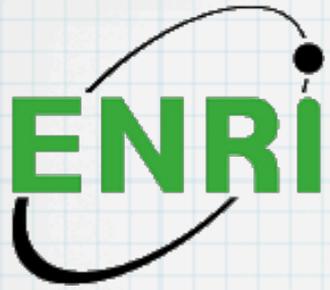


GNSS高度利用のための 低緯度電離圏異常監視

齋藤 享、坂井 丈泰、藤井 直樹
通信・航法・監視領域



概要

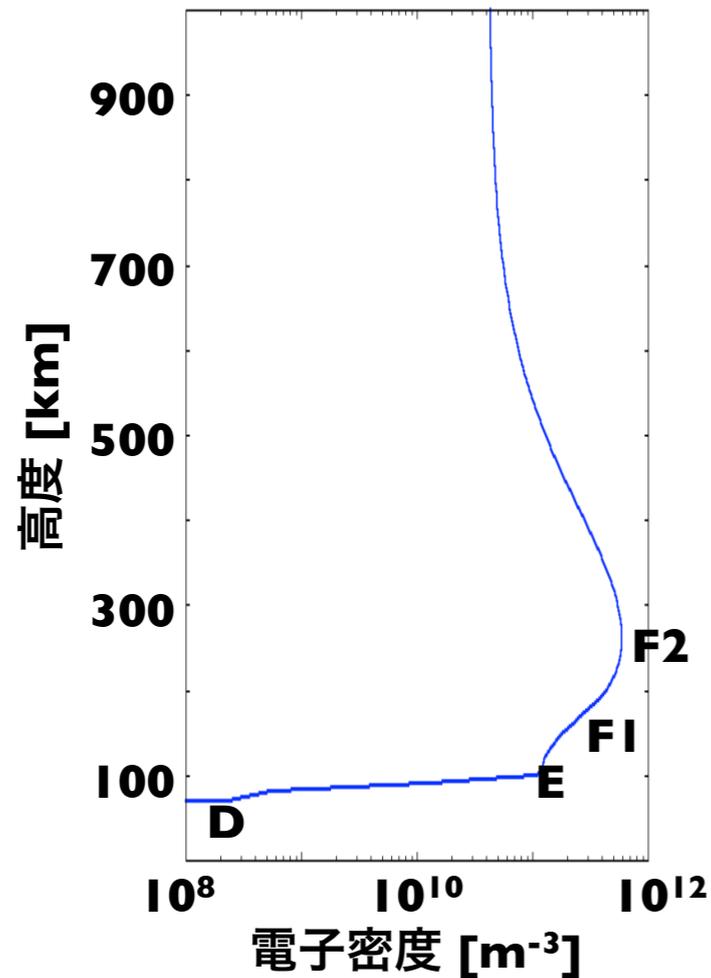
- * 衛星航法と電離圏
- * 衛星航法補強システムにおける電離圏モニタとその課題
- * 電離圏独立モニタの可能性
- * まとめ

目的

- * GNSSの高度利用において障害となる電離圏異常が多く発生する磁気低緯度地域において、インテグリティを保ちながらアベイラビリティの向上を計る
- * 電離圏異常を効率的に検出し安全マージンを合理的に削減する方法を検討する

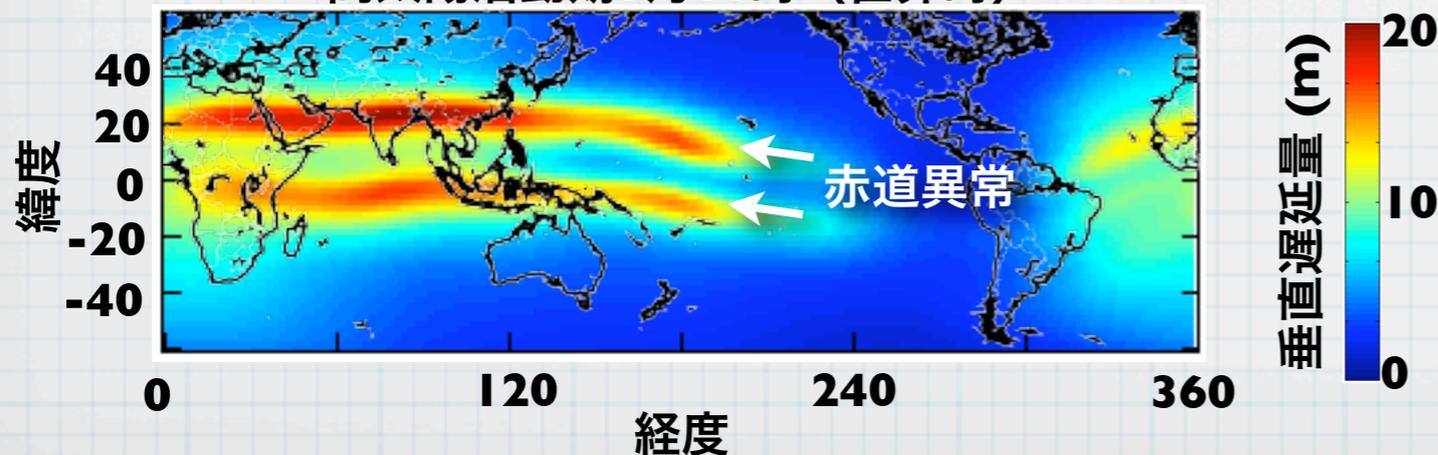
電離圏

太陽活動極小期, 東京, 秋分, 12時

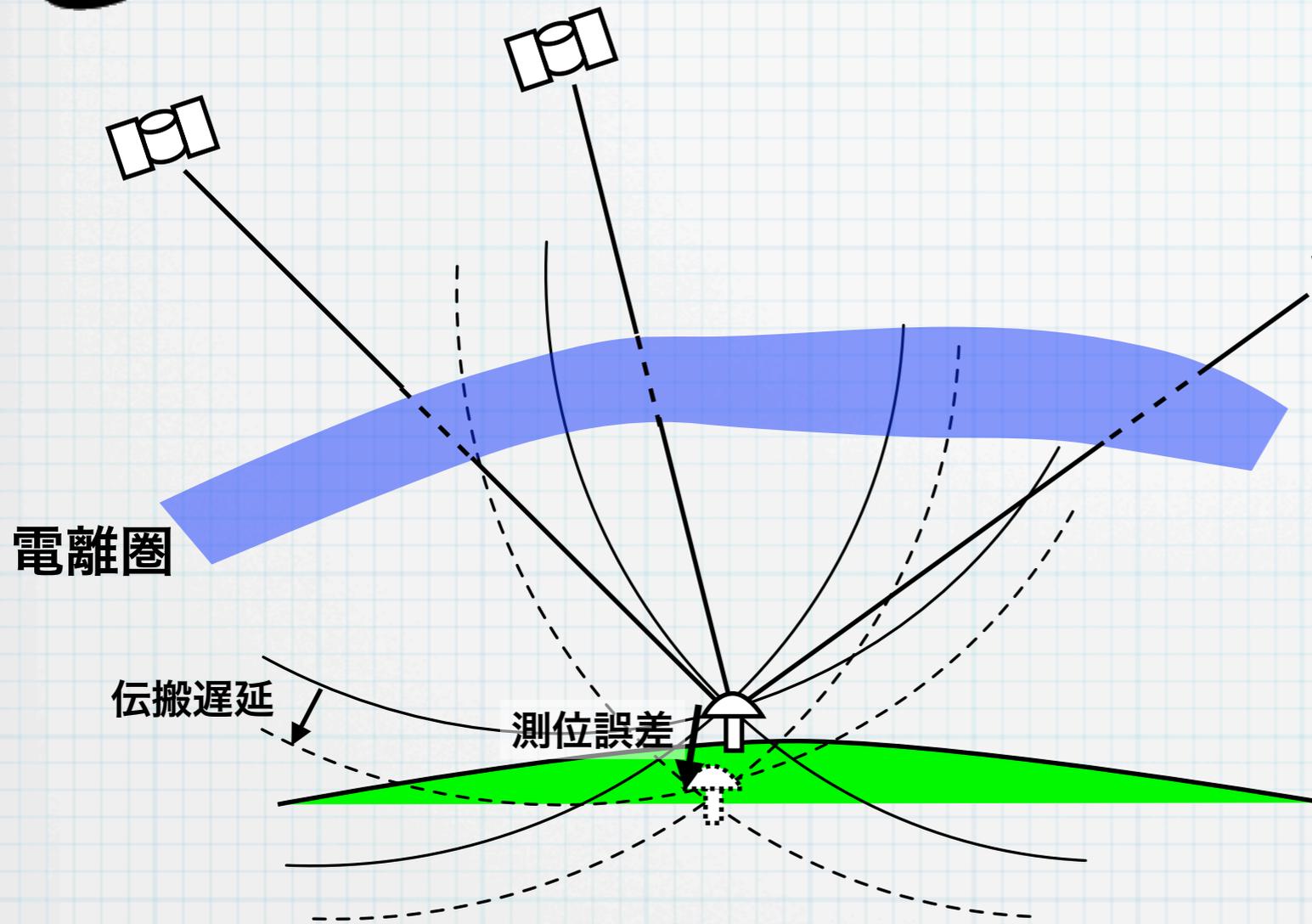


- * 高度70~1000 km以上にわたる電離大気 (プラズマ)
- * 高度300 km付近にプラズマ密度のピークを持つ
- * プラズマ密度分布は太陽活動度、季節、時刻、場所によって大きく変動する
- * 磁気低緯度 (緯度 ± 15 度付近) にプラズマ密度のピークが存在 (赤道異常)

高太陽活動期3月11時 (世界時)



衛星航法と電離圏



群屈折率 $\mu' = 1 + \frac{40.3}{f^2} n_e$

群遅延 $I_\rho = \frac{40.3}{f^2} \int_{sat}^{rec} n_e(l) dl$

f : 周波数 [Hz] 衛星-受信機間の

n_e : 電子密度 [m^{-3}] 全電子数に比例

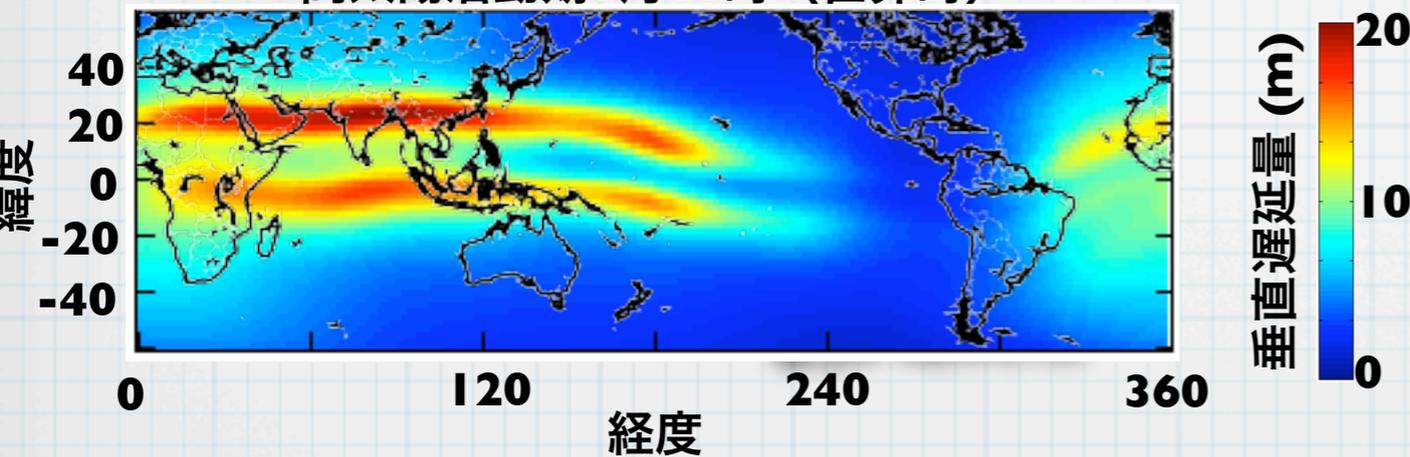
- * 電離圏プラズマの存在により屈折率が変化し疑似距離に遅延が生じる
- * GPS L1周波数(1.57542 GHz)で、通常1~20 m程度の遅延 (場所、昼夜、季節、太陽活動等により変動)

低緯度電離圏

- * 磁気低緯度は、電離圏密度が高く、変動も激しい領域
 - 赤道異常
 - プラズマバブル
 - SED

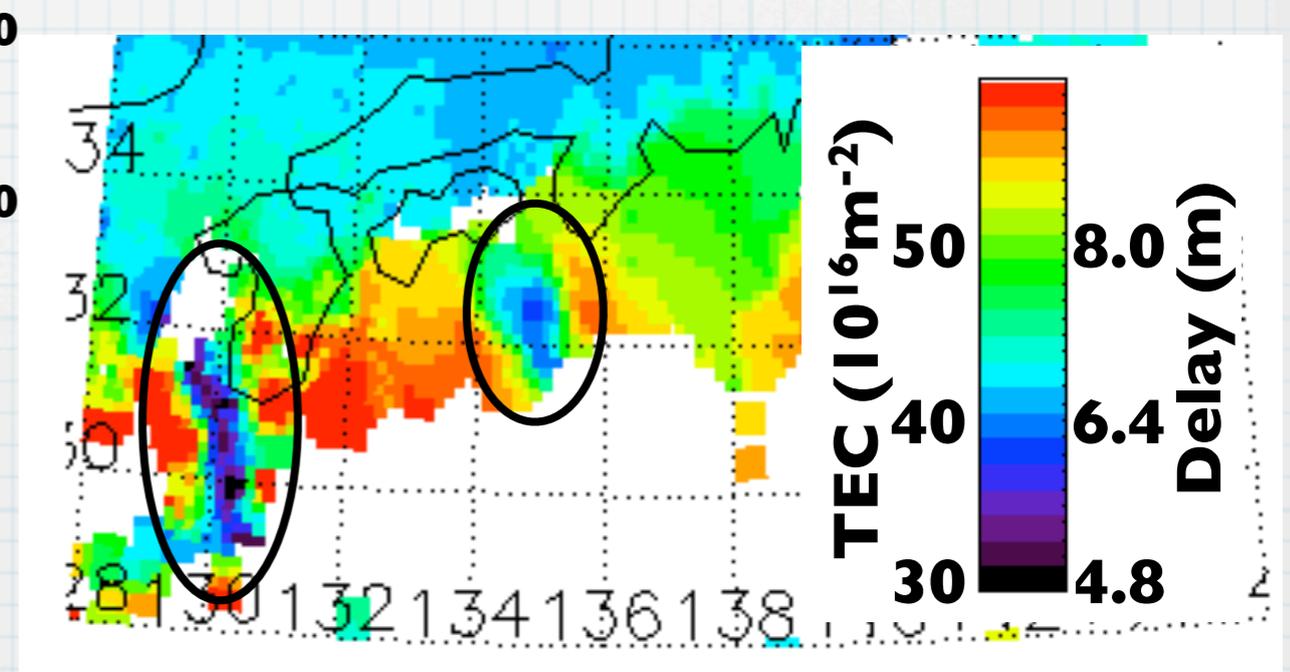
赤道異常

高太陽活動期3月11時 (世界時)



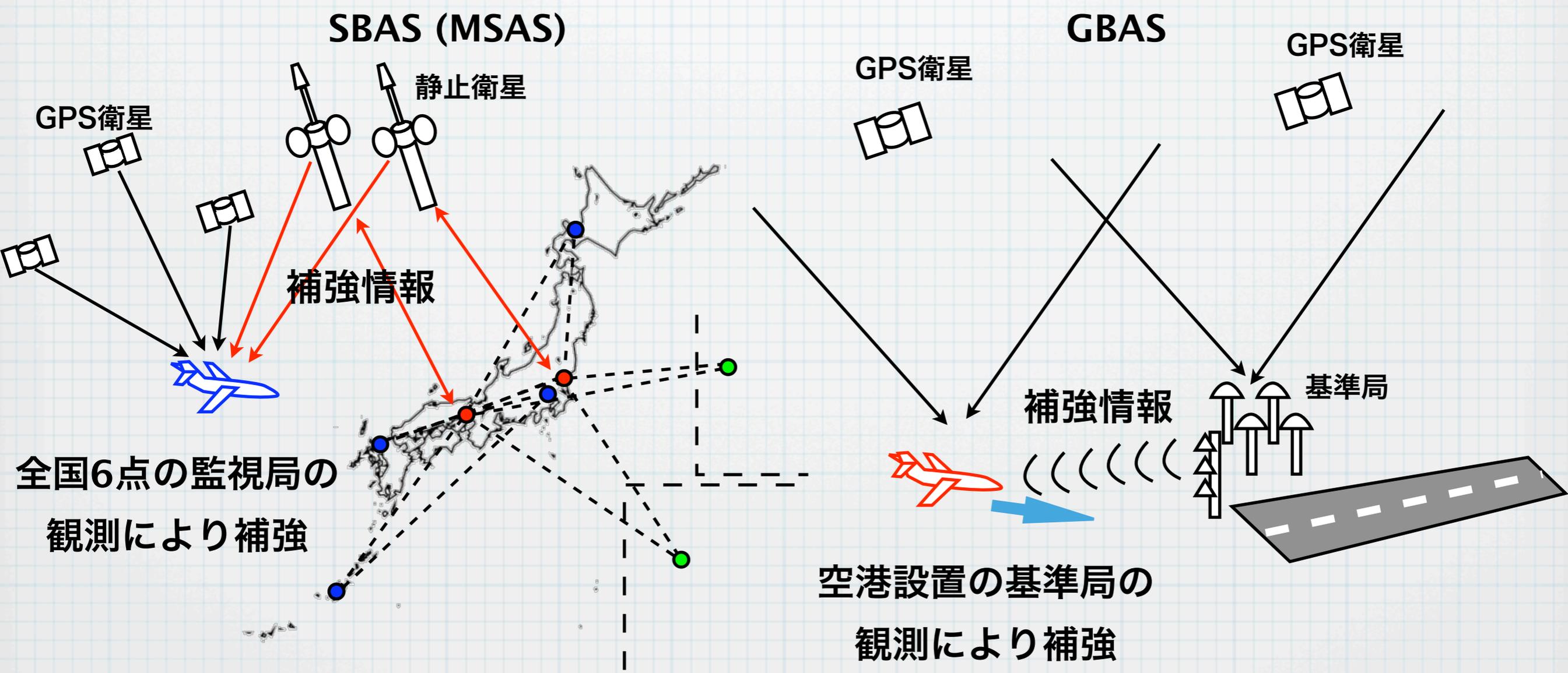
プラズマバブル

2002年4月7日の垂直遅延量



衛星航法補強システム

- * 安全性のため、補強システムが必要
 - 静止衛星型 (Satellite-based augmentation system: SBAS)
 - 地上型 (Ground-based augmentation system: GBAS)



補強システムにおける電離圏モニタ

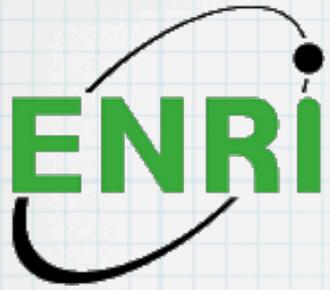
- * 従来のシステム：閉じたシステムを基本
 - インテグリティ設計の容易性
- * MSAS: 全国6点の監視局のGPS観測データに基づき、異常を検知
- * GBAS: 空港設置の基準局のGPS観測データに基づき異常を検知
- * 時間・空間的に大きく変動するものは検知しにくい
 - 見逃し確率を考慮して大きめの安全マージンを取ることにより安全性を確保

従来の電離圏異常モニタと問題点

- * 可視GNSS衛星数はそれほど多くなく、見かけの移動速度も大きくない
 - GNSS衛星を用いた監視は「点」であり、見逃しの可能性が残る
- * 電離圏の観測研究は過去100年の歴史があり、電離圏異常の観測方法はいくつもある→GNSSとは独立した監視手法が可能
- * FAA: GBASの電離圏異常モニタとして宇宙天気の情報(WAASなど)を利用することも検討
- * 個々のシステムにとらわれない、インフラとしての監視システム

電離圏異常モニタの条件

- * 常に利用可能であること
 - 地上の天候等に左右されるようなものは不適→電波によるものが適
- * 従来のモニタに比べて効率的に異常を検出できること
- * あまり高価でないこと
 - GNSSによって得られる利益を損なうほどのものは不適
 - 1つが高価であっても、多数のシステムに有効であればよい
- * 安全性設計が可能であること

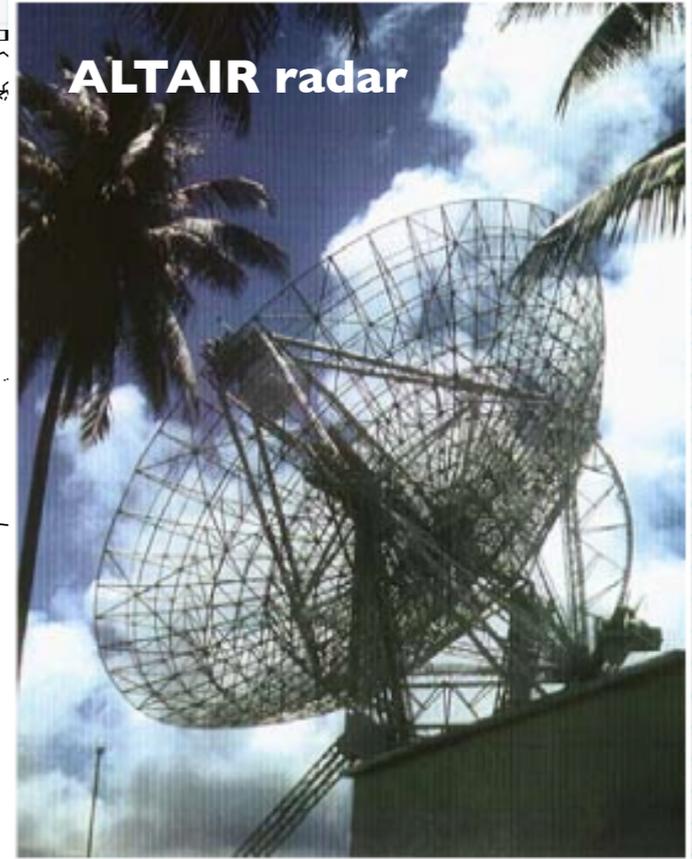
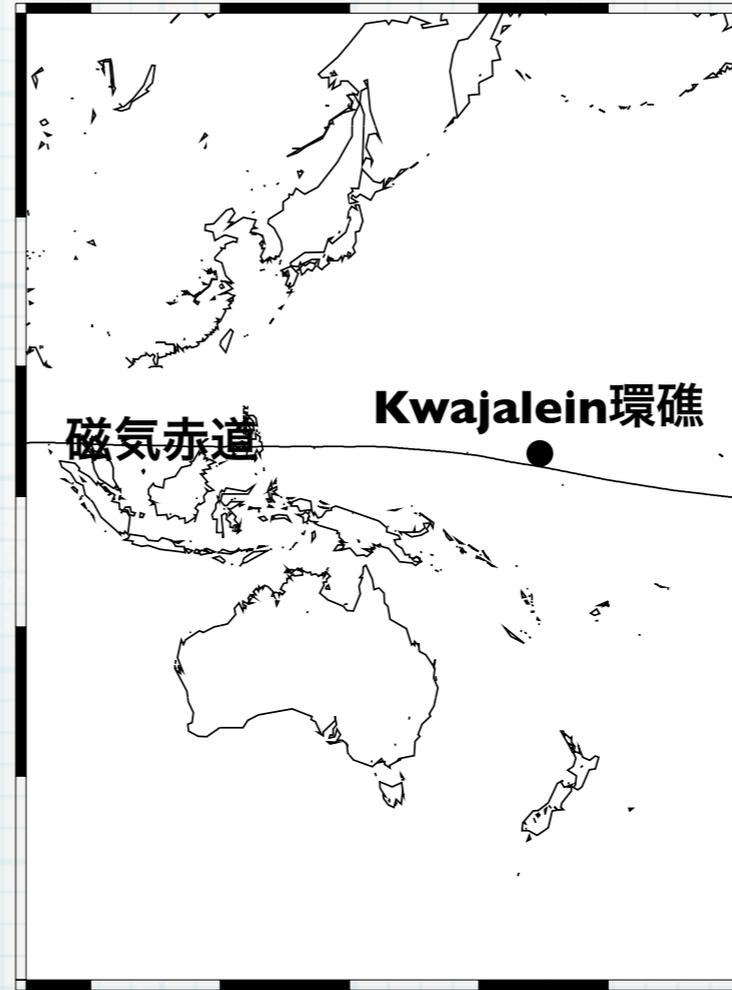
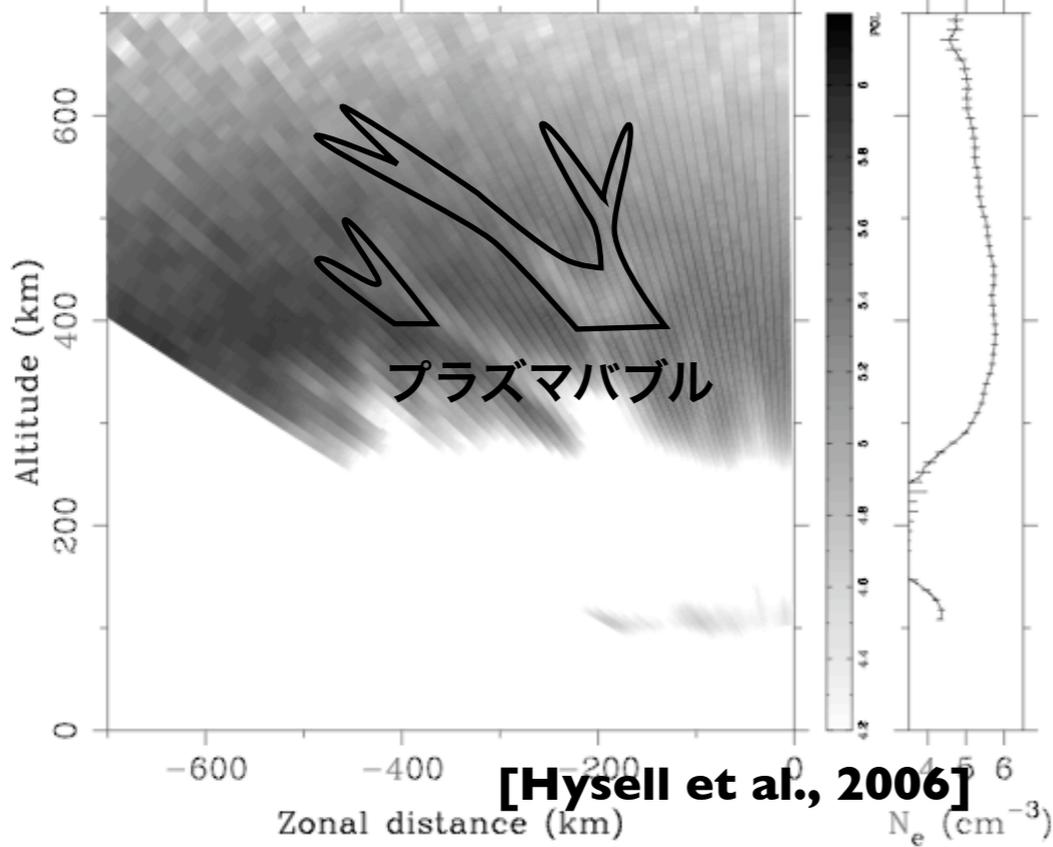


検討対象の手法

- * 非干渉散乱レーダー
- * 後方散乱レーダー
- * 短波赤道横断伝播
- * 低軌道衛星ビーコン

非干渉散乱レーダー

Sat. Aug 7 09:52:02 2004
電子密度の2次元断面



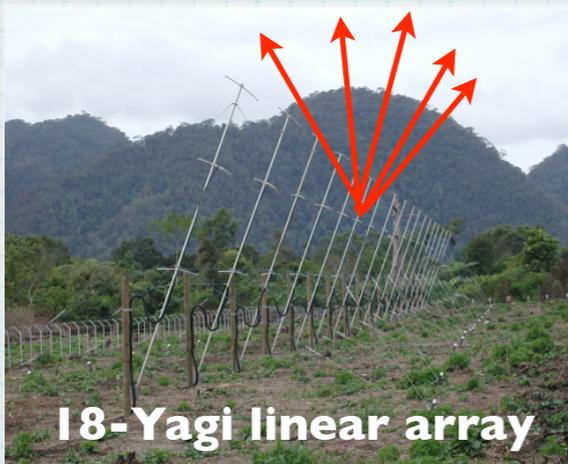
- * 電離圏プラズマによるVHF~UHF帯電波の微弱な散乱
- * ビーム走査によりプラズマ密度の3次元分布を直接観測可能
 - 電離圏異常の検出においては万能
- * 散乱断面積が極めて小さいため、大電力・大型アンテナが必要

後方散乱レーダー

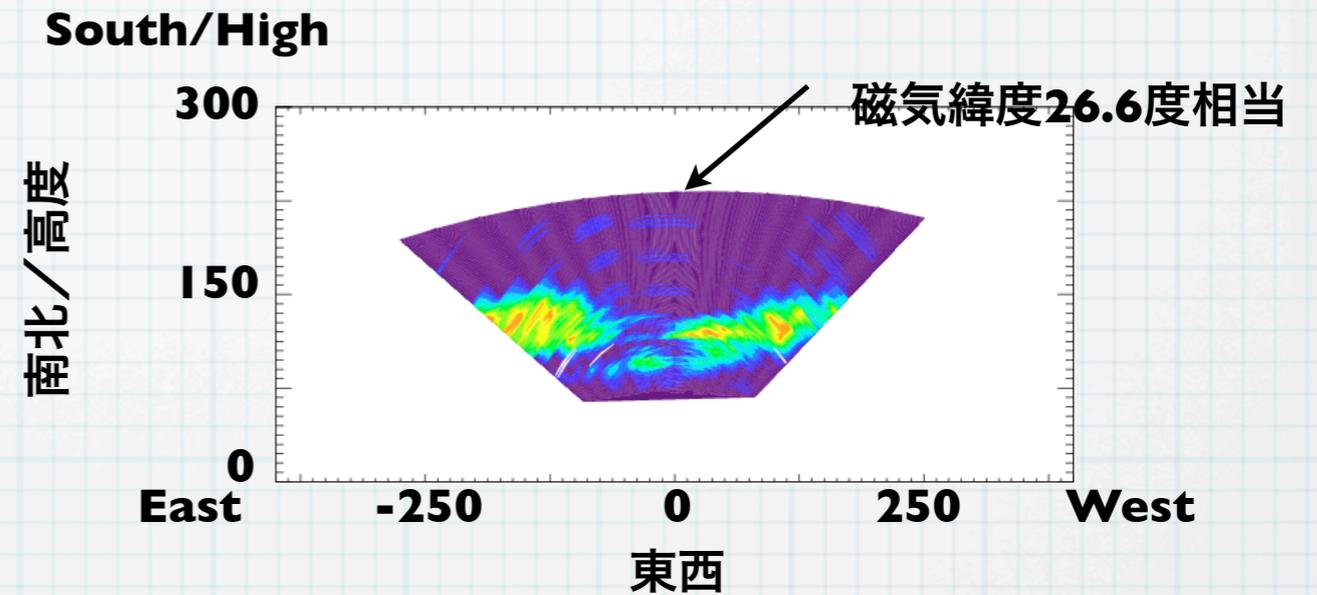
京大赤道大気レーダー (47 MHz, インドネシア)



名大VHF radar (30.8 MHz, インドネシア)



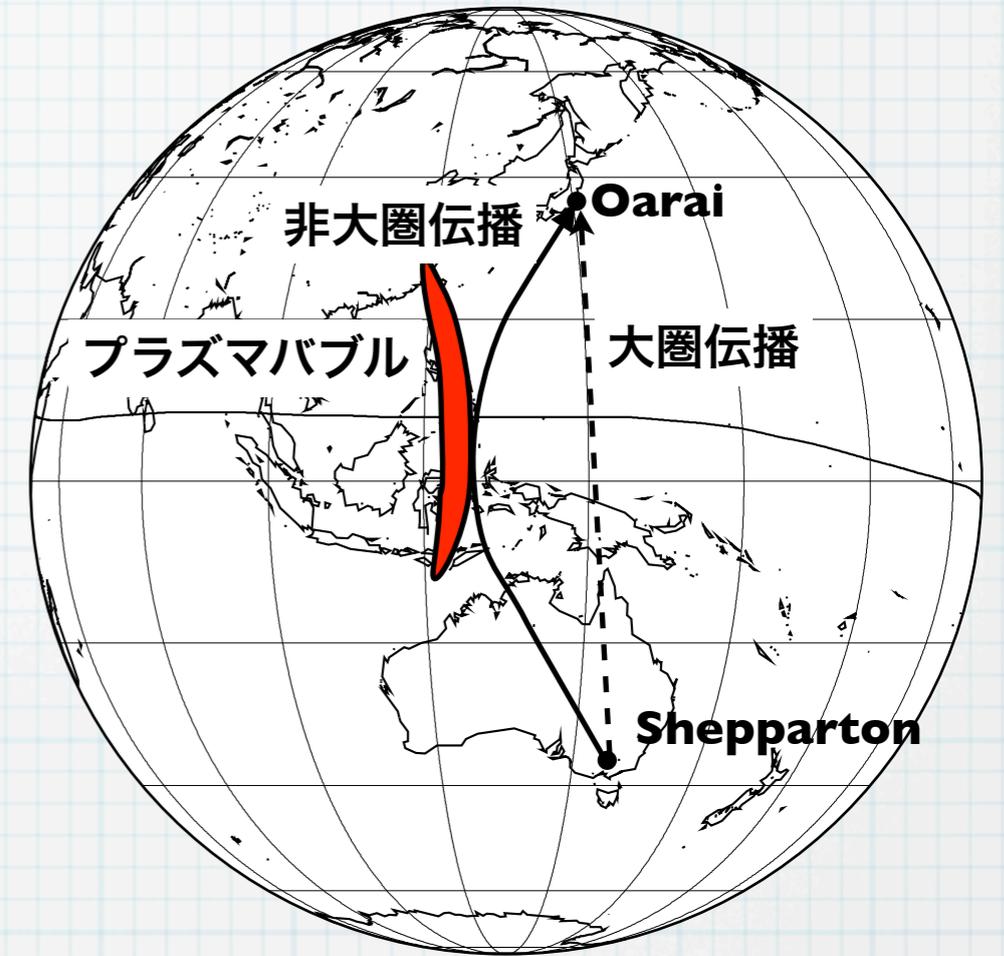
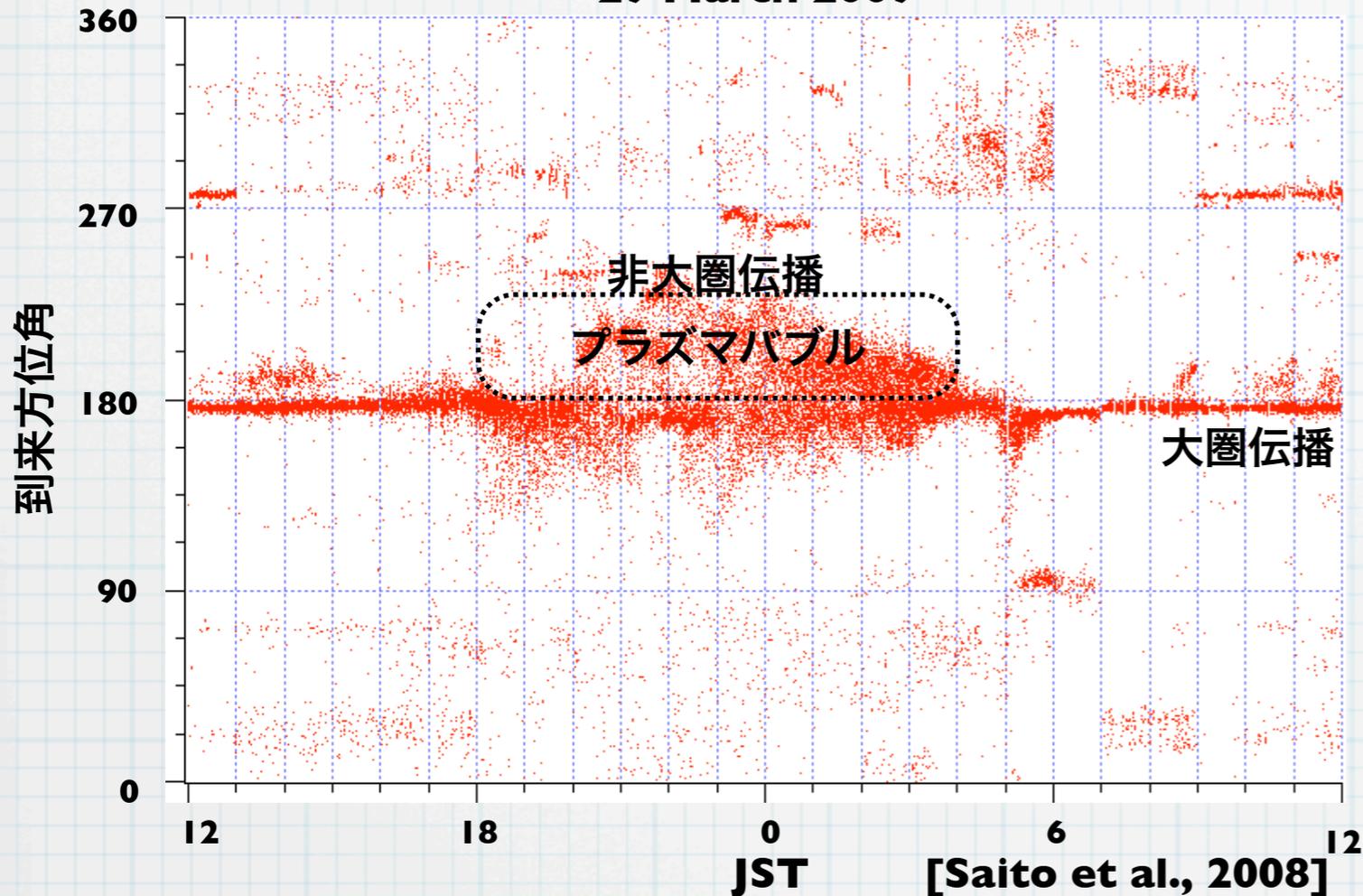
プラズマバブルエコーの2次元マップ



- * プラズマバブルに伴うプラズマ不規則構造による、VHF帯電波の後方散乱（磁力線直交方向）
- * 散乱断面積が大きく、低電力(10 kW級)で観測可能
- * レーダービームの電子走査により、プラズマバブルの2次元断面を広範囲で監視可能

HF赤道横断伝播

HF放送波 (Radio Australia)の到来方向
29 March 2009



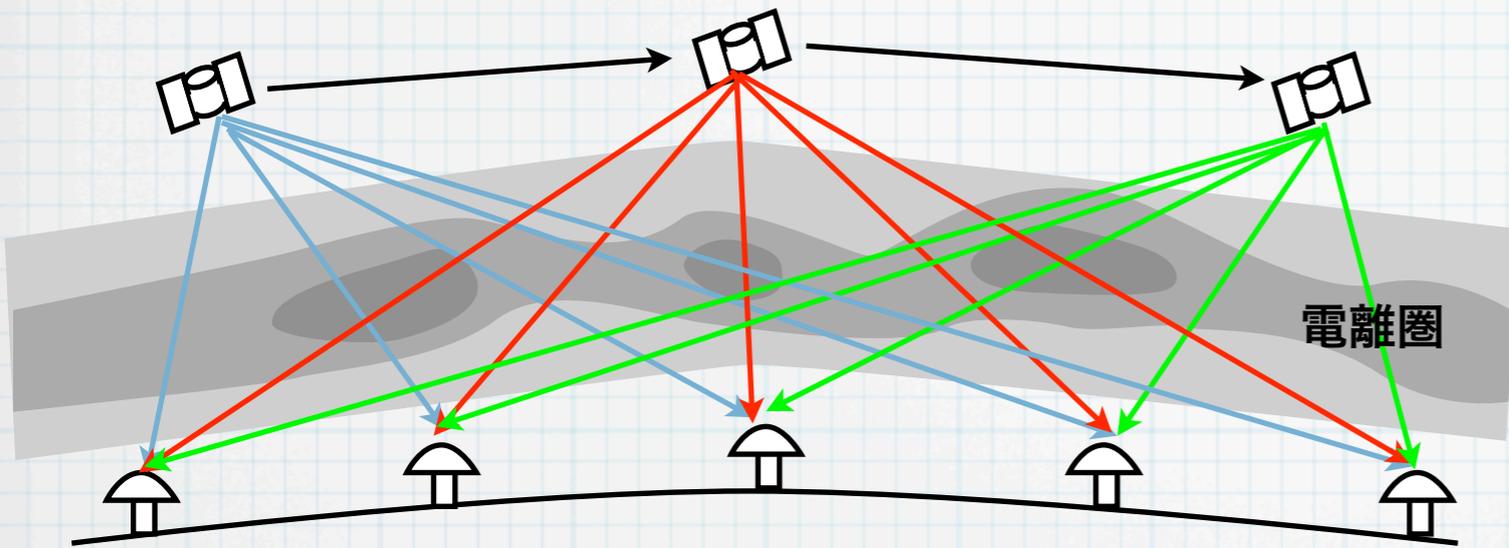
[Maruyama and Kawamura, 2006]

- * 短波赤道横断伝播の到来方向から、プラズマバブルに伴う電離圏大規模構造を検出
- * 位置精度は高くないが、プラズマバブルの有無の広域監視に有効
- * 科学研究費補助金若手(B)研究 (2009~2011年度)

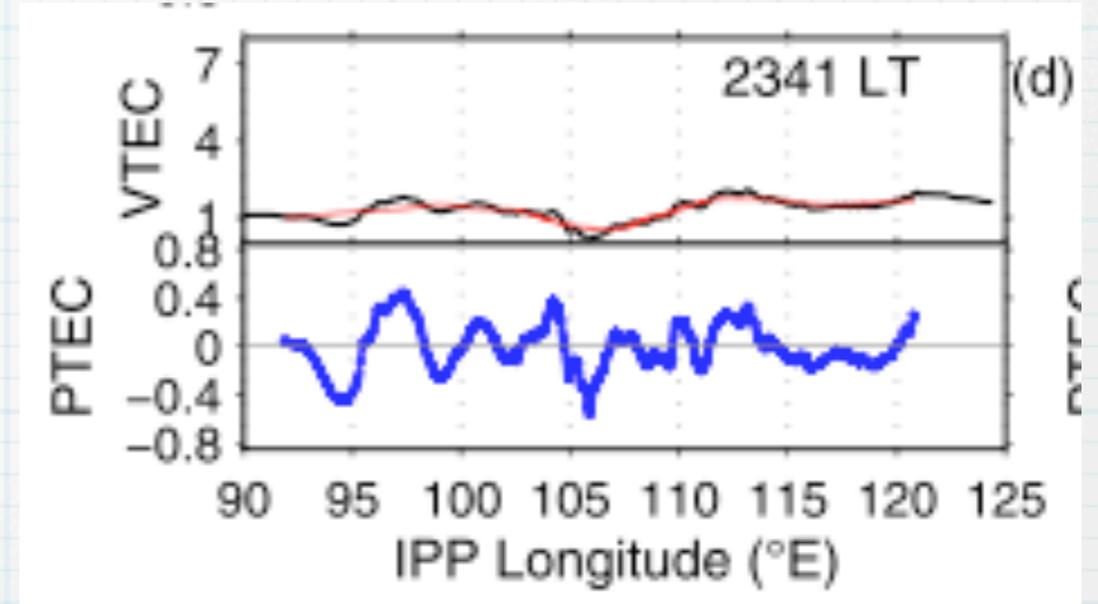
2010年度電子航法研究所研究発表会

低軌道衛星ビーコン

C/NOFS(米空軍によるプラズマバブル予測用衛星)を用いたプラズマバブルの検出



電離圏プラズマ密度構造の推定
(トモグラフィ)



[Thampi et al., 2009]

- * 低軌道衛星のビーコン電波から電離圏プラズマ密度を導出
- * GPS掩蔽などと組み合わせたトモグラフィによる3次元プラズマ密度推定
- * 広域監視向き
- * 科学研究費補助金挑戦的萌芽研究 (2010～2012年度)



まとめ

- * 日本の位置する磁気低緯度において、GNSSの高度利用の障害となる電離圏を効率的に監視する方法について検討を行った
- * 低緯度電離圏で最大の問題となるプラズマバブルの監視については、いくつかの効果的な手法があり、そのうち後方散乱レーダーの実用性が最も高い
- * その他の手法（短波赤道横断伝播・低軌道衛星ビーコン）についても、競争的資金を得て基礎研究を行っているところである
- * プラズマバブル監視法の効果の定量的な評価を、3次元電離圏モデルなどを用いて行っていく予定