

水素原子の月面における挙動 (プラズマ環境も含めて考える)

第19回惑星圏研究会

2018年2月27日-3月1日 東北大学

西野真木(名大・工・電気)、齋藤義文(JAXA/ISAS)、
横田勝一郎(阪大・理)、三宅洋平(神戸大・計算)、二穴喜文(IRF)

内容

1. 月のプラズマ環境
2. 月面への水素原子の供給
3. 磁気異常
4. 極域のクレーター内部にも太陽風は流入

月のプラズマ環境(太陽風、磁気圏)

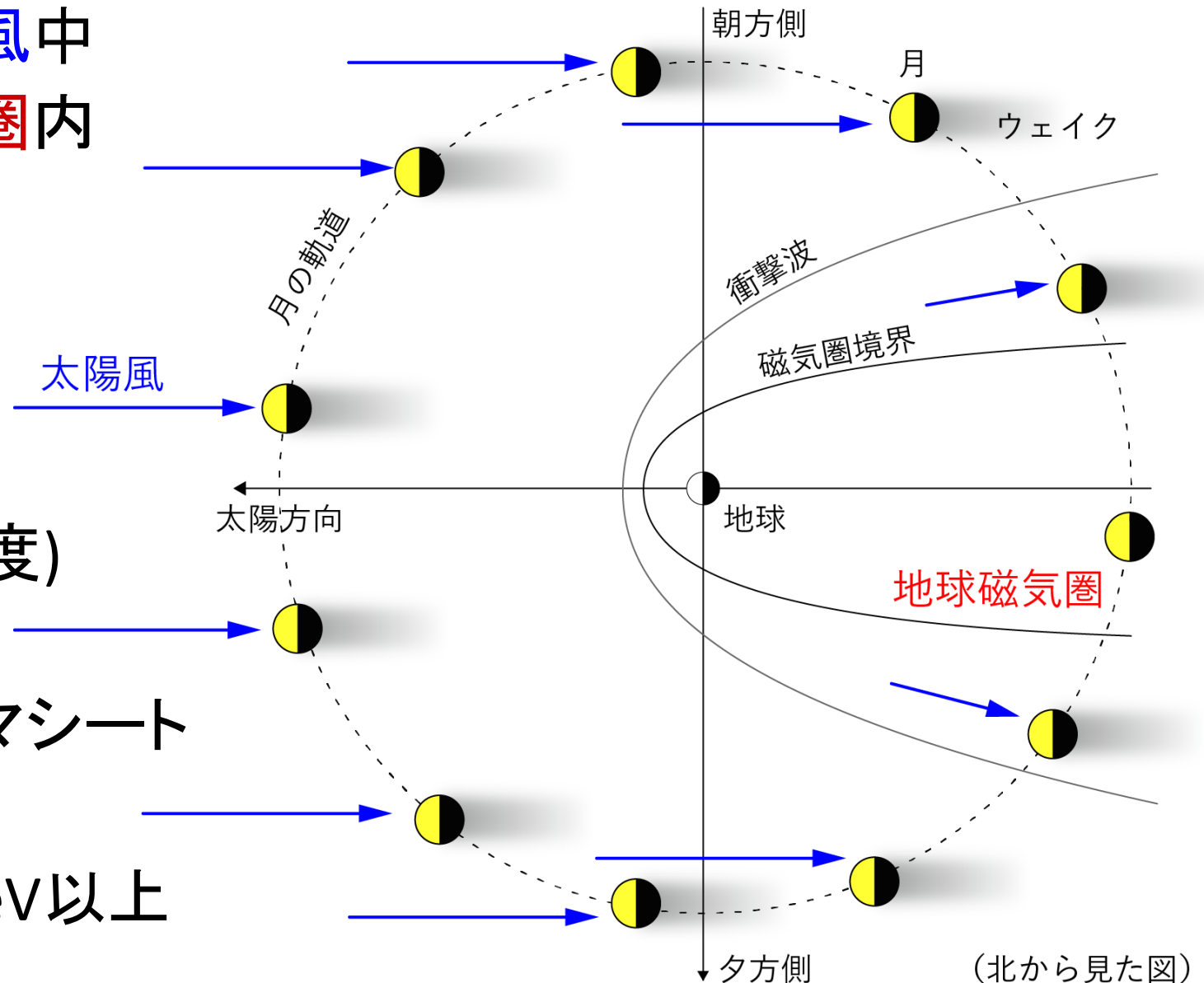
- 8割は太陽風中
- 2割は磁気圏内

太陽風

- 400 km/s
- 10 /cc
- 10 eV (10万度)

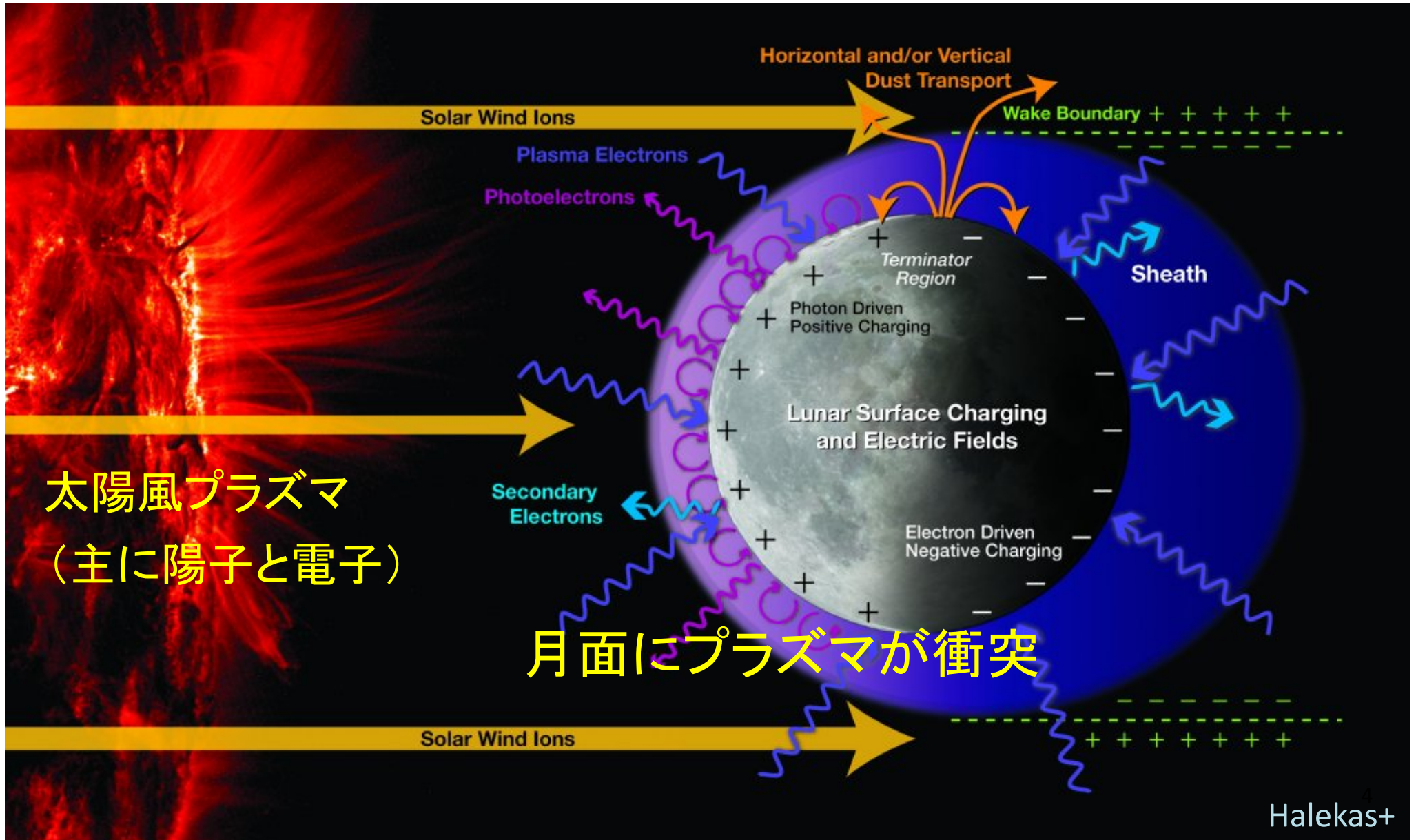
磁気圏プラズマシート

- 0.1 /cc
- イオンは1 keV以上



太陽風・太陽光と月面

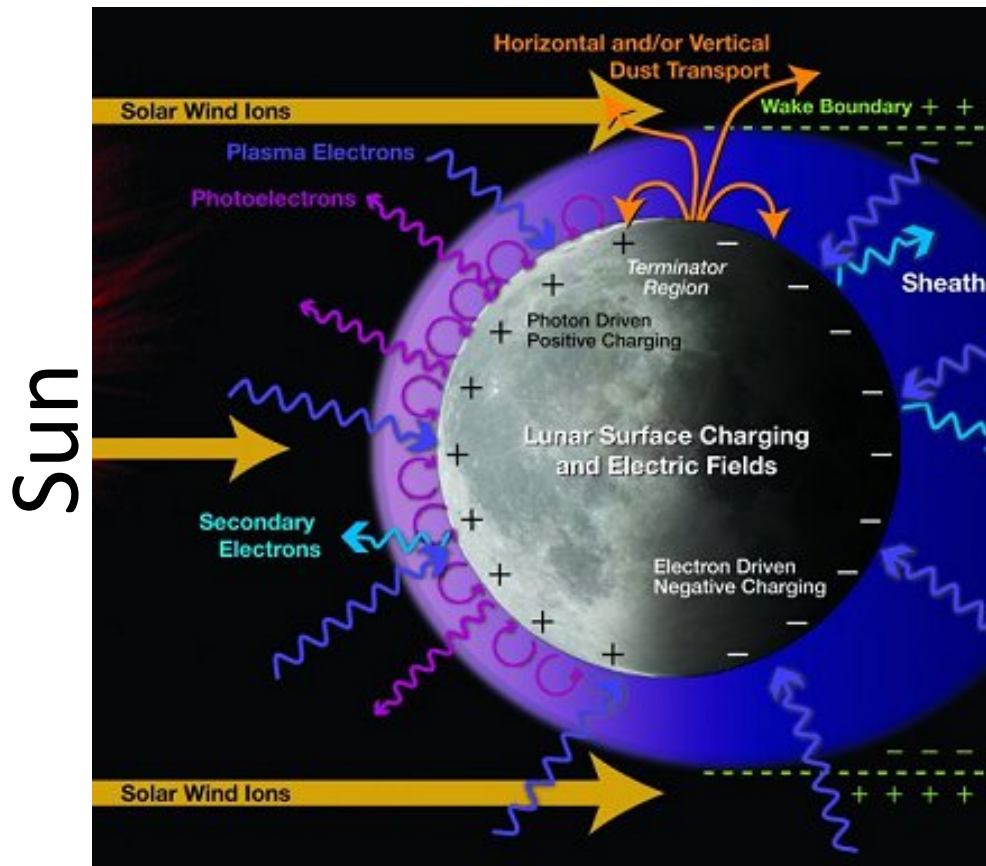
日照・日陰による違いがある。



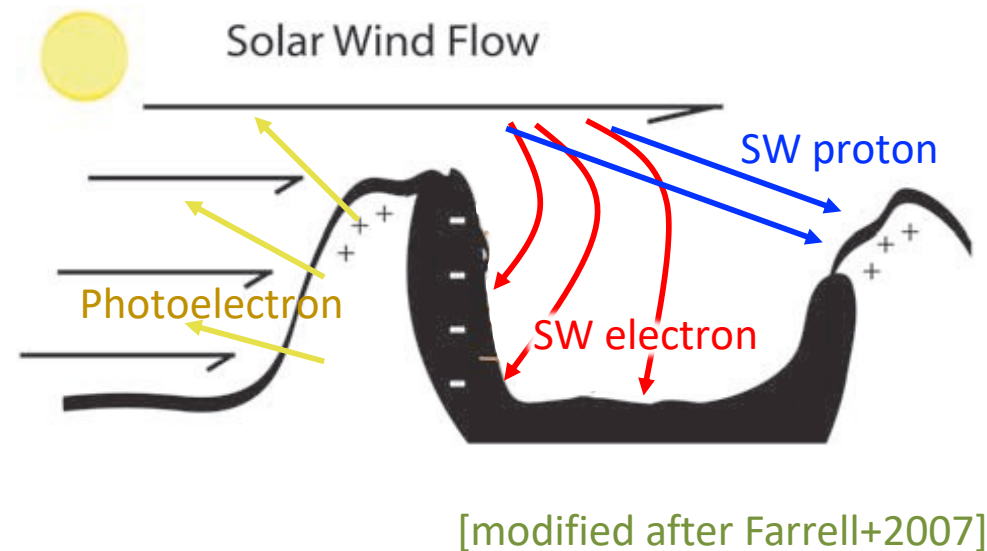
問題意識：月表面と宇宙プラズマの相互作用

天体表面と宇宙プラズマ・光電子の電気力学相互作用 ⇒ 帯電

全球スケール



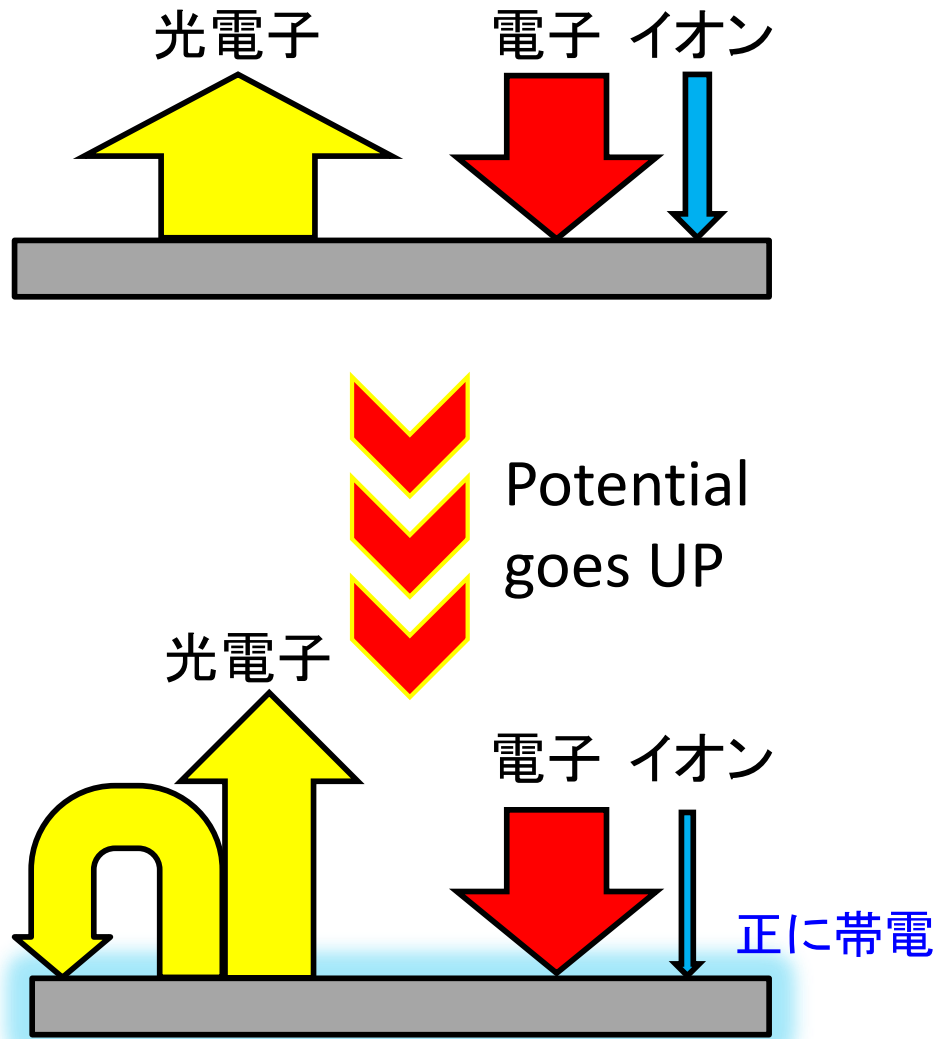
局所的なスケールでも？



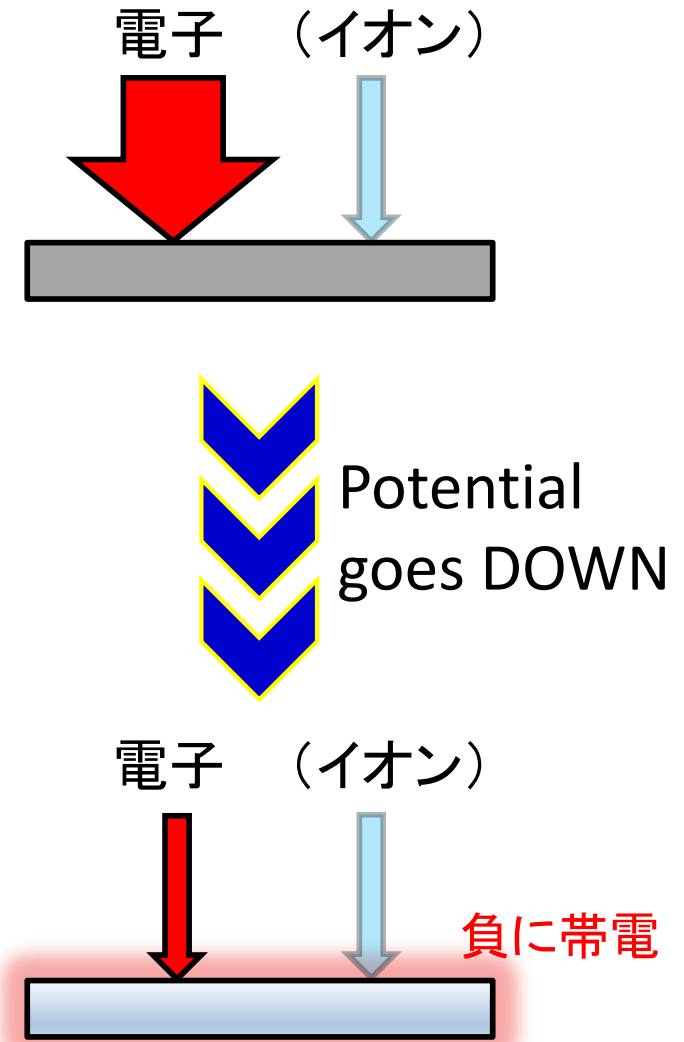
[Credit: Halekas & Delory of U.C. Berkeley, and Farrell & Stubbs of the Goddard Space Flight Center]

月面における帯電の典型例

Case 1. 月の昼側(光電子の放出が無視できない低密度プラズマ)



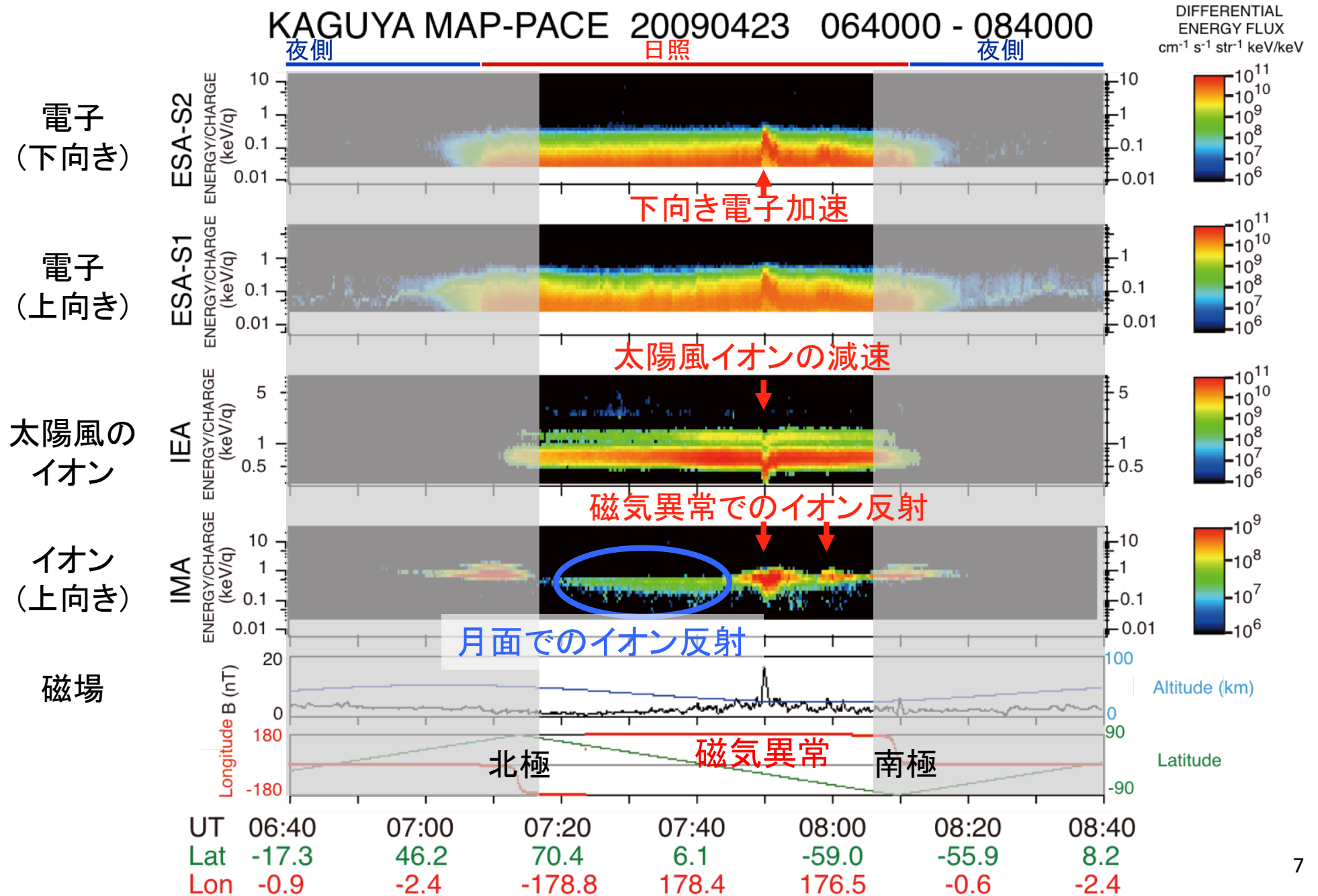
Case 2. 月の夜側(光電子無し)



電流のバランスがとれた時点で平衡状態

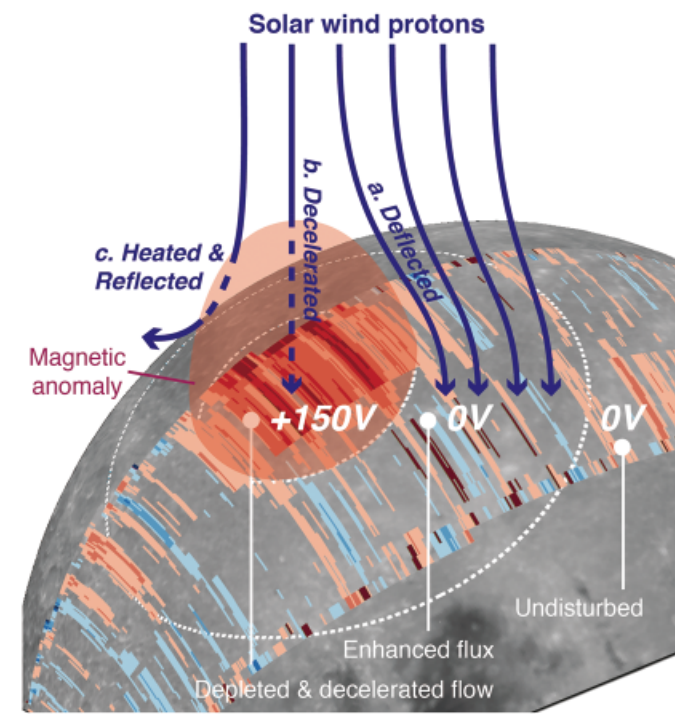
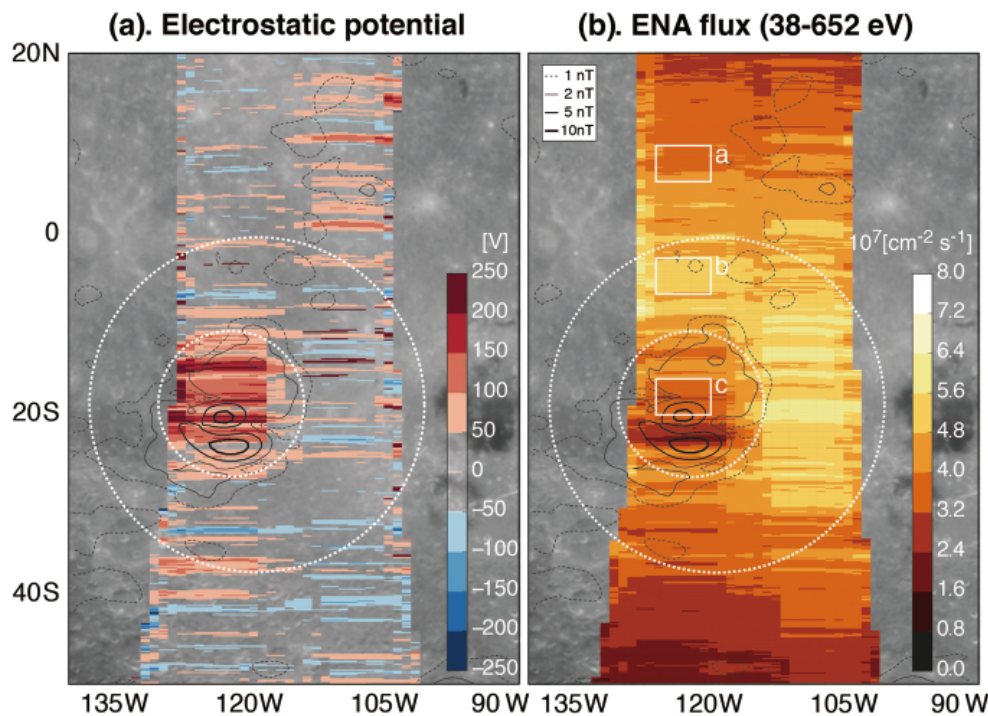
観測事実 月面への陽子の入射・反射、中性化

KAGUYA MAP-PACE 20090423 064000 - 084000



観測事実 磁気異常と反射水素原子

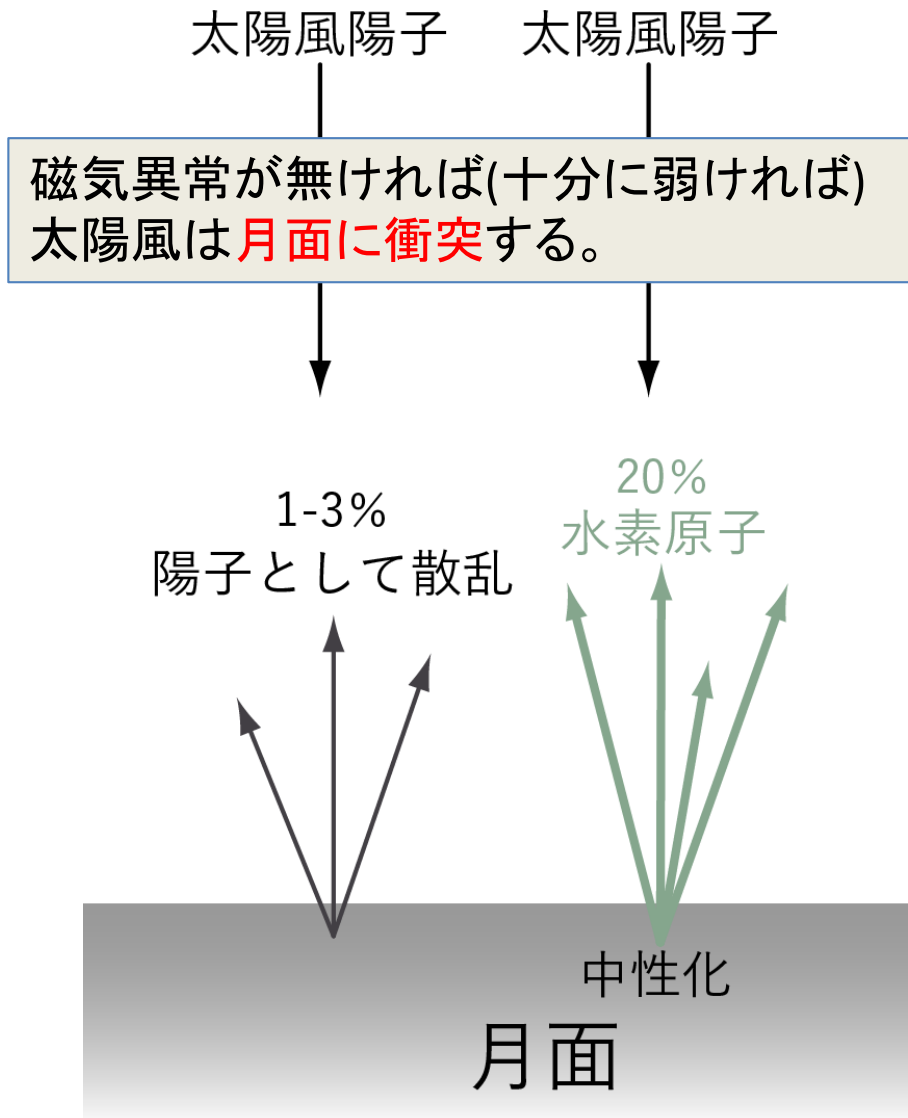
- 月面から反射する高速の水素原子
 - 磁気異常の中心部の上空では反射水素原子が少ない
 - 磁気異常で太陽風が逸れていることの決定的証拠



Chandrayaan-1の成果
Wieser+2010 GRL, Futaana+2013 JGR

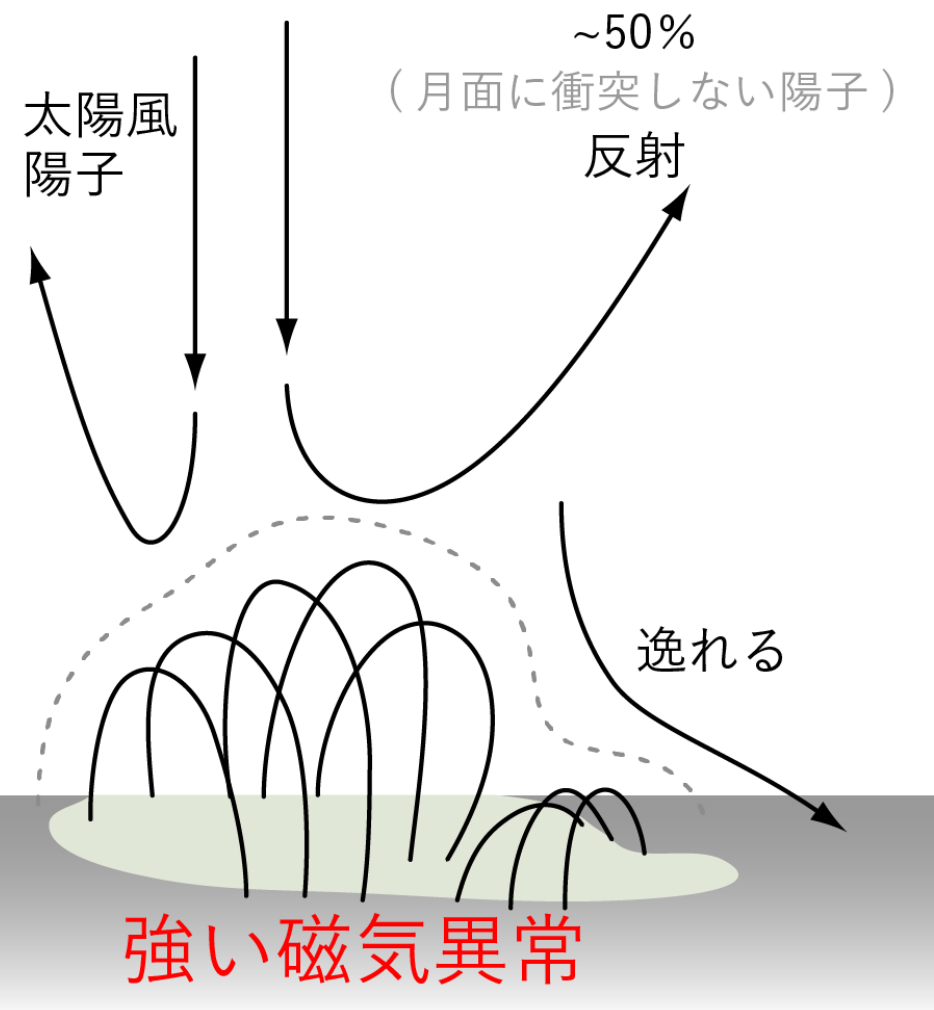
太陽風陽子と月面・磁気異常の相互作用

磁化のない月面



強い磁気異常の上空

一部の太陽風イオンと電子は、月面に衝突せず、磁気異常の上空で反射される。

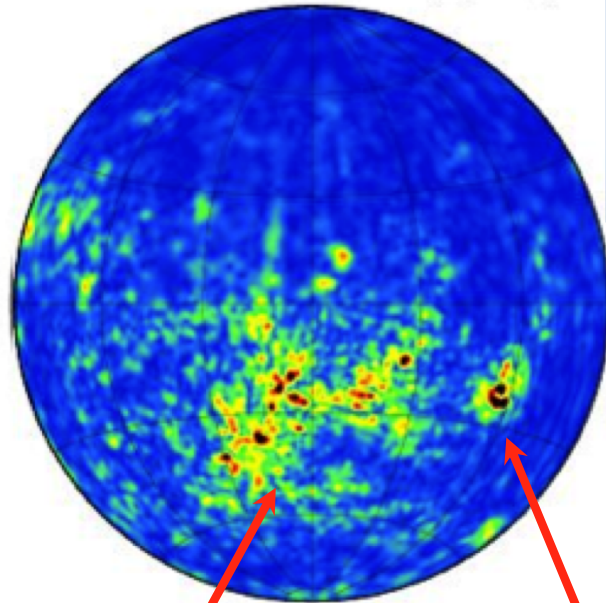
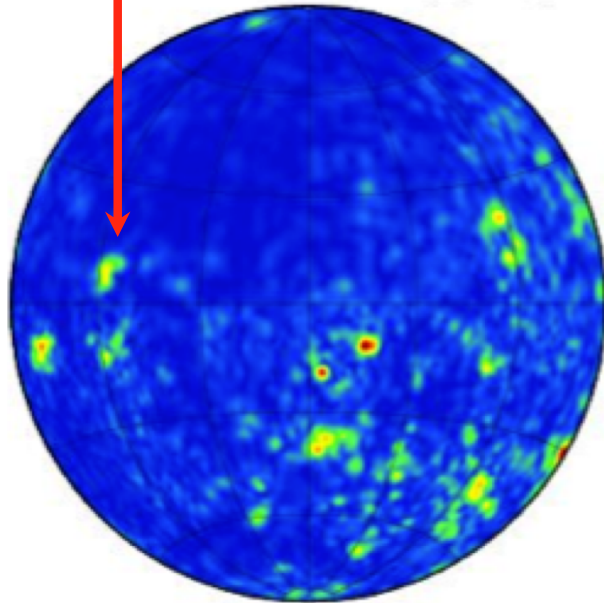


月の磁気異常(残留磁化)

ライナーガンマ

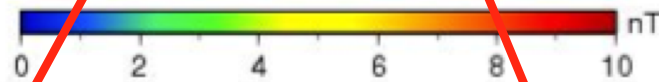
表側

裏側



月の磁気異常と宇宙プラズマは相互作用するが、南極点・北極点の近くに強い磁気異常は無い。

SELENE/LMAG 30 km alt.



SPA (南極エイトケン) 盆地

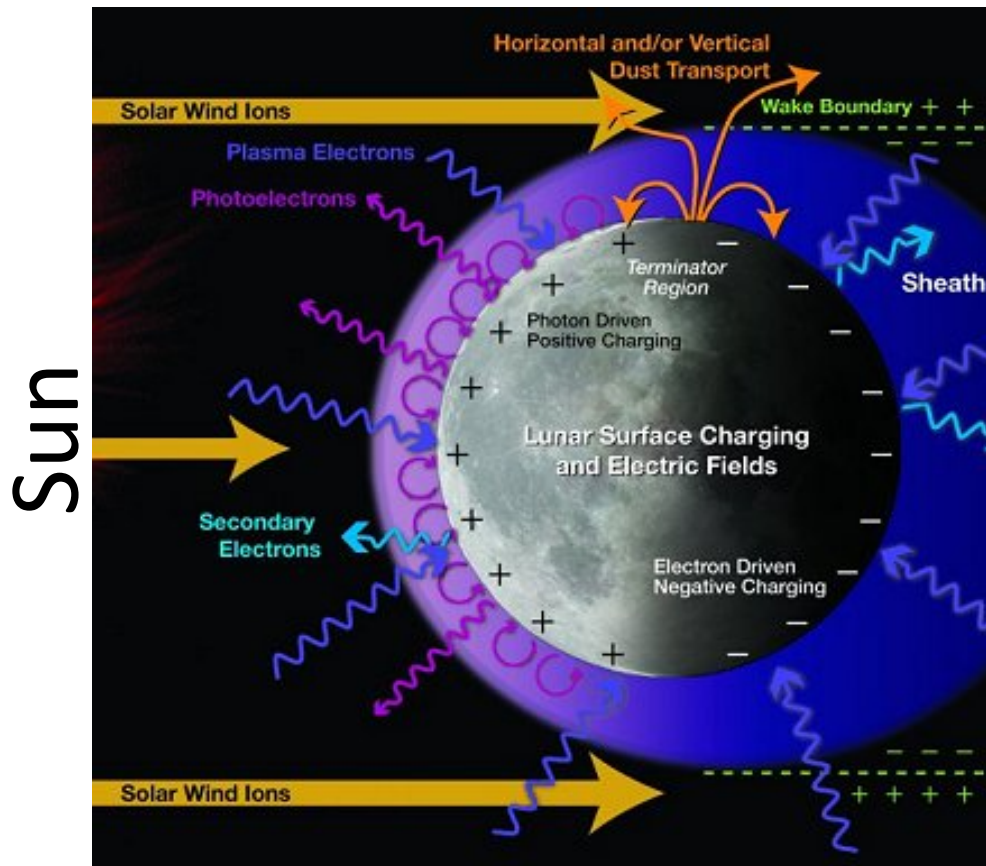
Crisium Antipode

逆に言えば、
極域の月面は磁場では保護されていない。

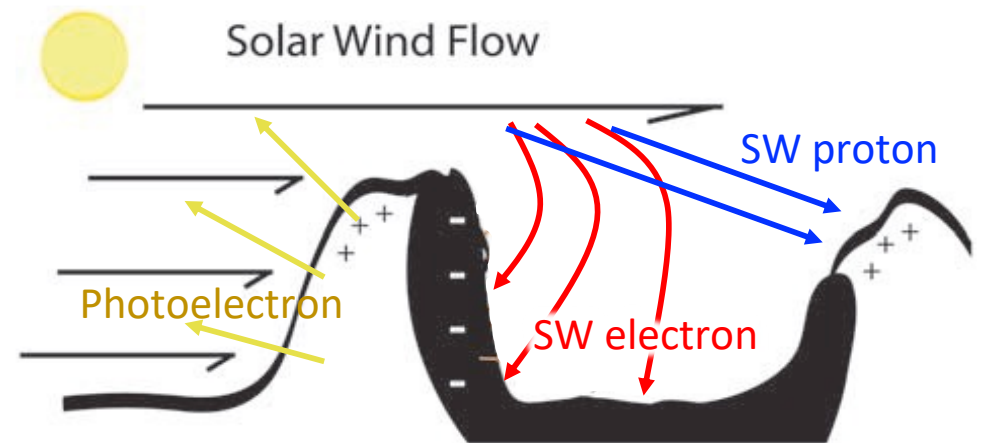
問題意識：月表面と宇宙プラズマの相互作用

太陽風は極域クレーターの永久陰に入射するのか？

全球スケール



局所的なスケールでも？



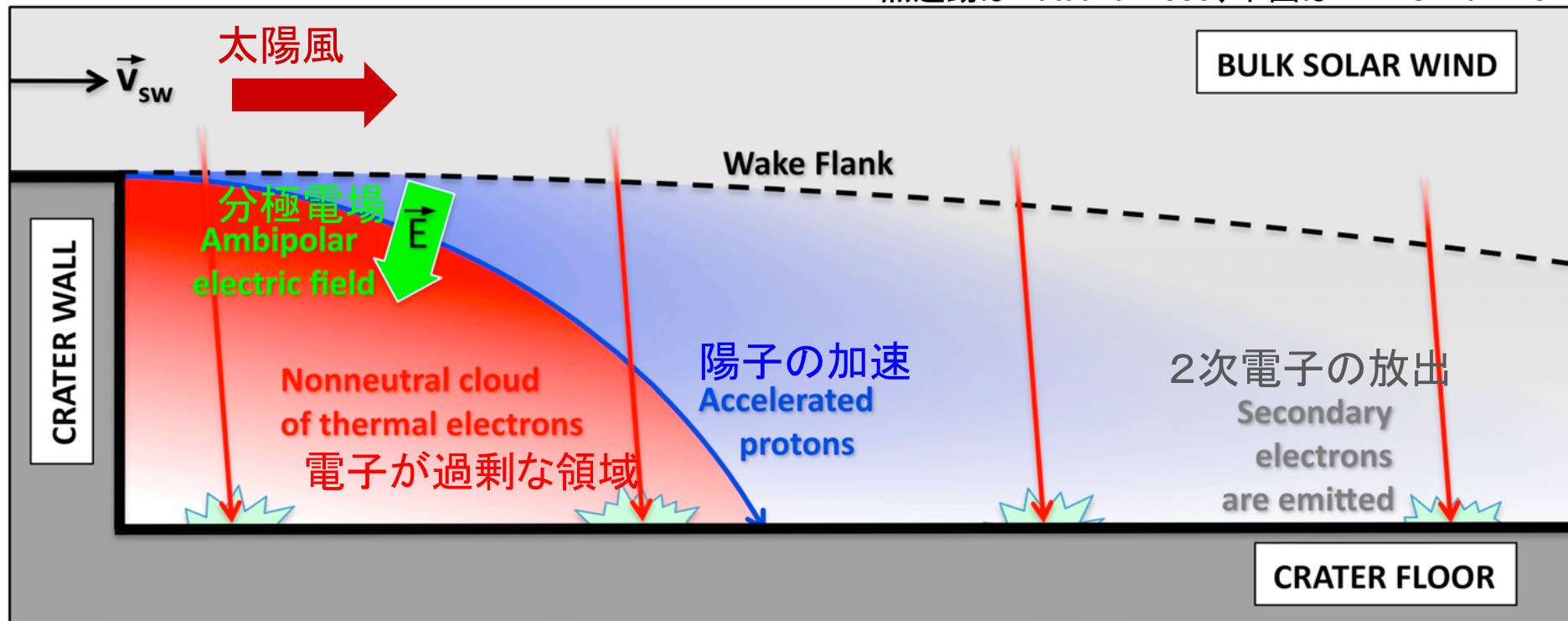
[modified after Farrell+2007]

[Credit: Halekas & Delory of U.C. Berkeley, and Farrell & Stubbs of the Goddard Space Flight Center]

極域クレーターへの太陽風の入射

1. 太陽風陽子は熱運動で極域クレーターに入射可能。
2. 太陽風の陽子と電子の熱速度による分極電場により、さらに陽子が極域のクレーター内部に引き込まれる。

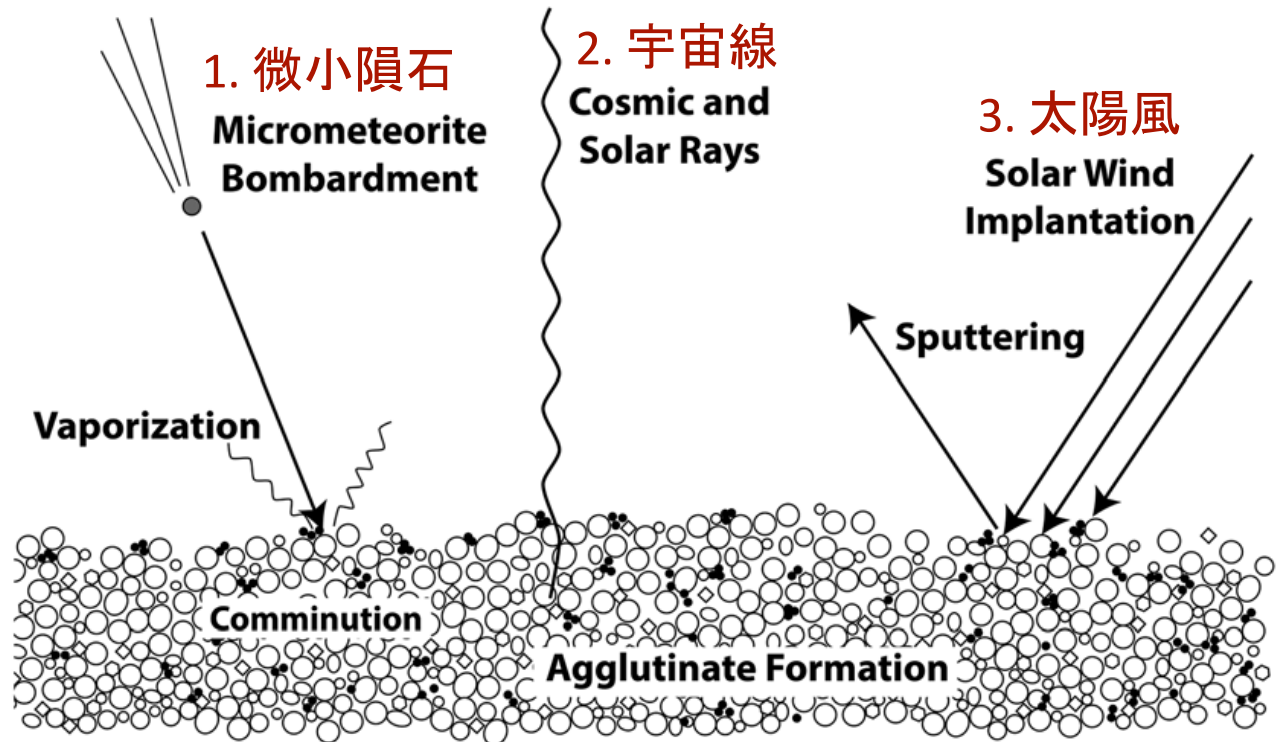
熱運動は Futaana+2006、下図は Zimmerman+2011 GRL



太陽風 H^+ は極域クレーターの底に到達し、 H_2O/OH の起源となりうる。ただし、 H によるスパッタリングは水分子を散逸・消失させうる。

宇宙風化

- 無大気天体(水星、月、小惑星、等)の表面の色変化
- 考えられる原因
 1. 微小隕石
 2. 宇宙線
 3. 太陽風



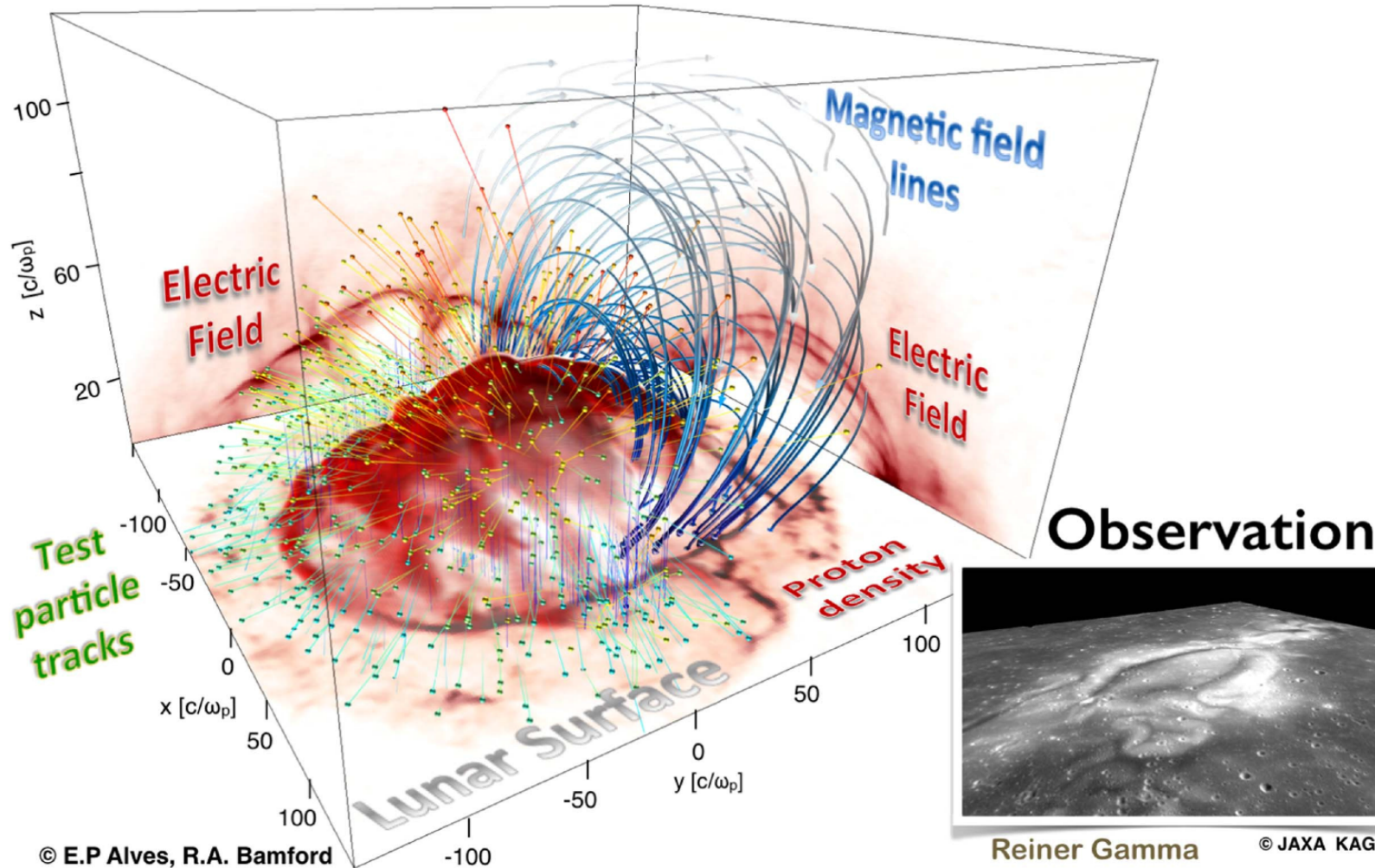
野口先生ご講演
(本日11:00-)

Pieters & Noble 2016 JGR

磁気異常と宇宙風化

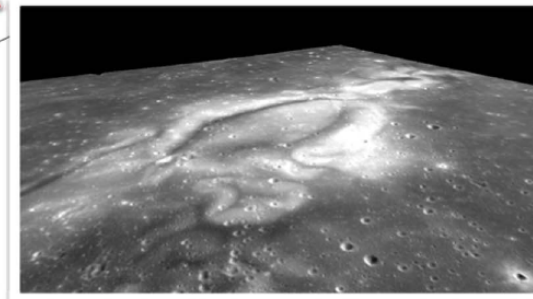
- 磁気異常と宇宙風化に関係がある？

Simulation



Swirlと呼ばれる
白い渦状模様

Observation



Reiner Gamma

© JAXA KAGUYA

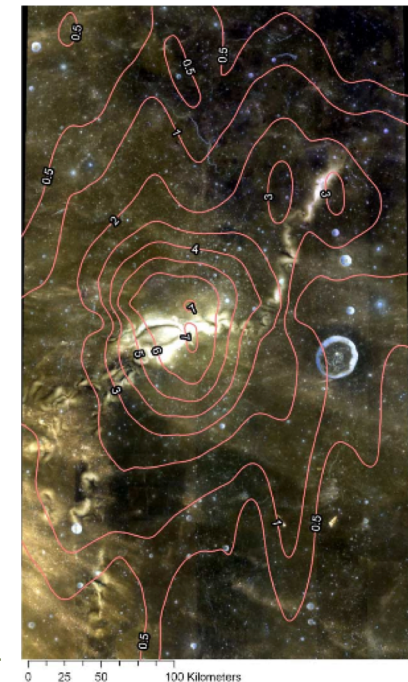
Bamford+2017

水関連のサイエンス

- 太陽風 H^+ の入射による H_2O (または OH) の**生成**?
 - 月表面の Fe と反応? FeO の $Fe^{(2+)}$ を還元?
- 太陽風 H^+ によるスパッタリングで H_2O が**消失**?
- 磁気異常の白色領域 (風化していない) では H_2O/OH が少ない?
- SPAで OH が少ないという報告あり。

Wöhler+2017

Blewett+2007 GRL



まとめ

1. 月のプラズマ環境

- 太陽風or磁気圏、日照or日陰による違い

2. 月面への水素原子の供給

- 入射した陽子は99%が中性化。8割のHは埋め込まれる。
- H₂O 生成・消失？

3. 磁気異常

- Swirl との関係？

4. 極域のクレーター内部にも太陽風は流入

太陽風H⁺によるOH/H₂O生成・消失の探査
(視点:水資源、プラズマ、磁気異常、宇宙風化、....)