

日本におけるGBASの 電離層モニタ方式に関する検討

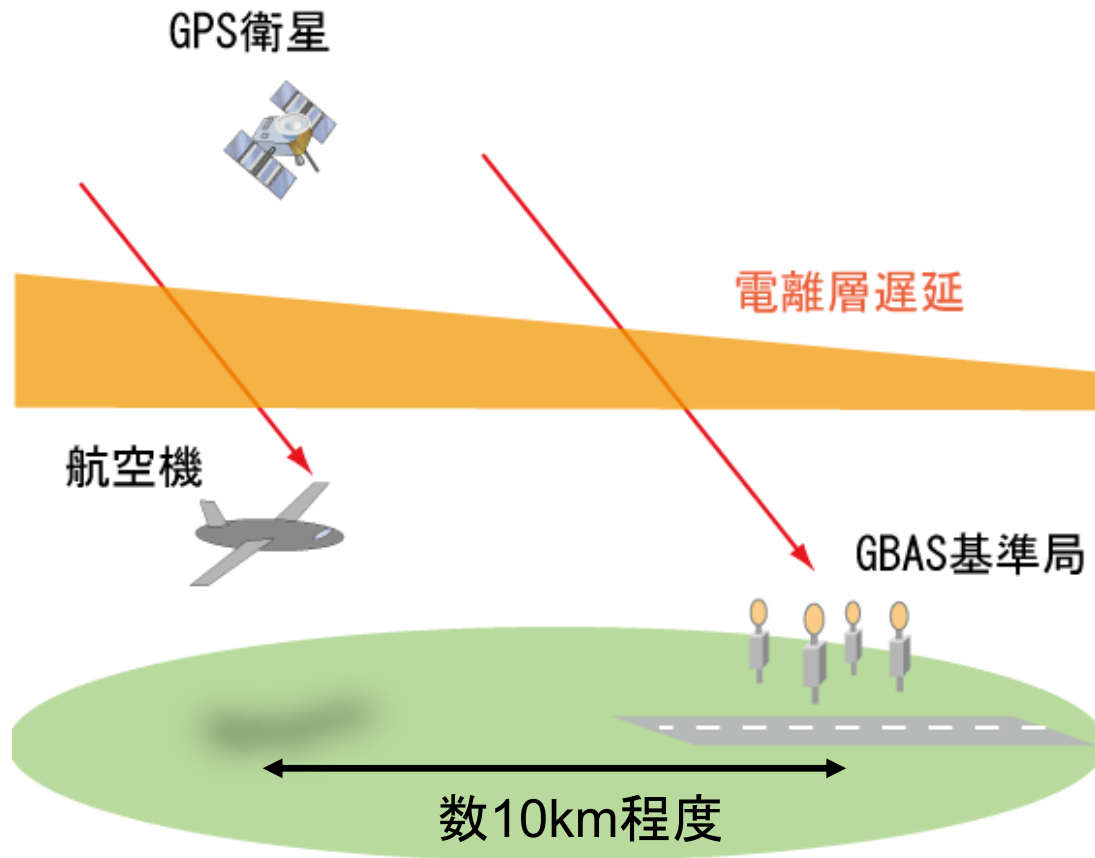
通信・航法・監視領域
吉原貴之、齋藤 享、藤井直樹
工藤正博、福島荘之介、齋藤真二

内容

- GBASと電離層
 - 電離層遅延の空間勾配の影響
 - 脅威モデル
 - SED (Storm Enhanced Density)
 - プラズマバブル
- 影響の軽減
 - 基準局での異常検出(モニタ)
 - 基準局で異常検出できない場合の対策
 - フィールド・モニタ
 - 誤差の見積りパラメータをインフレート
- まとめ

GBASと電離層

電離層遅延の空間勾配の影響



電離層遅延に局所的
(数10km)な勾配

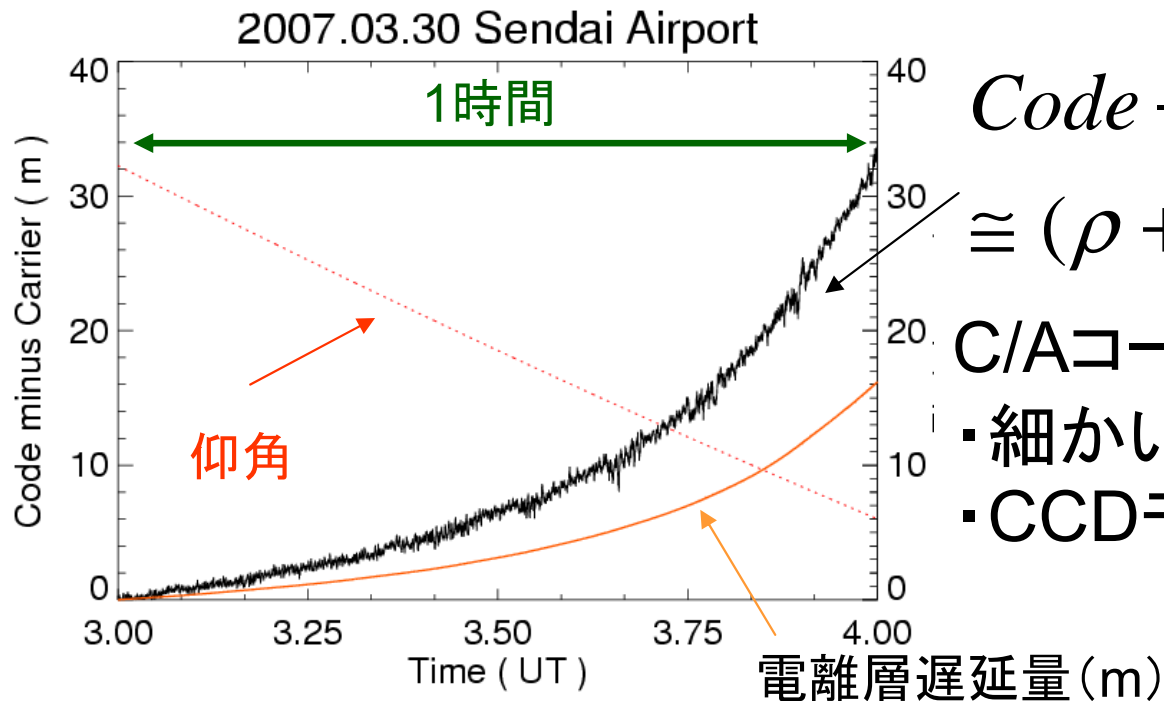


- 電離層遅延量の空間差
 - 基準局に近づくほど軽減
- キャリアスムージング
 - 電離層誤差の増幅

GBASと電離層

キャリアスムージング(1)

- コード擬似距離を搬送波位相で平滑化
 - マルチパス誤差の軽減が主な目的
- 電離層遅延の影響
 - コード擬似距離と搬送波位相で極性が逆



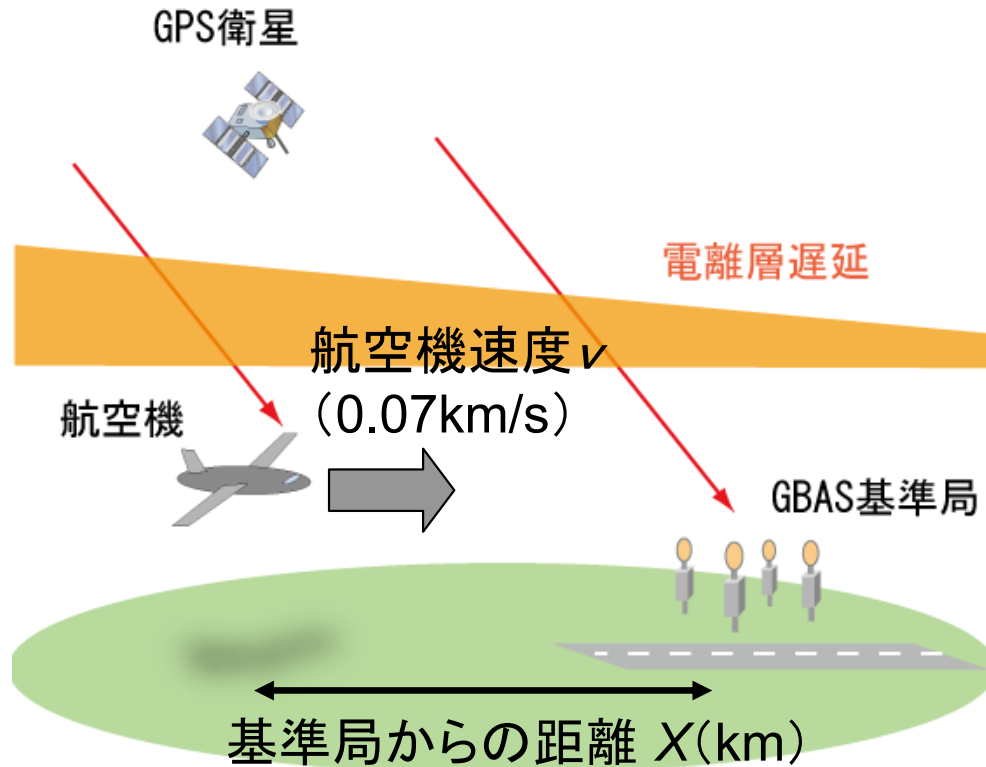
Code - Carr.

$$\cong (\rho + \Delta I + \varepsilon) - (\rho - \Delta I + \varepsilon)$$

C/Aコード擬似距離と搬送波L1の差

- ・細かい変動はマルチパス
- ・CCDモニタ(後述)

GBASと電離層 キャリアスムージング(2)



- キャリアスムージング
 - 時定数(τ): 100秒
 - 100秒前までの状態
 - 基準局側、航空機側の双方で実施
- 空間勾配
 - 滑走路方向成分
 - 最大レンジ誤差の目安

$$\delta I \cong \frac{dI}{dx} (x + 2\tau v)$$

1kmあたりの電離層遅延の空間勾配(mm/km)

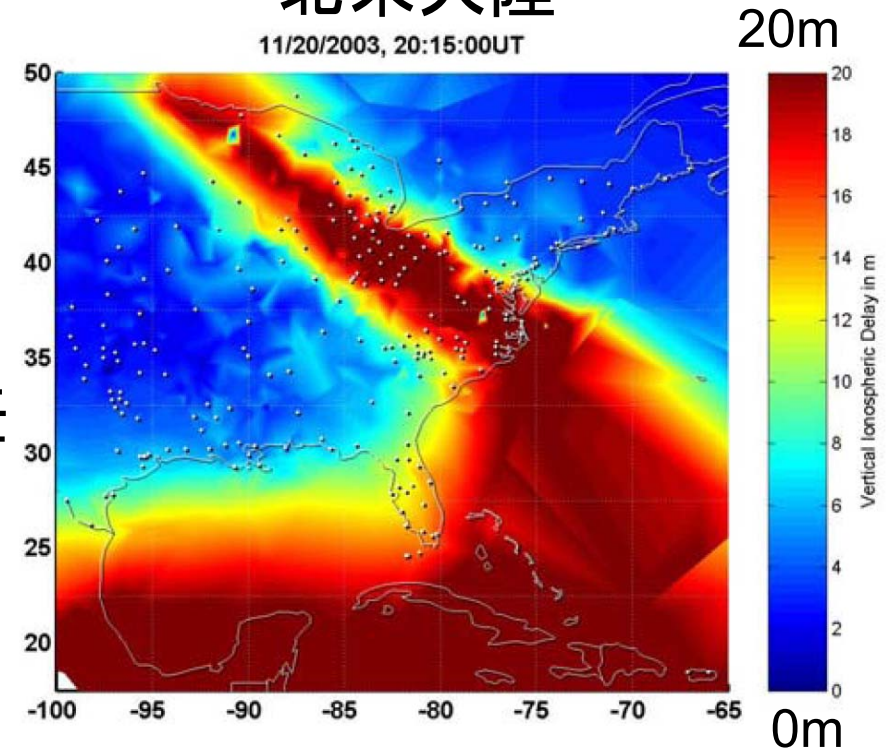
100mm/km、3km
→ 1.8m

脅威となる電離層現象

SED (Storm Enhanced Density)

- 地磁気嵐に伴う電離層擾乱
 - 地磁気緯度が中高緯度
 - 電離層電子密度の急激な増加
- 米国での事例
 - 大きな空間勾配
 - 約400mm/km
 - 影響を受ける衛星にレンジ誤差
- 衛星配置によって位置誤差が増幅される
 - 垂直方向が問題
 - 警報限界10m

2003年11月20日
北米大陸



Y. Parkほか、ION GNSS 2007

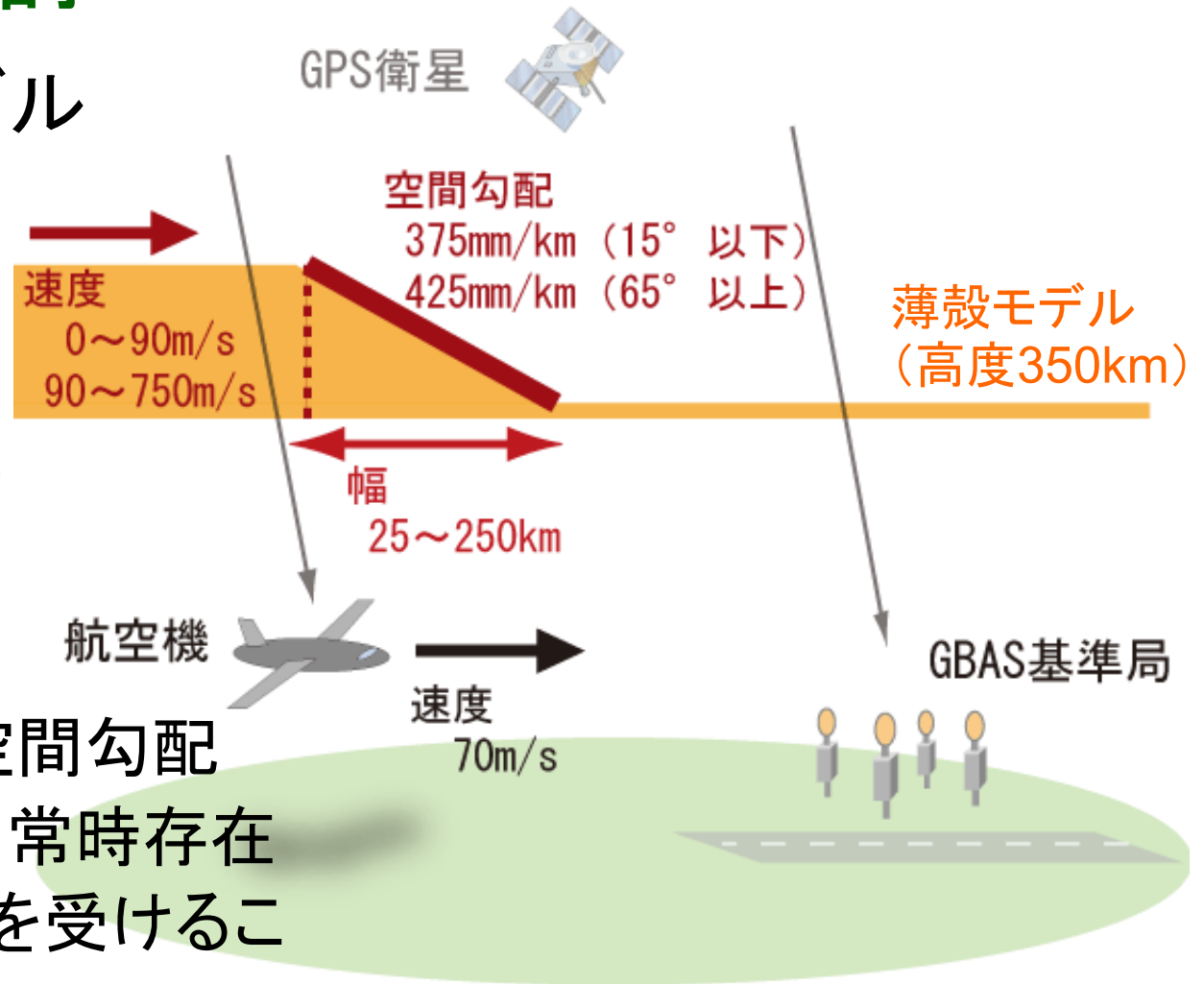
電離層脅威モデル 米国における検討

■ 電離層フロントモデル

- 3つのパラメータ
- 磁気嵐時の調査
- アップデート

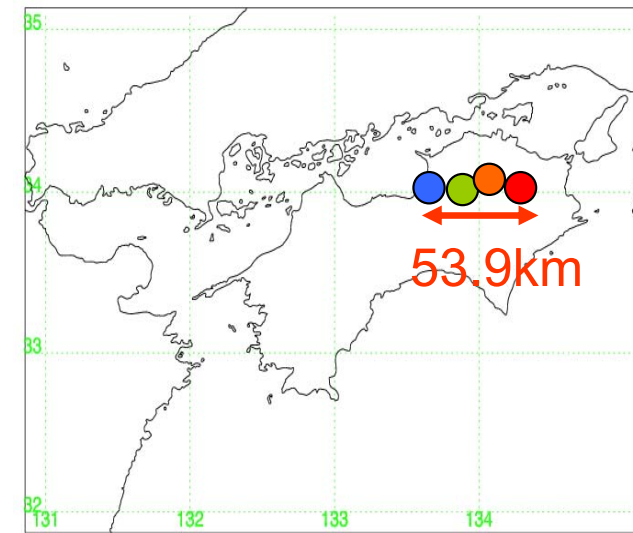
■ 航空機の測位誤差

- 使用できない衛星
 - 2衛星まで考慮
- 電離層遅延量の空間勾配
 - 電離層フロント: 常時存在
 - 2衛星まで影響を受けることを考慮

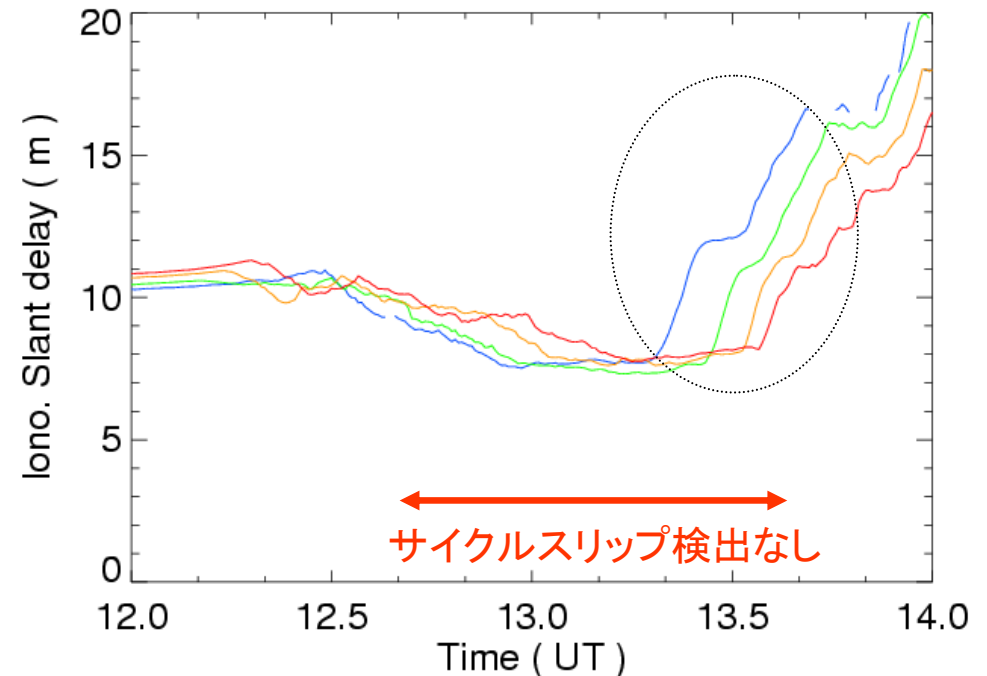


電離層脅威モデル 日本における検討

- 日本におけるSED
 - 2004年11月8日、10日
 - 110 mm/km程度
- プラズマバブル
 - 発生頻度
 - 本発表会 講演17
- GEONETによる解析
 - 太陽活動度1周期
 - 仰角40度以上
 - 110 mm/km程度
- 脅威モデルの設定
 - 空間勾配、速度、幅



2002.05.11 12:00 - 14:00 UT



京都大学TECデータベース
(<http://stegps.kugi.kyoto-u.ac.jp/>)

異常の検出(モニタ)と影響の軽減 基準局による異常検出の検討

- 時間変化の検出
 - コード・キャリア・ダイバージェンス(CCD)
 - コード擬似距離と搬送波位相の電離層遅延の極性が逆であることを利用
 - マルチパス雑音との区別が必要
- 空間変化の検出
 - 4つの基準局: 数100m間隔
 - 補強情報の質とモニタ性能
 - 搬送波位相の利用
 - 初期化、時計誤差の除去が必要

異常の検出(モニタ)と影響の軽減 CCDモニタ

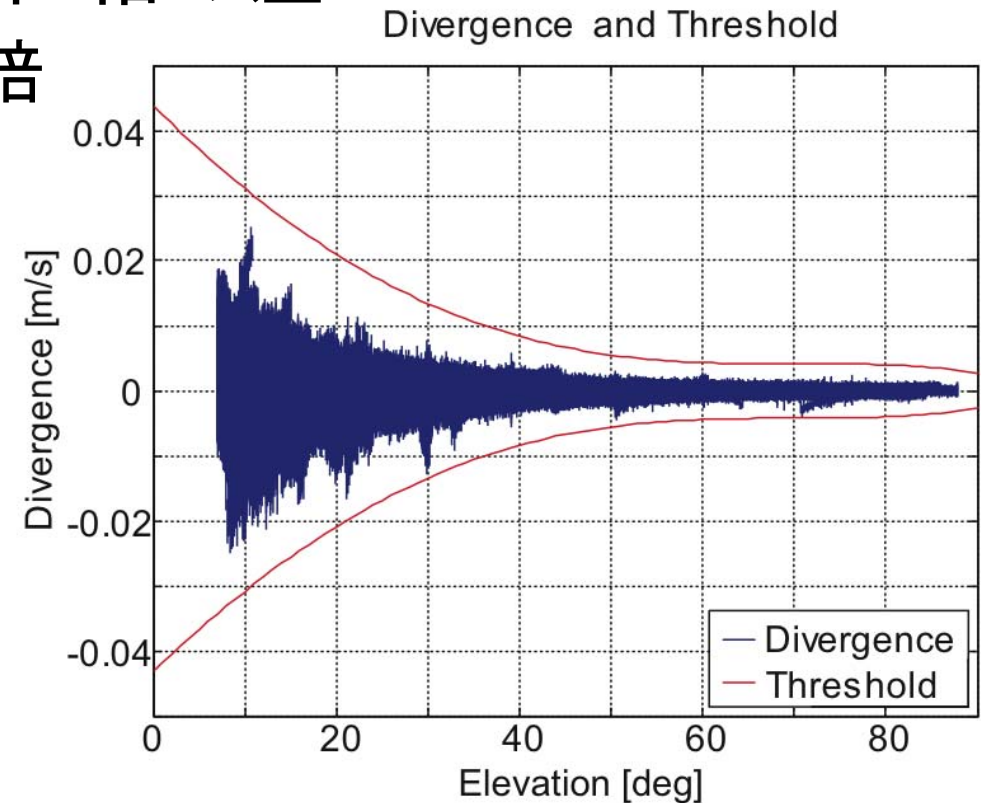
■ コード擬似距離と搬送波位相の差

- 電離層遅延量変化 → 2倍

■ 検出性能

- マルチパス誤差
 - 低仰角ほど性能劣化
- 閾値の設定
- 検出可能な時間変化率
 - 空間勾配
 - フロント速度

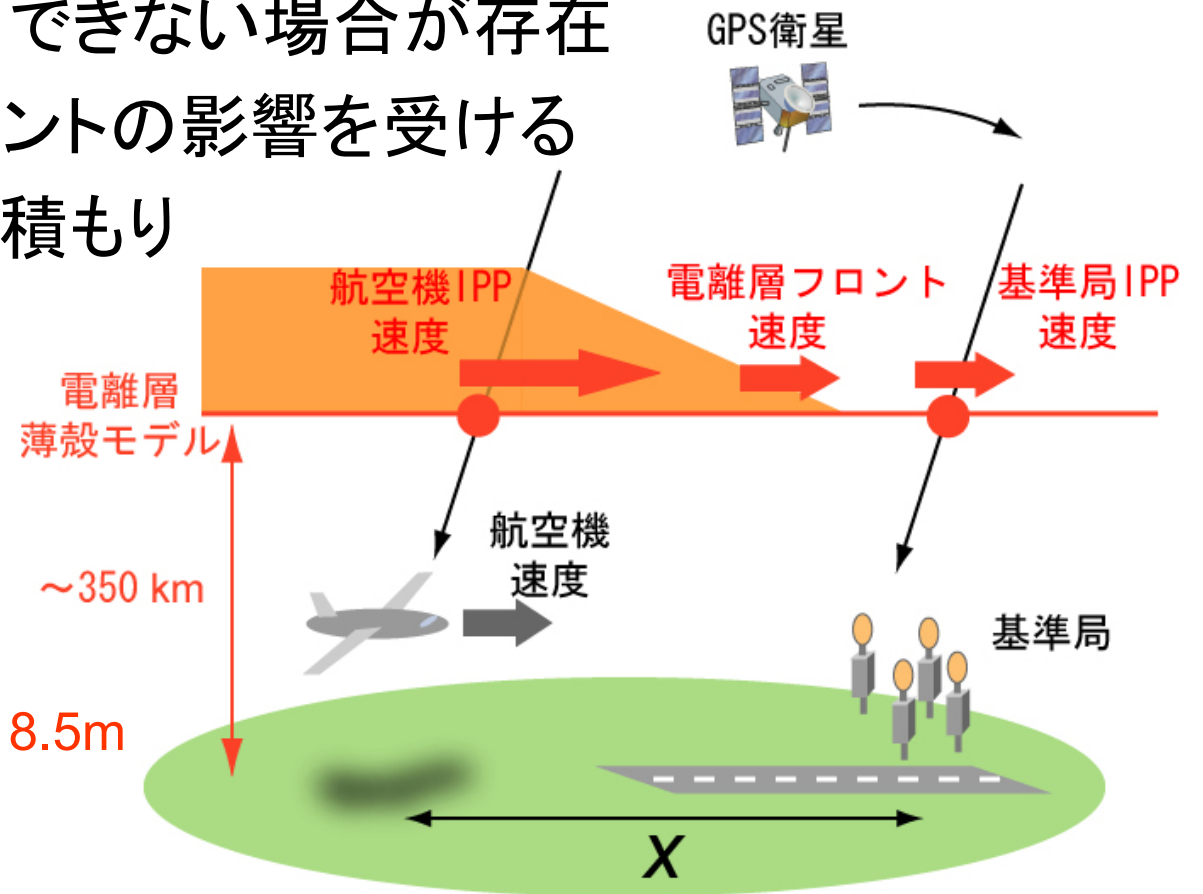
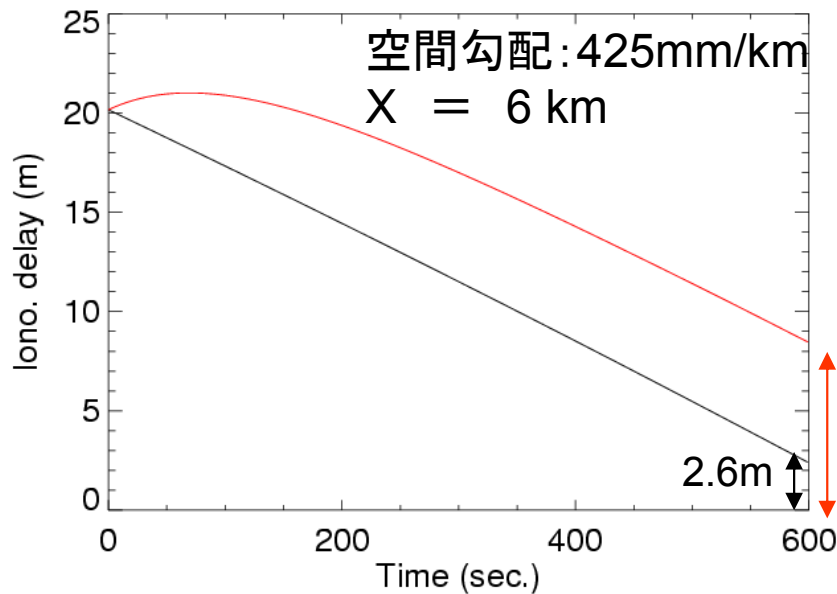
■ 検出によるGPS衛星の排除



オーバーバウンド法による閾値の設定例

基準局により検出できない場合 最悪ケース

- 基準局IPPと電離層フロント速度が同期
 - 基準局で異常を検出できない場合が存在
 - 航空機側のみがフロントの影響を受ける
 - 最大レンジ誤差の見積もり



基準局により検出できない場合の対策

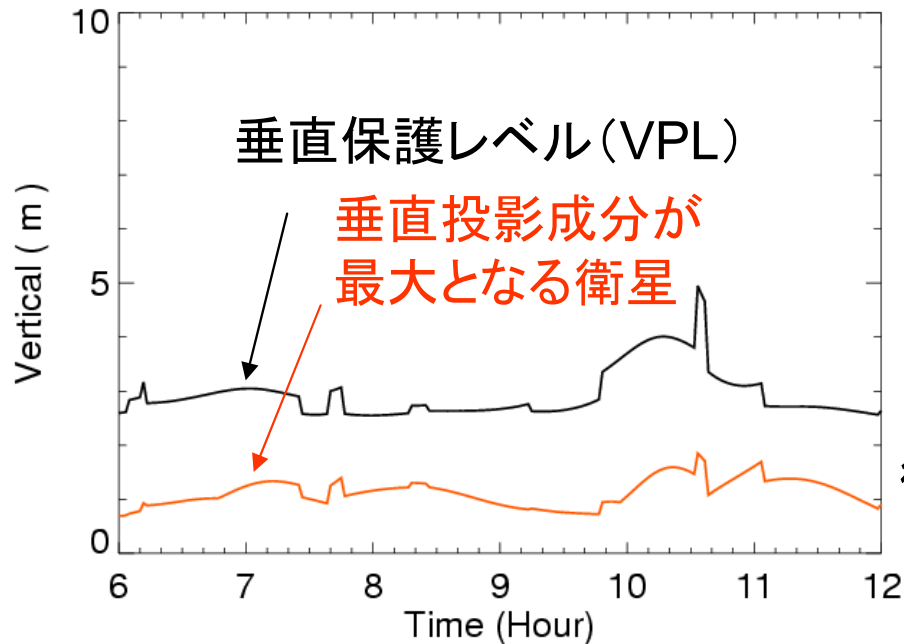
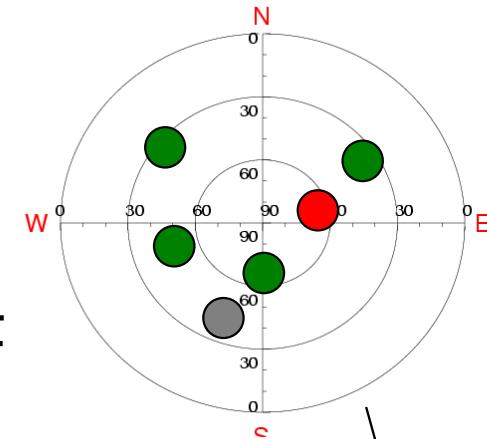


- フィールドモニタの設置
 - DHポイントより遠方にモニタ局を設置
 - 基線の長さとの検出性能の検討
- 航空機側で使用する残留誤差パラメータをインフレート
 - 保護レベル(PL)によるリスク軽減
 - Unknownな電離層誤差を大きめに見積もる
- ジオメトリ・スクリーニング
 - 使用すると航空機側で大きな測位誤差を生じる可能性のあるGPS衛星の組み合わせを排除
 - 衛星の組み合わせに対応するPLが警報限界を超えるように残留誤差パラメータをインフレートして設定

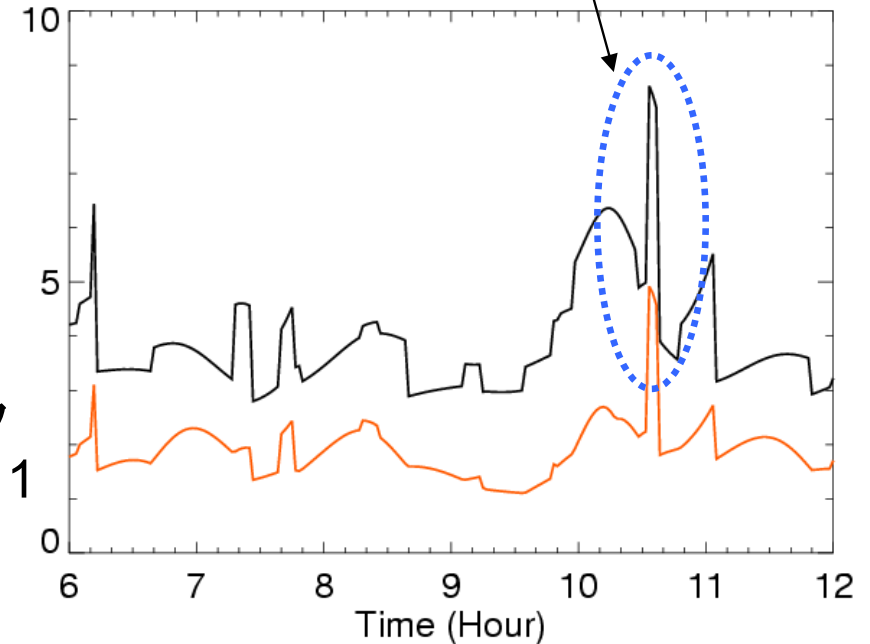
基準局により検出できない場合の対策

測位誤差の評価

- 基準局により検出できない場合
- 垂直方向の測位誤差の見積もり
 - 脅威モデルにより起こりうるレンジ誤差
 - 測位誤差への影響

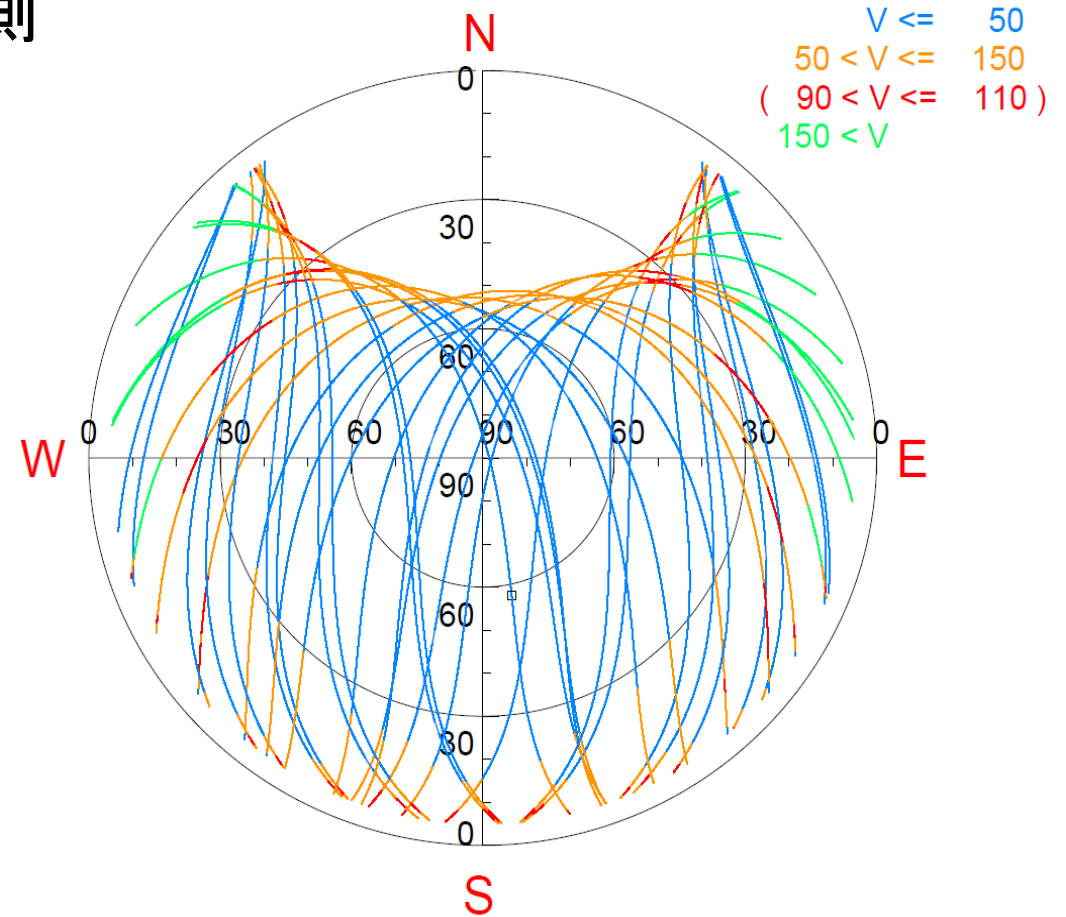
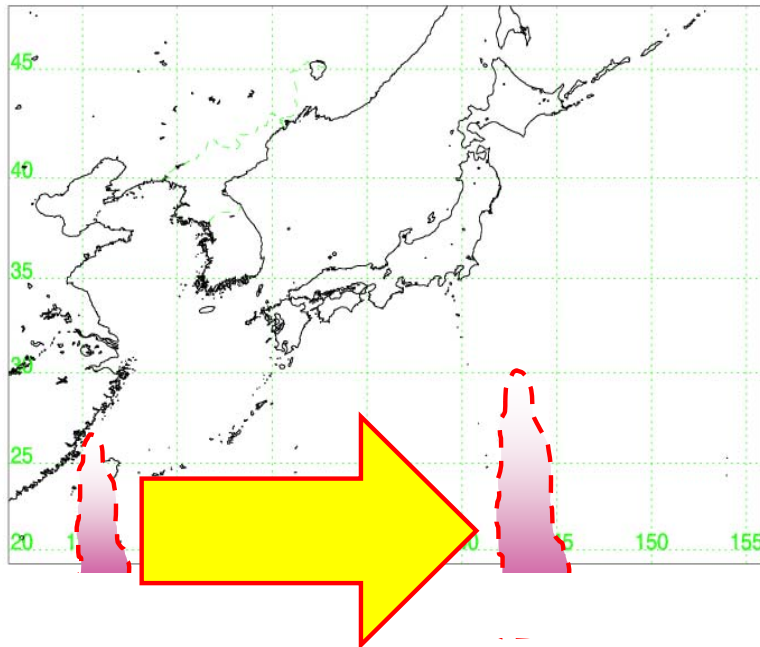


各エポック
衛星数を-1



基準局により検出できない場合の対策 ジオメトリ・スクリーニング

- プラズマバブルのモデル化
- 同期しそうなGPS衛星の予測
 - プラズマバブルの移動速度
 - 基準局IPP速度
- 履歴の活用



まとめ

- GBASと電離層
 - キャリアスムージングによる電離層遅延効果の増幅
- 脅威モデル
 - SED (Storm Enhanced Density)
 - プラズマバブル
- 影響の軽減
 - 基準局での異常検出(モニタ)
 - CCDモニタ、空間勾配モニタ
 - 基準局で異常検出できない場合の対策
 - フィールド・モニタ
 - 電離層誤差の見積りパラメータをインフレート
 - ジオメトリ・スクリーニング
- システム安全性評価

- Christie, Jock R. I., P. Ko, B. S. Pervan, P. K. Enge, J. D. Powell, B. W. Parkinson, “Analytical and Experimental Observations of Ionospheric and Tropospheric Decorrelation Effects for Differential Satellite Navigation during Precision Approach”, ION GPS 1998
- 福島(荘), “GPS信号の異常と地上型補強システム(GBAS)の観測値品質モニタの検討”, 第7回電子航法研究所研究発表会, 2007
- Lee, J., M. Luo, S. Pullen, Y. S. Park and P. Enge, “Position-Domain Geometry Screening to Maximize LAAS Availability in the Presence of Ionosphere Anomalies”, ION GNSS 2006
- Luo, M., S. Pullen, A. Ene, D. Qiu, T. Walter and P. Enge, “Ionosphere Threat to LAAS: Updated model, User Impact, and Mitigations”, ION GNSS 2004
- Maruyama, T., “Extreme Enhancement in Total Electron Content after sunset on 8 November 2004 and its connection with storm enhanced density”, GRL, Vol.33, L20111, 2006D.
- Park, Y. S., G. Zhang, S. Pullen, J. Lee and P. Enge, “Data-Replay Analysis of LAAS Safety during Ionosphere Storms”, ION GNSS 2007
- Pullen, S., Y. S. Park and P. Enge, “The Impact and Mitigation of Ionosphere Anomalies on Ground-Based Augmentation of GNSS”, the 12th International Ionospheric Effects Symposium, 2008
- Ramakrishnan, S., J. Lee, S. Pullen and P. Enge, “Targeted Ephemeris Decorrelation Parameter Inflation for Improved LAAS Availability during Severe Ionosphere Anomalies”, ION NTM 2008
- Simili, D. V. and B. Pervan, “Code-Carrier Divergence Monitoring for the GPS Local Area Augmentation System”, IEEE/ION PLANS 2006