

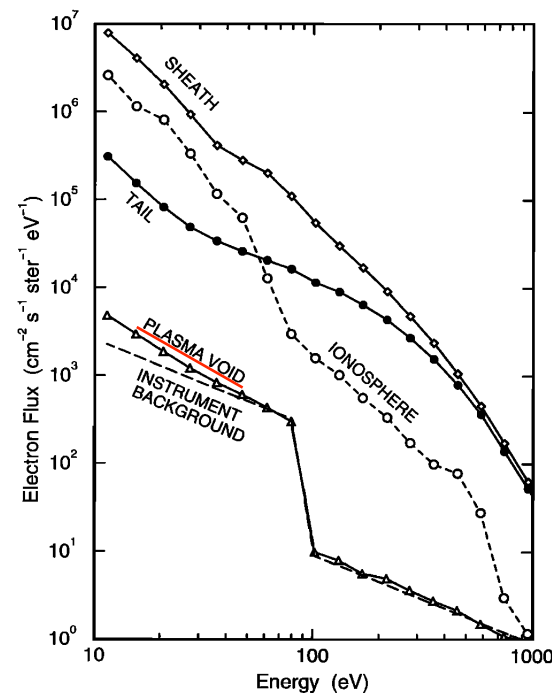
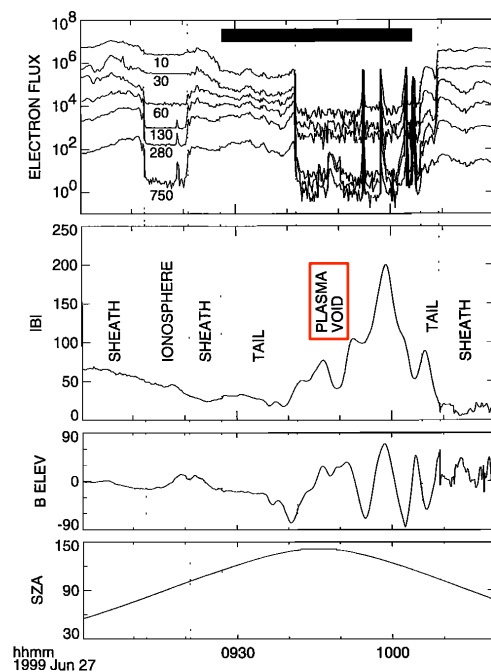


Mars Atmosphere and Volatile Evolution (MAVEN) Mission

Steckiewicz+ [2015],
Altitude dependence of nightside Martian
suprathermal electron depletions
as revealed by MAVEN observations
Geophys. Res. Lett., 42, 8877-8884,
doi:10.1002/2015GL065257.
原 拓也 (UCB-SSL)

導入: Plasma Voidについて

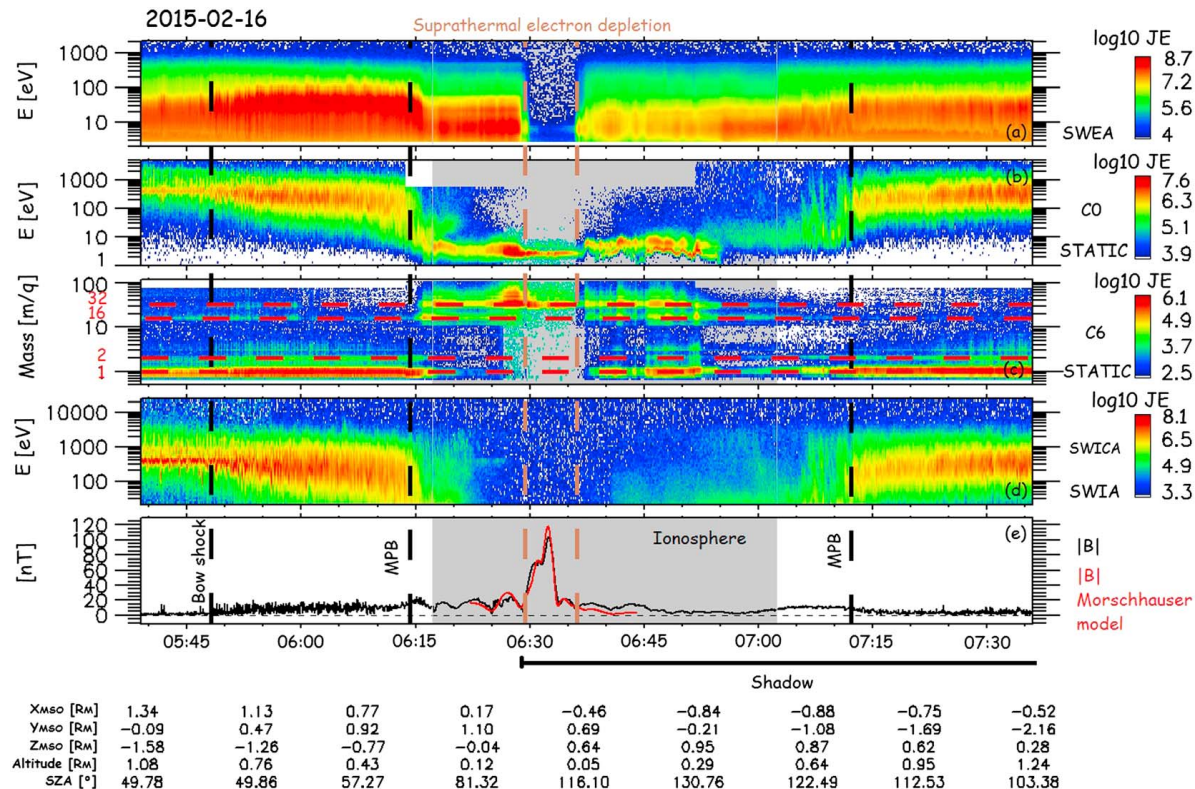
- 火星夜側電離圏にて、電子フラックスが周辺に比べて一時的に数桁程度小さくなる領域をPlasma voidと呼ぶ。
(本論文では, “nightside suprathermal electron depletion”,
あるいは, 単に“electron depletion”と表記する.)
- これまでMGS・MEXの電子計測器によって数多く観測され, いずれも
残留磁場と強い相関がある[e.g., Mitchell+, 2001; Soobiah+, 2006].



MGS観測例
[Mitchell+, 2001].

- Plasma voidの形成機構としてこれまでにいくつか候補
 - ・ 大気流出の寄与,
 - ・ 残留磁場上空の磁力線が閉じた領域でのイオンの中性化,
 - ・ 光化学反応 [Duru+, 2011]が挙げられたが, 従来のMGS・MEXの断片的な情報からは, 確定的な結論は得られていなかった.
- MAVENに搭載されたプラズマ観測器(特に電子, SWEA:スウィアと発音)を使って, 火星夜側電離圏で観測されるplasma voidの特徴とその形成メカニズムについて調べる.
- MAVEN/SWEAの特徴:
 - ・ 3 eVの低エネルギーの電子から観測が可能である.
c.f., MGS: ~10 eV, MEX: ~1 eV (実質は ~5-10? eV)
 - ・ 観測視野が広く (360° azimuth × 120° elevation),
視野干渉が少ない (MGS・MEXは2次元).

事例解析1：残留磁場あり

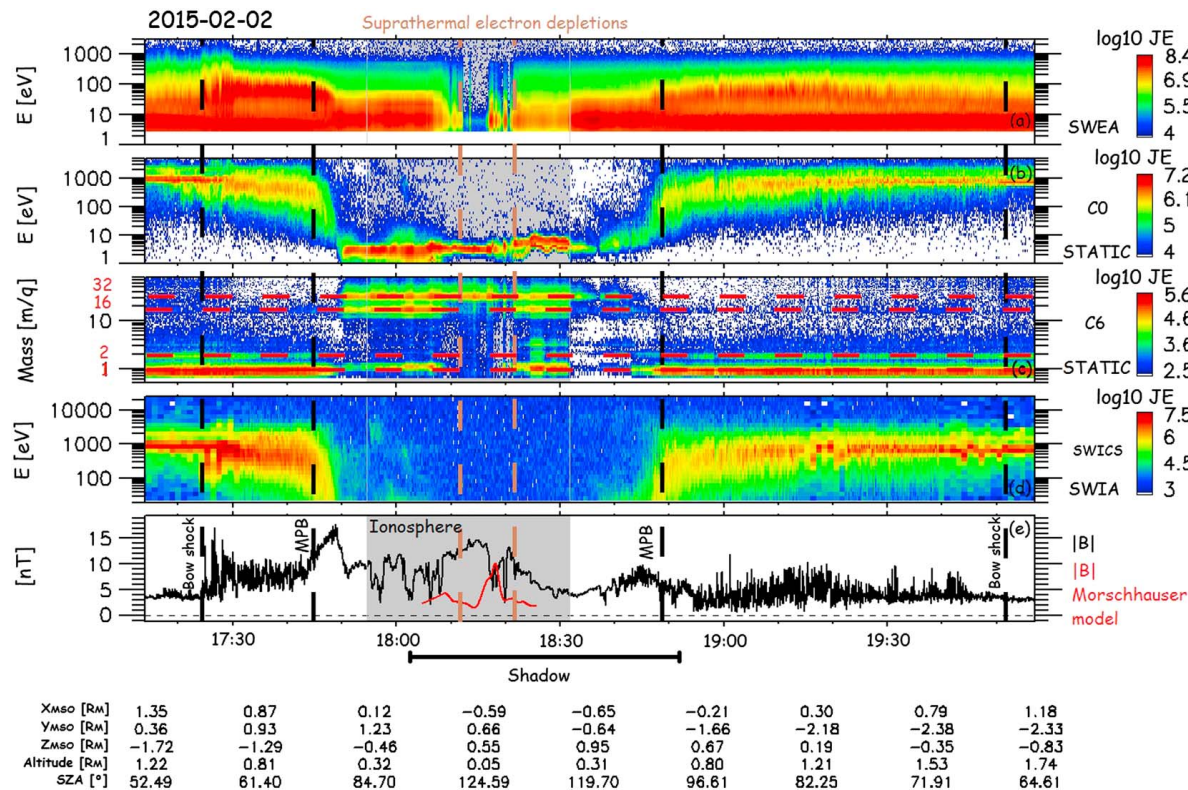


近火点位置:

- 高度 ~125 km (Deep-Dip期間中)
- 北緯40° 東経74°

- 残留磁場の閉じた磁束管付近で観測されたため、従来のMGS・MEX観測で報告されたような典型的な事例であると言える。
- Plasma void中でも、~6 eV付近に電子の、~3 eV付近に重イオンのフラックスにピークが見られる。
- ~3 eVの重イオンのピークは衛星速度の影響だと考えられる。

事例解析2：残留磁場なし



近火点位置:

- 高度 ~150 km
- 北緯50°東経150°

○ 有意な残留磁場が存在しないにもかかわらず, Plasma voidの領域が250km未満の高度で観測された.

○ Plasma void通過中に, 電子フラックスが一時的に回復するような特徴が間欠的に見られる(=“flux spike” [Mitchell+, 2001]).

○ Plasma voidの形成に, 必ずしも残留磁場が必要というわけではない.

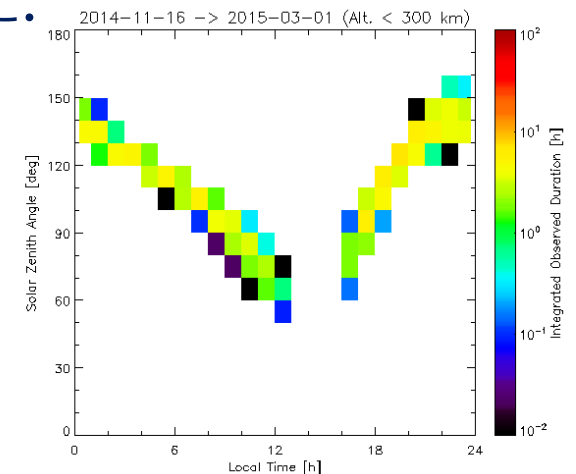
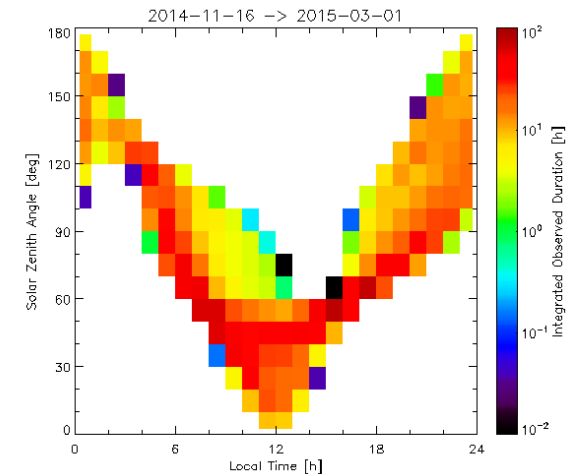
統計解析: イベント選出条件



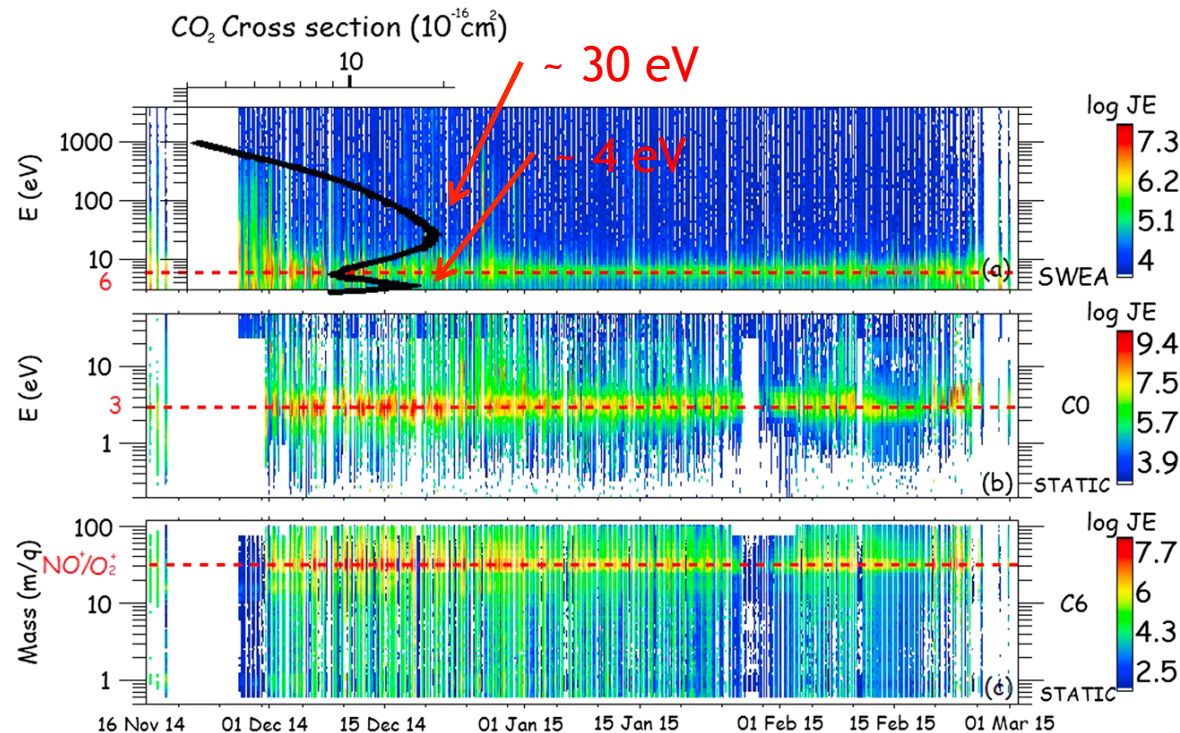
- 以下の関係式が成立する期間をPlasma voidとみなす:

$$\sum_{i=1}^3 \frac{\text{CR}(E_i)}{\langle \text{CR}(E_i), 1\text{h} \rangle} < 0.03, \quad (E_i = 4.26, 98.93, 111.16 \text{ eV})$$

- イベント継続時間は4秒以上
(空間スケールとして~16km程度)
- 2014年11月16日~2015年2月28日までについて調べた結果, 1742例のPlasma voidsが発見された.
- 457/494 orbitsでPlasma voidが検出されたことに相当する.
- 右図のように, 当該期間では, 衛星が夜側(地方時18~6時)を飛行している際の太陽天頂角の範囲は95°~150°である.
- 当該期間の近火点は概ね北半球に分布する.

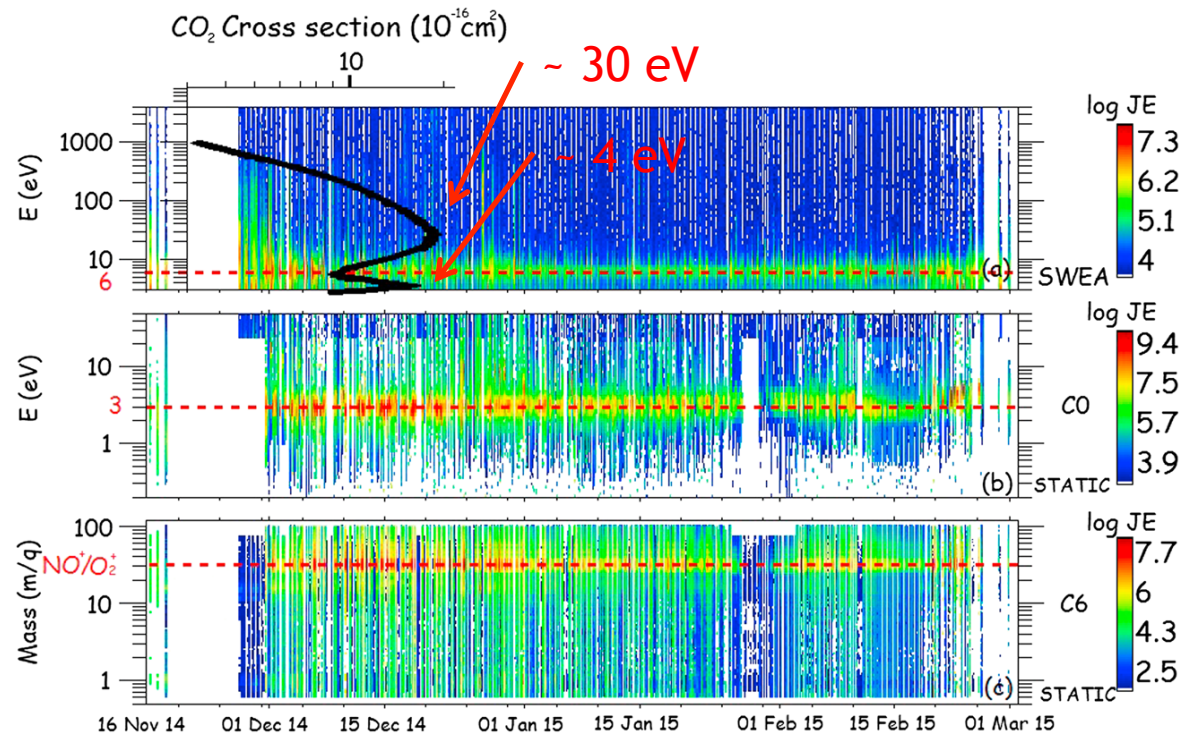


統計解析: 結果



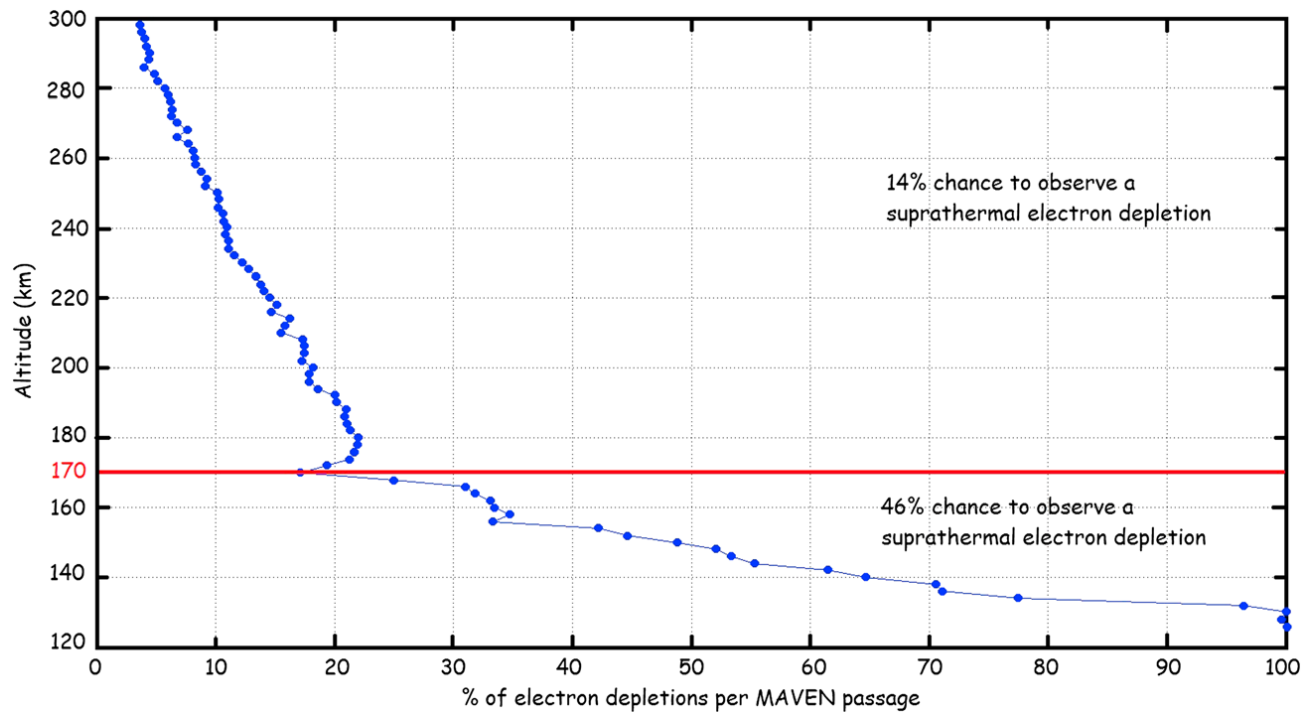
- Plasma void観測中では、いずれも $6-7 \pm 2$ eVの電子の、 3 ± 1 eVの重イオンフラックスのピークが観測されていた。
- 火星夜側熱圏の主成分である、 CO_2 と電子の衝突断面積のモデルと比較したところ、6 eV付近に衝突断面積の変曲点(谷)が見られる。
- Haider+ [2013]によると、200 km以下では夜側電離圏の主成分は O_2^+ 、 NO^+ / CO_2^+ であるため、実際に観測されたイオン組成と概ね合致している。

統計解析: 結果



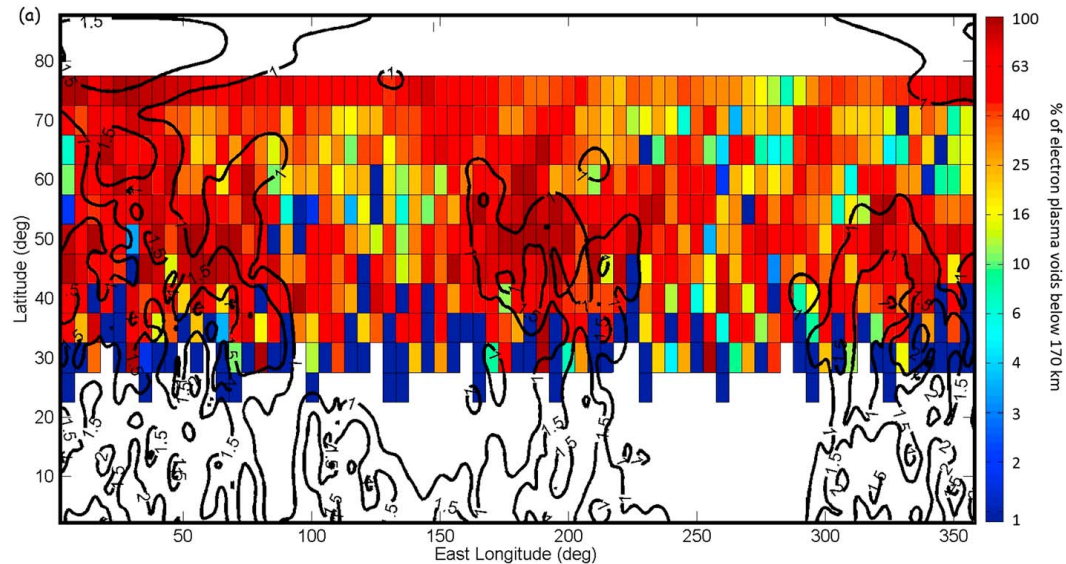
- CO_2 大気による電子の衝突吸収が, Plasma voidの主要な形成機構である可能性がある.
- 統計解析の結果から, Plasma void中で観測される主要な電子とイオンの組成は, 観測期間・高度に依存しない傾向にある.

統計解析: 高度依存性

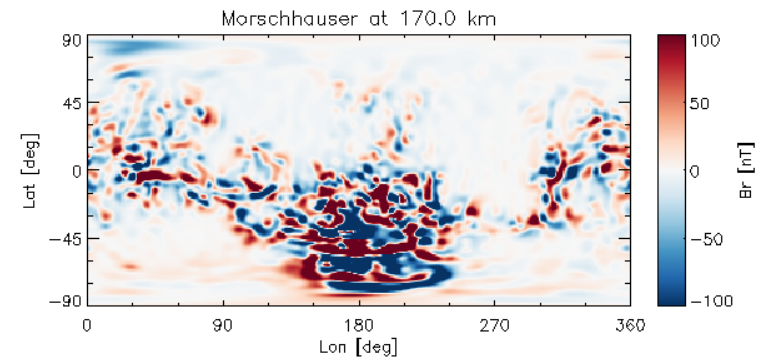


- 高度が下がるとともに, Plasma voidの観測確率が上昇する.
- 高度170 kmを境に, 観測確率の傾きが変わる.
- Deep-dipキャンペーン中の, 近火点が約125 kmの付近では, Plasma voidの観測確率はほぼ100%に達する.

統計解析: 地理座標(=残留磁場)依存性

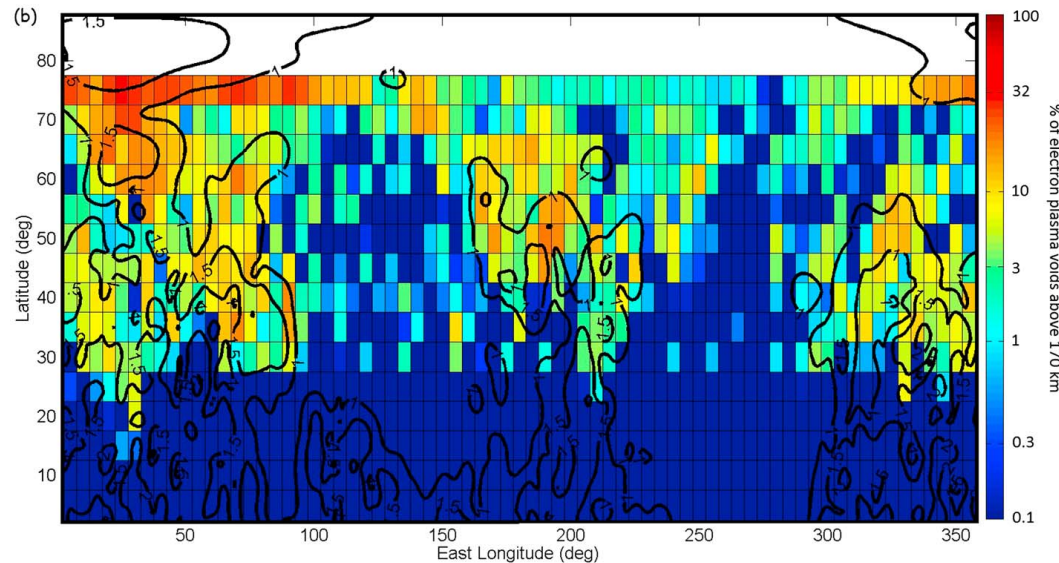


(c.f., Morschhauser+ [2014]
の残留磁場モデル @ 170 km)

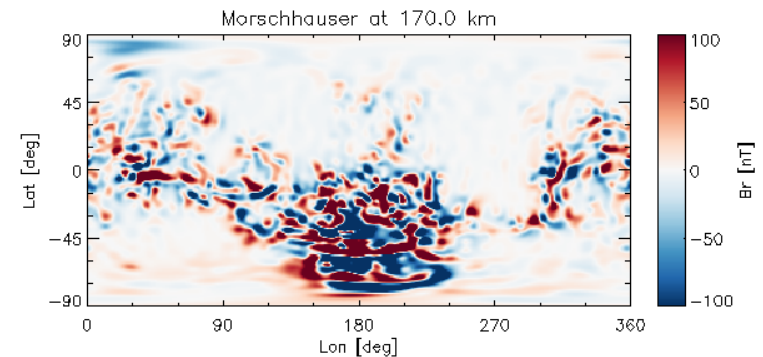


- 高度170 kmより低い地点では, 地理座標(残留磁場)に関係なく, あらゆる場所で観測確率が高い.
- 北半球で残留磁場強度が相対的に大きな(180°E, 45°N), (10°E, 50°E) でわずかに観測確率が高くなっているかもしれない.
- 高度170 kmより低い地点では, CO₂大気による電子の衝突吸収が Plasma void形成の主要なメカニズムである.

統計解析: 地理座標(=残留磁場)依存性



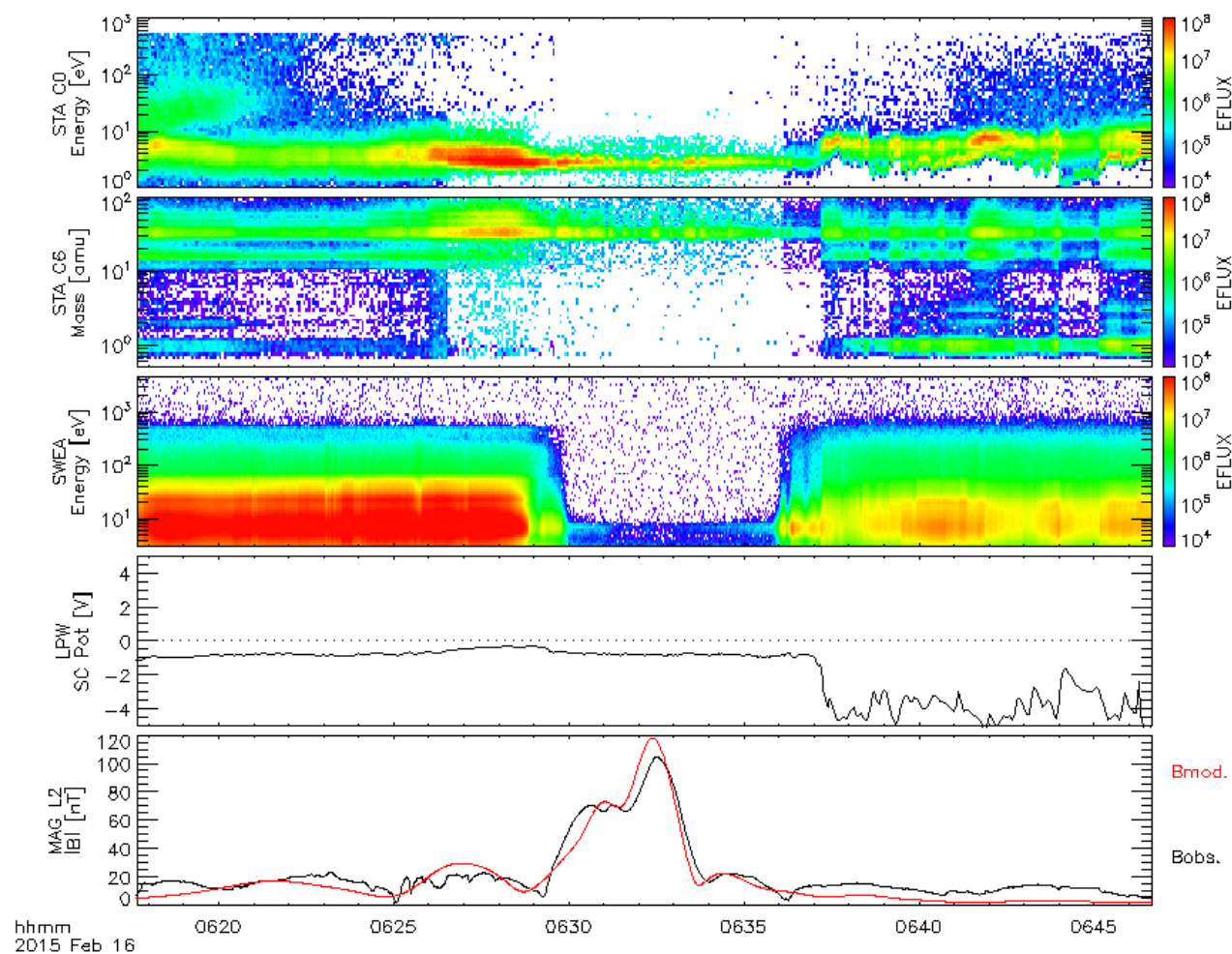
(c.f., Morschhauser+ [2014]
の残留磁場モデル @ 170 km)



- 高度170 kmより高い地点では、残留磁場強度の相対的に高い領域で、Plasma voidの観測確率が高くなっている。
- 従来のMGS・MEX観測による傾向と合致している。
(c.f., MGS mapping orbitの近火点: 400km, MEXの近火点: ~275 km)
- 高度170 kmより高い地点では、残留磁場が関係する諸現象がPlasma void形成の主要なメカニズムである。

- MAVENに搭載されたプラズマ観測器を使って、火星夜側電離圏で観測されるPlasma voidの特徴とその形成メカニズムについて調べた。
- SWEAが3 eVまでの低エネルギーの電子を観測できることから、Plasma void中にも、6 eV付近に電子フラックスのピークが存在する。
- 6 eV付近の電子は、夜側熱圏のCO₂大気との衝突断面積が相対的に低い
ため、CO₂大気による電子の衝突吸収がPlasma void形成に重要な役割を
果たした可能性がある。
- MAVENは従来の衛星より低い高度(125~150 km)を定常的に観測できる
ため、Plasma voidの高度依存性をより詳細に調べることができた。
- 高度170 kmを境に、Plasma voidの観測確率が変化が見られた。
- 高度170 kmより低い地点では、残留磁場に関係なく、あらゆる場所で
Plasma voidが頻繁に観測されるが、高度170 kmより高い地点では、
Plasma voidの観測確率は、残留磁場に強く依存している。
- 高度170 kmより低い地点では、CO₂大気による電子の衝突吸収が、
高度170 kmより高い地点では、残留磁場が関係するプロセス
によってPlasma voidが形成されている可能性が高い。

MAVEN事例解析1：残留磁場あり



MAVEN事例解析2：残留磁場なし

