

# すざく衛星が観測した地球磁気 圏からのX線輝線放射 -太陽風イオンの電荷交換反応-

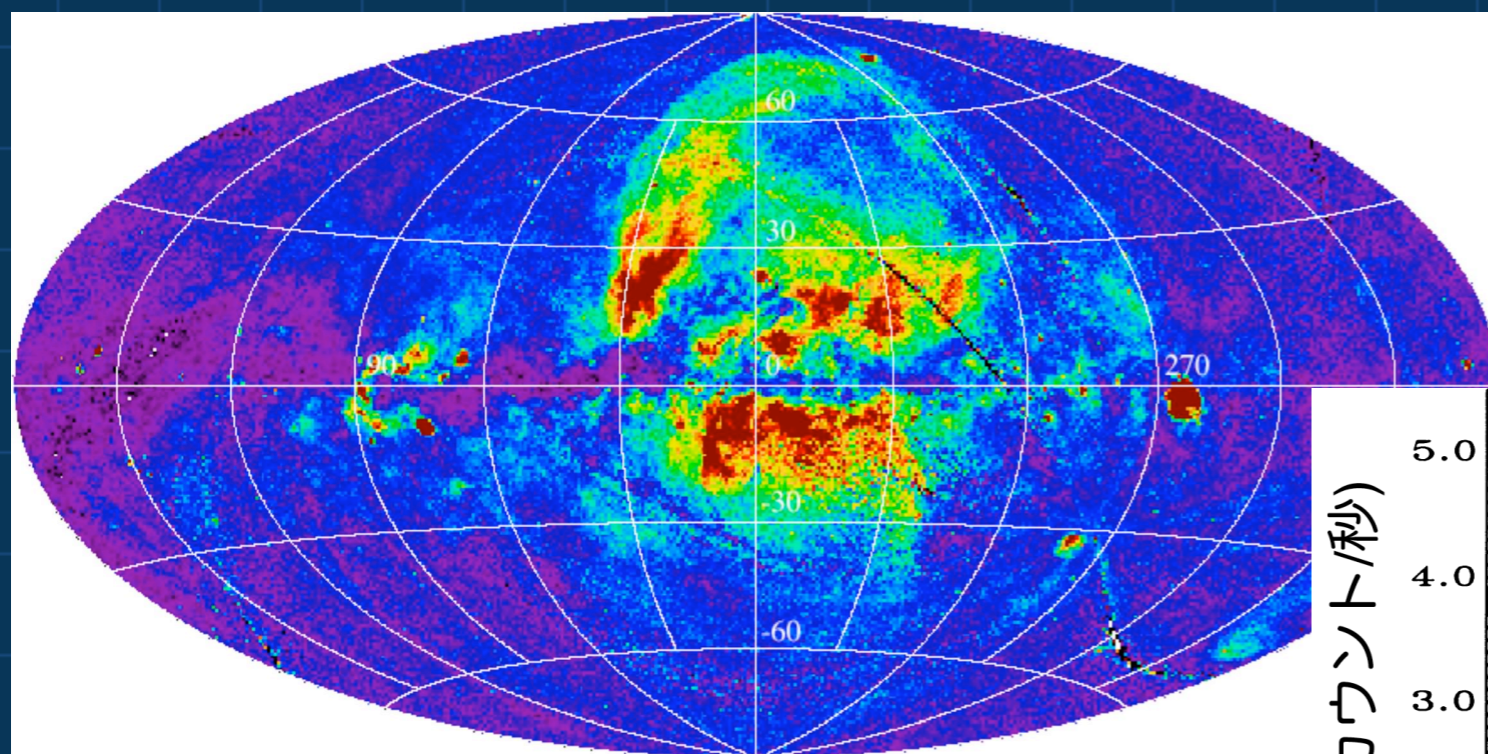
満田和久<sup>1</sup>、山崎典子<sup>1</sup>、藤本龍一<sup>2</sup>、二元和朗<sup>1</sup>、土屋彰広<sup>1</sup>、

McCammon, Dan<sup>3</sup>、篠原育<sup>1</sup>、松岡彩子<sup>1</sup>、前澤 洸<sup>1</sup>

<sup>1</sup>宇宙航空機構・宇宙研、<sup>2</sup>金沢大・理、<sup>3</sup>Wisconsin 大

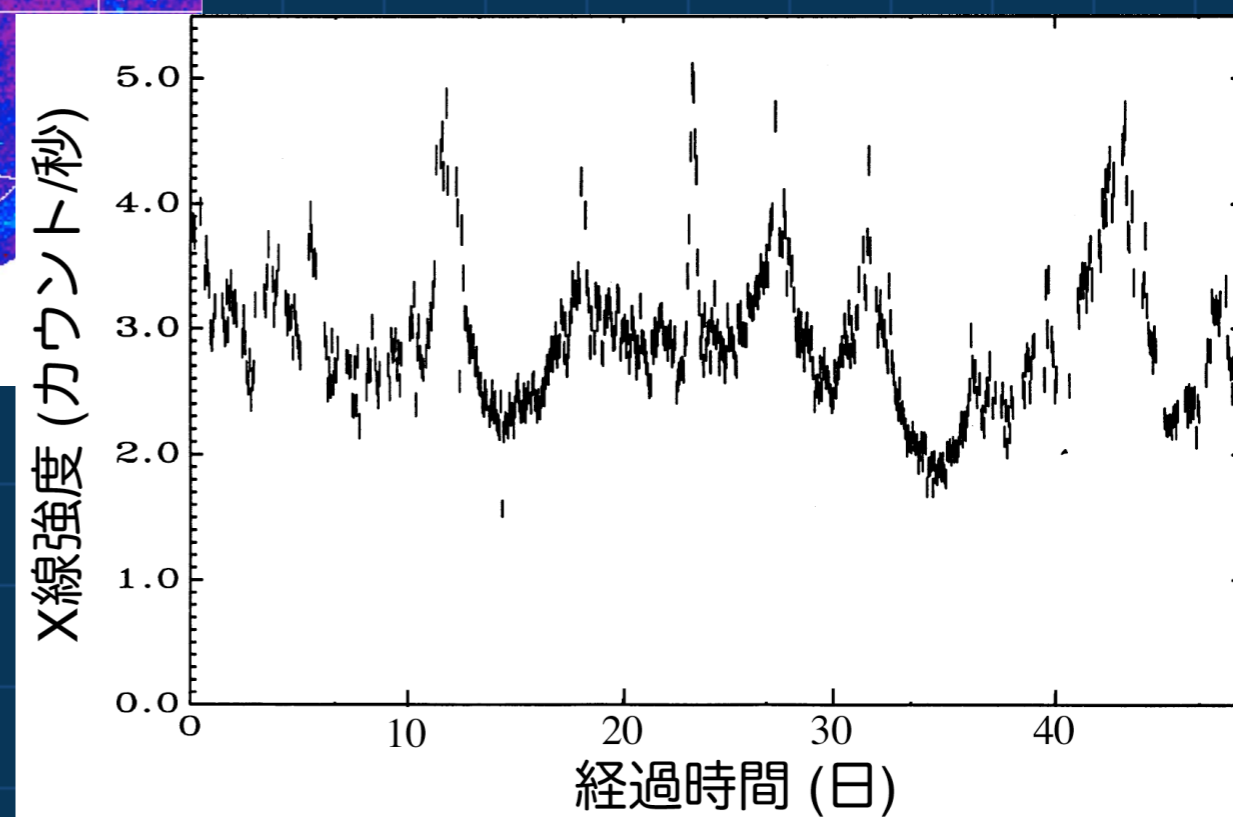
# 歴史(1) : 謎のX線時間変動

ROSAT衛星(1990年代) 軟X線全天スキャン



0.5-0.8 keV

次のスキャンではほぼ同じ  
場所を見ているのに強度が  
一致しない



Snowden et al. 1994

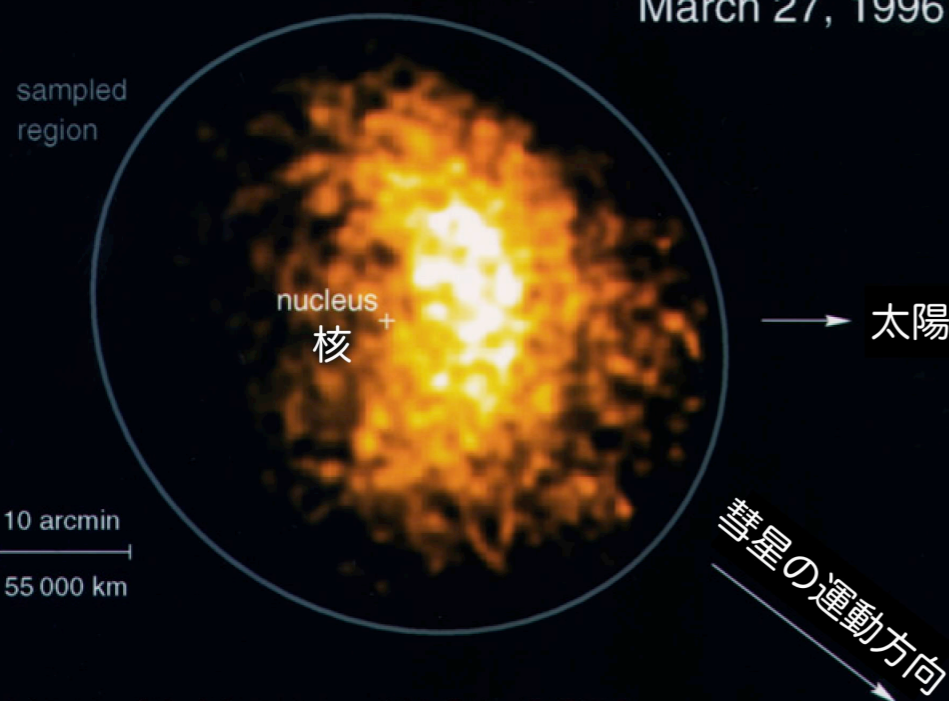
# 歴史(2) : 彗星からのX線放射

百武彗星 (Lisse et al.1996)

太陽風重イオンと彗星の中性ガス  
の電荷交換反応

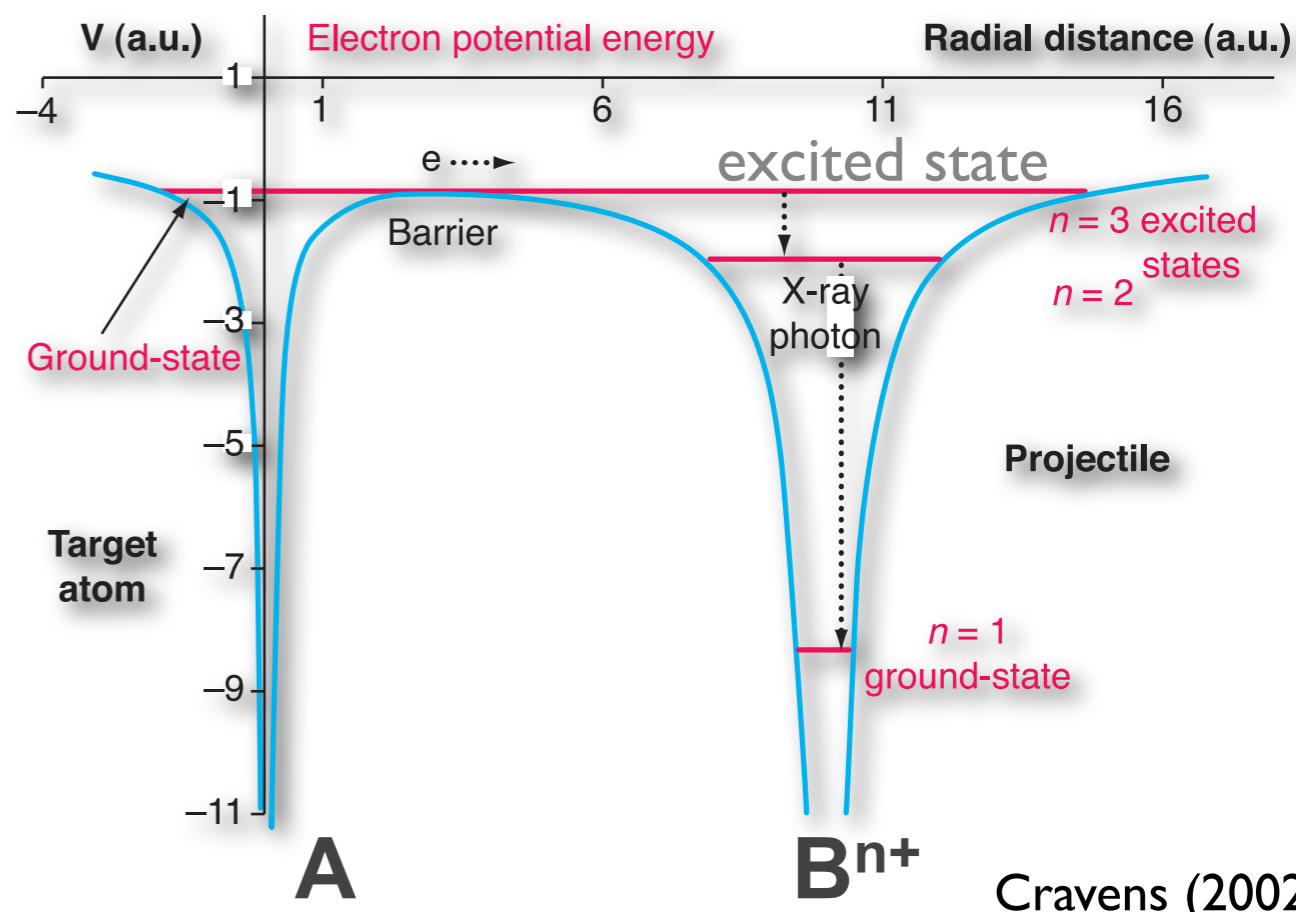
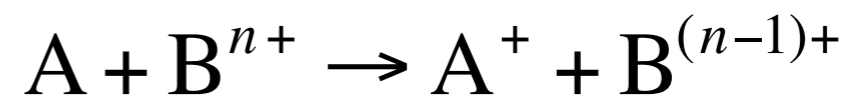
FIRST X-RAY IMAGE OF A COMET

百武彗星・C/1996 B2 ROSAT HRI  
March 27, 1996



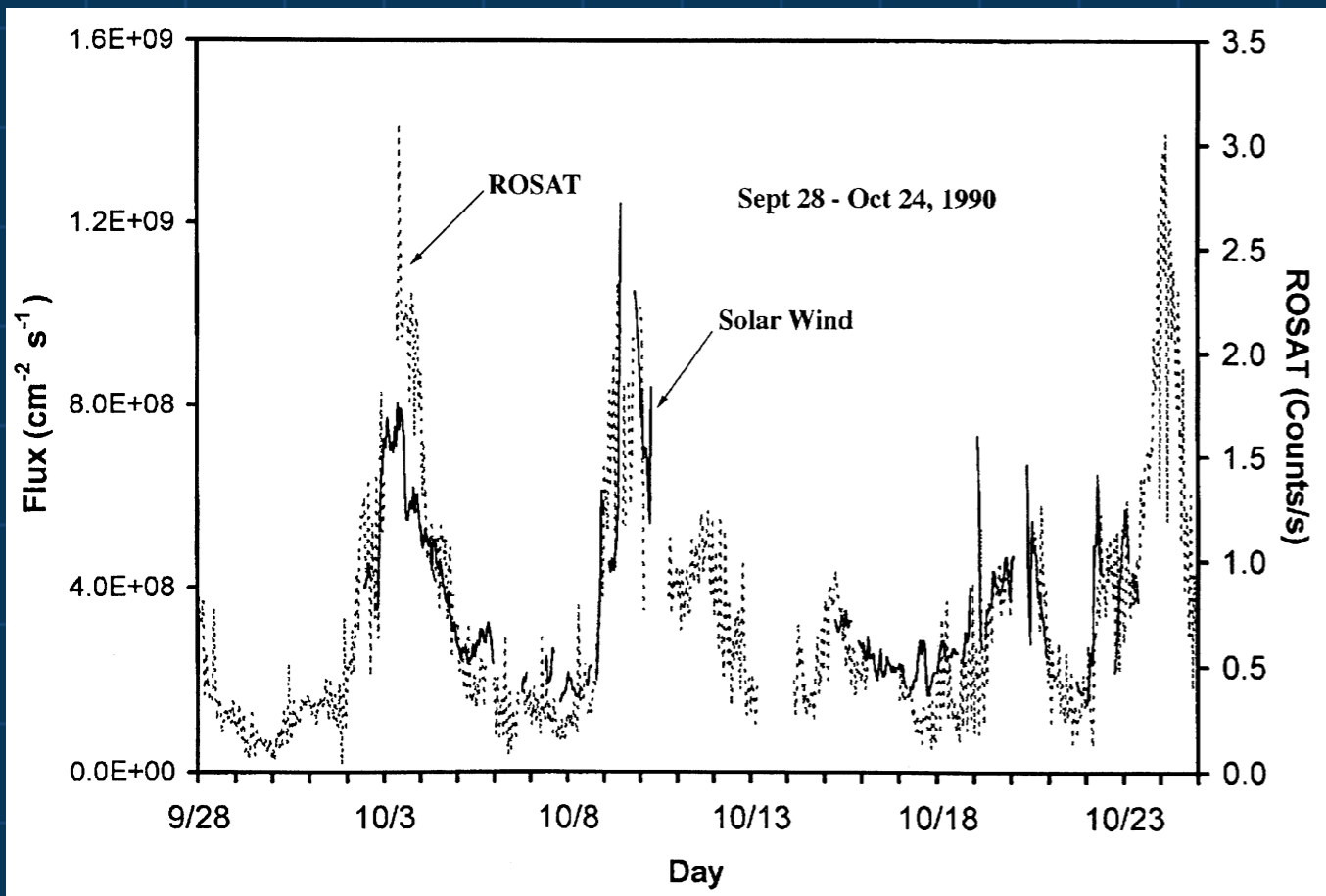
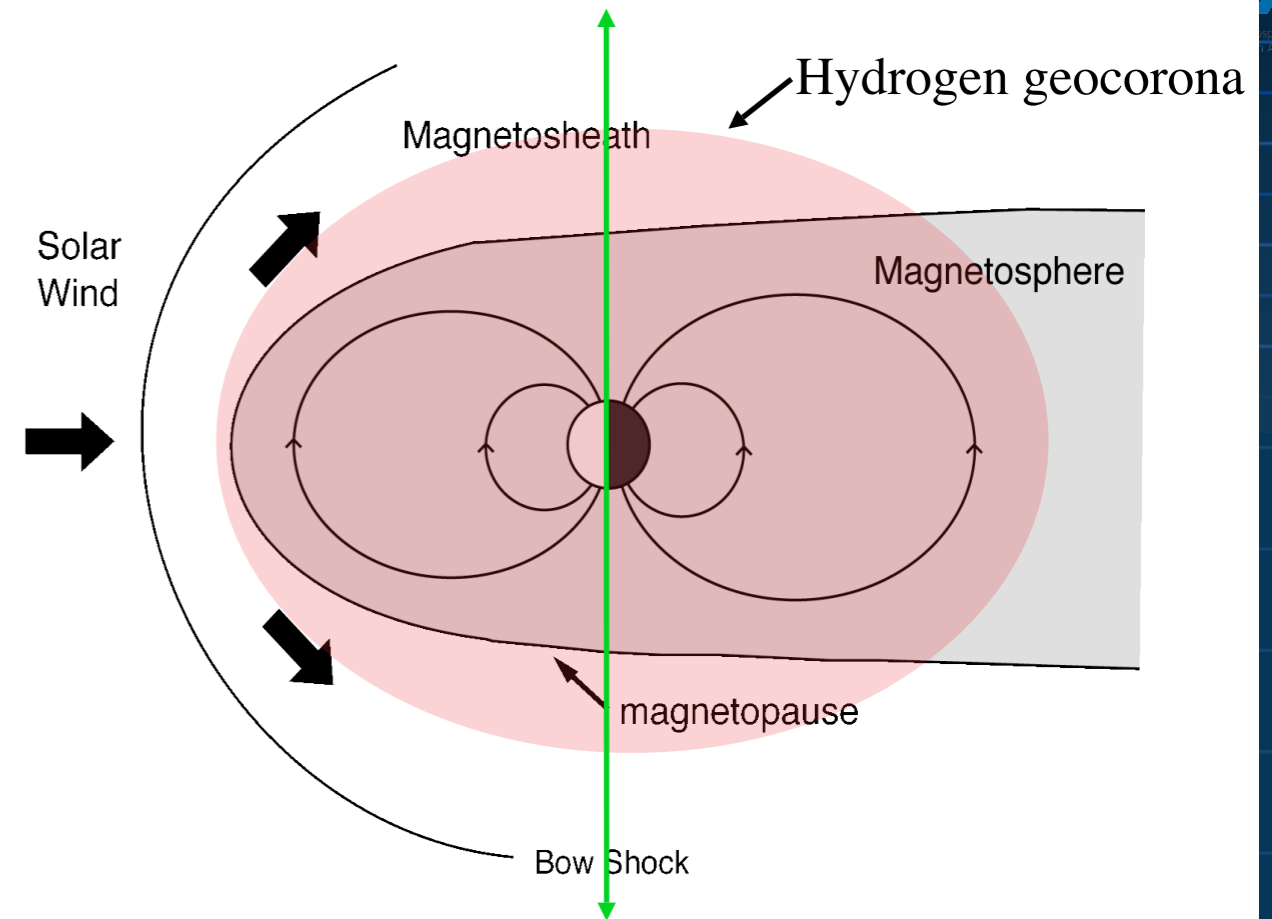
C. Lisse, M. Mumma, NASA GSFC  
K. Dennerl, J. Schmitt, J. Englhauser, MPE

$C^{6+}, O^{7+}, O^{8+}$  ions  $\rightarrow$  CVI, OVII, OVIII emission lines

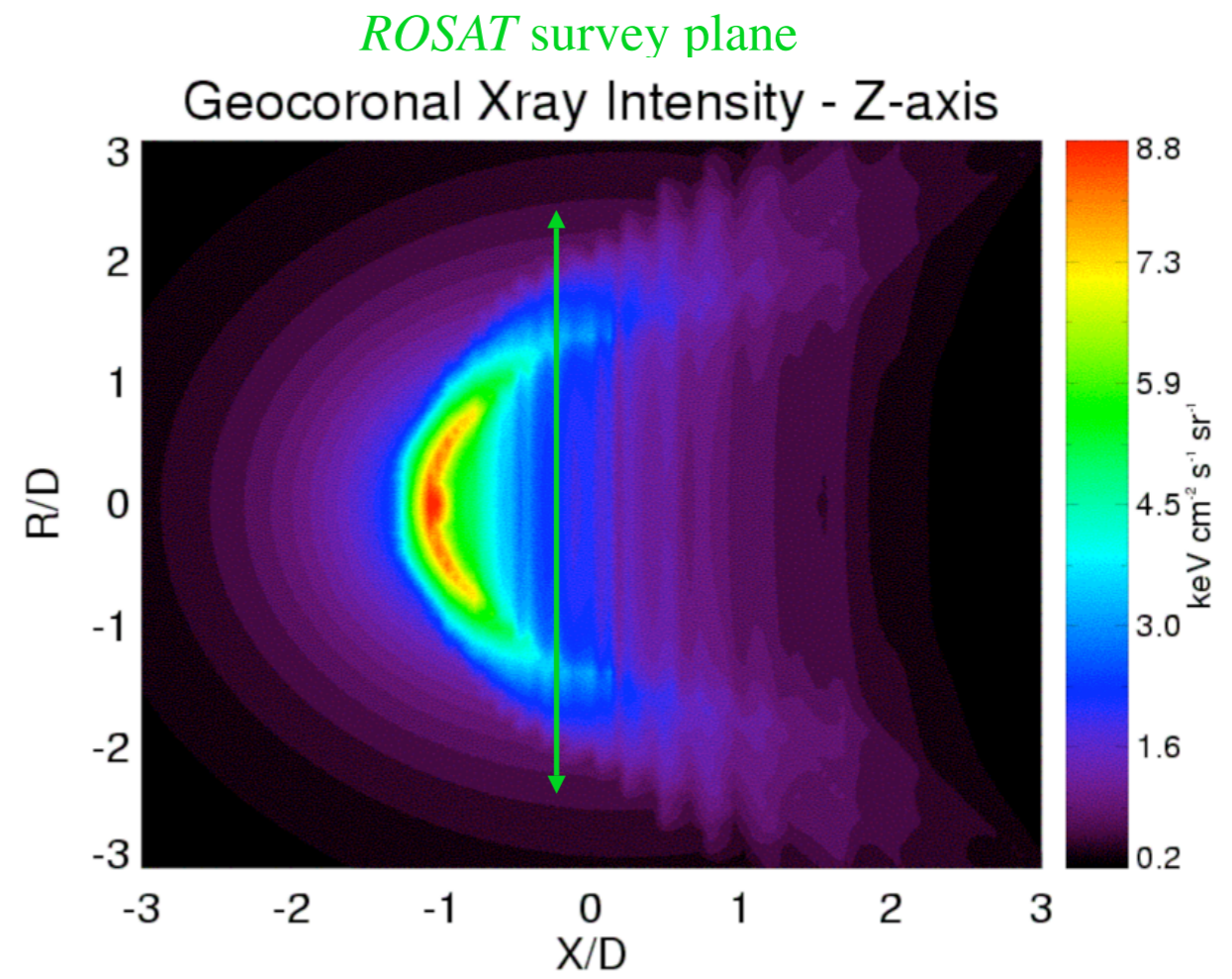


# 歴史(3)：謎の時 間変動の起源

Geocoronal Solar Wind  
Charge Exchange X-ray  
emission (SWCX)



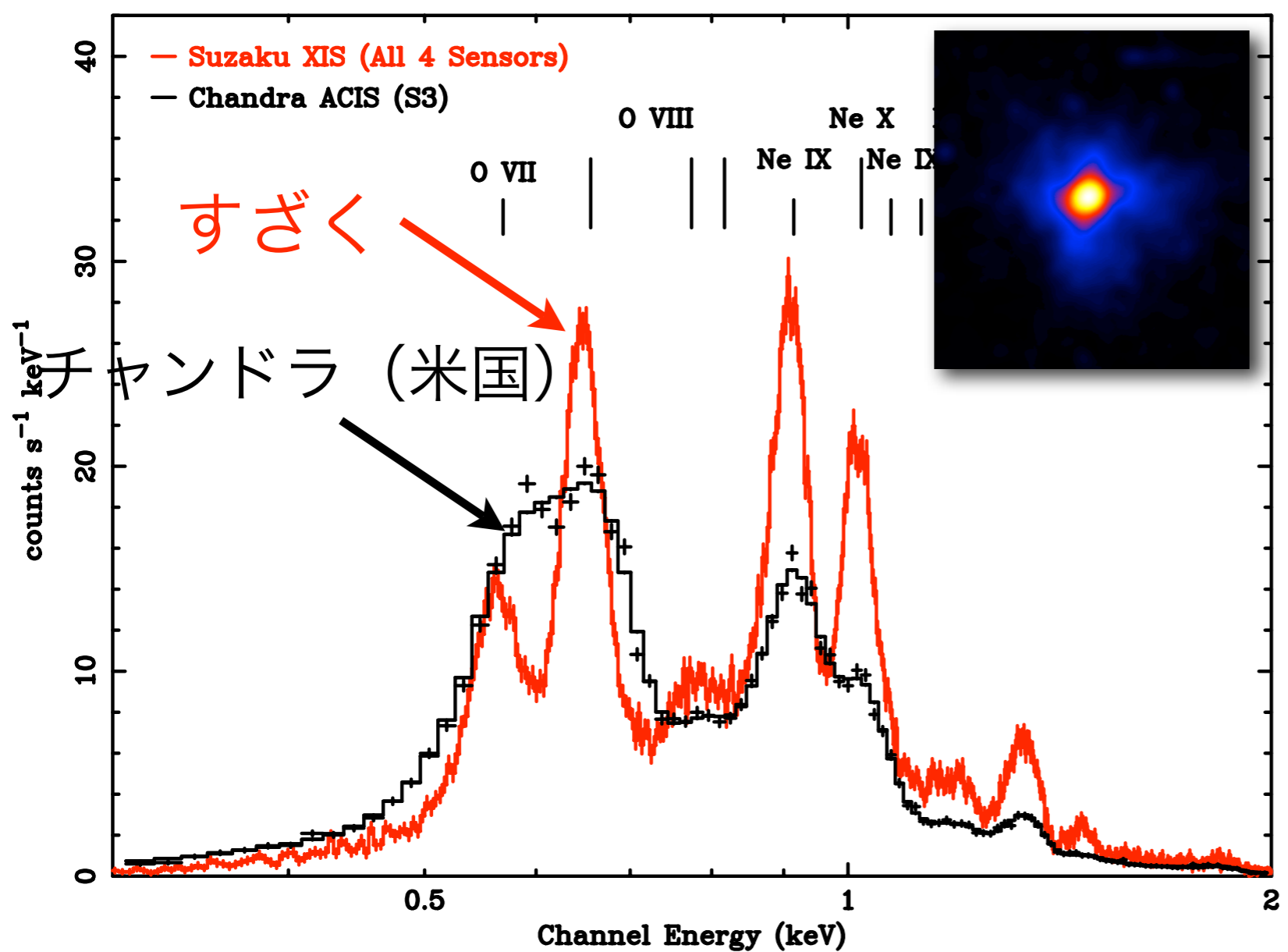
Cravens, Robertson, & Snowden (2000)



Robertson and Cravens (2003)

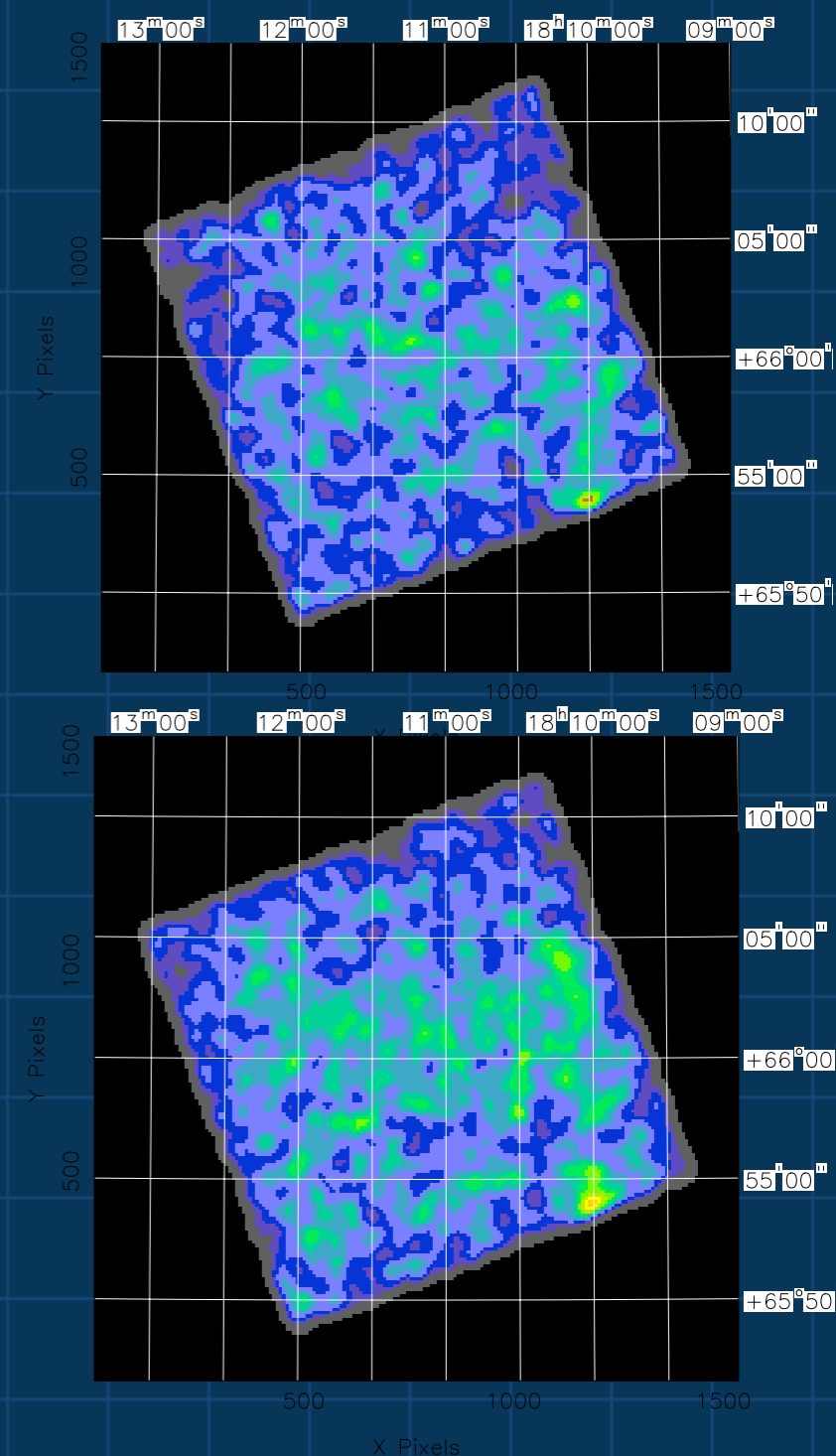
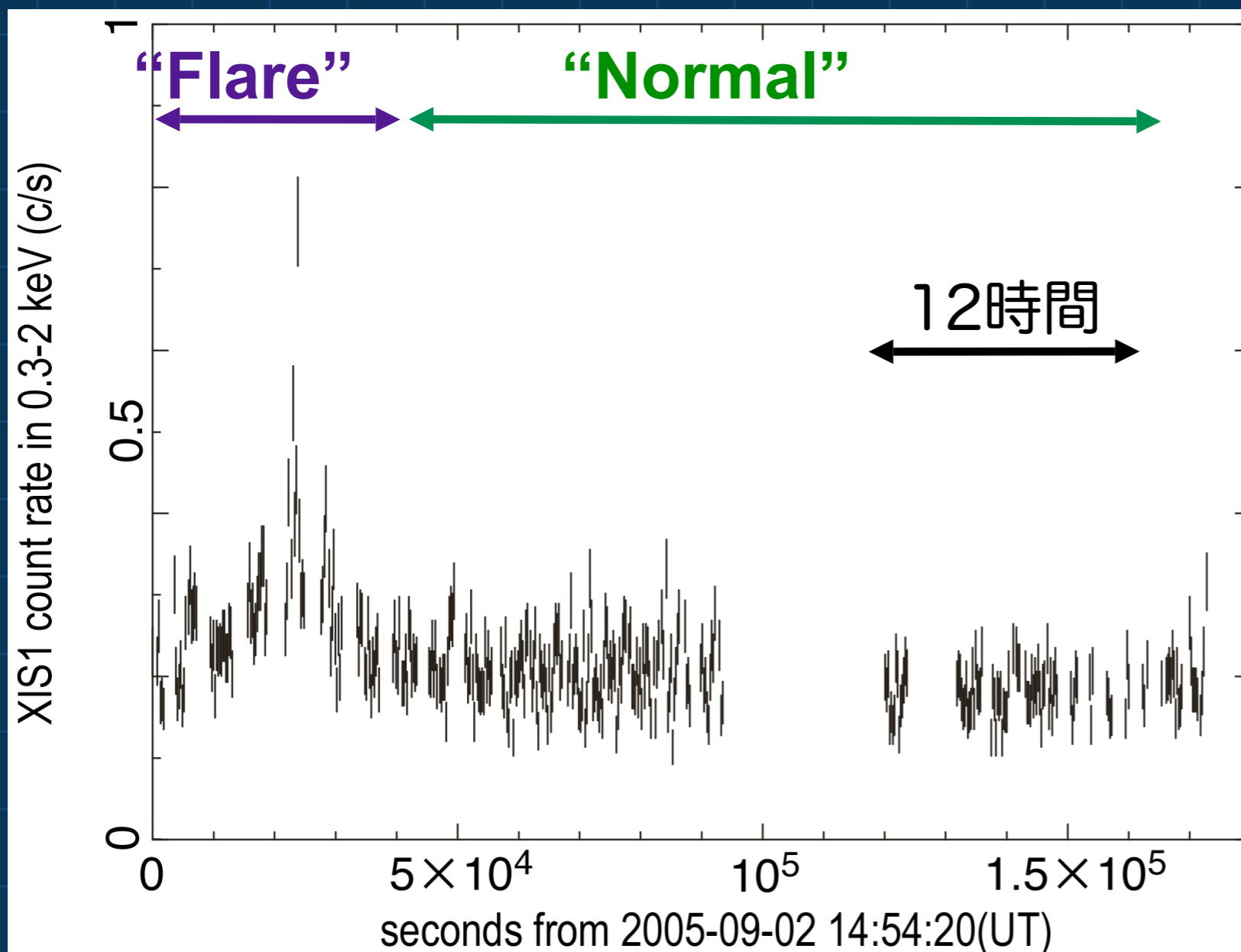
# すざく衛星

小マゼラン銀河の超新星残骸E0102.2-729



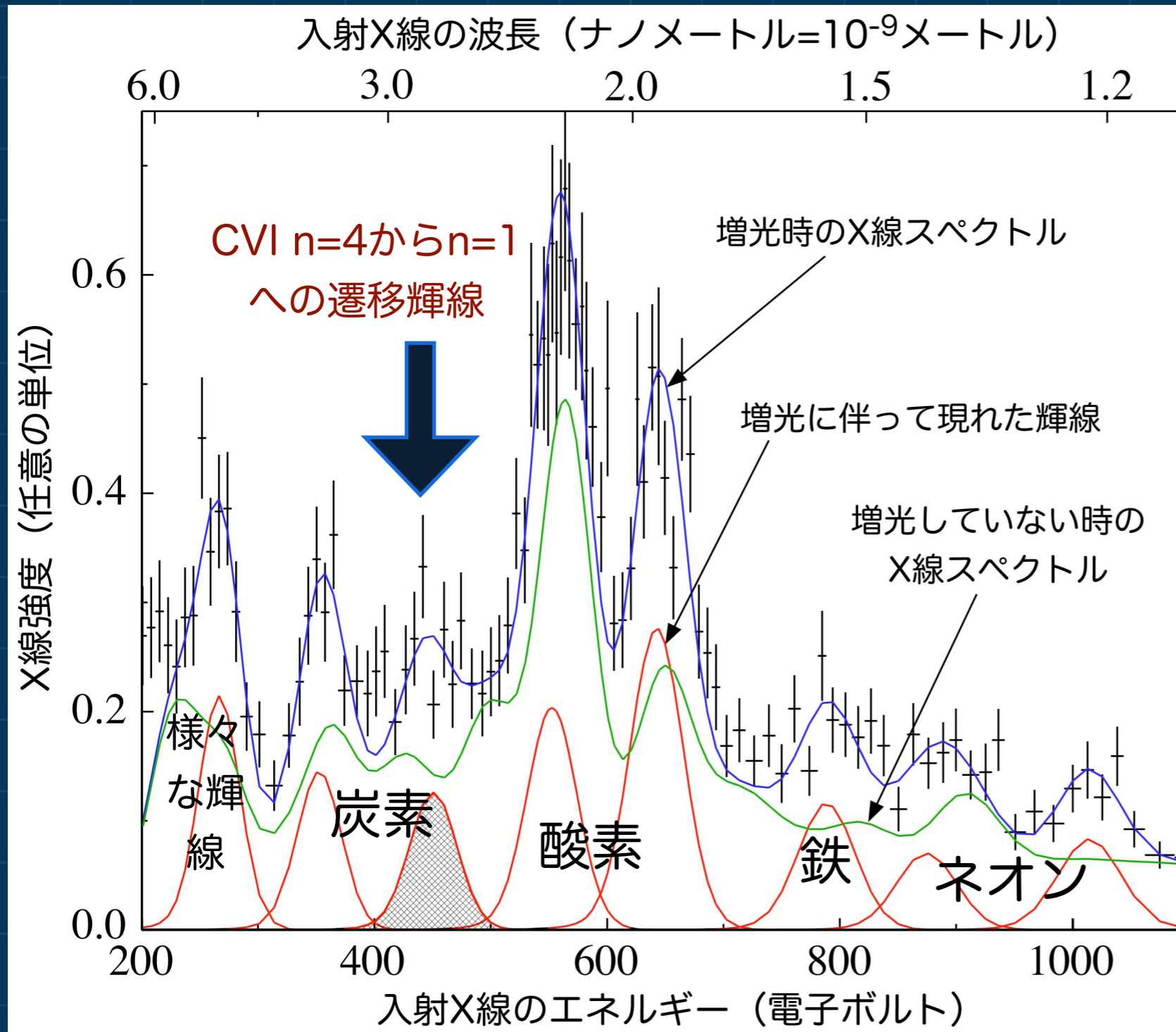
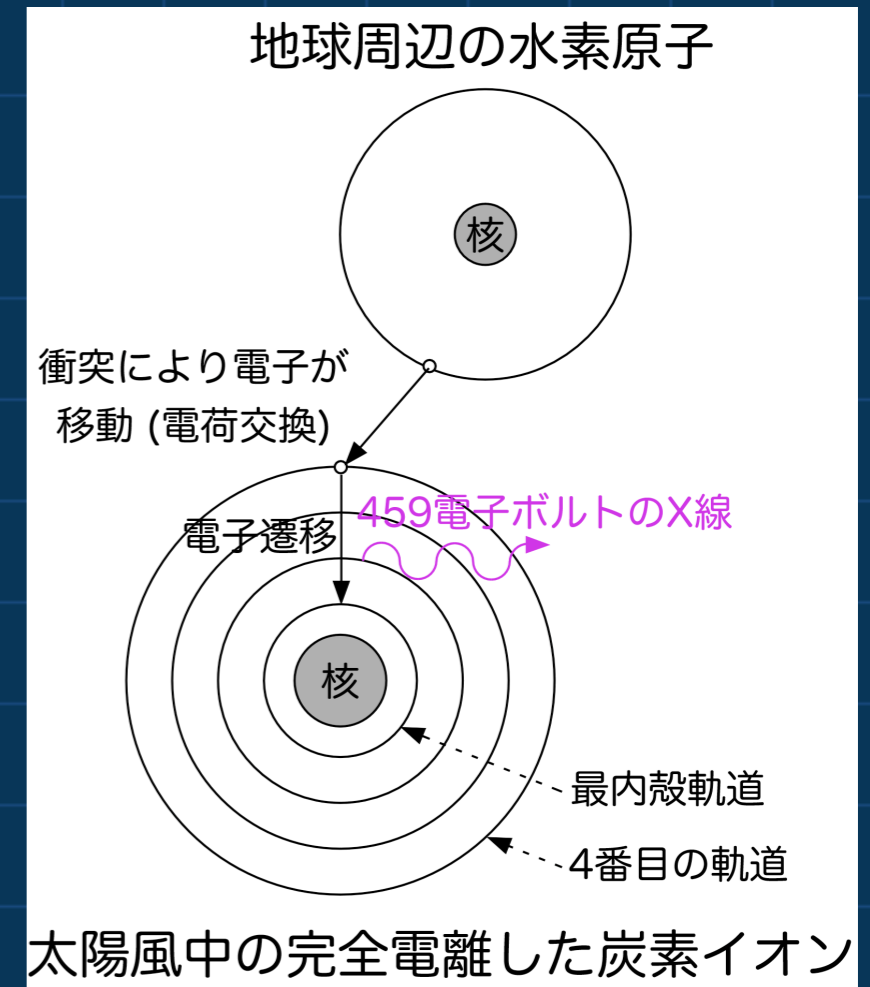
- 1keV以下のX線  
に対して、これまで  
にないよいエ  
ネルギー分解能
- 炭素、酸素、ネ  
オンなどの輝線
- 太陽風の電荷交  
換

# Blank skyのX線時間変動



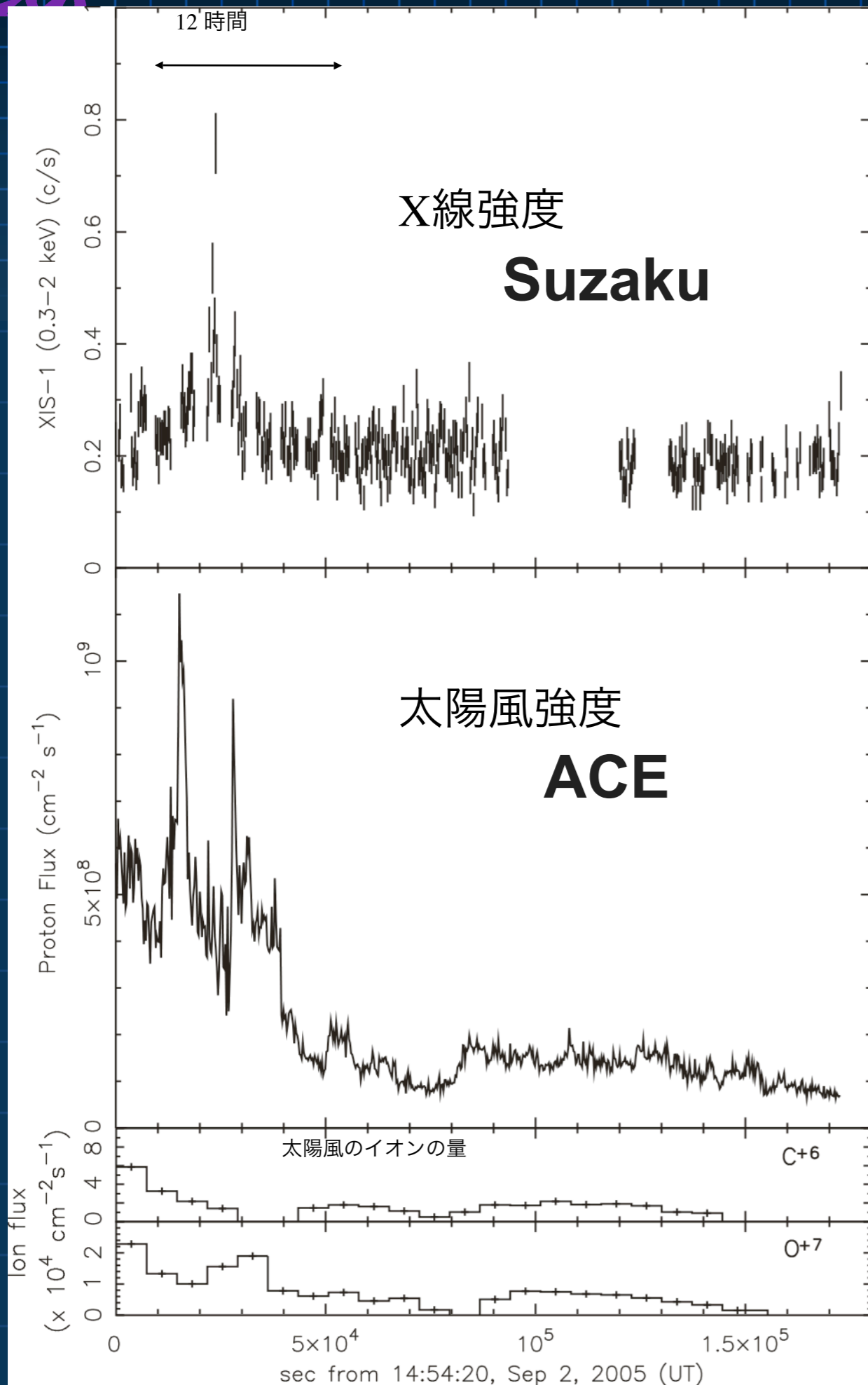
# 電荷交換反応の決定的な証拠

水素原子から奪った電子は、炭素の4番目の軌道にはいる。そのため、4番目の軌道から基底状態への遷移に対応するX線が強く出る。



Fujimoto et al. 2007

# 太陽風強度

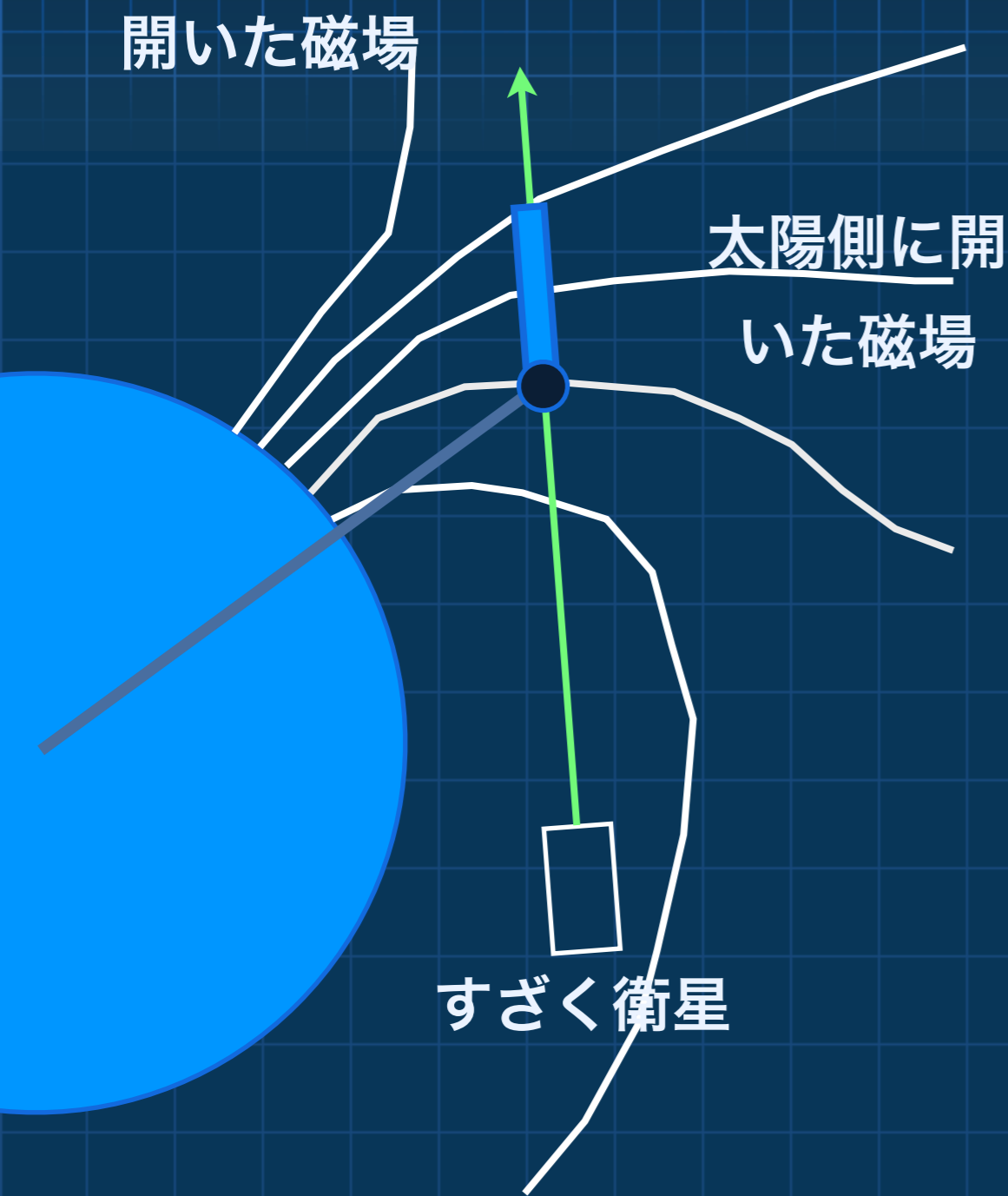


○ X線強度の強かった約12時間  
は太陽風fluxも大きかった。

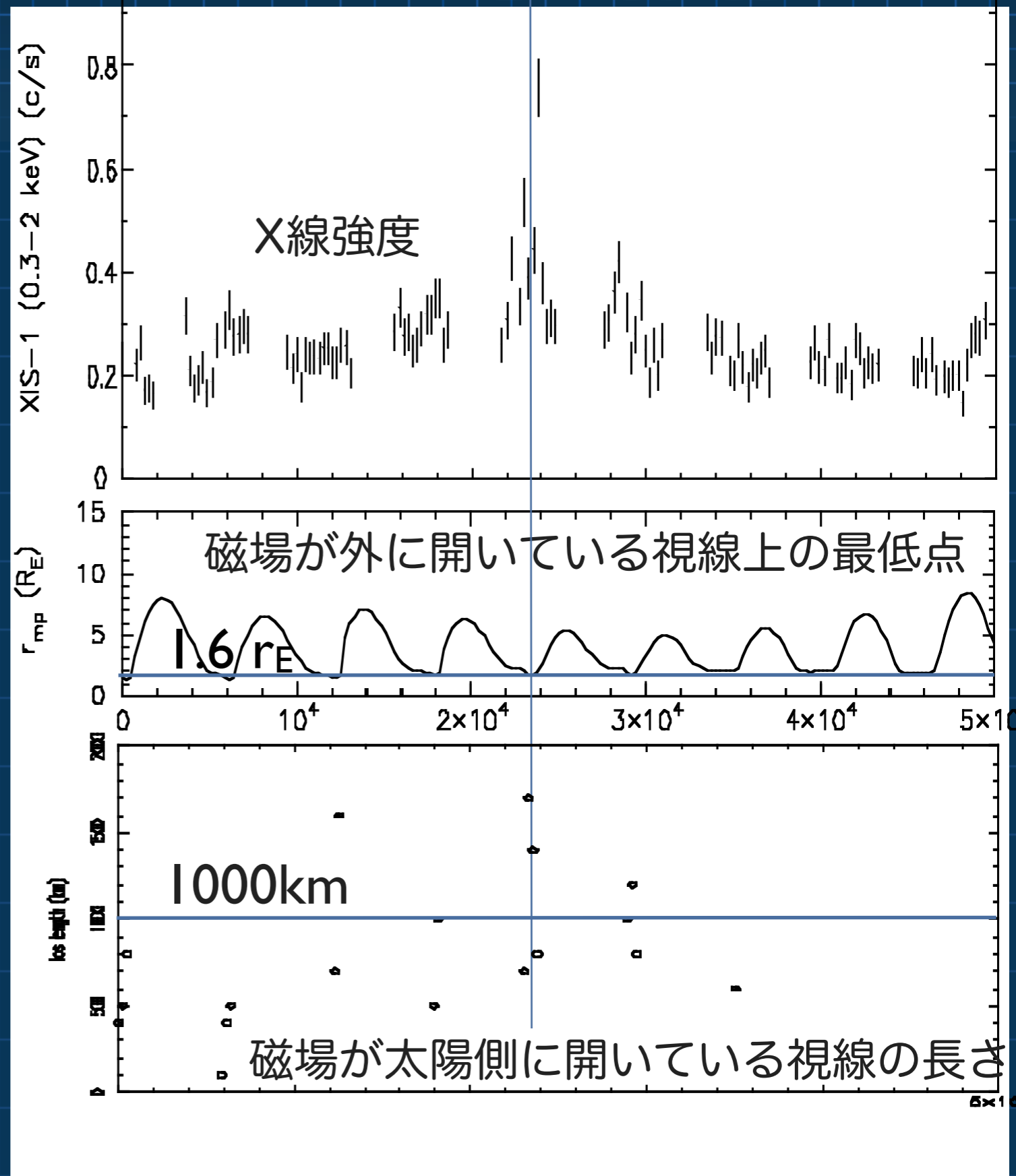
○ しかし、X線の短時間変動  
～10分 は太陽風flux  
変動と相関していない



# 衛星の軌道運動と地球磁場

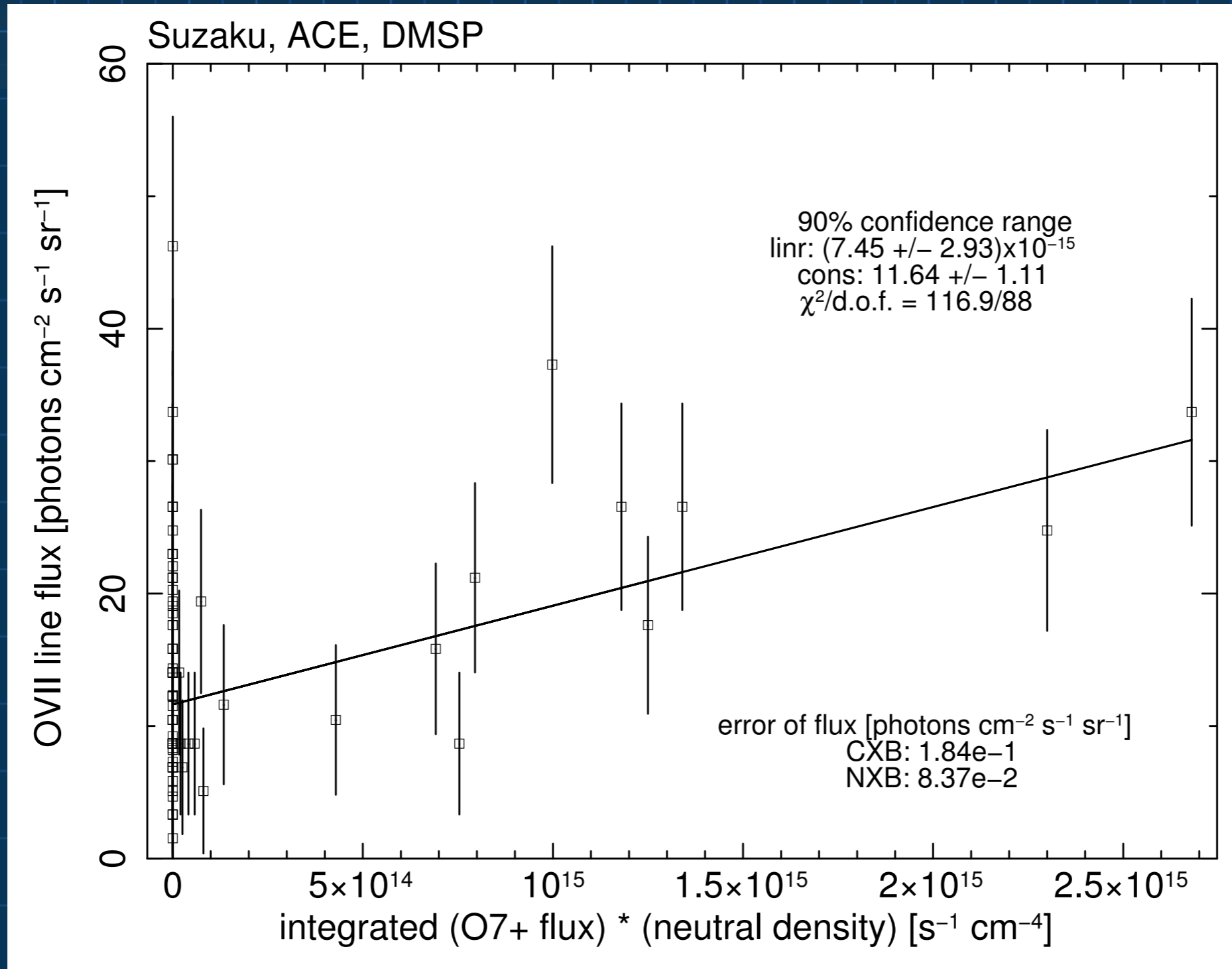


Geopack2005, T96  
magnetic field model  
(Tsyganenko et al. 2005)



# 輝線強度と中性密度の相関

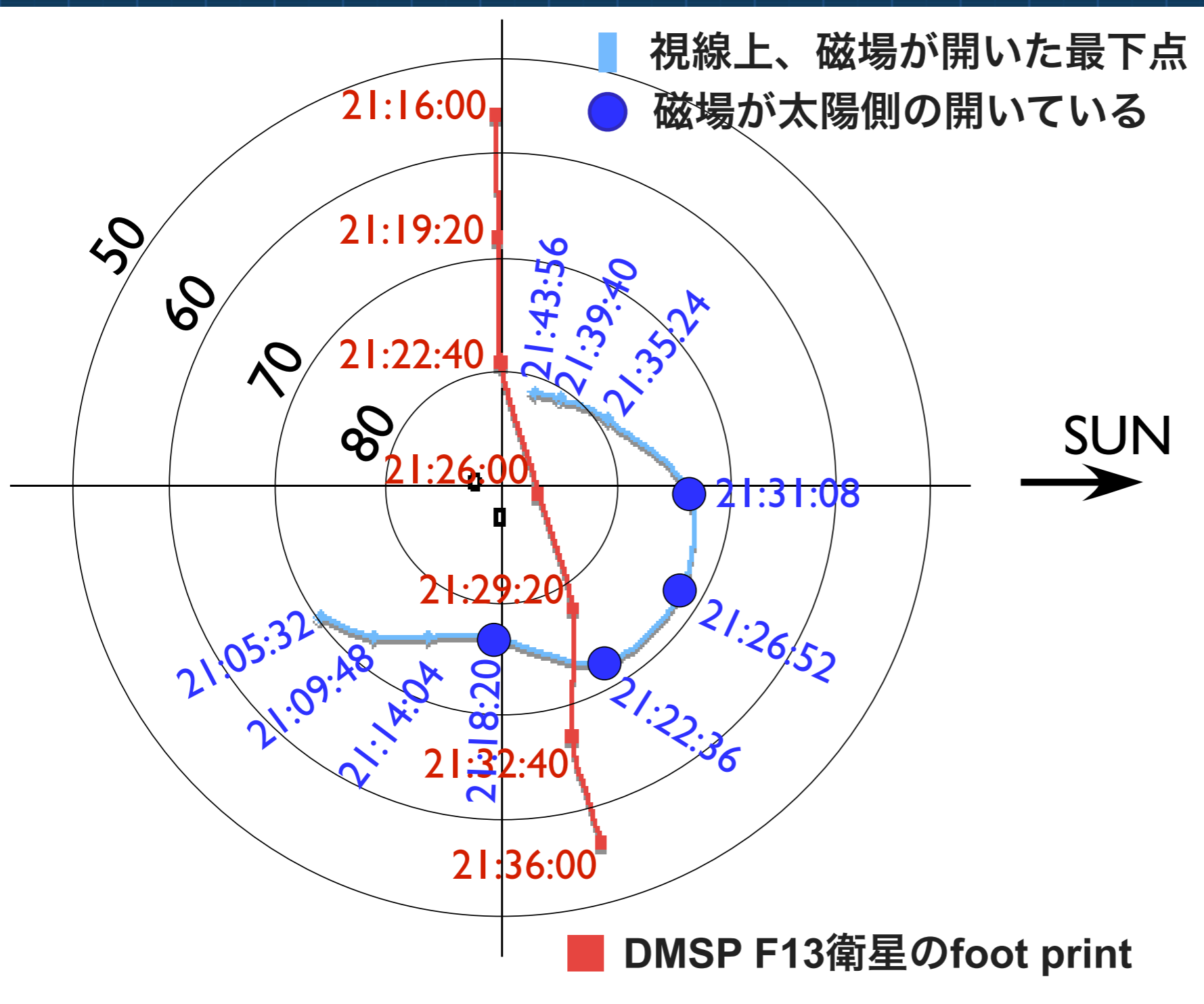
酸素輝線OVII 強度



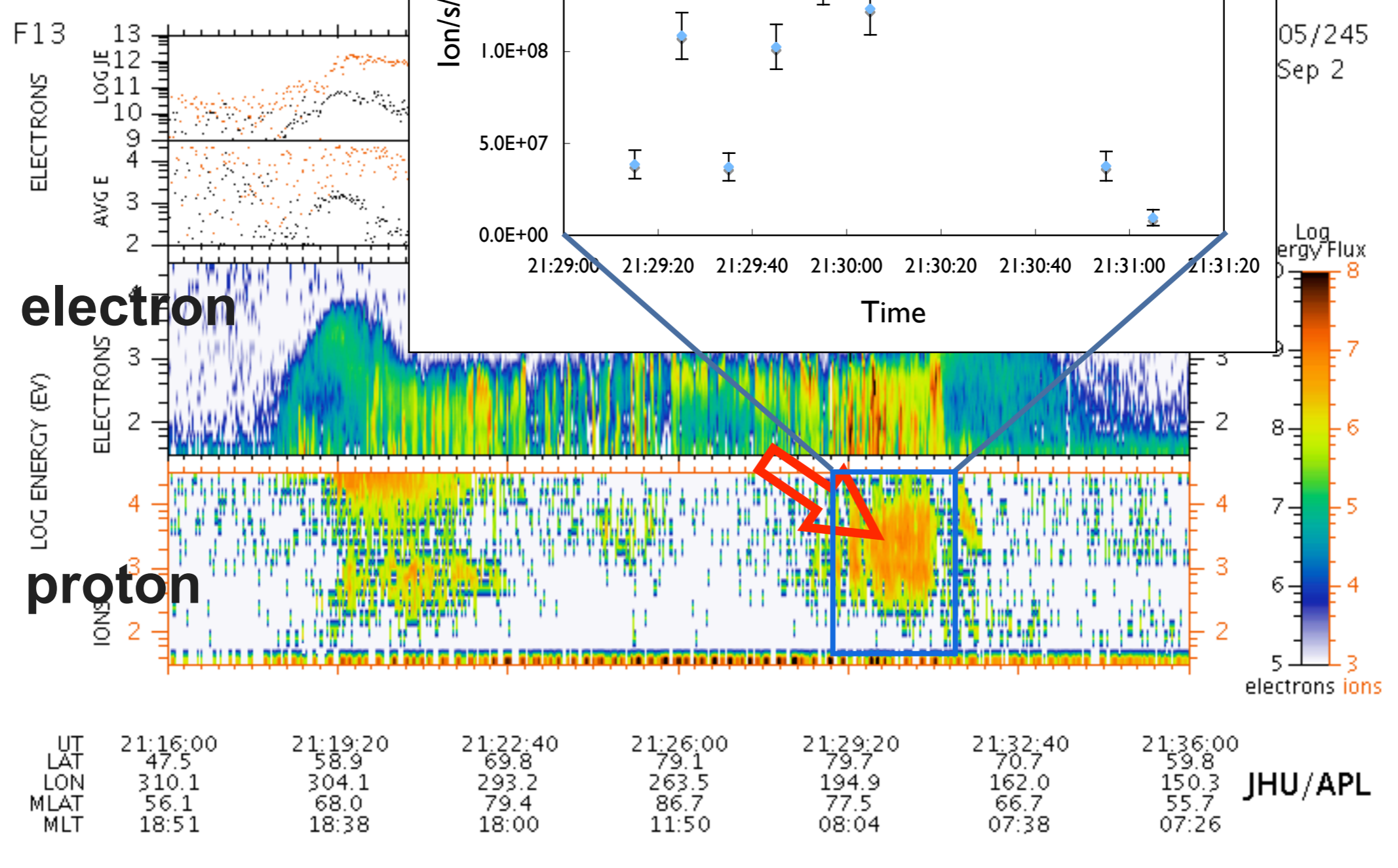
$\text{O}^{7+}$  flux(ACE) × 中性水素柱密度 (磁場太陽側を開いた視線) × 補正係数

各高度での中性水素密度はØstgaard et al. 2004

# 磁場のfootprint



- X線の明るい点  
= 磁場のfoot printが磁気緯度~70度、ローカル時刻で午前中
- 惑星間空間磁場は東向き  
IMF : (-5.3, 6.1, 7.6)nT



# 予測される輝線強度

$$f(\text{OVII}) = \frac{1}{4\pi} \int \sigma f_{\text{O}7+}(l) n_{\text{H}}(l) dl$$

$$= \frac{1}{4\pi} \int \sigma \frac{f_{\text{O}7+}(\text{ACE})}{f_{\text{H}+}(\text{ACE})} \frac{f_{\text{H}+}(l)}{f_{\text{H}+}(\text{DMSP})} f_{\text{H}+}(\text{DMSP}) n_{\text{H}}(l) dl = 5 \pm 0.3 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ str}^{-1}$$

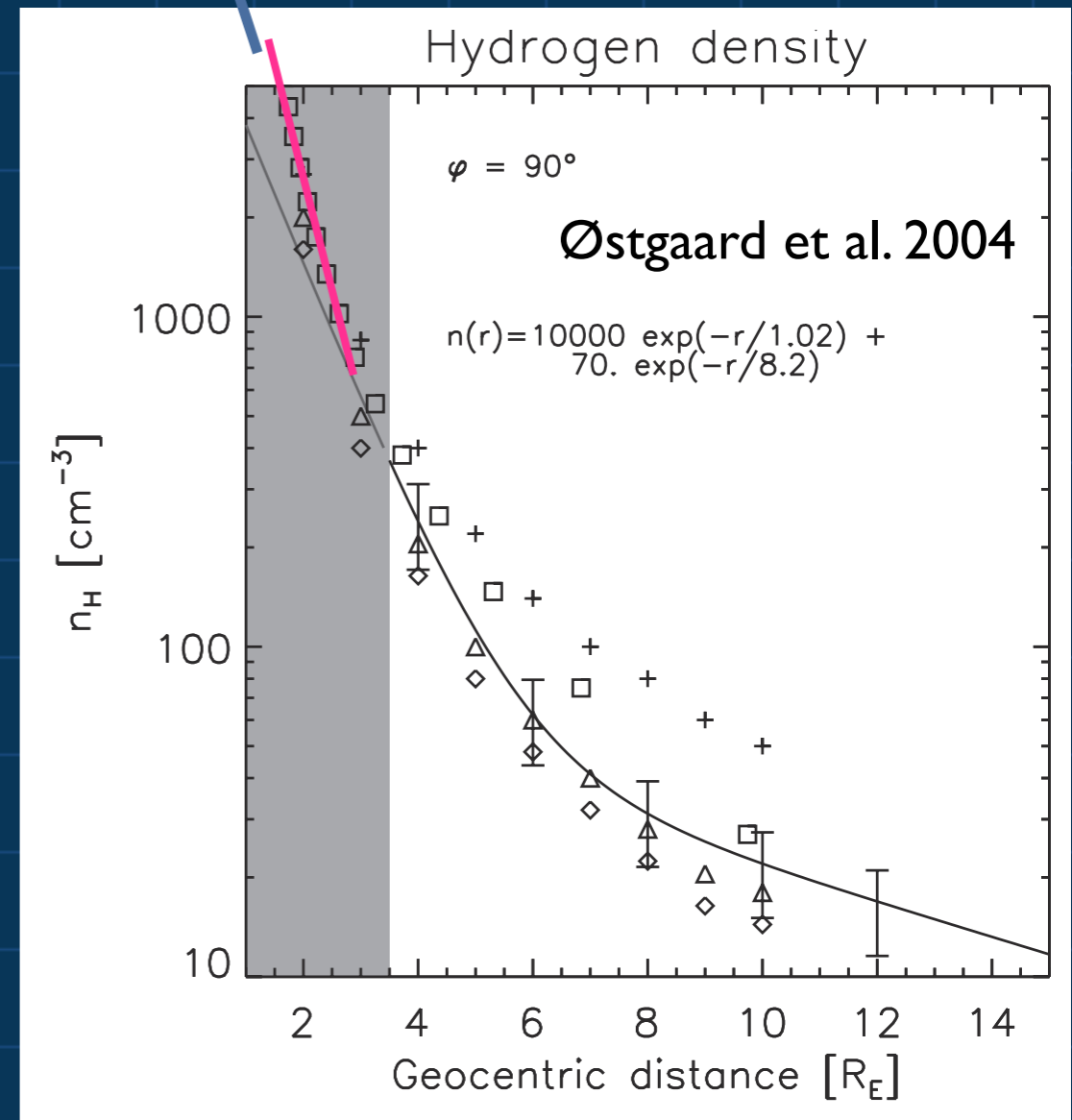
$1.4 \times 10^{-14} \text{ cm}^2$   
(Wegman et al. 1998)

$1.7 \times 10^4 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$

$5.2 \times 10^8 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$   
(21:30, Sep 2, 2005)

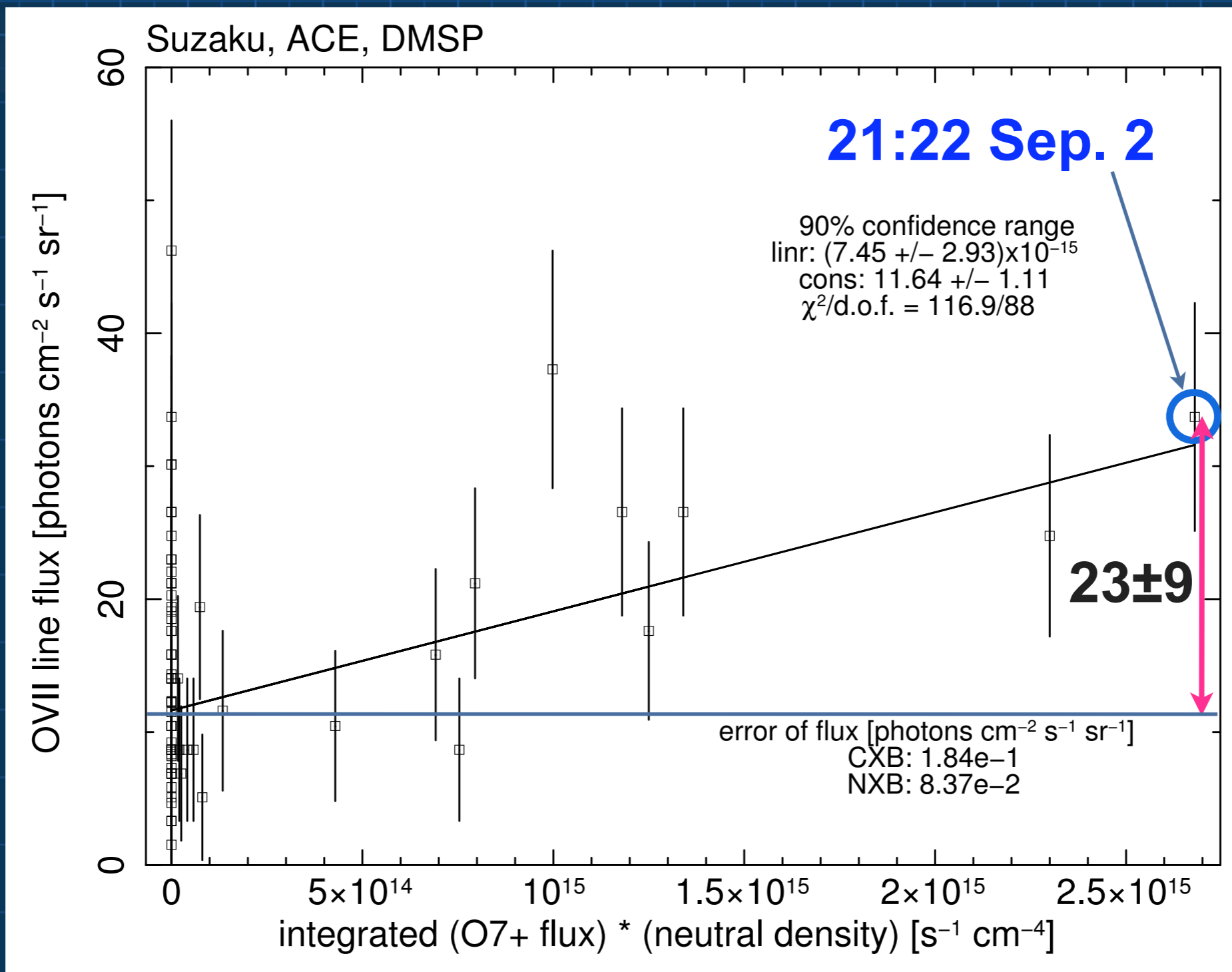
$\frac{1 + \cos \theta_c(l)}{1 + \cos \theta_c(\text{DMSP})}$

$1.5 \times 10^8 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$   
(21:30, Sep 2, 2005)



# 観測された輝線強度

酸素輝線OVII 強度



$\text{O}^{7+}$  flux(ACE) × 中性水素柱密度 (磁場太陽側に開いた視線) × 補正係数

# 予想と観測の比較

観測されたOVII強度= $23 \pm 9$  photons  $s^{-1} cm^{-2} str^{-1}$

$O^{7+}$ およびproton flux等からの予想= $5 \pm 0.3$

→ Factor  $\sim 4$ のずれ

○ ずれの原因候補

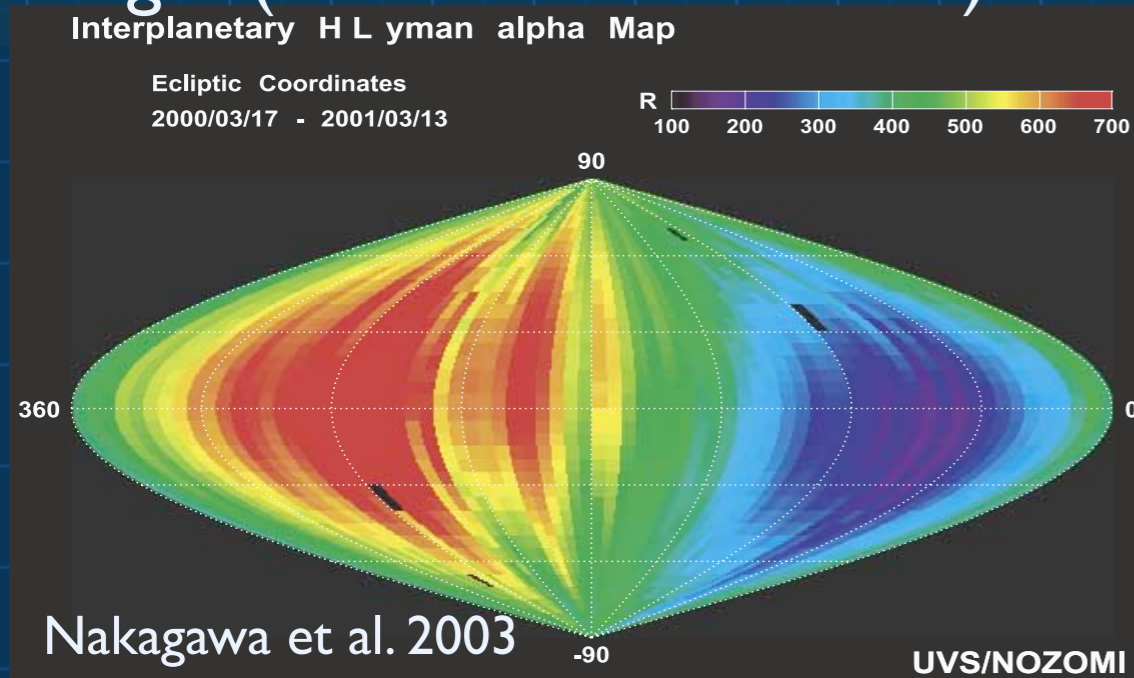
○ 散乱断面積が大きい

○ 中性水素密度が高い

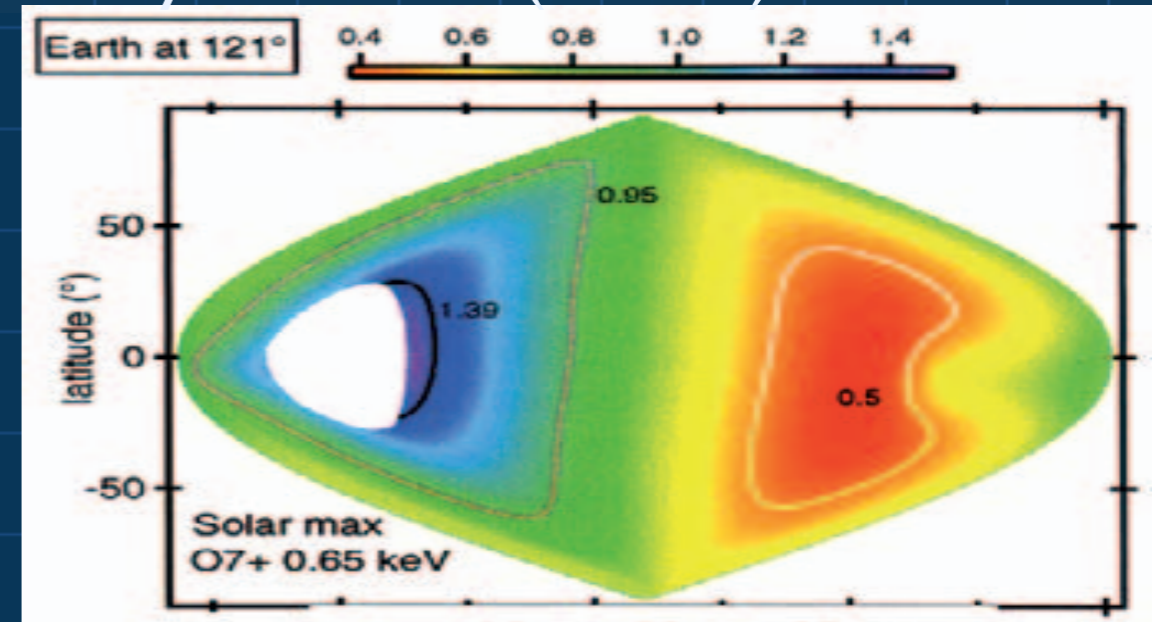
○  $O^{7+}/H^{+}$ 比が、ACEよりも、 $1.6r_E$ の方が大きい

# Heriospheric SWCX 惑星間空間からの輝線放射

## HI gas (Observation:Nozomi)

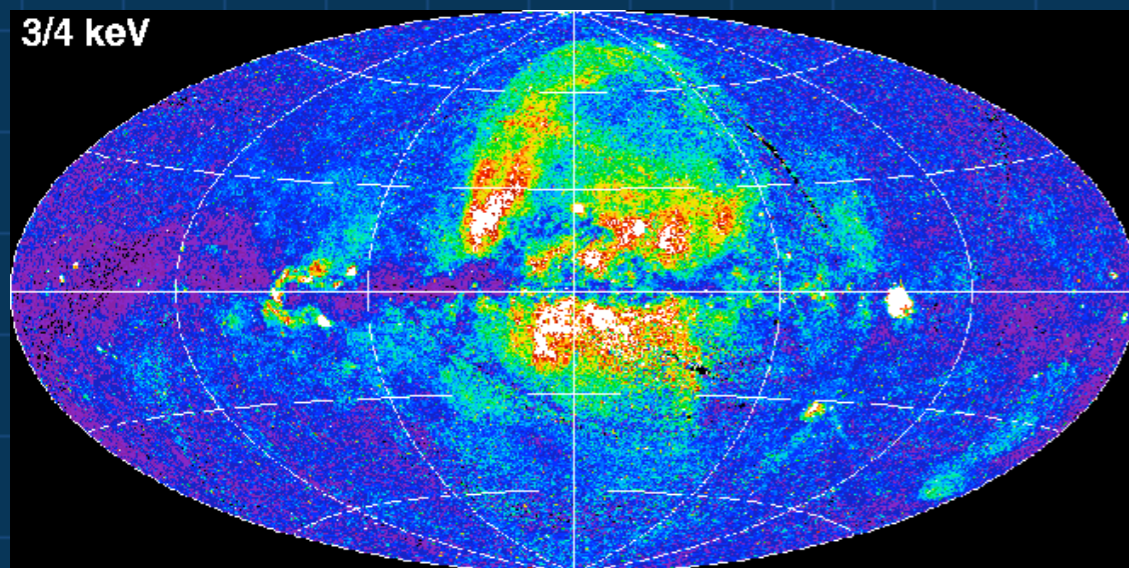


## X-ray emission (Model)



Kouroumpa et al. 2006

## X-ray emission (Observation:ROSAT)



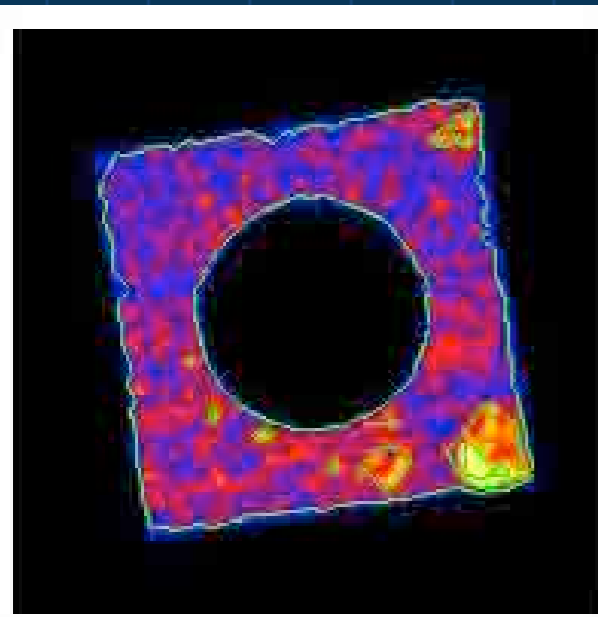
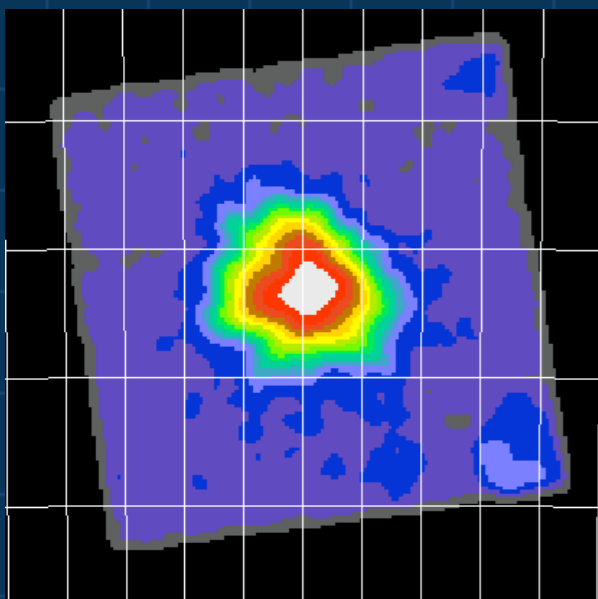
Snowden et al. 1997

高銀緯方向の放射の1/2以上  
(あるいは全て) を説明？

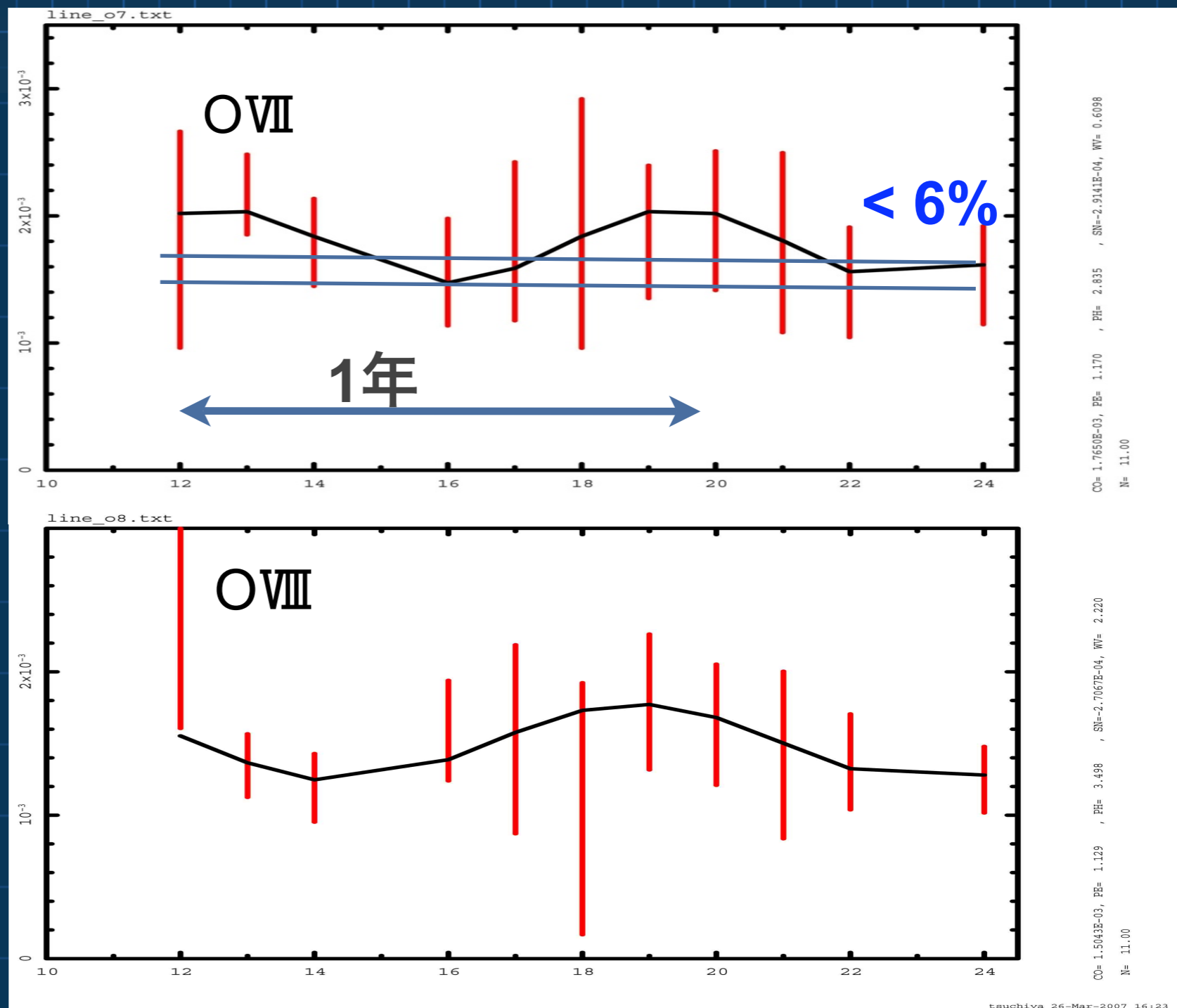


# すざくの長期観測

超新星残骸の  
観測装置較正観測



輝線強度

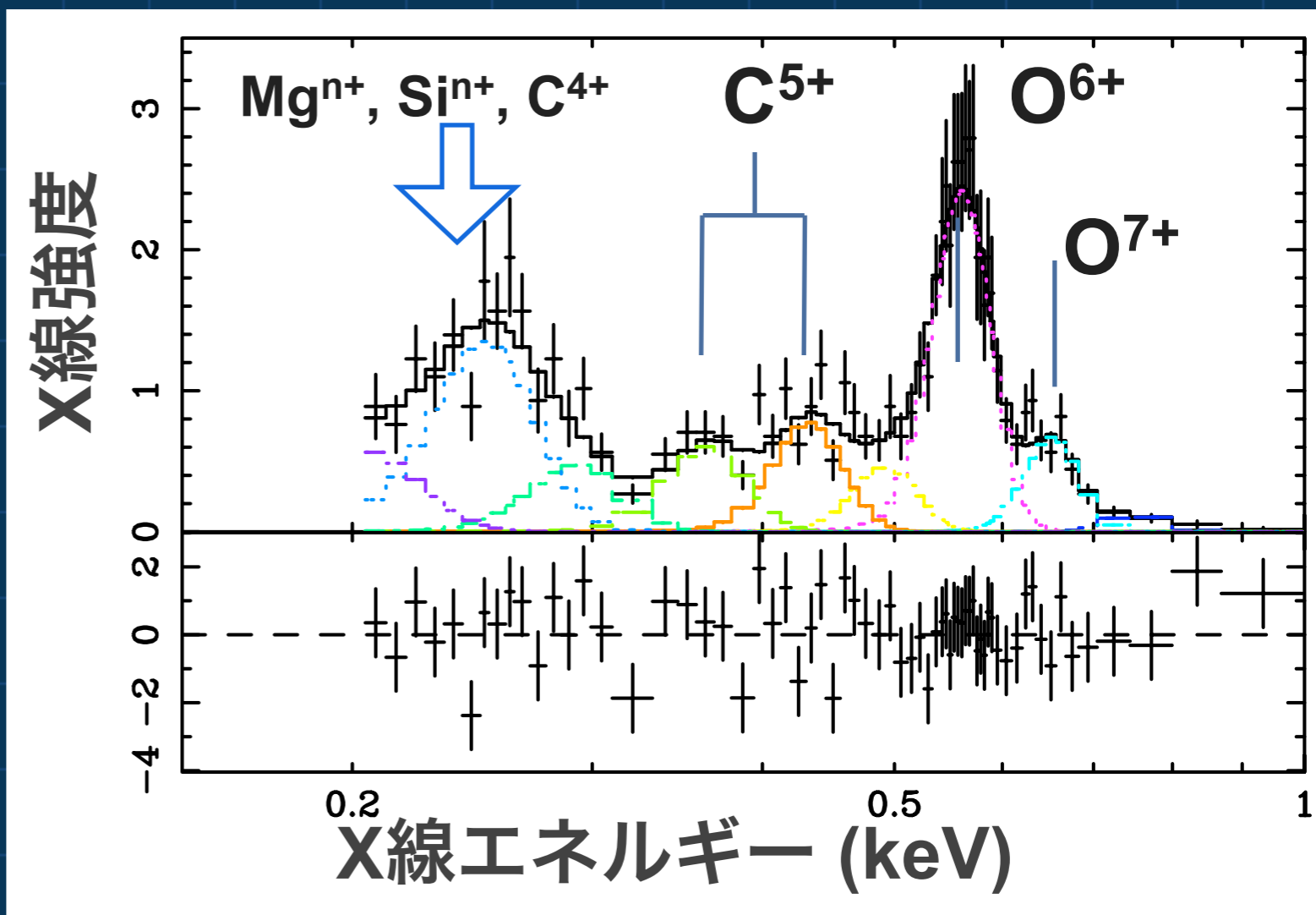
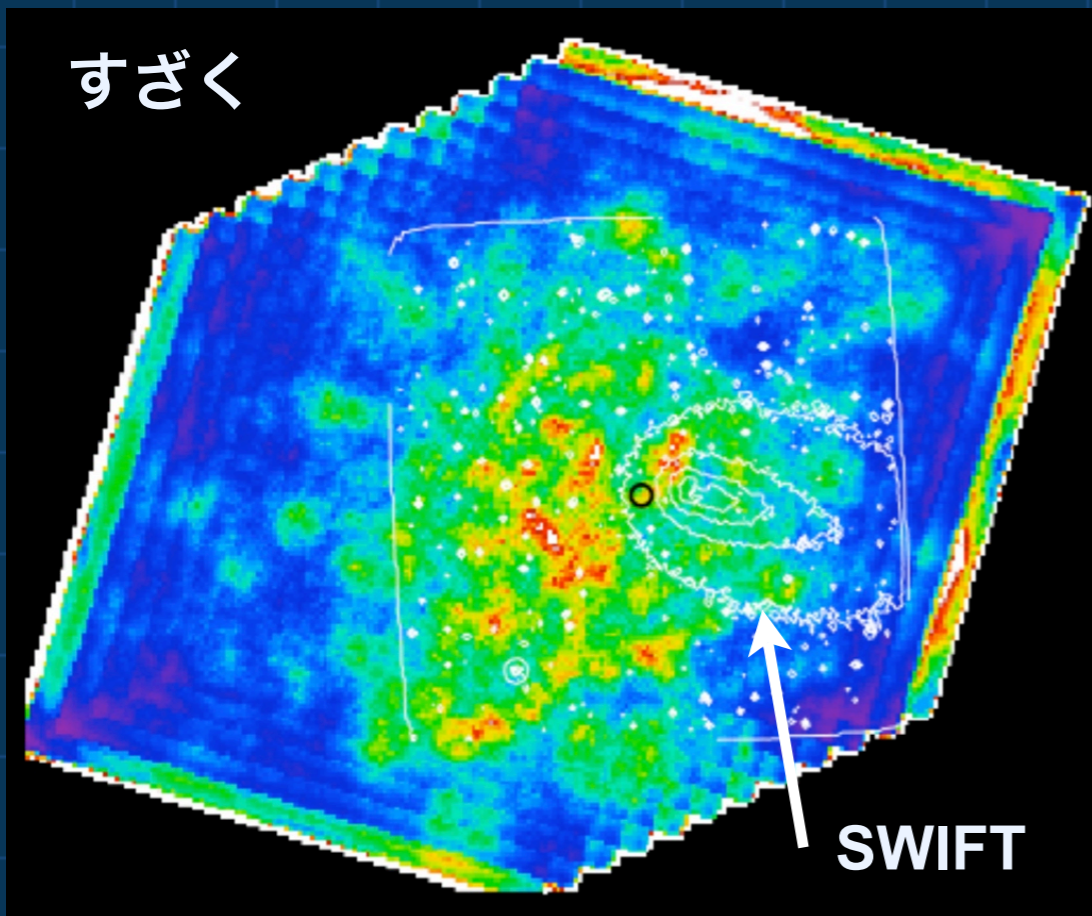


時間

# まとめ

- すざく衛星が観測した、特定の明るいX線天体が存在しない方向からのX線強度変動は、太陽風の高電離した炭素からネオンまでのイオンとジオコロナの電荷交換反応による輝線の強度変動であった。
- 約10分の速い時間変動は、衛星の軌道運動によるもので、太陽風の重イオンが、1.6地球半径まで入り込んでいることを強く示唆する。
- 対応する陽子フラックス増加が地球の朝側のDMSP衛星で観測された。
- 観測されたX線輝線強度は、DMSP衛星とACE衛星のイオンデータを用いたモデル計算に比べて5倍程度強い。
- この地球磁気圏からの放射に加えて、太陽圏全体がX線輝線で輝いている可能性があり、それを捉えるための長期データの解析を行っている。

# Comet 73P/Schwassmann-Wachmann 3



Porter et al. 2007