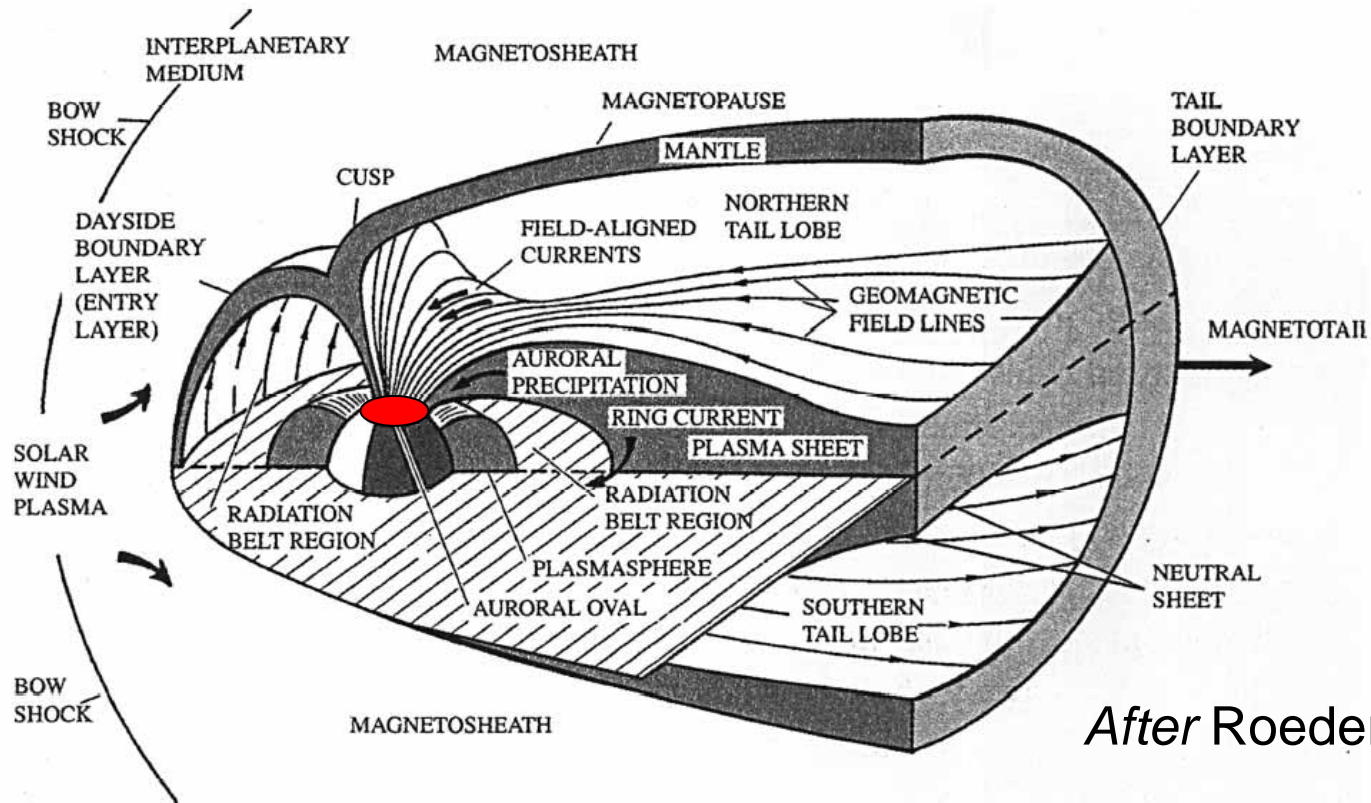


中緯度電離圏における イオン上昇流について

小川 泰信

名古屋大学太陽地球環境研究所

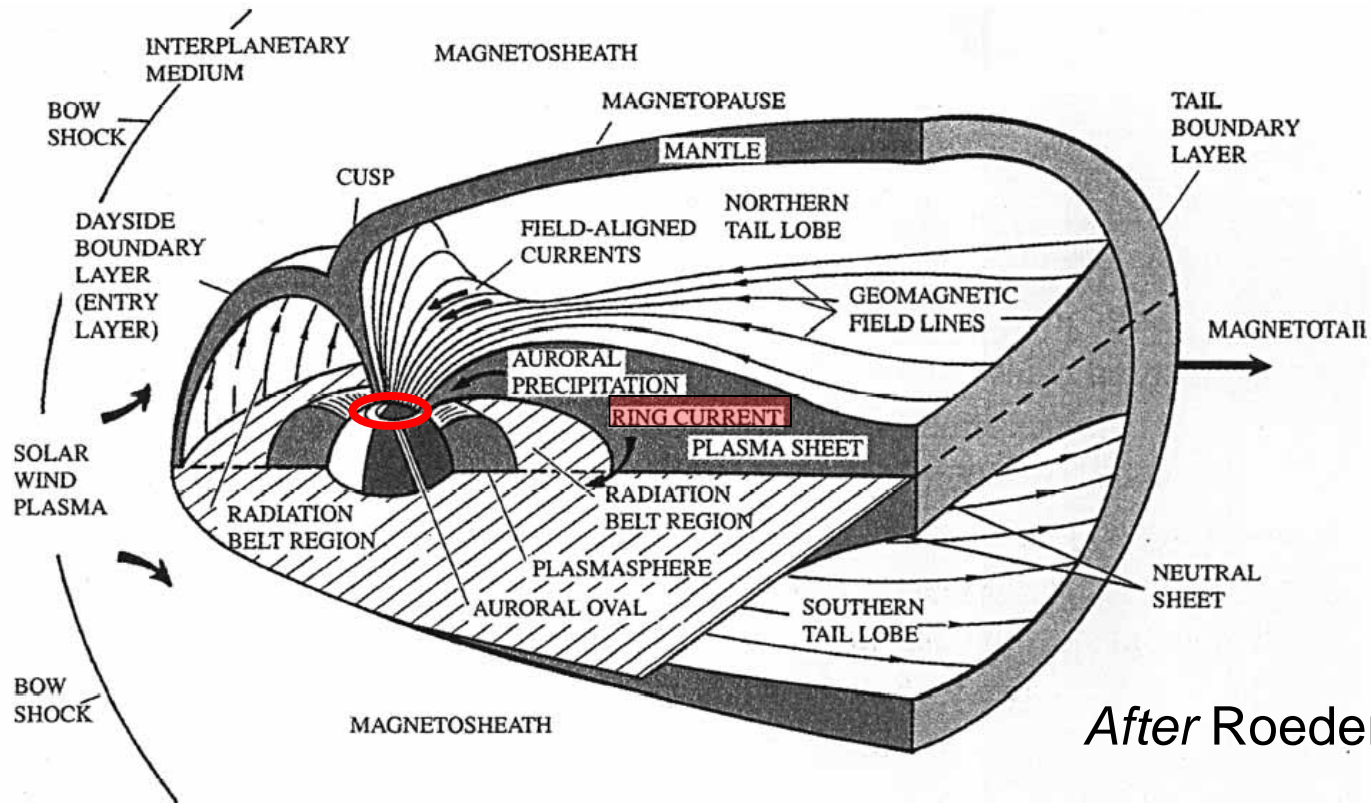
2004年 10月13日 STEL研究集会「中緯度短波レーダー研究会」
名古屋大学 豊田講堂第一会議室



イオン上昇流とは、主に極域電離圏から数 100 m/s の速度で沿磁力線上向きにイオンが流れていく現象。磁気圏への電離圏イオン流出と密接な関係。磁気圏のイオン組成も変えうるため、磁気圏ダイナミクスにも大きな影響を及ぼす。

主に高緯度電離圏での観測的研究。

(IS レーダー (EISCAT, Søndrestrøm レーダー) や人工衛星 (DE2, DMSP))



中緯度(50-60度)電離圏で発生するイオン上昇流。

Millstone Hill IS radar (磁気緯度55度)で観測。Magnetic storm に対応。リングカレント領域への重要な供給源と考えられる。

中緯度イオン上昇流の発生メカニズム

- ・storm 時にリングカレント領域からの重イオンの降り込みによるエネルギーの流入 (Torr et al., 1974)。
- ・電場の増大による摩擦加熱 (St.-Maurice, 1989)。

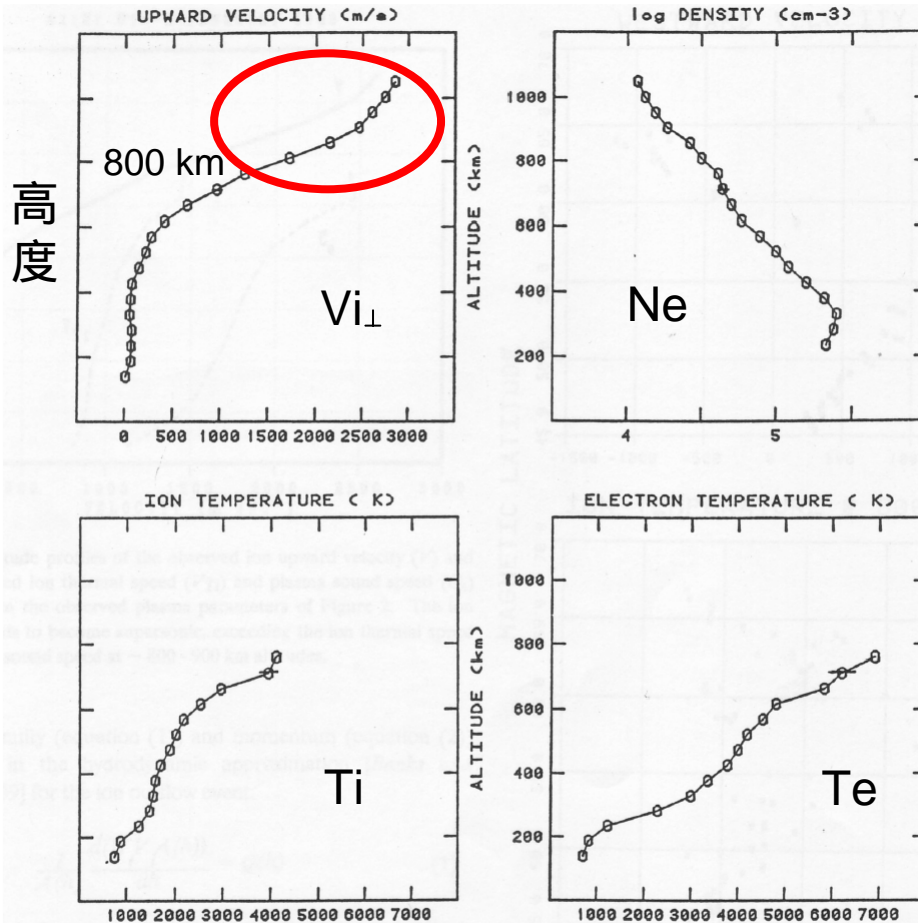
発表内容

- ・過去のMillstone Hill レーダーによる観測結果を紹介。
- ・DMSP衛星によるイオン上昇流の解析結果を説明。

中緯度HFレーダー観測とDMSP衛星観測を組み合わせることにより、中緯度イオン上昇流の発生メカニズムの理解を深めることができるか？

Millstone Hill IS radar によって観測された鉛直上向きイオン流

1986年2月8日 21:13 UT



磁気緯度55度, L=2.5

Storm time (around 18 MLT)

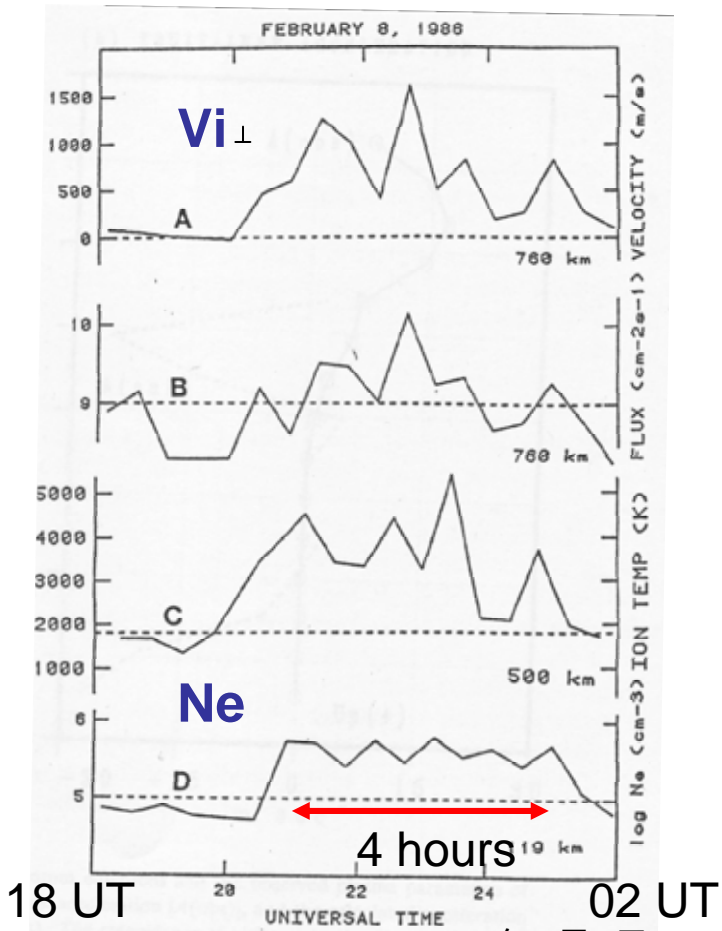
Kp ~ 9, Dst < -150 nT

イオン速度: 高度 800 km で 2000 m s⁻¹
 上向きフラックス: 3×10^{15} m⁻²s⁻¹

イオン温度は高度 800 km で 4000 K まで上昇。
 Millstone Hill の高緯度側に東西方向のイオン速度のシェアが存在。

イオン上昇流は 4 時間以上に渡って存在。

Fig. 2. Altitude profiles of the principal plasma parameters derived from the spectra of Figure 1: Doppler velocity, log plasma density, ion temperature, and electron temperature. Error bars at ~700 km illustrate the typical uncertainty associated with the parameters. Between 600 km and 800 km altitude the upward directed velocity increases from 500 m s⁻¹ to 2000 m s⁻¹, and the ion and electron temperatures exceed 4000 °K and 7000 °K, respectively.



18 UT 20 22 24 02 UT
 1986年2月8日
 Fig. 6. The time history of the upward O^+ velocity (curve A) and the log of the upward O^+ flux (curve B) at 760 km altitude indicate the magnitude and duration of the storm-related ($K_p \sim 9$; $Dst < -150$ nT) ion outflow event on February 8-9, 1986. Significant fluxes of ionospheric O^+ ($> 10^9$ cm $^{-2}$ s $^{-1}$) streamed upward at $L=2.5$ during the course of the event. Temperatures in excess of 3000°K (curve C) at 500 km altitude, observed immediately poleward of the outflow observations, indicate periods of strong frictional heating. Enhanced E region density (curve D) was produced by mid-latitude storm time precipitation.

H.-C. Yeh and J. C. Foster, JGR, 1990

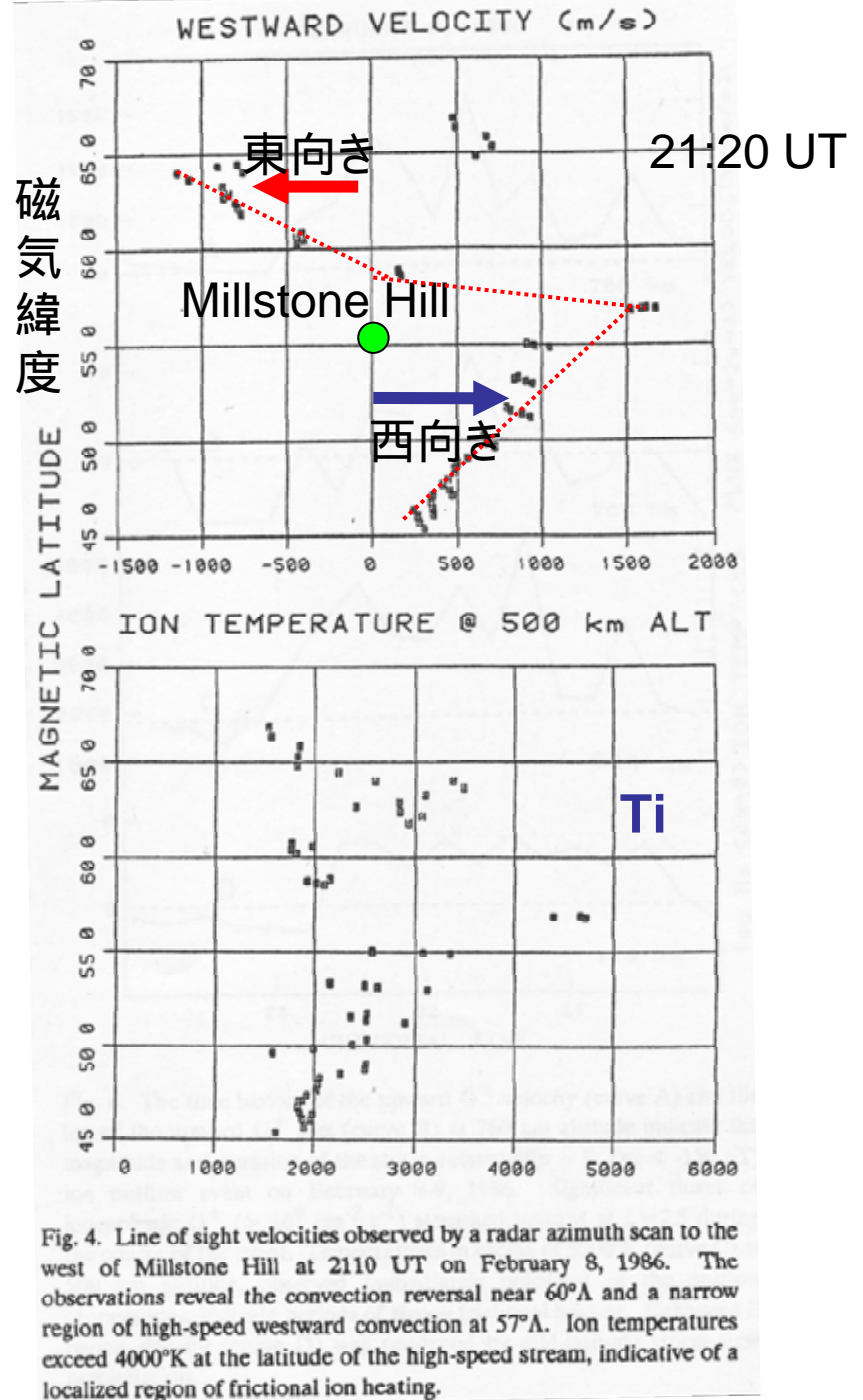


Fig. 4. Line of sight velocities observed by a radar azimuth scan to the west of Millstone Hill at 2110 UT on February 8, 1986. The observations reveal the convection reversal near 60°A and a narrow region of high-speed westward convection at 57°A. Ion temperatures exceed 4000°K at the latitude of the high-speed stream, indicative of a localized region of frictional ion heating.

DMSP衛星



DMSP 衛星

高度 約 840 km の極軌道 (地球一周 約 100分)
現在は F13, F14, F15, F16 の 4 機。
09 - 21 LT 又は 06 - 18 LT の軌道。

Ion Drift Meter & Retarding Potential Analyzer

- ・ram 方向のイオン速度
- ・ram 方向に垂直かつ地面に水平方向のイオン速度
- ・鉛直上向きのイオン速度

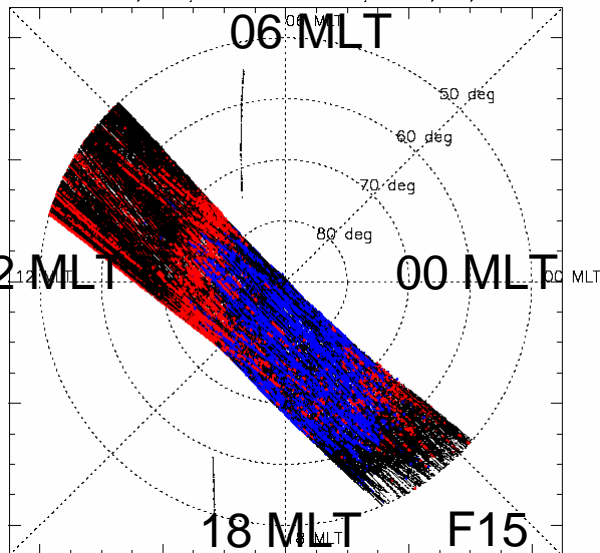
の3次元速度ベクトル(4 秒値。約 30 kmの分解能。)

IGRF 地上磁場モデルを用いて、
沿磁力線方向のイオン速度 ($V_{i//}$) を導出。
 $V_{i//}$ の緯度分布や時間変動を調べる。

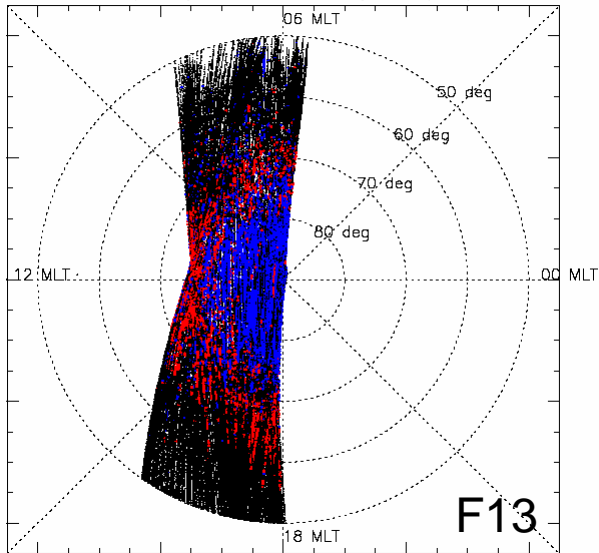
Acknowledgement: We gratefully acknowledge the Center for Space Sciences at the University of Texas at Dallas and the US Air Force for providing the DMSP thermal plasma data.

DMSPデータの分布図

DMSP F12, F13, F15. Jan. 1-31, 2000, FA, north



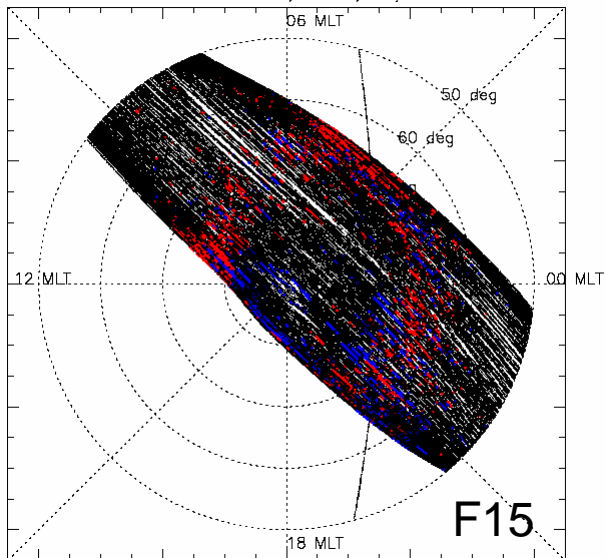
DMSP F12, F13, F15. Jan. 1-31, 2000, FA, north



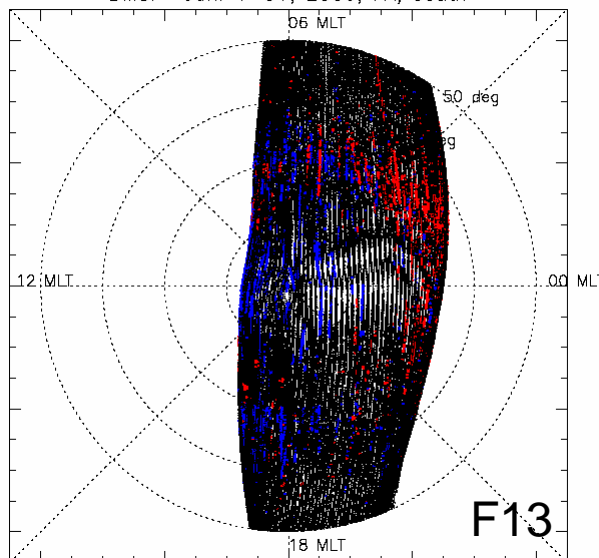
2000年1月1-31日
の全データ ($V_{i//}$)

北半球

DMSP Jan. 1-31, 2000, FA, south



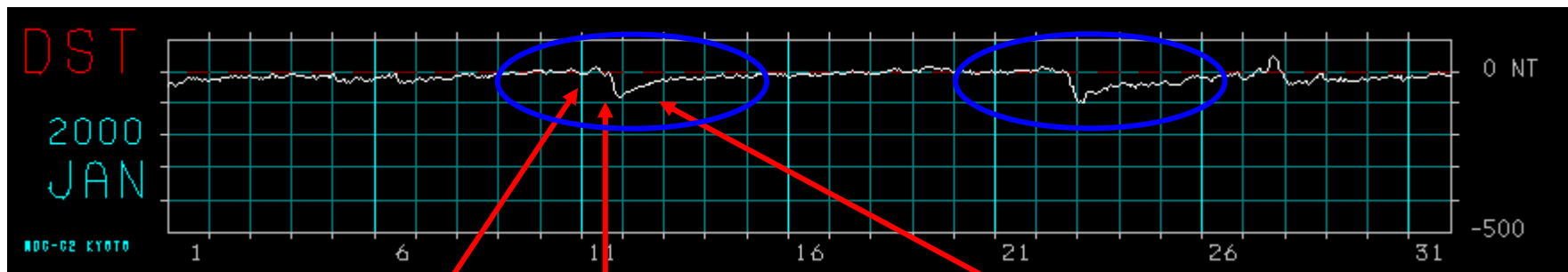
DMSP Jan. 1-31, 2000, FA, south



南半球

- Field-aligned ion velocity > 200 m/s
- Field-aligned ion velocity < -200 m/s
- | Field-aligned ion velocity | < 200 m/s

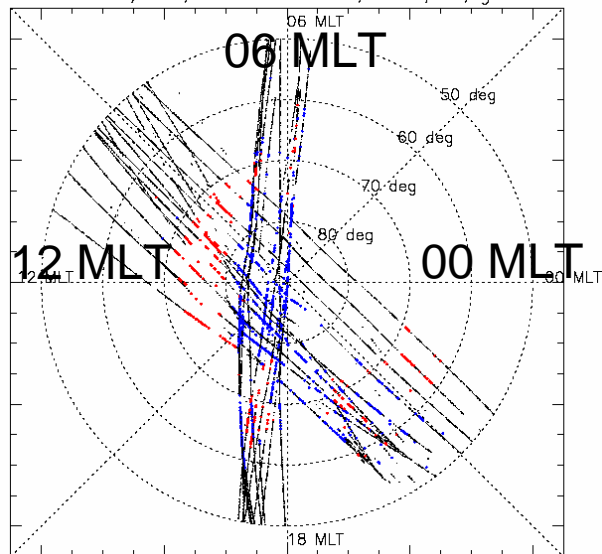
イオン上昇流と Storm との関係



from Kyoto Univ.

Initial phase

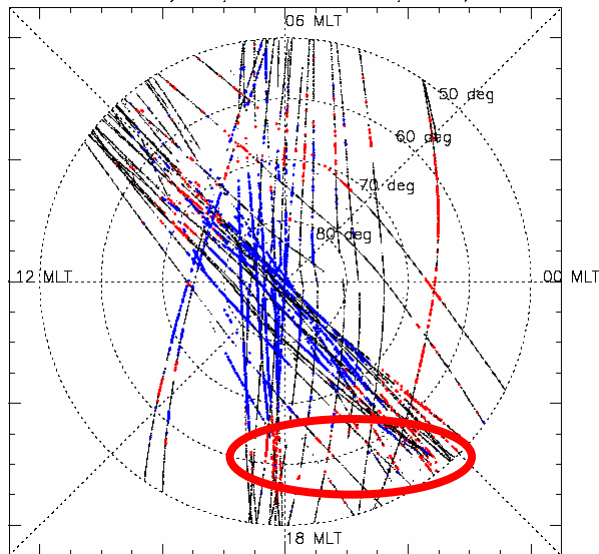
DMSP F12, F13, F15. Jan. 1-31, 2000, FA, growth



18 MLT

Main phase

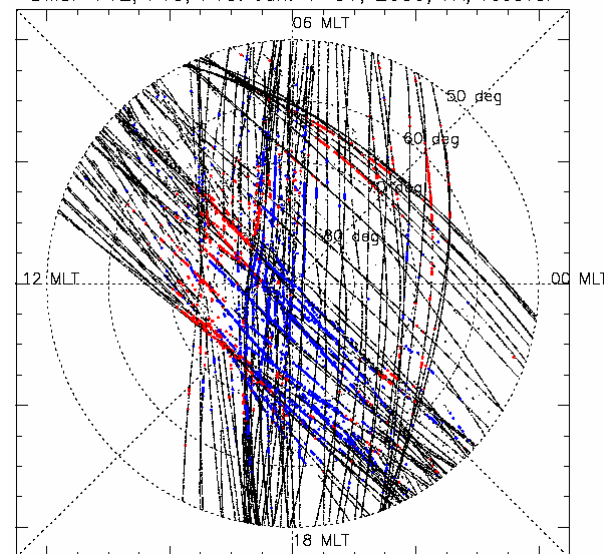
DMSP F12, F13, F15. Jan. 1-31, 2000, FA



F12,F13,F15 の両半球のデータ

Recovery phase

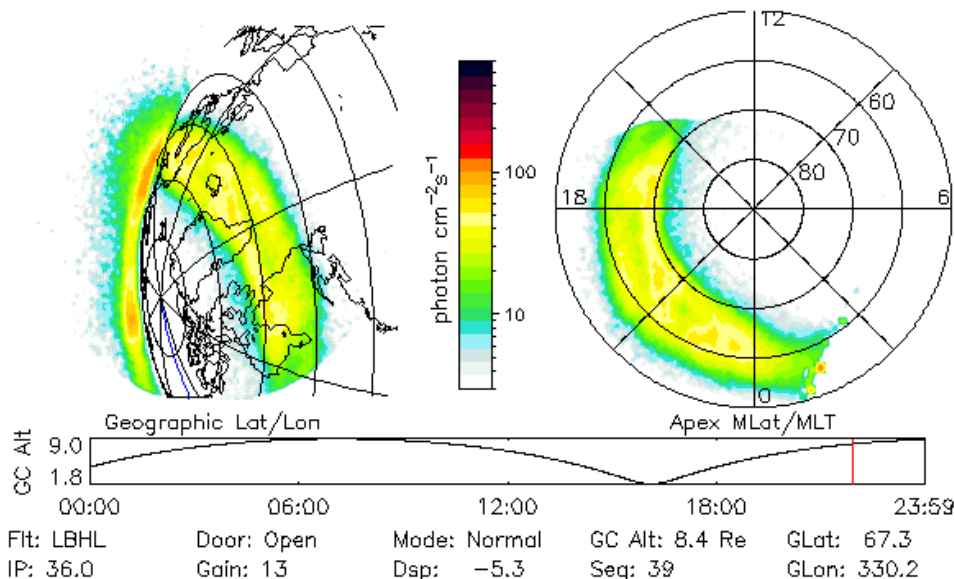
DMSP F12, F13, F15. Jan. 1-31, 2000, FA, recover



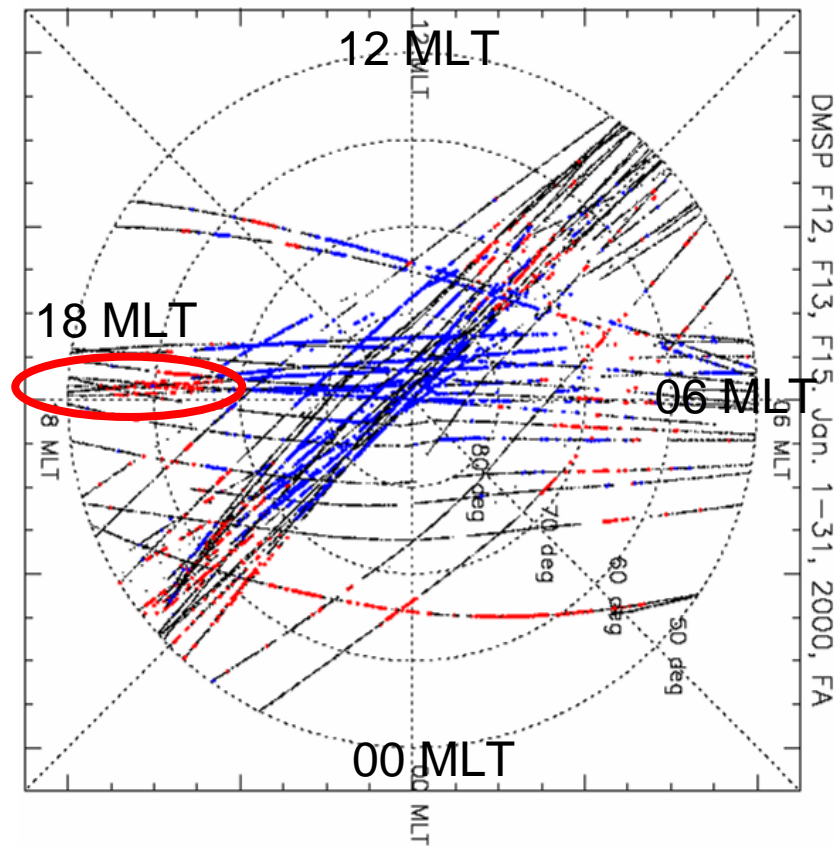
2000年1月 (Dst ~ -70 nT)

- Field-aligned ion velocity > 200 m/s
- Field-aligned ion velocity < -200 m/s
- | Field-aligned ion velocity | < 200 m/s

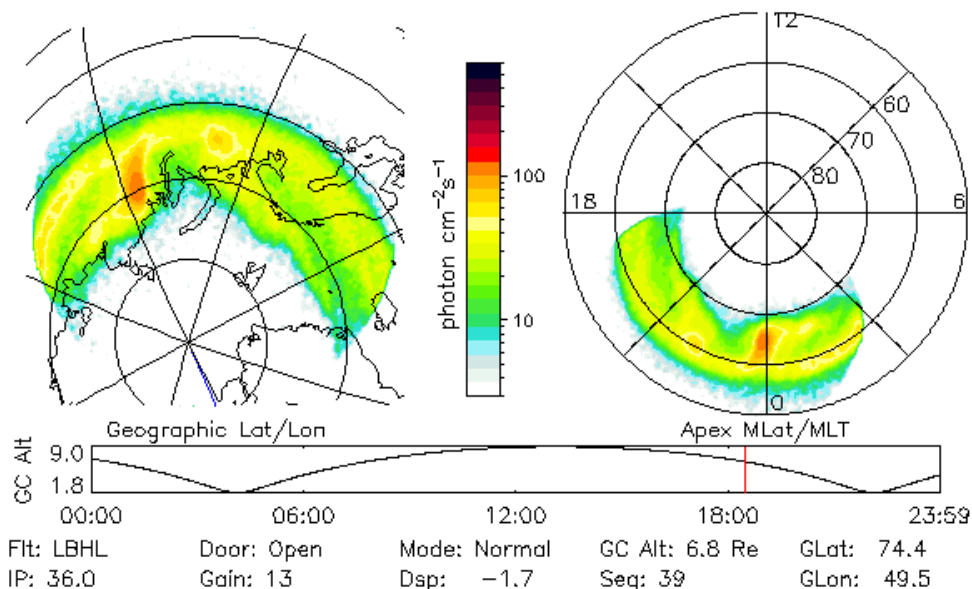
Ultraviolet Imager 11 Jan 00 21:54:15 UT



Main phase 時のイオン上昇流分布 2000年1月11日及び1月22日



Ultraviolet Imager 22 Jan 00 18:26:53 UT



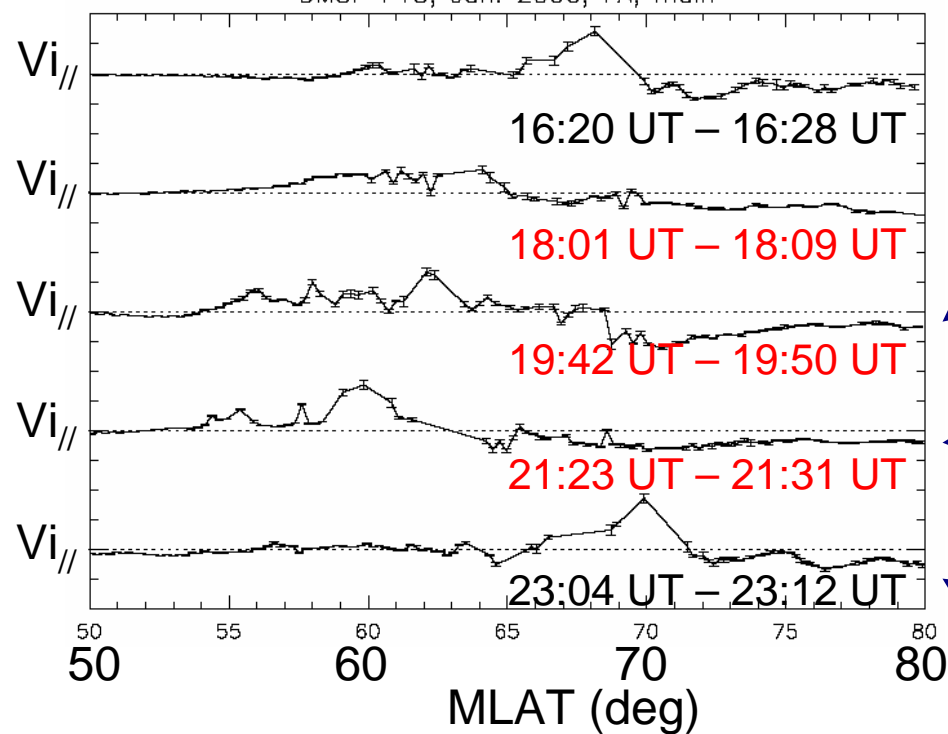
オーロラ発生領域より低緯度側で
イオン上昇流が発生。

from NASA

イオン上昇流とオーロラとの関係

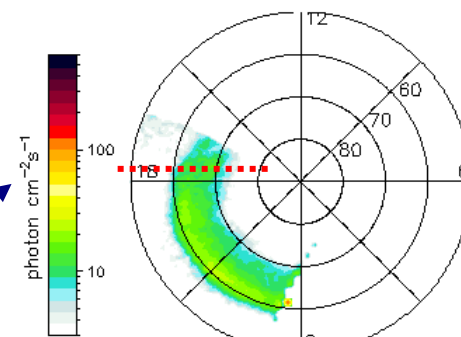
DMSP衛星により計測された
沿磁力線イオン速度

DMSP F13, Jan. 2000, FA, main

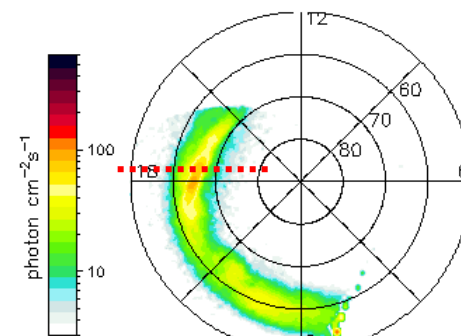


2000年1月11日

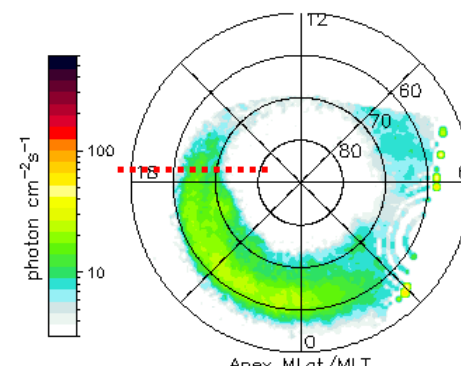
11 Jan 00 19:49:07 UT



11 Jan 00 21:25:25 UT

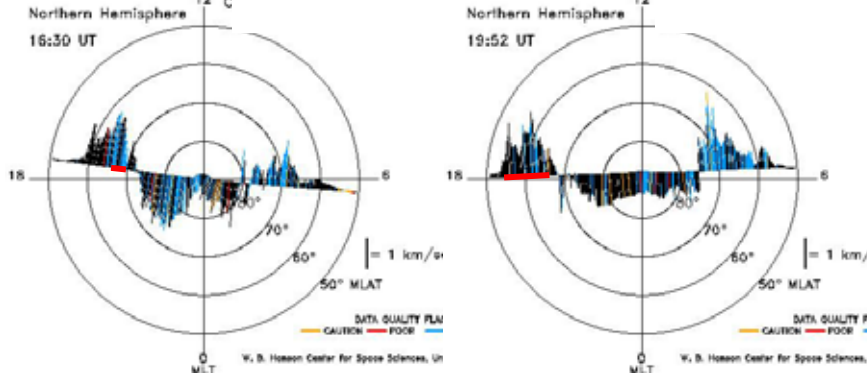


11 Jan 00 23:04:47 UT

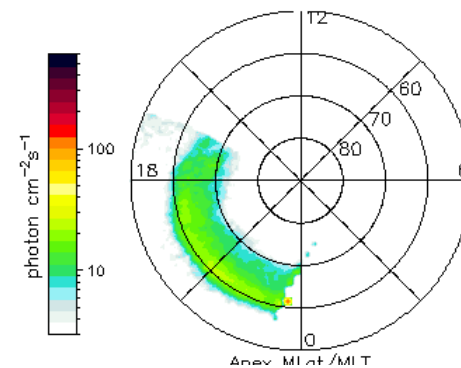


イオン上昇流と電離圏対流との関係

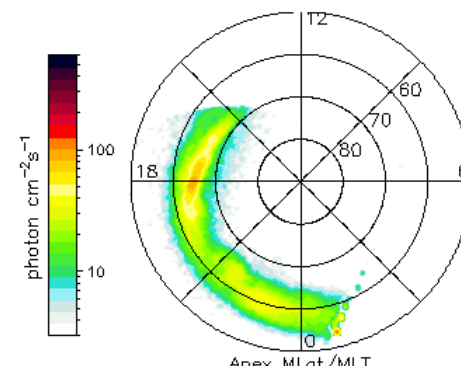
16:20 UT – 16:28 UT 19:42 UT – 19:50 UT



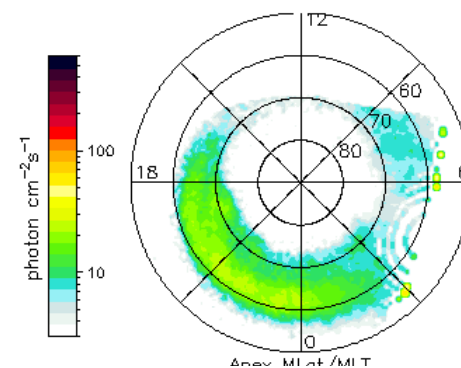
11 Jan 00 19:49:07 UT



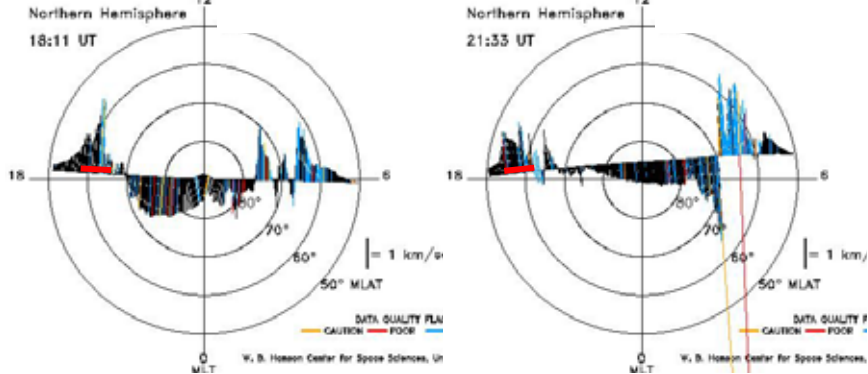
11 Jan 00 21:25:25 UT



11 Jan 00 23:04:47 UT



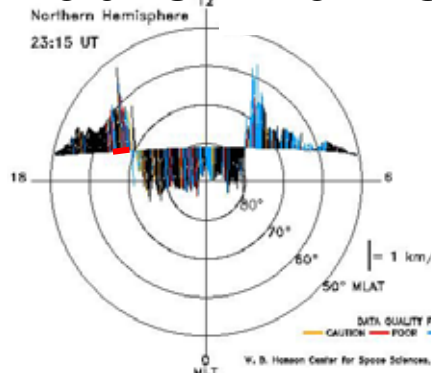
18:01 UT – 18:09 UT 21:23 UT – 21:31 UT



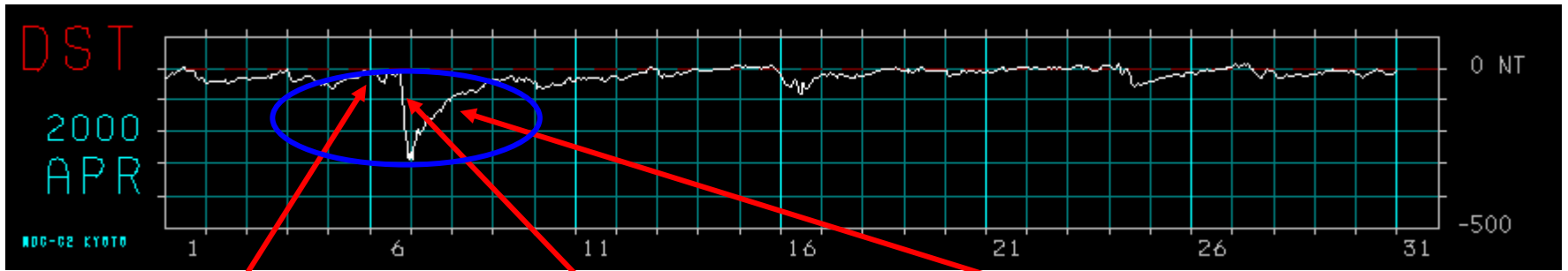
— イオン上昇流の発生領域

西向き対流の強い領域でイオン上昇流が発生している。

23:04 UT – 23:12 UT



イオン上昇流と Storm との関係 (1) 2000年4月

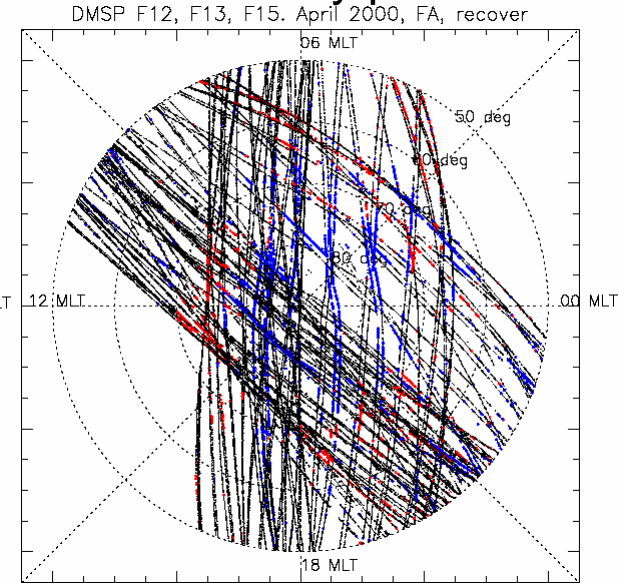
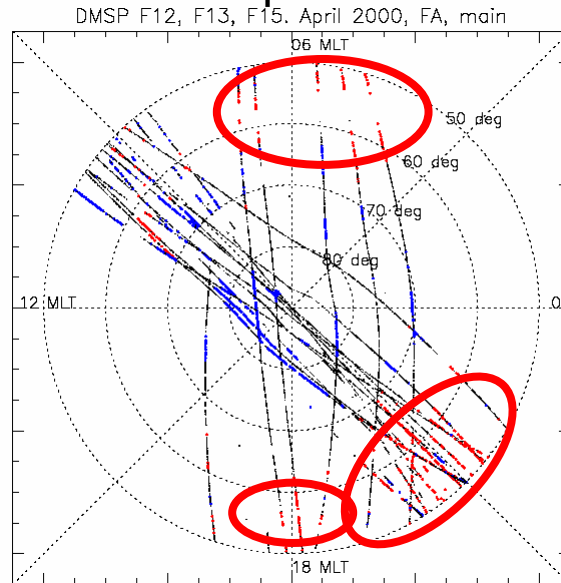
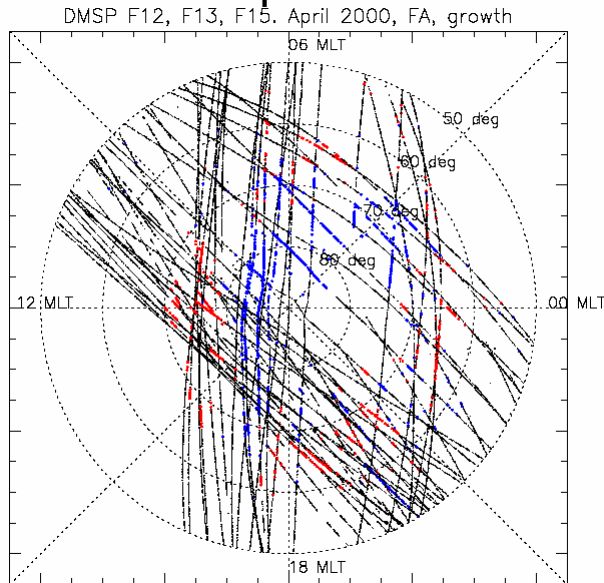


from Kyoto Univ.

Initial phase

Main phase

Recovery phase

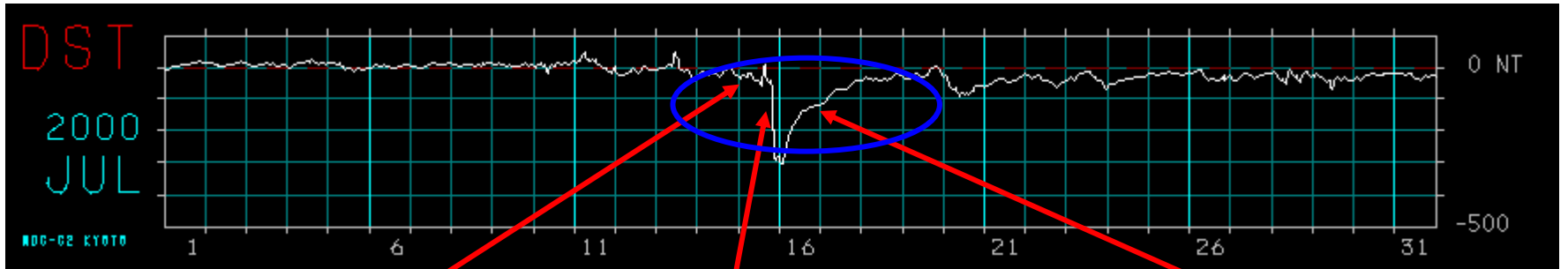


F12,F13,F15 の両半球のデータ

より大規模な Magnetic storm ($Dst < -250$ nT) の場合、より低緯度でイオン上昇流が発生。午前側でも顕著に見られる。

- Field-aligned ion velocity > 200 m/s
- Field-aligned ion velocity < -200 m/s
- $|\text{Field-aligned ion velocity}| < 200$ m/s

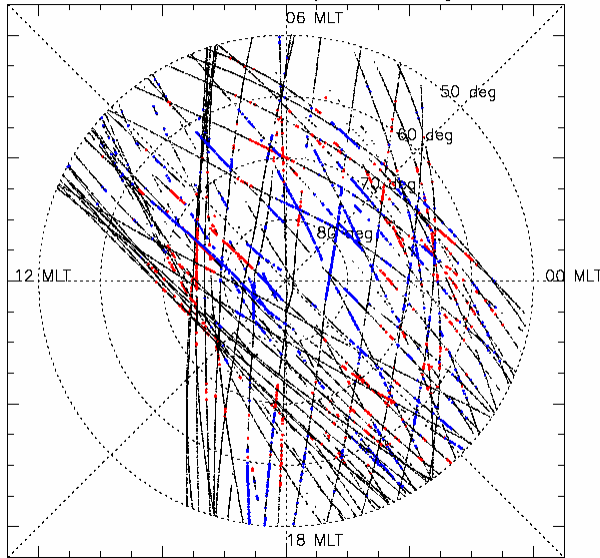
イオン上昇流と Storm との関係 (1) 2000年7月



from Kyoto Univ.

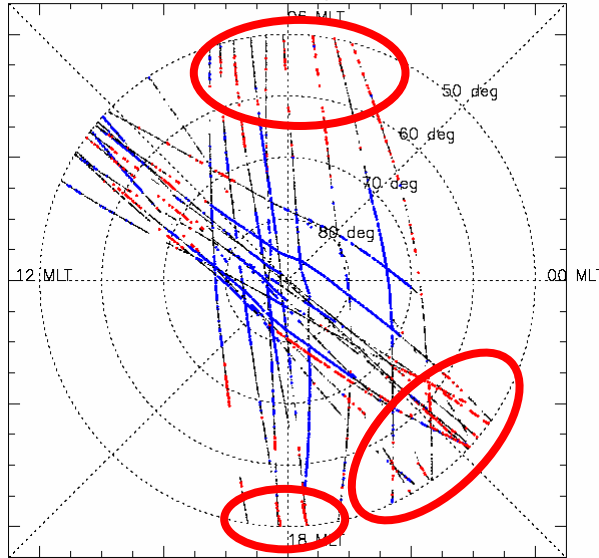
Initial phase

DMSP F12, F13, F15. July 2000, FA, growth



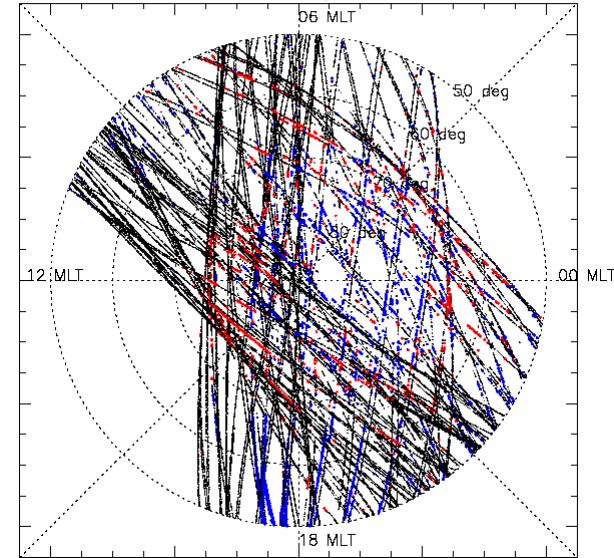
Main phase

DMSP F12, F13, F15. July 2000, FA, main



Recovery phase

DMSP F12, F13, F15. July 2000, FA, recover



F12,F13,F15 の両半球のデータ

より大規模な Magnetic storm ($Dst < -250$ nT) の場合、より低緯度でイオン上昇流が発生。午前側でも顕著に見られる。

- Field-aligned ion velocity > 200 m/s
- Field-aligned ion velocity < -200 m/s
- $|\text{Field-aligned ion velocity}| < 200$ m/s

DMSPP衛星観測による結果のまとめ

- ・磁気嵐の main phase 時に、夕方側の中緯度電離圏(磁気緯度60度以下)にて顕著なイオン上昇流。
- ・大規模な磁気嵐の場合、イオン上昇流の発生領域がより低緯度にシフトする。朝側の中緯度電離圏でもイオン上昇流が顕著に見られる。
- ・オーロラの発光領域より低緯度。
- ・西向きドリフト速度が速い領域に対応。

数時間-数日スケールのMagnetic storm に対し、

DMSP 衛星観測により、約 100 分毎に、

- ・(衛星の軌道上の)イオン上昇流の分布と電場の情報。
- ・イオン/電子の降り込みの情報。

中緯度 HF レーダー観測により、約 1 分毎に、

中緯度における広範囲の電場の情報。

(電場分布がどのような時間変化をしている中を、
DMSP衛星が通過しイオン上昇流を観測したのか?)

例えば、シェア構造の発達の様子など。)

両者を組み合わせることにより、

中緯度におけるイオン上昇流の理解

(特に、どのような条件で、どこから、どれくらい流出するか?)
が深まると考えられる。