

# 大気光 5 各例編

ver21may22

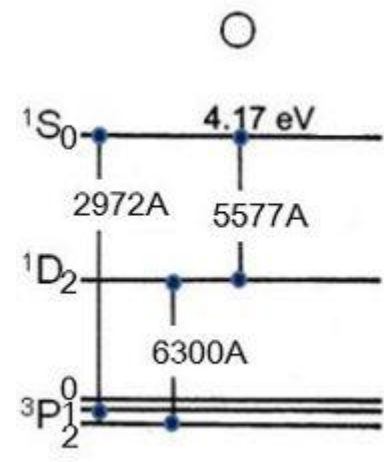
## 話題いろいろ

- ・金星G線557.7nmの謎(G線がない！)
- ・金星EUV大気光(奈良論文)
- ・月・水星Na大気光(亀田D論)
- ・惑星間Heグロー(山崎D論)・プラズマ圏He<sup>+</sup>グロー
- ・地球オーロラ……未だに謎多
- ・木星L $\alpha$ オーロラ
- ・イオFP(foot print 足跡)・イオトーラス(足田論文)
- ・火星になぜかオーロラ
- ・地球OH帯大気光と回転温度
- ・地球SAR(sub auroral red)アーク
- ・地球Mg<sup>+</sup>280 nm大気光
  
- ・土星・天王星・海王星にも大気光・オーロラ

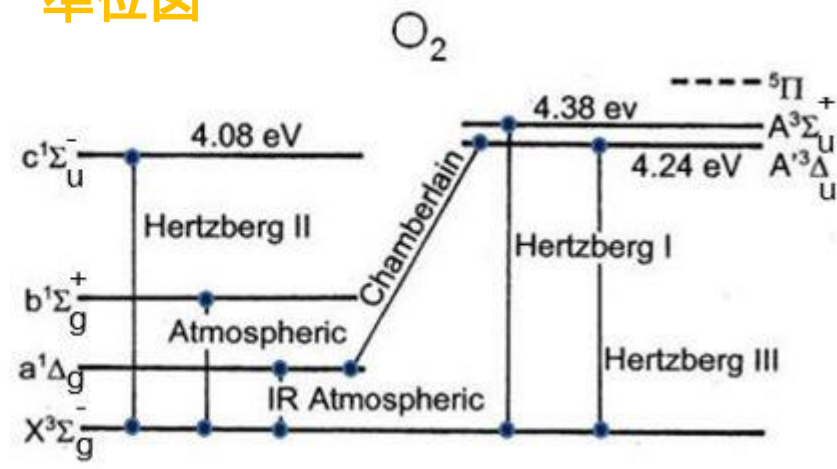
ベネラ9 (1975)による金星夜大気光スペクトル Herzberg II 帯ばかりで G線(557.7nm)がない！ しかも(0, v'')ばかりなぜ？

CO<sub>2</sub>大気による脱励起によるとされている

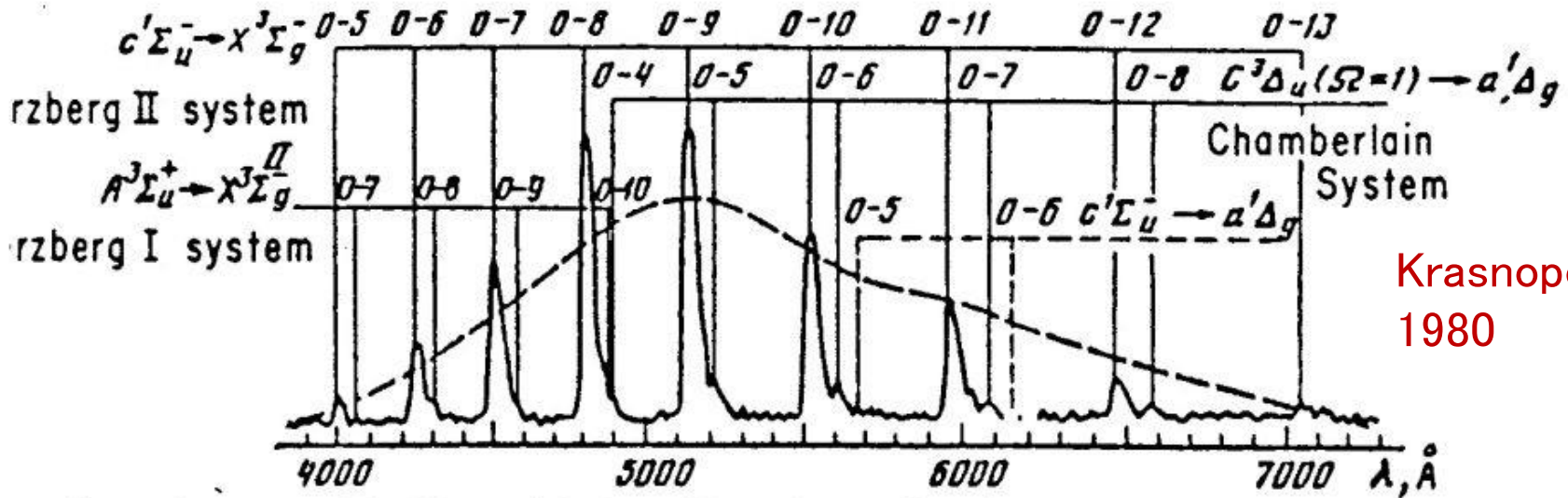
準位図



振動回転構造無



振動・回転構造略



Krasnoporsky 1980

Fig. 1. Spectrum of the Venus nightglow. The positions of the four systems of O<sub>2</sub> bands are indicated. The dashed curve shows the instrument sensitivity as a function of wavelength.

ベネラのスペクトル(1975)を見て、  
大気光屋は「 $O_2(c, \nu' > 1)$ が $O_2^*$ (G線励起中間体)だ」と思った  
(金星では $CO_2$ の強い脱励起で $O_2(c, \nu' > 1)$ は死ぬ)

これで、積年の問題(G線励起過程)も解決・・・と  
いきたかったのだが

その後、2度にわたって混ぜっ返しがくる

1.  $O_2(^5I)$ が $O_2^*$ だ (Wright, 1982)
2. G線みえた (Slanger, 2001)

## 金星・地球夜間大気光の強度比較

IRA(0,0)とHz II (0, v'')がやけに強い → O<sub>2</sub>(c, v' > 1)が中間体？  
金星でsinglet系がtriplet系より強い理由が不明

ID	準位	放射寿命(s)	大気光強度(R)	
			地球	金星
557.7nm(G線)	<sup>1</sup> S	0.9	100	<10
Hertzberg I	A <sup>3</sup> Σ	0.2	500	140
Chamberlain	A' <sup>3</sup> Δ	15	200	200
Hertzberg II	c <sup>1</sup> Σ	40	120	2700
Atmospheric	b <sup>1</sup> Σ	10	6K	<200
IR Atmospheric	a <sup>1</sup> Δ	4000	100K	1M

# 無かったはずのG線検出

G線150 R、R線20 R以下、Hz II帯 720 R  
オーロラではないらしい (Slanger 2001)

## 金星G線・・・なぜ大変動？

HzII帯は変化小なのに  
励起に2過程？

動かないのが  
地球成分



followed by

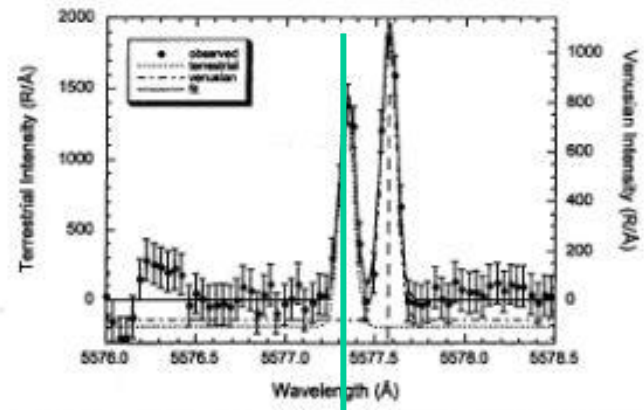


and dissociative recombination

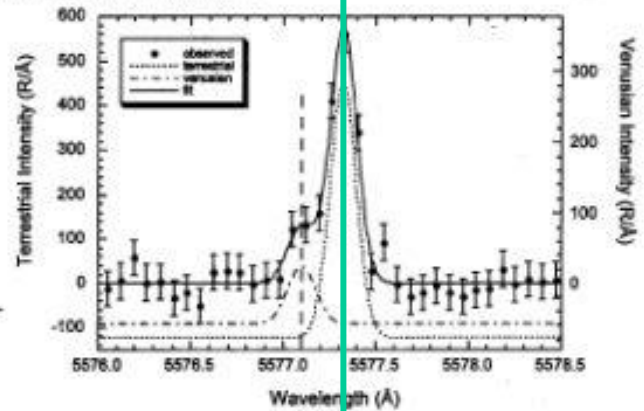


- (1)は5eV(解離)必要で変動小
- (2)は13.8eV(電離)必要で変動大

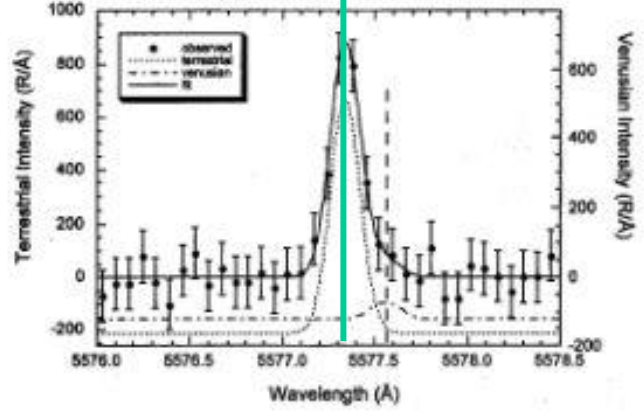
金星ではCO<sub>2</sub>脱励起のため(1)は働かず  
(2)のみがG線を励起すると考えると  
理解できる



een line taken on the nightside of Venus at its limb by Keck/HIRES on 20 November 1999. The the solid line gives the fit to two Gaussian peaks. The individual terrestrial and Doppler-shifted intensity scales because the observed terrestrial green line intensity is a function of terrestrial air e referenced to their zenith intensities.



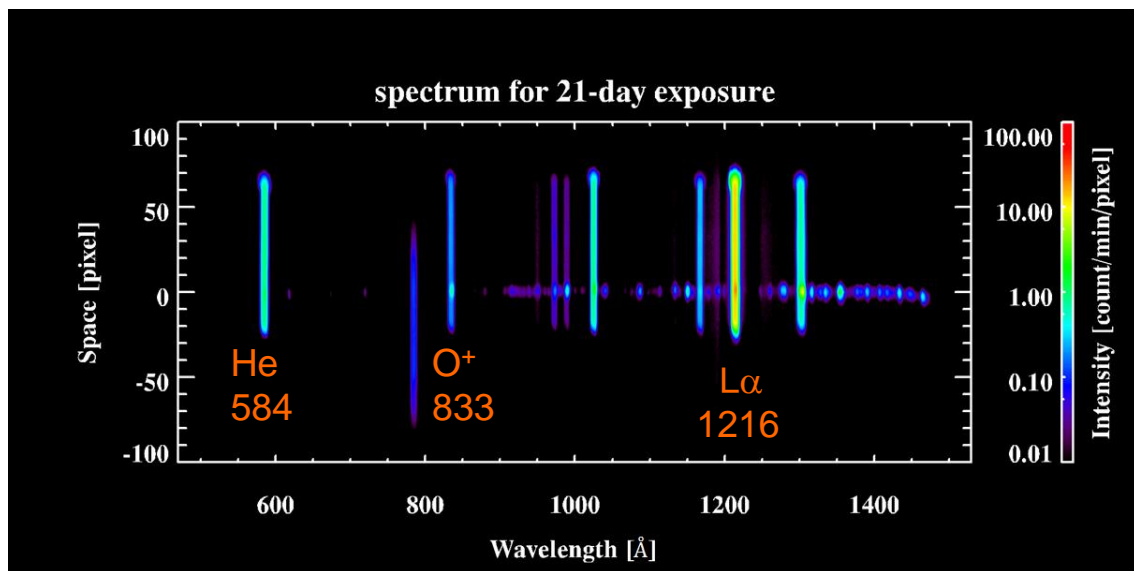
een line taken on the nightside of Venus by APO/ARCES on 5 February 2001. The solid points r gives the fit to two Gaussian peaks. The individual terrestrial and Doppler-shifted venusian co i two co-added spectra.



# ひさきによる 金星EUV大気光 分光撮像例

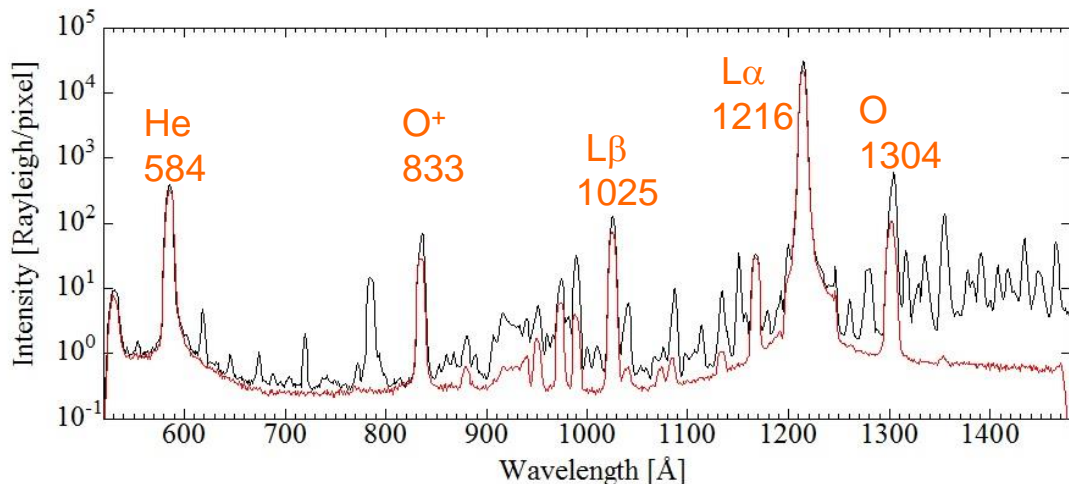
横軸波長・縦軸空間

地球軌道のため地球コロナ線  
( $L\alpha$  1216Åなど)混入多数  
( $y=-20$ から $+70$ )  $y = 0$ 付近が  
金星ディスクの大気光。  
(奈良他 2018)



21日積分スペクトル

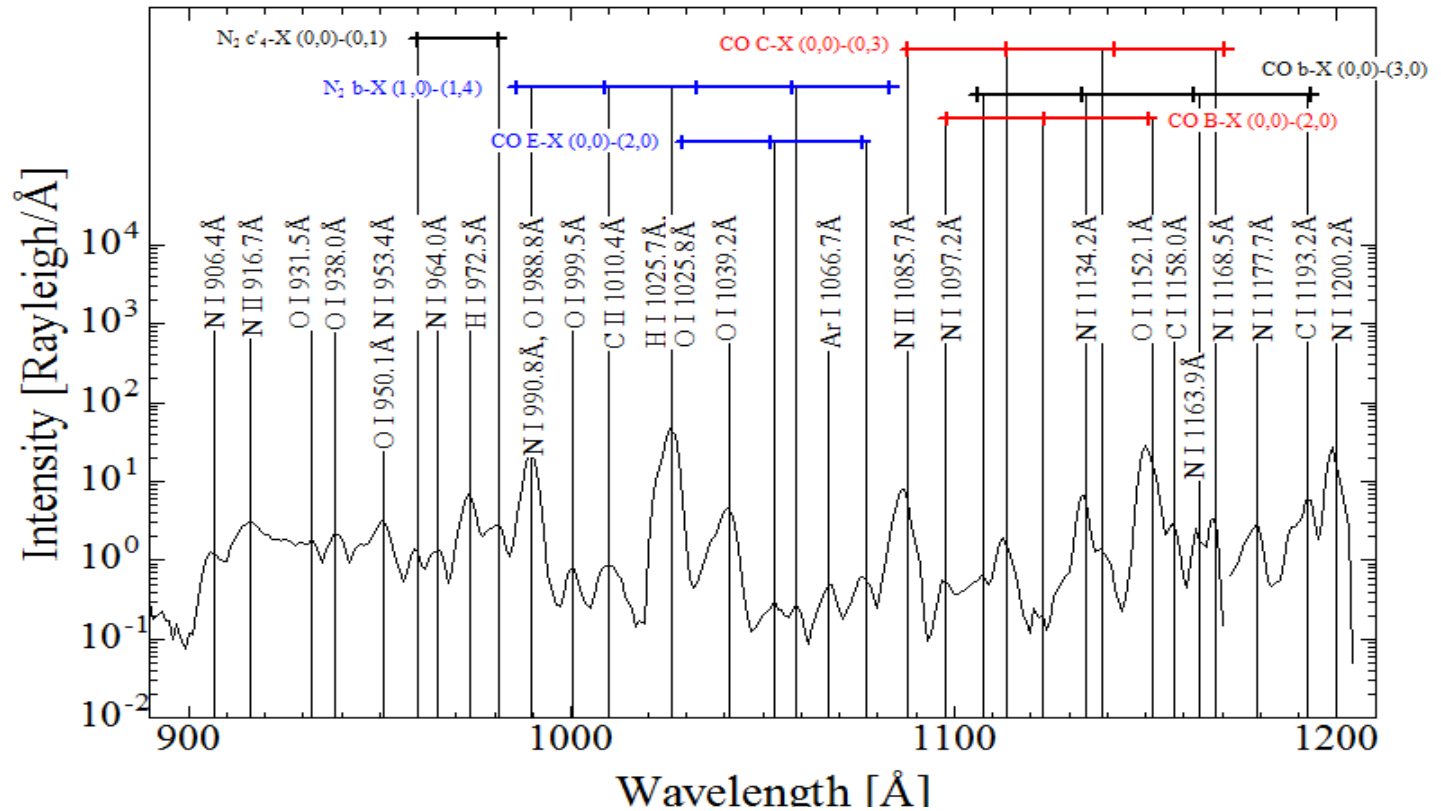
和(黒) = 地球コロナ(赤) + 金星  
地球コロナ線の中の地味なのが金星線  
主にN<sub>2</sub>とCOの分子帯



分子帯がN<sub>2</sub>とCOばかりなのは高解離ポテンシャル(9.8eV、11.1eV)によるらしい  
 (CO<sub>2</sub>などは5eV) S, Clや高次イオン(太陽風)がもしかして・・・と思ったがなかった  
 (奈良 他 2018)

ひさきスペクトルで  
 分子帯同定  
 振動帯はほぼ  
 同間隔で現れる

分光知識編末に  
 同定用  
 データベース例



金星大気光正味成分(900-1200Å)

世界初同定分子帯は

CO Hopfield-Birge (B  $^1\Sigma^+ - X ^1\Sigma^+$ ) (1, 0) 帯

別のCO Hopfield-Birge (C  $^1\Sigma^+ - X ^1\Sigma^+$ ) (0, 1) and (0, 2) 帯

N<sub>2</sub> Birge-Hopfield (b  $^1\Pi_u - X ^1\Sigma_g^+$ ) (1, 3) 帯

the Carroll-Yoshino (c'<sub>4</sub>  $^1\Sigma_u^+ - X ^1\Sigma_g^+$ ) (0, 0) and (0, 1) 帯

# 水星・月のNa大気光

## 地上観測で発見(1985)

Naコラム  $8 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}$ ...地球の1000倍

地表密度  $1.5 \times 10^5 \text{cm}^{-3}$ ...主成分

ふた昔前無大気、ひと昔前Heと言われてきた

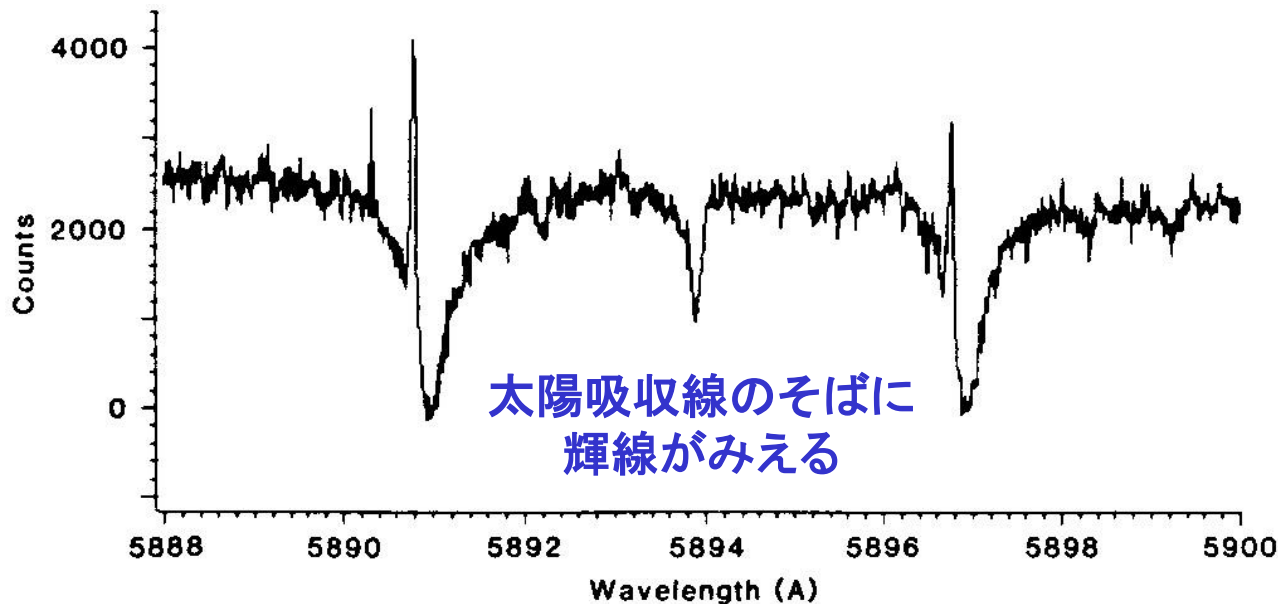


Fig. 1. Spectrum of Mercury in the sodium D line region taken at 2020 UT (3 January 1985).

(Potter & Morgan 1985)



# 水星Na大気光

D線589.0/589.6nm

光圧に吹き流されるNa  
光解離寿命3時間

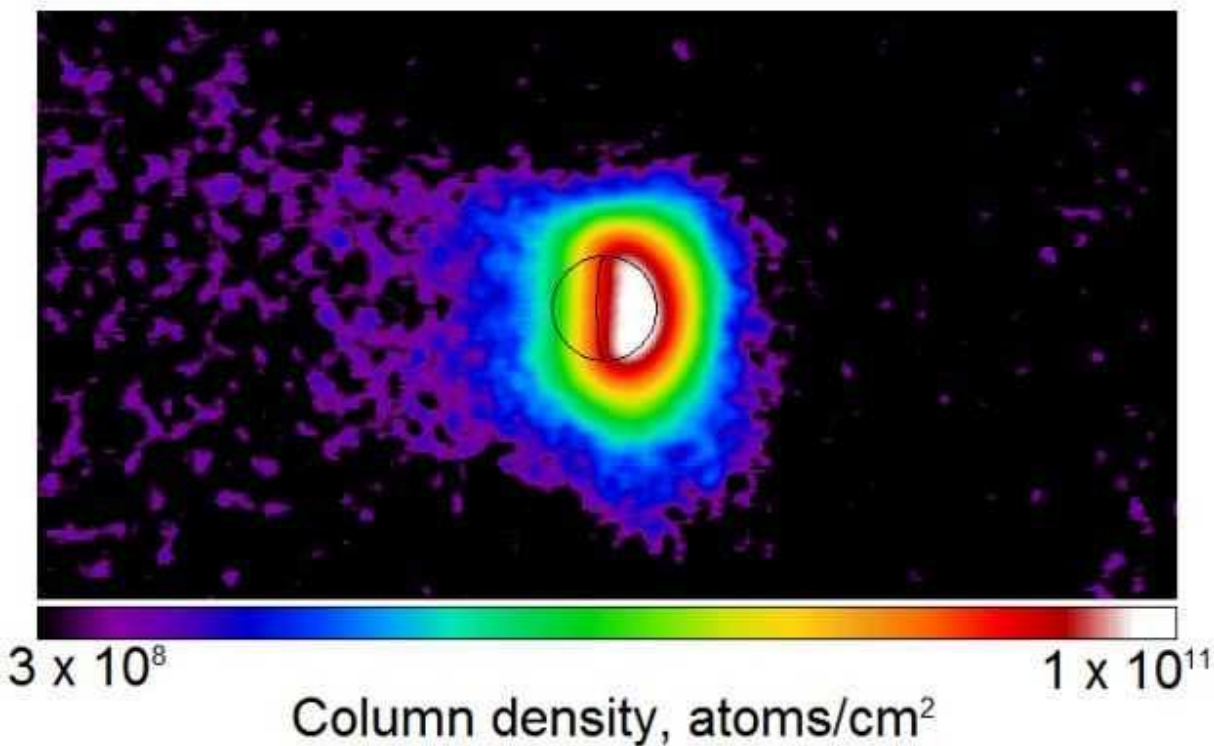
Na生成については

1980年代から延々議論

1. 太陽UV 2. 太陽風粒子 3. 流星

亀田D論で UVに決まりと思うが・・・

「表土中のNaが太陽UVに炙られて放出され  
夜には大部分回収されて表土へ戻る」と  
されている



(亀田D論)

図7 2006年6月14日に得られたナトリウム密度分布

# 月Na大気光

コロナグラフによる

月Na大気光検出

40cm f/8

589.0/0.3 nm

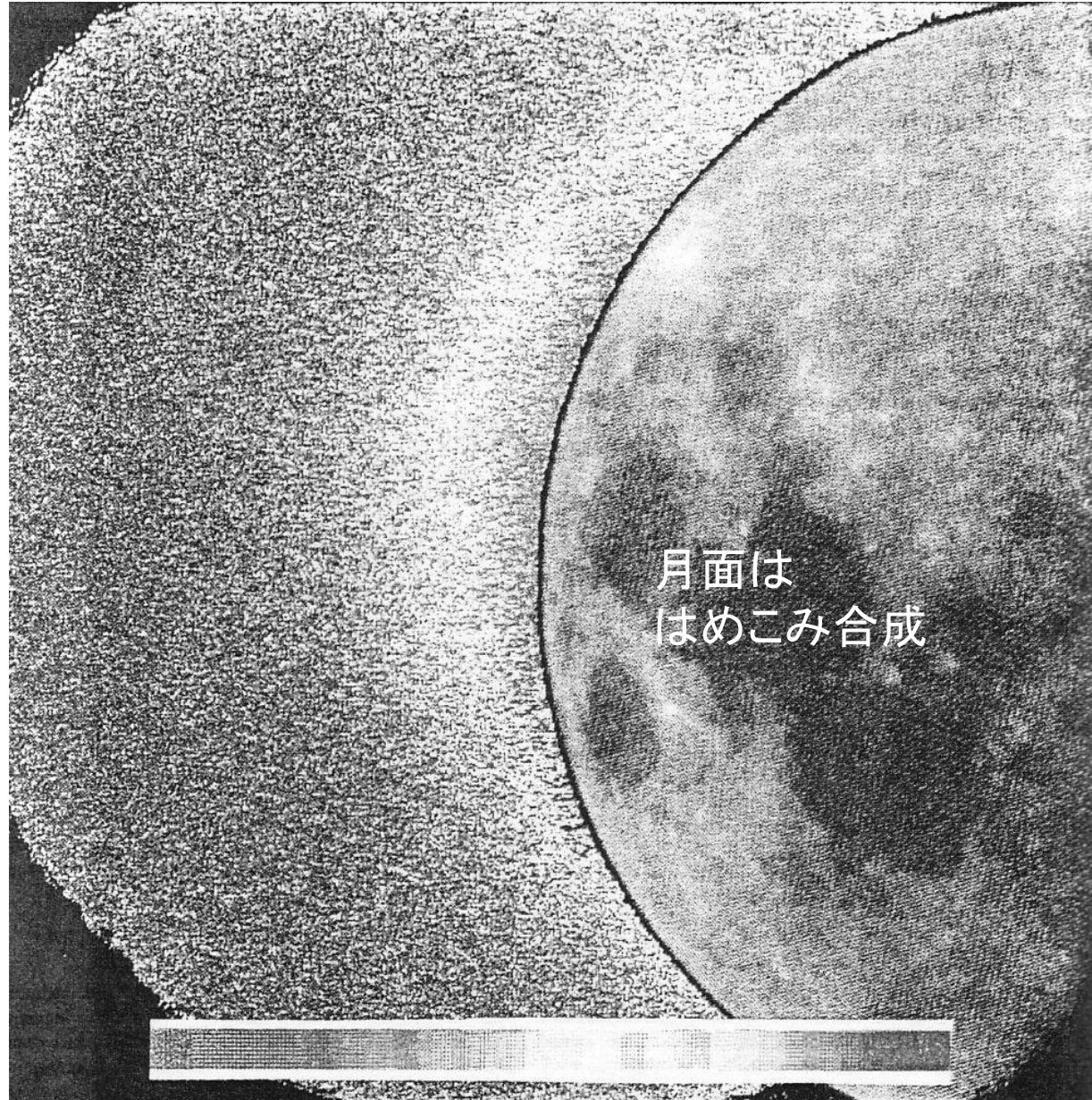
586.0/5.0 nm で差分

数kR・・・水星の1/1000

水星にあるなら  
ひょっとして月にも？と  
捜したらあった

まさか20世紀も  
後半になって  
可視の真ん中で  
発見とは驚いた

(Potter & Morgan 1998)

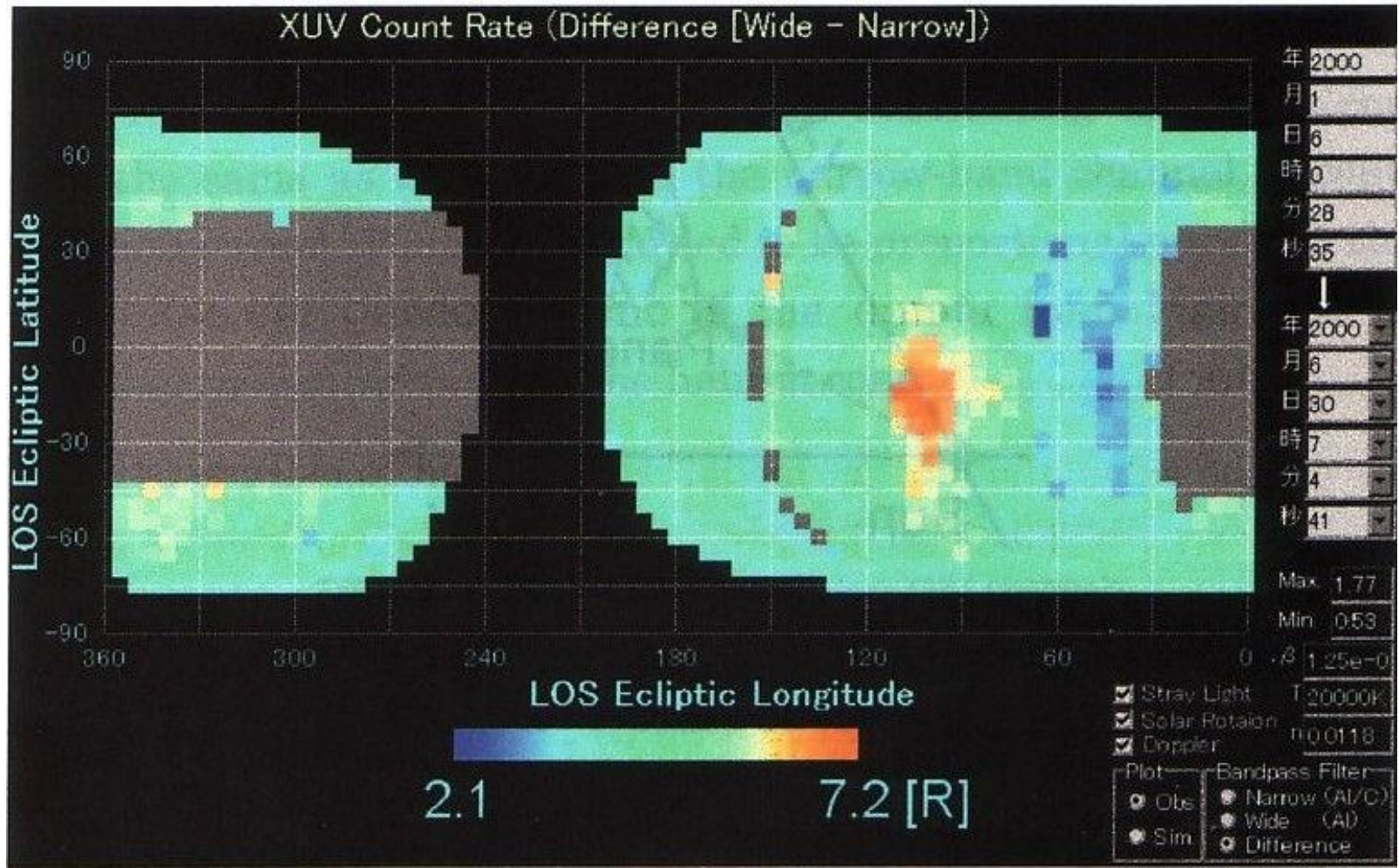


# 惑星間Heグロー

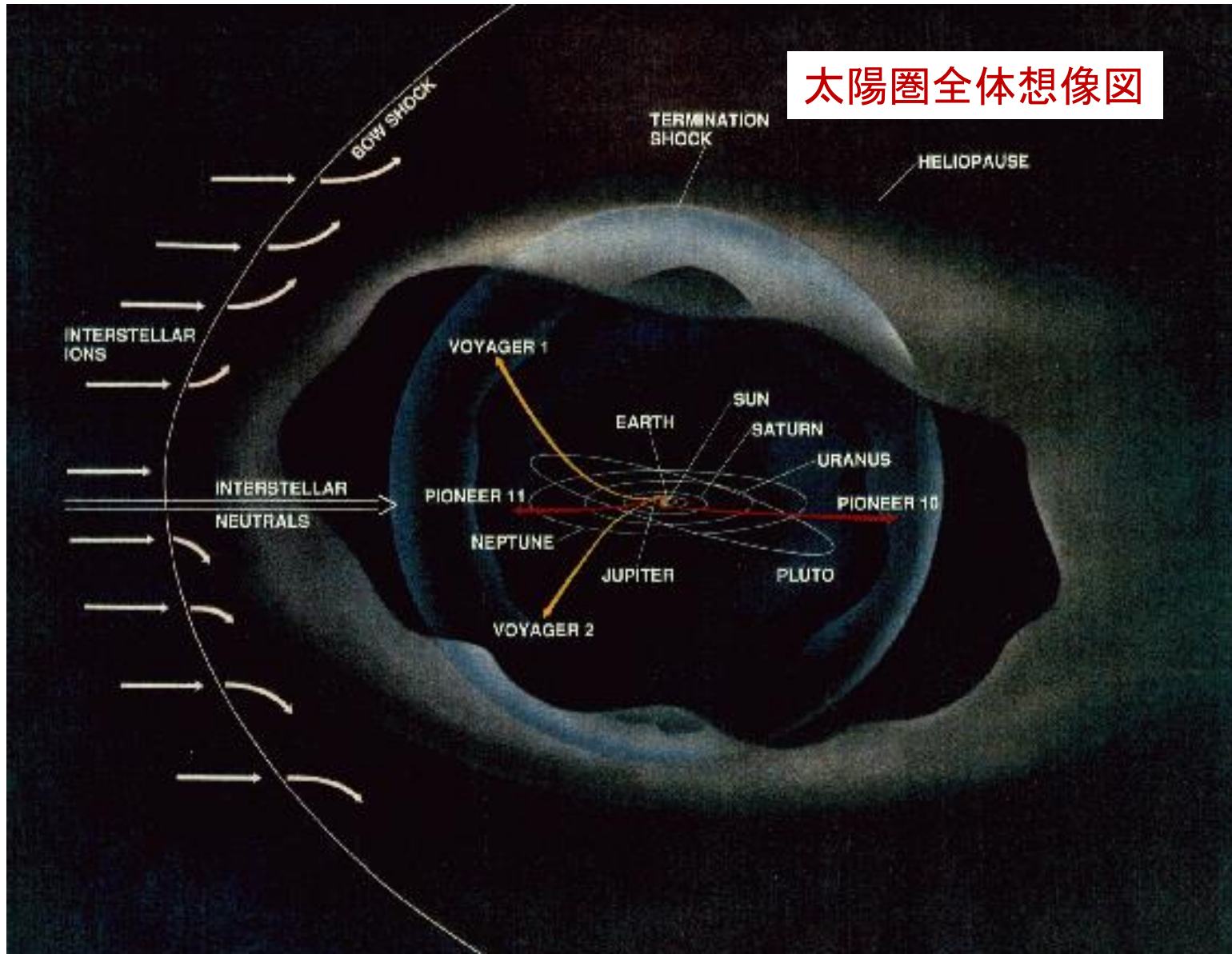
太陽圏に侵入した星間風Heが太陽UVを共鳴散乱

惑星間 He 58.4nm グロー観測例 (山崎D論)

侵入Heの収束点方向(太陽の裏側)が明るい



100AUくらいに太陽系の果heliopause(太陽圏界面:銀河磁場=太陽風動圧)  
太陽風失速点termination shock(終端ショック:太陽風亜音速化)があるはず  
Voyager1・2(1977打上)ほとんど脱出?



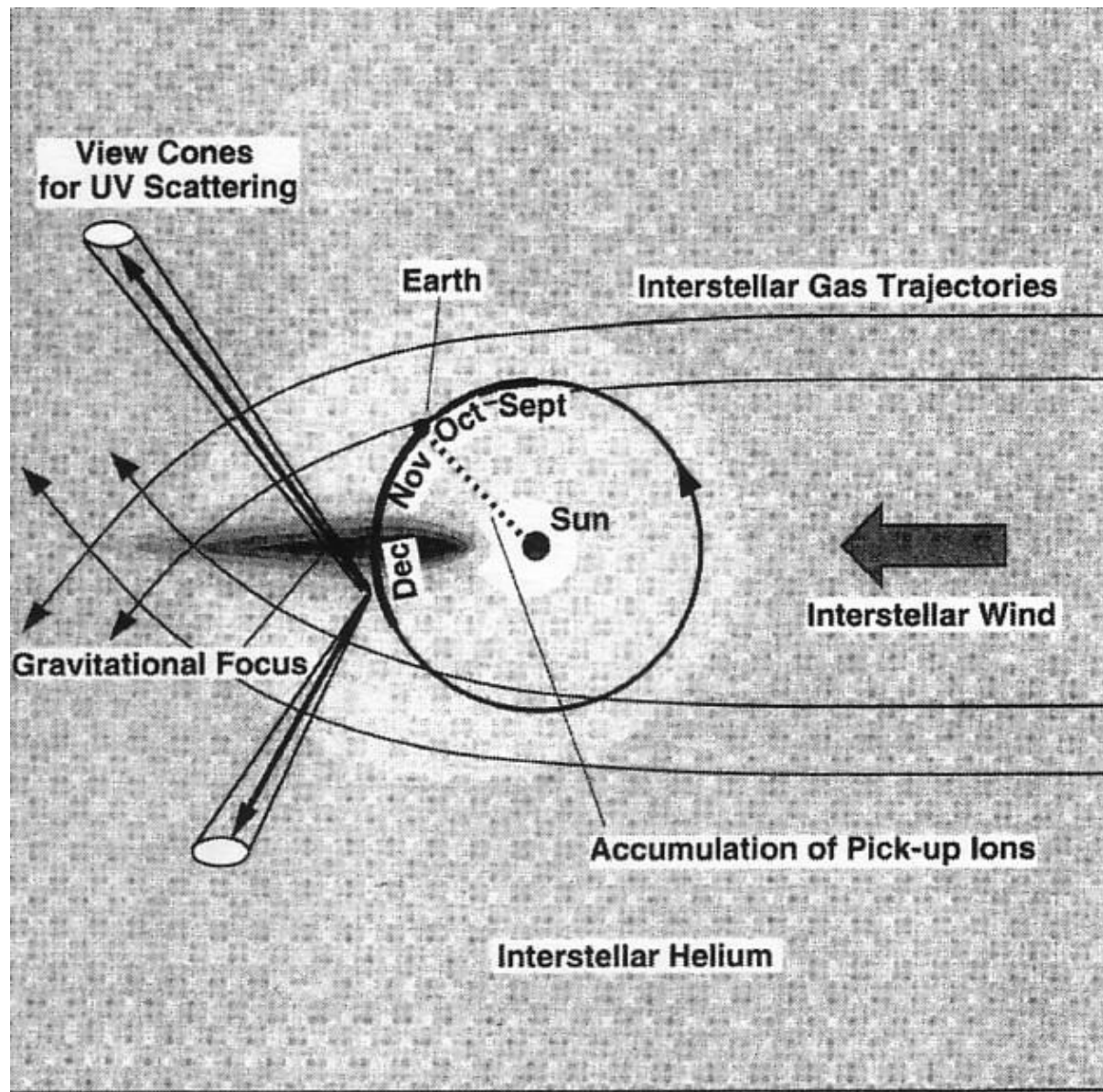
恒星間風の荷電粒子は侵入できないが  
中性粒子は入ってくる

## これは地球近傍図

水素原子は収束せず  
(重力 $\sim$ 光圧)だが

ヘリウムは風下に収束  
(重力 $\gg$ 光圧)して  
明斑が見える

太陽系運動や  
恒星間物質の情報が  
得られる



# プラズマ圏He<sup>+</sup>グロー

(閉地球磁場内の濃プラズマが光る)

## IMAGE/EUVによる撮像

磁気圏やオーロラの探査を目的として、  
2000年にNASAが打ち上げた極軌道衛星

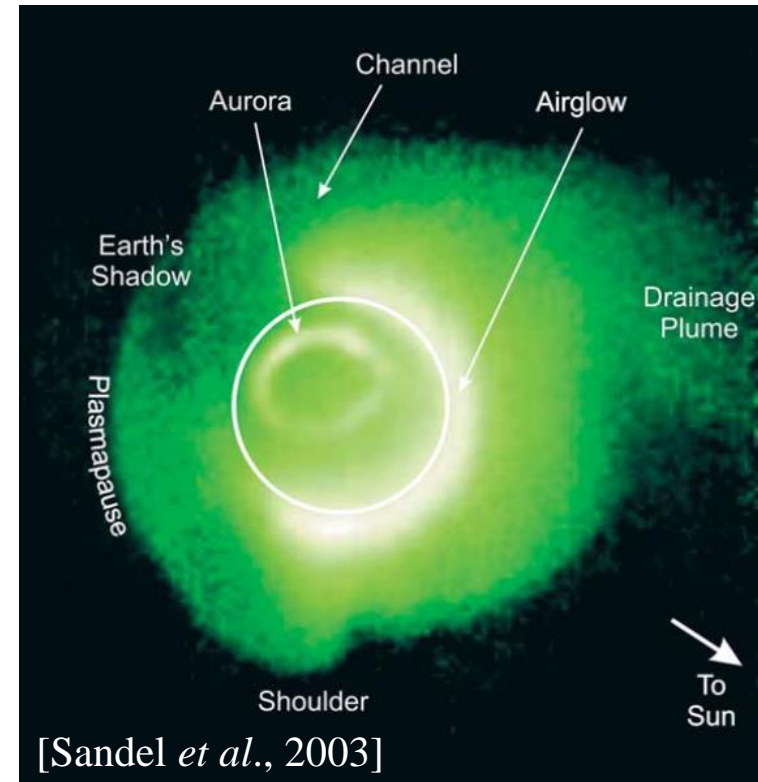
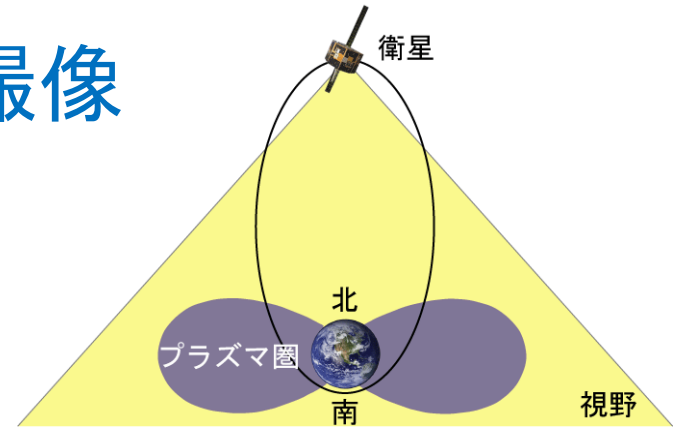
### EUV撮像

He<sup>+</sup>共鳴散乱光(波長30.4nm)をプラズマ圏全体が視野に入るように遠地点付近から撮像

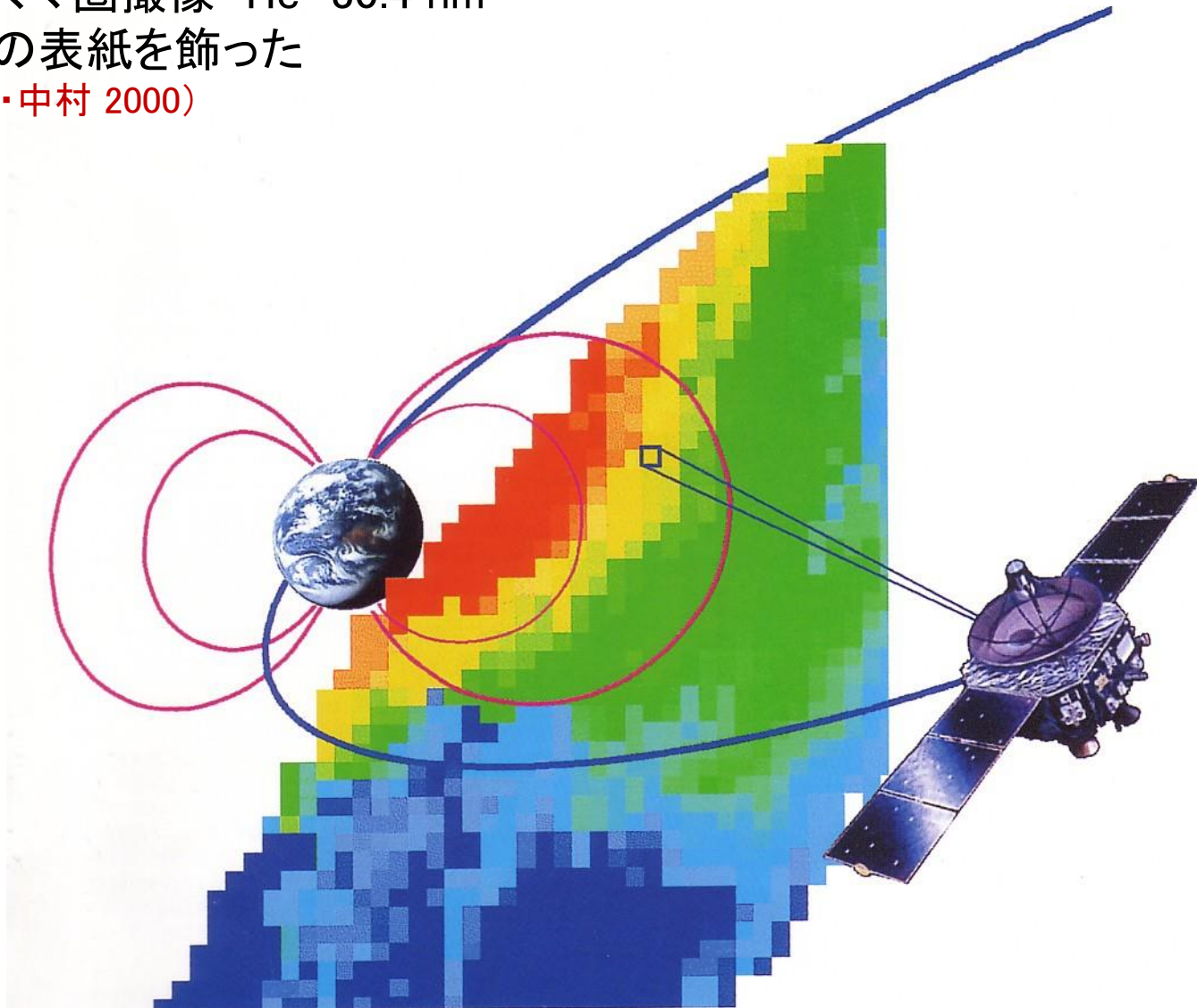
時間分解能 10分

空間分解能 0.1RE

⇒ プラズマ圏の時間変動と空間変動をグローバルに捉えた



火星探査機「のぞみ」による  
プラズマ圏撮像  $\text{He}^+$  30.4 nm  
GRLの表紙を飾った  
(吉川・中村 2000)



# 地球のオーロラ

未だに解けない謎： 加速(どうやって?)・形(なぜ薄くてヒラヒラ)





## 地球オーロラ: 私見では3種ある(?)

### 1. 定常オーロラ

太陽風からの定常的エネルギー流入  
(MHD発電)を電離圏で消費

### 2. オーロラ嵐: 1回/3夜くらい起きる

磁気圏尾部にエネルギー蓄積  
再結合で開放...途中で加速必要

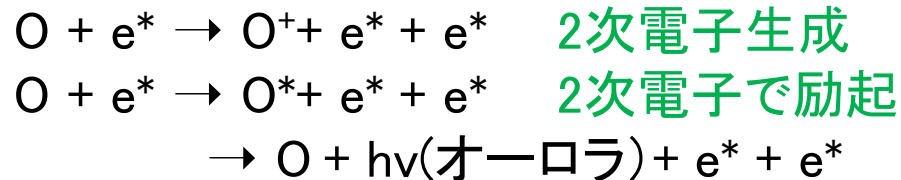
### 3. 地球嵐: 太陽フレアからプラズマ津波

磁気圏全体擾乱...中緯度まで赤いオーロラ  
10年に数回 宇宙天気予報可能

ここで  
もう一度ISSムービー  
トロムゾムービー

オーロラの代表線は557.7nmG線・630nmR線だが  
直接励起  $O + e^* \rightarrow O^*$  は少ない  
(エネルギーが違いすぎると非効率)  
(インピーダンスマッチングと同じ)

電離・解離でできた2次電子(1次より低エネルギー)が効く



ISS(国際宇宙ステーション)ムービー(25倍速)

オーロラと夜間大気光層(557.7nmG線・589nmD線)がみえている




トロンゾ全天オーロラムービー(60倍速)

00:18に発光弾 00:24にブレークアップ(オーロラ爆発)

Tromso all-sky camera (NIPR)



2009/01/25  
23:00'12" 

# テレビ(ブラウン管)との類似

電子ビーム主演は同じ

しかし、ブラウン管が減びつつある

電子銃=磁気圏尾部

偏向板=磁気圏電場・磁場

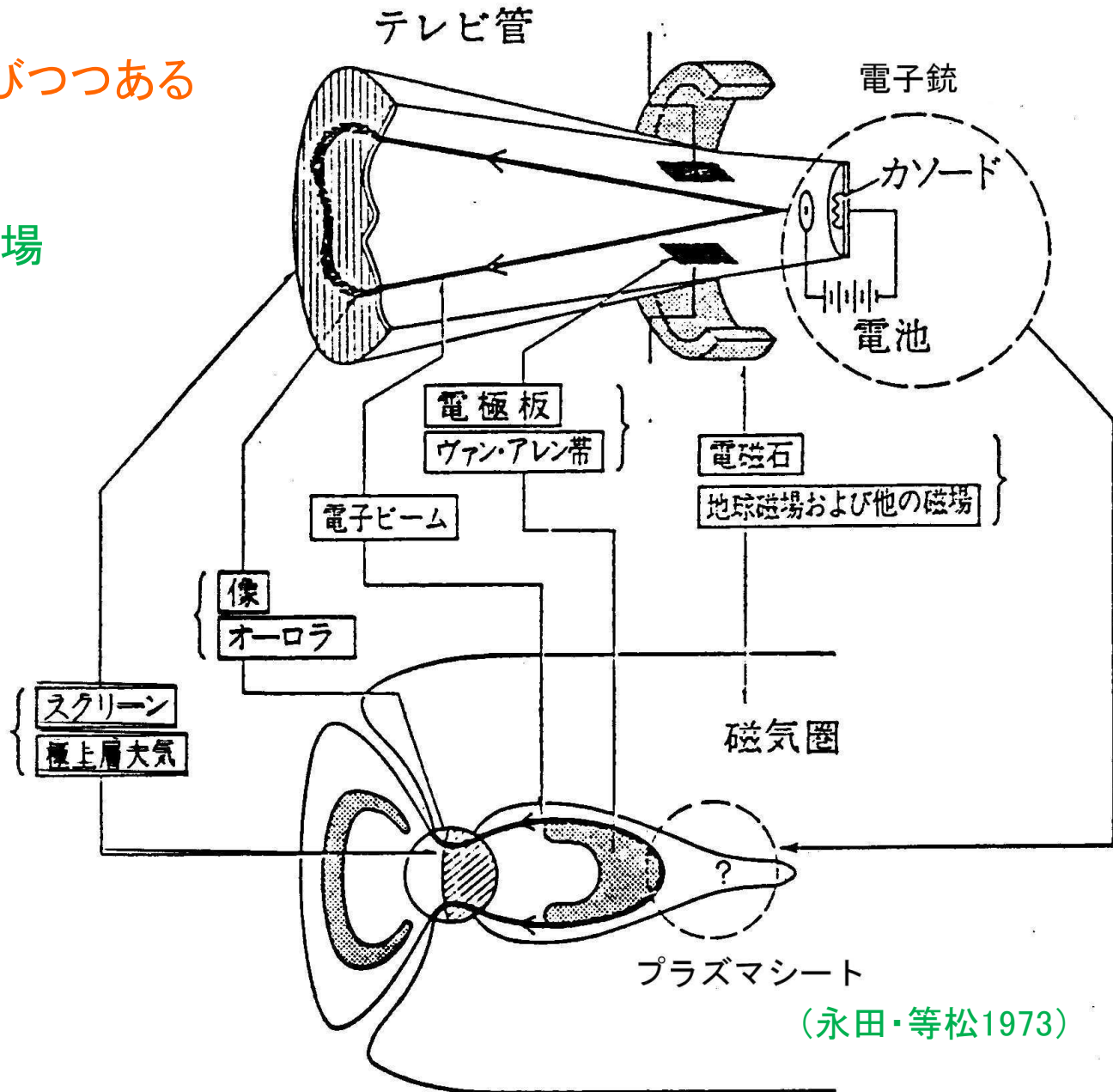
蛍光板=大気

近い(~1万km)

ところに加速域があるらしいが

加速メカ未だ不明瞭

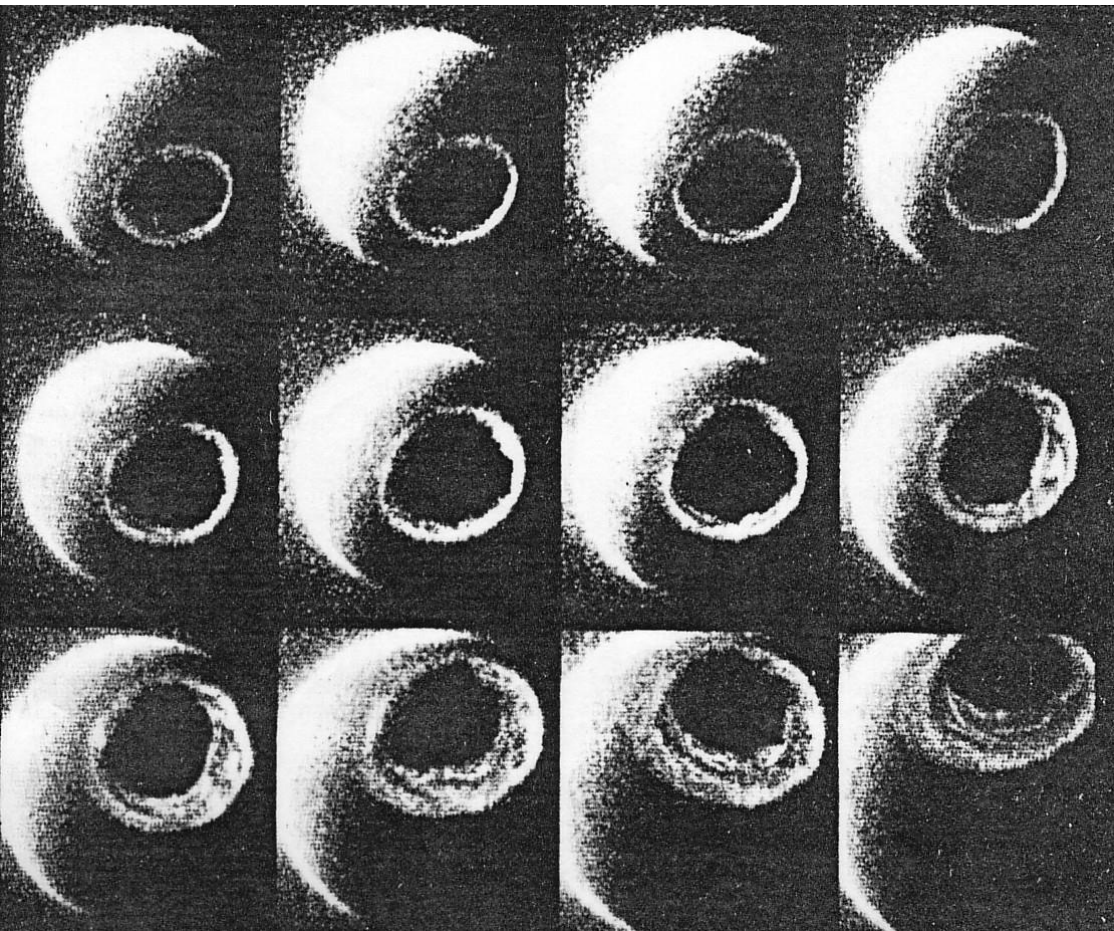
南北共役性がある



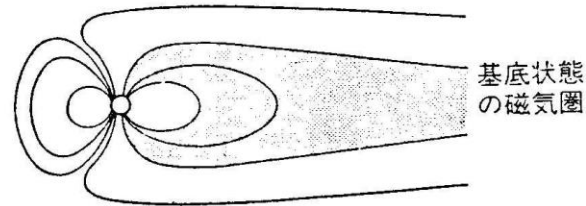
(永田・等松1973)

# オーロラ嵐(substorm)の 基底・励起・爆発・回復

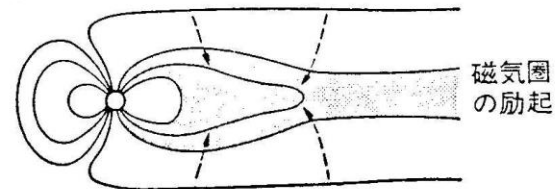
DE衛星による3分毎撮像



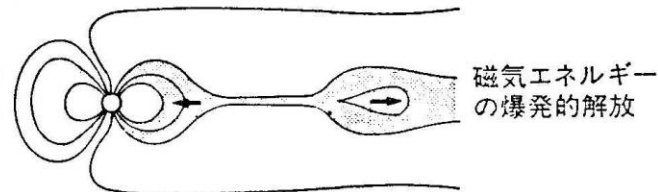
第1段階  
(静穏時)



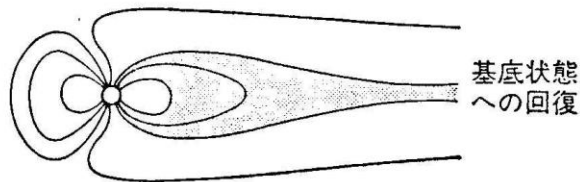
第2段階  
(成長期)



第3段階  
(拡大期)



第4段階  
(回復期)

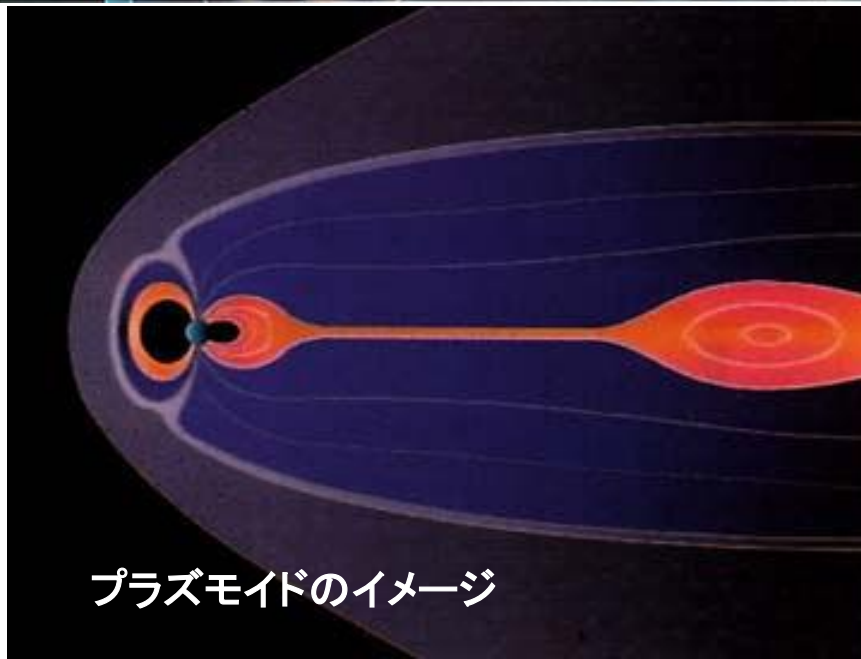
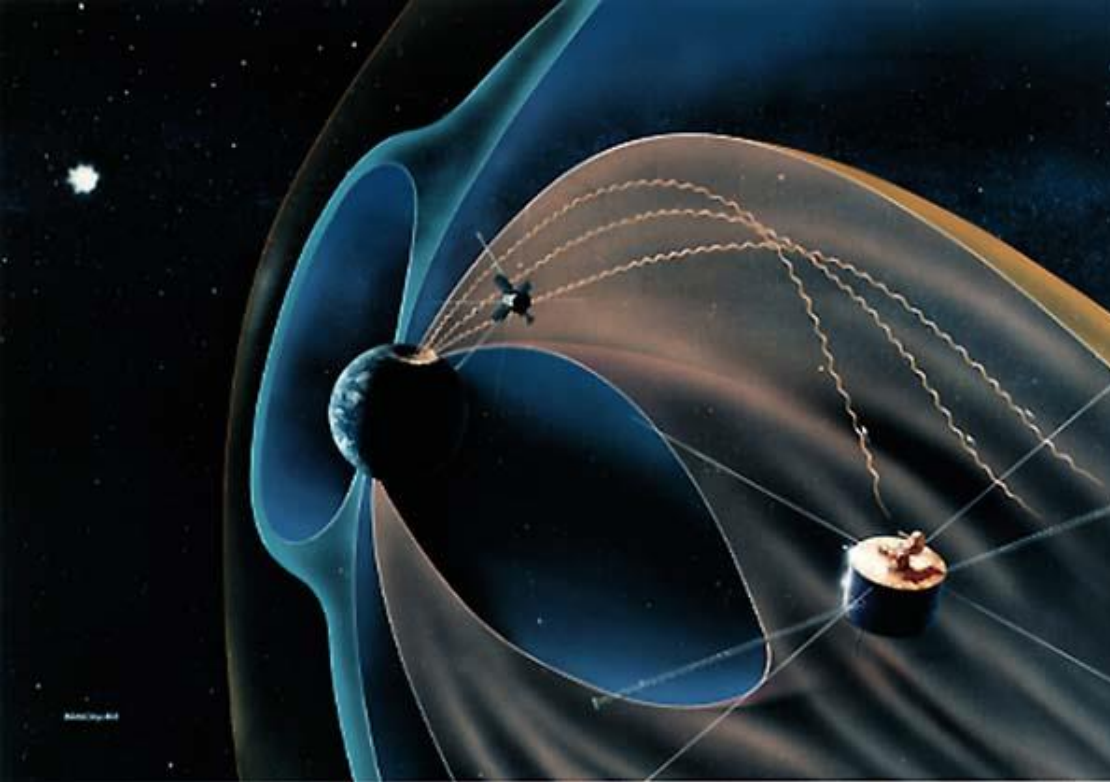


(永田・等松1973)

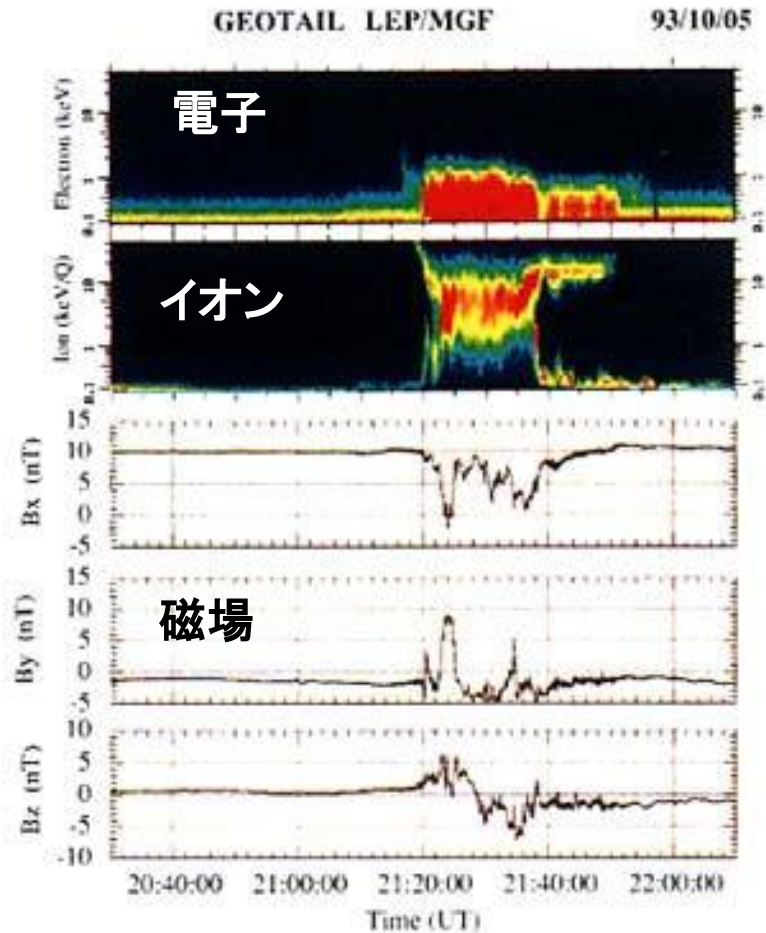
磁気圏サブストームの発達過程

# 地球磁気圏尾部探査衛星 Geotailによるプラズモイド (熱いプラズマの塊)の観測

プラズマモイド通過  
衛星より遥かに速いので定点観測

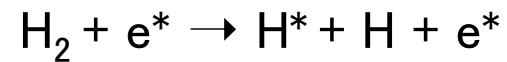


プラズモイドのイメージ



# ハッブル望遠鏡(HST)による 木星オーロラ 紫外(L $\alpha$ )と可視の合成図

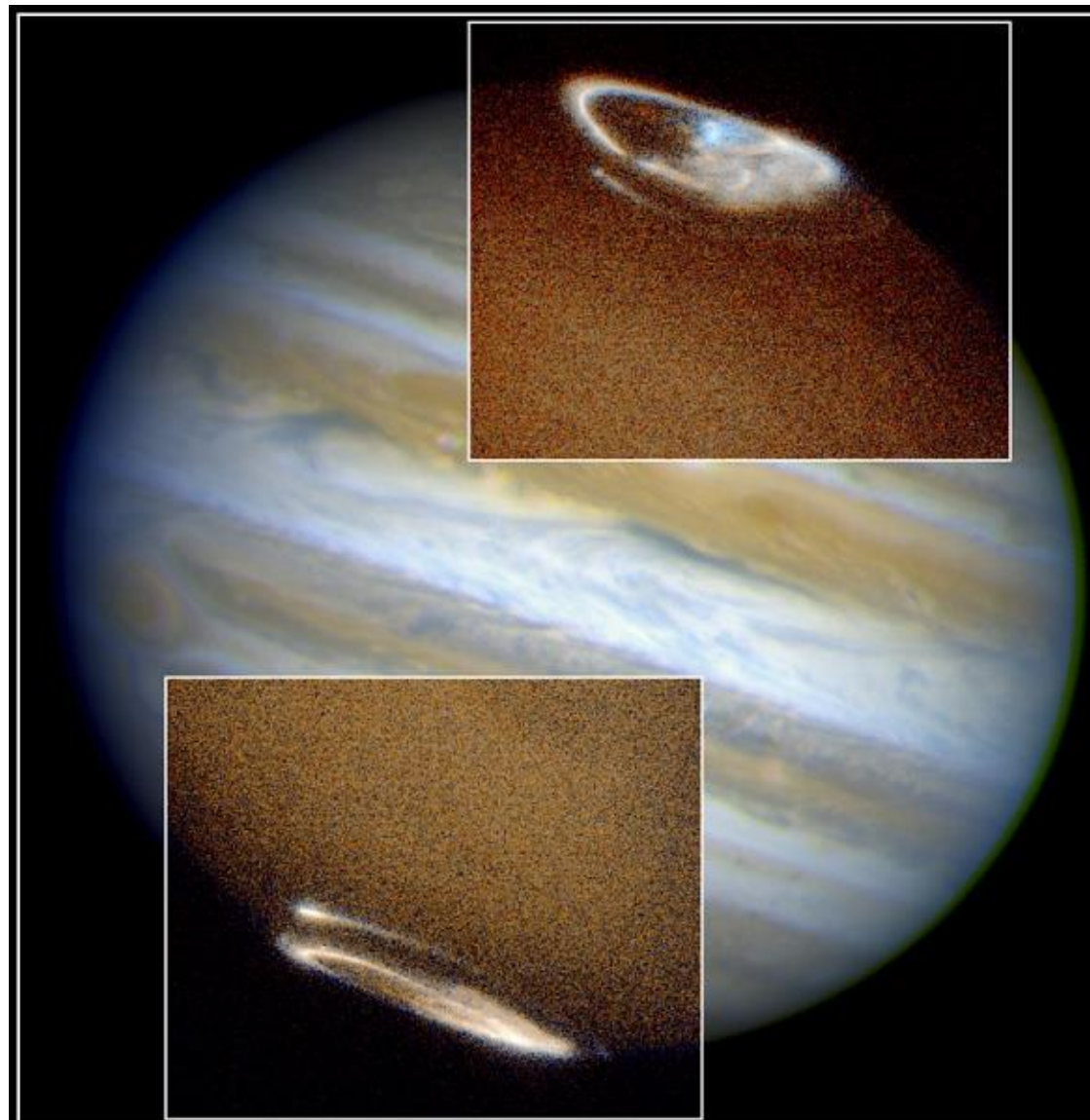
L $\alpha$ 励起



イオFP(足跡)が印象的  
木星磁力線(10時間周期)が  
イオ(5.9R<sub>J</sub> 1.8日周期)を  
追い越し(差56km/s)  
生じた起電力(400kV)が  
磁力線沿いに  
木星電離圏で短絡して  
イオ足跡を生じる(電流3メガA)  
エウロパ・ガニメデにもある

進行方向に吹き流され成分

[HST web site](#)



Jupiter Aurora

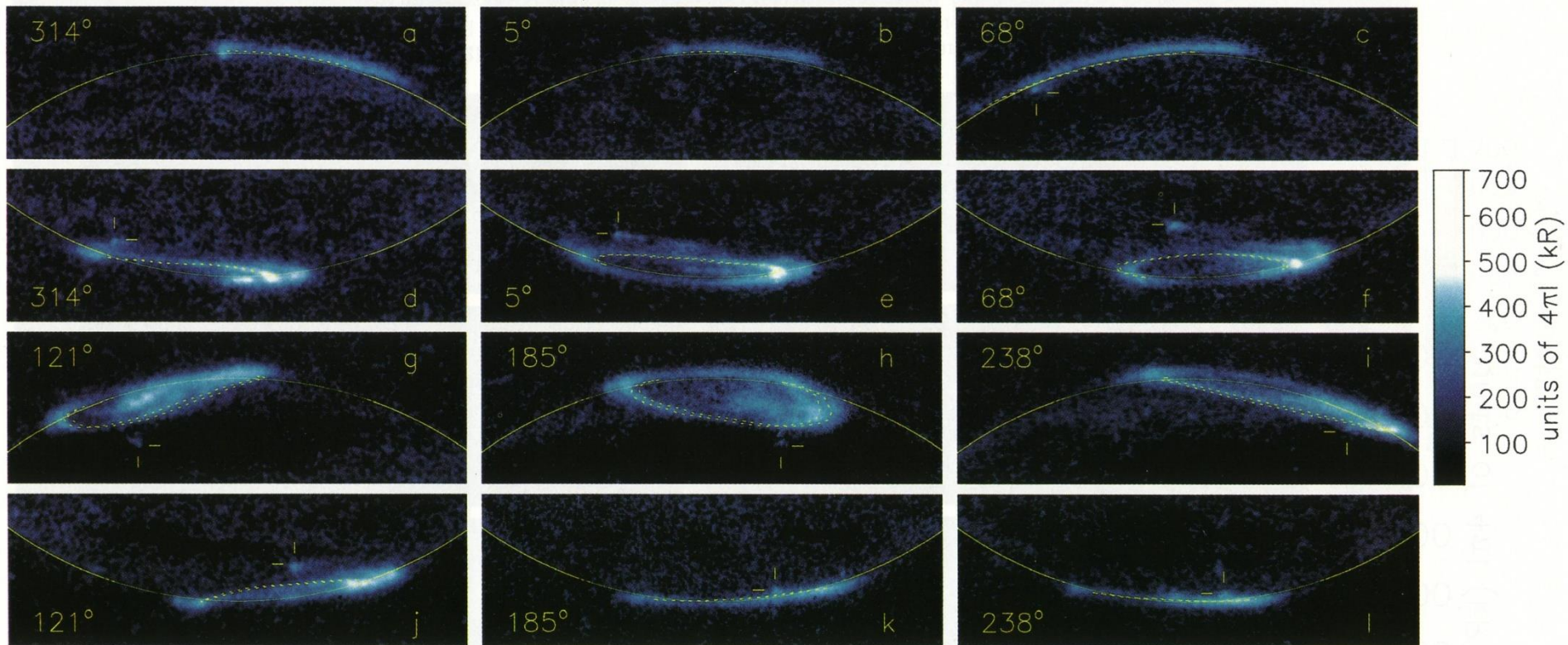
HST • STIS • WFPC

PRC98-04 • ST ScI OPO • January 7, 1998  
J. Clarke (University of Michigan) and NASA



# 共回転する木星南北オーバル

WFPC 2 Jupiter Rotation 24 June 1996



(Clarke et al 1998)

HST広角惑星カメラによるオーロラの1自転分  
太陽風固定でなく本体固定なことがわかる。  
イオ足跡もみえている

## 木星・イオ・プラズマトーラス発光の 分光・空間構造

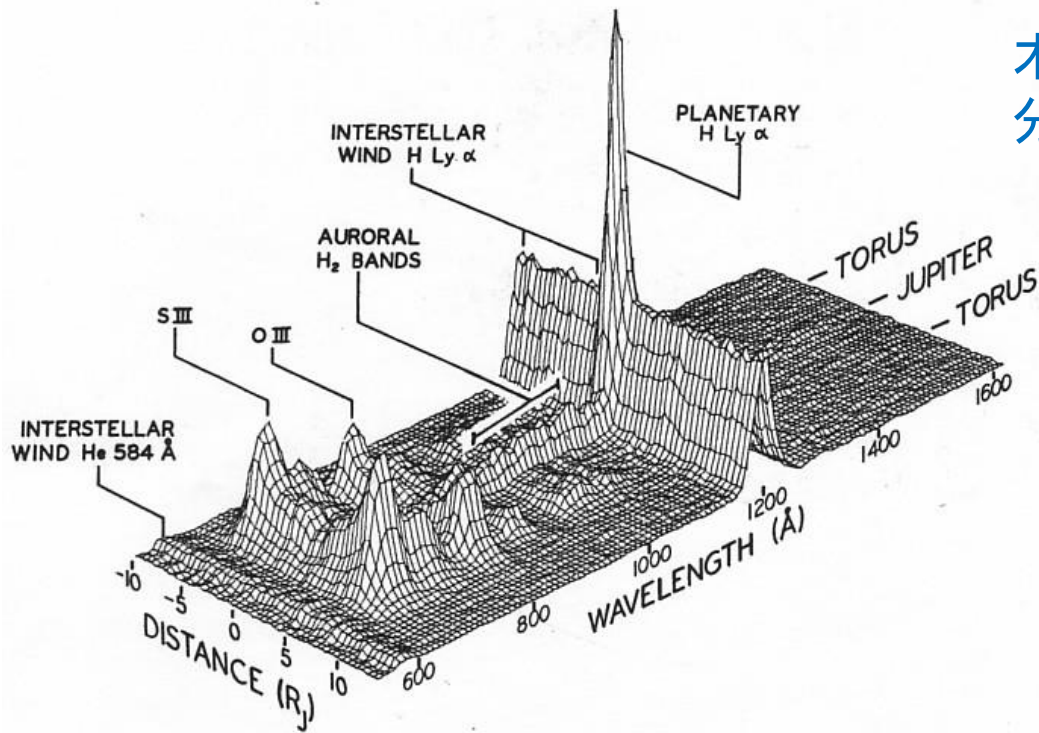


Fig. 6.12 A panorama of ultraviolet spectra of the Jupiter system, viewed from a distance by Voyager 1. Light from Jupiter, the Io torus, and the interplanetary medium can all be seen. [After BROADFOOT *et al.* (1981).]

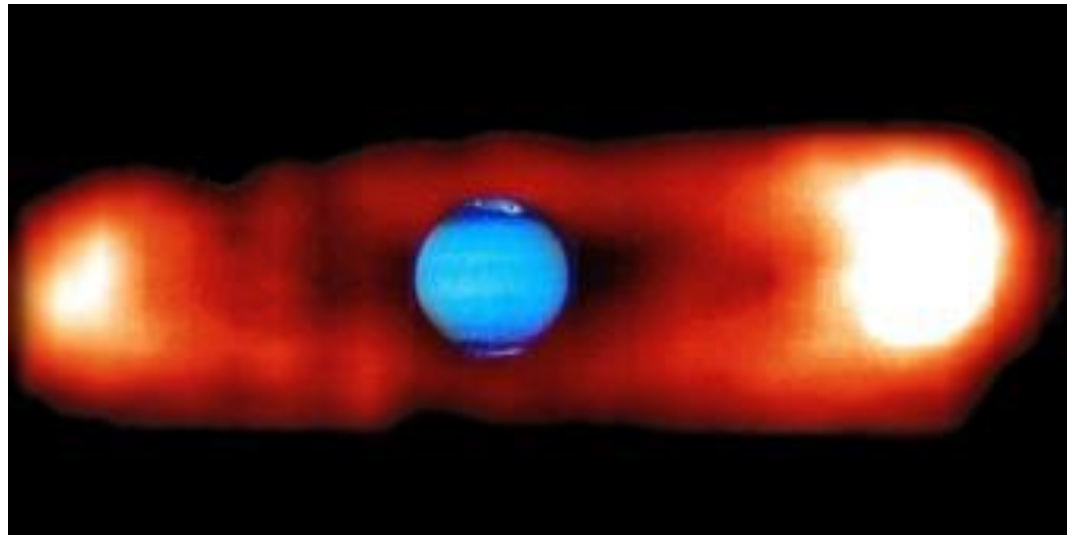
## トーラス(ドーナツ型)発光の成因

イオ軌道は楕円のため  
木星潮汐力が変化する  
イオはレモンのように絞られ  
内部物質が噴出して軌道に撒かれ  
SやNaのトーラスができ  
木星磁気圏の高速粒子が降り込んで  
オーロラのように光る

Cassiniによる

木星・イオ・プラズマトーラス発光と  
HSTによる木星オーロラの合成

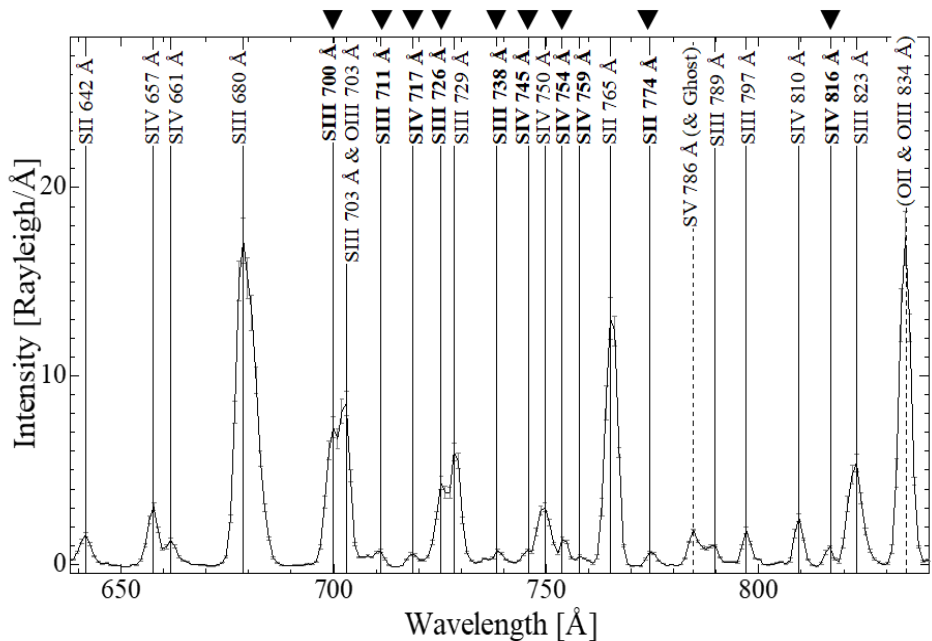
地上からはNaD線589.0-6Åでみえる



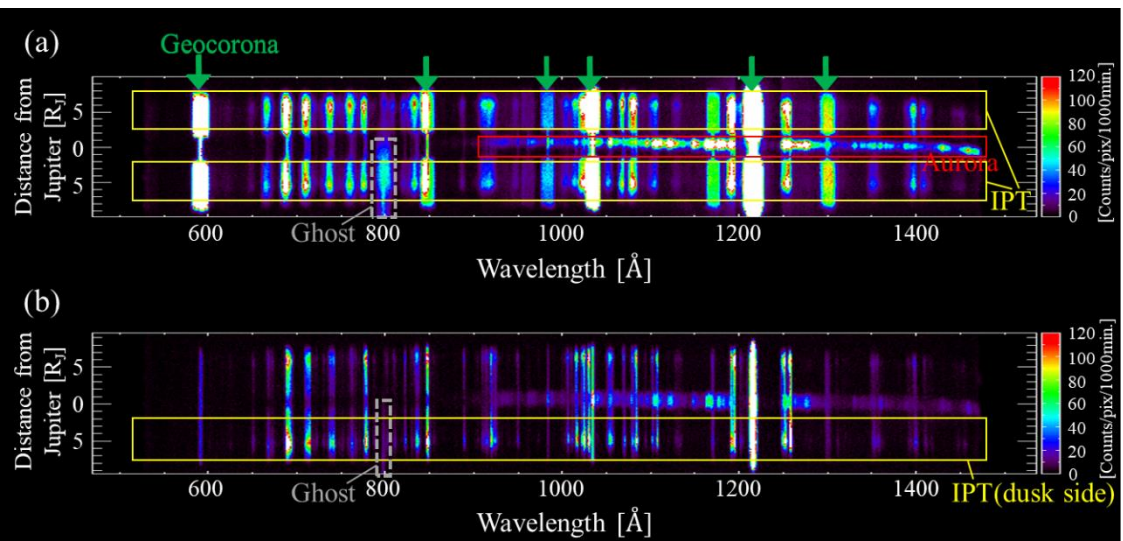
# 木星・イオ・トラス発光

(上) ダンベル・スリットによる46時間積分像。下矢印は地球コロナ線、 $\pm 5R_J$ 付近がトラス線、ゼロ付近がオーロラ線

(下) 10"スリットによる40時間積分像のトラス、オーロラ正味成分  
 $\pm 5R_J$ 付近がトラス線、ゼロ付近がオーロラ線



2-8  $R_J$ のトラススペクトル  
 ▼は世界初同定線  
 ここではSとOのイオンばかり  
 (足田 他 2018)



横軸: 波長  
 縦軸: 空間

# 地球OH帯大気光

近赤外部で放射率がメガRを超え  
 夜空にキラキラ光っている  
 肉眼では見えないが  
 夜間戦闘の光源として  
 軍事価値をもつので注意

## 回転温度から大気温度推定

( $v_{衝突} \gg A_{放出}$  が必要)  
 高温では帯がつぶれる

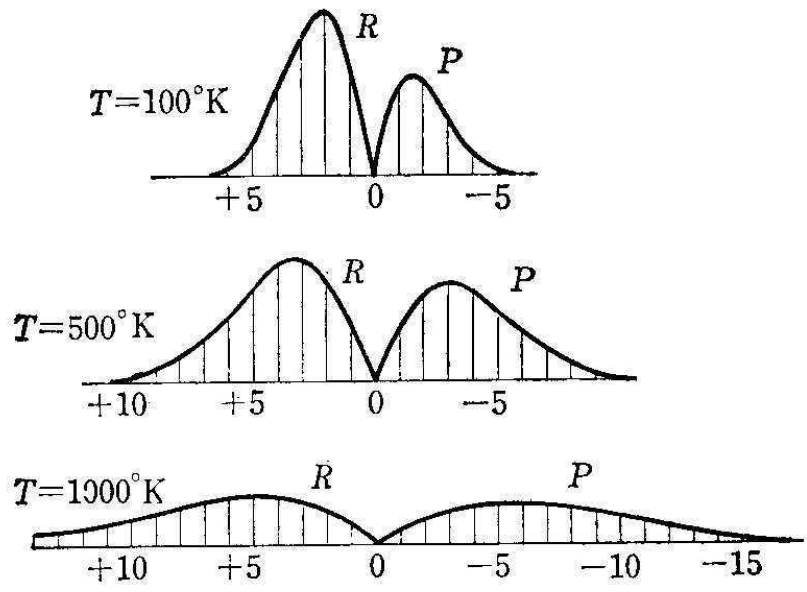
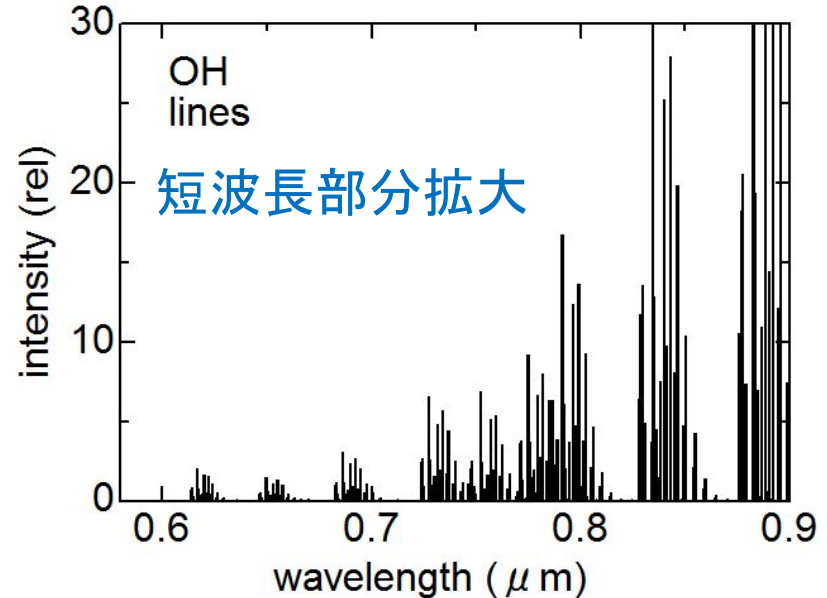
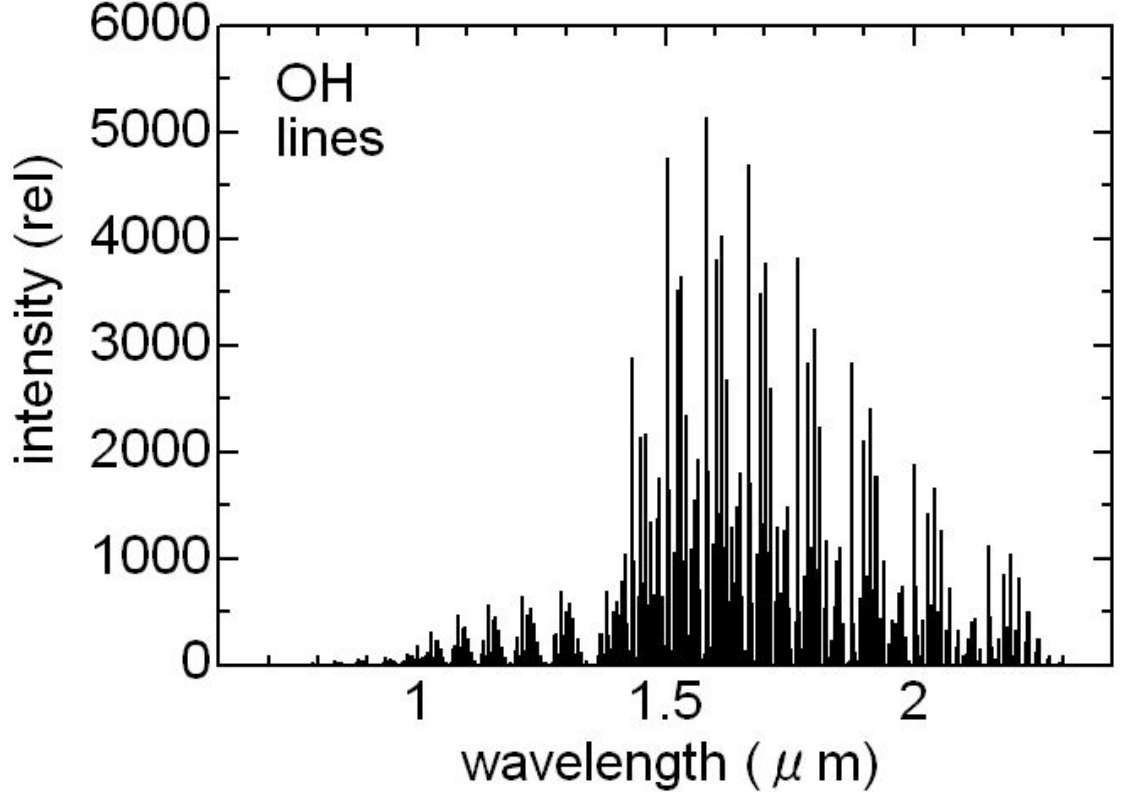
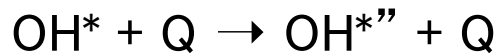
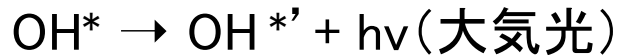
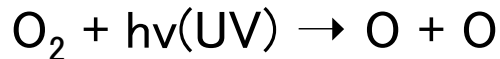


図7-24 振動 - 回転帯の回転線の相対強度分布



# 地球OH大気光

元は太陽UVによるO原子生成



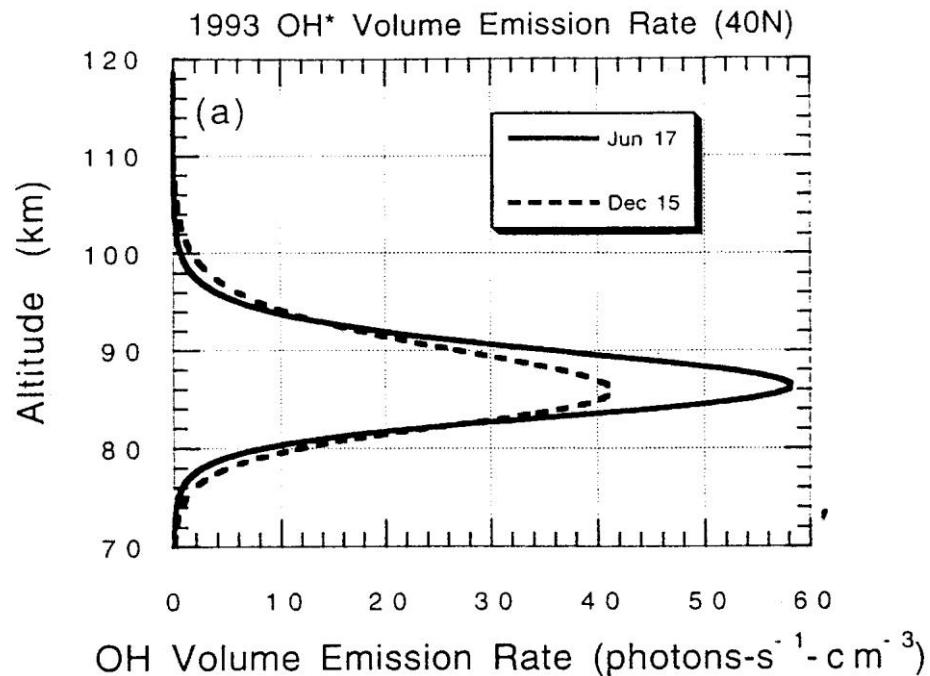
オゾン生成

励起

発光

脱励起

87kmに発光層  
(ロケット測定)



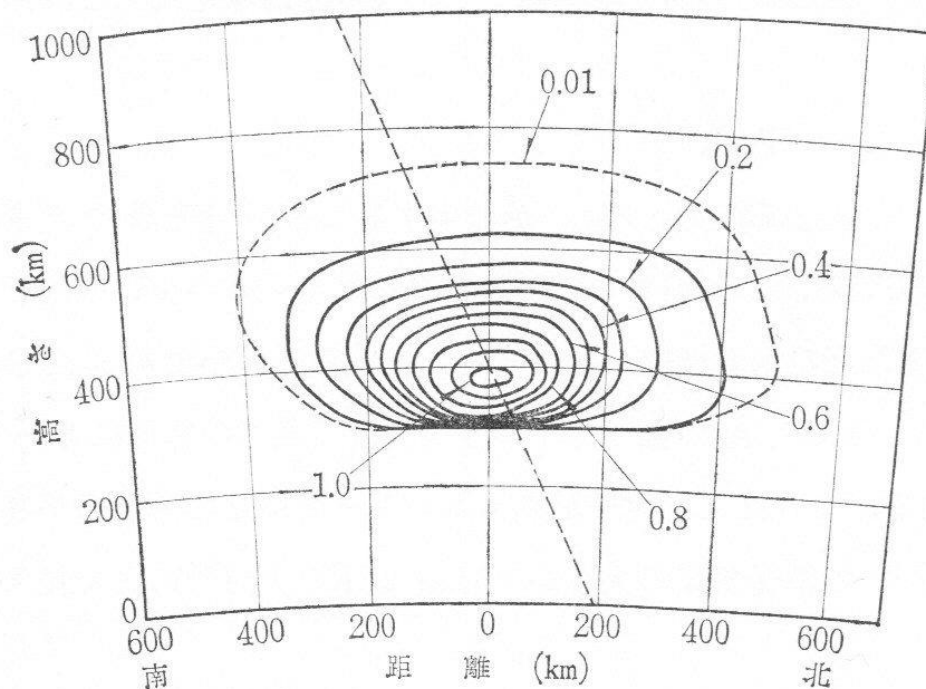
# 地球SAR (sub auroral red) アーク

## 特徴

1. 地球規模磁気嵐の回復相にL=2-4に出現
2. ほとんど630nm線のみ

## 以上より

1. 環電流がプラズマ圏電子を加熱
2. 沿磁力線伝導で電離圏加熱
3. 励起エネルギーの低い630nm線(2eV)のみ励起 ということらしい



9-30 図 SAR アーク (M-arc) の平均的磁気子午断面図。図中の数字は最大値で基準化された光子生成率を、また鎖曲線は磁力線方向を表わす (Tohmatsu and Roach, 1962)

(永田・等松1973)

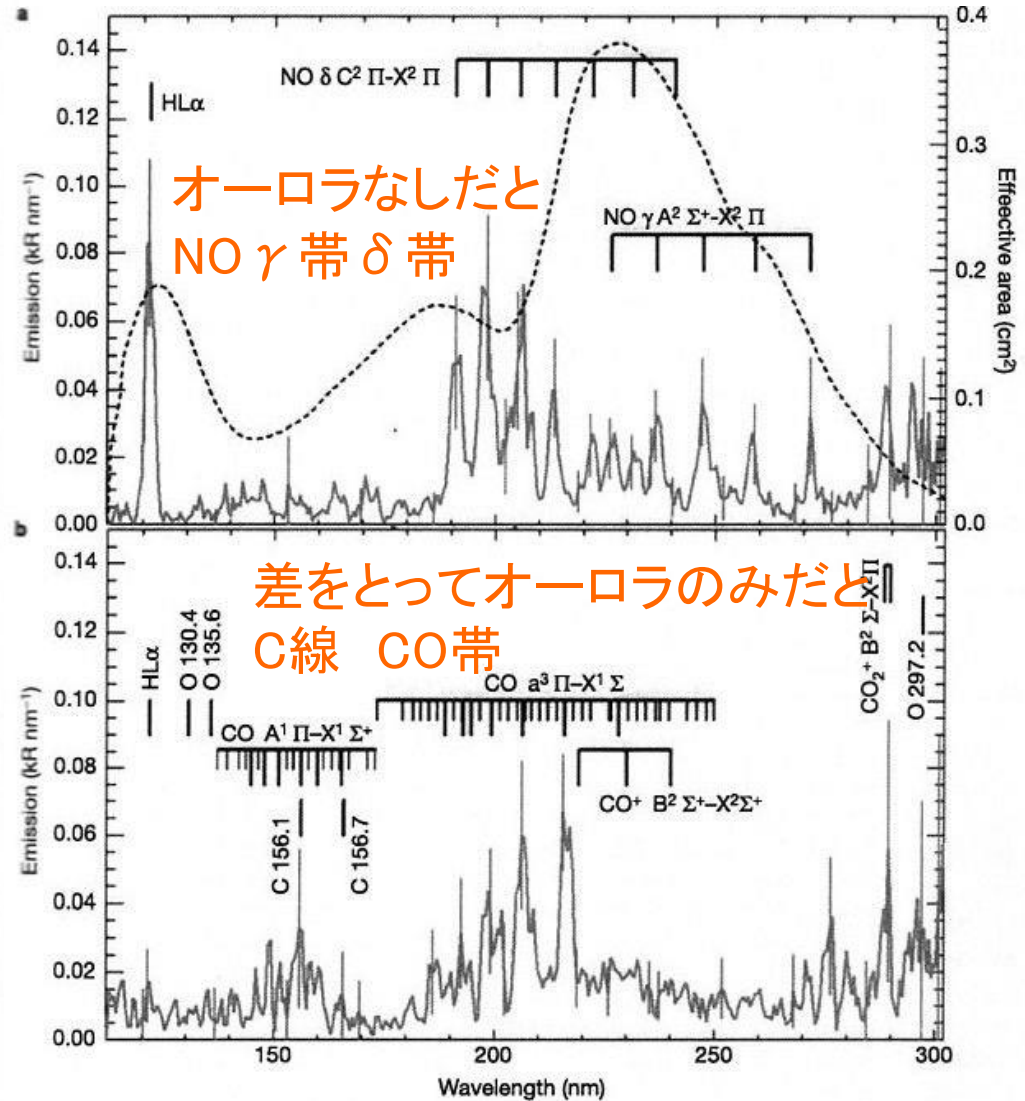
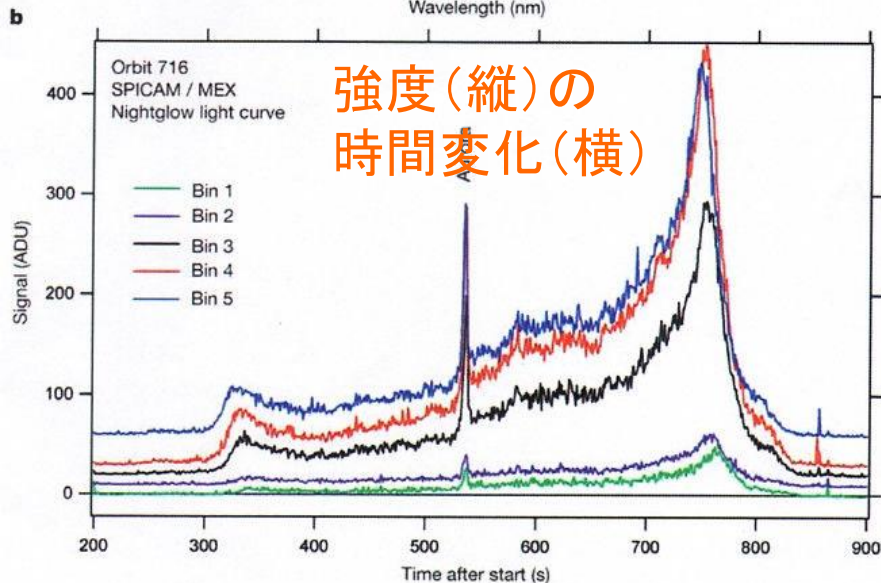
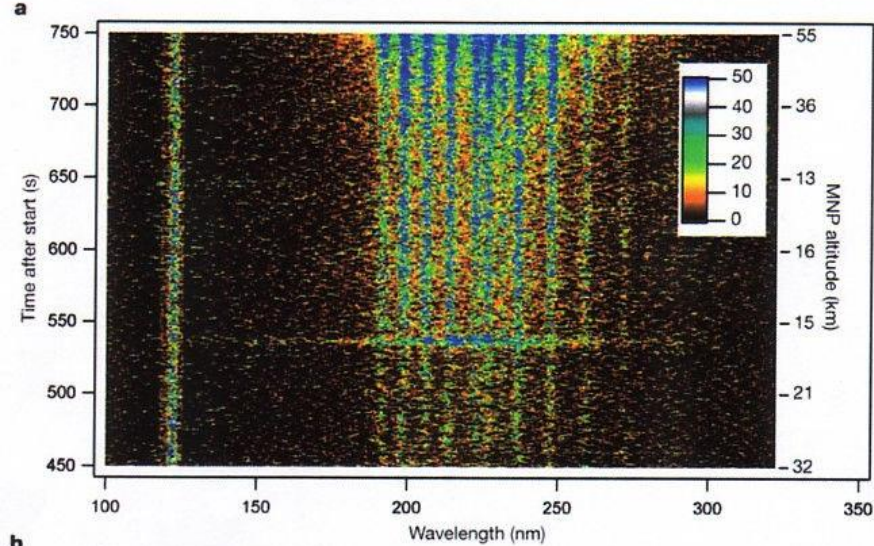
# 火星オーロラ (発見: Mars Express 2005)

双極子磁場は無いが局所磁場が代用となるらしい

スペクトル(横)の時間変化(縦)

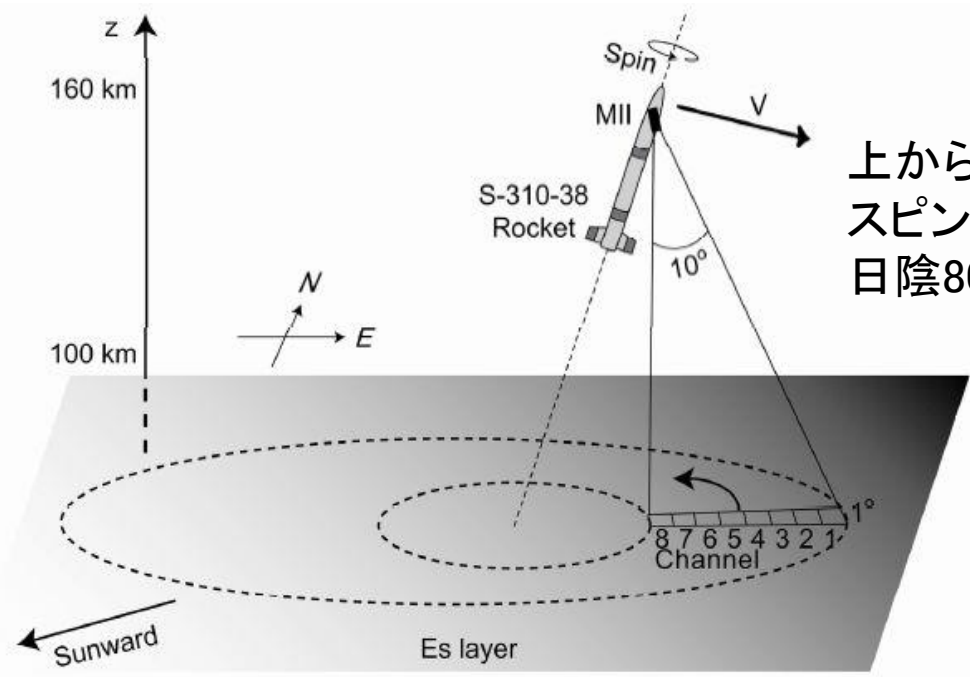
540秒付近に増光がみえる

スペクトル (Bertaux et al 2005)



# 地球Mg<sup>+</sup> 280nm共鳴散乱大気光 (栗原他2010)

## Esで吹き溜まったMg<sup>+</sup>が共鳴散乱・波の特性を反映?



上からE層を眺め  
 スピン利用走査  
 日陰80kmで可能

電子密度  
 分布  
 Es出現中

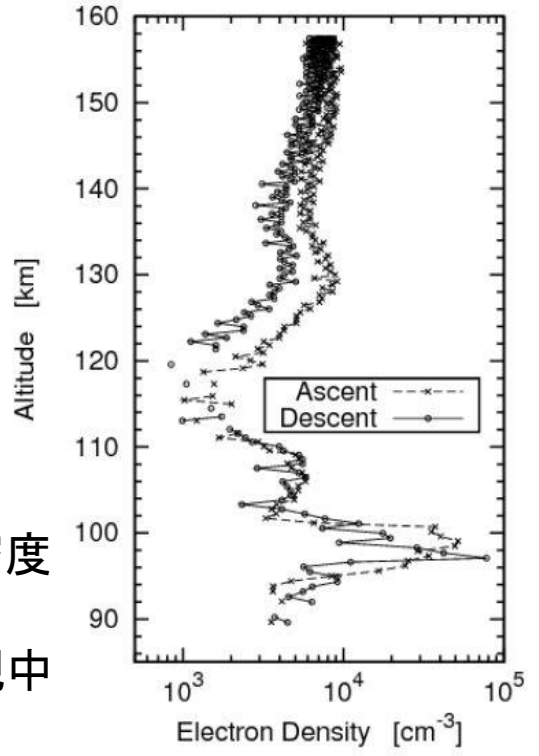
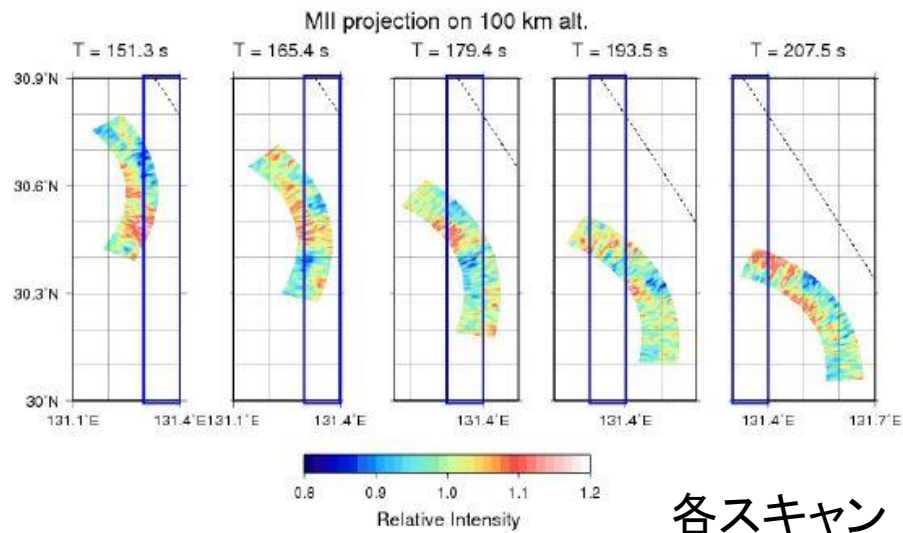


Figure 5. Altitude profiles of electron density observed with an impedance probe on the rocket during ascent and descent.

Figure 1. Schematic diagram of the MII observation.



斑構造  
 検出  
 重力波?

各スキャン → 合成

