

Lee+ [2018],

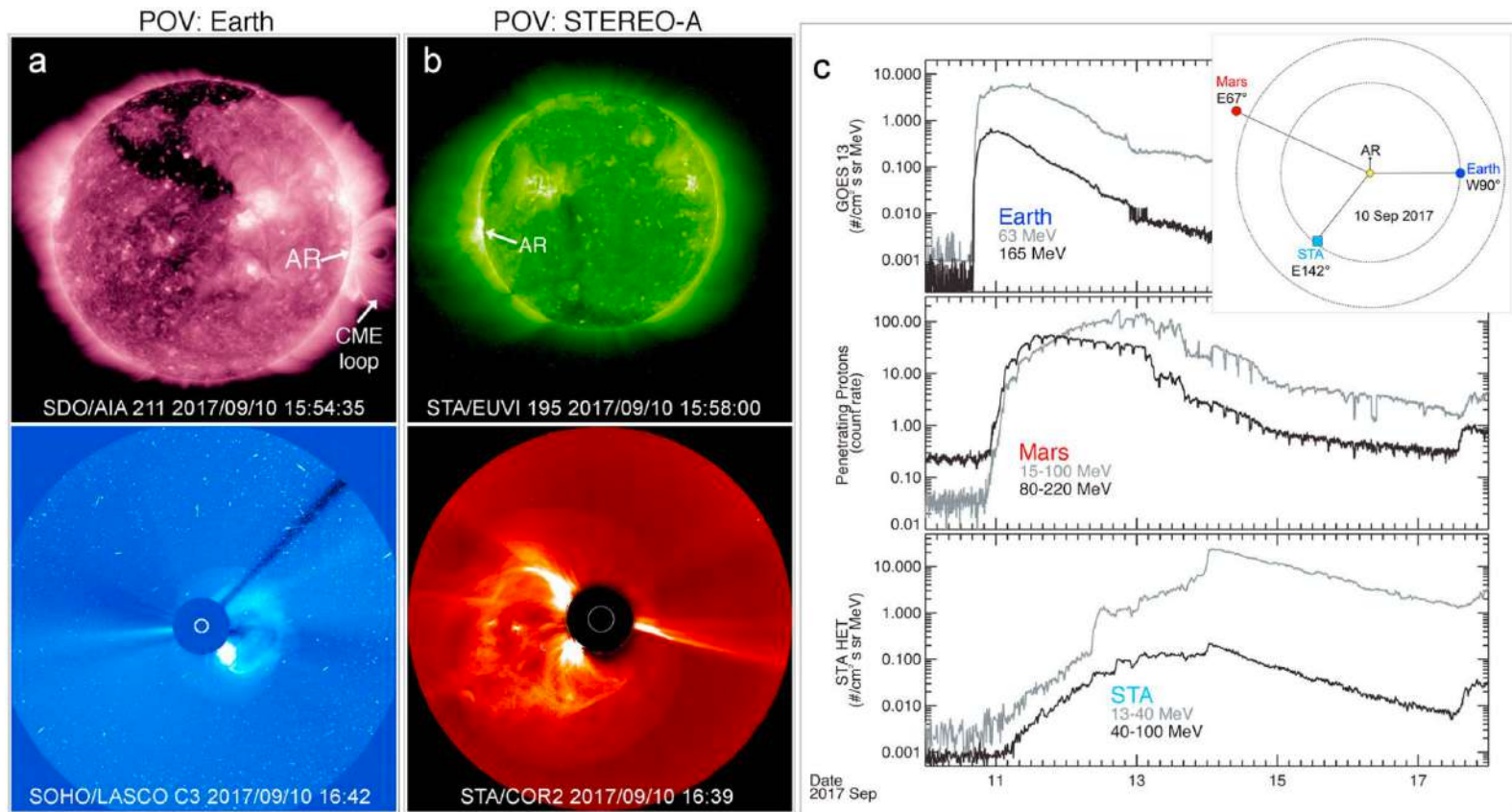
Observations and impacts of the 10 September
2017 solar events at Mars: An overview and
synthesis of the initial results.

Geophysical Research Letters, 45, 8871–8885.

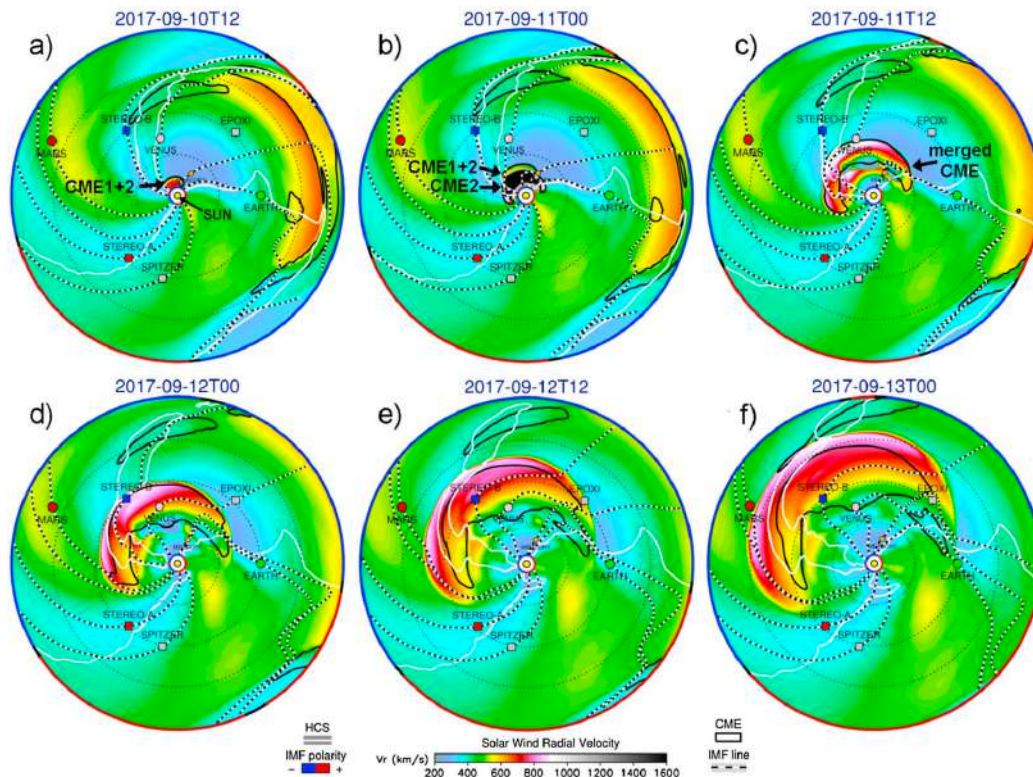
<https://doi.org/10.1029/2018GL079162>

原 拓也 (UCB-SSL)

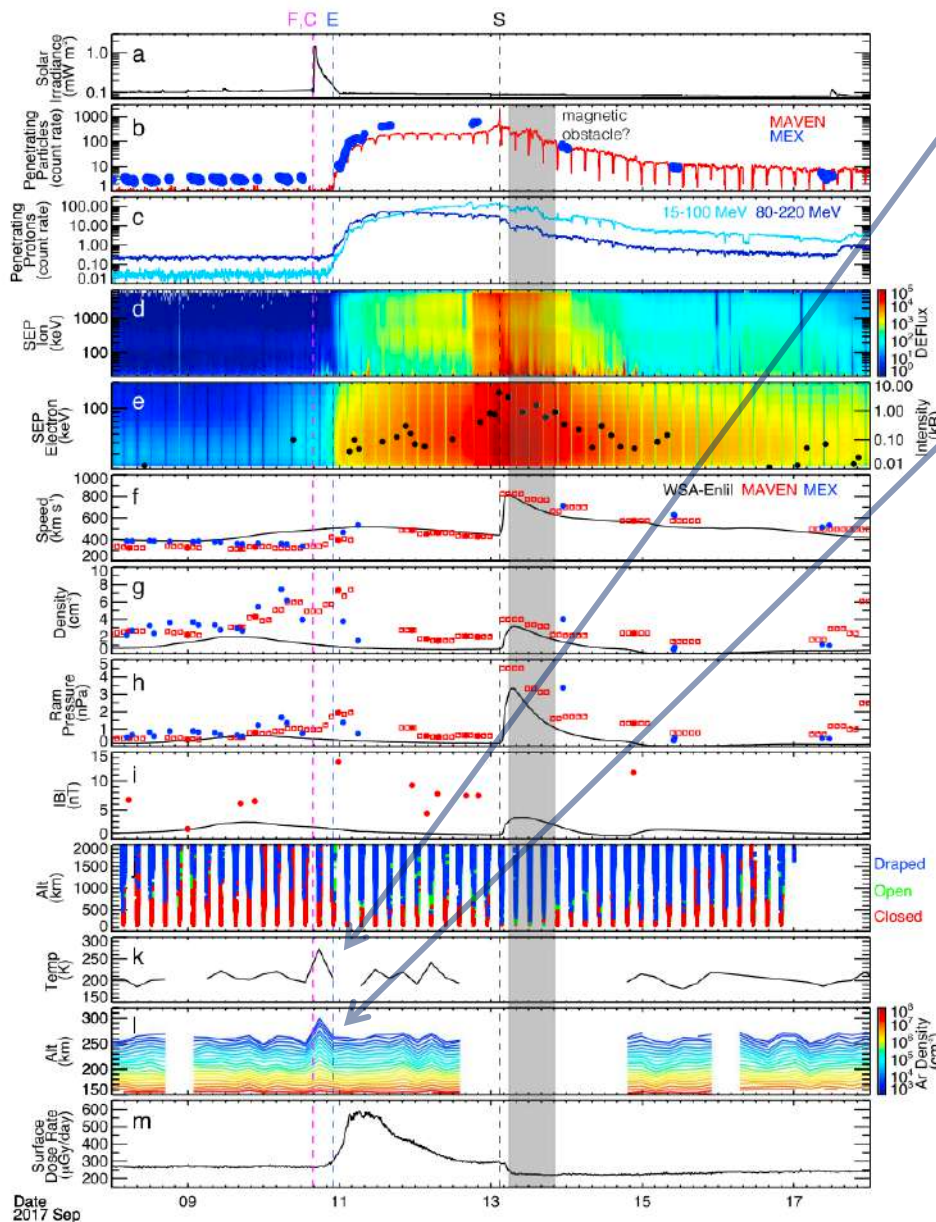
- 2017年9月にX8.2クラスフレア・CME・SEPが火星に到来した。
- こうした一連の宇宙天気イベントを、MAVEN, MSL, MEX, Odyssey, TGOといった複数の火星探査機が同時に観測することに成功した。
- 本論文では、宇宙天気イベントに対する、火星圏(磁気圏・電離圏・熱圏・地表)の影響について紹介する。
- (本論文はGRL特集号の冒頭記事で、今回紹介された特集号掲載論文は、近い将来に火星勉強会で取り扱われるのでは・・・)



- 2017年9月10日に活動領域12673でX8.2フレアが地球から見て西のリムで発生した。
- 地球(GOES)、火星(MAVEN)、STEREO-Aという広い太陽圏領域にて、SEPの増加が観測された。

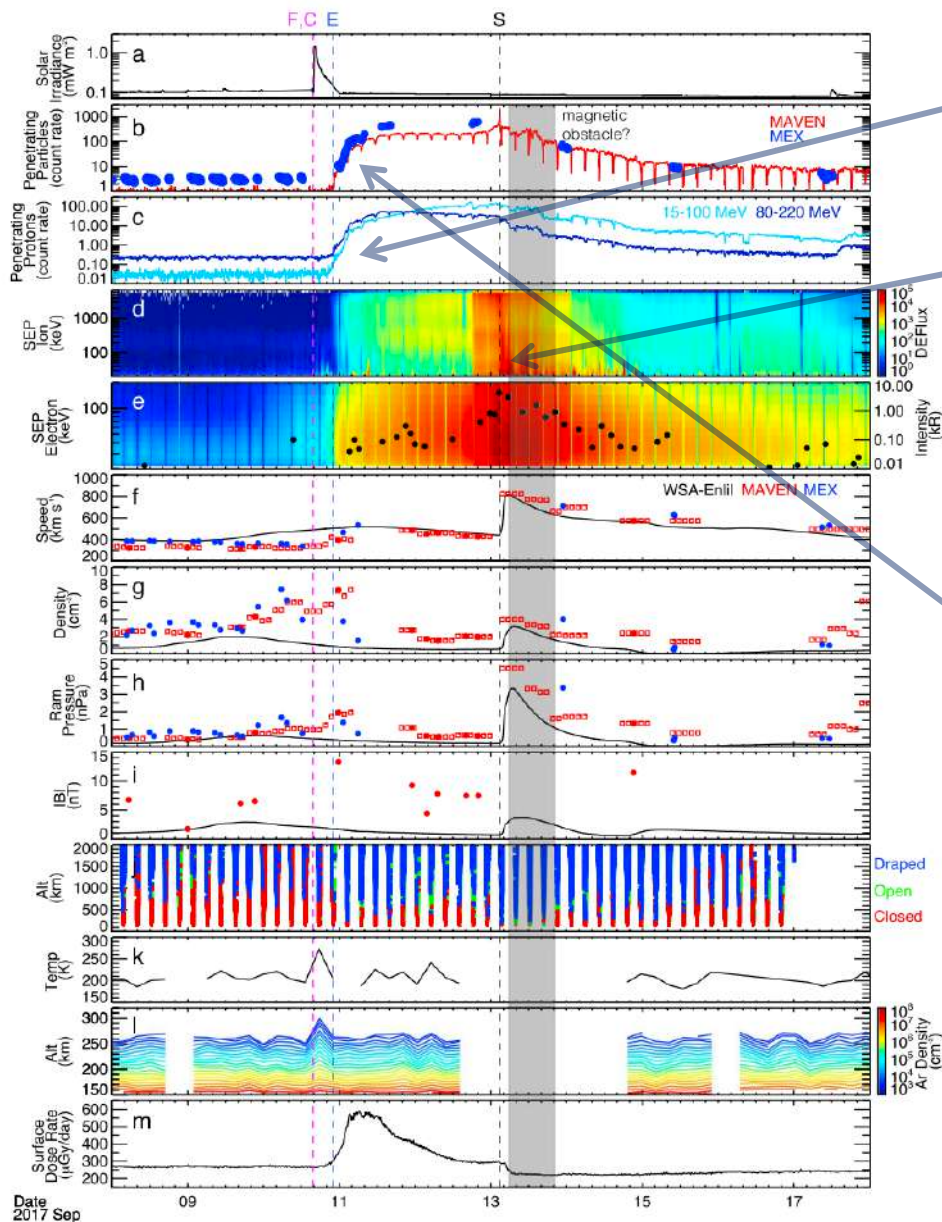


- WSA-ENLILモデルによると、9月9日に先行して2度発生した低速CMEに、9月10日のXクラスフレアに伴って放出されたCMEがマージされて火星に到来することが予想された。
- 到達予想日時は、9月13日0時UT頃と推定された。



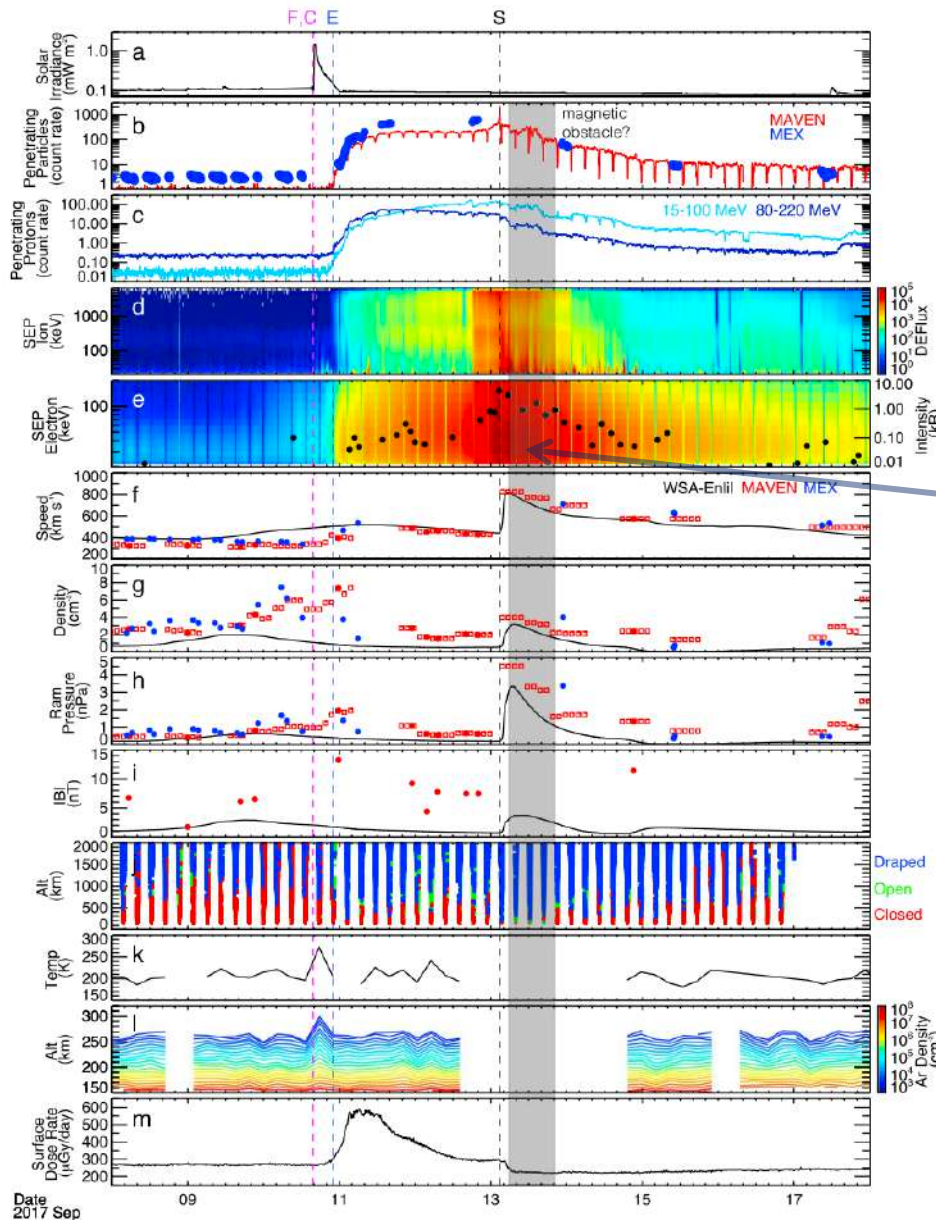
- IUVS観測による、太陽フレアの加熱に伴う熱圏温度上昇 [Jian+, 2018].
- NGIMS観測による、太陽フレアの加熱に伴う熱圏中性粒子密度・温度上昇 [Elrod+, 2018].
- LPW+モデル計算による、フレアに伴って、熱圏での光電離率が通常の5倍増加 [Thiemann+, 2018].

SEPの影響1 (火星周辺の宇宙空間)



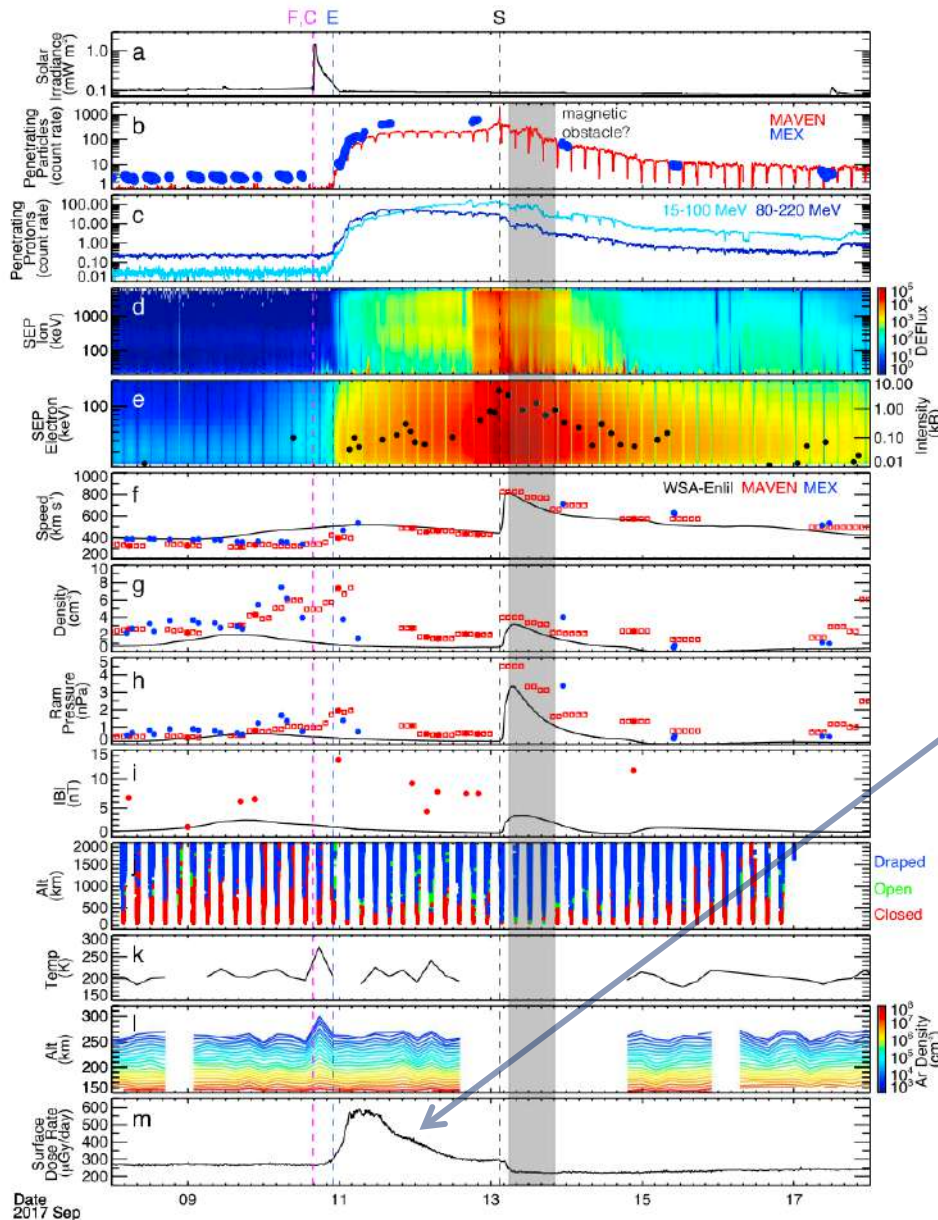
- Xクラスフレアの数時間後に、SEPが火星に到来.
 - CMEのIPショック到来時がSEPのフラックスが最大.
 - ショック到来のタイミングのENLILの予想と合致.
 - MEX/ASPERA-3(IMA)でも、SEPによるバックグラウンド値の著しい増加を検出.
-
- >1MeV e^- or >20MeV p^+ に起因する可能性を示唆 [Ramstad+, 2018].

SEPの影響2 (火星超高層大気)

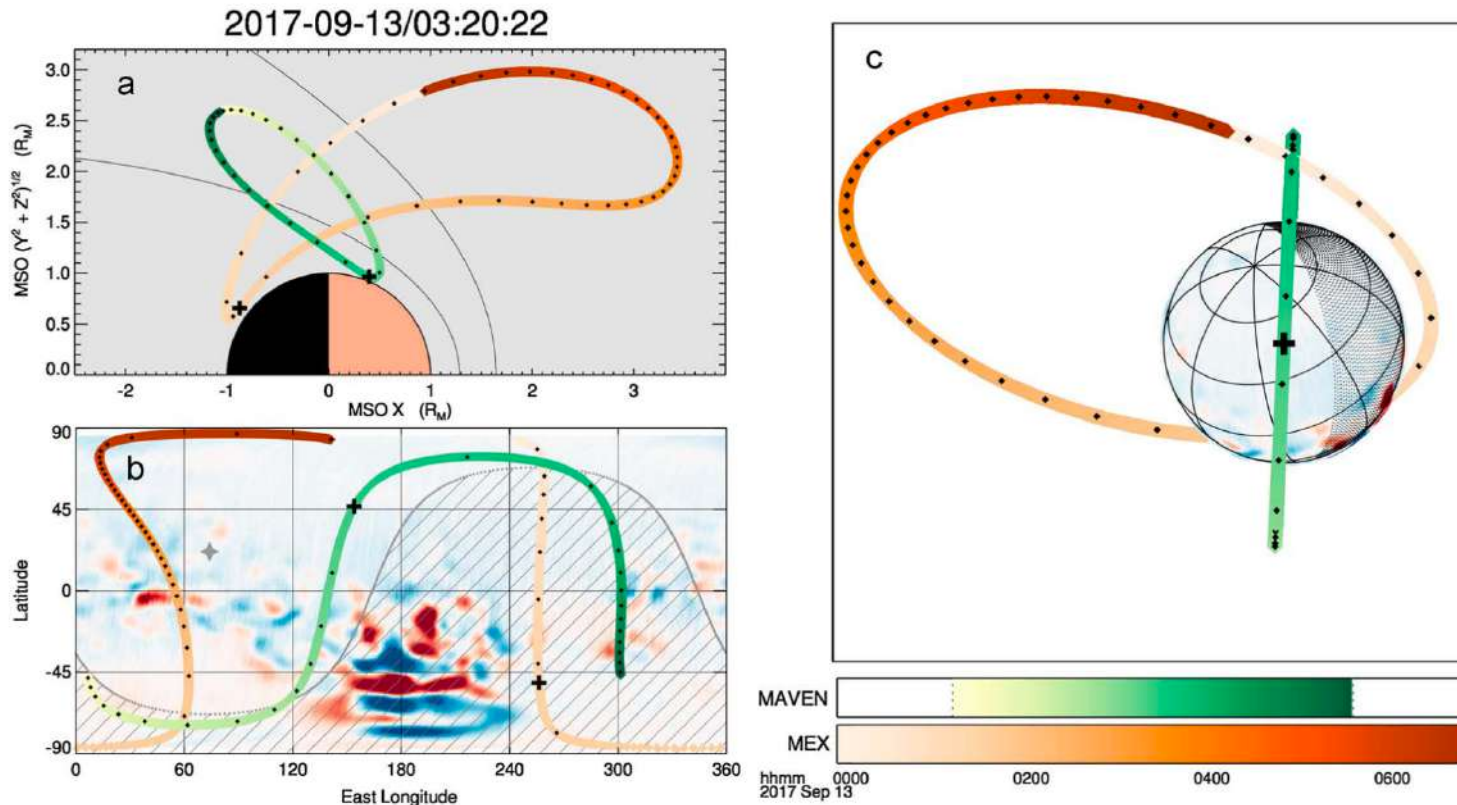


- MEX/MARSISによると、SEP到来時に、通常ではあまり観測されない、夜側電離圏の強いエコーを検出 [Harada+, 2018].
- MAVEN/IUVSによるSEP降り込みに伴う、ディフューズオーロラの観測.
- 残留磁場のカस्प領域近傍にて、ディスクリットオーロラの検出も [Schneider+, 2018].

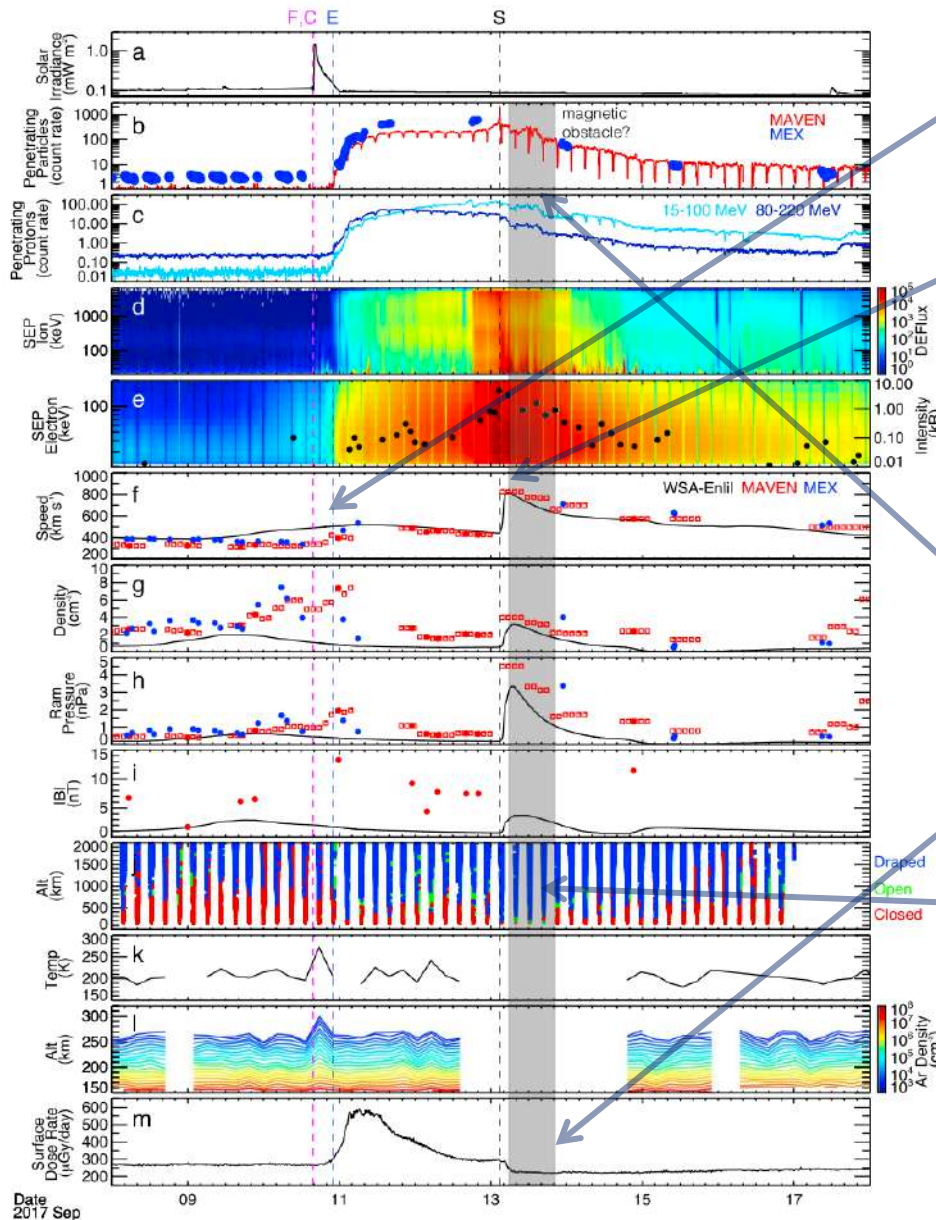
SEPの影響3 (火星表面)



- SEP到来に伴って、MSL/RADによって、火星表面における放射線量の異常増大を検出 (GLEイベント) [e.g., Zeitlin+, 2018].

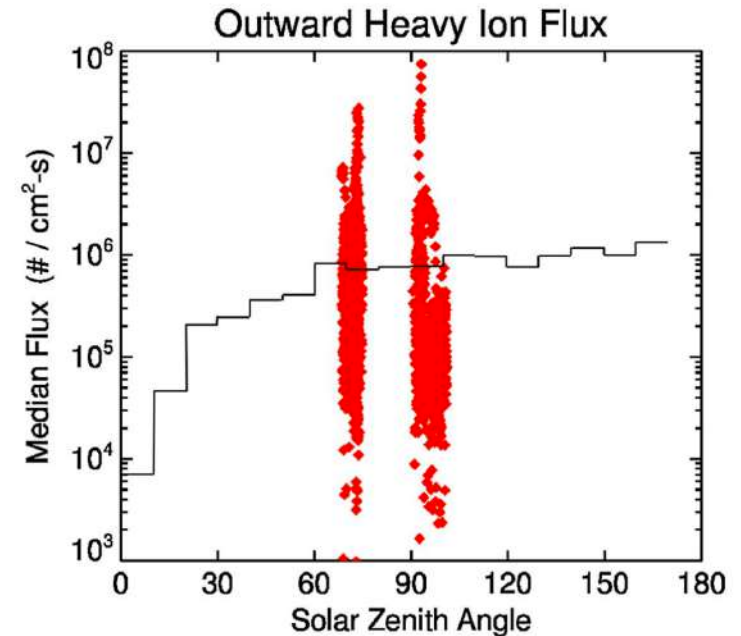


- MEXは上流太陽風の直接観測が可能。
- MAVENは当該期間における上流太陽風の直接観測は難しい。
→ 近火点でのPenetrating Proton Proxyで代用。
[Halekas+, 2017].



- フレア前後の太陽風擾乱はCIRに由来する。
- CME到来時の太陽風速度は、800km/sを超える。
- CME本体の磁気雲が火星を覆ったため、
 - SEPの一時的な減少。
 - フォーブッシュ減少の観測。
- CMEの動圧増大によって、火星にドレープしたIMFが高度200kmまで侵食 [Xu+, 2018].

- Hの外圏底における温度増加で、Hの散逸量が通常約5倍増加 [Mayyasi+, 2018].
- 太陽フレアに伴って、Oの光化学的散逸量が、通常約50%増加 [Themann+, 2018].



- MAVENのプラズマ観測では、イオン散逸フラックスは通常時より少ない傾向だが、瞬間的には平均約40倍の散逸フラックスを観測することもある。
- 平均的には、CME通過時の散逸量は通常約2倍程度。
- MHDモデルでは、約10-20倍の増加 [Ma+, 2018].

2017年9月の宇宙天気イベントのまとめ

Table 1

Timeline of Events at Mars During the September 2017 Solar Events Period

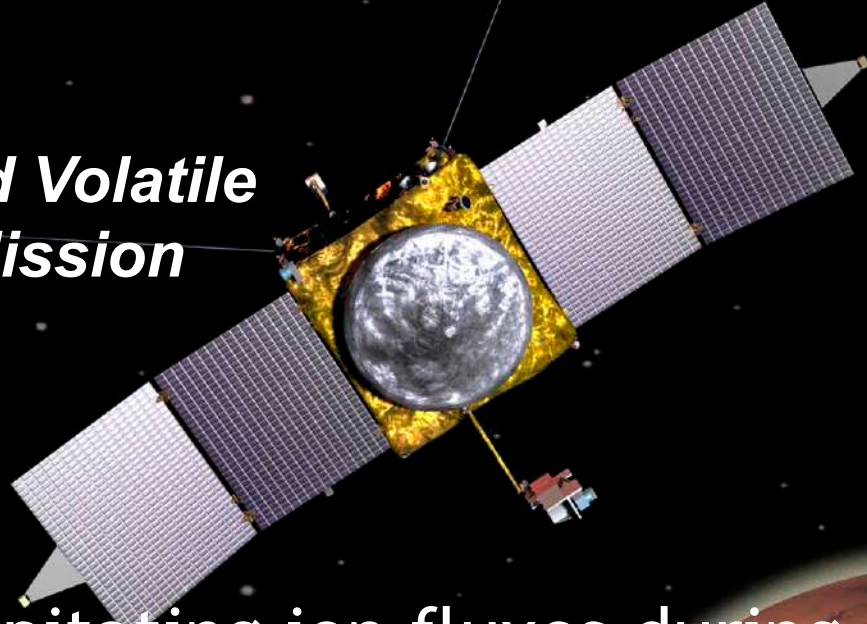
Date	Time (UT)	Event description	Mission/ Instrument	Related references
10 September	15:40:30	Start of X8.2 flare in 0- to 7-nm solar irradiance	MAVEN/EUVM	Chamberlin et al. (2018)
	15:54:00	Detection of solar hard X-rays from X8.2 flare	MAVEN/SEP	This study
	15:54:34	CME eruption	SDO/AIA	Guo, Dumbovic, et al. (2018)
	16:00:00	First appearance of CME in coronagraph FOV	SOHO/LASCO C2	
	16:02:00	Peak of X8.2 flare in Lyman- α	MAVEN/EUVM	Chamberlin et al. (2018)
	16:03:40	80% enhancement in ionizing EUV irradiance	MAVEN/EUVM	Thiemann et al. (2018)
	16:11:30	Peak of X8.2 in 0- to 7-nm solar irradiance	MAVEN/EUVM	Chamberlin et al. (2018)
	17:30:41 ^a	Expansion of neutral atmosphere from flare heating	MAVEN/NGIMS	Elrod et al. (2018)
	17:35:56 ^a	70 K increase in thermospheric temperature	MAVEN/IUVS	Jain et al. (2018)
	19:20:00	Arrival of 20- to 200-keV SEP electrons	MAVEN/SEP	This study
	19:50:00	Rise in surface radiation above background level and arrival of >275-MeV/nuc ion	MSL/RAD	Zeitlin et al. (2018) Guo, Dumbovic, et al. (2018) Ehresmann et al. (2018)
	22:00:00	Arrival of 80- to 220-MeV SEP protons	MAVEN/SEP	This study
		Arrival of 15- to 100-MeV SEP protons	MAVEN/SEP	This study
		Rise in penetrating background counts	MAVEN/SWEA	This study
	23:30:00	Impact by an SIR	MAVEN/SWIA & MAG MEX/ASPERA-3	This study
11 September	23:38:04 ^b	Rise in penetrating background counts rate	MEX/ASPERA-3	Ramstad et al. (2018)
	2:34:00	IMF draping down to 300 km due to SIR	MAVEN/SWEA, MAG	Xu, Fang, et al. (2018)
	6:30:00	Peak in proton fluxes at the surface	MSL/RAD	Ehresmann et al. (2018)
		Peak in surface dose rate		Zeitlin et al. (2018)
12 September	18:52:30	Peak in 80- to 220-MeV SEP protons	MAVEN/SEP	This study
	17:57:30	Peak in 15- to 100-MeV SEP protons	MAVEN/SEP	This study
13 September	2:30:00	Peak emission of diffuse aurora	MAVEN/IUVS	Schneider et al. (2018)
	2:52:13	ESP enhancement due to ICME shock arrival	MAVEN/SWEA, SEP	This study
		Onset of Forbush decrease	MSL/RAD	Guo, Dumbovic, et al. (2018)
		IMF draping down to 200 km due to ICME	MAVEN/SWEA, MAG	Xu, Fang, et al. (2018)
	5:40:00	SEP bite-out from ICME magnetic obstacle	MAVEN/SWEA, SEP	This study

Note. CME = coronal mass ejection; ICME = interplanetary coronal mass ejection; MSL = Mars Science Laboratory; SEP = solar energetic particle; RAD = Radiation Assessment Detector; SWEA = Solar Wind Electron Analyzer; MAG = magnetometer; MEX = Mars Express; SOHO = Solar and Heliospheric Observatory; LASCO = Large Angle and Spectrometric Coronagraph; AIA = Atmospheric Imaging Assembly; FOV = field of view; MAVEN = Mars Atmosphere and Volatile Evolution.

^a Closest time available from MAVEN periastron measurements. ^b Time after observational data gap.



Mars Atmosphere and Volatile Evolution (MAVEN) Mission

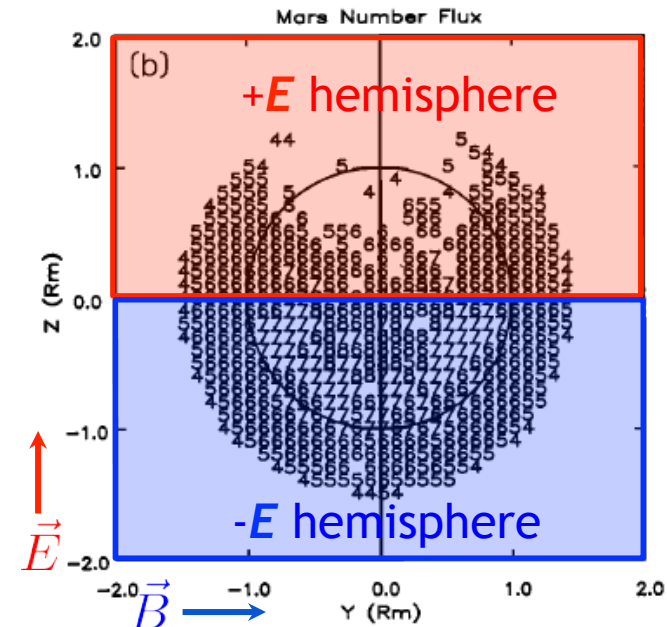
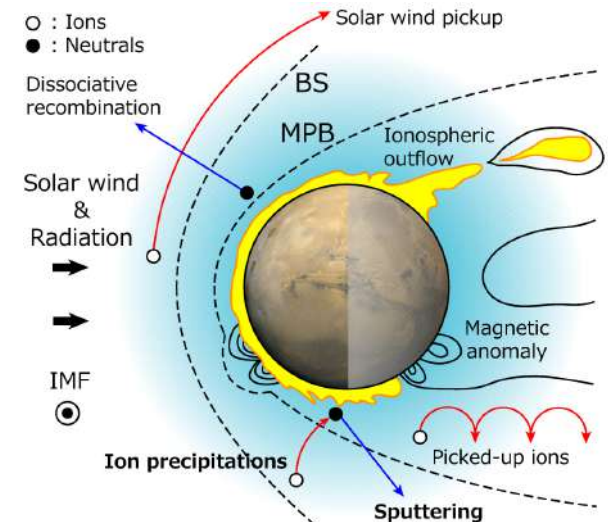


Martinez+ [2019],
Variability of precipitating ion fluxes during the
September 2017 event at Mars.
Journal of Geophysical Research: Space Physics, 124,
420-432. <https://doi.org/10.1029/2018JA026123>

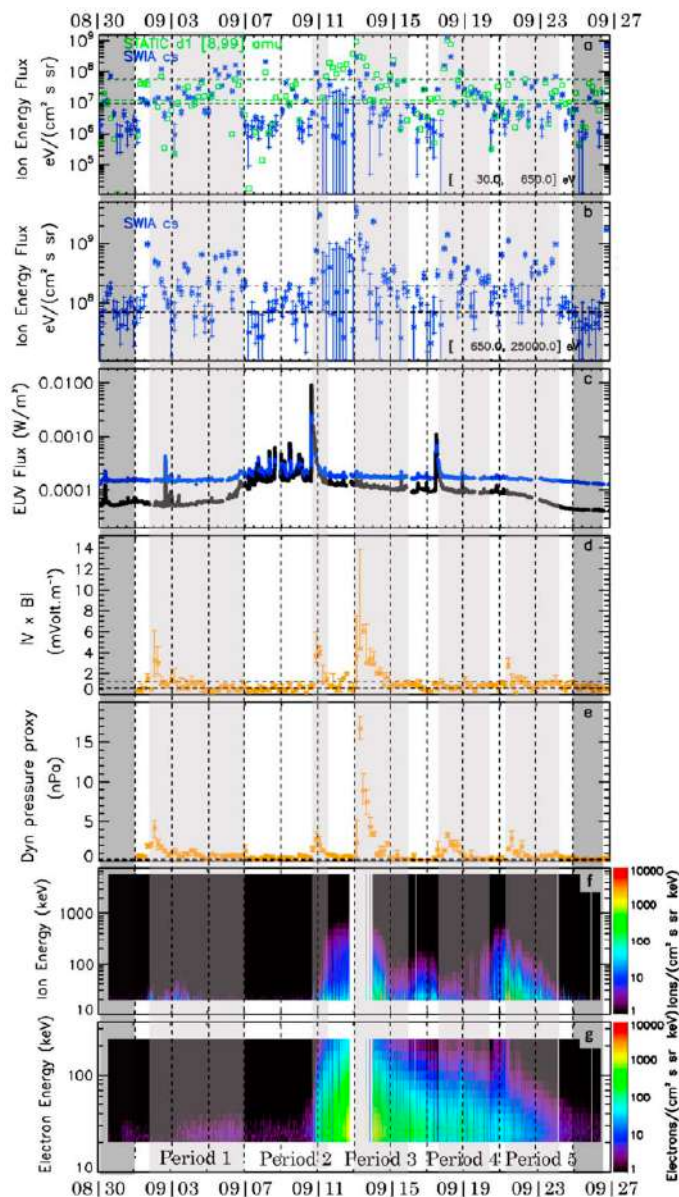
- 2017年9月に発生した、一連の宇宙天気イベント (フレア・CME/CIR・SEP)到来時における、火星起源イオンの降り込みの特徴について調べた。
- 火星に降り込むイオンのフラックスを計算する上で、
 - SEPによって増加したイオン検出器のバックグラウンドノイズの除去
 - MAVENでは直接観測できなかった上流太陽風情報を、MHDシミュレーション結果から補うといった工夫を行う。
- 2017年9月のCMEイベントでは、火星に降り込むイオンのフラックスは、少なくとも1桁は増加した。
- 太陽風動圧・太陽風電場と正の相関が見られたが、EUVとの明瞭な相関は認められなかった。

Introduction

- 太陽風電場にピックアップされたイオンの一部が火星に降り込むと、その場の中性粒子を叩き出すスパッタリングを駆動される[e.g., Luhmann & Kozyra, 1991].
 - これまでのモデル+衛星観測で、
 - 降り込むイオンのフラックスは上流太陽風電場に対して非対称な分布を示す.
 - 上流太陽風条件によって、降り込むイオンのフラックスは、少なくとも1桁程度変動する.
 - 火星残留磁場の影響で、降り込むイオンのフラックスは、少なくとも2-3倍程度変動する.
- ことが知られている.



- 使用するイオン計測器: MAVEN/SWIA (+STATIC)
- 火星に降り込むイオンフラックスの計算方法:
Leblanc+ [2015, 2017, 2018]を踏襲.
外圏底付近の高度200-350kmにおいて、火星-MAVENを結ぶベクトルに対して、cone angleが75度以内を満たす angular anodesのみを使用する。
→ Appendix参照.
- 2つの工夫:
 - ・ SEPによるバックグラウンドノイズ増加を補正する.
 - ・ 上流太陽風条件は、当該イベント時における Ma^+ [2018]によるシミュレーション結果を、線形補間して使用する.



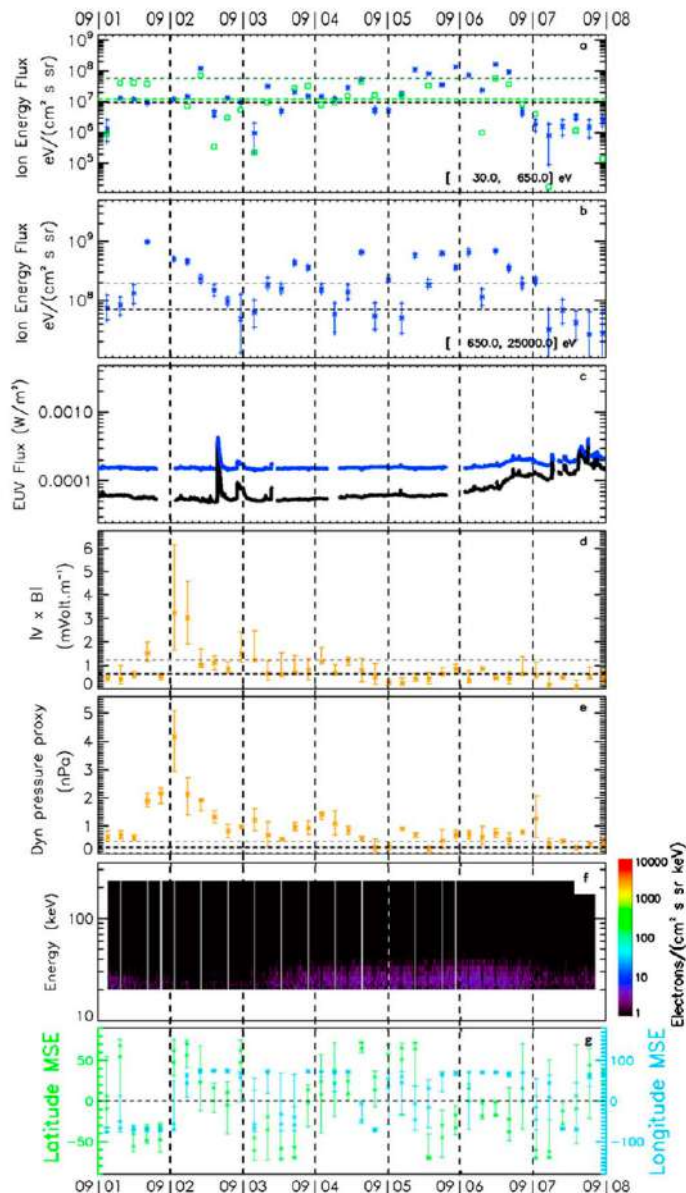
- 以下の条件を満たす結果のみ使用:
 - $-10 < \text{MSO LAT} < +15$
 - $49.0 < \text{SZA} < 78.5$
 - $15.2 < \text{LST} < 17.2$
- 一連の宇宙天気イベント時の、火星に降り込むイオンの特徴について、5つの異なる期間に分けて調べる。

Table 1

Time Interval of Each September 2017 Period

Period	Date Begin	Date End
Nominal period 0	30/08 02 hr 09 m 09 s	31/08 22 hr 34 m 45 s
Period 1	01/09 02 hr 56 m 44 s	06/09 20 hr 30 m 24 s
Period 2	10/09 17 hr 33 m 33 s	11/09 20 hr 13 m 49 s
Period 3	13/09 03 hr 11 m 56 s	15/09 21 hr 45 m 54 s
Period 4	17/09 00 hr 18 m 49 s	20/09 21 hr 34 m 15 s
Period 5	21/09 01 hr 56 m 07 s	24/09 00 hr 59 m 33 s
Nominal period 6	25/09 03 hr 33 m 00 s	26/09 15 hr 07 m 40 s

Period 1: 高動圧 + EUV漸増



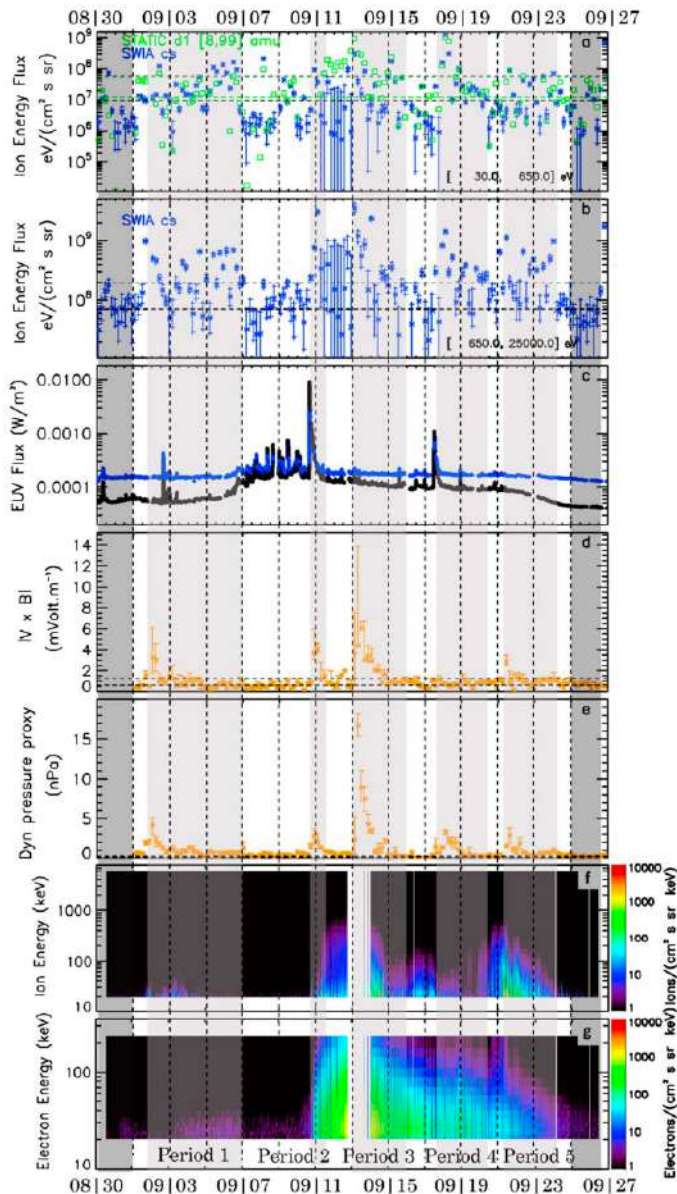
- 火星に降り込むイオンが通常より約4倍高い。
- 9/2と9/7について、EUVとは反相関傾向が見られる。

高EUV時には、IMBが通常よりも遠方に位置する[Edberg+, 2009].

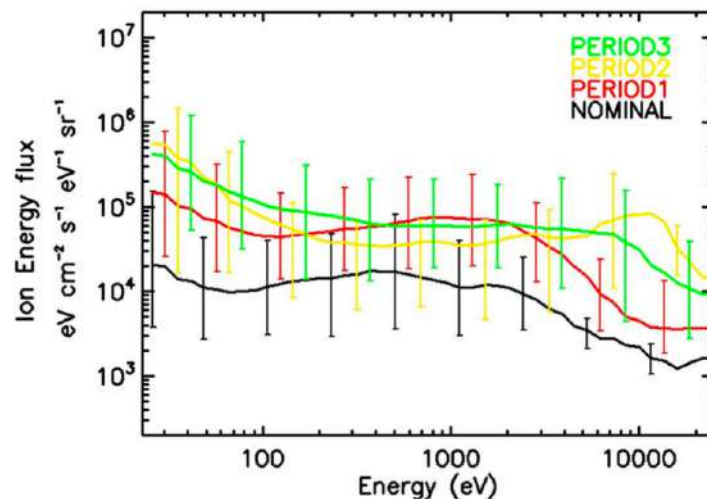


太陽風電場にピックアップされる惑星起源イオンが減少した。

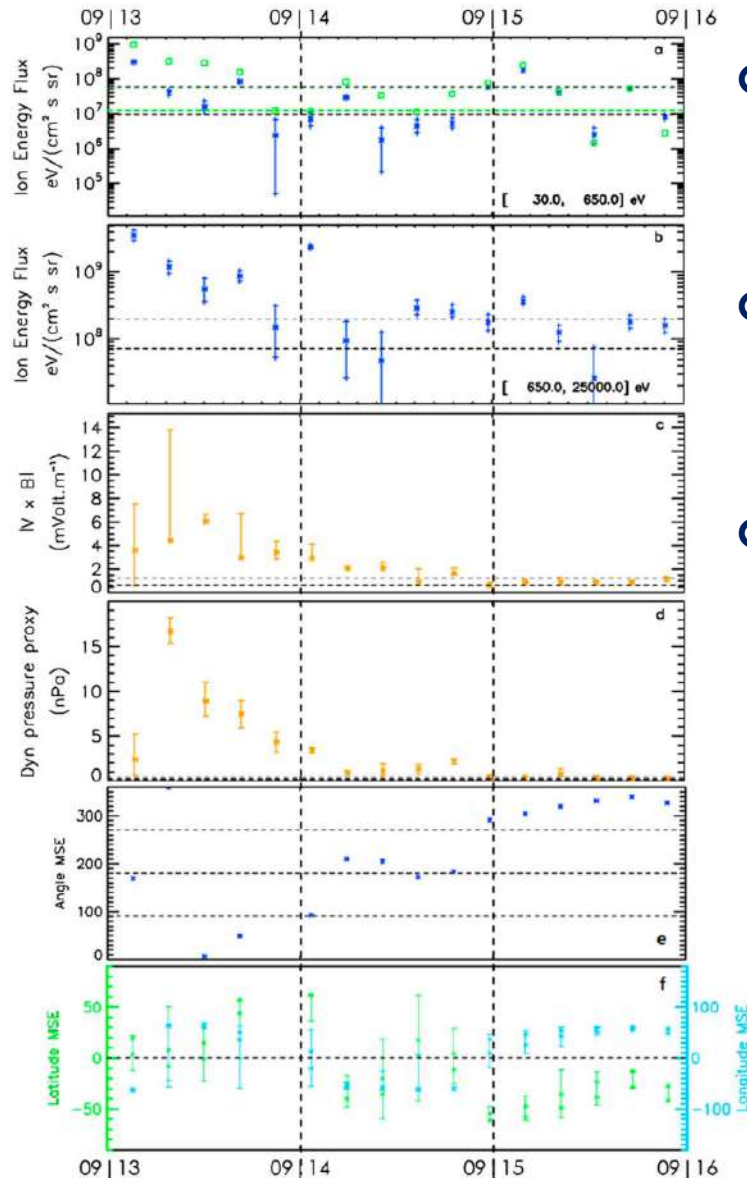
Period 2: フレア + SEPイベント時



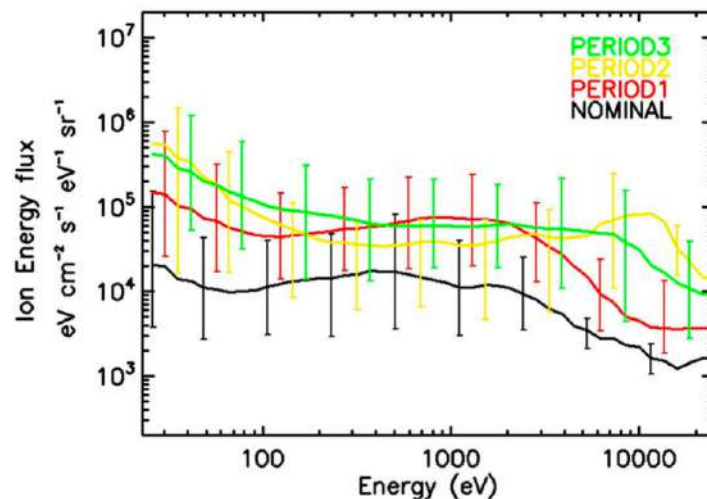
- 低エネルギー側はフレアに、高エネルギー側は太陽風電場に呼応して、降り込む量が増加する傾向にある。
- 12-15keVにピークを持つ降り込みイオンのエネルギー分布を示す。
↓
太陽風電場でピックアップされた O^+



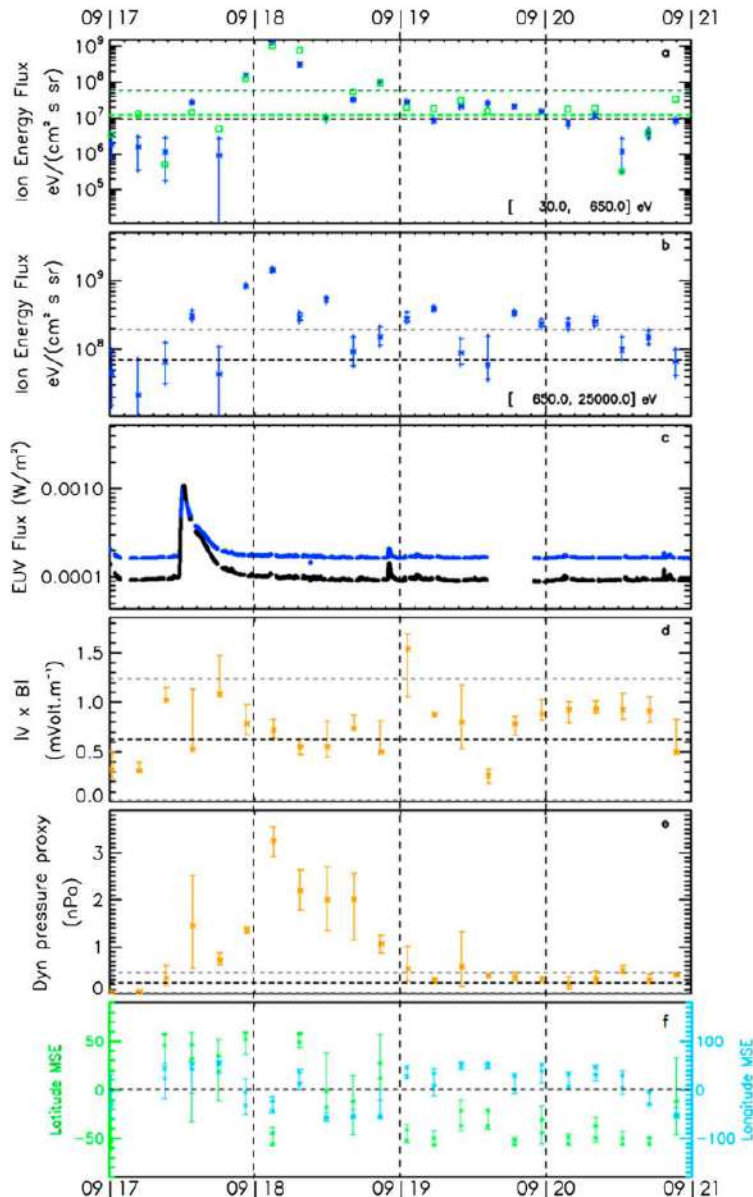
Period 3: CME到来時



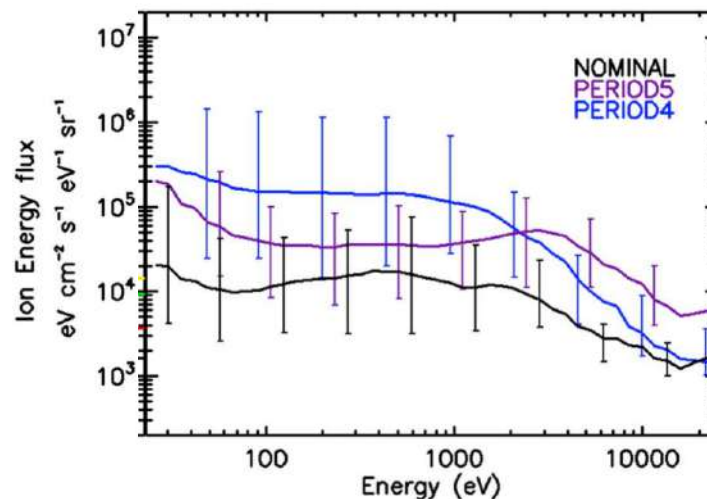
- 通常時と比べて、低エネルギー側は約5倍、高エネルギー側は約9倍程度降り込む量が増加した。
- 9/14の直前に降り込むイオンの量が顕著に減少したのは、おそらくノイズ除去の影響。
- エネルギー分布のピークは10keV付近。



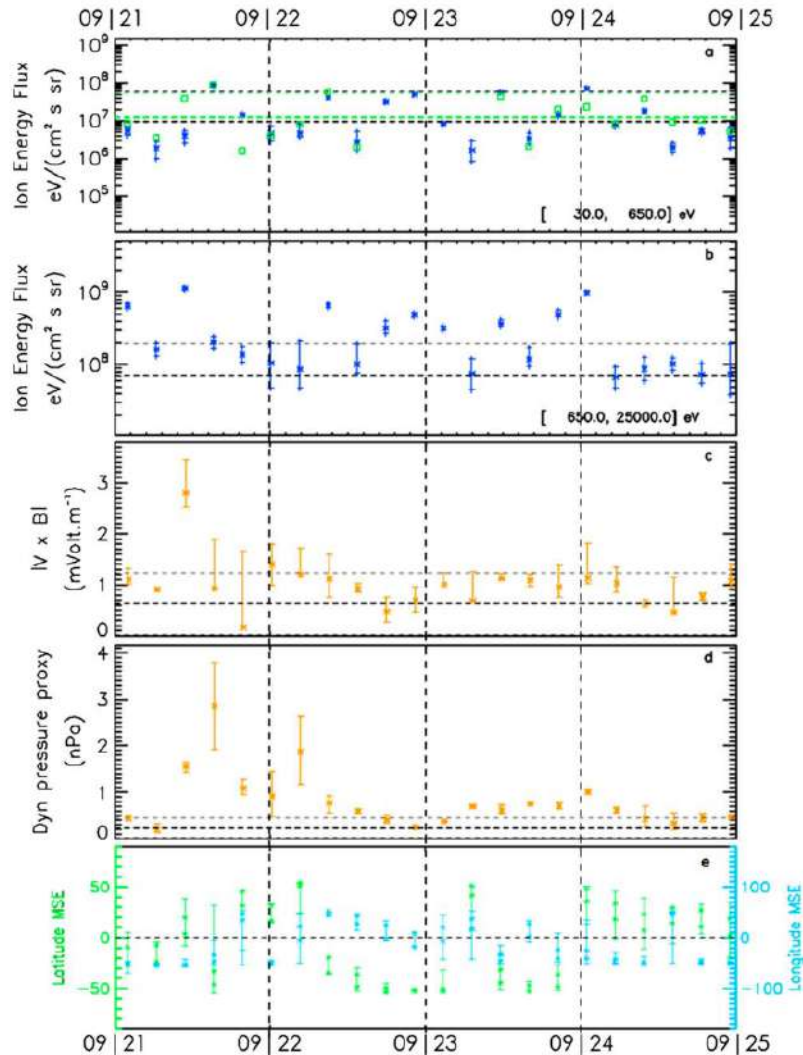
Period 4: フレア + 高動圧



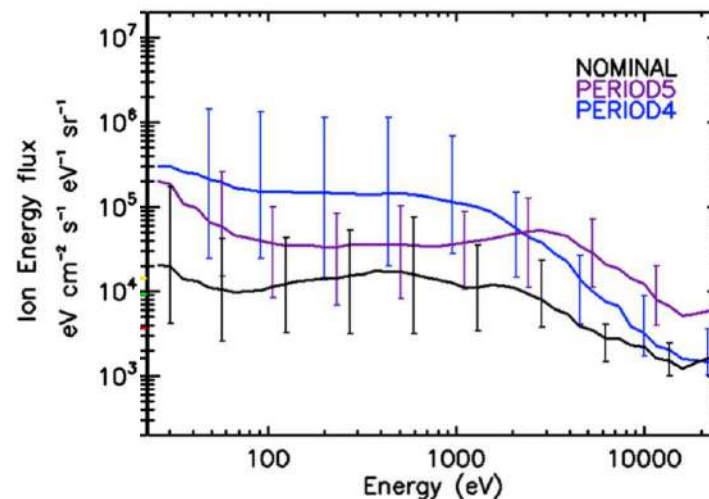
- 通常時と比べて、低エネルギー側は約10倍、高エネルギー側は約4倍程度降り込む量が増加した。
- 9/18の高動圧時に一連の宇宙天気イベントで最大の降下重イオンを観測。
- 動圧との相関係数も高い。
- エネルギー分布のピークは1-3keV
→ 惑星近傍でピックアップされた?



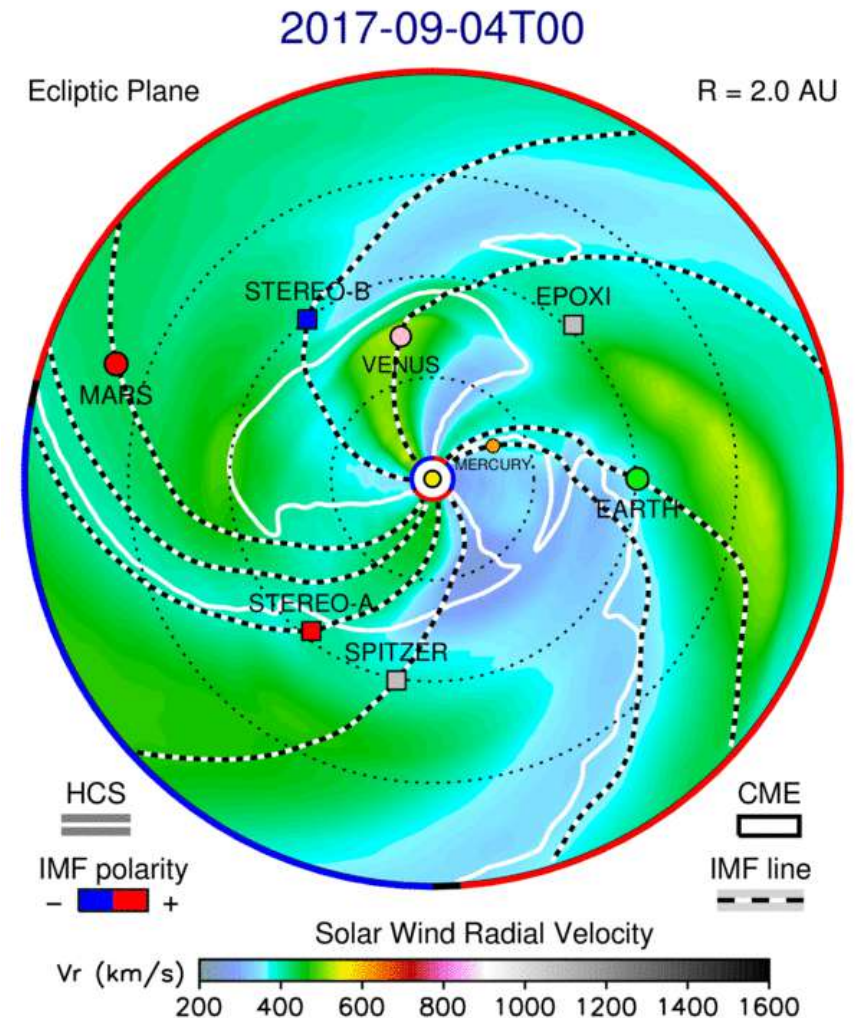
Period 5: 高動圧 + 高太陽風電場 (CIR到来)



- 当該期間においては、火星に降り込むイオンの振る舞いは、太陽風電場半球依存性を顕著に示した。
- 太陽風電場半球に依存して、降り込むイオンの量が約2倍異なる。



Backup & Appendix



ENLIL-lowres + a6b1mod GONGb-WSAdt+Cone - CCMC

HelioWeather @ CCMC

- WSA-ENLILモデルによると、9月9日に先行して2度発生した低速CMEに、9月10日のXクラスフレアに伴って放出されたCMEがマージされて火星に到来することが予想された。
- 到達予想日時は、9月13日0時UT頃と推定された。

https://ccmc.gsfc.nasa.gov/RoR_WWW/SH/ENLIL/2017/Leila_Mays_120817_SH_9/Leila_Mays_120817_SH_9_vel1-earth_low5syn_anim.gif

FOVs to compute precipitating ion fluxes

