

# Diurnal Variability in EMIRS Daytime Observations of Water Ice Clouds During Mars Aphelion-Season

Atwood, S. A., Smith, M. D., Badri, K., Edwards, C. S., Christensen, P. R., Wolff, M. J., et al. (2022)  
<https://doi.org/10.1029/2022GL099654>

2023/03/03 火星勉強会

東北大学大学院 惑星大気物理学研究室 M1 塩原輝満恵

# 要旨

- EMM/EMIS による熱赤外スペクトルの水氷雲のoptical depth の解析により、火星1日で水氷雲の存在量が変動していることがわかった。
- 新規性  
EMM 観測頻度 多 → EMIRSによる観測は1日の全時間帯をカバー。  
これまでのミッションよりも詳細な雲変化の情報を得ることができた。
- MY 36年 aphelion(遠日点)以降の観測。  
※ 遠日点雲ベルト Aphelion Cloud belt (ACB) と火山近辺の地形性雲を含む。
  - ACB → 朝・昼に高+ 正午に極小。大きな空間的変動あり。
  - 火山雲 → 正午に極小、午後にかけて増加。
- LMDの全球循環モデルとの比較；空間パターン良く一致。
  - ACB → 熱潮流と地形の効果が支配的
  - 火山雲 → より局所的な循環の影響

# イントロ1

---

- 火星の水氷雲 → 季節的・空間的に大きな変動を示す。
- **従来の観測は、太陽同期軌道の観測(=同時刻)に限定されてきた。**
- 水蒸気の凝結によりできる水氷雲は、小さな気温の変化で大きく雲量に変化  
→ 日中の気温変化、熱潮汐、極域からの水蒸気輸送経路などは雲量の日内変動に寄与している可能性あり (Clancy et al., 2017; Määttänen & Montmessin, 2021)

# イントロ2 先行研究

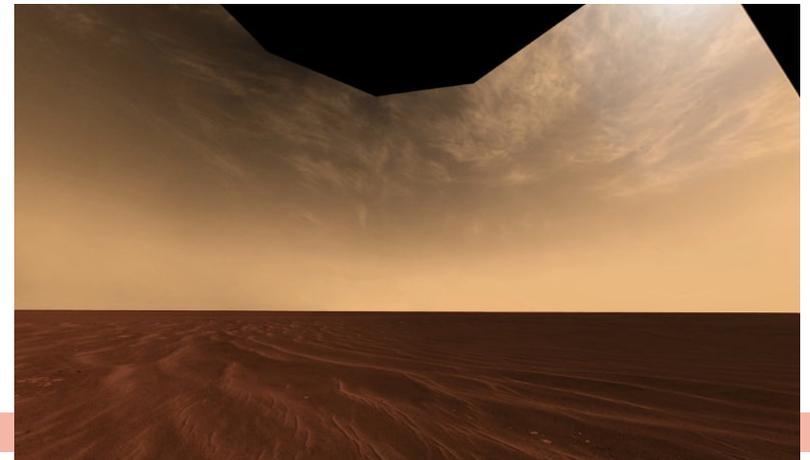
- 水氷雲の日周期変動を観測的に解明しようと、多くの観測が行われているが、それらは、時間的・空間的・季節的いずれかの制限があった。

観測機器・論文	タイプ	概要
MGS TES	観測	空間的広範囲な最初の熱赤外スペクトル観測。 午前・午後2時のみ。 火星水氷雲の空間的・季節的年変動を明らかに
Mars Odyssey THEMIS (Smith, 2019), Viking IRTM (Tamppari et al., 2003), MGS Mars Orbiter Camera (Benson et al., 2003), MRO MARCI (M. J. Wolff et al., 2019)	観測	水氷雲のoptical depthは午後に増大する

# イントロ3 先行研究 遠日点雲ベルト (ACB)

- 遠日点雲ベルト Aphelion Cloud Belt (ACB) ; 火星遠日点の低緯度域で発生する雲

観測機器・論文	タイプ	概要
Mars Express/PFS (Giuranna et al., 2021)	観測	ACBの正午での極小観測
Mars Express/OMEGA (Szantai et al., 2021)	観測	ACBの正午での極小観測

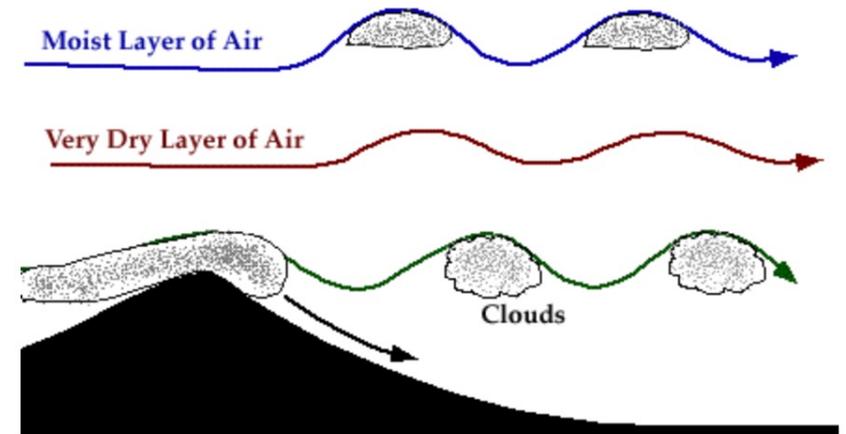


Panoramic image showing cirrus clouds in the Martian atmosphere, taken by the Opportunity rover in 2006. Credit: NASA/JPL/Cornell/M. Howard, T. Öner, D. Bouic & M. Di Lorenzo

# イントロ4 先行研究 火山雲

- 火山周辺→地形性雲が発生。
- 火星火山の領域で発生する噴煙 → 一日を通して増加し、昼過ぎに最大

観測機器・論文	タイプ
Akabane et al., 2002	観測
Michaels et al., 2006	モデル



[http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/cld/cldtyp/oth/org.xml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/cld/cldtyp/oth/org.xml)

# イントロ5 先行研究 昼夜での水氷の差

- 昼夜での水氷の差 → 夜間の方が多い

観測機器・論文	タイプ
MGS/TES (Pankine et al., 2013)	観測
MCS/MRO (Wilson & Guzewich, 2014)	観測
TES ? Wilson et al., 2007	観測

- 空間的、日周的、季節的なスケールで、水氷の雲の発達に関する複雑な挙動が示唆 ↔ その多くは未解明。
- 観測範囲のギャップ → 火星大気気候学の開発・地球循環モデルの検証・観測上の異常の解決の障害に。（Clancy et al, 2017; Määttänen & Montmessin, 2021）

# 本研究の目的

---

- **Emirates Mars Mission 搭載の熱赤外分光計Emirates Mars Infrared Spectrometer (EMIRS)で日中水氷雲のoptical depth日変動を初めて観測**  
(EMIRS; Amiri et al., 2022; Almatroushi et al., 2021; Edwards et al., 2021)
- 観測とLMDのGCMモデルを比較、赤道上のACBと火山地形性雲の要因について考察

# EMIRSのデータ

- EMIRS ;全緯度・全経度のサンプリングを2週間程度の短い時間スケールで。

波長帯	6~100 $\mu\text{m}$ (1666~100 $\text{cm}^{-1}$ )
分解能	5 or 10 $\text{cm}^{-1}$
高度域	0 - 40km
対象	温度・塵、水氷、水蒸気柱のoptical depth

TESで用いられている12 $\mu\text{m}$  (825 $\text{cm}^{-1}$ ) の水氷と、  
一般に高いradianceとS/N比を持つ40 $\mu\text{m}$  (250 $\text{cm}^{-1}$ ) の両方をフィッティング可能  
→表面の熱力学の効果

# 結果 空間変動

- $10^{\circ}$  S ~  $30^{\circ}$  N で ACB 観測。  
→ 従来の観測と一致 (Clancy et al., 2017; Määttänen & Montmessin, 2021).  
※ 早朝9時前には、Alba Patera 付近の荒れた地形で ACB が北側に延長  
→ 夜間や朝方の雲の特徴。遠日点シーズンの後半になるとより多く見られる可能性 (Guha et al., 2021; Heavens et al., 2010; Pankine et al., 2013; M. J. Wolff et al., 2019)

- 経度方向の変動  
Tharsis と Elysium の領域で optical depth 大、本初子午線より東では低い値。  
→ 従来の観測と一致 (Clancy et al., 2017; Giuranna et al., 2021; Smith, 2004, 2009; M. J. Wolff et al., 2019)

遠日点季節の水氷雲 optical depth 平均の空間分布

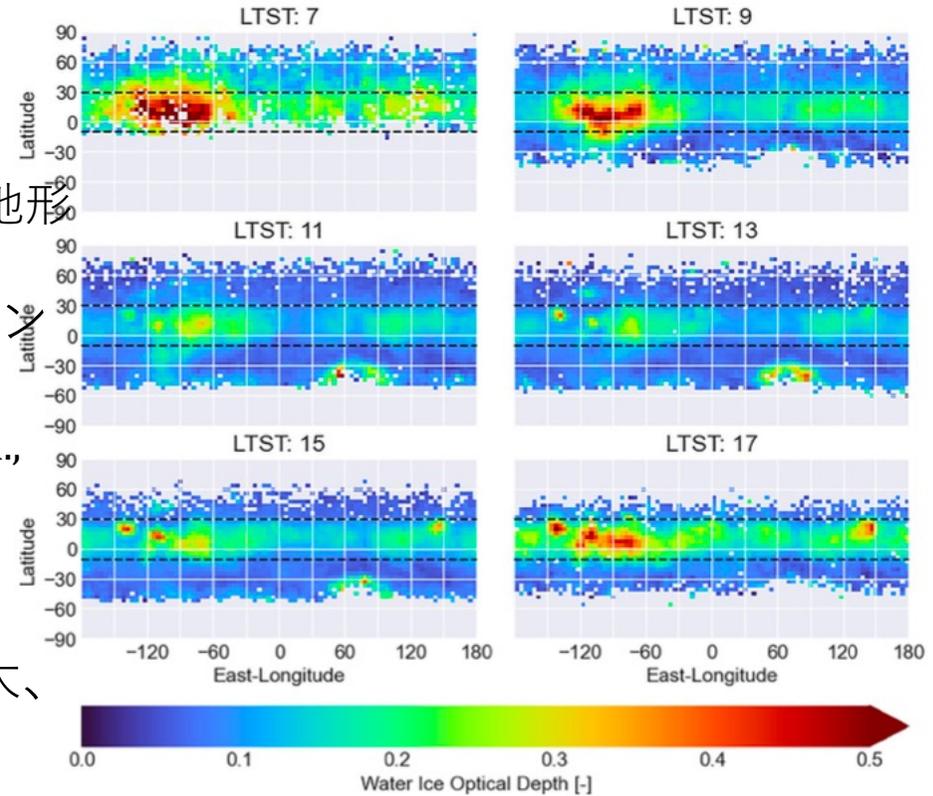
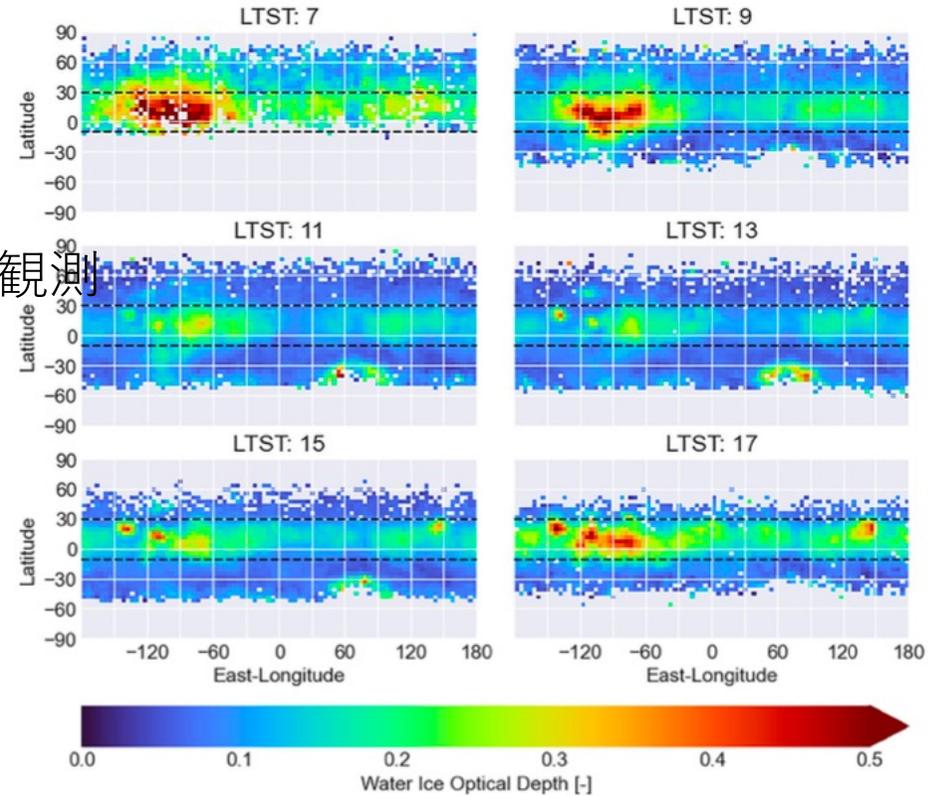


Figure 1. Emirates Mars Infrared Spectrometer (EMIRS) retrieved water ice cloud optical depths averaged for the aphelion season at six local true solar times. Each 2-hr time period includes all valid data between  $L_s = 40^{\circ}$ – $140^{\circ}$  and  $\pm 1$ -hr from the LTST time shown with  $4^{\circ} \times 4^{\circ}$  latitude-longitude bins. Bin smoothing by 2-D Gaussian kernel convolution and nominal aphelion cloud belt (ACB) extents are shown as dashed black lines for all figures.

# 結果 空間変動

遠日点季節の水氷雲optical depth平均の空間分布

- ACBの全域  
optical depth 最低 → 昼近く  
optical depth 高 → 午前と午後の両方で観測
- 昼間の最低値  
TharisとElysiumで0.2~0.3、  
一部の地域では0.1未満 = ACB外
- 早朝 Tharis 0.5超
- 午後遅く火山0.4-0.5
- 全ての経度ACB 連続、>0.2

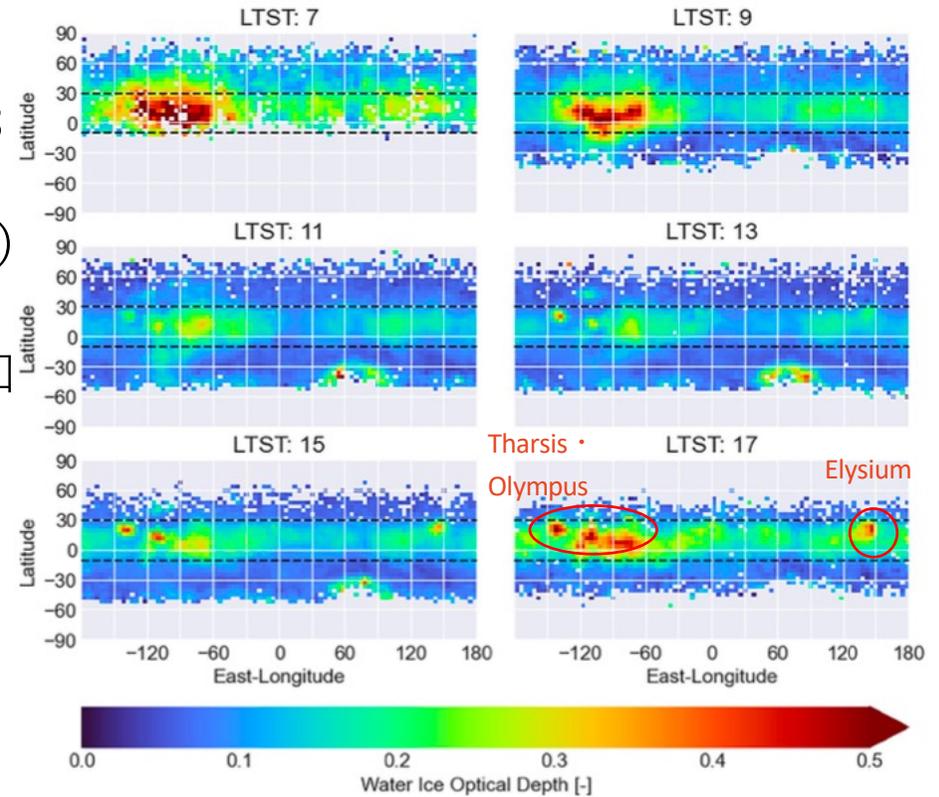


**Figure 1.** Emirates Mars Infrared Spectrometer (EMIRS) retrieved water ice cloud optical depths averaged for the aphelion-season at six local true solar times. Each 2-hr time period includes all valid data between  $L_s = 40^\circ$ - $140^\circ$  and  $\pm 1$ -hr from the LTST time shown with  $4^\circ \times 4^\circ$  latitude-longitude bins. Bin smoothing by 2-D Gaussian kernel convolution and nominal aphelion cloud belt (ACB) extents are shown as dashed black lines for all figures.

# 結果 火山雲

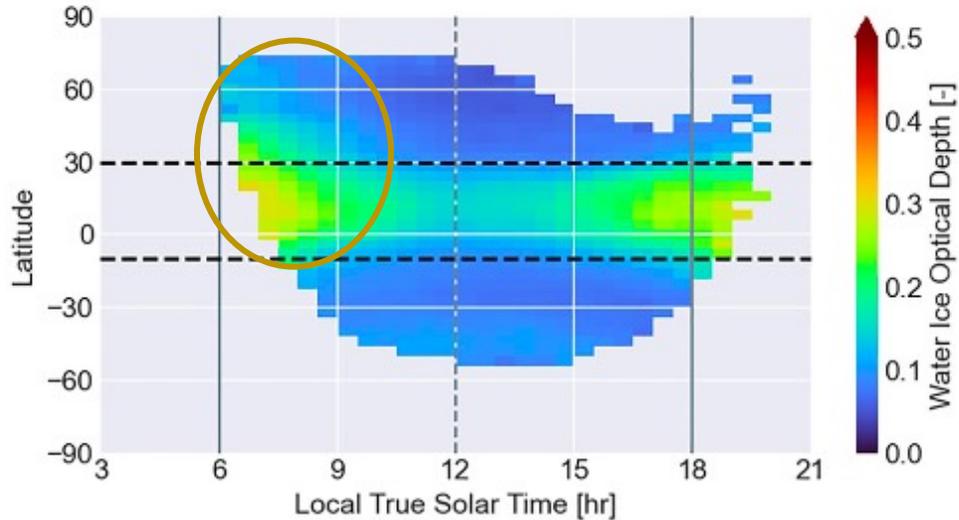
遠日点季節の水氷雲optical depth平均の空間分布

- 火山周辺：火山雲の形跡によってACB日周パターンとの乖離が顕著  
(Benson et al.2003; Michaels et al.2006)
- 早朝には検出されず午後にかけて増加



**Figure 1.** Emirates Mars Infrared Spectrometer (EMIRS) retrieved water ice cloud optical depths averaged for the aphelion-season at six local true solar times. Each 2-hr time period includes all valid data between  $L_s = 40^\circ$ – $140^\circ$  and  $\pm 1$ -hr from the LTST time shown with  $4^\circ \times 4^\circ$  latitude-longitude bins. Bin smoothing by 2-D Gaussian kernel convolution and nominal aphelion cloud belt (ACB) extents are shown as dashed black lines for all figures.

# 結果 雲量時間変動

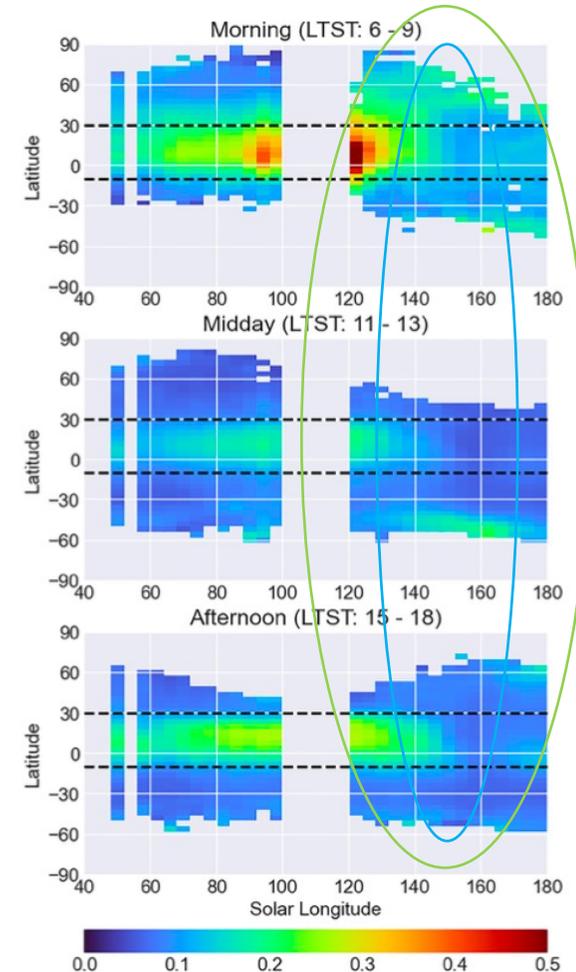


**Figure 2.** Zonally averaged Emirates Mars Infrared Spectrometer (EMIRS) aphelion-season water ice optical depths for all local times included in this study. Midday and nominal daytime extents for dawn and dusk are shown as gray lines to emphasize some optical depth retrievals extending into the early evening.

- ACB内  
正午過ぎ 極小0.15、  
朝夕 最大0.3
- 朝 ACB 緯度方向の延長 N60° まで

# 結果 空間分布季節変動

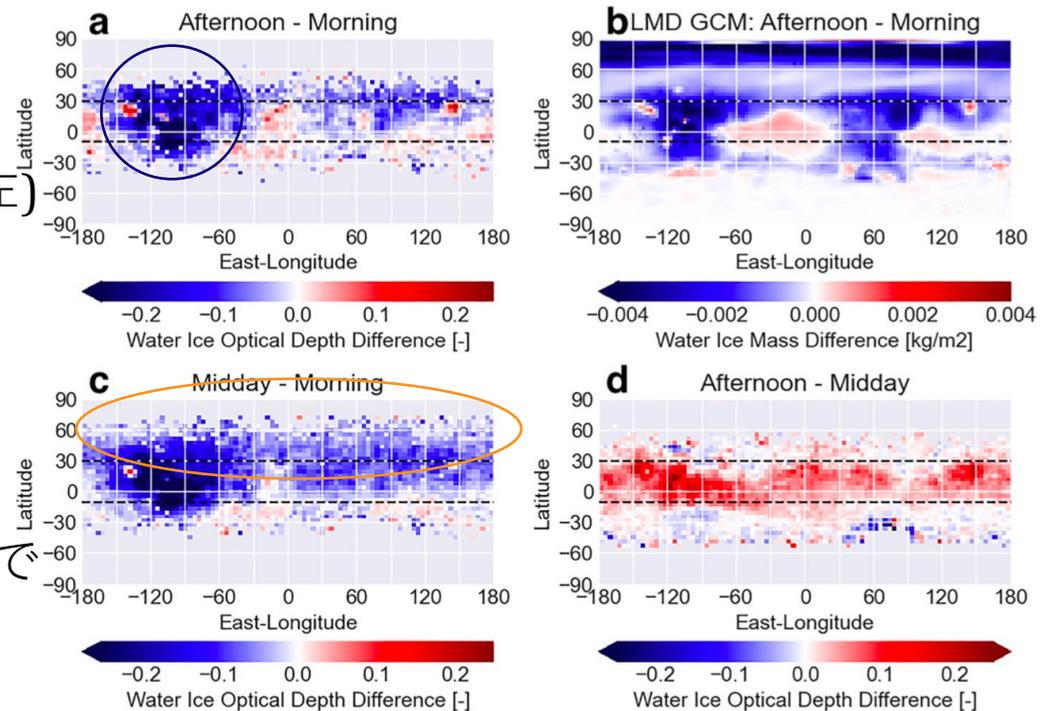
- 日中極少：シーズンを通して変わらず。
- 午前中の方が午後よりも高い値
- $L_s=120^\circ$  でピーク、その後季節変化・ACBの北への拡張  
→EMM/Emirates Exploration Imager (EXI) でも観測  
(Jones et al., 2021, Wolff et al., 2022)
- $L_s = 153^\circ \sim 160^\circ$  の中南緯で発生したregional dust storm  
(Smith et al, 2022) 期間は、すべての時間帯でACB緯度方向に減少



**Figure 3.** Seasonal progression of zonally averaged Emirates Mars Infrared Spectrometer (EMIRS) water ice optical depths for morning, midday, and afternoon local time periods. While the Emirates Mars Mission (EMM) orbit led to varying diurnal observational coverage by latitude, the aphelion cloud belt (ACB) was well covered across local times throughout the aphelion-season.

# 結果 パラメータスタディ

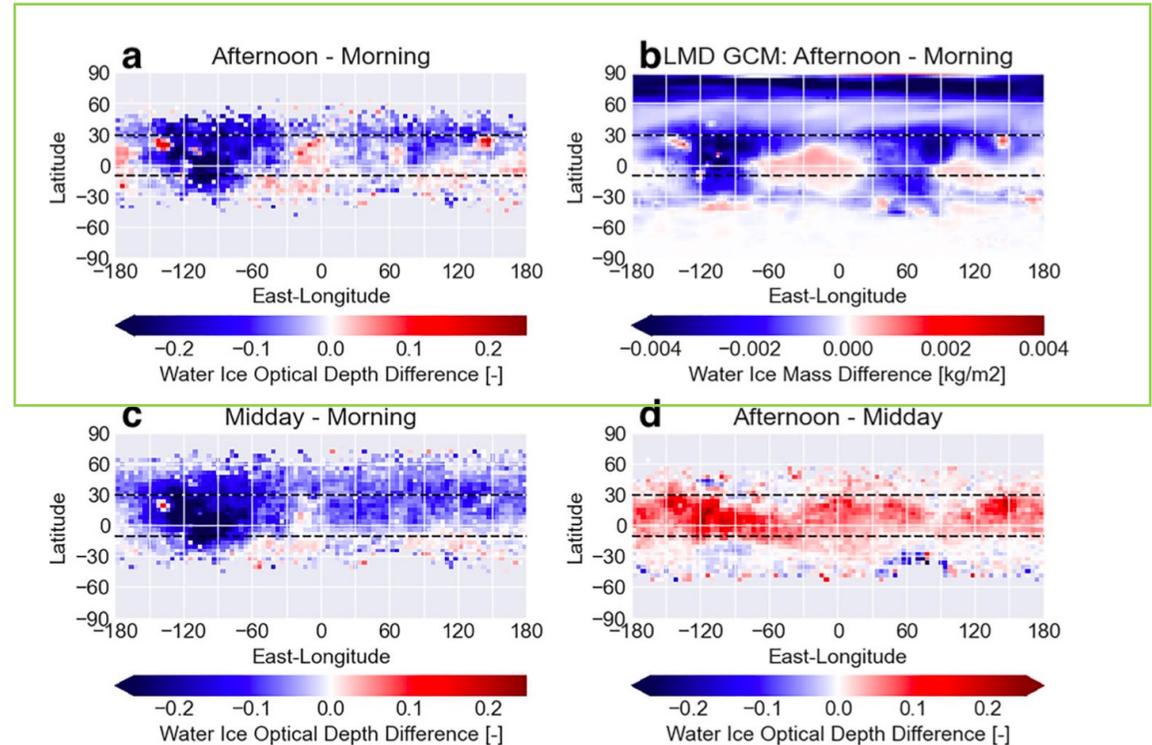
- 午前、正午、午後の時間帯の平均 optical depth の差をパラメータ化(左)
- 朝>午後(青) : Tharsis 地方(4a)
- 朝<午後(赤) : 火山付近
- 午後の変化→ACB領域内(4d)
- 午前→北に伸びる。夜間or早朝で N30° まで広がる可能性(4c)



**Figure 4.** Diurnal parameterization of cloud abundance for the difference between afternoon and morning aphelion-season mean values for (a) Emirates Mars Infrared Spectrometers (EMIRS) observed optical depth and (b) *Laboratoire de Météorologie Dynamique* (LMD) global circulation model (GCM) water ice mass, indicating qualitatively similar spatial patterns in the diurnal signal. Similar parameterizations are shown for differences in EMIRS optical depths between (c) midday and morning, and (d) afternoon and midday. Blue (red) colors indicate decreasing (increasing) optical depths with time.

# 結果 パラメータスタディ GCMとの比較

- LMD GCMとの比較(4b)  
ACBと火山雲の空間分布：  
定性的に一致
- ACB雲の広い領域での空間or  
日周期変動は熱潮汐や地形  
効果によるもの (Hinson &  
Wilson, 2004; Szantai et al., 2021; Wilson et  
al.)
- ↔火山雲 局所的な循環  
(Michaels et al., 2006; Wilson et al., 2007)



**Figure 4.** Diurnal parameterization of cloud abundance for the difference between afternoon and morning aphelion-season mean values for (a) Emirates Mars Infrared Spectrometers (EMIRS) observed optical depth and (b) *Laboratoire de Météorologie Dynamique* (LMD) global circulation model (GCM) water ice mass, indicating qualitatively similar spatial patterns in the diurnal signal. Similar parameterizations are shown for differences in EMIRS optical depths between (c) midday and morning, and (d) afternoon and midday. Blue (red) colors indicate decreasing (increasing) optical depths with time.

# 付録\_不確かさ

- 水氷のoptical depth → 観測とリトリバーバルの不確かさ両方に依存
- ランダムノイズ
  - 一般的に小。radianceが減るdawnとduskなどの低温時ではきいてくる。不確かさ0.05未満のスペクトルを使用
- リトリバーバルのパラメーターによる不確かさ
  - 感度テスト(M. Wolff et al., 2006 ; Clancy et al., 2003など);
  - 雲粒の有効半径を $2.0\mu\text{m}$ に固定、有効半径を $1.0\mu\text{m}$ と $4.0\mu\text{m}$
  - 95%で0.03未満の差異
- 全ての不確かさの合計
  - 季節平均で0.08未満。dawnとdusk付近で高・それ以外の時間帯では低

# 付録\_データ選定

- 十分な熱コントラストを確保するため、放射角 $70^\circ$  以上 or 表面温度  $190\text{K}$ 未満のデータは除去。
  - aphelion season における $30^\circ \text{ S} \sim 45^\circ \text{ N}$ の日中(6:00-18:00 LST)はカバー。  
夜間のデータは少
  - 本研究では、日中の遠日点シーズンの水氷雲を、 $L_s = 40^\circ \sim 140^\circ$  の間のACBシーズンの季節平均として解析