

アジア太平洋地域GBAS電離圏 脅威モデル

*齋藤 享、吉原 貴之、坂井 丈泰

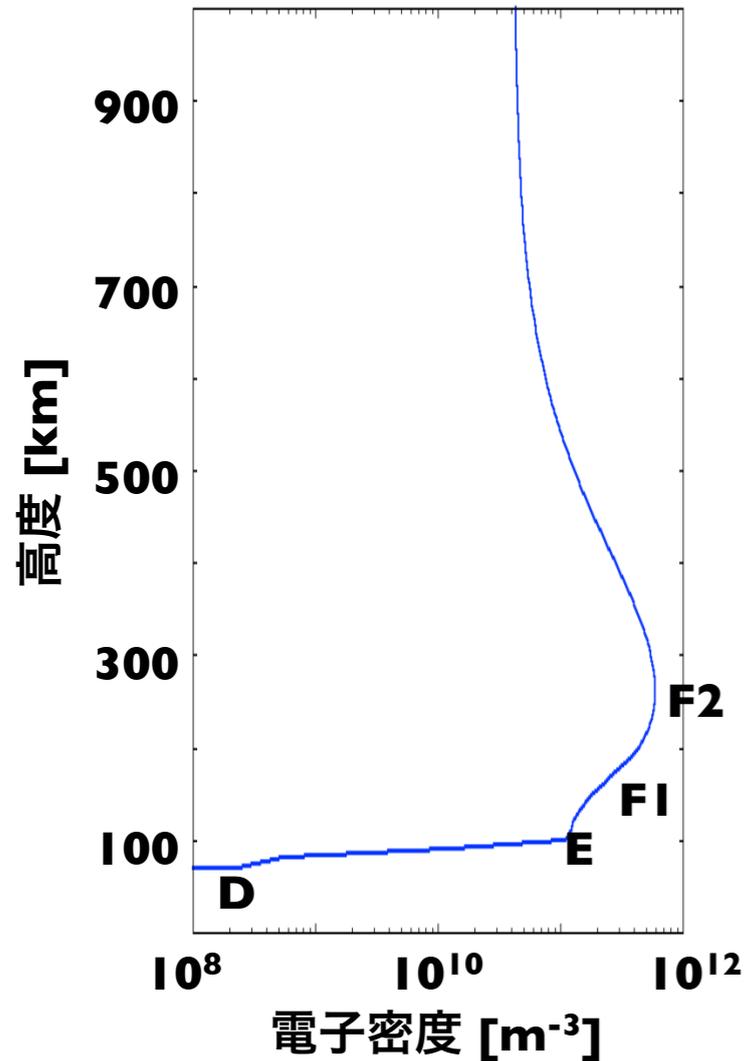
電子航法研究所 航法システム領域

- * 本研究は、ICAOアジア太平洋地域電離圏問題検討状況タスクフォース (Ionospheric Studies Task Force) 参加者の協力及び各国のデータ提供に基づいて行われた

- * 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
 - 電離圏勾配解析
 - アジア太平洋地域共通GBAS電離圏脅威モデル
- * 今後の方針
 - アジア太平洋地域モデルの日本への最適化

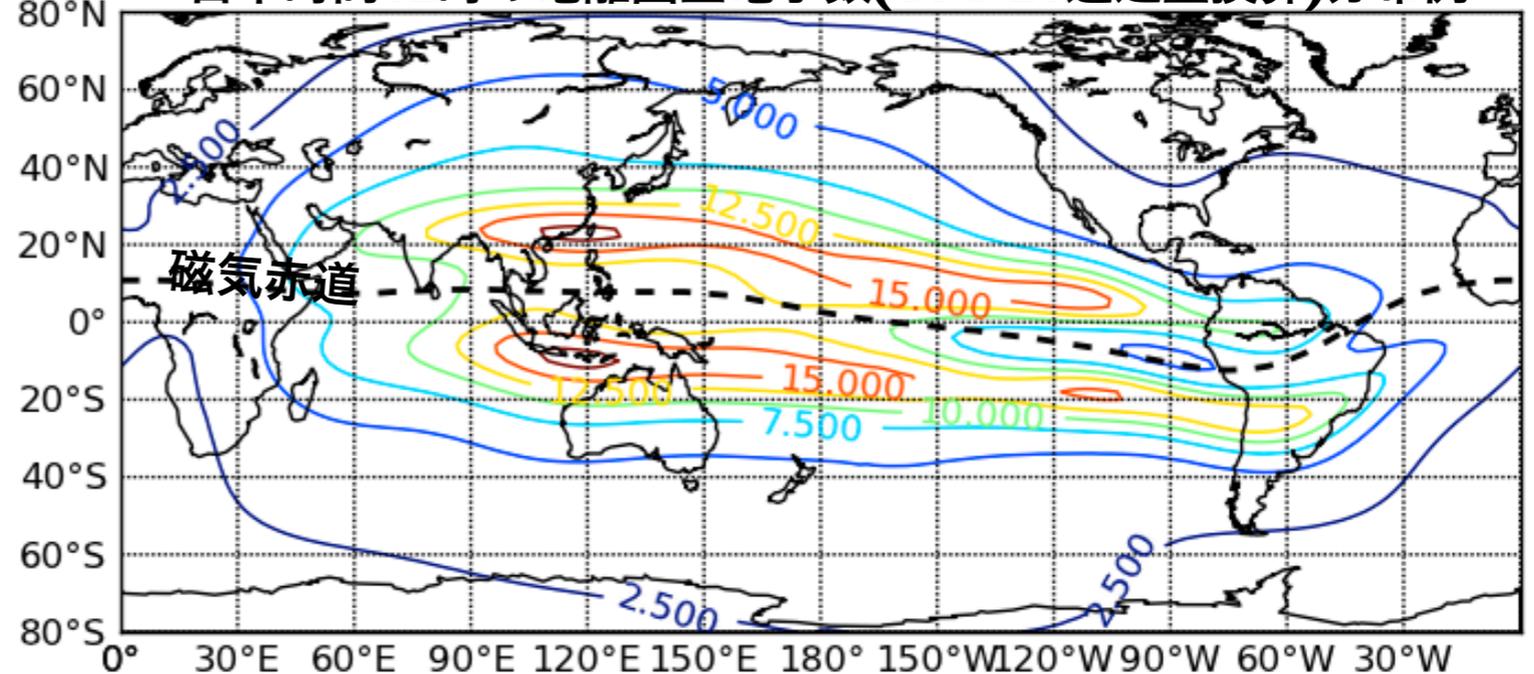
* 電離圏：高度約60km～1000kmに存在する電離した地球大気（プラズマ）

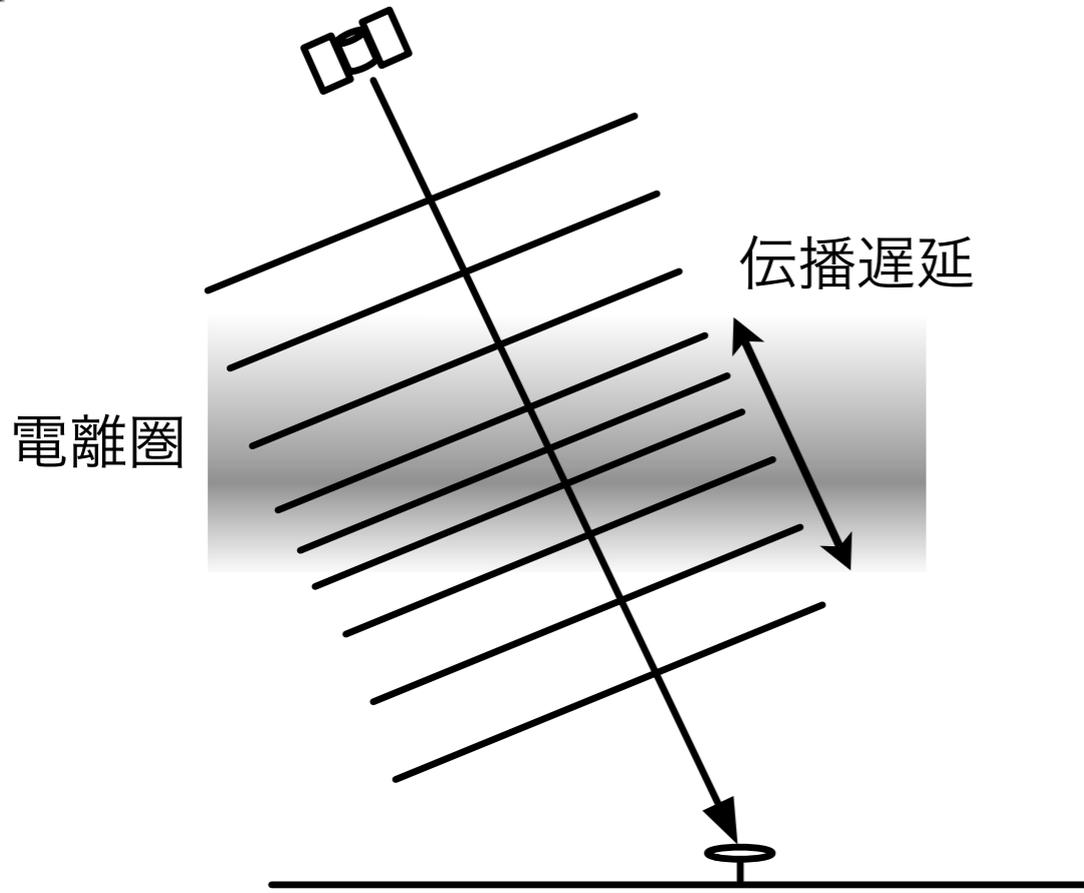
昼間の電離圏密度の高度分布例



- 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）
- 日本は地磁氣的、電離圈的には低緯度

日本時間12時の電離圏全電子数(GPS LI遅延量換算)分布例





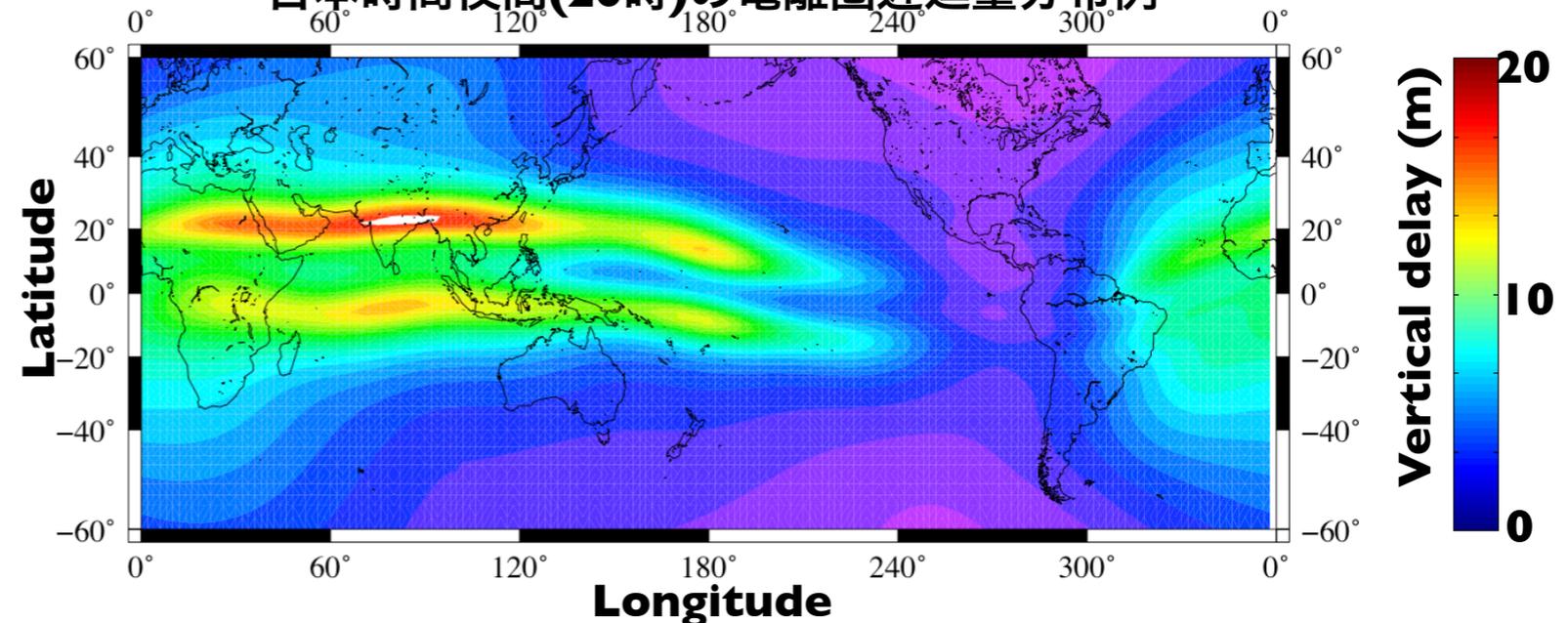
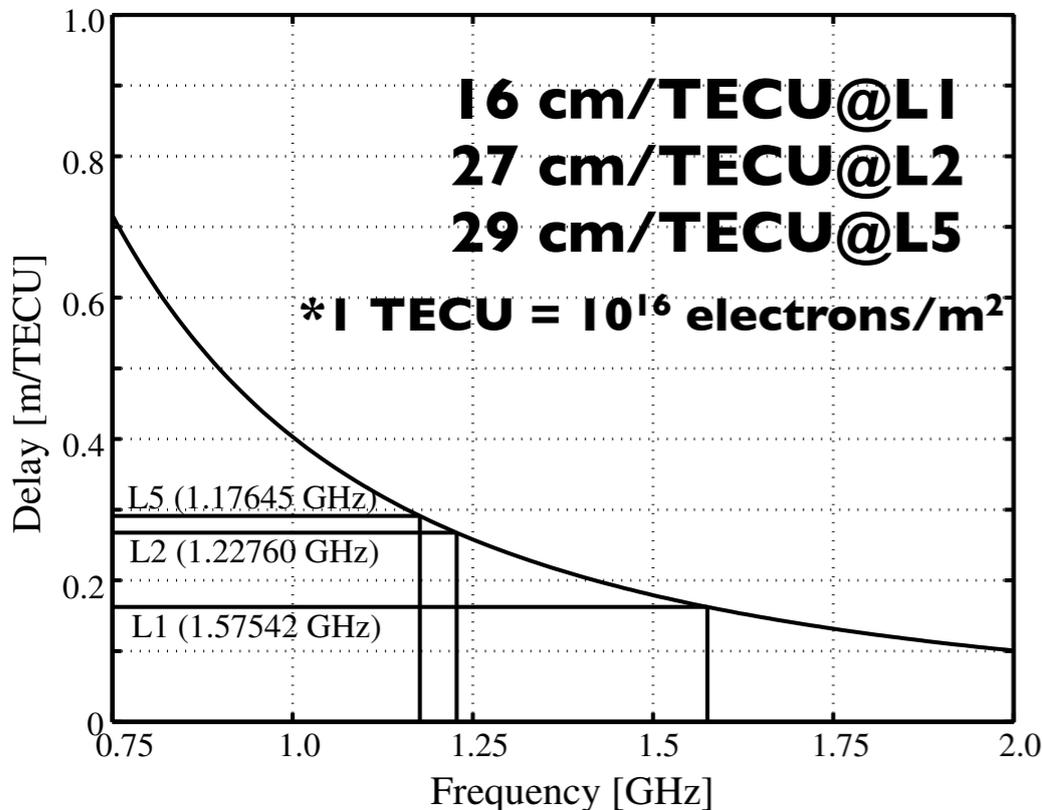
* 電離圏プラズマ中では電波の速度がわずかに遅くなり、衛星-受信機の距離が長く見える

➡ 電離圏遅延

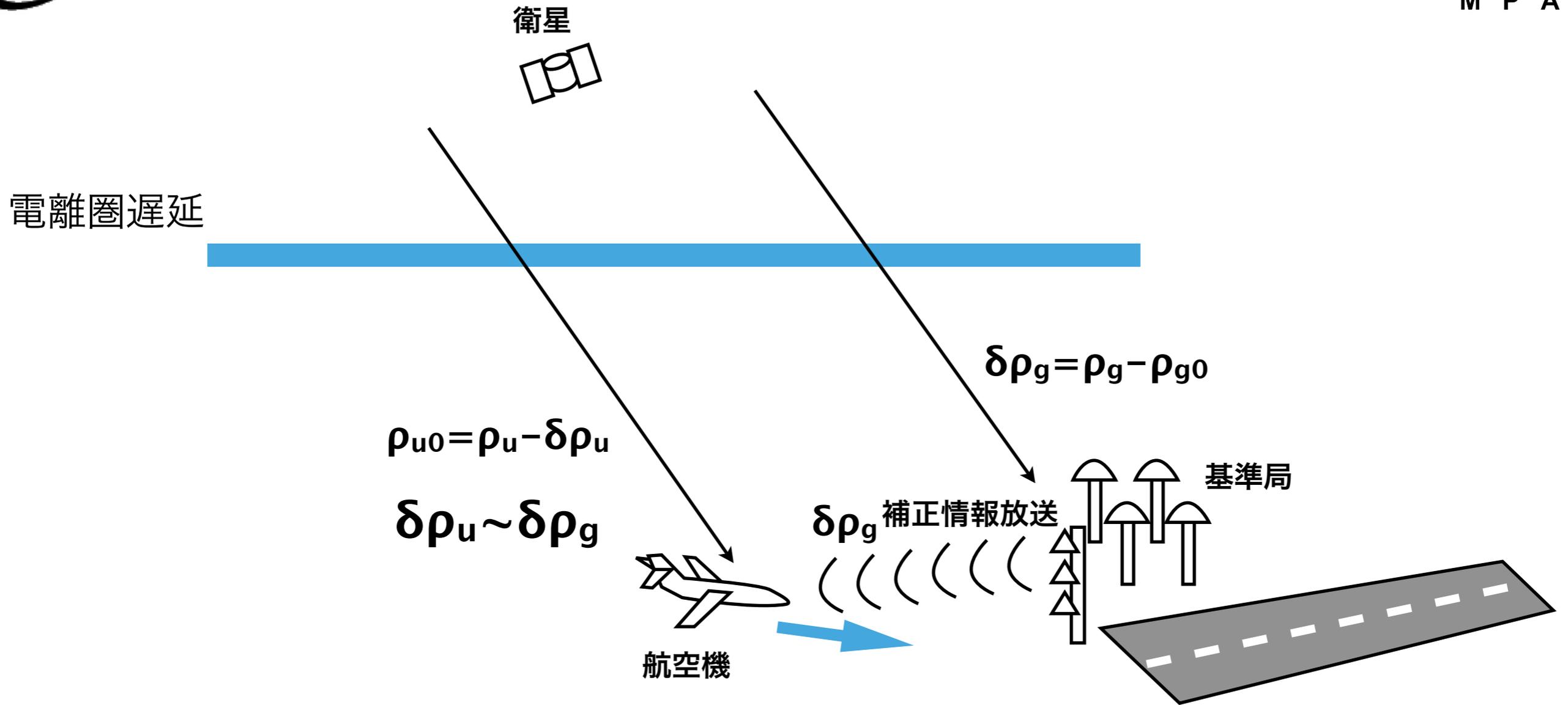
* 垂直方向の電離圏遅延量は20-30 mにもなりうる

- 斜め方向ではさらに2~3倍

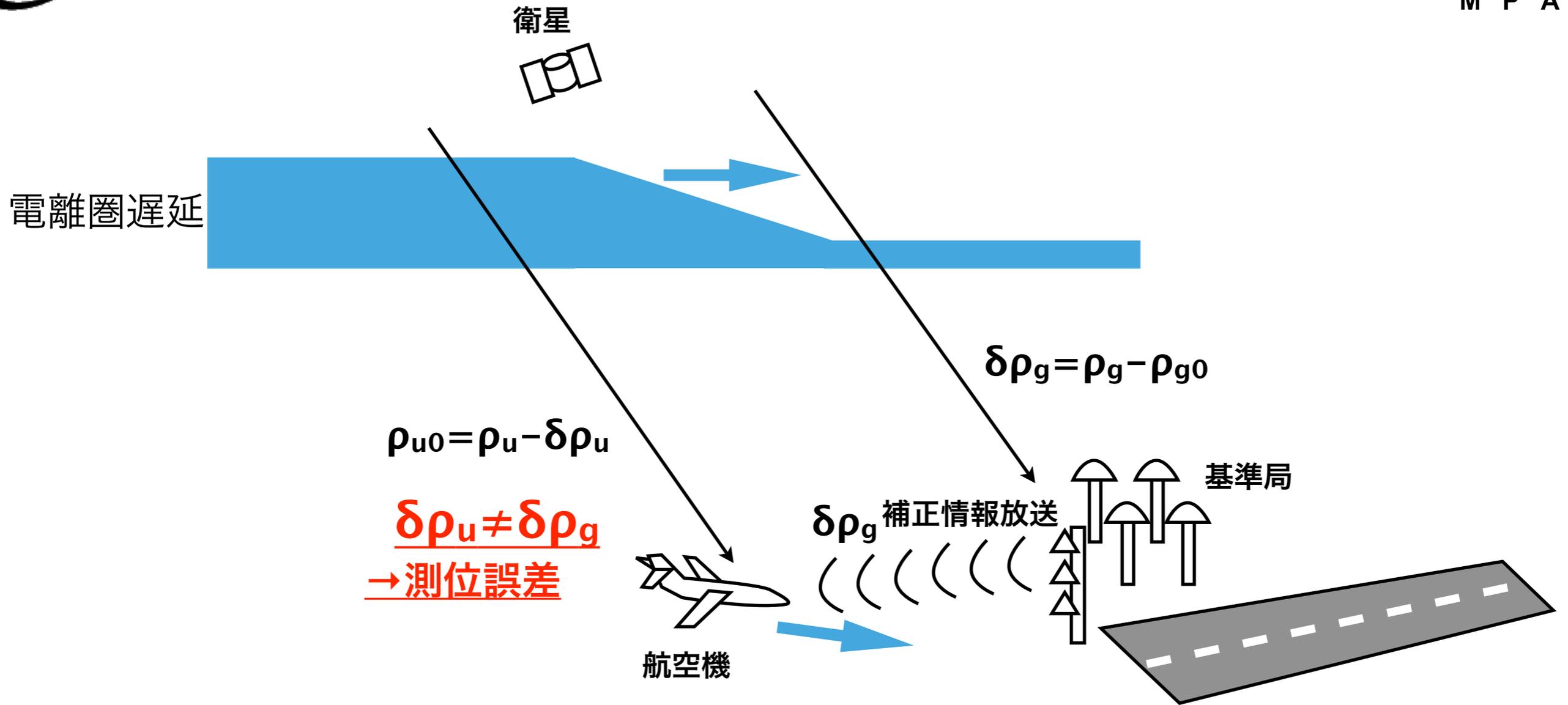
日本時間夜間(20時)の電離圏遅延量分布例



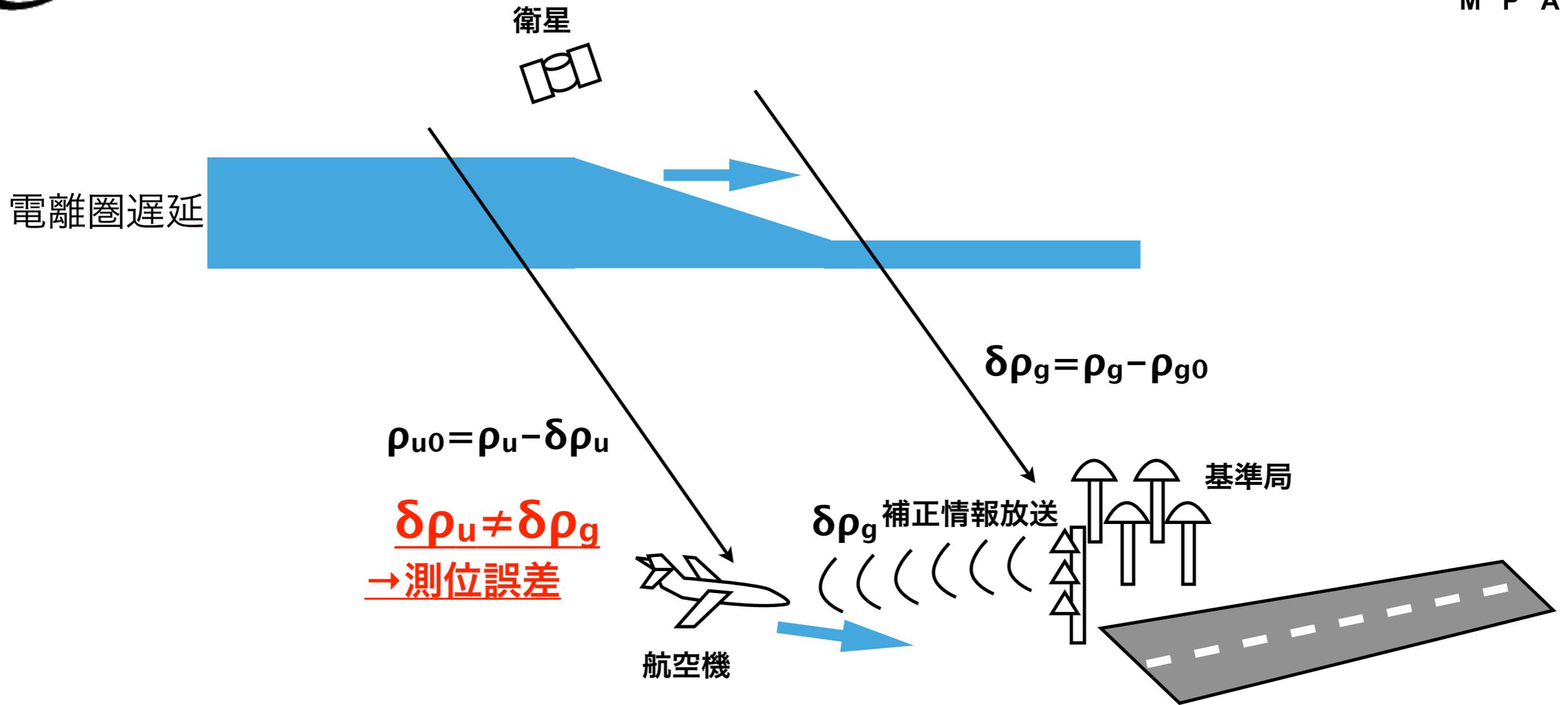
平成29年度電子航法研究所研究発表会 (平成29年6月8~9日)



* 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

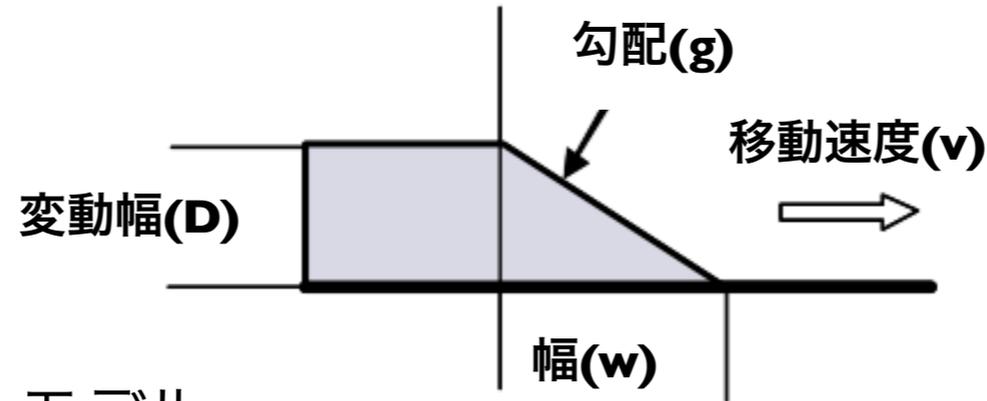


- * 航空機は地上基準局で生成した補正情報を適用して測位
- * 基準局と航空機で電離圏遅延量が異なる場合に誤差の可能性



- * 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) 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)	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

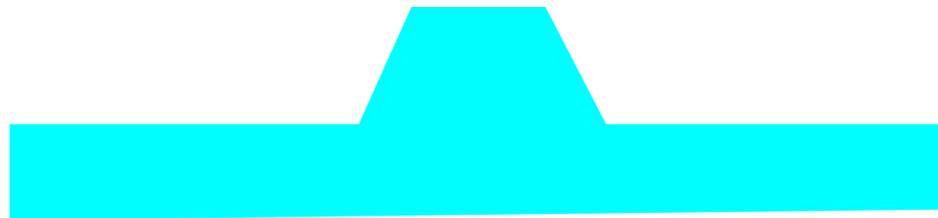
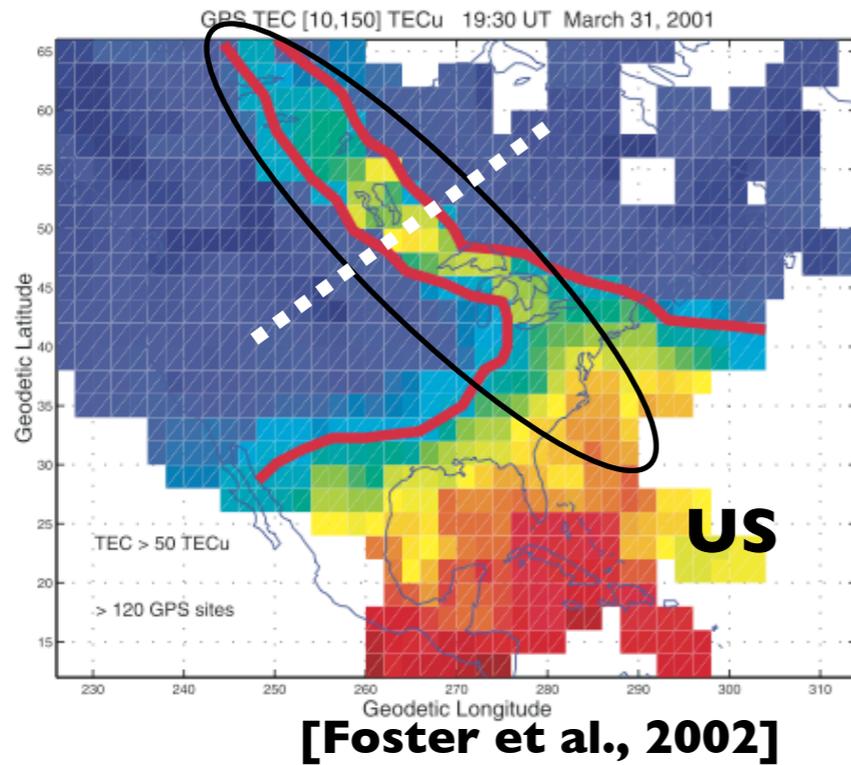
パラメータ	値の範囲
幅 (w)	25-200 km
変動幅 (D)	0-80 m
移動速度 (v)	0-1500 m/s
勾配 (g)	移動速度に依存

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

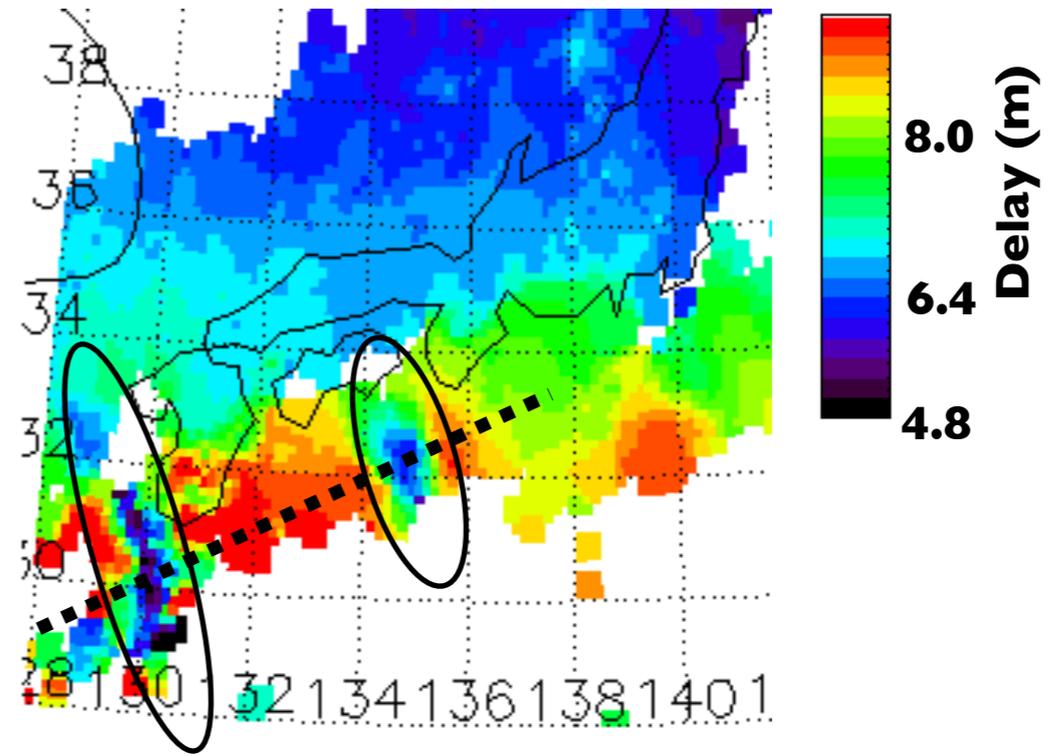
移動速度 (v)	勾配最大値 (g)
v < 750 m/s	500 mm/km
750 ≤ v < 1500 m/s	100 mm/km

* 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

中緯度



低緯度



電離圏遅延

- * 磁気嵐に伴う電離圏密度増大
- * スケール大
- * 発生頻度低
- ❖ 既存脅威モデルで考慮

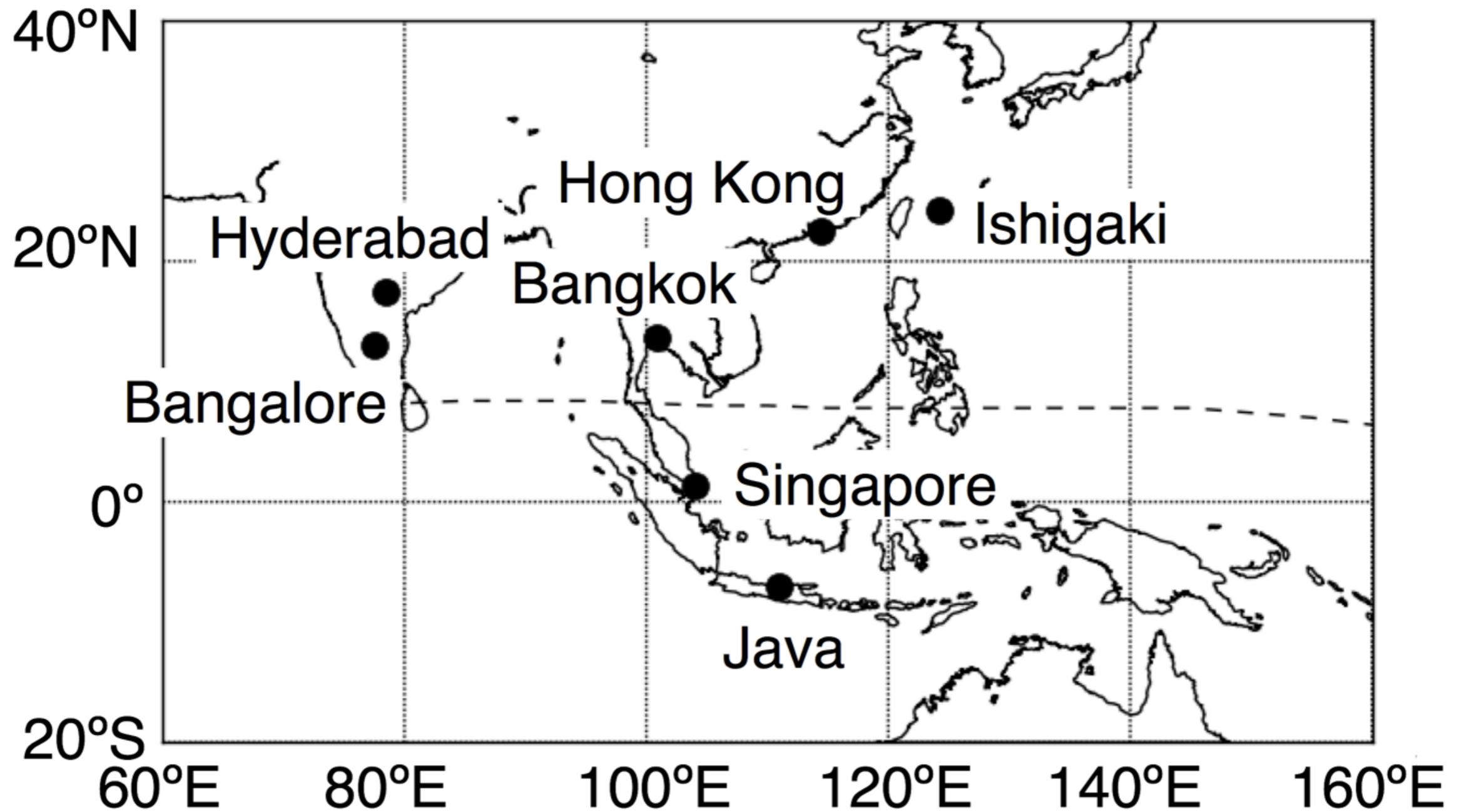
- * 局所的密度減少「プラズマバブル」
- * スケール小
- * 発生頻度高
- ❖ 既存脅威モデルでは未考慮
- ➔ 低緯度地域に着目した評価が必要

- * アジア太平洋地域におけるGNSS導入を、電離圏脅威回避の側面から支援することを目的として2011年7月に設立
 - アジア太平洋地域における電離圏データ収集・共有・解析
 - アジア太平洋地域の電離圏特性解析
 - 必要に応じて共通電離圏脅威モデルを開発
 - 宇宙天気のカNSシステムに対する影響の検討

- * 2016年9月、APANPIRG (Asia-Pacific Air Navigation Planning and Implementation Regional Group) に対し成果報告し活動終了
 - アジア太平洋地域共通GBAS電離圏脅威モデル
 - GBAS, SBASにおける電離圏脅威に対するガイダンス文書

- * LTIAM (Long-Term Ionosphere Anomaly Monitoring)
 - 米国FAA及び韓国KAISTにおいて開発
 - 2周波観測により電離圏遅延量を導出した後、遅延量差を計算
 - 比較的長い基線($> 10\text{km}$)に適する
 - 大きな勾配を自動検出した後、手動検証
 - 大量データ解析に適する

- * SF-CBCA (Single-Frequency Carrier-Based and Code-Aided)
 - 電子航法研究所において開発
 - 1周波観測のみから電離圏遅延量差を導出
 - 周波数間バイアスの影響なし、L2サイクルスリップの影響なし
 - 比較的短い基線(10km程度)に適する

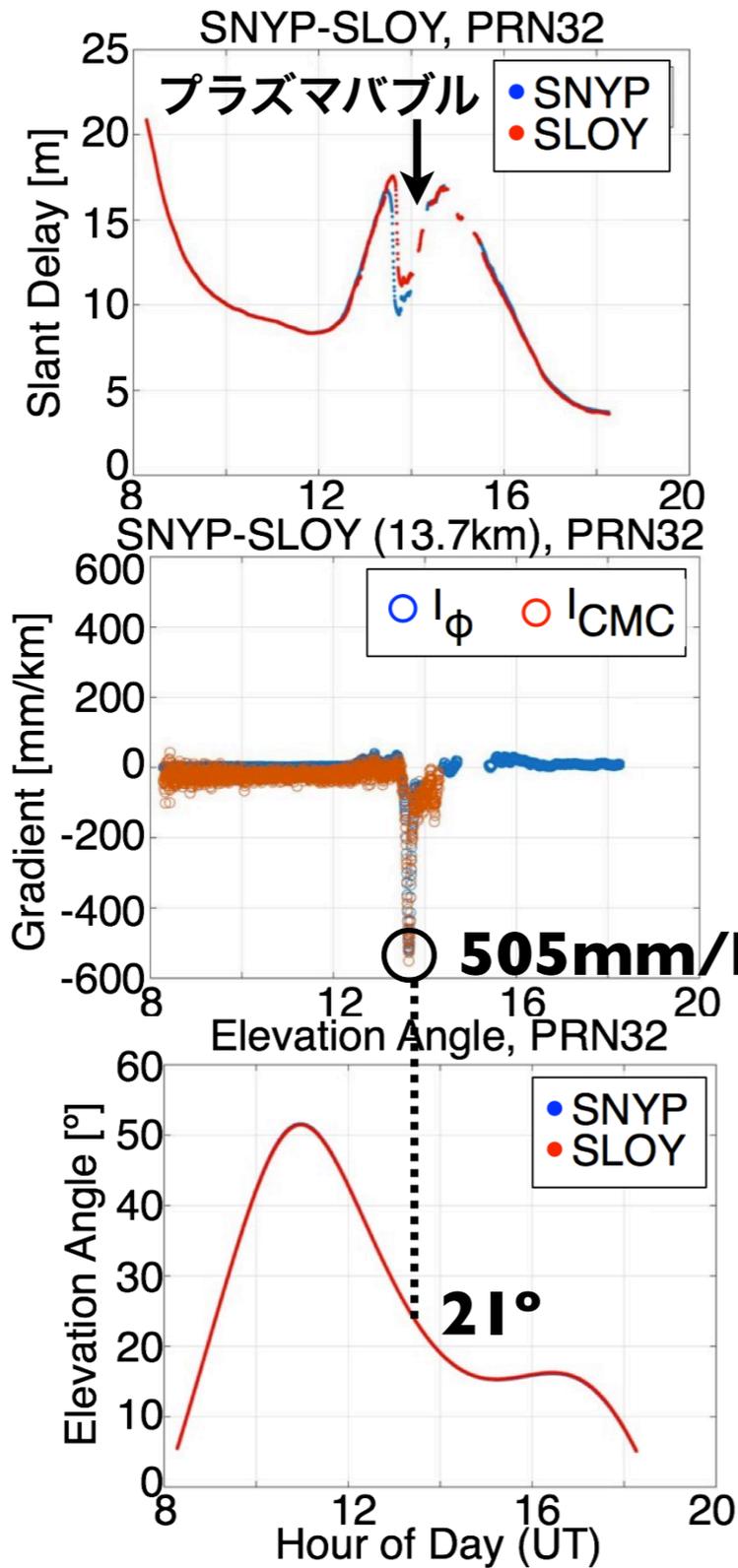


[Saito et al., Submitted to **GPS Solutions**]

Location	Period	Analysis Method	Baseline Length
Hong Kong	Oct. 2000–Sep. 2013	LTIAM	4.8–21 km
Hyderabad, India	2004–2015	LTIAM	9.3 km
Bangalore, India	2004–2015	LTIAM	6–20 km
Java, Indonesia	2013–2015	LTIAM	15–84 km
Ishigaki, Japan	Mar.–Apr. 2008, Sep.–Oct. 2010	SF-CBCA	1.4 km
Singapore	Sep.–Nov. 2011, Mar.–Apr., Sep.–Oct. 2012 Mar.–May, Sep.–Nov. 2013 Feb.–Apr., Sep.–Oct. 2014 Mar.–Jul. 2016	LTIAM	2.3–33 km
Bangkok, Thailand	Sep.–Oct. 2011	SF-CBCA	12 km

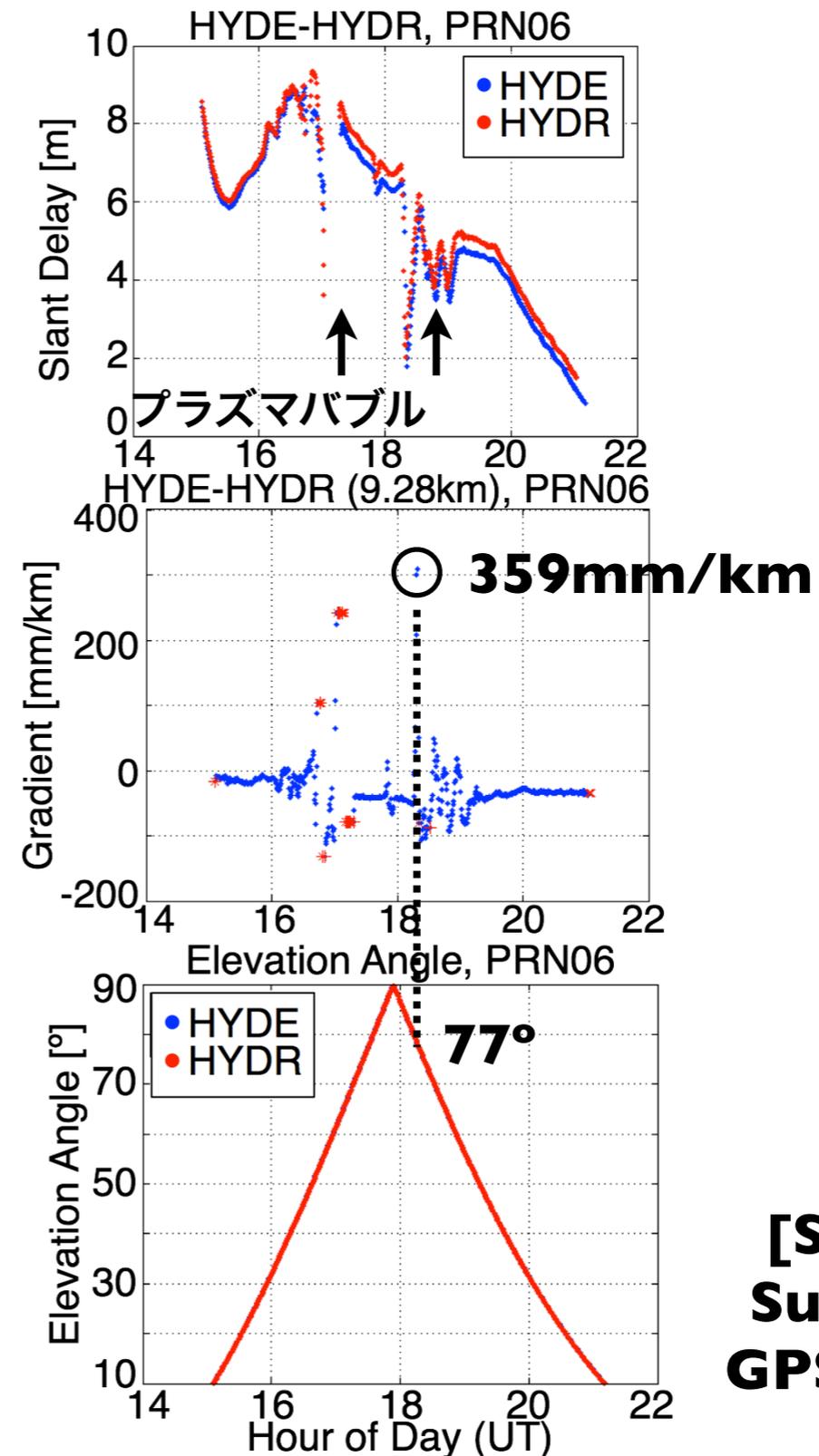
電離圏遅延

シンガポール



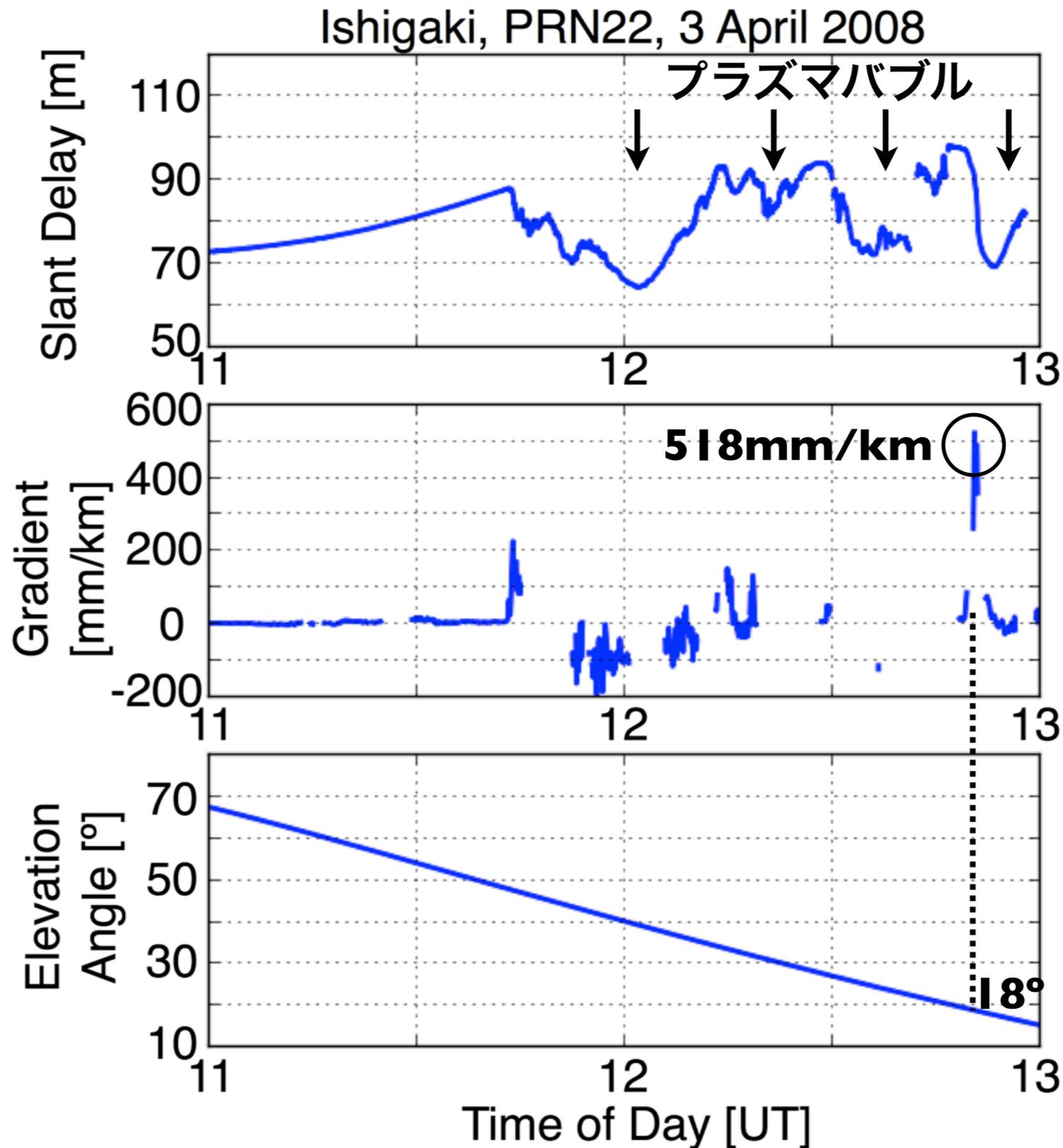
電離圏勾配

インド・ハイデラバード



[Saito et al.,
Submitted to
GPS Solutions]

SF-CBCAによる解析例 (石垣)

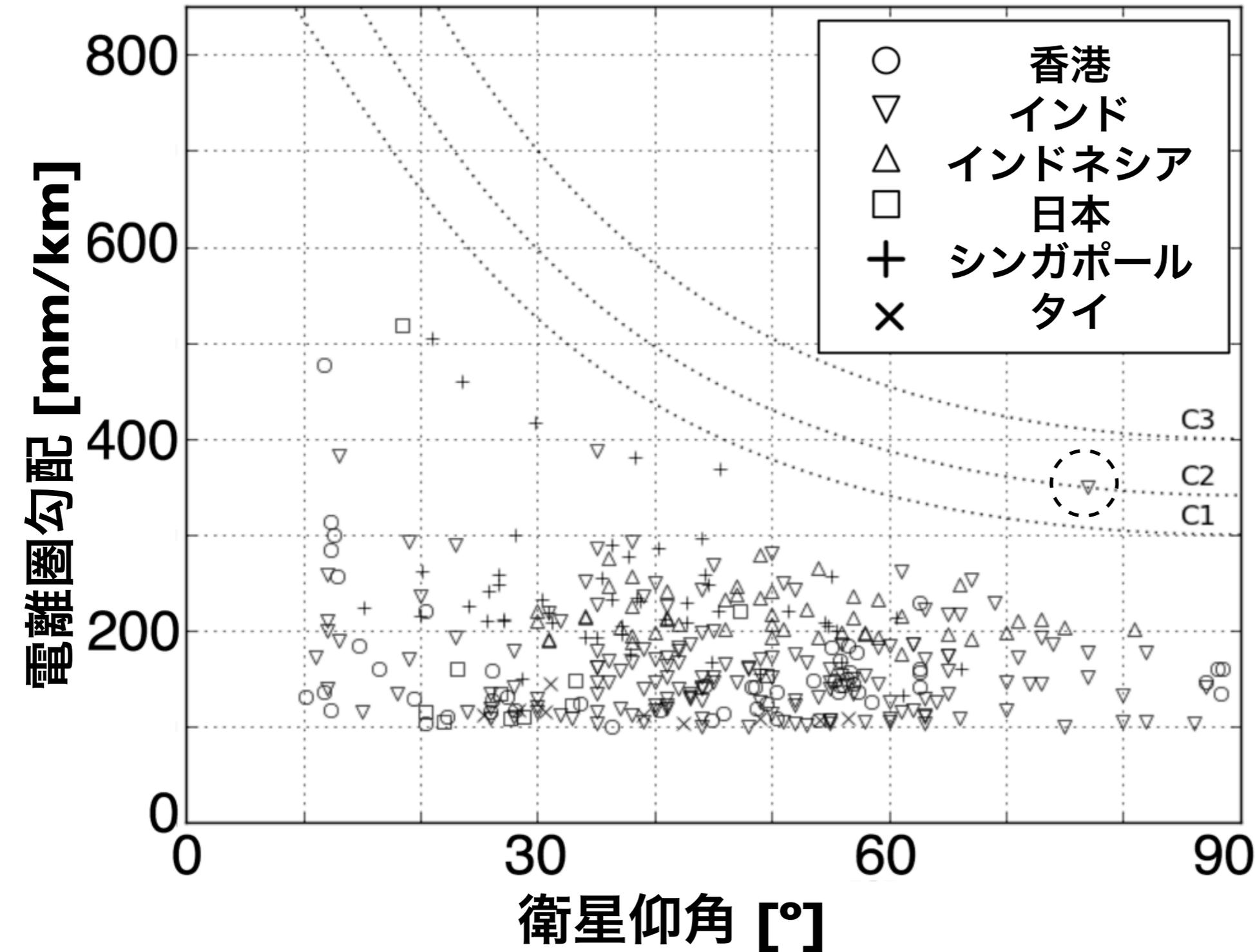


電離圏遅延

電離圏勾配

衛星仰角

[Saito et al.,
Submitted to
GPS Solutions]

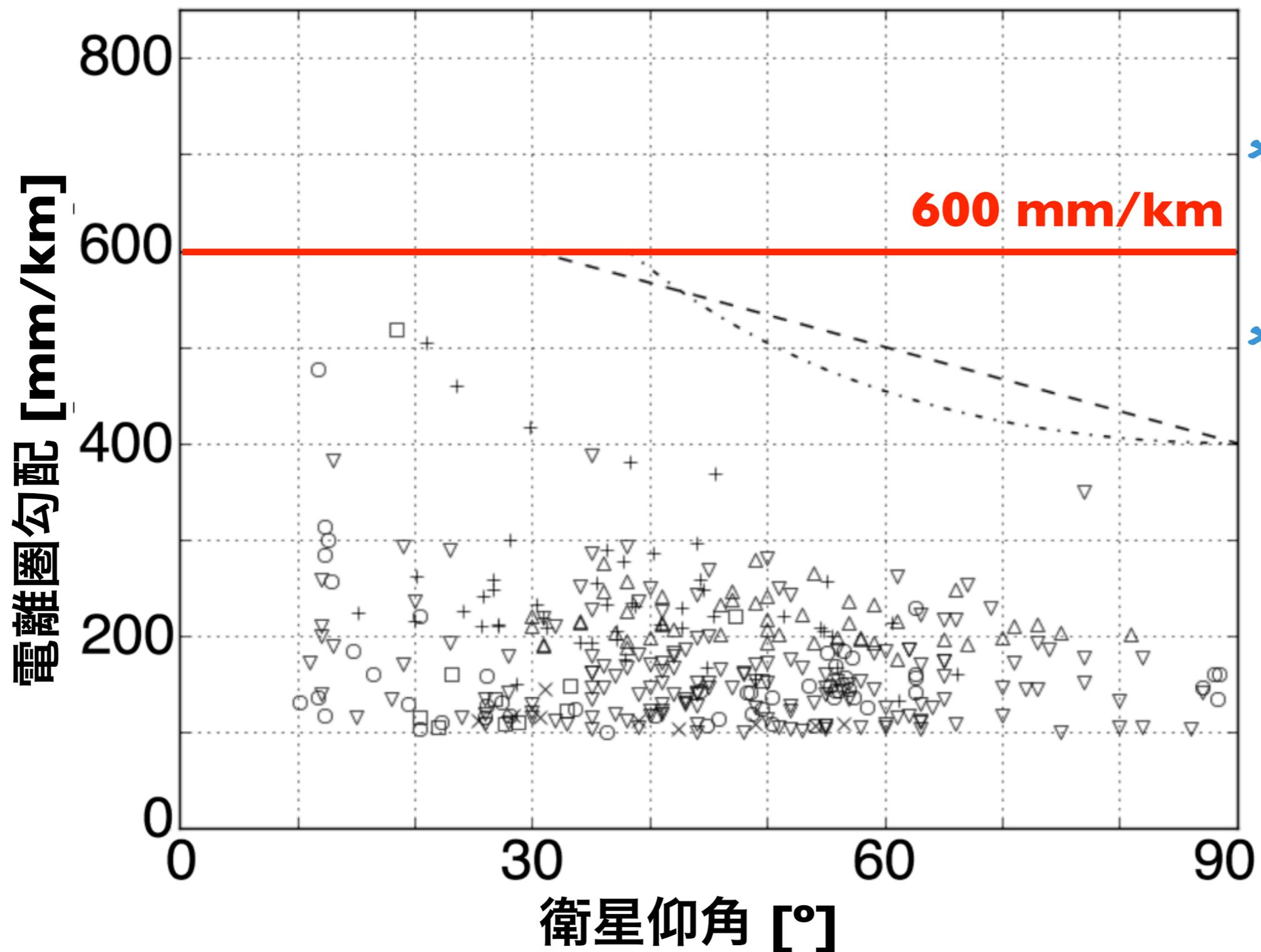


- * 傾斜係数(電離圏を通過する距離を表す)に概ね沿う分布
- * 高仰角に1点飛び出した点あり

$$g = \frac{g_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{R_e \cos El}{R_e + h_{shell}}\right)^2}}$$

	C1	C2	C3
g_0	300	341	400

[Saito et al., Submitted to GPS Solutions]



- * 仰角によらず一定値を採用
- * 今後のデータの蓄積により高仰角の脅威空間の削減の可能性あり

[Saito et al., Submitted to GPS Solutions]

平成29年度電子航法研究所研究発表会 (平成29年6月8~9日)

- * 電子航法研究所が主導したICAOアジア太平洋地域電離圏問題検討タスクフォース(ISTF)を通してアジア太平洋地域の電離圏環境評価を行った
 - アジア太平洋地域共通GBAS電離圏脅威モデルの定義
 - ❖ 最大電離圏勾配600 mm/km (衛星仰角非依存)
 - 電離圏脅威に対するガイダンス文書
 - GBASに対する影響と回避策
 - SBASに対する影響と回避策
 - ◆ ICAOアジア太平洋地域の文書として公開
 - <https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/>

- * 更なるデータ解析
 - 他の脅威空間パラメータ解析
 - * 各国のGBAS導入における情報を共有
 - アジア太平洋地域共通電離圏モデルの改訂、高カテゴリーGBAS導入への寄与
 - * アジア太平洋地域共通電離圏脅威モデルの日本に向けた最適化
 - 過去の日本で得られた大量データ解析による脅威空間の最適化
- ➡ 日本におけるGBASの性能向上

