

Collinson et al., Electric Mars: The first direct measurement of an upper limit for the Martian “polar wind” electric potential, Geophys. Res. Lett., 42, doi:10.1002/2015GL065084, 2015.

火星の”極風” 電位の上限の観測

紹介者: 小川泰信(極地研)

背景

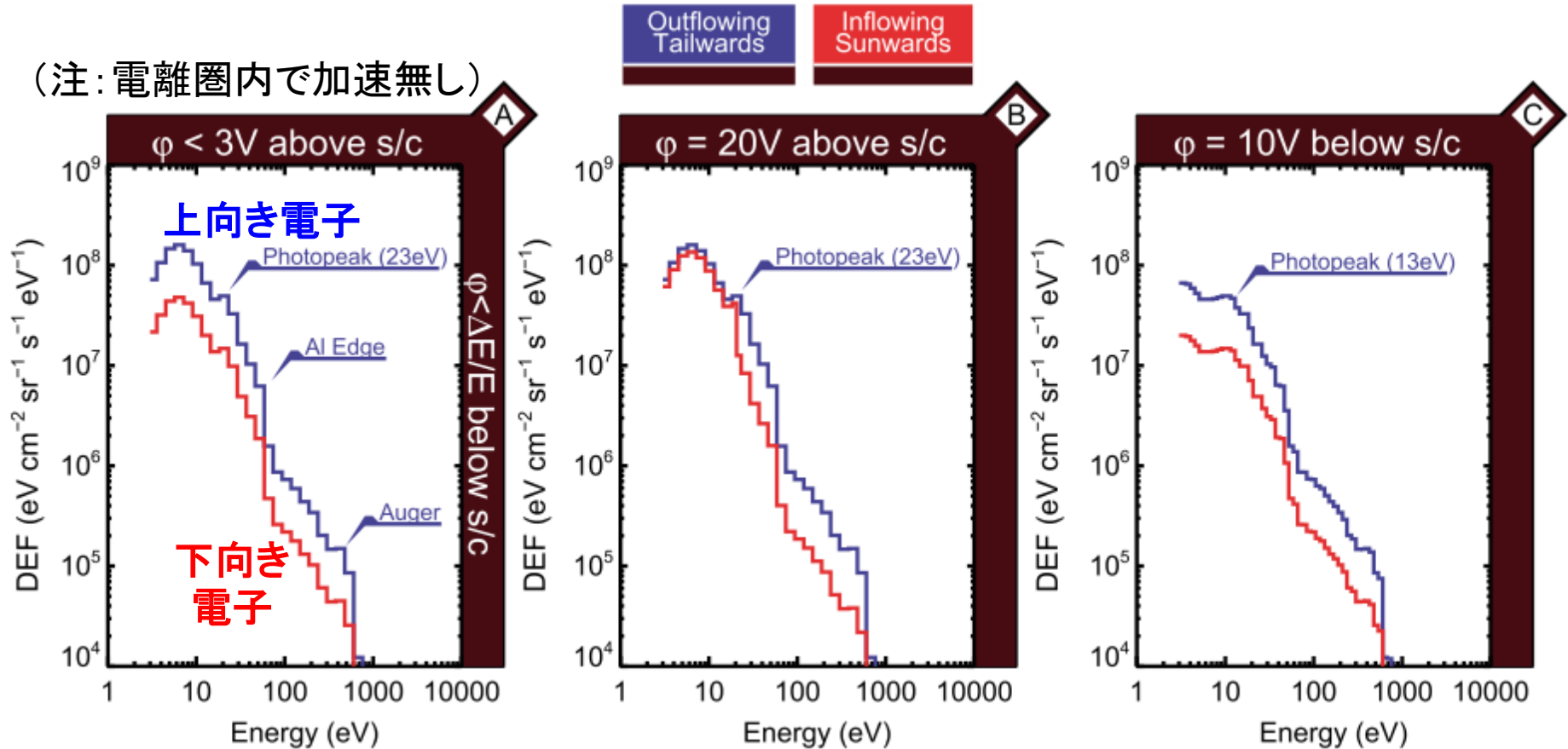
極風 (Polar wind) 生成における重要な機構は、両極性電位 (ambipolar electric potential)。重力を振り切り、電離圏からイオンが流出するキーマカニズム。

火星では、開いた磁力線領域は極域に限らず、電離圏から出てきた光電子が尾部領域で観測されている [Frahm et al., 2006a, 2010]。そのため、両極性電位が火星でもグローバルな電離圏大気散逸に貢献することが想定されている [Dubinin et al., 2011]。しかし、これまでに直接観測された例は無い。

→ このパイロット研究では、MAVEN SWEA (Solar Wind Electron Analyzer instrument) を用いて、光電子スペクトル分布の特徴を調べた結果を報告。

両極性電位の違いによる光電子のスペクトル分布の違い (注: 観測結果ではなく予想図)

(注: 電離圏内で加速無し)

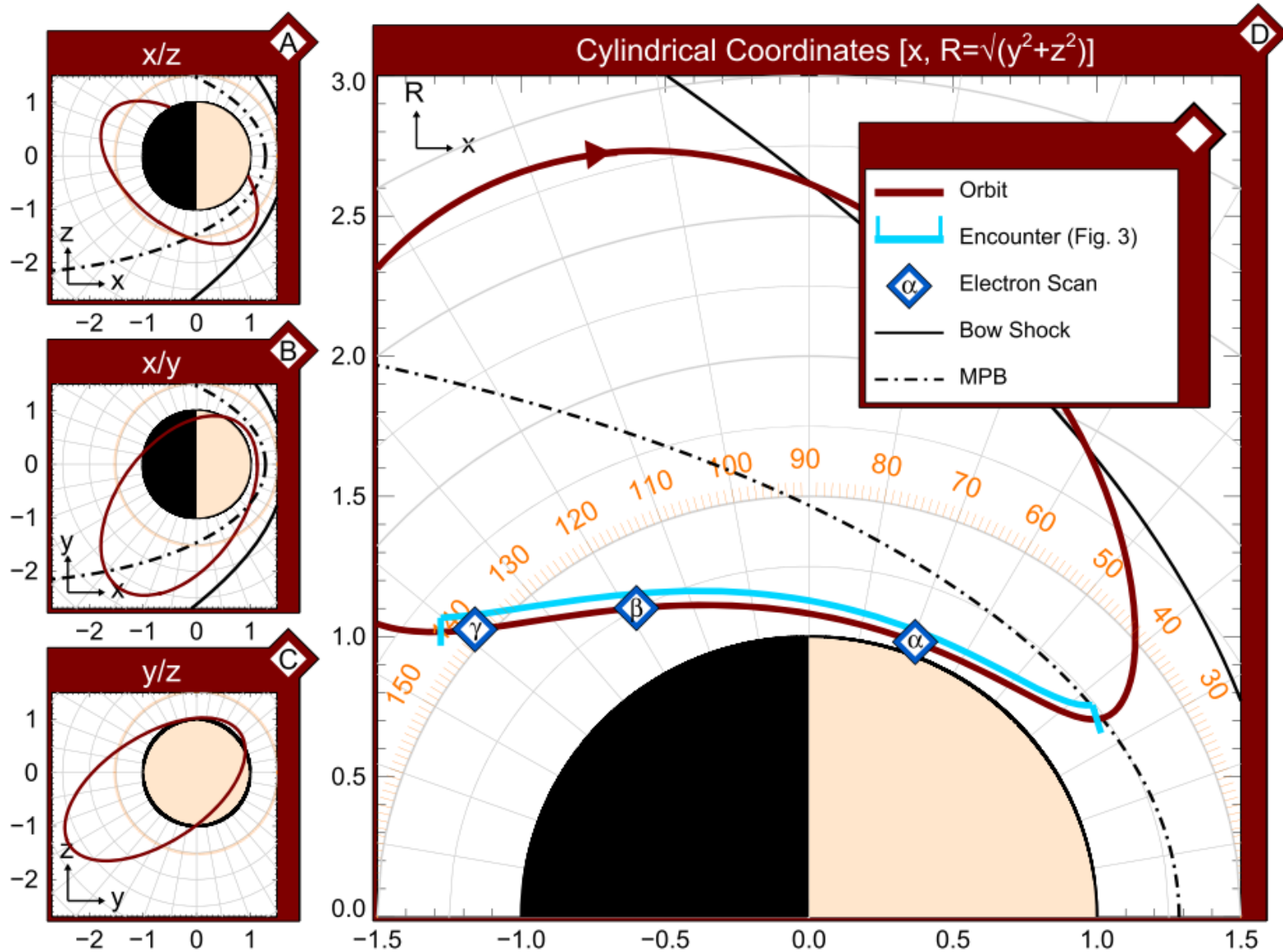


(シナリオA) 探査機の上側に3V未満の電位差:
全エネルギーに渡り、下向き電子分布が少ない。クーロン衝突か波動を介した散乱のみ。

(シナリオB) 探査機の上側に20Vの電位差(地球と同じケース):
20eV以下の電子分布には差が出ない。

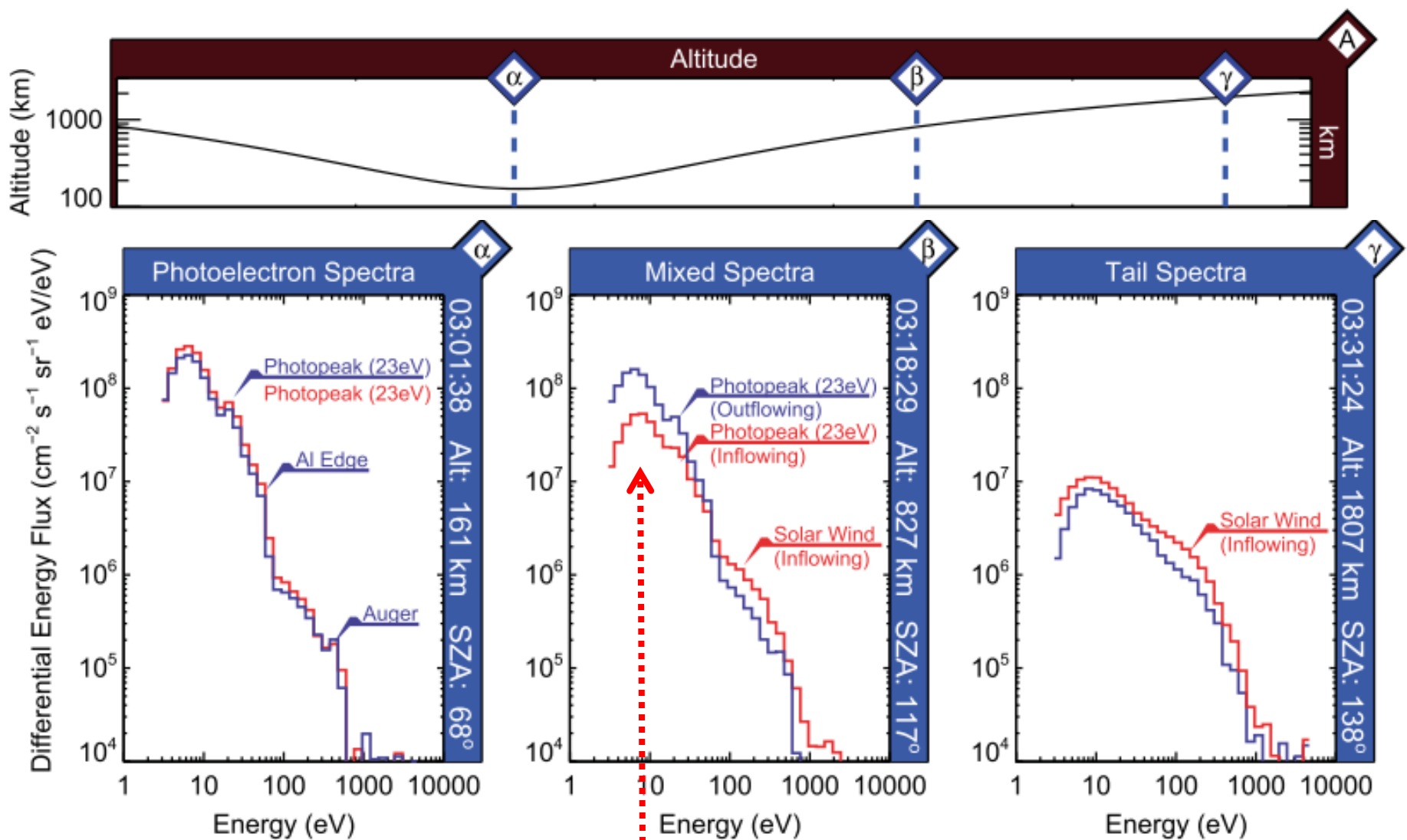
(シナリオC) 探査機の下側に10Vの電位差:
10eV以下の電子フラックスが少なくなる。

MAVENの軌道 (No 867, 2015年3月12日)



MPB: Magnetic pileup boundary (ionopause)

3地点における電子スペクトル分布の特徴



火星電離圏内

低エネルギー電子(75eV以下)
の下向きフラックスが小さい。

太陽風電子

結果

前ページの β の領域(高度827km)の結果は、シナリオAのスペクトル分布(3ページ目)に類似。

探査機高度以下の電場によるスペクトル分布のシフトは、有意には見られなかった。

→火星電離圏内の全電位差の上限は、 $\pm 2V$ 以下
(機器の測定誤差(23eVで17%)より)

上向きと下向きフラックスの特徴は似ている。

→火星磁気尾部の全電位差の上限は4.5 V以下
(SWEAの検出可能なエネルギー下限(3eV)と、探査機ポテンシャル(-1.5V)より)。

75 eV以下のエネルギー帯で、クーロン衝突か波動を介した後方散乱が、探査機より上方で存在する。

議論

もし全電位差がこの上限(電離圏 $2V$ + その上方 $4.5V$)に近かったら、主要な電離圏イオン種の強い流出が期待できる。火星での脱出エネルギー:

0.1 eV for H^+ , 2.1 eV for O^+ , 4.2 eV for O_2^+

しかし、現在の理論で予想されているような、電位差のほとんどが探査機高度以下に限定されている($\pm 2 V$ 以下の電位差)としたら、そのような電位差は O_2^+ を脱出速度まで加速するには不十分。

軽いイオン(H^+ , O^+)の加速に対しては、そのような電位差で充分である。

議論の続き

地球の場合の電位差は、約20V [Kitamura et al., 2010]。

両極性拡散電場が火星で弱い要因として、Wake 領域が Hot shocked solar wind electrons に満たされている可能性あり(領域 β と γ の結果より)。準中性と電流が流れない状態を保つように、太陽風起源電子と光電子が釣り合う可能性あり。

光電子(60eV以下)によるネットの上向きフローの約1/3の大きさの、ネットの太陽風下向きフロー(60eV以上)が存在。

しかし、どのような(小さな)電位差でも、ジーンズ散逸の増大を通じて、大気損失に貢献すると考えられる。

当該論文のポイント:

- ・極風を引き起こす磁場に平行電場(電位差)の上限を与えた。
- ・火星電離圏で 2V 未満。磁気尾部全体では 4.5V 以下。
- ・この電位差は、主たる電離圏種である O_2^+ を脱出速度にまで加速するには弱すぎる。

疑問点(論文内より):

- ・このような電位差(が検出されないレベル)は火星に典型的か?
- ・上部電離圏にて電子 Heat flux を生み出すための十分な衝突があるか?

Abstract:

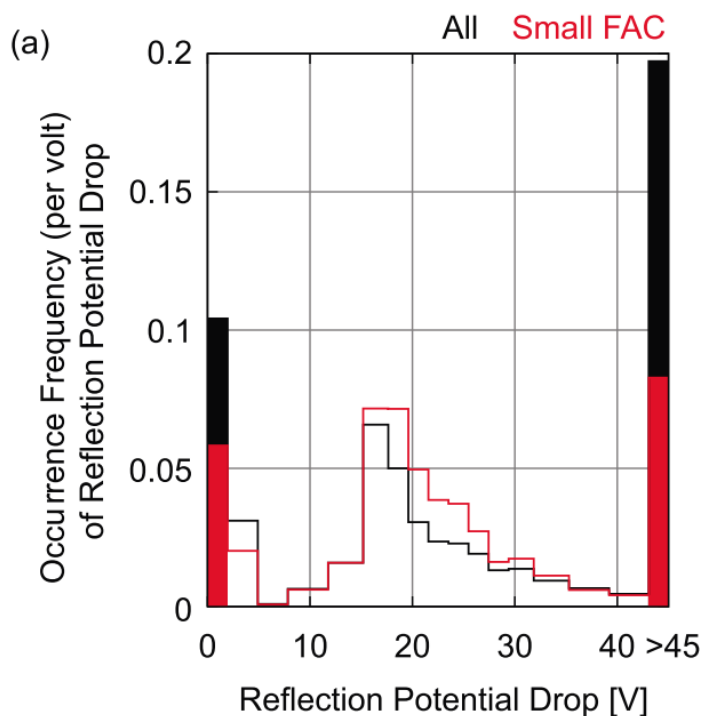
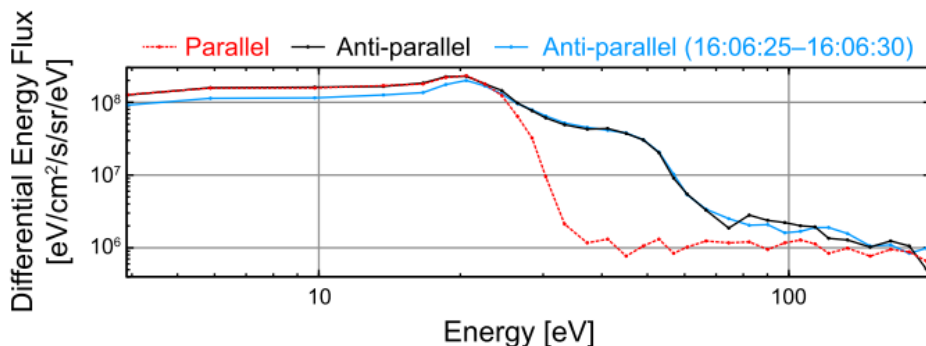
An important mechanism in the generation of polar wind outflow is the ambipolar electric potential which assists ions in overcoming gravity and is a key mechanism for Terrestrial ionospheric escape. At Mars, open field lines are not confined to the poles, and outflow of ionospheric electrons is observed far into the tail. It has thus been hypothesized that a similar electric potential may be present at Mars, contributing to global ionospheric loss. However, no direct measurements of this potential have been made.

In this pilot study, we examine photoelectron spectra measured by the Solar Wind Electron Analyzer instrument on the NASA Mars Atmosphere and Volatile Evolution (MAVEN) Mars Scout to put an initial upper bound on the total potential drop in the ionosphere of Mars of $\Phi \lesssim \pm 2\text{V}$, with the possibility of a further $\lesssim 4.5\text{ V}$ potential drop above this in the magnetotail.

If the total potential drop was close to the upper limit, then strong outflows of major ionospheric species would be expected. However, if most of the potential drop is confined below the spacecraft, as expected by current theory, then such a potential would not be sufficient on its own to accelerate O^{+2} to escape velocities, but would be sufficient for lighter ions. However, any potential would contribute to atmospheric loss through the enhancement of Jeans escape.

電位差と電子スペクトル分布との関係

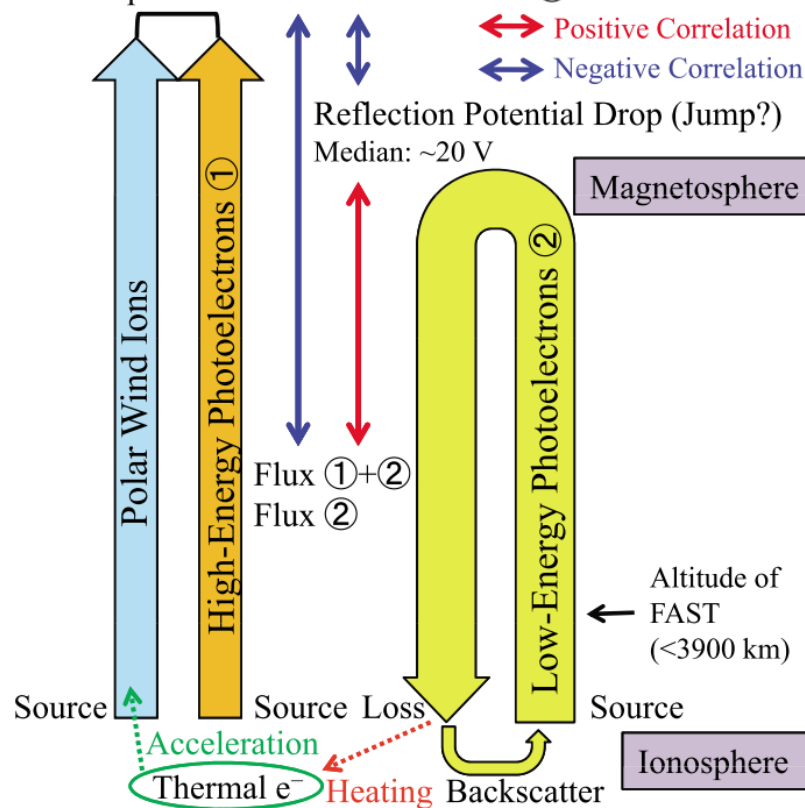
地球での観測結果



Photoelectron Flows in the Polar Wind during Geomagnetically Quiet Periods (Zero FAC Condition, No Precipitating Electrons)

Median: 1.7×10^8 /cm²/s (mapped to 1000 km altitude)

Equal Flux = Net Electron Flux ①



Kitamura et al., 2012

Three canonical features of photoelectrons

- (1) the CO₂ photopeak at 23 eV
- (2) an abrupt cutoff at ≈ 75 eV due to a sharp drop in the intensity of the solar irradiance below 16 nm, referred to as the “Aluminum (Al) Edge”
- (3) a peak of Oxygen Auger electrons at ~ 500 eV.

