

“MAVEN observations of solar wind hydrogen deposition in the atmosphere of Mars”

by J. S. Halekas et al.

Geophys. Res. Lett., 42, 8901–8909,
doi:10.1002/2015GL064693

Key points:

- We observe H⁺ and H⁻ in the atmosphere of Mars, at the solar wind energy
- Solar wind protons charge exchange and penetrate as ENAs then reconvert
- MAVEN can monitor hydrogen deposition and backscatter in the atmosphere

火星勉強会拡大版

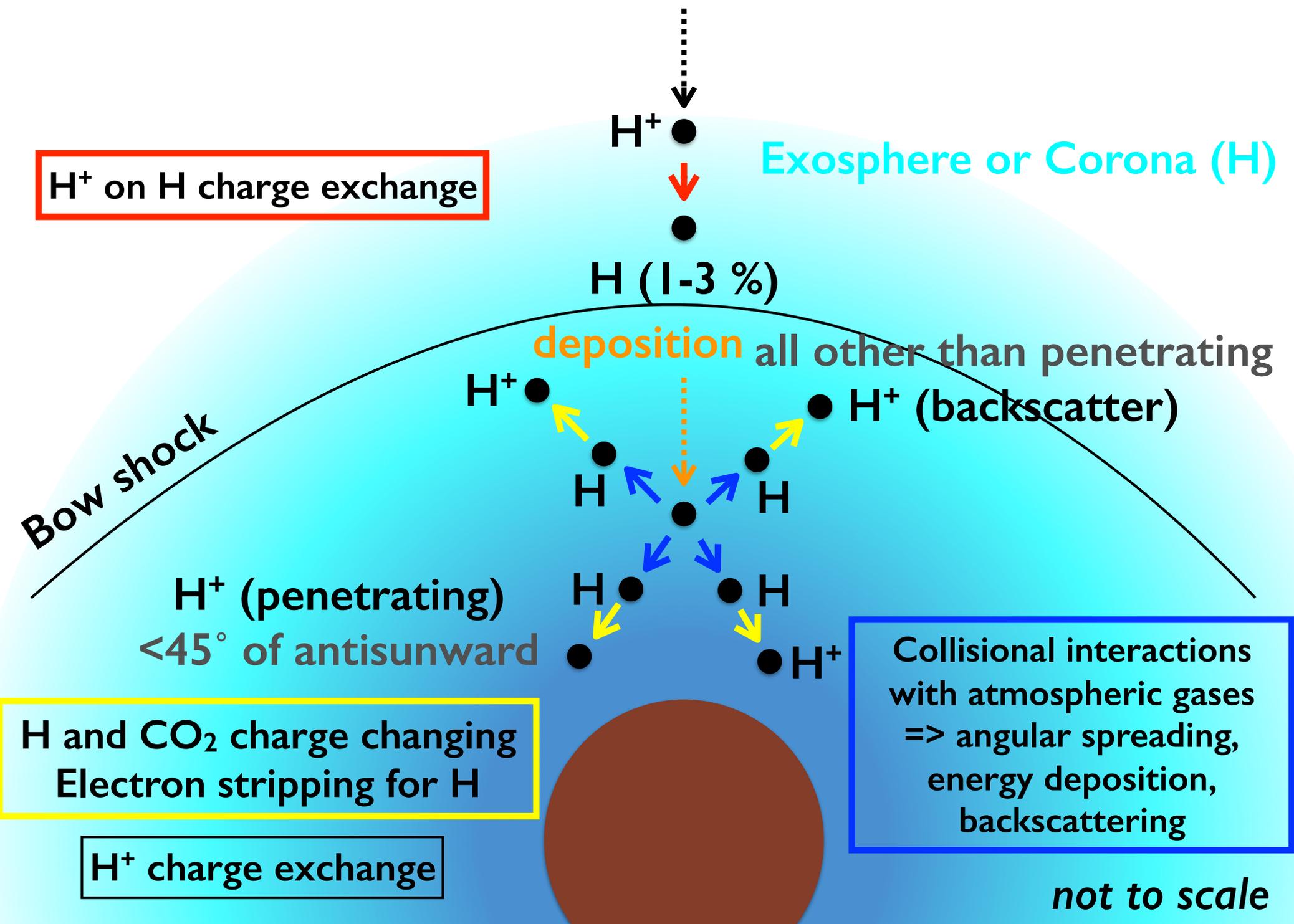
2015年12月23日-24日

於 東京大学

桂華邦裕 (名古屋大学宇宙地球環境研究所)

対象とする現象の概要

Upstream solar wind H^+

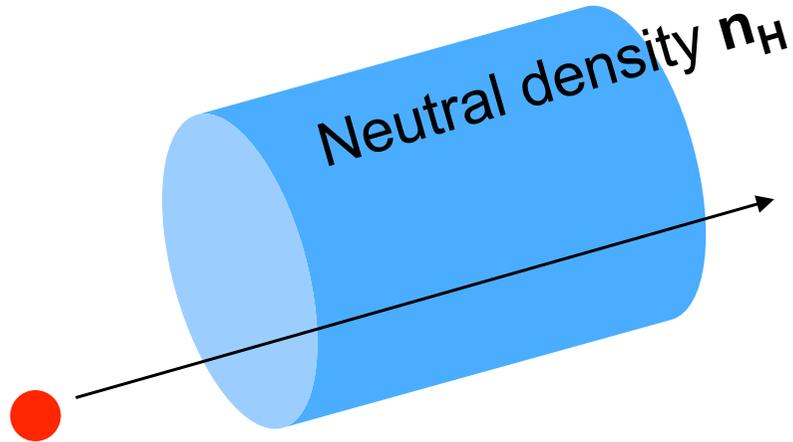


Charge exchange

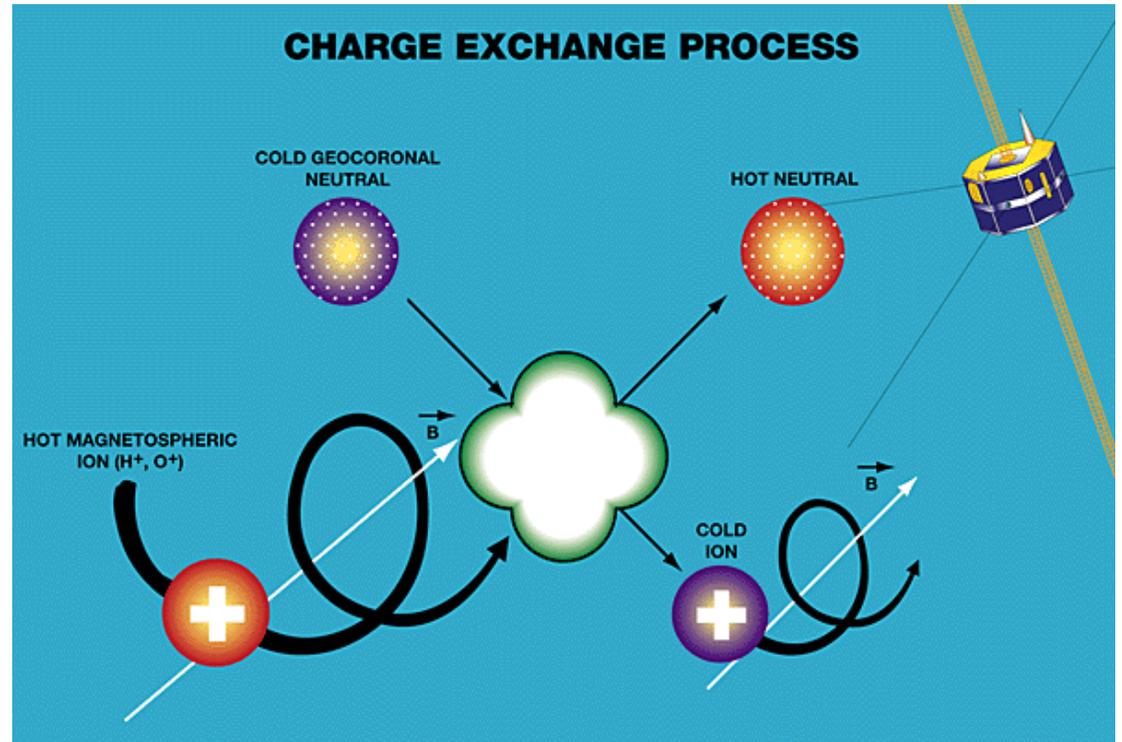
Lifetime of ions

$$\tau = \frac{1}{n_H \cdot \sigma_{ij} \cdot v}$$

Cross section σ

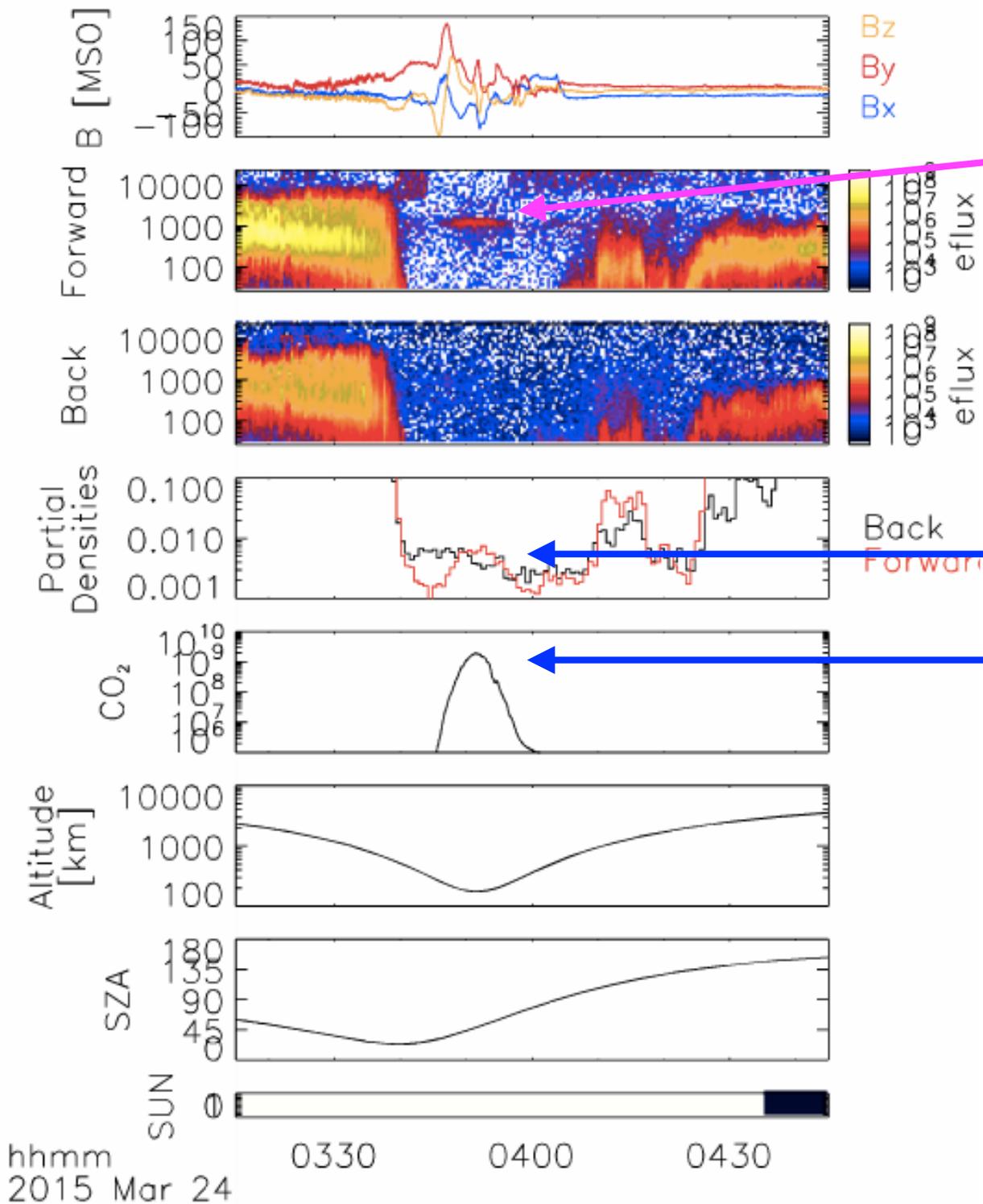


Incident ions with speed of v



NASA IMAGE mission

- $J_{ENA} \sim \int \sigma_{i0} n_H J_{SW} ds$ (line-of-sight integration)



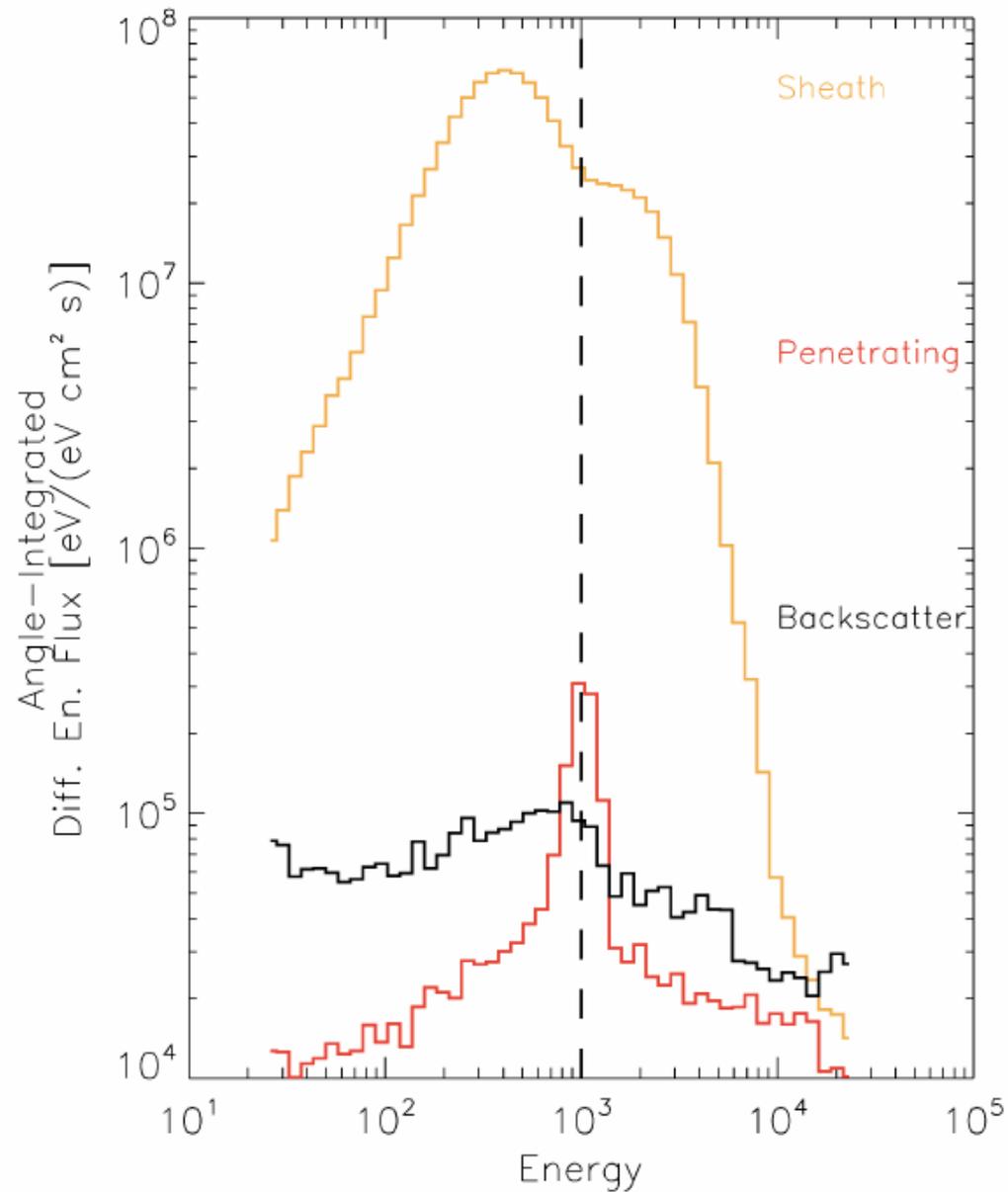
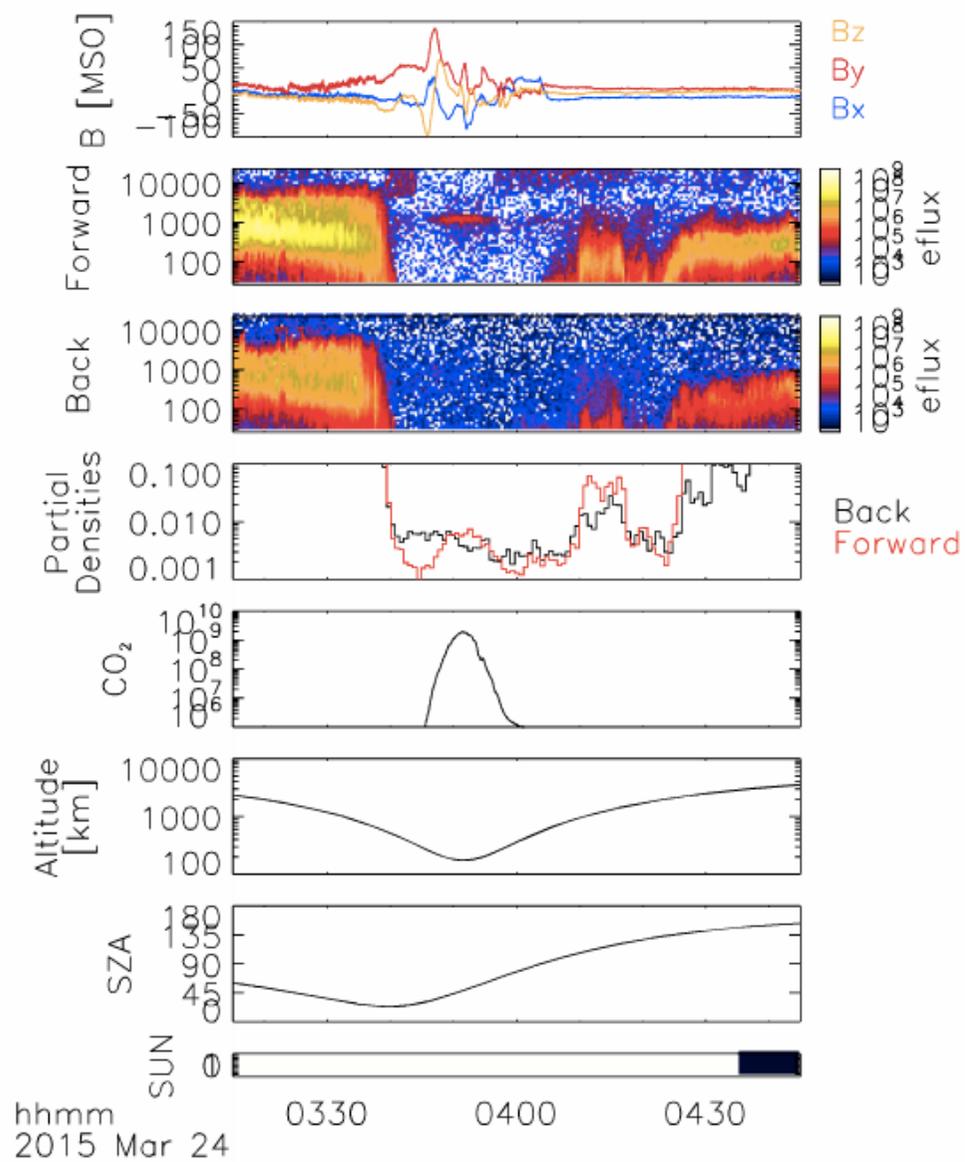
- Penetrating ions

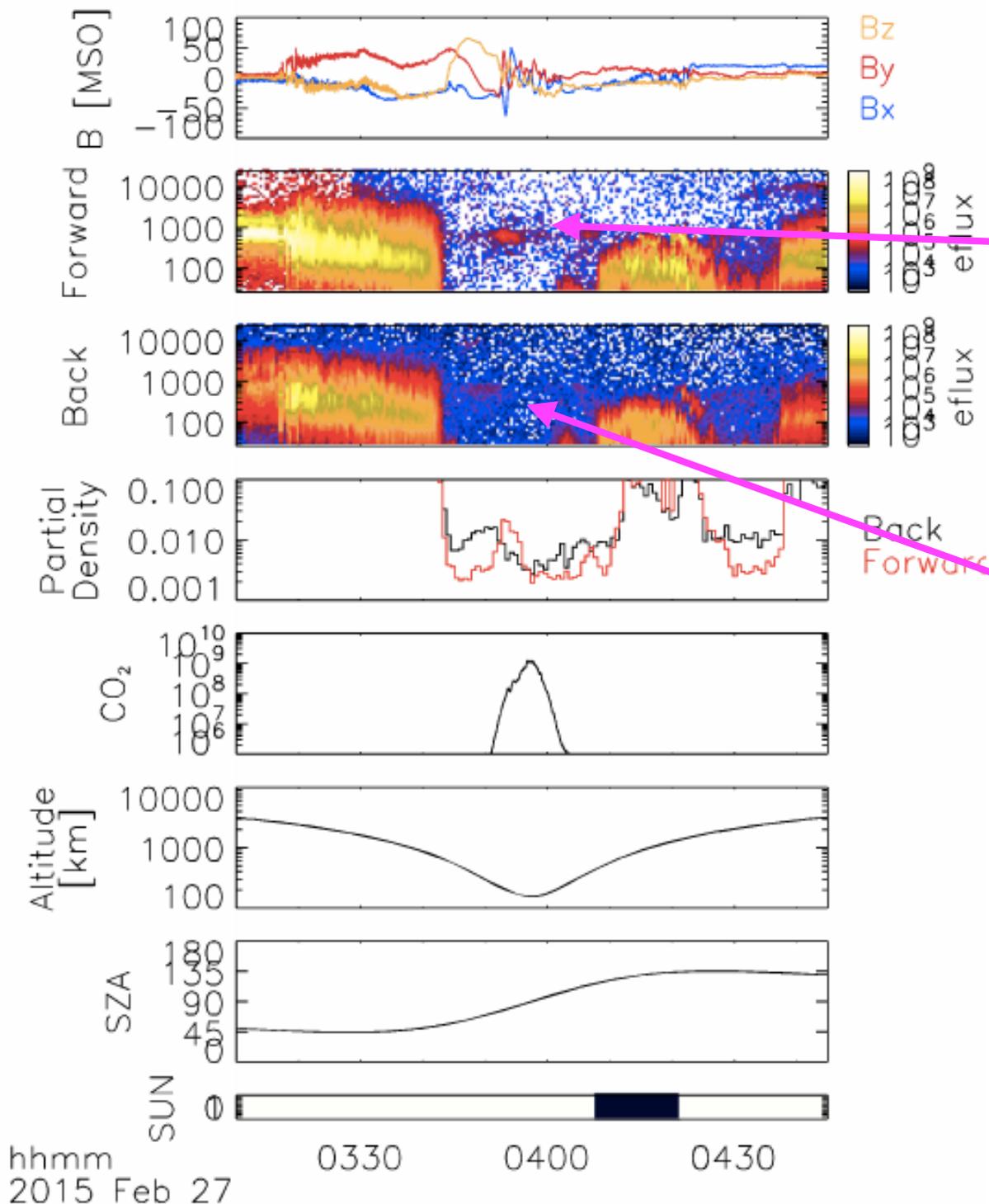
- 1 keV付近で単一エネルギー帯ピーク、近火星点付近

- 近火星点 (~160 km)、CO₂密度最大地点で密度ピーク

- イオン密度はCO₂密度ほど急昇しない。イオン化後の再中性化の影響と思われる。

-

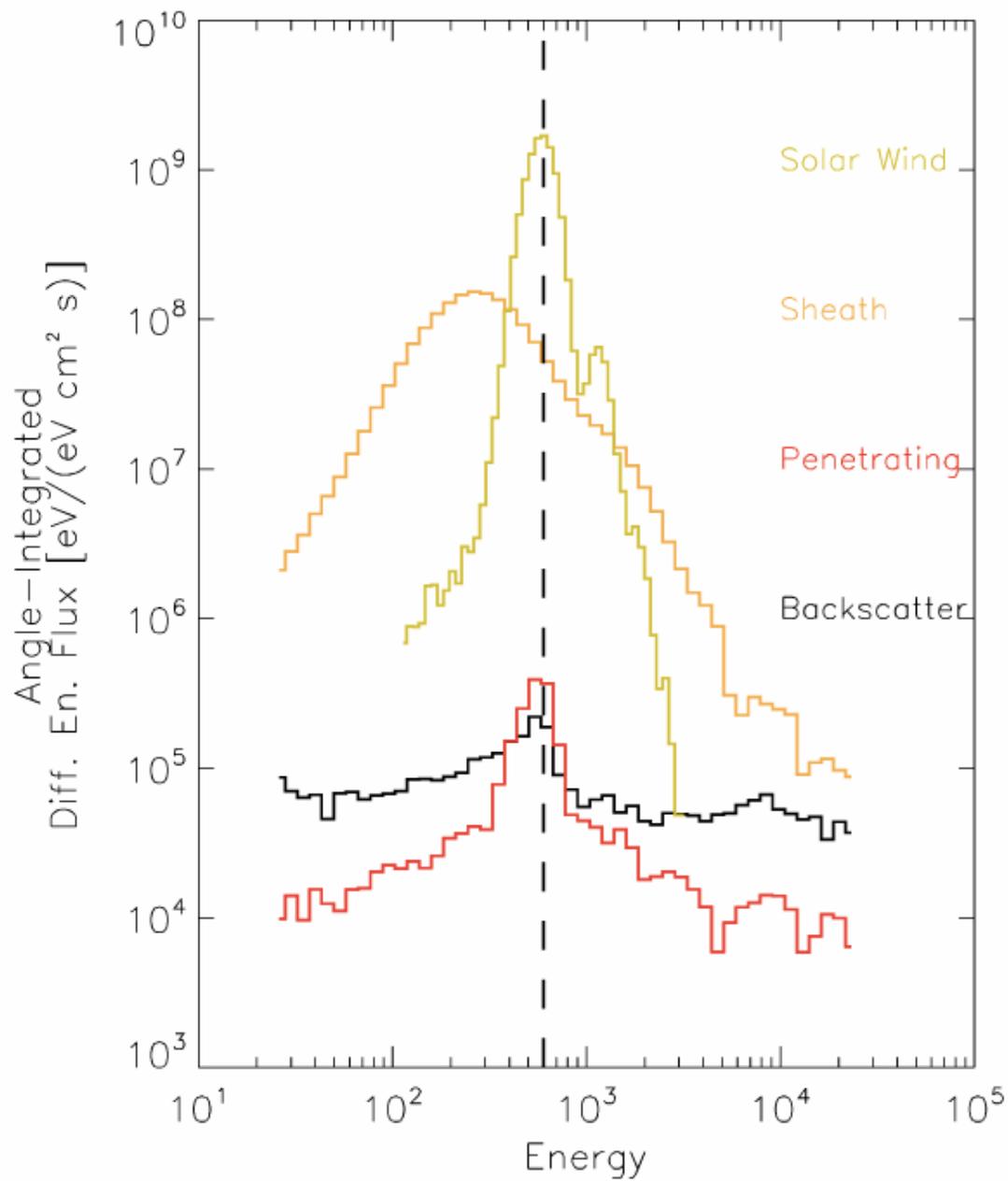
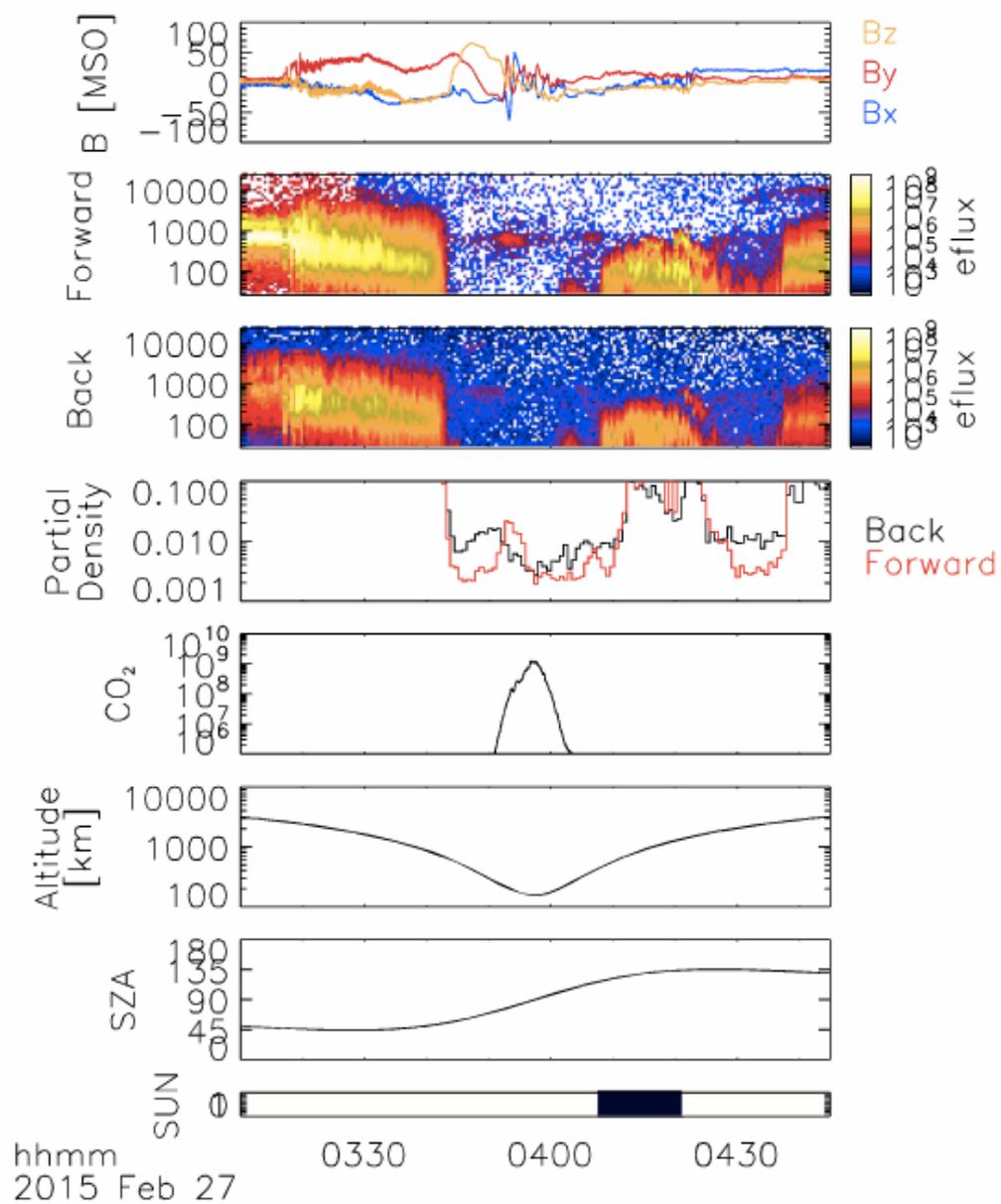


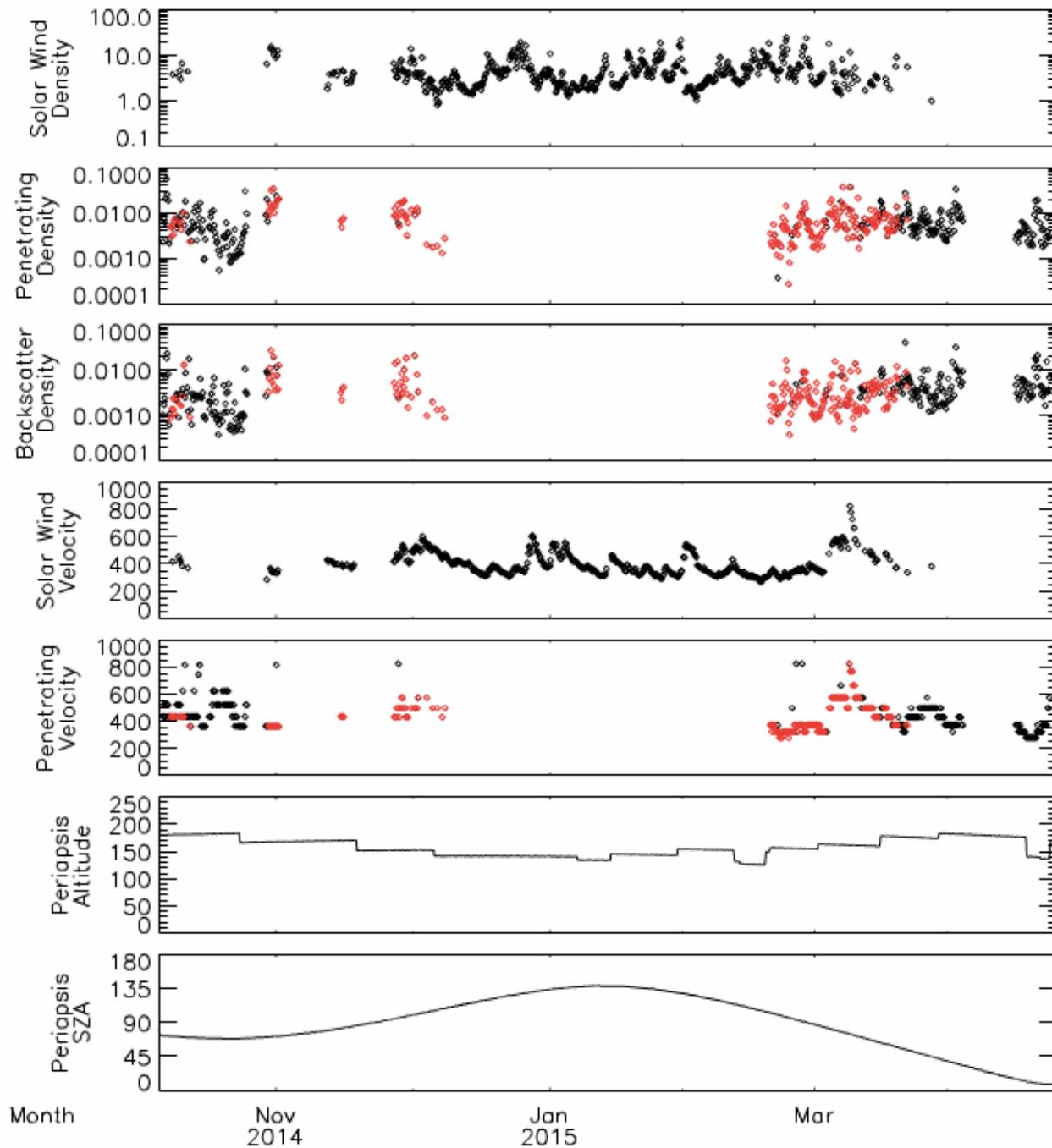


- Penetrating ions (near terminator)

- フラックスピークが2カ所。近火星点でフラックス最小。多量の吸収や散乱を示唆。

- Backscatterイオンは太陽風より低エネルギー。大気との衝突によるエネルギーロス、シース太陽風の侵入が考えられる。

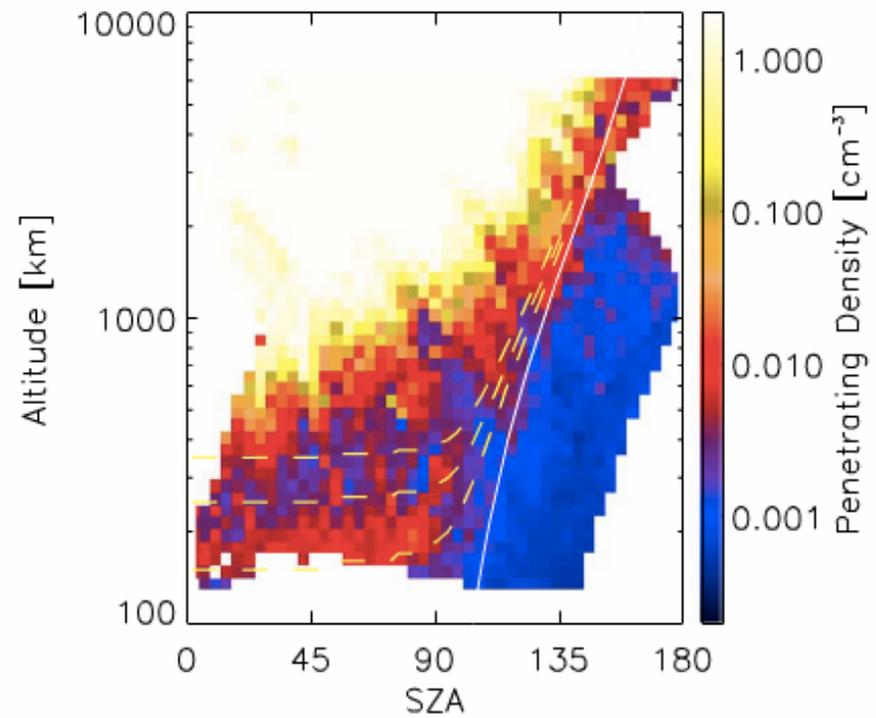
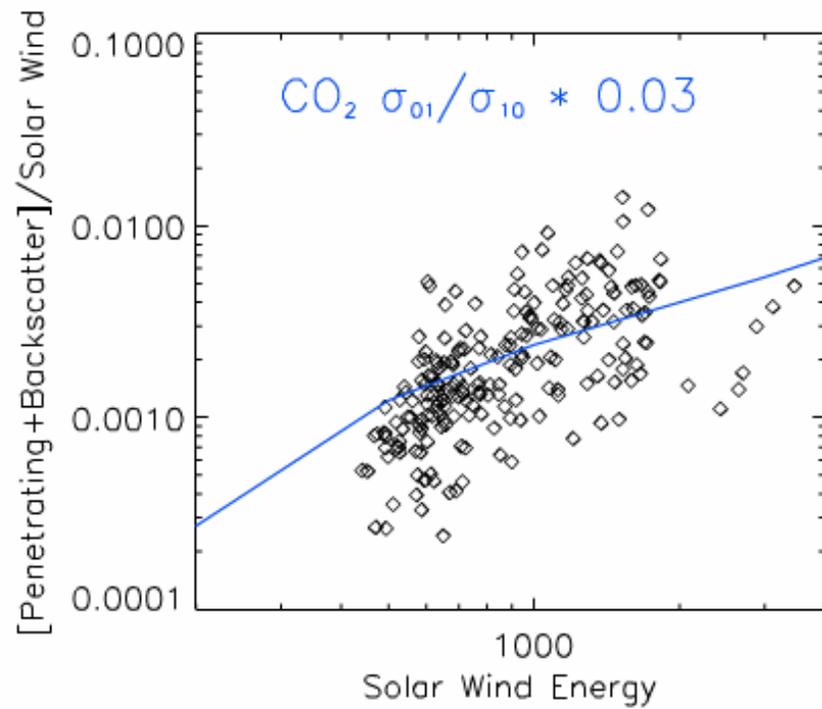
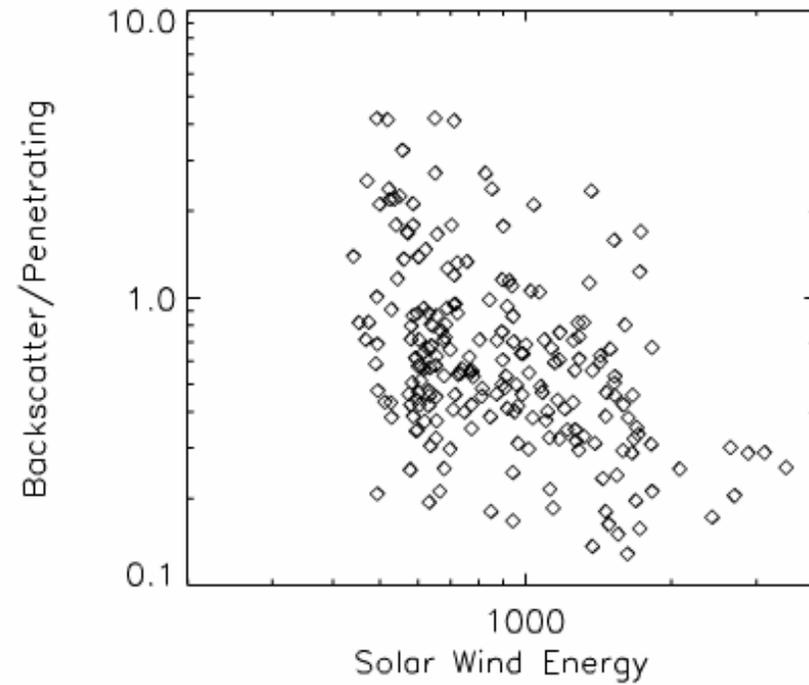
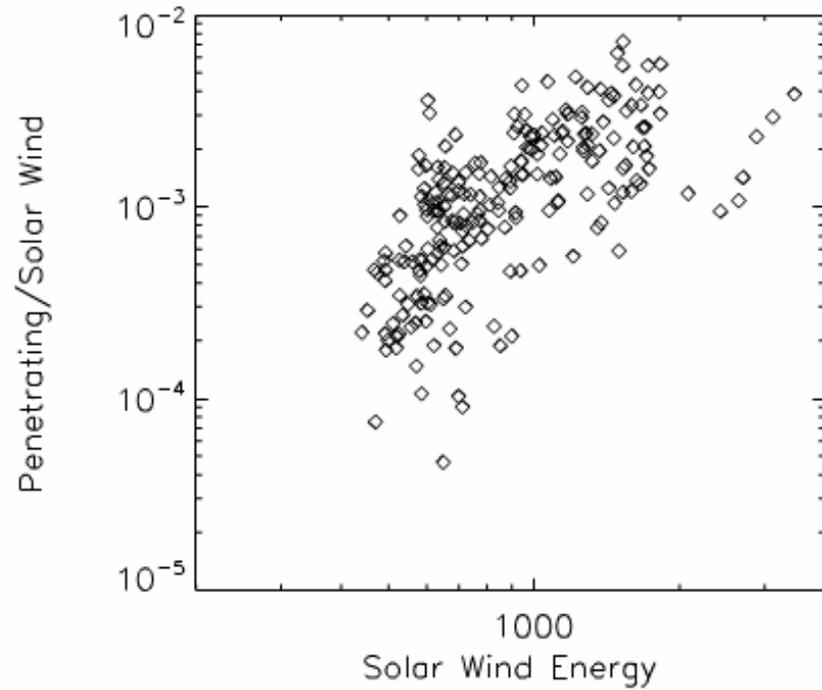


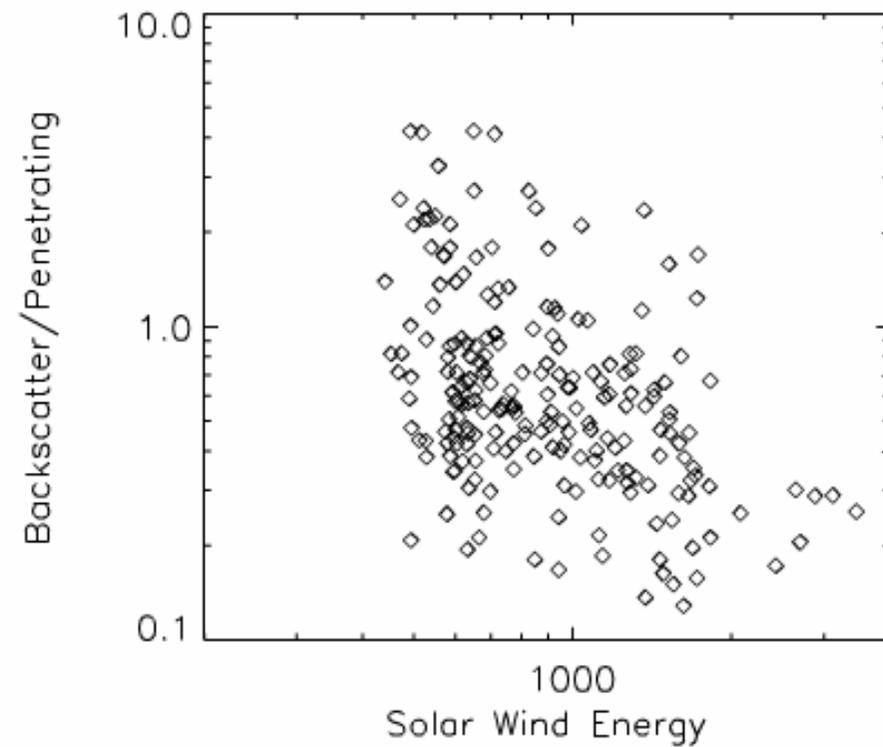
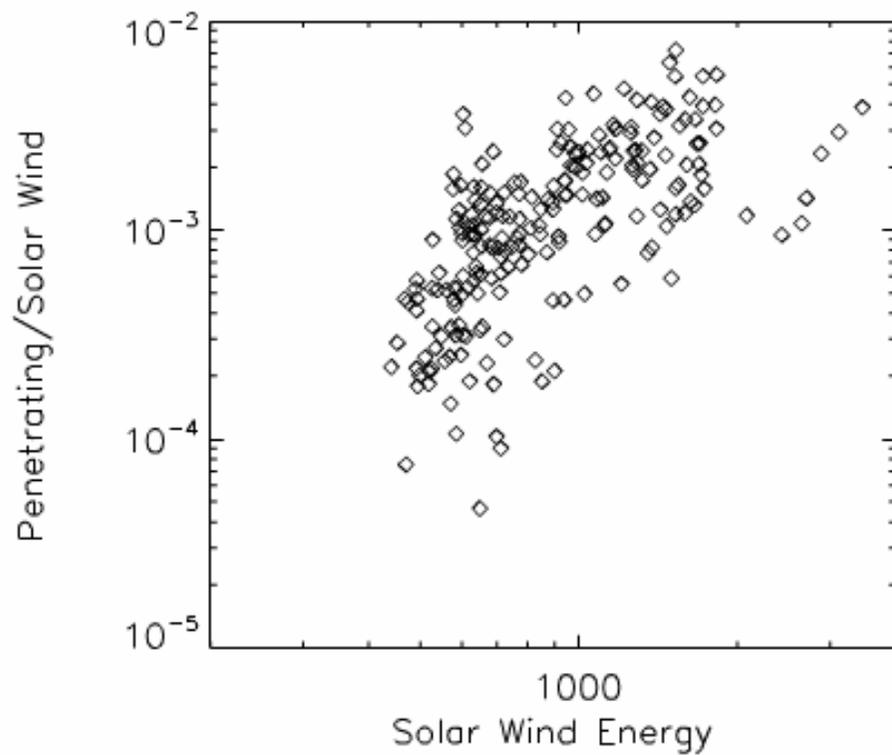


- Upstream solar wind & Penetrating protons (all orbits)
 - 赤点：Penetrating populations (高度150-250 km、200-4000 eV) が15%以内の差で太陽風速度を推測している期間。
 - Penetratingイオン、Backscatterイオンともに、上流太陽風密度の変動を明瞭に追跡している。

•

Statistics

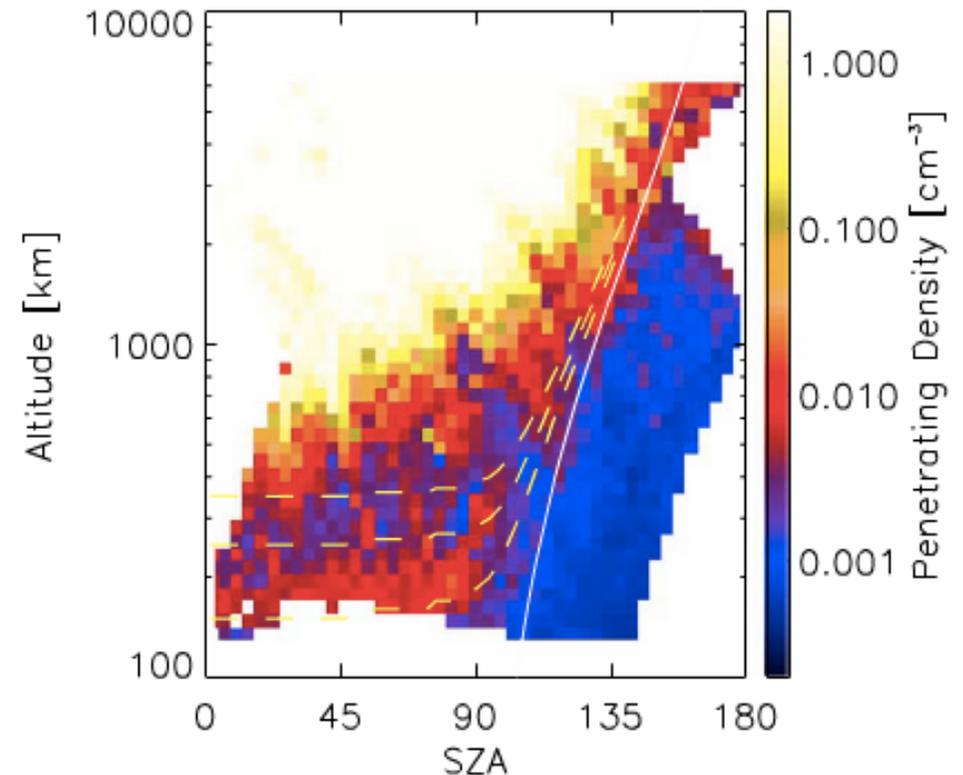
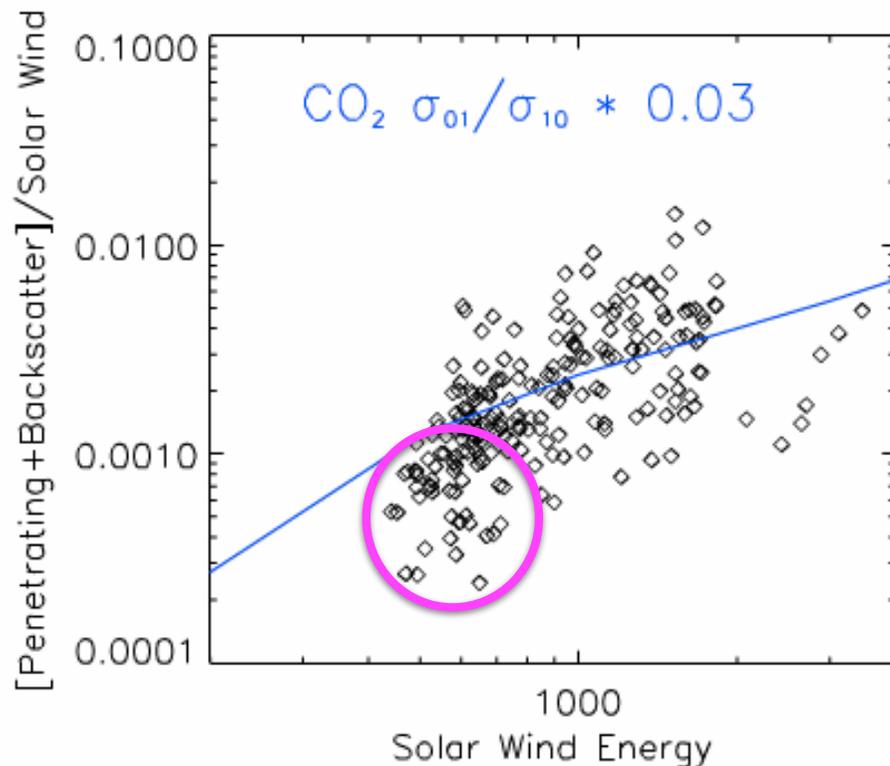




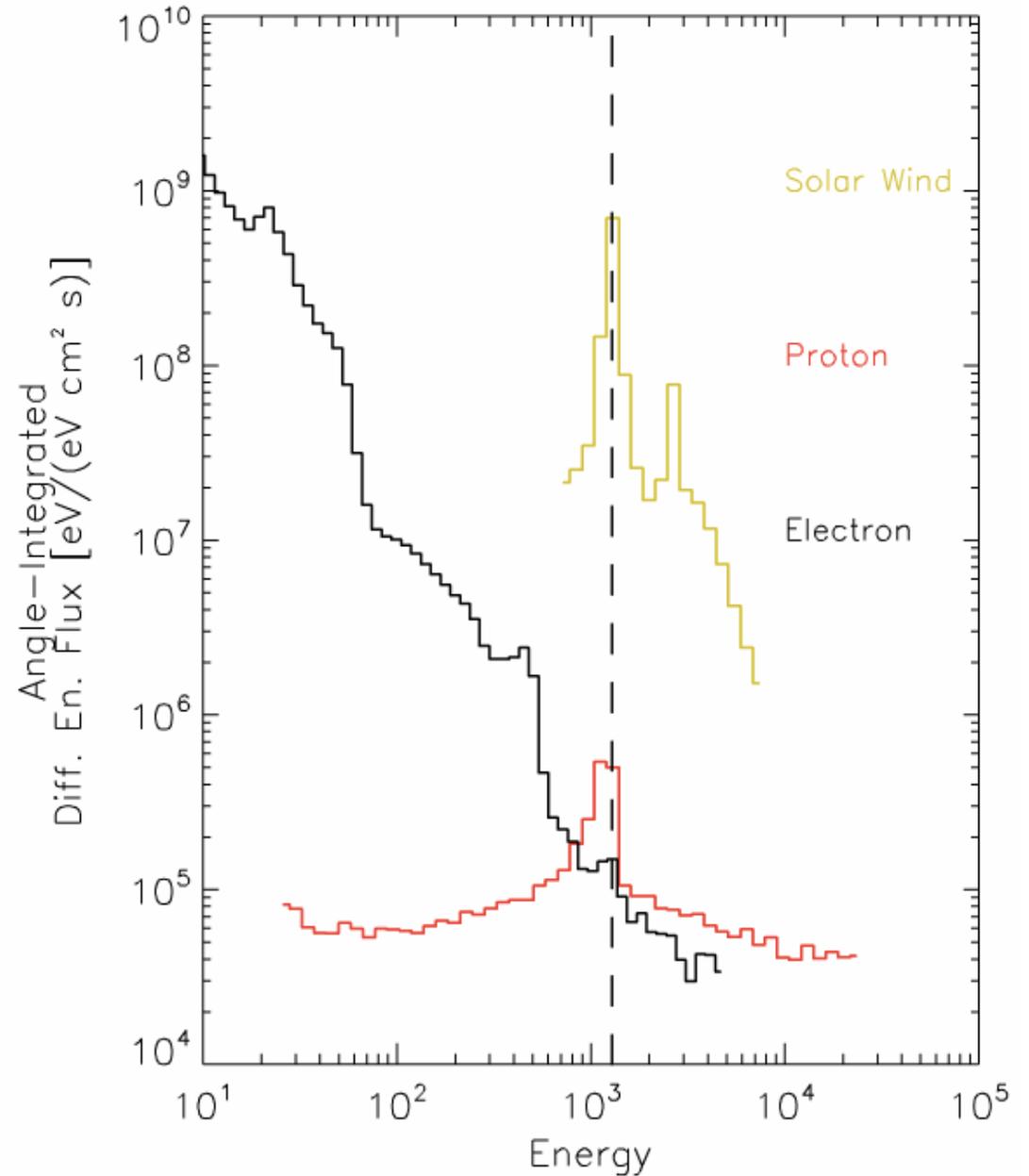
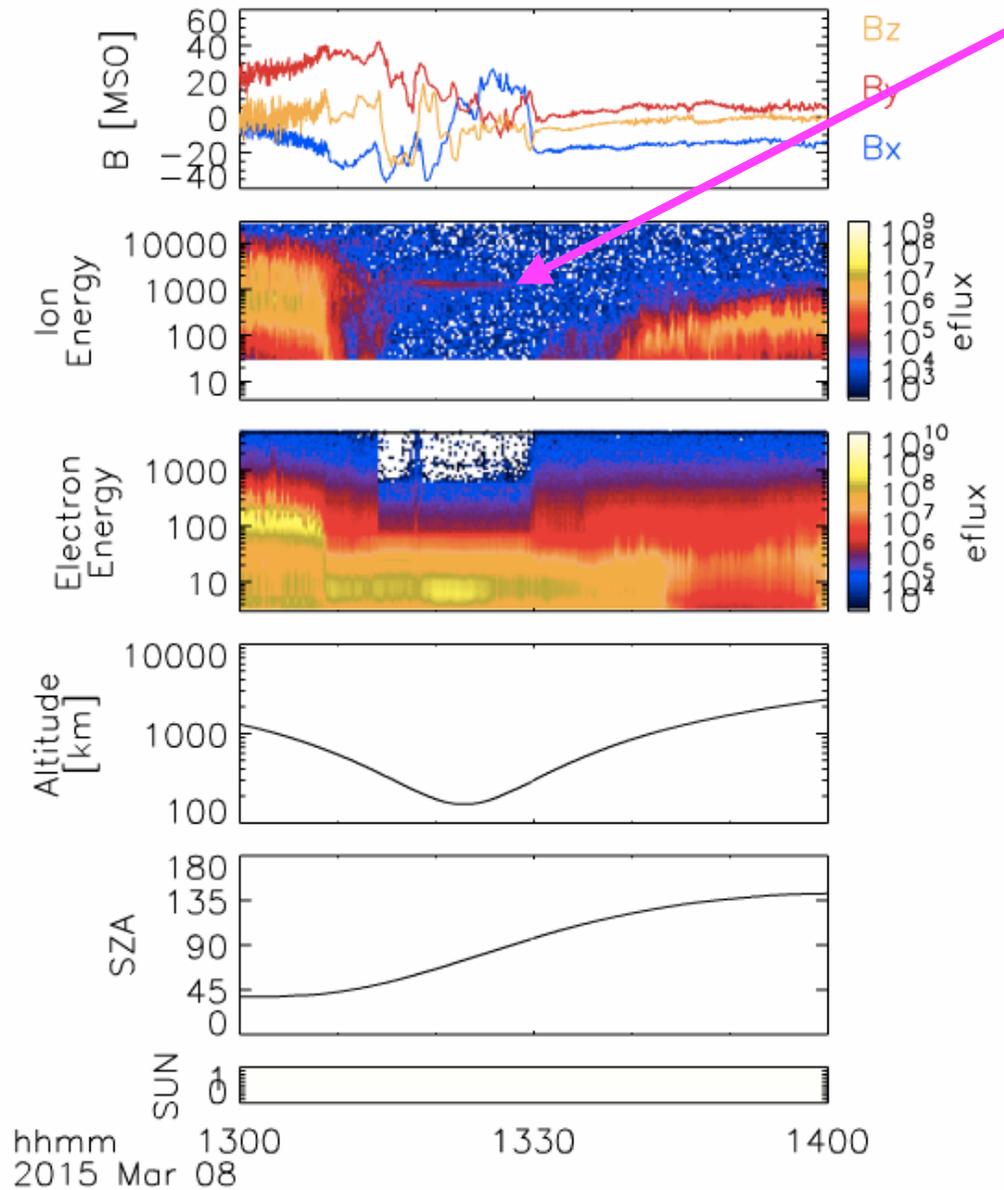
• 統計結果

- 密度率 (penetrating at 150-250 km / upstream solar wind) は、低太陽風エネルギーで 10^{-4} 、高太陽風エネルギーで 0.01。
- 密度率 (backscatter / penetrating) は太陽風エネルギー増加に反して減少する。
- => 侵入粒子の速度を変えるためには、多数の衝突が必要である。

- 速い太陽風 => 多量が侵入 (penetrating+backscatter密度増加)、モデルの傾向と合致
 - σ_{01}/σ_{10} = electron stripping / charge exchange 衝突断面積 (CO₂が卓越する大気中での水素原子について)
 - 0.03 = バウショック上流太陽風とExosphere (コロナ) との電荷交換反応効率
 - 低太陽風エネルギー部分でモデルよりも密度比が小さい。バウショック場所が変わるため? (最後に議論する)
- Penetrating密度は高度250-400 kmで最小、160-170 kmで最大。
 - Penetrating密度は等column density (大気視線方向積分密度) 線に沿う。
 - deep dip観測時は、より低高度で最大密度値を下回る値を観測した。

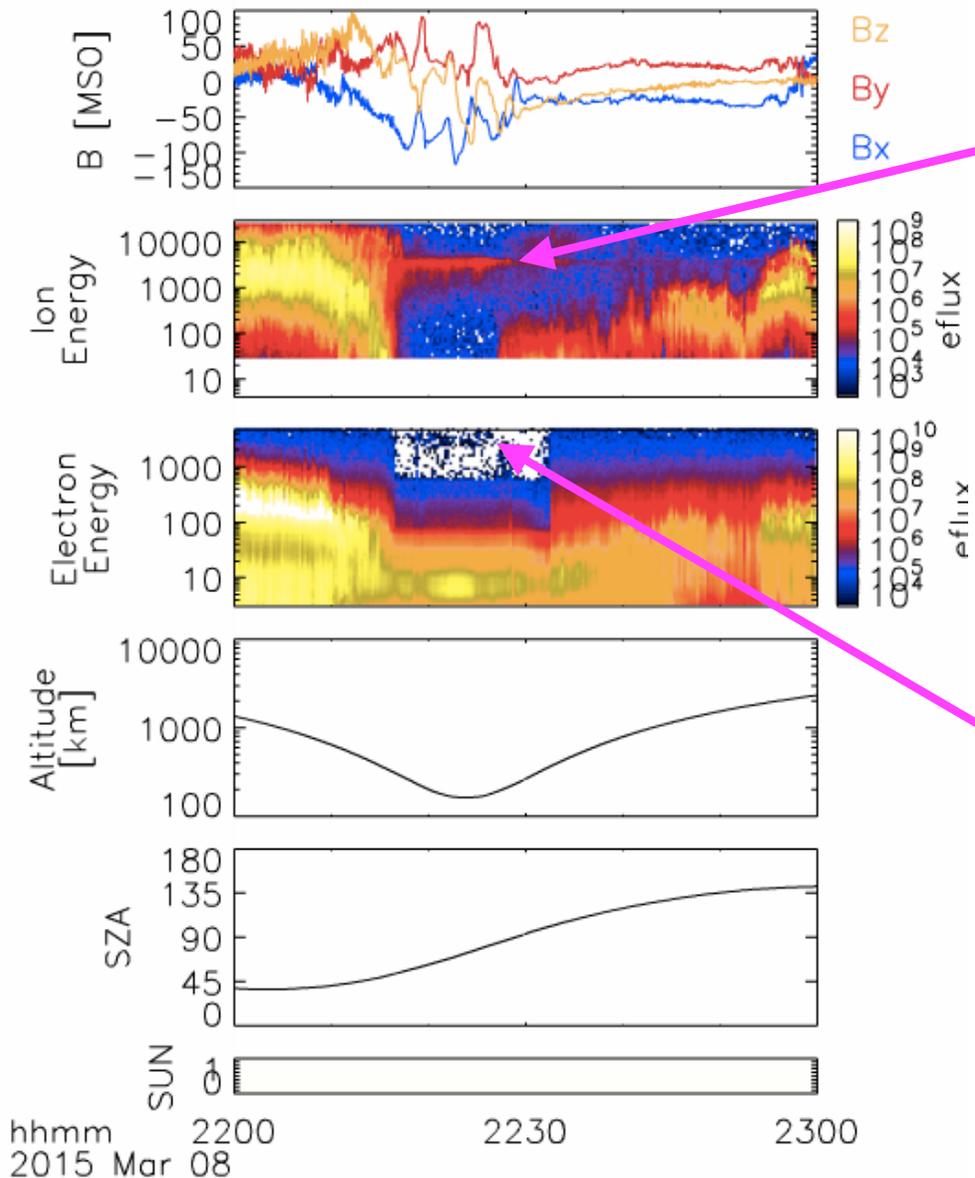


Before CME attack



After CME attack

- H⁺ observations



- CME到達後、太陽風フラックスが約3桁増加、エネルギーは2倍以上。

- H-ピーク高度が上昇、電離圏光電子フラックスが少ないエネルギー帯に移った。

- このため、マイナスイオンが同定できた。

まとめ

・ 論文のポイント

- ・ 太陽風起源のイオン（一度ENAになって大気圏に侵入し、再度イオン化したもの）を高度150-250 kmで観測した。
- ・ バックグラウンドレベルが低く、感度が高い観測器だからこそ、penetratingとback-scatteredの両方を高エネルギー分解能で観測することができた。
- ・ 太陽風パラメータ（密度、速度）のリモートセンシングの可能性を秘めているが、値のばらつきが大きい。

・ 疑問点、議論をしたい点

- ・ 論文での議論：電荷交換に伴う水素原子の流入（Deposition）は火星システムに対する多量の水素供給になり、大気圏内での電荷交換反応に伴いPick-upイオンを生成し、それらイオンが流出する可能性がある。今回のCME期間中、 $2 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ の水素が入ってきた。特に初期太陽系では重要だったと考えられ、D/H率に影響を与えたかもしれない。
- ・ 個人的な疑問・感想：Bow shock下流（Sheath）で中性化したENAはどこへ行ったのか？
 - ・ 観測されている。
 - ・ Exosphere密度はBow shock上流より下流の方が高い => ENA生成率は下流の方が高い。
 - ・ 特に低速度太陽風ではBow shockが火星から遠くなり、Upstream太陽風起源ENAの生成量が減り、Sheath太陽風起源ENAの生成量が増える。
 - ・ シース起源のPenetrating ionはどの程度太陽風プロクシになることができるのか？