

アジア太平洋地域電離圏 脅威モデルの開発

*齋藤 享、吉原 貴之、坂井 丈泰

電子航法研究所 航法システム領域

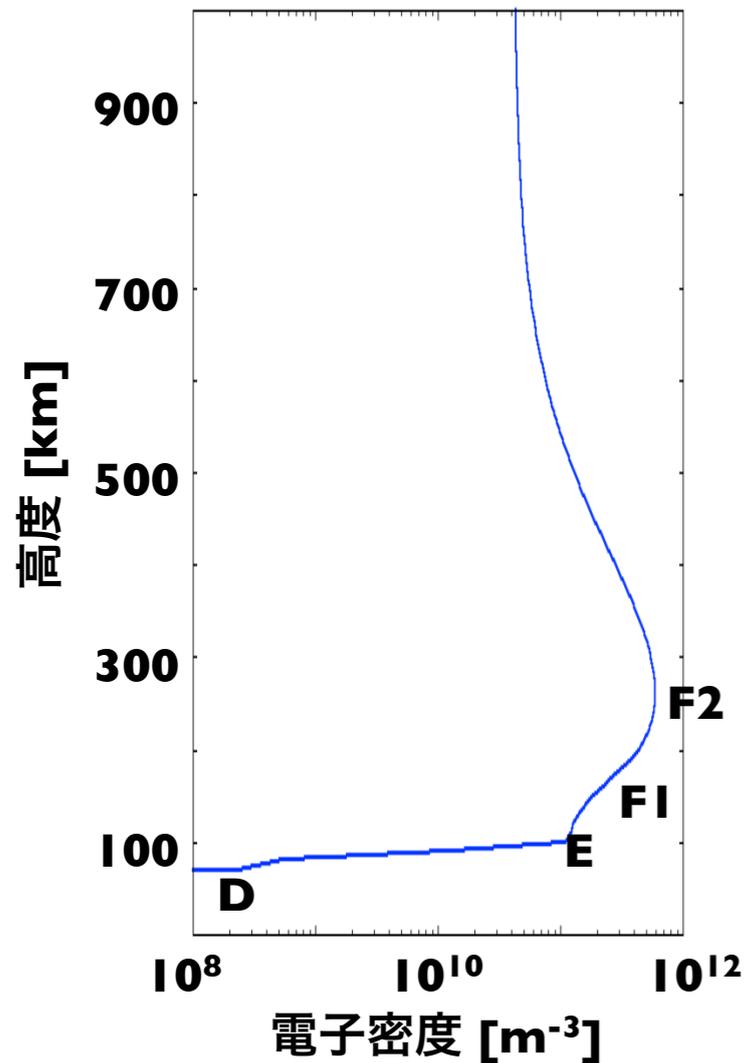
- * 電離圏
- * 電離圏と衛星航法、GBAS
- * GBASと電離圏脅威モデル
- * ICAOアジア太平洋地域における電離圏データ収集・共有・解析
 - 電離圏問題検討タスクフォース (Ionospheric Studies Task Force: ISTF)
 - ISTF活動概要
 - これまでの解析結果と電離圏脅威モデルの評価状況
 - 今後の予定

電離圏

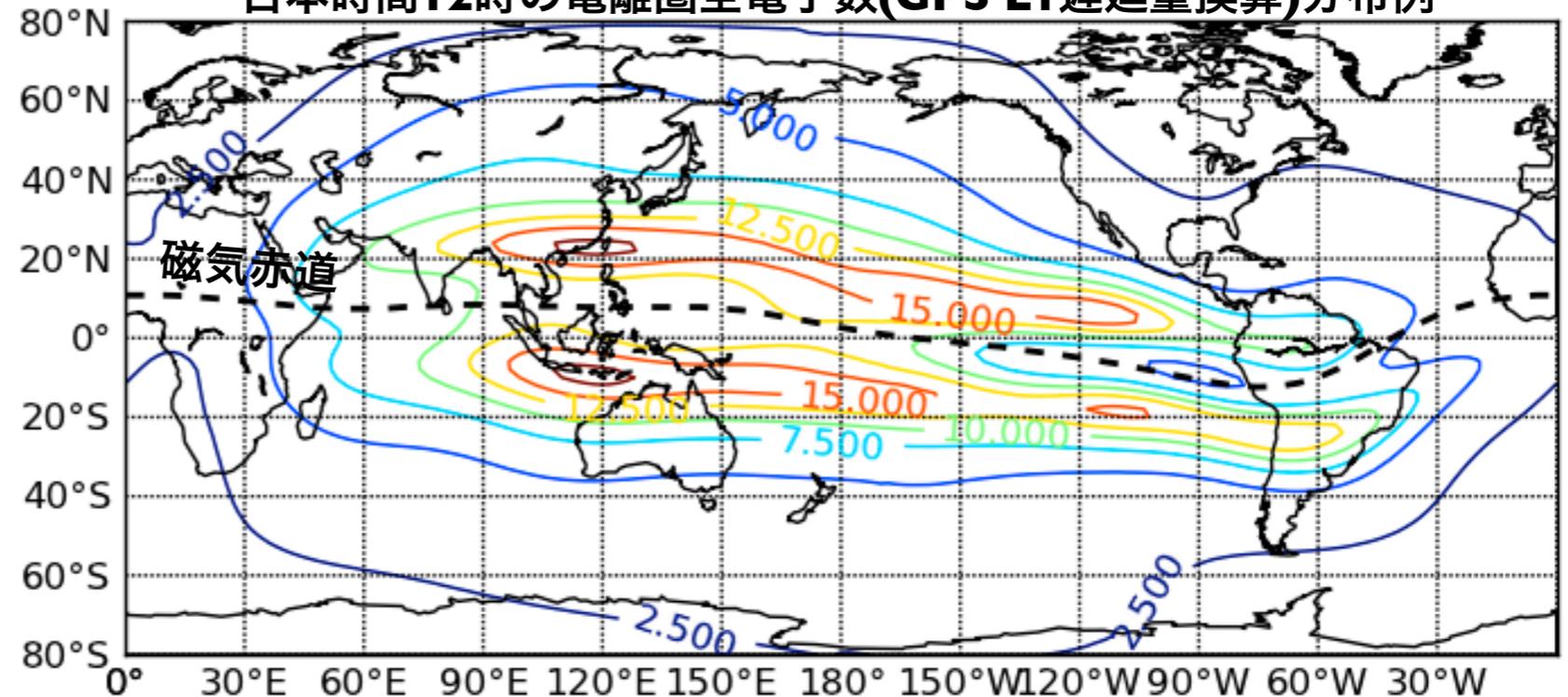
* 電離圏：高度約60km～1000kmに存在する電離した地球大気（プラズマ）

- 時刻、緯度、経度、季節、太陽活動度などによって大きく変動する
- 地理緯度よりも磁気緯度に依存する
- 磁気緯度±15°付近に密度ピーク（赤道異常）

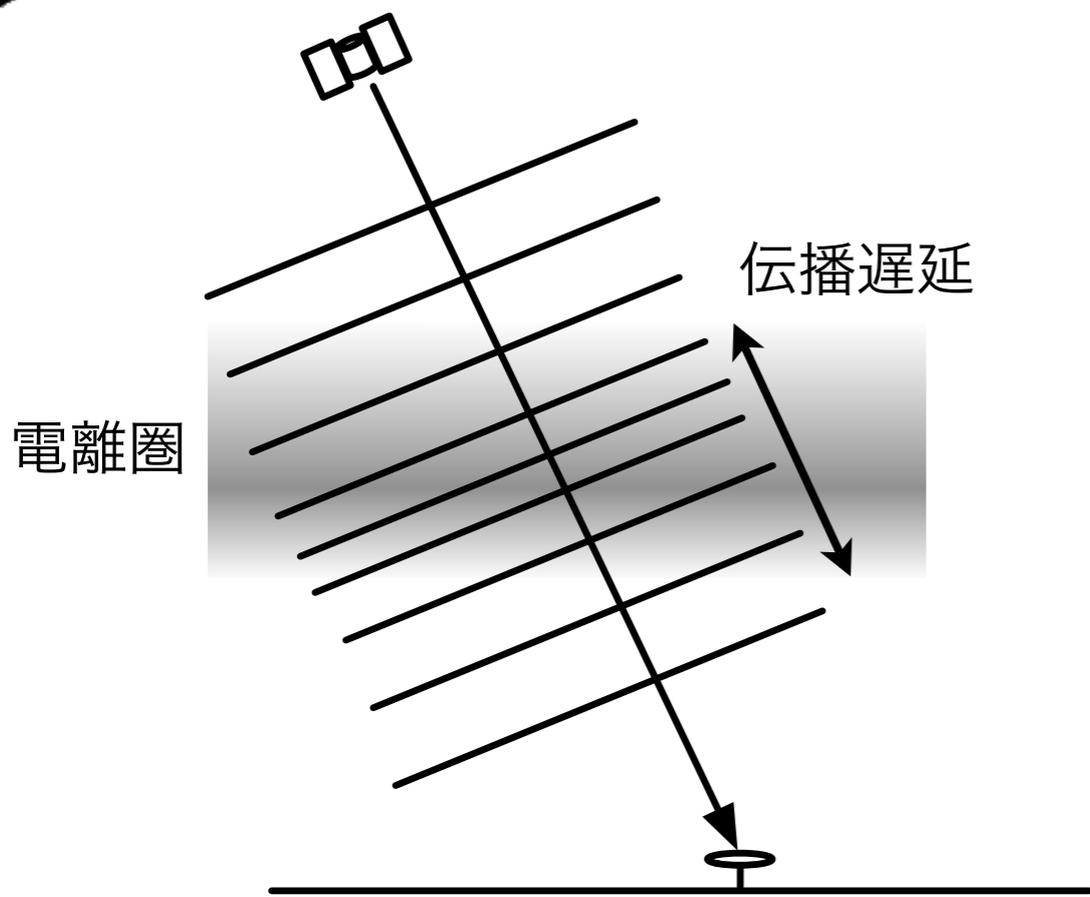
昼間の電離圏密度の高度分布例



日本時間12時の電離圏全電子数(GPS LI遅延量換算)分布例



衛星航法と電離圏 - 電離圏遅延

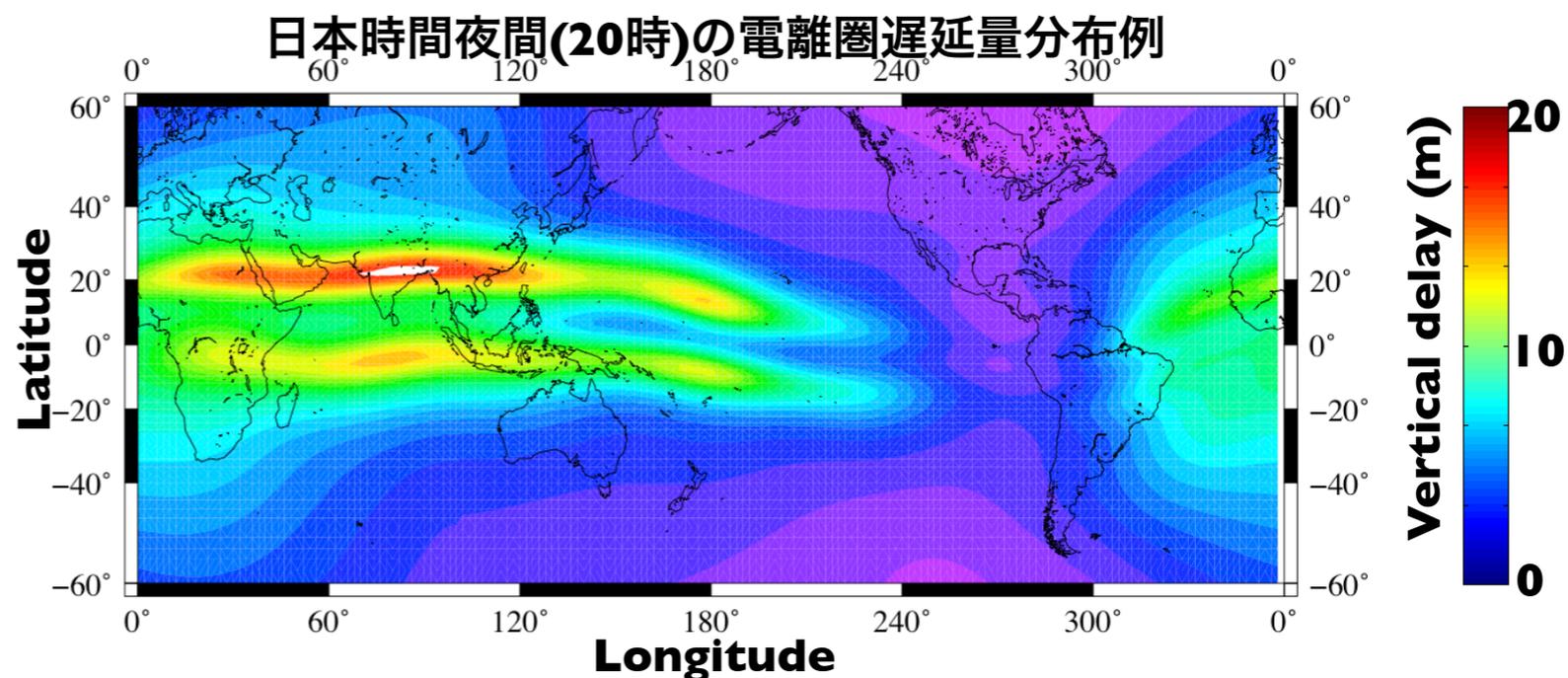
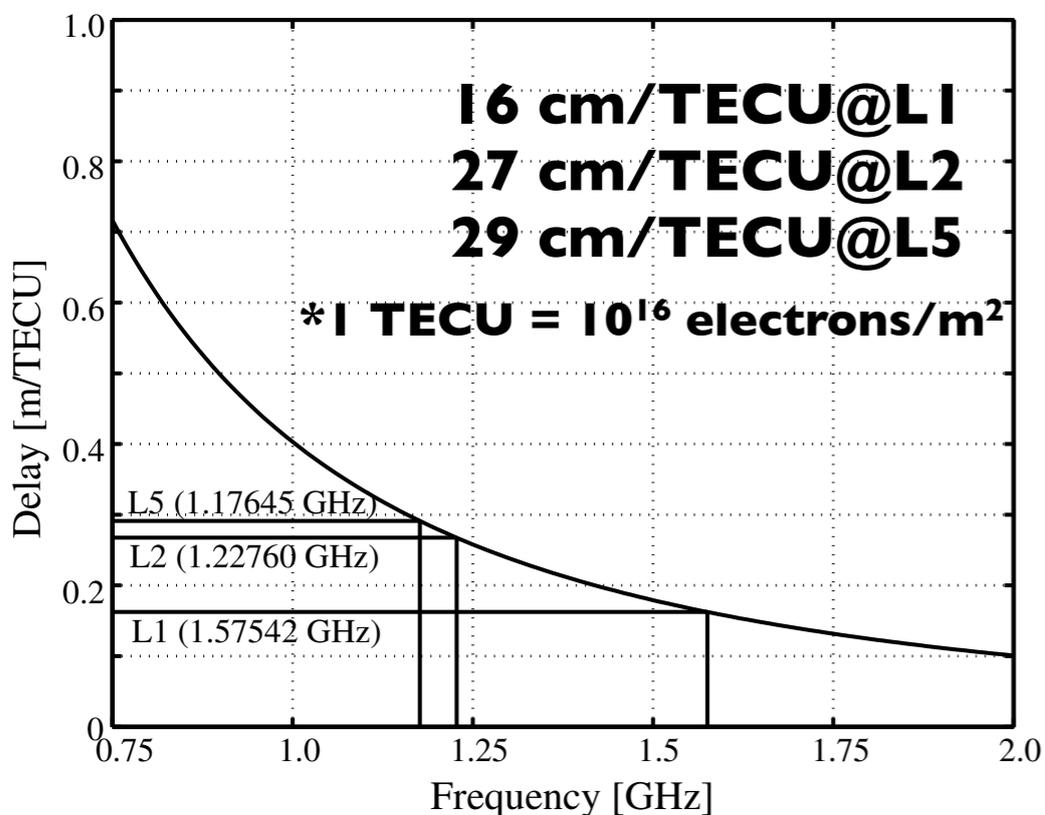


* 電離圏プラズマ中では電波の速度がわずかに遅くなり、衛星-受信機の距離が長く見える

➡ 電離圏遅延

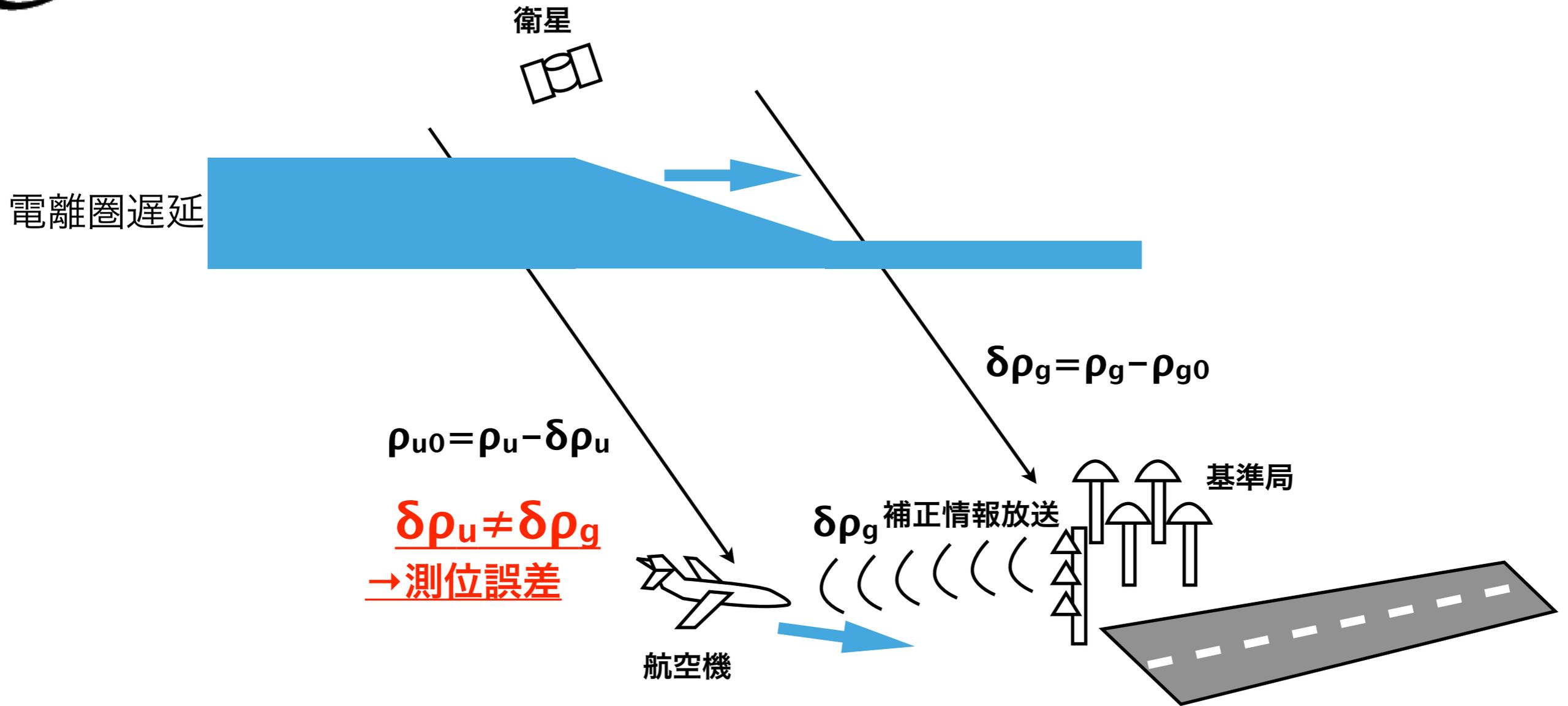
* 垂直方向の電離圏遅延量は20-30 mにもなりうる

- 斜め方向ではさらに2~3倍



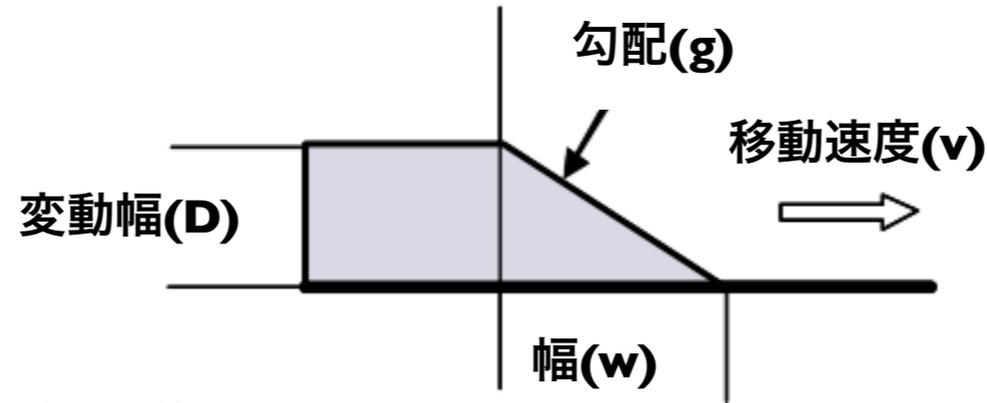
平成28年度電子航法研究所研究発表会 (平成27年6月9~10日)

地上型衛星航法補強装置(GBAS)と電離圏



- * 航空機は地上基準局で生成した補正情報を適用して測位
 - * 基準局と航空機で電離圏遅延量が異なる場合に誤差の可能性
- ➔ 事前に電離圏変動の範囲を調べておくことが必要 (電離圏脅威モデル)

電離圏脅威モデル例



米国本土(CONUS) セアトル

カテゴリーIII GBAS (GAST-D)
SARPs 検証用モデル

パラメータ	値の範囲
幅 (w)	25-200 km
変動幅 (D)	0-50 m
移動速度 (v)	0-750 m/s
勾配 (g)	衛星仰角に依存

パラメータ	値の範囲
幅 (w)	25-200 km
変動幅 (D)	0-80 m
移動速度 (v)	0-1500 m/s
勾配 (g)	移動速度に依存

衛星仰角 (EL)	勾配最大値 (g)
EL < 15°	375 mm/km
15 ≤ EL < 65	375 + (EL-15) mm/km
65 ≤ EL	425 mm/km

移動速度 (v)	勾配最大値 (g)
v < 750 m/s	500 mm/km
750 ≤ v < 1500 m/s	100 mm/km

* 電離圏環境は地域(特に磁気緯度)によって大きく変わるので、地域ごとに評価が必要



Ionospheric Studies Task Force (ISTF) - 設立の背景

- * 2010年9月
ICAO アジア太平洋地域航空航法計画実施グループ (APANPIRG) 会議において、低緯度電離圏の衛星航法への影響評価の必要性を確認
- * 2011年5月
アジア太平洋地域内での電離圏データ収集・共有に関するワークショップを開催、タスクフォースの設立を提言
- * 2011年7月
APANPIRG CNS/METサブグループ（現在はCNSサブグループ）以下にIonospheric Studies Task Force (ISTF) を設立

Ionospheric Studies Task Force (ISTF)

- 目的

- * アジア太平洋地域内で電離圏データ収集・共有を推進
- * GBAS及びSBASに対する地域的な電離圏脅威モデルの開発の必要性を評価し、必要に応じて開発
- * アジア太平洋地域における宇宙天気現象のCNSシステムに対する影響の調査

Ionospheric Studies Task Force (ISTF)

- タスクのリスト

実行順	タスク	内容	リーダー
1	1. データ収集	観測データの収集・管理	Dr. Saito (Japan)
	2. 解析	ISTFにおけるデータ解析手法の確立	Dr. Chun (ROK)
2	3. 遅延量解析	確立された手法による電離圏遅延量勾配解析	Dr. Terkildsen (Australia)
	4. シンチレーション解析	確立された手法によるシンチレーション解析	
3	5. 脅威モデル	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	SBAS: Dr. Sakai (Japan)
			GBAS: Dr. Yoshihara (Japan)
-	6. 宇宙天気	宇宙天気現象のCNSシステムに対する影響の検討	Dr. Tsugawa (Japan)

Ionospheric Studies Task Force (ISTF)

- 活動概要

* 会議

- 実会議6回 (第6回は2016年1月にタイ・バンコクで開催)
- 電話会議11回 (さらに3回を予定)

* 主な成果

- 8ヶ国・地域・機関からデータ提供
- 共通データフォーマットの策定
- 共通解析ツールの決定
- GBASについて、既存の電離圏脅威モデルを超える勾配を検出

データ収集・解析ツール開発

* データ収集

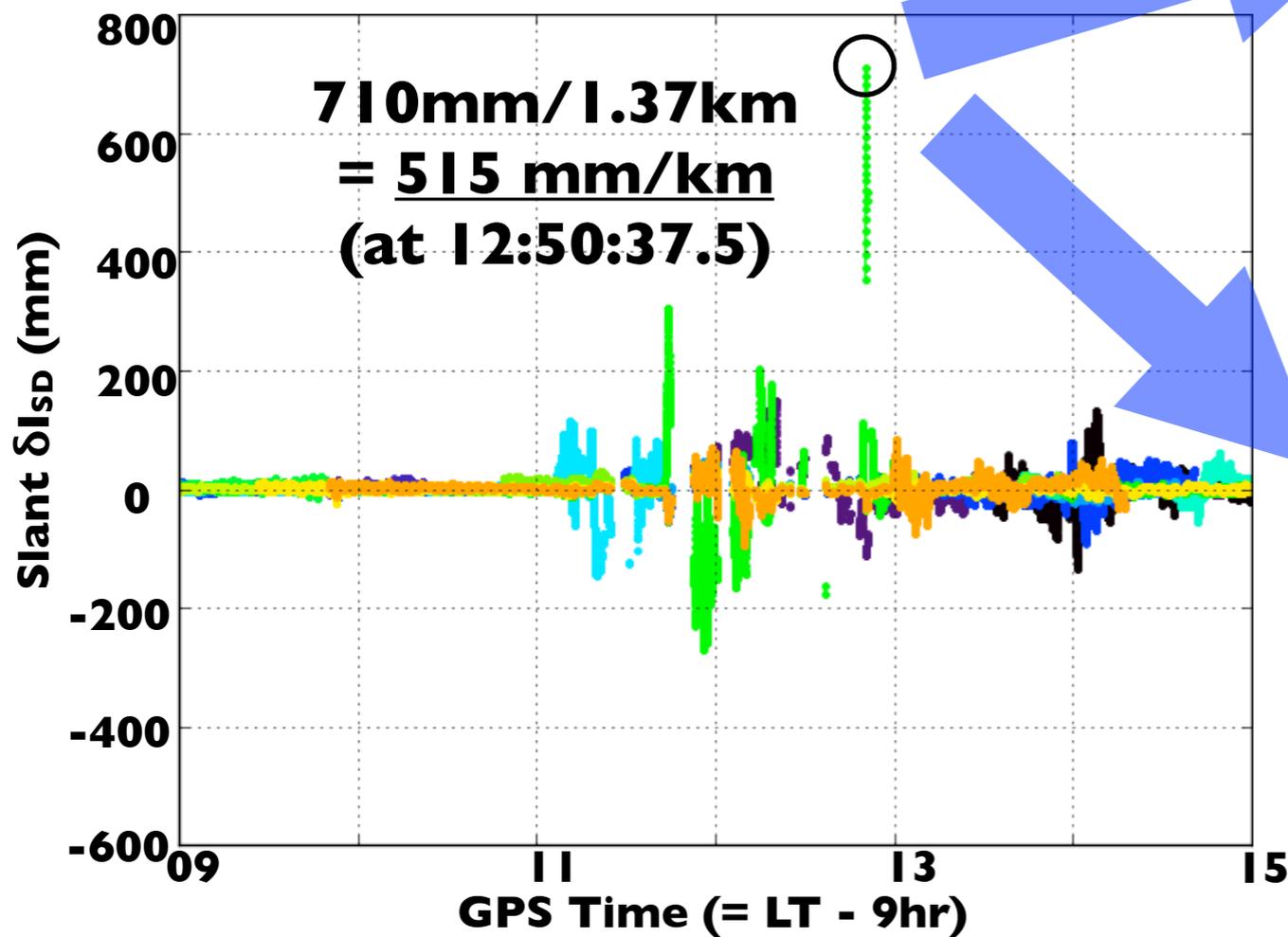
- 8カ国・地域・機関からデータ提供
 - 豪州、香港、インド、日本、フィリピン、タイ、シンガポール、米国、APEC GIT
- 共通データフォーマットの策定
 - GTEX (電離圏遅延)
 - SCINTEX (シンチレーション)

* 共通データ解析ツール

- LTIAM (Long-term Ionosphere Anomaly Monitoring, FAA開発の電離圏勾配自動解析ツール)
- 電離圏異常イベント検出用AATR (Along-arc TEC rate)解析ツール(電子研開発)
- 電離圏勾配精密推定ツール(電子研開発)

- ✓ 参加各国のボランティアメンバーによるデータ解析
- * これまでに得られた電離圏勾配
 - LTIAM解析
 - インド: 350 mm/km (analyzed by Dr. Sunda)
 - 香港: 477 mm/km (analyzed by Dr. Lee)
 - インドネシア: 278 mm/km (analyzed by Mr. Supriadi)
 - 電子研ツールによる解析
 - 日本: 515 mm/km (analyzed by Dr. Saito)
 - タイ: 140 mm/km (analyzed by Mr. Limpanamvadee and Mr. Pocathikorn)
- * 更なる解析を実行中

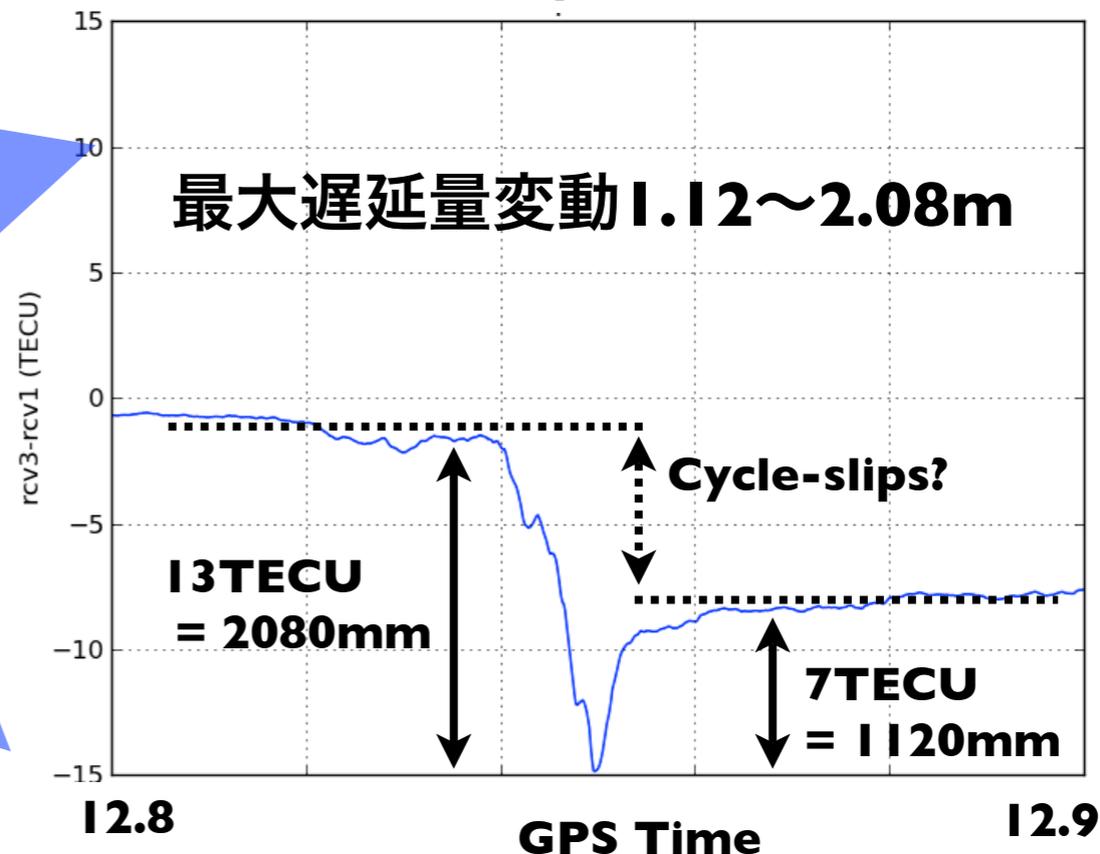
Slant δI_{SD} (R1-R3, 1.37km), 3 April 2008



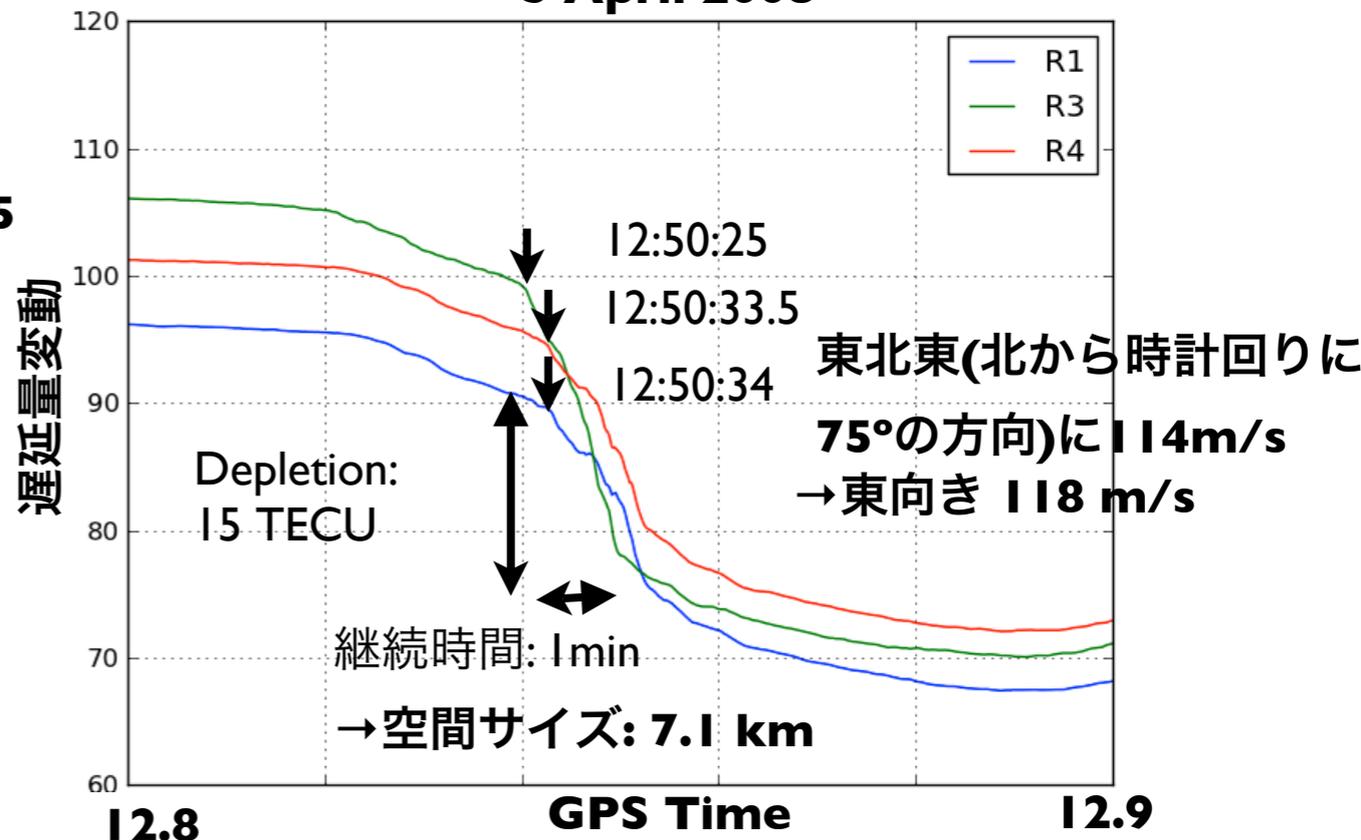
* 石垣の観測例

- 勾配 515 mm/km
- 空間スケール 7 km
- 最大遅延量変動 1.1 ~ 2.1 m
- 移動速度 114 m/sec

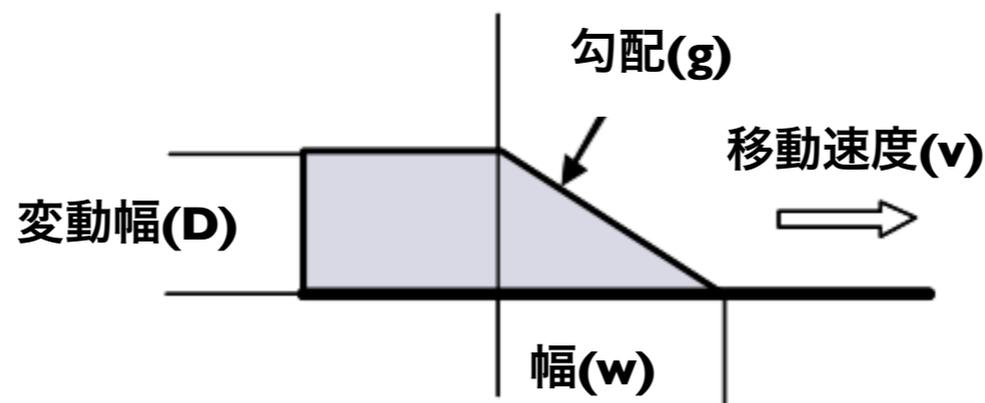
3 April 2008



3 April 2008



電離圏モデルの必要性



米国本土(CONUS) モデル

カテゴリーIII GBAS (GAST-D)
SARPs 検証用モデル

パラメータ	値の範囲
幅 (w)	7 25-200 km
変動幅 (D)	0-50 m
移動速度 (v)	0-750 m/s
勾配 (g)	衛星仰角に依存

パラメータ	値の範囲
幅 (w)	7 25-200 km
変動幅 (D)	0-80 m
移動速度 (v)	0-1500 m/s
勾配 (g)	移動速度に依存

衛星仰角 (EL)	勾配最大値 (g)
EL < 15°	375 mm/km
15 ≤ EL < 65	375 + (EL-15) mm/km
65 ≤ EL	>515 425 mm/km

移動速度 (v)	勾配最大値 (g)
v < 750 m/s	>515 500 mm/km
750 ≤ v < 1500 m/s	100 mm/km

* 既存のモデルの範囲を超えており、地域モデルが必要

電離圏脅威モデルに関する検討

* GBAS

- 地域脅威モデルの必要性を確認
- 電離圏脅威の安全性解析(safety case)に関するガイダンス文書を作成中
 - 電離圏脅威の考え方、脅威モデルの構築法、事後検証法など

* SBAS

- SBAS電離圏脅威モデルはSBASの内部アルゴリズムに強く依存するため、特定の脅威モデルは作成しない。
- 電離圏脅威の安全性解析(safety case)に関するガイダンス文書を作成する
 - 電離圏脅威の考え方、脅威モデルの構築法、事後検証法など

* ICAOアジア太平洋地域事務所ウェブサイトにおいて公開予定

宇宙天気関連

- * CNSシステムに対して影響の可能性のある現象の検討
 - 中低緯度地域に注目した検討
 - プラズマバブル: GNSS, SatCom, ADS-B (GNSSによる)
 - 太陽X-rayフレア: HF COM
 - 太陽電波バースト: GNSS, possibly ADS-B through GNSS
 - スポラディックE層: VHF COM, VHF NAV
 - 電子研の活動予定
 - VHF COM/NAVに対するスポラディックE層の影響評価
 - ADS-Bに対するプラズマバブルの影響評価
- * 宇宙天気情報利用のためのICAO気象パネルへの入力
 - 気象情報サービス開発ワーキンググループ (WG-MISD: MET Information and Service Development) への情報提供
 - Annex 3改訂、宇宙天気情報利用運用コンセプト策定

まとめ

- * 電子航法研究所では、ICAOアジア太平洋地域Ionospheric Studies Task Force (ISTF)を通して電離圏・宇宙天気現象の影響評価を行っている。
 - データ解析・脅威モデル開発はGBASに注力
 - 電離圏脅威に対するガイダンス文書を作成
 - GBAS
 - SBAS
 - 宇宙天気現象のCNSシステムへの影響評価
- * ISTFは2016年7月APANPIRG CNSサブグループ会議及び2016年9月のAPANPIRGへの最終報告に向けて鋭意活動中