

着陸機による火星ダストおよび関連現象の観測

Observation of Martian atmospheric dust and its relevant phenomena

火星には海がなく、また植生も持たない。このため、天体衝突や温度ストレスなどで形成された岩石小片(砂やダスト)は岩石化が進まずに地表に溜まってゆく。岩石小片が風に飛ばされ岩石にあたると風食をおこし、火星表面にはさらに岩石小片がたまってゆく。

火星の大気中にはダストが浮遊していることが知られている。ダストは、太陽光に対してほぼ透明な大気とは異なり、太陽光を直接吸収する。太陽光によって温められたダストは大気に熱交換するため、大気から見るとダストは熱源として働く。このため、ダストの分布は大気の温度構造、運動に大きな影響を与えている。

大気中のダストの起源はもちろん、地表面である。しかし火星の地表面付近でのダスト分布はまだちゃんと測られた例がない。そこで我々は、火星着陸機による火星表層付近のダストの分布と運動を直接観測する手法として3つの提案を行う

千秋博紀¹、小郷原一智²、椎名達雄³、眞子直弘⁴、野口克行⁵、久世宏明⁴、齋藤隼人⁴、はしもとじょーじ⁶、藤原正智⁷、乙部直人⁸、小林正規¹

¹千葉工業大学惑星探査研究センター、²滋賀県立大学工学部、³千葉大学大学院工学研究科、⁴千葉大学環境リモートセンシング研究センター、⁵奈良女子大学理学部、⁶岡山大学理学部、⁷北海道大学大学院環境科学院、⁸福岡大学理学部

LIDARによる視線方向のダスト分布の観測

●LIDAR (Light Detection And Ranging) の原理

送光部からの光がダストによって散乱されて戻ってきたプロファイルから、視線方向のダストの分布を求める。

散乱光の到達時間 ⇒ ダストまでの距離

散乱光の強度 ⇒ ダストの量(総断面積)

散乱光の光子数を数える光子カウンティングモードと、エネルギープロファイルを求めるアナログモードとがある。

●提案する小型近距離用LIDARの特徴

・光源にLEDを採用

小型で扱いやすい(耐振動、耐温度)

集光が悪い。しかしその分、光軸調整は余裕が生まれる(受光視野よりも送光視野の方を大きくとる)

・測定範囲は0-100m

鉛直分布ではなく、水平方向を観測することで、地表付近のダスト量(と、風や渦の関係)を明らかにする

・搭載場所

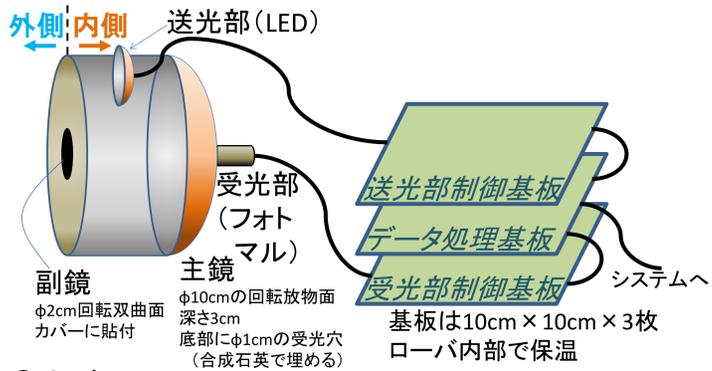
ローバの側面。ローバの向きを変えることで測線の方向を変える

・サイズ、消費電力、質量

集光部はφ100mm, 1W, 700g 基板はローバ内部に格納

●(目標)精度

空間解像度1m, 時間分解能1s : 10mサイズの渦が捉えられる程度



●リスク

サンプリングレート(150MHz)の確保(受光部と基板との距離が問題)

カバーへのダスト付着の影響

背景光(空からの散乱光)の影響

●開発メンバ

千秋博紀(千葉工大)、椎名達雄(千葉大)、小林正規(千葉工大)、眞子直弘(千葉大)、野口克行(奈良女子大)、久世宏明(千葉大)、はしもとじょーじ(岡山大)、melos 気象グループ

ダストセンサーによるダスト密度のその場観測

●ダストセンサーの観測原理

レーザー光(連続光)にダストを含んだ大気を導入。

散乱光のプロファイルを計測する

散乱光の幅 ⇒ ダストの通過時間

散乱光の強度 ⇒ ダストのサイズ

散乱光強度の変化 ⇒ 粒子の形

●提案する装置の特徴

空気清浄器の部品として量産されている

センサ部は30g, 5VDC, 200mA以下

気球に搭載され成層圏で稼働した実績がある

●搭載場所

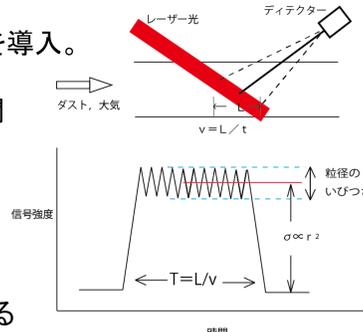
風通しの良い場所(能動的な吸気は行わない)

地上からの高さが異なる複数地点に搭載できると、高度毎のダストのサイズ分布がわかる

●精度

0.5μm から30μmまでの粒子を、5個以上のサイズ区分で測定する。

観測領域をあらかじめ制限することで、測定できるダストの最大密度を制約する(TBD)



火星の表面付近のダストの量

(A) Phoenix LIDAR による測定

高度500mで消散係数 0.06km⁻¹相当

半径1.4μmならば 10⁷個/m³程度

(B) MPFのSAPの出力電圧の低下率

ダスト被覆率は0.40%/day

半径1.4μmならば 10¹⁰個/m³程度

(C) MRO の MCS (放射計) による測定

高度1-2kmよりも上空で消散係数

10⁻² - 10^{-2.5}km⁻¹程度

消散効率の違いを考慮すると1.4μm

のダストで 10⁷個/m³程度(Aと調和的)

●火星大気中のダストの量は大きく変動する(12日間で3桁変化の例も)

●上空と地表面付近で粒子サイズが同じである保証はない

●SAPの被覆はダストではなく「砂」の可能性もある

●砂とダストの区別が、ダストサイクルを考える上で重要

因みに、10⁷個/m³は、ISO14644-1に照らすと清浄度クラス9(室内レベル)に相当。火星の大気は案外清浄。本当か？

●開発要素

データ処理部のロジック(既存のものはイベント継続時間は計測しない)

●リスク

ダスト導入部の目詰まり対策

校正用データ取得のための地上試験

●開発メンバ

乙部直人(福岡大学)、藤原正智(北海道大学)、千秋博紀(千葉工大)、はしもとじょーじ(岡山大学)、melos 気象グループ

バス系カメラによるダストデビルモニタリング

火星に常時浮遊するダスト量は、北半球の夏に極小となり、北半球の冬に極大となる(Smith 2004)。ダストデビル(塵旋風)は、この極小期の背景ダストを供給、維持しているとされる数mから数kmの渦である(Kahre et al., 2005)。

ダストデビルはMars Pathfinder以来いくつかの着陸機で観測されてきた。特に、Spiritのナビゲーションカメラには、1火星年に数百のダストデビルが写っている(図OGO1)。その多くが日中の午後早い時間に発生している。しかし一方で、1つも観測できない季節もあるうえ(図OGO2)、Opportunityに至っては今までほとんどダストデビルを観測できていない(数個程度)。すなわち、ダストデビルの発生は、地域、季節、地方時に大きく依存する。にもかかわらず、過去の研究により見積もられたダスト供給量(e.g. Greeley et al., 2006; Fisher et al., 2005)は、どれも大胆な仮定を前提とし、1点における見積もりを全球に適用して得られている。したがって、別条件における観測をさらに追加する必要がある。

ダストデビルの活動度に影響を与えるものは以下が考えられる。

・大気の安定度(日射、地方時、季節)

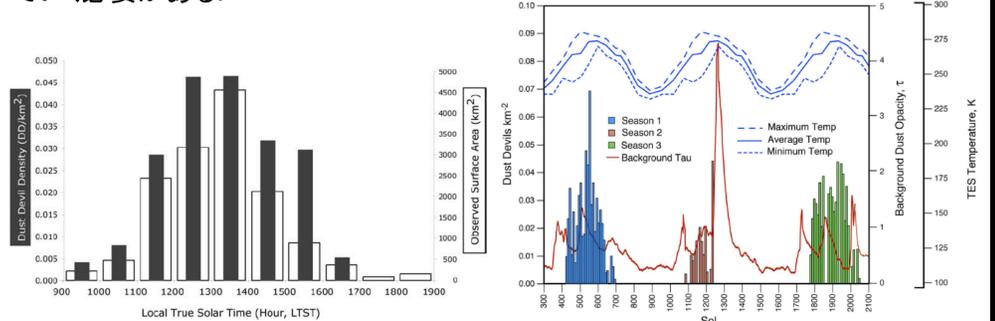
・地表面の熱的特性(アルベド、熱慣性)

・地表面の力学的特性(凹凸、粒径)

火星には植生や海がないので、上の条件を網羅すればおよそダストデビルの活動度を推測できる。すなわち、いくつかの条件で過去の観測点と異なる

場所であれば、1点でも有意義な観測となる。決して、数えきれないくらい多くの観測すべき点のうち適当にたった1点増やすのではない。

着陸機による過去のダストデビル観測では、運用の都合上観測時間が正午過ぎに集中していて、明らかになったダストデビルの発生の日変化が本当に有意なものとは言えなかった(Greeley et al., 2006)。したがって、ローバが活動可能なあらゆる地方時に均等にダストデビル観測オペレーションを挟んでいく必要がある。



図OGO1 Spirit/Navcamが検出したダストデビル数の地方時分布。白いヒストグラムは観測総面積、黒いヒストグラムはダストデビル数密度(個/m²)。(Greeley et al., 2006)

図OGO2 Spirit/Navcamが検出したダストデビル数の年々変動。(Greeley et al., 2010)