

# 低緯度電離圏擾乱に伴う電離圏勾配の特性

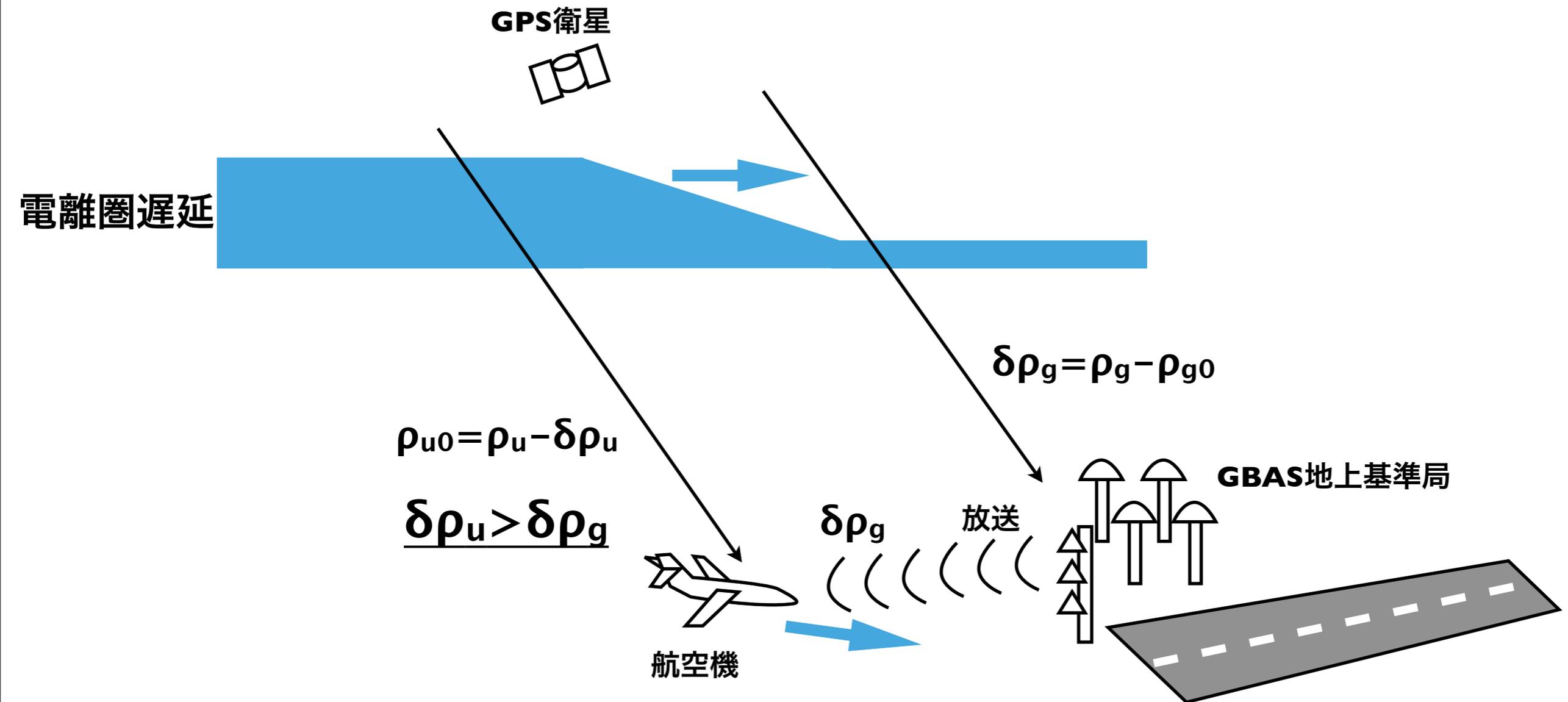
**\*齋藤 享、藤田 征吾、吉原 貴之**

電子航法研究所 航法システム領域

## 高カテゴリGBAS (GAST-D)の開発

- \* GAST-D (GBAS Approach Service Type-D)
  - GPS LI信号を用いてカテゴリII/III着陸を可能とするGBAS
  - CAT-I GBASと異なり、電離圏異常検出機能の一部が機上装置の責任へ移管
- \* ICAOにおいてGAST-D開発の基礎となるSARPs原案 (Development Baseline SARPs)を策定
  - 2010年までに机上検証を終了
  - 実機による検証活動が各国で進行中
- \* 電子航法研究所においてもGAST-Dプロトタイプ製作による検証プログラムを開始

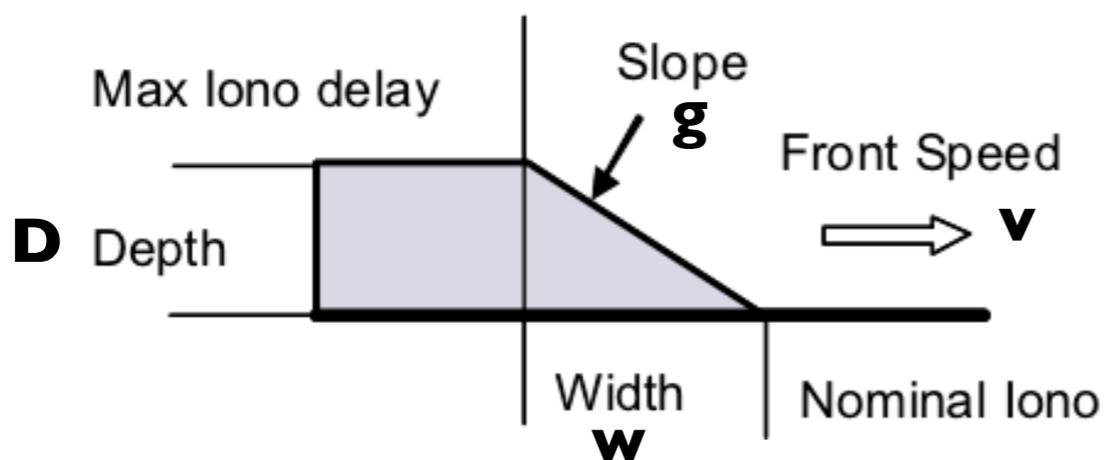
# 電離圏遅延とGBAS



- \* 航空機と地上局でレンジ誤差に違いがある場合、補正誤差を生じる。
- \* 局所的(10~20 km程度)な電離圏遅延量勾配は最大の誤差要因。

# GAST-D電離圏脅威モデル

- \* 電離圏脅威モデル：電離圏遅延がどれくらい変動しうるかの範囲を定めたもの。安全性設計の基礎となる。
- \* GAST-Dにおいては平面波状にモデル化。パラメータは以下の表のとおり。
- \* 十分な観測による検証が必要。



**GAST-D**ベースライン**SARP**で用いられている電離圏脅威モデル。

- \* 電離圏異常は機上装置設計に影響する。→全世界共通の脅威モデルが必要

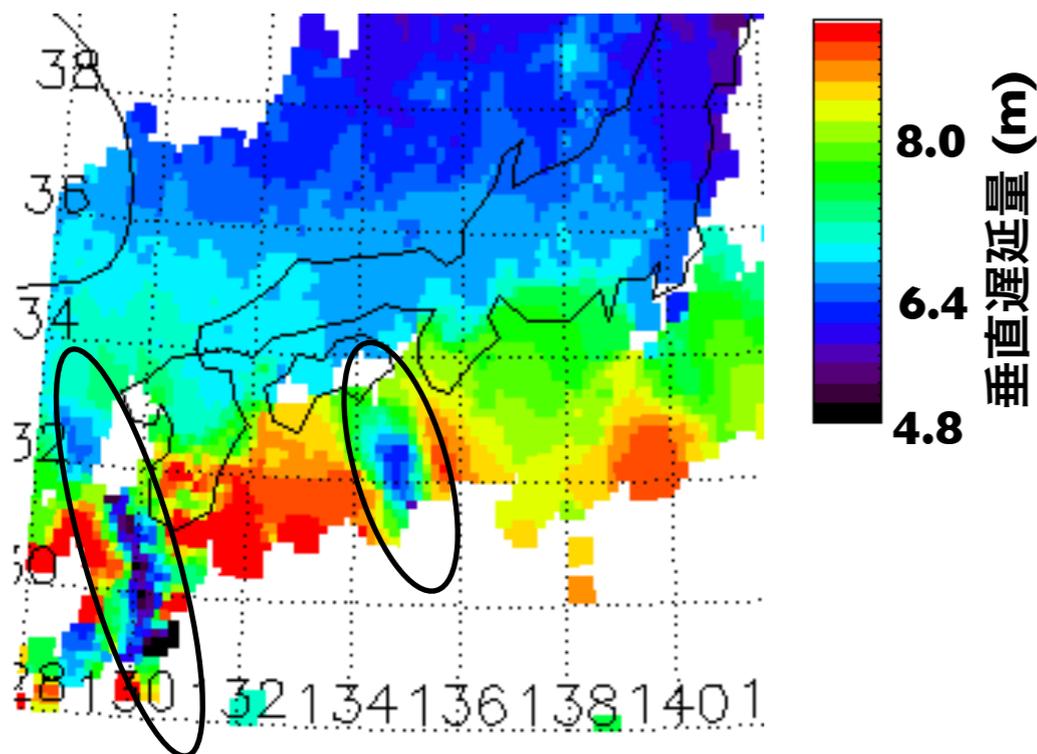
パラメータ	値の範囲
幅 (w)	25-200 km
振幅 (D)	0-80 m
伝播速度 (v)	0-1500 m/s
勾配 (g)	vによる(下表)

伝播速度 (v)	勾配(g)の上限
$v < 750$ m/s	500 mm/km
$750 \leq v < 1500$ m/s	100 mm/km

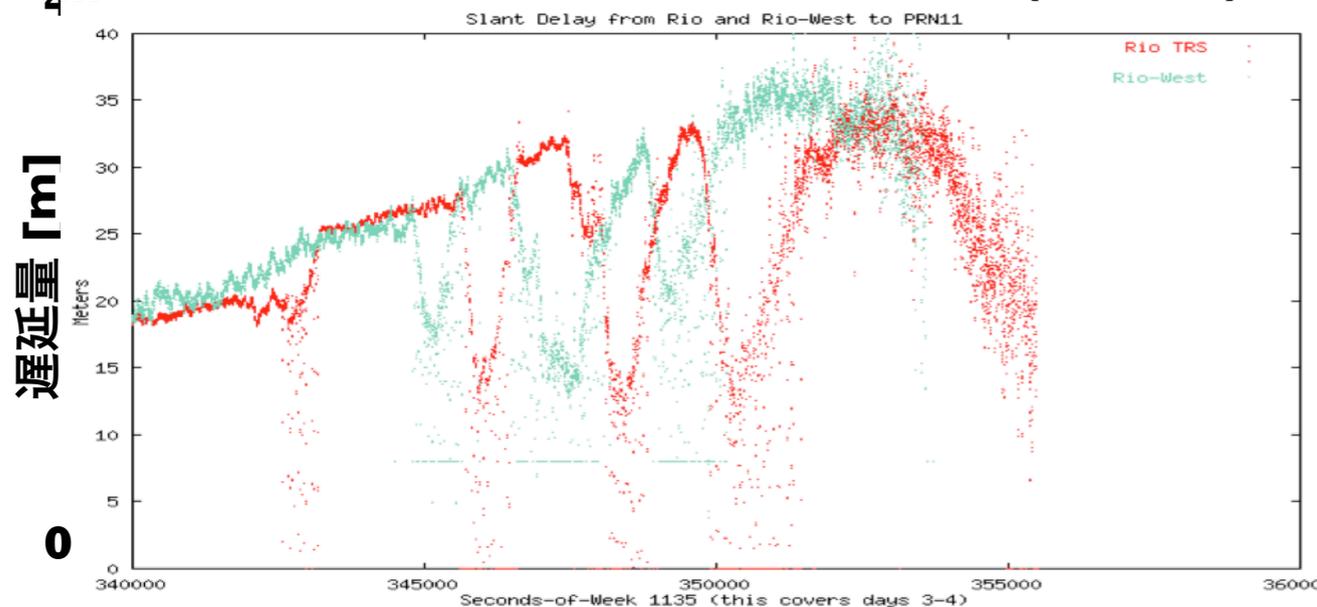
# 低緯度電離圏擾乱(プラズマバブル)

プラズマバブルに伴う電離圏遅延量変動 (日本)

2002年4月7日21:25:30 JST



4. プラズマバブルに伴う電離圏遅延量変動 (ブラジル)



\* 日本は地磁気的には低~中緯度

\* プラズマバブルが重要

- 低緯度特有
- 南北に細長く発達する電離圏遅延量の局所的減少領域
- 極めて大きな電離圏遅延量勾配を伴う
- 比較的磁気緯度の高い欧米では重要視されてこなかった。

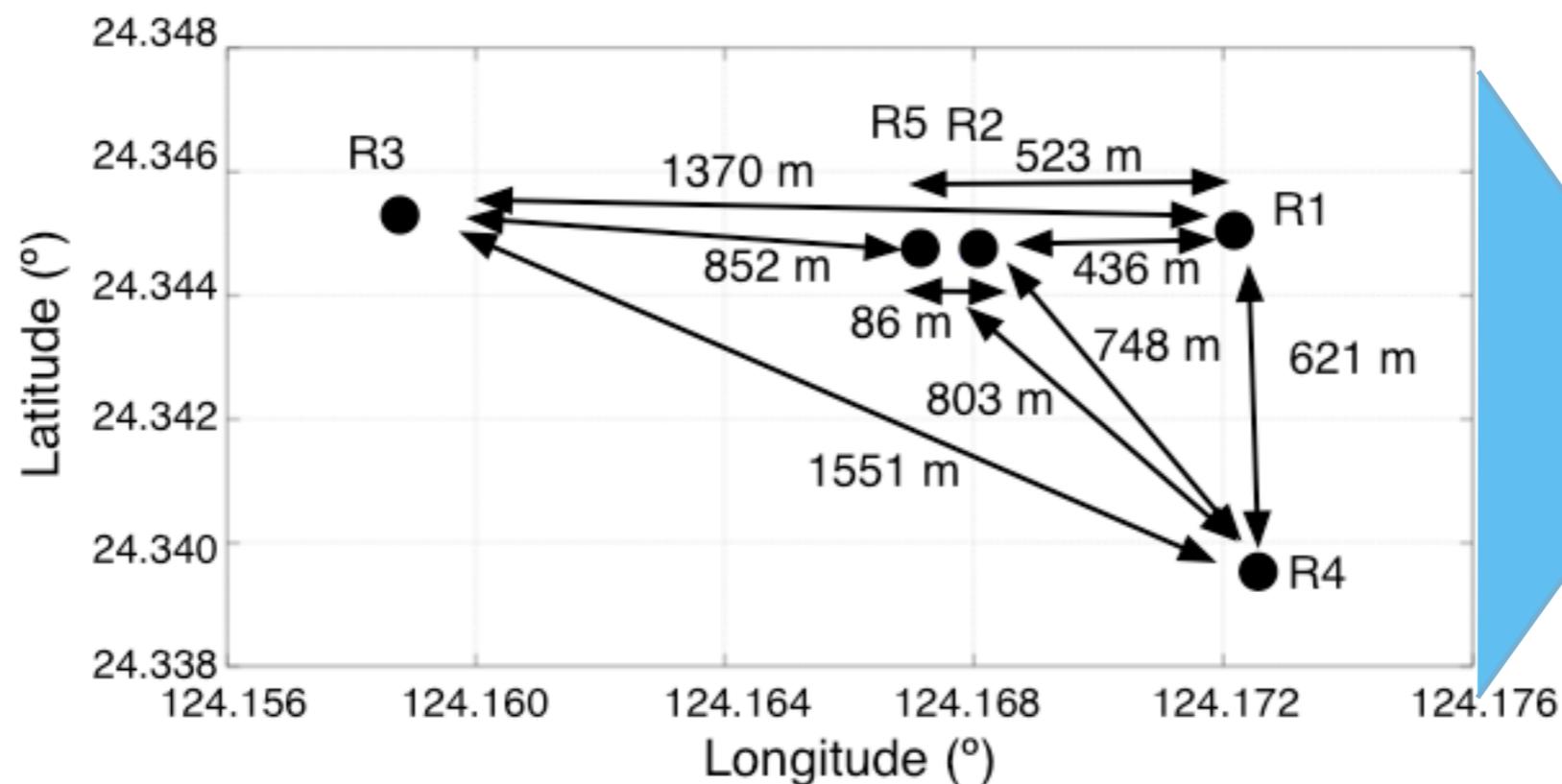
\* プラズマバブルに伴う局所的な電離圏遅延量変動の測定が必要

[ICAO NSP 電離圏のGNSSへの影響に関する報告書]

## 短基線電離圏勾配精密導出法

- \* 通常の2周波電離圏遅延量測定では、短基線の電離圏勾配導出に不向き
  - 周波数間バイアスの受信機による違い
  - L2信号は途切れやすい
- \* 電離圏遅延量「差」をL1信号のみを用いて精密に導出する手法を開発 [藤田他, J.Aero.Astro.Avi., 2011]
  - 2受信機間の電離圏遅延量「差」に着目
  - 搬送波位相を用いて観測ノイズを低減
  - 搬送波位相の初期値を決定するために擬似距離測定値を補助的に使用
  - CAT-IプロトタイプGBASの電離圏フィールドモニタにも利用
- \* 受信機3台を用いて測定値の信頼性を向上

# 短基線電離圏勾配観測



データ収集システム



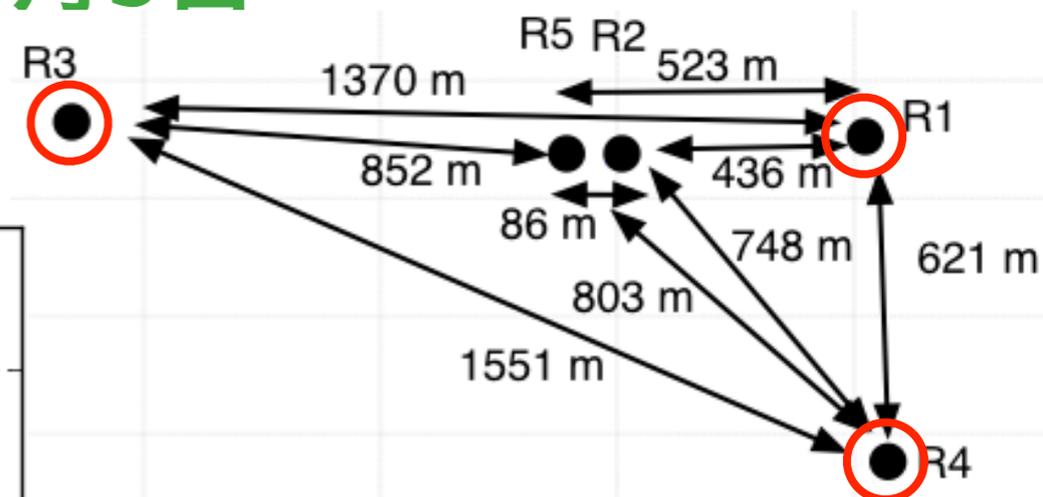
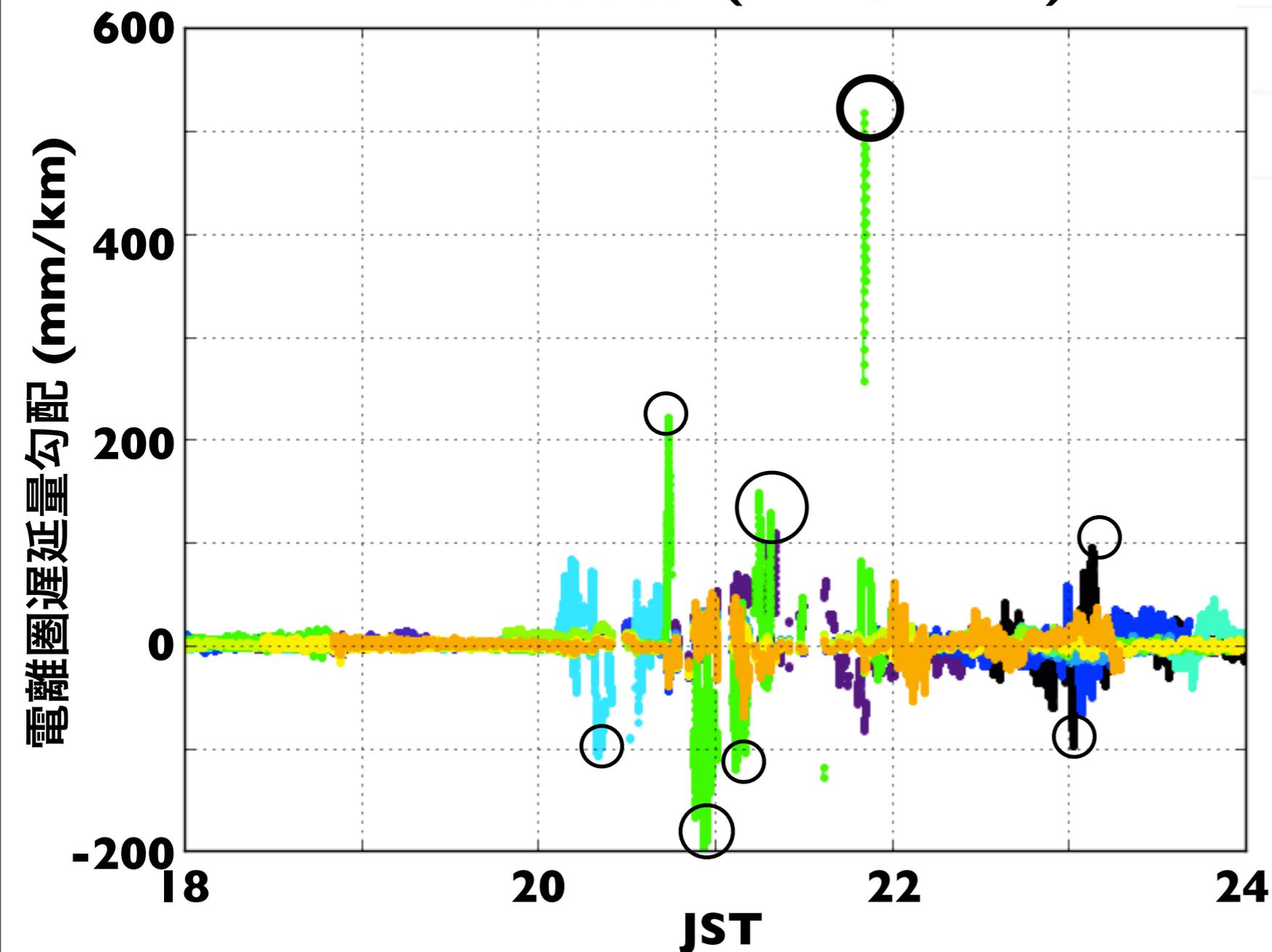
アンテナ



- \* 石垣島において2008年以降観測を継続
- \* 0.4-1.6 kmの間隔で5台の受信機を設置
  - 受信機: NovAtel Euro-3, 2 Hzサンプリング
  - アンテナ: NovAtel GPS-702-GG

# 結果：2008年4月3日

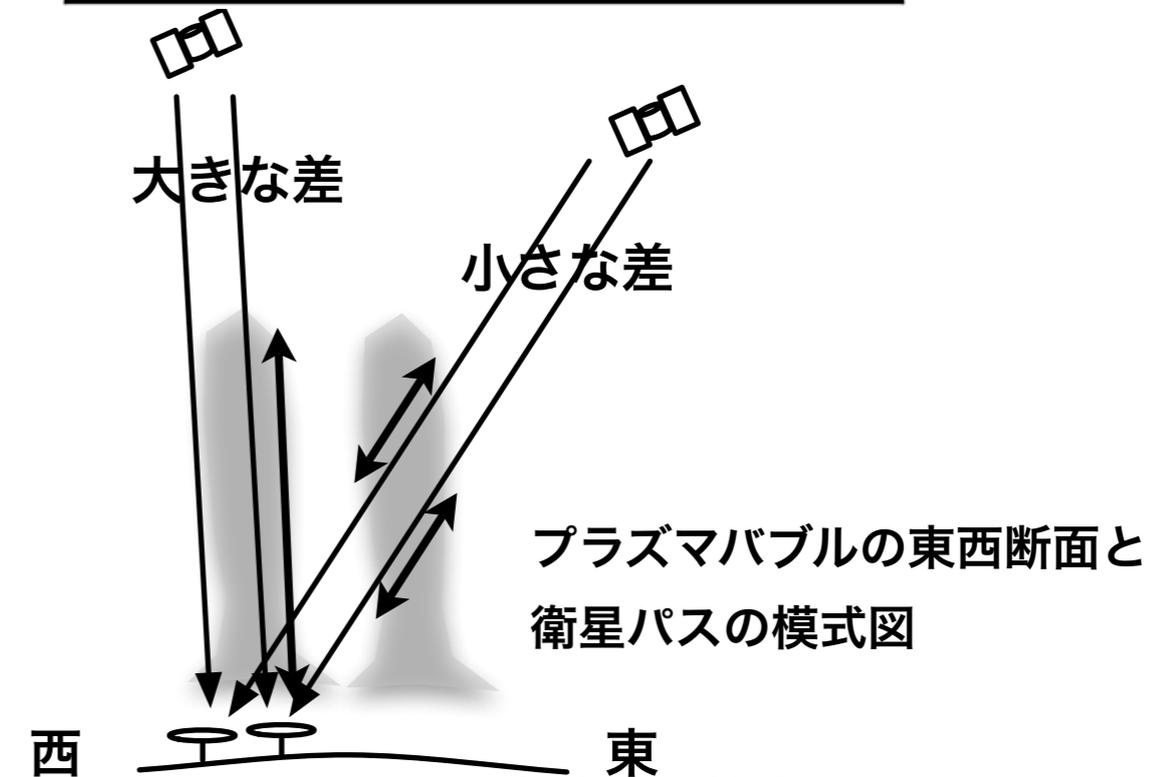
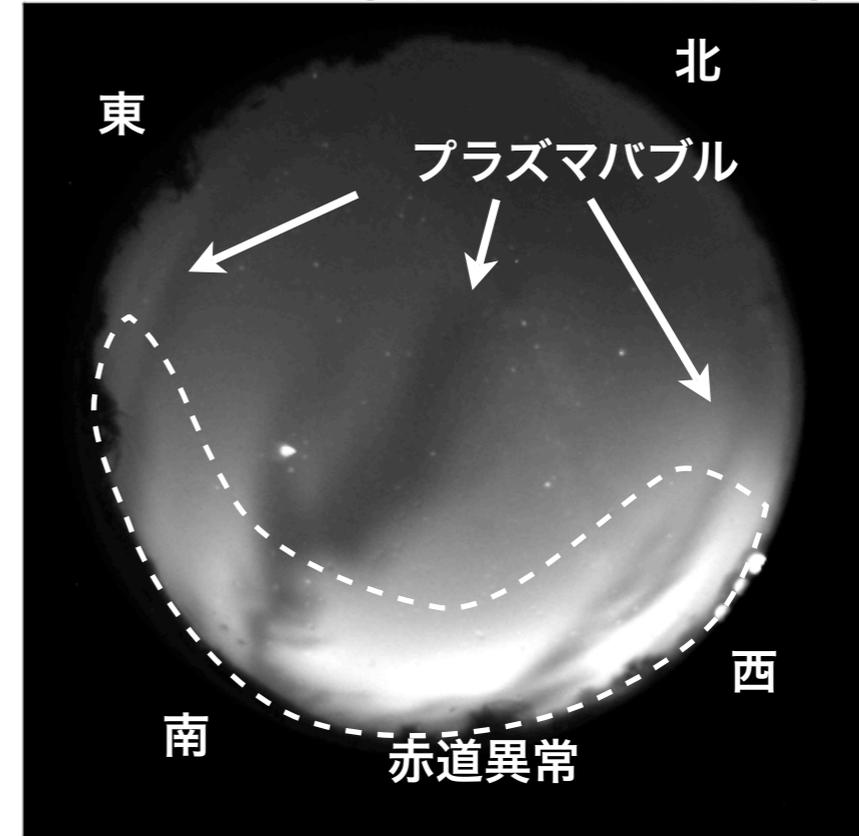
東西電離圏勾配 (2008年4月3日)



- \* 100~200 mm/kmの電離圏勾配は頻繁に発生
- \* 最大500 mm/kmを越える電離圏勾配を検出
  - GAST-D電離圏脅威モデルの範囲を超える可能性
- \* 脅威モデルに与える影響を検証中

# 電離圏勾配と衛星位置の関係(I)

与那国島大気光イメージャが観測した  
プラズマバブル (明るさ~電離圏遅延)

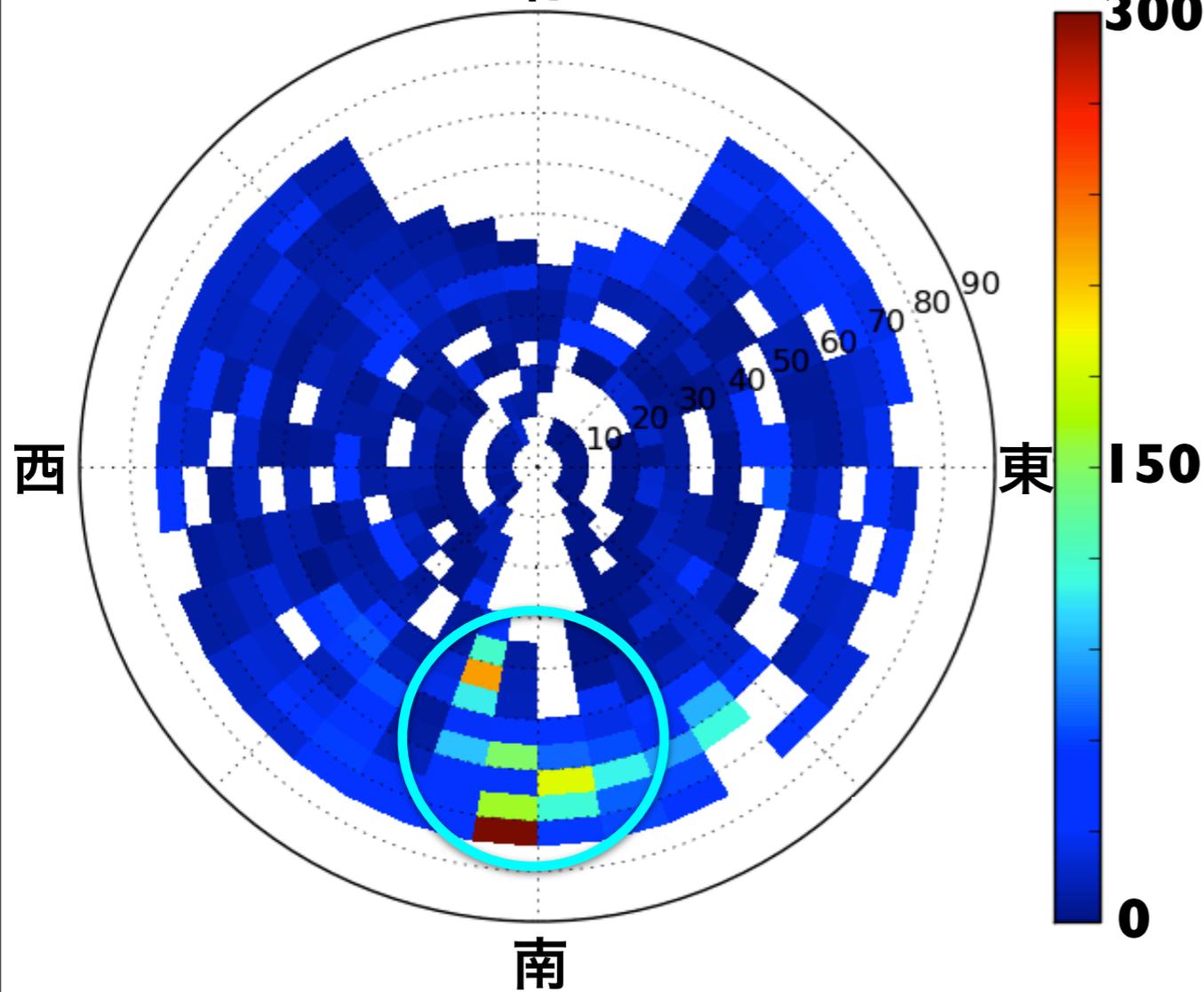


- \* プラズマバブルは南北に沿った構造をもつことが多い
  - 衛星が南北子午面に近い時に電離圏遅延量勾配が大きくなりやすいと予想される
- \* 南(低緯度)方向低仰角は衛星パスが電離圏赤道異常を長く通過
  - 南(低緯度)方向低仰角でさらに電離圏遅延量勾配が大きくなりやすいと予想される

# 電離圏勾配と衛星位置の関係(2)

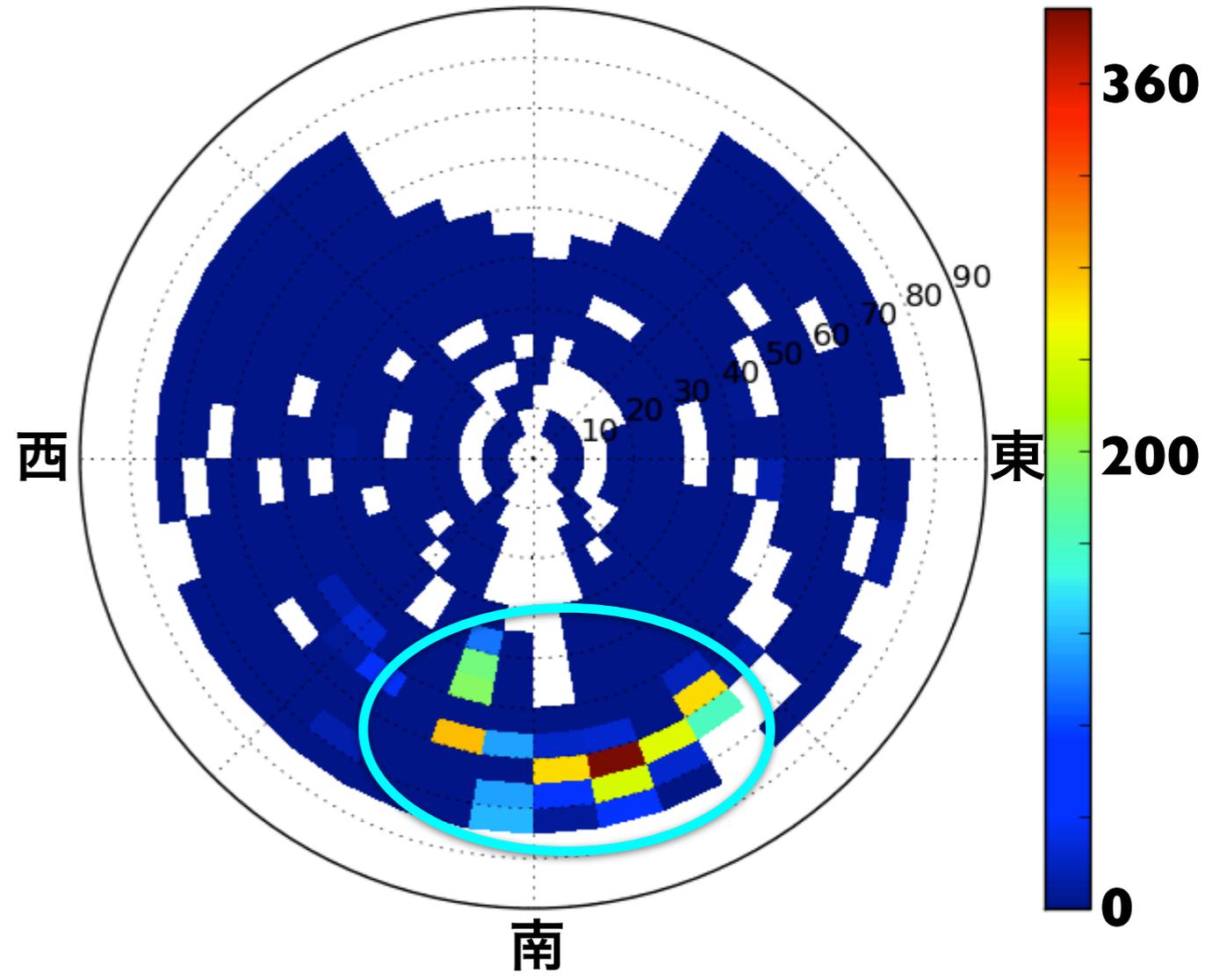
最大電離圏勾配 (mm/km)

北



勾配(> 50 mm/km)の発生エポック数

北



(2008年4月・2010年10月)

- \* 大きな電離圏勾配は南(低緯度)方向の低仰角で多く発生する
- ➔ プラズマバブルの性質から予想されるものと一致

## まとめ

- \* カテゴリII/III GBASであるGAST-DのSARPs案に用いられている電離圏脅威モデルを、日本を含む磁気低緯度地域においても成立するか検証した。
  - 石垣短基線電離圏勾配観測装置と電子航法研究所開発の新手法を用いてプラズマバブルに伴う電離圏遅延量勾配を導出
  - 100~200 mm/kmの電離圏勾配は頻繁に見られ、GAST-D電離圏脅威モデルの範囲(500 mm/km)を越える可能性のある例も発見
- \* プラズマバブルに伴う大きな電離圏勾配は、衛星が南(低緯度)方向の低仰角にある場合に多く発生し、大きさも大きくなりやすいことが分かった。

## 今後の課題

- \* GAST-D電離圏脅威モデルの範囲を越える可能性のある例について、影響を注意深く検討する必要がある。重要な検討項目は
  - 空間規模 (あり得る誤差の最大値に影響)
  - 移動速度 (航空機、衛星移動速度との関係が重要)
- \* 信頼性の高い検証を行うため、より多くのデータを収集し解析することが必要
  - ICAOを通じて進めているアジア太平洋地域での電離圏データ収集・共有活動
  - 国際GBASワーキンググループ(IGWG)を通じた解析データ共有による電離圏脅威モデル検証