



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Origin of Phobos and Deimos: Gas-drag capture of temporary captured bodies [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	松岡, 亮
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第15598号
Issue Date	2023-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/90741
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Ryo_Matsuoka_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士 (理 学) 氏 名 松 岡 亮

審査担当者	主査	教 授	倉 本 圭
	副査	教 授	石 渡 正 樹
	副査	准教授	鎌 田 俊 一
	副査	教 授	佐 々 木 晶 (大阪大学大学院理学研究科)

学 位 論 文 題 名

Origin of Phobos and Deimos: Gas-drag capture of temporary captured bodies
(Phobos と Deimos の起源：一時捕獲天体のガス抵抗による捕獲)

博士学位論文審査等の結果について（報告）

火星衛星 Phobos と Deimos は、炭素質小惑星に似る反射スペクトルを有することから、炭素質小惑星の捕獲に起源をもつとする説がかねてから提唱されている。捕獲機構には、原始太陽系星雲ガスをまとった火星に接近遭遇した天体が、空力摩擦すなわちガス抵抗によって力学的エネルギーを失い、捕獲に至るとするしくみが提案されてきた。しかし、火星衛星サイズの小天体が捕獲されるには高いガス密度を必要とすること、捕獲後に急速に軌道が縮小して惑星に衝突してしまうこと、また捕獲天体の軌道面がランダムに決まり、火星衛星とともに火星のほぼ赤道面上を順行方向に公転している事実の説明が困難であることなど、この機構の欠点も指摘されてきた。

本研究はこの問題に対し、太陽中心軌道を持つ小天体が、火星重力圏に Lagrange 点から低速度で侵入した場合に、力学的エネルギーの損失がなくても火星周回を繰り返しながら重力圏内に長時間留まる一時捕獲軌道を取ることに着目した。こうした一時捕獲天体は、希薄ガスによる弱いガス抵抗によっても完全捕獲に至る可能性があり、一時捕獲自体は火星重力圏に侵入する天体の少なくない割合に対して起こることが先行研究により判明している。そこで本研究は、一時捕獲を経た完全捕獲過程を明らかにすることを主目的とし、一時捕獲天体の完全捕獲率と完全捕獲後の軌道要素について数值的・解析的に調べた。

数値計算では、火星衛星サイズの小天体の運動について、Lagrange 点からの重力圏への進入を初期条件に、ガス抵抗を含めた円制限三体問題を解いた。火星をとりまくガス構造には、原始太陽系星雲と接続した静水圧平衡にある静止大気に加え、軌道傾斜角の低下や火星への衛星落下の抑制を引き起こすと期待される回転大気も考慮した。回転大気の数値分布には、静止軌道半径内で火星本体と共回転、それ以外では比角運動量が一定の粘性回転を与え、遠心力を加味した静水圧平衡を仮定し密度分布を与えた。

一時捕獲天体の近点距離は概ね 40-50 火星半径となり、この値は主に座標系の回転に起因する背景角運動量によって決まり、初期条件や大気構造への依存性は小さい。最小質量原始太陽系星雲を仮定した場合、一時捕獲天体が完全捕獲に至る確率は 0.1-1 と高い。この幅は、一時捕獲軌道の火星周回数の統計分布が初速度によって変化することにより生じる。

完全捕獲に至った直後の小天体の火星公転面に対する軌道傾斜は、初速度ベクトルの方向をランダムに与えても、高々 10° 以内に収まる。これは、一時捕獲が、低初速度条件で生じ、Lagrange 点付近での背景角運動量が、近点付近での軌道角運動量に移行することによる。また、近点距離を概ね維持している期間に、ガス抵抗によって離心率は 0.1 未満に減少する。

完全捕獲後の軌道進化により小天体が共回転半径付近に到達すると、回転大気の影響が顕著になる。この領域では軌道減衰が緩やかになり、静止大気の場合と比較して2桁以上長い軌道寿命、また3桁以上大きい共回転半径近傍での滞在頻度が達成される。このことは、火星の両衛星が初期に共回転半径付近にあったとする潮汐軌道進化の推定と適合する。また、この間に、軌道離心率と傾斜角はそれぞれ0.01および2°未満にまで低下する。つまり、共回転半径付近の大気回転は、火星の両衛星の軌道の特徴の再現にさらに有利である。

完全捕獲率の星雲ガス密度と初速度に対する依存性から、火星の両衛星は原始太陽系星雲が失われつつある時期に火星に集積した小天体の生き残りと期待される。これは星雲ガス密度が低いほど、より低い初速度でしか完全捕獲が起きなくなり、この場合には、捕獲天体は小さな軌道傾斜を持つためである。

一時捕獲を経た完全捕獲例の初期条件から、小天体の軌道を時間的に遡ることで、火星近接遭遇前の周太陽軌道要素が得られる。この軌道は、離心率と軌道傾斜の分布が統計的平衡状態にある火星近傍の微惑星集団の数%を占める。他方、スノーライン以遠の炭素質微惑星が木星による軌道散乱を経て一時捕獲に至るまでに、平均して数百万年の時間を要すると見積もられる。もし木星による散乱が短期間に集中したとしても、そこから数百万年程度の期間、火星への炭素質小惑星の飛来が続いたと考えられる。

捕獲天体のガス加熱量も推定したところ、軌道進化の最終段階で昇温は最大70 K程度と見積もられ、氷成分を除けば火星衛星は捕獲前の組成を保存していると考えられる。

以上の成果は、火星衛星の捕獲起源説の欠点を解消し、両衛星が実際に地球型惑星に水や大気を供給した炭素質小天体の生き残りである可能性と、これらが始原的な物質組成を保持していることを示し、近く実施が予定されている火星衛星探査の科学的意義を格段に高めるものと言える。

よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格があるものと認める。