

大気球による超高層物理観測

門倉 昭

国立極地研究所
宙空圏研究グループ

第44次日本南極地域観測隊(JARE-44)における
南極周回気球 (Polar Patrol Balloon (PPB)) 実験について

PPB (Polar Patrol Balloon) 実験

夏季に昭和基地から大気球を放球し、
南極大陸を周回させ、長期間観測を行う。



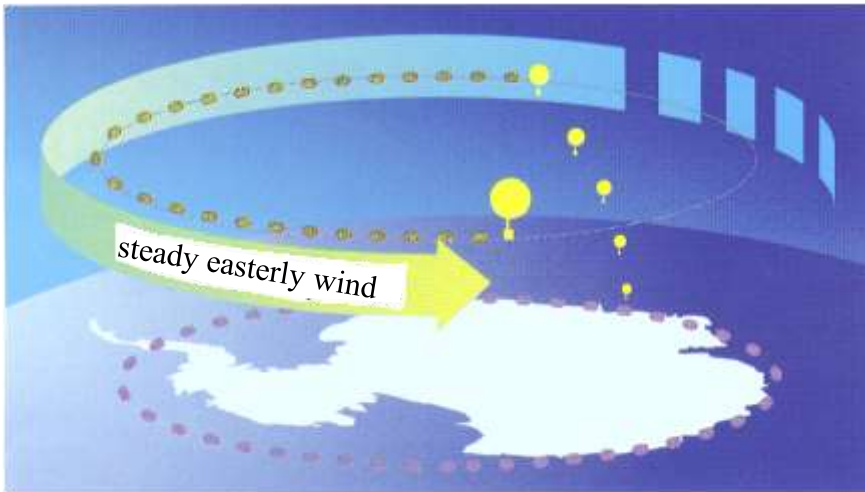
★使用する気球★

ポリエチレンフィルム製(厚さ 20 μ m)
ゼロプレッシャー気球(排気口を持つ)
全長約70m

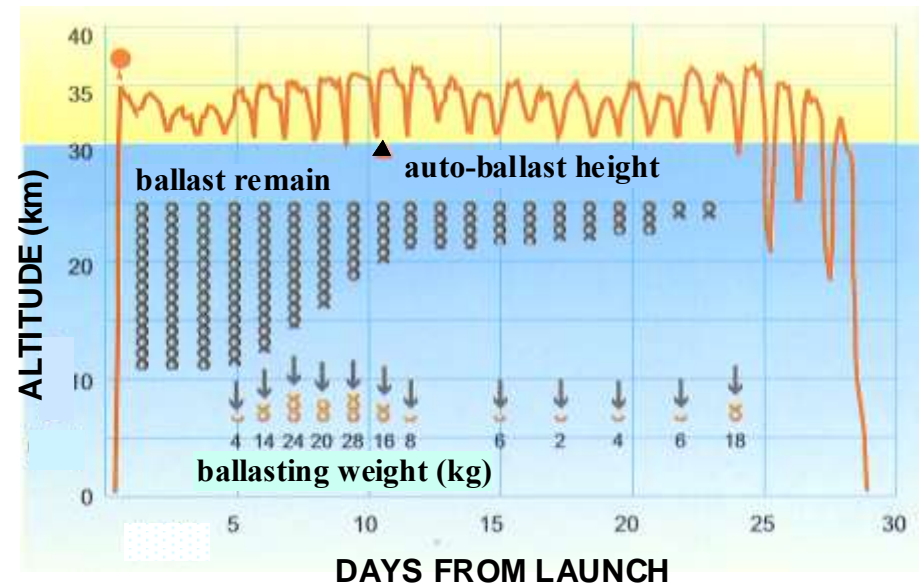


PPB (Polar Patrol Balloon)

安定した東風を利用した
長期間 & 極周回軌道



オートバラストシステムによる
飛翔高度維持



データ取得方法:

- ・地上局の可視範囲: 直接テレメータダウンリンク
- ・可視範囲外: 衛星システム利用 (ARGOS、イリジウム)

第1次PPB実験 の航跡

JARE-32

(1990.12~1991.2)

JARE-34

(1992.12~1993.2)

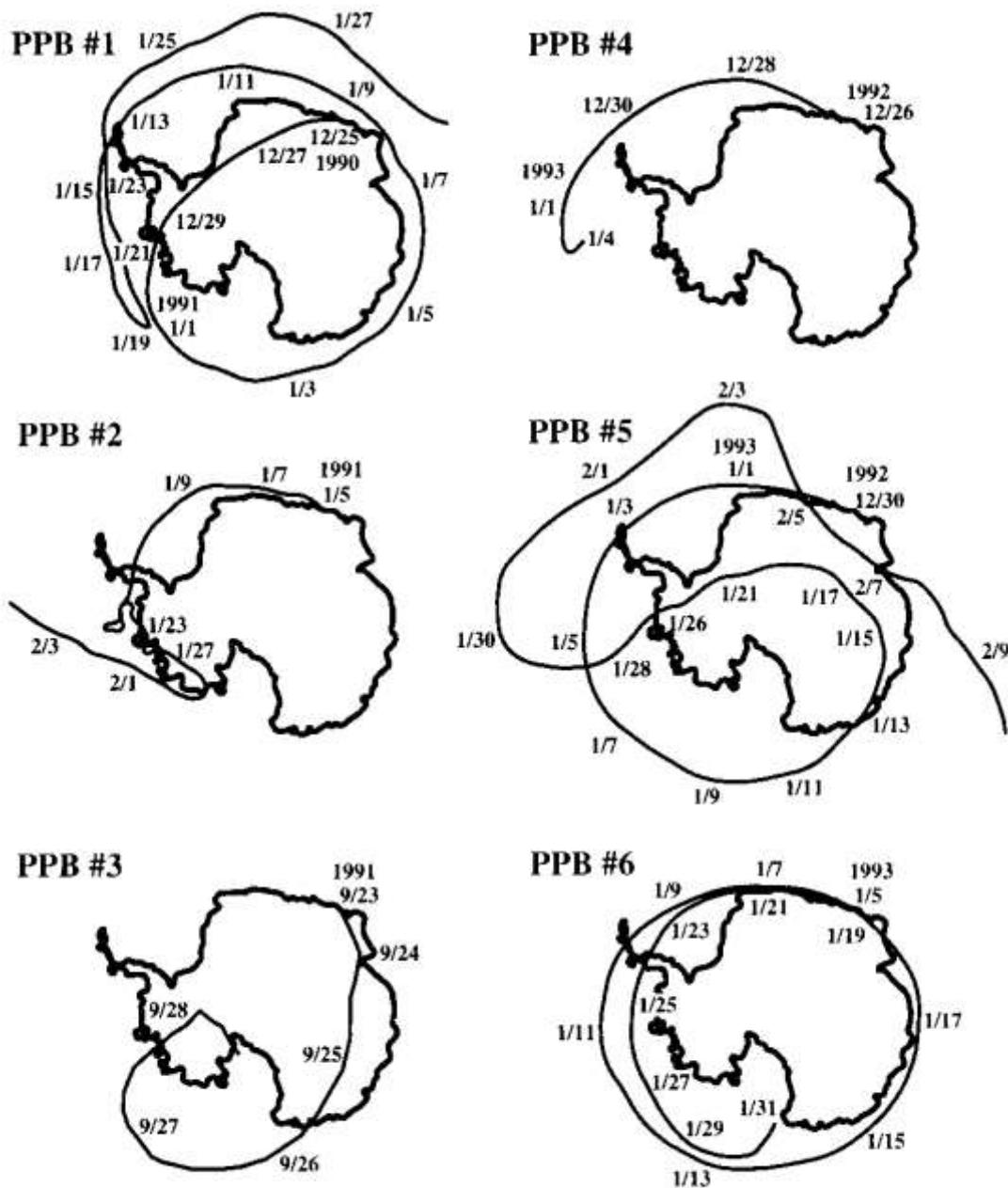


Fig. 1. Trajectories of the 6 balloons in the 1st-PPB campaign.

第1次PPB実験概要

Table 1. An experimental summary of the 1st-PPB campaign.

PPB no	launching date	flight duration (days)	balloon volume ($\times 10^3 \text{ m}^3$)	payload weight (kg)	ballast weight (kg)	total weight (kg)	control altitude (km)	sampling rate	observation item
1	Dec. 25, 1990	38	25	114.0	152	373.5	28	16byte /30sec	total-B
2	Jan. 05, 1991	30	32	191.5	152	471.0	28	16byte /30sec	total-B, vector E-field aurora X-ray
3	Sep. 23, 1991	6	5	161.8	145	370.3	18	32byte /2min	ozone, aerosol
4	Dec. 26, 1992	9	39.7	189.0	150	487.8	28	32byte /30sec	total-B, vector B vector E, aurora X-ray
5	Dec. 30, 1992	43	39.7	186.5	150	483.5	28	32byte /30sec	total-B, vector B vector E, aurora X-ray
6	Jan. 05, 1993	27	59.5	95.0	150	434.2	30	32byte /30sec	cosmic ray (X-ray, proton)

データ取得： ARGOSシステム(マルチID)：データ伝送量に制限

第1次PPB実験 におけるデータ取得

マルチID ARGOS システム

- NOAA衛星との会合時間：
1時間に約10分
- 1つのIDの伝送量：
200秒毎に32バイト
- 1つの送信機に複数のID
を持たせ(20 or 40)、
10 or 5秒間隔に伝送
- 10分／10秒＝60セット
1時間分のデータ／60
＝ 1分サンプリング

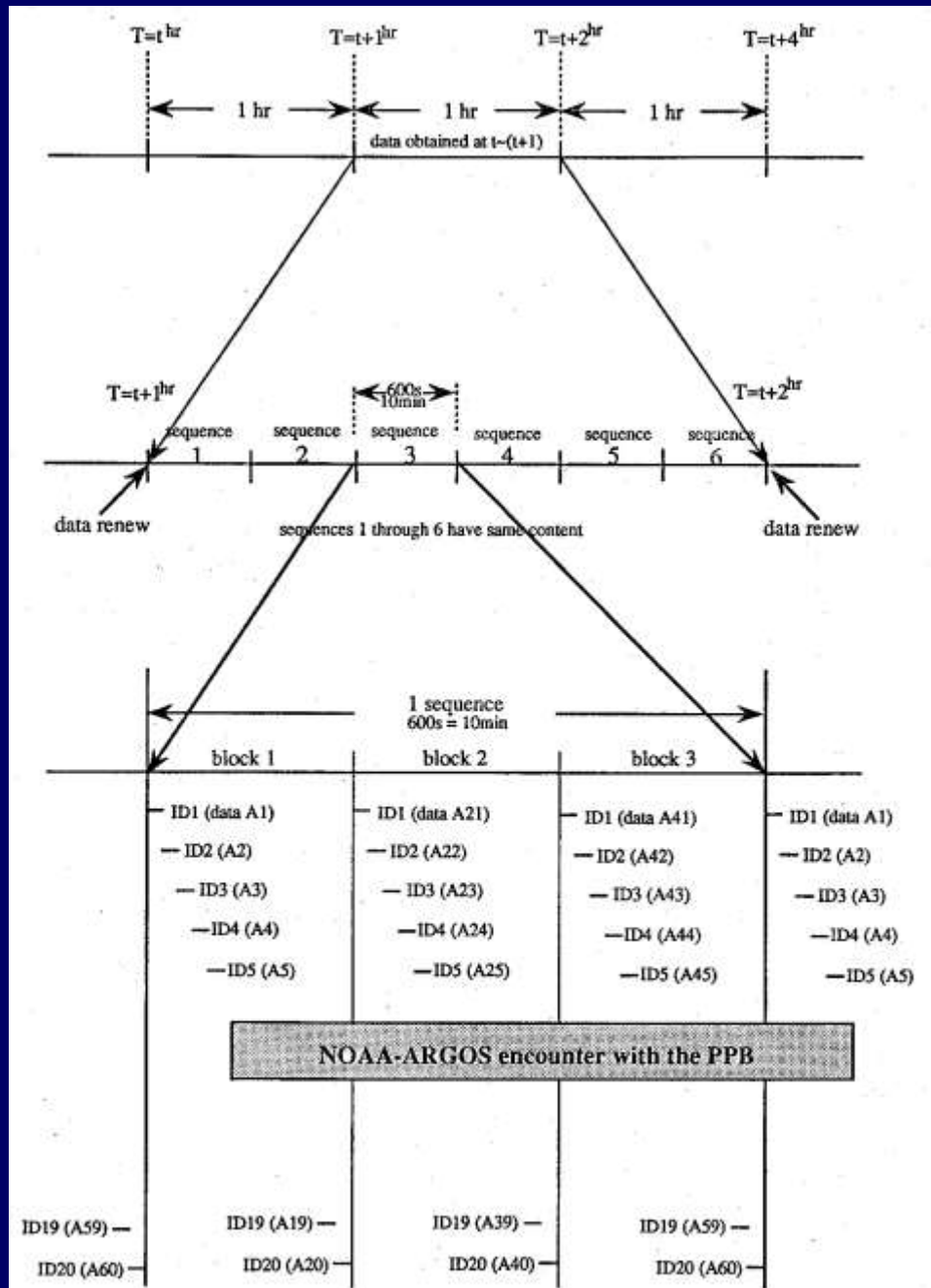


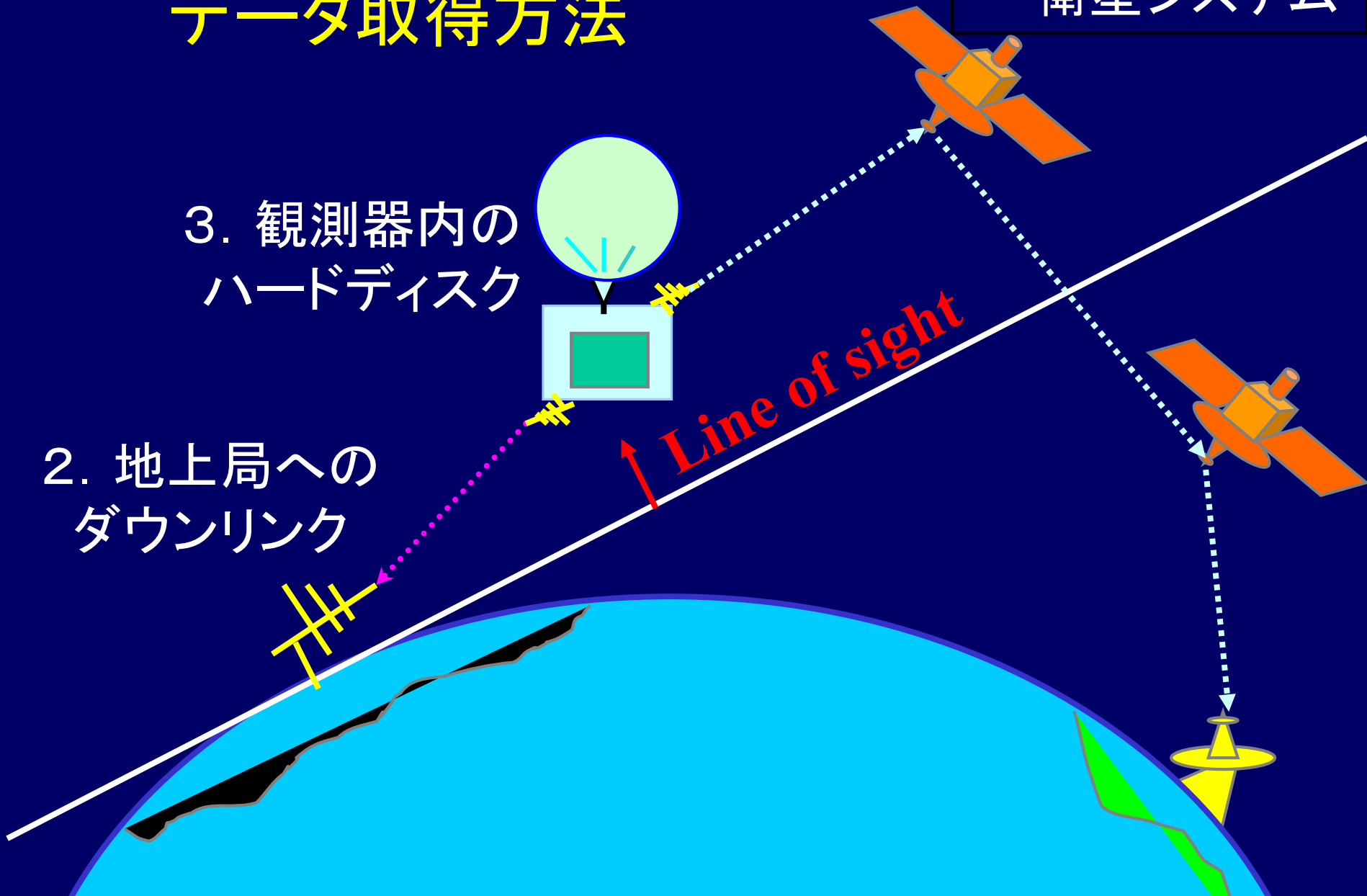
図2 複数IDアルゴシステムによるデータ送信の概念図
Fig. 2. Diagram of the data transfer of the multi-ID ARGOS system.

第2次PPB実験における データ取得方法

1. イリジウム
衛星システム

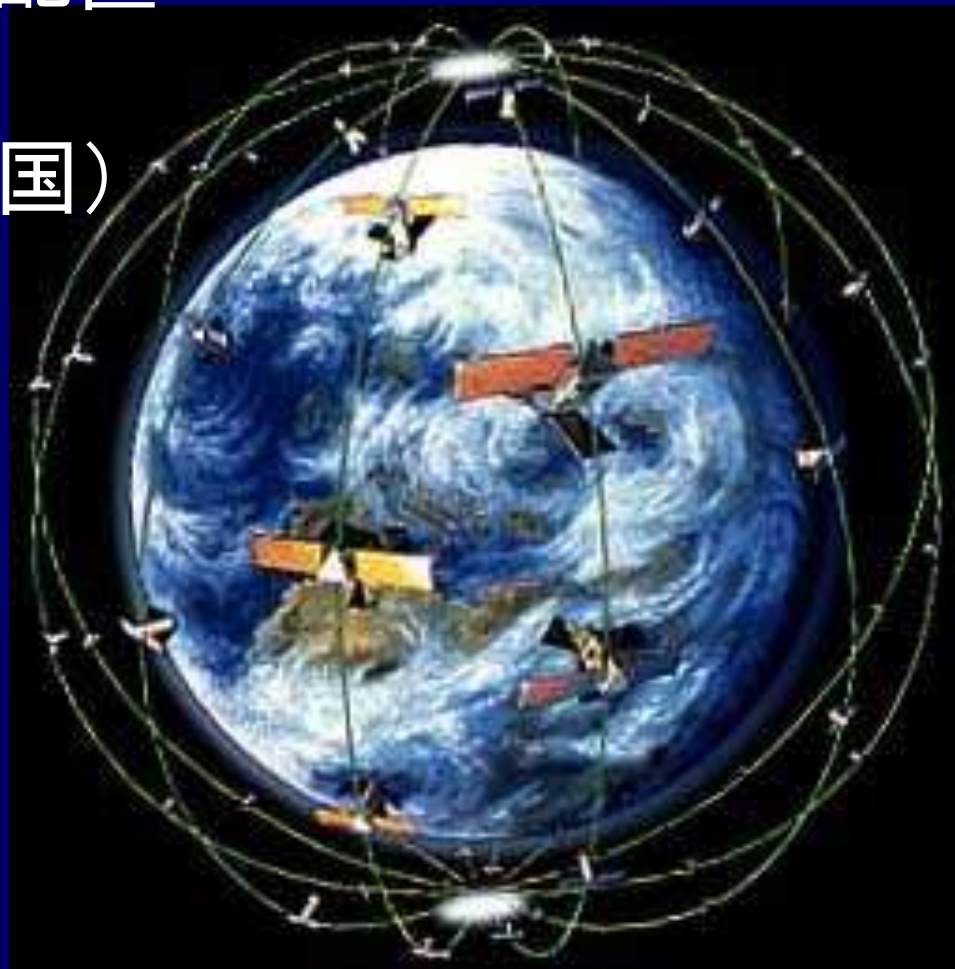
3. 観測器内の
ハードディスク

2. 地上局への
ダウンリンク



イリジウム衛星通信システム

- 高度 780 km に 66個の衛星
- 6軌道面に11個ずつ配置
- 衛星間データリンク
- 地上局はアリゾナ(米国)
- 通信速度: 2.4 kbps
(ARGOSの300倍)



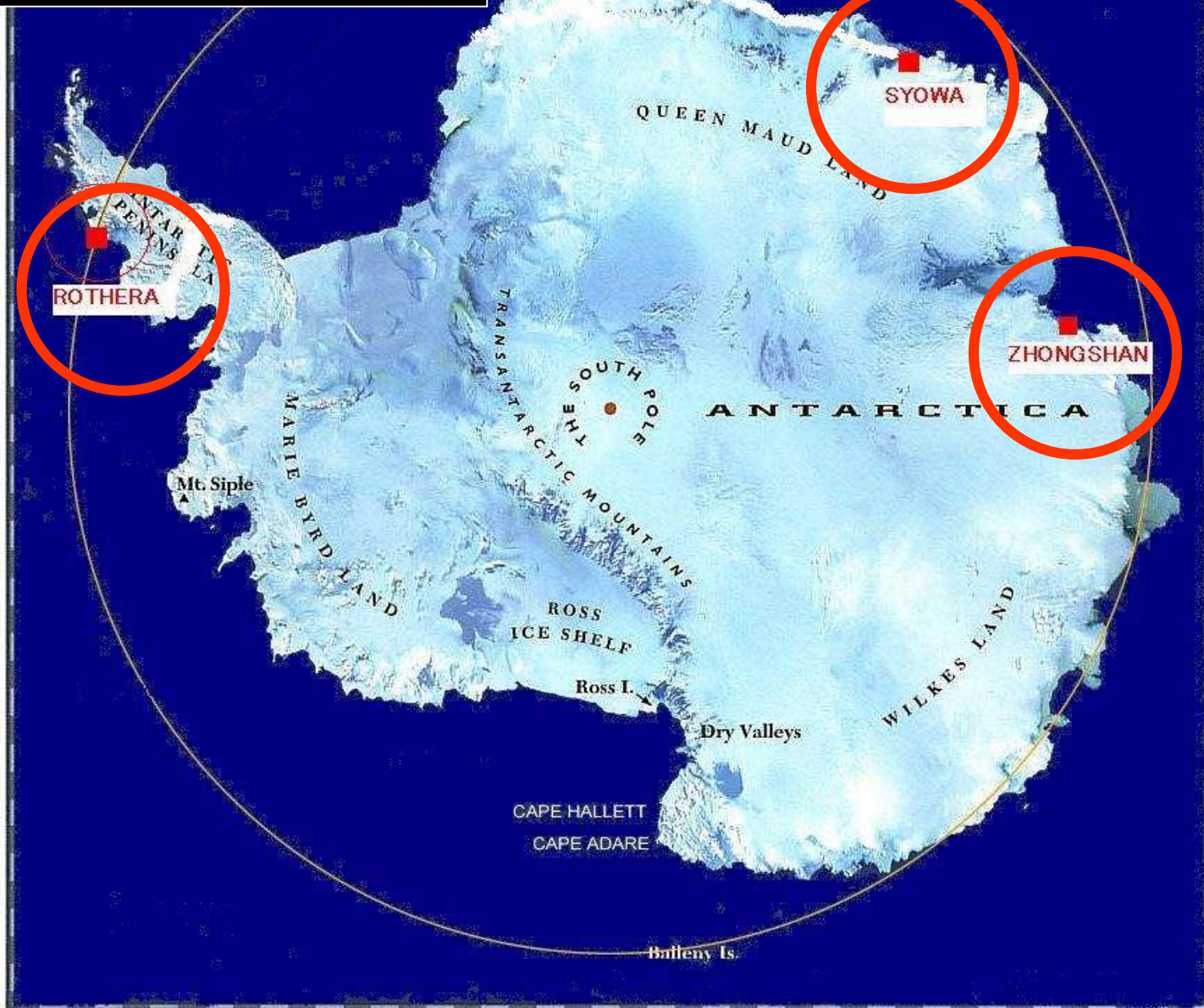


イリジウム衛星 携帯電話

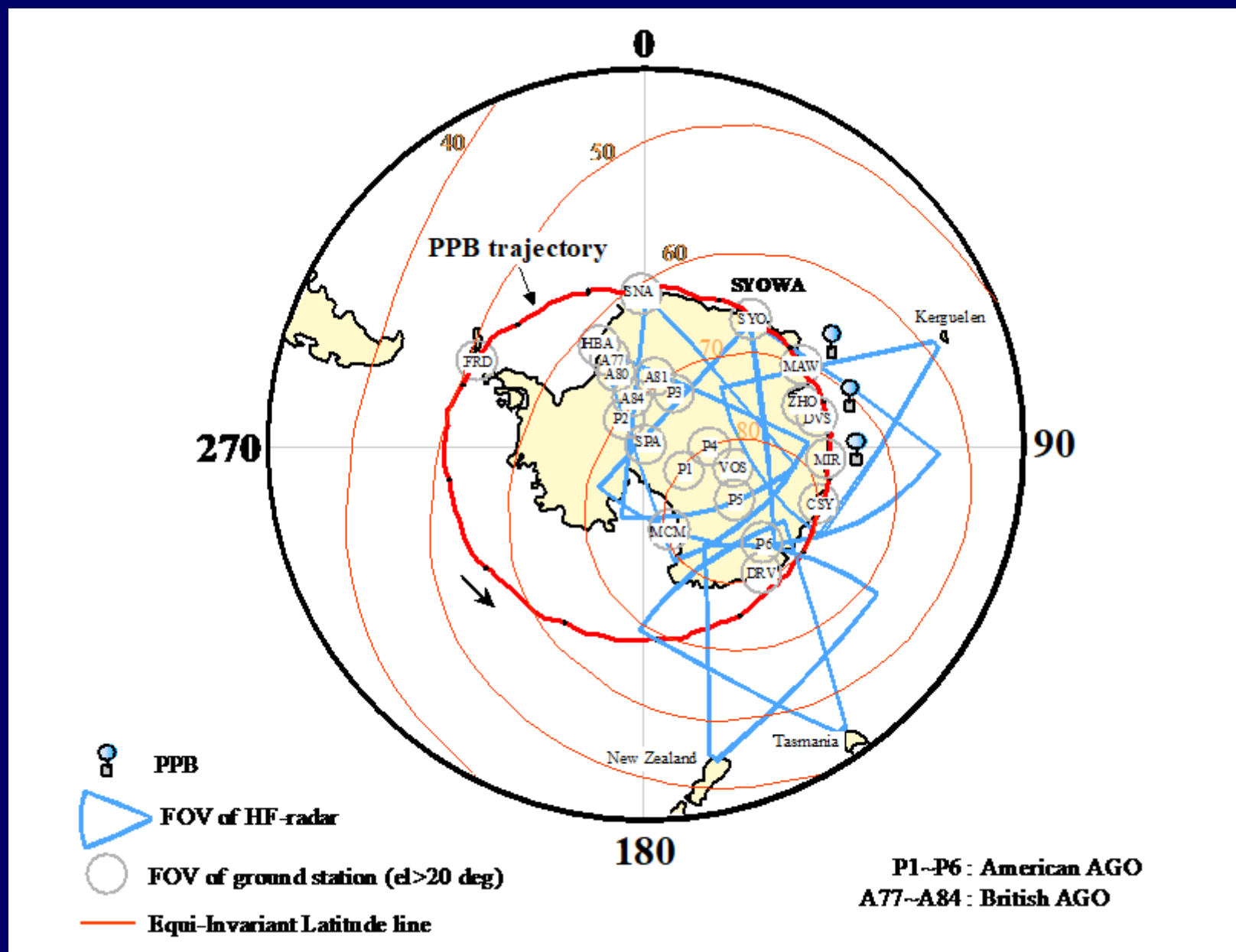
Motorola 9505

消費電力：7W

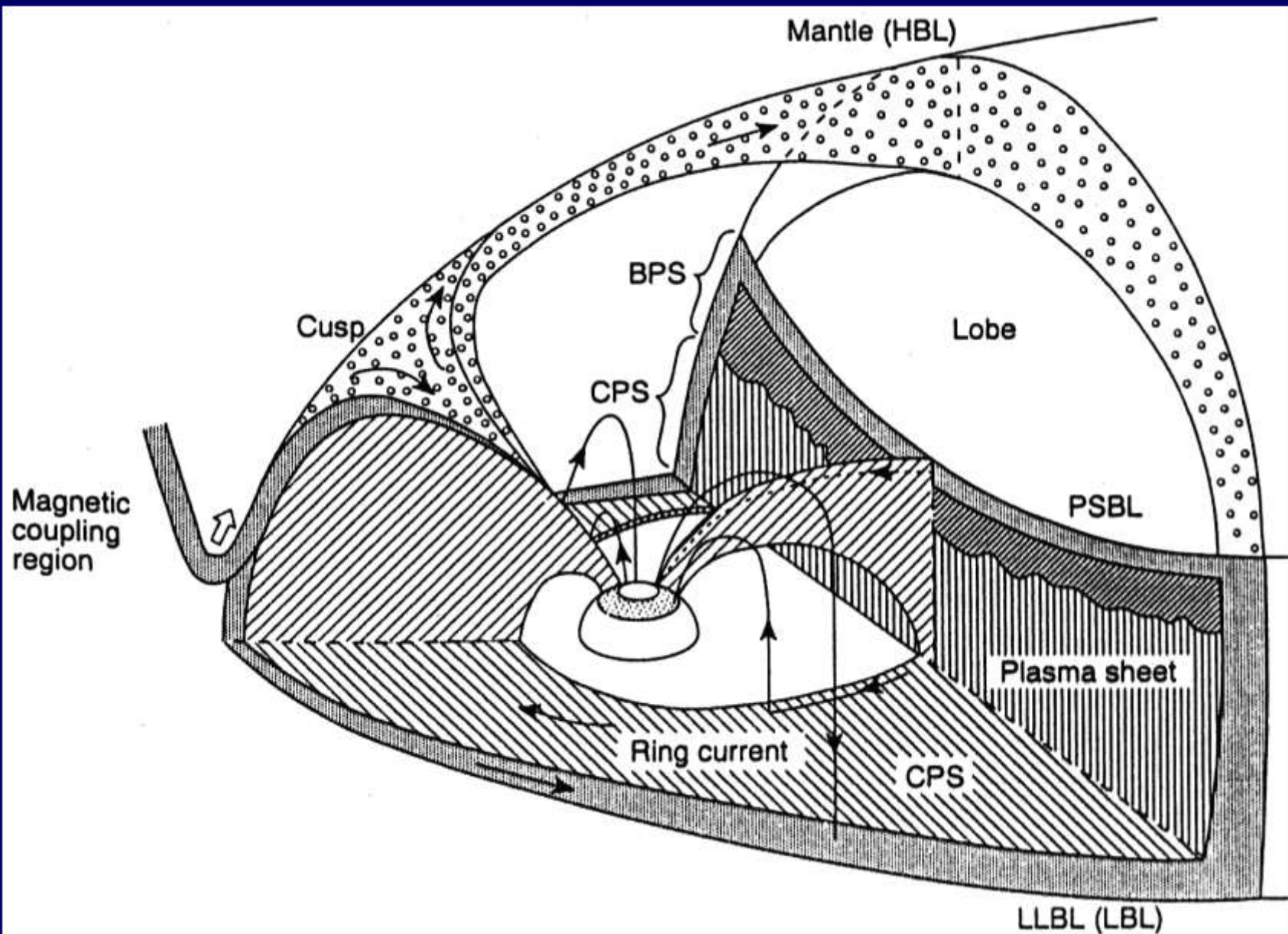
ダウンリンク(65.5 kbps)
地上局



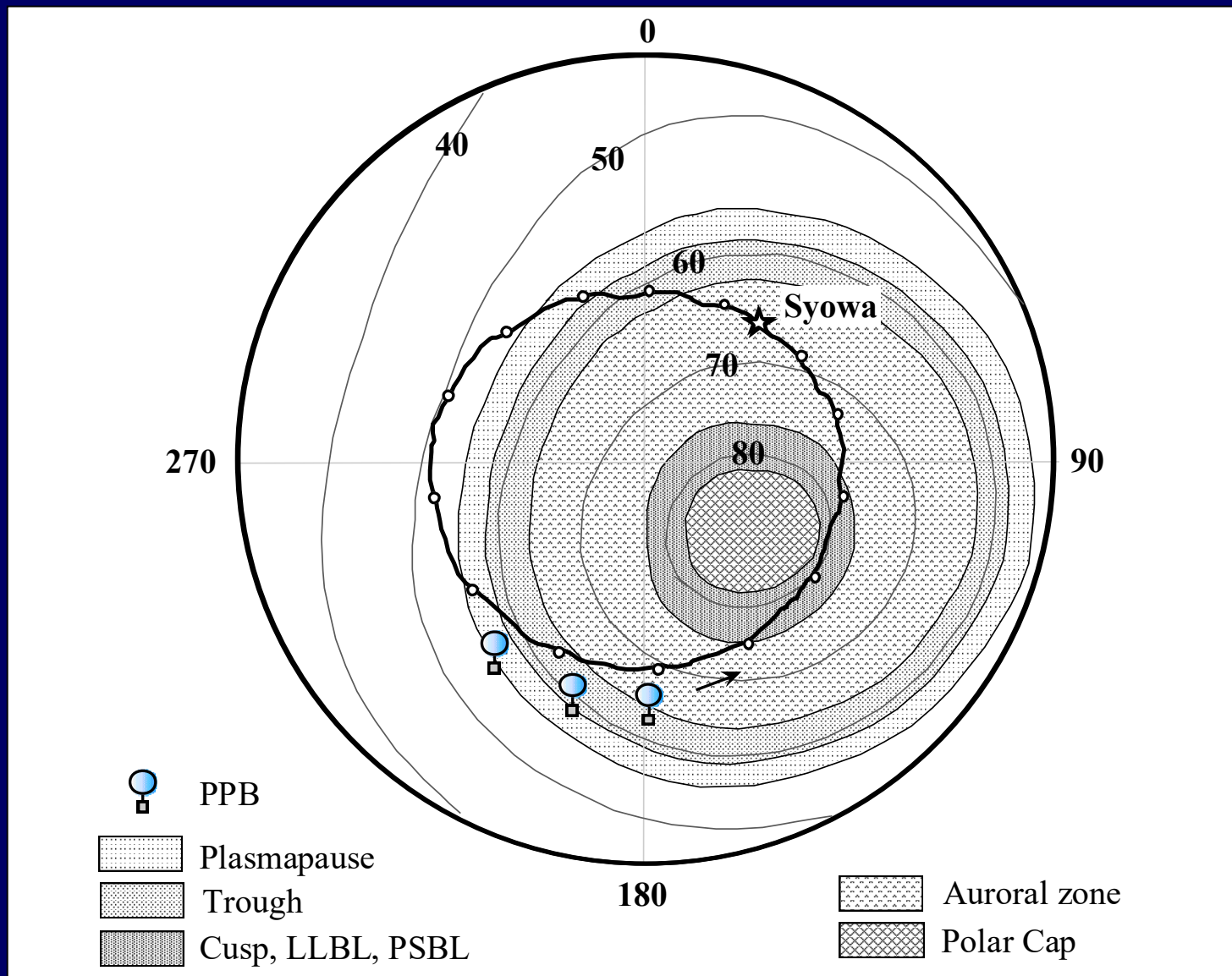
第2次PPB実験の目的： 複数機による境界領域の観測



地球磁気圏と境界領域



複数機同時飛翔(バルーンクラスター)による 境界領域の観測



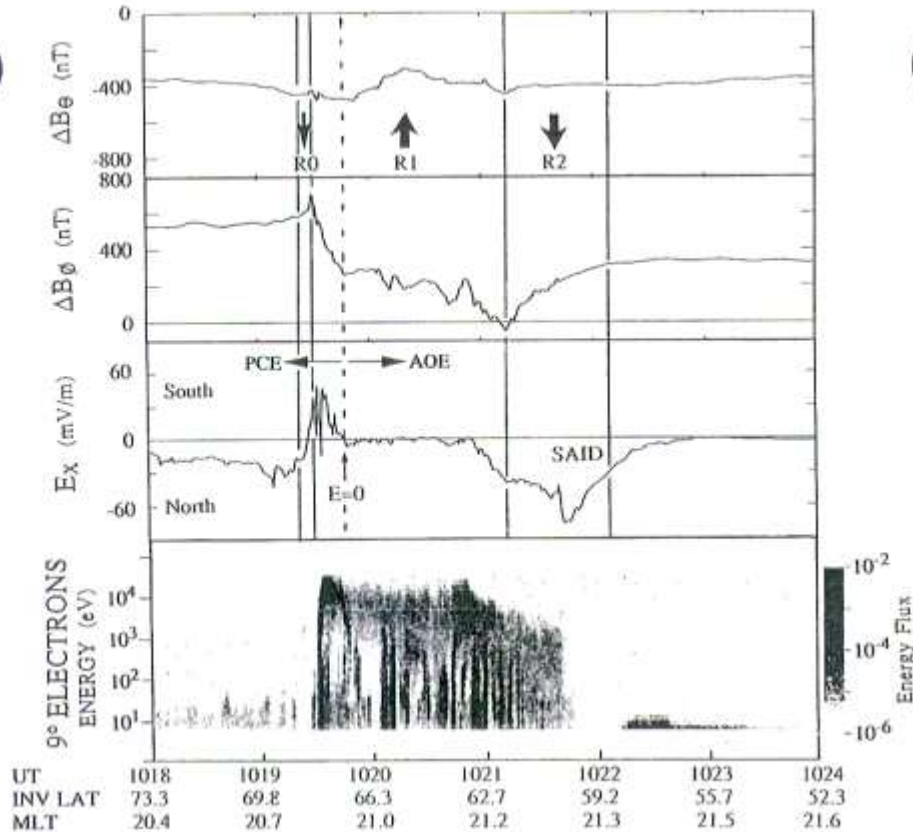
境界領域現象の例(1)

オーロラオーバルの高緯度側境界と低緯度側境界
に現れる強い電場

DE-2

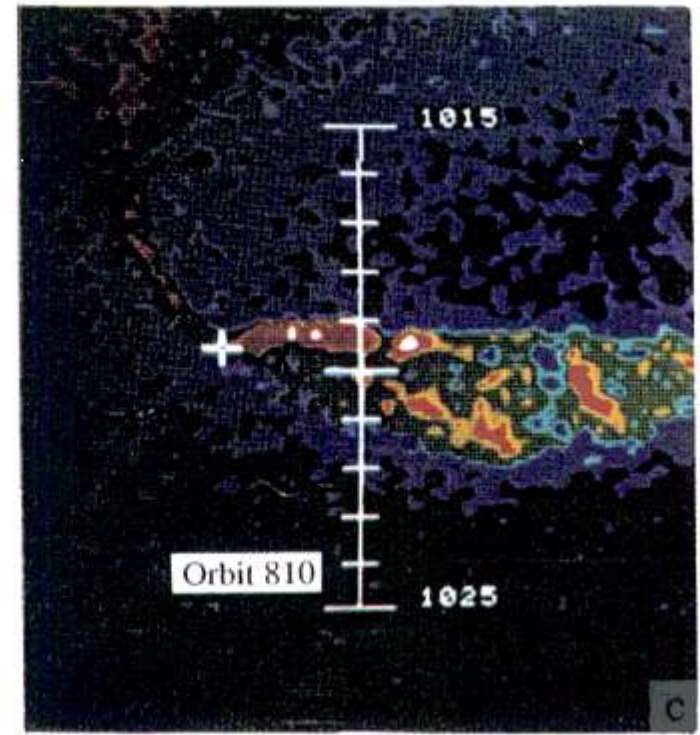
ORBIT 810

(a)



DE-1

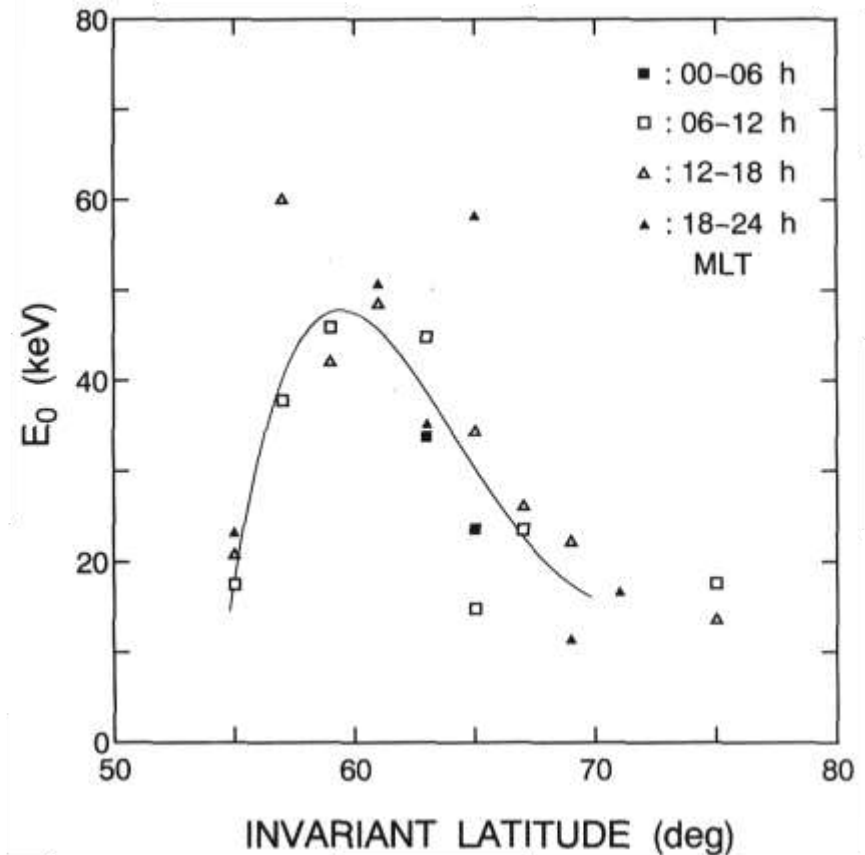
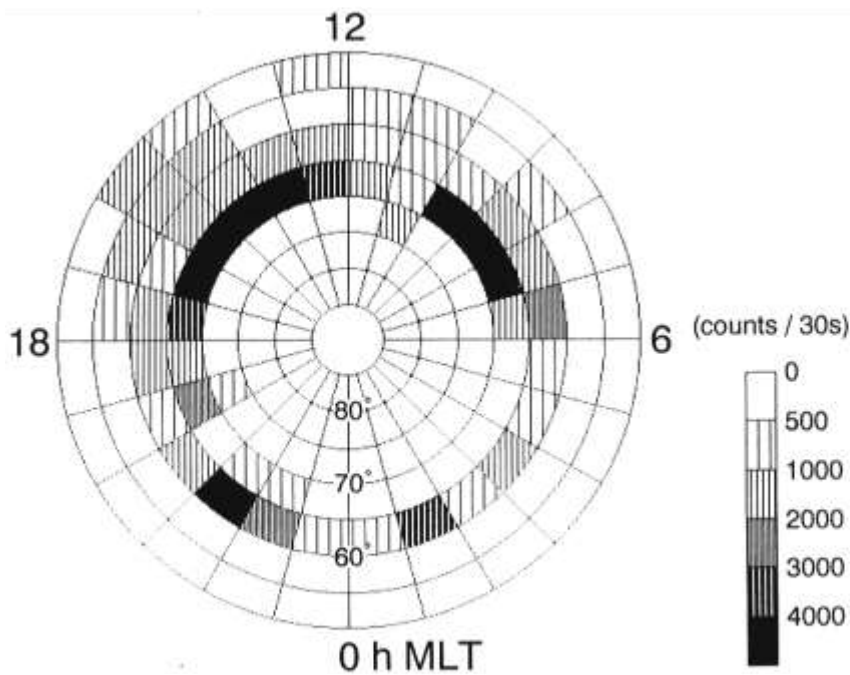
(b)



(Fujii et al., 1994)

境界領域現象の例(2)

プラズマ圏界面付近で
オーロラX線の平均エネルギーが増加
第1次PPB実験 観測結果



プラズマ圏の時間変動

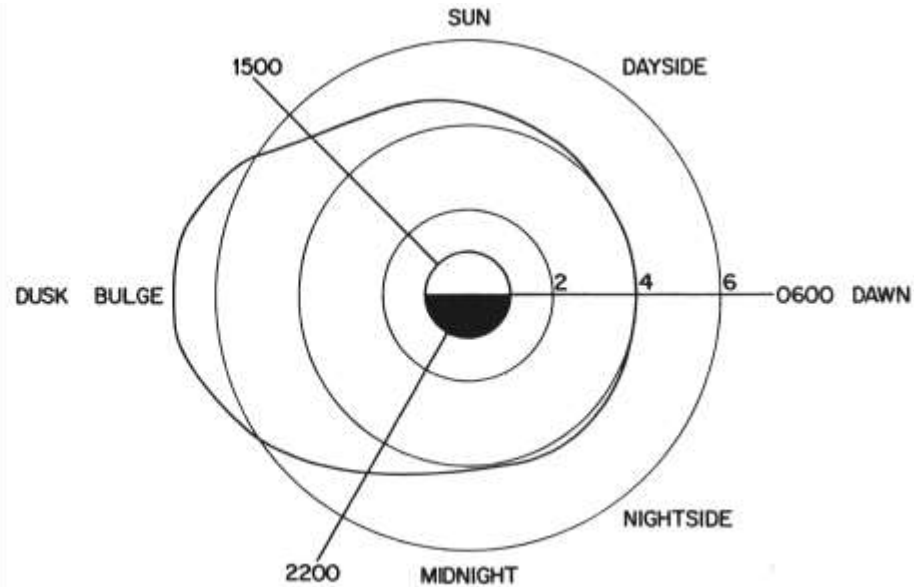
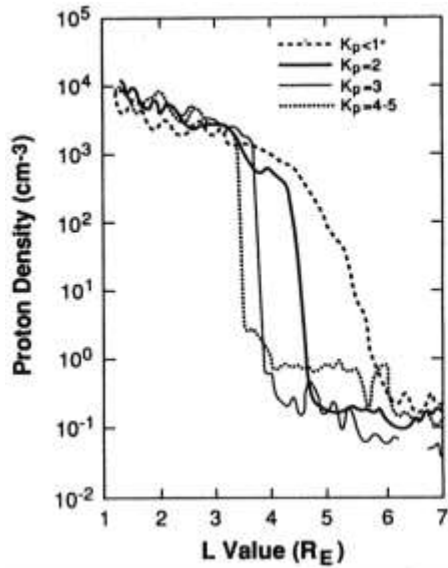


Fig. 93. Average configuration of the plasmapause (Chappell, 1972)

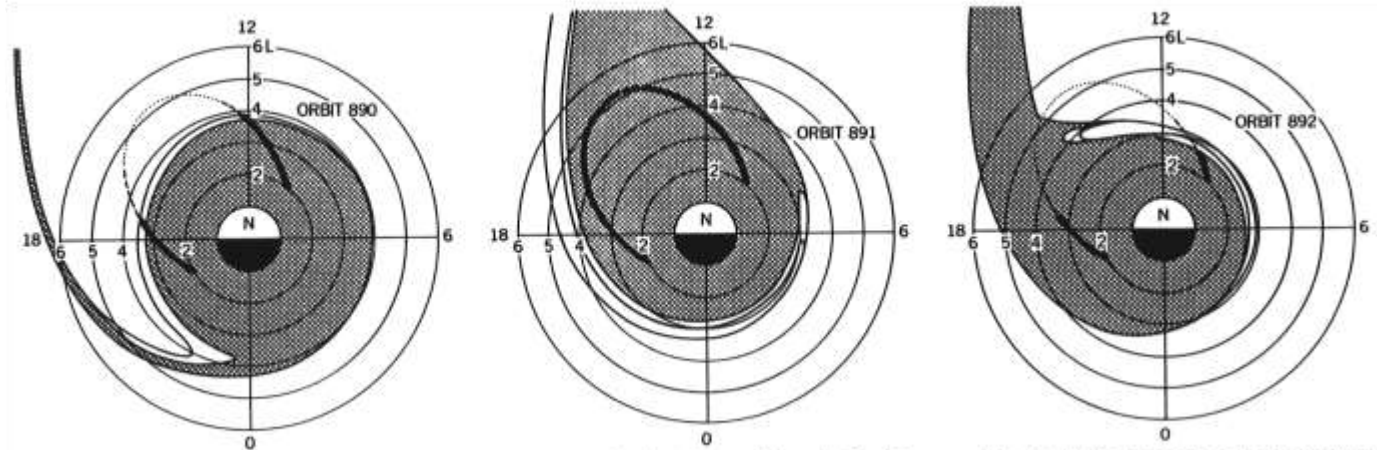
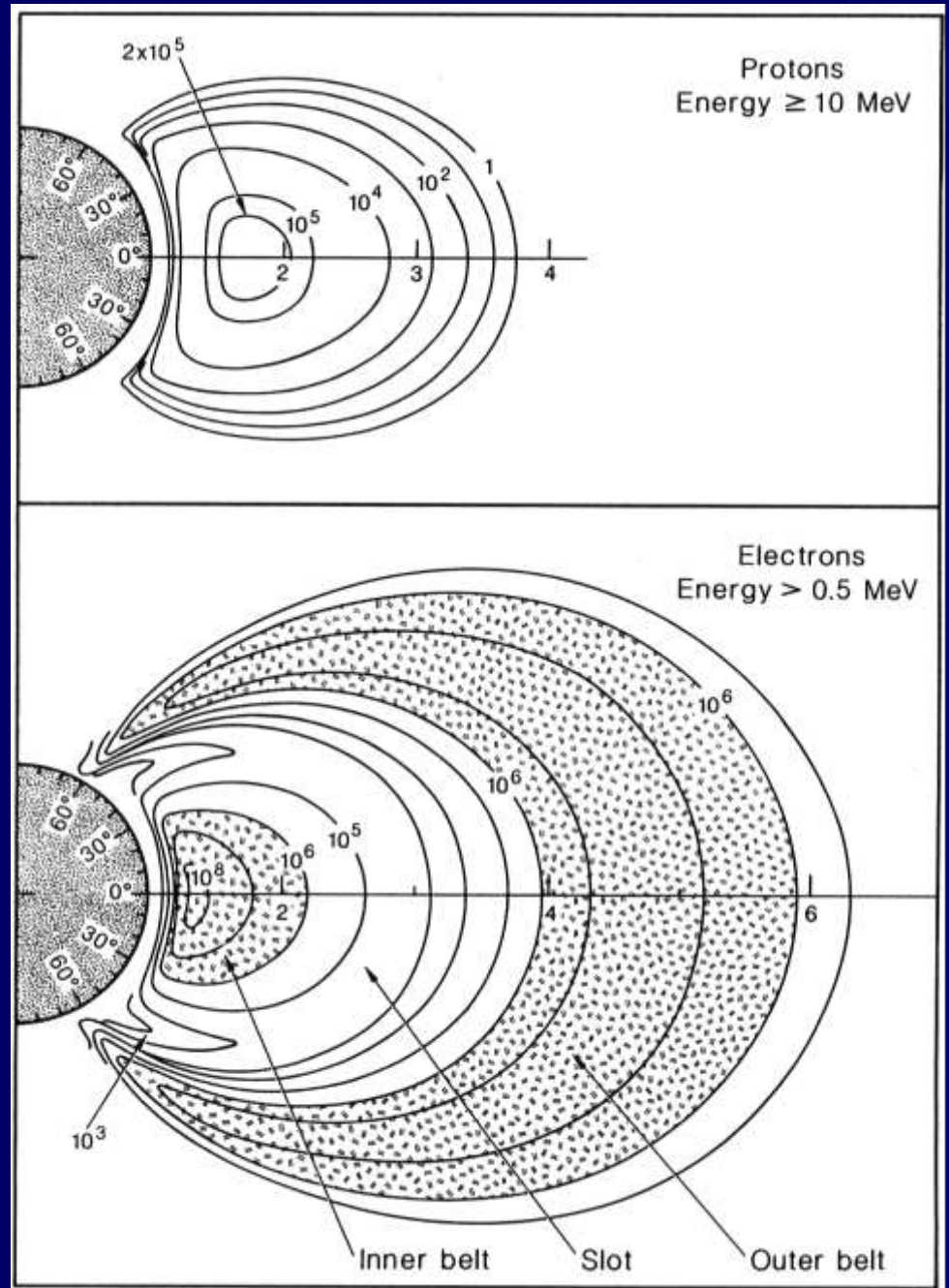


Fig. 94. Dynamic behavior of the plasmasphere. Shaded area is the plasmasphere derived from model calculations based on the convection theory, and heavy orbit trace denotes regions of higher plasma density (Maynard and Chen, 1975)

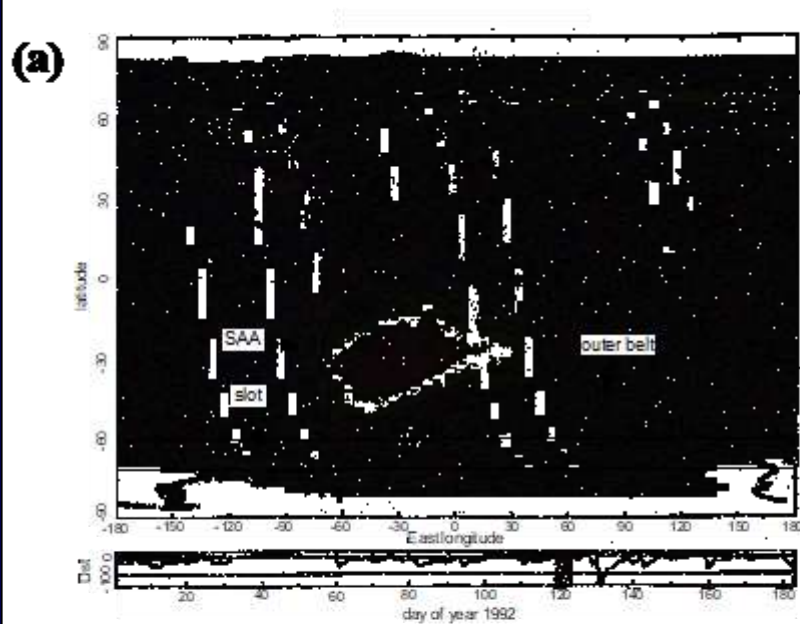
他の観測対象

放射線帯粒子の変動

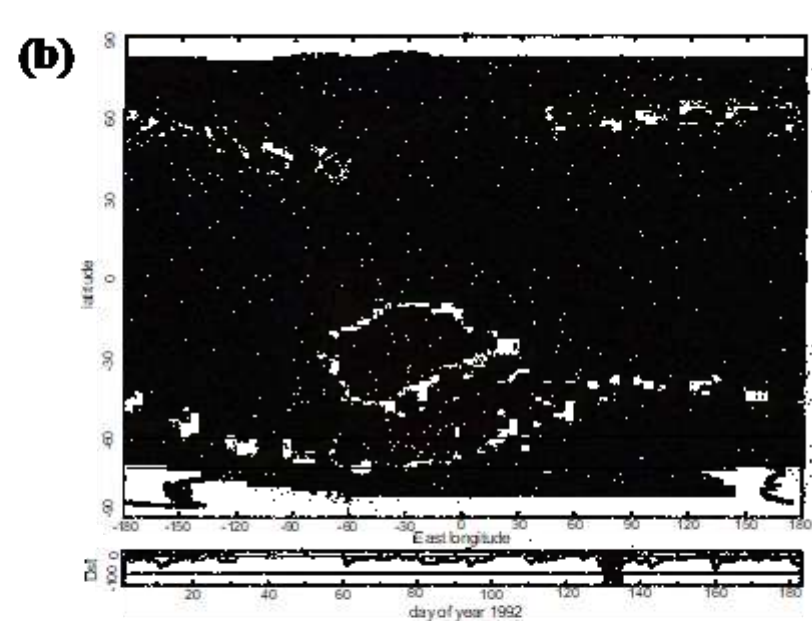


放射線帯の時間変動

Quiet time



Storm time



Distribution of energetic electron (> 300 keV) flux, observed by NOAA satellite during quiet time (a) and disturbed time (b). (after Tsuruuchi (1998)). Two horizontal black lines indicate latitudinal range of PPB trajectory.

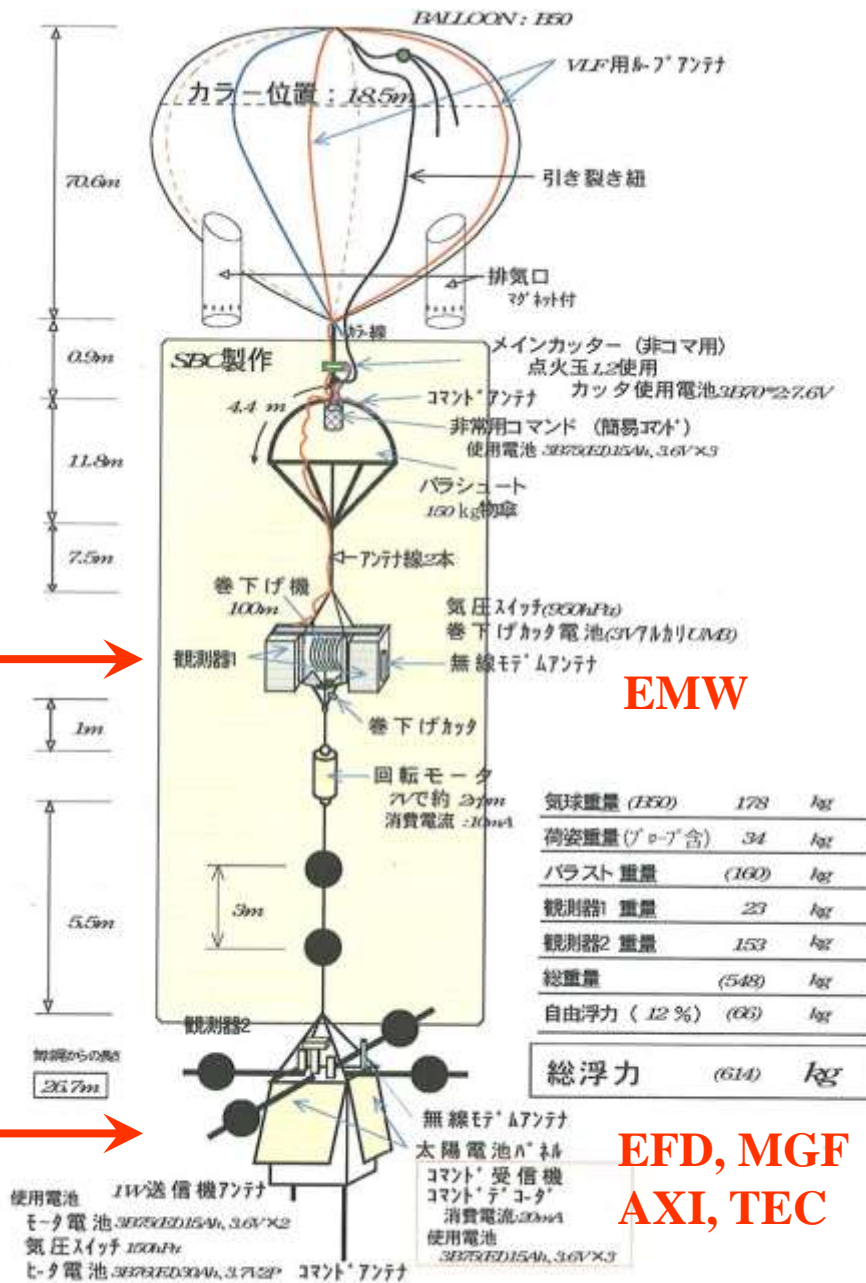
第2次PPB地球物理学実験 搭載観測器

Obsevation item	PI name	Abstract
ElectroMagnetic Wave in ELF/VLF/LF band 自然電波	EMW	Sweep frequency analyzer (SFA): 4ch (5, 10, 20, 36 kHz), 0.5 sec/sweep Multi-channel analyzer (MCA): 4 ch (300, 600, 1.2 k, 2.4 kHz), 0.5 sec Wave form capture (WFC): 0.2-4 Hz, 10 Hz sampling
Electric Field vector DC電場3成分	EFD	3-axis double spherical probe Resolution: 0.2 mV/m (horizontal), 0.8 mV/m (vertical), 1 sec Atmospheric conductivity & current density: at every 10 min
Magnetic Field vector 磁場3成分	MGF	3-axis fluxgate magnetometer Attitude determination: 2-axis clinometer, 8 sets of sunsensor Resolution: 0.25 nT, 1 sec
Auroral X-ray Image オーロラX線	AXI	Auroral X-ray imager: 4 x 4, 30-180 keV, 110 deg FOV Harder X-ray counter: 100-778 keV, 155 deg FOV, Count rate: 2 sec, Energy spectrum (10 ch): 20 sec
Total Electron Content in the ionosphere 電離層全電子数	TEC	Dual-frequency GPS satellite signal receiver 1 min sampling, >10 deg elevation, 3 satellites / min

第2次PPB 地球物理学実験 荷姿図

サブゴンドラ

メインゴンドラ

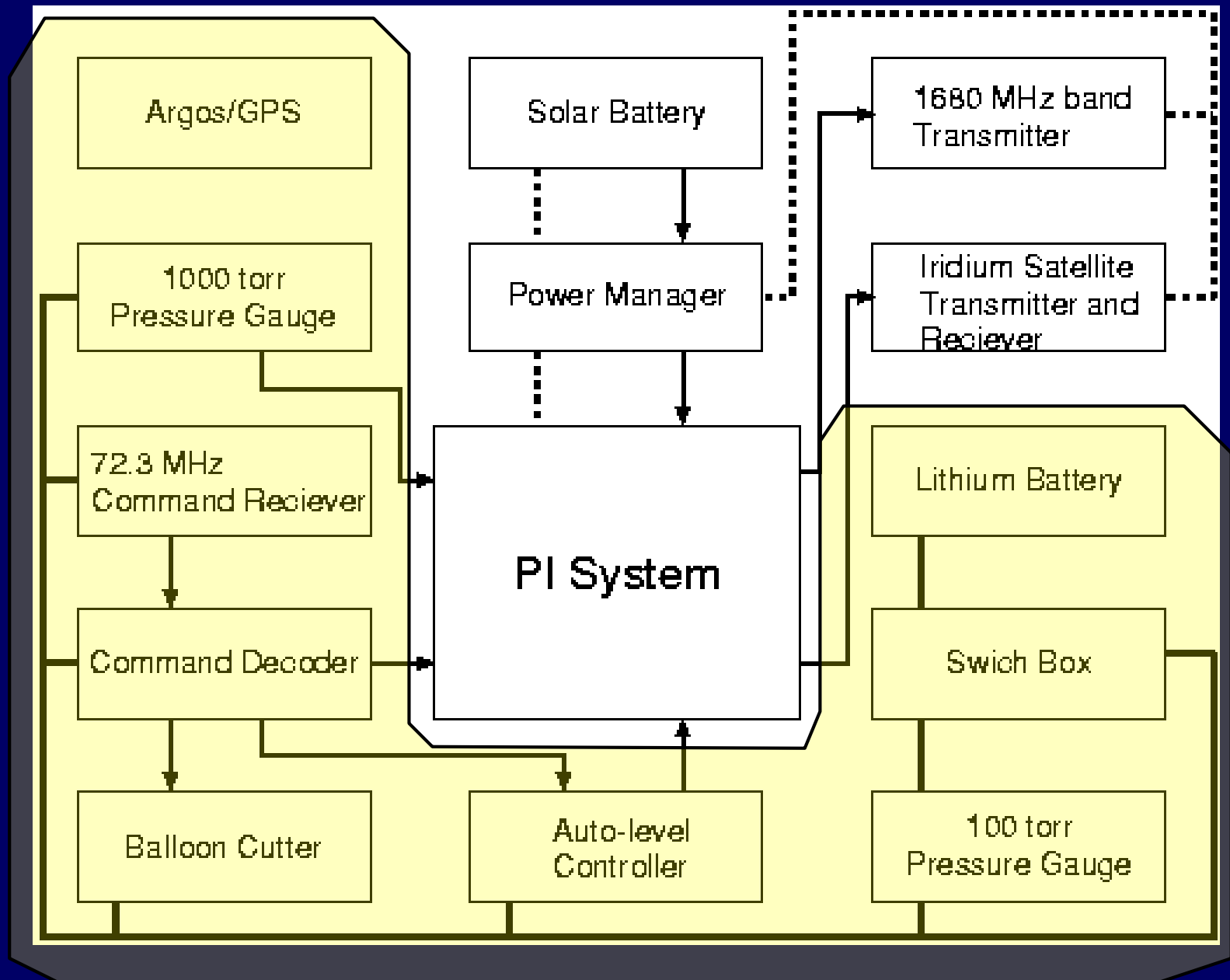


EMW

EFD, MGF
AXI, TEC

図7 地球物理観測器の飛行荷姿

搭載機器システム系統図



観測器の組立て



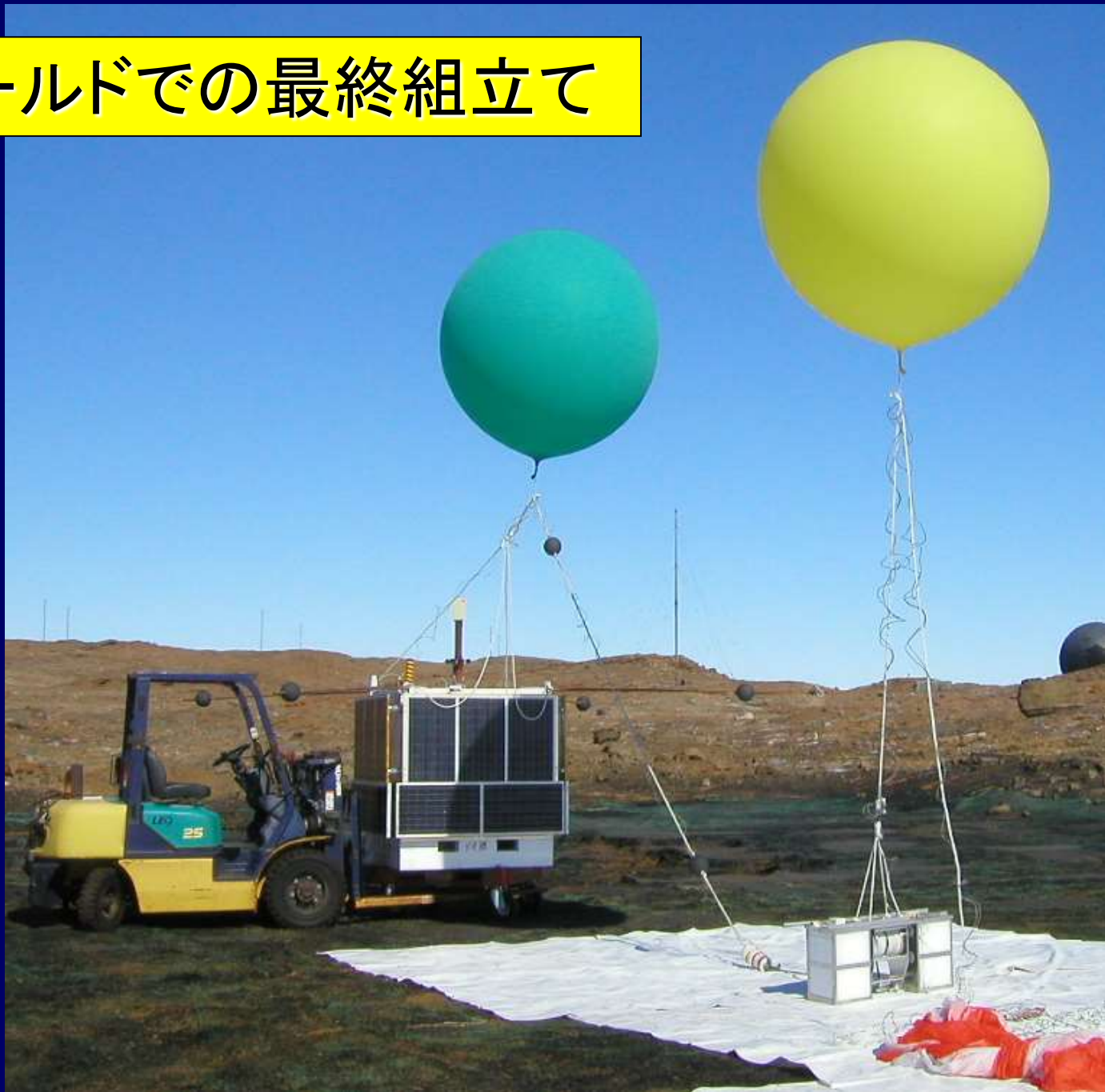
観測器の組立て



観測器の組立て



フィールドでの最終組立て



昭和基地から放球

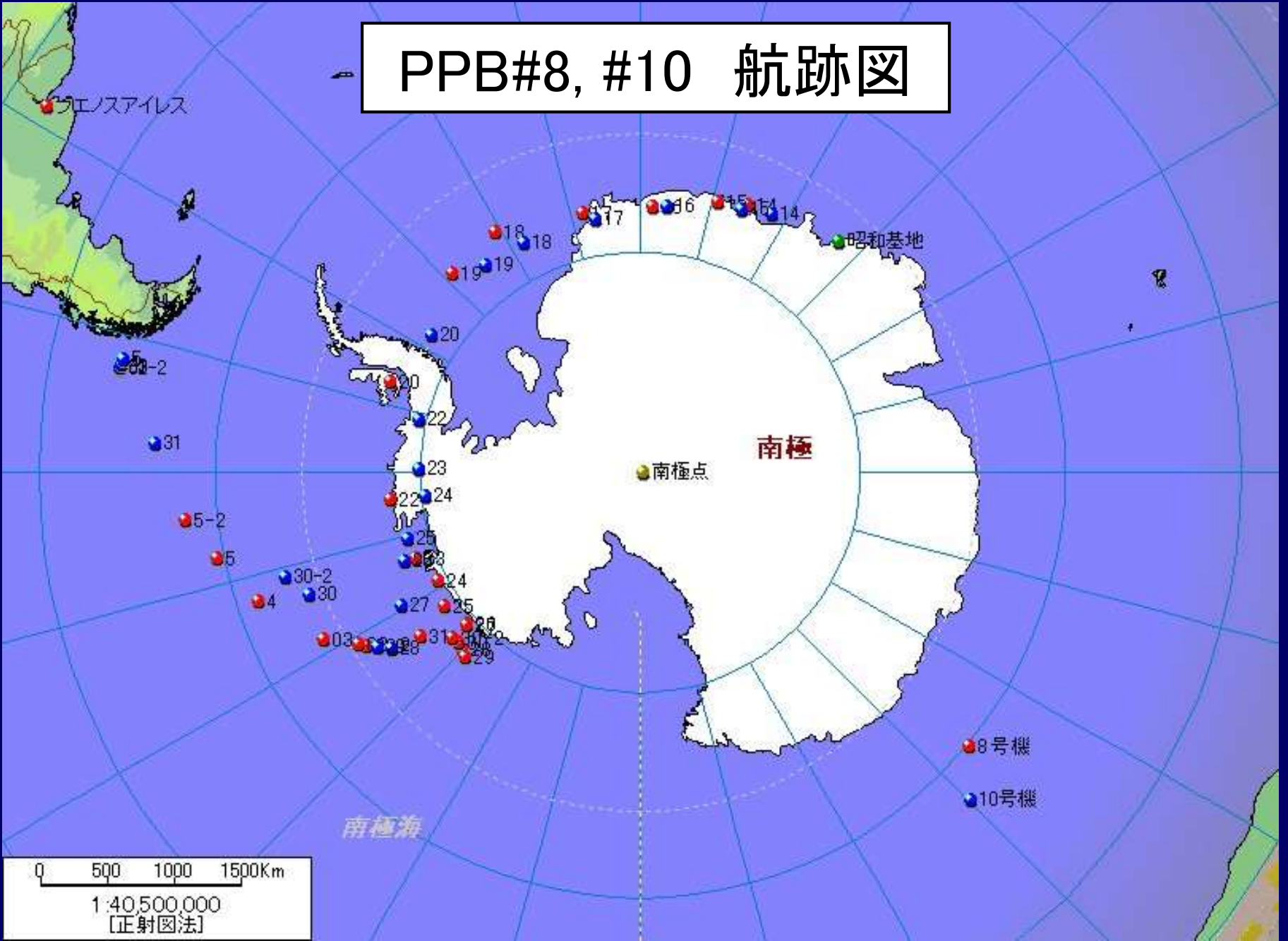


Launching date & time

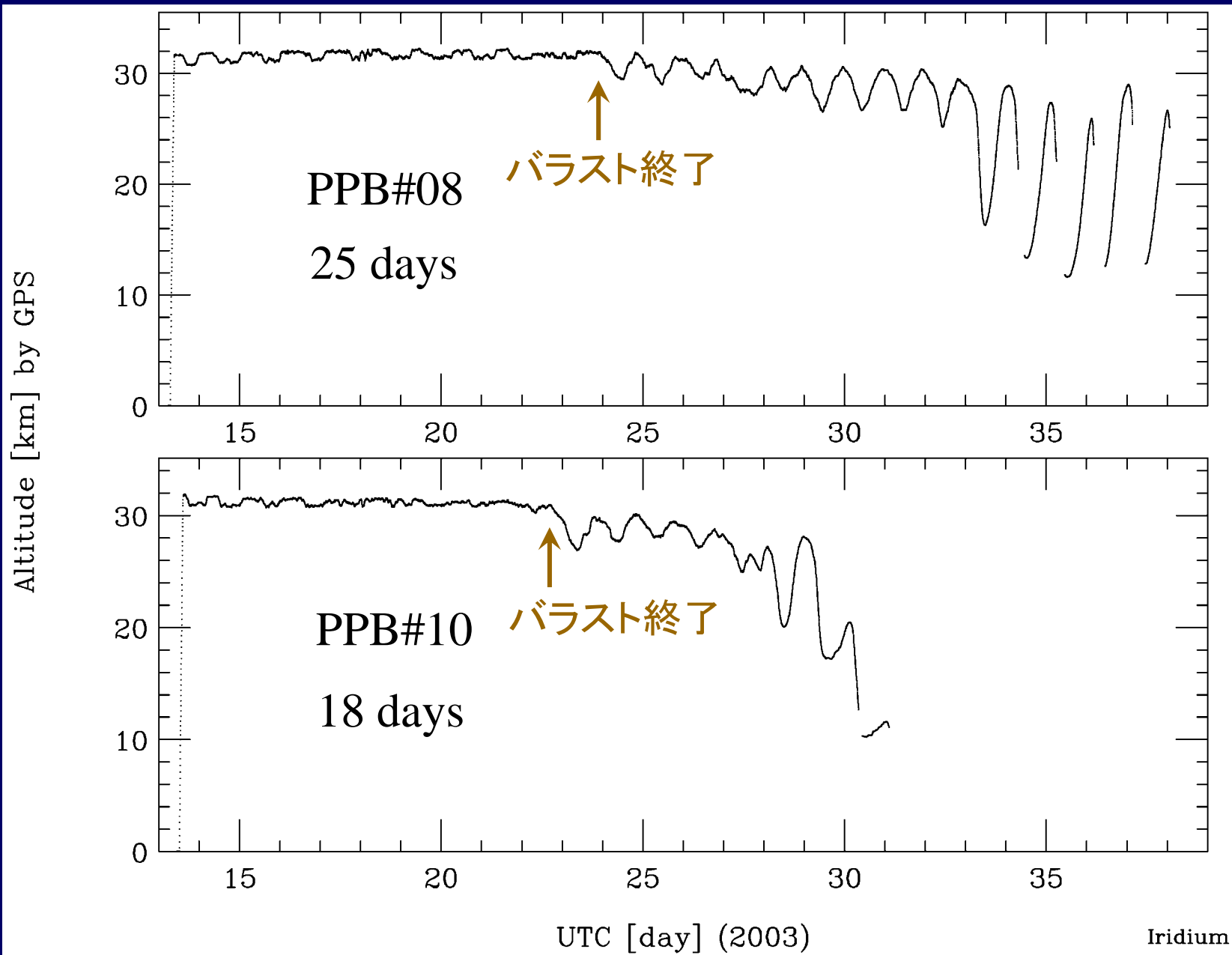
PPB #8 : 06:49 UT on Jan. 13, 2003

PPB #10 : 12:15 UT on Jan. 13, 2003

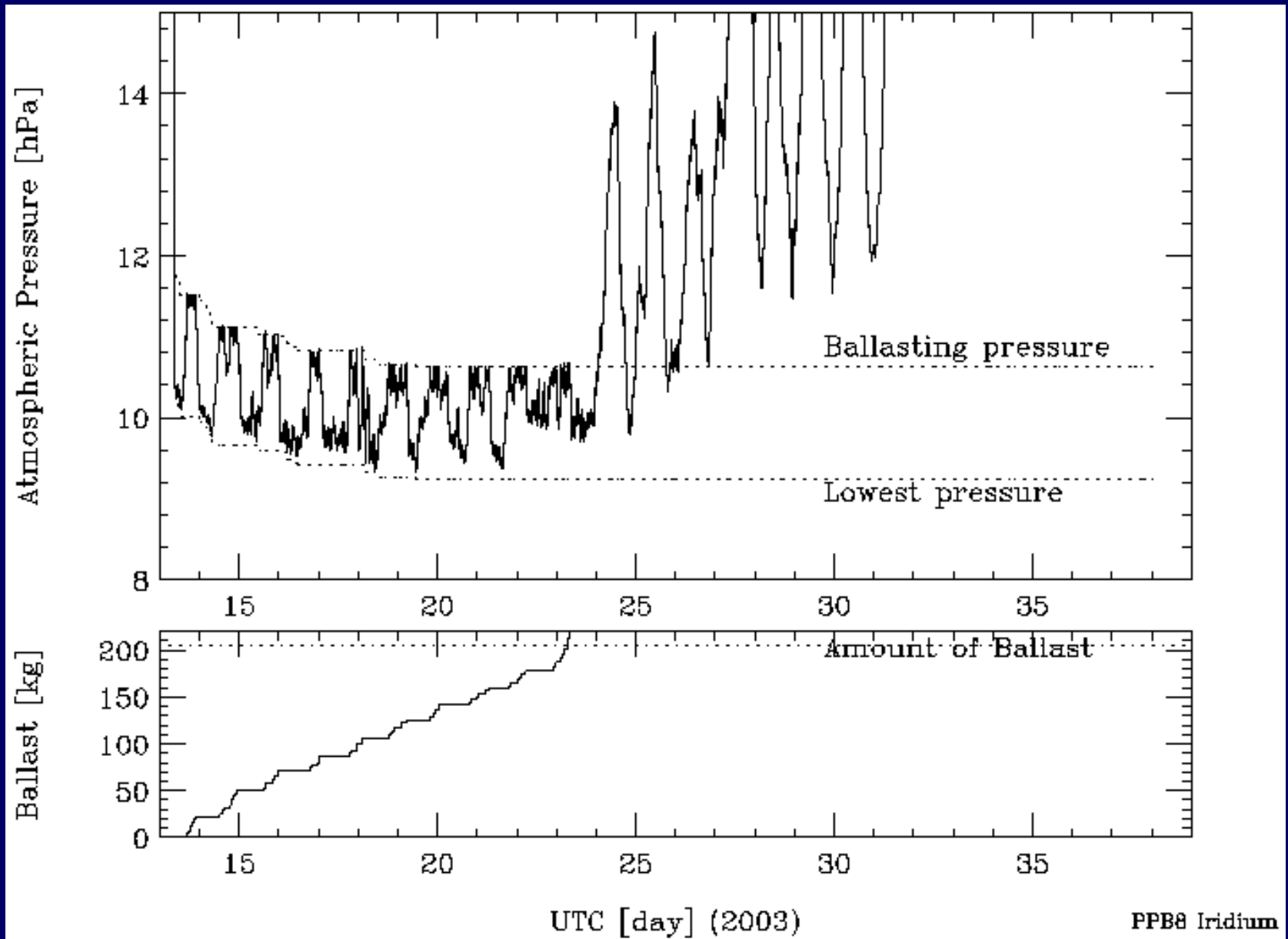
PPB#8, #10 航跡図



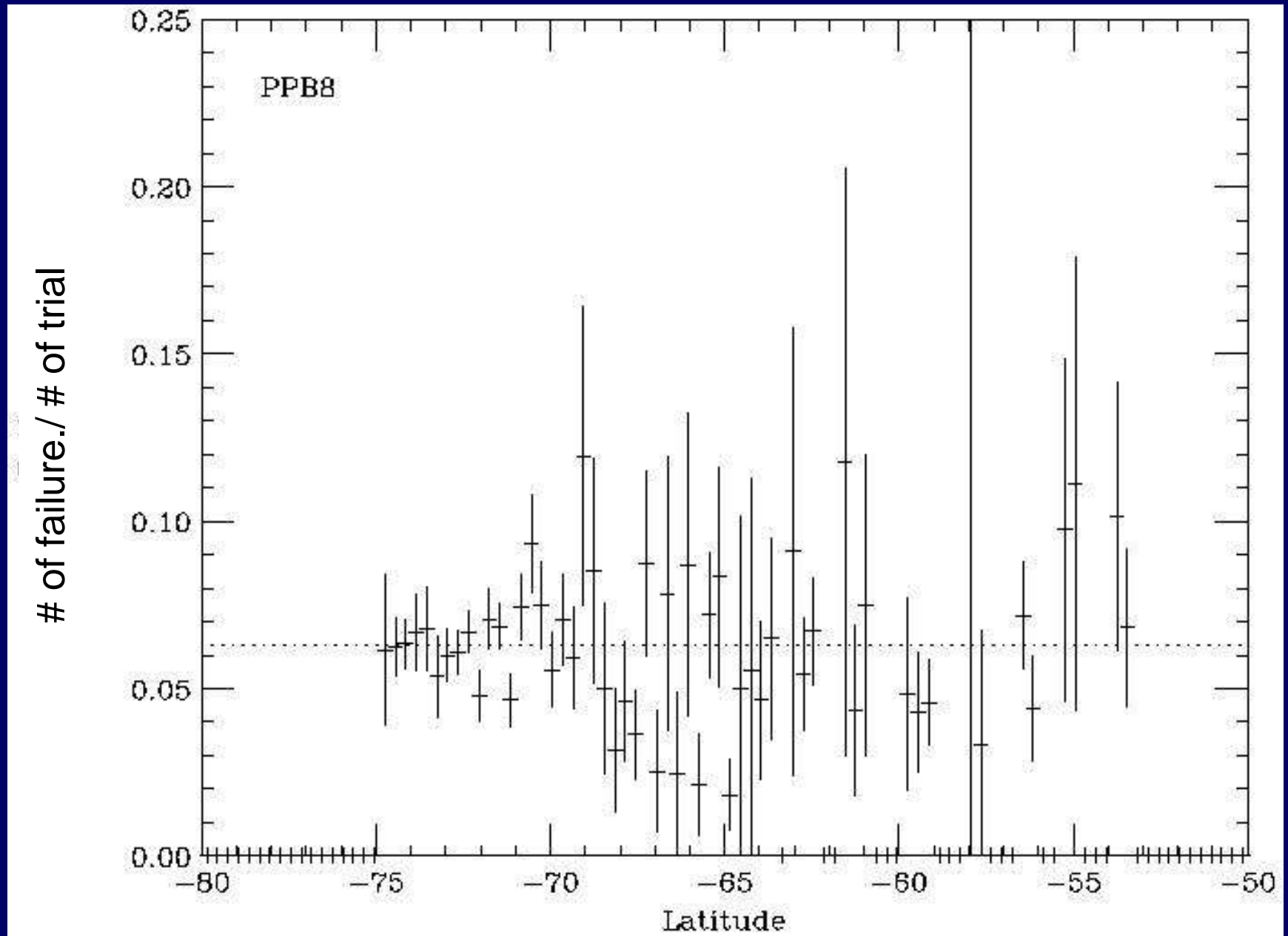
PPB#8, #10 飛翔高度変化



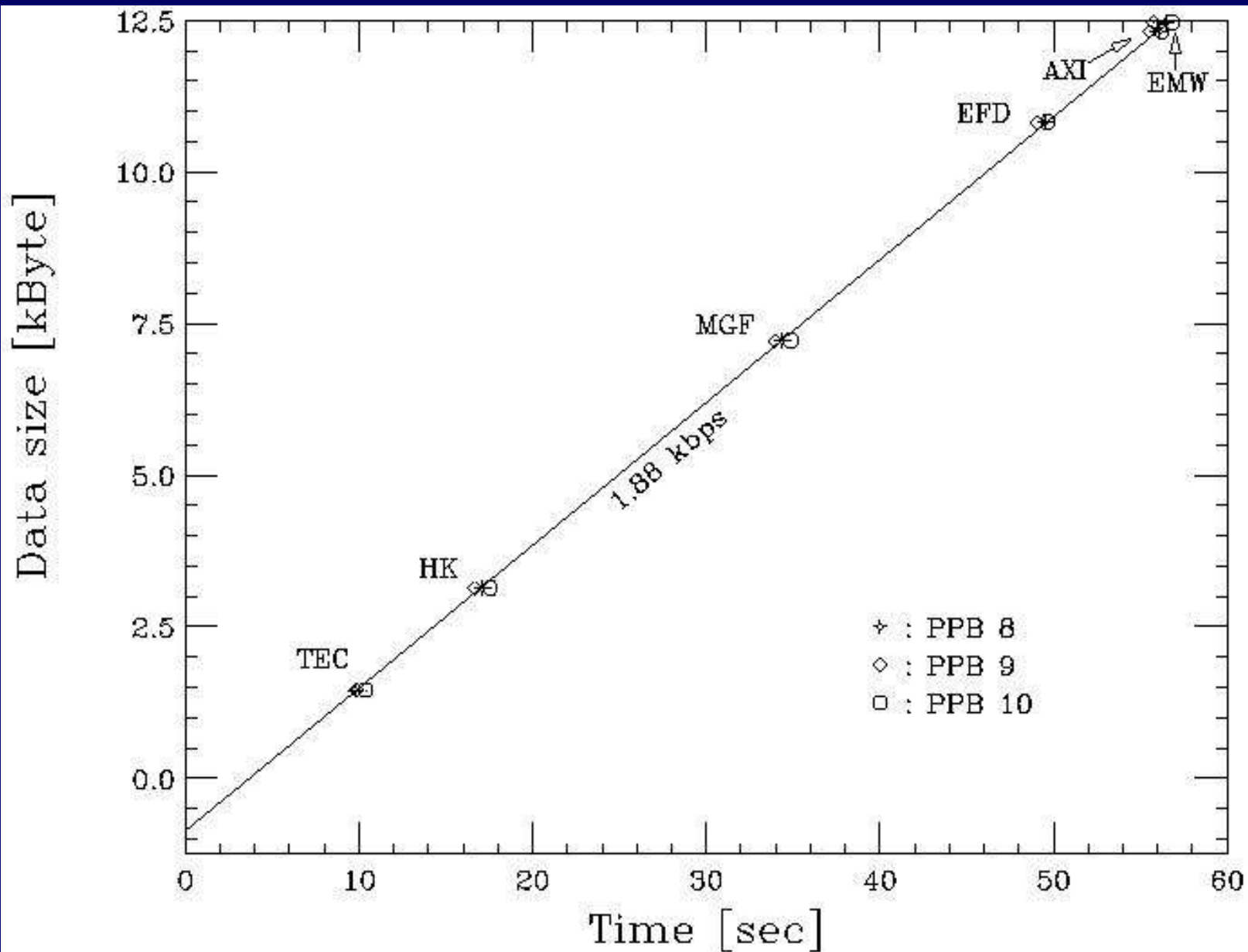
PPB#8 オートバラスト動作経過



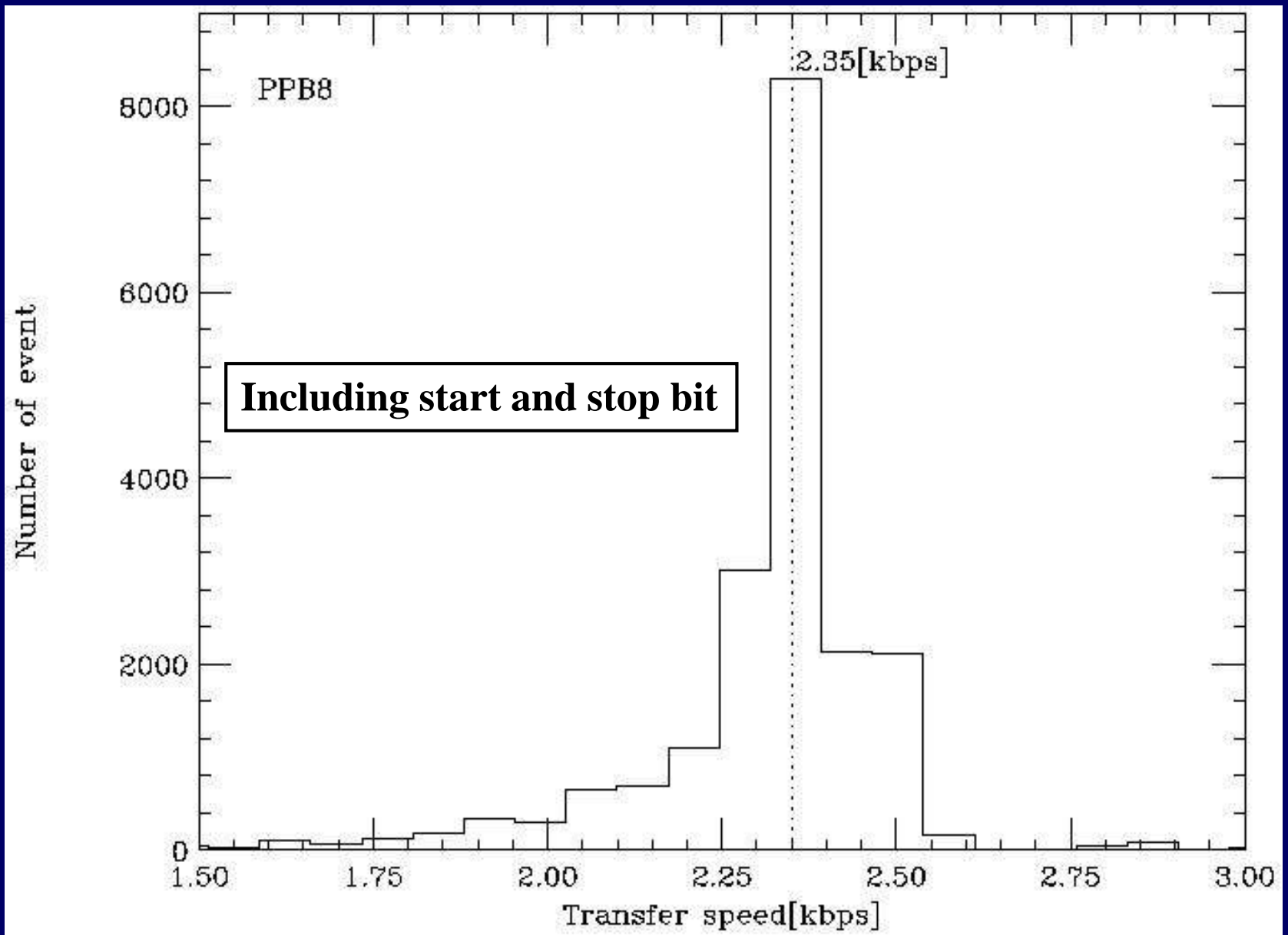
イリジウム伝送の失敗確率



イリジウム実効データ伝送速度



イリジウム通信速度分布



Specification of JARE-44 PPB EFD

Measured values	6 single probe (V1G-V6G), 3 double probe (V12, V34, V56)
Measured Range	± 382 mV/m (V12,V34), ± 1.67 V/m (V56), ± 5.73 V/m (V1G-V4G), ± 2.46 V/m (V5G), ± 4.84 V/m (V6G)
Resolution (12 bit A/D)	0.19 mV/m (V12, V34), 0.81 mV/m (V56) 2.80 mV/m (V1G-V4G), 1.20 mV/m (V5G), 2.36 mV/m (V6G)
Sampling rate	1 sec
CAL & Conductivity measurement	8 sec at every 10 min (4 sec : 0 V, 4 sec : ± 7.5 V) $\tau = \epsilon_0 / \sigma$ (τ : time constant, ϵ_0 : permittivity, σ : conductivity)

PPB EFDによる Global Circuit の観測

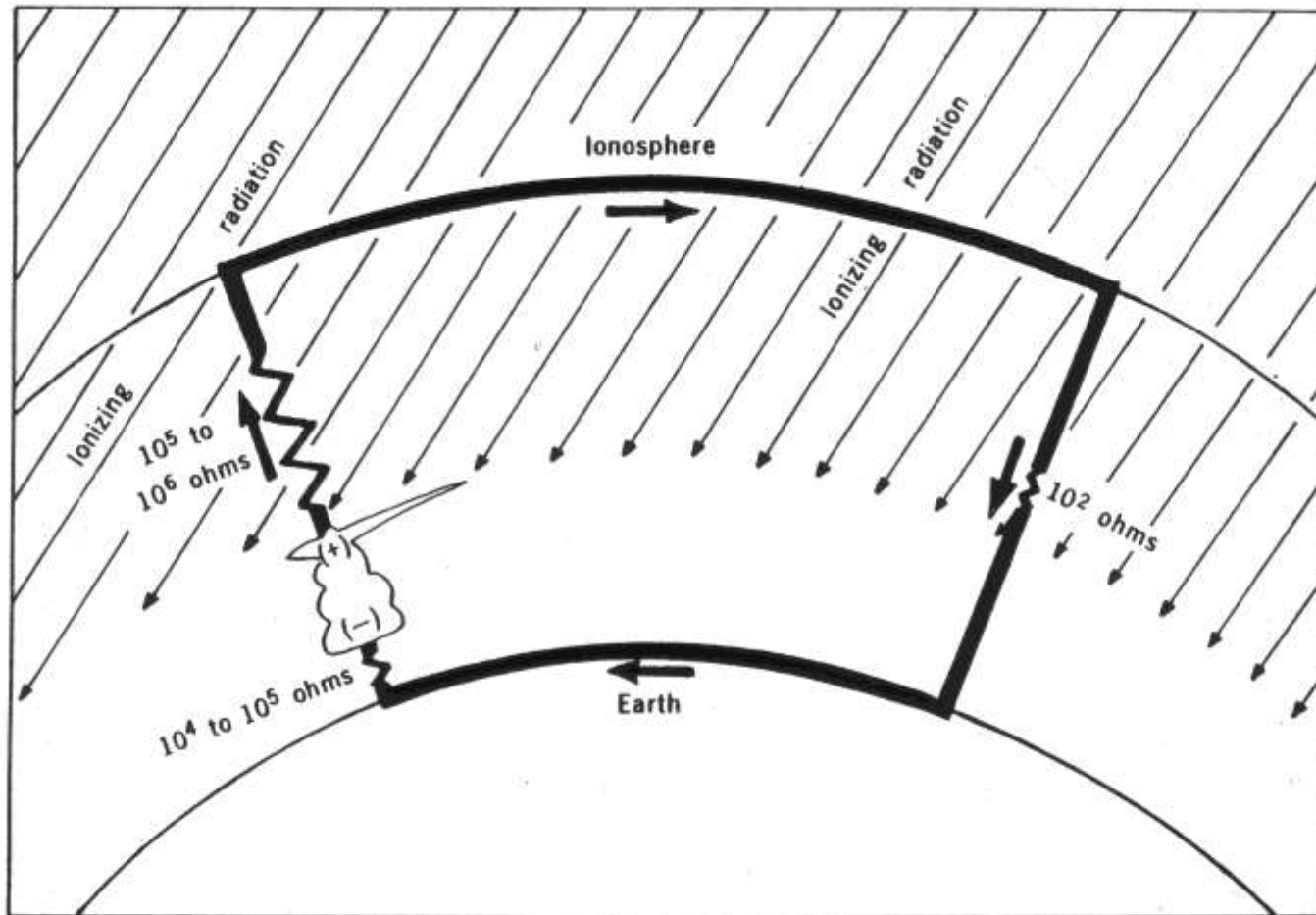
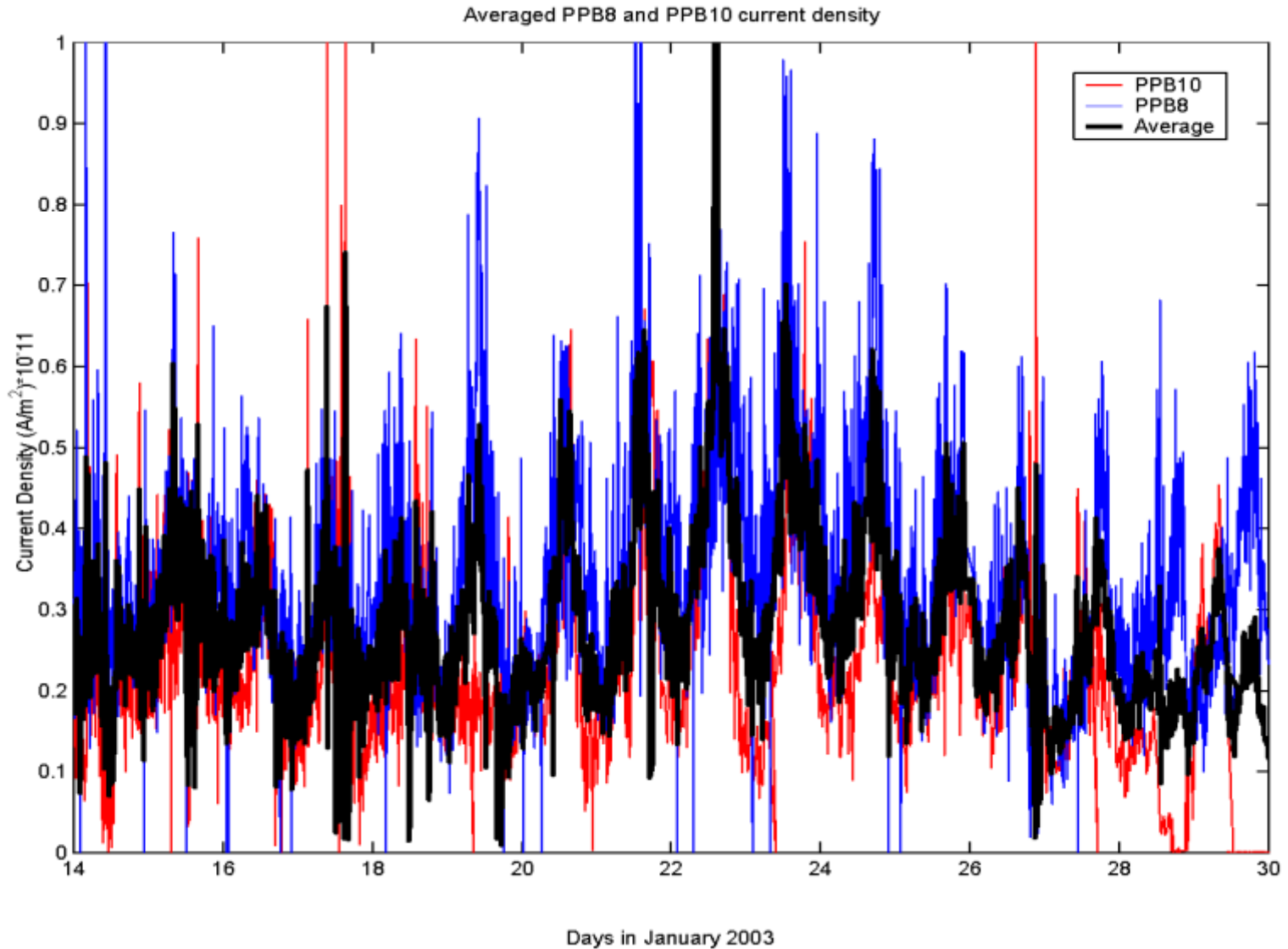


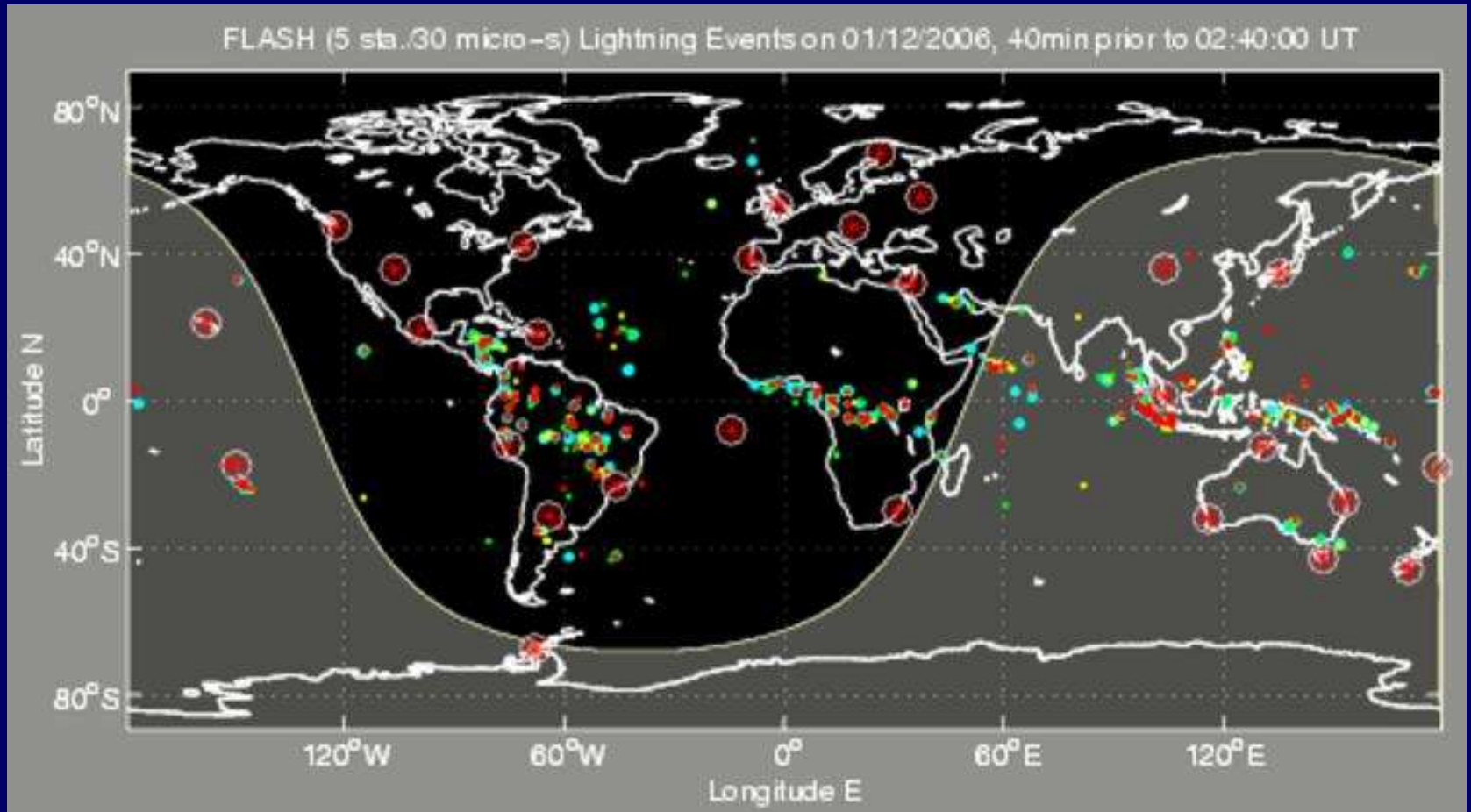
Figure 1. Schematic diagram of the atmospheric electrical global circuit. The thunderstorm represents the global thunderstorm generator which is equivalent to the summation of worldwide thunderstorm activity at a given time. The varying component of solar-modulated ionizing radiation is depicted (after Markson, 1978).

Vertical Current Density $J_z \leftarrow \sigma, E_z$



World Wide Lightning Location Map

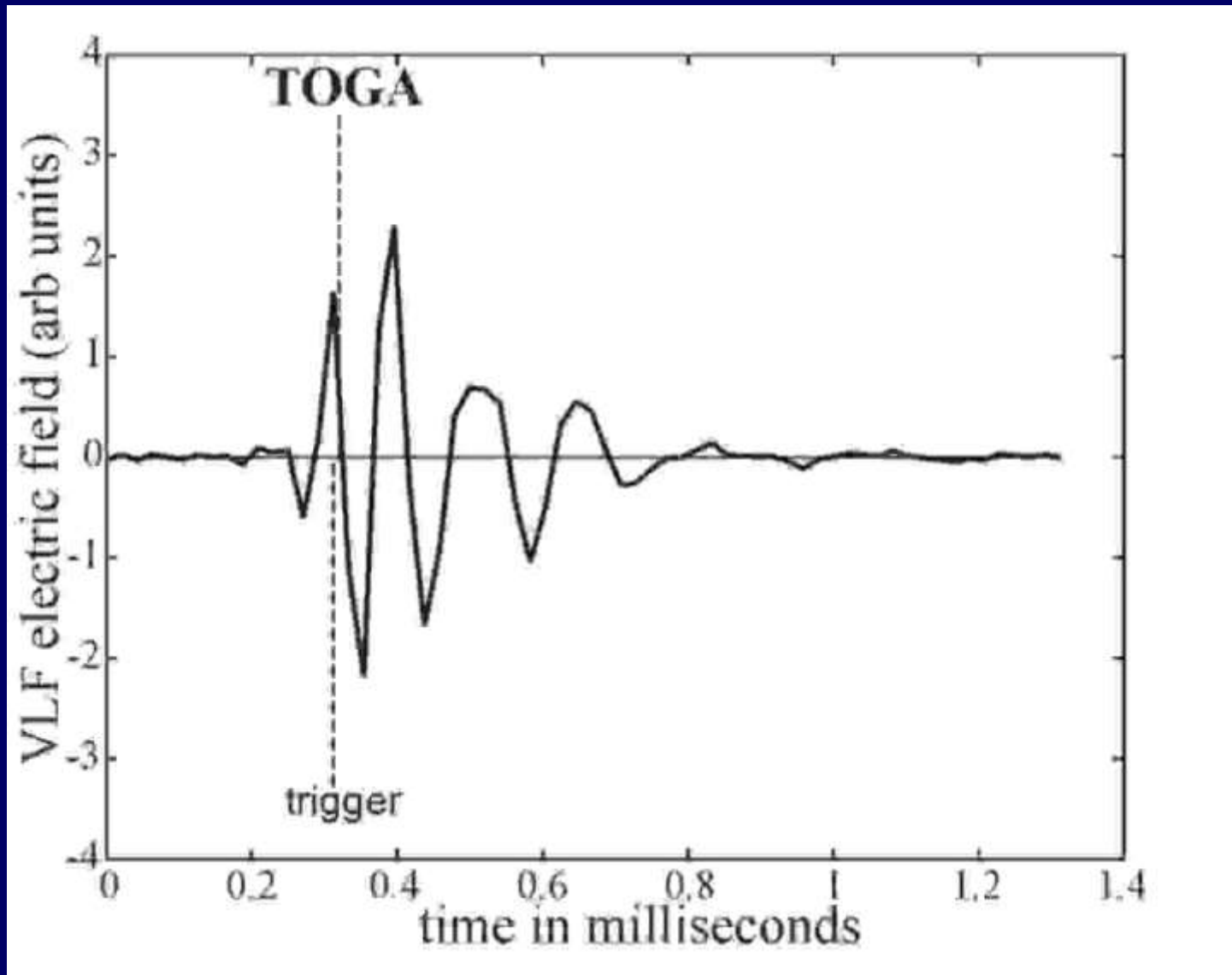
see: <http://flash.ess.washington.edu>

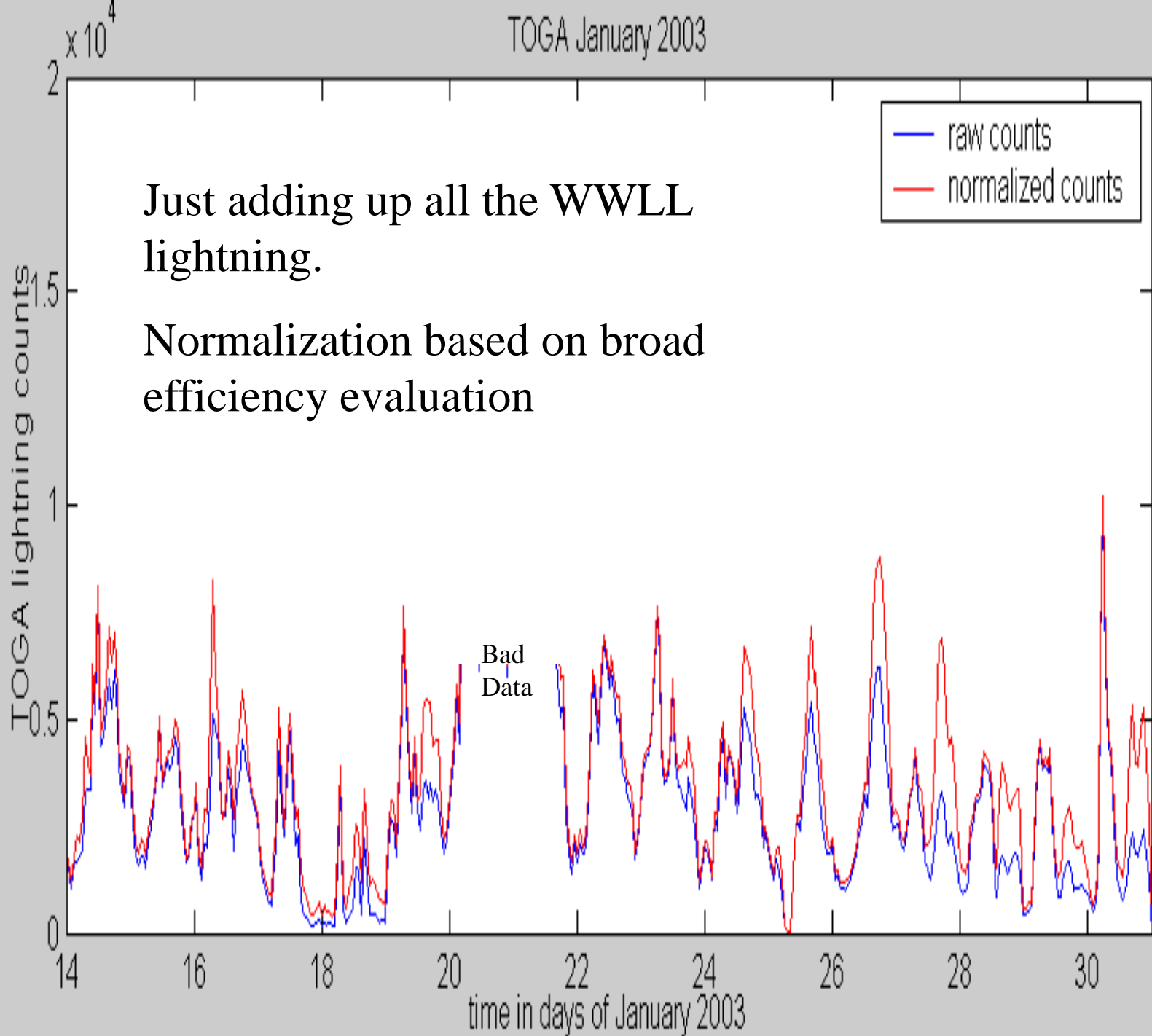


Data on Dec. 01, 2006 (today)

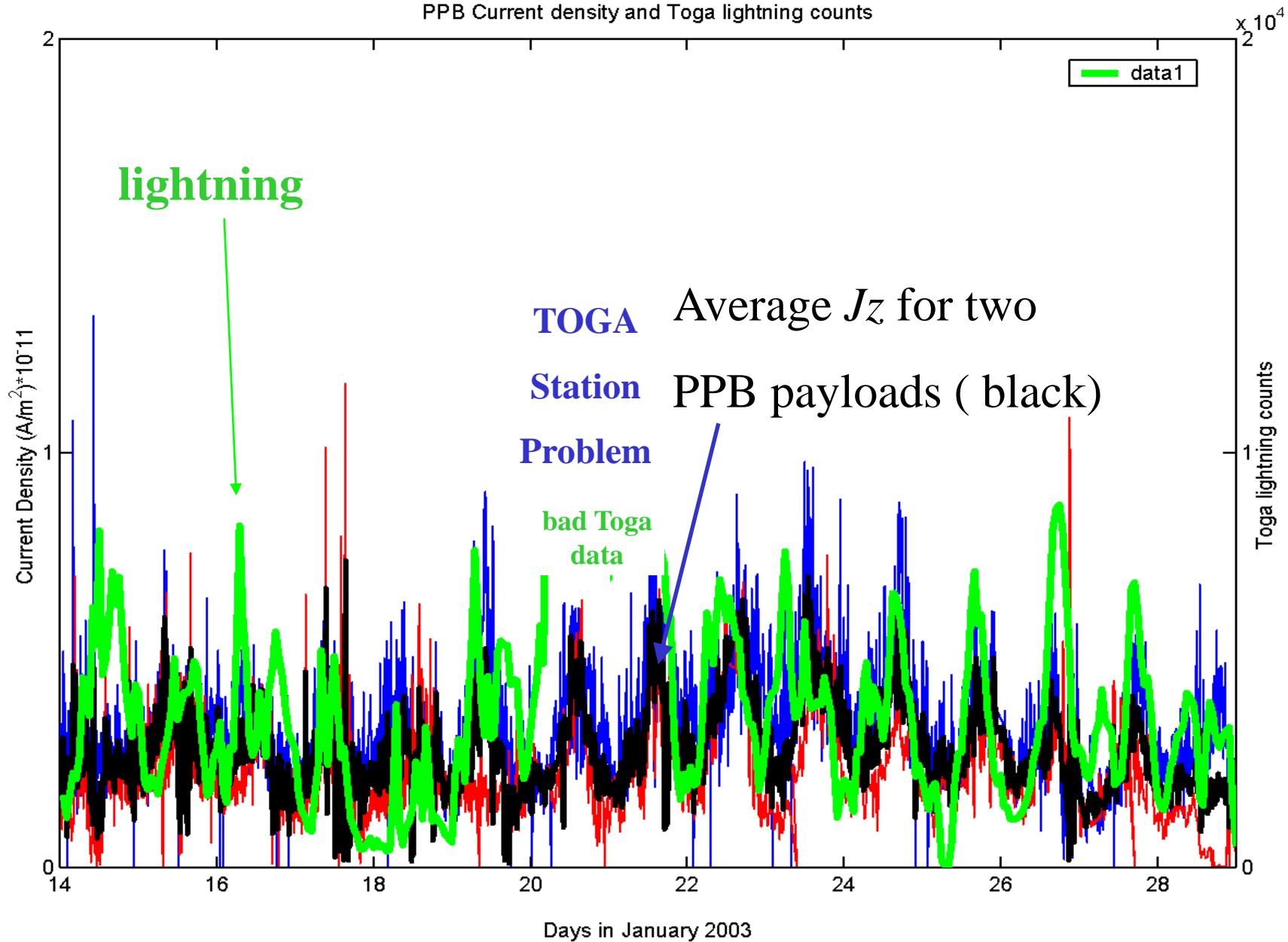
new map on the web every 10 minutes

Time of Group Arrival (TOGA)

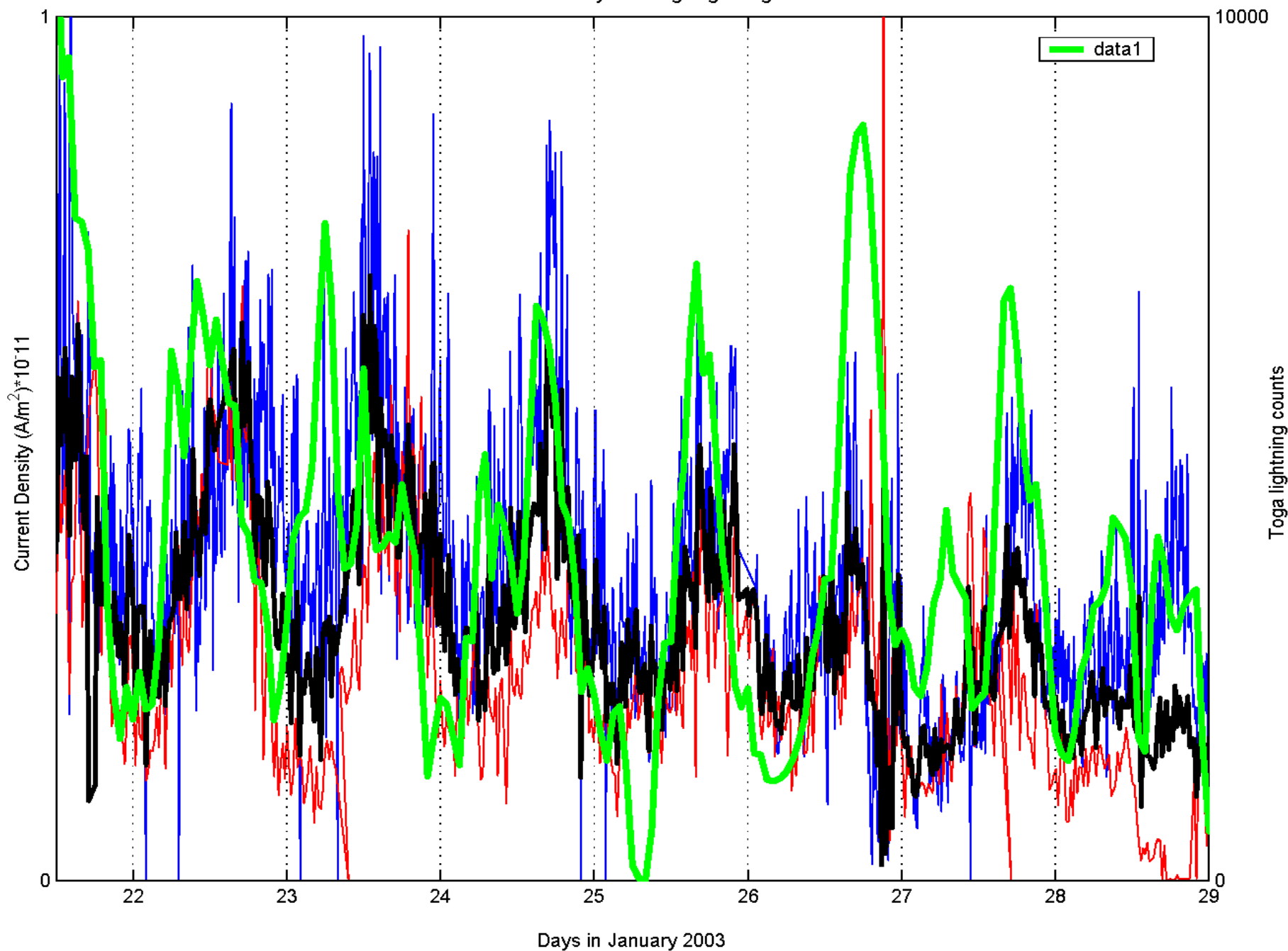




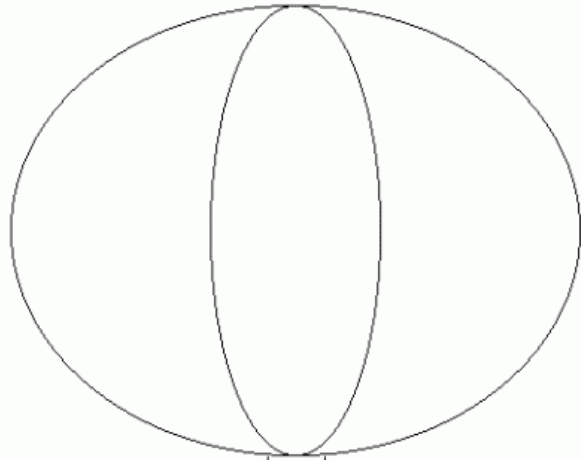
PPB Current density and Toga lightning counts



PPB Current density and Toga lightning counts

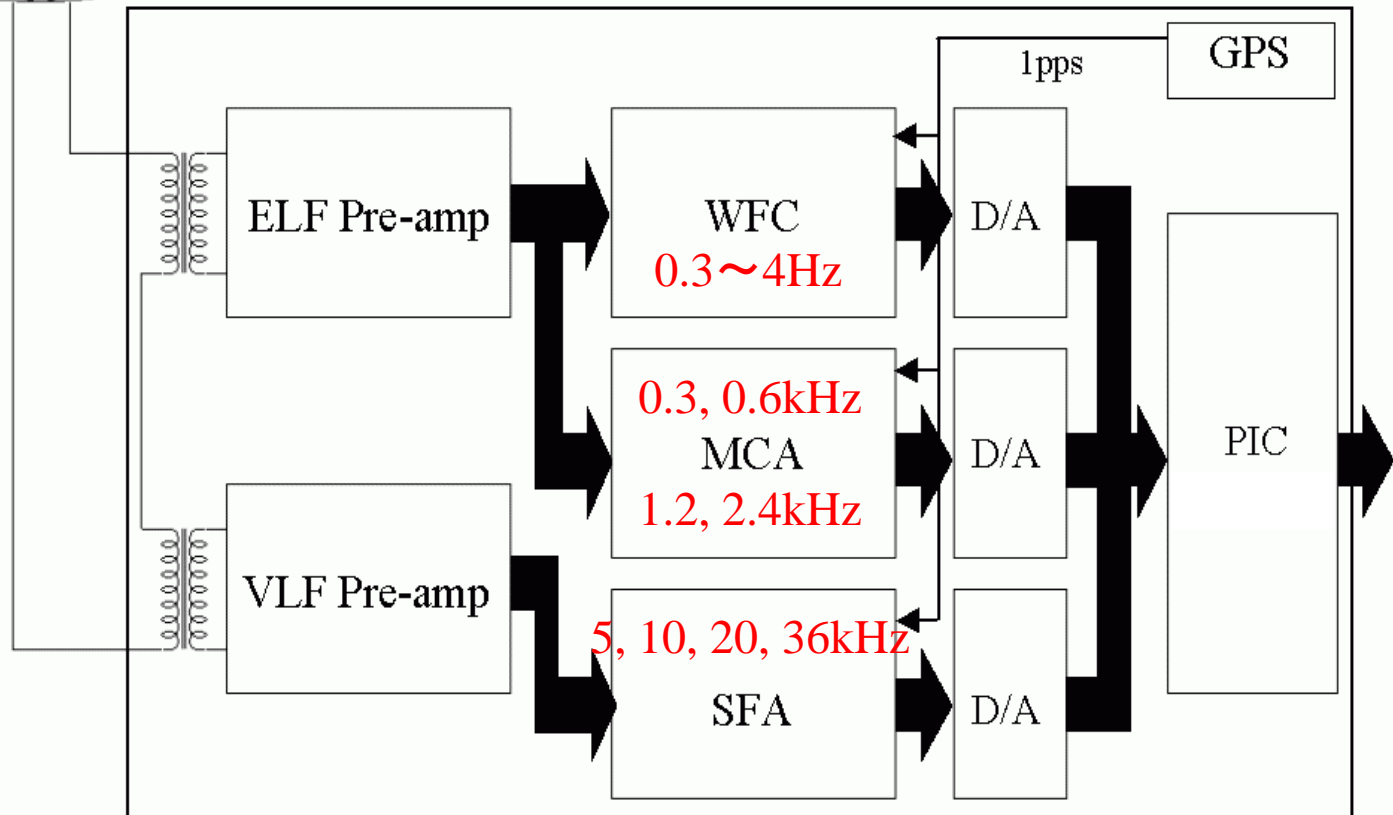


EMWによる自然電波の観測



Loop Antenna

EMW

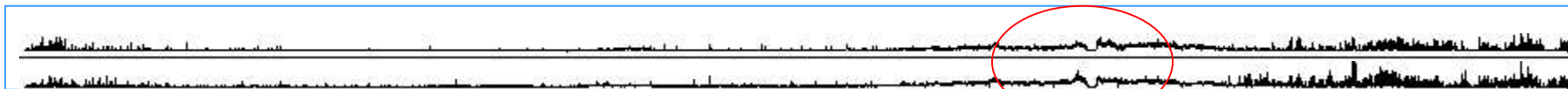


近接したPPB#8とPPB#10でよく似た時間変化が観測された例 両者のキヨリ < 300km

MCA 2.4kHz

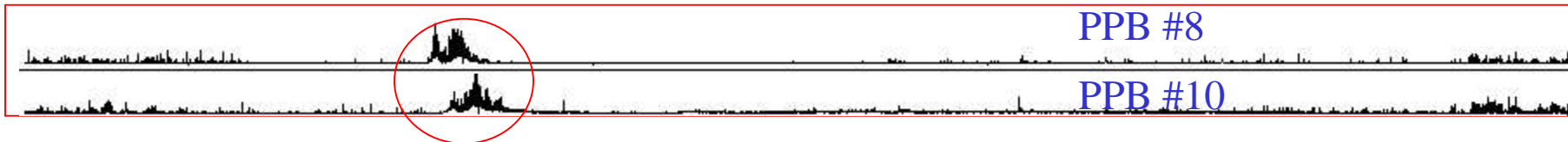
Distance: 170km

Jan 14



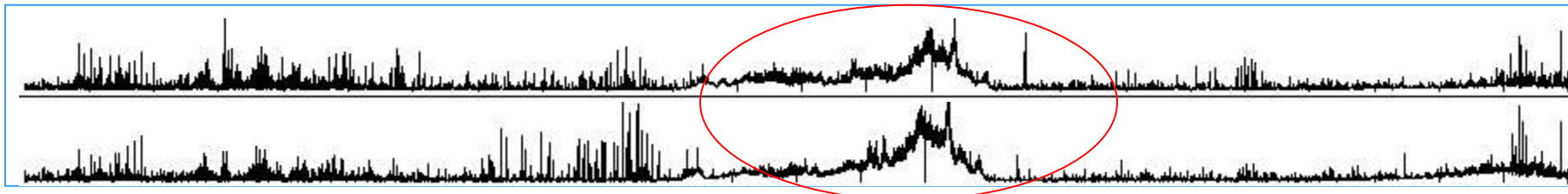
Distance: 210km

Jan 15



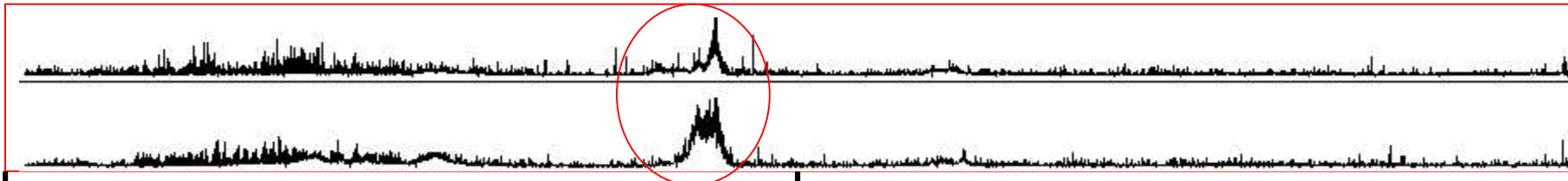
Distance: 93km

Jan 17



Distance: 340km

Jan 19



00

12

24 UT

近接したPPB#8とPPB#10で異なる時間変化が観測された例 両者のキヨリ > 500km

MCA 2.4kHz

Distance: 720km

Jan 22

PPB # 8

PPB # 10

Distance: 540km

Jan 24

Distance: 600km

Jan 25

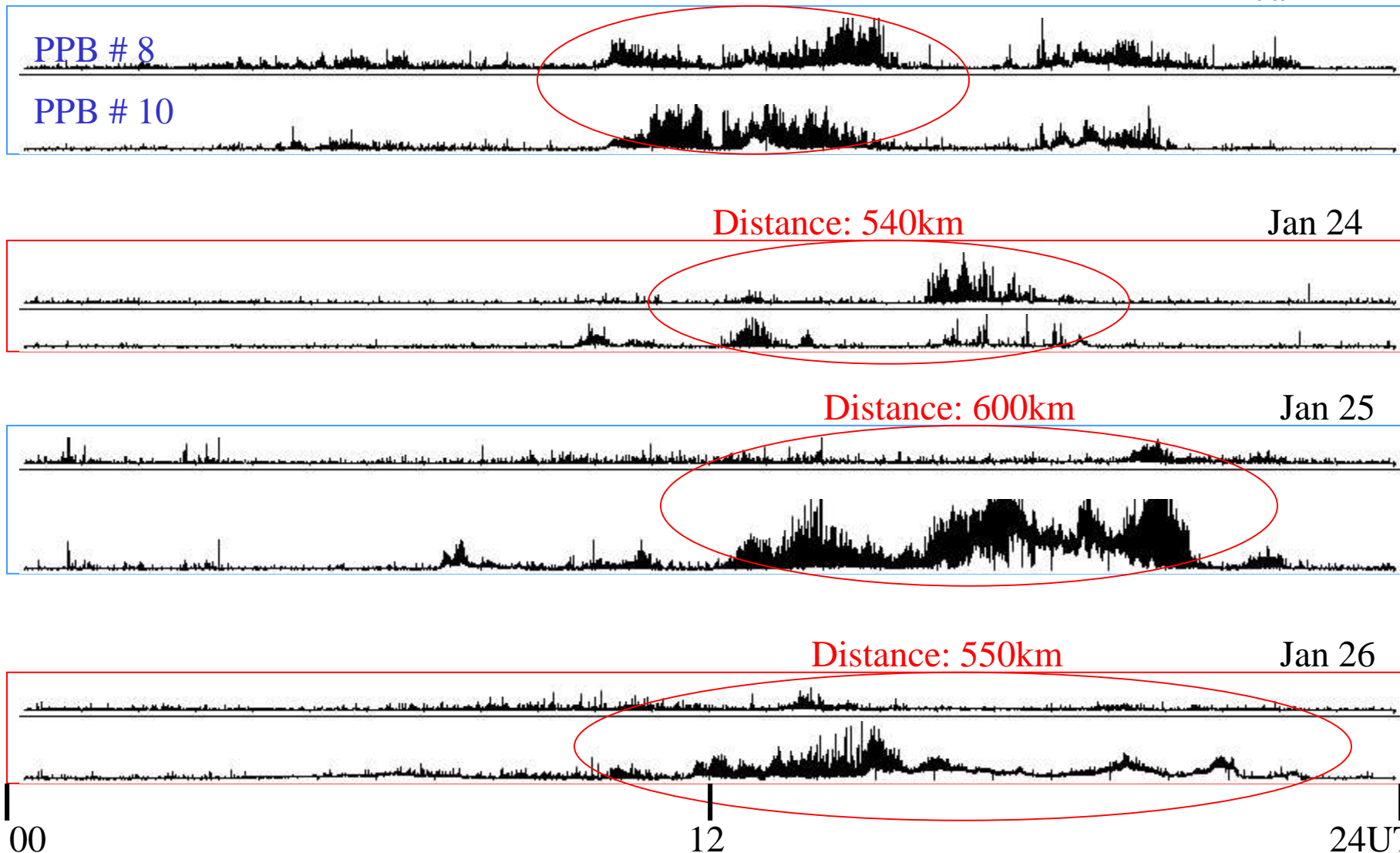
Distance: 550km

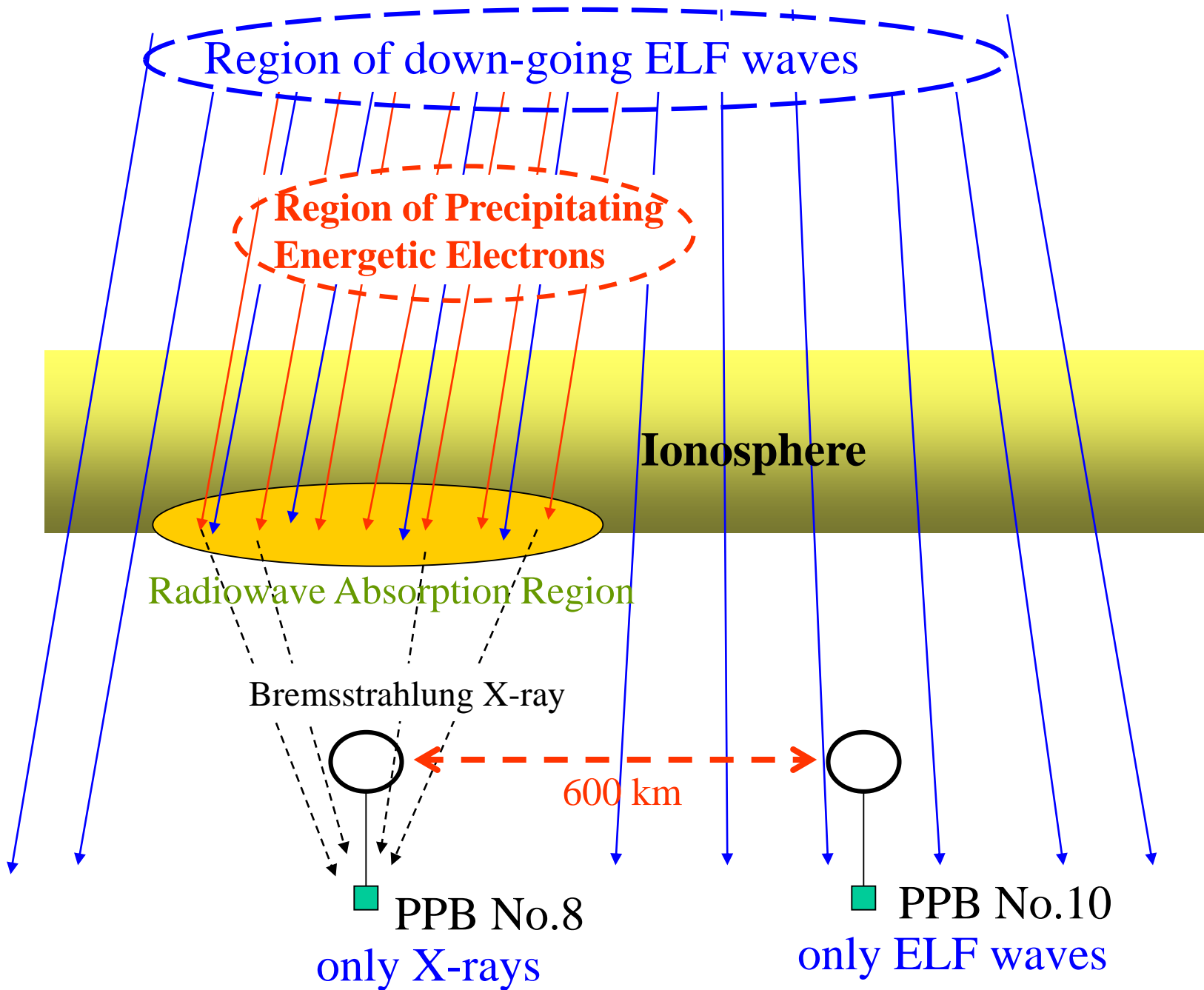
Jan 26

00

12

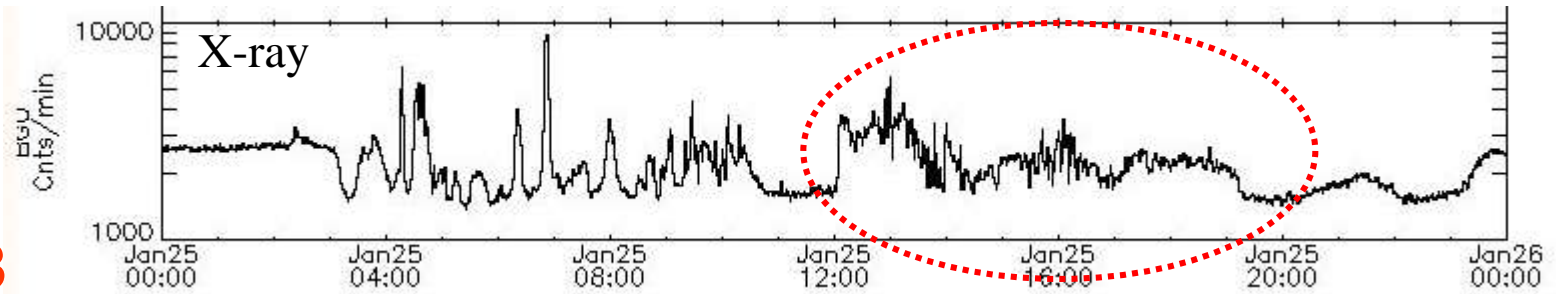
24UT



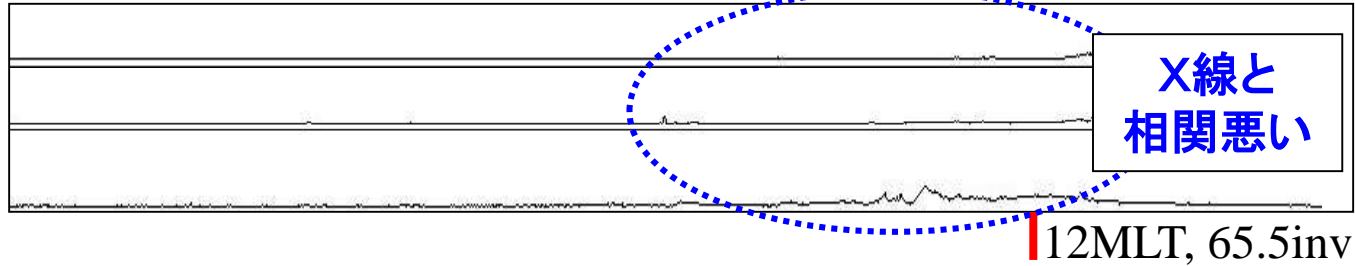


Energetic Electron Precipitation (X-ray) and Chorus Emission

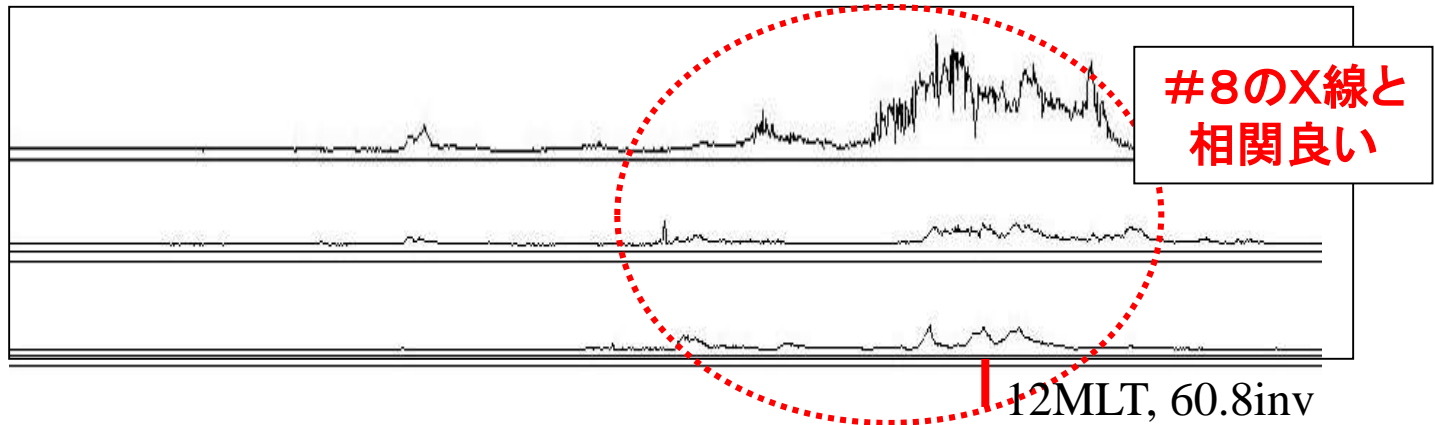
PPB#8



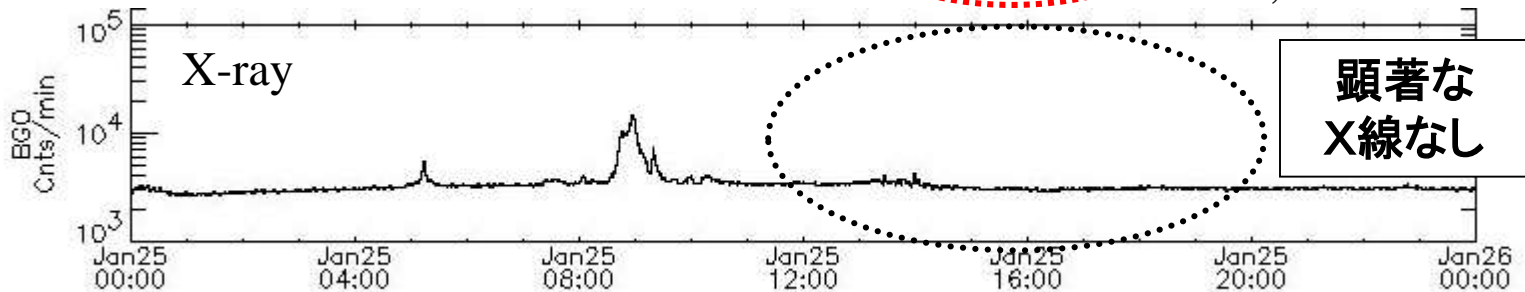
EMW
2.4kHz
1.2kHz
0.6kHz



EMW
2.4kHz
1.2kHz
0.6kHz



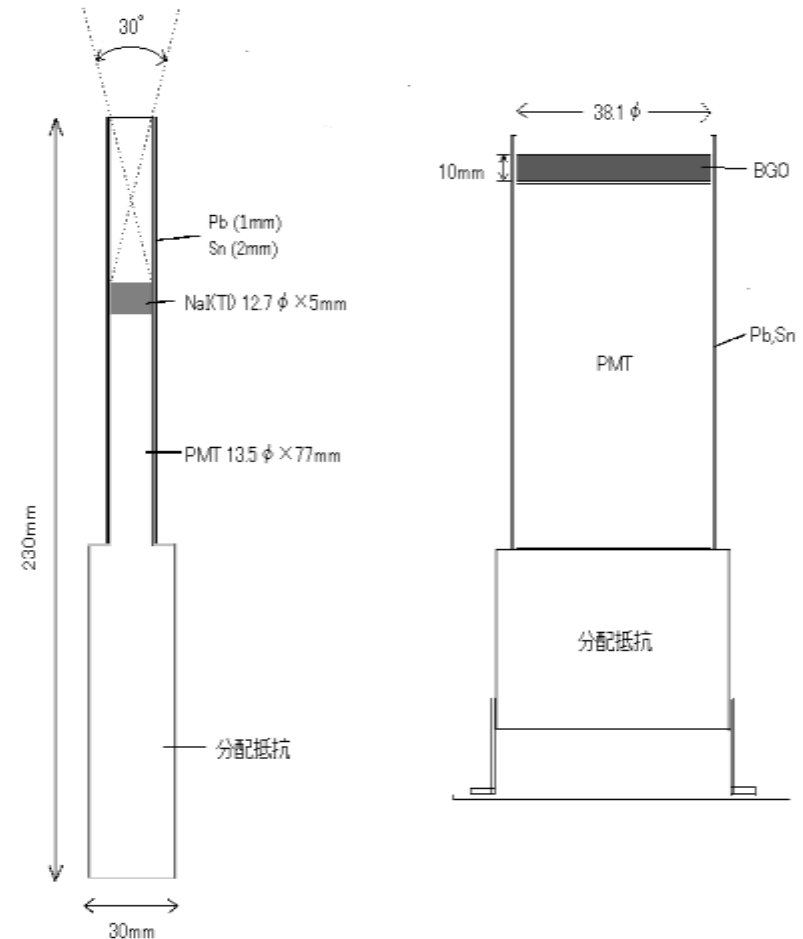
PPB#10



PPB AXI による 高エネルギー電子降下の観測

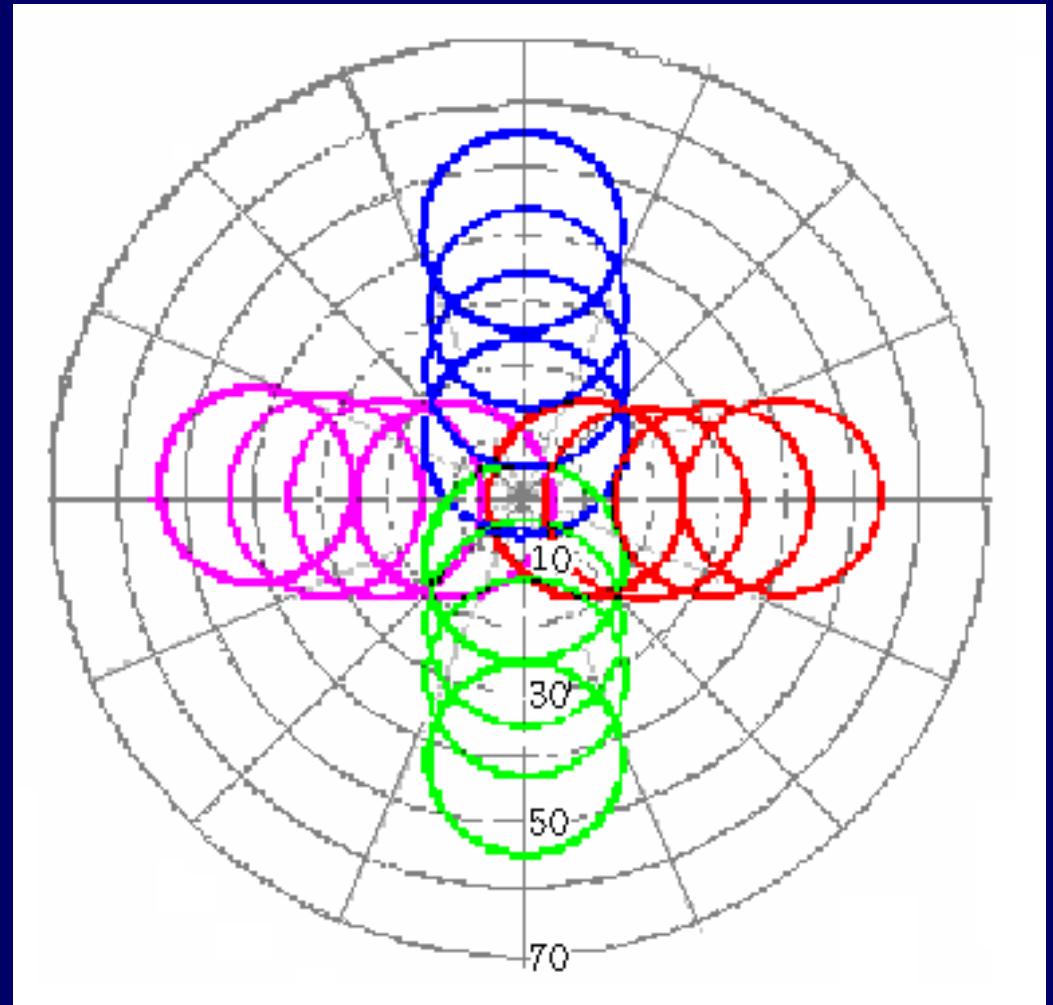
AXI 検出器

	NaI(Tl)	BGO
エネルギー領域	30 keV ~ 180 keV	100 keV ~ 778 keV
結晶の大きさ	直径:0.5インチ 厚さ:5mm	直径:1.5インチ 厚さ:10mm
視野角	30°	155°
設置台数	16台	1台
役割	オーロラ撮像 スペクトル	スペクトル

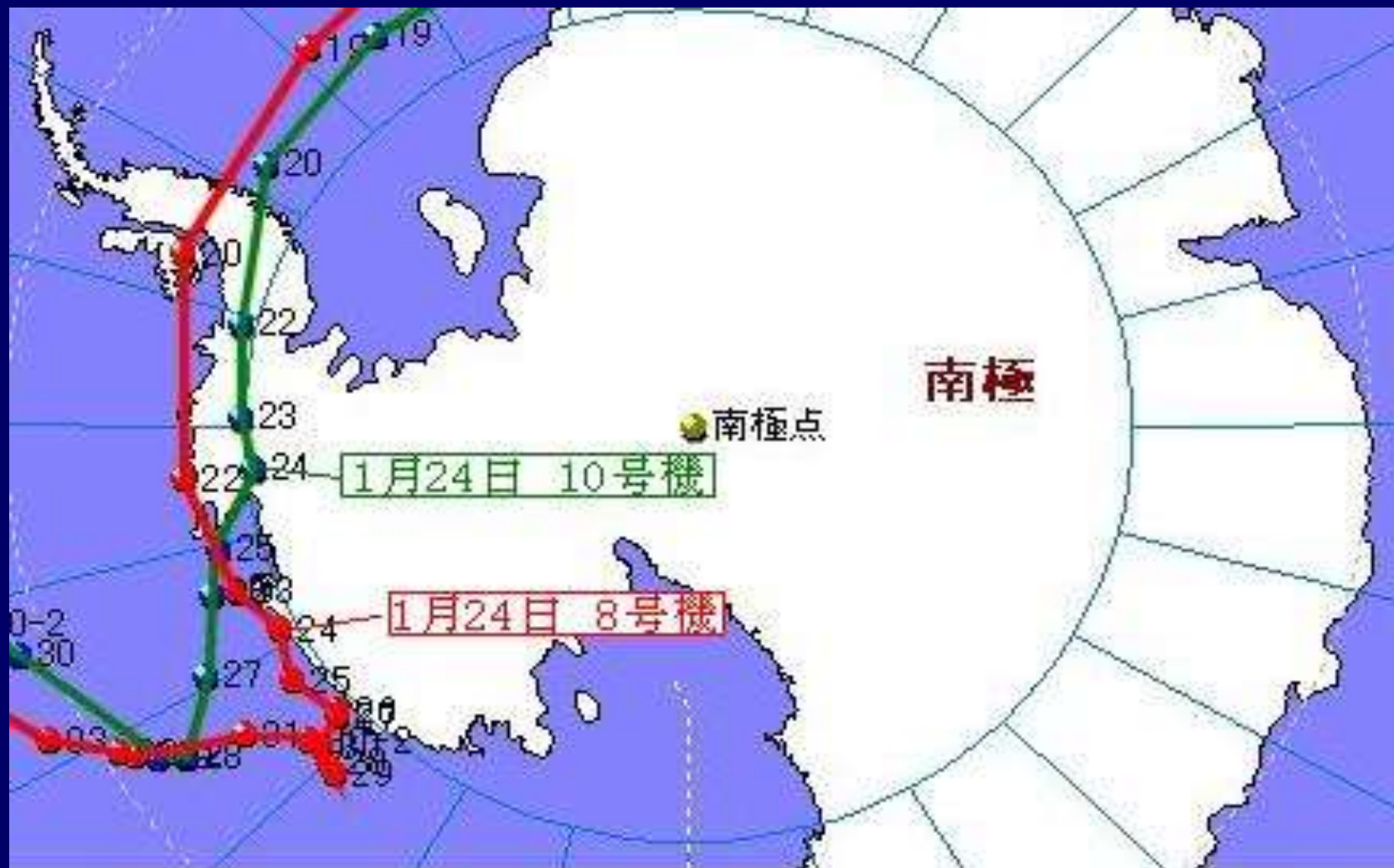


PPB AXI 検出器の視野範囲

16本の検出器
で2次元X線画
像を観測する

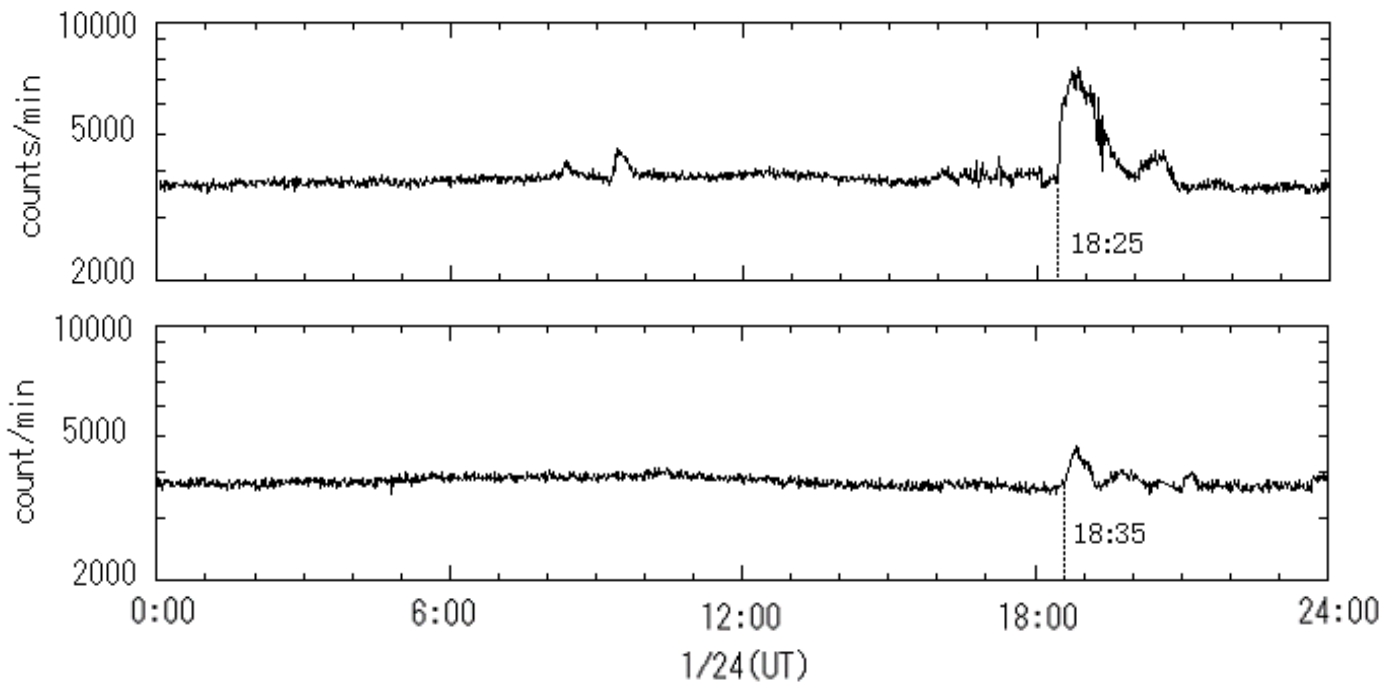


X線イベントが観測された時の気球の位置



オーロラX線イベント 2003年1月24日

PPB#8

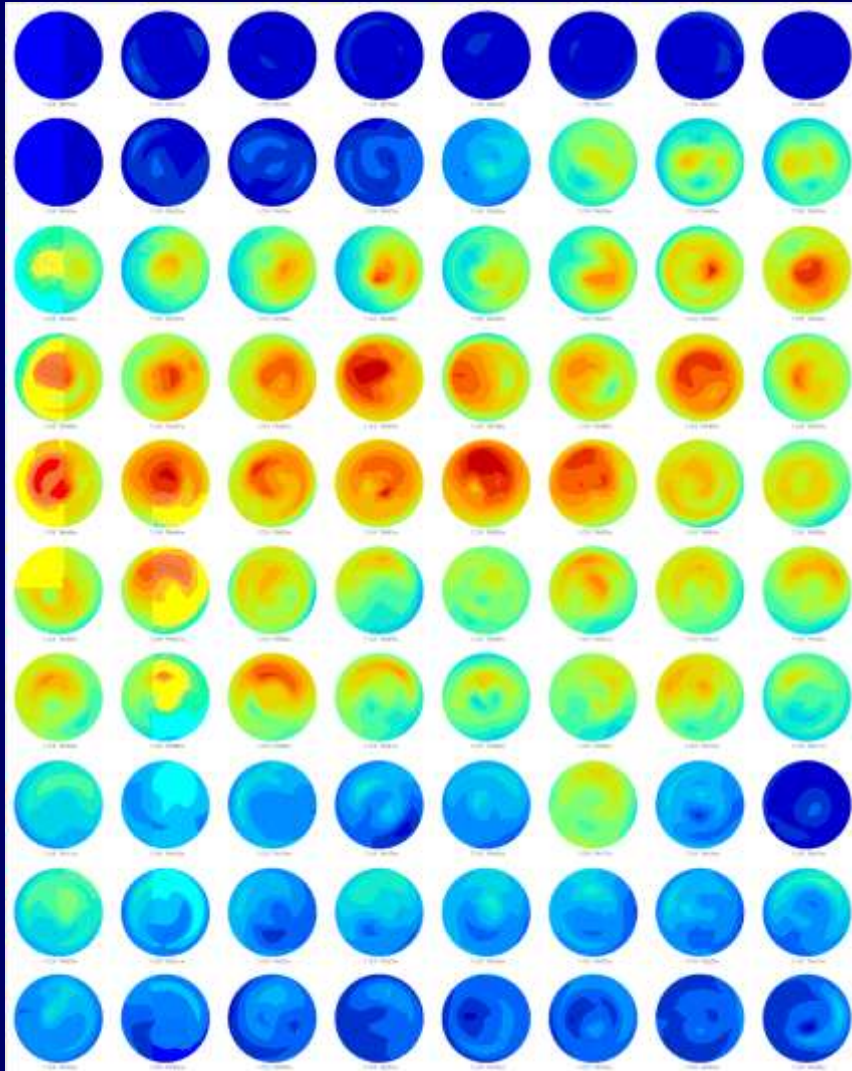


PPB#10

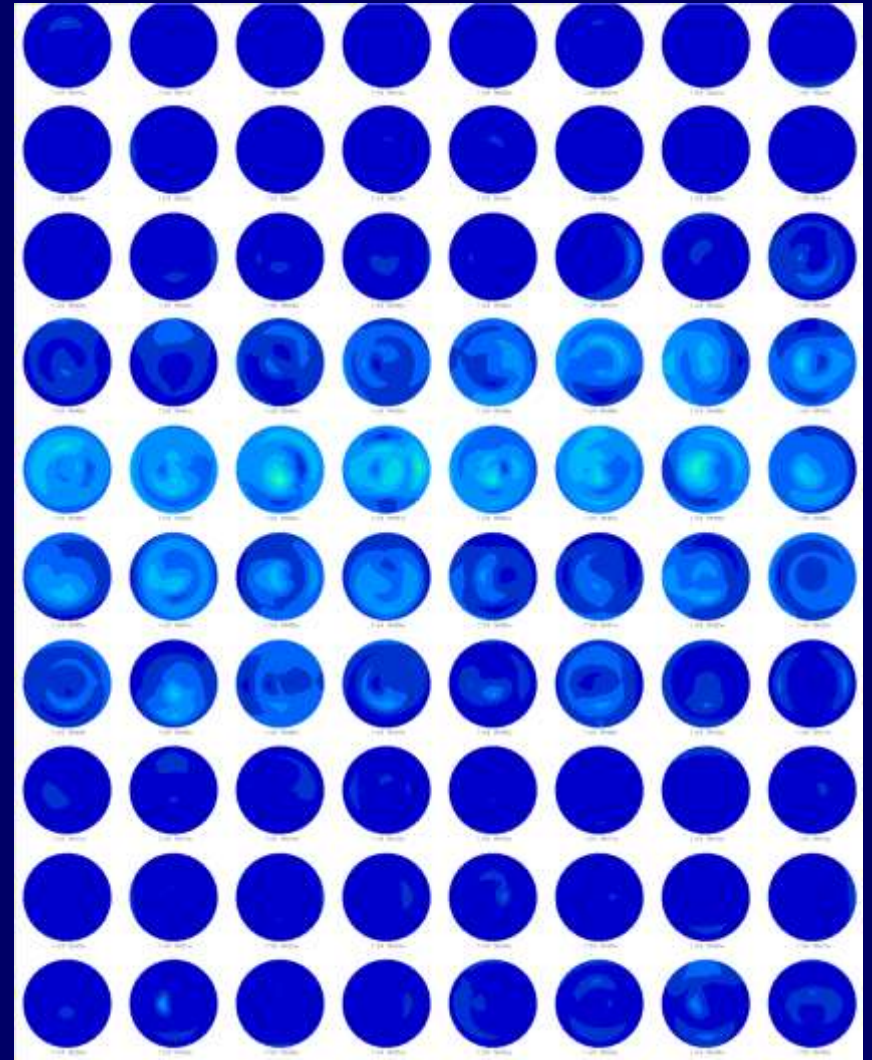
オーロラX線イベント

2003年1月24日 18h16m ~ 19h35m UT

PPB#8



PPB#10



オーロラX線イベント エネルギースペクトルの違い

2003年1月24日 18h48m ~ 18h55m UT

PPB#8

PPB#10

