

# **第60回火星勉強会**

## **論文紹介**

**Elord et al. (2018)**

**Ramstad et al. (2018)**

**担当：益永圭 (CU Boulder)**

**2019年12月20日**

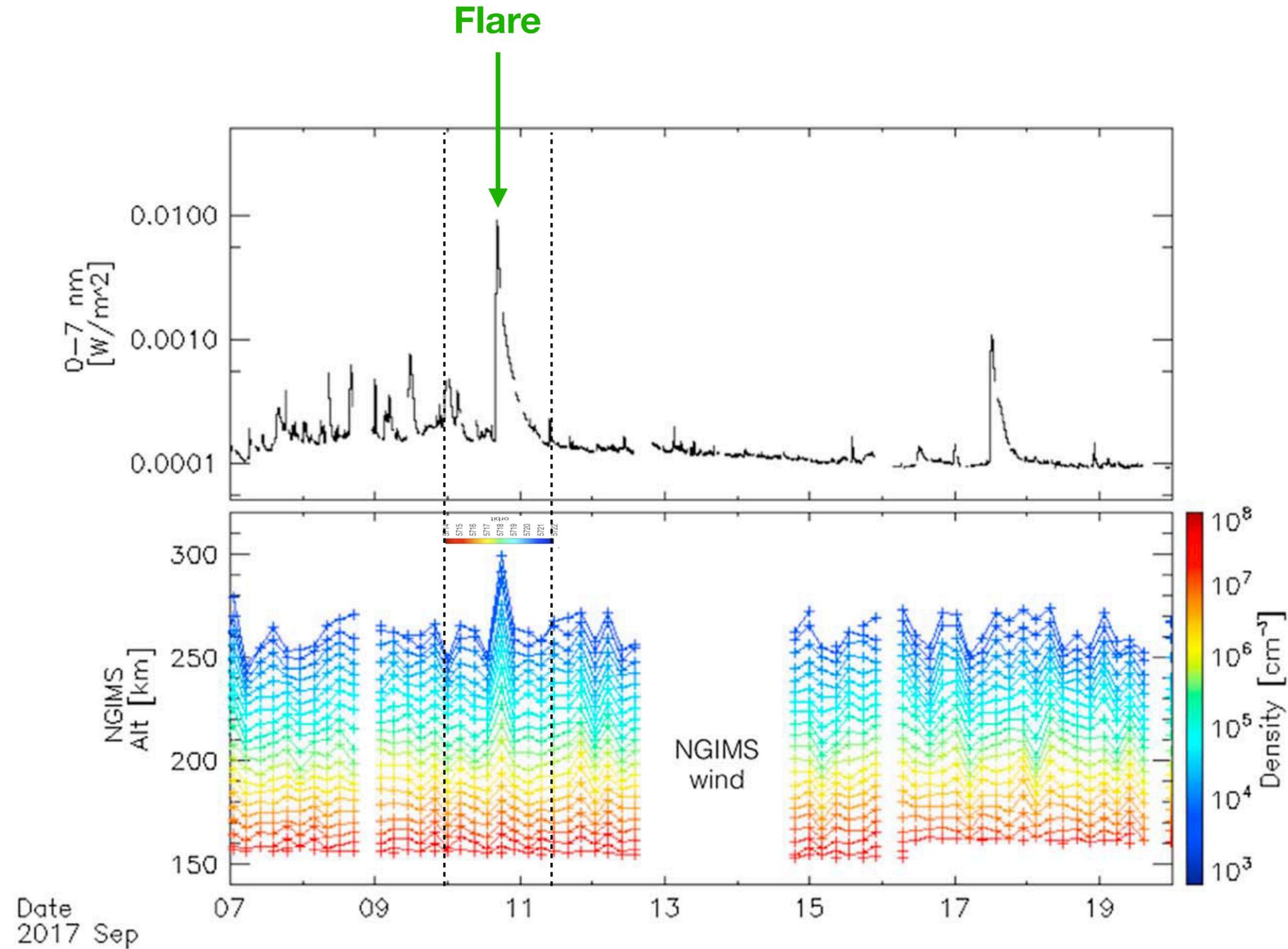
**Elord et al. (2018),  
September 2017 solar flare event:  
Rapid heating of the Martian neutral  
upper atmosphere from the X-class  
flare as observed by MAVEN,  
<https://doi.org/10.1029/2018GL077729>**

# Summary

- 2017年9月にX-classフレアが発生（Sept. 2017 event）。9月10日にMAVEN/EUVMが太陽放射強度の増加を観測。
- MAVENはNGIMSという超高層大気の中性大気成分やイオン成分の数密度を計測できる観測器を搭載している。
- フレア前、フレア中、フレア後の数密度高度プロファイルと比較すると、フレア中のみ密度や温度が増加していることが確認され、フレアによって火星超高層大気が加熱されたことが示された。

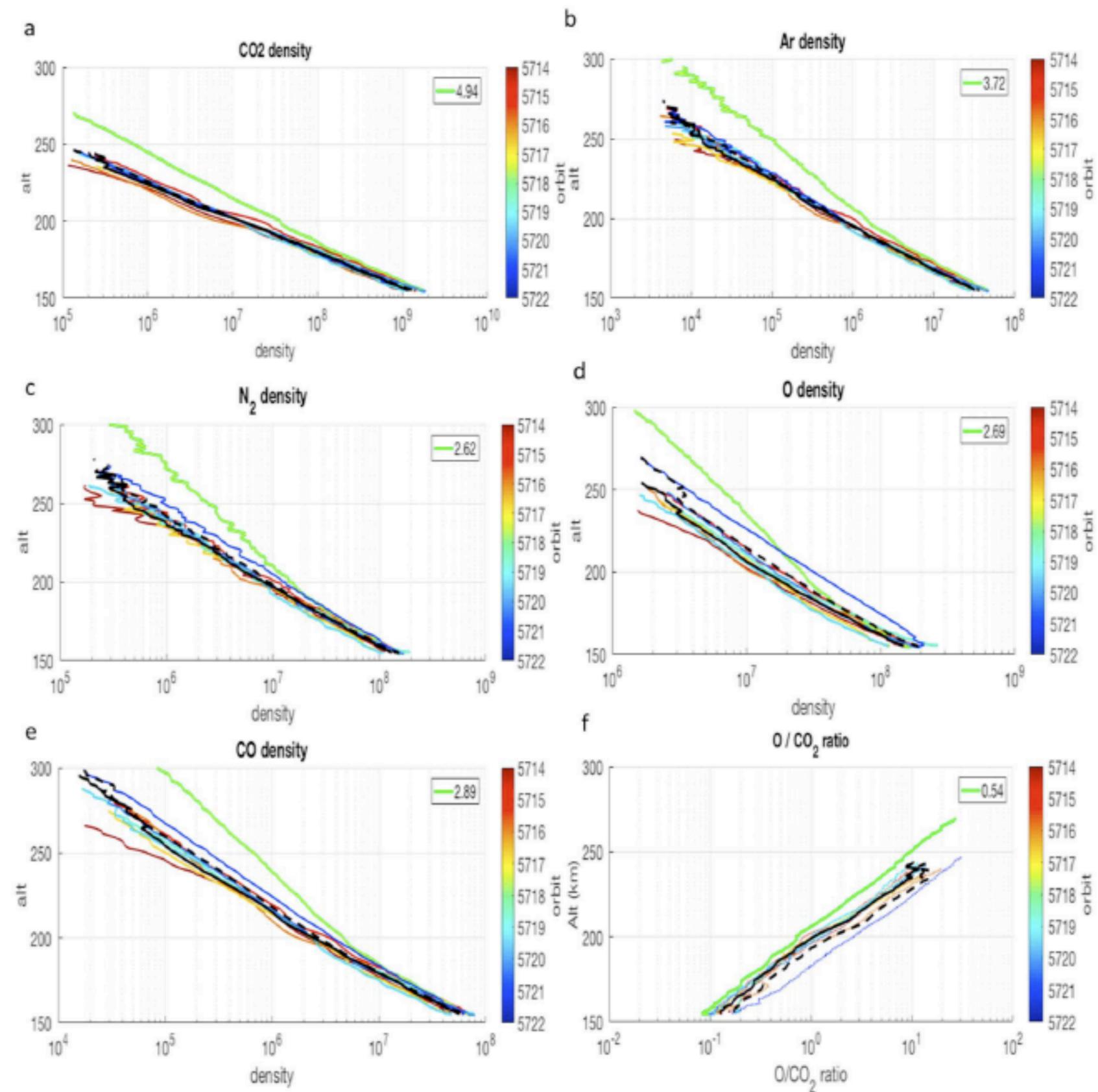
# Sept. 2017 event

- 2017/9/10にフレアが発生。
- MAVEN/EUVMにより通常より~100倍大きい太陽放射を観測。
- MAVEN/NGIMSもこの時期に観測を行っていた。(近火点近傍で4.5h毎に約20分、 $SZA=67^\circ$ )
- Arの密度分布がフレアに合わせて大きく変動しており、フレアが超高層大気へ影響を及ぼしていると考えられる。
- →Arだけでなく、その他のkey speciesも合わせてフレア前後のデータも見てみよう！



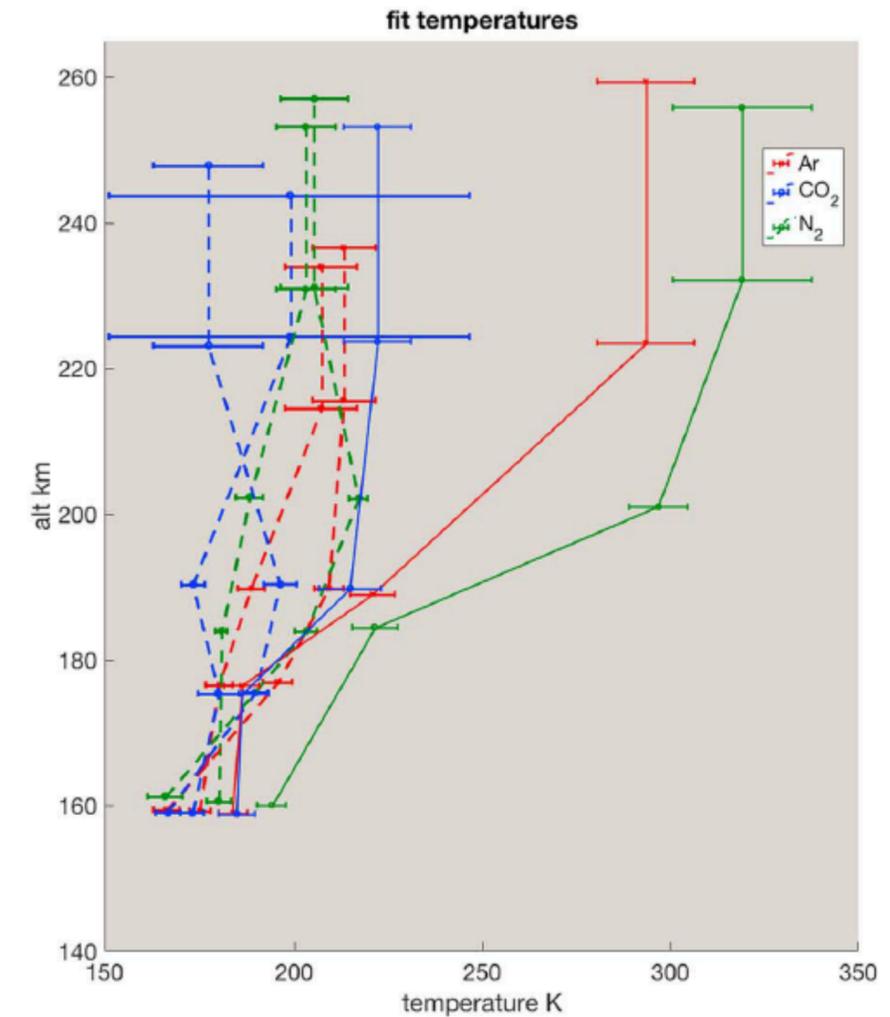
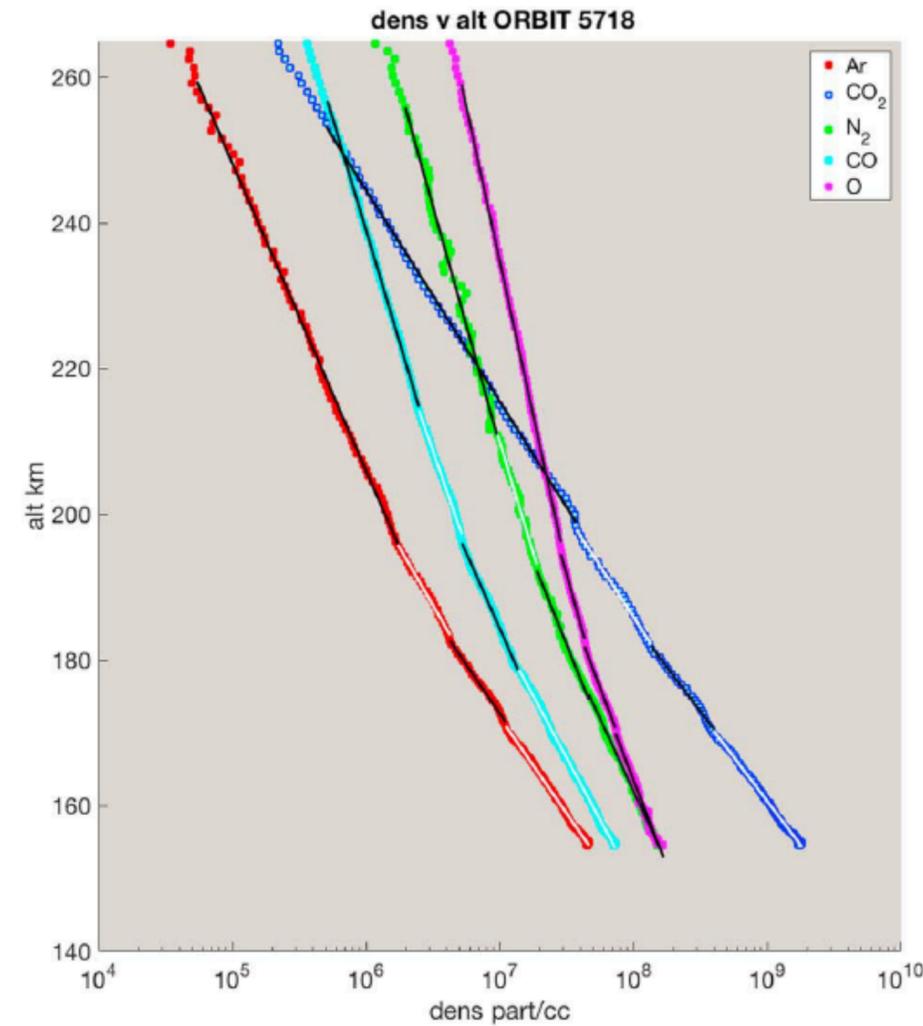
# Observations

- 密度プロファイルのorbit毎の変動をプロット (orbit5718(=フレア期間)  $\pm$  4 orbits)
- フレア期間 (緑線) のみ密度プロファイルが大きく異なる。
- 数密度の増加
- 温度 (スケールハイト) の増加
- O/CO<sub>2</sub>は減少



# Linear fit of density profiles

- 高度プロファイルを直線フィッティング (logスケール)。
- 直線の傾きからスケールハイト、すなわち温度が求まる。
- フレア時はAr, N<sub>2</sub>の温度が高度>200kmで~100K上昇。CO<sub>2</sub>は数十Kの上昇。
- OやCOのスケールハイトからはAr以上の温度上昇が得られるが、これらの粒子は光化学反応も絡むため、温度の議論はしていない。大気温度の指標としては、不活性なArやN<sub>2</sub>で議論している。



# Results

- フレア中に数密度とスケールハイト（温度）が増加
- フレア中の数密度（at 225 km）はフレア前後と比べて2-4倍ほど大きい。
- フレア中、ArとN2は高度約200kmより上の温度が100K以上上昇している。  
CO<sub>2</sub>は数十Kの上昇。
- OやCOは、光化学反応も絡んでいるため、温度の議論はしていない。

**Table 1**

*Changes in Scale Heights and Temperatures of Key Species for the Preflare, Flare and Postflare Data*

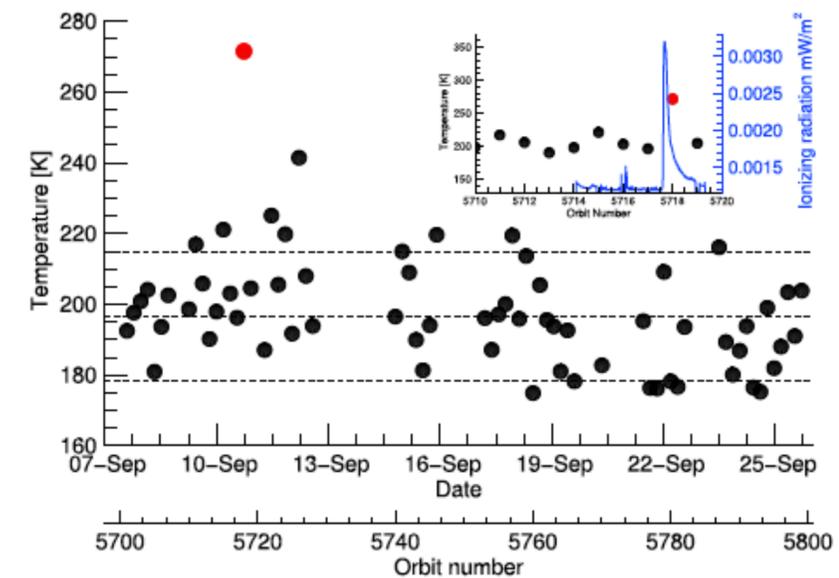
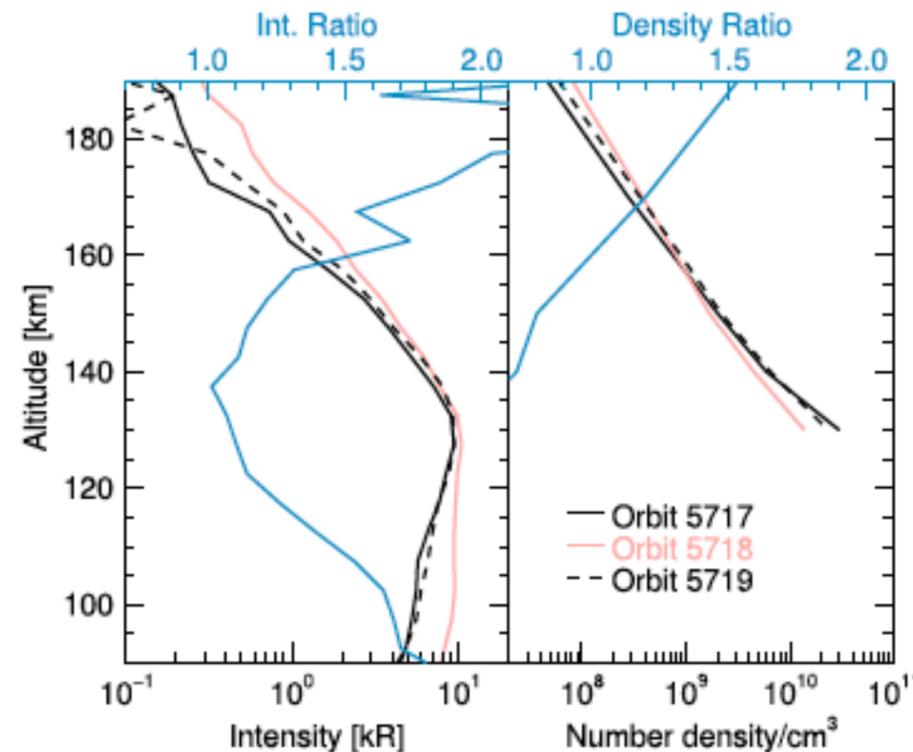
Species	Altitude range (km)	Density at 180 km (cm <sup>-3</sup> )	Density at 225 km (cm <sup>-3</sup> )	Scale height (lower, upper) km	Temperature (lower, upper) K	
CO <sub>2</sub>	<b>Preflare</b>	156-240	1.013e8	10.1968	179.34	
	<b>Flare</b>	155-170	1.570e8	<u>4.465e6</u>	Lower: 10.4984	Lower: 184.65
		170-182			Middle: 10.5796	Middle: 186.07
		182-198			Upper: 12.2129	Upper: 214.80
		198-253			Top: 12.6252	<u>Top: 222.05</u>
<b>Postflare</b>	155-246	1.065e8	1.234e6	10.2678	180.60	
Ar	<b>Preflare</b>	155-231	3.74e6	11.9841	191.62	
	<b>Flare</b>	154-171	5.143e6	<u>3.558e5</u>	Lower: 11.4820	Lower: 183.59
		171-183			Middle: 11.6313	Middle: 185.97
		183-196			Upper: 13.8056	Upper: 220.74
		196-259			Top: 18.3535	<u>Top: 293.46</u>
<b>Postflare</b>	155-236	3.759e6	1.254e5	12.5323	200.38	
N <sub>2</sub>	<b>Preflare</b>	155-249	2.955e7	17.0880	191.26	
	<b>Flare</b>	155-175	3.375e7	<u>5.823e6</u>	Lower: 17.3343	Lower: 194.01
		175-192			Middle: 19.7742	Middle: 221.32
		193-211			Upper: 26.5137	<u>Upper: 296.75</u>
		211-256			Top: 28.5043	<u>Top: 319.03</u>
<b>Postflare</b>	154-257	3.077e7	2.739e6	17.8332	199.60	
CO	<b>Preflare</b>	155-252	1.001e7	15.6125	N/A	
	<b>Flare</b>	155-179	1.222e7	<u>1.666e6</u>	Lower: 14.7902	N/A
		179-196			Middle: 18.0427	
		197-214			Upper: 23.0809	
		214-257			Top: 26.6994	
<b>Postflare</b>	154-257	1.082e7	7.498e5	16.2752	N/A	
O	<b>Preflare</b>	154-253	4.177e7	21.3235	N/A	
	<b>Flare</b>	153-170	4.614e7	<u>1.299e7</u>	Lower: 20.6190	N/A
		170-181			Middle: 21.0454	
		182-194			Upper: 28.6492	
		192-259			Top: 36.7744	
<b>Postflare</b>	154-266	4.945e7	6.766e6	22.1749	N/A	

# Discussion

- タイムスケールについて
- 先行研究 (@地球) によると、X-classフレアに対する超高層大気の応答は、フレア到来後1時間以下で静まる(Liu et al., 2011)。今回のX-rayピークは16:12から45分間でNGIMSの観測開始は17:30。NGIMSでは観測できなかったはず。。。。

- IUVSとの比較

- 高度170 kmで大気温度が~70 Kの増加
- 観測SZAや緯度の違いでNGIMSとは値が少し異なる??



(Jain et al., 2018)

# Implications

- 太陽フレアにより火星超高層大気の急速な加熱が観測された。
- 過去の太陽放射は現在より強かったと考えられているため、過去の火星超高層大気はスケールハイトはより大きく、大気散逸にも影響をおよぼしていたと考えられる。

Enhancement factors of solar irradiance in solar history<sup>a</sup>

Solar age (Gyr)	Time before present (Gyr)	X-rays (1-20 Å)	Enhancement in Soft X (20-100 Å) EUV (100-360 Å) XUV (1-1180 Å)	FUV (920-1180 Å)	UV lines, transition region	UV lines, chromosphere
0.1	4.5	1600 <sup>b</sup>	100	25	50	18
0.2	4.4	400	50	14	20	10
0.7	3.9	40	10	5	7	4
1.1	3.5	15	6	3	4	3
1.9	2.7	5	3	2	2.4	2
2.6	2.0	3	2	1.6	1.8	1.5
3.2	1.4	2	1.5	1.4	1.4	1.3
4.6	0	1	1	1	1	1

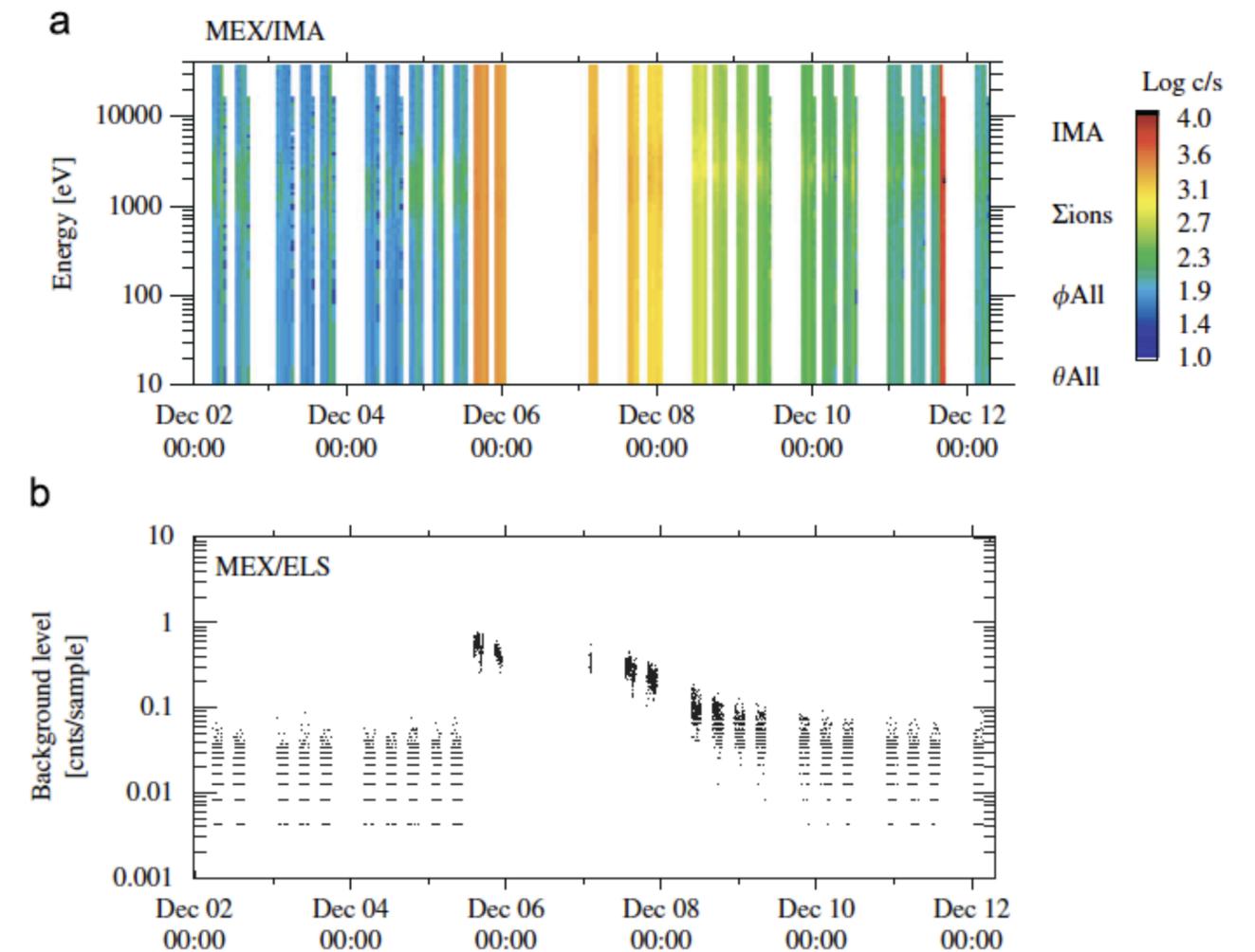
Notes: <sup>a</sup> normalized to ZAMS age of 4.6 Gyr before present (Table adapted from Güdel, 2007)

(Güdel and Kasting., 2011)

**Ramstad et al. (2018),  
The September 2017 SEP event in  
context with the current solar cycle:  
Mars Express ASPERA-3/IMA and  
MAVEN/SEP observations,  
<https://doi.org/10.1029/2018GL077842>**

# Summary

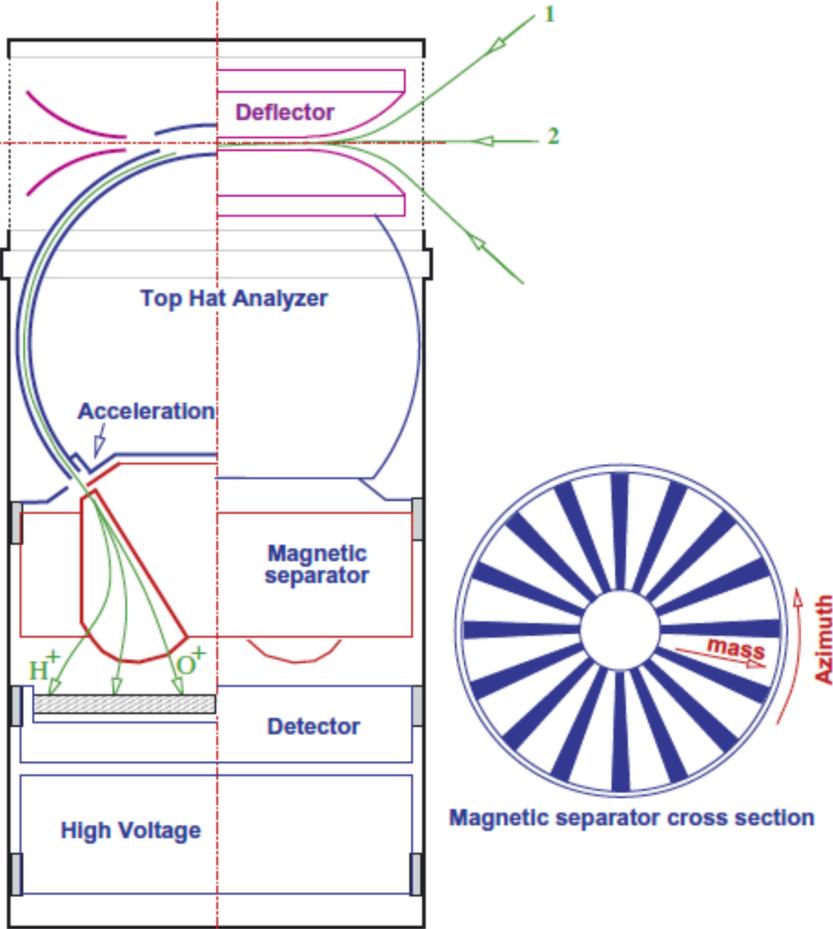
- 放射線や高エネルギー粒子は観測器を貫いて直接MCPを叩き、バックグラウンドカウントを増大させる。
- SEP到来時に、MEXおよびVEX搭載のIon Mass AnalyzerやElectron Spectrometerのバックグラウンドカウントが増大することが過去に観測されている (e.g., Futaana et al., 2008)
- しかし、どのエネルギー帯の粒子がこれを発生させているのかはわかっていない。
- MAVEN/SEPとMEX/IMAの同時観測データを用い、この問題の解決を図る。これにより、MAVEN以前のSEP情報をMEXから得られる。



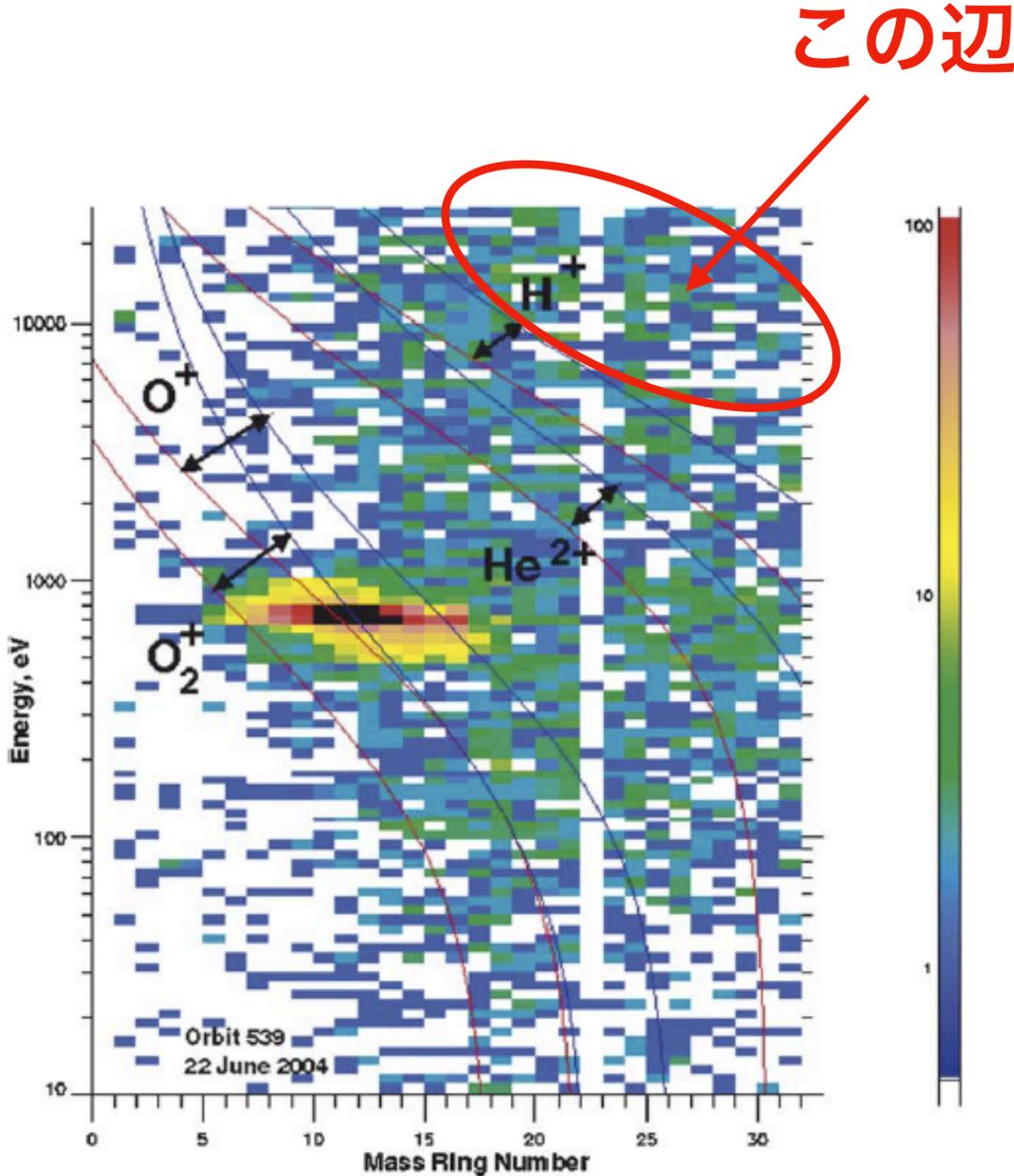
Futaana et al. (2008)

# MEX/IMA BG counts

- バックグラウンドカウントはIMAの $M/q < 1$ となるようなbinから得られる。



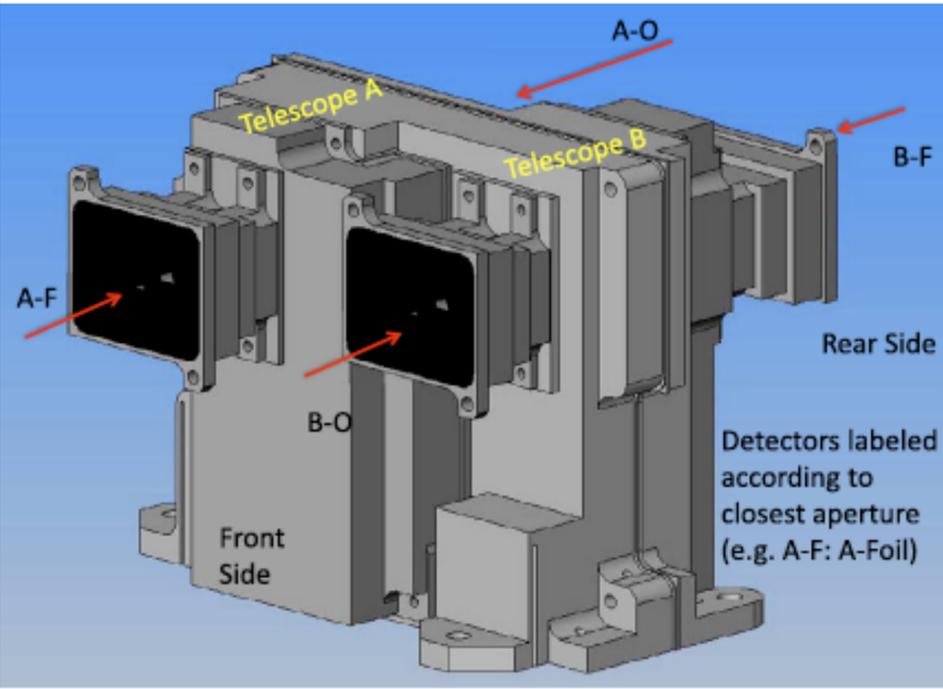
(Barabash et al., 2007)



(Carlsson et al., 2006)

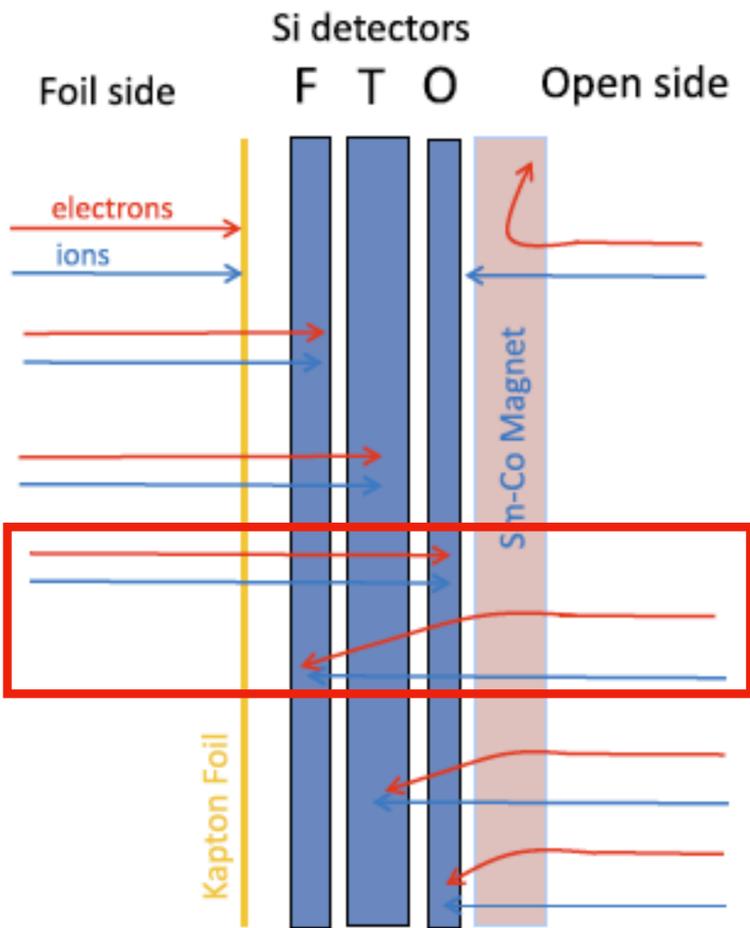
# MAVEN/SEP FTO event

- F, T, O 3つのSi detectorによって検出yesと判定されたイベント。
- イオンと電子の区別はできない。
- 3つのdetectorすべてで検出されているため、高エネルギーの観測されている。



Incident energy ranges for counted events

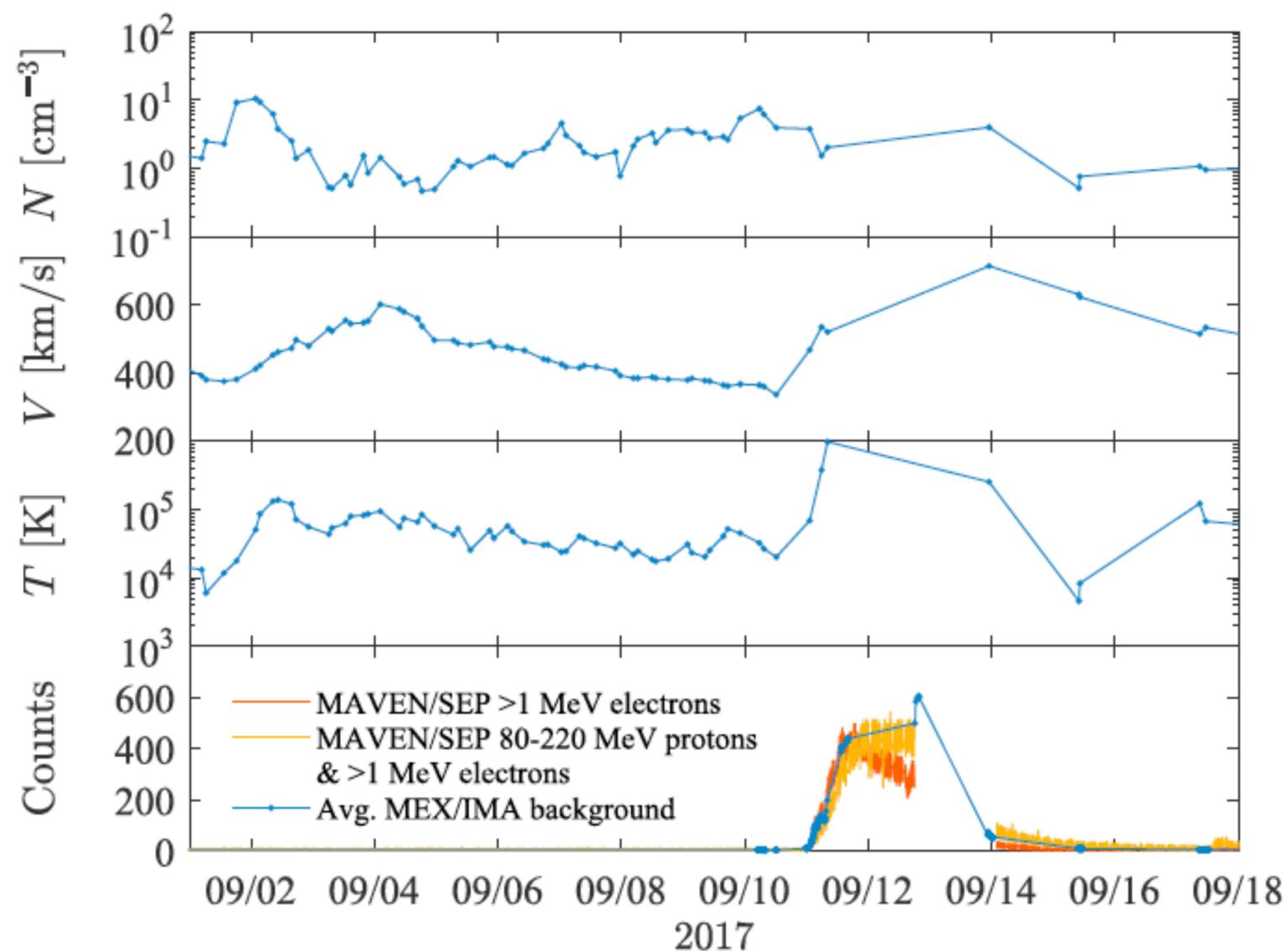
	Electrons		Ions	
	Foil side keV	Open side keV	Foil side keV	Open side keV
No count	<20	<350	<250	<25
F	20-700		250-6000	
FT	350-1300		6000-11,000	
FTO	>600		>11,000	
OT		350-1300		6000-11,000
O		350-700		25-6000



(Larson et al., 2015)

# Observation during Sept. 2017 event

- 2017/9/10にSEPイベントがMAVEN/SEPにより観測。
- MEX IMAのバックグラウンドカウントも同時に増大している。



# Dataset

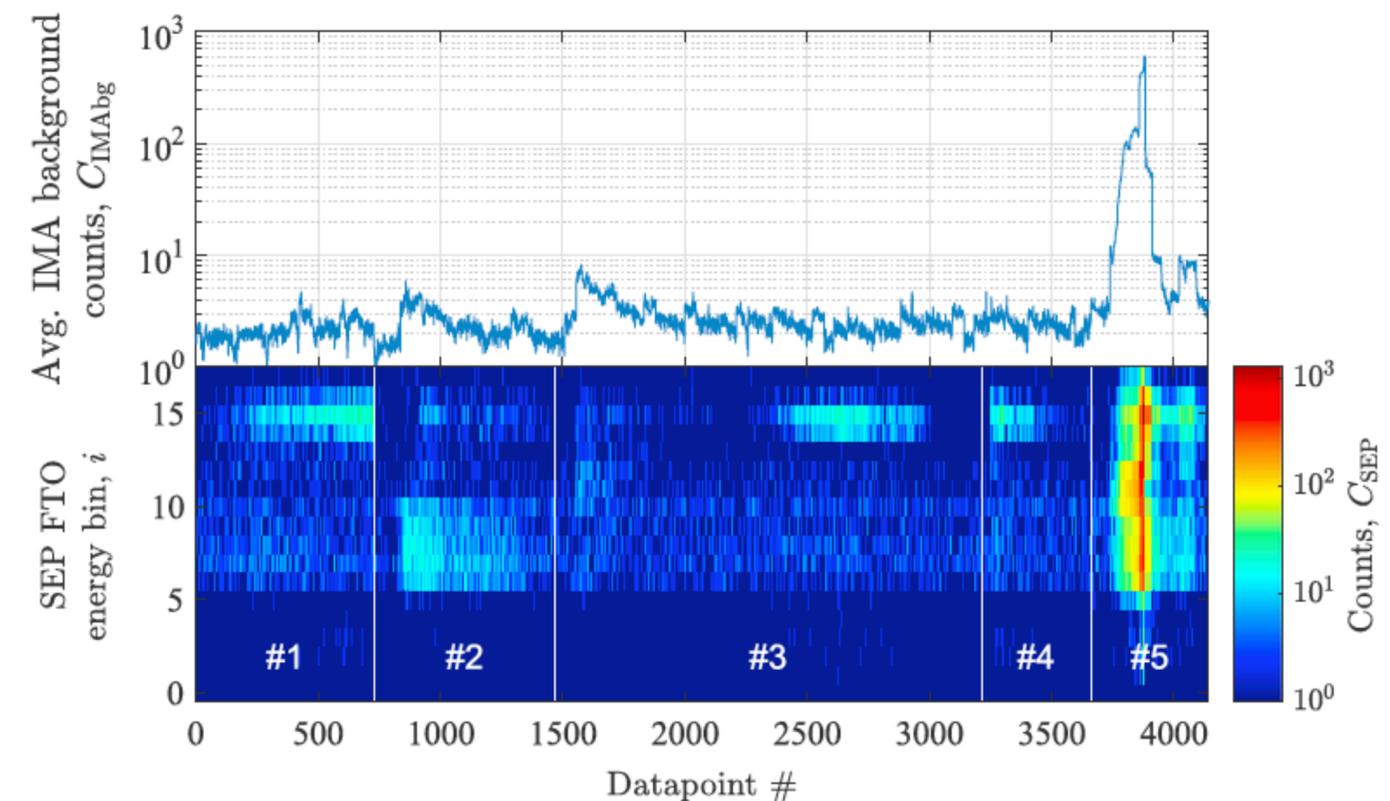
- Question: どのエネルギー帯の粒子がMEX/IMAのバックグラウンドカウントを増大させているの??に答えたい。
- SEP発生時のMAVEN/SEP & MEX/IMAデータ (5期間) を用いる。
- 約4000のMEX/IMA backgroundカウント ( $C_{IMA\text{bg}}$ ) とMAVEN/SEP(FTO)のエネルギースペクトルを取得。

**Table 1**

List of Events and Corresponding Time Intervals Used to Compare Mars Express ASPERA-3/IMA and MAVEN/SEP Data

No.	Start time	End time
#1	2015-03-25	2015-03-27
#2	2015-05-05	2015-05-07
#3	2015-10-28	2015-11-09
#4	2016-01-06	2016-01-09
#5	2017-09-10	2017-09-23

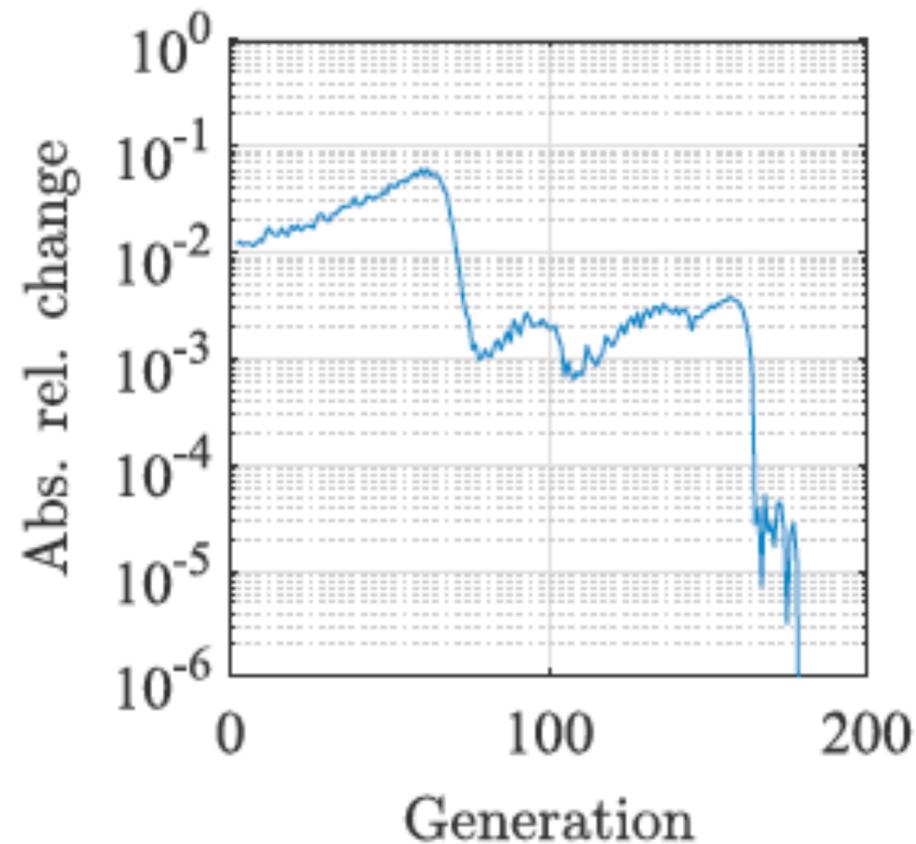
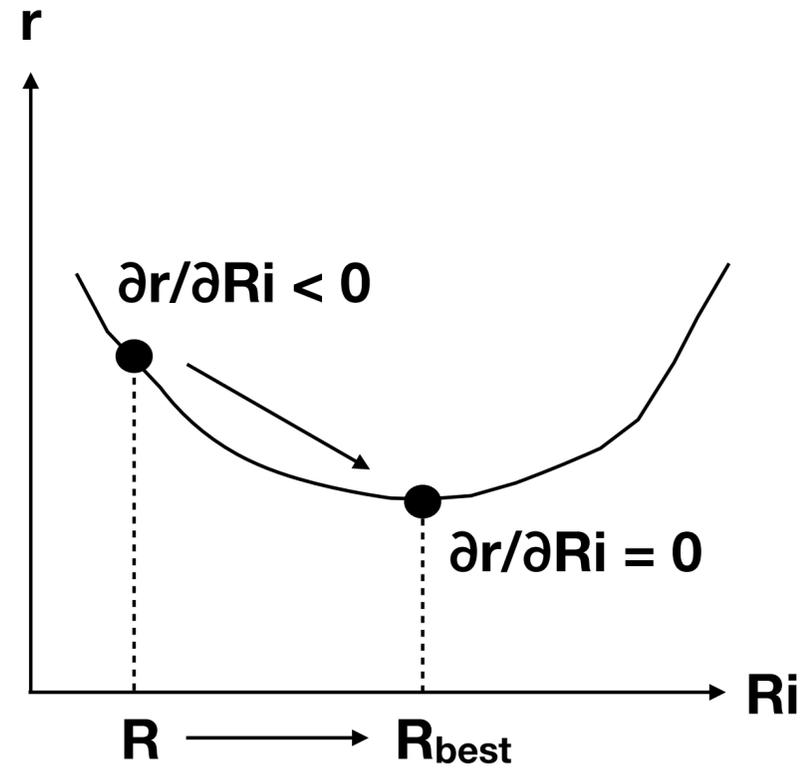
Note. Dates are formatted as year-month-day.



# Method

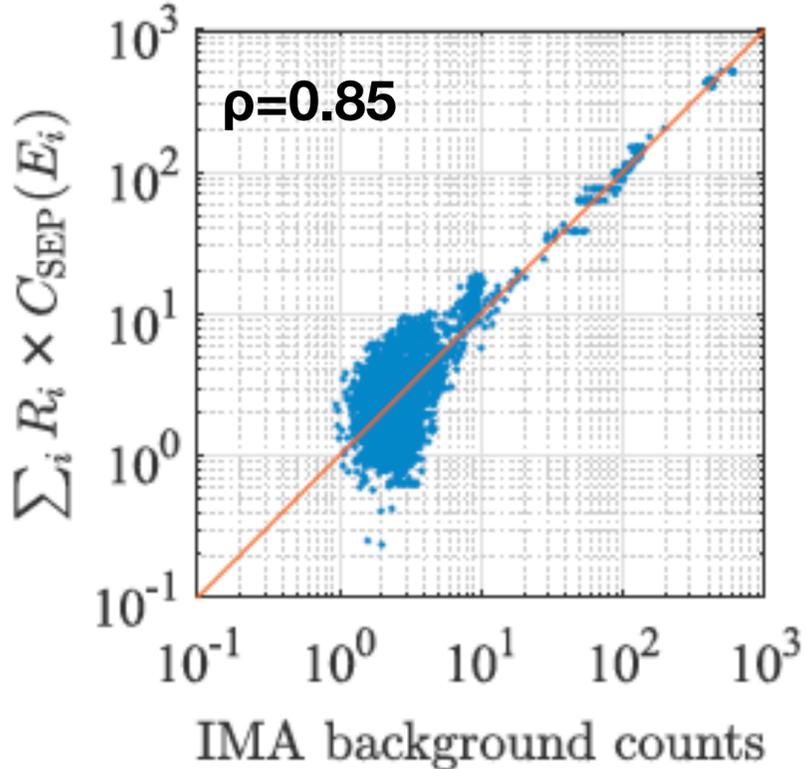
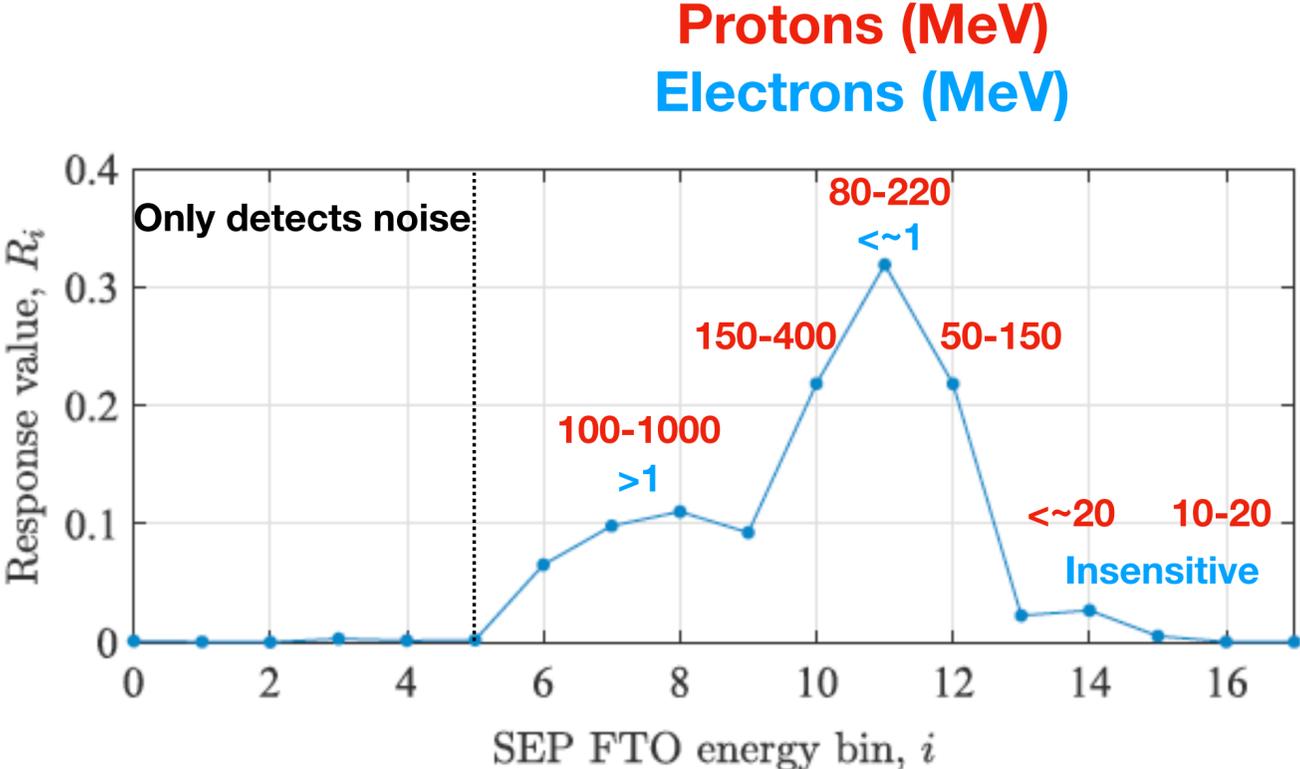
- 残差の自乗和が最小になるようなR<sub>i</sub>をnumericalに決定

$$r = \sqrt{\sum \left( \log(C_{\text{IMAbg}}) - \log \left( \sum_i R_i \times C_{\text{SEP}}(E_i) \right) \right)^2},$$



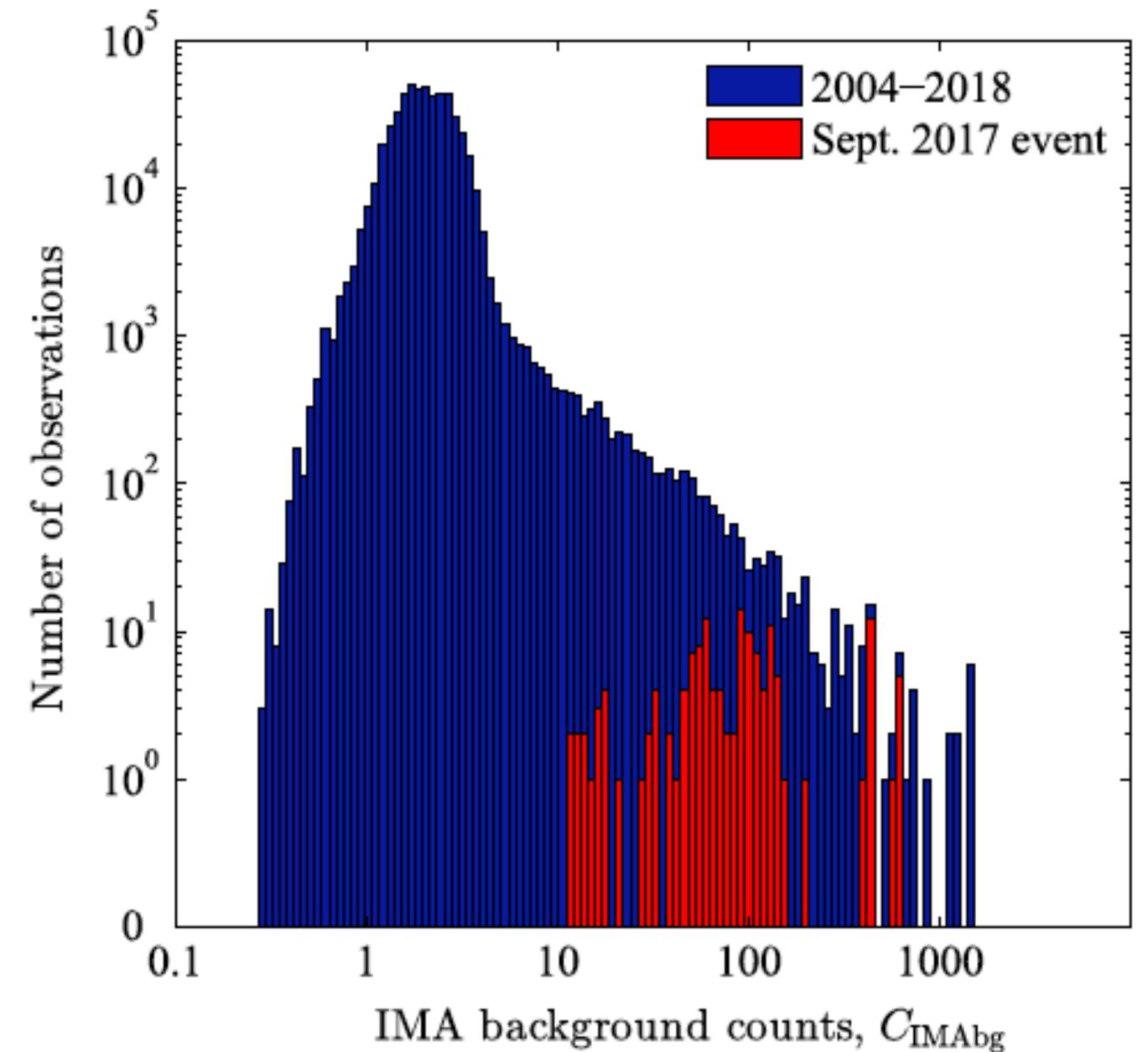
# Result

- $C_{\text{IMA}bg} = \sum R_i C_{\text{SEP}}(E_i)$  の  $R_i$  を決定できた。
- IMAバックグラウンドカウントの多くはMAVEN/SEP FTO eventのenergy bin 6–12にsensitive。
- 対応する粒子は20MeV以上のプロトンまたは~1MeV以上の電子。
- なお、各binのエネルギー帯は粒子のシミュレーション (Geant4) から見積もられたもの。



# How significant Sept. 2017 event was?

- Sept. 2017 eventのバックグラウンドカウントを2004年観測開始時から14年間のデータと比較
- MEX観測史上4番目に（ピークカウント値が）大きいイベント！
- 1位：1471カウント on 27 Jan 2012 at 23:52:00
- 2位：1056カウント on 6 Jun 2011 at 13:55:21
- 3位：700カウント on 28 Apr 2005 at 02:37:48
- 4位：606カウント on 12 Sep 2017 at XX:XX:XX



# Implications

- MEX/IMAのバックグラウンドカウントにsensitiveな粒子のエネルギー帯が求まった。  
これにより、MEX/IMAのデータからMAVEN/SEPによって観測されるであろうSEPエネルギースペクトルを予想することができる。
- MAVEN到着前の過去のMEX/IMAデータでSEPの研究（SEPを用いた研究）ができる！！