

Meteorological Observations on Mars Landing Module

(火星着陸機での気象観測) _

Naohito Otobe¹, George L. Hashimoto² and Mars Landing Meteorological
Observation SubGroup and M.Suzuki³, H, Senshu⁴

¹Department of Earth Science System, Faculty of Science , Fukuoka University ²Graduate School of
Natural Science and Technology, Okayama University

3-1-1, Tsushimanaka, Kitaku, Okayama 700-8530 Japan

³ JAXA/ISAS, ⁴ Chiba Tech/PERC

ABSTRACT

We consider about two sets of Meteorological instrument. First type is the basic set. It includes a thermometer, a barometer and an anemometer. Another includes a LIDAR , Particle Counter, Environment Camera for addition to first set. We think the basic set is essential set. These cannot obtain such a enough scientific gain. But it took useful environmental data for a engineering work.

Dust is our primary scientific interest. Dust is one of most important materials on Mars such as Vapor on Earth. For observing near surface dust, we are developing a small mobile LIDER, and emit beam light to horizontal direction. It is expect to obtain a dust suspension or a sand salutation , horizontal dust structure , and vertical dustdevil structure. The particle counter obtained numbers per unit volume, Camera obtained mass volume of back ground dust.

火星着陸機での気象観測

乙部直人○（福岡大・理）
はしもとじょーじ（岡山大・自然）
火星着陸気象観測検討グループ

鈴木睦（環境監視カメラ）（JAXA）
千秋博紀（粒子センサ）（千葉工大）

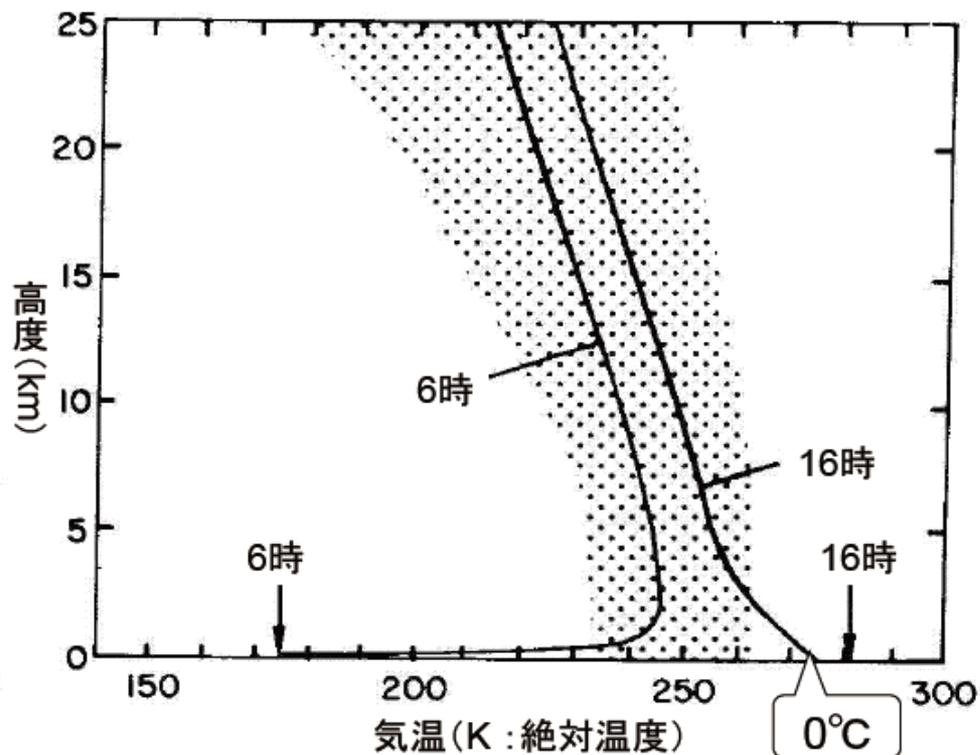
- ▶ 気象観測システム
- ▶ 粒子センサ
- ▶ 環境監視カメラ

この発表で扱う測器

- ▶ 気温、圧力、風速のセンサーを開発して、ローバーの動作環境を測定する。
 - ▶ ローバー／ランダーの動作環境を知るだけでなく、将来人間が降り立つ際にも必要なはずの測器の準備をする。
 - ▶ 火星は-100度にもなり1日のうちに100度近い温度変化があり、気圧も7hPaと薄いだけでなく季節変化があって、動作に厳しい環境。
 - ▶ 気温や圧力・風速の精度は1K, 1hPa, 1m/s 程度？
理学的な要求より少なくとも1桁程度少ないと思われる。
 - ▶ ダスト量などのデータは理学要求と同程度の要求？
 - ▶ ミッションを通じて測定が出来る（ノミナルサクセス）

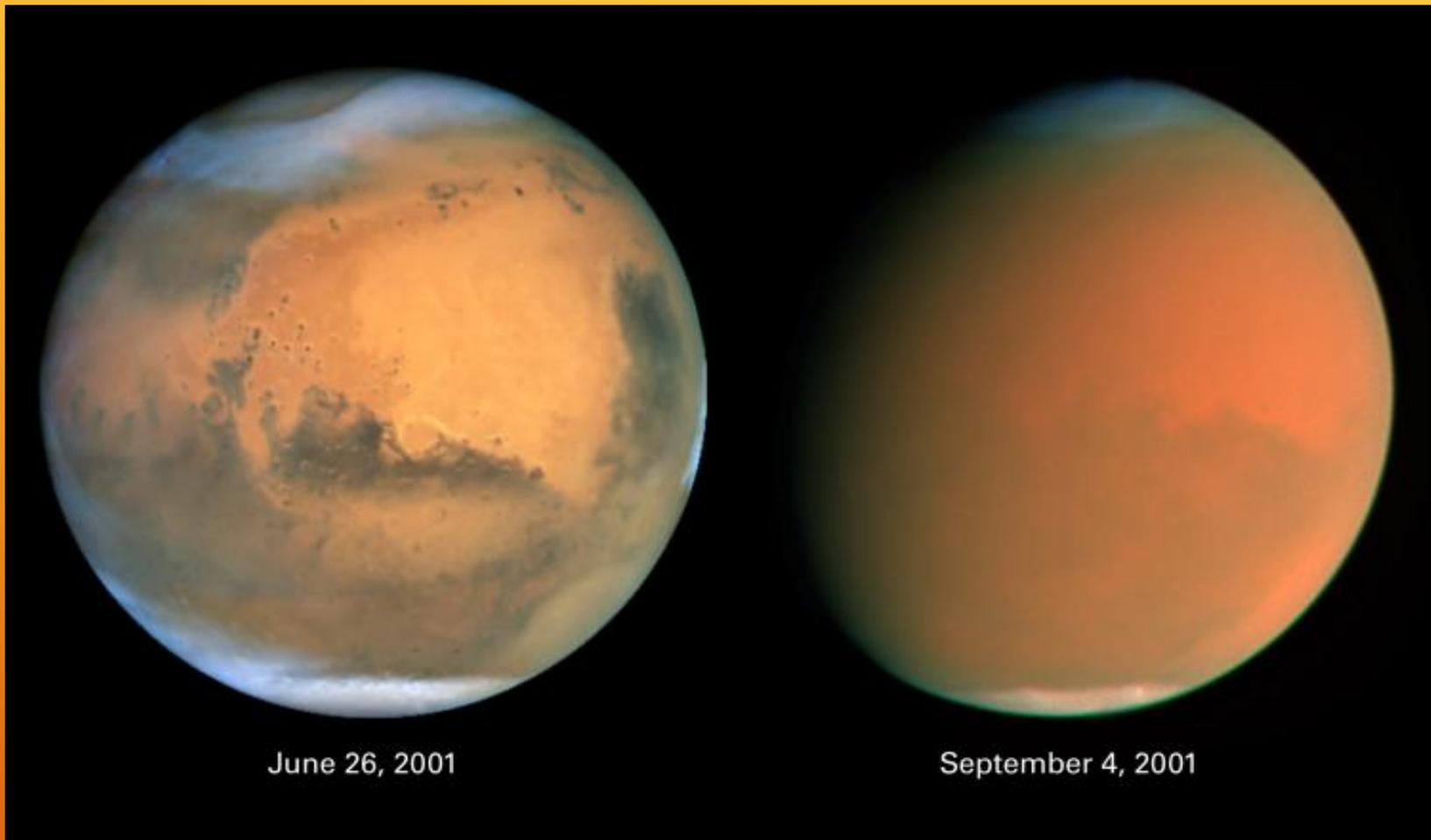
気象パッケージ（環境センサ）

Gierasch, P. J., & R. M. Goody (1972)



Hatch : Observed temperature by Mariner
Line: calculation with considering dust

火星の放射平衡温度



June 26, 2001

September 4, 2001

ORDINARY MARS / GLOBAL DUST STORM

- ▶ 天気予報が出来ること（有人探査の頃には）
 - ▶ モデルと観測態勢
地温などを入力として、ローカルの気象がほぼ再現できるモデルを用意すること
衛星観測があるといい。
 - ▶ 気圧が低い、温度が低い（パラメタで入っているもの
乱流・渦粘性の確認）
 - ▶ ダストの移流
- ▶ 地球と異なる物理過程を調べること
 - ▶ ダストの巻き上がり、ダストの分布、放射収支
 - ▶ 気象モデルは階層的。下の階層は仮定なしにしたい。

気象学的な興味（目標）

- ▶ 太陽放射を地面が吸収
- ▶ 赤外放射をダストが吸収して空気が暖められて風が起きる。
(地球での水蒸気のように) ダストがどのようになっているかを知ることは重要。
- ▶ ダストはどうやって巻き上がっている?
 - ▶ 背景の風
 - ▶ ダストデビル
- ▶ 最終的にはリージョナルダストストームなどの天気予報が出来るようになりたい

気象学的興味はダストの熱収支

- ▶ 測れるようになる（最低1回：ミニマム）
- ▶ 気象モデルの力学的な問題が無いことを確認する。
- ▶ モデル入力に耐えるような測定結果を用意する。
(最低1日)
 - ▶ 一様平面（SCALEなど）で、日変化する日射を受けて、地表面温度を変化させる。（放射計5%、放射温度計1K）
 - ▶ その結果を観測と比較し（パワースペクトルなど）、問題ないことを確認する。
(温度計0.1K, 風速計0.1m/s, 気圧計0.1hPa)

気象観測システムでの目標



- 色を変えた4本の温度計
- 0.1K の温度変動
- 0.2m/s の風速
- 20W/m² 精度の放射計(短波 長波)
- 1分平均

- 小型版の期待される性能
- 0.1m/s
- 1/2Hz

温度計・放射計・風速計(TRL3)

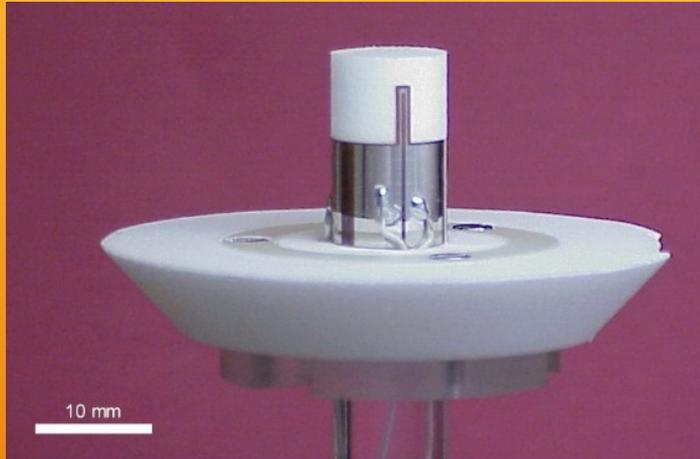


図3 飛翔体搭載用水晶摩擦気圧計 (QFG)

Barometer

気圧計(TRL3)

- ▶ 水晶振動子のインピーダンスが周囲の気体の圧力で変化するのを測る
- ▶ 0.1Pa の変動を捉えられる
- ▶ 1/2Hz (測器はもっと高速)
- ▶ 気球のテストや低温試験は行われているが、二酸化炭素での計測は行っていない。
- ▶ 素子の温度を正確に測るには、周波数カウンタがあった方がよい。

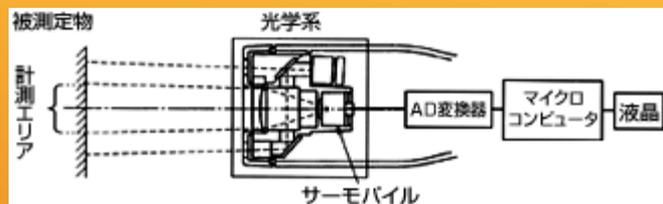


Anemometer(beagle2)

- ▶ 金属プレートを加熱しその電力と温度から風速を測定する
- ▶ 風速の精度 0.1m/s
- ▶ 風向の精度 5°
- ▶ サンプルングレート 0.5Hz

- ▶ 放射の影響が強いので、加熱していない物を用意して放射の影響を除去する。

風向風速計(TRL3)



- 精度 1K
- 10分ごとか10分平均 (測器の応答は1秒)
- 地表面温度を計測する
- -50°C 以上測定 (現状)

放射温度計(TRL3)

- ▶ エネルギーの取り入れ口であり、その効率が熱慣性。
 - ▶ 単位体積あたりの熱容量×単位時間の熱拡散距離
=SQRT (熱容量×密度×熱伝導度)
 - ▶ 衛星からの観測はあるが、地面では測っていない。
 - ▶ 太陽放射の量と、それに対する地面の温度の変化を比較する。これを計測しておくことで、太陽放射という、計算可能な量から地面温度を求めることが出来る。
(5%程度)

熱慣性の測定

- ▶ 温度計
 - ▶ 放射の補正をするので正確。
- ▶ 圧力計
 - ▶ ダイアフラムを使うものと違って、低圧でも精度が出て、経年劣化もない。
- ▶ 風速計
 - ▶ 熱線風速計のセンサー部を大きくする
 - ▶ 日射の影響を取り除くように加熱しない物を用意する
- ▶ 放射温度計
 - ▶ 地温を測定する

測器の特徴

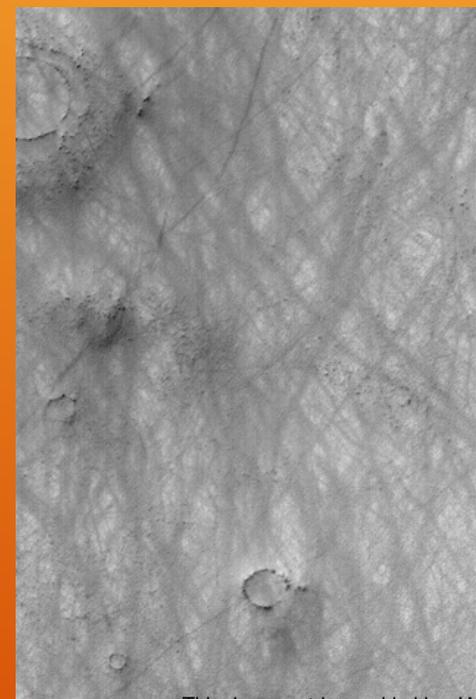
- ▶ ダストの巻き上がり過程をモデルに組み込めるような観測を行う(最低1回)
 - ▶ ダストデビル時の風速と飛砂／ダストの巻き上がり量を計測し、風速からダスト量を見積もれるようにする。(LIDAR、風速計、圧力計)
 - ▶ 領域モデル (CRESS-MARSなど) ・グローバルモデルに組み込んで、確認を行う。

気象観測システムとダスト計測機器 での目標

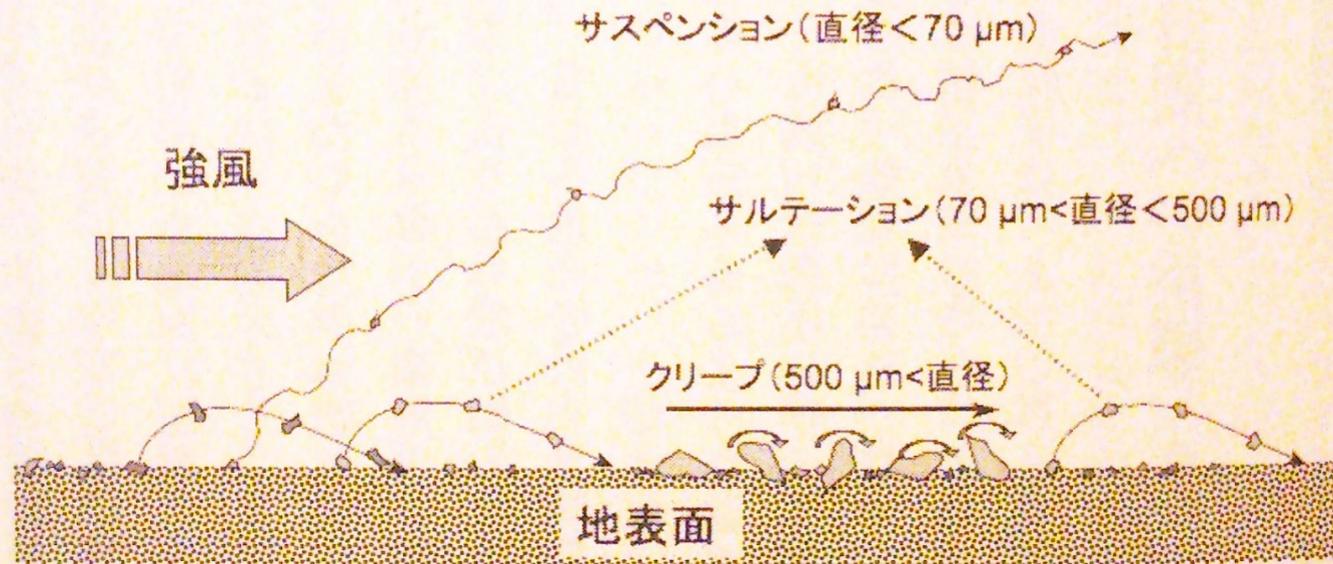


ダストを巻き上げる主役

DUST DEVIL



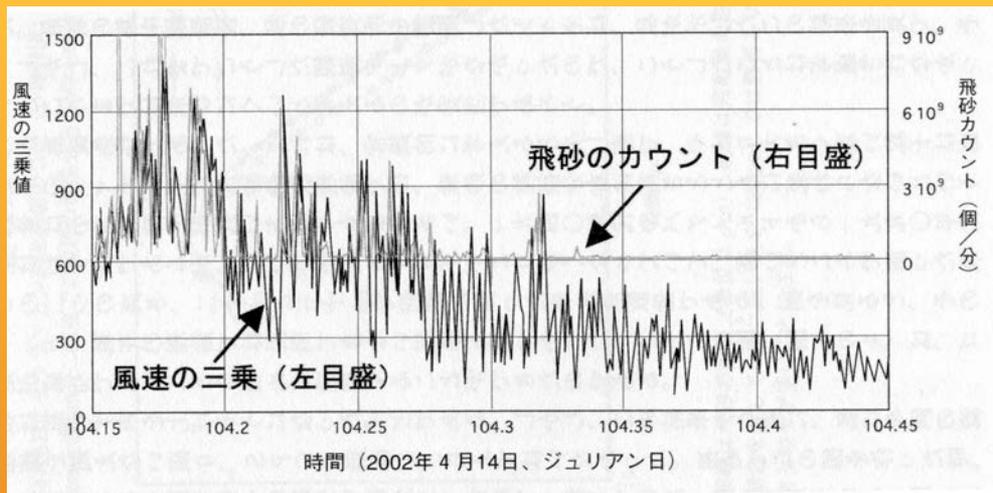
強風下の砂の運動パターンの概念図



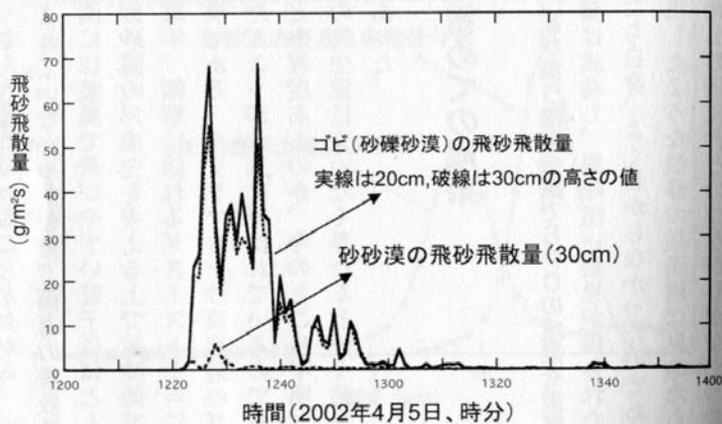
SUSPENSION OF DUST

ADECの結果 サルテーション

まずは右上のような図が描けるといい。
できればダストで描きたい。

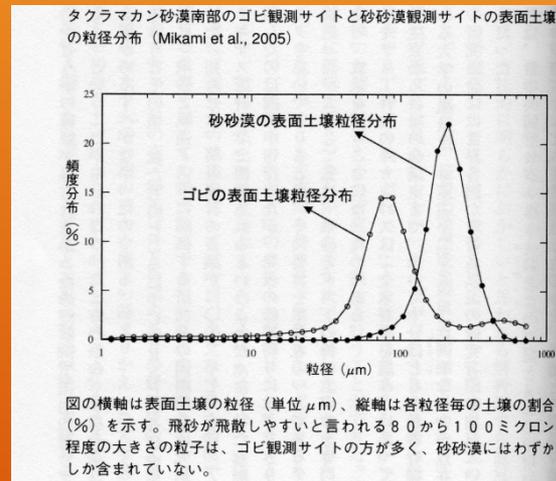


Thin line: Sand count
Thick line: u^3 (Mikami)

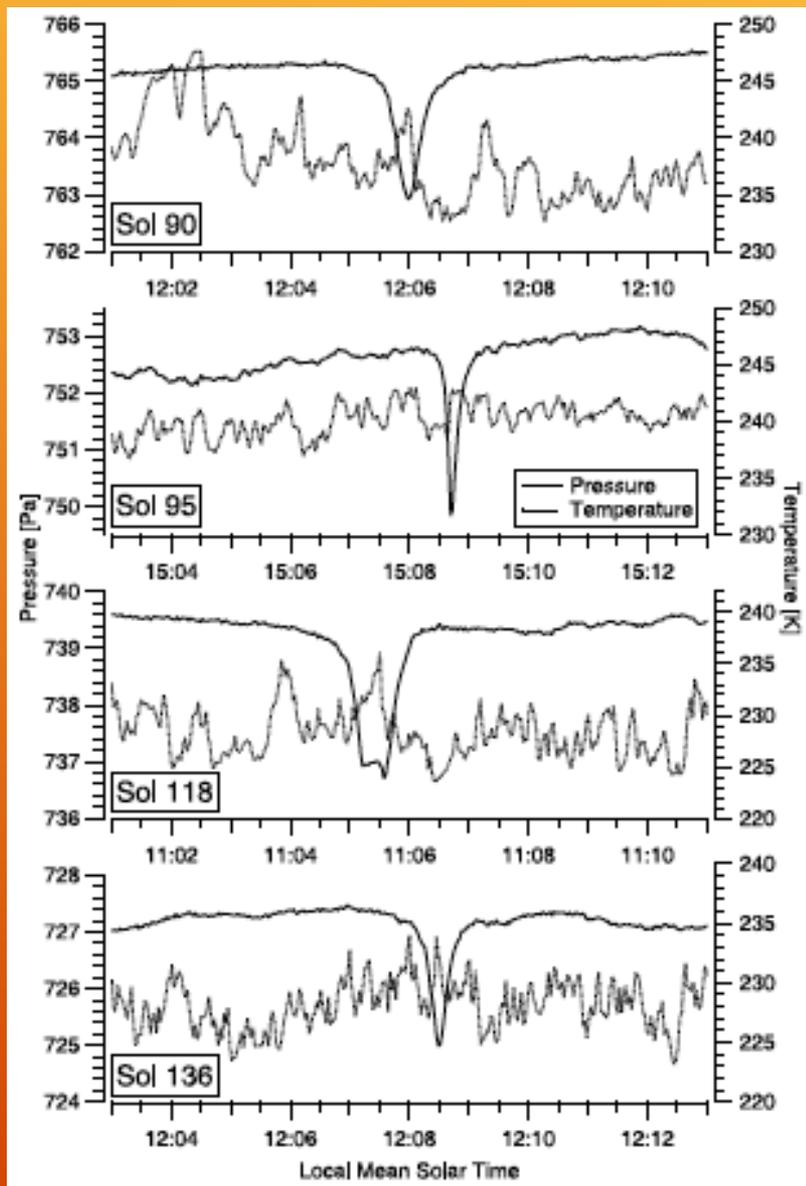


同じ気象条件下でも飛砂の発生量はゴビの方が圧倒的に多い (Mikami et al., 2005)。

砂だけ砂漠だと飛びやすいサイズの粒子がなくなっているためほとんど飛ばない。降りる場所が重要。



ダストデビル通過時



Ellehoj et al.(2010)

Phoenix Lander
Vaisala Barocap/Thermocap

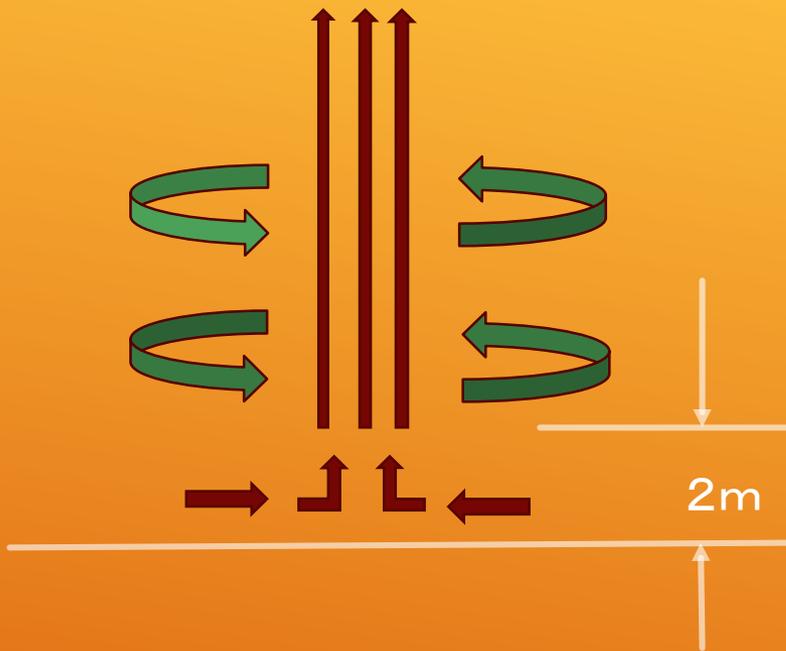
観測期間 151sol
観測された渦 502

ダストデビルによる変動

継続時間 10-20sec

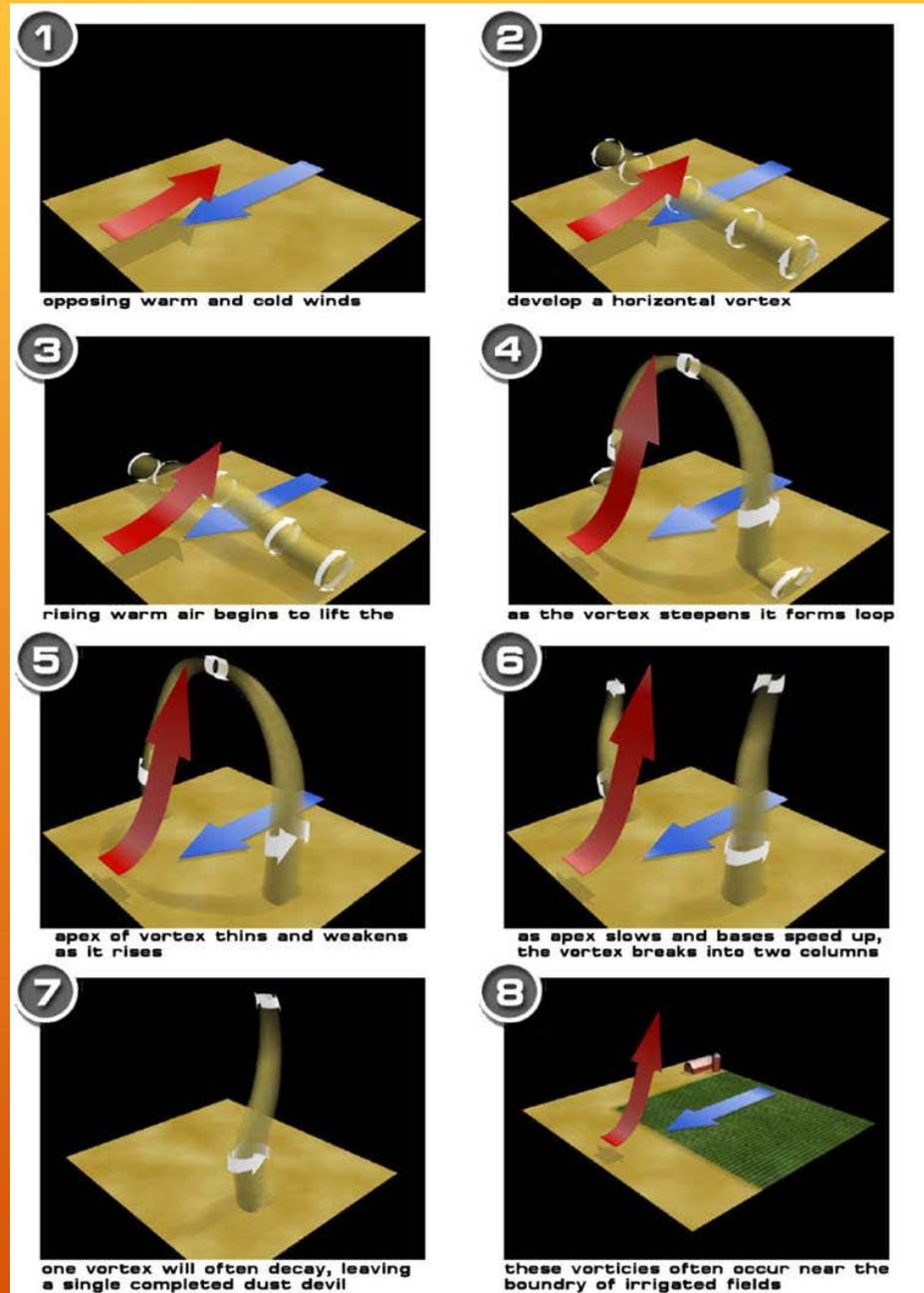
ΔP 1-5Pa

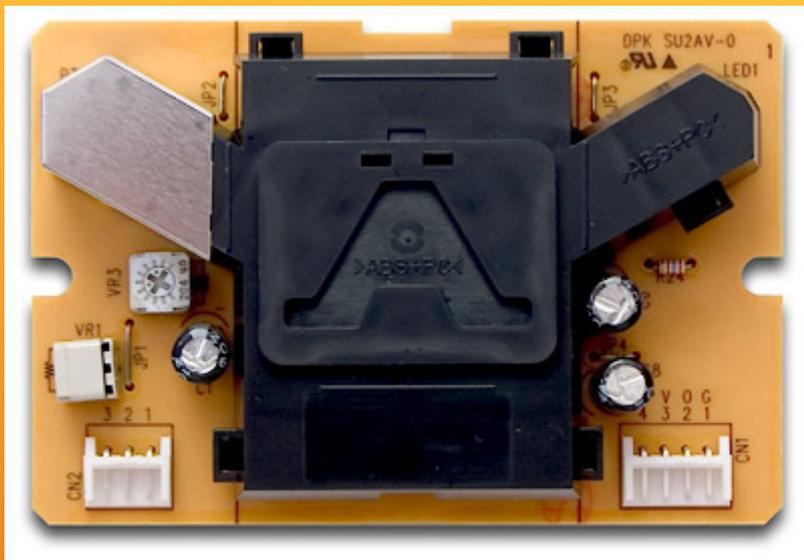
ΔT 0.5-2K



2m以下は地面を感じて吹き込んでいる。

ダストデビル

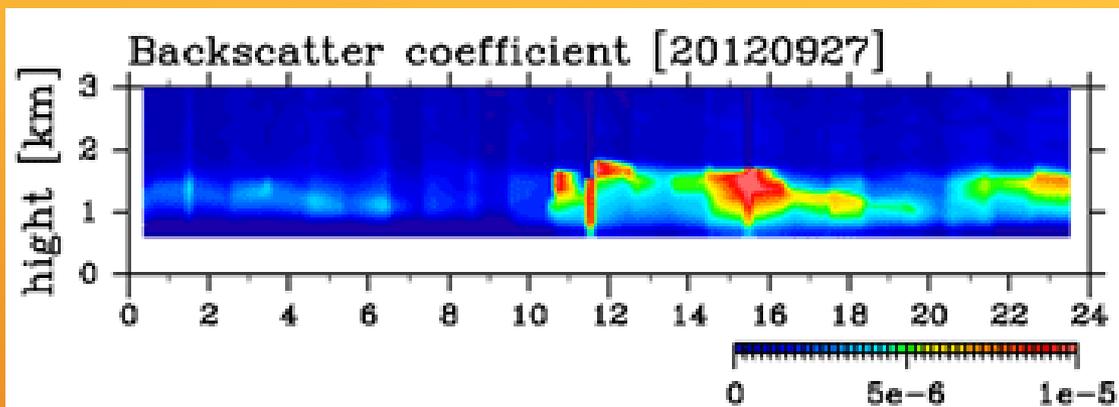




視野は 10mm³
1μm 粒子 0.01 cc 0.5 – 2個 ぐらい
100μm 粒子は全然少ないのでカウント
できる。
カウント時は粒子の大きさもとれる
(精度未検討)

- ▶ ダイオードレーザーをあてて粒子に散乱されたパルスのカウントする
- ▶ 同様装置で雲粒子は計測している。
- ▶ ディテクターのゲインを2種類用意すればダストと飛砂を両方カウントできる。
- ▶ ダストはサチることがあるが、飛砂の出力のバックグラウンドとして量を見積もれる。
- ▶ 球形でない粒子は偏光を解消するので、ダストの球形からのずれが見積もれる。
- ▶ 砂が積もる影響を考慮する必要がある。

粒子センサー(提案装置：TRL3)



- ▶ 遠隔からダスト量（断面積 $(r^2 \cdot N)$ ）を測定する。
- ▶ 仰角 30° 程度でダストデビル内外のダスト量
- ▶ 鉛直風速を（圧力と水平風速、ダストの直径から）見積もれば鉛直ダストフラックスを見積もれる。

LIDAR（周辺測器）

- ▶ 太陽光が散乱された光（空の明るさ）は、火星の場合
 - ▶ ダストの粒径分布
 - ▶ ダストの量と
 - ▶ 観測する視線が太陽となす角度の関数となる。
- ▶ 太陽とある角度をなして観測すれば、ダストのカラム積算量を見積もることが出来る

環境監視カメラ（提案装置）

測器名	データ量	観測のイメージ	重量 (センサ/エレキ)	電力 (2W)	サイズ	温度(動作/保存)
温度計・放射計・風速計	67kB/day 2kB/day 67kB/day	2秒ごと観測 1分ごと観測 2秒ごと観測	10g (10g / 0g)	0.3 W	2x0.5x4cm x4本	(-120-70/-120-70)
放射温度計	1kB/day	日に数回	50g	0.1W	4x5x3	(-40-70/-120-70)
気圧計	78kB/day	ダストイベント時	100g	0.5W	5x2.5x4	(-55-70/-120-70)
風向風速計	18kB/day	1秒ごと観測	40g(20g x2 /20g)	0.35W	1x1x2 + 6x2x2	(-120-70/-120-70)
口ガー		(気圧計他のエレキを兼ねる)	250g	0.1W (数W:周波数計)	8x3.5x10	(-55-70/-55-70)
粒子センサ	67kB/day	2秒ごと観測	50g	0.1W	5x8x3	(-55-70/-120-70)

基本的な観測については、平常時には2秒ごとの観測を想定

観測の方法とリソース

- ▶ ランダー・ローバーともにほぼ同じ構成で提案する。
(放射温度計は日なたを撮影するためランダーだけは180度反対向きに2個搭載する)
- ▶ 飛行機にはサブシステム (温度・放射計・気圧計) を搭載する。粒子センサ (LIDAR) を搭載する。

スコープごとの差異

- ▶ PFM製作へのスケジュール、コスト、リスクの評価は明星電機に依頼中であり、8/7に返事をいただけることから、審査時の書類には含まれる予定

開発

開発体制	統括	温度計	放射計	風速計	圧力計	放射温度計	風向風速計	ライダー	粒子センサ	環境監視カメラ	ダストデビル監視	気象シミュレーション	サイエンス推進
乙部（福岡大）	○	○			○	○	○		○				○
はしもと（岡山大）	○	○			○	○	○		○				○
村田（東北大）					○								○
栗原（北海道大）		○			○								○
藤原（北海道大）									○				○
内田（九州大）							○						○
仲吉（東京理科大）		○	○	○									○
玉川（岐阜大）							○						○
椎名（千葉大）								○					○
小林（千葉工大）								○					○
千秋（千葉工大）								○	○				○
鈴木（JAXA/ISAS）										○	○		○
小郷原（滋賀県大）										○	○		○
眞子（千葉大）										○	○		○
野口（奈良女子大）										○	○		○
森（桜美林大）										○	○		○
杉山（JAXA/ISAS）												○	○
西澤（理研）												○	○
高橋（神戸大）												○	○
小高（北海道大）												○	○
林（神戸大）												○	○
今村（JAXA/ISAS）													○
塩谷（京都大）													○
竹見（京都大）													○
林（京都大）													○

