火星衛星サンプルリターン計画

玄田 英典 (東京工業大学・地球生命研究所)

2023年1月17日 CPSセミナー

Credit: JAZ

火星の 月の 探査 Martian Moons eXploration

日田

ディモス

Credit: JAXA

火星衛星サンプルリタ-(JAXA MMX計画)

フォボス

スケジュール
2024年 打ち上げ
2025年 火星衛星到着
(3年間の観測・試料採取)
2028年 火星圏離脱
2029年 地球へ帰還



- 1998年「**のぞみ**」火星周回探査機 (2003年軌道投入断念)
- 2003年「**はやぶさ」**小惑星イトカワ探査機 (2010年帰還)
- 2007年「**かぐや**」月周回探査機 (2009年計画落下)
- 2010年「**あかつき**」金星周回探査機 (2015年軌道投入)
- 2014年「**はやぶさ2**」小惑星リュウグウ探査機 (2020年12月帰還予定)
 - <u>次はどこを探査する?</u> → 火星衛星へ

火星衛星探査の科学的価値

 火星衛星の起源がわかっていない 惑星一衛星系の形成を理解したい
 火星衛星にも、火星の歴史が刻まれている
 火星衛星の試料は、大変貴重である (始原的な物質、火星表層物質、火星マントル物質)



工学的な壁



火星圏に探査機を送り込んだ 経験がない(「のぞみ」の失敗)



火星本体が無理なら、 火星衛星に行って、サンプルを持ち帰ってこよう → 火星圏からの世界初のサンプルリターン MMX → 将来の火星生命探査のマイルストーン



スペクトルは捕獲説を支持 MMX計画の大目的の1つは、 火星衛星の起源に決着をつけること

火星衛星の反射スペクトル



反射スペクトル:暗くて、吸収線なし

フォボスとディモスの反射スペクトルに完全一致する小惑星のスペクトルはないが、D型(or T型、C型)に類似しているようだ





▶ 軌道: ほぼ円軌道(e < 0.01)、火星赤道面(I < 2°)</p>

割汐進化:ディモスは外側に移動、極めて遅い フォボスは内側へ移動、3千万年で火星に落下 Black & Mittal (2015) Nature Geo.





100個以上の不規則衛星が
 木星型惑星の周りで発見

不規則衛星の軌道 楕円軌道 かつ 軌道面はバラバラ

多くの研究者は、不規則衛星は 捕獲されたものと考えている

もし、火星衛星が捕獲衛星ならば、その軌道は 楕円かつ面がバラバラであったはず

捕獲された衛星が、偶然、赤道面付近になる確率は?
 P=1-cos(I) = 0.0003 = 0.03%
 2つの衛星が赤道面付近になるのは P²=10⁻⁷

semi-major axis :

火星原始大気 350RMars satellite's radius and

mass : Phobos' one

自転軸にそろって回転している火星原始大気があれば、 捕獲された天体の軌道傾斜角を下げる可能性があるirals toward Mars be



確率的に極めて低い もしくは、何か見過ごしているかも・・・

本当にできるの?









火星衛星の起源

巨大天体衝突起源?

地球の月の起源(ジャイアントインパクト説)



- 同じ様なことが火星でも起きれば、 赤道面に円軌道の衛星が自然に できるのでは?
- ▶フォボスとディモスは小さい →小さい天体の衝突でOK?



- Craddock (2011)

火星の北半球の低地(ボレアリス盆地) が火星衛星を作った巨大衝突の痕跡?

ボレアリス盆地を作った衝突



Marinova et al. (2008) Nature

火星質量の3%ほどの天体が ~ 6 km/sで~45度で衝突すると ボレアリス盆地ができる





内側で形成された巨大衛星が フォボスとディモスの集積を促進





- ✓ 108 runs (37%) out of 288 runs yielded two moons
- ✓ 91 runs (32%) yielded larger inner moon and smaller outer moon like Phobos and Deimos.





▶ 衝突天体物質と火星物質の混合物質

▶ 火星物質の約半分は、火星マントルから放出









確率的に極めて低い

<u>作れた!</u>

リモセン観測とサンプル分析

	捕獲説	衝突説
岩石学 鉱物学	鉱物の非平衡な 混合、含水鉱物、 有機物	ガラス、 火成岩的組織、 高T & P 相
化学組成	コンドライト組成、 揮発性元素に富む	揮発性元素 の欠乏
同位体組成	始原的な太陽系同位 体組成	火星と衝突天体の 両方の組成

詳細なリモセン観測、 その場観測、 サンプル分析

フォボスに火星表層の物質が!?



火星への隕石衝突で、火星物質が 衛星フォボスへ降り積もる

Ramsley & Head (2013), Chappaz et al. (2013)

隕石衝突計算·放出物軌道計算







Hyodo, Kurosawa, Genda, et al. (2019) Scientific Reports

MMX 帰還 試料中の火星表層物質

>1000 ppm (= 0.1 wt%)

1000粒子中、少なくとも 1粒子は火星表層物質

MMX計画:フォボスから10g以上持ち帰る

<u>粒子サイズ</u> *D*=1 mm → > 10,000 粒子 → 10 粒子 *D*=300 µm → > 300,000 粒子 → 300 粒子

全火星史解読



Hyodo, Kurosawa, <u>Genda</u>, et al. (2019) Sci. Rep.



MMX計画では、大目標の1つとして 火星衛星の起源に決着をつける

捕獲説 or 衝突説 or 他の説?

▶ 帰還サンプルは極めて貴重 始原的小惑星(D型?)、火星物質(地殻・マントル)

▶ 火星表層物質

全火星史解読へ。火星生命の痕跡は?