

論文紹介

A large-scale flow vortex in the Venus
plasma tail and its fluid dynamic
interpretation

Lundin et al., GRL, in press

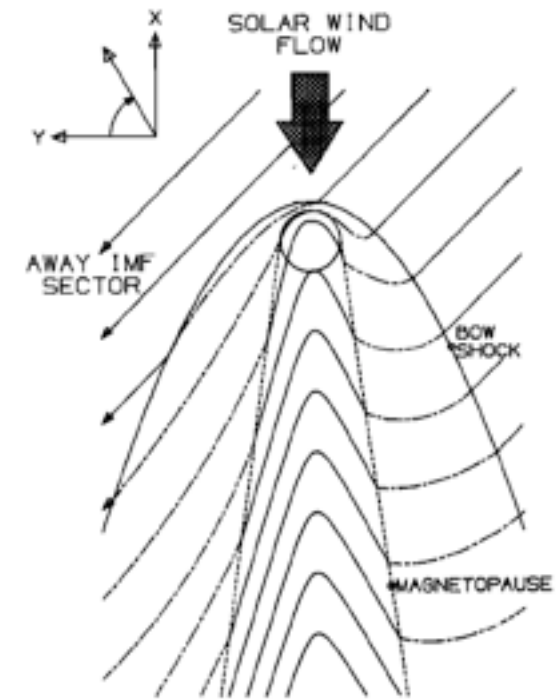
Tohoku Univ./IRF 益永 圭

要旨

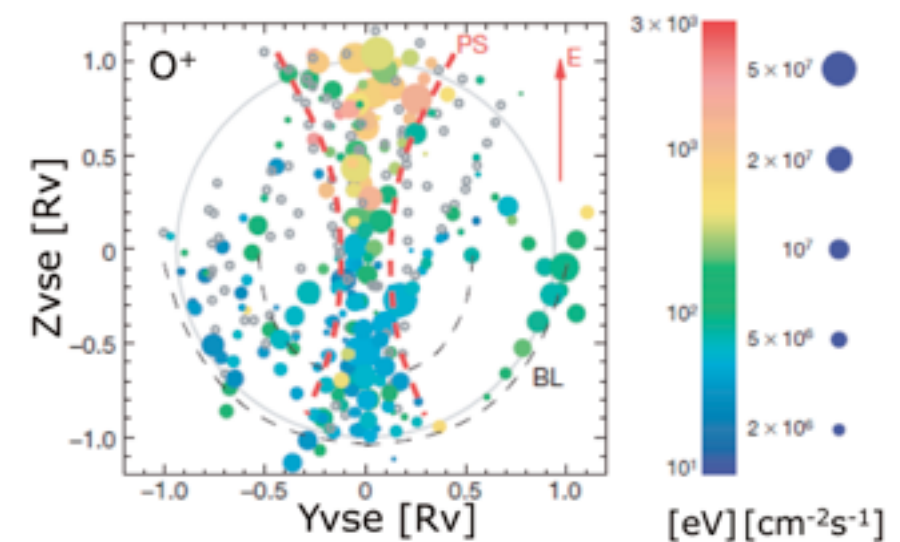
- 金星夜側において、tailwardに流れる太陽風(H^+), O^+ の巨大な渦構造が観測された。
- 渦構造はdusk側から始まり、西方向へ流れていた。これは太陽風のaberration成分によって駆動されている。
- 高度600~1200kmにおいて、太陽風 H^+ と金星 O^+ のエネルギー&運動量がバランスしている。

Introduction

- 金星におけるイオン流出
 - Draping IMF→プラズマシート形成
 - 太陽風対流電場 ($E_{sw} = -V_{sw} \times B_{sw}$)
 - 磁気張力 ($J \times B$)
- 流出イオンの空間分布や速度方向はIMFや太陽風電場に依存するのがこれまでの通例。
- 本論文は、こういった電磁場の影響ではなく、太陽風aberration成分(dusk-dawn flow)の運動量が電離圏プラズマへ輸送され、tailの渦構造を駆動していることを報告。



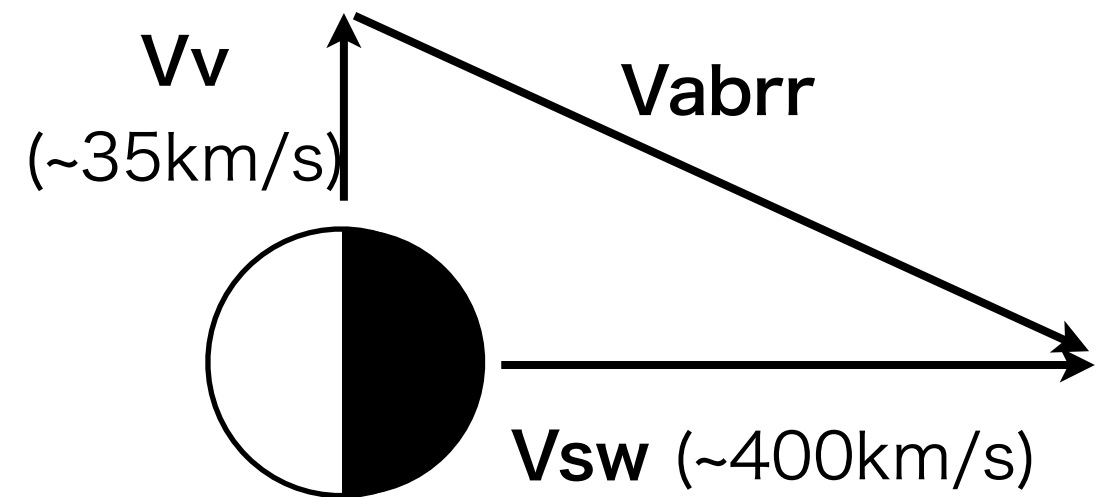
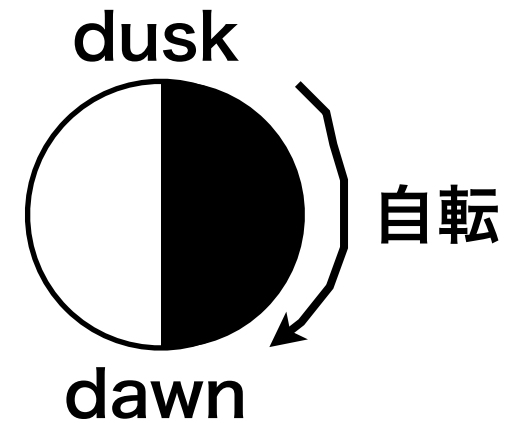
[McComas et al., 1986]



[Barabash et al., 2007]

Introduction

- 金星は、自転方向が他の惑星と逆行：dawnとduskは逆転。
- 太陽風は主に反太陽方向に吹き付けるが、惑星自身の運動速度の影響で、反太陽方向から数度ずれる(=aberration)。常にdusk-dawn方向の速度成分をもつ。



Instruments/data set

- Venus Express/
ASPERA-4

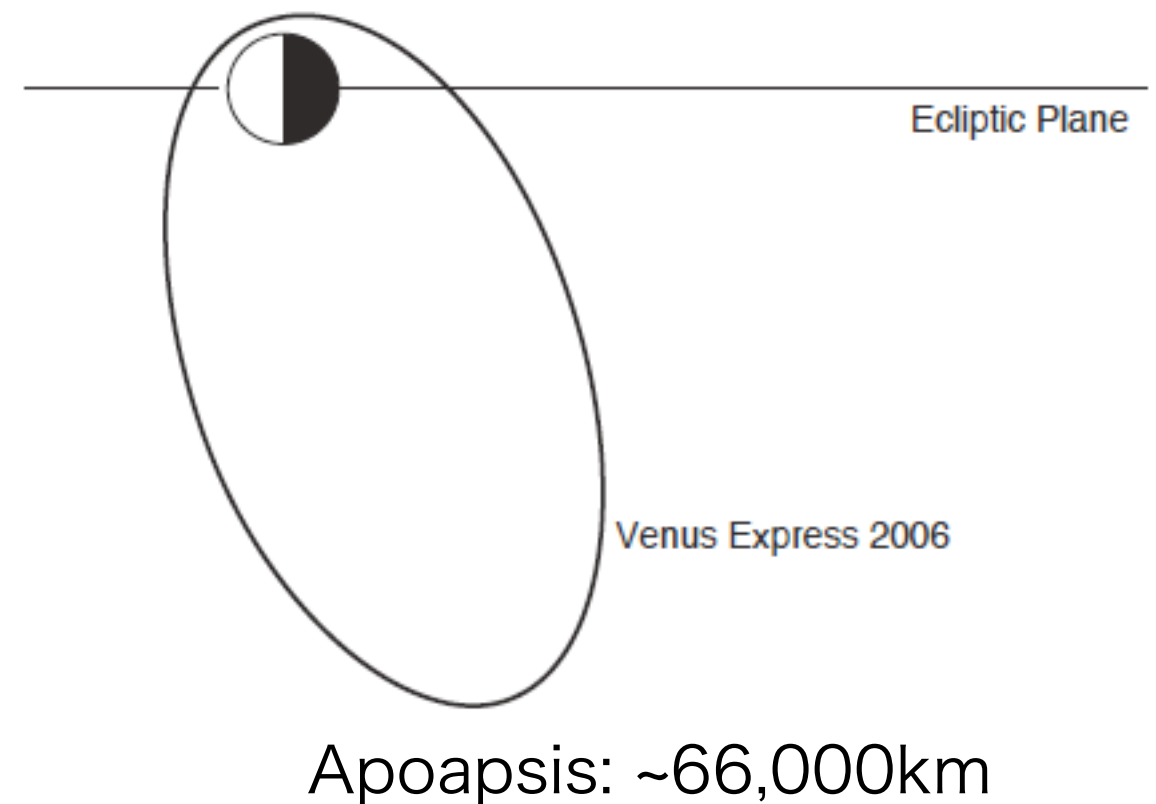
Parameter	IMA
Particles to be measured	Ions
Energy, keV per charge	0.01–36
Energy resolution, $\Delta E/E$	0.07
Mass resolution	$m/q = 1, 2, 4, 8, 16, 32, >40$
Intrinsic field of view	$90^\circ \times 360^\circ$
Angular resolution, FWHM	$4.5^\circ \times 22.5^\circ$
G-factor/pixel, $\text{cm}^2 \text{sr}$	3.5×10^{-4}
Efficiency, %	Incl. in G-factor
Time resolution (full 3D), s	196
Mass, kg	2.4

- Data period

July 2006 ~ June 2007 & July
2008 ~ June 2010 (690 orbits)

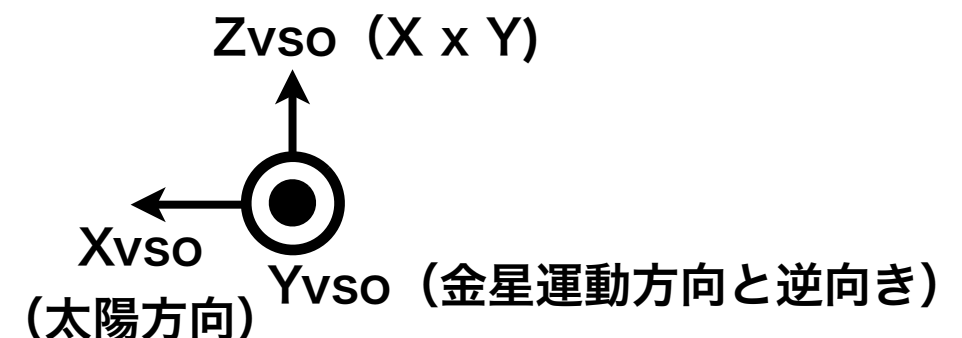
- Orbit

Periapsis=250~350km



- Coordinate system

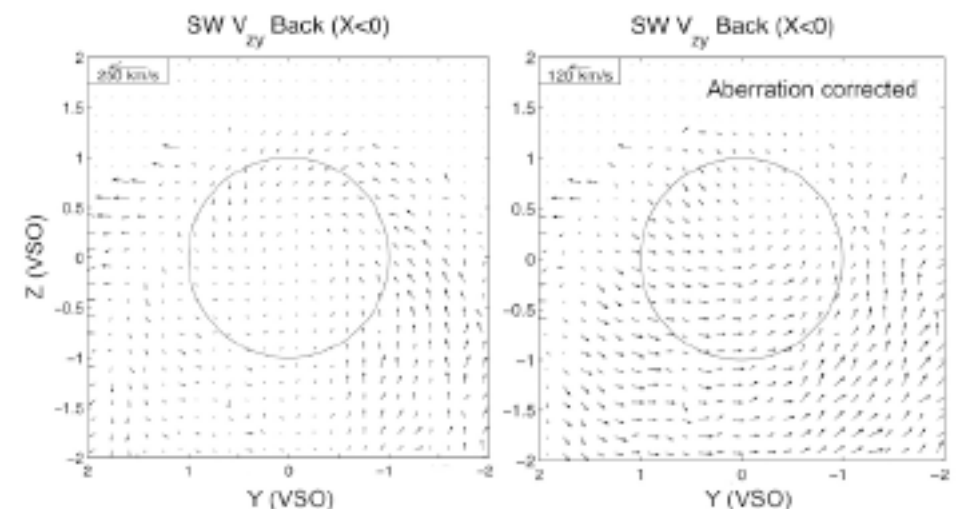
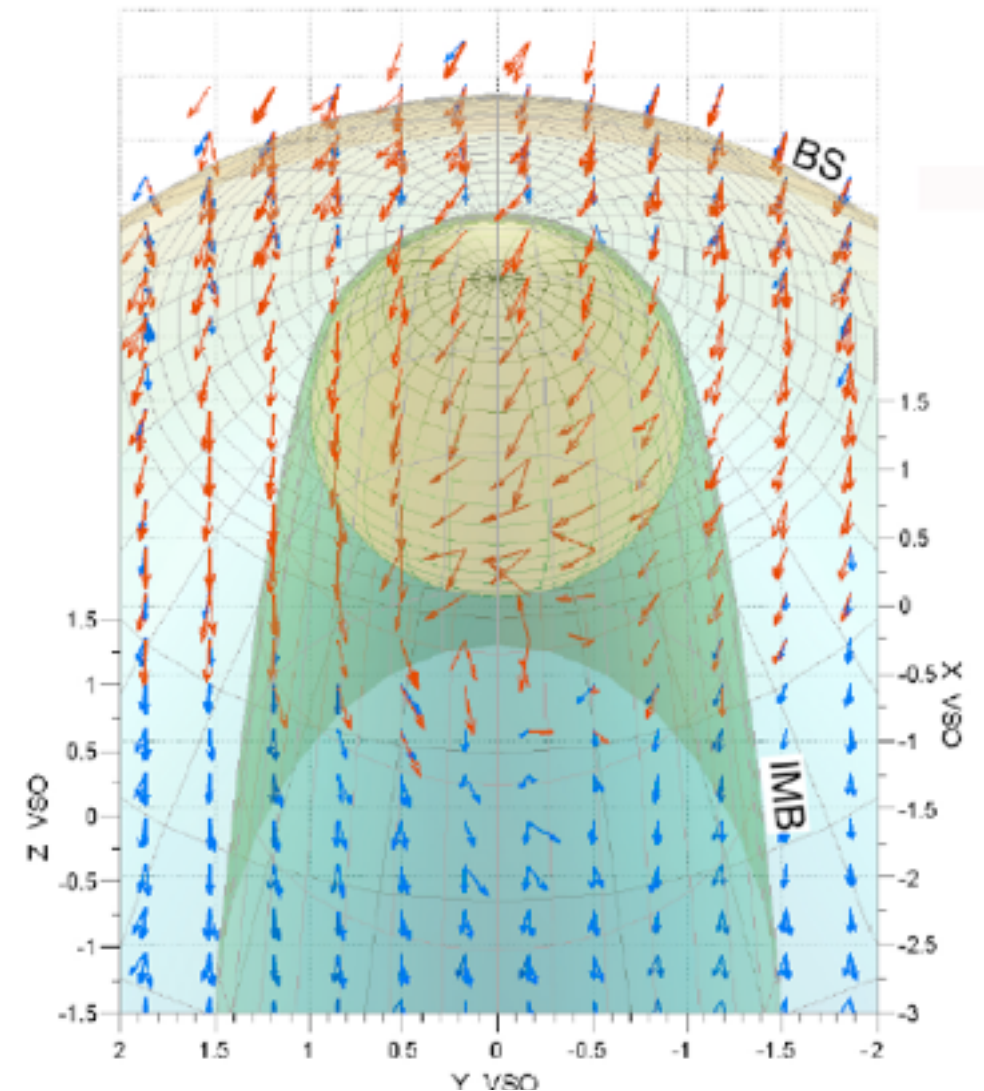
Venus-Sun Orbit (VSO)



Observations

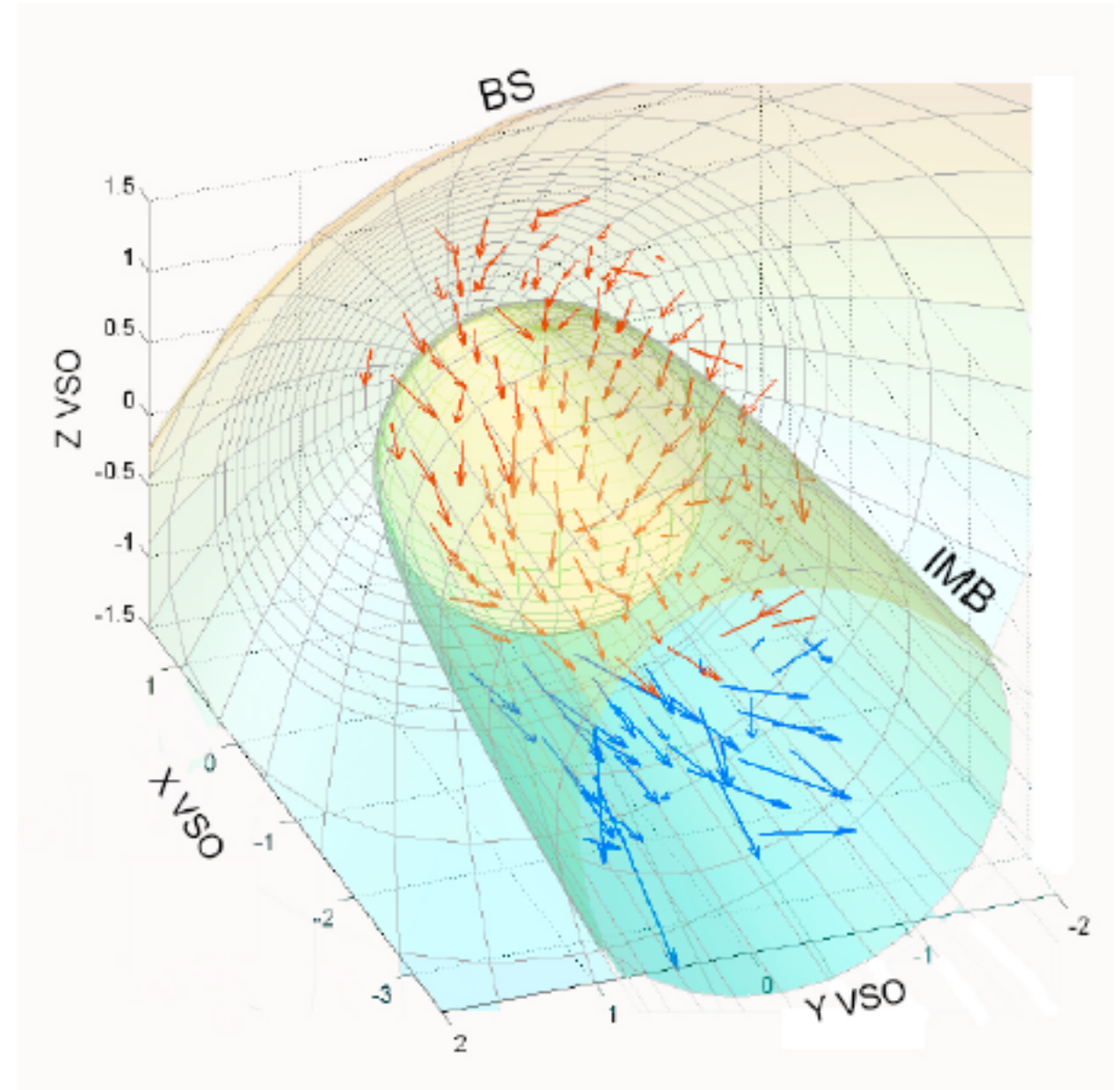
- SW flow velocities
 - 金星に近いtail領域 ($0 > X > -1.5R_v$) ではDusk-Dawn方向のflowが見られる。
 - 遠ざかると ($X < -1.5R_v$)、flowパターンが反転する。
 - 大規模な渦構造

Dawnside : Duskside



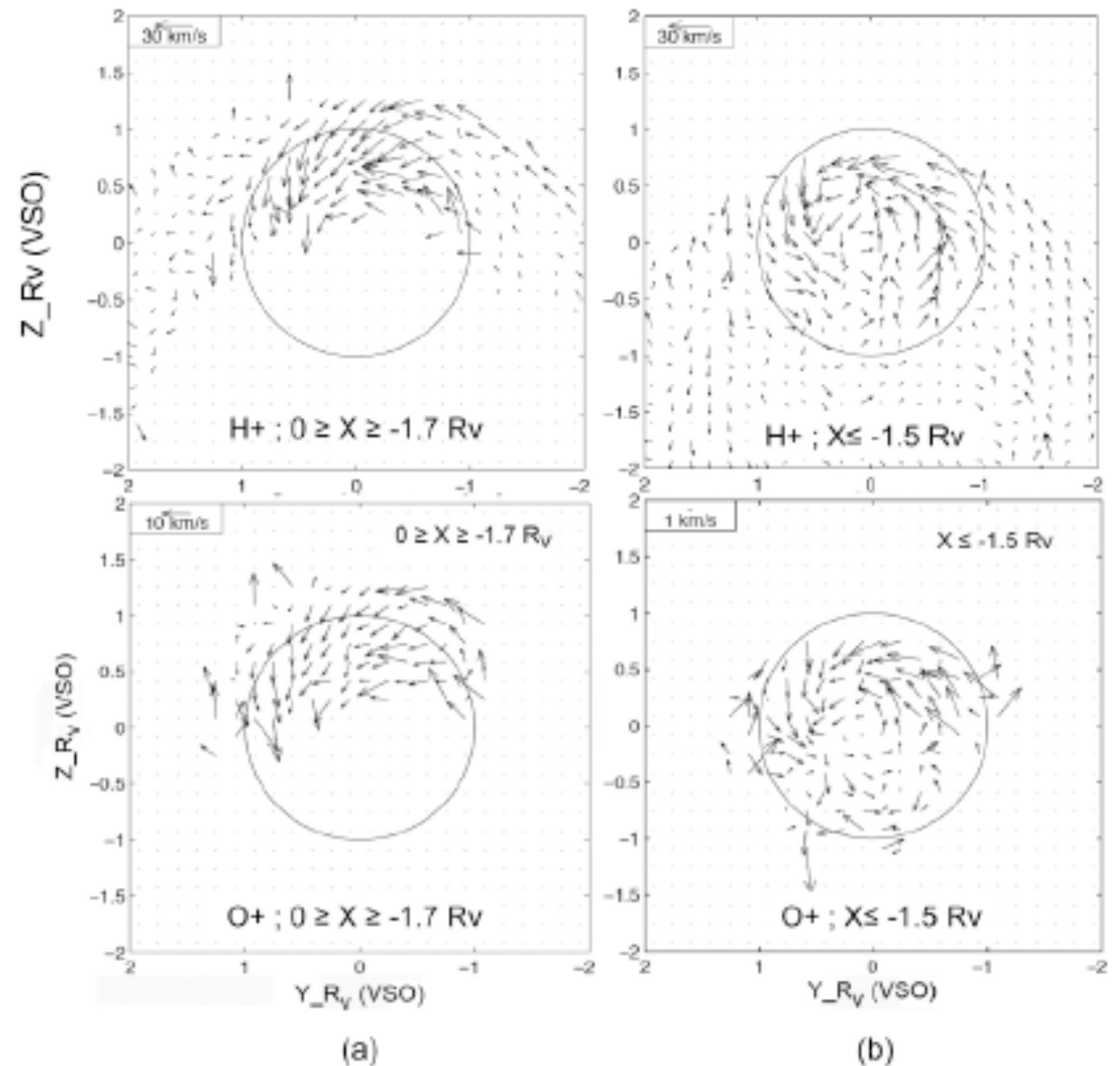
Observation

- O^+ flow velocities
 - 金星に近いtailにて、Dusk-Dawn方向のflowが、遠い側で反対方向のflowが見られる。
 - O^+ にも H^+ と同様の渦構造が認められる。



Observation

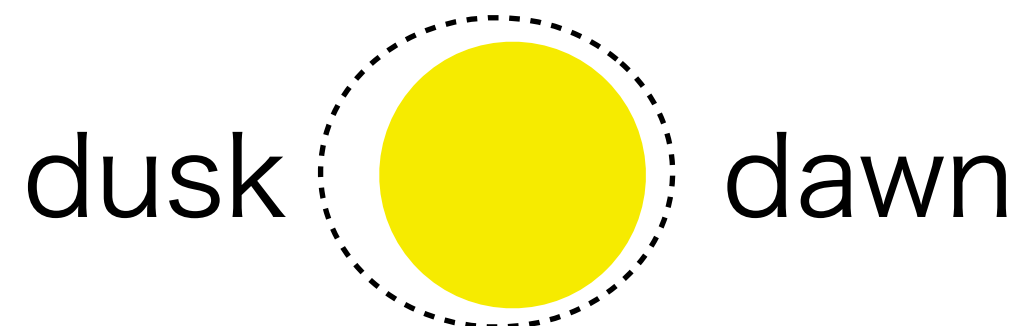
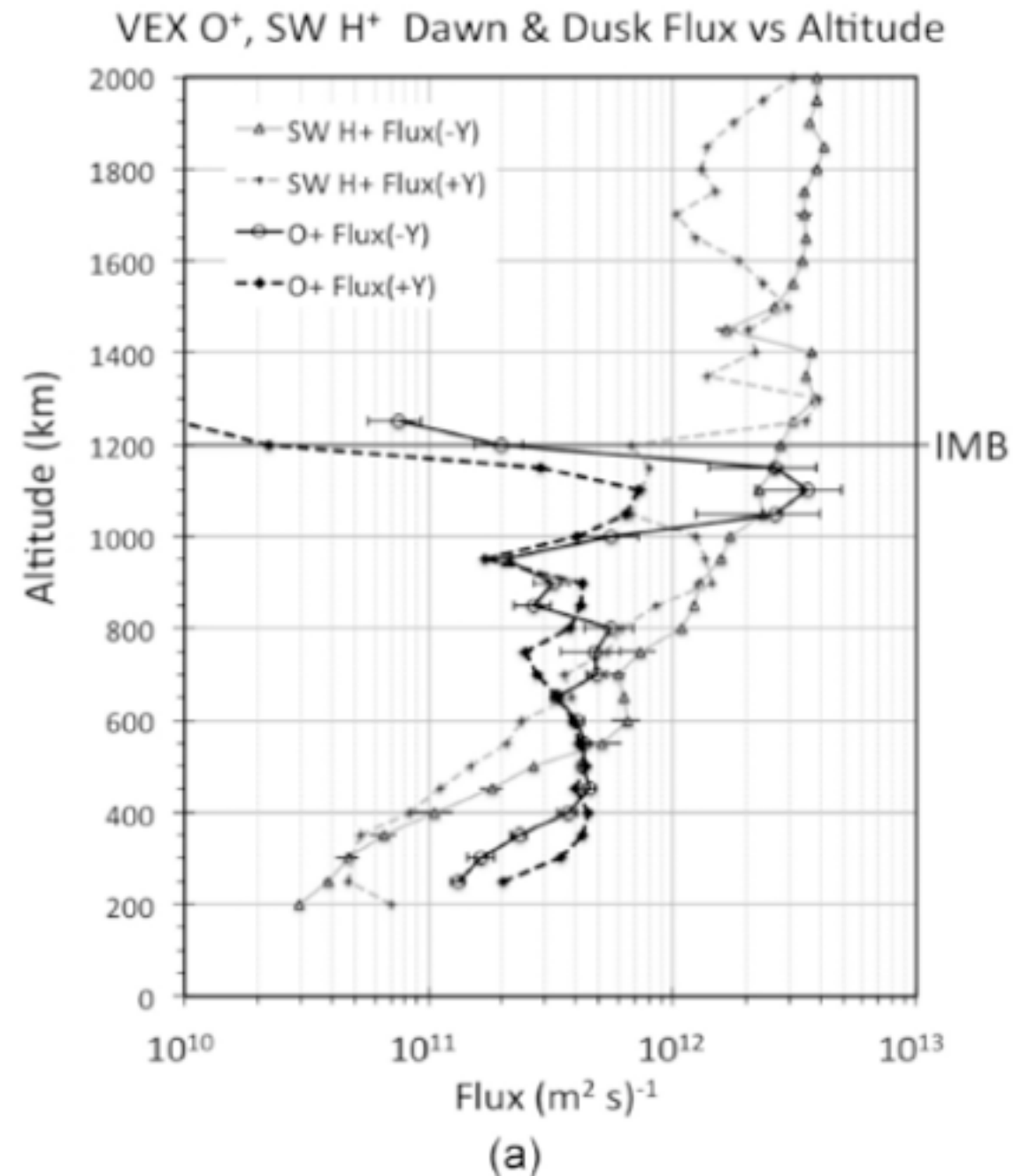
- 夜側のplasma tail
 - H^+ も O^+ も似たような渦構造をしている。
 - $V_{H^+} > V_{O^+}$ より、 H^+ が O^+ の渦を駆動？
 - VSO座標系でこのような滑らかな渦構造が見られることは、流体力学的な説明が考えられる。



(1-300 eV)

Discussion

- 昼側電離圏や、電離圏側面は、太陽風のエネルギーや運動量が電離圏へ輸送される領域。
- VEXの軌道でそのような領域を通るデータはterminator領域 ($-0.5 < X < 0.5$)。
- terminator領域データを用い、 H^+ と O^+ のエネルギー&運動量関係を調べる。
- 高高度では、dusk側で O^+ フラックスが支配的。反対に低高度では、dawn側が支配的。平均的には、duskの方がdawnより支配的。
- 低高度でのフラックス違いは、電離圏の dawn-dusk非対称によって説明できる。



Discussion

E&M analysis

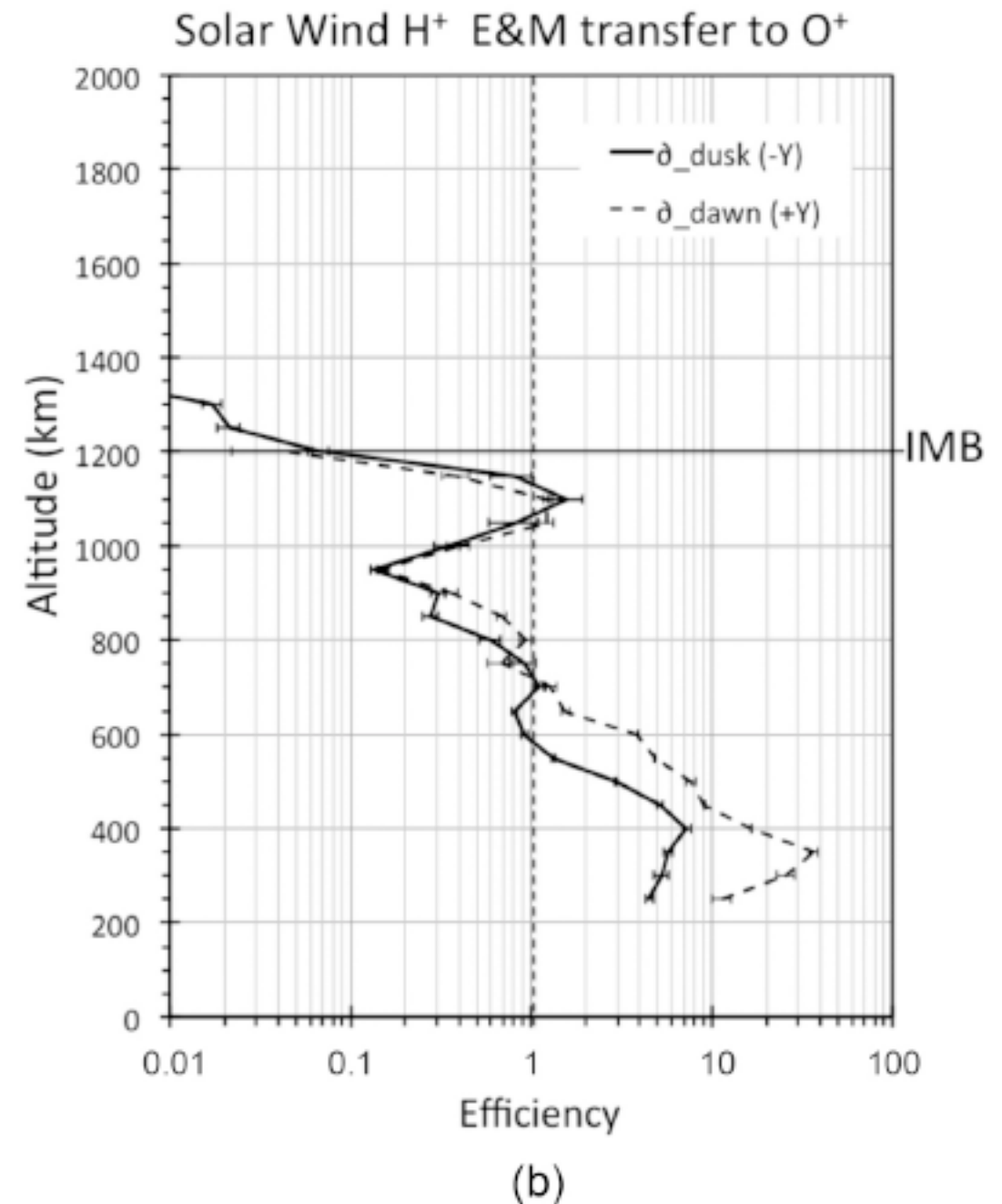
観測値	理論値				効率
Φ_P O⁺フラックス n_{o+} × V_{o+}	$=$	$\frac{v_{SW} \cdot m_{SW}}{v_P \cdot m_P}$ 太陽風速度、プロトン質量 O⁺速度、O⁺質量	$\left(\Phi_{SW} - \frac{v_{i,SW}}{v_{SW}} \Phi_{i,SW} \right)$ 太陽風フラックス n_{sw} × V_{sw} local太陽風速度 ~V_{o+} local太陽風フラックス ~n_{sw} × V_{o+}	δ 効率	

[Perez-de-Tejada, 1987]

- O⁺ fluxの観測値 $\Phi_{O^+}(=n_{O^+} \cdot v_{O^+})$ と比較すれば、 δ が求まる。

Discussions

- 効率 δ の高度分布を観測値から導出。
- 高度600~1200kmの間で、効率がほぼ1 (1050-1150kmが最も1に近い)。太陽風とO⁺の運動量が釣り合っている。
- すなわち、この領域では太陽風の運動量がO⁺に効率よく伝わる。



Conclusions

- 金星プラズマtailに大規模な渦構造の存在が発見された。
- 渦構造はduskから始まっており、太陽風のaberration成分によって駆動されていると考えられる。
- E&M analysisの結果、ターミネーター領域(高度600~1200km)で、太陽風の運動量が O^+ に輸送されている。