

火星探査の野望

乙部直人（福岡大・理）



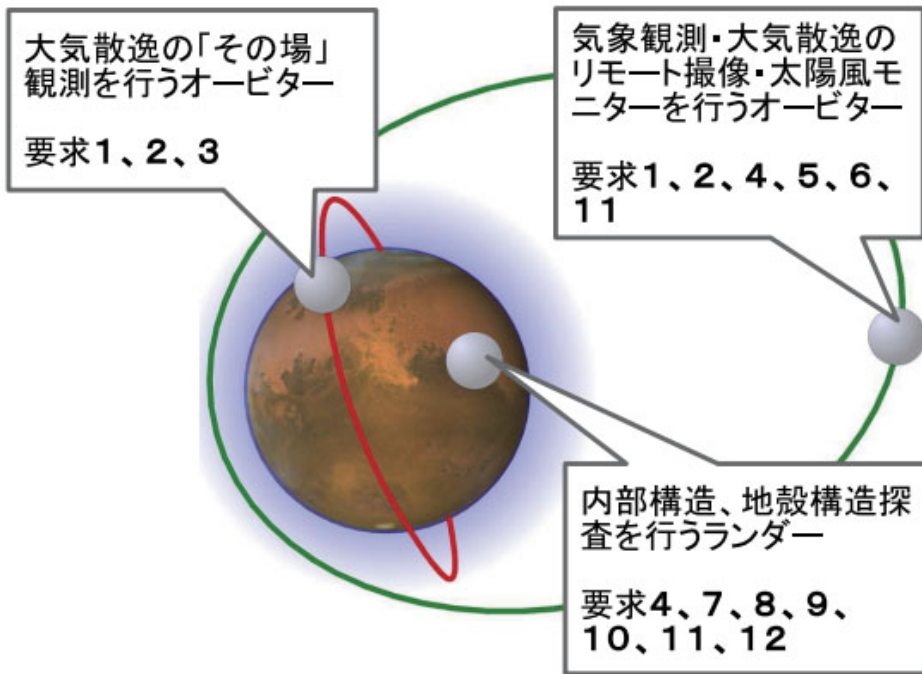


図1：周回機と着陸機による12の科学要求の分担

日本惑星科学会誌Vol.18, No.2, 2009 特集:MELOS火星複合探査の科学検討
MELOS複合探査の概要と科学目標「火星はなぜ赤いのか？」佐藤 毅彦他

探査計画 1

要求5： 全球の気象(水など物質輸送)を, さまざまな経度・ローカルタイムで連続的に捉えたい
 要求6： 大気組成, 同位体比(特にHDO/H₂O比), 気温の三次元分布を捉えたい
 要求7： 地表付近の気象や, ダスト嵐に伴い発生
 の予想される大気電気活動を捉えたい

参考資料: MELOS地上探査技術実証部(ローバー)

気象パッケージ

基本気象場(気温・気圧・風速)の観測。ライダーやダスト顕微鏡と連携し、ダストの巻き上げ機構解明を目指す。

生命探査顕微鏡

サンプルを色素で染色しその蛍光を見ることで、生物や有機物の存在を調べる。ダスト観察もできる。

ガス検出器

光学セル方式で高い検出能力により、周囲のメタンや水蒸気の内容を調べる。

レーザーライダー

上空(あるいは周囲)のダストの様子を調べる。

上空

環境カメラ

ダストデビルの検出、空の散乱光分析を行う。

地表付近

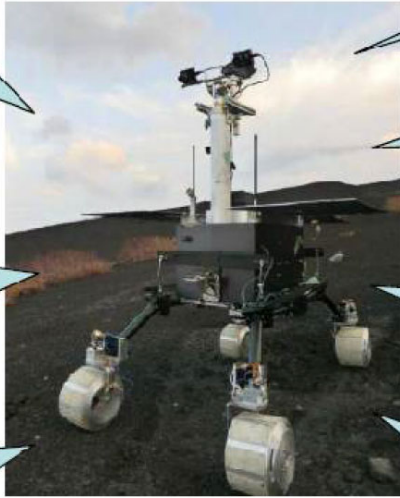
LIBS

鉱物単位の分析により地質調査を行う。D/H比の測定により水の起源も探る。

地下

GPR

地下の構造を調べ、生命やメタン、水(氷)やダスト(層厚と熱慣性など)との関連付けを行う。

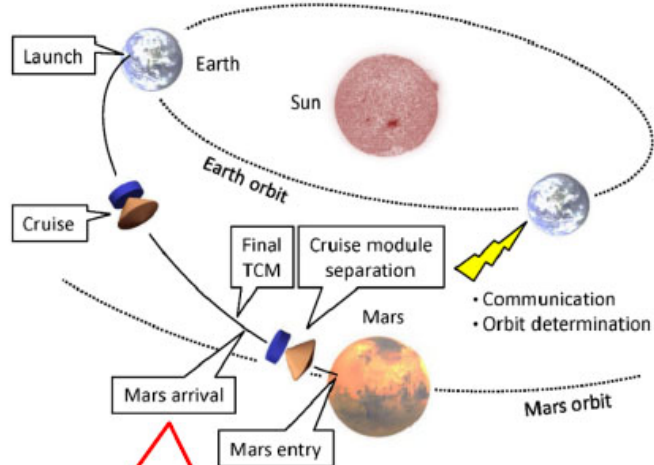


MELOS1火星探査提案書ドラフト版

ミッションを小さく:
イプシロンに対応して
着陸機だけになった

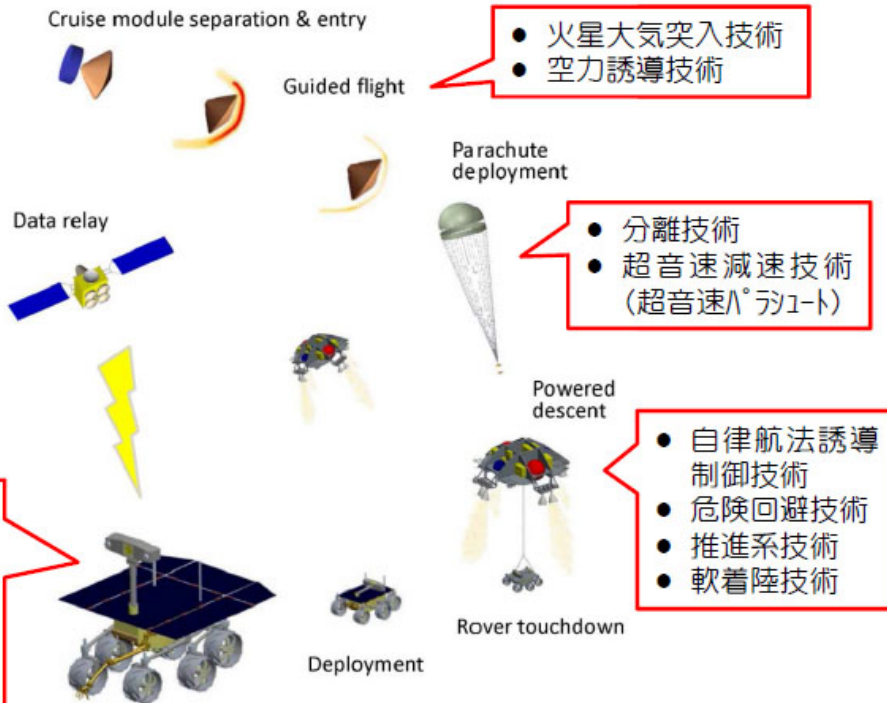
生命探査を中心にして選定

探査計画2 (2013MELOSドラフト)



- 小型省電力通信機器
- 高精度軌道決定技術
- 軌道制御技術

- 小型省電力バス技術
- 表面自律移動技術
- 表層サンプリング・分析技術
- 熱・電力設計技術(越夜・越冬)
- リレー衛星利用通信技術(海外の衛星利用)



- 火星大気突入技術
- 空力誘導技術

- 分離技術
- 超音速減速技術(超音速パラシュート)

- 自律航法誘導制御技術
- 危険回避技術
- 推進系技術
- 軟着陸技術

火星着陸技術実証機のシステム設計とサイエンスコープ
 藤田和央, 佐藤毅彦 (JAXA)火星着陸探査技術実証WG
 宇宙科学シンポジウム2015

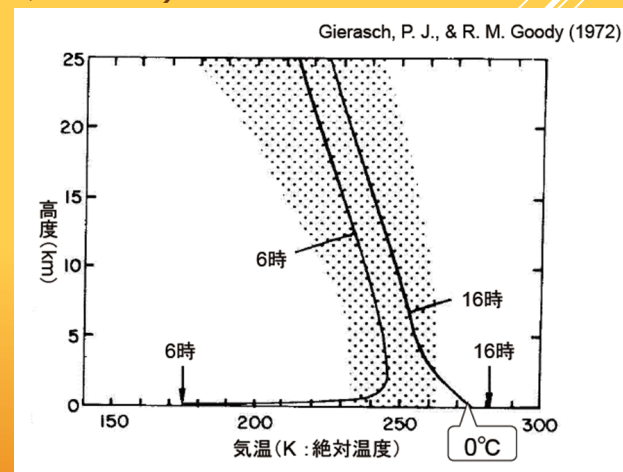
ミッションは工学ミッションになる
 サイエンスはほぼ変化なし

現在の探査計画： 火星着陸探査技術実証

- ▶ 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）

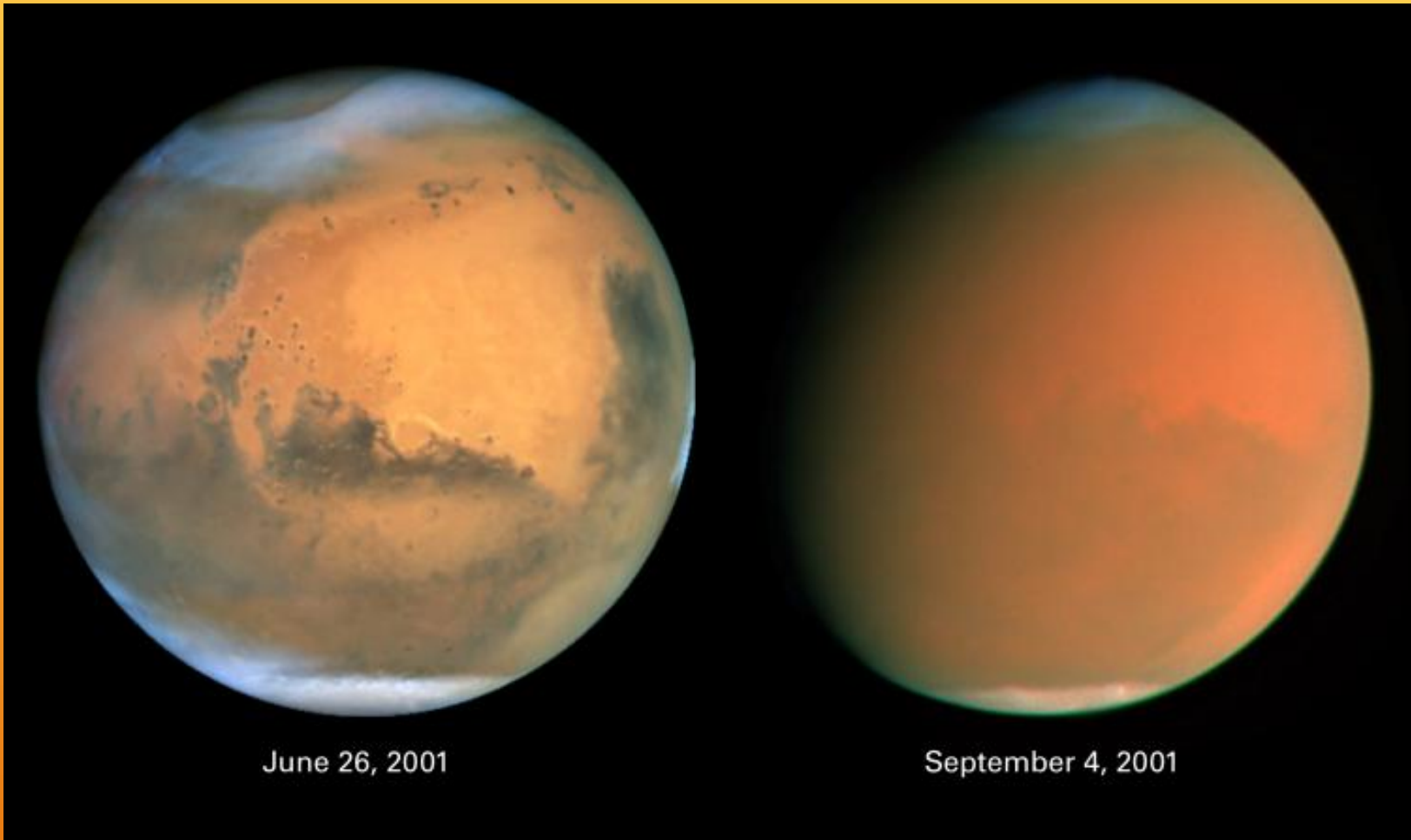
気象パッケージ（環境センサ）

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



- ▶ 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



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

Thermometer,Radiometer,Anemometer

温度計・放射計・風速計(TRL5)

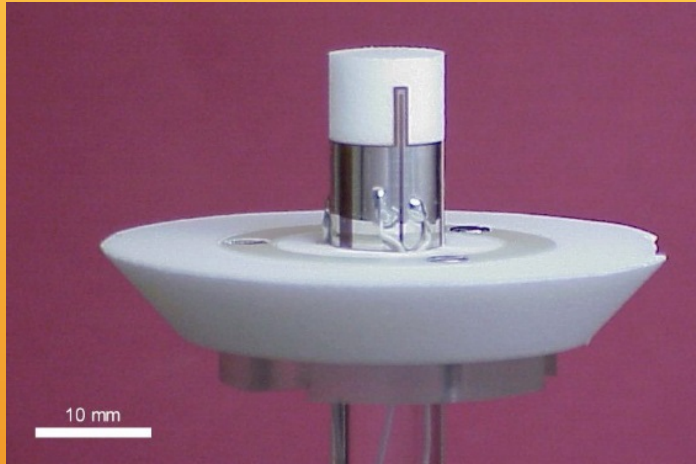


図3 飛翔体搭載用水晶摩擦気圧計 (QFG)

Barometer

気圧計(TRL5)

- ▶ 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)

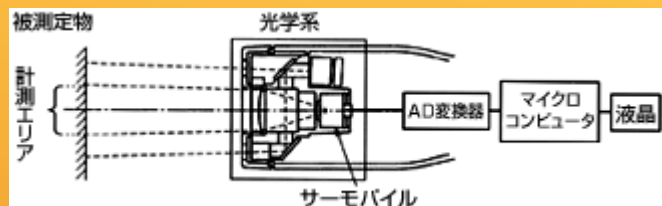
- ▶ 金属プレートを加熱しその電力と温度から風速を測定する
- ▶ 風速の分解能 0.1m/s
- ▶ 風向の分解能 5°
- ▶ サンプリングレート 0.5Hz

- ▶ 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)



RadiationThermometer



- 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(TRL4)

- ▶ 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できる。
(5%程度)

熱慣性の推定

- ▶ 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。

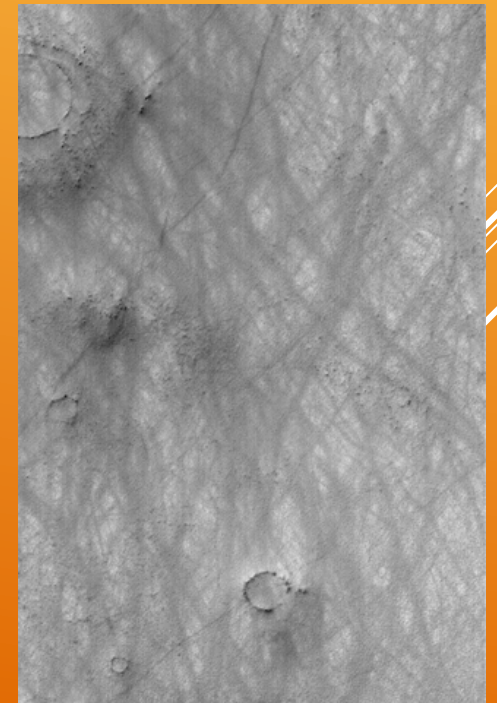
気象観測システムとダスト計測機器での目標



Dust Devil

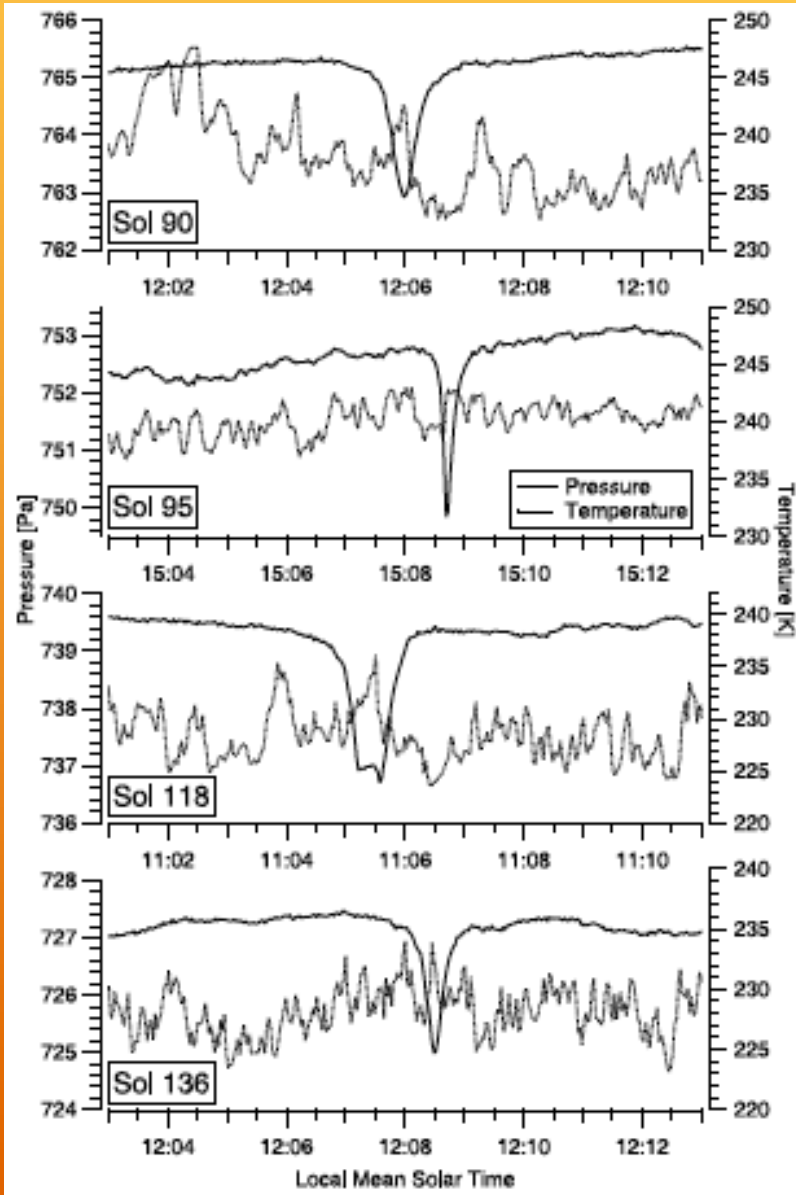
ダストを巻き上げる主役(ナビゲーションカメラで観測)

Dustdevil Track



DUST DEVIL

ダストデビル通過時



Ellehoj et al.(2010)

Phoenix Lander

Vaisala Barocap/Thermocap

観測期間 151sol

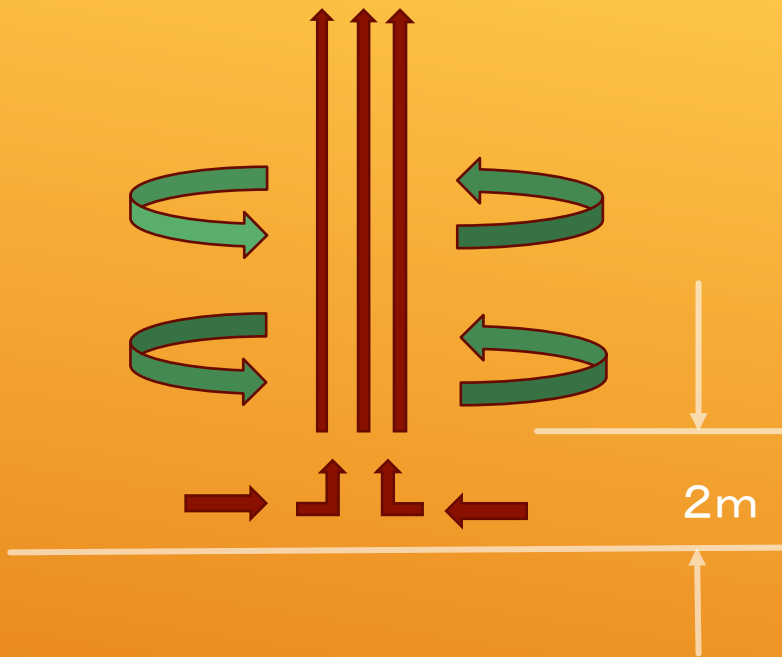
観測された渦 502

ダストデビルによる変動

継続時間 10-20sec

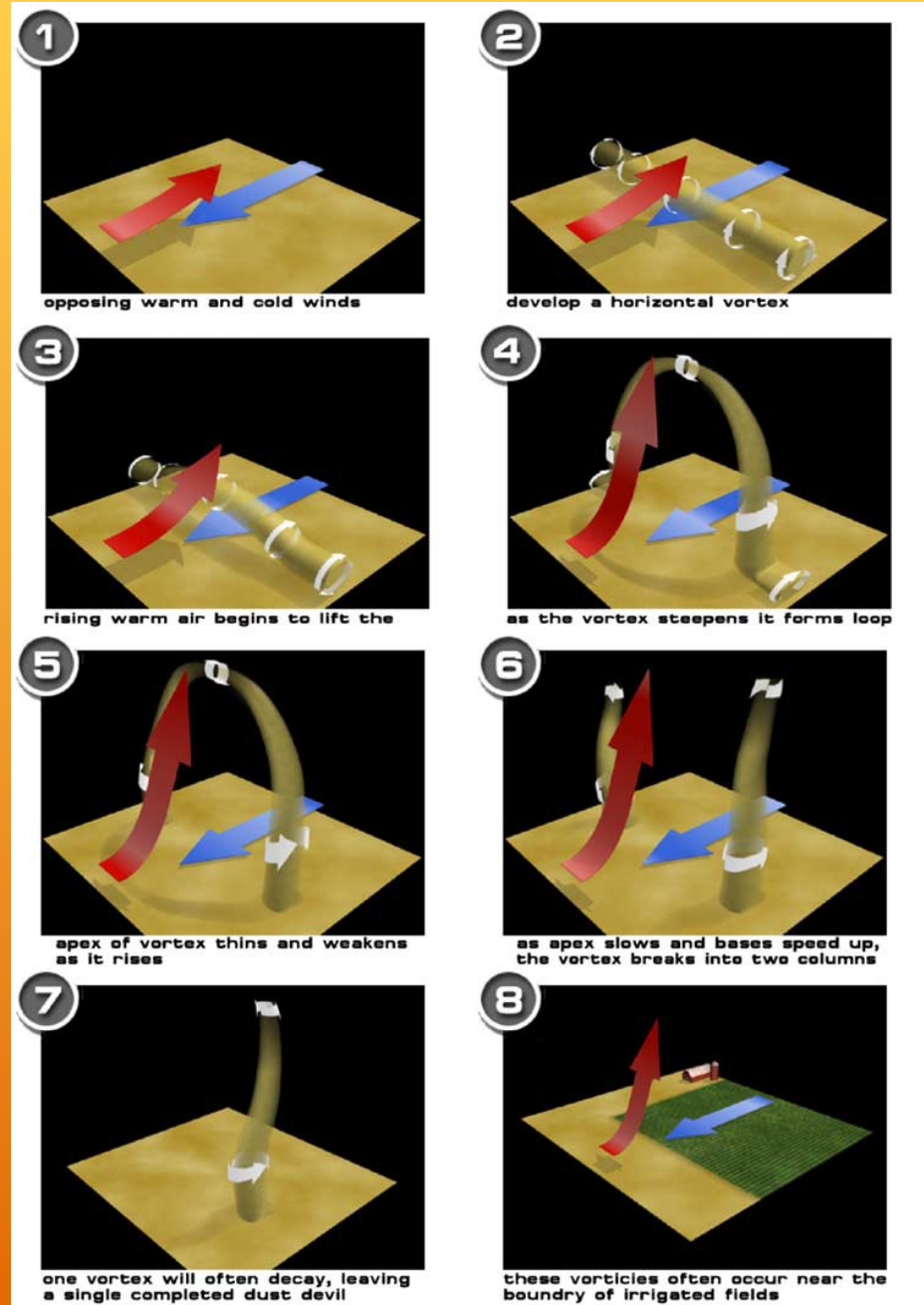
ΔP 1-5Pa

ΔT 0.5-2K



2m以下は地面を感じて吹き込んでいます。

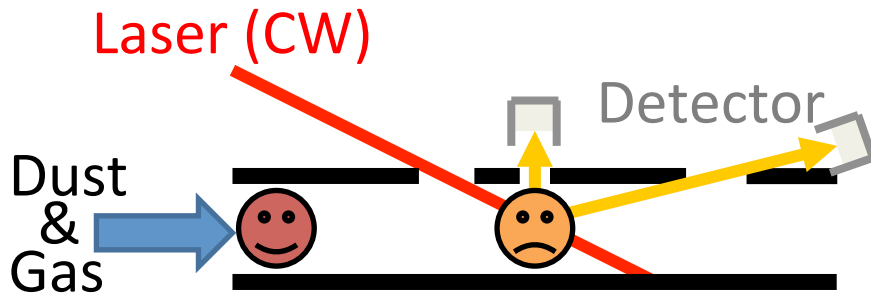
ダストデビル



Model of Dustdevil

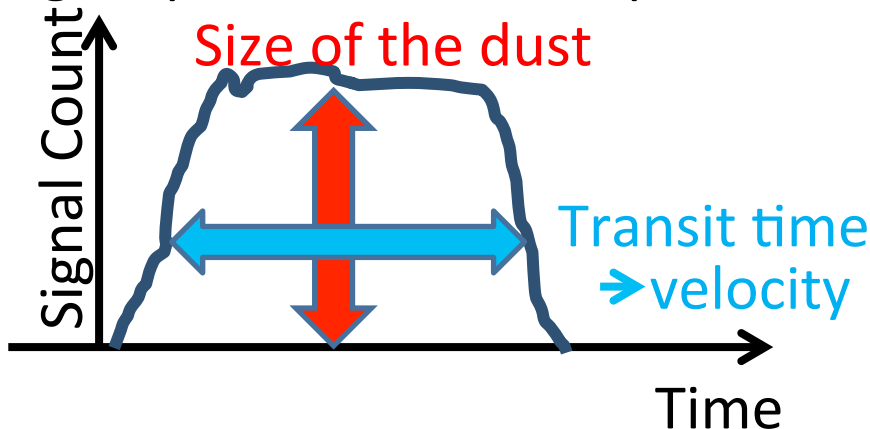
Dust Monitoring (MEPAG2015: 千秋博紀作)

Particle sensor

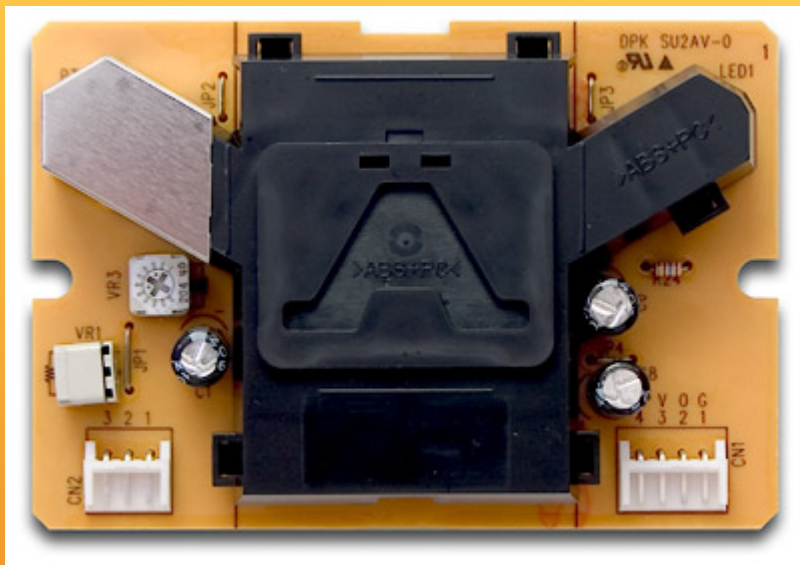


In reality, CW laser is wider ($\sim 1\text{mm}$) than the size of typical dust size (\sim a few μm).

Signal pattern from one particle



- Particle sensor monitors the frequency of signal from transiting dust
- Already used as particle counter in cirrus cloud
- Size distribution is divided into 5+ bins.
- Specifications:
 - Weight:
 - less than 200g (sensor part +electric part +cables)
 - Size:
 - 100mmX80mmX30mm (sensor part)
 - Power consumption
 - <1W (in run)



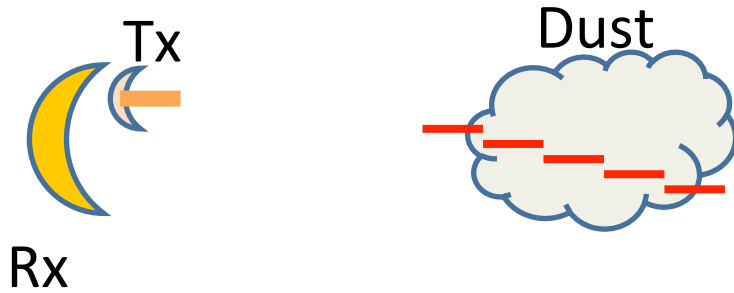
視野は 10mm^3
 $1\mu\text{m}$ 粒子 0.01cc 0.5 – 2個 ぐらい
 $100\mu\text{m}$ 粒子は全然少ないのでカウントできる。
カウント時は粒子の大きさもとれる
(精度未検討)

- ▶ ダイオードレーザーをあてて粒子に散乱されたパルスをカウントする
- ▶ 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。

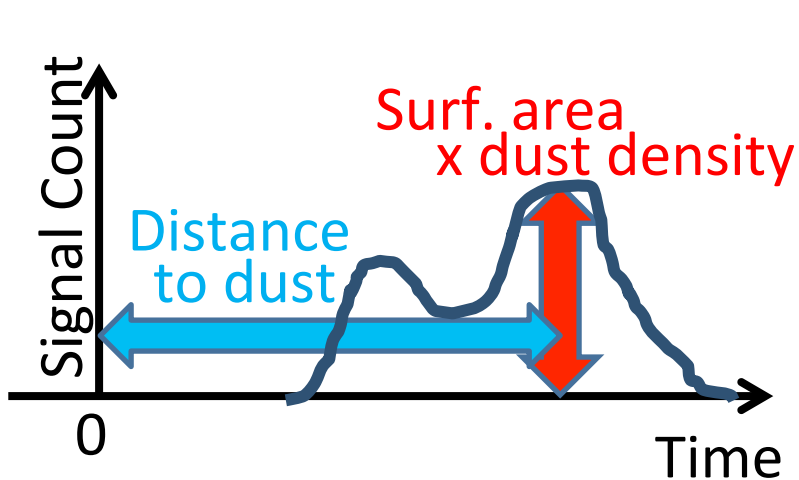
粒子センサー(提案装置：TRL3)

Dust Monitoring (MEPAG2015: 千秋博紀作)

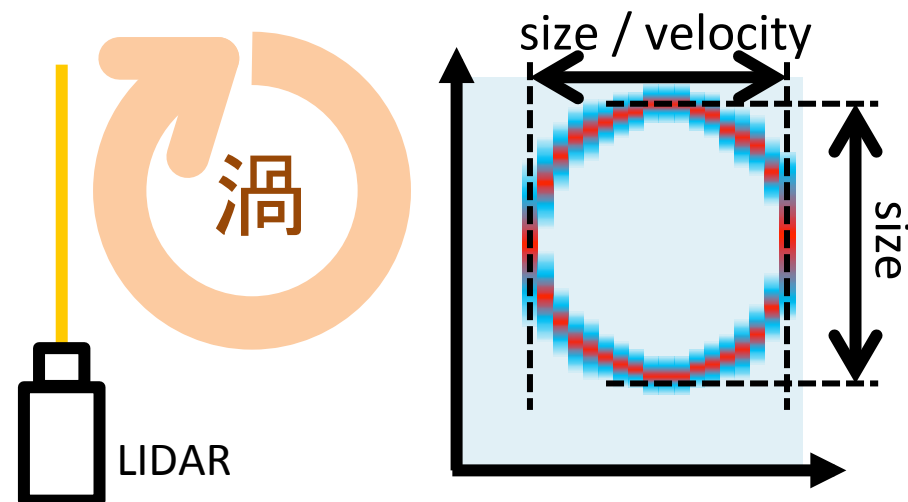
Short range LIDAR (Light Detection and Ranging)



- LIDAR transmits a pulse laser and measure the profile of returned light.

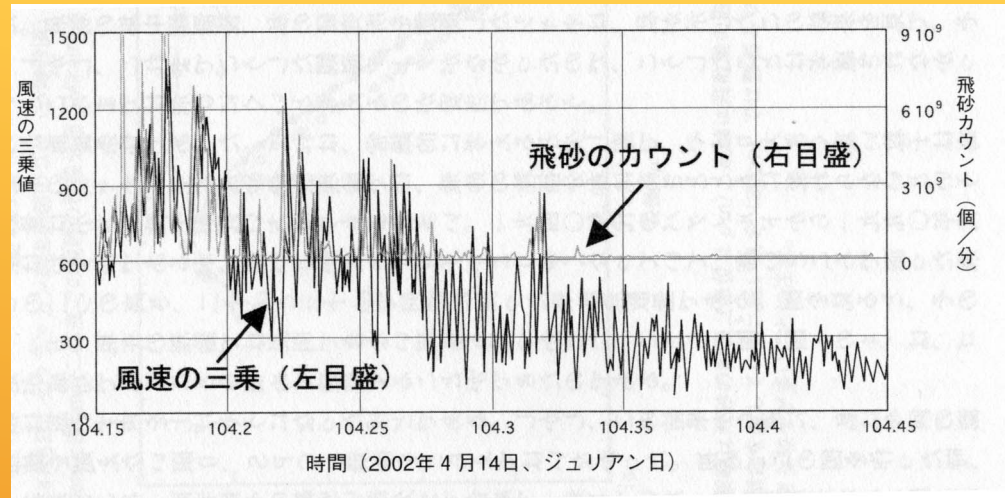


- LIDAR measures the distribution of dust grains on the line of sight.
- Comm. base instrument has been developed.
- Observe 100m dividing into 1m bins
- $\phi 100\text{mm}$, 900g in total

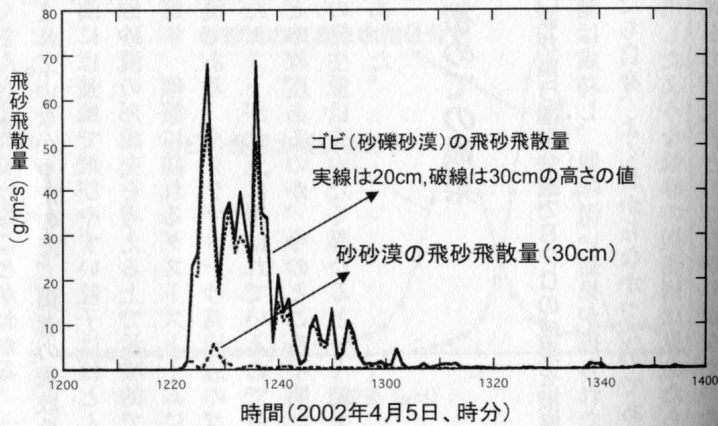


ADECの結果 サルテーション

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。



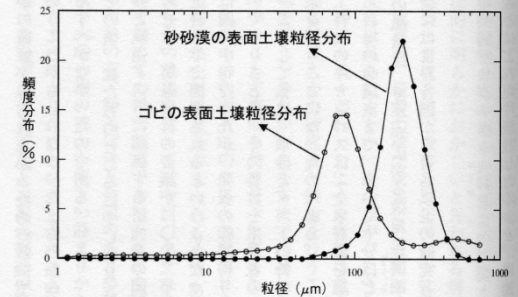
Thin line: Sand count
Thick line: u^3 (Mikami)



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。

タクラマカン砂漠南部のゴビ観測サイトと砂砂漠観測サイトの表面土壌の粒径分布 (Mikami et al., 2005)



図の横軸は表面土壌の粒径 (単位 μm)、縦軸は各粒径毎の土壌の割合 (%) を示す。飛砂が飛散しやすいと言われる 80 から 100 ミクロン 程度の大きさの粒子は、ゴビ観測サイトの方が多く、砂砂漠にはわずかし か含まれていない。