

P-206 有人火星探査のための惑星表面移動探査実験の成果と課題

宮嶋宏行(東京女学館大)、安濃由紀、村川恭介(日本火星協会)、日本火星協会Team Nippon



1. 概要

2014年3月、日本火星協会によって結成されたTeam Nipponは、火星協会が米国ユタ州に所有する火星砂漠研究基地の2013年-2014年ローテーションに参加した。日本人6名からなるメンバーが、宇宙食、衛生管理、ロジスティクス、生命維持、惑星表面移動探査について2週間の居住実験を実施した。本発表では、Team Nipponの成果であるロジスティクス分析と惑星表面移動探査について報告する。特に、惑星表面移動探査では、その場での上空からの情報収集が重要であるとの結果を得た。

2. 火星砂漠研究基地 (Mars Desert Research Station (MDRS))

MDRSの施設構成を示す。MDRSは左からMusk天文台、温室 (GreenHab) と居住モジュール (Hab)、発電機などのエネルギー供給施設からなる。居住モジュールは火星協会Robert Zubrin会長によるマーズダイレクト計画の実物大の居住施設である。



3. Team Nipponのミッション目標

Team Nipponは、火星居住のための宇宙食の一部としての日本食の研究 (実験主任者: 片山教授)、惑星表面探査におけるロジスティクスと生命維持の研究 (実験主任者: 宮嶋教授) の2つのテーマで2014年3月1日から2014年3月15日までの2週間居住実験を行った。そのミッション目標を以下に示す。

氏名	所属	職業	MDRSでの役割
宮嶋宏行	東京女学館大学	大学教授	コマンダー
片山直美	名古屋女子大学	大学教授	ジャーナリスト
高瀬芳美	名古屋女子大学	学生	温室管理
河合美佳	名古屋女子大学	学生	健康安全管理
諸島玲治	宇宙システム開発株式会社	ソフトウェアエンジニア	エンジニア
岡本渉	公益財団法人科学技術交流財団	エンジニア	エンジニア

ミッション目標

- Team Nipponは、火星協会の3S(Safety, Simulation, and Science)のポリシーを参考に3つのミッション目標を設定する。
1. Team Nipponは怪我や事故なく、安全にこのミッションを達成する。
 2. 火星の生活と探査を模擬する。
 - 水をあまり必要としない災害食を火星の食事に応用し、同時に衛生・健康・廃棄物最小を維持する。
 - 過去の居住体積やヒューマンファクター研究を参考にし、火星居住施設の研究を行う。
 - MDRSのEVA機器を利用して、惑星表面移動探査のパラメータについて調査する。
 3. サイエンスとしては、調理器具・キッチン設備のATP検査を行い、伝統的な日本式の衛生管理法の効果測定する。

4. 実験結果

2週間の居住実験のうちロジスティクス分析と惑星表面移動探査について報告する。

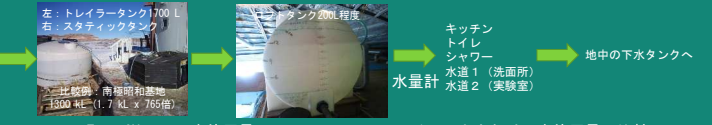
ロジスティクス分析

6人で2週間の居住実験に必要な主な物資量を計測した。

- 供給物資
- 水: 1700 L/8日 x 2
 - 食料供給量
 - 乾燥食品 (供給): 60kg, 0.273 m³
 - 日本食 (持ち込み): 35kg, 0.180 m³
 - エネルギー: 軽油、プロパンガス
 - その他: トイレトペーパーなど
- 95 kg, 0.453 m³



水管理と水消費量



Team Nipponの水使用量

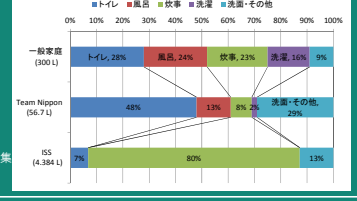
水用途	使用量 L/mision	水使用量割合	使用量 L/人-day
トイレ洗浄水	2,137	48%	27.4
シャワー用水	422	10%	5.4
洗濯用水	136	3%	1.7
調理用水	197	4%	2.5
飲用水	148	3%	1.9
食器洗浄水	30	1%	0.4
洗濯用水	76	2%	1.0
洗顔・歯磨き用水	266	6%	3.4
手洗い用水	297	7%	3.8
植物栽培用水	49	1%	0.6
その他	673	15%	8.6
合計	4,431	100%	56.7

1日一人当たりの水使用量の比較

水使用内訳	一般家庭 ^{*1}	Team Nippon	ISS ^{*2}
トイレ	84	27.4	0.3
風呂	72	7.1	0
炊事 (飲用水含む)	69	4.8	3.524
洗濯	48	1.0	0
洗面・その他	27	16.4	0.56
合計 L/人-day	300	56.7	4.384

*1 国土交通省、平成25年版「日本の水資源」、2013。
*2 Barry Tobias, John D. Garr, II, and Meghan Erbe, International Space Station Water Balance Operations, IAAJ 2011-5150, 2011.

1日一人当たりの水使用内訳の比較



補給品をISSと比較

国際宇宙ステーション (ISS) 補給品

Crew supply	kg/人-day	m ³ /人-day
食品	2.51	0.00757 ^{*3}
クール供給品	1.19	0.00486 ^{*3}
補修品	2.56	TBD
EVA	0.09	TBD
水、酸素、窒素	0.47	TBD
合計	6.82	0.0124

*3 Michelle A. Rucker, DEVELOPING A HABITAT FOR LONG DURATION, DEEP SPACE MISSIONS, GLEX-2012.05.3.8x12222, 2012.

ISS補給品6人13日換算例

- 食品: 2.51 x 6 x 13 = 195.78 kg (0.59 m³)
- クール供給品: 1.19 x 6 x 13 = 92.82 kg (0.38 m³)

Team Nippon 食品 95 kg, 0.453 m³、供給品計量なし

- 災害時のノウハウを利用して、食器洗浄水の使用量を0.4L/人-dayに抑え、その分の水をシャワーなどの衛生維持に利用した。
- 水洗トイレを利用しているため水の使用量の48%がトイレの洗浄水になった。(同様の施設であるハワイ大学HI-SEASでは全体の基準水使用量は8L/人-day)
- このような生活を閉鎖環境で3年間継続できるか?

惑星表面移動探査

Team NipponのEVA探査

EVA機器を利用して、7回の遠征探査を実施した。そのうちAll-Terrain Vehicle (ATV) を利用した遠征探査を4回行った。EVAの移動データ (緯度、経度、高度など) をMy tracks (google) を利用して記録した。

#	日	人数	ATV	目的地	時刻	時間
1	3/3	4		East hill of MDRS	14:32 - 16:06	1:34
2	3/4	4		North hill of MDRS	10:15 - 12:02	1:47
3	3/6	2	x	White Rock Reservoir	11:02 - 11:45	1:43
4	3/7	3	x	Muddy Creek	10:05 - 15:35	4:30
5	3/10	3	x	North Pinto Hills	10:55 - 13:45	2:50
6	3/11	4		East hill of MDRS	9:53 - 11:58	2:05
7	3/12	3	x	East valley of MDRS	10:05 - 12:25	2:20

#4の記録をGoogle Earthでグラフィ化、峡谷をATVで走行し最後の1.5kmを徒歩によりMuddy Creekに到達する往復26kmの遠征探査。



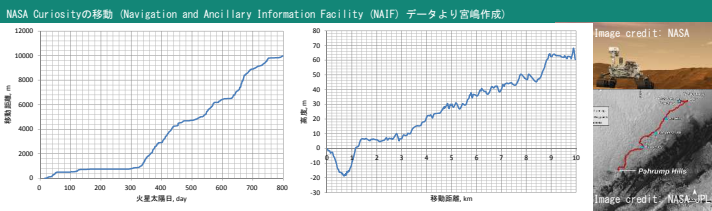
ヒューベンの公式を利用してGPSの緯度、経度データから距離を求める。

区間1 (11~2412秒): ATVで移動
区間2 (3413~10866秒): 徒歩で移動
区間3 (10867~14965秒): ATVで移動

線形近似により求めた平均移動速度 km/h

#	ATV (往路)	ATV (復路)	徒歩 (丘陵)	徒歩 (平均)	徒歩 (峡谷)
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	1.7	-
3	8.6	10.0	0.84	-	-
4	8.7	11.3	-	1.7	-
5	6.7	6.5	0.59	-	-
6	-	-	-	-	-
7	9.4	20.5	-	-	2.8

マーズ・サイエンス・ラボラトリー (キュリオシティ) の移動動向?



MDRSでは、探査経路プランナーとGPSの支援があるため移動が可能である。これらの情報がない場合、広域の移動は難しい。NASAキュリオシティは、平らな所に着陸して、最初の300日で800m移動、800日で10km (高低差は約80m) を移動している。その場で上空から地形情報を収集できれば...

5. まとめ

- ミッション目標に対して以下のような成果を得た。
 1. 水をあまり必要としない災害食を火星の食事に応用し、同時に衛生・健康・廃棄物最小を維持した。
 2. 過去の居住体積やヒューマンファクター研究を参考にし、火星居住施設のデータを取得した。
 3. MDRSのEVA機器を利用して、惑星表面移動探査の移動に関するパラメータについて調査した。
- この成果を3年間の有人火星探査に応用するためには、さらに検討が必要である。
- また惑星表面移動探査では、その場での上空からの地形情報の収集が重要である。例えば、丘の向こう側をその場で上空から観測できれば、無駄な移動を抑え、電力や体力を保存し、リスクを低減できる。