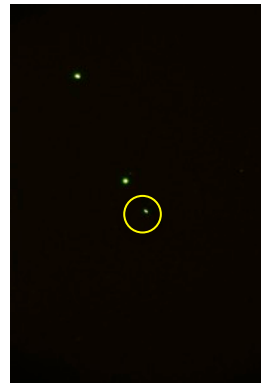
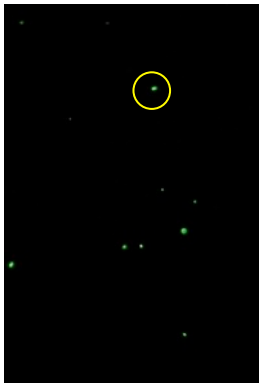
ミニセル

SYTO24 プロピヂウムイオダイド SYBR Green I

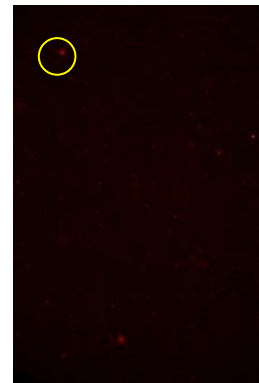
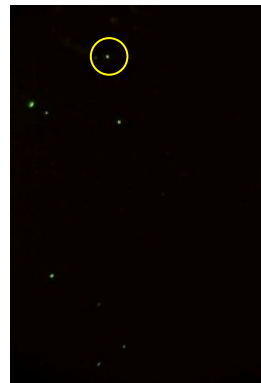
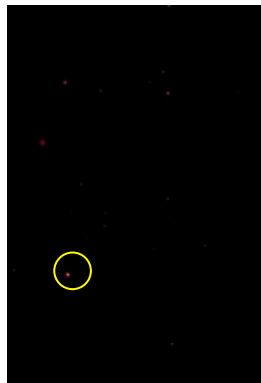
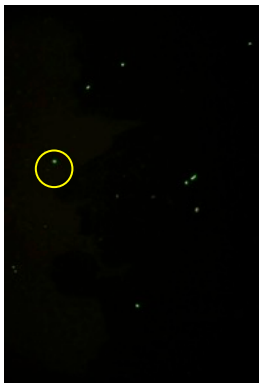
SYPRO Red

CFDA, AM

生菌



死菌



3. 探査原理

有機物に対する染色性

微生物細胞だけでなく、タンパク質やプロテノイド、PAHなどの有機物も検出可能

	PI	SYTO 24	SYPRO Red
タンパク質 (Boiled BSA)			
プロテノイド (Asp+Pro)			
多糖類 (片栗粉)			
脂質 (トリハルミチン)			
PAH (Pyren)			
脂肪酸 (リノール酸)			
過塩素酸による色素脱色 (火星模擬土壤中での有機物の撮像)			

3. 探査原理

火星模擬土壤中でも微生物の検出が可能

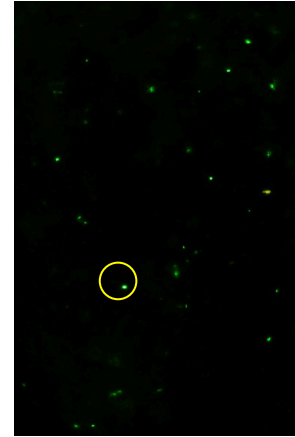
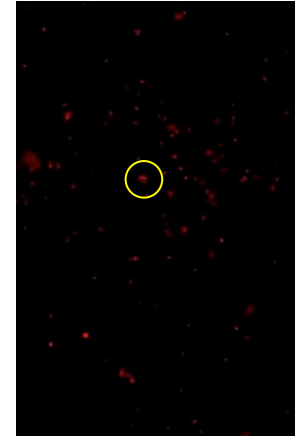
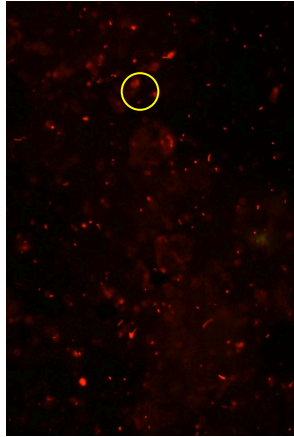
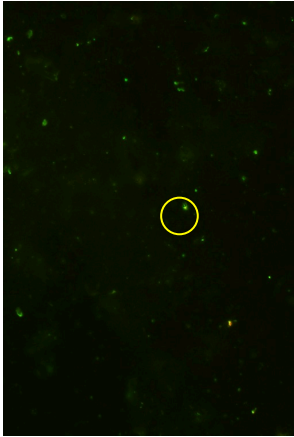
SYTO24 プロピヂウムイオダイド

SYBR Green I

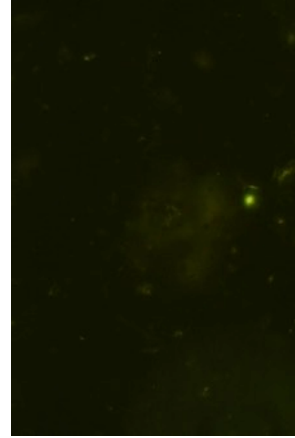
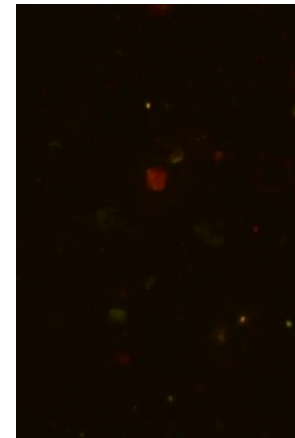
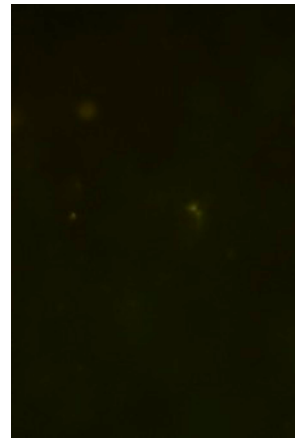
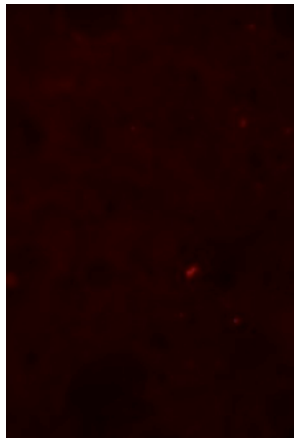
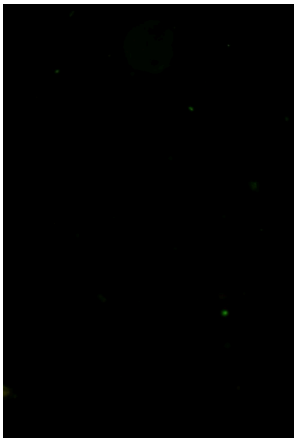
SYPRO Red

CFDA, AM

菌入り



鉱物のみ



4. 装置開発

ミッション装置目標、測定要求

ミッション装置目標

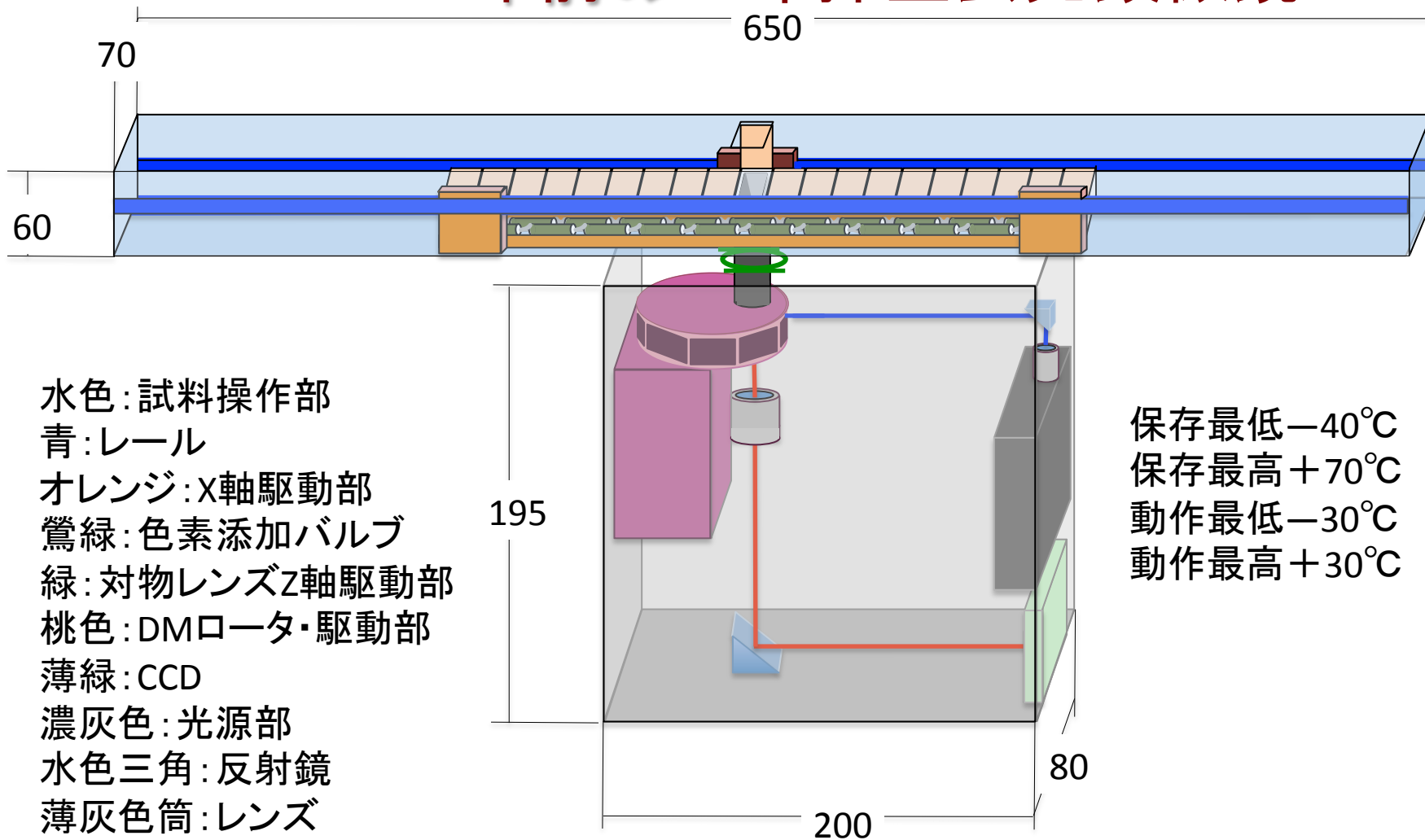
- 現在の知見で火星表面付近において最も存在確率の高い所で、 10^4 細胞/グラム土壌の感度（地球で最も細胞密度の小さい地域で生命検出ができる感度）で検出可能な生命の存否を明らかにする。

測定要求

- $1\mu\text{m}$ /ピクセルの解像度を持つ
 - (ExoMars ラマン顕微鏡の10倍以上高い解像度)
- 10^4 細胞/g土壌の検出感度を持つ
(Vikingの100-1000倍高い感度)

4. 装置開発

一年前の生命探査蛍光顕微鏡



5. 探査地域

今後の火星メタン、水、有機物探査 これらを見据えて微生物探査

- 2016 Hawaii Tohoku-U Telescope et al. **メタン**
- 2016 ALMA **H₂O** 100km resolution
- 2016 ESA Trace Gas Orbiter **メタン PPT**
- 2018 ESA/Russia ExoMars Lander 1.5 m drilling
Raman spectrometer: **有機物 画像解像度
10um**
- 2020 NASA Mars2020 **SHERLOC UV Flu. Raman,**
有機物 画像解像度10um

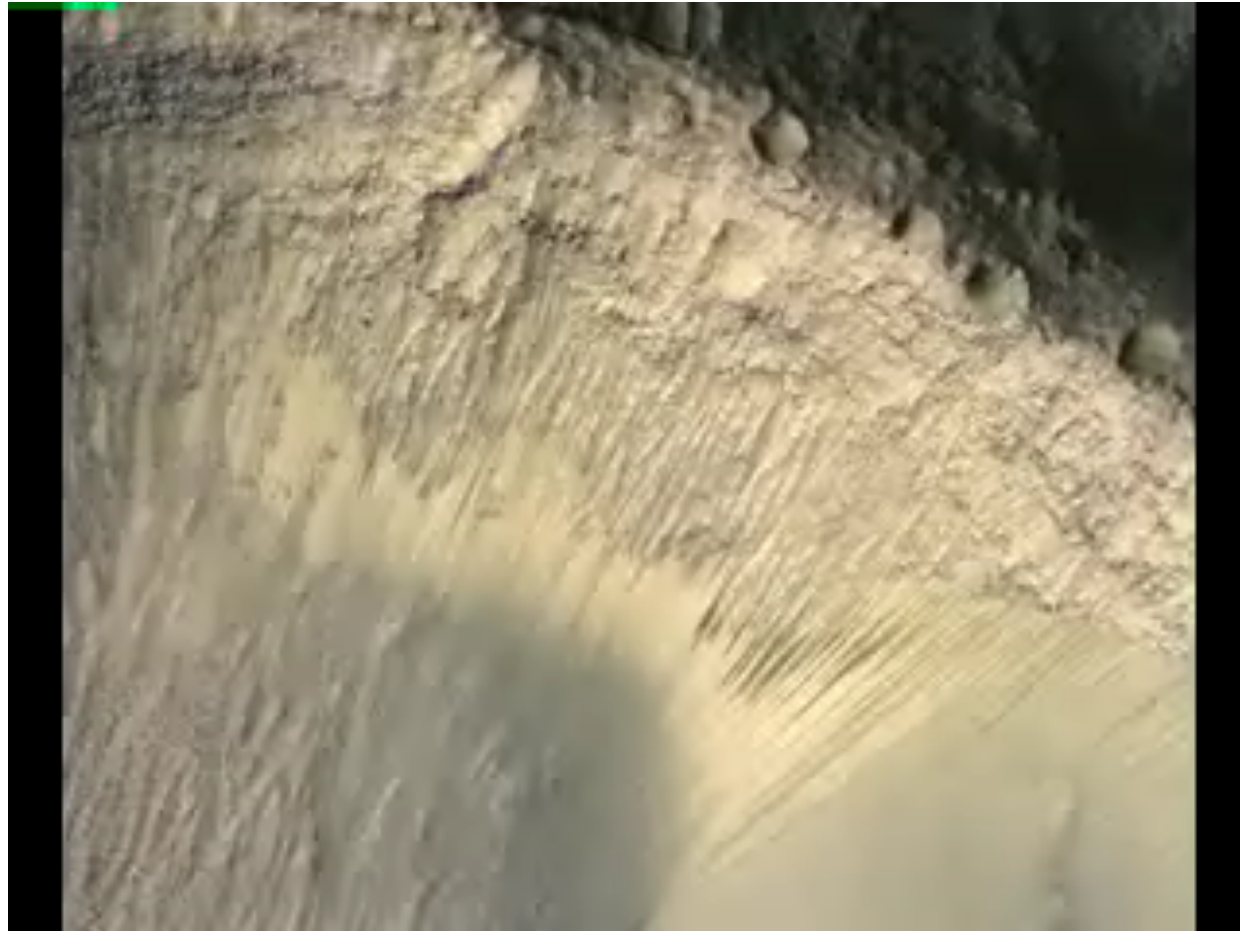
5. 探査地域

メタン発生は水が関与

- 化学的メタン生成
 - 蛇紋岩化 + Fischer-Tropsch 反応
 - 水 + かんらん岩 → 蛇紋岩 + 水素
 - 水素 + CO → $C_nH_{2n+2} + nH_2O$
- 生物的メタン生成
 - 蛇紋岩化反応 → 水素
 - 水素 + CO₂ → メタン
- メタンハイドレート

5. 探査地域

クレーター斜面に春と夏に現れる水の流出?
Recurring Slope Linear



NASA

5. 探査地域

ダークパッチ(宮本さんより)

黒色の点:現在でも全球的に発生している

[Malin et al., 2006; Daubar et al., 2013]

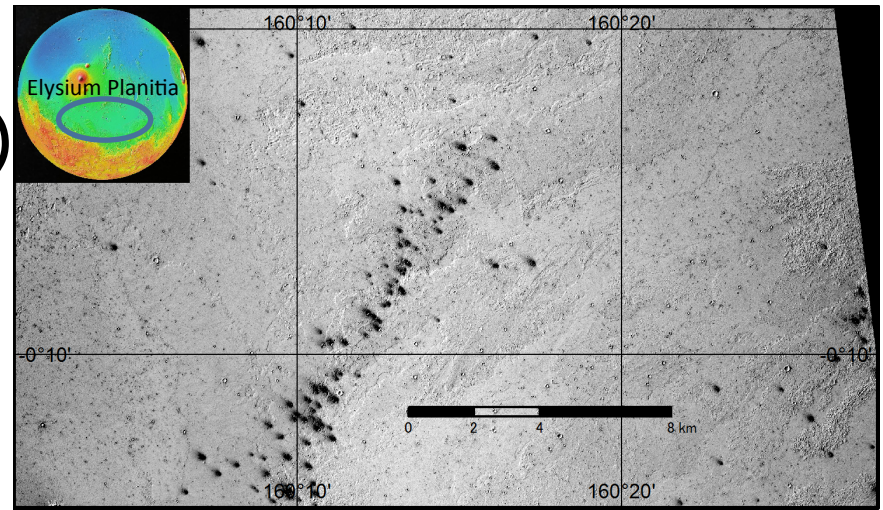
新しい衝突クレーターと解釈される

[e.g., Malin et al., 2006; Daubar et al., 2013; Watters et al., 2015]

しかし新しいダークパッチの底や周囲に水氷が検出されている

[e.g., Byrne et al., 2009;]

地中のガスハイドレートが地下の熱的異常の影響で溶け、放出したガスが蓄積、圧縮して表面のダストを吹き飛ばしたという解釈も成り立つ



CTX画像ペアの比較



5. 探査地域

小さいクレーターで
氷？が出てきた場所

Bar: 20m

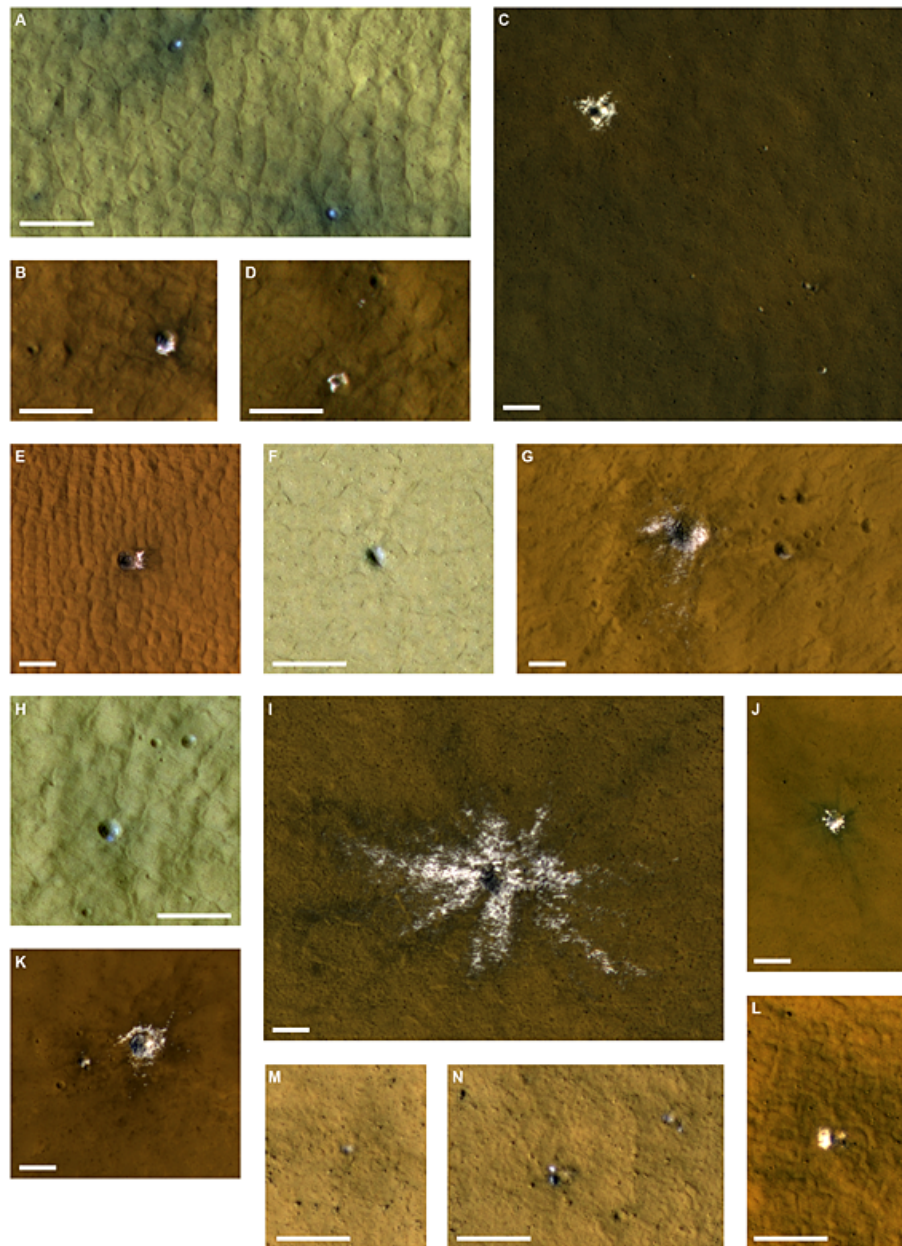
HiRISE observations of new impact
craters exposing

Martian ground ice

Dundas, C.M. et al. J. Geophys.

Res. 119, 109-127 (2014)

Scale bar: 20m



6. 探査計画

- 遠隔探査から水、メタンに関連している場所
- 地下へのアクセス
 - 掘削
 - 新しいクレーター
 - 汚染の可能性低い
- 候補地
 - Recurring Slope Lineae
 - Dark Patch
 - White Patch
 - その他

7. 生命探査パッケージ

- 地下構造がどうなっているか
 - 地下レーダー
- 水があるかメタンがあるか
 - 赤外分光、水分計
- 鉱物は何か
 - 質量分析、LIBS
- 有機物はあるか
 - 蛍光顕微鏡、紫外蛍光、ラマン、質量分析
- 微生物がいるか
 - 蛍光顕微鏡

7. 生命探査パッケージ

- 生命生存環境が残っているか
- どのような惑星の要件が重要か
- 生命がまだいるか
- 有人探査の前の解析が重要
 - 有人探査の安全
 - 火星環境汚染への懸念の評価

終わり