

P5-018 MELOS 生命探査計画:メタン酸化菌等を対象にした微生物探査計画

山岸明彦(東大), 吉村義隆(玉川大), 本多元(長岡技大), 宮川厚夫(静大), 佐藤毅彦(ISAS/JAXA), 石上玄也(ISAS/JAXA), 春山純一(ISAS/JAXA), 出村裕英(会津大学), 豊田岐聡(阪大), 小林憲正(横浜国大), 大野宗祐(千葉工大), 石丸亮(千葉工大), 佐々木晶(国立天文台), 宮本英昭(東大),

生命には水が必須である。もう一つ生命の維持に重要な因子としてギブス自由エネルギーがある。動物は食物と酸素無しには生存できないが、それは両者が自由エネルギーの獲得に必要なからである。火星で生命が誕生して現在もまだ生存し続けているとするならば、現在まで自由エネルギーが入手可能な場所であればならない。生物による自由エネルギー獲得方法としては、呼吸(動物)、光合成(植物)、化学合成(化学合成微生物)の三つが知られている。火星におけるメタンの発見と、地球におけるメタン酸化鉄還元細菌の発見(Bealら2009)から、我々は火星表面において現在もまだメタン酸化鉄還元細菌(化学合成微生物の一種)が生きているのではないかと推定するに至った。もし、火星に於いて生命が誕生し現在も生存しているとするならば、そこは生存にとって困難な条件をさける環境で無ければならない。火星の様々な環境の中で温度、気圧、重力等は地球の生命を考えた場合には十分に生存可能な環境である。放射線も生死に影響を与えるほどの強度は持っていない。唯一、紫外線が重要な致死要因となる。しかし、紫外線は様々な物質によって吸収されるので、薄い火星土壌に覆われるだけで、十分生育可能な環境となる。細胞内の液体の水は地球型生命にとって必須であるが、細胞外の液体の水は生存にとっては必須ではない。従って、メタンと酸化鉄のような酸化型物質の両者がある場所であれば、数センチメートル程度の深さでも微生物は生存している可能性があると推定している。微生物探査の方法としては、蛍光色素をもちいた顕微鏡観察を自動的に行う。これまで多くの蛍光色素が開発されている。その中から、生命の定義に対応した色素を組み合わせて用いる。細胞の内外を区別する膜(境界)の存在を識別する色素、細胞の複製にひつような遺伝物質を識別する色素、細胞の代謝を司る酵素の存在を識別する色素を組み合わせて用いる。これらの色素の組み合わせから、「細胞」の特徴を抽出することができる。軽量のメタン測定装置をローバーあるいは着陸機に装着。ローバーのロボットアームで土壌を採集。着陸機で顕微鏡観察を行う。他の装置の同時搭載性を検討している。

生命の生存に何が必要か？

1. 水。ただし、細胞の外に液体の水はいらないかもしれない。
2. 自由エネルギー:
 - 動物: 食物 + 酸素.
 - 植物: 光.
 - 化学合成細菌:
 - 還元物質 + 酸化物質.
 - メタン + 酸化鉄.

地球生物の火星での生存可能性

Factor	Limit for terrestrial life	Mars
Gravity	~ 0 to unknown higher g	0.376 g
Temperature	Active from -20 C to 122 C Survivable lowest: unknown Survivable highest: 1.6 Gpa	-87 C to -5 C or 20 C? Atmosphere 0.6 kPa (ca. 6/1000 of Earth)
Pressure	Survivable	0.4 kPa
Vacuum	Survivable	Evaporites
Salinity (NaCl%)	0 to >30% (saturation)	Evaporites
Water activity (Desiccation)	~ 0.6 (bio-activity) ~ 0 (survival)	~ 0
UV radiation	~ 5000 J m ⁻²	~ 20 W m ⁻²
Ionizing radiation	1440 Gy	0.4 mGy day ⁻¹
pH	-0.06 to 12.5	7.7±0.5
Redox potential	Limits undefined	Highly oxidizing

低圧化でも生存可能、紫外線は数cmの遮蔽で生存可能。それ以外の因子は生存に問題ない。地球微生物は火星で生存可能。

生命探査手段

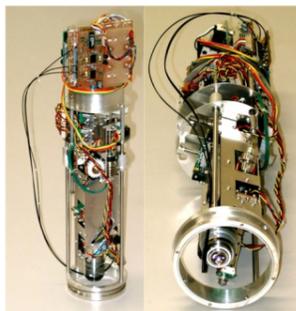
- ローバーのシャベルで火星土壌を採集。
- 着陸機へ持ち帰り、サンプル保持容器へ入れる。
- 蛍光色素を添加後、顕微鏡観察。
- 画像を自動処理、シグナルのあった部分を保存。
- 地上へ転送。
- あるいは、着陸機付属のロボットアームで土壌採集、顕微鏡観察。
- あるいは、空中のダストを顕微鏡観察。
- 同時に、宇宙より飛来する宇宙塵、隕石破砕粒中の有機物も探査。
- ローバーに軽量メタン測定装置を搭載する。

生命探査手段

蛍光顕微鏡

光源: LED、X-Y-Z方向可動、CCD
諸元

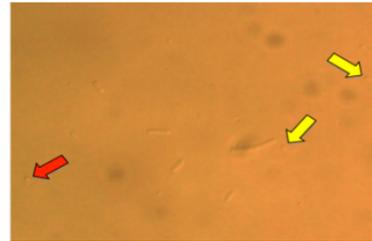
分解能 0.65 μm, 16bit
data 23G 自動解析
観察面積 100cm²
転送 26分
電力 10 W
重量 3 kg
サイズ 100φ x 360 mm



火星用メタンレーザーレーダー

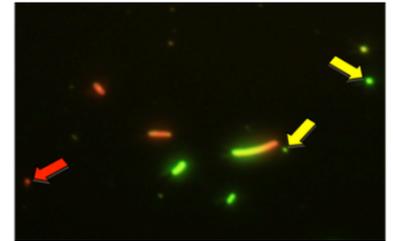
原理: 対象ガスが吸収する波長のレーザーを物体に照射し、反射光を受光。航路上の吸収を測定する。
現時点での火星用メタンレーザーレーダー想定スペック
重量: 1.2kg以下
消費電力: 20~30W
サイズ: 100mm 立方程度
現在の既存の装置(アンリツ製レーザーメタン mini)の検知感度は 10ppm・cm
火星用に特化することで 10ppb の感度は達成見込み。

蛍光顕微鏡撮影画像



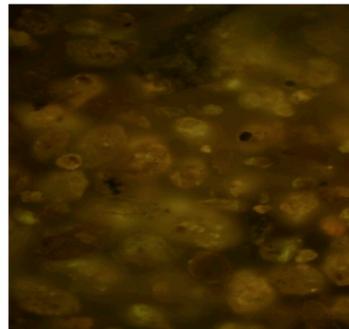
明視野

DNA を持たない細胞(黄色矢印と赤矢印)も染色された、生細胞(緑)と死細胞(赤)を区別できる。



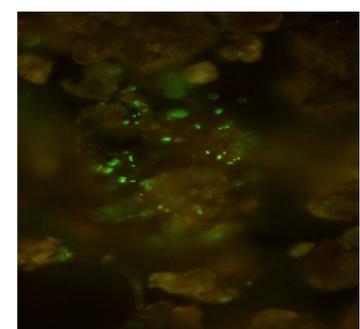
蛍光顕微鏡画像 SYTO9 & PIによる二重染色

火星模擬土壌(JSC MIRS-1C)中の微生物の検出



明視野(左)と

火星土壌中の微生物を検出



蛍光顕微鏡画像(右)。緑が細胞

火星土壌中の有機物を検出できる

DNA をもたない細胞の生死を判定できる
プロテインノイド、PAH 等の有機物を検出できる。

標品	大腸菌	ミニセル	-DNA	蛋白質	プロテインノイド	PAH
色素	生菌	死菌	生菌	死菌	BSA	
AO	緑	緑	緑	緑	淡赤	赤
PI	無	赤	無	赤	無	無
SYTO 9	緑	緑	緑	緑	薄緑	薄緑
SYBRG1	緑	緑	緑	緑	無	無
LDS751	無	赤	無	赤	無	無
SYPROED					赤	赤

同時搭載測器の可能性

内部構造探査、表層地質探査、気象探査、火星飛行機等との同時搭載性を検討中

蛍光板を表面に装着し、ダストのサイズと降下量をモニターする。

国際動向との比較

顕微鏡観察: 解像度 0.65 μm
感度: 100細胞/グラム土壌
他ミッション(NASA, ESA等)で予定は無い

MELOS2では

アミノ酸分析を行い、有機物、微生物の起源(地球由来か火星由来か)判定する。