

複数着陸機による 火星内部構造・環境探査の 検討

○石原吉明 (NAOJ) ・小林直樹 (ISAS/JAXA) ・新谷昌人 (東大)
岩田隆浩 (ISAS/JAXA) ・松本晃治 (NAOJ) ・清水久芳 (東大)
高橋幸弘 (北大) ・はしもとじょーじ (岡山大) ・出村裕英 (会津大)
岡田達明 (ISAS/JAXA) ・宮本英昭 (東大)
佐藤毅彦 (ISAS/JAXA) ・MELOS マルチランダーG

火星の重要性

- 地球と類似のシステム構成要素
(惑星システム科学的観点)

- 表層の構成 e.g. 大気・氷床結合系

- 海洋は (少なくとも今は) 無いけど . . .

- 内部の構成 e.g. 核・マントル結合系

- 内核は . . . ?

- ダイナミクス・進化に大きな違い?
(比較惑星学的観点)

- サブシステムの物理的・化学的差異

- 何が違うのか? / 何で違うのか?

Motivation

- 地球惑星システムの振る舞いについて知りたい。
 - その「ありさま」を知る。 (システムの構造・短期変動)
 - その「おいたち」を知る。 (システムの進化・長期変動)



MEPAG (March 2009)

What and How ... ?

- 火星システムと、地球システムの違いは何か？
- 火星はどのように形成され、現在まで進化してきたのか？
 - 固有磁場の獲得と喪失（コアダイナモの駆動期間）
 - 非常に固く厚いリソスフェアと低いQ値の謎

**内部構造モデルの精度を向上させることで
現状の理解を大幅に進める事が可能！！**

**地球物理学的な探査が重要!!
あわせて出来る限りの環境情報の同時収集**

複数着陸機による内部構造・環境探査

● 広帯域地震計

- 火震・自由振動・背景表面波... etc ⇒ 活動度・内部構造... etc

● コヒーレントトランスポンダ/ドップラ中継機 (もしくは逆VLBI用電波源)

- 自転速度変動・章動... etc ⇒ 内部構造 (特に深部) ・大気活動... etc

● フラックスゲート磁力計・ループアンテナ磁力計

- 磁場変動... etc ⇒ 内部電気伝導度構造 (~マントル上・中部) ・ダストデビル起源電波... etc

● 波長可変フィルタ付きカメラ

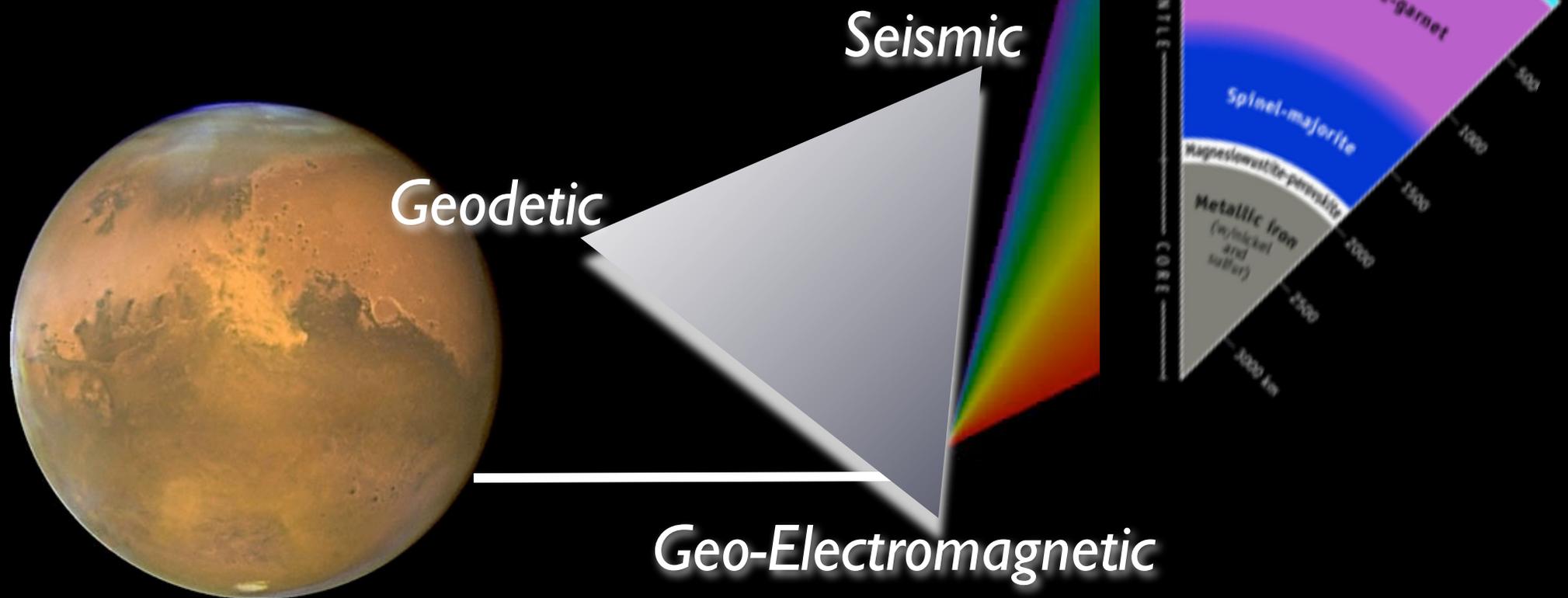
- 観測機器設置確認 (方位等) ・多色撮像⇒着陸地点の地質記載

● 気象パッケージ

- 気温・気圧・日射・風向/風速 ⇒ 風/境界層はじめての詳細観測...ダストの巻き上げ過程

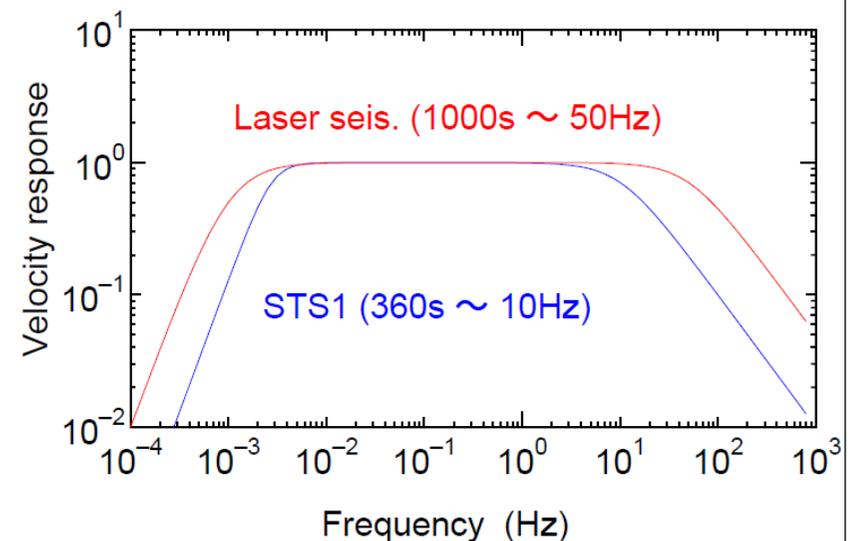
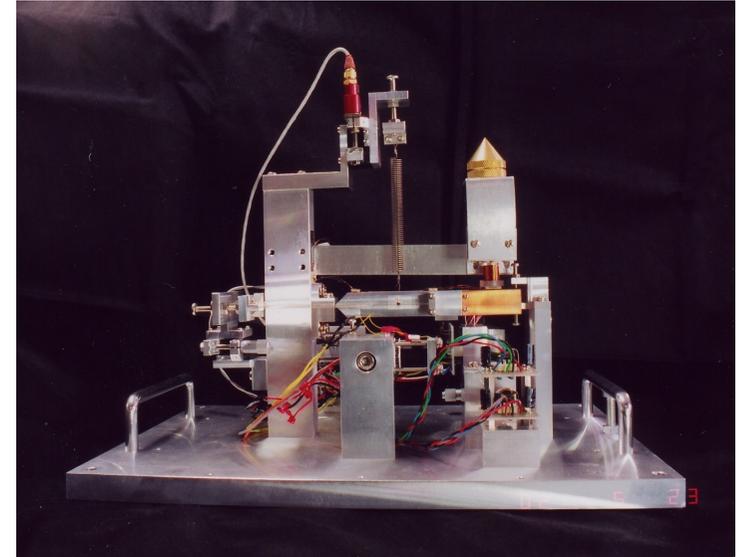
Preliminary Reference Interior Structure Model on Mars (PRISM²)

究極の共通目標
火星内部構造の標準モデルの確立



広帯域地震計

- レーザー干渉式広帯域地震計 (Araya et al., 2007) を元にした惑星探査モデルの開発
 - 長周期振り子・レーザー干渉計・制御回路
 - 超広帯域
 - 短周期実体波
 - 長周期表面波
 - 自由振動
- レーザー干渉式のメリット
 - 高分解能
 - 低ドリフト
 - 設置後の自己校正
 - 温度・放射線環境耐性



広帯域地震計開発

- 小型地震計製作 (12 cm x 20 cm x 21 cm)
- 基本性能
 - 帯域 1mHz ~ 50Hz
 - ノイズレベル $< 3 \times 10^{-9} \text{m/s}^2 / \sqrt{\text{Hz}}$ (4mHz ~ 10Hz)
 - STS1と整合 (>4mHz) 外乱に感受? (<4mHz)
- 振動試験実施 (ヒンジの振動対策)
- 温度試験 (-50 ~ 50°C、干渉ユニット) 実施
- 設置方法の検討
- 風対策の検討



詳細はP3-129西川ほか & P3-12A 堀ほかのポスターを参照

火震波動シミュレーション

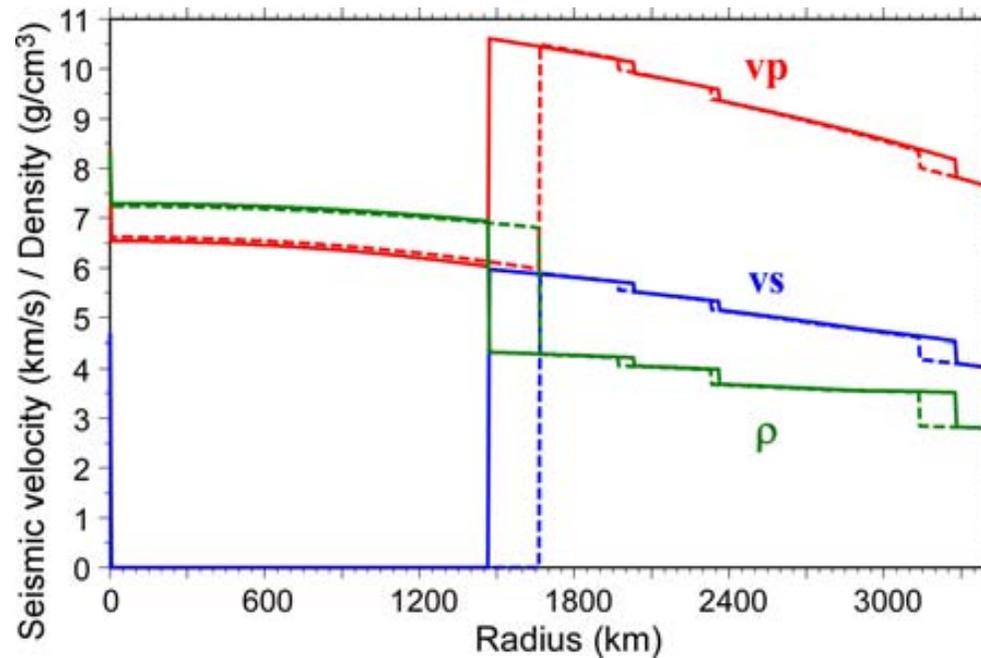
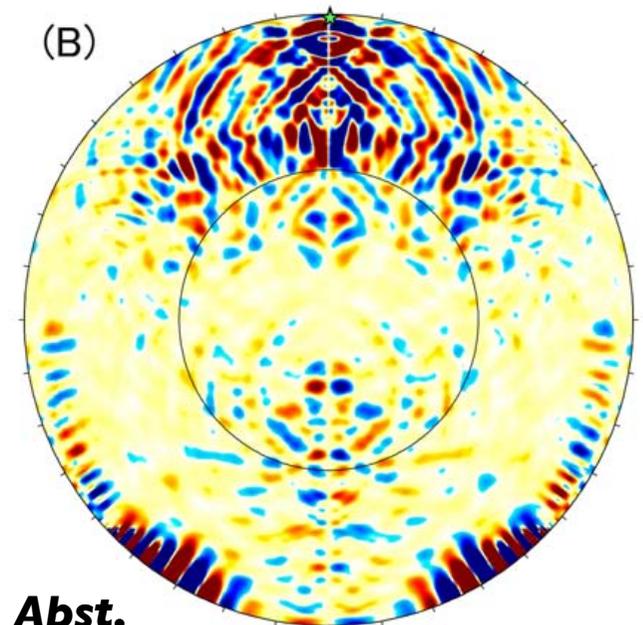
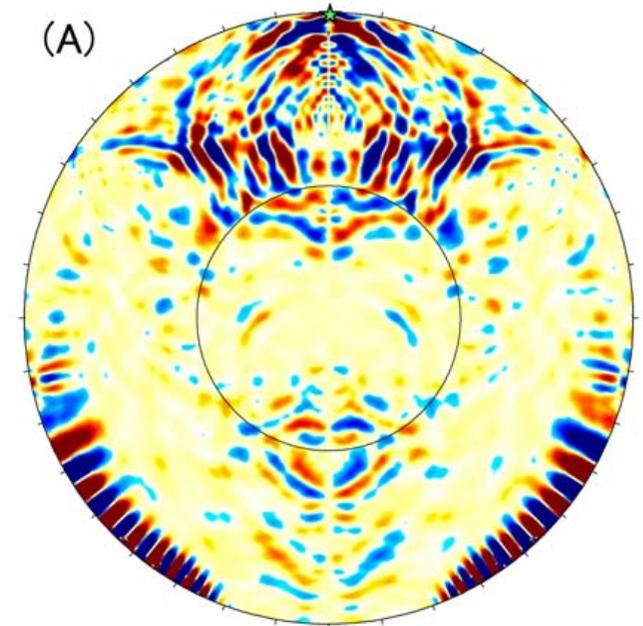


Figure 1. Radial distribution of seismic velocities and density for model A (solid curve) and model B (dotted curve) [4].

Figure 2. Snapshots of the global seismic wave propagation for the model A (top), and model B (bottom) at 3500 s after excitation. Red and blue denote relatively large positive and negative values of radial component of the particle velocity. The borders of the models are the free surface and the CMB. The source location is indicated by green star.

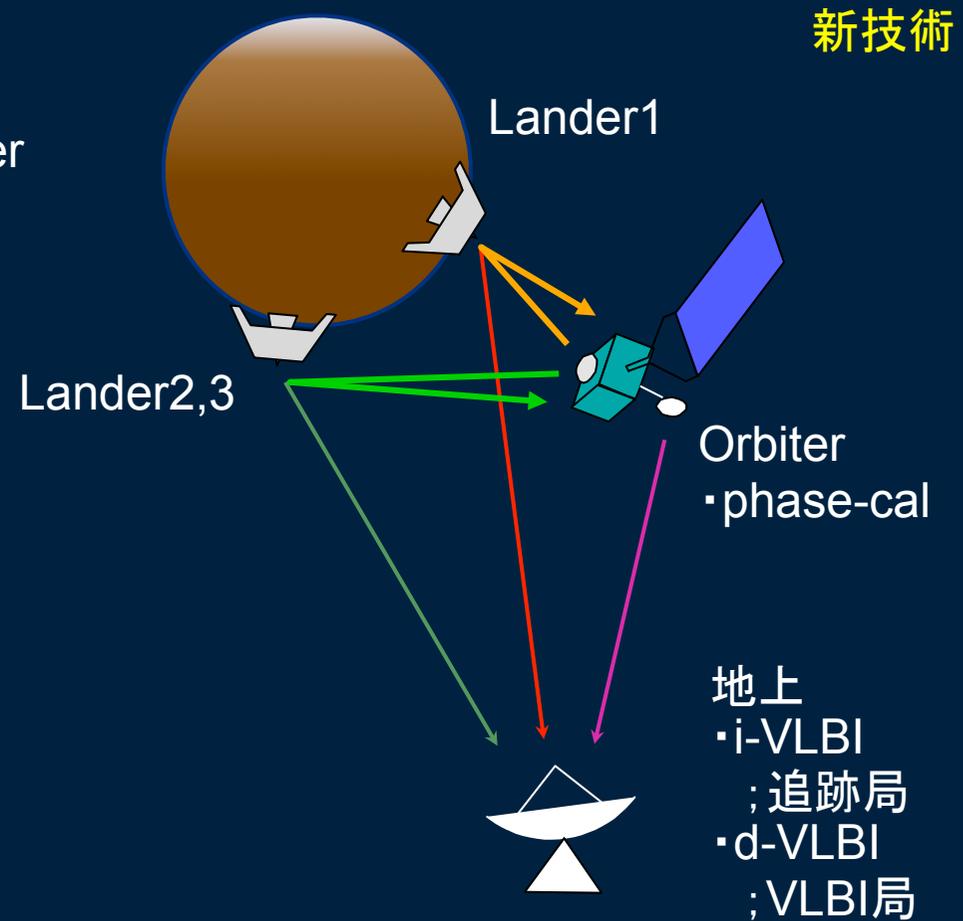
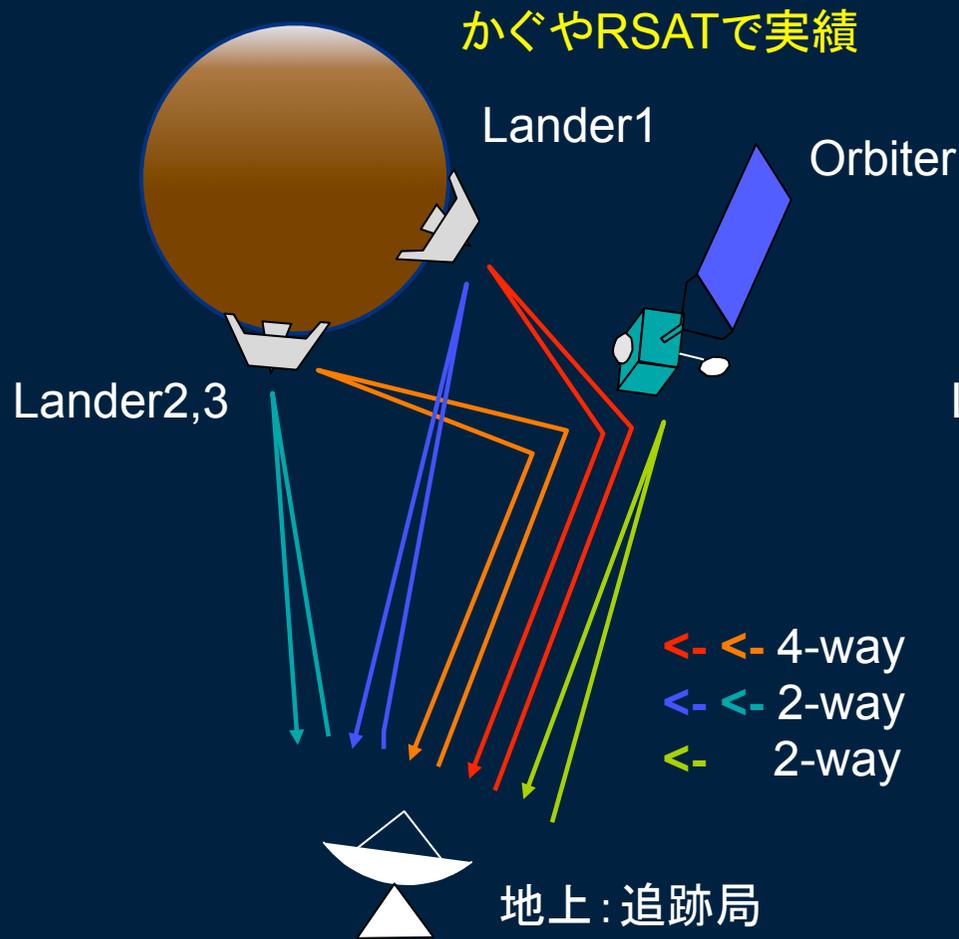


回轉變動計測パッケージ

回轉變動計測による火星システムの理解

- **歳差 (世界最高精度 ; this work、以下同)**
 - 内部サブシステム: 慣性能率 → 密度構造
 - 表層サブシステム: 自転軸傾斜角変動 → 気候変動
- **章動 (世界初)**
 - 内部サブシステム:
核マントル境界半径・内核有無 → 内部熱進化モデル
- **極運動 (世界初)・自転速度変動 (世界最高精度)**
 - 表層サブシステム:
大気極冠物質循環・ダスト含有量 → 全球大循環モデル

4-wayドプラ計測: FWDP (左) と 逆VLBI: i-VLBI (右)



sensitivity for positioning; $\sigma(x)$

$$\sigma(x) = \sigma(\Delta L); \quad \Delta L = L1 - L2 = 0.3 \text{ mm}$$

under

$$\sigma(\Delta \tau) = 1 \text{ ps} = 10^{-12}$$

技術課題: 大電力・高利得アンテナ 技術課題: 大電力・高利得アンテナ・局内遅延補正
軽量・高利得なフェイズドアレイアンテナの検討中

電磁場計測パッケージ

- **低周波磁場変動観測による電気伝導度構造探査**
 - 3ランダー必要
 - 2ランダー構成（現在のノミナル案）の場合、電気伝導度構造探査には、海外ランダーとの協力が欠かせない
- **大気電場計測**
 - ダストデビルのダスト巻き上げ機構など

電磁場計測

多様な観測用途、確実な観測

- ・ 地下～深部の温度・電気伝導率構造を探る
- ・ 火星表面での電磁現象モニタ
- ・ ダストデビルの発生機構の解明及び位置推定
- ・ 電波伝搬特性による火星電離圏電子密度推定

<2軸ループアンテナ(60cm)>

- ・ 感度： 100fT/Hz^{1/2} @ 1kHz
0.3fT/Hz^{1/2} @ 350kHz

<鉛直電場プローブ>

- ・ 感度
DC: +/- 200V/m 及び +/- 20kV/mの切り替え
AC: 0.3 mV/Hz^{1/2} @ 1kHz

<フラックスゲート磁力計 >

- ・ 計測頻度：32Hz
- ・ 分解能：0.01 nT
- ・ 設置後方位精度 1 度

サンプリング：DC-700kHz

技術課題：EMC・データ圧縮

気象観測パッケージ

• 基礎的な気象要素の観測

– 気温・気圧・日射

– 小型・軽量！

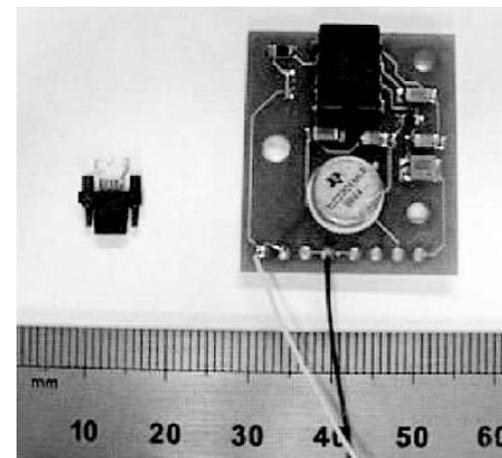
• 総重量 < 100g

– 複数の高さで測定

– 環境条件

• p: ~6mb, T: 170~270K

– 宇宙研の大気球（到達高度 53km）1mb, 200K



温度計 (Towner et al. 2004)



(株)ソニック SAT-500 3kg/4W]

• 超音波風速計

– 3次元で風速・風向と気温の高時間分解能観測

• 境界層乱流のその場計測には欠かせない

課題：重量・電力・データ圧縮（内部構造探査が主目的のため優先度が低い）

国際協力・競合

- ・ 地球物理学的な観測に基づく火星内部構造探査は、欧州の研究者を中心に以前から検討されており、ExoMarsではいったん採用されたものの、予算状況などから地球物理学パッケージは丸ごとキャンセルされており、現在確実に実施される他国の探査計画は存在していない。
- ・ 欧州の研究者は、現在、MarsGeO（もしくはMarsTwin）と呼ぶ新たな探査計画を練っている。この計画では、2020年代に火星に2機の着陸機をおろし、地震・回転・熱流量・電磁場*および気象観測パッケージによる計測を行い、火星内部構造に迫るというものであり、我々の探査計画と非常に共通性が高い。 *電磁場計測は現在オプション扱い。（ただし、M3-mission Call of the Science Programmeには提出せず。）
- ・ MarsGeO（MarsTwin）には、呼びかけに応じて、MELOSの検討を進めている日本人研究者も参加しており、競合するよりも、協力体制を組めないか模索している。また、欧州側からも、同じタイムフレームで日欧同時に火星内部構造探査ミッションを実施する事で、観測網を充実させ、よりサイエンスゲインを引き上げるべく協力出来ないかという問い合わせを受けている。現在、研究者レベルで観測項目や目標精度等についての議論が始まったところである。