

Martian ionospheric responses to dynamic pressure enhancements in the solar wind

Y. J. Ma, X. Fang, A. F. Nagy, C. T. Russell, and Gabor Toth. JGR., 119, pp.1272-1286, doi:10.1002/2013JA019402.

第41回火星勉強会 論文紹介 13th, Jan., 2015.

報告者: 小山響平 名古屋大学 D1

Contents

1. Introduction
2. Numerical Model
3. Simulation Result
 1. Steady State at Quiet Time
 2. Event 1: Solar Wind Density Enhancement Event
 3. Event 2: Solar Wind Velocity Enhancement Event
4. Summary

1.Introduction

- 火星は全球的な固有磁場を持たない惑星なので、惑星付近に侵入した太陽風磁場と電離圏が相互作用する。
- 太陽風条件はCME(Coronal Mass Ejection)やCIR(Corotating Interaction Region)により変化する。
- Terada et al.[2009]は、UVが100倍の条件で
- Fang et al.[2013]は、温度と太陽風条件の変化する条件でシミュレーションを行った。

1.Introduction

- 火星シミュレーションの先行研究は多く存在するが、太陽風が時間変化する条件で電離圏がどのように変化し、平衡状態に達するのかは、あまり分かっていない。
- 本論文の目的：
太陽風に変化を与えたときの電離圏の密度、速度、磁場の応答と平衡状態への変化を、3-D MHDを用いて探る。

2.Numerical Model

- イオンの生成消滅を含んだMHDモデル
- 用いるイオン種は、 H^+ , O^+ , O_2^+ , CO_2^+ .

- 使用した方程式 Ma et al.[2004]

- 連続の式: 4 (各イオン種に対応)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial v}{\partial r} = S \quad (:\text{化学反応による生成消滅})$$

- 運動方程式: 3次元
- 磁場の発展方程式: 3次元
- エネルギー方程式

- Najib et al., [2011]のような多流体MHDは計算資源の都合から行わない。

2. Numerical Model

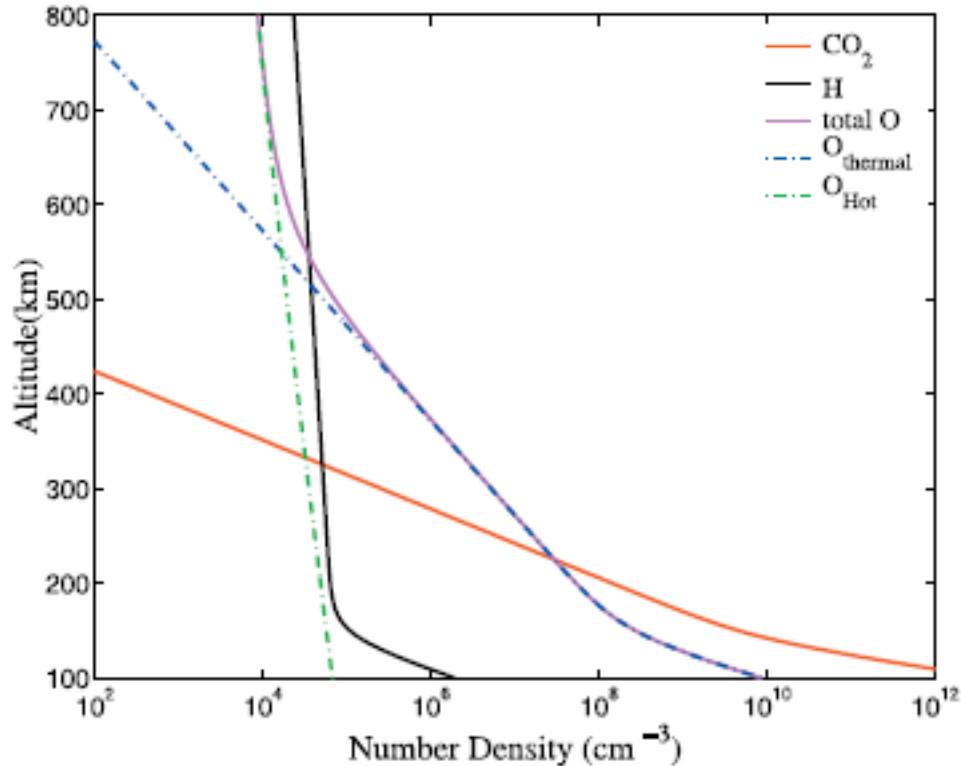


Figure 1. Density profiles of the neutral species adopted for solar cycle maximum conditions.

中性粒子は火星周辺に球対称に分布。

密度テーブルはSolar Maximum時のモデルMa et al.[2004]を使用

Solar Maximum時の中性粒子の分布 Ma et al.[2004]

2. Numerical Model

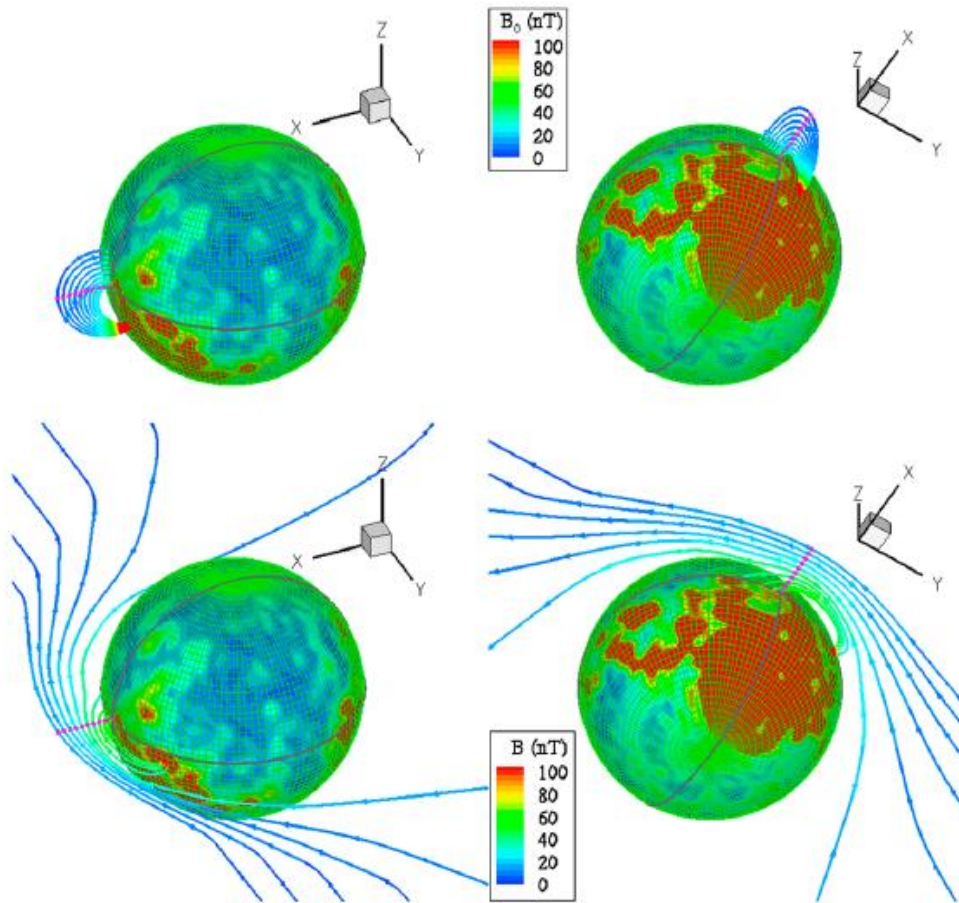
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial v}{\partial r} = S \quad (:\text{化学反応による生成消滅})$$

- 化学反応のテーブル Ma et al.[2004]

Table 1. List of Chemical Reactions and Rates Considered in the Model

Reaction	Rate Coefficient	References
$\text{CO}_2 + h\nu \rightarrow \text{CO}_2^+ + e$	$7.30 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ (solar max) $2.47 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ (solar min)	<i>Schunk and Nagy</i> [2000]
$\text{O} + h\nu \rightarrow \text{O}^+ + e$	$2.73 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ (solar max) $8.89 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ (solar min)	<i>Schunk and Nagy</i> [2000]
$\text{H} + h\nu \rightarrow \text{H}^+ + e$	$8.59 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ (solar max) $5.58 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ (solar min)	J. Fox (private communication, 2004)
$\text{CO}_2^+ + \text{O} \rightarrow \text{O}_2^+ + \text{CO}$	$1.64 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$	<i>Schunk and Nagy</i> [2000]
$\text{CO}_2^+ + \text{O} \rightarrow \text{O}^+ + \text{CO}_2$	$9.60 \times 10^{-11} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$	<i>Schunk and Nagy</i> [2000]
$\text{O}^+ + \text{CO}_2 \rightarrow \text{O}_2^+ + \text{CO}$	$1.1 \times 10^{-9} (800/\text{Ti})^{0.39} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$	<i>Fox and Sung</i> [2001]
$\text{O}^+ + \text{H} \rightarrow \text{H}^+ + \text{O}$	$6.4 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$	<i>Schunk and Nagy</i> [2000]
$\text{H}^+ + \text{O} \rightarrow \text{O}^+ + \text{H}$	$5.08 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$	<i>Fox and Sung</i> [2001]
$\text{O}_2^+ + e \rightarrow \text{O} + \text{O}$	$7.38 \times 10^{-8} (1200/\text{Te})^{0.56} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$	<i>Schunk and Nagy</i> [2000]
$\text{CO}_2^+ + e \rightarrow \text{CO} + \text{O}$	$3.10 \times 10^{-7} (300/\text{Te})^{0.5} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$	<i>Schunk and Nagy</i> [2000]

2. Numerical Model



座標系: 火星中心

X: 太陽方向 $-24R_M < X < 8R_M$

Z: 火星自転軸

Y: X-Zから右手系

$-16R_M < Y, Z < 16R_M$

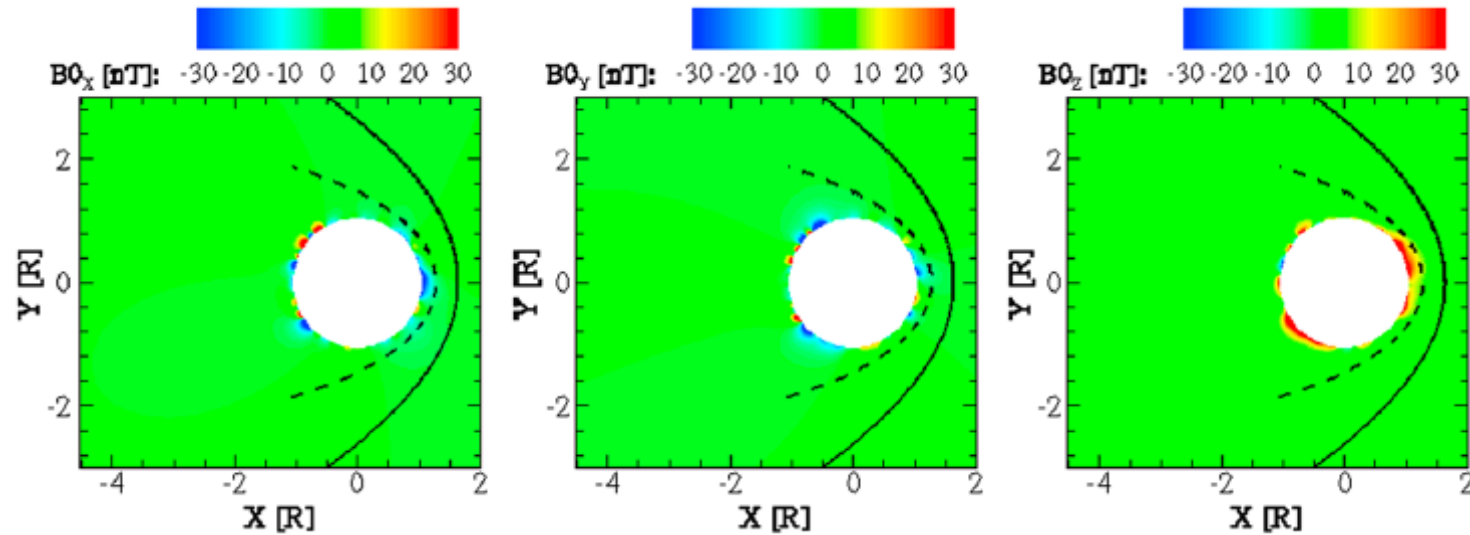
残留磁化の最も強い
 180° Wが太陽直下点

火星の自転は無視
(おそらく公転も?)

Figure 3. (上) 残留磁化のマップ。

(下) Total magnetic field(残留磁化+太陽風磁場)

2. Numerical Model



- 太陽風の基本設定

$$n_{\text{SW}} = 4 \text{ cm}^{-3}, \quad U = -400 \text{ km/s},$$
$$B_Y = -3 \text{ nT}, \quad T_p = 3.5 \times 10^5 \text{ K}$$

3.Simulation Result

3.1 Steady State at Quiet Time

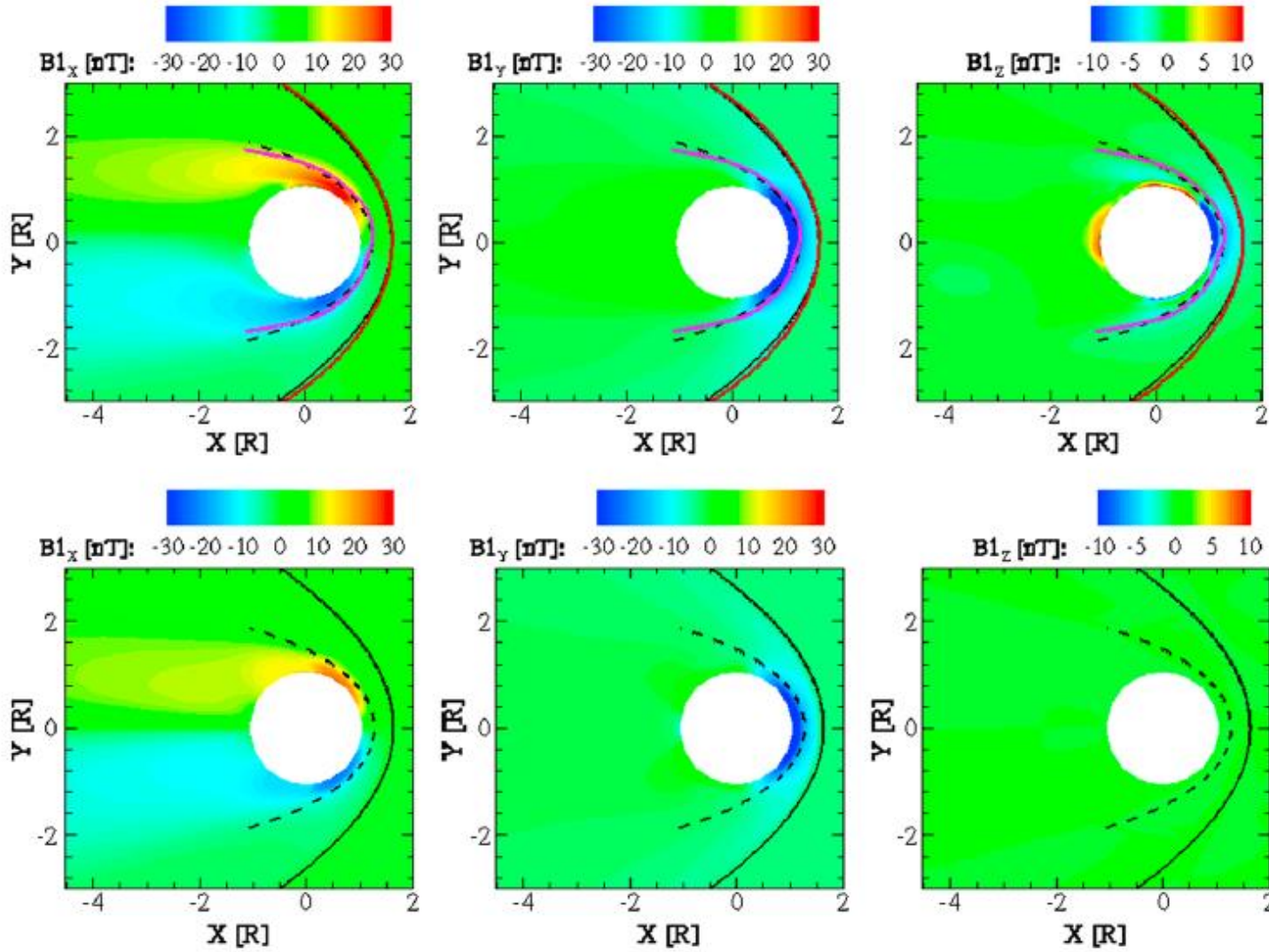


Figure 1.
 (中) 残留磁場がある場合の定常状態
 (下) 残留磁場がない場合の定常状態

3.1 Steady State at Quiet Time

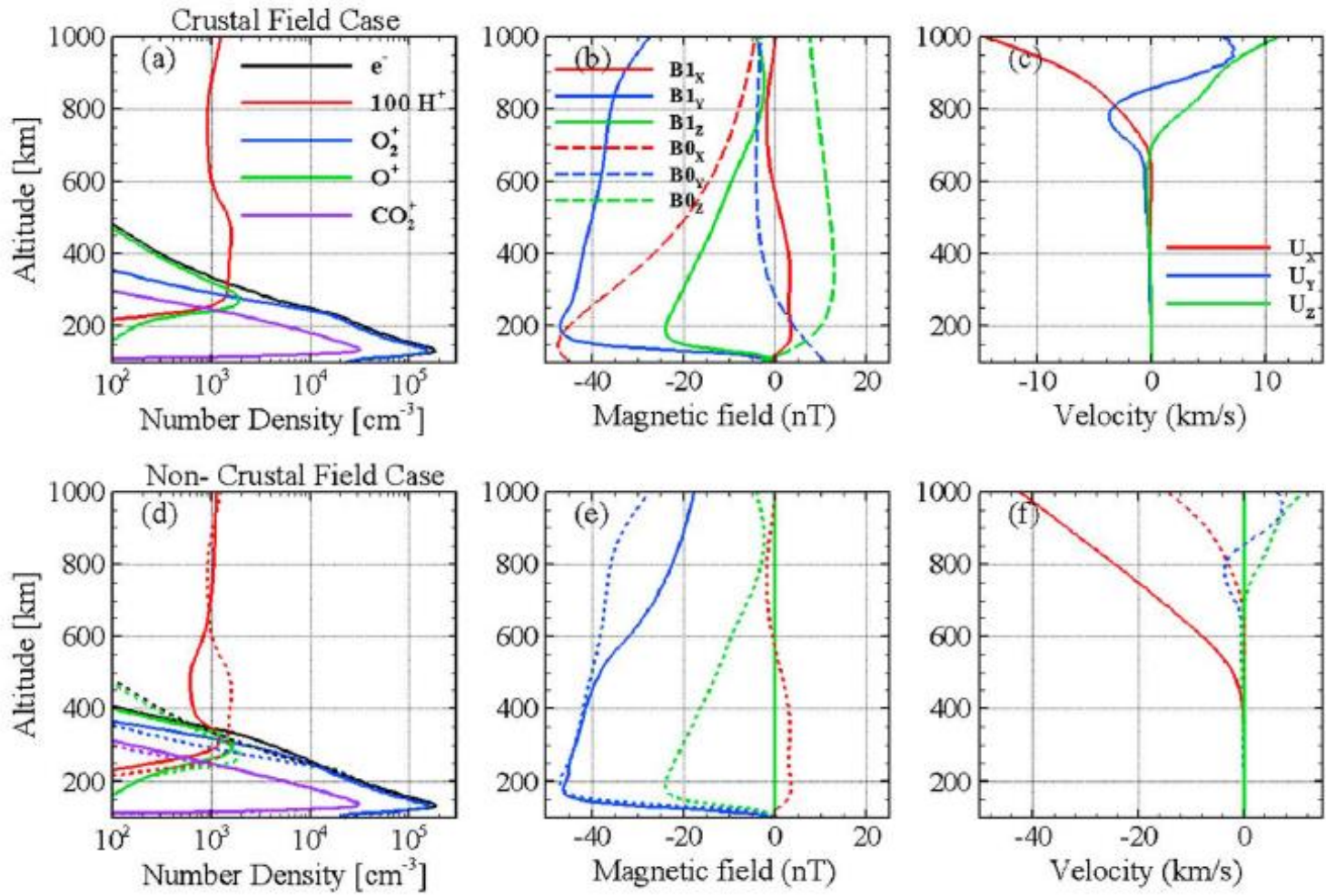
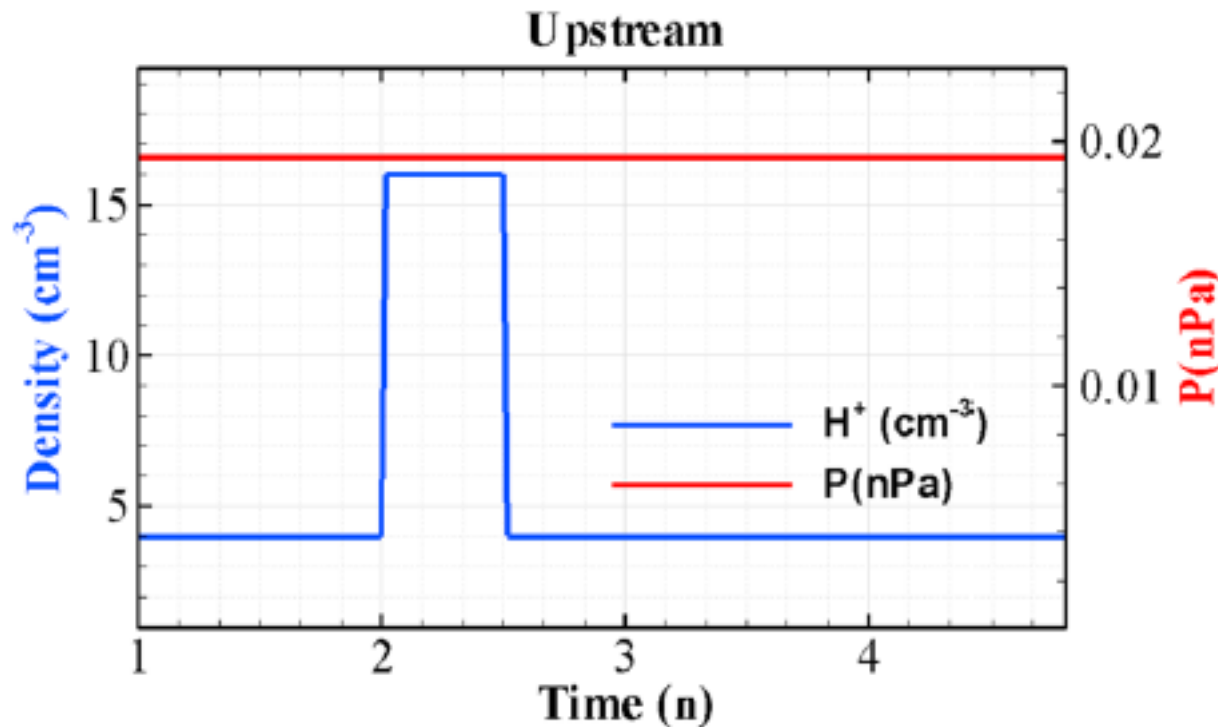


Figure 2.
 (上) 残留磁場がある場合の定常状態。
 (下) 残留磁場がない場合の定常状態。
 速度を比較すると(上)はY,Z方向にも速度を持つ

3.2 Event 1: Solar Wind Density Enhancement Event



太陽風の状態

1:00~2:00 初期条件

2:00~2:30 H^+ の密度を4倍に増やす。

圧力を一定にするため、 T_p は4分の1

2:30~5:00 初期条件

Figure 4. 上側境界で太陽風に与える時間変化

3.2 Event 1: Solar Wind Density Enhancement Event

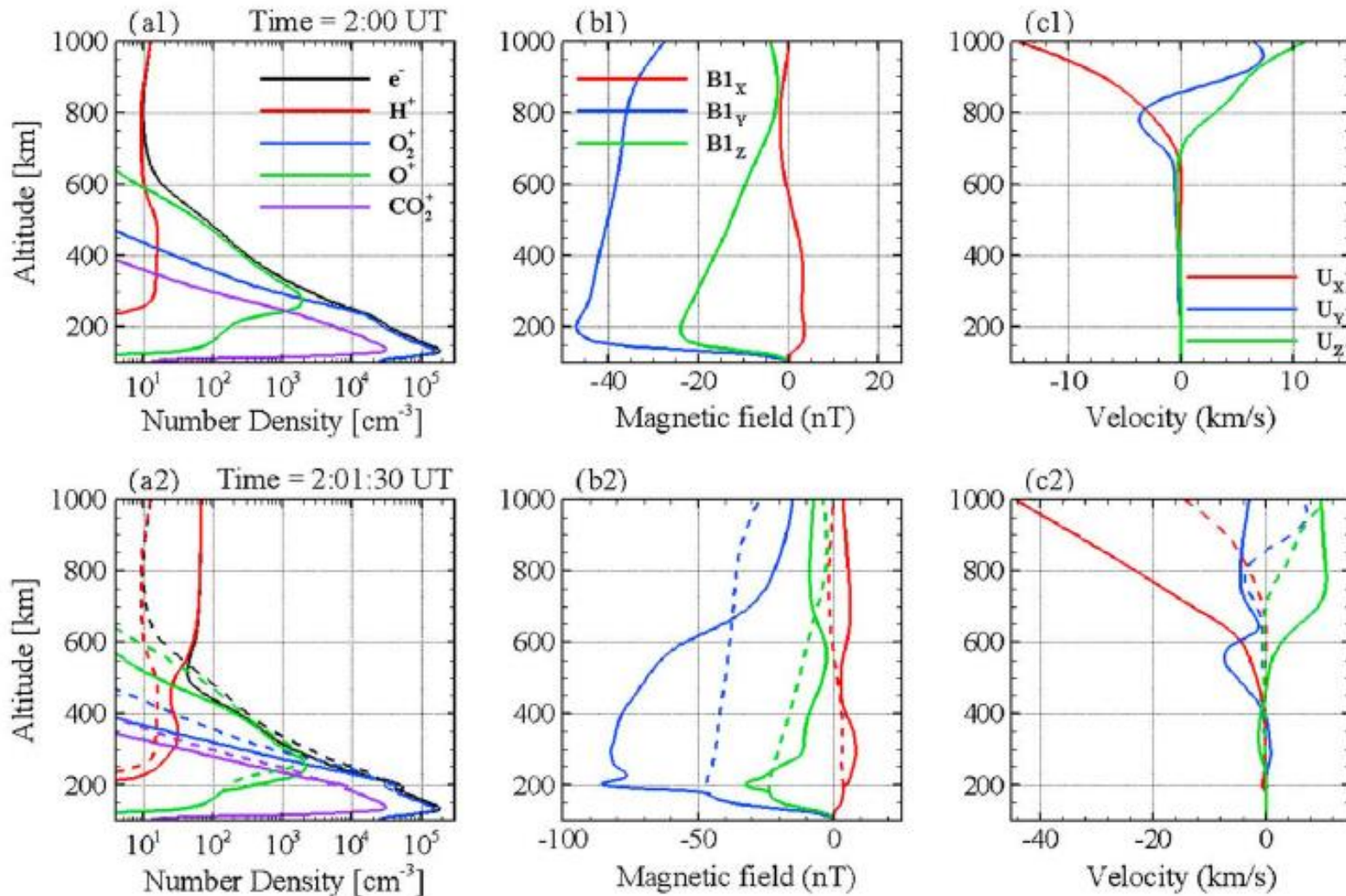


Figure 5. 太陽直下点上における物理量の時間変化

3.2 Event 1: Solar Wind Density Enhancement Event

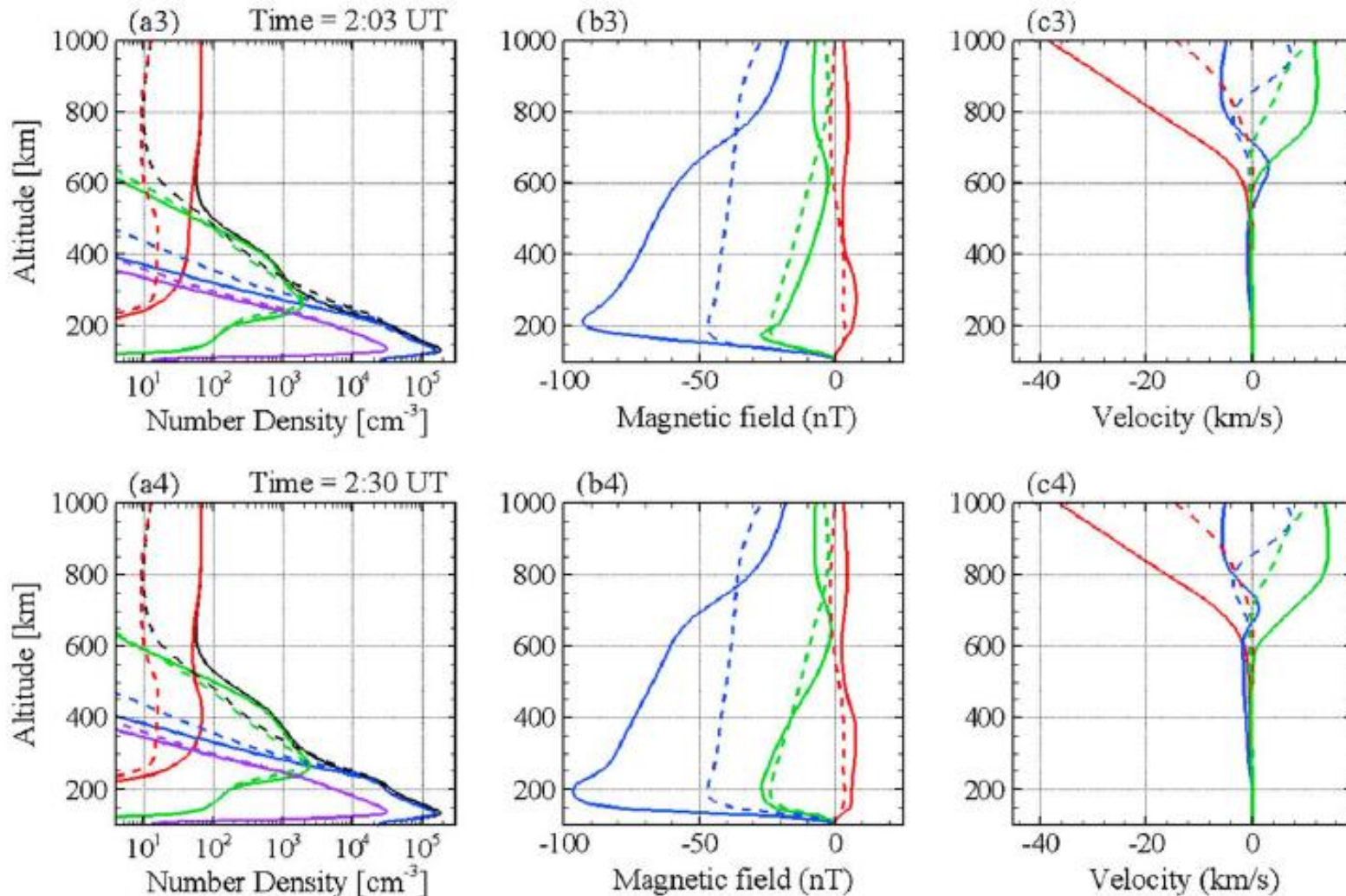


Figure 5. 太陽直下点上における物理量の時間変化

3.2 Event 1: Solar Wind Density Enhancement Event

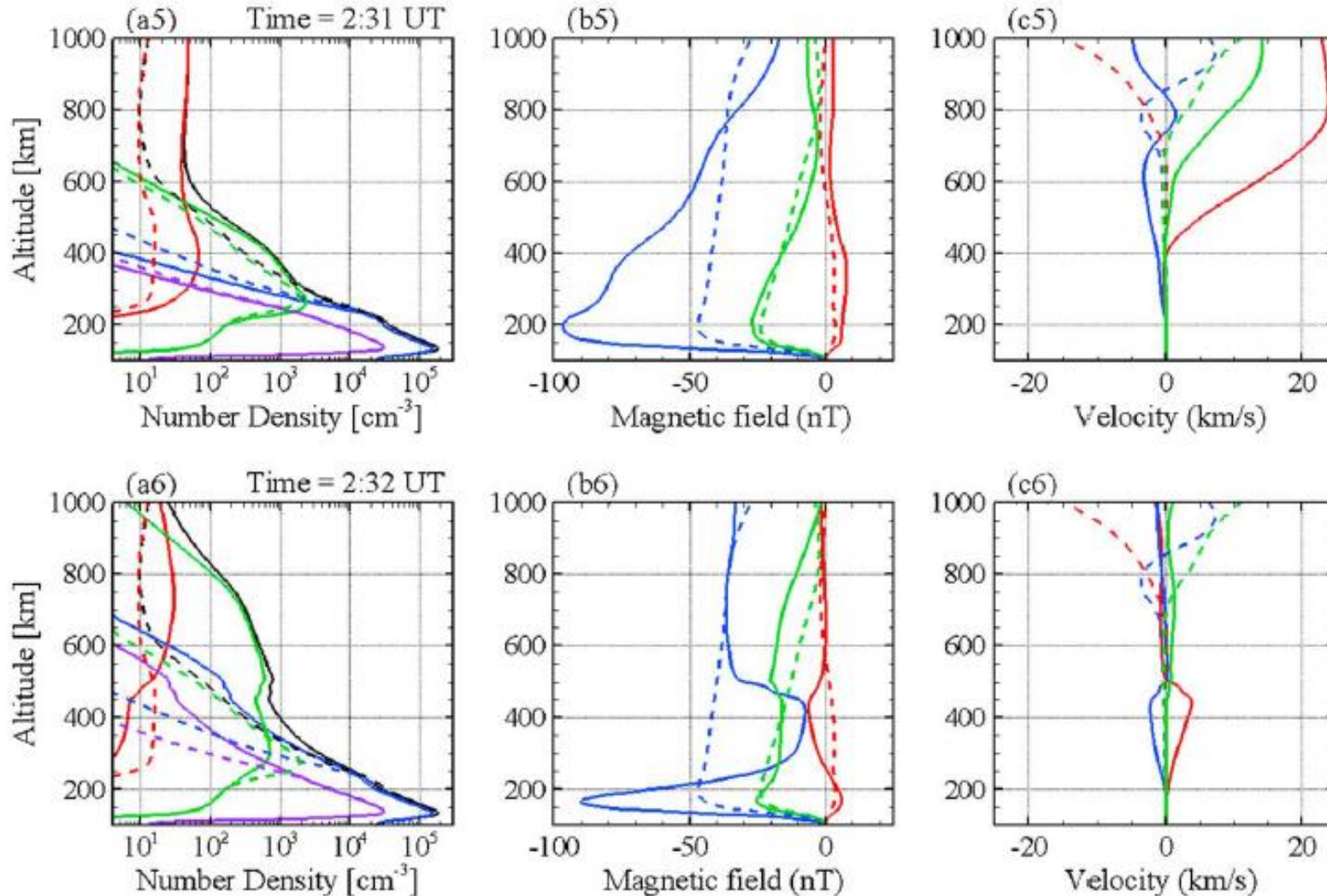


Figure 5. 太陽直下点上における物理量の時間変化

3.2 Event 1: Solar Wind Density Enhancement Event

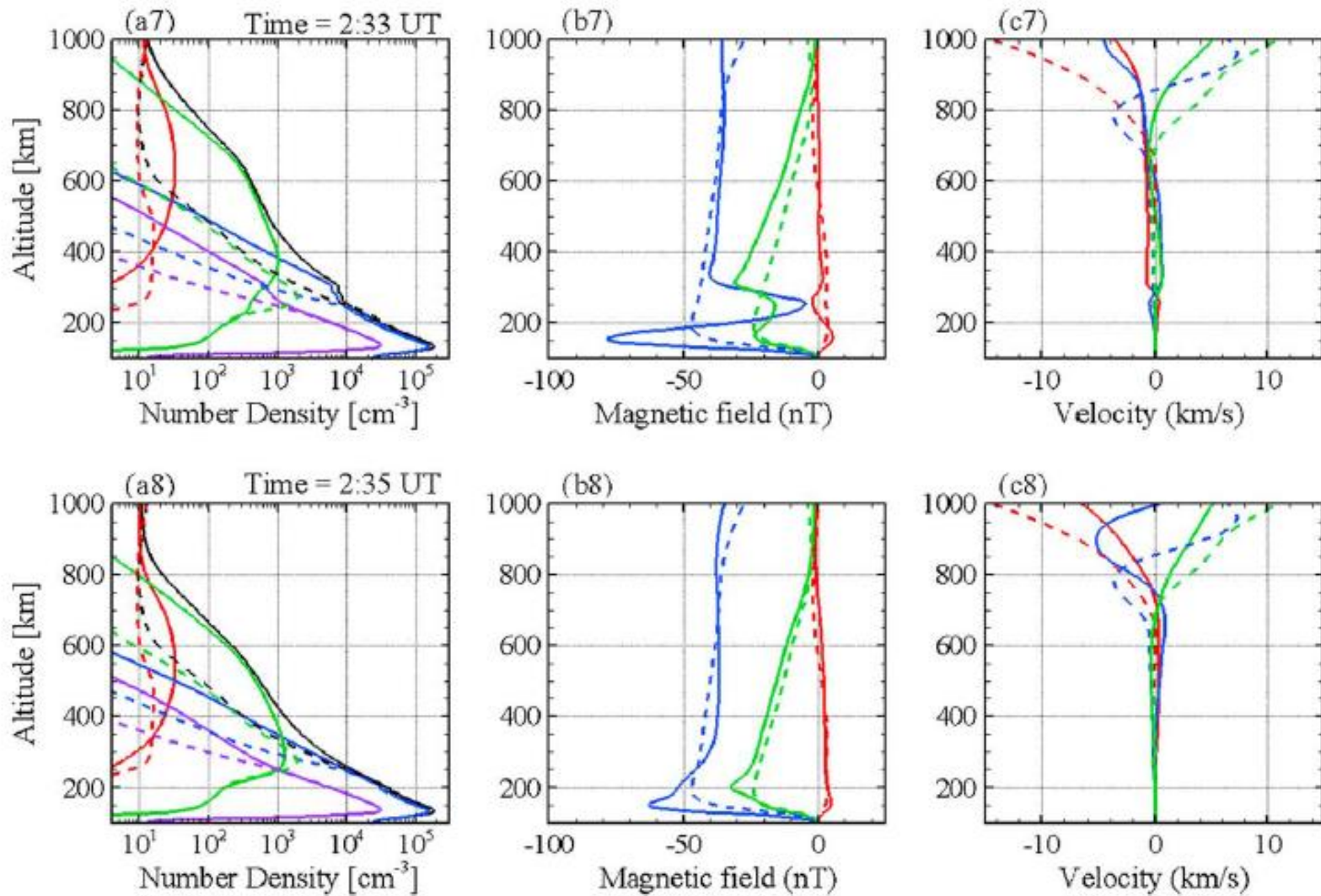


Figure 5. 太陽直下点上における物理量の時間変化

3.2 Event 1: Solar Wind Density Enhancement Event

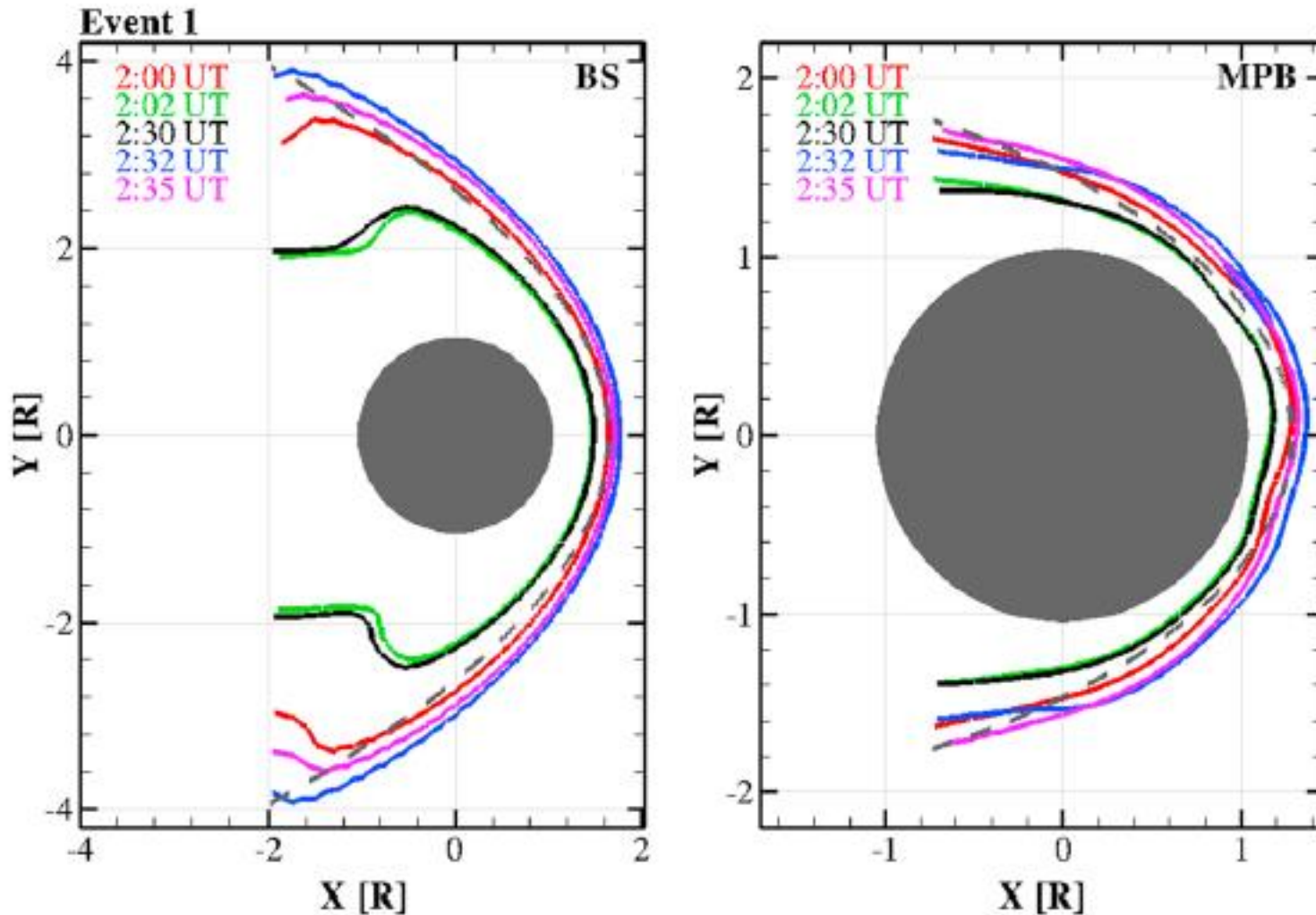


Figure 6(上). バウショック(左)とMPB(右)の時間変化

3.2 Event 1: Solar Wind Density Enhancement Event

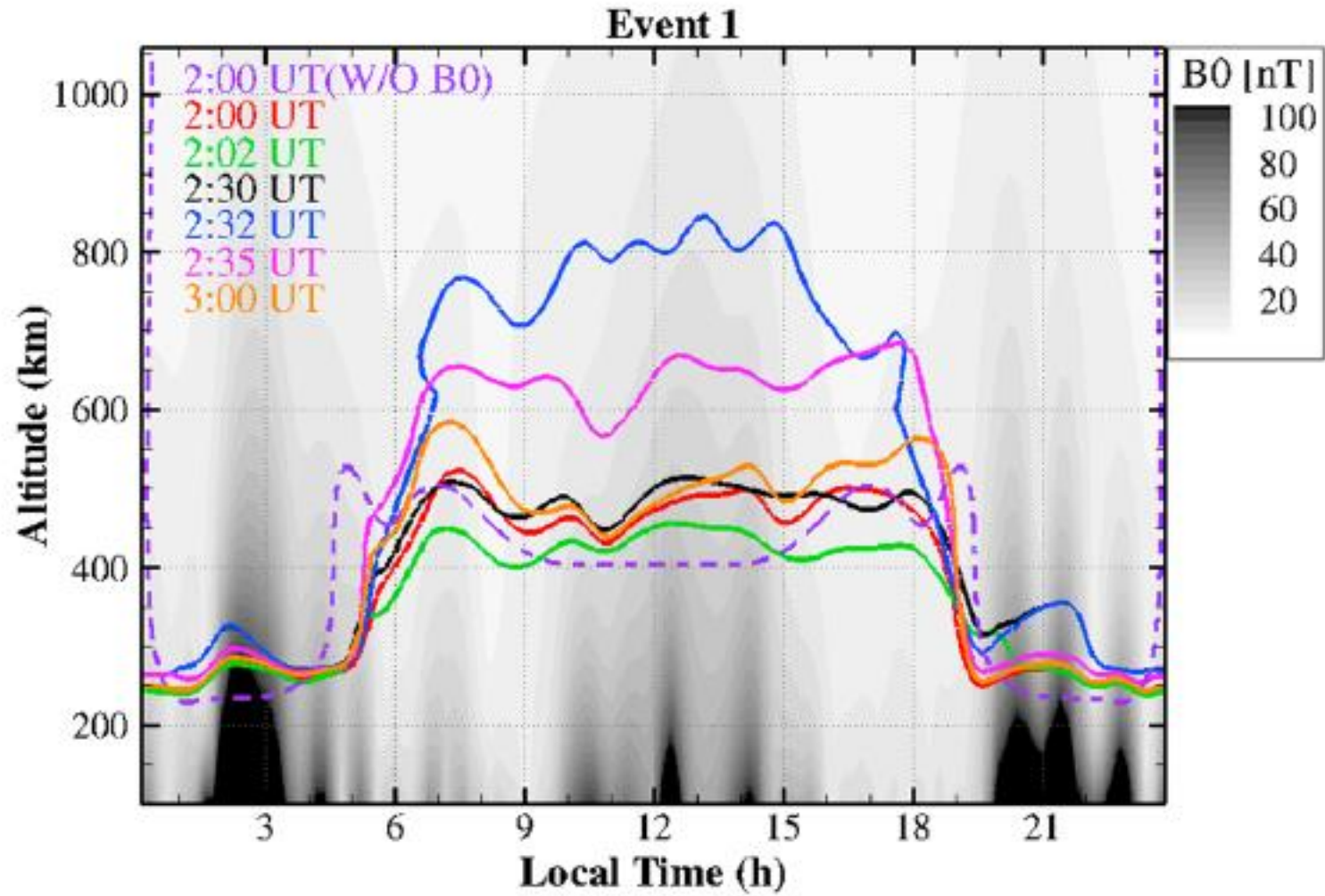
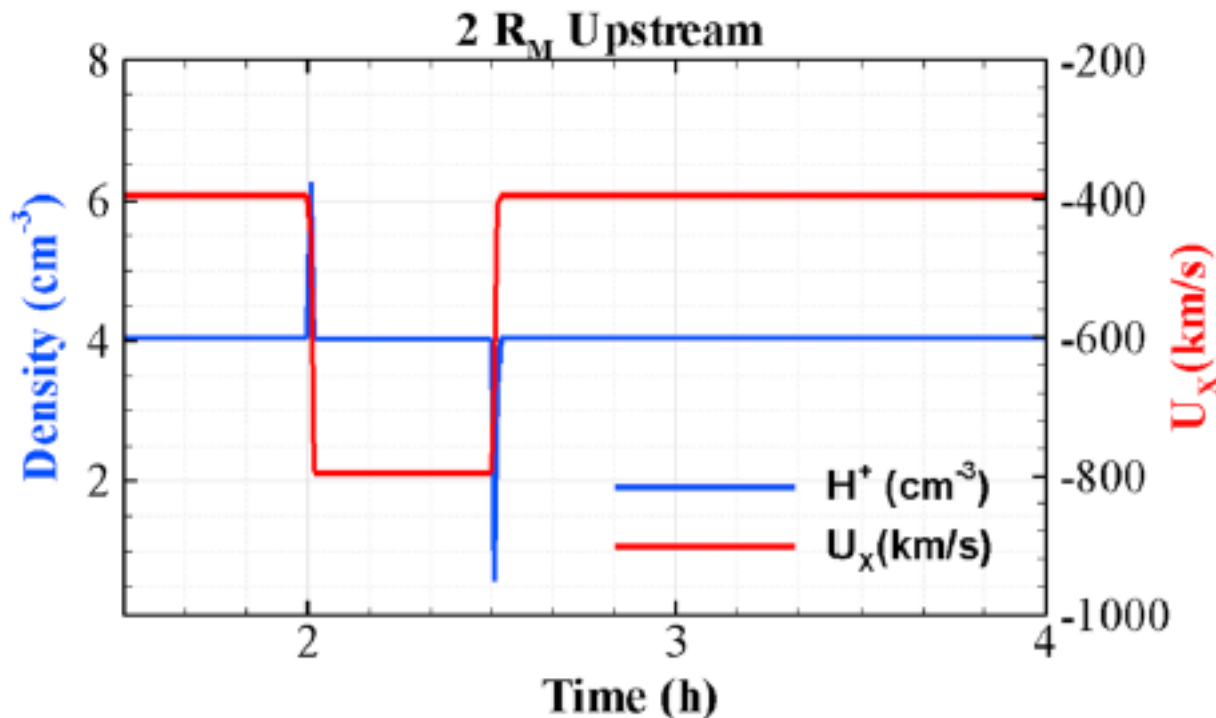


Figure 7(上). 電離圏界面(電子密度: 100cm^{-3})の時間変化

3.2 Event 2: Solar Wind Velocity Enhancement Event



太陽風の条件

1:00~2:00 初期条件

2:00~2:30 速度2倍
に増やす。

速度が急激に変わる
ため、変化の後に密
度のピークが立つ

2:30~5:00 初期条件

Figure 9. 上側境界で太陽風に与える時間変化

3.2 Event 2: Solar Wind Velocity Enhancement Event

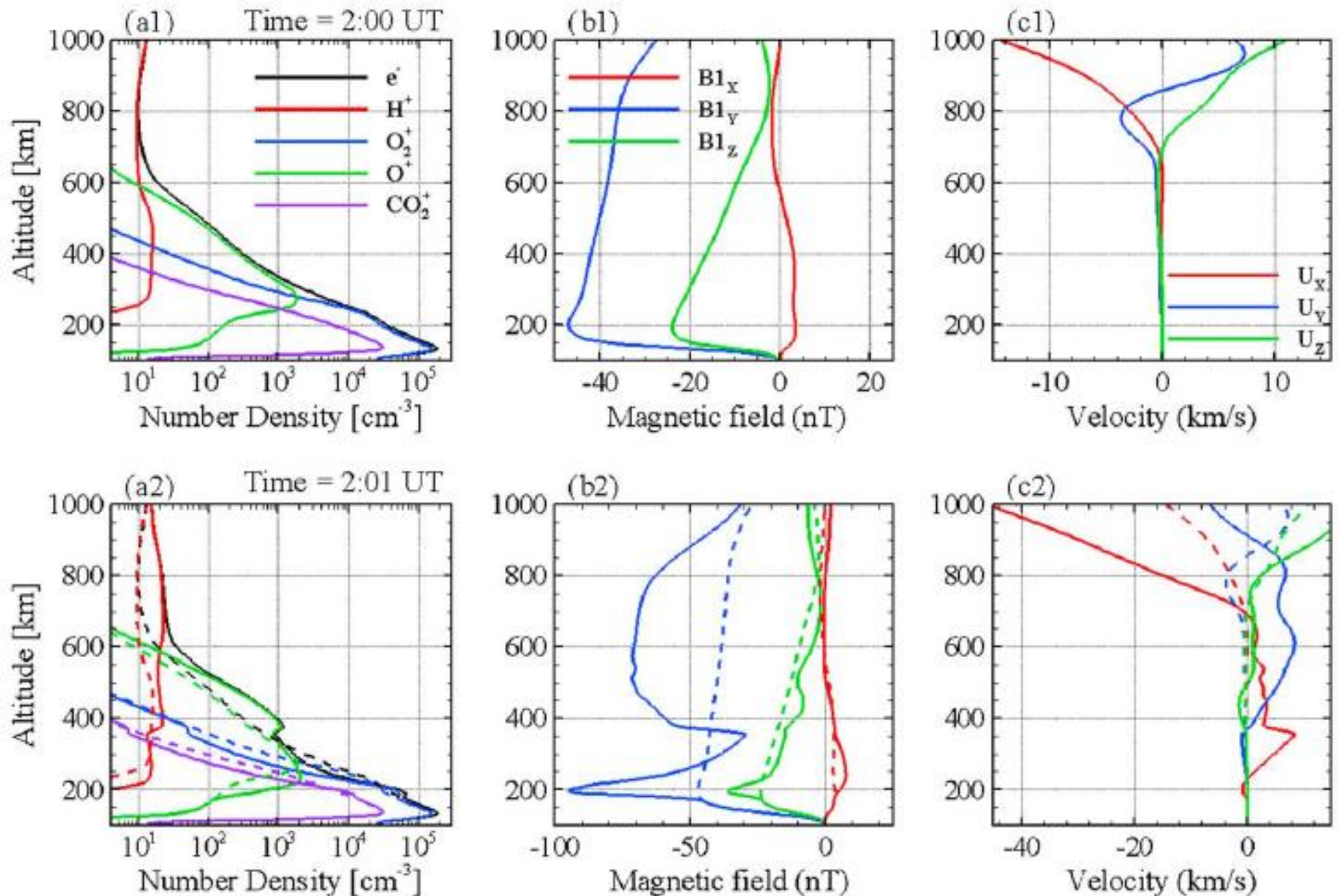


Figure 10. 太陽直下点上における物理量の時間変化

3.2 Event 2: Solar Wind Velocity Enhancement Event

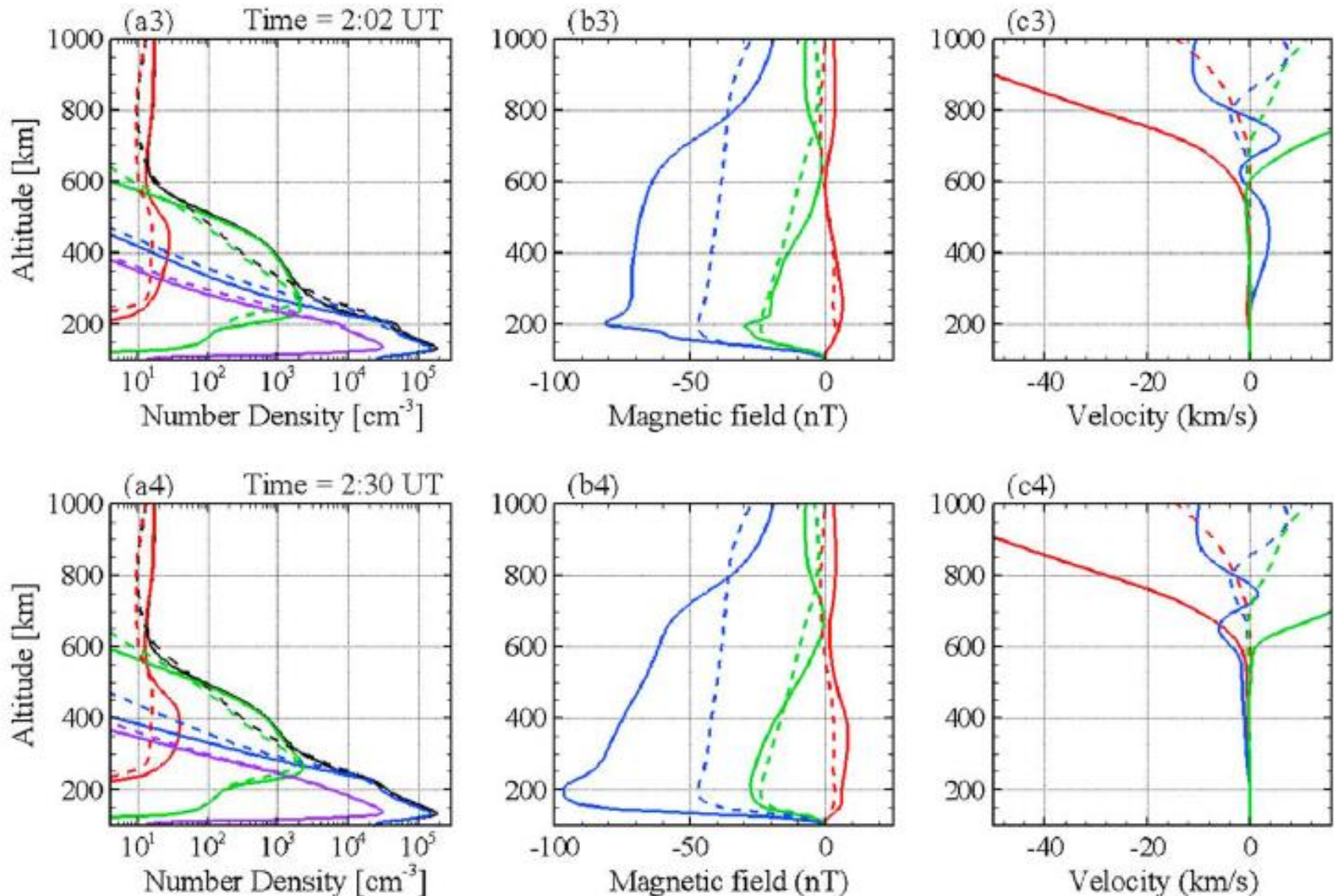


Figure 10. 太陽直下点上における物理量の時間変化

3.2 Event 2: Solar Wind Velocity Enhancement Event

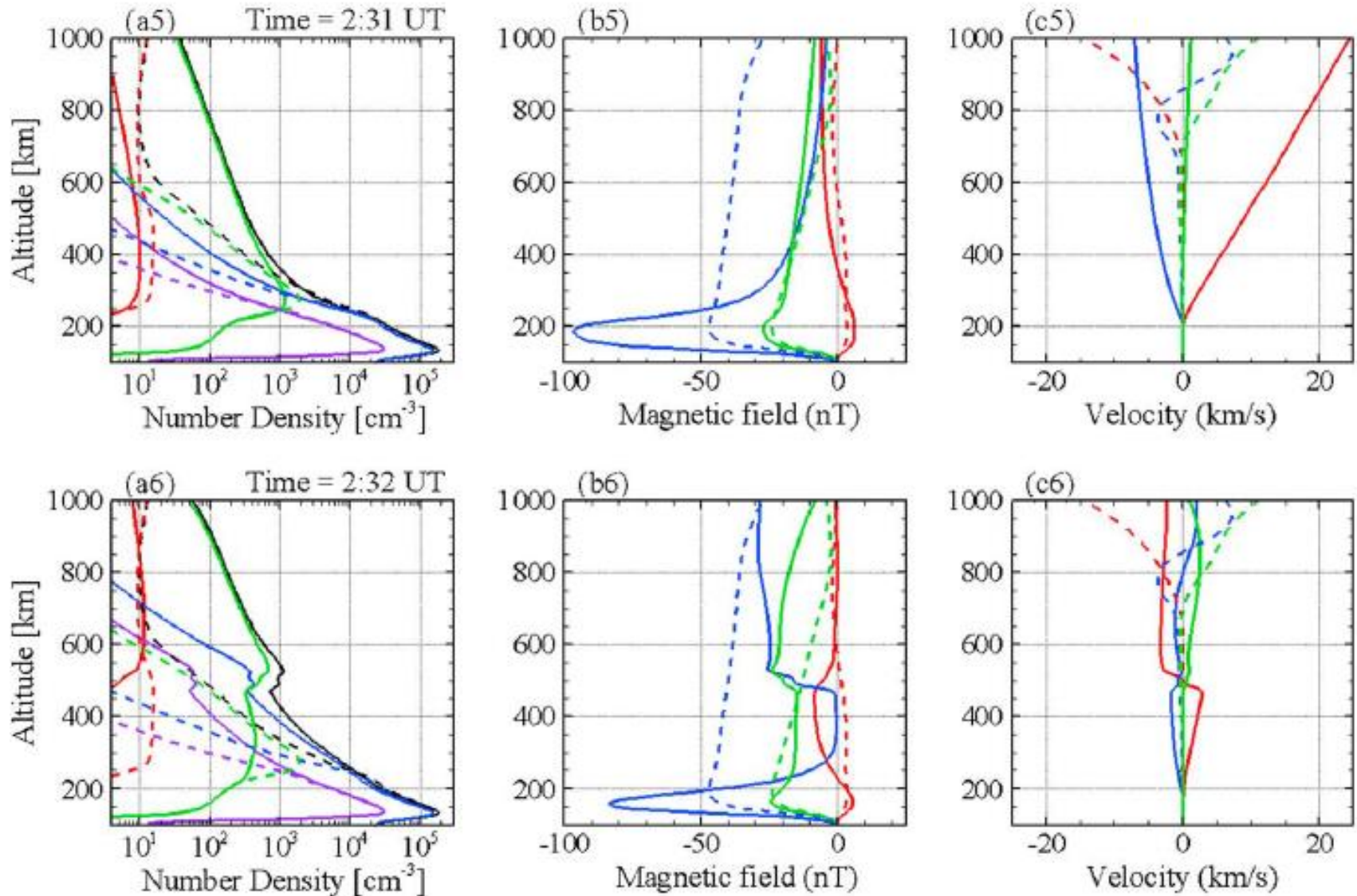


Figure 10. 太陽直下点上における物理量の時間変化

3.2 Event 2: Solar Wind Velocity Enhancement Event

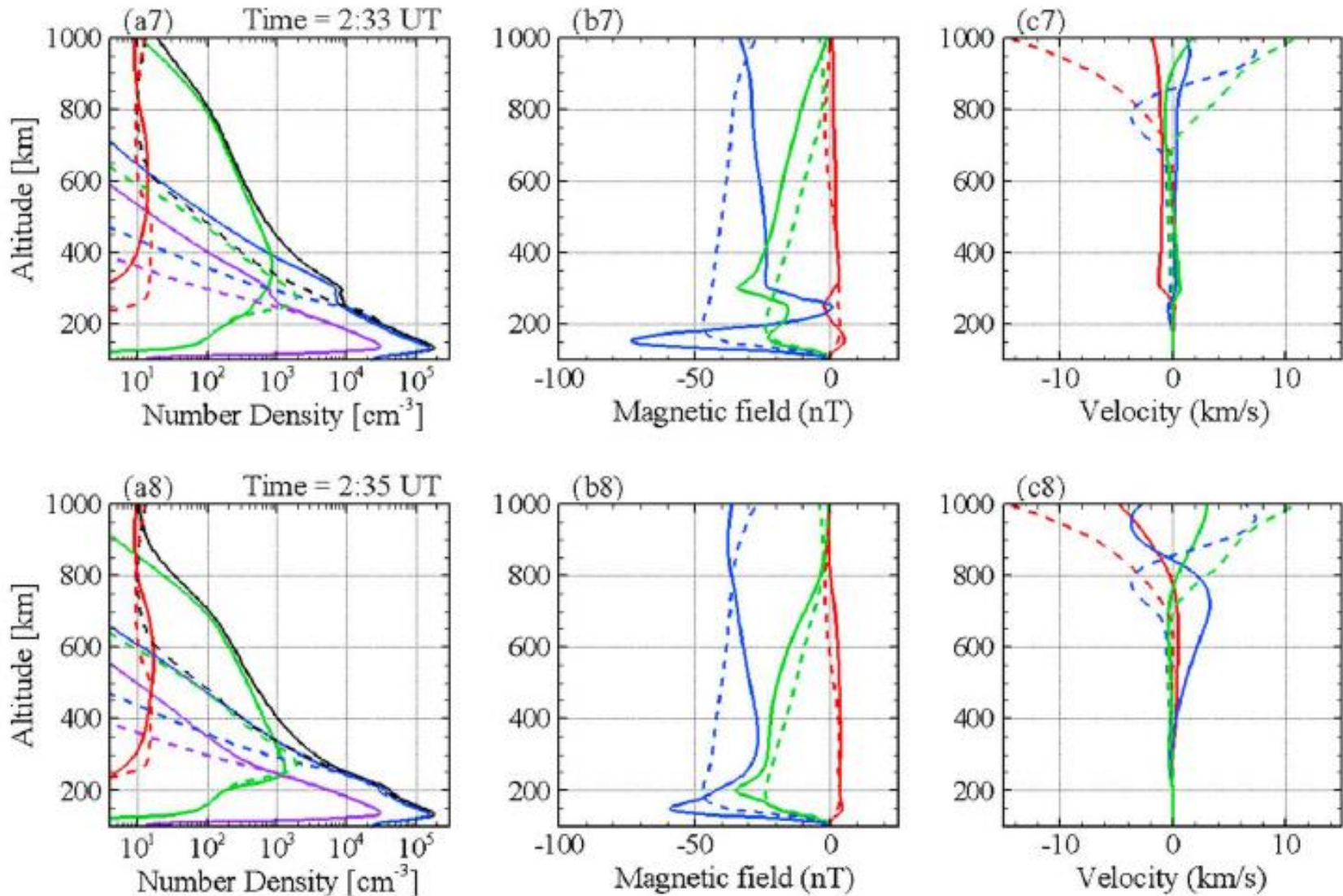


Figure 10. 太陽直下点上における物理量の時間変化

3.2 Event 2: Solar Wind Velocity Enhancement Event

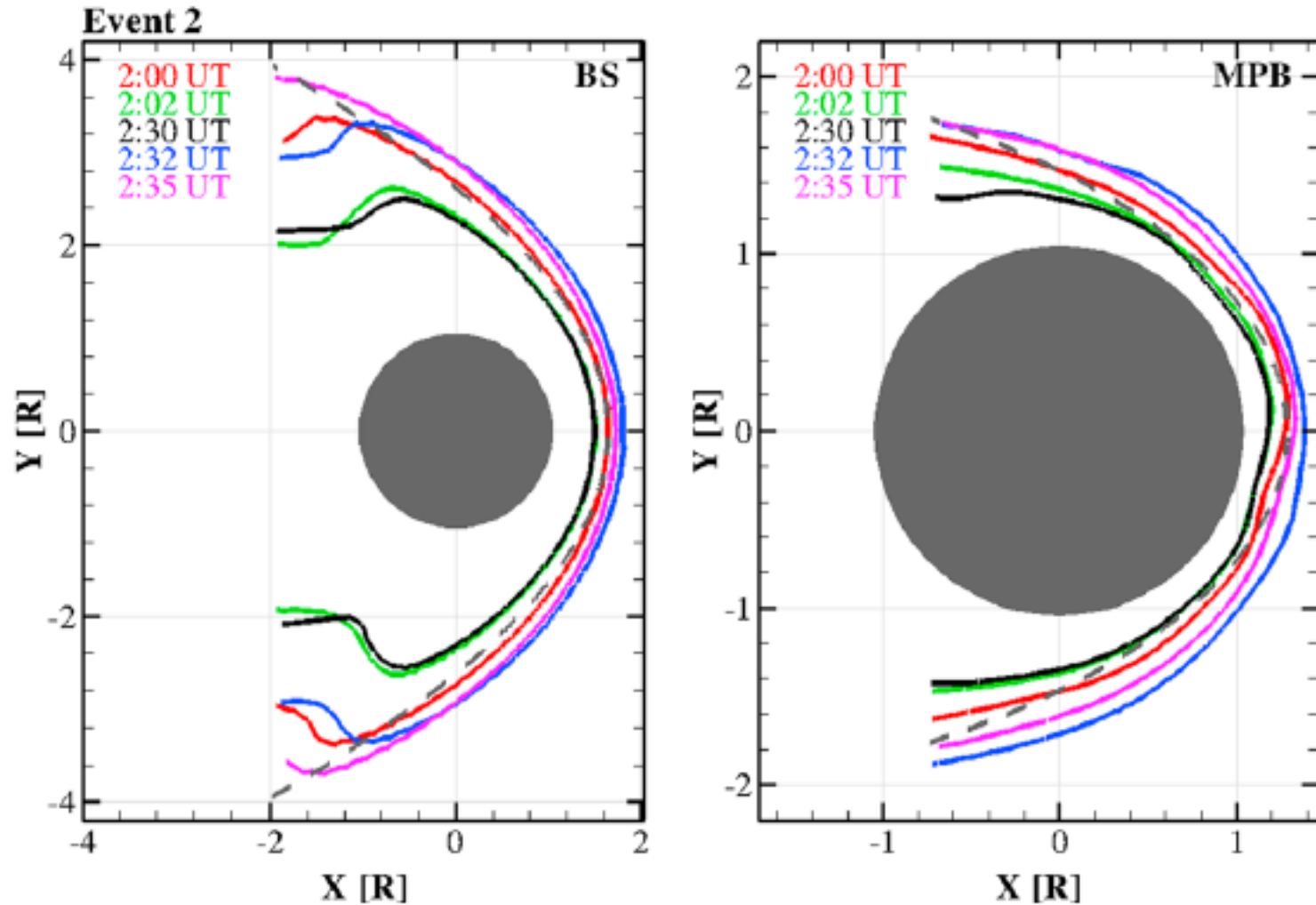


Figure 6(下). バウショック(左)とMPB(右)の時間変化

3.2 Event 2: Solar Wind Velocity Enhancement Event

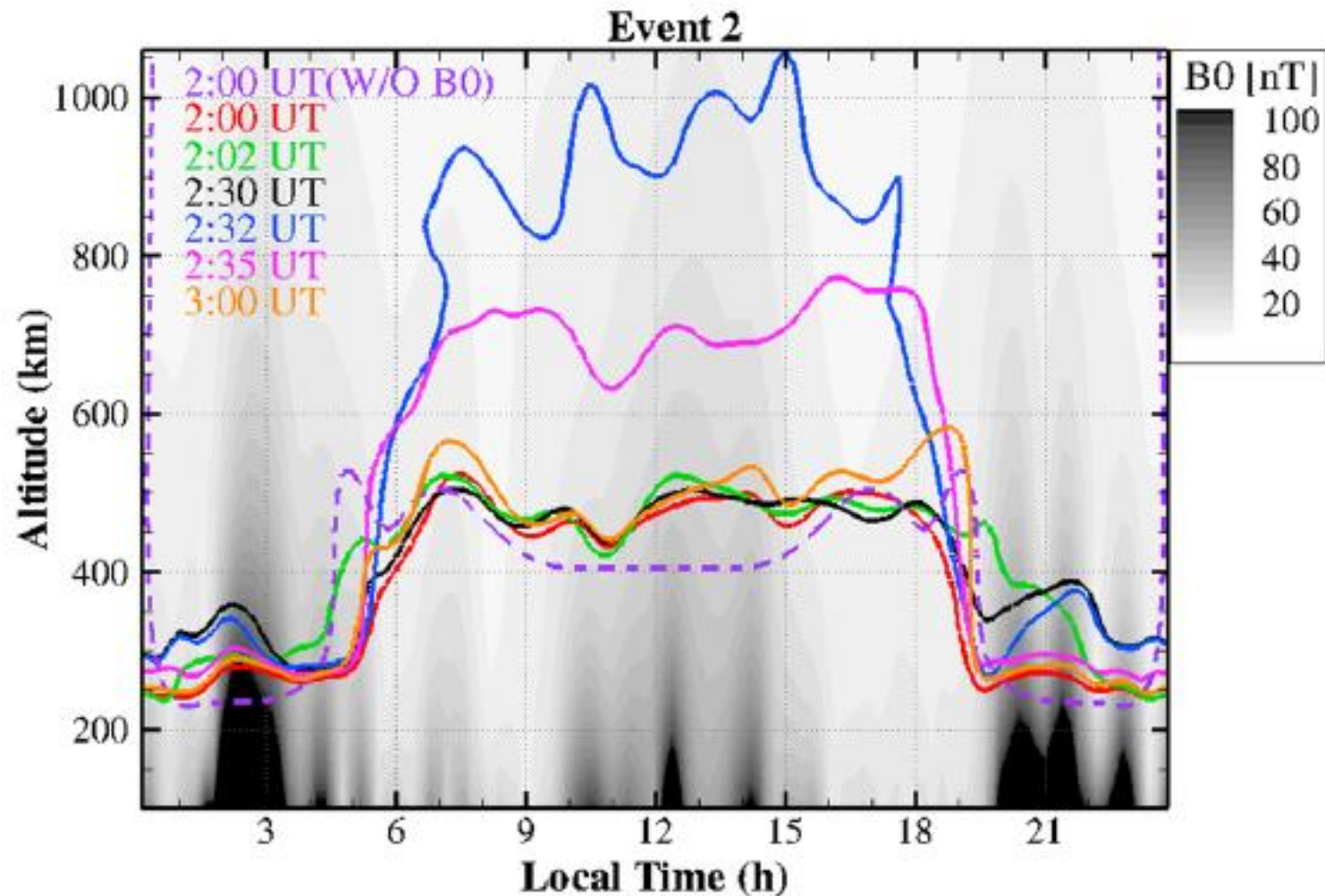


Figure 7(下). 電離圏界面(電子密度: 100cm^{-3})の時間変化
LT12付近、2:00~2:30間でEvent1ほどの変化がない。

3. Simulation Result

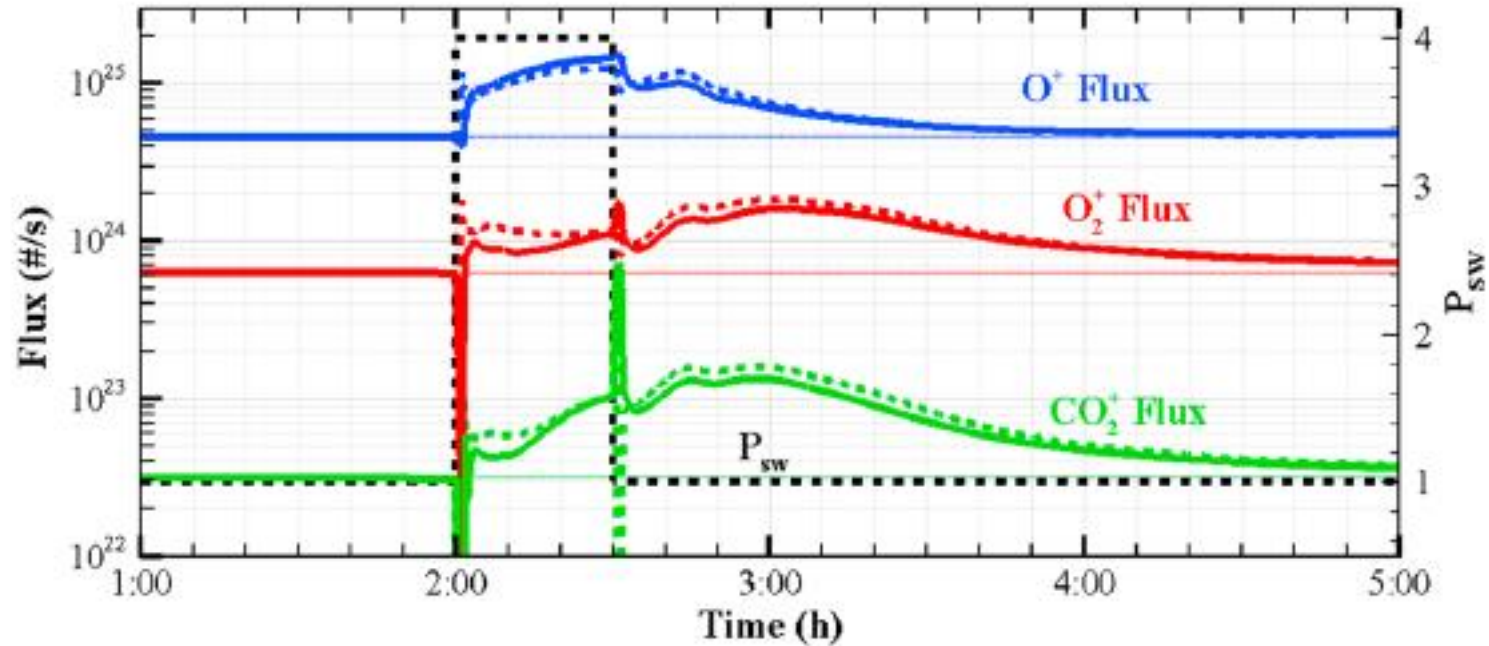


Figure 8. イオンの散逸率 Event1:実線 Event2:点線
火星から $6R_M$ において外向きのフラックスであるとき、散逸とみなして見積もり。

両Eventの変化により、散逸フラックスは似た形で増加
O⁺ は4:00でほぼ定常状態に戻るが、重い他2種は定常状態の1.5倍のフラックスが続いている。

4. Summary

- 3-D MHDを用いて、太陽風の変化に対する火星電離圏の応答を研究した
- 密度を増やしたEvent1と速度を増やしたEvent2では、電離圏の応答に似た結果が見られた。
- Event2では O_2^+ , CO_2^+ がEvent1より多く散逸し、Event1では O^+ が多く散逸した。
- 全体を通して、火星電離圏は密度や速度の変化に分単位の応答が見られたが、回復には長い時間が必要であった。
- MAVENやMEXの観測結果の電離圏観測結果が望まれる

おわり