

Atmospheric origin of cold ion
escape from Mars
Lundin et al., 2009

東北大学M2

益永圭

Atmospheric escape at Mars

□ 流出イオンの特徴

- 脱出速度は酸素イオンで2eV程度
- 太陽風は火星電離圏高度 (~270km)まで侵入し、火星プラズマと相互作用する。→電離圏イオンを加速⇒数keVに達する重イオンが観測される。
- Main: O^+
- 分子イオン(O_2^+ , CO_2^+)も多い (金星; 主に O^+ , H^+ , He^+ 。(Barabash et al., 2007))

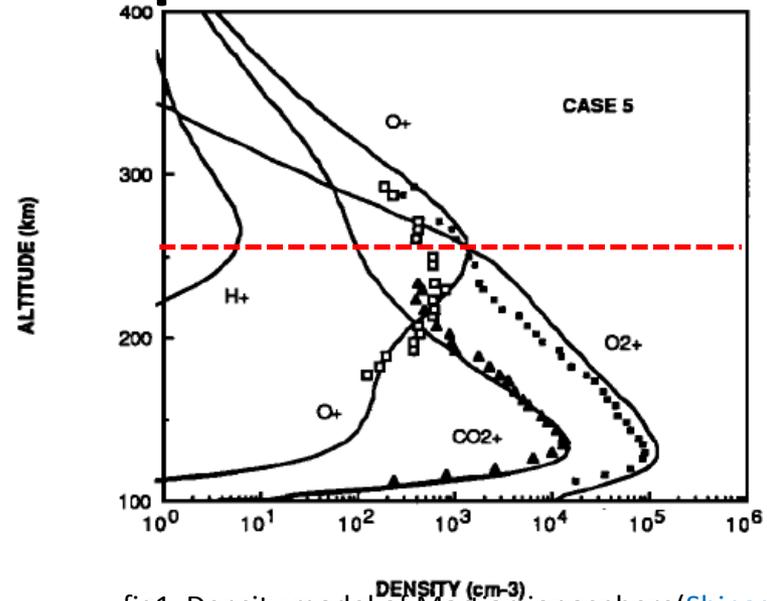


fig1. Density model of Martian ionosphere (Shinagawa and Cravens, 1989)

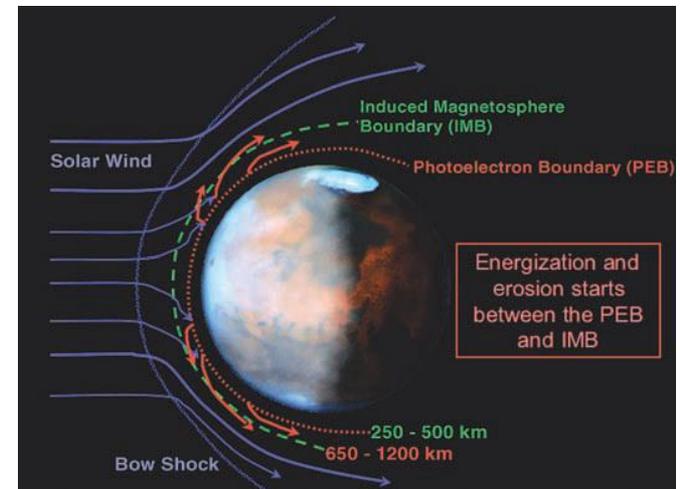


fig2. Illustration of planetary ion erosion from the dayside ionosphere of Mars. (Lundin et al., 2004)

Atmospheric escape at Mars

- 2007年5月以降のMEXの観測(より低エネルギーを観測できるようにpost acceleration mode(後述)を変更)
- **Cold イオン**が主に流出していることが分かってきた。
 - 本論文の著者は、cold ionの流出が支配的と主張

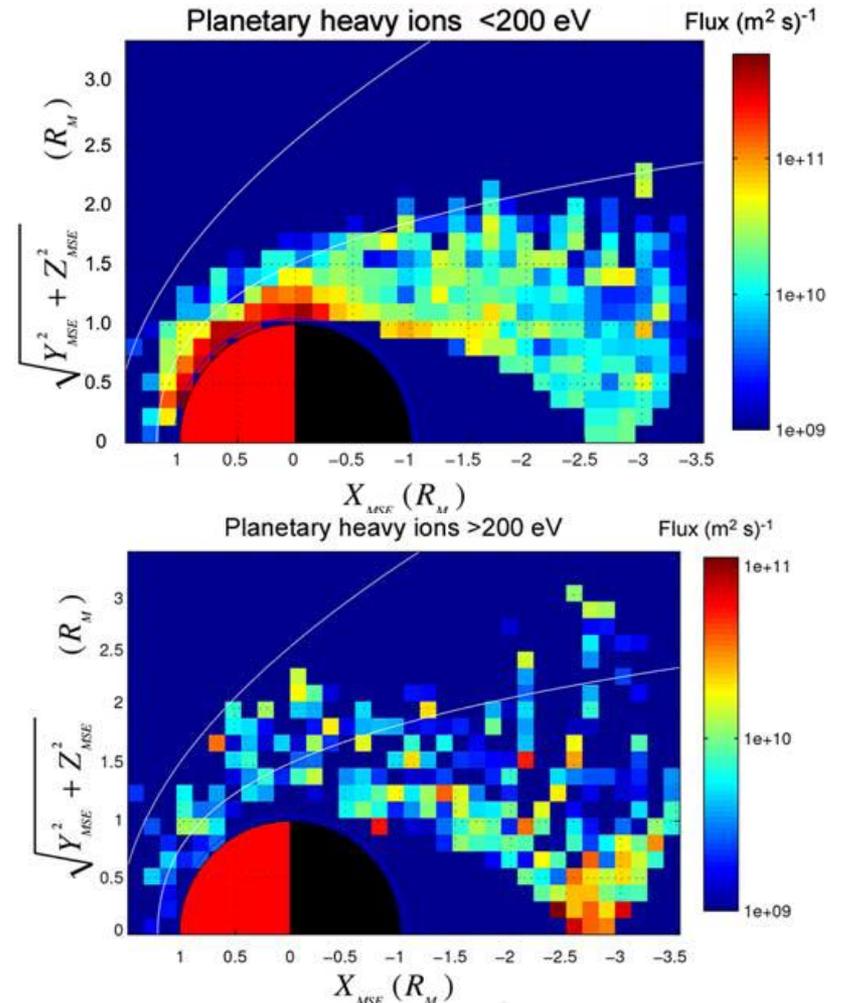


fig.3 Low energy (top) and energetic(bottom) planetary heavy ion(O^+ , O_2^+ , CO_2^+) fluxes near Mars (Lundin et al., 2008)

Instrument

- IMA

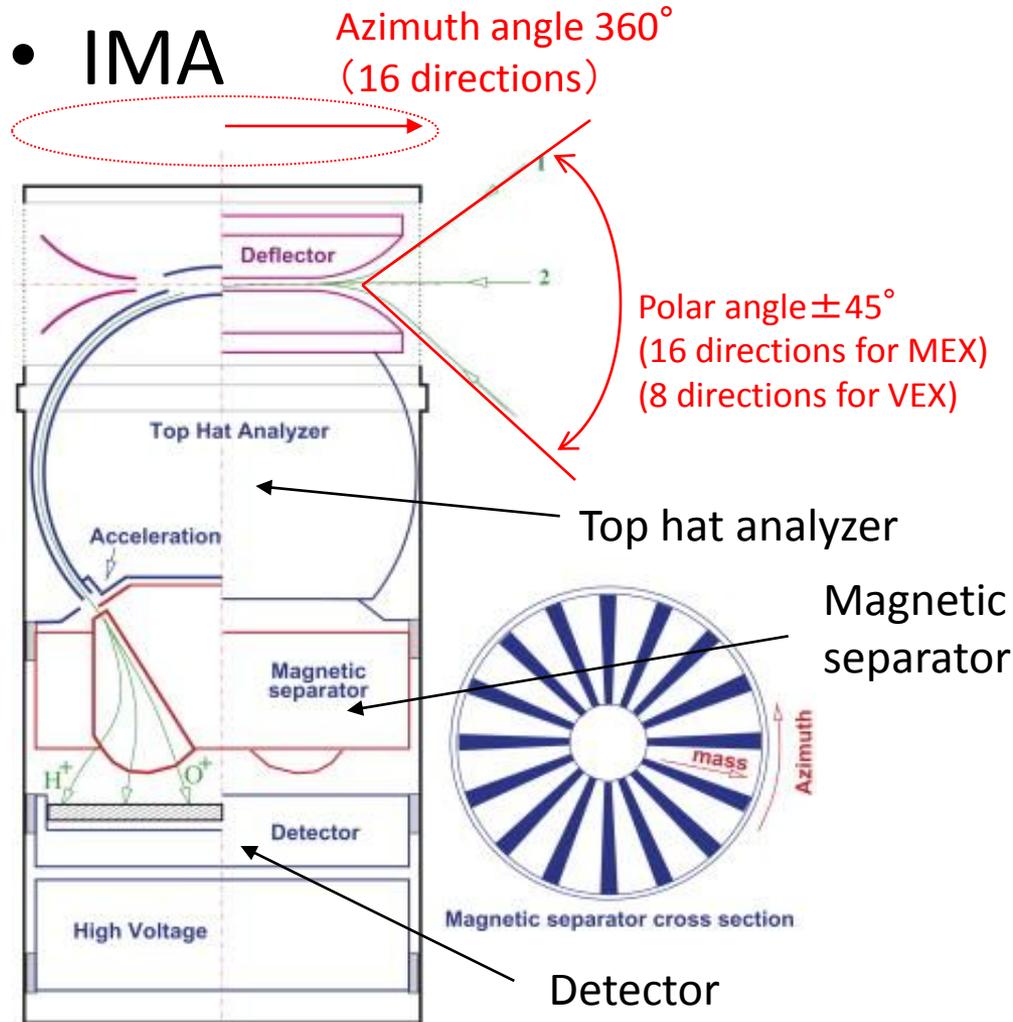


fig4. IMA cross section
(Barabash et al.,2007a)



fig.5 Appearance of IMA
(Barabash et al.,2007a)

$90^\circ \times 360^\circ$ FOV
 $5.6^\circ \times 22.5^\circ$ resolution

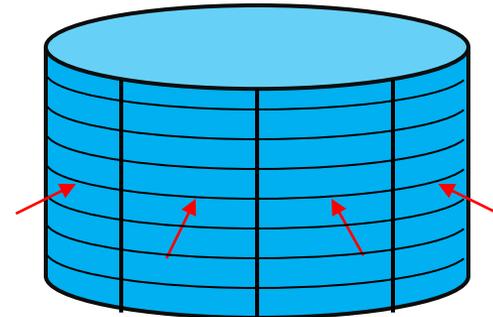


fig.6 FOV of IMA in 192 seconds

Instrument

- polar scanは1スキャン192s。(1方向12秒)
- エネルギー方向は96stepsあり、1stepあたり0.125秒 [range:10eV-30keV]
- mass方向は32チャンネル。
- post accelerationのモードを変えることで、観測する粒子種のエネルギーレンジを変えられる。
- 最終的に得られるデータは、
[mass(32) × azimuth(16) × energy(96) × polar(16)]/scan の4次元データ

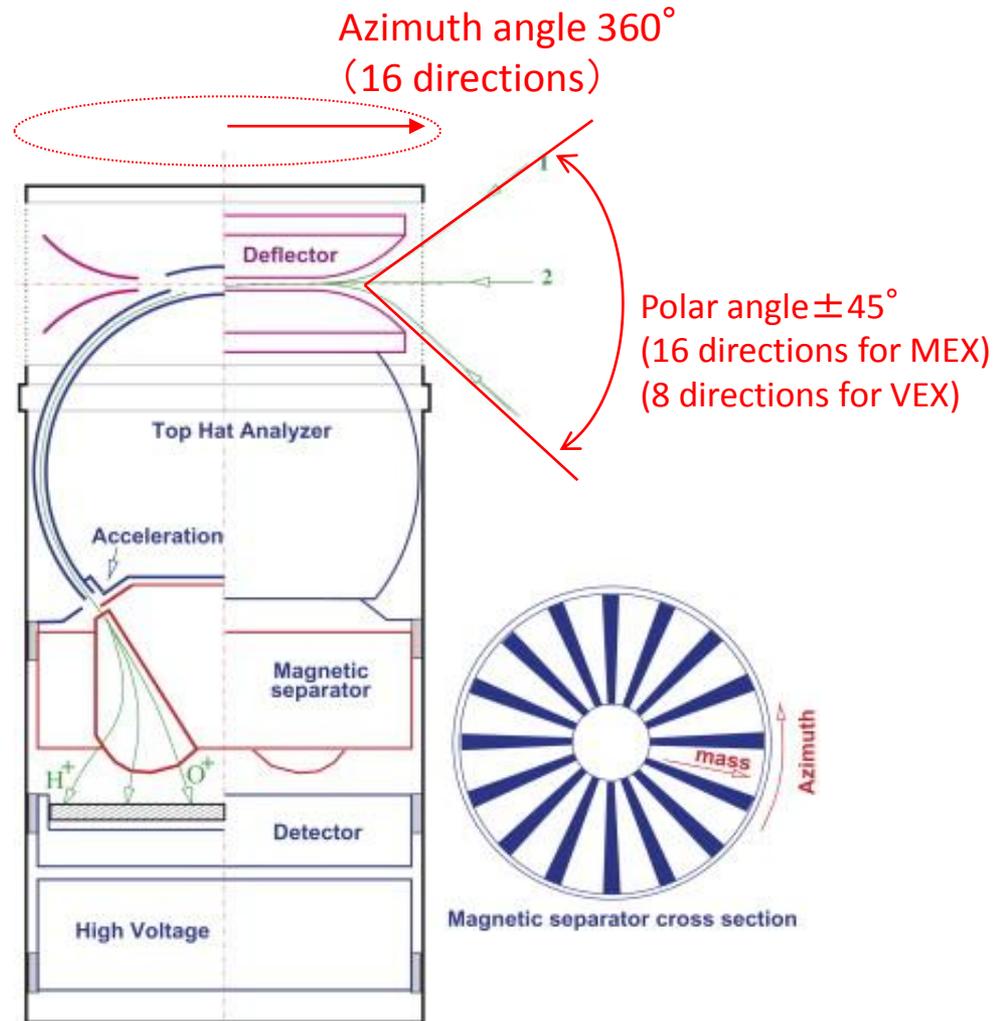


fig7. IMA cross section

Supplementary information

Mars Express observation (2003~)

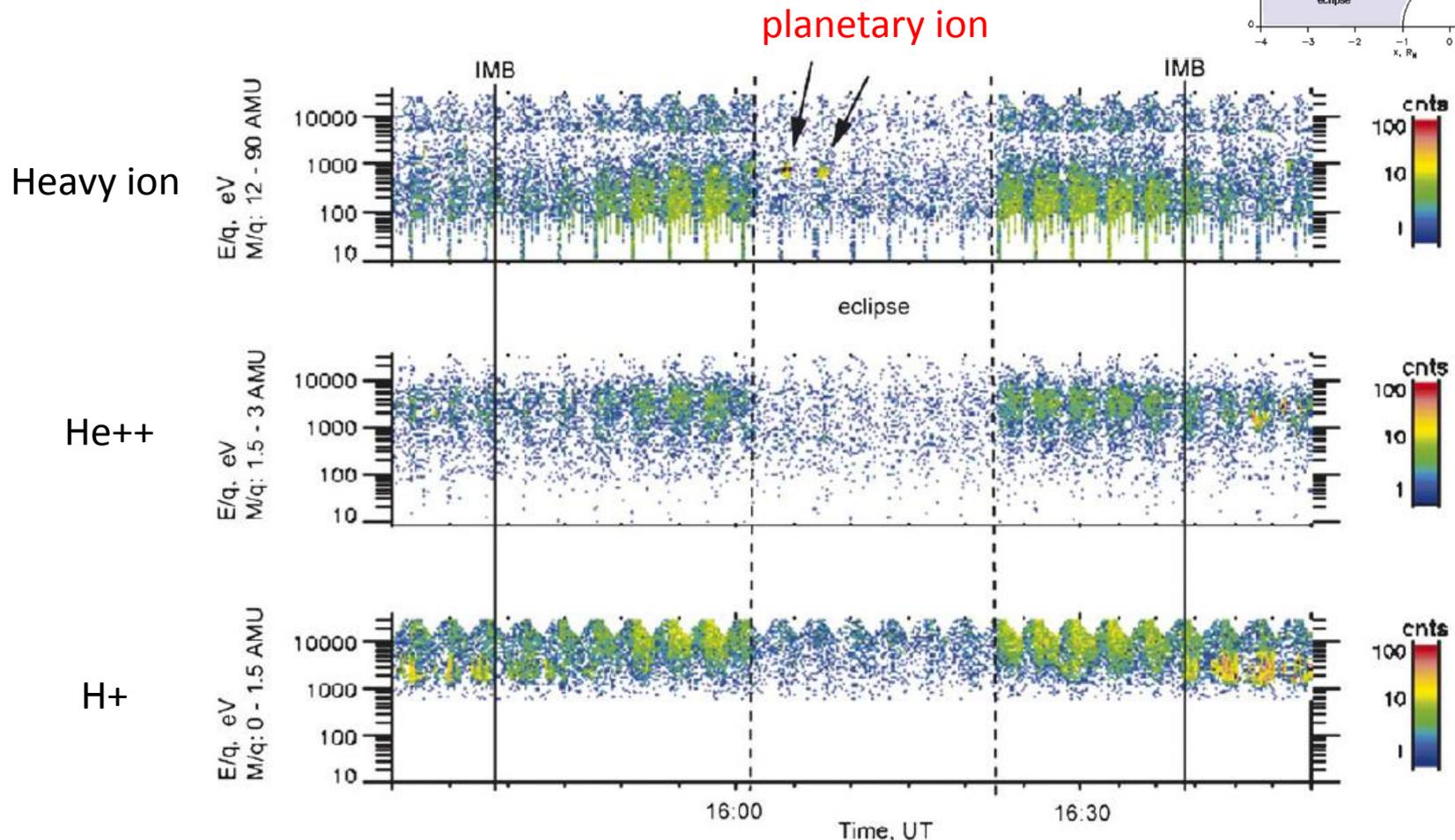


fig8. IMA observes planetary ion outflow at Martian wake (Carlsson et al., 2006)

Supplementary information

- Mass分解することが可能。
($m/q=1,2,4,16,32,44$)
- 太陽風による contaminationはこの図である程度判別可能。(Appendix参照)

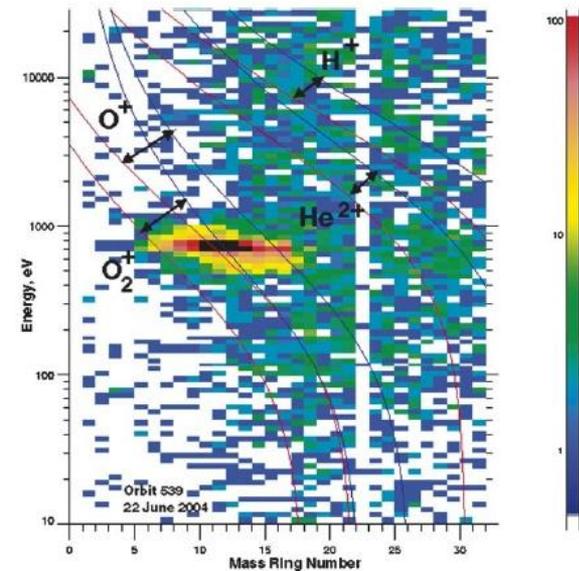


fig9. Energy mass spectra of ion outflow(Carlsson et al.,2006)

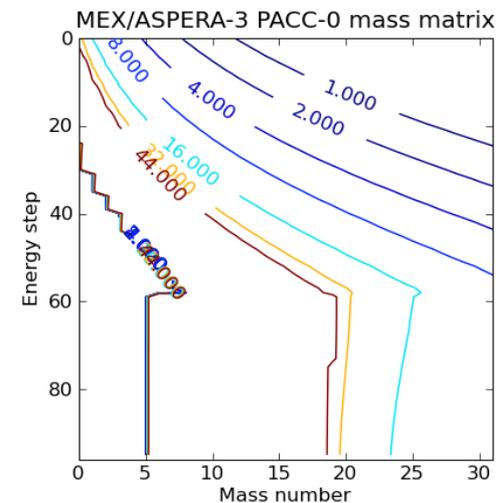


fig10. Energy-mass table, which is pacc=0

Supplementary information

- 近年、gaussian fittingを用いた方法によって観測された粒子種が分けられた。
- $O^+ : O_2^+ : CO_2^+ = 1 : 0.9 : 0.2$
- ⇒分子イオンの流出

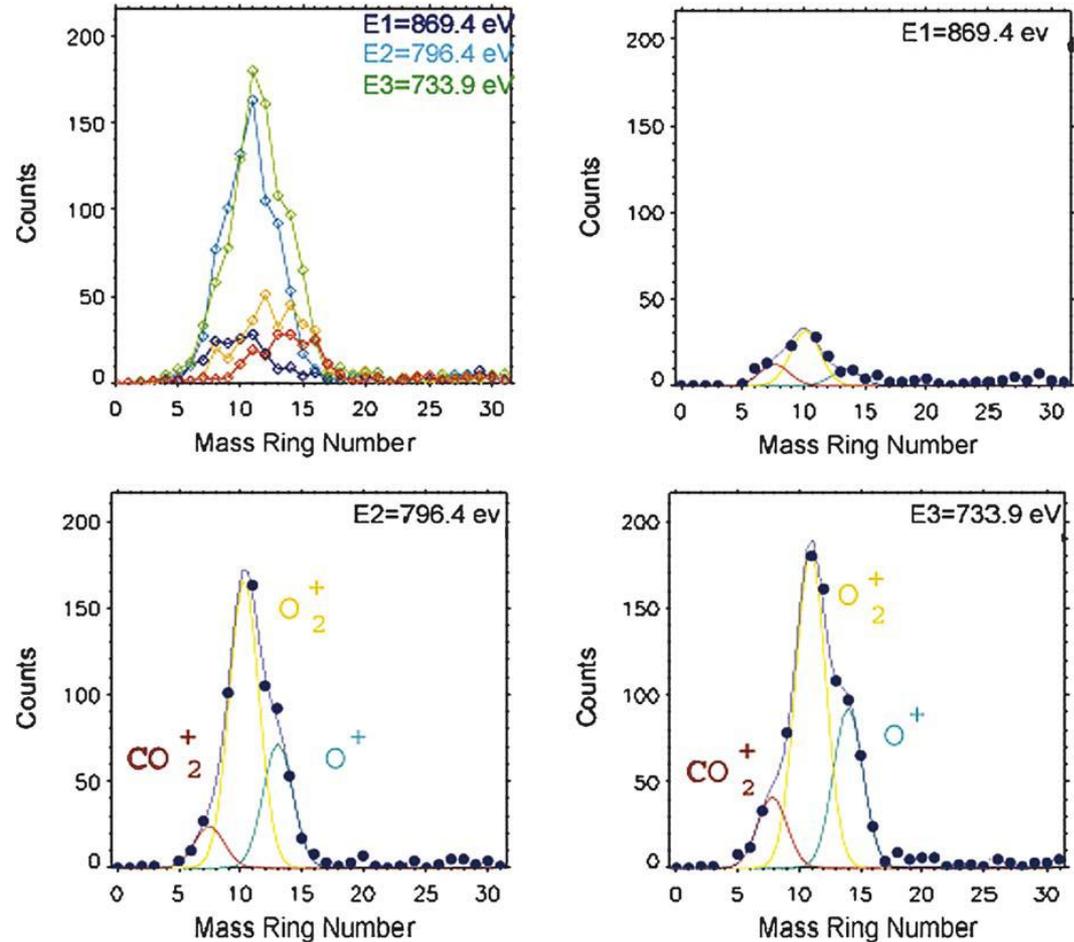
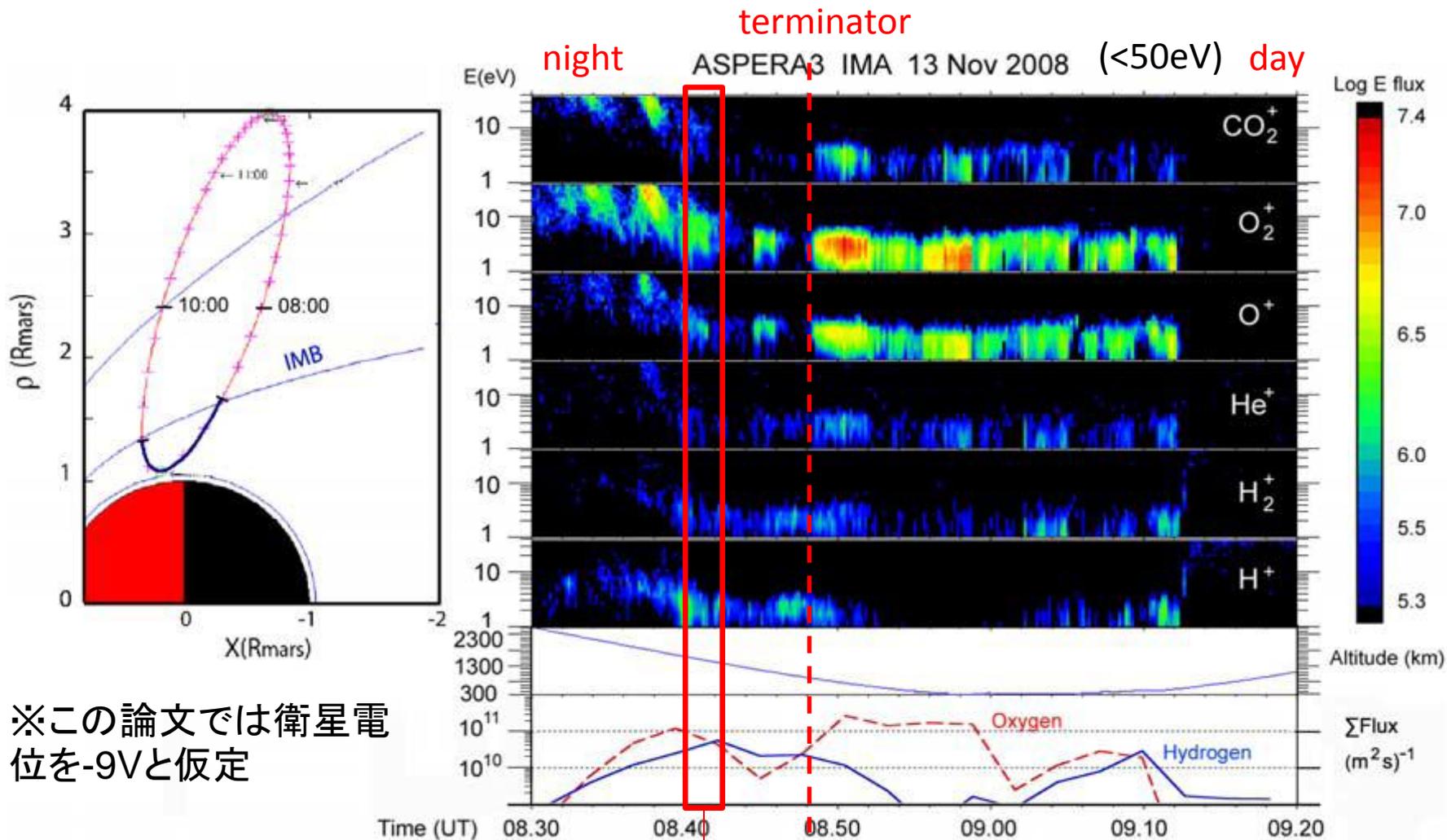


fig11. Mass fitting of recorded profiles of count rates for three selected energies(Carlsson et al.,2006)

Observation



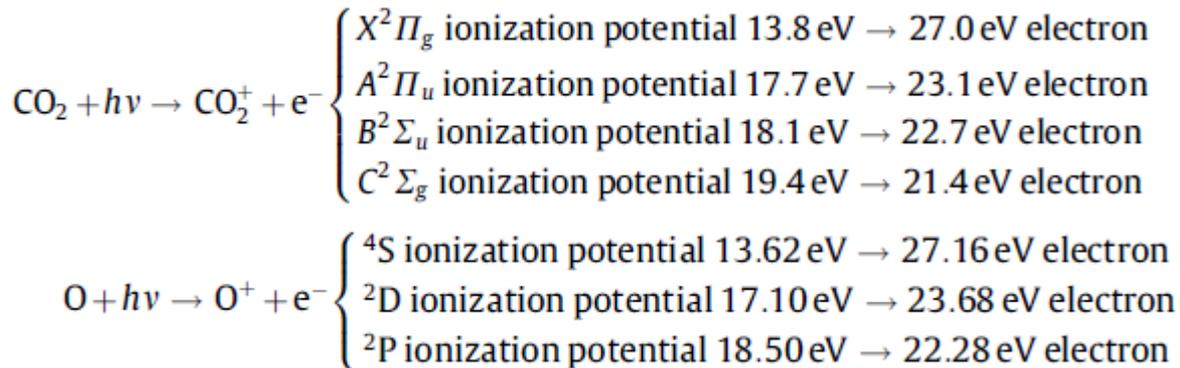
※この論文では衛星電位を-9Vと仮定

fig12. Energy-time flux spectra for cold ionospheric ions (<50eV)

Cold ionを観測

Observation

MEXは衛星電位を測っていない。
photoelectronのスペクトルで衛星電位を見積もっている。



21-23eV, 27eVに
ピークが見られる
はず！

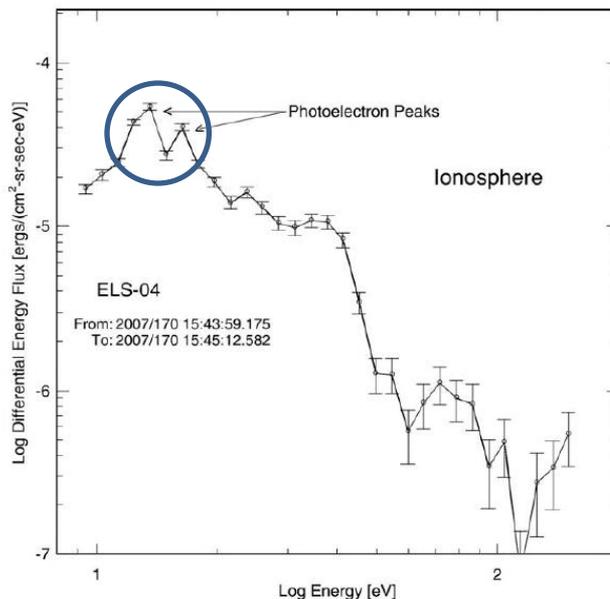


fig13. Ionospheric differential energy flux spectrum. (Frahm et al.,2010)

ピークのずれが、衛星の電位に相当

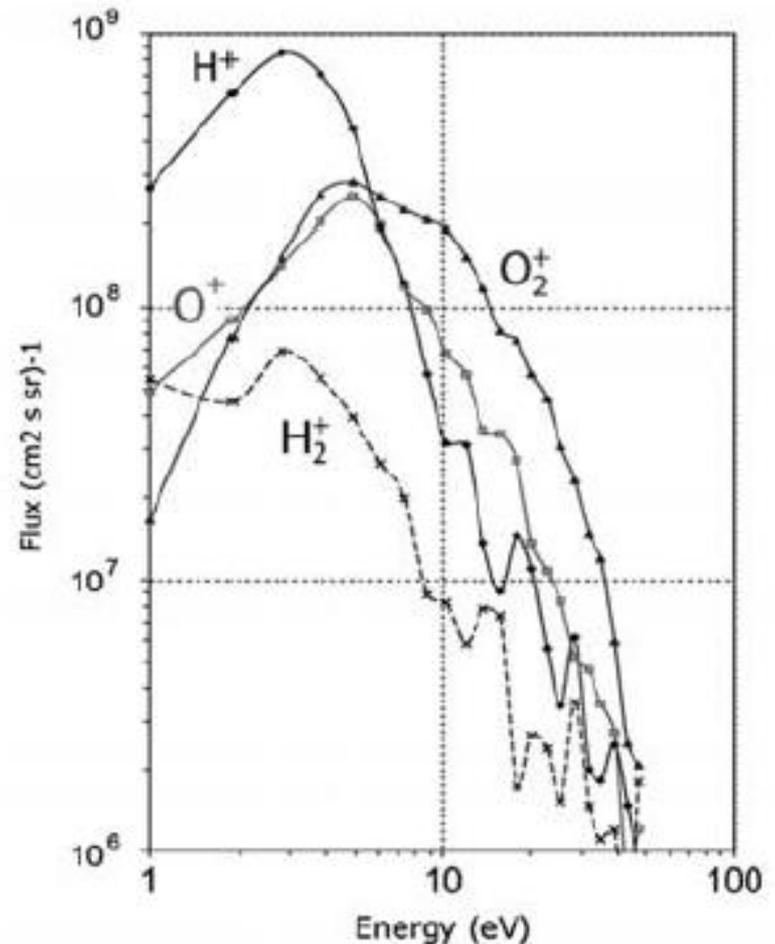
例: 18eV, 22eVにピーク→衛星電位は-5V

この論文ではこの方法を用いて、衛星電位を-9Vにしている。

そのため、1eV～のイオンを検出している。人為的？

Discussion

- 質量が大きいほど加速が強い。
- しかし、本論文では流出メカニズムについては言及されず。
- Lundin et al.(2008)では、ambipolar diffusionや波動によるenergizationの可能性を言及。



(a)

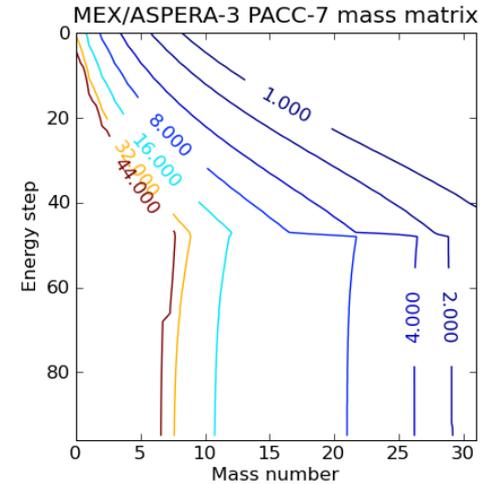
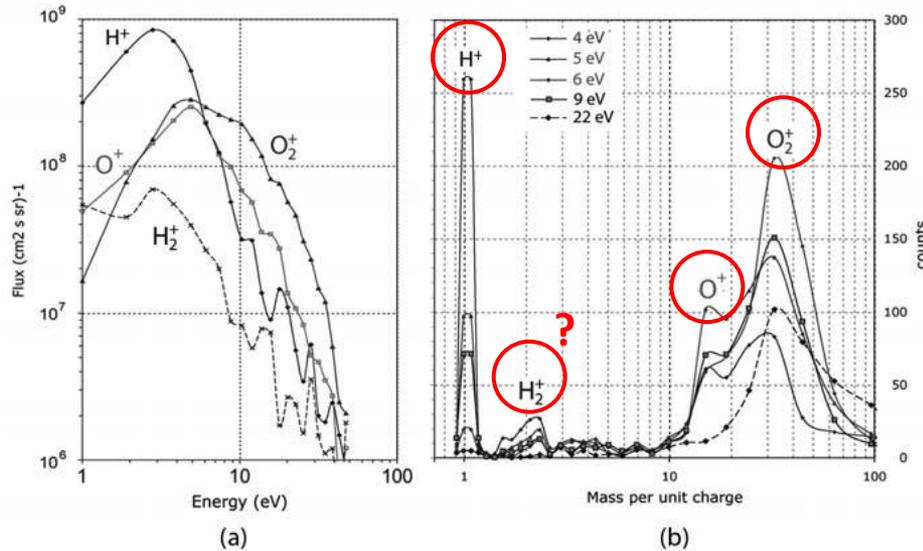
fig14. Energy spectra for outflowing low-energy H⁺, H₂⁺, O⁺, and O₂⁺

Discussion

Cold ion outflow

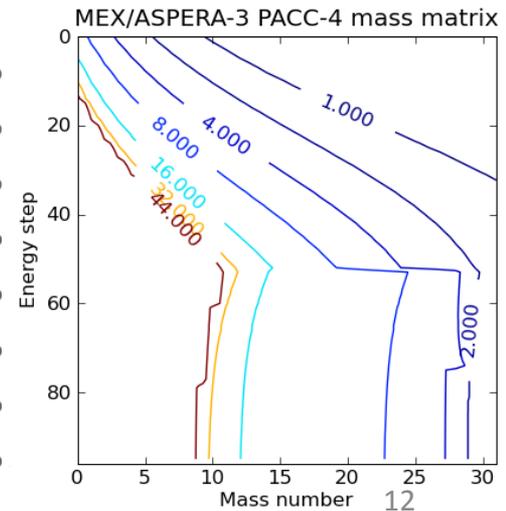
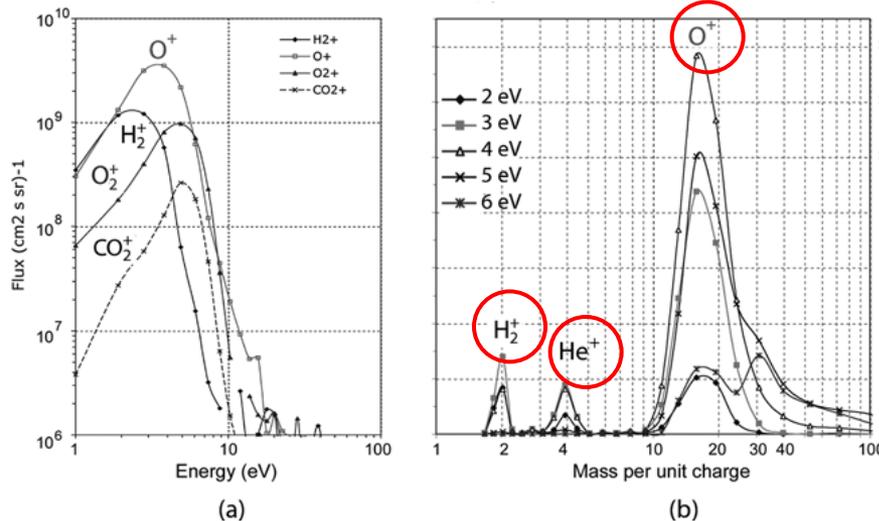
H⁺, O⁺, O₂⁺には明瞭なピークが見られる。
 H₂⁺はピークがはっきりしない。これだけではH₂⁺が存在するのか分からない。

H = 1480 – 1250km



H = 450 – 350km

post acceleration mode=4 (重イオン観測モード?) のとき、H₂⁺にもクリアなピークが出現。
 ⇒確かに火星からはH₂⁺も流出している。



Discussion

$m/q=2$ の粒子は H_2^+ 、 D^+ 、 He^{++} のどれなのか??

scatter全体がminimum H/Dよりも十分小さい
⇒ $m/q=2$ の粒子が D^+ であることを否定。

coldであるので He^{++} でもない。

⇒ $m/q=2$ の粒子は H_2^+ 。

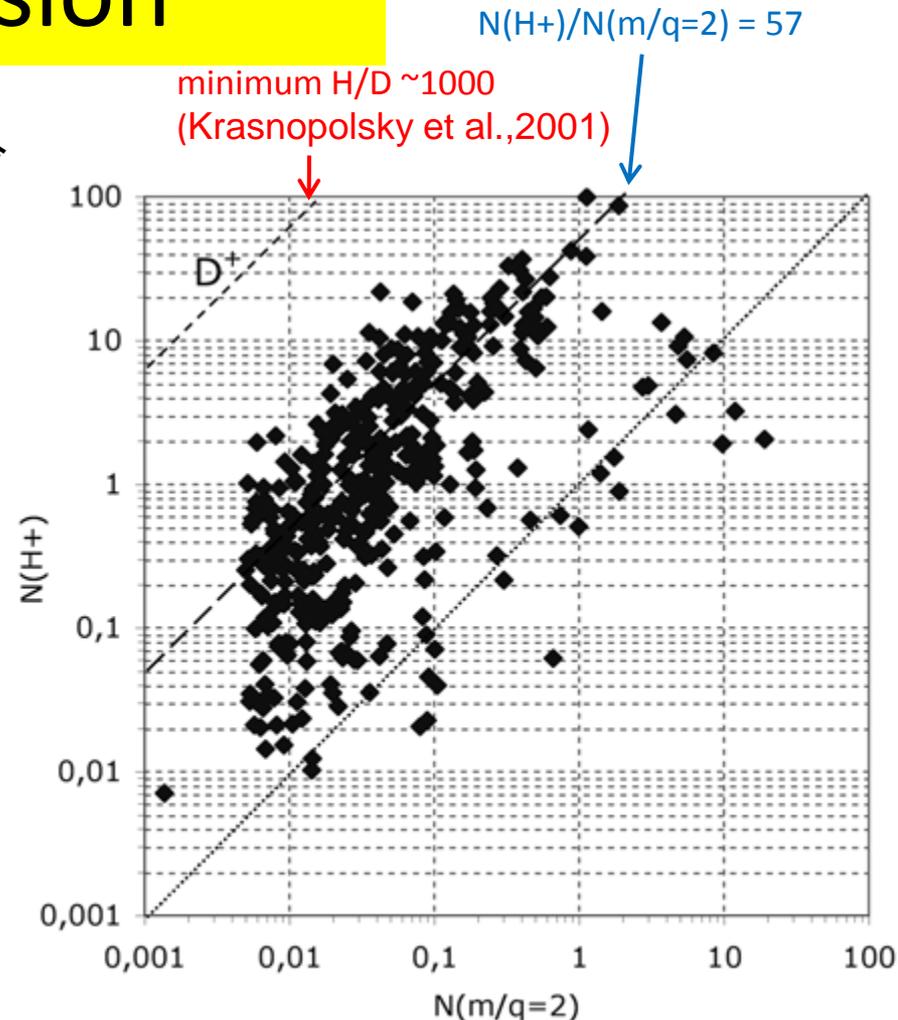


fig15. Scatter plot of low energy (<50eV) H^+ and $m/q=2$ ion number density.

火星から流出するcold ionは主に H^+ 、 H_2^+ 、 O^+ 、 O_2^+ である。

Discussion

フラックスが強い場合のみ

table1. Average ion fluxes and ion escape from Mars

	O ⁺	O ₂ ⁺	O, O ₂	H ⁺	H ₂ ⁺	CO ₂ ⁺	H/O avg	H/O Simult.
Flux(m ⁻² s ⁻¹)	5.00E+10	3.30E+10	8.40E+10	5.10E+10	2.90E+09	8.30E+09	0.64	1.3
Samples	768	768	768	768	768	377	743	377
Escape(s ⁻¹)	2.10E+24	1.40E+24	3.50E+24	2.00E+24	1.20E+23	3.50E+23		

O⁺, O₂⁺, (O⁺+O₂⁺), H⁺, H₂⁺, CO₂⁺の平均フラックスから、流出量を計算。

- ・CO₂⁺の流出量はHeavy ionの10%程度。
- ・H/O=0.64~1.3より、流出するcoldイオンの源はH₂Oである。

Conclusion

- 火星からColdイオンの流出が観測された。
- Coldイオンの主な成分は H^+ , H_2^+ , O^+ , O_2^+ であり、 CO_2^+ はマイナー成分である。
- 水素酸素比 (H/O) ~ 1 より、流出するColdイオンの源は H_2O である。
- しかし、本論文では流出メカニズムについては言及せず。

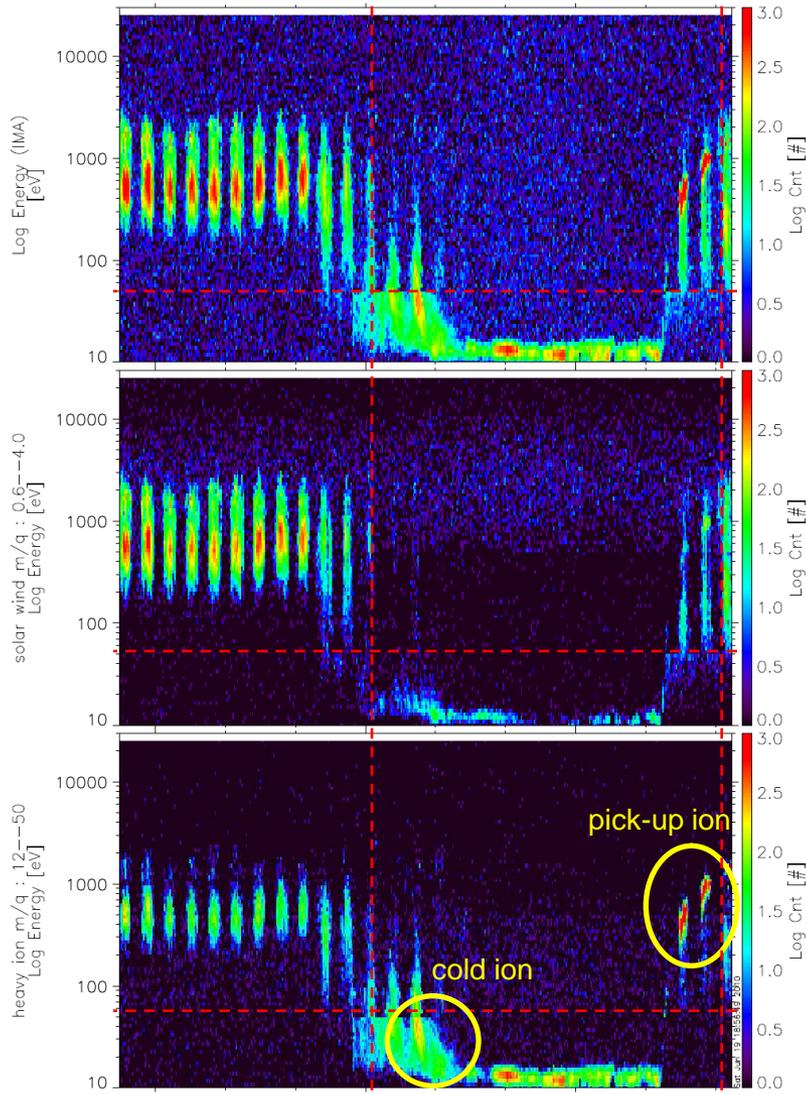
Issue&Suggestion

- 火星の脱出速度は酸素イオンで2eV
- ASPERA-3のエネルギー下限値は10eVであるにもかかわらず、この論文ではcold ionを観測したと述べられている。推測される衛星電位の評価は怪しい。
- 今後のミッションでは衛星電位を測定しつつ、cold ionを観測することが必要。

References

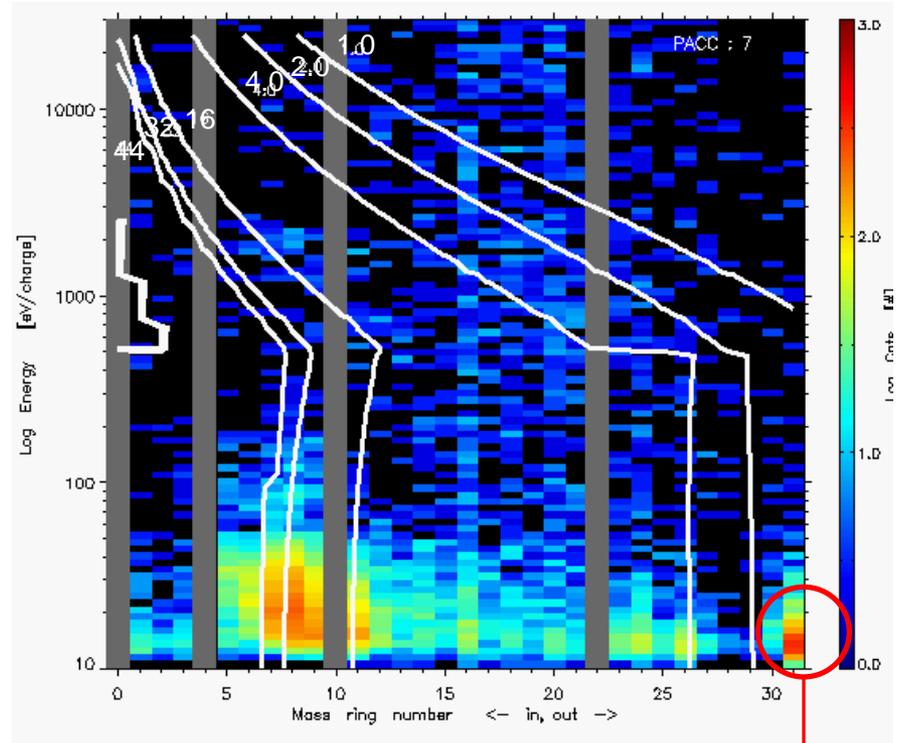
- Brabash et al.,2007a, The analyser of Space Plasmas and Energetic Atoms (ASPERA-4) for the Venus Express mission, Planet and Space Sci., 1772-1792
- Carlsson et al.,2006, Mass composition of the escaping plasma at Mars, Icarus 182, 320-328
- Frahm et al.,2010, Estimation of the escape of photoelectrons from Mars in 2004 liberated by the ionization of carbon dioxide and atomic oxygen, Icarus 206, 50-63
- Lundin et al.,2004, Solar wind-induced atmospheric erosion at Mars: first results from ASPERA-3 on Mars Express, Science 305, 1933
- Lundin et al.,2008, A comet-like escape of ionospheric plasma from Mars, GRL,Vol.35, L18203

Raw data



X _{sc}	-0.6	-0.3	0.2
Y _{sc}	-1.2	0.1	1.1
Z _{sc}	-2.1	-1.7	-0.1
H	5050.2	2433.2	325.2
hhmm	0800	0830	0900

2008 Nov 13

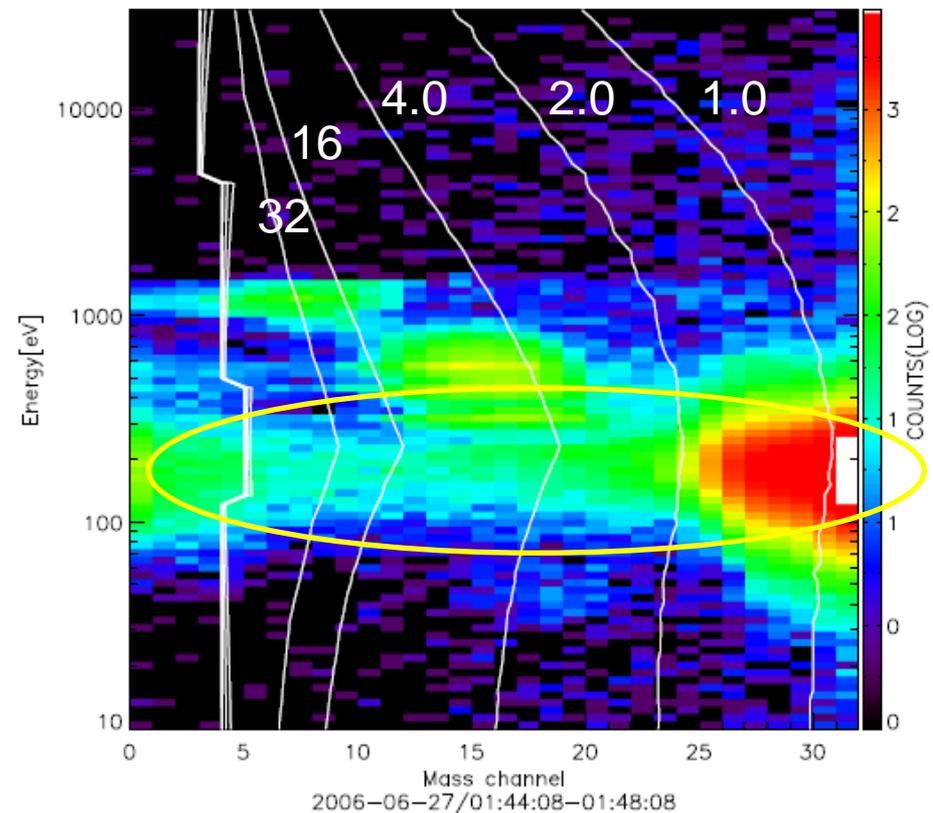


H+ ?

Raw dataからはH+やH2+が見られない。
 どのような手法で分けているのか??
 新しいパッチを使用? (Lundin et al., 2008)

Appendix

- シースでのピックアップイオン観測時 (VEXデータ)
- 太陽風はフラックスが強いため、他の mass channel まで blooming する。



Appendix

- Mars D/H ratio

