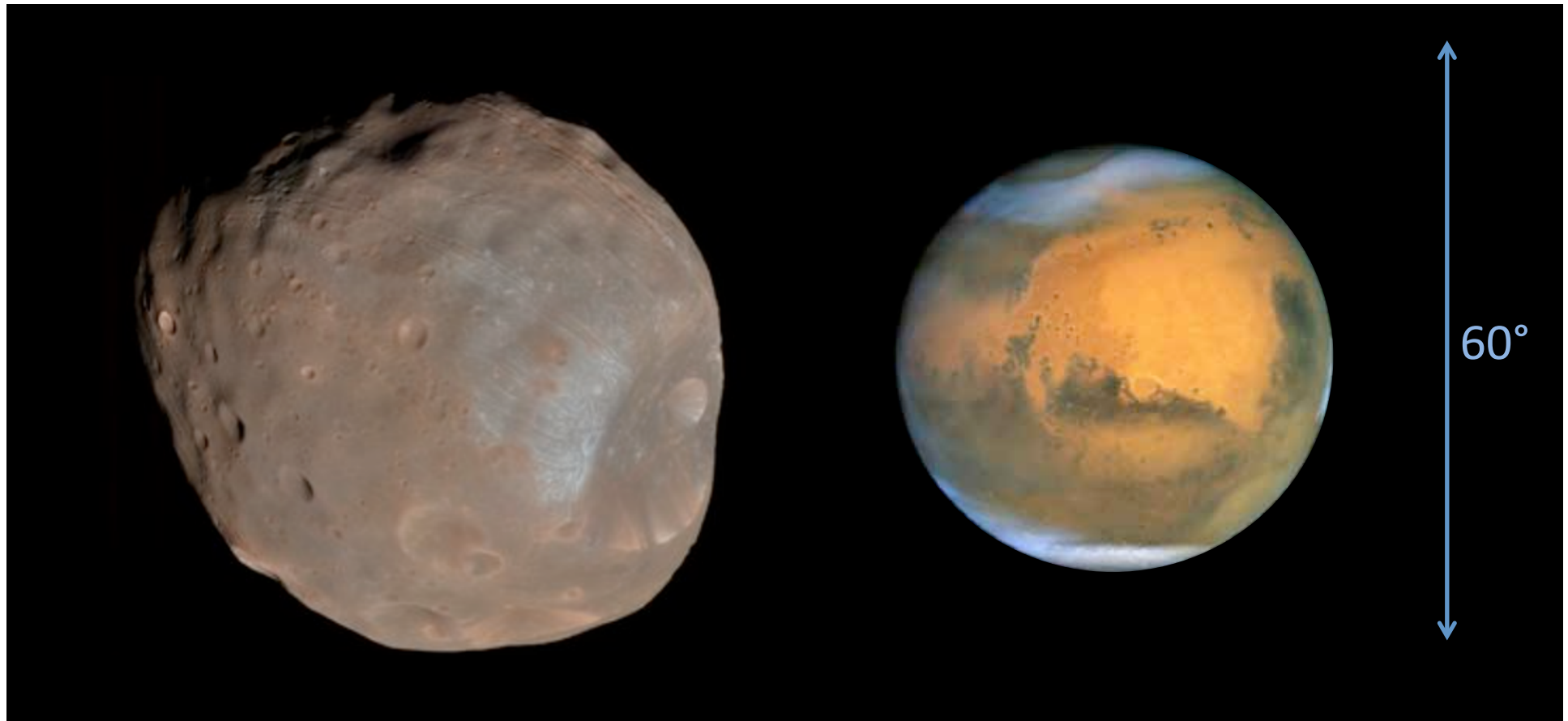


高時間分解能観測がひらく 火星ダスト・水循環の科学

今村剛(JAXA), 小郷原一智(滋賀県立大), 田口真(立教大), 山本 真
行(高知工科大), 笠羽 康正(東北大), 青木 翔平(IAPS), 坂野井 健
(東北大), 黒田 剛史(東北大), 笠井康子(NICT), 高橋芳幸(神戸
大), 野口克行(奈良女子大), 佐藤光輝(北大), 杉山耕一郎(JAXA),
佐藤隆雄(学振PD)

火星気象リモセンチーム

フォボス併走軌道から見たフォボスと火星の イメージ



ほぼ同じ大きさ

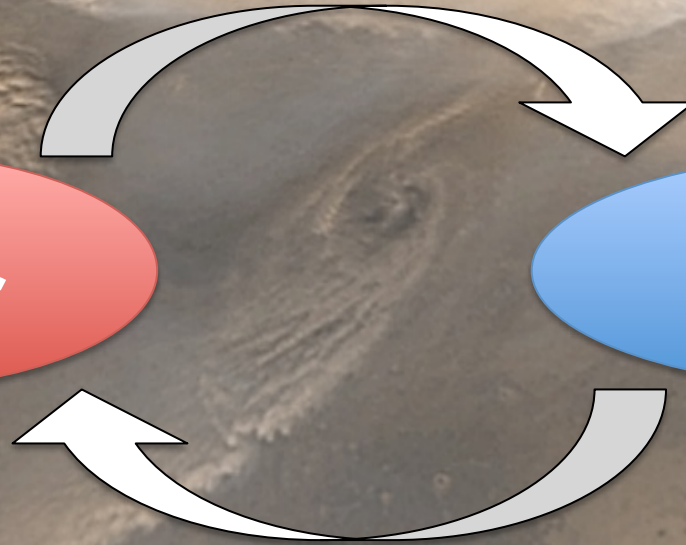
凍結岩石惑星の気候システム

大気温度の変化
地表温度の変化
地表アルベド・熱慣性の変化
ダストを核とする雲形成

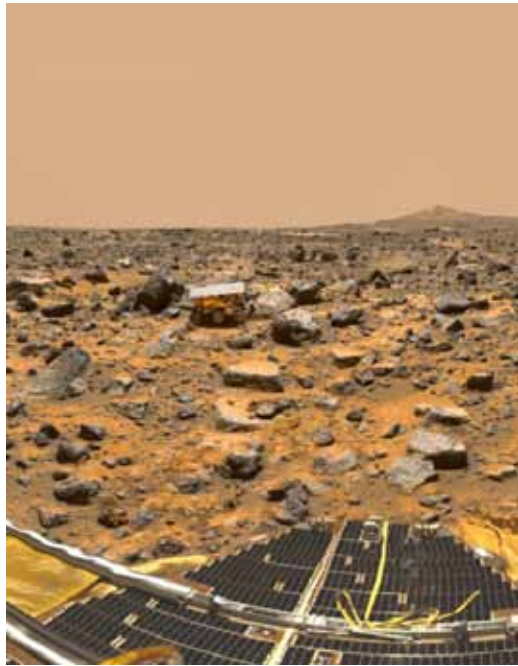
ダスト

水循環

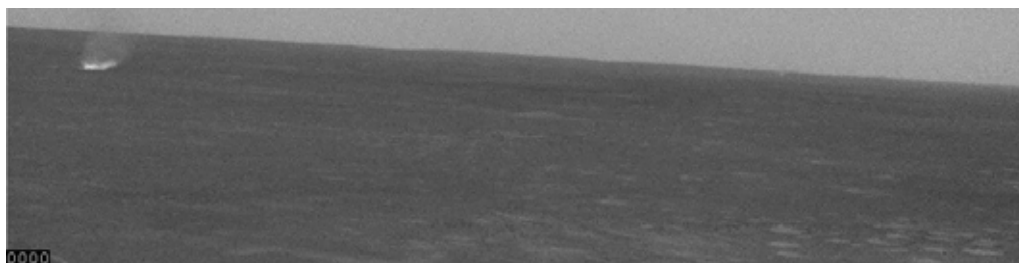
大気散逸による乾燥化
霜・極冠によるダスト固定
風化



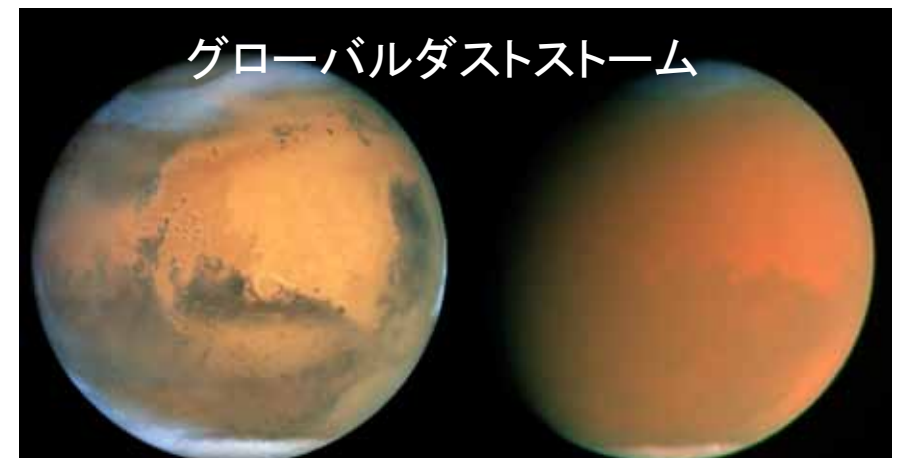
ダスト: 大気構造の支配者



- 大きさ1ミクロン程度の微細な鉱物粒子が定常的に地面から巻き上げられて大気中に浮遊
- 太陽光を吸収して大気加熱源となる、地表面への日射を抑えるなどして、大気熱構造と地表温度を決める
- 雲の凝結核として働く



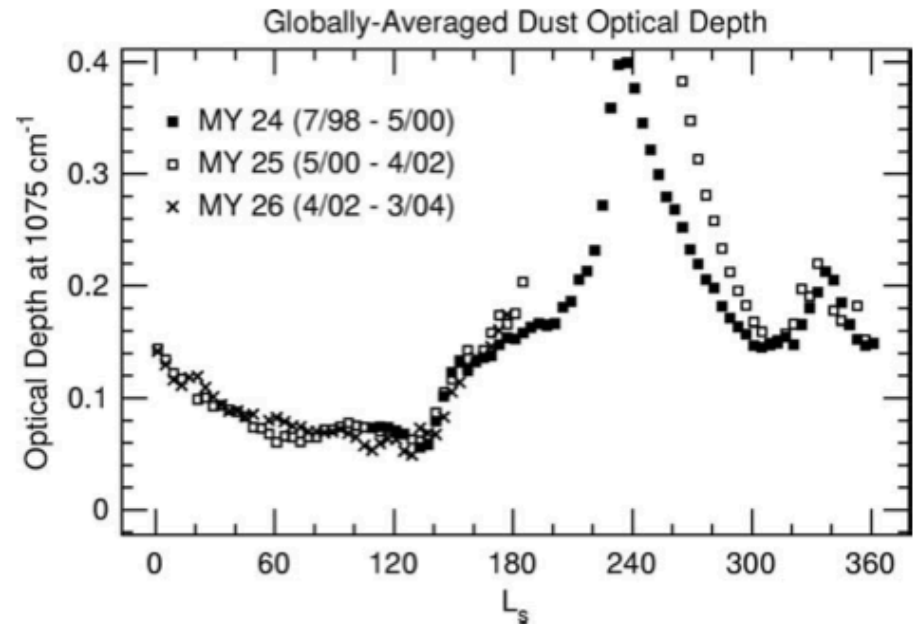
ダストデビル



グローバルダストストーム

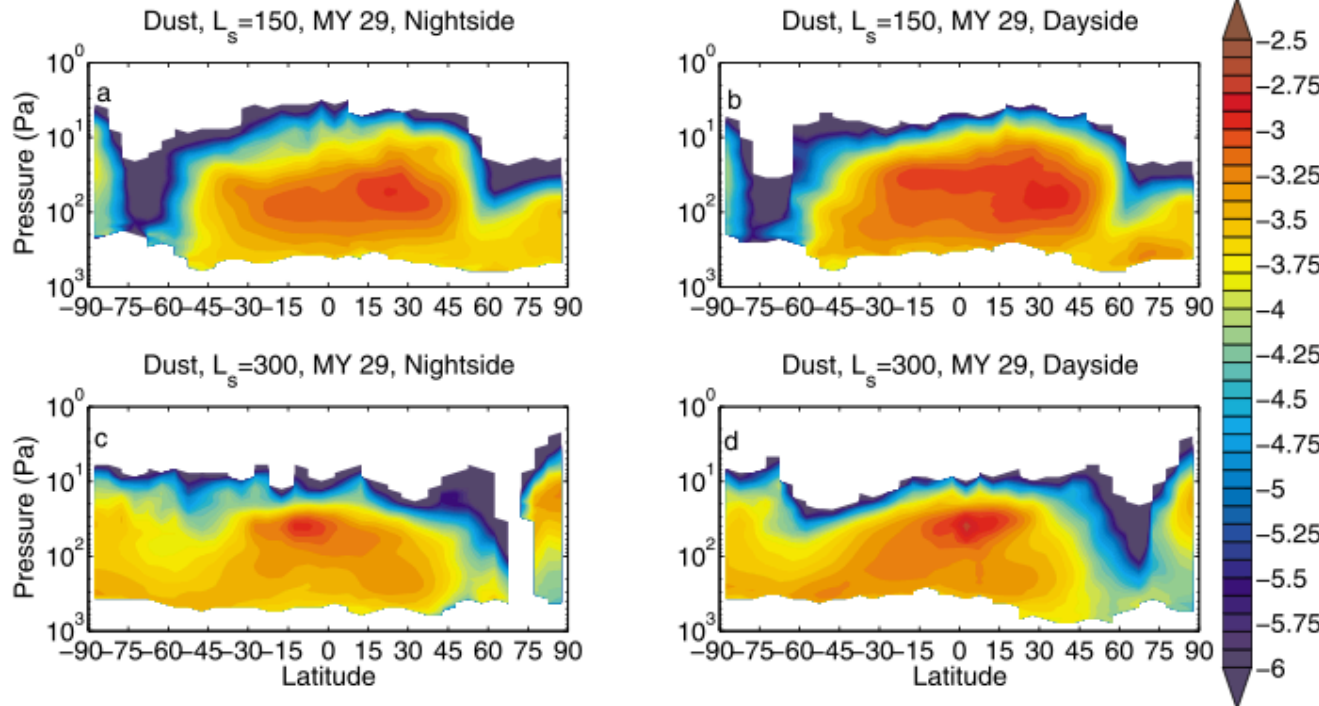
大気ダストの分布

- 年間通して存在する背景ダストの供給源は謎
- 高度10–20kmに混合比極大



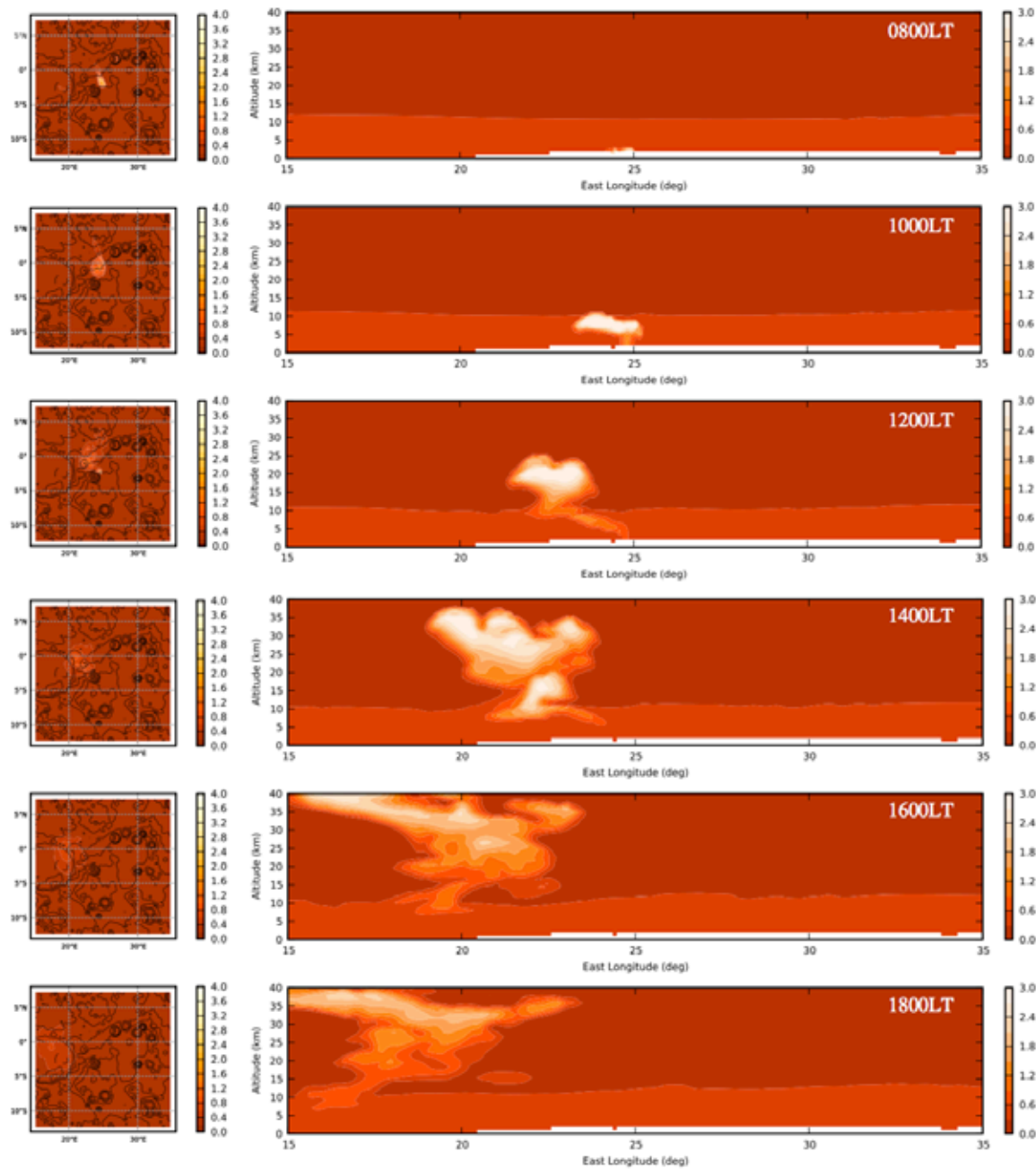
Smith et al. (2004)

Detached dust layers



ダスト混合比の
子午面分布

Heavens et al. (2011)



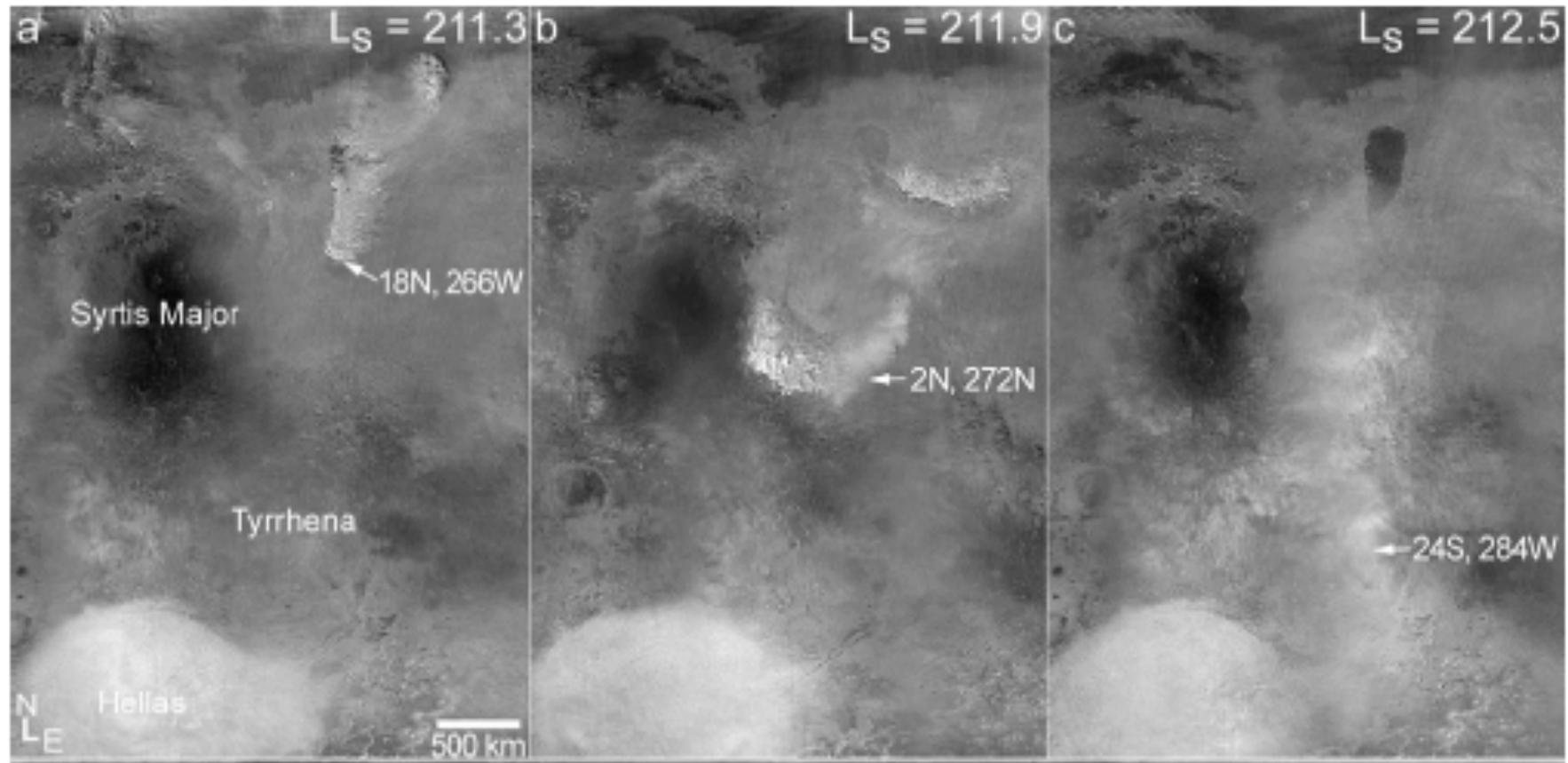
“Rocket dust storm”

Spiga et al. (2013)

数十km～数百km
スケールの急発達
プルームが鍵？

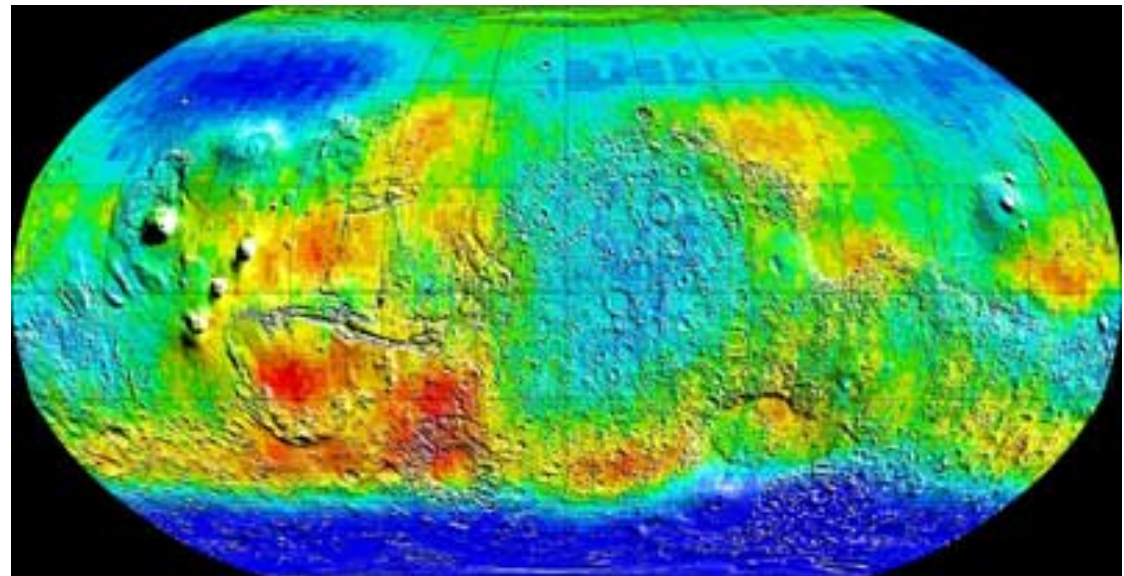
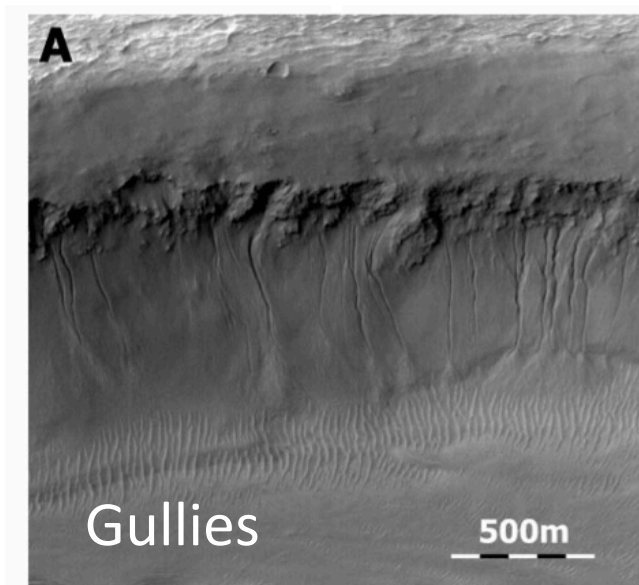
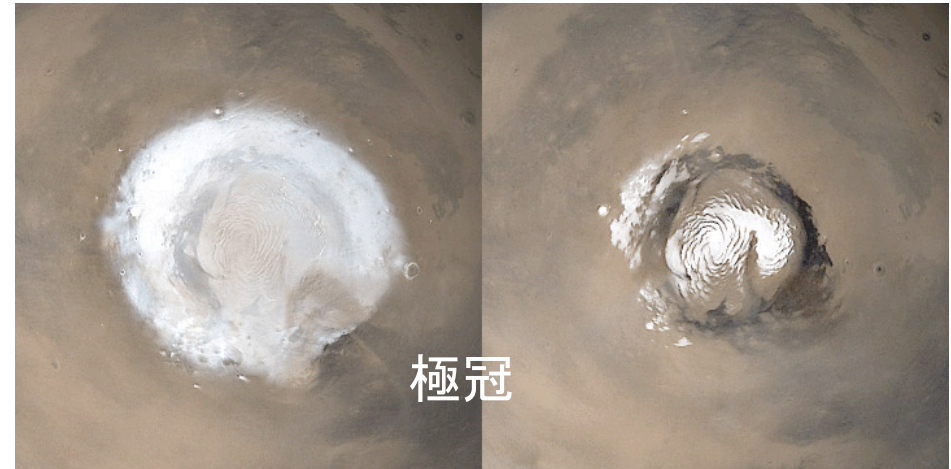
Figure 12. The LMD-MMM storm simulation with lifting and no initial dust perturbation. Same as Figure 4 except that local times range from 0800 to 1800 and longitude-altitude sections are obtained at latitude 1.5°S.

これまでのダスト観測： 低軌道衛星による1日1枚のモザイク画像



移流か巻き上げかも判別できない

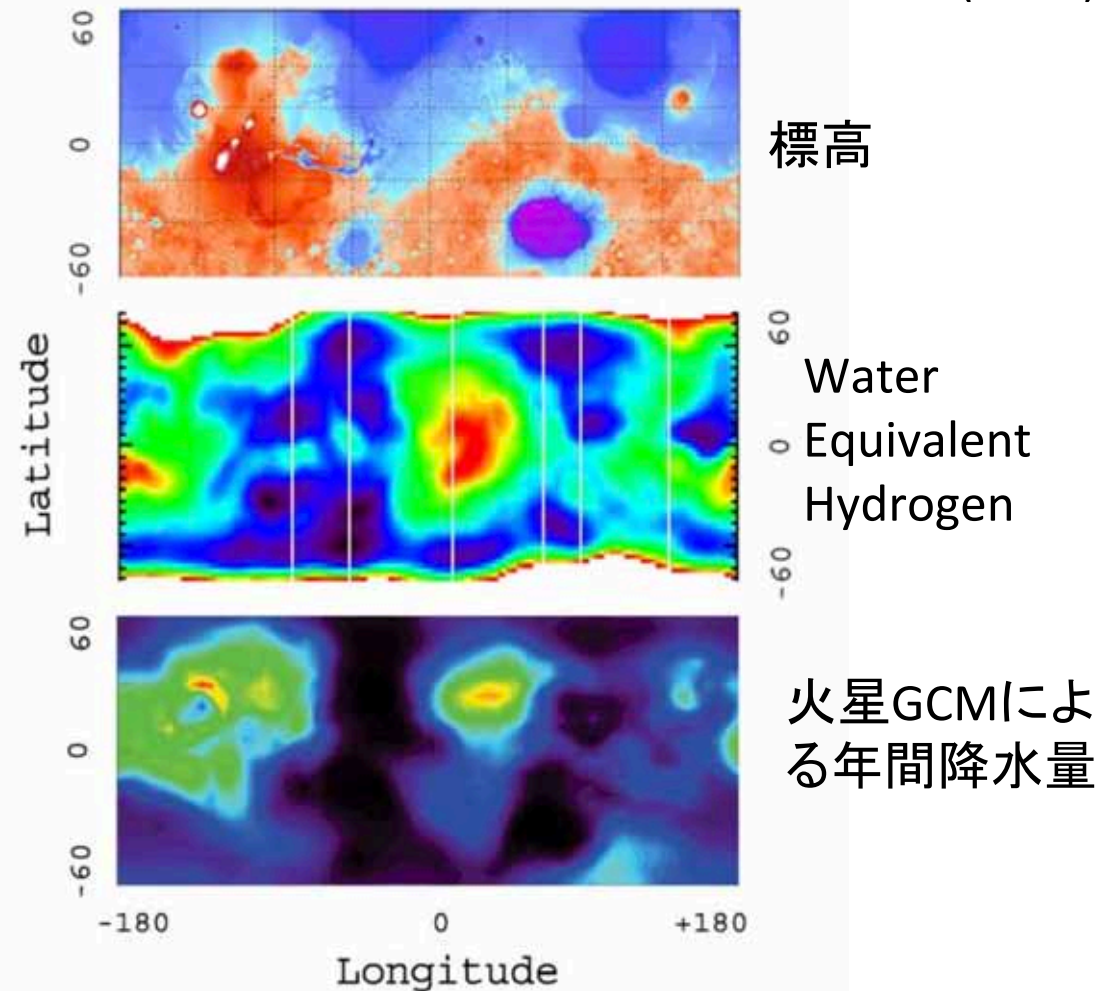
水の様々なリザーバ: 気候変動理解の鍵



Mars OdysseyによるWater Equivalent Hydrogen

輸送と相変化

Feldman et al. (2005)

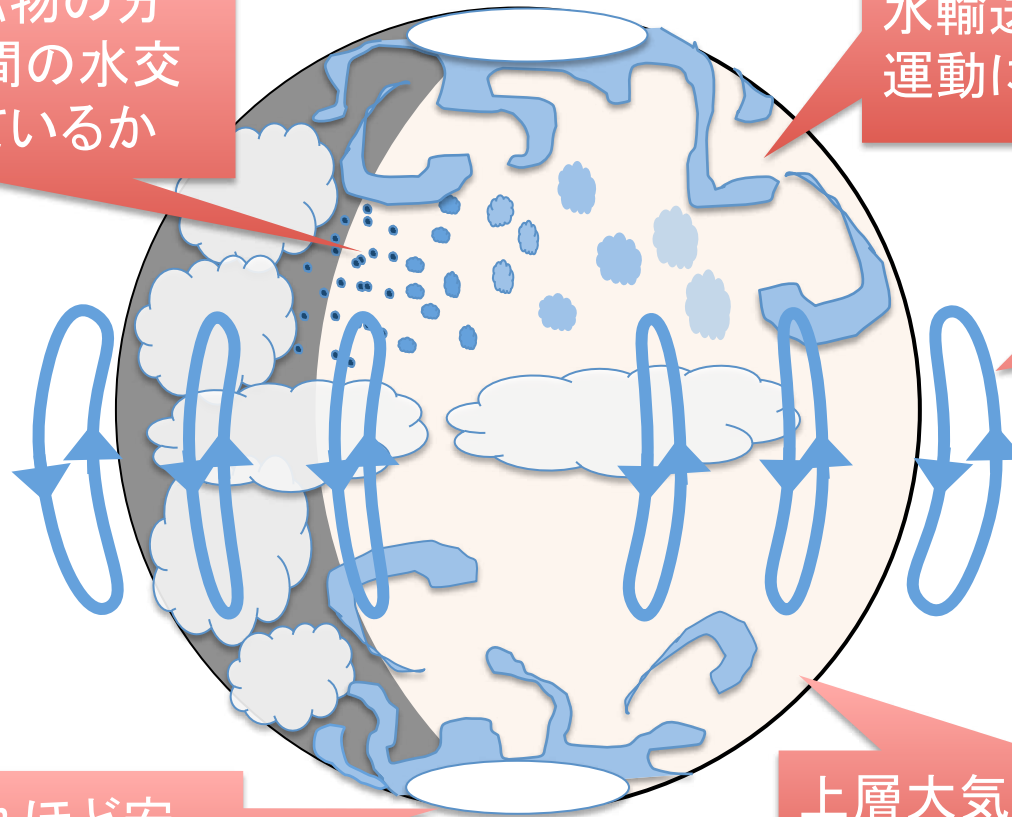


- 水蒸気量や各リザーバへの分配はどのように決まるのか
- 低緯度の水はどのように安定化されているのか
- 大きな日変化サイクルによる水トラップ？

火星の水循環の問題意識

地下氷や水和鉱物の分布は大気-地殻間の水交換とどう関係しているか

極冠と中低緯度の間の水輸送はどのような流体運動によって起こるのか

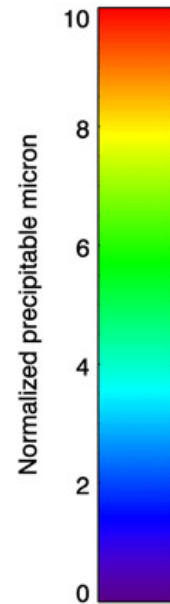
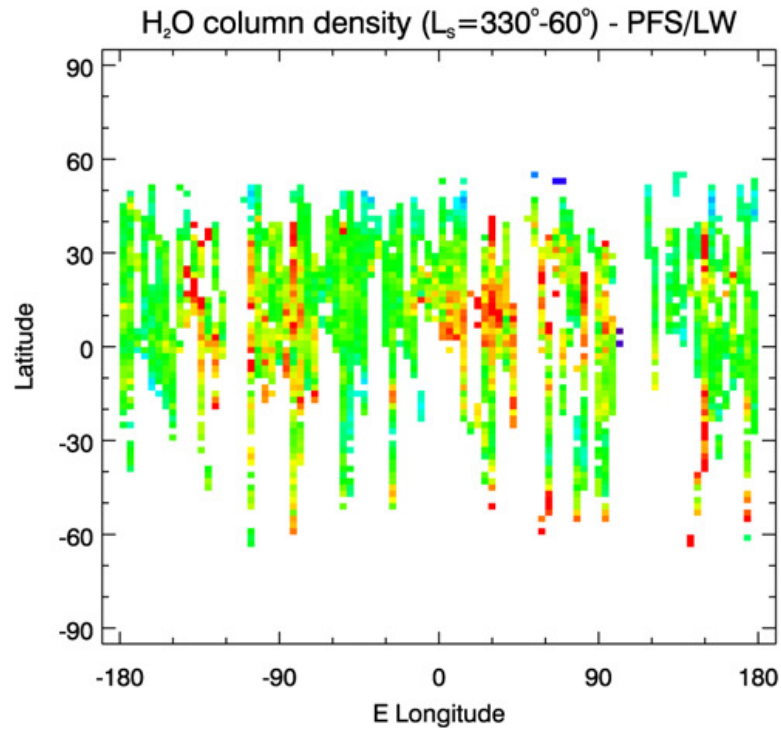


南北半球間で水はどのように輸送されるのか

極冠はどれほど安定しており長期的にどう変化するのか

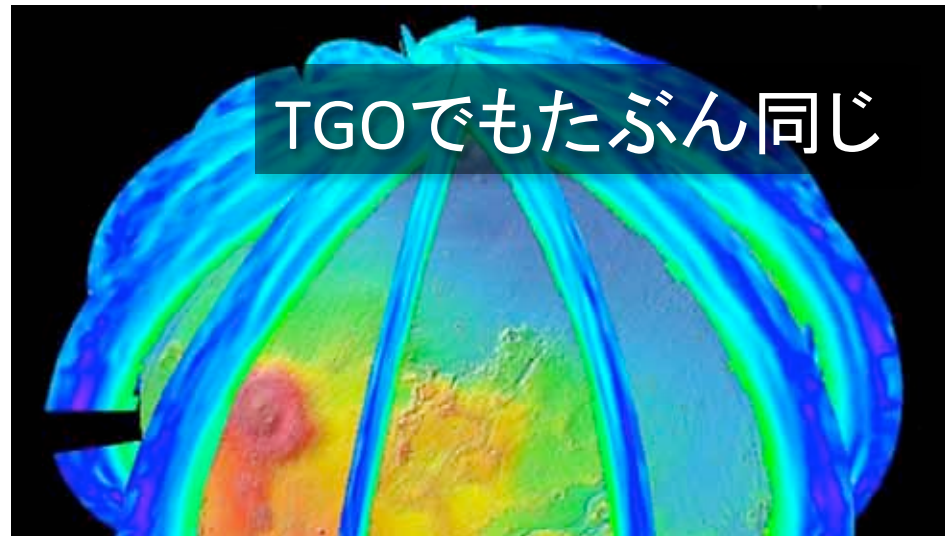
上層大気の水蒸気量はどのように調節されるのか

Mars Express/PFS
(Fouchet et al. 2007)

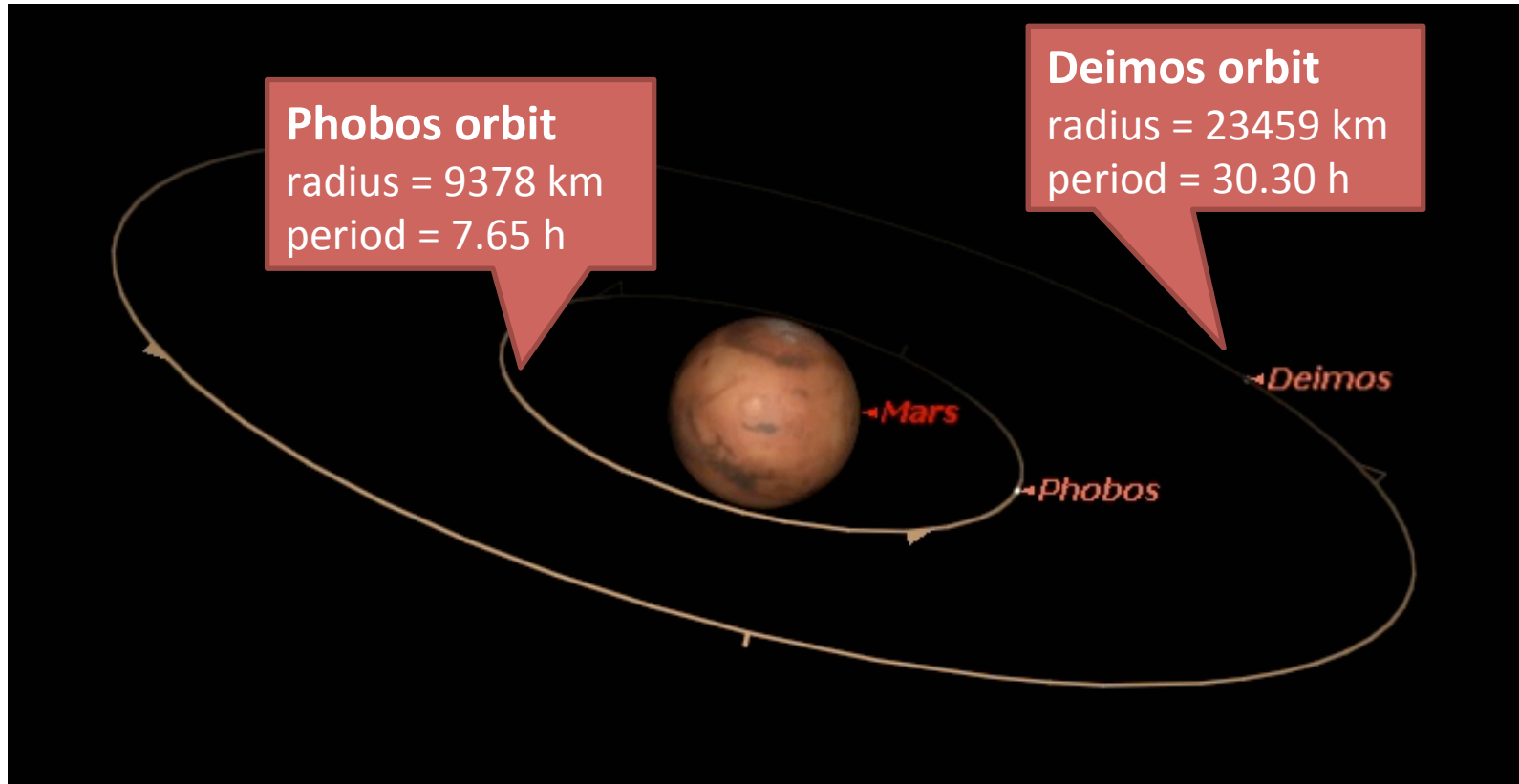


スナップショットの水蒸気
水平分布を誰も見たこと
がない
日変化も見たことがない

ExoMars Trace Gas Orbiter
の観測イメージ



火星衛星軌道：広いローカルタイムを連続的に観測する絶好のチャンス

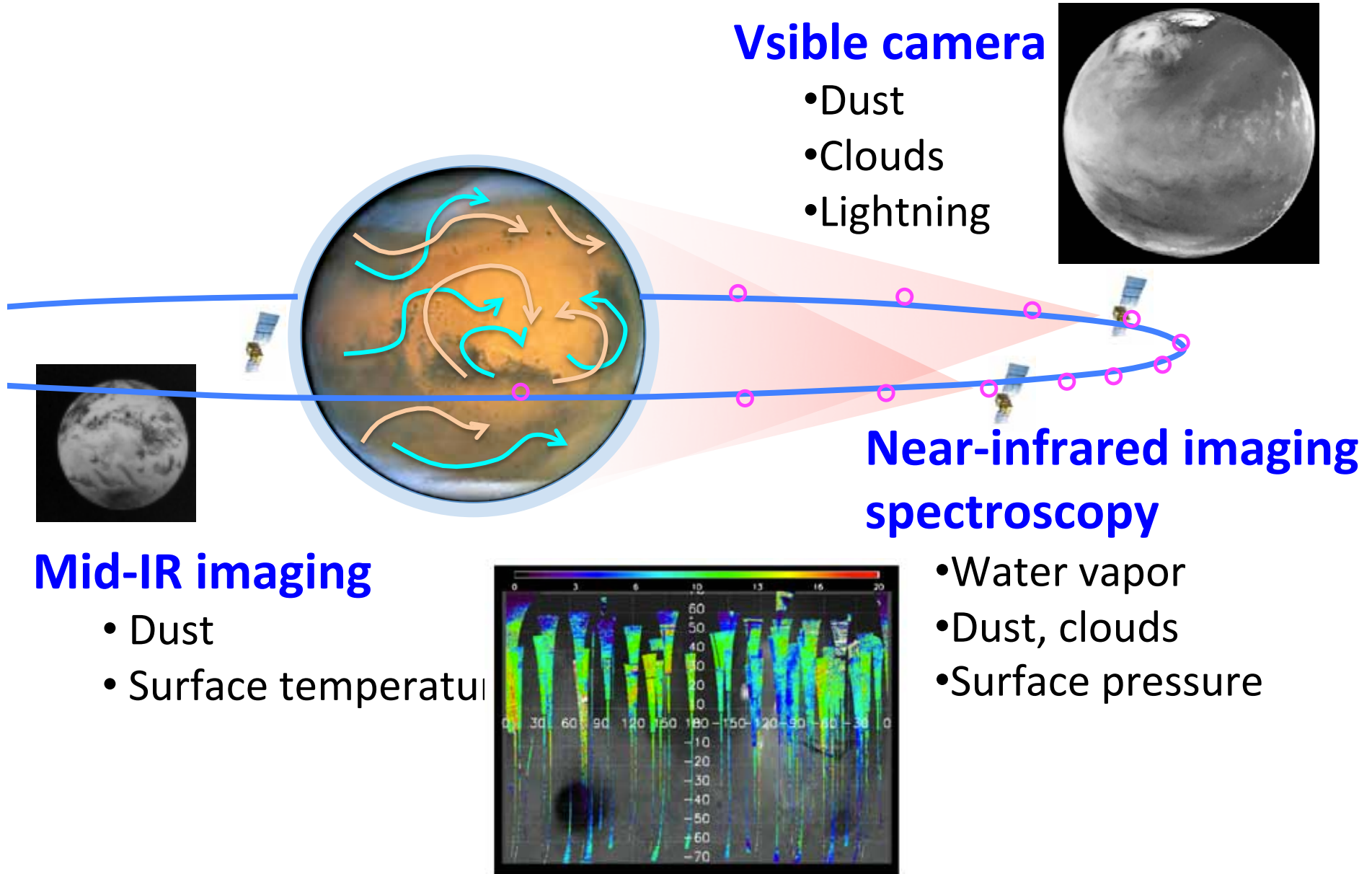


- Phobos orbit enables scanning of all longitudes in 11.1 h. Every longitude regions can be sampled roughly twice a day.
- Deimos orbit is close to the stationary orbit. Diurnal cycle in a specific hemisphere is well observed. The sub-spacecraft longitude changes with a period of 128 days.

暫定目標

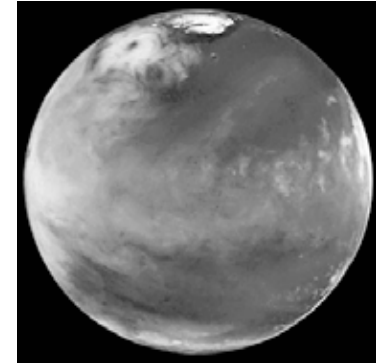
- 急速発達する局地的ダストストームの発生地域・地方時・ライフサイクルを明らかにし、ダスト巻き上げメカニズムを制約するために、ダストの全球的な分布を光学厚み0.01の相対誤差、10kmの空間分解能、1時間の時間分解能で連続的にモニターする。
- 地域間の水輸送を支配する要因を明らかにするために、水蒸気の気柱全量の全球的な分布を $1\text{pr-}\mu\text{m}$ の精度と100kmの空間分解能で、また氷雲の分布を光学厚み0.01の相対誤差と10kmの空間分解能で、ともに1時間の時間分解能で連続的に得る。

時間間隔1時間以下の連続観測



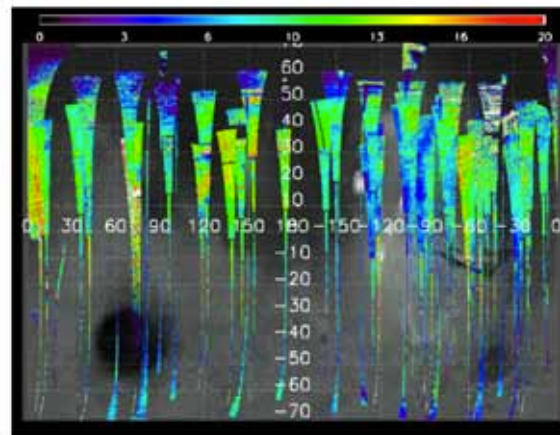
Visible camera

- Dust
- Clouds
- Lightning



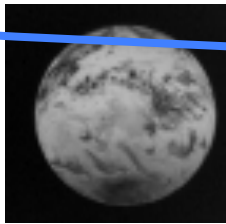
Near-infrared imaging spectroscopy

- Water vapor
- Dust, clouds
- Surface pressure



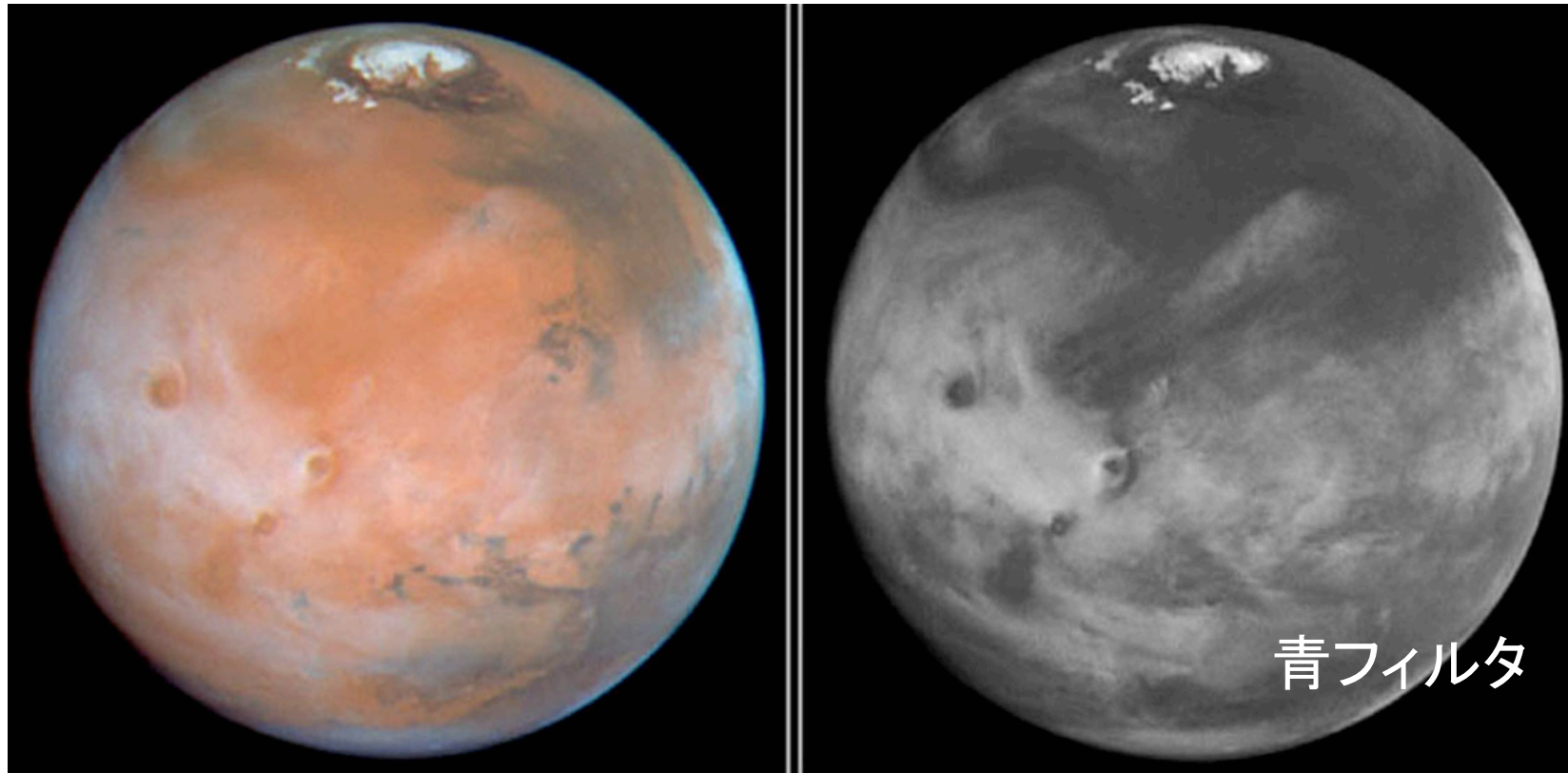
Mid-IR imaging

- Dust
- Surface temperature



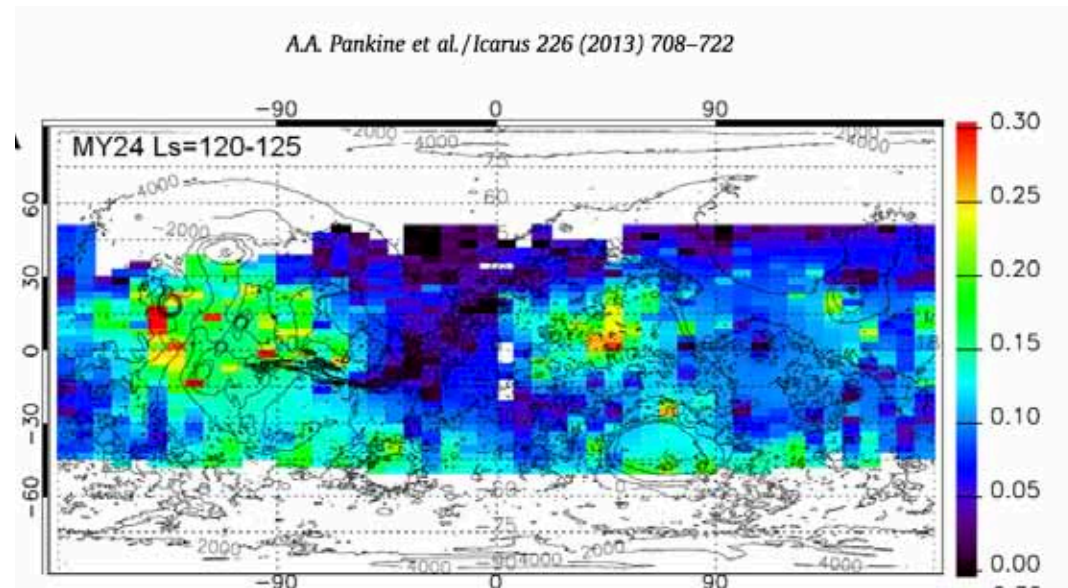
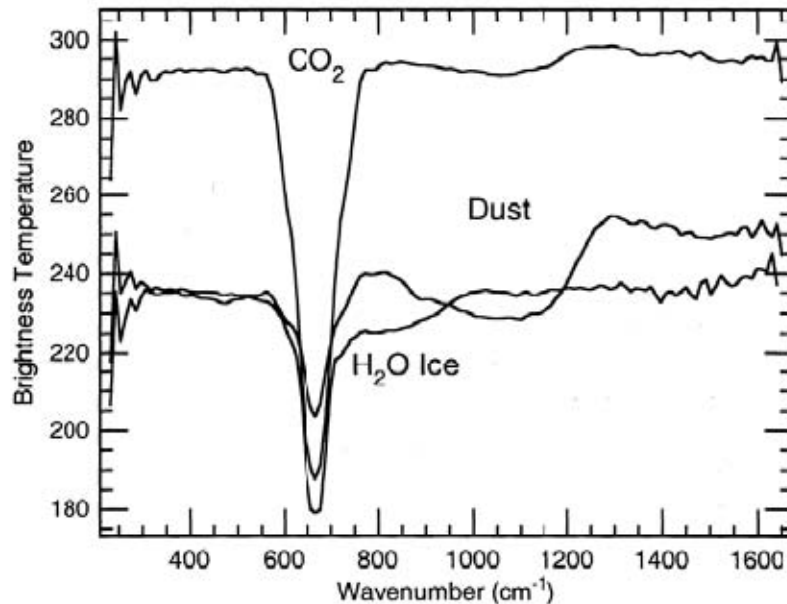
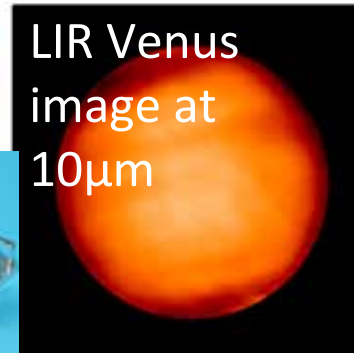
可視撮像(ダスト、氷雲、夜面微弱発光)

- 青・赤の2色で氷雲とダストを見分ける
- 夜側で微弱発光をモニターして微小天体フラックスや放電発光の有無を探る(CO₂輝線の狭帯域フィルタが望ましい)



中間赤外撮像(ダスト、氷雲)

- 昼夜関係なく観測
- 夜側ダスト・雲スナップショットは1枚でも世界初
- あかつきLIR、はやぶさ2 TIRがベース?
- 分光もできると良い



夜側の氷雲分布
MGS/TESによる10日間のデータから

近赤外分光マッピング(水蒸気、地表気圧、ダスト)

- H₂O 2.6 μ m吸収帯、CO₂ 2.0 μ m/
2.7 μ m吸収帯で昼側の地表散乱光を分光

Mars Express /OMEGA

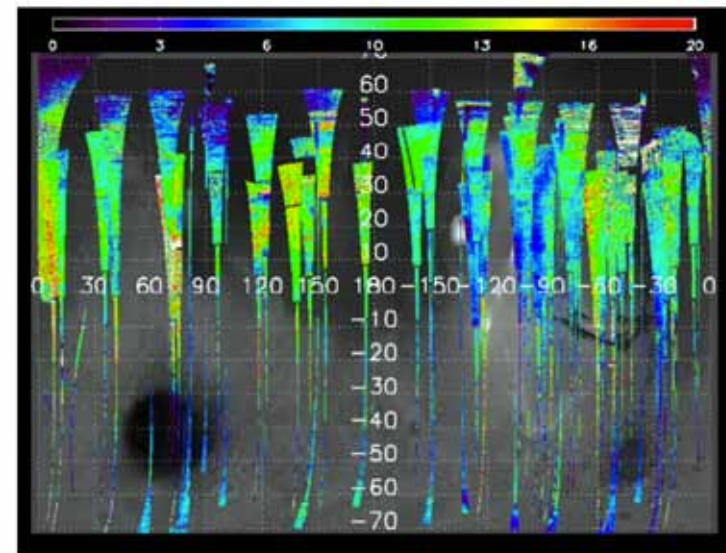
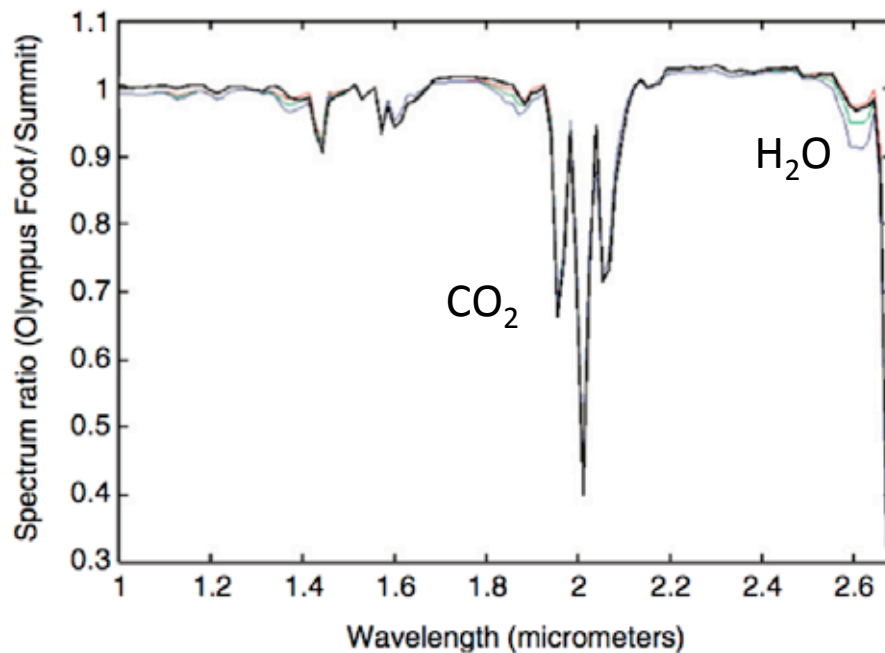


Fig. 6. A map of the H₂O column density for Ls = 330-40° (orbits 6-520),

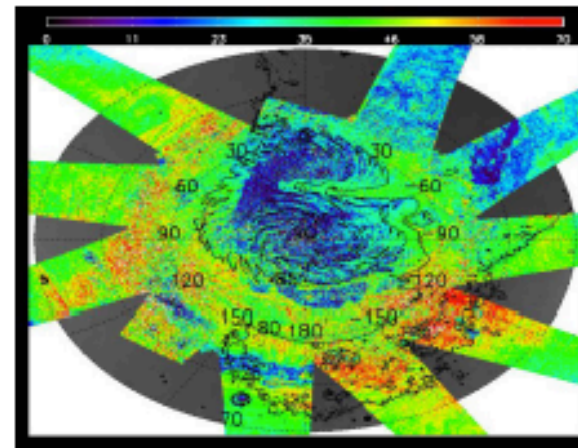
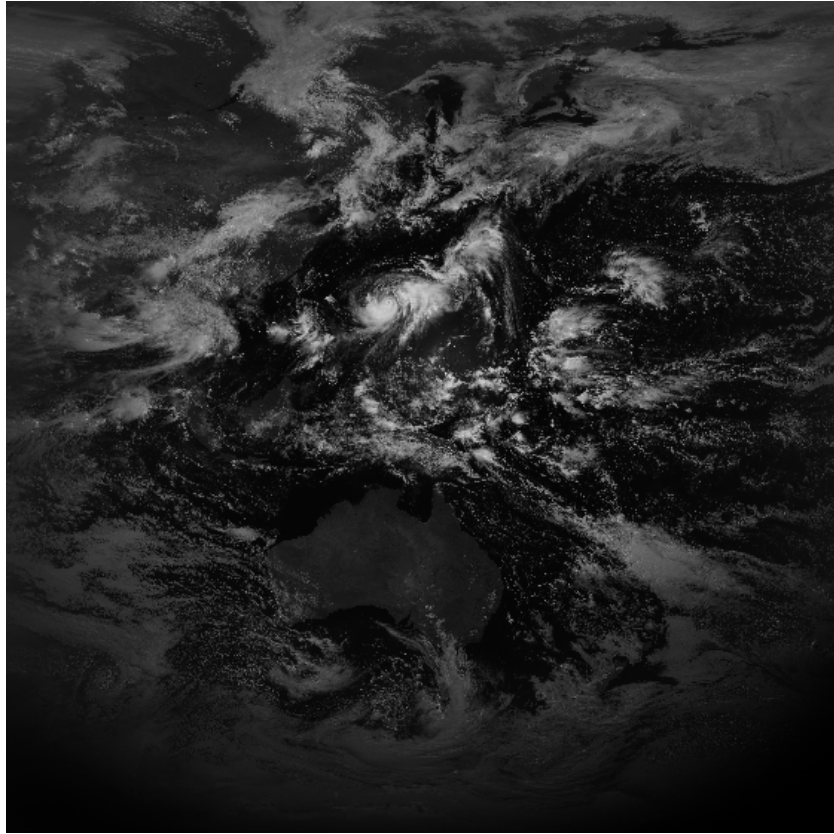
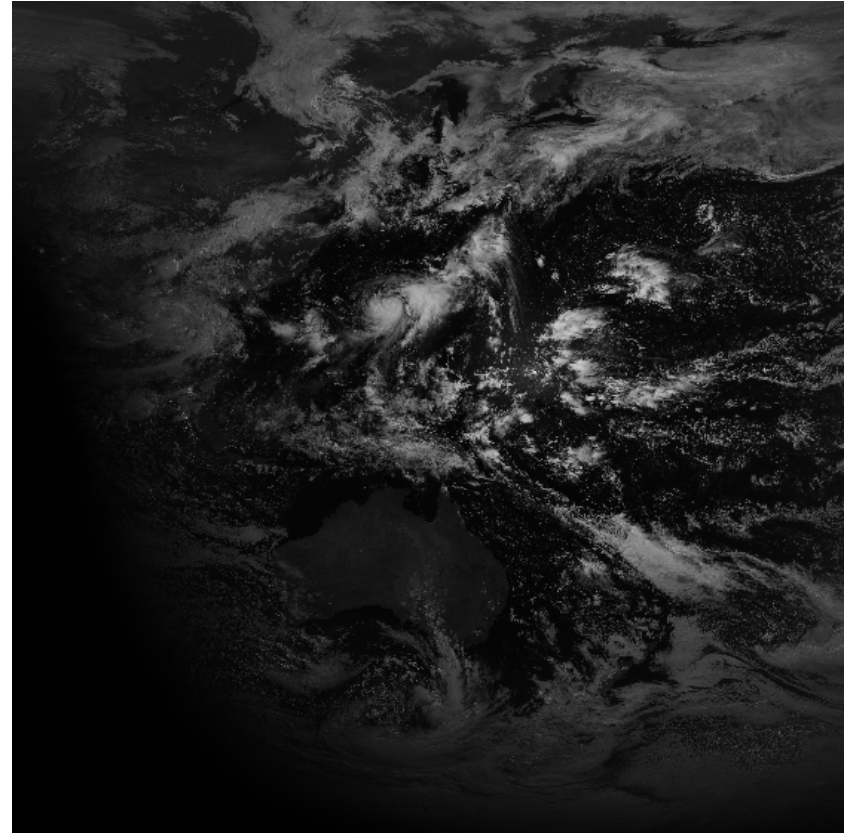


Fig. 8. H₂O column density at high northern latitudes for Ls = 101-105°. The maximum column density is 70 pr- μ m.

連続グローバル観測の威力

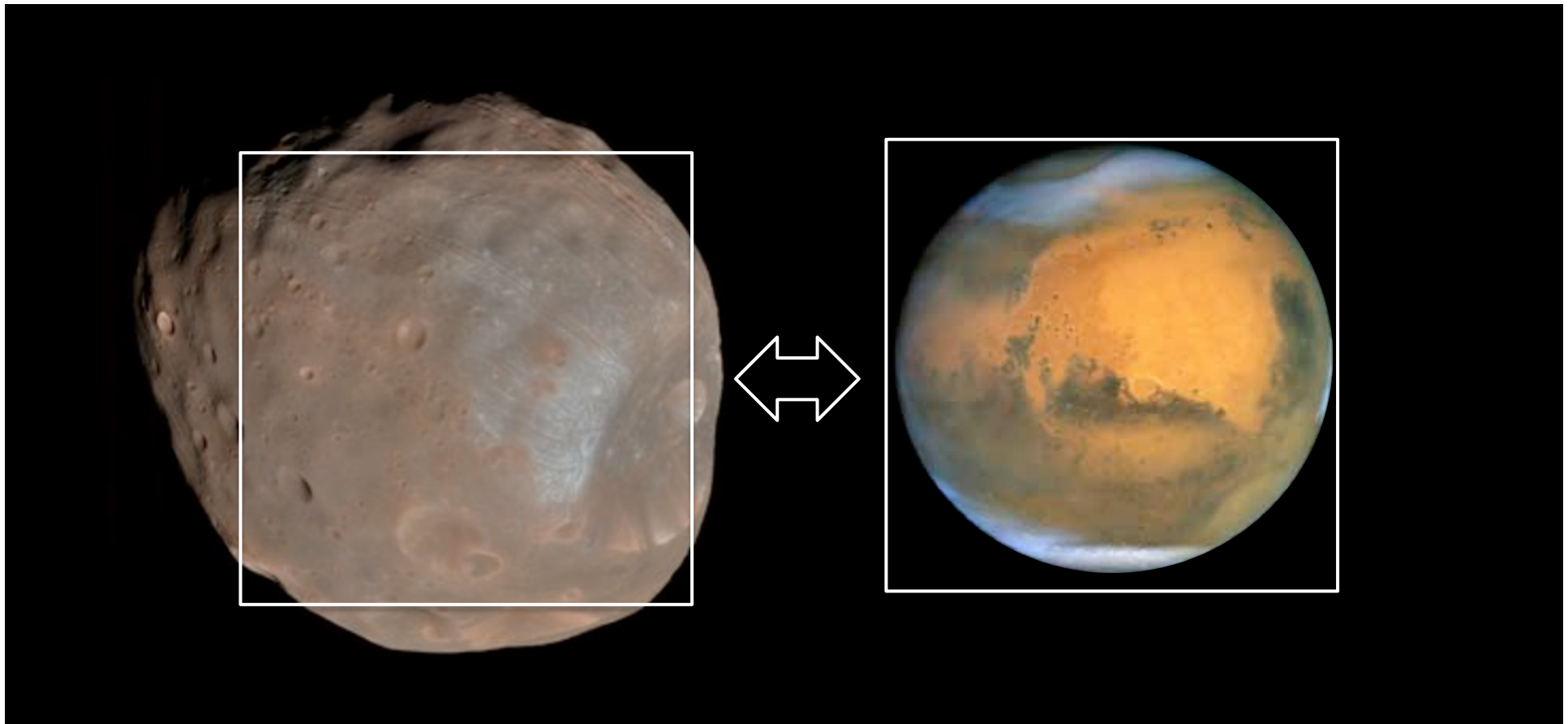


従来の火星周回機による
1日1枚の可視モザイク画
像のイメージ



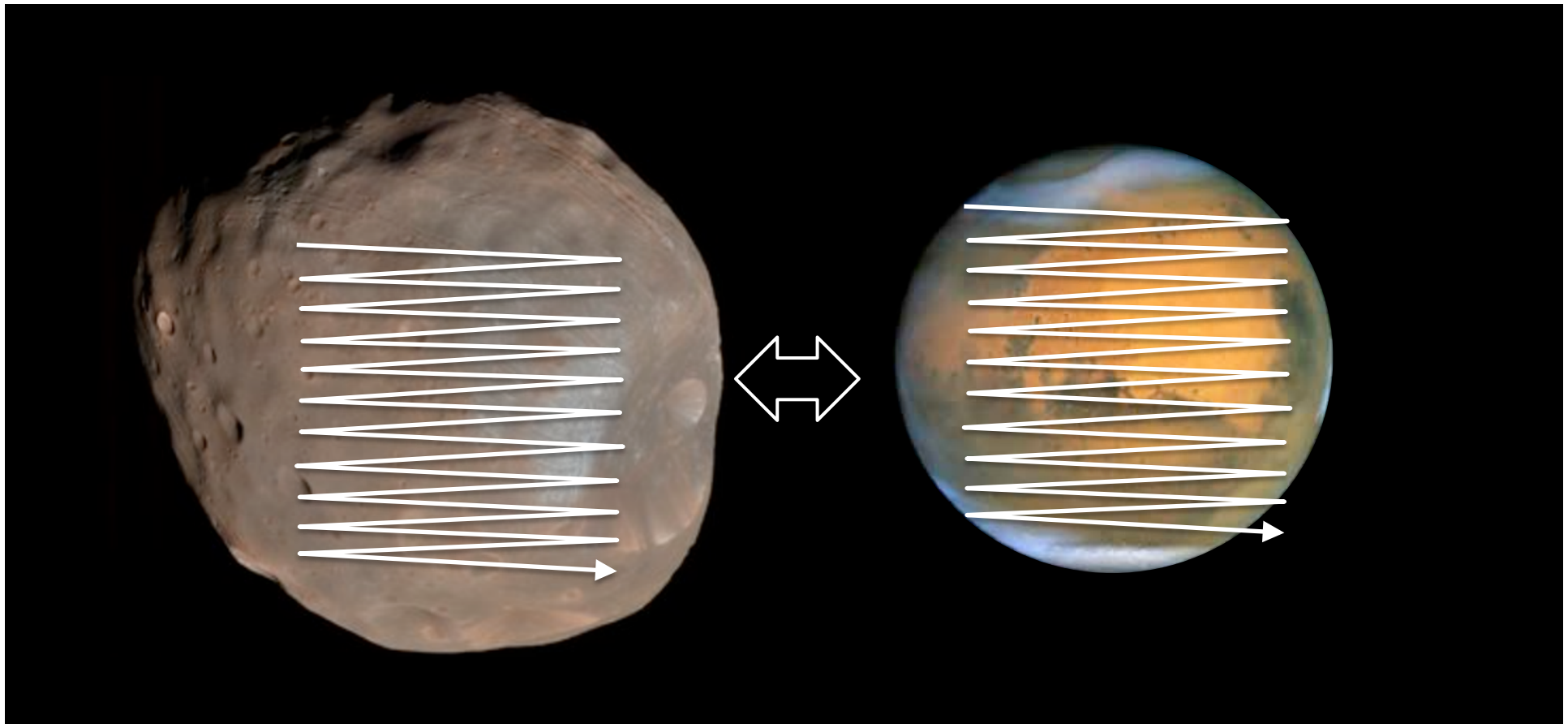
新たな観測のイメージ

観測イメージ



- ・衛星ランデブー前後に集中観測？
- ・ランデブー中も時々、視野をすぐ隣の火星に向けたい

観測イメージ



- ・衛星ランデブー前後に集中観測？
- ・ランデブー中も時々、視野をすぐ隣の火星に向けたい

どこまでできるのか

- あくまでサブテーマという位置づけ
- しかし既存データがあまりに不十分であるために、高高度から（最低限）数回の連続的なマッピングを行うだけでブレイクスルーになる。
 - ダストプルームの拡大など時間的空間的に局在するイベントの時間発展をとらえれば世界初。高高度ダスト層の謎などダスト巻き上げ問題が解決に向かうはず。
 - 水蒸気分布の微細構造を広域で可視化すれば世界初。大気中の水輸送の経路とそのメカニズムの理解が一気に進む。また、その日変化を氷雲の日変化と対応付けられれば、相変化の日変化サイクルや低緯度の水リザーバーの安定性に関わる手がかりとなる。
- センサは衛星リモセンと共通。将来の本格火星探査のプリカーサとして、設計や運用をうまく調整して実行したい。