

MAVEN insights into oxygen pickup ions at Mars

Rahmati, A., D. E. Larson, T. E. Cravens, R. J. Rillis, P. A. Dunn, J. S. Halekas, J. E. Connerney, F. G. Eparvier, E. M. B. Thiemann, and B. M. Jakosky

Geophys. Res. Lett., 42, 8870-8876,
doi:10.1002/2015GL065262.

Presented by S. Sakai (KU)

Abstract

- 火星ピックアップ酸素イオンのデータ・モデル比較
 - ピックアップ酸素イオンは外気圏の熱的酸素原子から火星上流側で生成され，下流へ加速される
 - SEP はこれらピックアップイオン ($\sim 10 \text{ keV} < E < \sim 200 \text{ keV}$) を観測
 - ピックイオンのフラックスをモデルとSEPデータで比較
 - 太陽風静穏時に限定
- SEP で観測されるピックアップ酸素イオンは，火星外気圏の熱的酸素 (Hot oxygen) に起因

Introduction

- 中性大気の流出過程 (例)
 - O_2^+ の解離再結合 (e.g., *Nagy and Cravens*, 1988)
 - > 脱出エネルギーを持つ熱的酸素を生成
 - 外気圏に熱的酸素コロナを形成 (e.g., *Feldman et al.*, 2011)
- 火星外気圏と彗星コマの類似性
 - 彗星コマ上流で生成された重イオン (O^+ , H_2O^+) は太陽風にピックアップされ, 数 10 keV に達する (*Coates*, 2004; *Goldstein et al.*, 2015)
 - > 粒子計測機で観測 (*Keckskometry et al.*, 1989)
 - 火星でも似たような状況が想定される (*Rahmati et al.*, 2014)
 - 上流で生成された O^+ が太陽風にピックアップされて数 10 keV 程度のエネルギーを持つ
 - これらを SEP が観測
- 本論文では SEP データとモデルとを比較

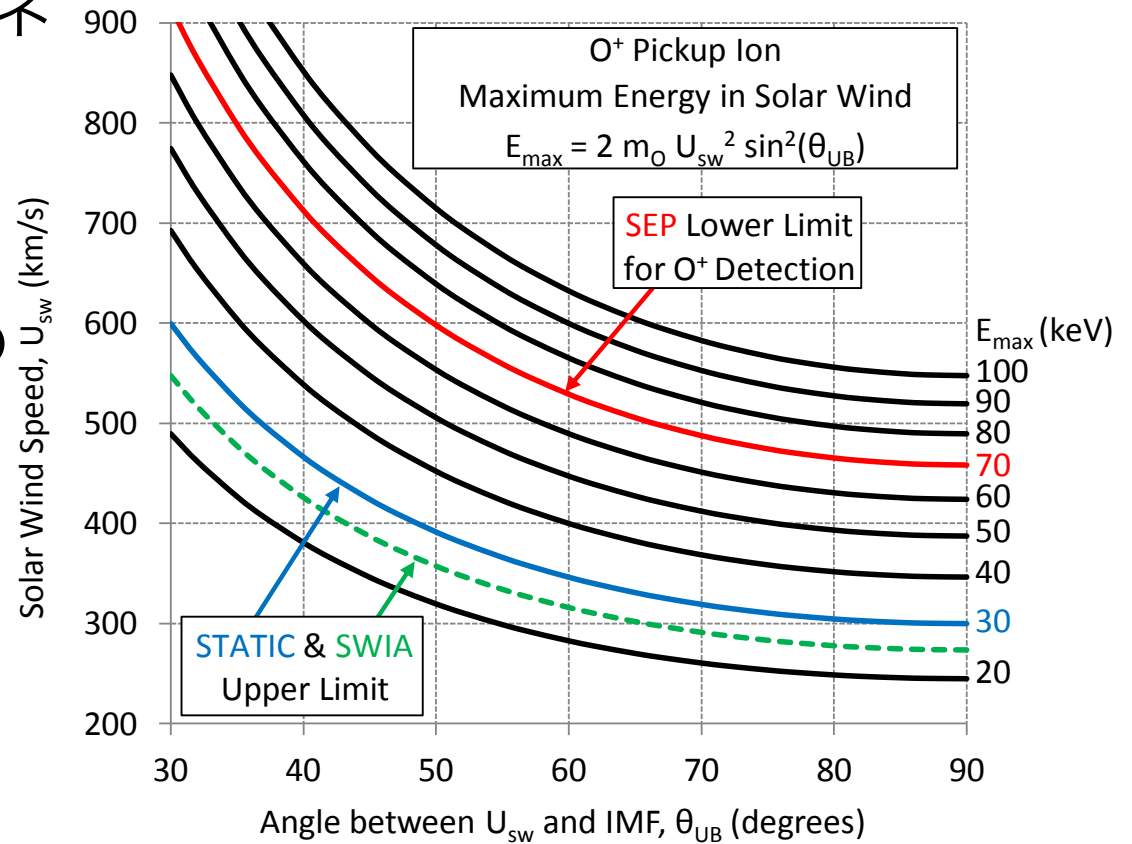
Pickup Oxygen Model

- 運動方程式の解析解を使用
 - 一様な電磁場 (磁場: MAG, 太陽風速度: SWIA)
 - 時間分解能 30 秒
 - 太陽風中でのジャイロ周期 $\sim 30\text{-}150$ s
 - 中性酸素原子モデル: Two-stream & Liouville 理論 (*Rahmati et al.*, 2014)
 - 電離プロセス: 光電離, 電荷交換反応 ($O + H^+ \rightarrow O^+ + H$)
 - 太陽風プロトン密度: SWIA
 - EUV スペクトル: FISM (*Chamberlin et al.*, 2007)
 - 光電離断面積 (*Angel and Samson*, 1988)
 - 電荷交換断面積 (*Stebbins et al.*, 1964)

Pickup Oxygen Model

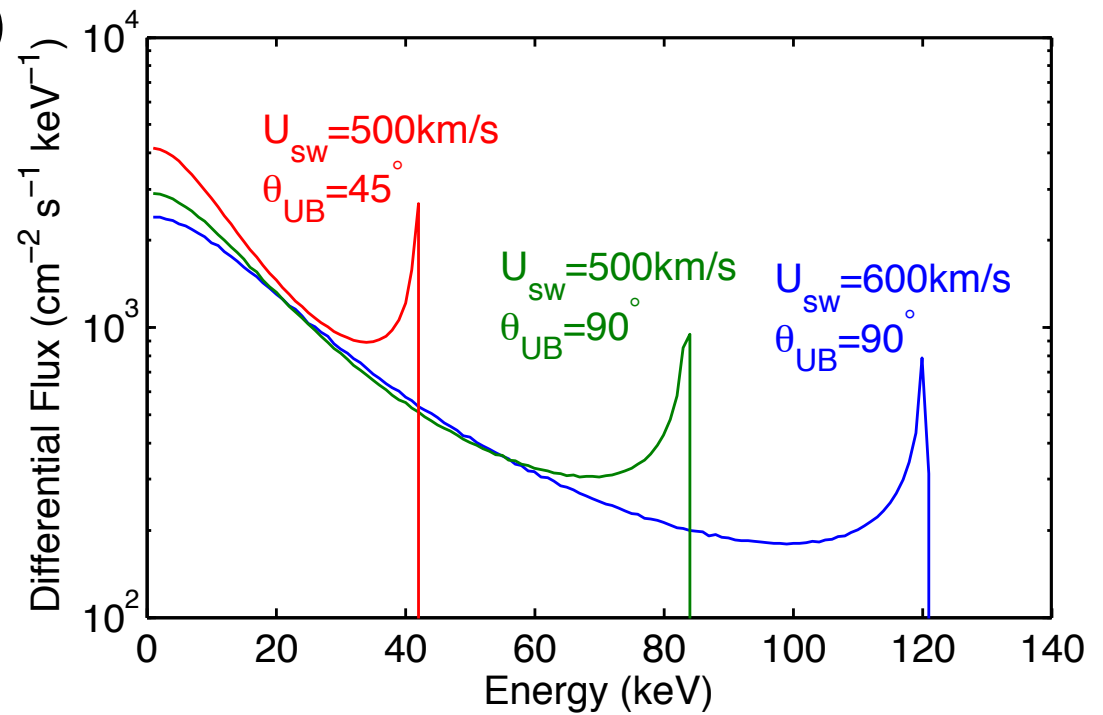
- ピックアップイオンのエネルギーと太陽風速度ベクトル, IMF方向の関係性
- SEPは ~500 km/s 以上の太陽風速度で観測可

$$E_{\max} = 2 m_{\text{O}} U_{\text{sw}}^2 \sin^2(\theta_{\text{UB}})$$



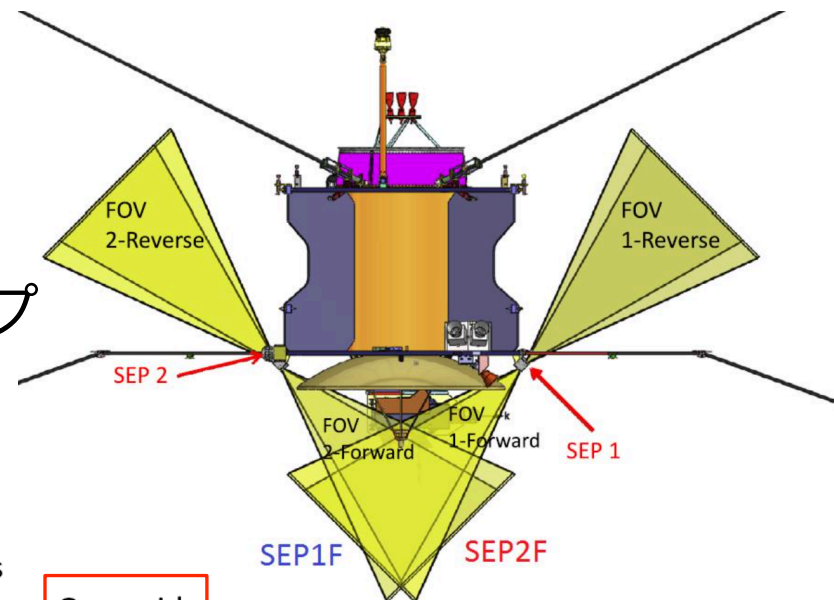
Pickup Oxygen Model

- ピックアップイオンの微分フラックス
 - 高度 6000 km (太陽側)
 - IMF: 5 nT (一様)
 - 電離周波数: $4.5e-7 \text{ s}^{-1}$
- SEPは限られたエネルギー帯でのみ観測可能
 - 同じ太陽風・IMF条件でも全てのイオンを観測出来る訳ではない



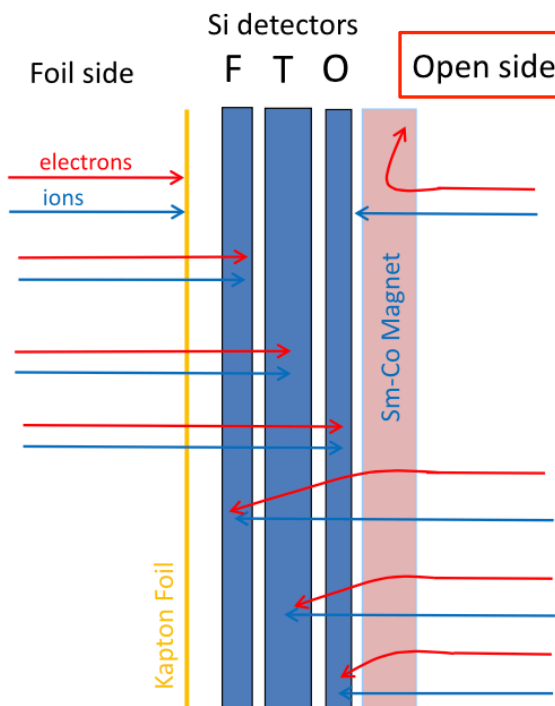
MAVEN SEP Open Detector

- 詳細は *Larson et al. (2015)*
- SEP (Solar Energetic Particle)
 - SEP で検出されるピックアップ酸素イオンは平均 50 keV
 - ノイズ限界は 11 keV



Incident energy ranges for counted events

	Electrons		Ions	
	Foil side keV	Open side keV	Foil side keV	Open side keV
No count	<20	<350	<250	<25
F	20-700		250-6000	
FT	350-1300		6000-11,000	
FTO	>600		>11,000	
OT		350-1300		6000-11,000
O		350-700		25-6000

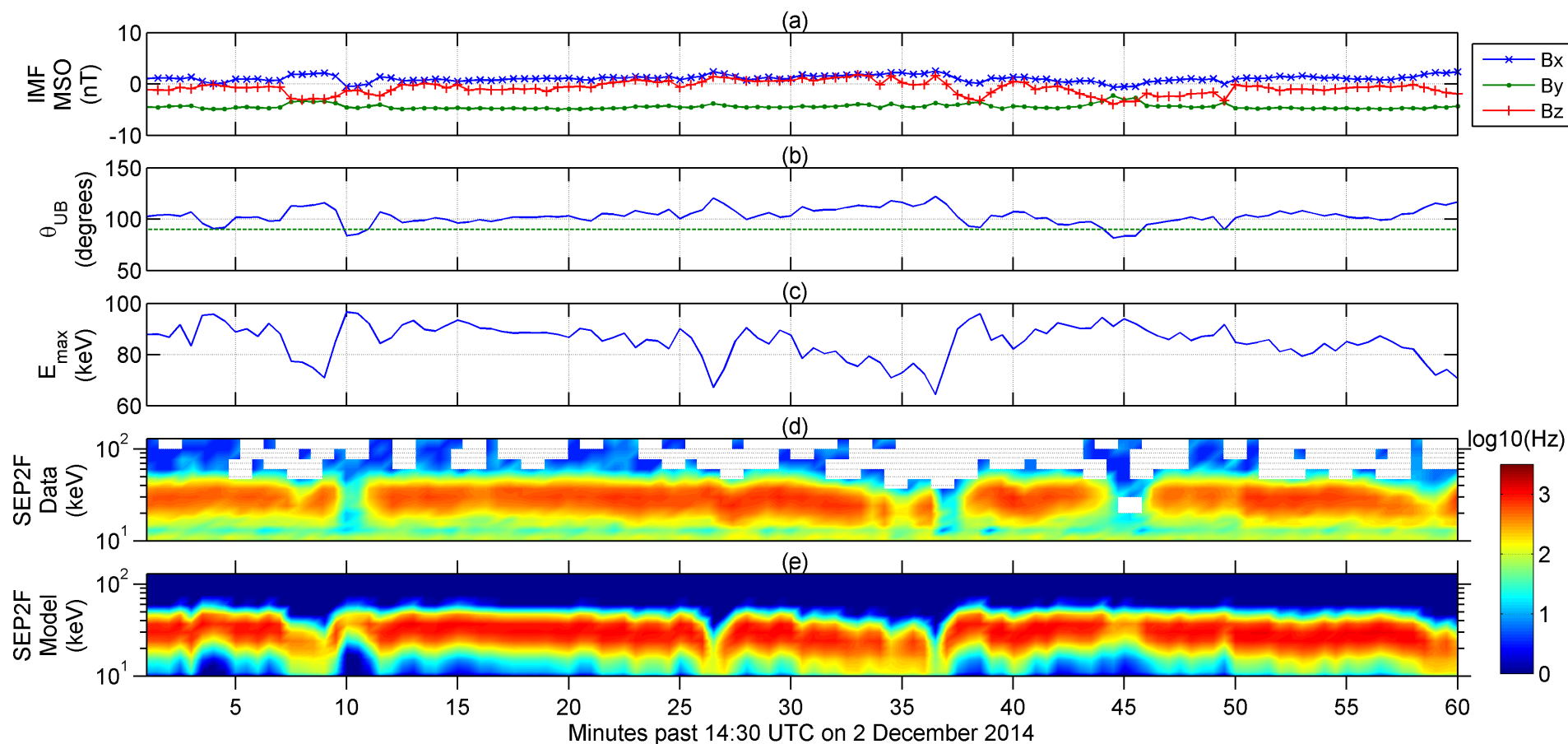


FOVs of the SEP [*Larson et al., 2015*]

FOV: $42^\circ \times 31^\circ$
 有効検出面積: $\sim 1 \text{ cm}^2$
 エネルギー数: 30
 (10-100 keV: 12)
 エネルギー解像度:
 $\Delta E/E \sim 30\%$

Detectors and incident energy ranges for counted events of the SEP [*Larson et al.,*

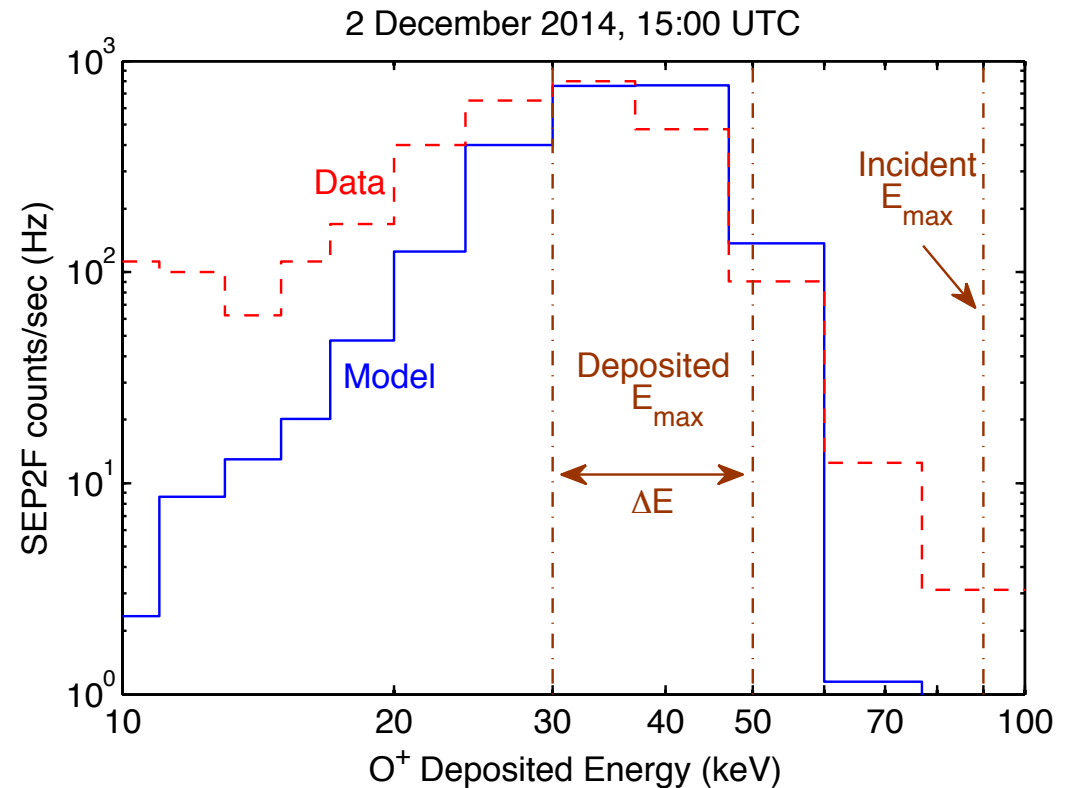
Model-Data Comparison



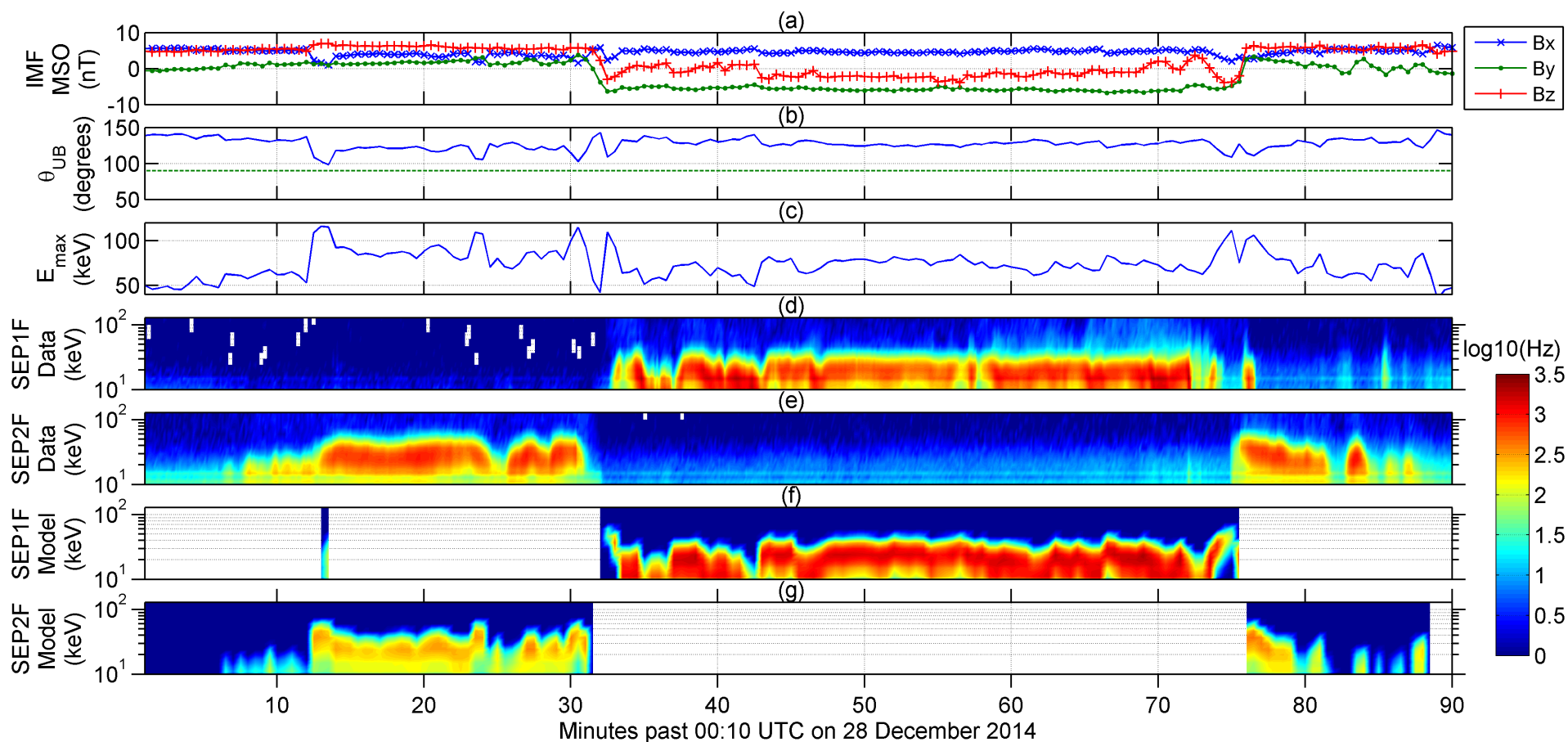
- 14:30 12/02/2014
 - 太陽風: ~525 km/s
 - データとモデルがよく一致
- モデルが観測よりやや先行
 - 半ジャイロ周期分
 - ピックアップイオンの加速が E_{max} に達する間に遅れる

Model-Data Comparison

- 測定されるエネルギー
 - 元々 90 keV あったエネルギーが SEP で観測される時には 30-50 keV まで小さくなる



Model-Data Comparison



- 00:10 12/28/2014
 - 太陽風: ~600 km/s
 - データとモデルの傾向は一致

Discussion

- モデルとSEPデータが一致
 - SEPによって観測されたイオンは外気圏熱的酸素原子が起源
 - 10-100 R_M (太陽風や IMF の条件に依存)
 - ピックアップイオンのフラックスは酸素原子密度に依存
 - 将来的に, SEPの観測から火星上流側の外気圏酸素原子密度に制約を与えられる
- STATIC, SWIAは観測できるエネルギー帯がSEPより低いので, 火星近傍で生成されるピックアップイオンを観測可能
 - しかし, geometric factor が小さいので, 特に昼側遠火点でイオンフラックスを適切に与えない可能性がある
- このモデルでは中性大気に関しては pre-MAVEN のデータに基づいた
 - MAVEN データを用いることで外気圏モデル, 更にはエスケーププレートに制約を与えられるだろう

References

- Angel, G. C., and J. A. Samson (1988), Total photoionization cross sections of atomic oxygen from threshold to 44.3 Å, *Phys. Rev. A*, 38, 5578, doi:10.1103/PhysRevA.38.5578.
- Chamberlin, P. C., T. N. Woods, and F. G. Eparvier (2007), Flare Irradiance Spectrum Model (FISM): Daily component algorithms and results, *Space Weather*, 5, S07005, doi:10.1029/2007SW00316.
- Coates, A. J. (2004), Ion pickup at comets, *Adv. Space Res.*, 33, 1977-1988, doi:10.1016/j.asr.2003.06.029.
- Feldman, P. D., et al. (2011), Rosetta-Alice observations of exospheric hydrogen and oxygen on Mars, *Icarus*, 214, 394-399, doi:10.1016/j.icarus.2011.06.013.
- Goldstein, R., et al. (2015), The Rosetta Ion and Electron Sensor (IES) measurement of the development of pickup ions from comet 67P/Churyumov-Gerasimenko, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 3093-3099, doi:10.1002/2015GL063939.
- Keckskemetry, K., et al. (1989), Pickup ions in the unshocked solar wind at comet halley, *J. Geophys. Res.*, 94, 185-196, doi:10.1029/JA094iA01p00185.
- Larson, D. E., R. J. Lillis, C. O. Lee, P. A. Dunn, K. Hatch, M. Robinson, D. Glaser, J. Chen, D. Curtis, C. Tiu, R. P. Lin, J. F. Luhmann, and B. M. Jakosky (2015), The MAVEN Solar Energetic Particle Investigation, *Space Sci. Rev.*, 195, 153-172, doi:10.1007/s11214-015-0218-z.
- Nagy, A. F., and T. E. Cravens (1988), Hot oxygen atoms in the upper atmosphere of Venus and Mars, *Geophys. Res. Lett.*, 15, 433-435, doi:10.1029/GL015i005p00433.
- Rahmati, A., T. E. Cravens, A. F. Nagy, J. L. Fox, S. W. Bougher, R. J. Lillis, S. A. Ledvina, D. E. Larson, P. Dunn, and J. A. Croxell (2014), Pickup ion measurements by MAVEN: A diagnostic of photochemical oxygen escape from Mars, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 4812-4818, doi:10.1002/2014GL060289.
- Stebbings, R. F., A. C. H. Smith, and H. Ehrhardt (1964), Charge transfer between oxygen atoms and O⁺ and H⁺ ions, *J. Geophys. Res.*, 69, 2349-2355, doi:10.1029/JZ069i011p02349.