

火星ペネトレータによるネットワーク観測提案

Investigation of Martian surface and internal structure by multiple penetrator probes

白石 浩章^{1*}, 山田 竜平², 石原 吉明³, 小林 直樹¹, 早川 雅彦¹, 田中 智¹, 鈴木 宏二郎⁴

Hiroaki Shiraishi^{1*}, Ryuhei Yamada², Yoshiaki Ishihara³, Naoki Kobayashi¹, Masahiko Hayakawa¹, Satoshi Tanaka¹, Kojiro Suzuki⁴

¹ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ² 国立天文台 RISE 月惑星探査検討室, ³ 産業技術総合研究所情報技術研究部門 ジオインフォマティクス研究グループ, ⁴ 東京大学大学院新領域創成科学研究科

¹Japan Aerospace Exploration Agency, Institute of Space and Astronautical Science, ²National Astronomical Observatory of Japan, RISE project, ³International Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ⁴Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

多点ネットワークを構成して火星表層環境と内部構造を観測するペネトレータミッションを提案する。現在の火星内部で生じているダイナミクスを反映する地震活動と熱的状态を調査するとともに、地球型惑星の分化過程を反映する地殻 - 上部マントル構造と固体内部から表層および大気層への物質輸送過程に関する知見を得る。ペネトレータモジュールは突入速度 300m/sec で火星表層下 2~3m に潜り込むプローブ本体に、耐熱シールドと空力減速機構の役割をする膜面展開型柔構造エアロシェルを統合することで小型軽量のシステムを構成する。貫入設置するペネトレータプローブ本体には内部構造と表層物質の物理特性を観測するため地震計、加速度計、熱伝導率計、温度計を搭載する。一方、柔構造エアロシェルには圧力計、温度計、磁力計、カメラを搭載して大気突入時のモニタリングを行う。周回衛星から分離された4機のペネトレータモジュールは、比較的最近までの火山活動が指摘される Elysium 地域や地震発生頻度が多いと想定される断層地形が密に存在する Tharsis 地域に最大 300km 間隔で分散設置される。両地域は過去の軟着陸ミッションでも探査が行われていない高い標高地域にも対応するため有力な設置候補地点と考えている。火星大気による減速を十分に利用して低高度地域に軟着陸せざるを得なかった軟着陸ミッションに比べて、高速のまま貫入設置できるペネトレータの特色を生かすことができる。火星における地震探査の試みはパイキング着陸機による例があるが、観測機器の性能や設置環境の制約によって内部地震を明確に同定するには至っていない。そのため、隕石衝突起源イベントの頻度・サイズ分布と合わせて火星の地震発生状況を知ることが最も重要な理学目的である。配置された測線距離および内部地震の規模によって地殻 - 上部マントルに至る弾性的構造を調べることも可能である。特に、浅部の主要な物質境界面となる地殻の厚さと密度の決定は地球型惑星の分化過程の理解のために重要な物理量である。衝突起源の地震イベントは現在の火星への隕石衝突頻度とサイズ分布を把握するとともに、比較的大きな衝突イベントを検出できれば地殻 - 上部マントル構造と水平方向の不均質性を知るうえで有力な手段となりうる。他の領域に比較して最近まで火成活動が起こっていた領域ではスポット的に高い地殻熱流量の値が期待できるため、その上限を抑えるだけでも火成活動の有無や時期についての情報が得られる。また、過去の火星周回衛星による熱慣性・放射特性マップや 線分光計データの Ground Truth として、表層物質の熱伝導率や貫入減速時の加速度プロファイルはその物理特性を理解する基礎データであり、氷層や凍土の有無やレゴリスの層序を理解することの一助となる。さらに、熱流量の長期観測は表層構造の季節変動についての基礎データを与える。周回衛星には光学カメラを搭載して、地震観測期間中に隕石が衝突して形成されたクレータや地滑りの発生位置を検出する。同定されたイベントは既知の震源位置として地震波による内部構造解析に利用することができる。将来の火星探査ミッションに対する展望として本提案は本格的な多点ネットワークミッションのプレカーサと位置づけることができる。つまり、火星内部地震・隕石衝突の発生頻度やマグニチュードの情報はその後の火星探査において最適なネットワーク配置の検討、観測機器の仕様決定や運用計画の策定に重要な情報となる。また、表層の気象観測量(温度・圧力・磁場など)の日周・季節変動データは広帯域地震計にとっての環境ノイズ源でもあることから、波形データの校正に極めて有用であるとともに将来の広帯域地震探査において展開・設置方法を最適化する際の基礎資料にもなる。

キーワード: 火星探査, 表層環境, 内部構造, ペネトレータ, 地震計, 熱流量計

Keywords: Mars Exploration, surface Environment, internal Structure, penetrator, seismometer, heat flow probe