# Ionospheric storms on Mars: Impact of the corotating region

Dubinin et al. (2009), GRL, 36, L01105

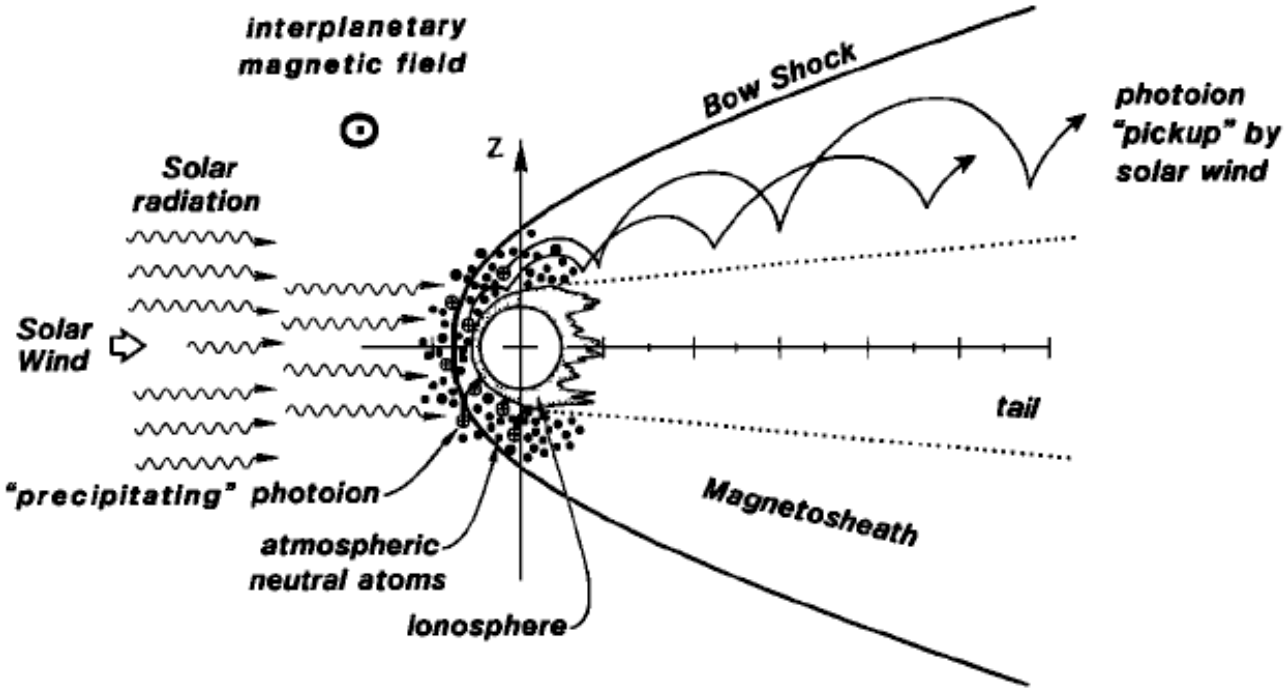
東北大学　益永　圭

# 要旨

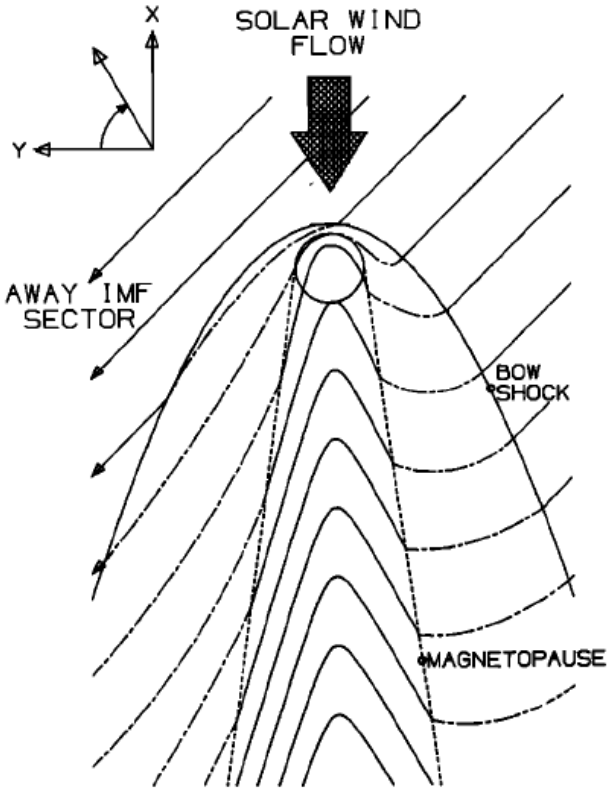
- 火星周回衛星Mars Express(MEX)によってCIR構造が観測された。
- CIR構造通過中において、MEX/ASPERA-3, MARSISによって以下の特徴が観測された。
  - ASPERA-3/ELS: 太陽風がMagnetic Barrierよりも下の領域まで侵入していた。
  - MARSIS: 電離圏中のピークの電子密度が一桁ほど減少し、電子密度が時間的and/or空間的に増減する特徴的な構造が見られた。
  - ASPERA-3/IMA: 低エネルギーO+(<50eV)のスポット構造も観測され、その増減はMARSISで観測された電子密度増減とタイミングが一致し、ELSで観測された太陽風プラズマの増減とは逆相関であった。
- これらの観測事実から、CIR到来時は太陽風が通常よりも低高度まで侵入することにより、電離圏プラズマが流出していると結論づけた。簡単な見積もりによると、通常より10倍多く流出していることがわかった。

# Introduction

- Plasma environment of Mars
- 固有磁場を持たない→誘導磁気圏の形成
- 電離圏ー太陽風直接相互作用




[Luhmann et al., 1991]




[McComas et al., 1986]

# Introduction

- CIR (Corotating Interaction Region)

- コロナホールから噴出する高速太陽風が、通常の太陽風に追いつくことで形成される境界層。

- 速度の増大のほか、磁場強度、圧力の増大も観測される。

- 近年、CIRが電離大気流出に影響を及ぼすことが示されている[e.g., Edberg et al., 2010; Hara et al., 2011]。

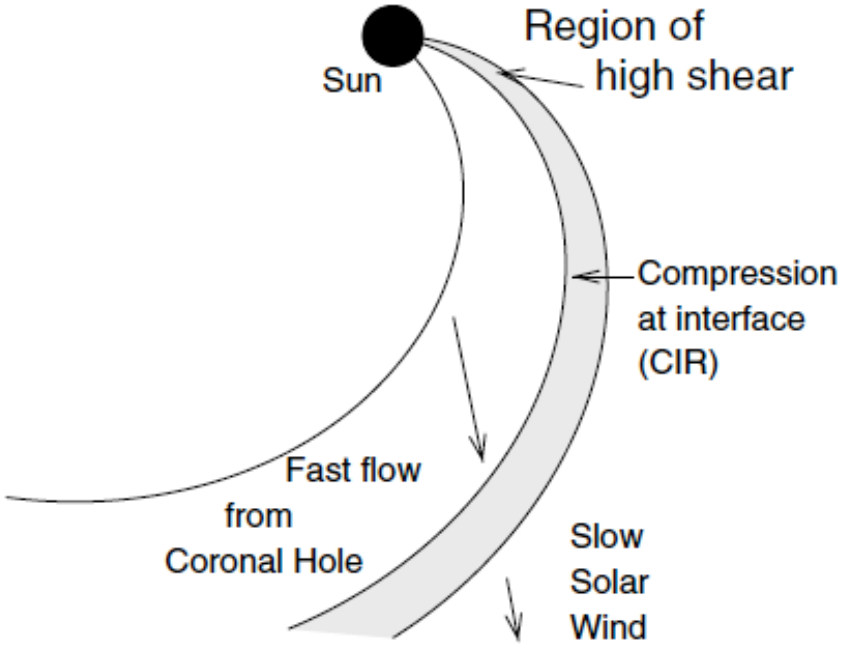



Figure 1. Schematic illustration of CIR. [Tappin and Howard, 2009]

# Instruments

- Mars Express (MEX)
- ASPERA-3: プラズマ(IMA, ELS)&
  中性粒子観測(NPI, NPD)
- MARSIS: ローカル電子密度を
  測定可能
- 磁力計なし

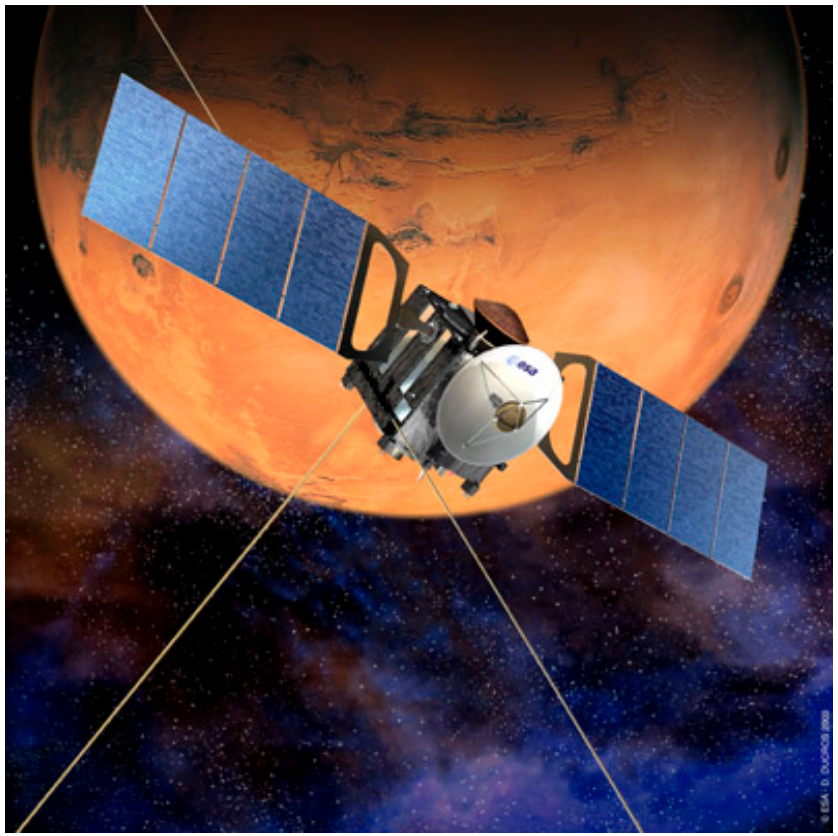


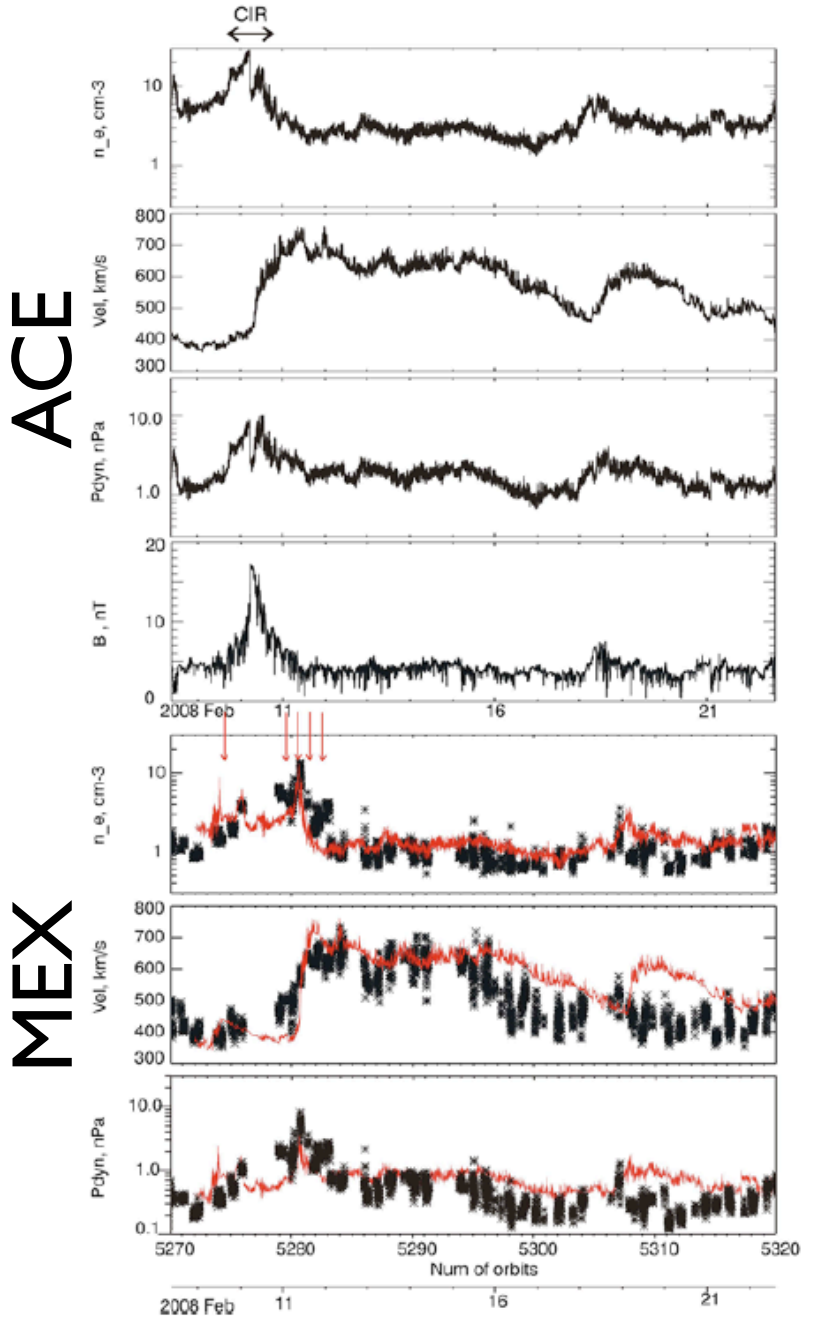
Table 3
Performance of the NPI, NPD, ELS, and IMA

| Parameter | ELS | IMA |
|---|---|---|
| Particles to be measured | Electrons | Ions |
| Energy range, keV per charge | 0.01–20 | 0.01–36 |
| Energy resolution, $\Delta E/E$ | 0.08 | 0.07 |
| Mass resolution | N/A | 1, 2, 4, 16, 20, . . . , 80 amu/$q$ |
| Intrinsic field of view | 10° × 360° | 90° × 360° |
| Angular resolution (FWHM) | 10° × 22.5° | 4.5° × 22.5° |
| $G$-factor/pixel, cm$^2$ sr | $7 \times 10^{-5}$ | $3.5 \times 10^{-4}$ |
| Efficiency, $\varepsilon$, % | Inc. in $G$ | Inc. in $G$ |
| Time resolution (one scan), s | 32 | 196[b] |
| Mass, kg | 0.3 | 2.2 |
| Power, W | 0.6 | 3.5 |

[a] Upper cut-off of the deflector system.
[b] Full energy–elevation scan.

# Observations

- ACEによってCIRを観測。（密度、速度、動圧の増加）
- 火星は地球の後ろ（離角25°）に位置していたため、地球を通った太陽風を受けていると考えられる。
- ACEの観測値を火星軌道にシフトさせたもの（赤線）は、MEXで観測された密度、速度、動圧の増加とほぼ一致。
- 地球を通過したCIRが火星にも到来したと考えられる。



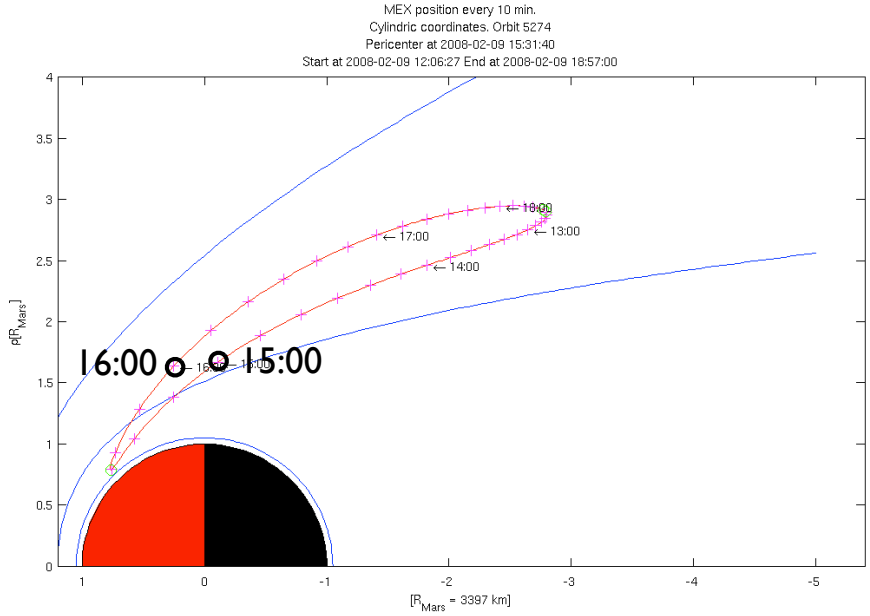
# Observations

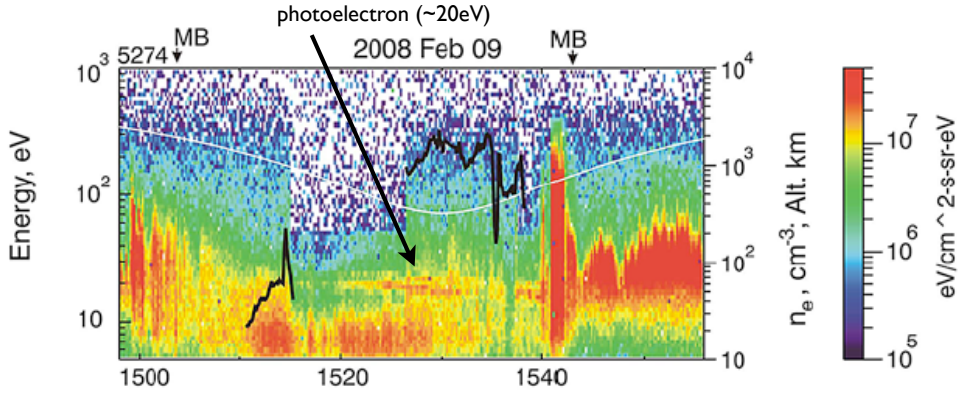
- Nominal condition (CIR到来前)

- ~1503: MEXはMB(/MPB/IMB)をまたぎ、火星誘導磁気圏内へ侵入。MBより低高度には、太陽風粒子は侵入していない。

- 1520-1540: MEXは電離圏へ侵入。20eVあたりにphotoelectronのピーク。

- 1528-1540: MARSISにより、電子密度が推定。ピーク電子密度は~2x10$^3$cm$^{-3}$。



# Observations

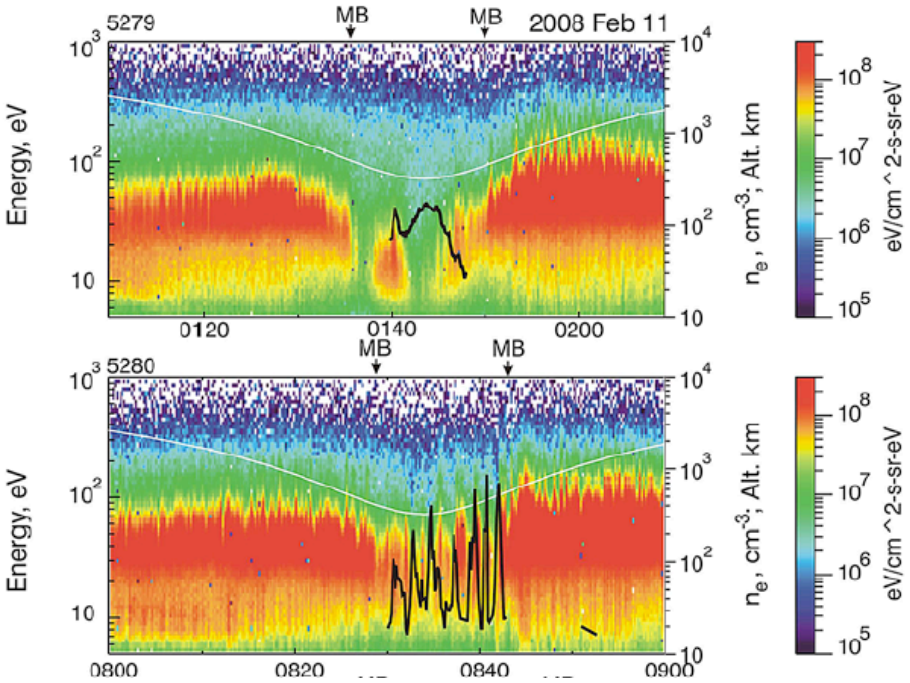
- Stormy condition (CIR到来時)

- #5279
- 0135-0150: MBの高度が下がり、誘導磁気圏が収縮。電離圏ピーク電子密度は$2x10^2cm^{-3}$。

- #5280
- 0828-0843: MBより低高度にも太陽風粒子が観測されている。

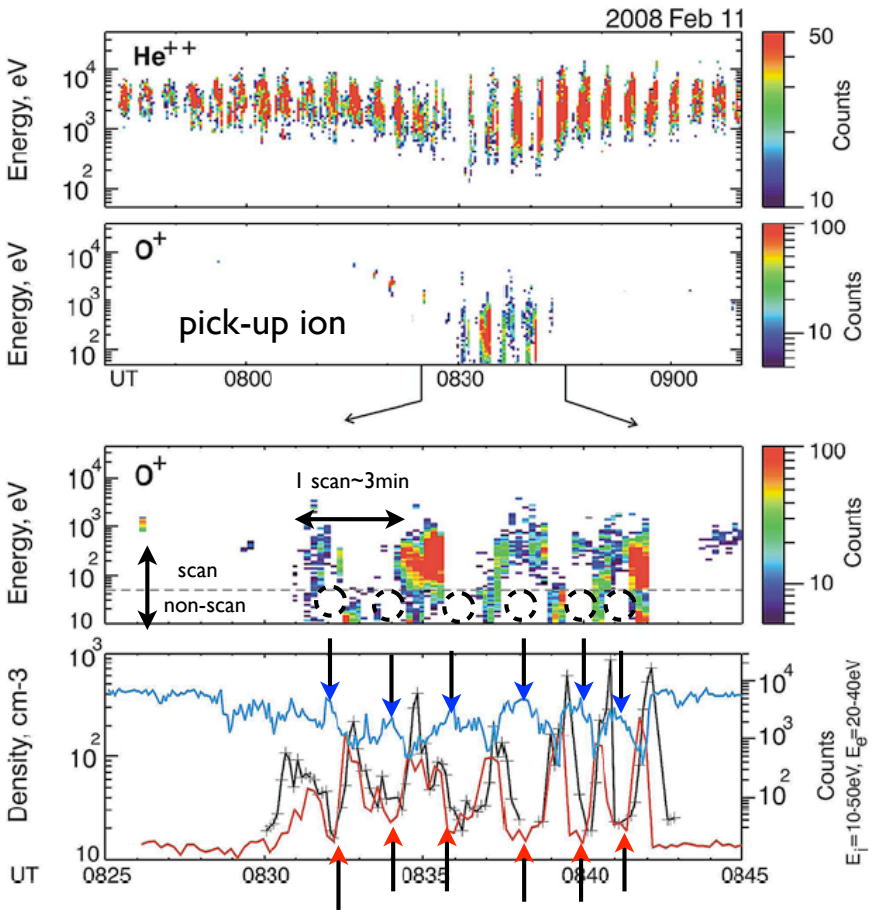
- 電子密度のギザギザ構造が見られる。電離圏プラズマのはぎ取り。

- 次の軌道(#5281)から回復に向かう。



# Observations

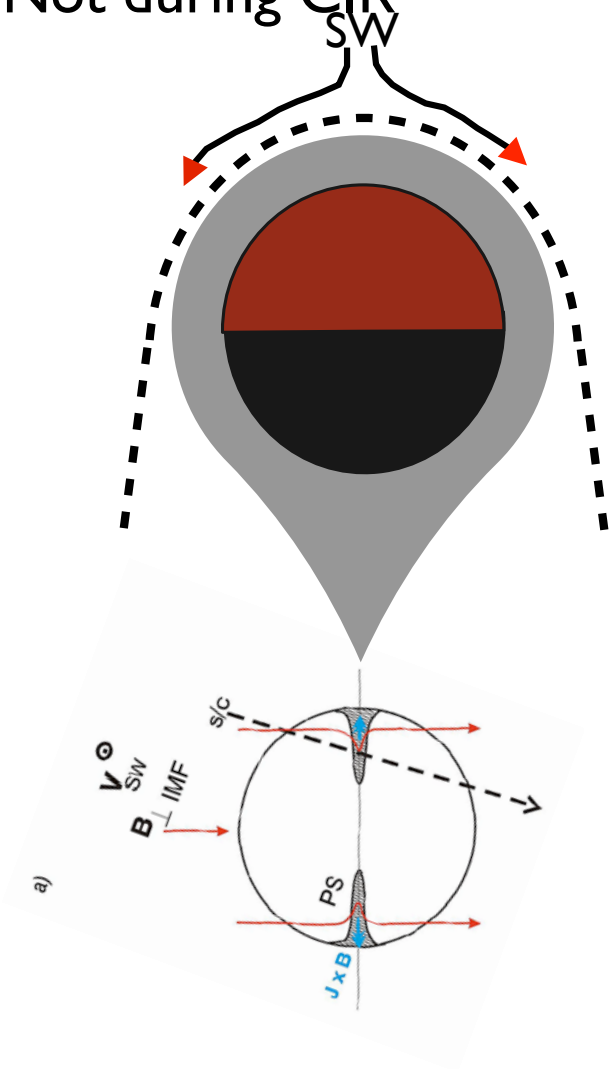
- IMAによる観測
- 低エネルギー(<50eV)にスポット構造が見られる。
- IMAは低エネルギー(<50eV)では、方向スキャンを行わない。電離圏の構造が見えていると考えられる。
- MARSIS, ELS観測との比較
- イオンのカウントレートと電子密度の増減するタイミングが一致（赤矢印）。
- 太陽風粒子のカウントレートの増減と反相関が見られる（青矢印）。



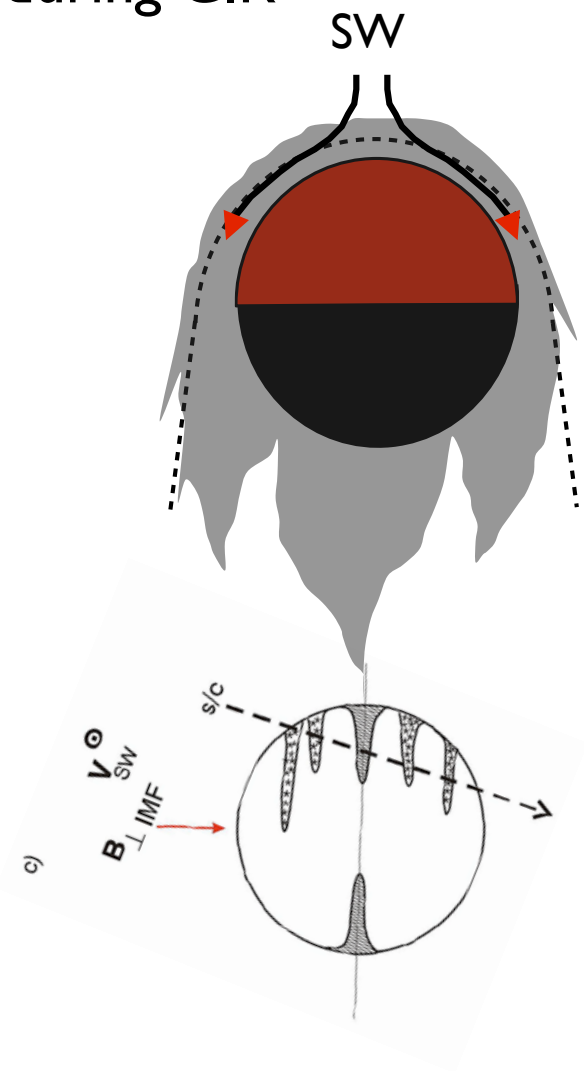
# Discussion

- CIR effect on martian ionosphere inferred from observations

Not during CIR




during CIR

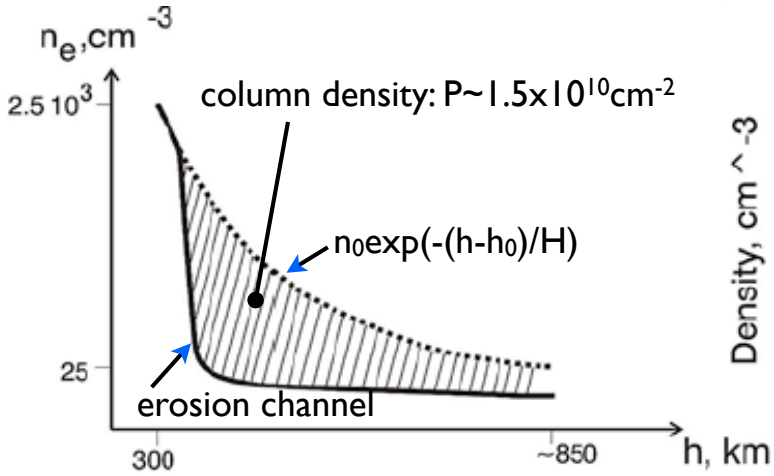


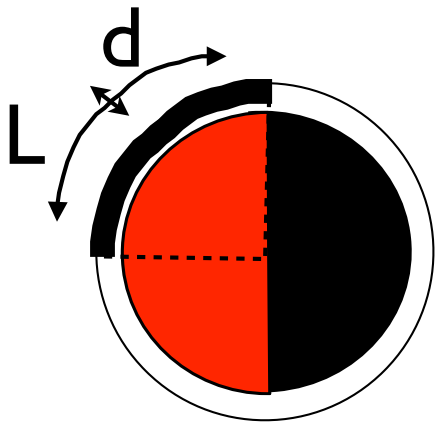
# Discussion

- 流出量の見積もり
- erosion channelからの流出量は

  $N=P \cdot d \cdot L=3.8 \times 10^{26}$ ($L=\pi R/2$, $R=4000$km, $d=400$km)
- 流出率$Qn=N/\tau=1.3 \times 10^{24} s^{-1}$

  ($\tau=300$sec)
- CIR到来時には、erosion channelが複数個生まれているため流出量は増加する。
- これを考慮して導きだされた流出率は、$Qs=2 \times 10^{25} s^{-1}$。



# Conclusion

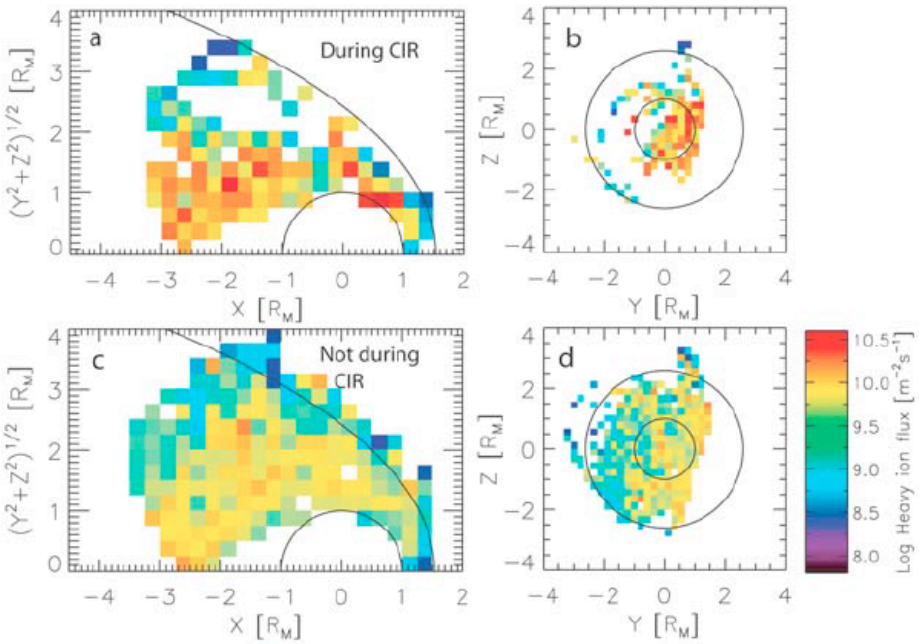
- Mars Expressにより、火星に到来するCIRが観測された。
- ASPERA-3, MARSISによって、CIR到来時は誘導磁気圏内への太陽風侵入が観測され、電離圏プラズマをはぎ取っているような特徴的な構造が観測された。
- この期間は通常時より流出channelが増え、流出量が10倍程度増加し、火星電離大気流出に大きな影響を及ぼしていることが示唆された。

# Appendix

- Increased atmospheric escape at Mars during CIR period

- CIR/Non-CIR passageの間で重イオンフラックスを比較。

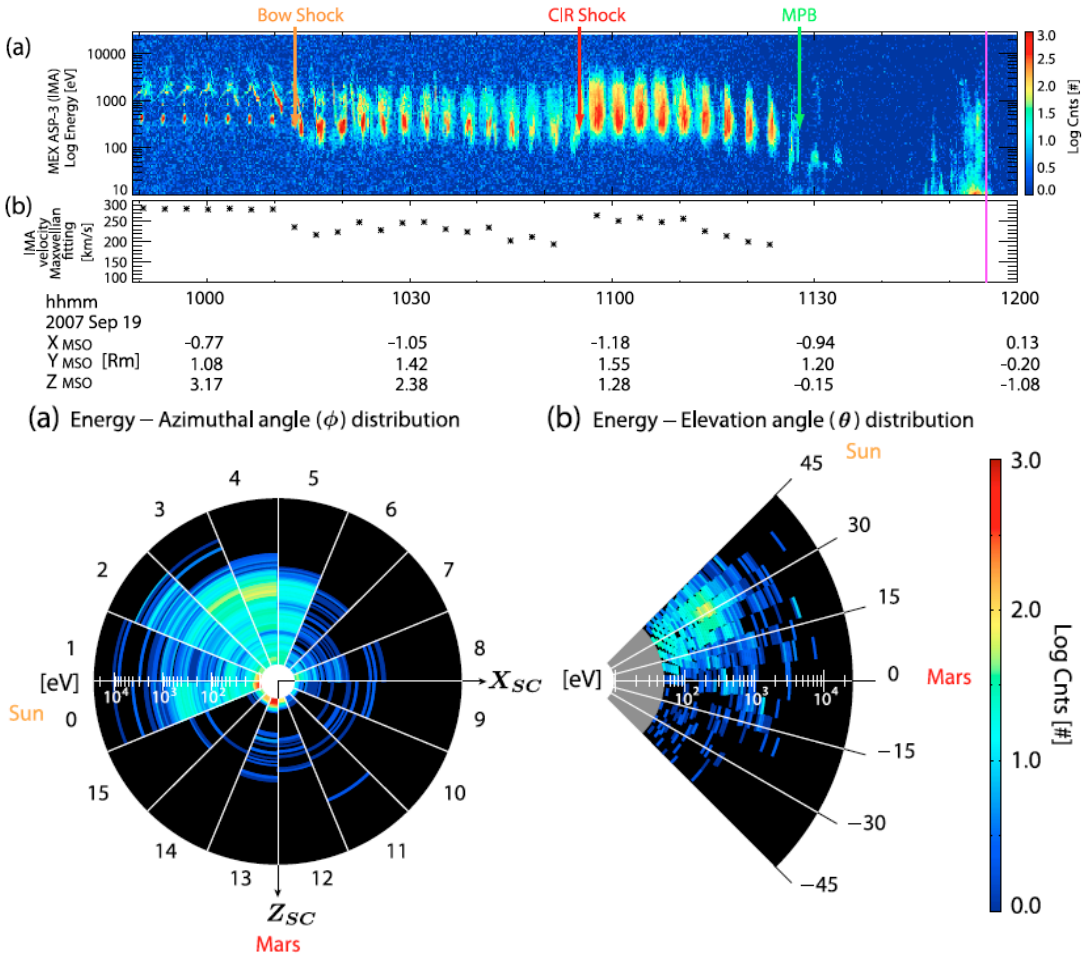
- CIR到来時には、planetary ion流出量を2.5倍増加させる。




[Edberg et al., 2010]

# Appendix

- Ion precipitation during CIR passage
- CIR到来時に、強い重イオンを観測。
- イオンの速度方向は火星に降り込む方向。



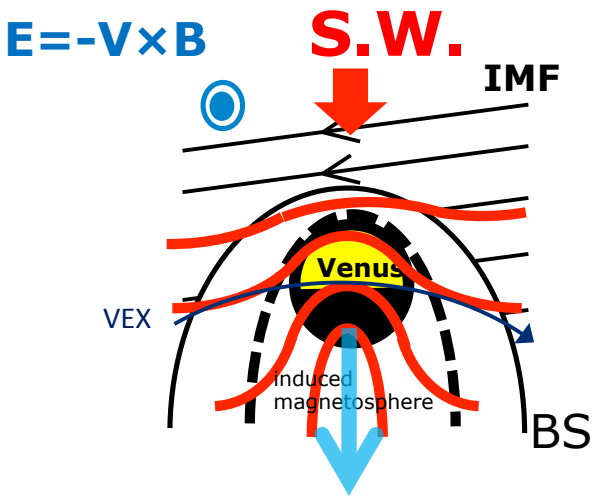

[Hara et al., 2011]

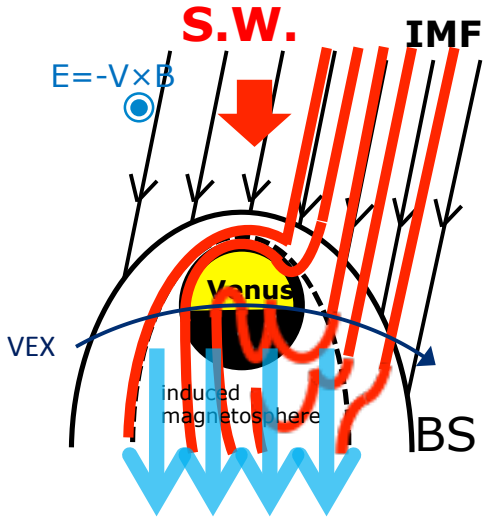
# Appendix

- O+ channels controlled by IMF direction

- IMF方向が太陽風の流れに平行に近づくと、高エネルギーO+(>100eV)の流出channelが複数形成される。

- この際には、誘導磁気圏が消失するという報告もある[Zhang et al., 2009]。




[Masunaga et al., 2011]

# Comments

- 示されたロジックは定性的には理解しやすいが、電離圏プラズマが流出しているかどうかまではわからない。
- また、流出量見積もりが大雑把なので、もっと丁寧な議論が必要。 観測ではファクターでしか変わっていない。
- イオンがどういった方向に加速されているのか、誘導磁気圏がどういった構造をしているのかといった情報も重要。