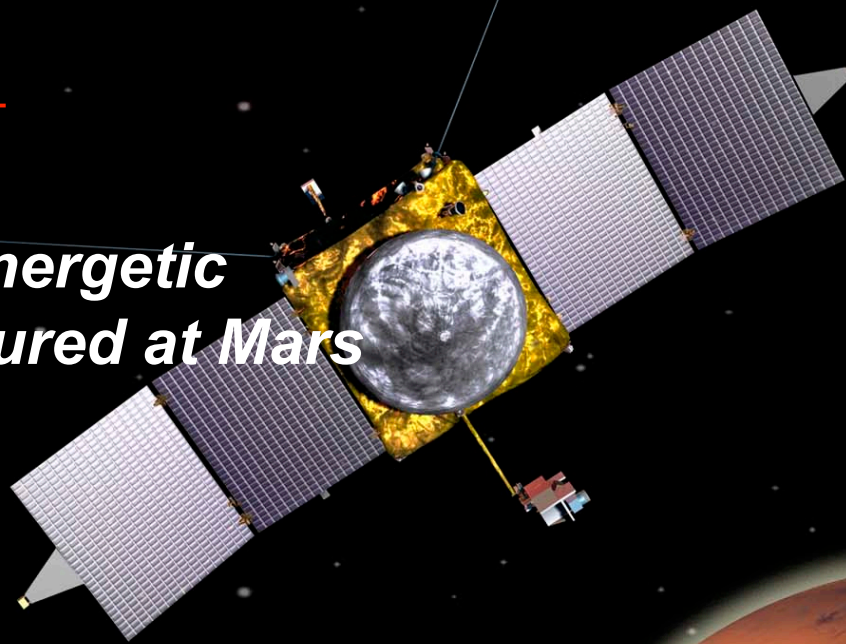




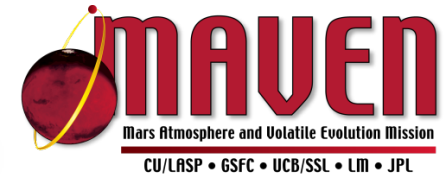
Model insights into energetic photoelectrons measured at Mars by MAVEN

*S. Sakai, A. Rahmati, D. L. Mitchell, T. E. Cravens,
S. W. Bougher, C. Mazelle, W. K. Peterson, F. G. Eparvier,
J. M. Fontenla, and B. M. Jakosky*

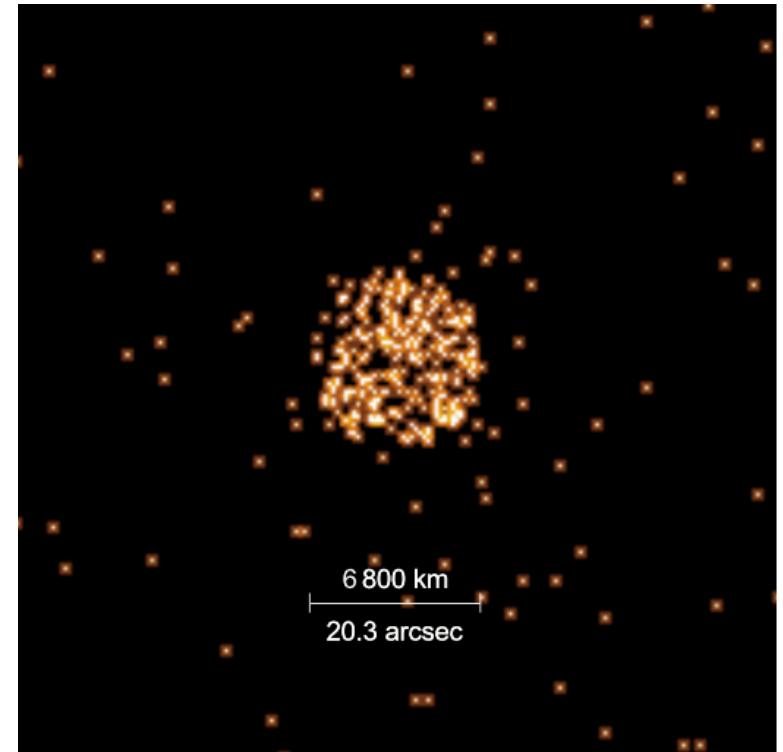
*Geophys. Res. Lett., 42, 8894-8900,
doi:10.1002/2015GL065169*



Introduction

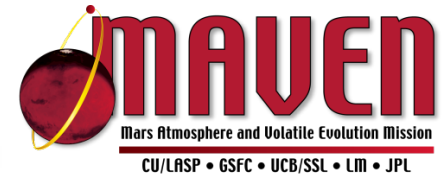


- 太陽 EUV や X 線は高層大気中でエネルギーを蓄える [cf. *Fox et al.*, 2008]
 - 電離や加熱過程に貢献
- 2001 年に火星起源の X 線を発見 [*Dennerl*, 2002]
 - 500 eV 以上の電子が存在することを示唆
 - X 線は C, O, N の K 殻からの電離によって放出
 - メインではない
- ほとんどはオージェ電子として放出
 - ~99%



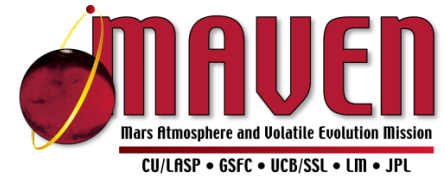
Soft X-ray image of Mars made by Chandra
[*Dennerl*, 2002]

Model description



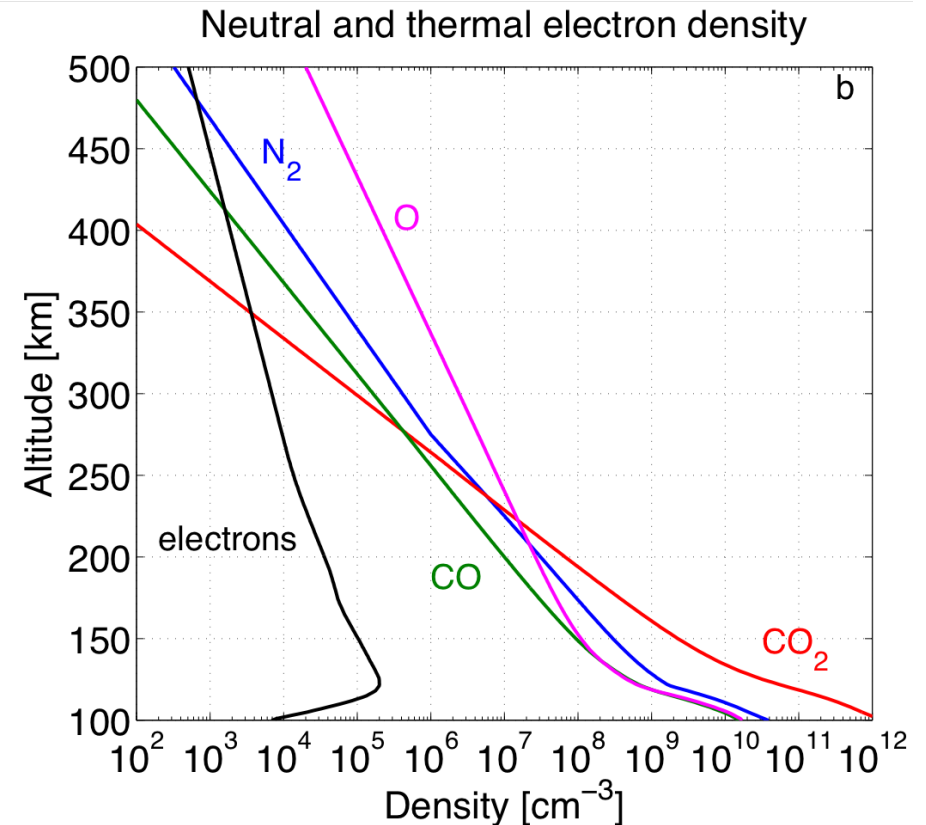
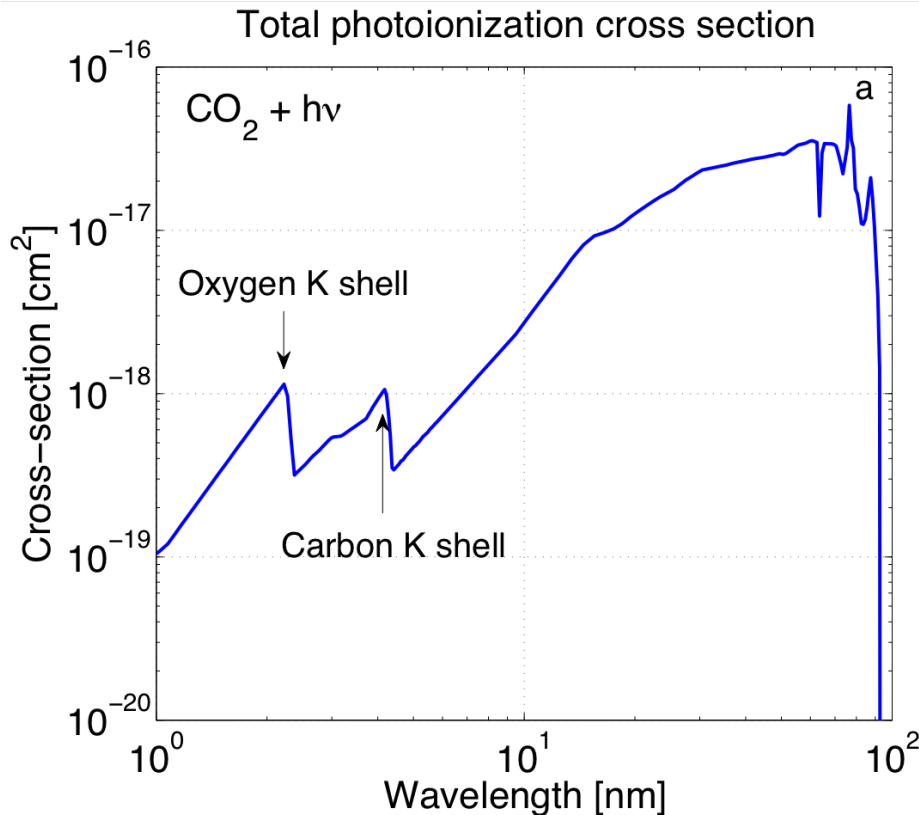
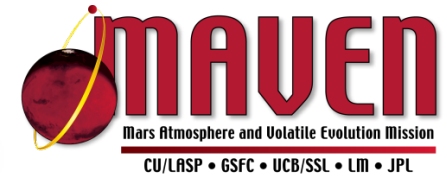
- コード群
 - Photon energy deposition code
 - 超熱的電子 (光電子) の生成率を高度とエネルギーの関数として計算
 - Inputs: 太陽フラックス, 中性大気密度
 - Two-stream electron transport code
 - 光電子のアップフラックス, ダウンフラックスを計算
 - Inputs: 光電子生成率, 中性大気・電子密度

Solar flux model



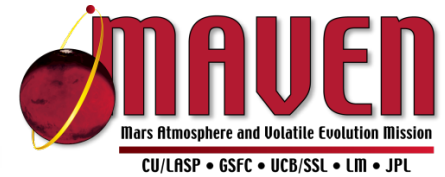
- Heliospheric Environment Solar Spectrum Radiation (HESSR) model
 - Solar Irradiance Physical Modeling (SRPM) system
 - e.g., *Fontenla et al.* [2011]
 - <http://www.galactitech.net/hessrdata/Mars/Spectra/>
- 太陽フラックスは 1 日毎のスナップショットを元に計算
- 波長: 0.05-7.0 nm for $d\lambda = 0.05$ nm
2.0-160.0 nm for $d\lambda = 1.0$ nm

Background atmosphere



- CO_2 , CO , N_2 , and O
 - Based on *Bougher* [2012] and *Bougher et al.* [2009 & 2014]

Two-stream model



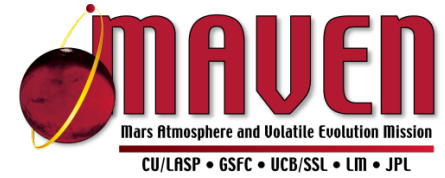
- Suprathermal electron transport model

$$\langle \mu \rangle \frac{d\Phi^\pm}{ds} = - \sum_k n_k(s) (\sigma_a^k + p_s^k \sigma_s^k) \Phi^\pm(\epsilon, s) + \sum_k n_k(s) p_e^k \sigma_e^k \Phi^\mp(\epsilon, s) + \frac{q(\epsilon, s)}{2} + q^\pm(\epsilon, s)$$

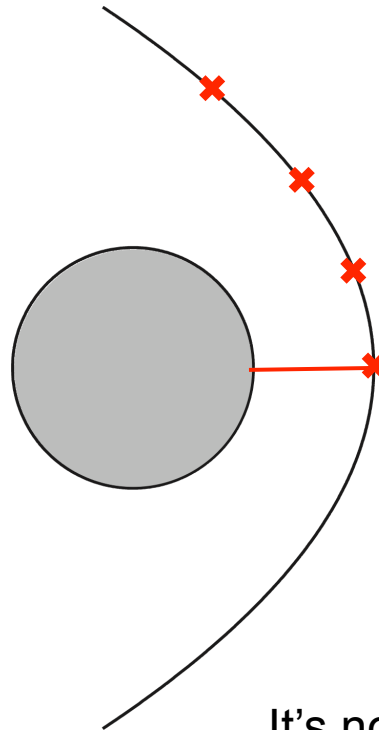
- 光電離, 電子弾性・非弾性衝突断面積は *Gan et al.* [1990] より

$\cos \alpha$: pitch angle, σ_a^k : total inelastic collision cross-section for a neutral species k , p_s^k and s : electron backscatter probability and the cross-section, p_e^k and σ_e^k : elastic collision probability and the cross-section, q : photoelectron production rate due to direct photoionization, q^\pm : electron production rate due to cascading from higher energy by inelastic collisions

Coordinate system

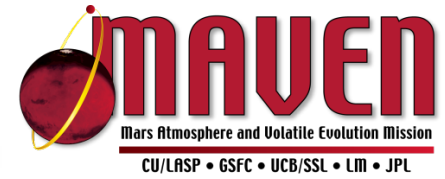


- 磁力線座標系 (放物線)
 - Apex: 100 km

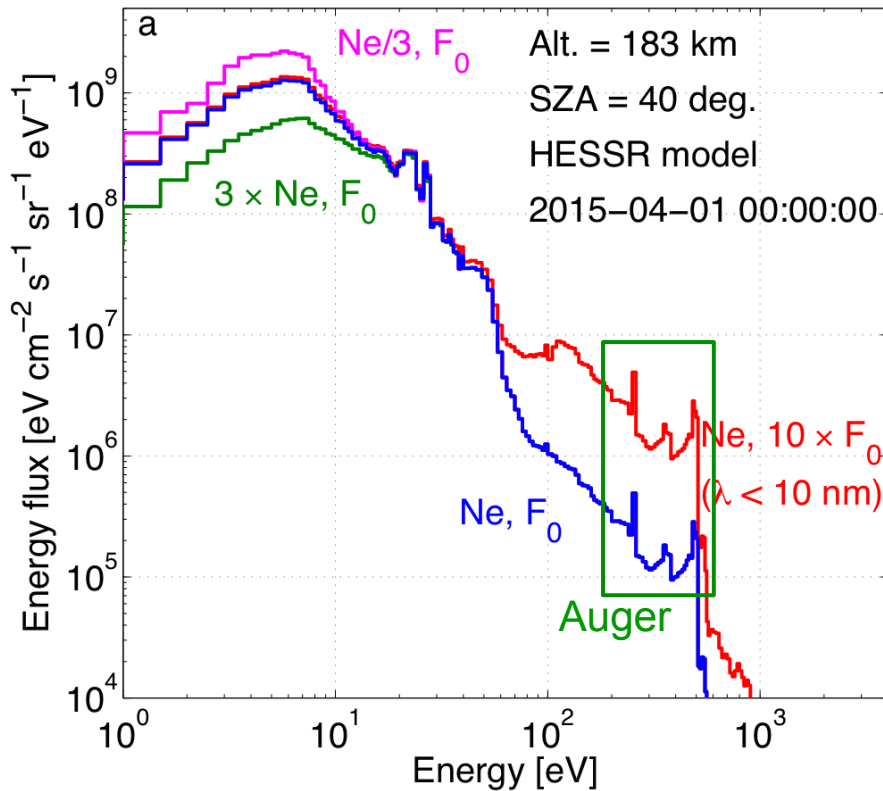


It's not to scale.

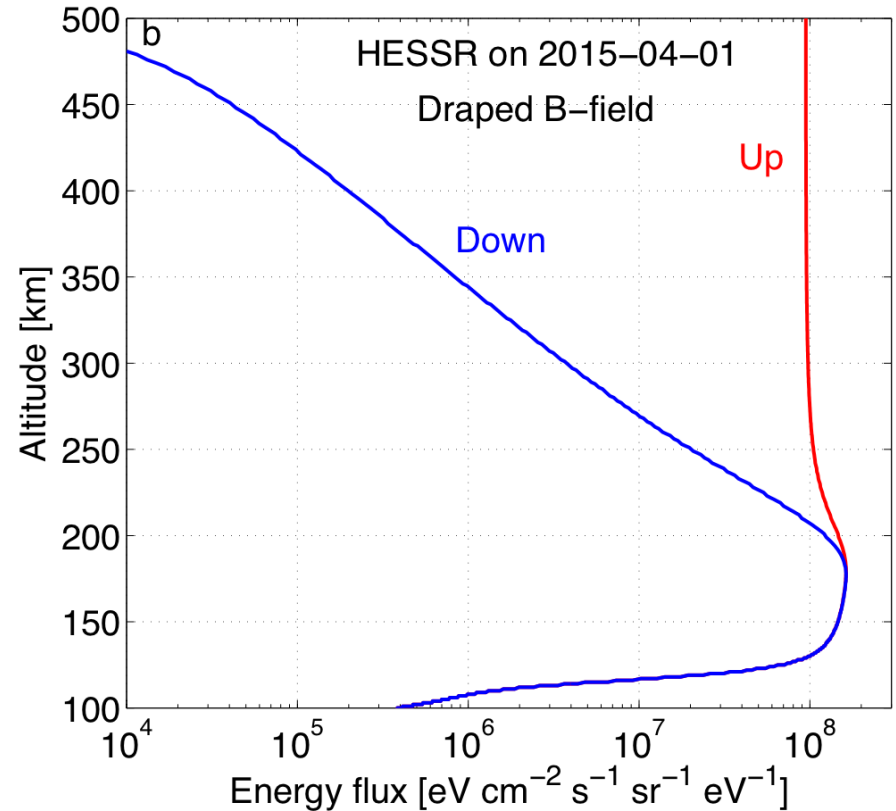
Results



Electron energy spectrum



Electron energy flux, $E = 25$ eV

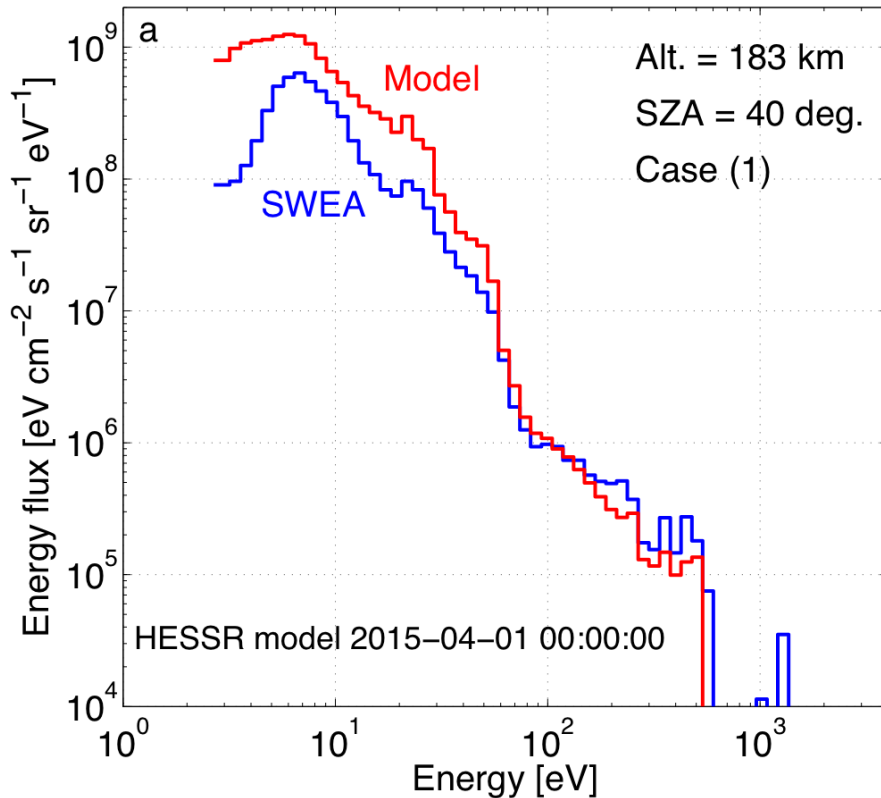


- Key of energy flux: < 10 eV での電子密度と中性大気密度の比
 > 50 eV での軟 X 線
- アップフラックスが卓越
 - 上部境界でのダウンフラックスは 0

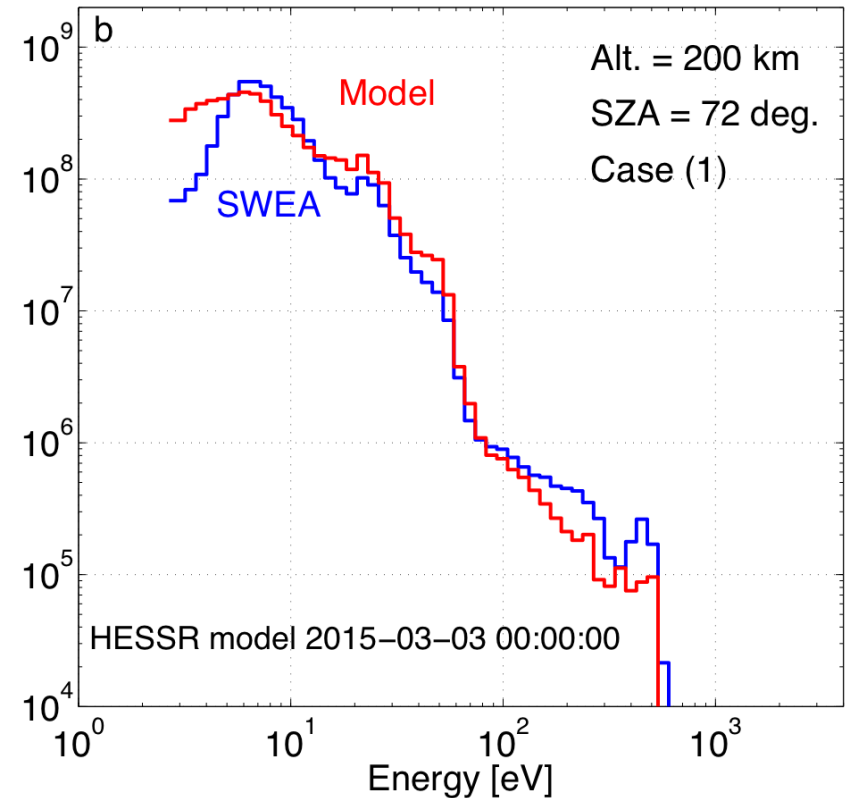
Comparison with SWEA



MAVEN/SWEA 2015-04-01 01:31:44

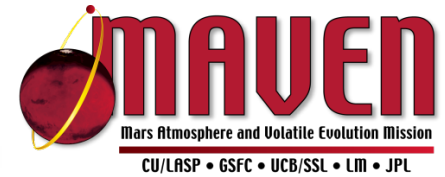


MAVEN/SWEA 2015-03-03 02:32:56



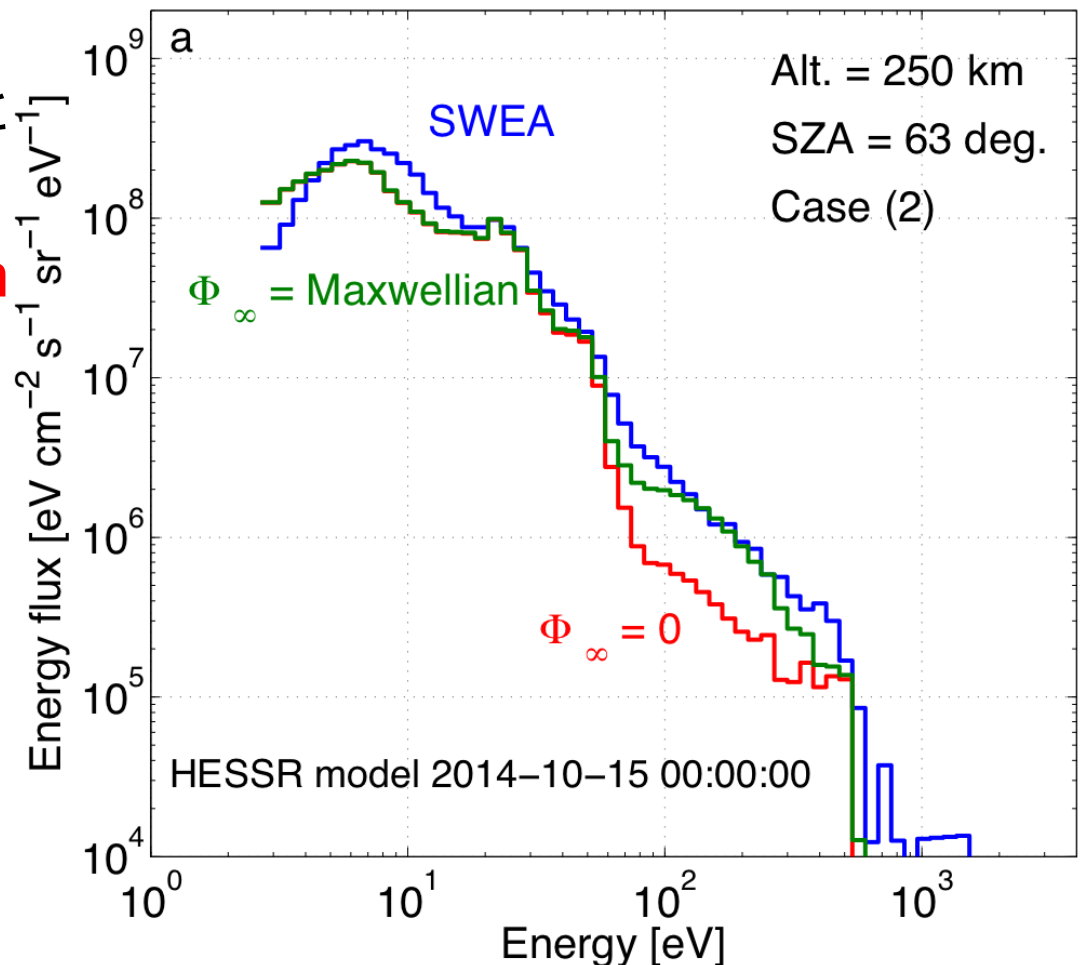
- フレアなし
 - SWEA とほぼ一致.
 - 4月1日の 50 eV 以下では不一致
 - 電子密度の SZA 依存性

Comparison with SWEA



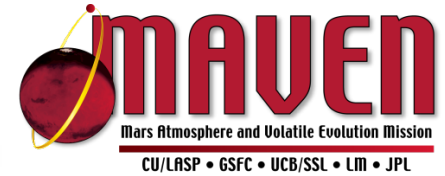
MAVEN/SWEA 2014-10-15 14:28:49

- シース (尾部) 光電子
- 50 eV 以下で SWEA と一致
- 尾部電子を Maxwellian フィッティングすると SWEA とよく合う
 - $T_e = 50$ eV
 - $N_e = 0.5$ cm⁻³



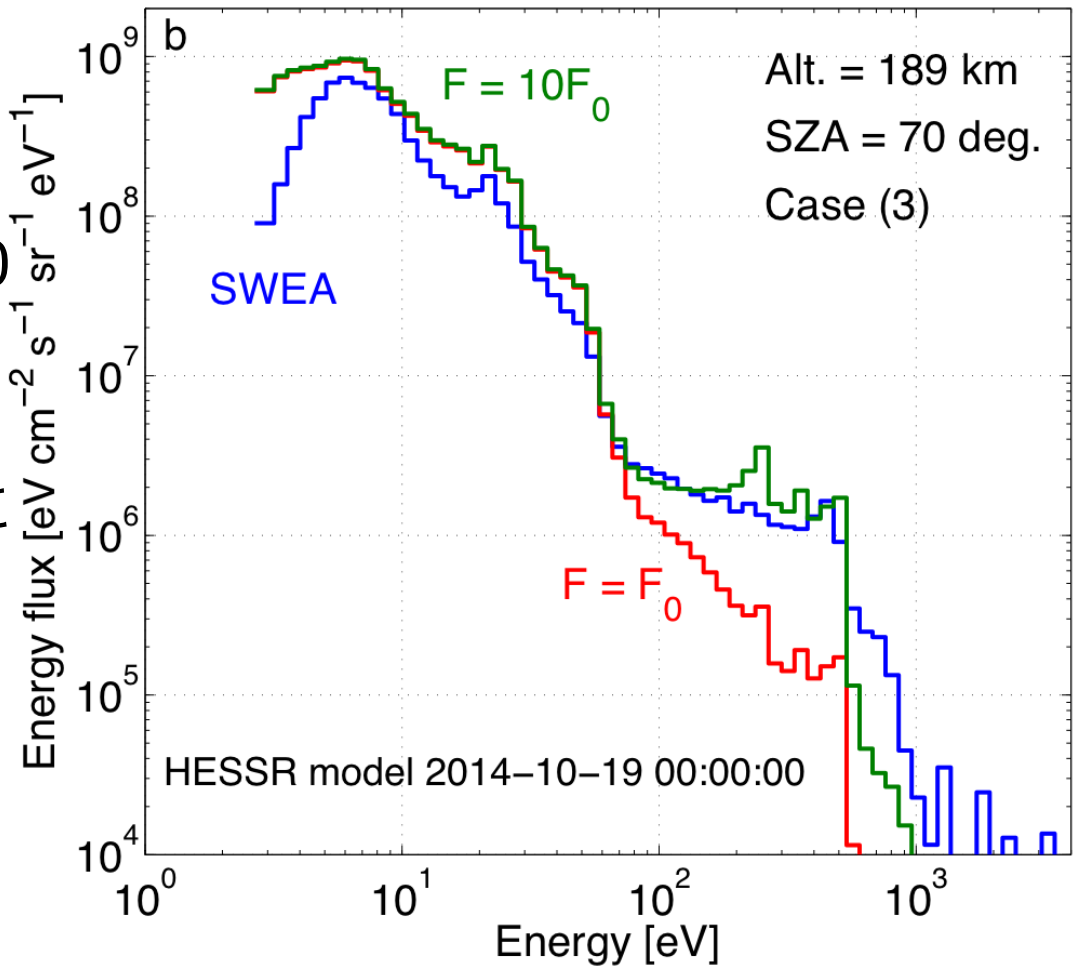
- シース電子が電離圏の光電子分布に影響を与える！

Comparison with SWEA



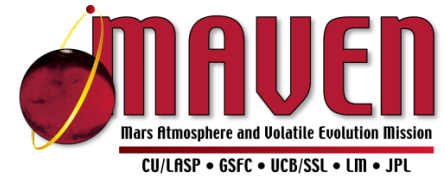
MAVEN/SWEA 2014-10-19 06:06:00

- Flare (& CME)
 - 50 eV 以下で SWEA と一致
 - 高太陽フラックスで 50 eV 以上でも一致 ($\lambda < 5.0$ nm)
 - CME の効果はモデルに含まれていない



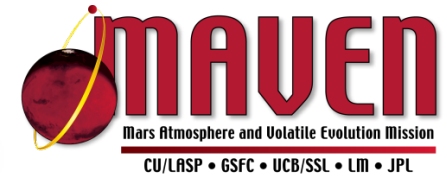
- 太陽活動も電離圏の光電子分布に重要なパラメーター！！

Summary



- 火星高層大気的光電子のエネルギーフラックスを調査
- オージェ電子 (250-500 eV) のフラックスは 1-2 nm の太陽フラックスに関連
- 10 eV 以下の光電子エネルギーフラックスは電離圏電子密度と中性大気密度との比に依存
- 50 eV 以上の光電子エネルギーフラックスはシース電子や軟 X 線 (太陽活動) に依存
- これらのモデル群は, MAVEN の更なる観測から, 太陽 EUV・XUV を火星電離圏・熱圏の熱エネルギーに変換するような複雑なプロセスの更なる理解に貢献できる

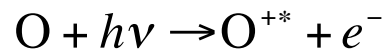
References



- Bougher, S. W. (2012), Coupled MGCM-MTGCM Mars thermosphere simulations and resulting data products in support of the MAVEN mission, *JPL/CDP report*, pp. 1-9, 6 Aug.
- Bougher, S. W., A. Valeille, M. R. Combi, and V. Tennishev (2009), Solar cycle and seasonal variability of the Martian thermosphere-ionosphere and associated impacts upon atmospheric escape, *SAE Int. J. Aerosp.*, 4(1), 227-237, doi:10.4271/2009-01-2396.
- Bougher, S. W., T. E. Cravens, J. Grebowsky, and J. Luhmann (2014), The aeronomy of Mars: Characterization by MAVEN of the upper atmosphere reservoir that regulates volatile escape, *Space Sci. Rev.*, 182, doi:10.1007/s11214-014-0053-7.
- Dennerl, K. (2002), Discovery of X-rays from Mars with Chandra, *Astron. Astrophys.*, 394, 1119-1128, doi:10.1051/0004-6361:20021116.
- Fontentla, J. M., J. Harder, W. Livingston, M. Snow, and T. Woods (2011), High-resolution solar spectral irradiance from extreme ultraviolet to far infrared, *J. Geophys. Res.*, 116, D20108, doi:10.1029/2011JD016032.
- Fox, J. L., M. I. Galand, and R. E. Johnson (2008), Energy deposition in planetary atmospheres by charged particles and solar photons, *Space Sci. Rev.*, 139, 3-62, doi:10.1007/s11214-008-9403-7.
- Gan, L., T. E. Cravens, and M. Horanyi (1990), Electrons in the ionopause boundary layer of Venus, *J. Geophys. Res.*, 95, 19023-19035, doi:10.1029/JA095iA11p19023.

Auger electrons

- 酸素オージェ電子



- 酸素オージェの3つのピーク

- ~490 eV
- ~495 eV
- ~500 eV

