

Diurnal Variations in the Aphelion Cloud Belt as
Observed by the Emirates Exploration Imager (EXI)
[Wolff et al., 2022]

<https://doi.org/10.1029/2022GL100477>

火星勉強会

Kaito Koizumi (Tohoku University: M1)

2023/04/14

Contents

- Abstract
- Introduction
 - EMM(Emirates Mars Mission)
 - ACB(Aphelion Cloud Belt)
 - Preceding Study / Purpose
- Instrument
 - Emirates Exploration Imager (EXI) on-board the EMM
- Result
 - Connection to MARCI
 - Zonal
- Discussion
 - Comparison to Global Climate Models
- Summary

- Appendix
 - Retrieval Algorithm

Abstract

- ・EXI (Emirates eXploration Imager) により火星大気の水氷の光学的厚さを導出
- ・遠日点雲ベルト(ACB: Aphelion Cloud Belt)の日変動、季節変動、空間変動の特徴を探った
- ・ACBは正午付近を最小とした朝夕の大きな非対称性を示した
- ・ACBは北半球の夏至で経度方向に連続であり、
真夏に緯度方向の広がり、光学的厚さが最大
- ・MPCM (Mars Planetary Climate Model) と日変動や季節変動は概ね一致
モデルは早朝(06h-08h)にACBを過大評価(緯度の広がり、光学的厚さの絶対値)
- ・火山がある地域で観測とモデルに差がみられた

Introduction

EMM(Emirates Mars Mission)

EMMとは

- ・UAE初の火星探査機
 - ・55時間で1周回
 - ・高高度軌道(20000km × 43000km)
 - ・軌道傾斜角25度
- ⇒火星大気の全球の日変動を観測

3つの装置が搭載

- ・EMIRS (Emirates Mars Infrared Spectrometer)
 - 下層大気のコストや氷雲、水蒸気のコ観測
 - 表面と下層大気のコ温度を測定
- ・EMUS (Emirates Mars Ultraviolet Spectrometer)
 - 火星の高解像写真
 - 水氷のコ光学的厚さの測定

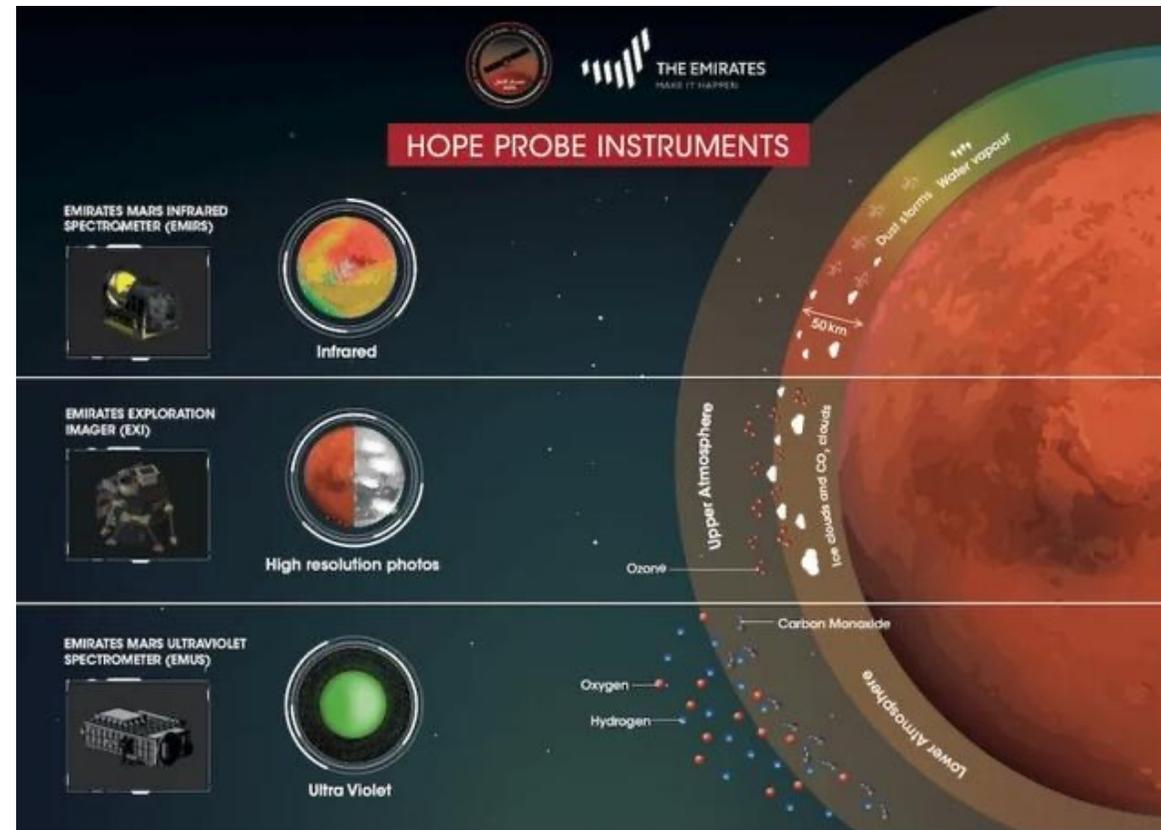


Fig. EMMの装置とその観測対象

ACB(Aphelion Cloud Belt)

- ・生成には循環過程と火星公転軌道が関係
- ・主に、Ls:30-190の赤道から北緯30度にかけて高度10-40kmで経度方向に連続的に発生する雲

ACBの生成過程 (https://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/~cmo/cmo/401/ISMO_Note_2011_03.htm)

- ・Ls=0くらいから北極冠が水蒸気を大気に放出し続け、低緯度に向けて拡散
- ・Ls=70で火星は遠日点(太陽から最も遠く)に到達する(北半球はかなり気温が涼しめ)
- ・Ls=30を過ぎると単一循環セルが形成
- ・水蒸気がハドレーセルによりにより上空に運ばれ雲形成

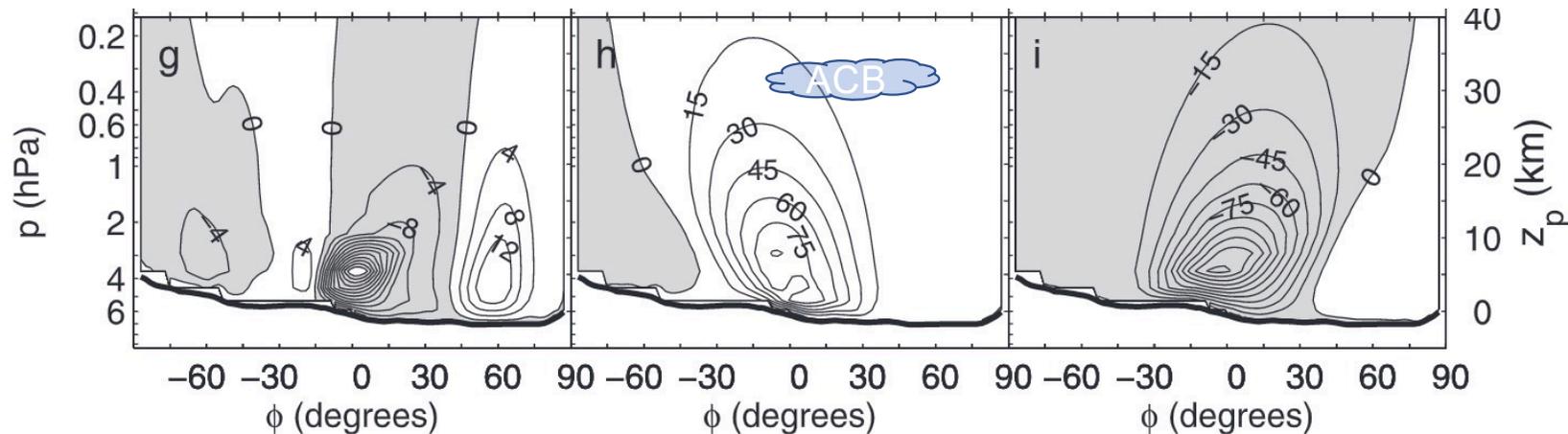


Fig. 放射対流を加味した火星の経度時間平均したmass streamfunctionのモデル結果
(左からLs=0,90,270、白が反時計回りの循環、影部分は時計回り) [Zalucha et al., 2009]

Preceding Study / Purpose

水氷雲の観測には、**時間的・空間的・季節的制約があった**
(同じ地域の水氷雲の日変動を正確には捉えられなかった)

これまでの観測による日変動の導出例

- ・ローバーによる限られた地域での日変動の観測 (i.e., Curiosity, Insight, Perseverance)
- ・太陽同期軌道からの限られたローカルタイムの組み合わせ
 - 午後から夕方にかけてACBがだんだん消えていく
(Mars Reconnaissance Orbiter, e.g., Wolff et al., (2019); Odyssey e.g., Smith(2009))
- ・歳差軌道の探査機からの日周と季節のタイムスケールの畳み込み
 - ACBに早朝と夕方の非対称性を確認
(Viking, e.g., Tamppari et al. (2003); Trace Gas Orbiter, e.g., Liuzzi et al (2020))

EMMIにより、季節を跨いで短い時間スケールで蓄積された1日のサンプリングを全球範囲で観測
⇒水氷の光学的厚さの導出から、ACBの日変動を明らかに

Instrument

Emirates Exploration Imager (EXI) on-board the EMM

- EXI (Emirates **eX**ploration Imager)
 - 火星の高解像写真
 - 水氷の光学的厚さの測定

EXIの性能 [Jones et al., 2021]

- 波長域: 紫外 205-235nm, 245-275nm, 305-335nm
可視光 427-447nm, 536-556nm, 625-645nm
- 分解能: 2-4km per pixel

先行研究[Wolff et al., 2019]との比較のため
305-335nm帯のデータを使用
(先行研究では、MRO/MARCIのBand 7($\lambda \sim 320\text{nm}$)で
同様のことを行なっている)

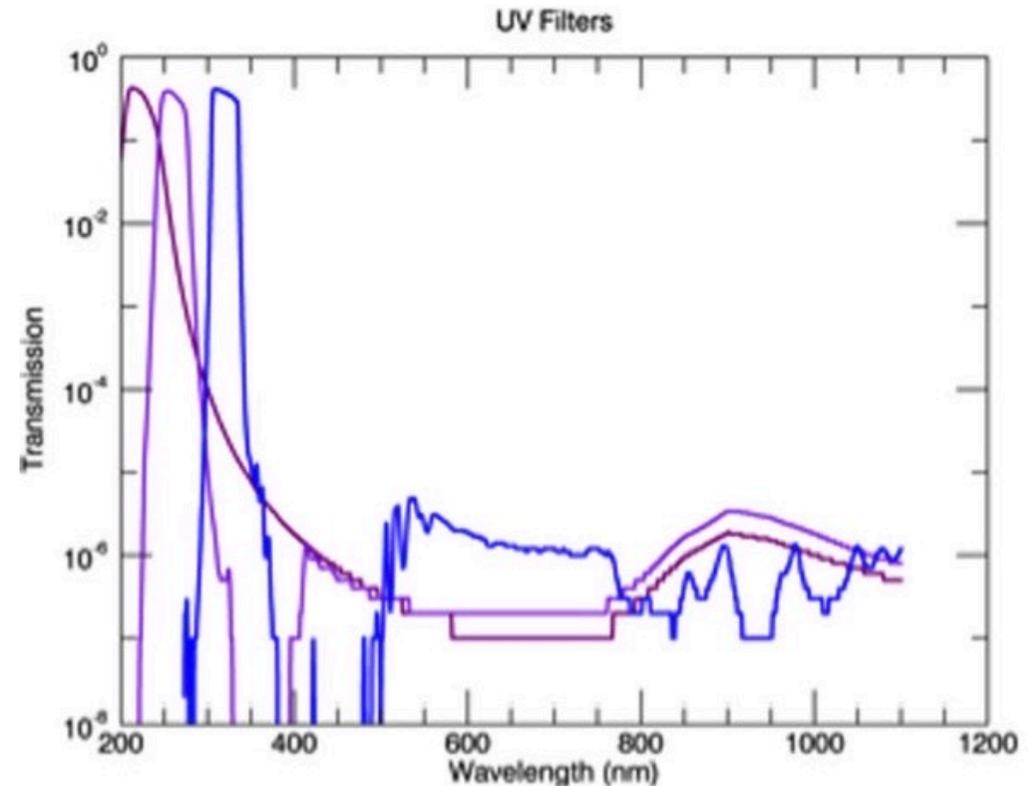


Fig. EXIのUVフィルターの透過スペクトルをモデル結果 [Jones et al., 2021]

Result

Connection to MARCI

- ・Ls=30-150、赤道から北緯30度で
光学的厚さが大きくなるという
似たような傾向を示している

相違点

- ・EXIの方が早くから光学的厚さが大きくなっている
→MARCIはLTST: 15h00を強く重みつけするが、
EXIは14-16hを均等に重みつけしているから
- ・EXIの方が早くにACBが消滅
→MY36はLs:145-155で大きなダスト活動があり、
ACBが消滅した

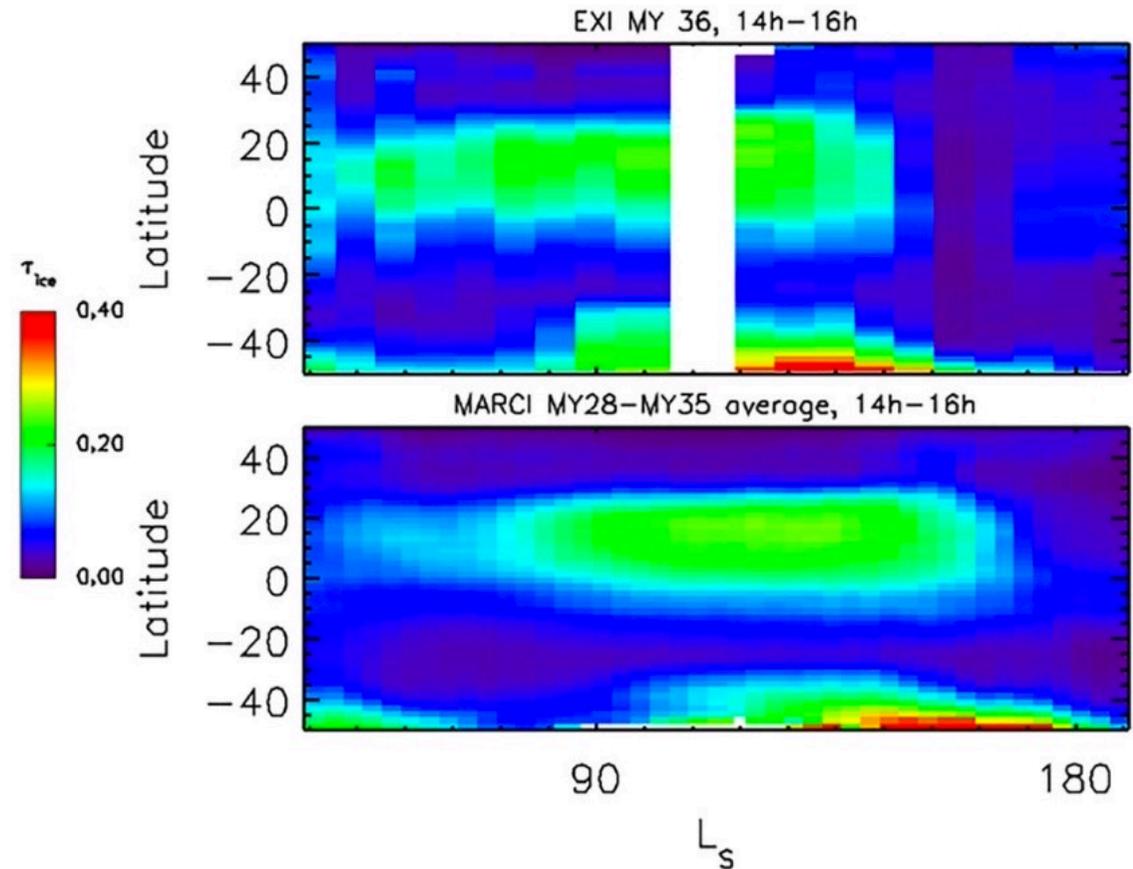


Fig. EXI(上)とMARCI(下)の水氷の光学的厚さの観測結果

Zonal - day

- ACBの最小の時期は正午付近であり、その時間から対称性が見られる
午前中の方が午後よりも曇っている
- 06h-08hのACBはかなり分厚い
Ls:155以降もこの雲は消えないためACBではない可能性もある

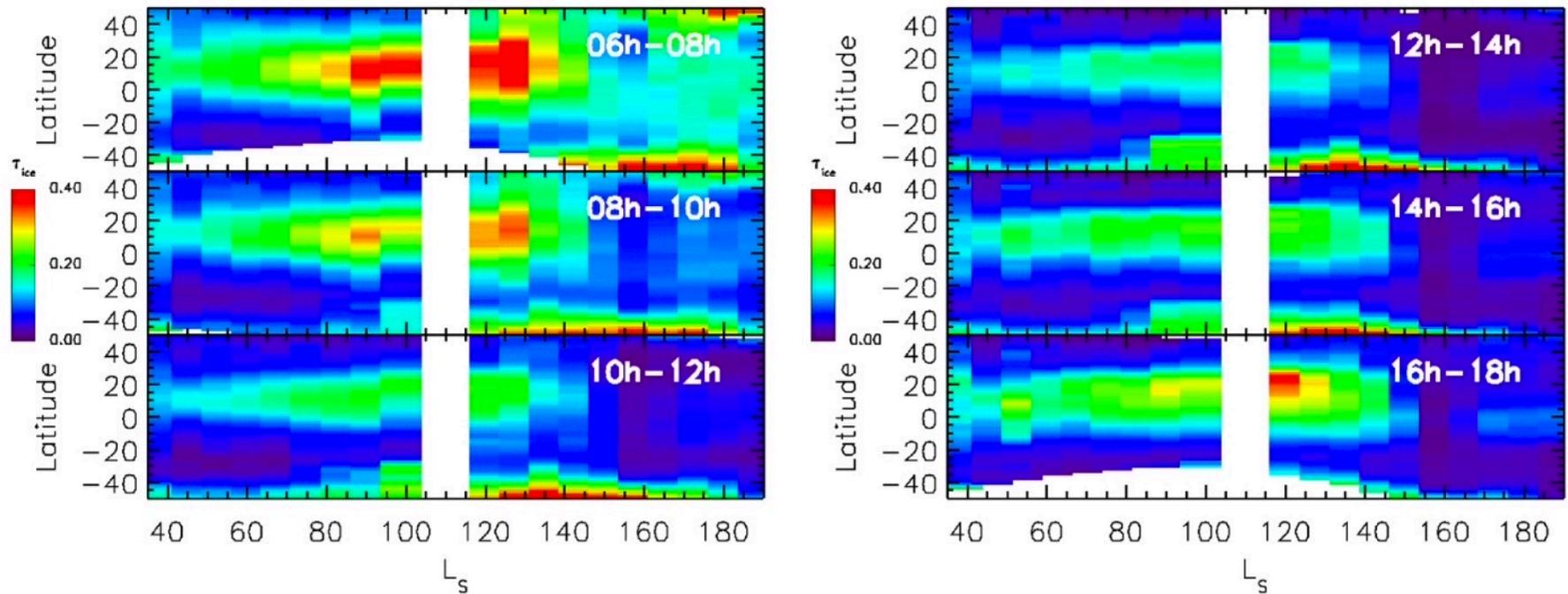


Fig. EX1の観測によるACBの日変動

Zonal - season

- ・北半球の夏至付近 ($L_s=80.0-87.5$) でACB最大
- ・活動のピーク時期は $L_s=130$ 付近であり日変動が顕著であり朝夕非対称性が大きい
- ・ダストイベントにより ($L_s=145-155$) ACBの形成が抑制されたかもしれない

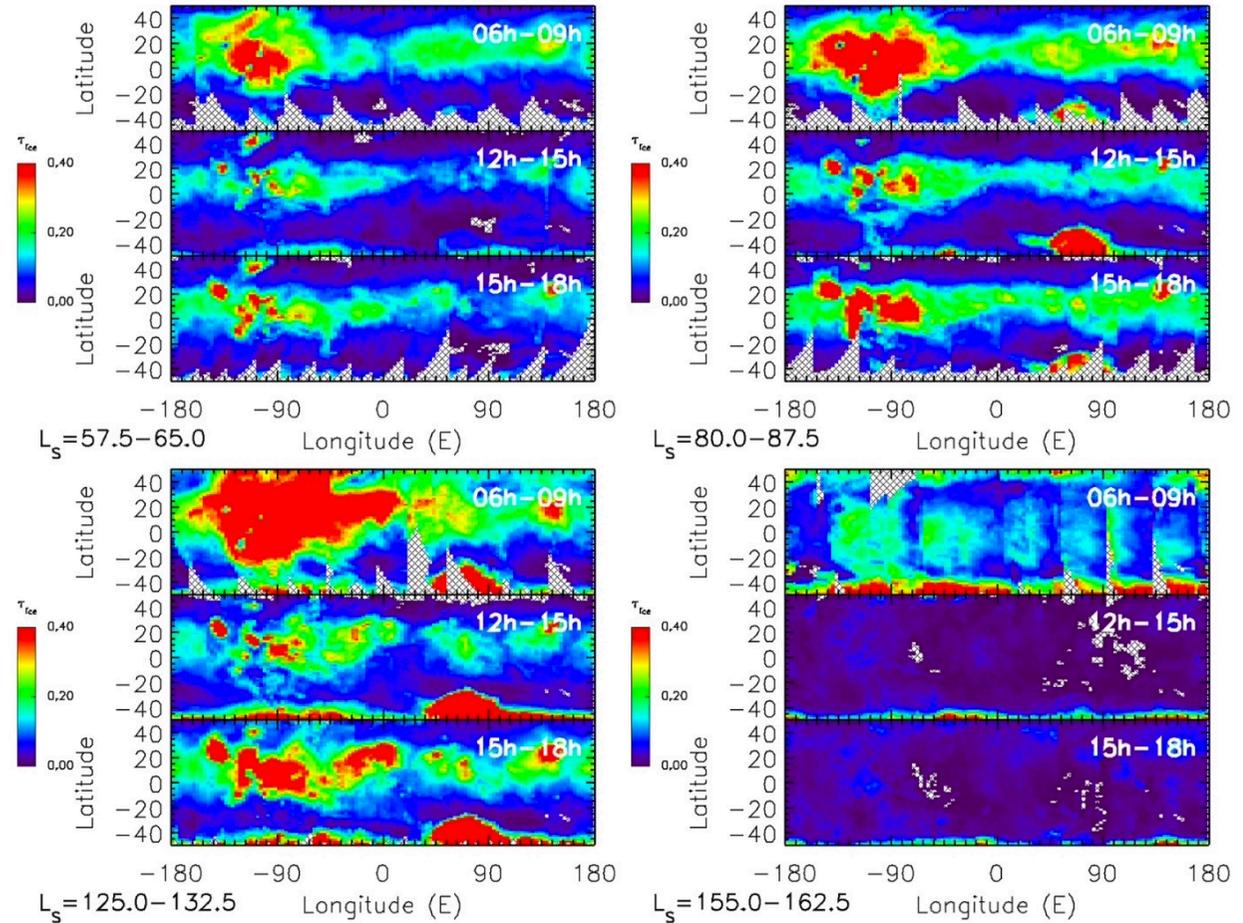


Fig. EXIの観測によるACBの季節変動

Discussion

Comparison to Global Climate Models - day

- ・光学的厚さが小さい地域では観測とモデルの値は一致している
- ・正午に最小となり、朝夕非対称を取る傾向をモデルも示している
- ・午前の方が午後より雲が多い傾向をモデルも示している
- ・朝のACBや緯度の広がりがモデルは大きくなる

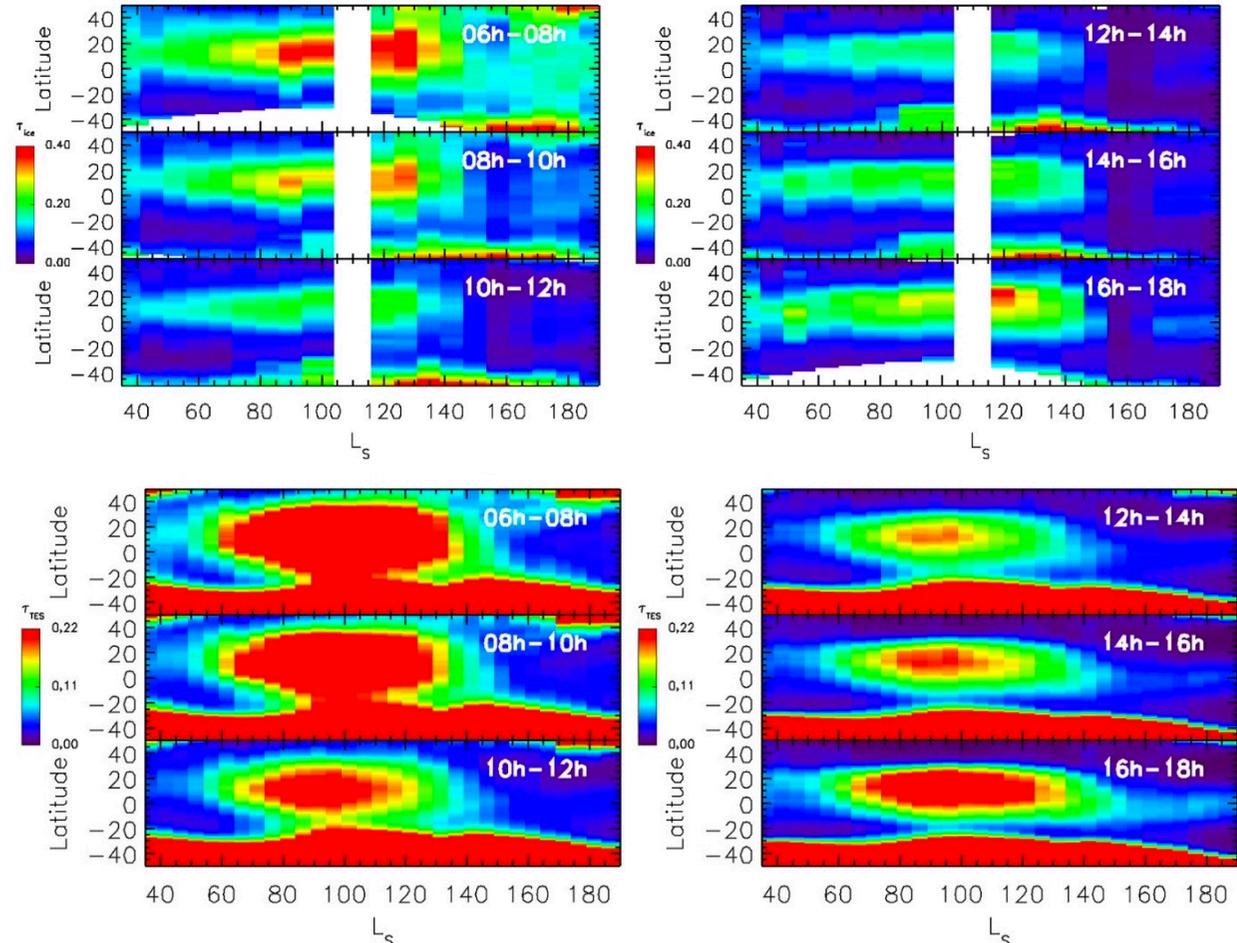


Fig. 観測(上)とモデル(下)の水氷の光学的厚さの日変動

Comparison to Global Climate Models - season

- ・空間分布も概ね一致する
 - ・火山により観測とモデルに差が生じる
ex. オリンポス山: 北緯18度東経226度
タルシス: 北緯0度東経260度
 - ・朝のACBや緯度の広がりが
モデルは大きくなる
- ※火山の影響による雲は
昼過ぎに最大となる

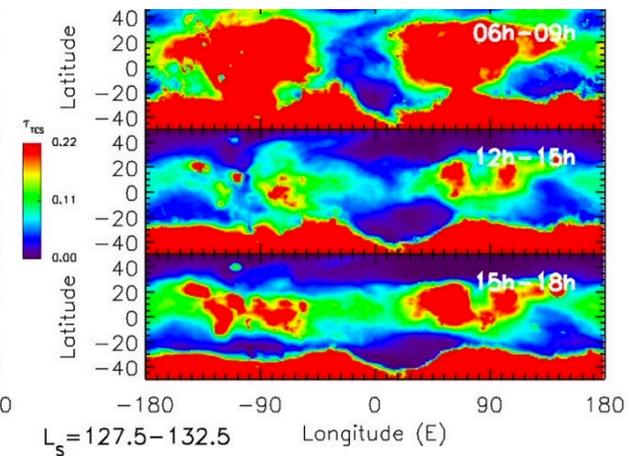
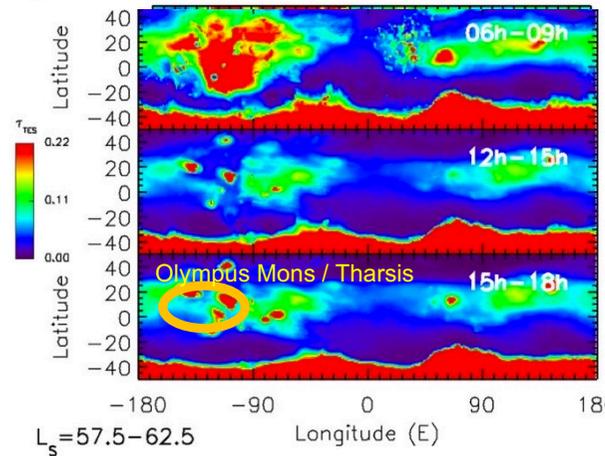
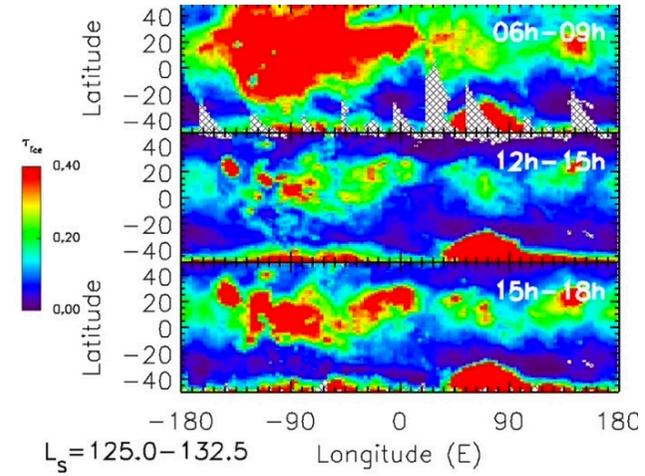
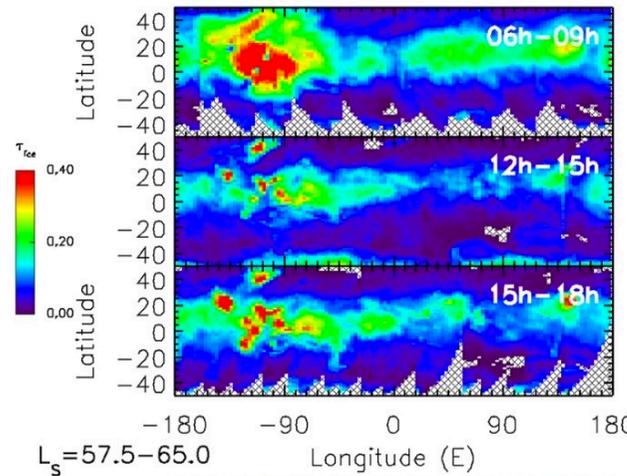


Fig. 観測(上)とモデル(下)の水氷の光学的厚さの季節変動

Summary

- ・EXI (Emirates eXploration Imager) により火星大気の水氷の光学的厚さを導出
- ・遠日点雲ベルト(ACB: Aphelion Cloud Belt)の日変動、移設変動、空間変動の特徴を探った

ACBの観測結果・モデルとの比較

- ・ACBは正午付近を最小とした朝夕の大きな非対称性を示した
 - ・ACBは北半球の夏至(Ls=80.0-87.5)で経度方向に連続であり、真夏(Ls=125.0-132.5)に緯度方向の広がり、光学的厚さが最大
 - ・MPCM (Mars Planetary Climate Model) と日変動や季節変動は概ね一致
モデルは早朝(06h-08h)にACBを過大評価(緯度の広がり、光学的厚さの絶対値)
 - ・火山がある地域で観測とモデルに差がみられた
- ・今後の他の観測機器とのデータ比較、EMMのデータ解析が進むことに期待！

Appendix

Retrieval Algorithm

カラム積算氷消失光学的厚さ(以下、水氷の光学的厚さ)の導出方法[Wolff et al., 2019]

- ・MRO/MARCIに使用したものを応用
- ・大規模なルックアップテーブルを使用
- ・内挿誤差が1%以下になるように値を選択

Wolff et al., 2019 との違い

- ・表面反射係数(Hopke w)を1.07で調整
- ・ダストの光学的厚さにEMIRSのデータを使用

不確実性

- ・全ての誤差要因に対して、モンテカルロ法を用いると ± 0.0232 の不確実性
- ・氷雲の粒子サイズによる誤差がとても大きい
そのため 粒子サイズを3 μm と仮定

Water ice retrieval LUT content.

Parameter	Number of points	Range of values	Mesh
Emergence angle (e)	15	0°–70°	Linear
Incidence angle (i)	9	0°–80°	Linear in cosine of angle
Azimuth angle (ϕ)	31	0°–180°	Linear
Hapke w	8	0.05–0.12	Linear
Surface pressure (P_{surf})	7	0.3–13.3 (mbar)	Linear
Dust optical depth (τ_d)	10	0.01–3.01	Non-linear ^a
Ice optical depth (τ_i)	23	0.0–4.0	Linear

^a τ_d nodes: 0.01, 0.10, 0.25, 0.50, 0.80, 1.20, 1.65, 2.11, 2.56, and 3.01.

Model

Mars Planetary Climate Model (MPCM)

- ・EMMの観測結果の予測と比較
- ・EMMが観測しない物理量を導出し大気の状態を再構築
(データ同化を用いる)

モデル条件

- ・水平解像度: $1^\circ \times 1^\circ$ grid
- ・ダストと水氷の粒子は放射活性
- ・気候はダストイベントのない平均的なダストシナリオ

水氷の扱いについて[Navarro et al., 2014]

- ・雲の放射と微物理(過飽和を再現)
- ・ダスト粒子を核とした核形成
- ・氷の粒径成長
- ・scavenging