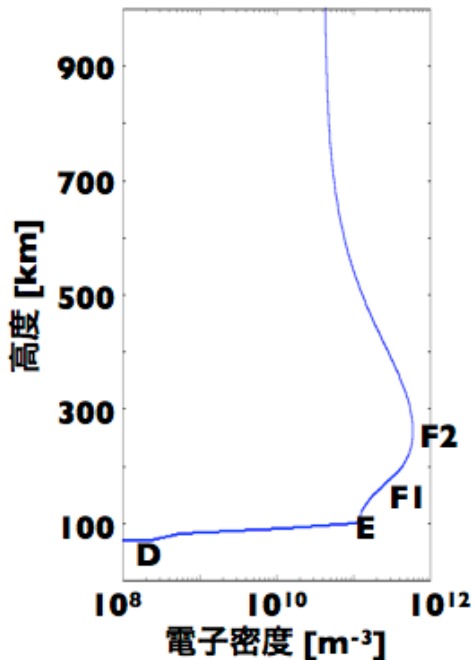


アジア太平洋域衛星航法 電離圏脅威モデルの構築

齋藤 享, 吉原 貴之、坂井 丈泰、星野尾 一明
電子航法研究所航法システム領域

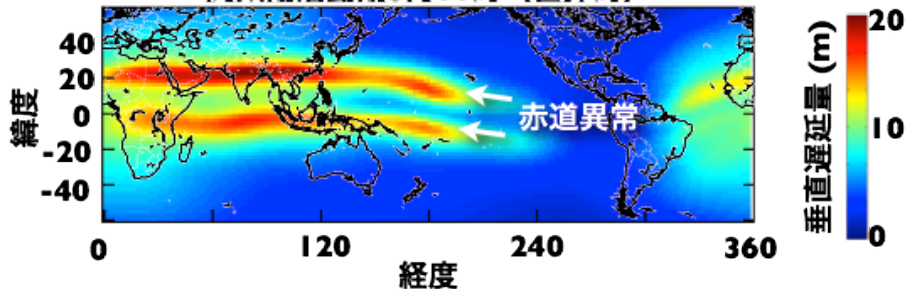
電離圏

太陽活動極小期, 東京, 秋分, 12時

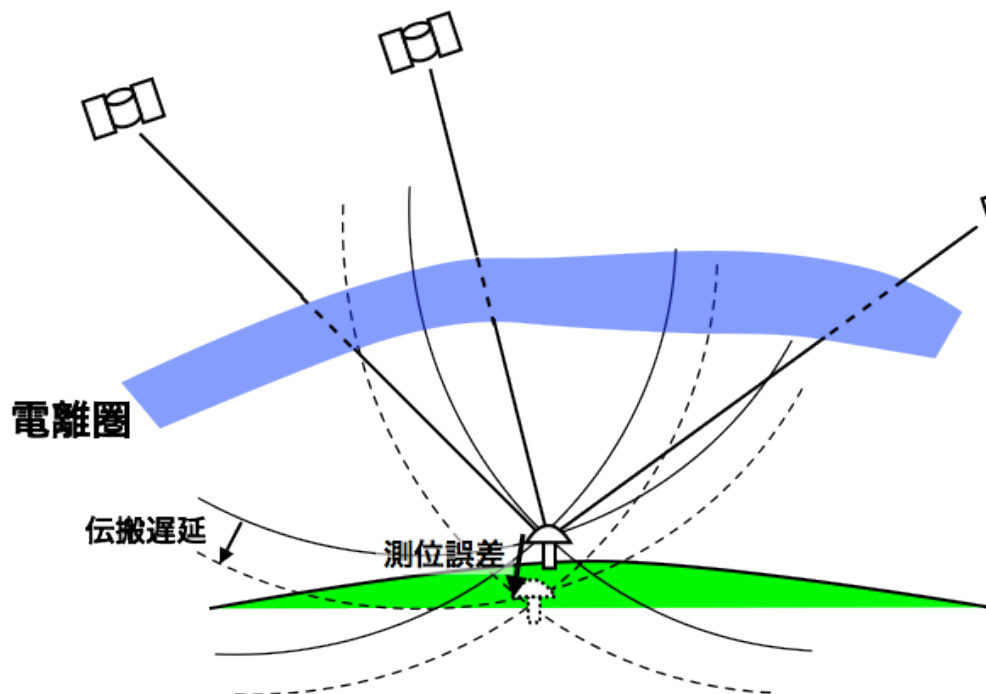


- 高度70~1000 km以上にわたる電離大気(プラズマ)
- 高度300 km付近にプラズマ密度のピークを持つ
- プラズマ密度分布は太陽活動度、季節、時刻、場所によって大きく変動する
- 磁気低緯度(緯度±15度付近)にプラズマ密度のピークが存在(赤道異常)

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-受信機間の全電子数に比例
 n_e : 電子密度 [m^3]

- 電離圏プラズマの存在により屈折率が変化し擬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)

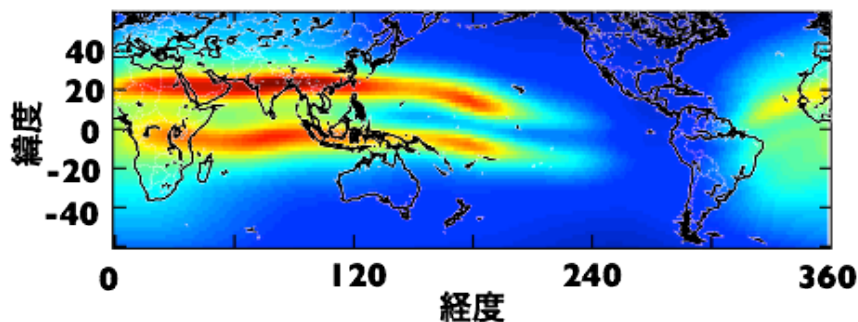
低緯度電離圏

- 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：大規模な電離圏密度勾配、常に存在し日々変動大
 - SED：地磁気嵐に伴う極めて大きな電離圏密度変動、発生はごく稀（日本では過去10年で2回）
 - プラズマバブル：非常に急峻な電離圏密度変動、発生頻度大

赤道異常

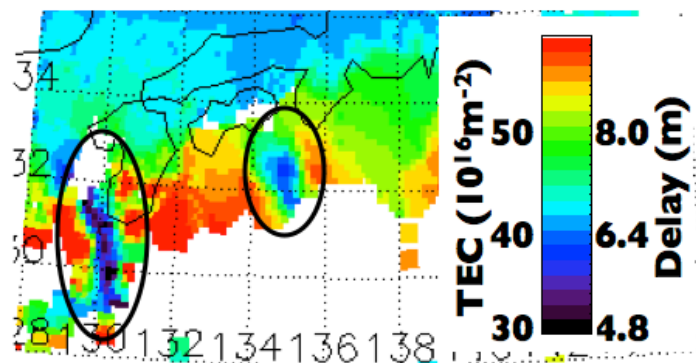
垂直遅延量モデル

(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日の垂直遅延量観測値

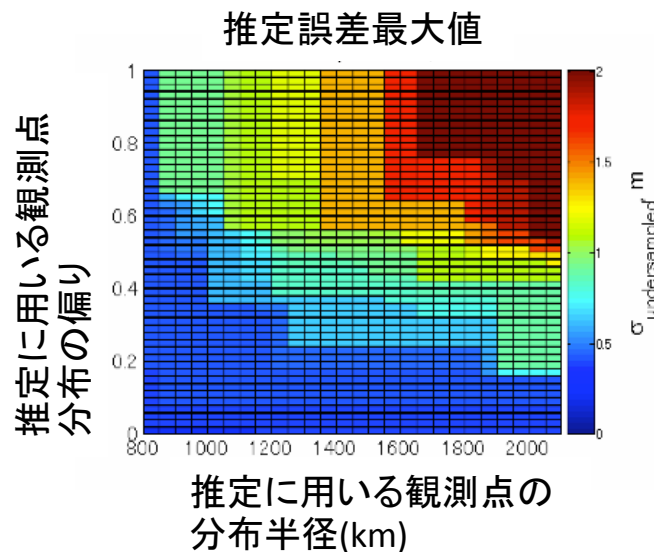
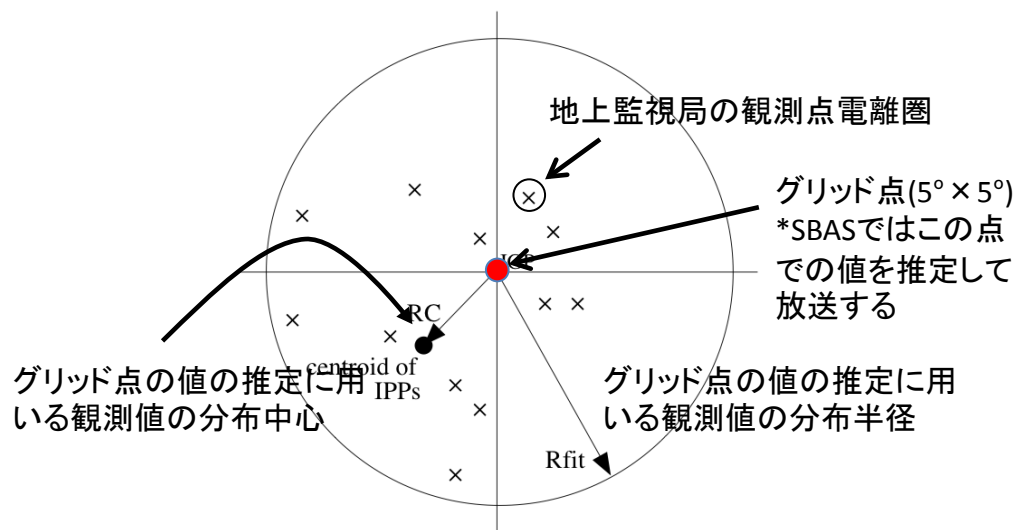


電離圏脅威モデルとは

- あるシステムにおいて、安全性の脅威となりうる電離圏の振舞いを記述
 - 特徴的なパラメータを抽出し、その考慮すべき変動の範囲を定量化
- 電離圏脅威モデルの形式はシステムの方
式・設計により異なる
- GBAS、SBASそれぞれに適した電離圏脅威モデル
が必要

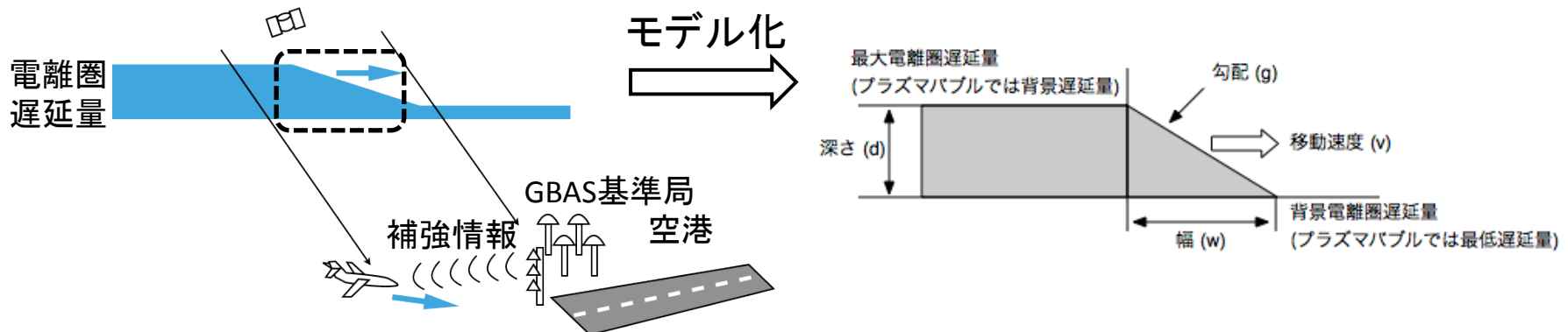
電離圏脅威モデル -SBAS (MSAS)-

- SBAS (Satellite-based augmentation system)
 - 地上監視局の観測値を基に、緯度経度5°ごとの電離圏遅延量(垂直換算値)を推定し、静止衛星から放送。航空機はグリッド点の値を用いて衛星ごとの補正値を算出
 - 推定する補正値と現実の値の差が誤差となりうる
- 推定誤差をモデル化(観測値の脅威空間分布(分布範囲、偏り)に対する最大誤差)



電離圏脅威モデル -GBAS-

- GBAS (Ground-based augmentation System)
 - 空港付近のGBAS基準局の観測値を基に、衛星ごとの補正值を生成
 - 電離圏空間勾配(非一様性)が重要な誤差要因
- 空間勾配をモデル化(勾配、幅(空間スケール)、深さ、移動速度、同時発生数、発生頻度など)



電離圏データ収集・共有の必要性

- 脅威モデルと安全性・可用性
 - 広い脅威空間(保守的な脅威モデル)→安全、しかし可用性が損なわれかねない
 - 安全性と可用性のバランスが必要
 - 脅威モデルの最適化が必要**
- 電離圏脅威モデルの最適化
 - 電離圏異常は自然現象(現象は毎回異なる)
 - **できるだけ多くの観測データに基づいた解析が必要**

電子航法研究所の取り組み

- 日本国内だけでは十分な電離圏観測データの収集が難しい
 - 磁気低緯度地域は島嶼が多く観測密度が不足
- 国外を含めて広くデータを収集し解析
 - 国内外の研究機関と協力した電離圏観測データの収集
 - ICAOを通じた国際的電離圏データ収集・共有

電子航法研究所の観測活動

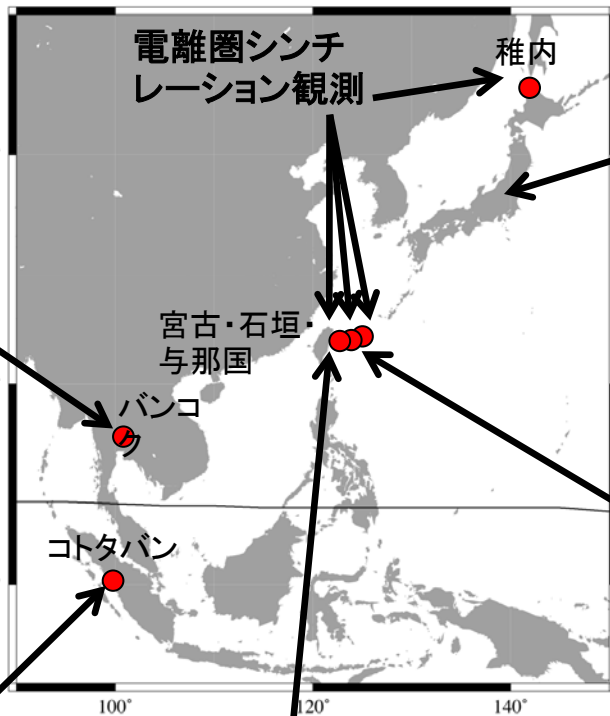
タイ電離圏遅延量空間変動観測
(タイ・モンクット王工科大学ラカバン)



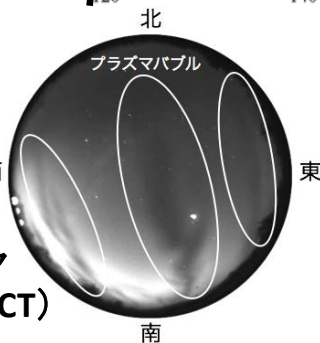
インドネシア電離圏遅延量空間
変動観測(名大、京大)



平成25年6月6日

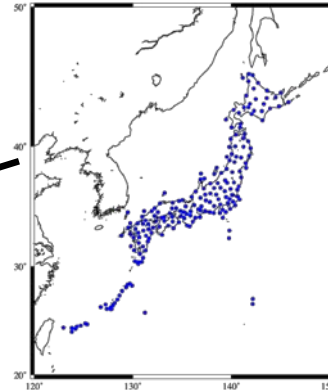


与那国大気光
全天イメージャ
観測(名大・NICT)

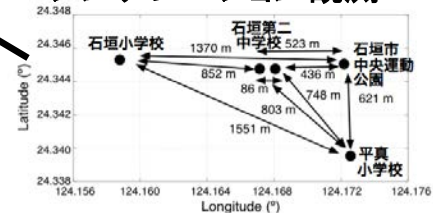


電子航法研究所研究発表会

GEONETリアルタイムデータ収集



石垣電離圏遅延量空間変動・
シンチレーション観測



*()内は研究協力先

ICAO を通じた国際活動

- 航空におけるGNSSの利用促進のため、アジア太平洋地域における協調した電離圏観測データの収集・共有を提唱
 - 電離圏データ収集・共有のためのワークショップ (2011年5月)
- ICAOアジア太平洋地域電離圏問題検討タスクフォース (Ionospheric Studies Task Force) の設立 (2011年7月)

ICAOアジア太平洋地域電離圏問題検討 タスクフォース (1)

- 目的
 - GNSSの航空利用を推進
 - 既存の SBAS、GBAS 電離圏脅威モデルの磁気低緯度電離圏への適合性の評価
 - (必要とされれば)地域内共通の電離圏脅威モデルを構築
 - これらを達成するために必要な電離圏データの収集・共有・解析

ICAOアジア太平洋地域電離圏問題検討 タスクフォース (2)

- タスク一覧
 - 1) 観測データの収集・管理
 - 2) ISTFにおけるデータ解析手法の確立
 - 3) 確立された手法による電離圏遅延量勾配解析
 - 4) 確立された手法による電離圏シンチレーション解析
 - 5) 既存の電離圏脅威モデルの適合性評価と域内 共通の電離圏脅威モデル (SBAS 及び GBAS それぞれ) の構築
- 電子航法研究所の役割
 - － 議長
 - － タスク1,5のリーダー

ICAOアジア太平洋地域電離圏問題検討 タスクフォース (3)

- これまでの活動
 - 第1回ISTF会議(2012年2月、東京)
 - 5つのタスクの設定、リーダーの選出
 - 共有するデータソースのリストアップ
 - 第2回ISTF会議(2012年10月、バンコク)
 - データ共有のための共通データフォーマット策定(電子航法研究所、情報通信研究機構共同提案)
 - シンチレーション観測ガイダンスマテリアル作成
- 太陽活動が活発な現在のデータ収集と、過去のデータも用いた解析を進めていく。

まとめ

- 日本を含む磁気低緯度地域におけるGNSSの航空航法への導入の推進には、適切な電離圏脅威モデルの構築が必要。
 - 利用するシステムに応じたモデルが必要
- 電離圏脅威モデルの構築には、多くのデータが必要
 - 国内外の研究機関と協力した観測活動
 - ICAOを通じた国際協調によるデータ収集・共有活動
- ICAOアジア太平洋地域電離圏問題検討タスクフォース(ISTF)
 - ICAOを通じて、同様の電離圏環境にあるアジア太平洋地域の国々と協力して、地域内共通の電離圏脅威モデルの構築を目指す。
 - 電子航法研究所はISTF活動を主導し、アジア太平洋地域、更には全世界でのGNSSの航空航法導入促進に資する研究を行っていく