

Effects of a Solar Flare on the Martian Hot O Corona and Photochemical Escape

Yuni Lee, Chuanfei Dong, Dave Pawlowski, Edward Thiemann, Valeriy
Tenishev, Paul Mahaffy, Mehdi Benna, Michael Combi, Stephen
Bougher and Frank Eparvier

Geophysical Research Letters 45.14 (2018): 6814-6822

吉田 辰哉

北海道大学 大学院理学院 D2

Abstract

- フレアが火星の hot O コロナに与える影響を調べた.
- X線フラックスの増加に電離圏が素早く反応し, 電離圏のピーク位置よりも低高度で hot O の生成率が上昇した.
 - ただし, これらの原子の大部分は熱化し, 散逸にはあまり寄与しない.
- EUV フラックスが増加することにより, 電離圏と熱圏の上層の密度が上昇した.
- 光化学的散逸率の増加の主な要因は EUV フラックスの増加.
 - 散逸する hot O の大部分は高高度で EUV による電離で生成.

Introduction

- 2017年9月10日に X8.2 クラスの太陽フレアが発生.
 - X クラスのフレアは惑星大気にも大きな影響を与える.
 - 上層大気での電離の促進
→ イオン・中性粒子密度の増加, 電離圏組成の変化
- 
- フレアが hot O コロナと hot O の光化学的散逸に与える影響をモデルを用いて検討.

Model Descriptions

用いたモデル

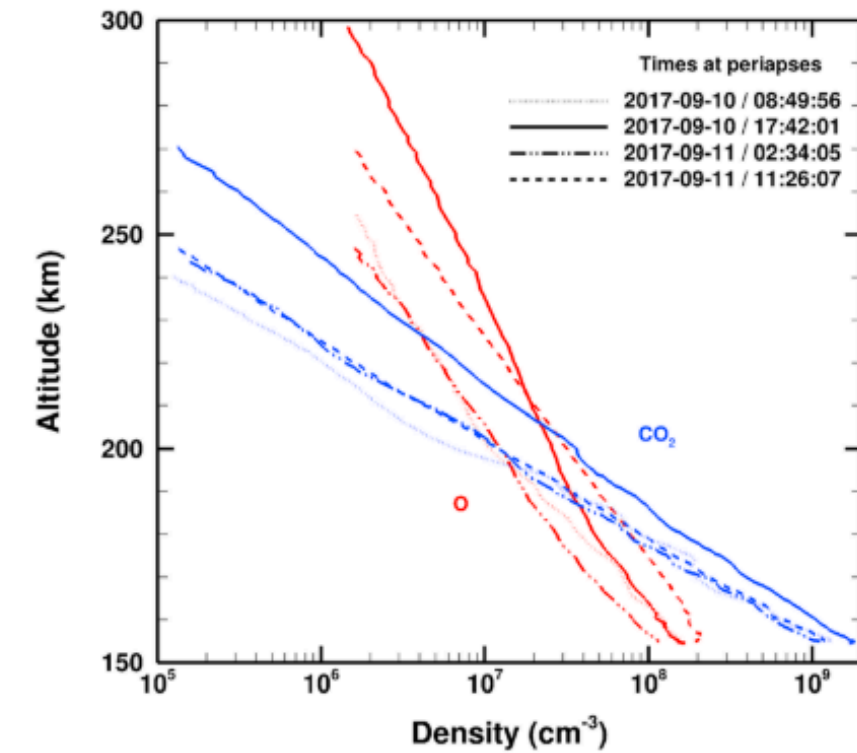
- 3D Adaptive Mesh Particle Simulator (AMPS)
 - Hot O コロナの分布を求める
- Mars Global Ionosphere Thermosphere Model (M-GITM)
 - 中性大気分布を求める
 - フレアに伴う放射の影響も考慮
- Multi-fluid Magnetohydrodynamic model (MF-MHD)
 - 電離圏でのイオンの運動と化学過程を求める

計算手順

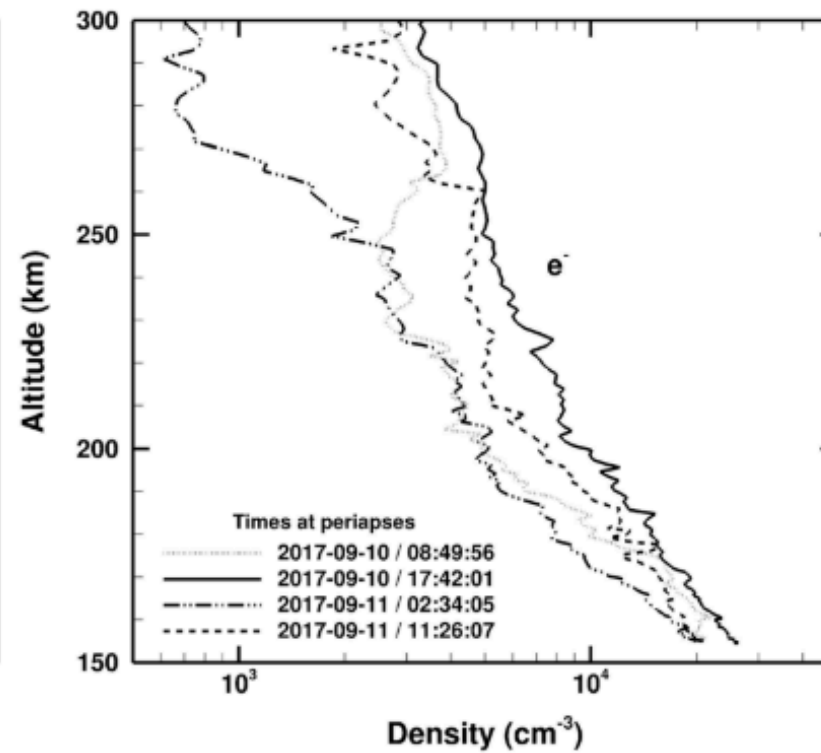
1. AMPS と M-GITM の one-way coupling を実行
2. 1 で得られた hot O コロナを加味してMF-MHD による subcoupling step を実行
3. M-GITM で得られた熱圏分布と MF-MHD で得られた電離圏分布を用いて AMPS を実行

Thermosphere and Ionosphere Conditions

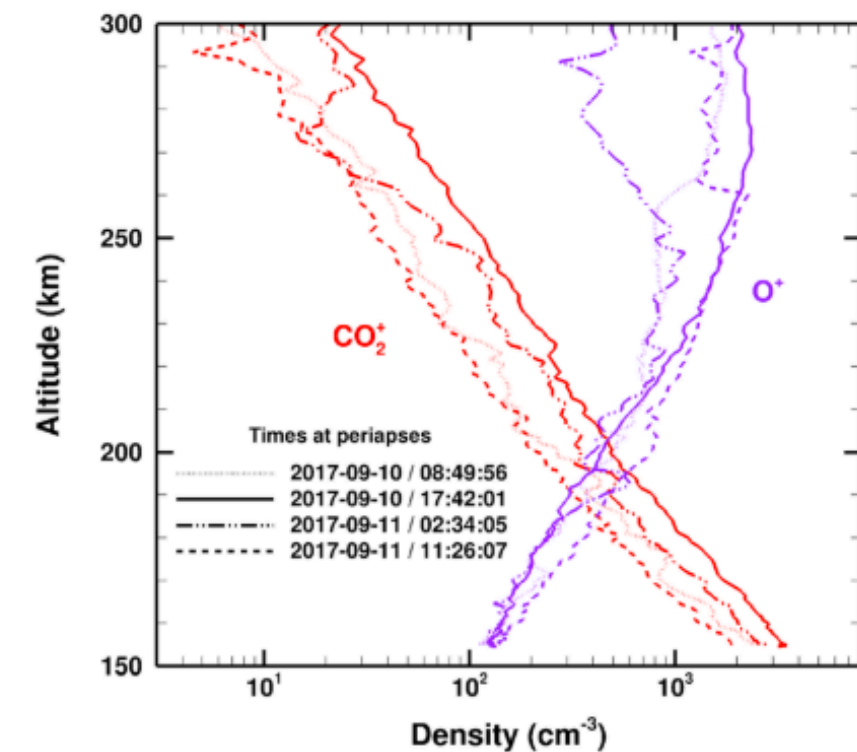
NGIMS による観測



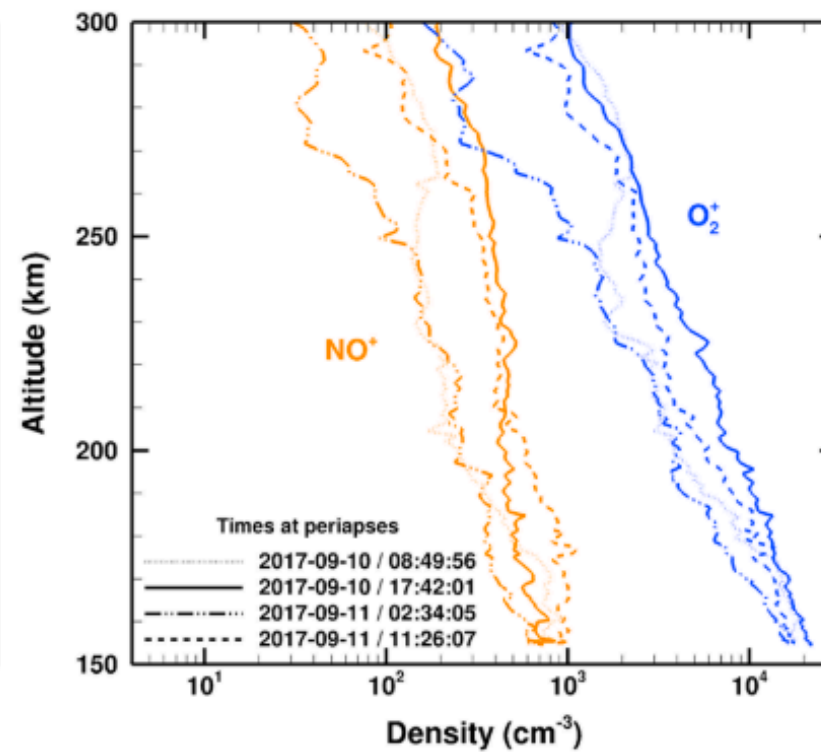
(a)



(b)



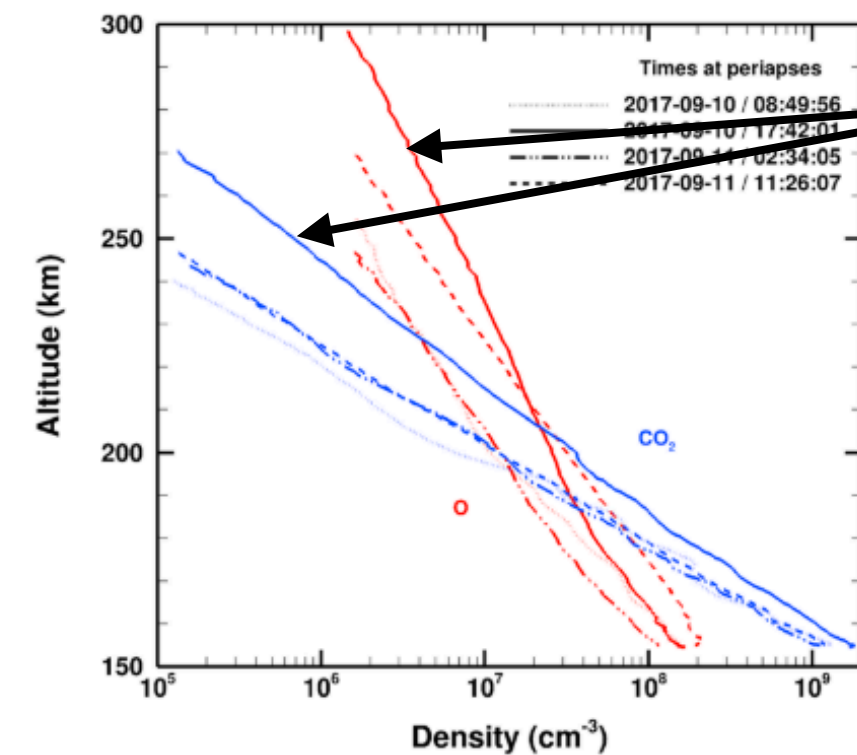
(c)



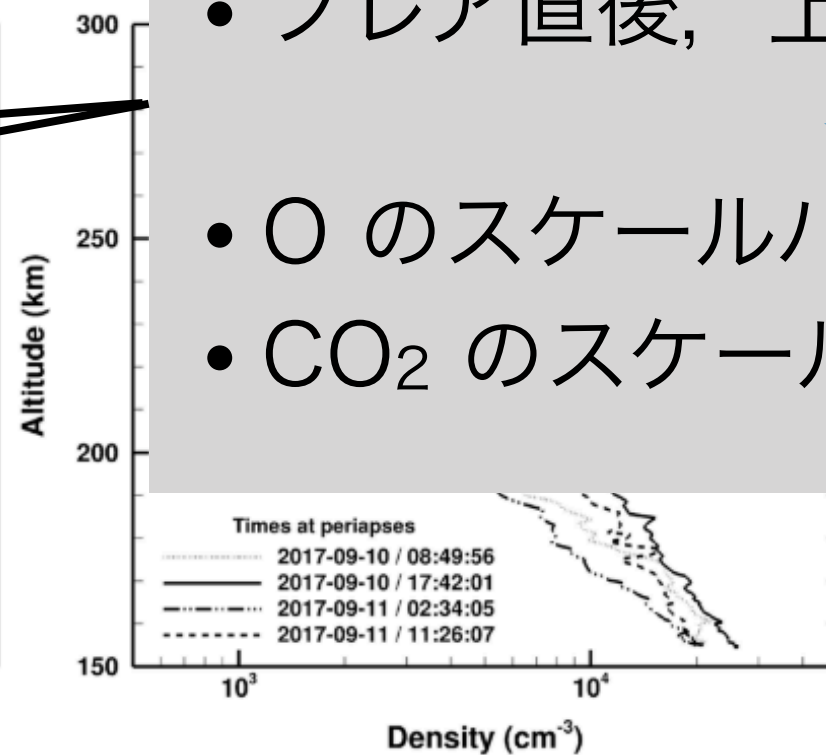
(d)

Thermosphere and Ionosphere Conditions

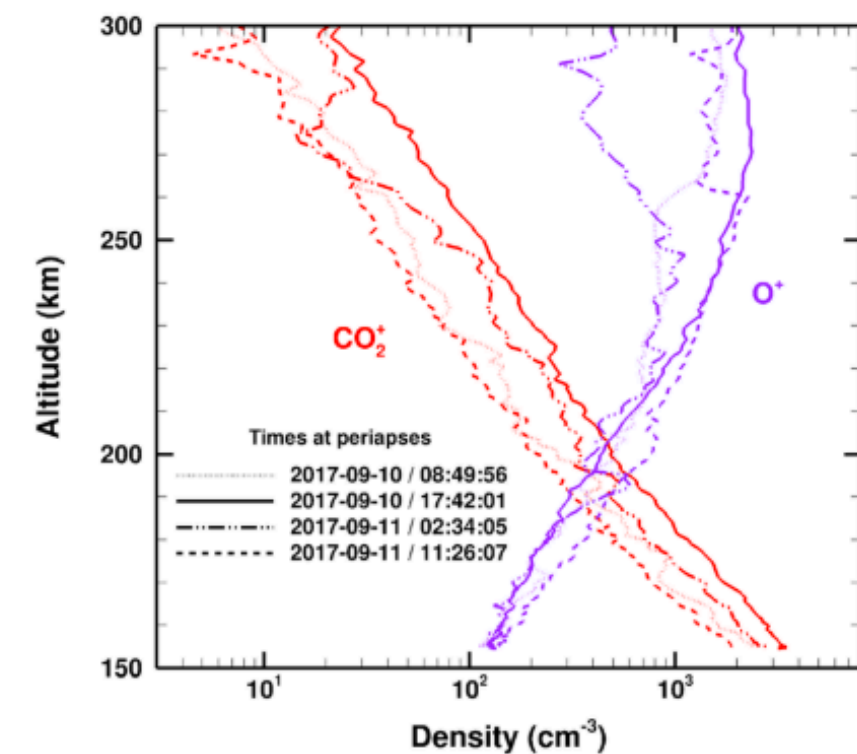
NGIMS による観測



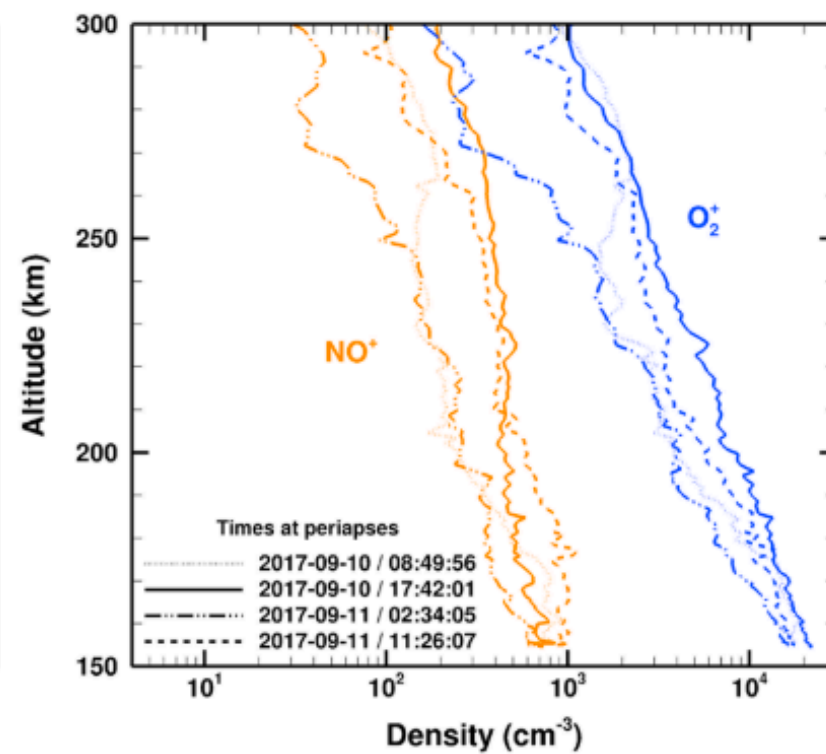
(a)



(b)



(c)

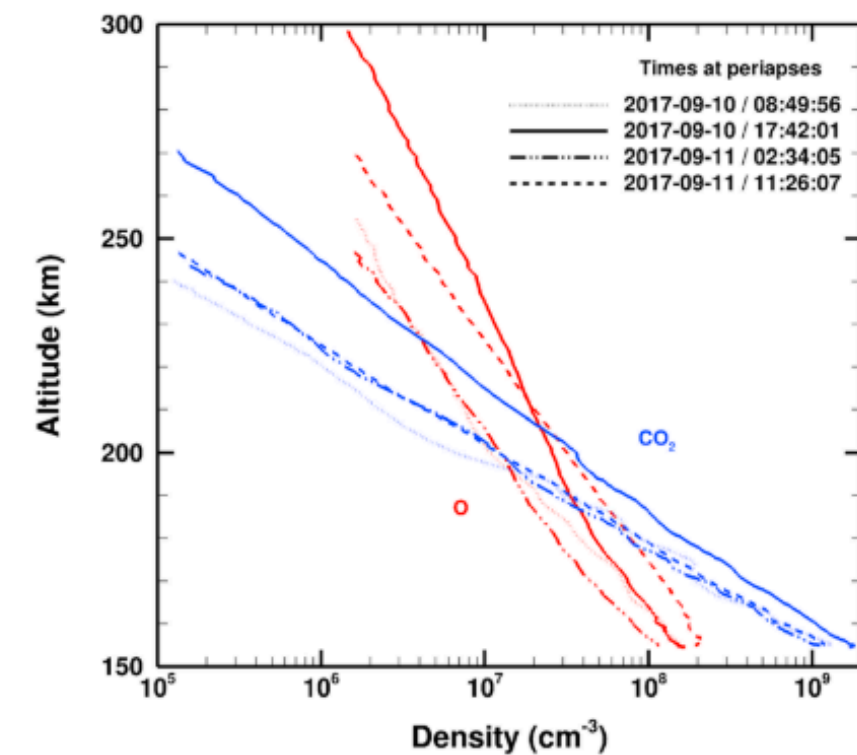


(d)

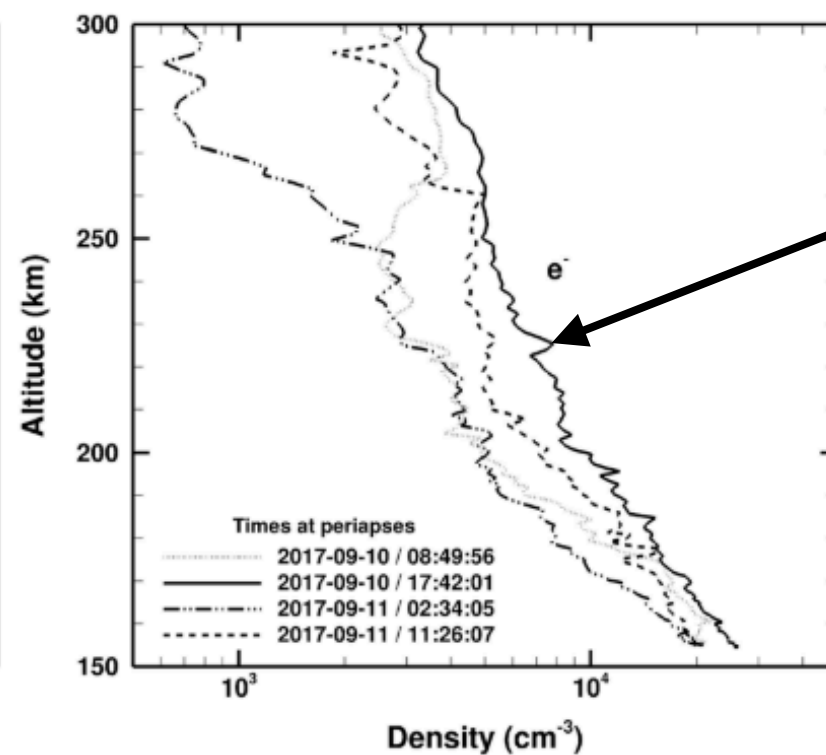
- フレア直後, 上層大気が加熱される
- O のスケールハイト : $20 \rightarrow 34$ km
- CO_2 のスケールハイト : $9 \rightarrow 13$ km

Thermosphere and Ionosphere Conditions

NGIMS による観測

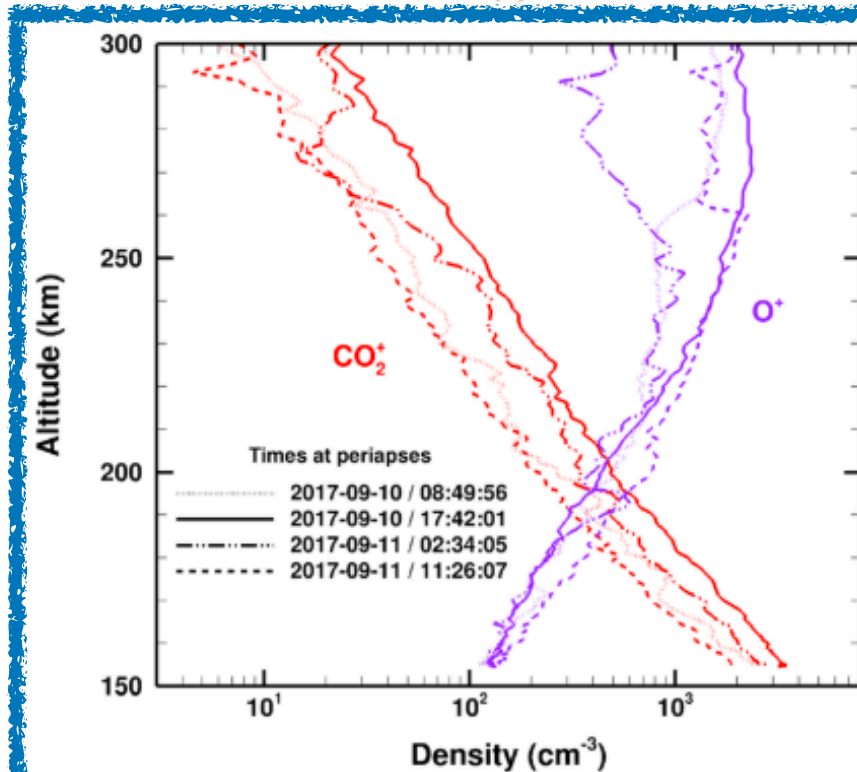


(a)

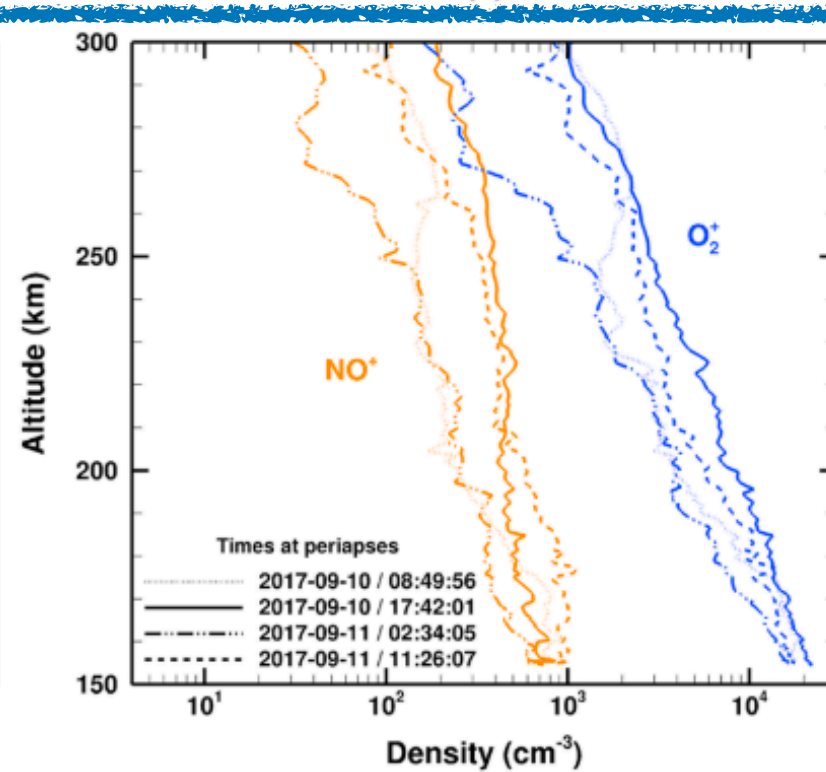


(b)

- 電子密度上昇.



(c)

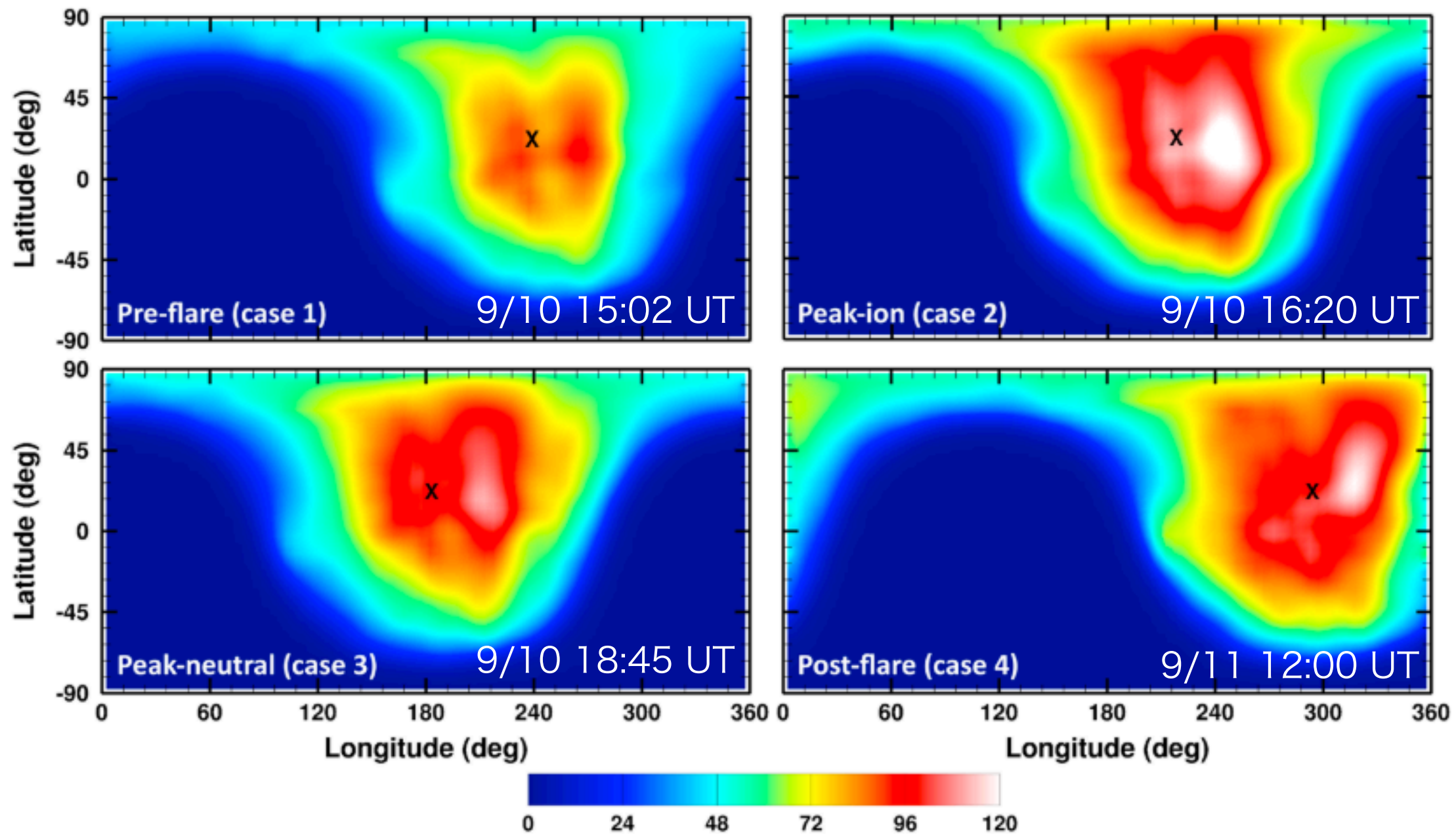


(d)

- CO_2^+ , O^+ , NO^+ , O_2^+ の密度は O , CO_2 の密度と強い相関

Thermosphere and Ionosphere Conditions

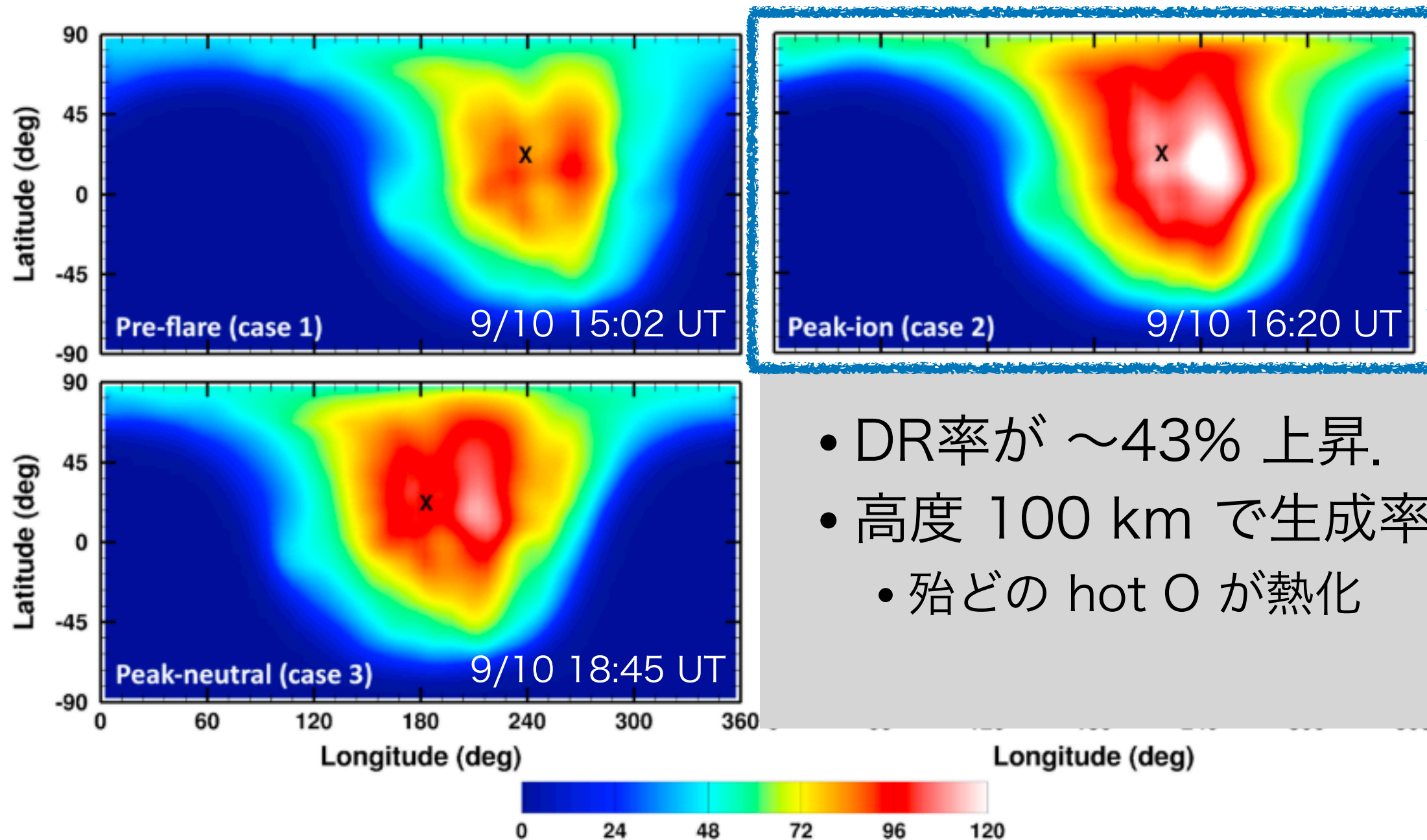
数値モデルの結果



高度 180 km での O_2^+ の DR 率分布

Thermosphere and Ionosphere Conditions

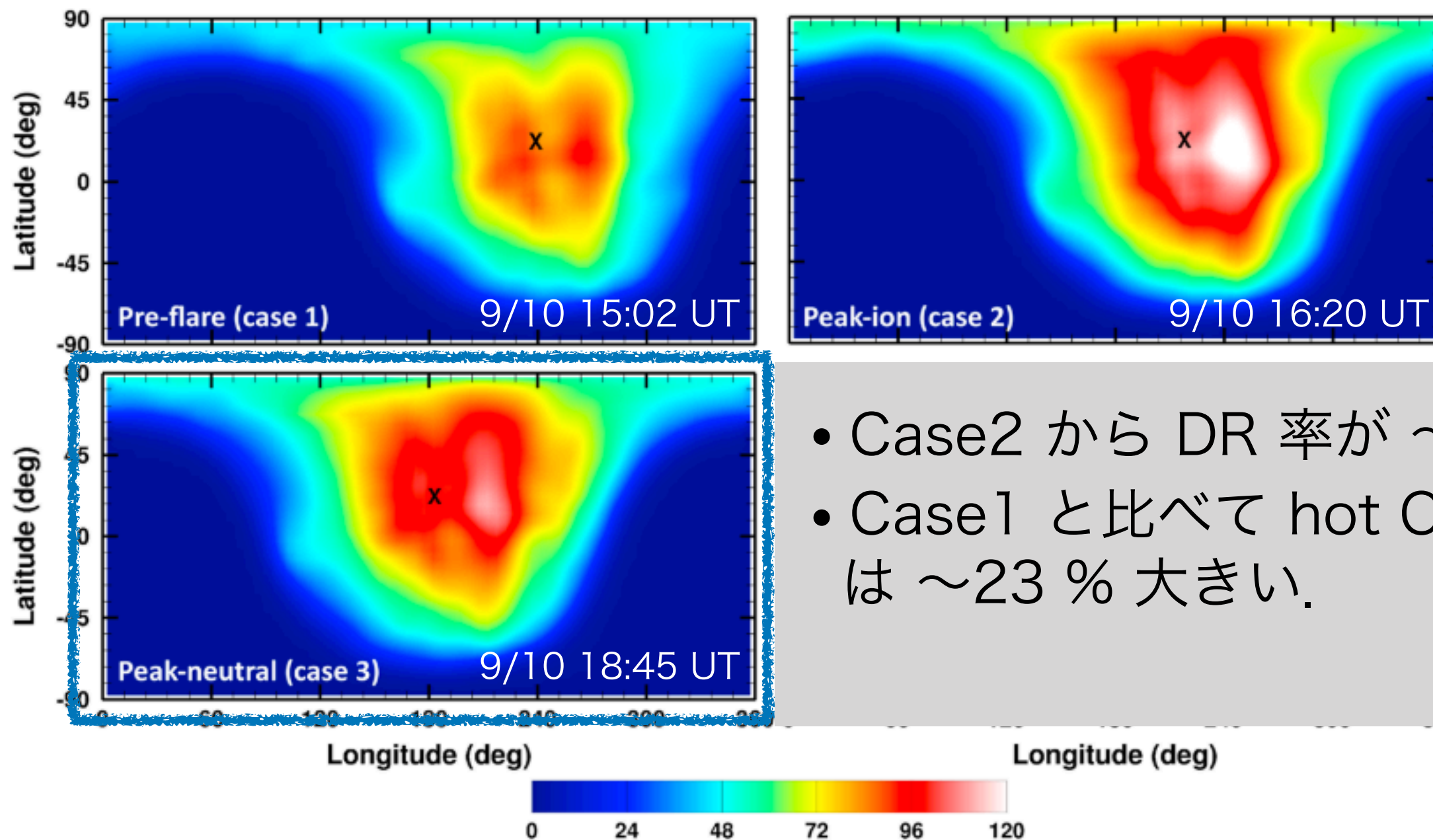
数値モデルの結果



高度 180 km での O_2^+ の DR 率分布

Thermosphere and Ionosphere Conditions

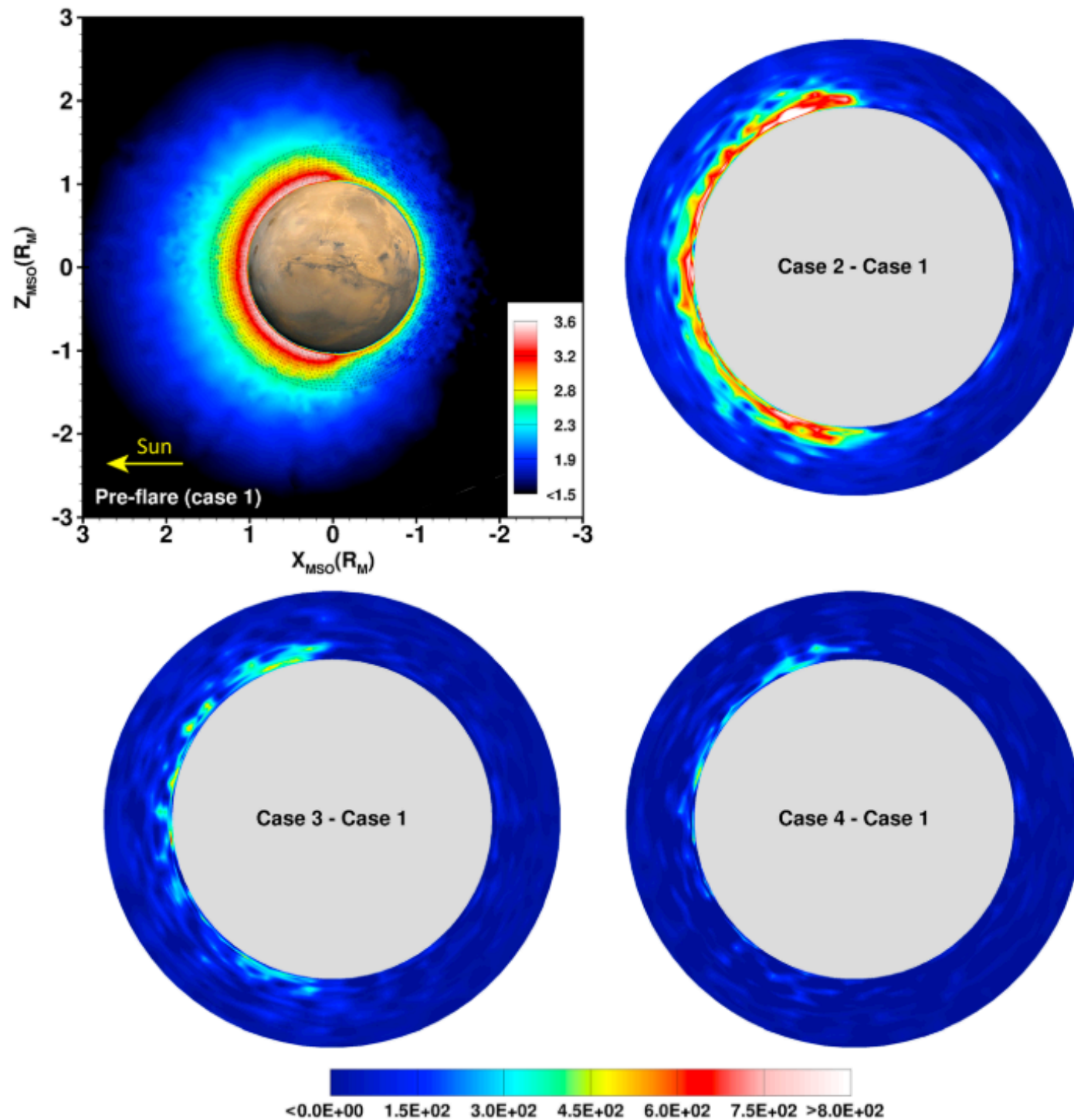
数値モデルの結果



高度 180 km での O_2^+ の DR 率分布

Responses of the Hot O Corona and Photochemical Escape

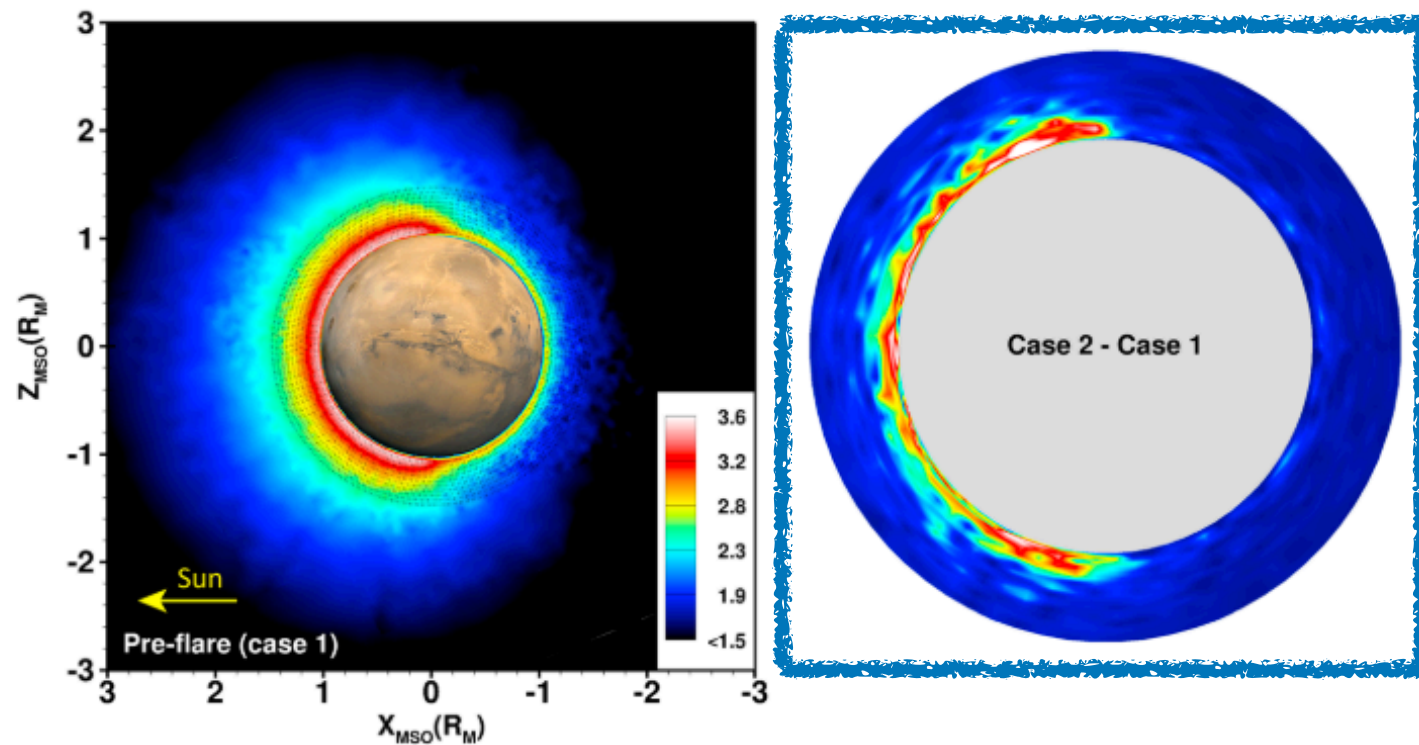
hot O 密度の変動



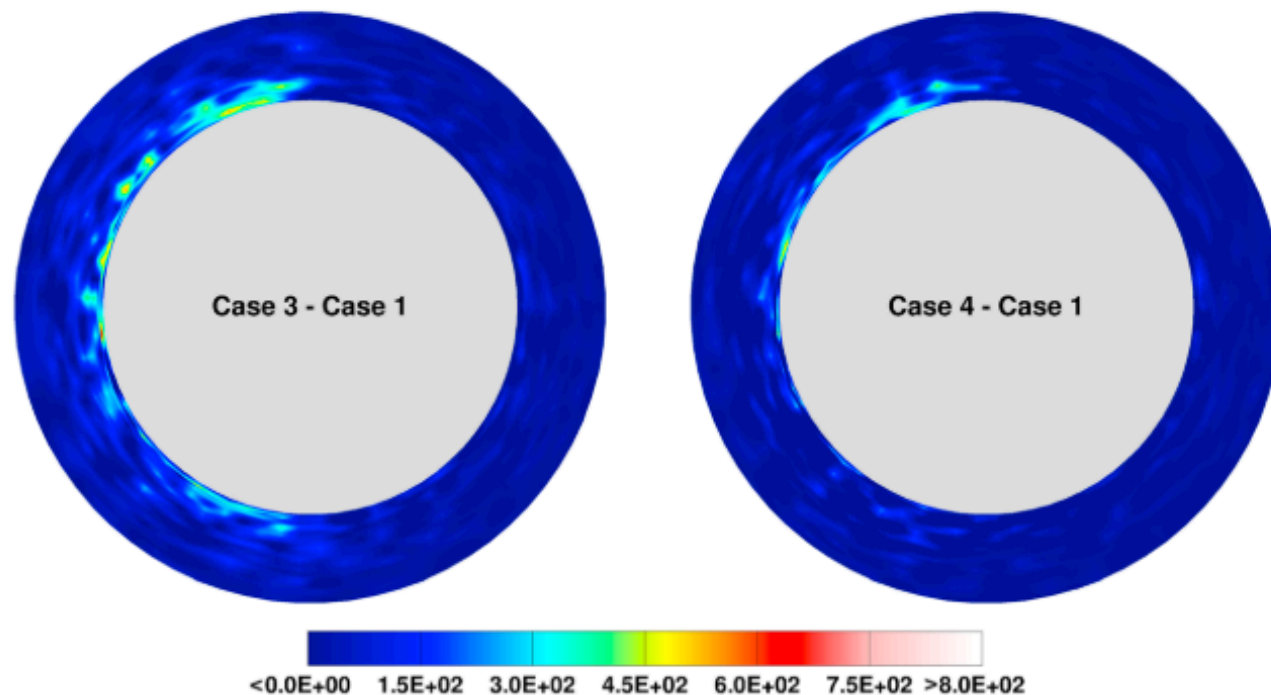
Hot O コロナ分布

Responses of the Hot O Corona and Photochemical Escape

hot O 密度の変動



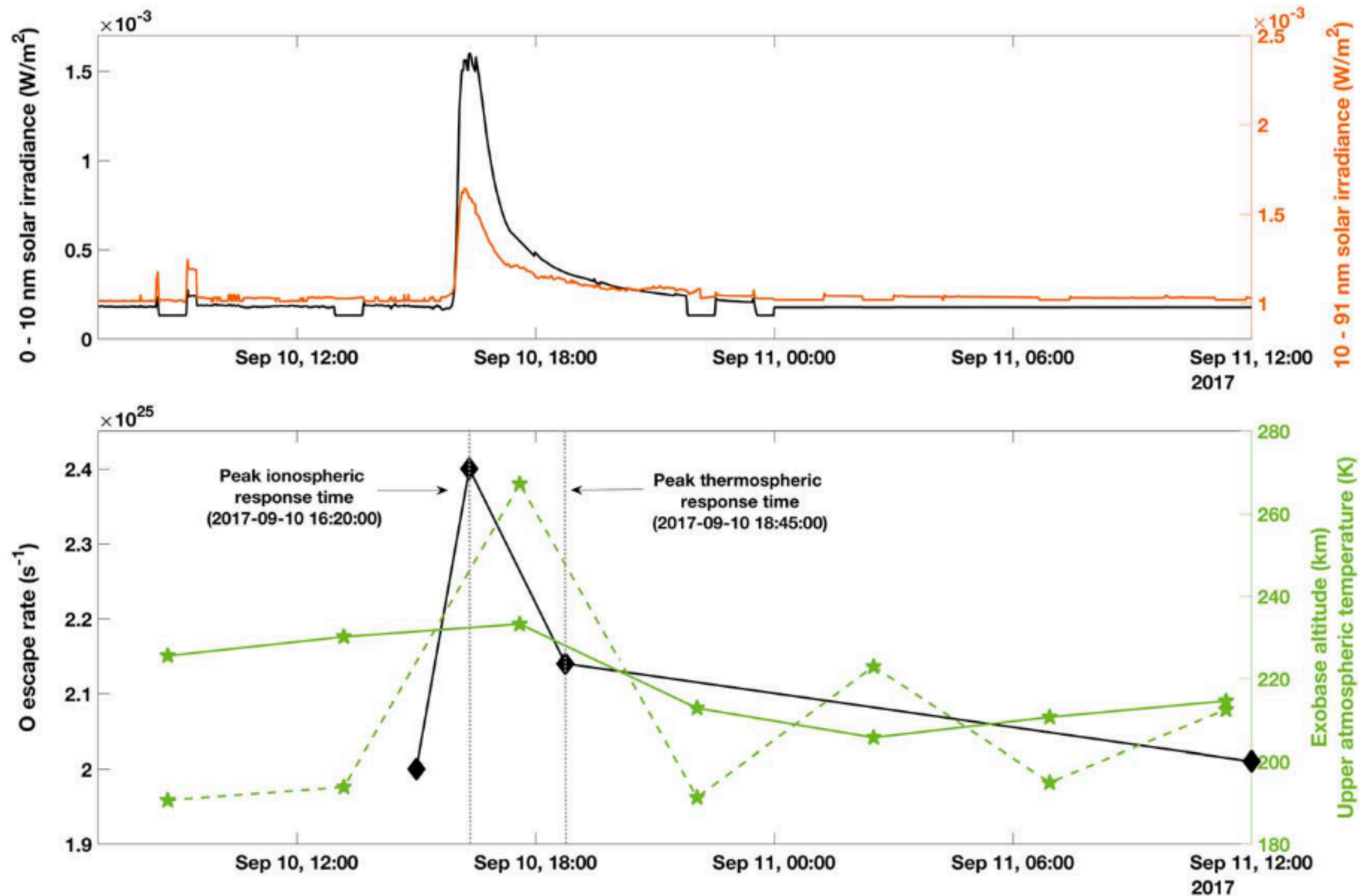
- hot O 密度上昇.
 - 電離圏でのhot O 生成率上昇.
 - フレアに対する電離圏と熱圏の反応時間の差.
 - もし熱圏と電離圏の反応時間がほぼ同時の場合, hot O は散逸する前に熱化される.



Hot O コロナ分布

Responses of the Hot O Corona and Photochemical Escape

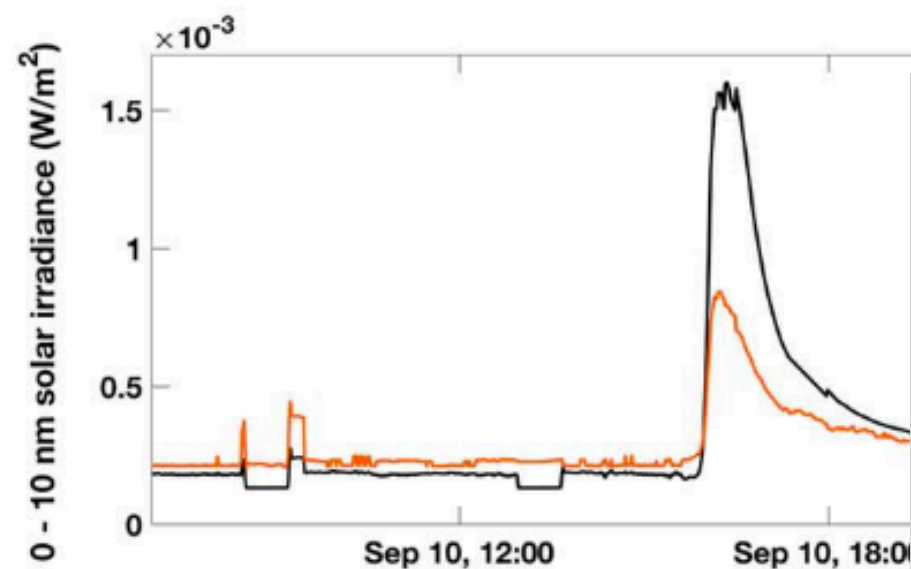
光化学的散逸率の変動



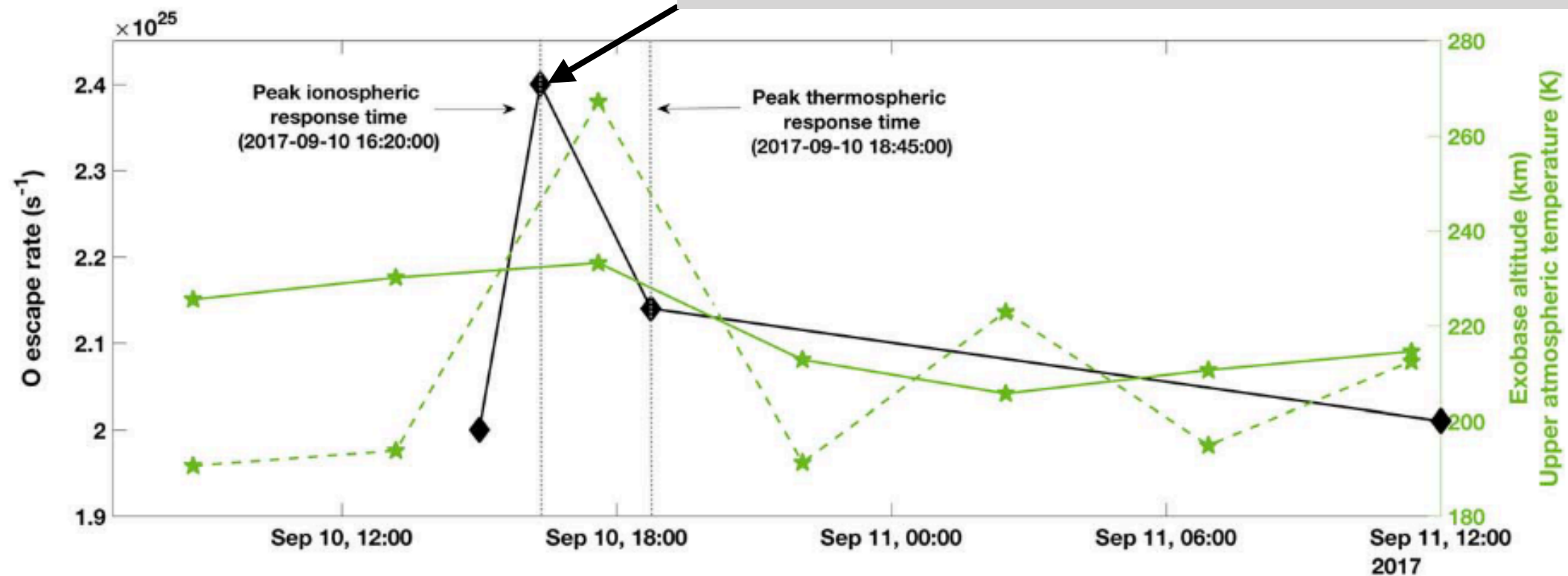
X線・EUV フラックスの変動 (上図) と光化学的散逸率の変動 (下図)

Responses of the Hot O Corona and Photochemical Escape

光化学的散逸率の変動



- 散逸率が $\sim 20\%$ 上昇.
- 高度 180 km 以上の領域で EUV により hot O 生成率上昇.
→ 散逸率上昇の要因は EUV フラックスの上昇



X線・EUV フラックスの変動 (上図) と光化学的散逸率の変動 (下図)

Conclusion

Hot O コロナへの影響

- フレア直後, hot O 密度が 15 ~ 45 % 上昇.
 - 熱圏での密度上昇によりコロナ密度は減衰していく.

光化学的散逸率への影響

- フレア直後, 光化学的散逸率が ~ 20 % 上昇.
 - 散逸率の増加の主な要因は EUV フラックスの増加.
 - 散逸する hot O の大部分は高高度で EUV による電離で生成.

Significant Space Weather Impact on the Escape of Hydrogen From Mars

Majd Mayyasi, Dolon Bhattacharyya, John Clarke, Amy Catalano,
Mehdi Benna, Paul Mahaffy, Edward Thiemann, Christina O. Lee,
Justin Deighan, Sonal Jain, Michael Chaffin, Matteo Crismani, William
McClintock, Ian Stewart, Greg Holsclaw, Arnaud Stiepen, Franck
Montmessin, Nick Schneider, and Bruce Jakosky

Geophysical Research Letters 45.17 (2018): 8844-8852

Abstract

- 2017年9月のフレア発生時、火星上層大気で電離の増加と加熱、Lyman- α 放射の増加が見られた.
- フレアが火星外圏の水素に与える影響をシミュレートしたところ、上層大気での水素量は $\sim 25\%$ 減少した一方、温度上昇により水素散逸率は 5 倍ほど上昇した.

Introduction

- MAVEN の観測から, Lyman- α 強度と CME・UVフラックスには相関があることが分かった.
- この研究では2017年9月の宇宙天気イベントが火星上層大気の水素に与える影響を調べる.
 - MAVEN のデータ, 放射伝達モデル, 電離圏モデルを用いる.

Observations

Neutral Gas and Ion Mass Spectrometer (NGIMS)

- 火星上層大気の中性粒子とイオンをその場観測.
- 観測された CO₂ と Ar の密度プロファイルからスケールハイト ($H = kT/mg$) を求め, 温度プロファイルを導出.

Imaging Ultraviolet Spectrograph (IUVS)

- H (121.597 nm), D (121.533 nm), oxygen triplet (130.4 and 135.6 nm) をリモートセンシング.
- H Lyman- α 放射強度分布を求める.

Models

Atmospheric Model

- 火星電離圏モデル (Matta, 2013) を用いて高度 80 - 400 km の中性大気分布を求める.
- フリーパラメータ：下端密度, 下端混合比, 温度
 - 下端密度は NGIMS の観測結果から決定
 - 下端混合比は Mars Climate Database と Viking の観測結果から決定
 - 温度は NGIMS のスケールハイトから決定

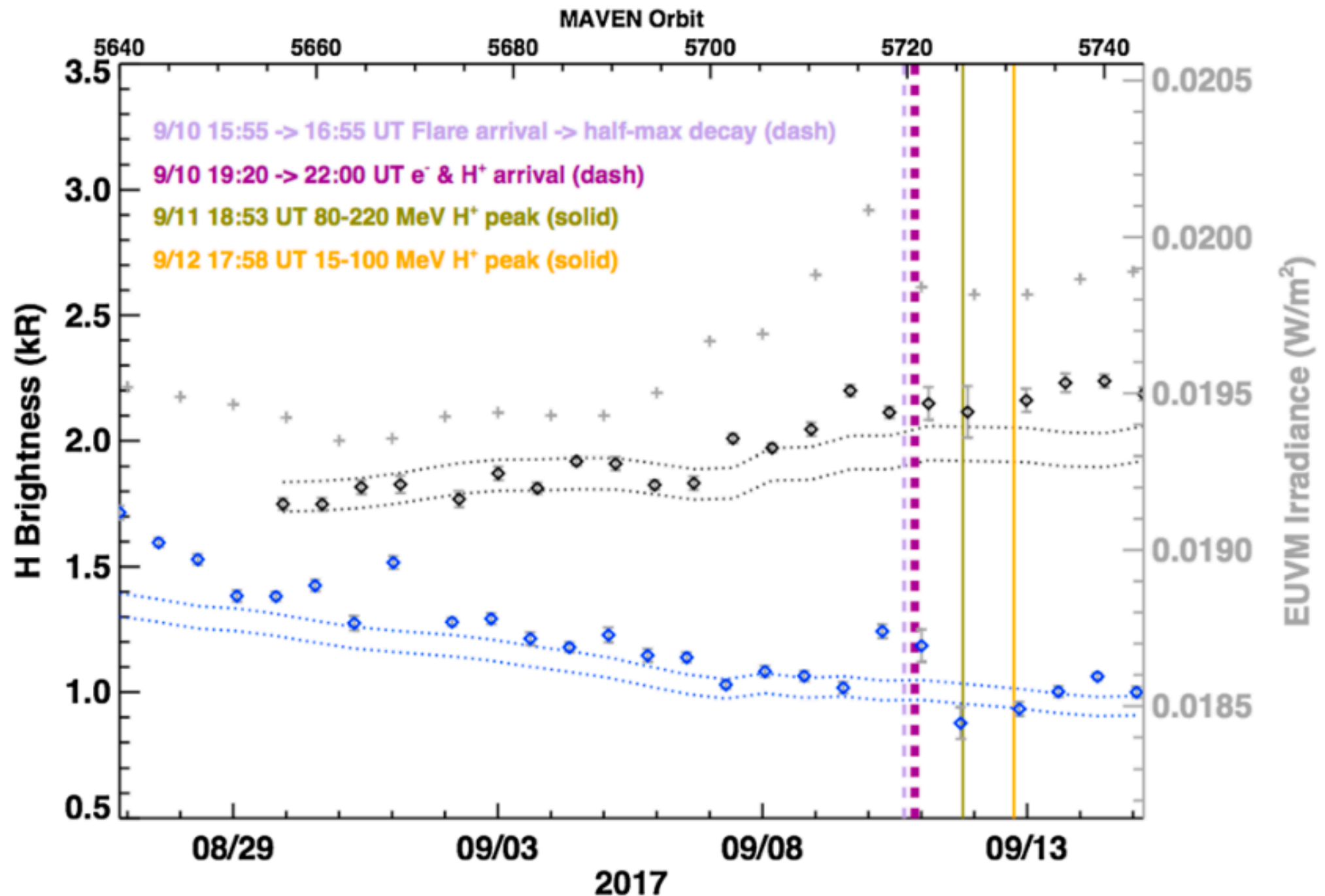
Models

Radiative Transfer Model

- 高度 80 - 50000 km の H の分布を求めるために使用.
- **モデルの仮定**
 - 外圏底は高度 200 km に固定
 - 外圏は等温かつ球対称
 - H はマクスウェル-ボルツマン速度分布に従う
 - 散乱過程は complete frequency redistribution に従う
 - narrow Gaussian-Dopplerian emission を使用
- **フリーパラメータ：外圏底温度，外圏底 H 数密度**
 - NGIMS 観測から得られたスケールハイトから決定

Results

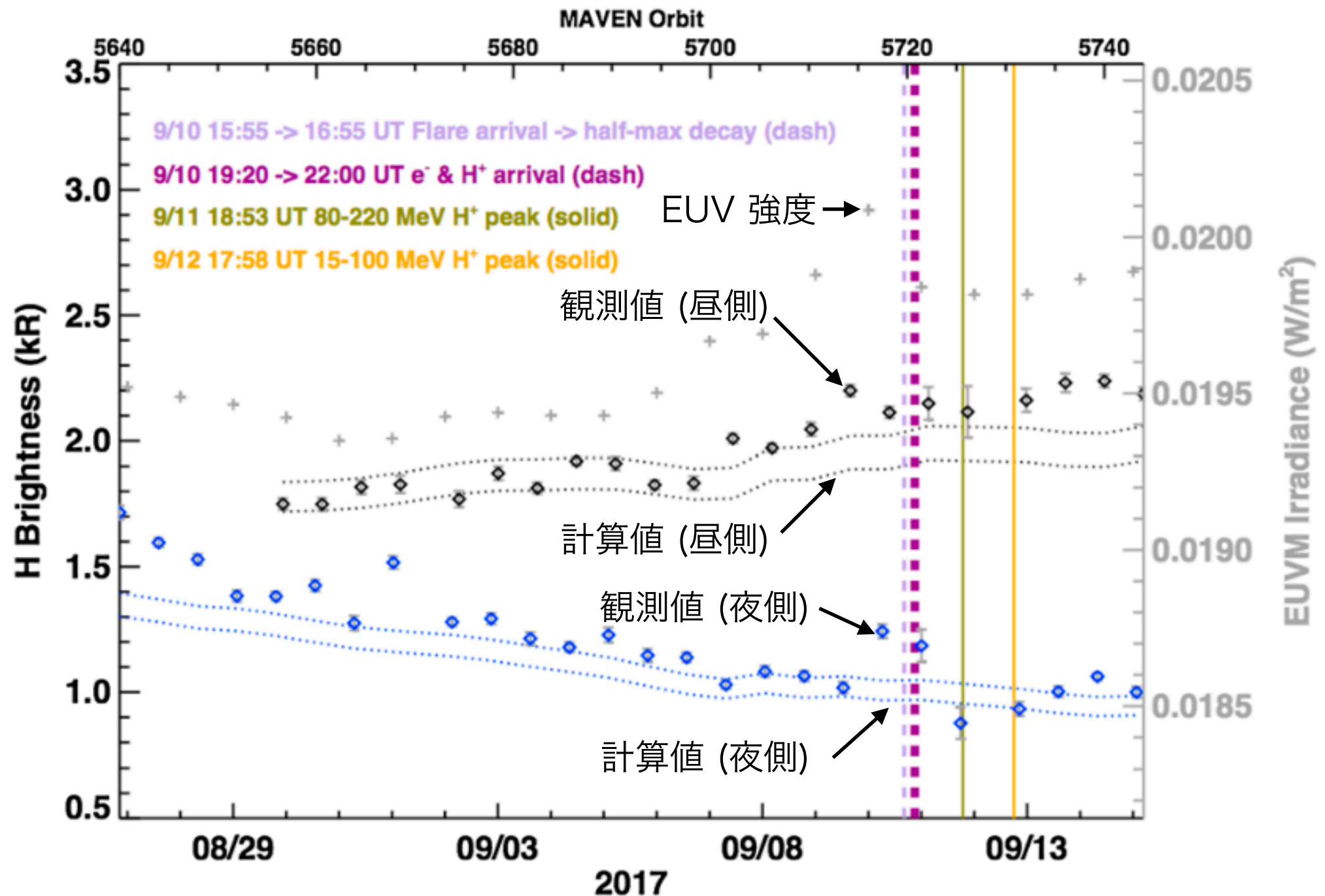
H Lyman- α brightness



IUVS によって得られた Lyman- α 放射強度の時間変動

Results

H Lyman- α brightness

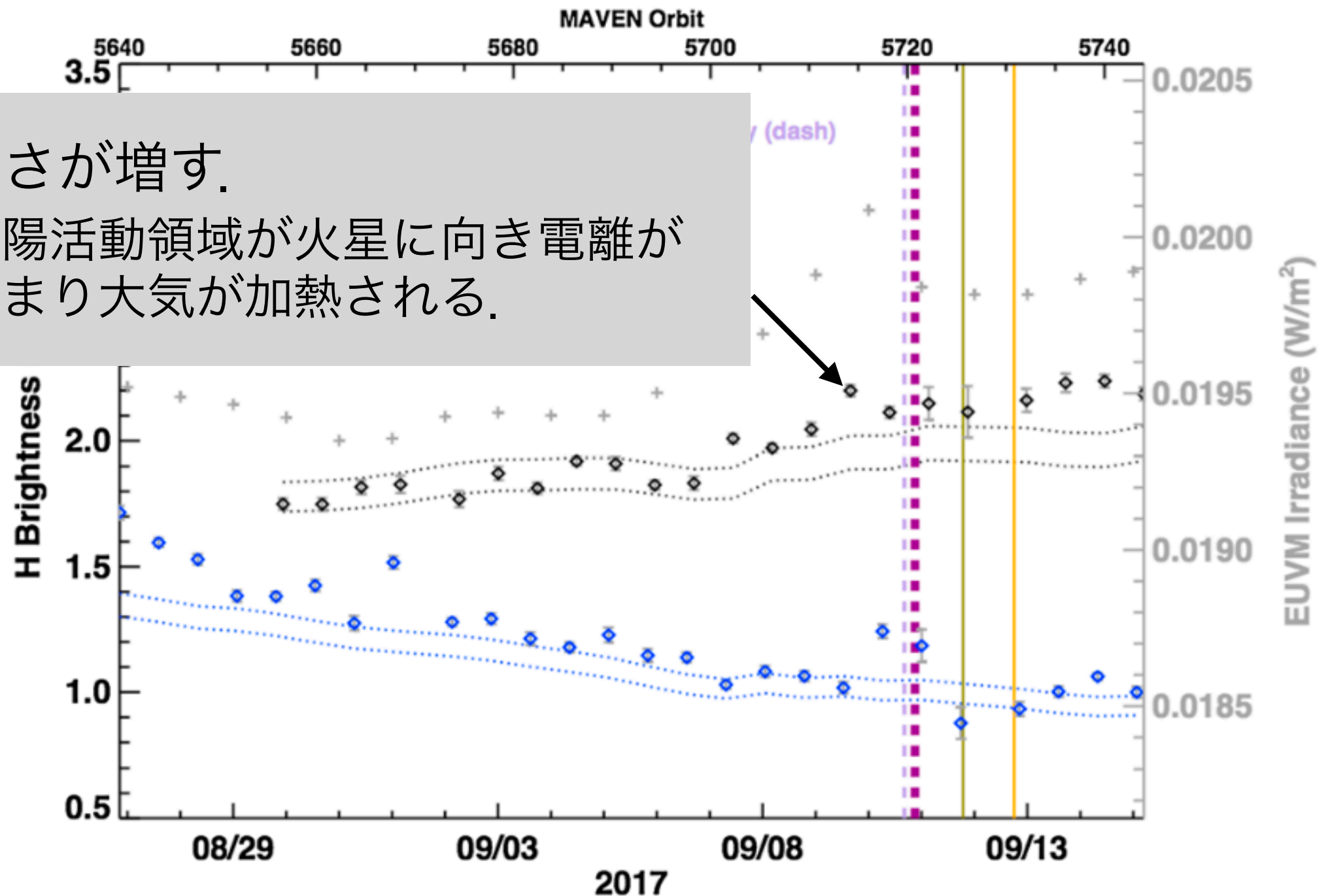


IUVS によって得られた Lyman- α 放射強度の時間変動

Results

H Lyman- α brightness

- 明るさが増す.
- 太陽活動領域が火星に向き電離が強まり大気が加熱される.

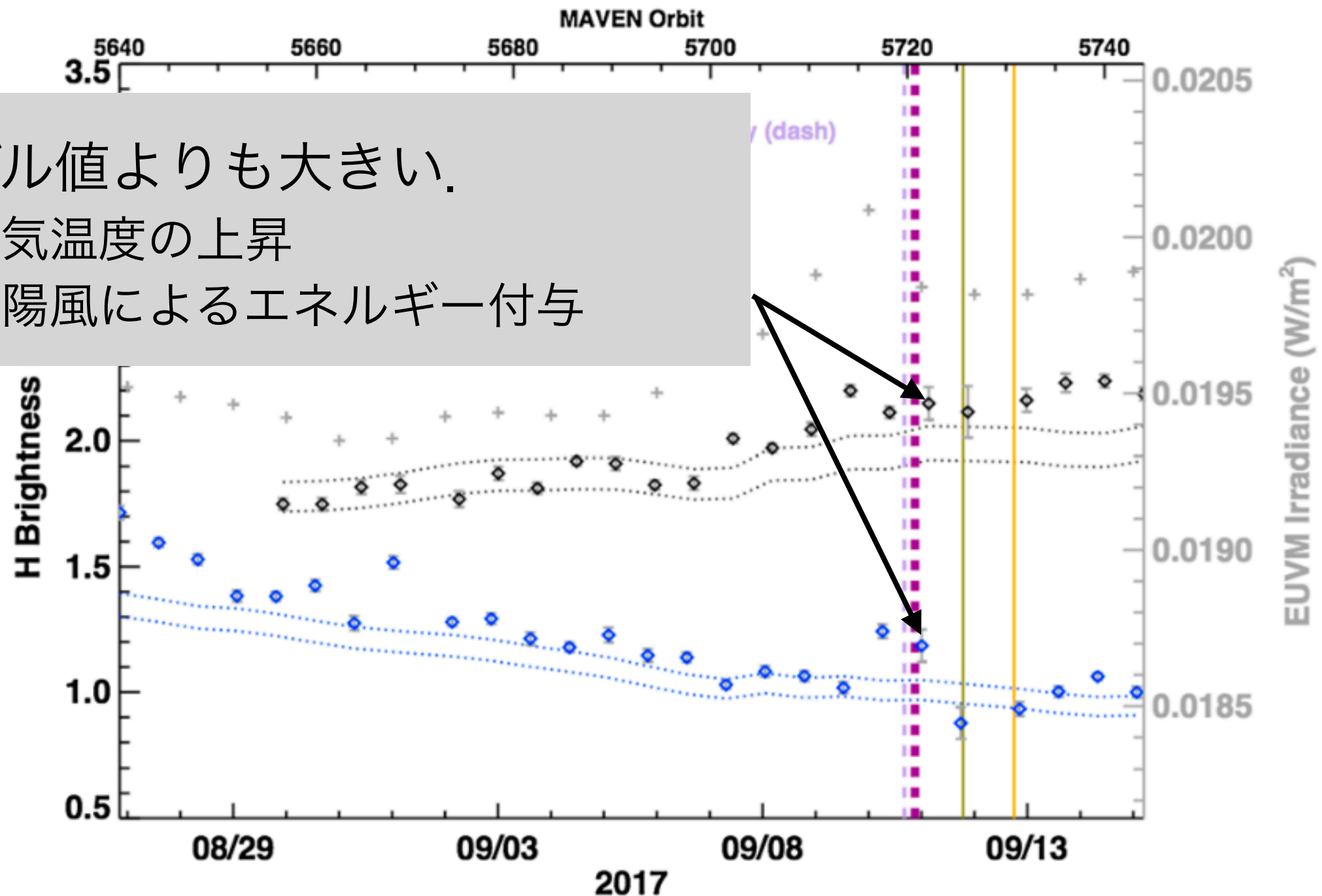


IUVS によって得られた Lyman- α 放射強度の時間変動

Results

H Lyman- α brightness

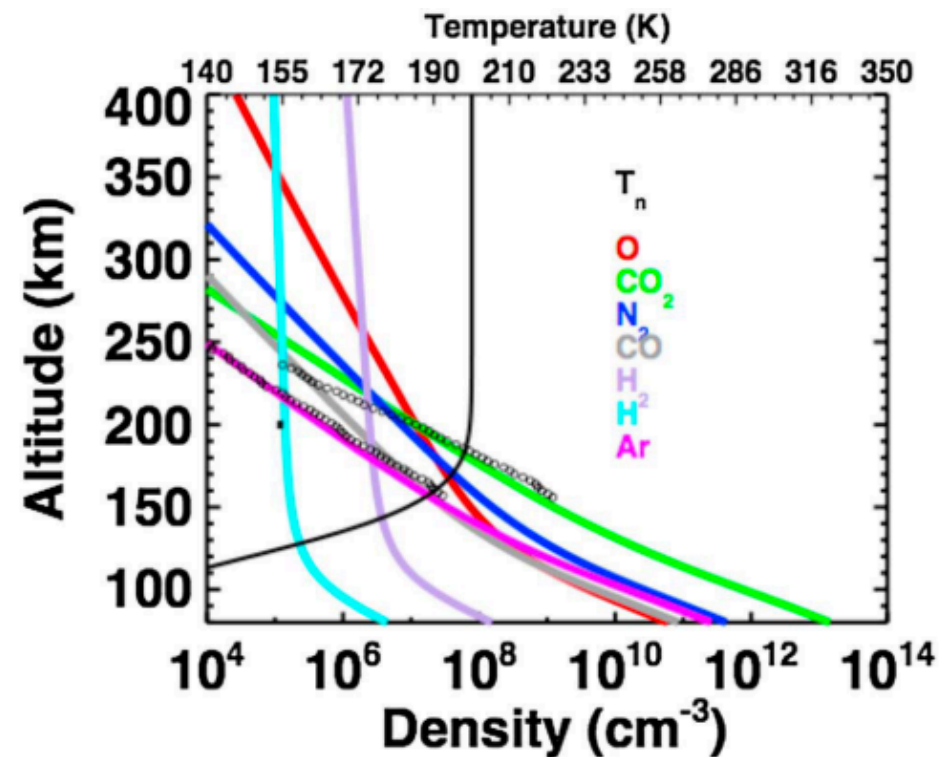
- モデル値よりも大きい。
 - 大気温度の上昇
 - 太陽風によるエネルギー付与



IUVS によって得られた Lyman- α 放射強度の時間変動

Results

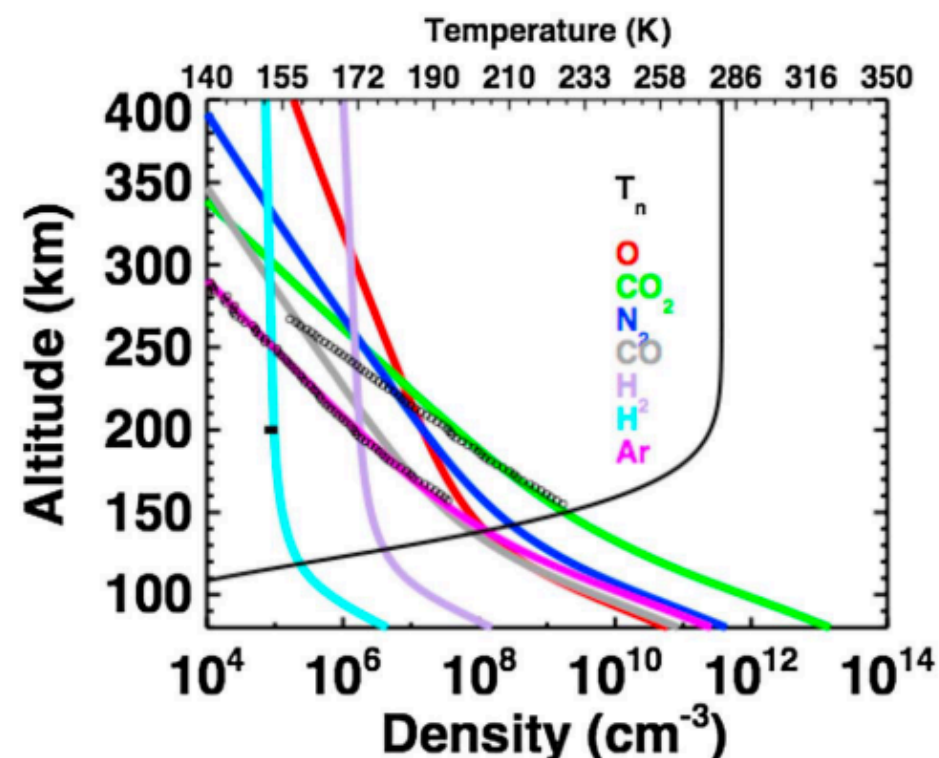
モデルから得られた大気構造



- 観測された Lyman- α 放射強度分布に合う H 密度分布を RT モデルから求める.

- H escape flux

Date in 2017	T_n (K) at exobase	H density (cm^{-3}) at exobase	H escape flux ($\text{atoms} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
31 August	200	$1.2 \pm 0.1 \times 10^5$	$3.9 \pm 0.4 \times 10^7$
8 September	230	$1.1 \pm 0.1 \times 10^5$	$8.2 \pm 0.7 \times 10^7$
10 September	280	$0.9 \pm 0.2 \times 10^5$	$20 \pm 4.0 \times 10^7$



Discussion

Date in 2017	T_n (K) at exobase	H density (cm^{-3}) at exobase	H escape flux ($\text{atoms} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
31 August	200	$1.2 \pm 0.1 \times 10^5$	$3.9 \pm 0.4 \times 10^7$
8 September	230	$1.1 \pm 0.1 \times 10^5$	$8.2 \pm 0.7 \times 10^7$
10 September	280	$0.9 \pm 0.2 \times 10^5$	$20 \pm 4.0 \times 10^7$

H 密度の変化

- 大気温度が上昇した時, 重い大気成分の分布は広がった.
- 一方で H のような軽い大気成分の量は減少.
 - 重い大気成分により上層への拡散が妨げられるため.
- → 温度上昇するほどエクソベースでの H 密度は減少.

H 散逸率の変化

- 温度上昇により Jeans 散逸率は約 5 倍上昇.

Conclusion

大気温度の変化

- 温度は ~ 75 K 上昇.
 - NGIMS から得られた密度プロファイルより推定.

H 密度の変化

- エクソベースでの H 密度は ~ 25 % 減少.
 - Lyman- α 放射強度分布と大気モデルより推定.

H 散逸率の変化

- 温度上昇により H 散逸率は約 5 倍上昇.