

第47回 火星勉強会(拡大版)

Strong plume fluxes at Mars observed by MAVEN: An important planetary ion escape channel

[Dong et al., 2015, GRL]

- 1.Introduction
- 2.Escaping Planetary Ion Populations
Observed During One MAVEN Orbit
- 3.Statistical Study
- 4.Plume and Tailward Ion Escape
- 5.Discussion
- 6.Conclusions

阪本 仁 (東北大学)

1.Introduction

・Plume: 太陽風の運動電場による加速で生じる、極付近で見られるイオンの流れ

-いくつかのモデルでPlumeの存在が予想されている。

[Fang et al.,2006;Najib et al.,2011;・・・]

-MEX、Phobosで、関連するイオンビームの観測が報告。

[Kalio et al.,1995;Carlsson et al.,2006;・・・]

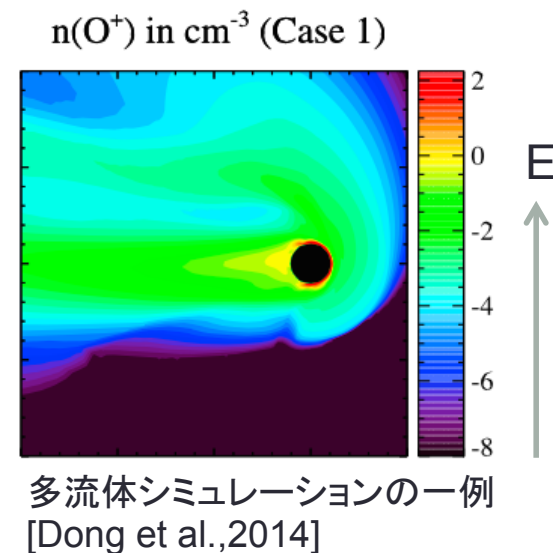
・MEXの質量分析機の手データを用いて、Plumeが定在的な構造かどうか検証が行われたが、測器の問題でMEXでの検証は難しいことが指摘。[Liemohn et al.,2014]

- 1.装置のFOVの制限・装置の向きの固定により、Plumeが時々しか検出できない。
- 2.磁場の測器が欠けているため、電場に対する速度ベクトルの向きの推測ができない。

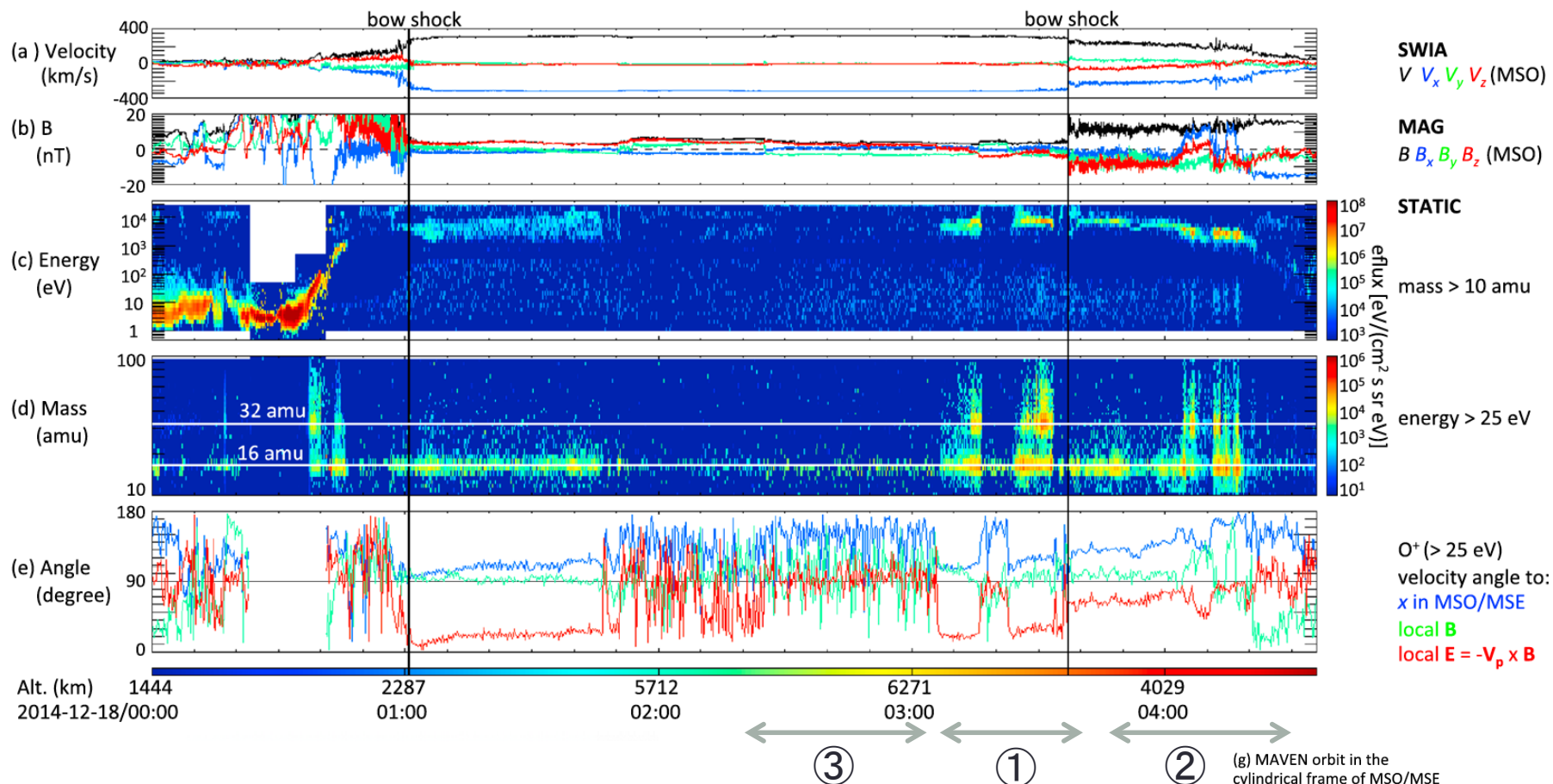
・MAVENなら、上記の問題点を解決した観測が出来る。

- 1.STATICは、FOVはMEXの装置と同じだが、装置の向きは変化するので、様々な方向からのイオンのフラックスを検出できる。
- 2.MAG、SWIAにより磁場、太陽風が計測されるので、電場の向きが特定できる

・この研究で、Plumeが定常的な構造かどうか、散逸に貢献するかどうか、観測的に検証する。



2. Escaping Planetary Ion Populations Observed During One MAVEN Orbit



① Plume

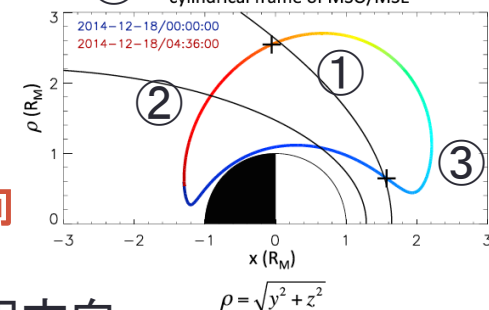
O⁺, O₂⁺, Bow shockより上部、電場の向きに沿っている

② Tailward escape

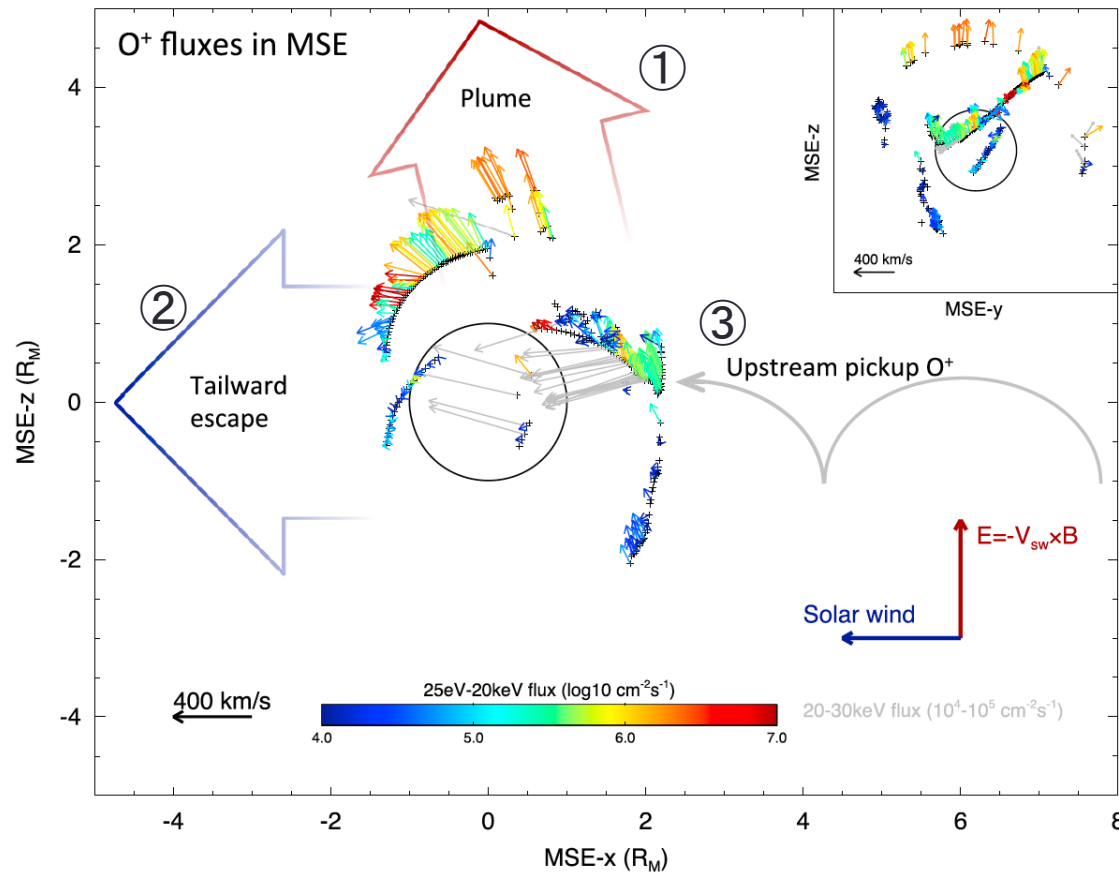
O⁺, O₂⁺, Bow shockより内側からTailにかけて、反太陽方向

③ Pickup ions

O⁺, Bow shockより外、酸素コロナ起源、向きはおおよそ反対方向



2. Escaping Planetary Ion Populations Observed During One MAVEN Orbit



MSE座標系
x-太陽方向
z-電場方向

カラーのベクトルは
O⁺のNumber flux
(20-25eV) を示す。



・この軌道に置ける O⁺ number flux はそれぞれ

①Plume $\sim 10^6 \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

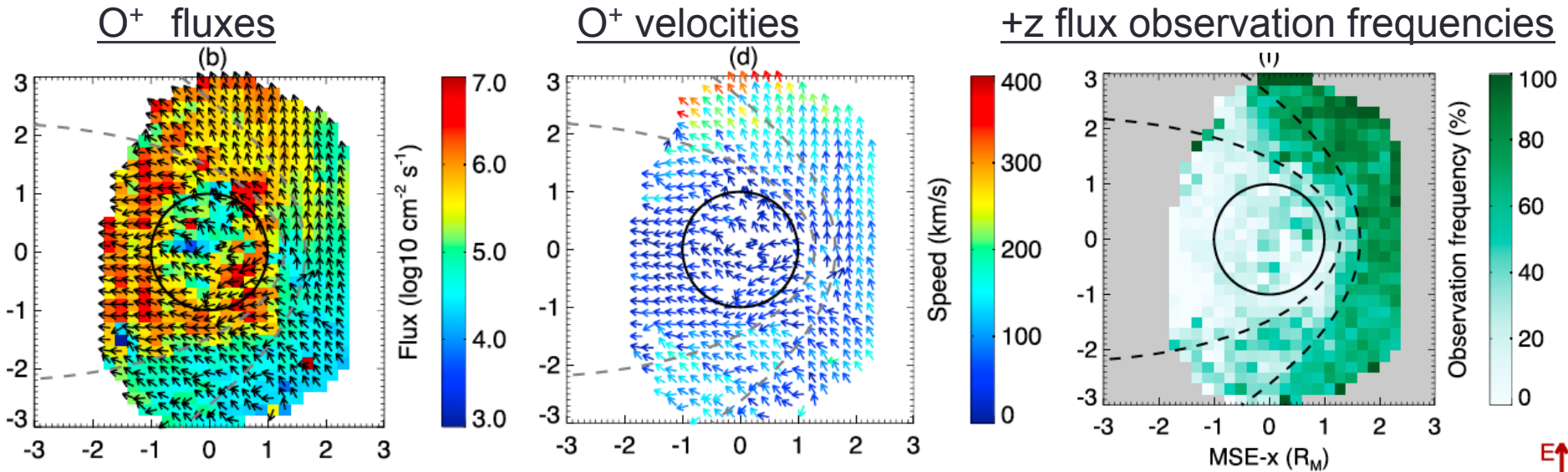
②Tailward escape $\sim 10^6-10^7 \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

③Pickup ions $\sim 10^5 \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

→Plumeは、大気散逸率に影響を与える可能性がある。

3. Statistical Study

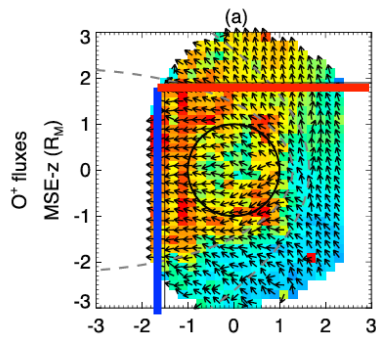
2014/11/11-2015/2/28、25eV以上のO⁺、時間分解能128sのデータで統計解析



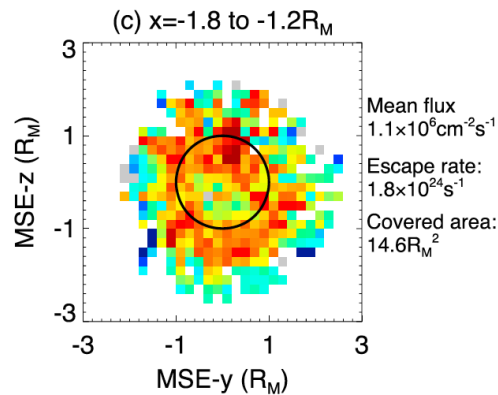
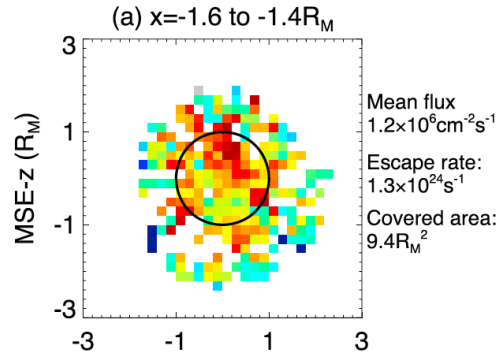
↑STATICのFOV内に、Tail方向(-x)と上流の電場方向(+z)が含まれている時の分布
 (STATICの向きによるPlume・Tailward escapeの観測漏れを減らし、バイアスの少ないデータを使用している。)

- ・極から夜側にかけて、**Flowの向きは+z から徐々に-xに変化**(モデルと整合[Fang et al.,2008])
- ・**Plume fluxは最大で $\sim 10^7 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、Tail escapeに匹敵する。**
- ・**Plumeの速度 $\sim 150 \text{ km/s}$ - 350 km/s** (過去の観測と整合的[Kallio et al., 1995; Dubini et al., 2006])、
 高高度ほど速度は増す傾向(電場加速と整合[Dubinin et al., 2006])。
- ・右図は、速度と電場のなす角 $< 45^\circ$ 以下、 $10^4 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以上のFlux(Plume-like)の観測頻度。
Plumeが期待される場所(北半球MPBより上部)で80% → Plumeは定在的に存在。

4. Plume and Tail ward Ion Escape

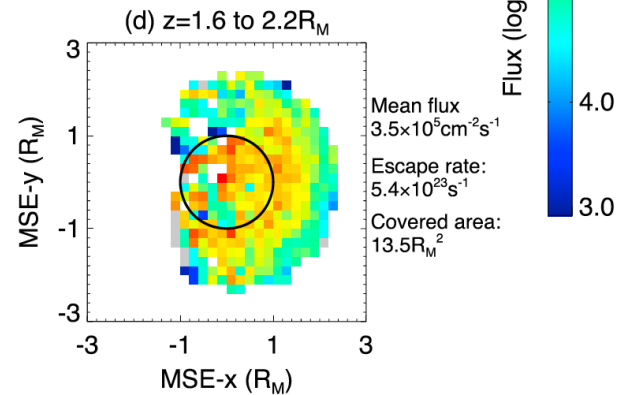
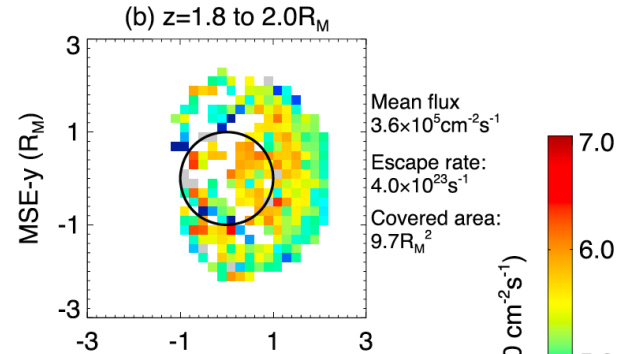


Tail region cross sections

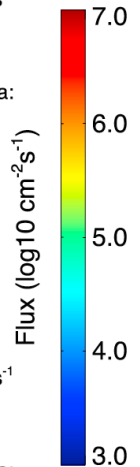


(a) & (c): solar wind direction in STATIC FOV

Plume cross sections



(b) & (d): E field direction in STATIC FOV



Tailward escape

x = -1.6 to -1.4 or -1.8 to -1.2 の yz 面における O^+ flux ($> 25 \text{ eV}$) 分布

Plume

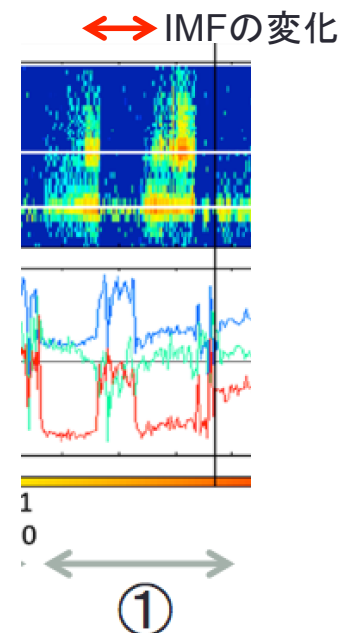
z = 1.8 to 2.0 or 1.6 to 2.2 の xy 面における O^+ flux ($> 25 \text{ eV}$) 分布

- Tailward escape: Mean flux $\sim 1.1 - 1.2 \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ Escape rate $\sim 1.3 - 1.8 \times 10^{24} \text{ s}^{-1}$
- Plume: Mean flux $\sim 3.5 - 3.6 \times 10^5 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ Escape rate $\sim 4.0 - 5.4 \times 10^{23} \text{ s}^{-1}$
- Total escape rate $\sim 1.7 - 2.3 \times 10^{24} \text{ s}^{-1}$ (他の MAVEN 観測の見積もりと整合 [Brain et al., 2015])

- Plume は Tailward escape の 30%、Total escape の 23%。散逸に重要な寄与。
 (100 eV 以上を対象にすれば、寄与はさらに大、Tailward で 40%、Total で 30%)

5. Discussion

- ・計測されたfluxには、いくつかの不確定性があることに注意
 - 1.STATICのデータでは、経験的な比を差し引くことで、太陽風由来の背景を取り除いている。
→惑星由来のイオンを取り除いてしまうこともある。
 - 2.STATIC FOVの制限、衛星本体とのFOVの干渉
→現状ではSTATICのcalibrationは初期的で、fluxに20-50%不確定性
- ・IMFの向きの変動を含むデータを使うと、Plumeのfluxを過小評価する可能性がある
-Total escapeに対してPlumeがしめる割合は
粒子の違い・太陽風および太陽放射の状態・Space weather storm
によって変動する。
- ・モデルでは、高高度ならPlumeとTailward escapeの切り分けができると提案している([Najib et al.,2011; Dong et al.,2014・・])
→MAVENが現状カバーする空間範囲では、2つのチャンネルからの散逸量の見積もりは、断面の取り方に依存し、切り分けは難しい。
- ・MEXによる夜面($x=-2$ to -3)でのTotal escape rateの見積もりは、Plumeの寄与を捉えられておらず、おそらく過小見積もり。
MEXによるMSE-x座標に垂直な方向のescape rateの見積もりも、イオン質量分析機のFOV都合上、Plumeを捉えられていないので過小見積もり。
→MAVENがカバーする空間範囲が広がりしだい、比較研究を行う予定。



6. Conclusions

- MAVENにより、
 - MSE座標北半球における電場方向の強いO⁺ flux(Plume)、
 - Tail領域における反対方向の強いO⁺ flux(Tailward escape)、
 - 昼側における高エネルギーの弱いO⁺ flux(Upstream ion pickup)が観測された。
- 北半球MPBより上部に分布するPlumeの強いfluxは、明確な境界を持たずに段々と夜側のTail escapeに移り変わる。
- Plumeが予測されている領域では、およそ80%の頻度で観測され、Plumeは定在的な構造であることが示された。
- 25eV以上のO⁺のPlumeの散逸率は、Tailward escapeの30%、Total escapeの23%程度 (Plume $\sim 4.0\text{-}5.4 \times 10^{23} \text{ s}^{-1}$, Tailward $\sim 1.3\text{-}1.8 \times 10^{24} \text{ s}^{-1}$, Total $\sim 1.7\text{-}2.3 \times 10^{24} \text{ s}^{-1}$)。この研究により、Plumeの大気散逸における重要性が観測的に初めて示された。