

15. SBAS性能向上のための 電離圏補強方式



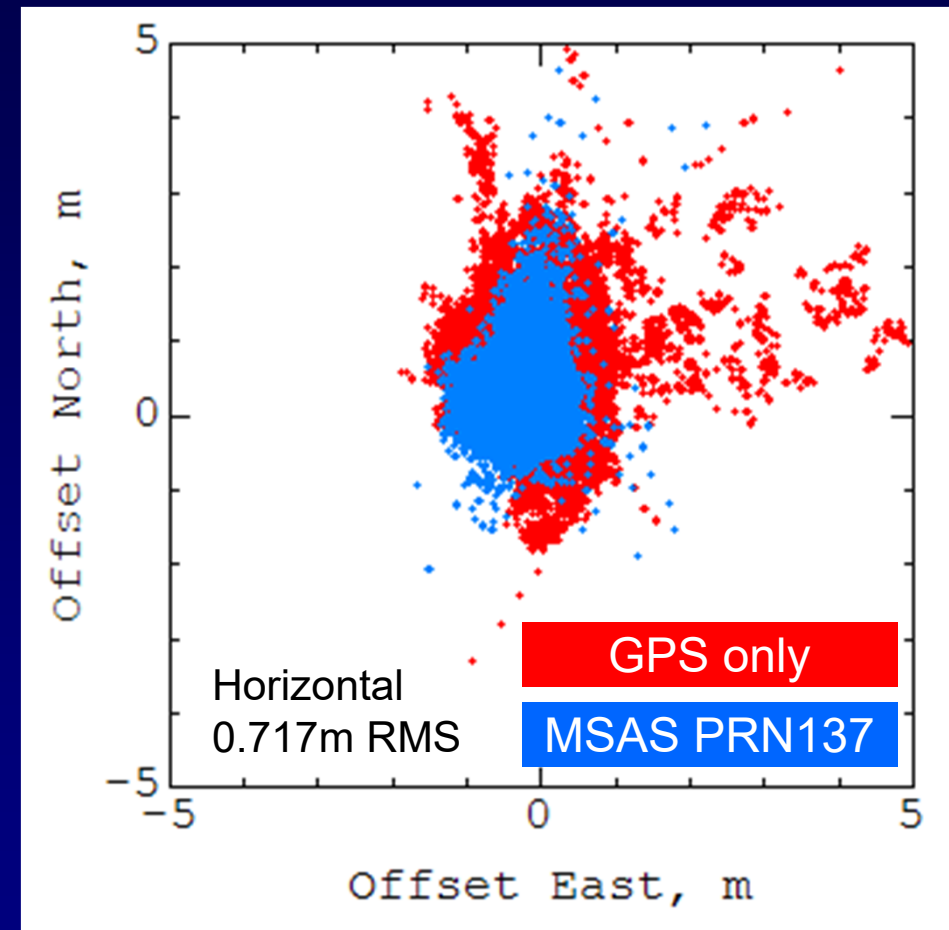
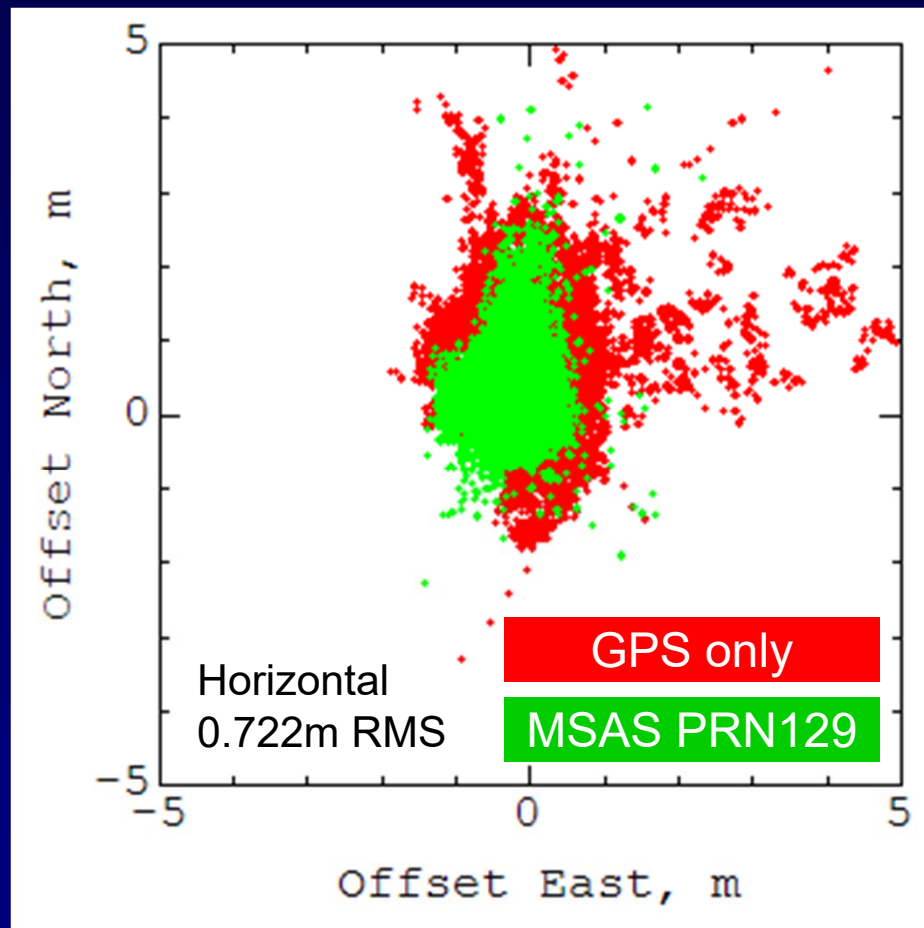
航法システム領域

坂井 丈泰・北村 光教・麻生 貴広・星野尾 一明

Introduction

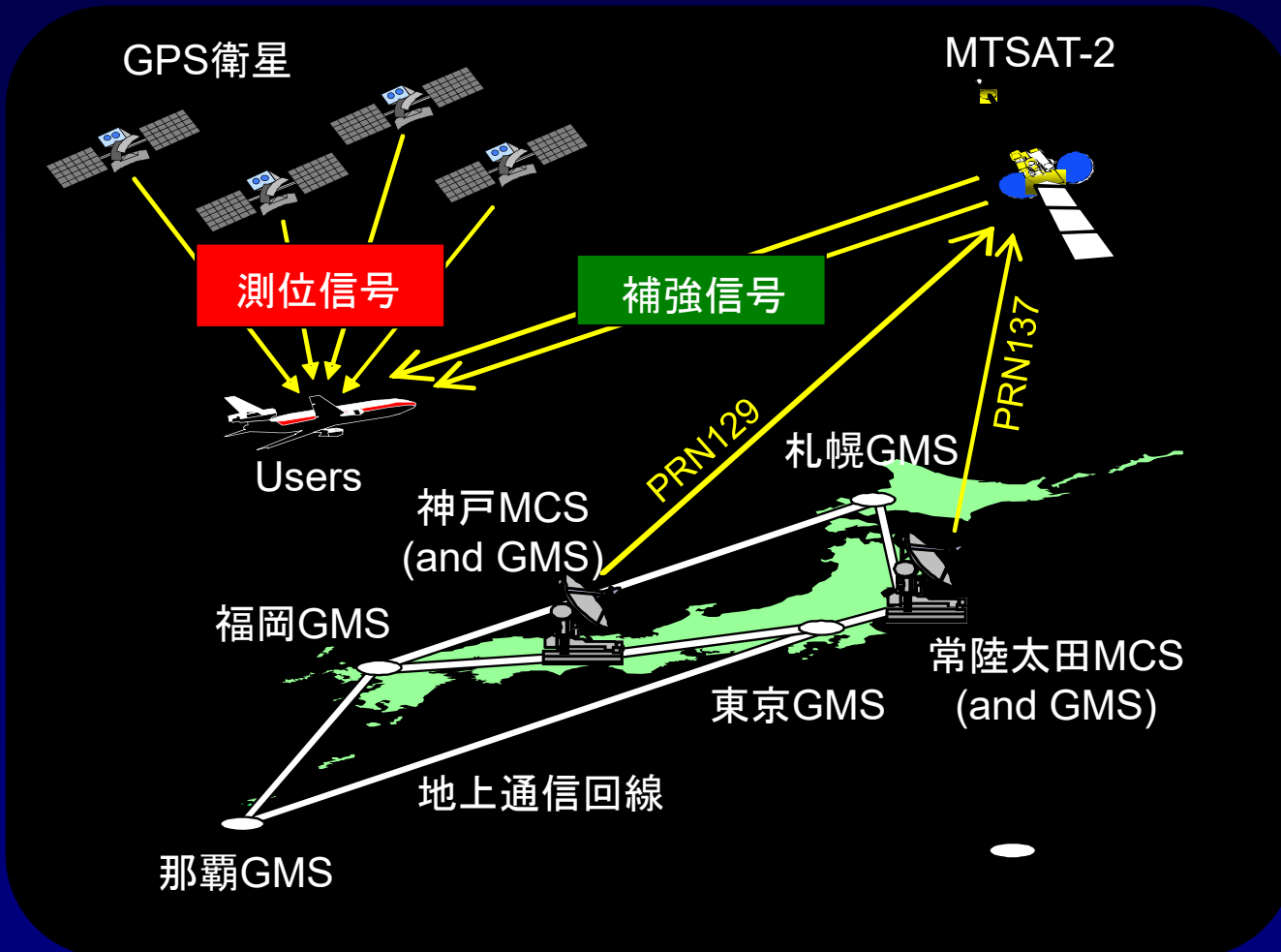
- SBAS (Satellite-Based Augmentation System: 静止衛星型補強システム)
 - 民間航空機におけるGNSSの利用にあたり、完全性及び測位精度を補うための情報を提供する補強システム。
 - SBAS衛星からGPS L1周波数で送信。
 - 米国WAAS、日本MSAS、欧州EGNOS、インドGAGANが運用中。
 - 日本では、2007年9月よりMSASを運用中。垂直ガイダンスは未提供。
 - 2020年に準天頂衛星システムの静止衛星を使用する構成に置き換え、2023年には性能向上を計画。
- 一周波数SBASでは、電離圏伝搬遅延が最大の誤差要因。
 - アベイラビリティを阻害する主要因となっている。
 - 電離圏の挙動を予測するのは難しく、算出した航空機位置の不確実性が大きい
 - MSASで垂直ガイダンスを実現するには、電離圏伝搬遅延補強方式の改善が必要。
- 今回の提案: 既存補強方式をベースに、誤警報の抑制を図る改良方式。
 - 電離圏嵐モニタの誤警報を抑制 → アベイラビリティの改善

MSASによる測位性能例



GEONET 940058 (Takayama) 2016/8/8-12 (5 days)
PRN129 and PRN137 Broadcast Signal

現在の構成



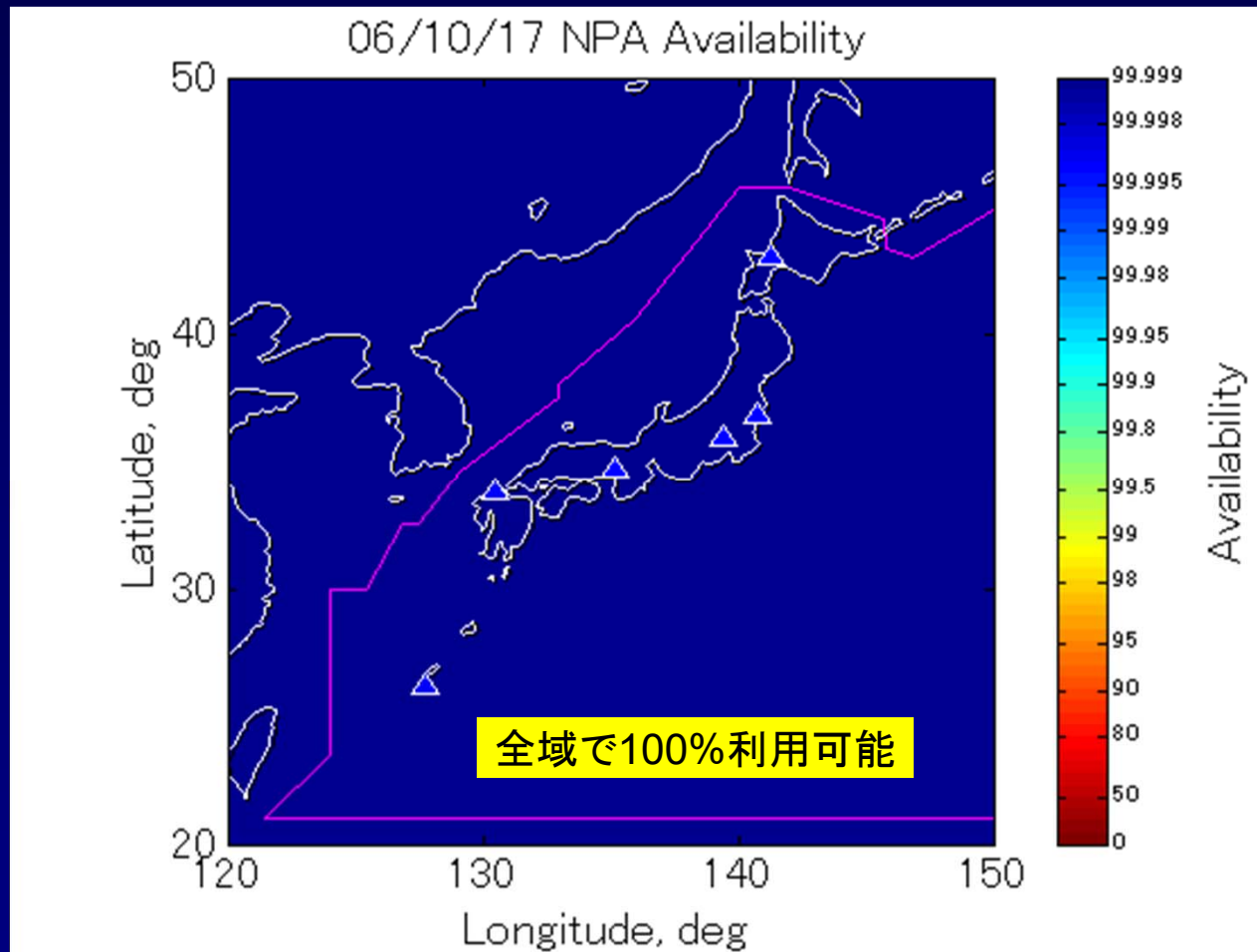
MSAS監視局ネットワーク

- 静止衛星1機 (MTSAT-2)、主統制局MCS (Master Control Station) 2局、地上監視局GMS (Ground Monitor Station) 6局 (うち2局はMCSに併設)
- MTSAT-2が両MCSからの信号を中継・送信 (PRN129及びPRN137)

更新整備の計画

- 衛星寿命への対応・地上設備の更新: MSAS V2
 - 2020年までは、現行の静止衛星1機(MTSAT-2)及び地上設備で運用を継続。
 - 2020年以降は、QZSS(準天頂衛星システム)の静止衛星に切り替える。
 - QZSSの1・2・4号機は8の字軌道衛星、3号機は静止衛星(東経127度)。
 - 3号機が備えるL1Sb信号を使用する。
 - 同時に地上設備を更新。
 - MCS(主管制局): 常陸太田HASC(主局)・所沢TMC(副局)。
 - GMS(監視局): 現行の6局とは異なる配置の13局に増設。
 - 性能は現行MSASと同程度。
- 垂直ガイダンスの供用: MSAS V3
 - LPV進入モード(DH \geq 250FT)及びLPV200進入モード(DH \geq 200FT)をサポート。
 - 必要な整備作業:
 - QZSSの2機目の静止衛星を使用する(2023年頃に打上げ予定)
 - 地上設備(MCS): 電離圏補強方式の改良が必要
 - 2023年頃を想定。

アベイラビリティ分布例(NPA)



MSAS Broadcast
06/10/17 00:00-24:00

PRN129 (MTSAT-1R)
Test Signal

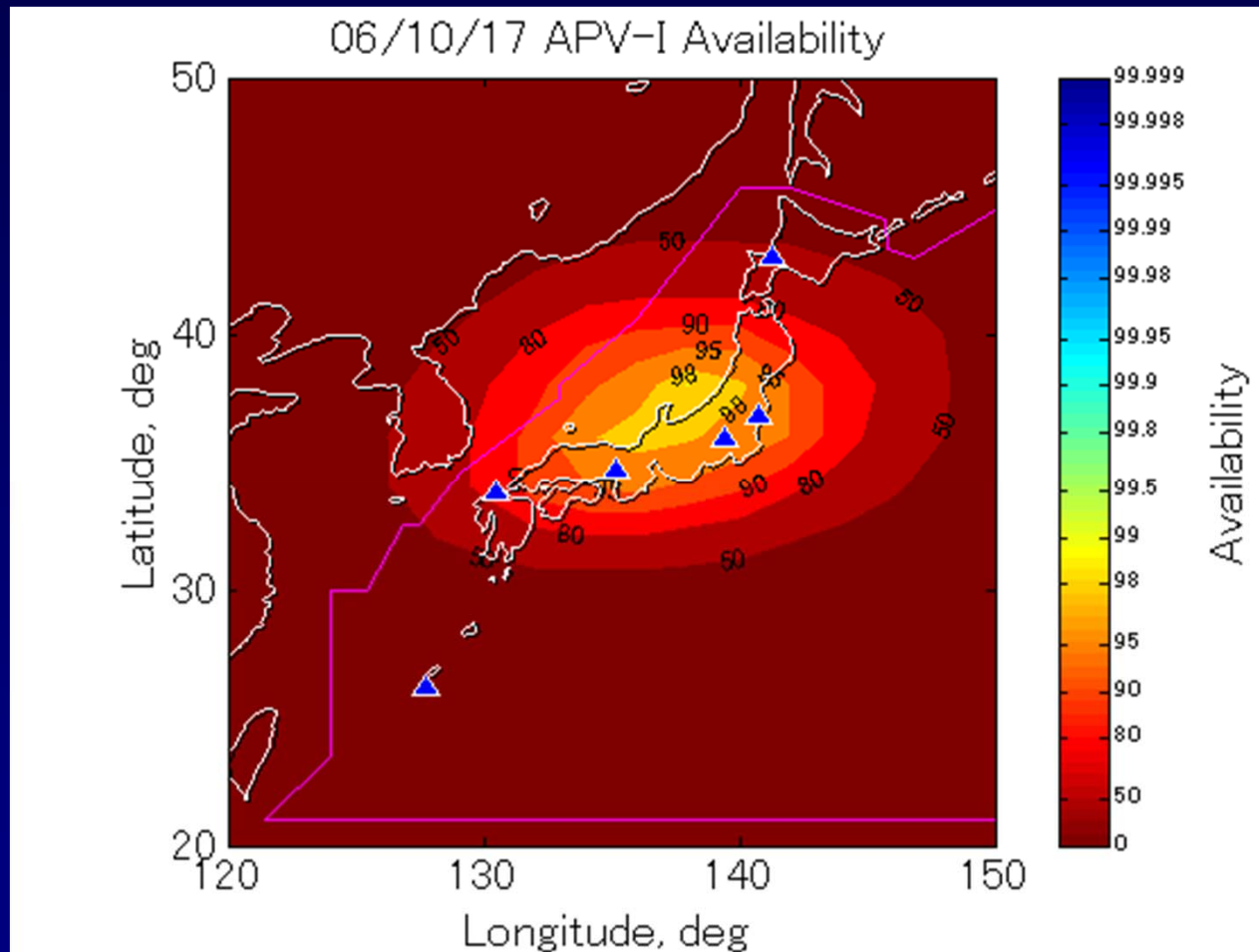
Contour plot for:
NPA Availability
HAL = 556m
VAL = N/A

NPAモードを
利用可能な時間割合(%)

(RNP 0.3に相当)

- 福岡FIR全域で100%利用可能(いつでも利用できる)

アベイラビリティ分布例(LPV)



MSAS Broadcast
06/10/17 00:00-24:00

PRN129 (MTSAT-1R)
Test Signal

Contour plot for:
APV-I Availability
HAL = 40m
VAL = 50m

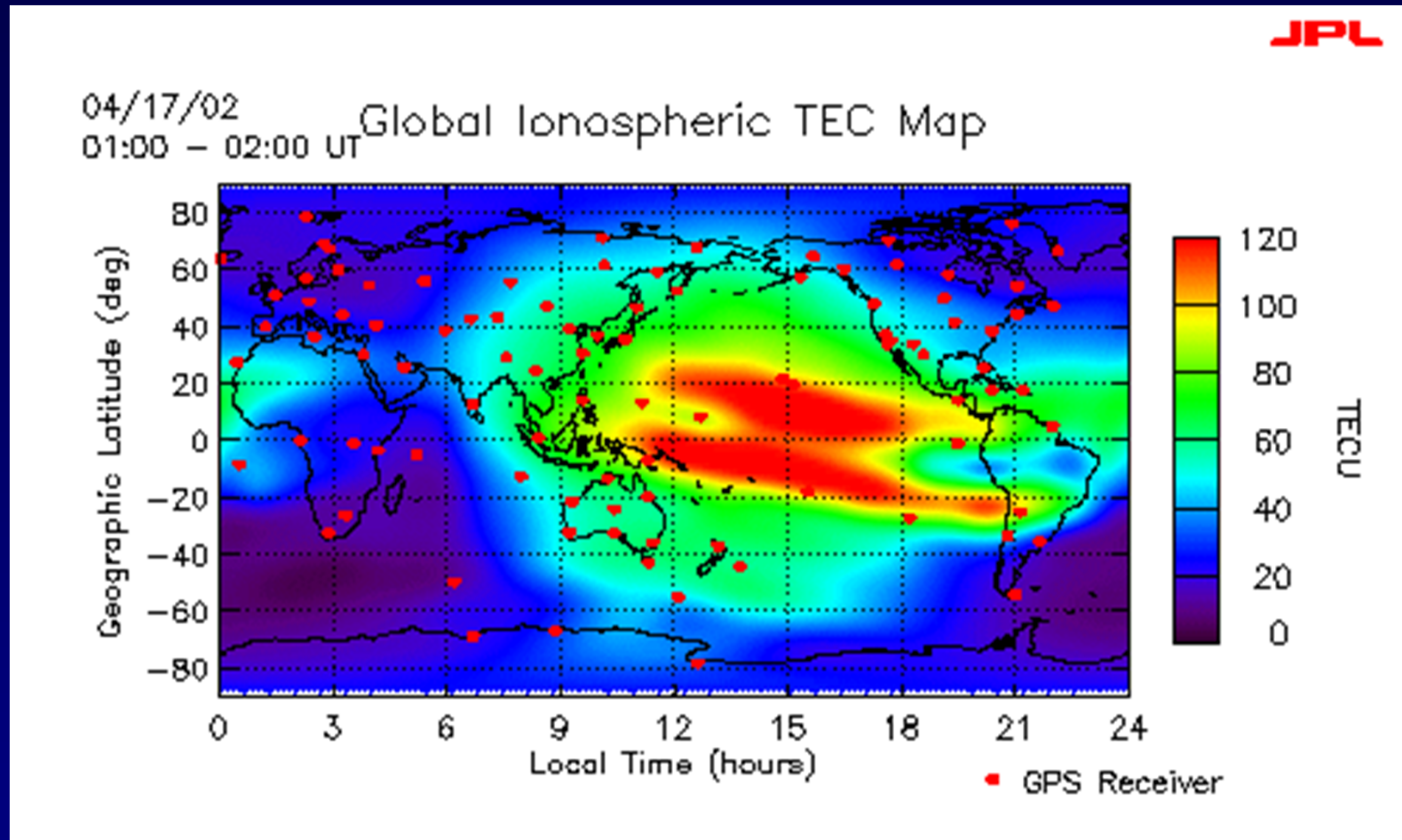
LPV進入モードを
利用可能な時間割合(%)

(以前はAPV-Iと称していた)

- 位置情報の不確実性が大きく、LPVモードはサポートできない

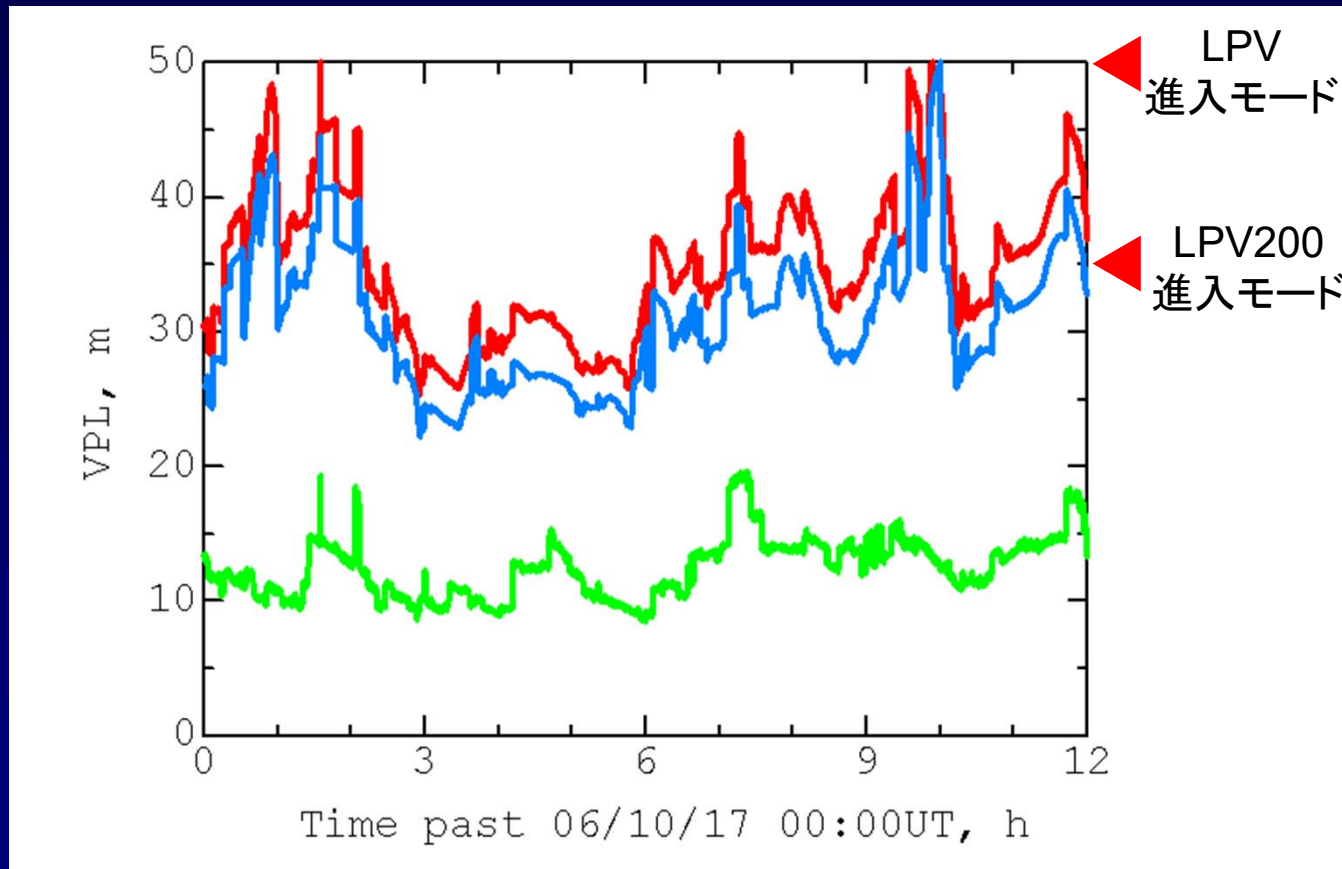
不確実性の主要因: 電離圏伝搬遅延

電離圏
遅延マップ
(NASA/JPL)



- 電離圏の様相は季節や時刻、地域によって刻々と変化する。予測は難しい。
- 赤道異常も存在: 磁気赤道の南北にある、電子密度が高い領域。
- 特に南西諸島方面では位置情報の不確実性が大きくなる。

不確実性の内訳



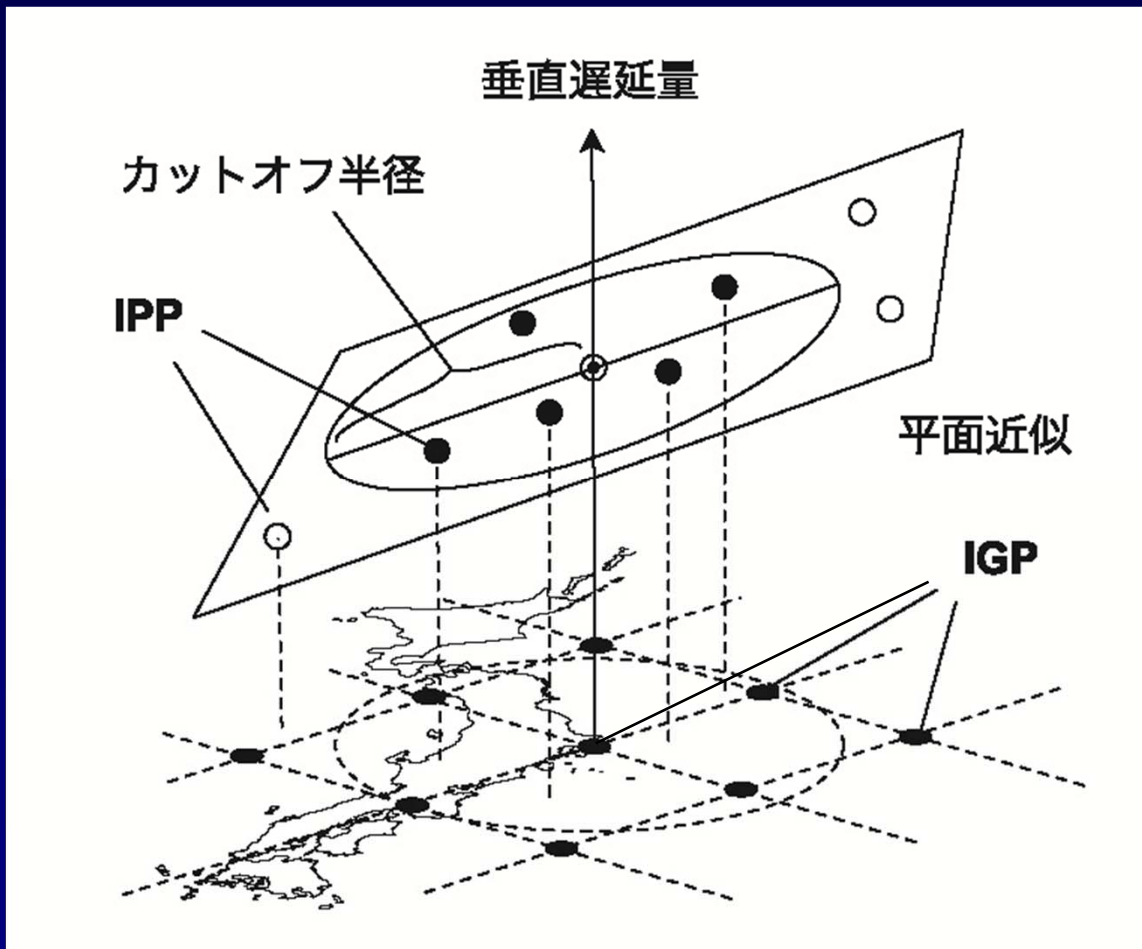
- 垂直保護レベル
- 電離圏遅延成分 (GIVE値)
- クロック+軌道の成分

MSAS Broadcast
06/10/17 00:00-12:00
GEONET 93011 Tokyo

PRN129 (MTSAT-1R)
Test Signal

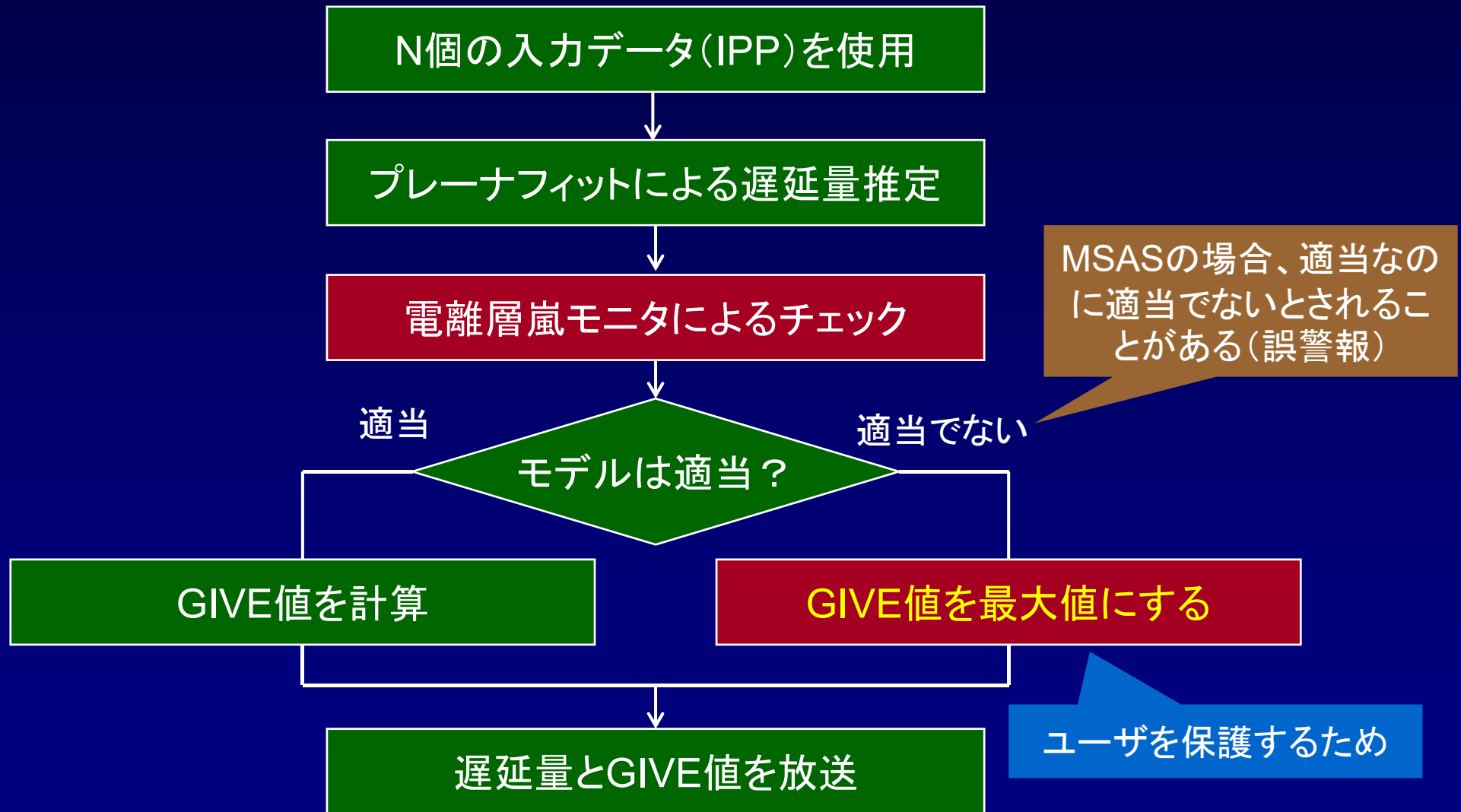
- 保護レベル: ユーザ測位誤差の最大値の見積もり。
 - 不確実性が大きい → 保護レベルを大きくしてユーザを保護する
- MSASの垂直保護レベルは、電離圏遅延に対応するための項(GIVE値)が支配的。
 - 保護レベルを低減するには、電離圏遅延項を減らす必要がある

電離層遅延補強方式: プレーナフィット

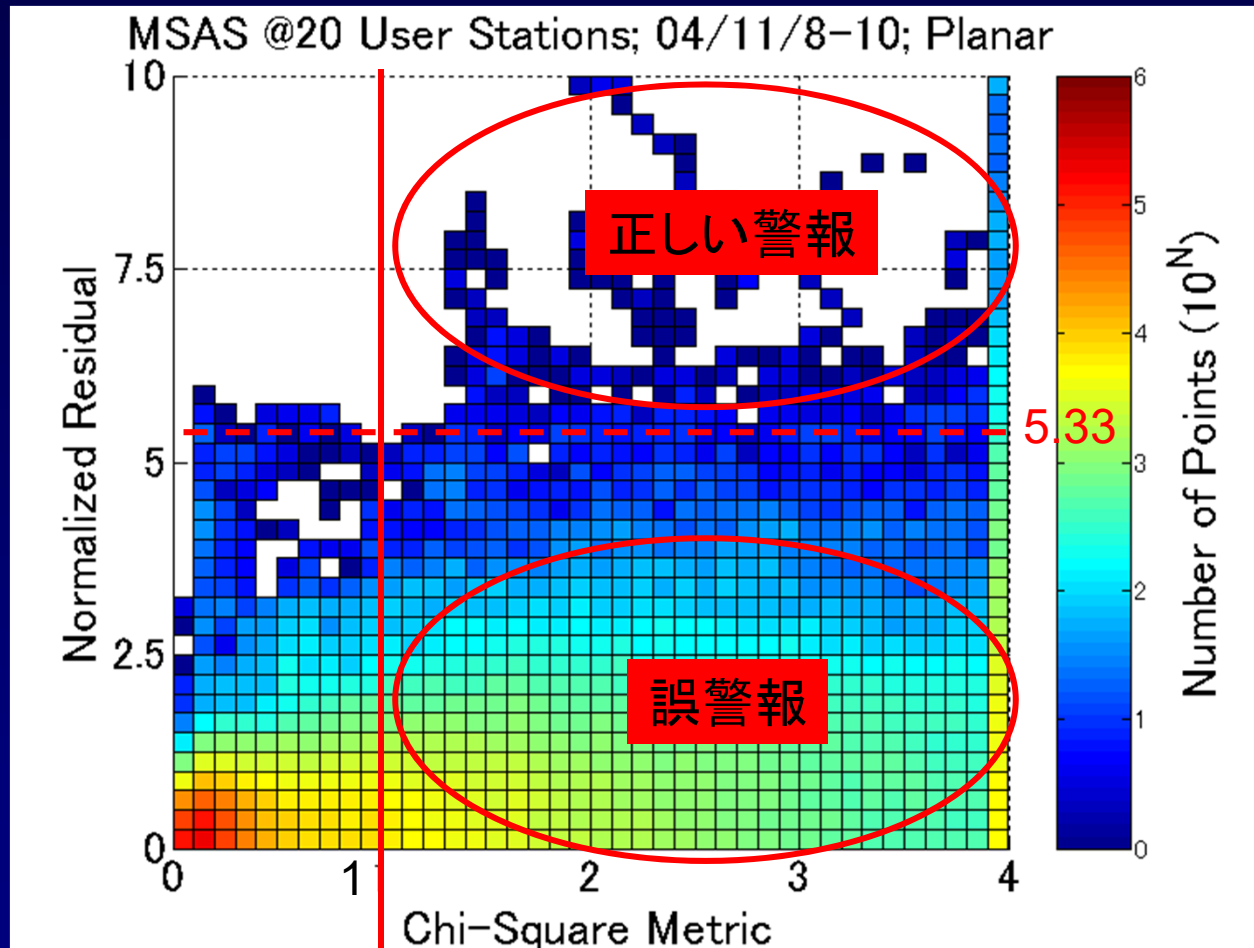


- 米国WAASのために考案された方式。
 - IGPにおける垂直遅延量を推定する、MCS内部のアルゴリズム。
 - MSASも同じ方式を使用(パラメータが若干異なる)。
- 平面モデルで電離層を近似し、遅延量とGIVE値を計算する。
- 平面モデルによる近似が妥当かどうか？
 - 電離層嵐モニタでチェックする。
 - 妥当でない場合 → GIVE値を最大値にして対応する(ユーザを保護するため)。

現行の電離圏遅延補強方式



電離圏嵐モニタの挙動

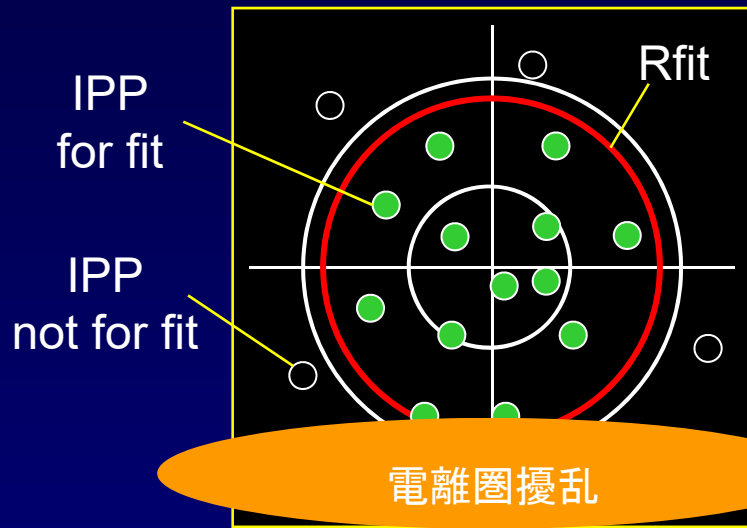


検出せず ← → 電離圏嵐を検出

- 大規模な電離圏嵐の際の電離圏嵐モニタの挙動。
 - 横軸：モニタ出力値（1以上で電離圏嵐を検出）
 - 縦軸：実際の遅延量残差
- モニタが電離圏嵐を検出したとしながら、実際には不要であったケースが多数ある。
 - 誤警報によりアベイラビリティが下がっている。

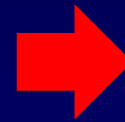
どういふことが起きているか

今回の提案

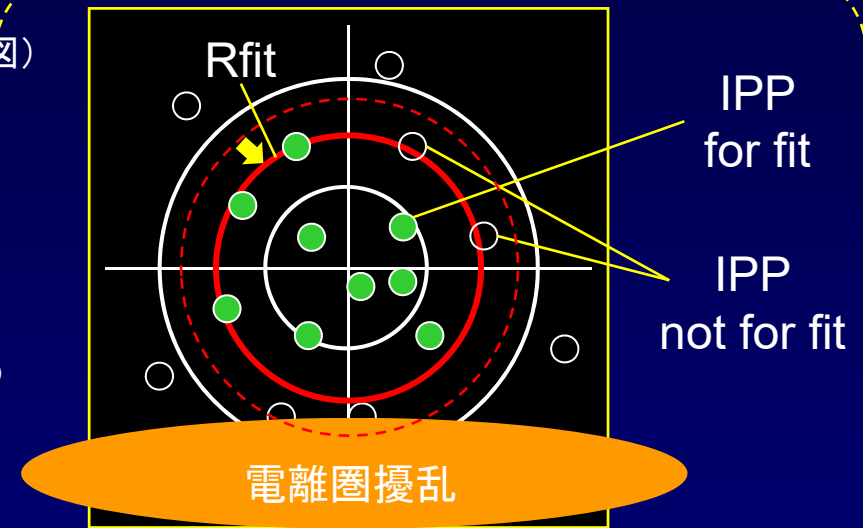


N 個のIPPsでフィッティング
電離圏嵐モニタは嵐を検出

(上から見た図)



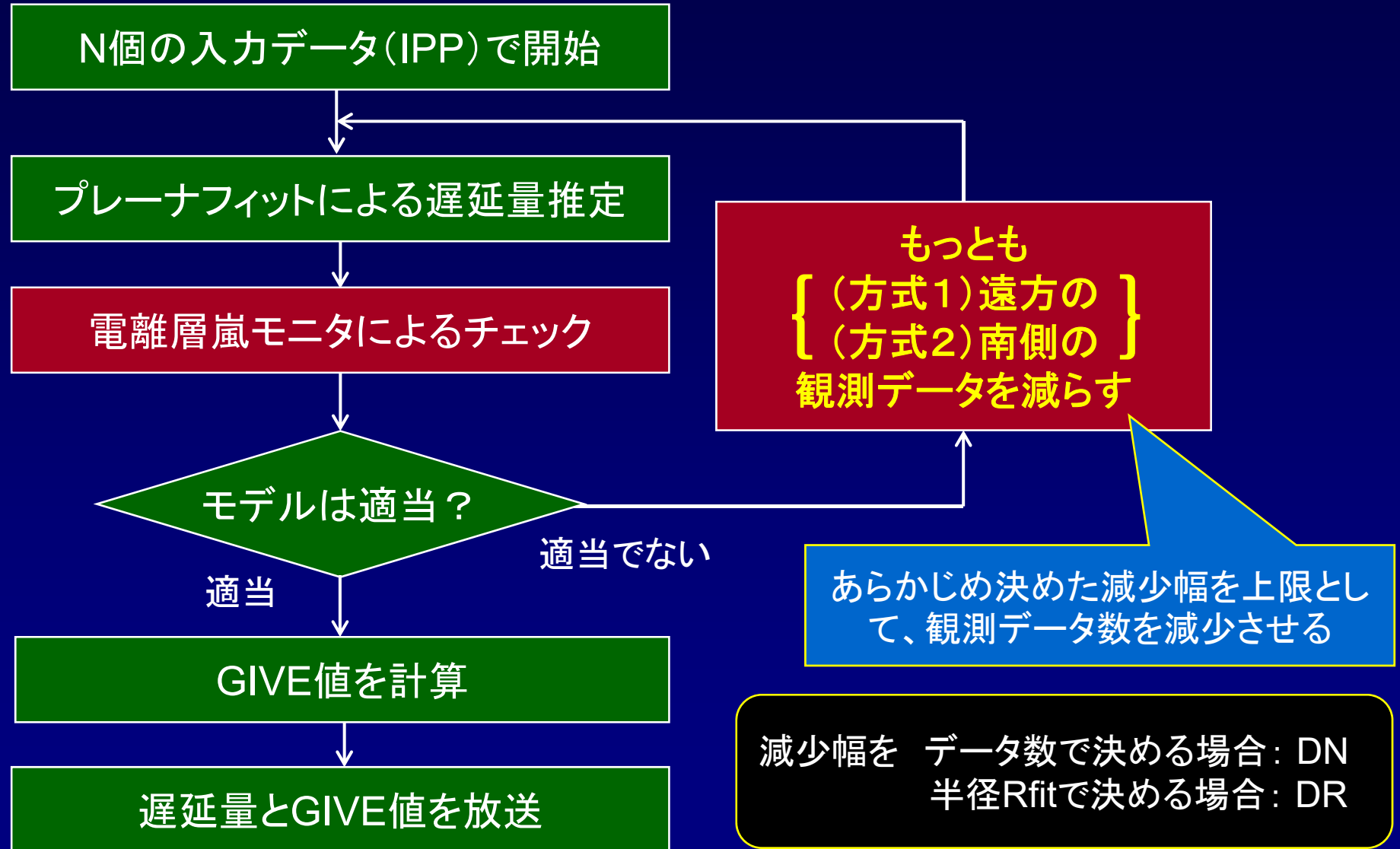
使用する
IPP数を
抑制



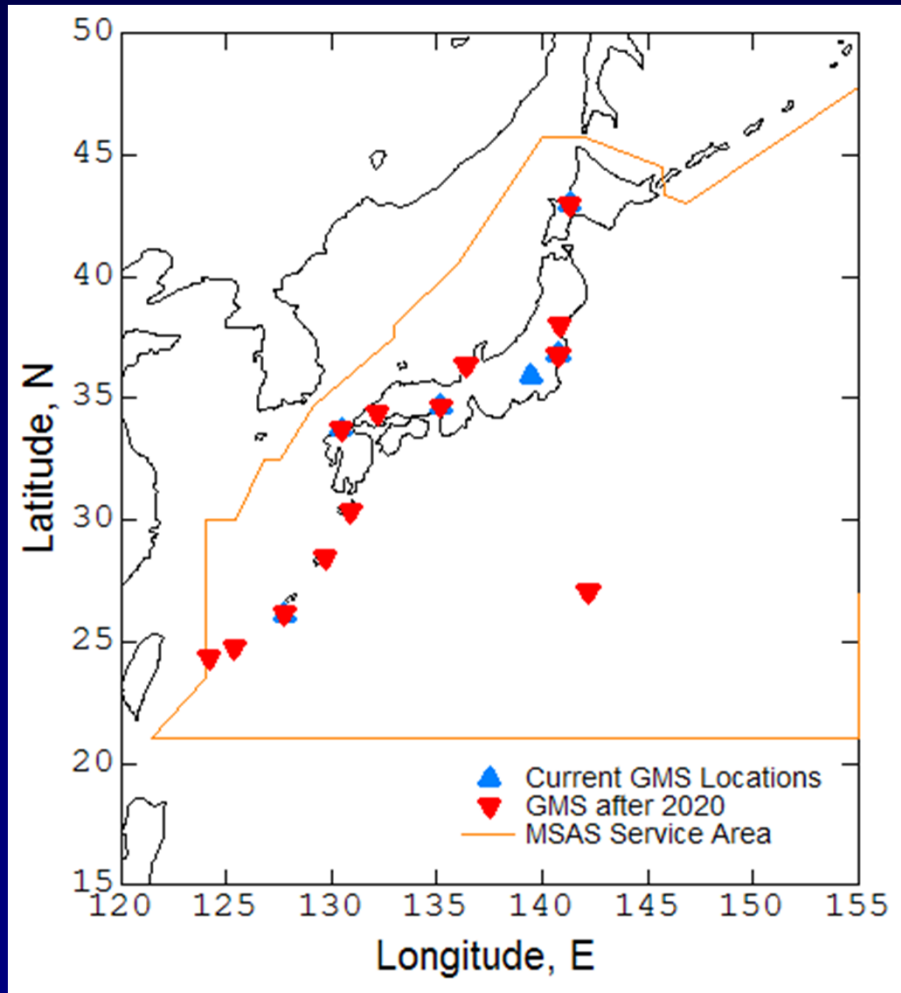
$N - \Delta N$ 個のIPPでフィッティング
電離圏嵐モニタは未検出

- 通常は、 R_{fit} (フィッティング半径)を大きくして多くのIPP数を使用したほうが確実な推定ができる。
 - WAAS/MSASの R_{fit} 設定アルゴリズムはこのような方針となっている。
- 現実の電離圏の様相によっては、 R_{fit} を大きくし過ぎると擾乱領域内にあるIPPを使用してしまう。
 - 電離圏嵐モニタが嵐を検出して、GIVEを最大値に設定する。
- 今回のアイデア:このような場合に、 R_{fit} を小さくして(推定に使用するIPPを減らすことになる)擾乱領域を避けられないか。

嵐回避アルゴリズム



シミュレーションによる評価



(GIVEフィルタ及びIPPフィルタは適用しない)

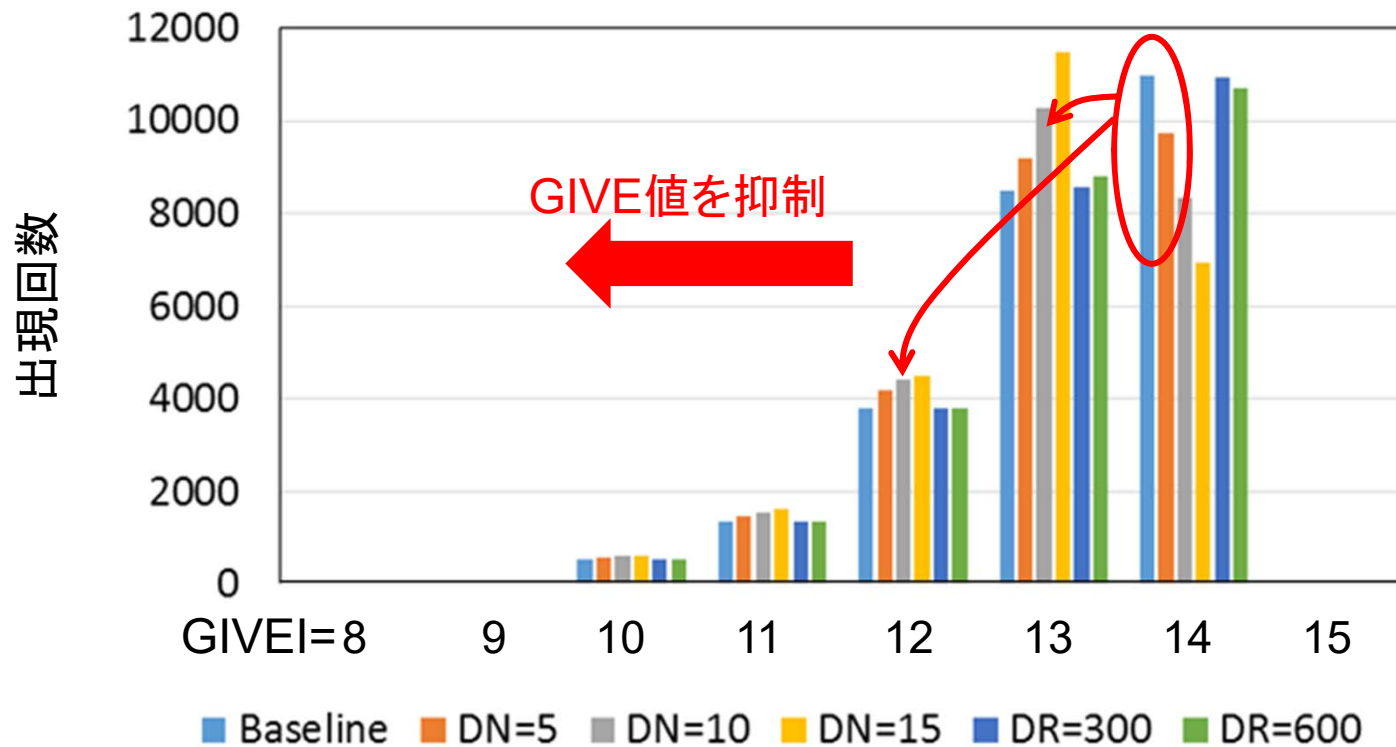
- MSAS V3をシミュレート
 - 電子航法研究所で開発したSBASシミュレータを使用
 - 2020年以降の13監視局を想定 (▼で表示)
- 評価対象時期

時期	状況
(1) 2011/5/16	比較的安定
(2) 2011/11/19	中程度の電離圏嵐

- 各期間について、以下を算出する:
 - GIVEIの分布
 - LPV進入モードのアベイラビリティ

GIVEIの分布(方法1)

GIVEIのヒストグラム

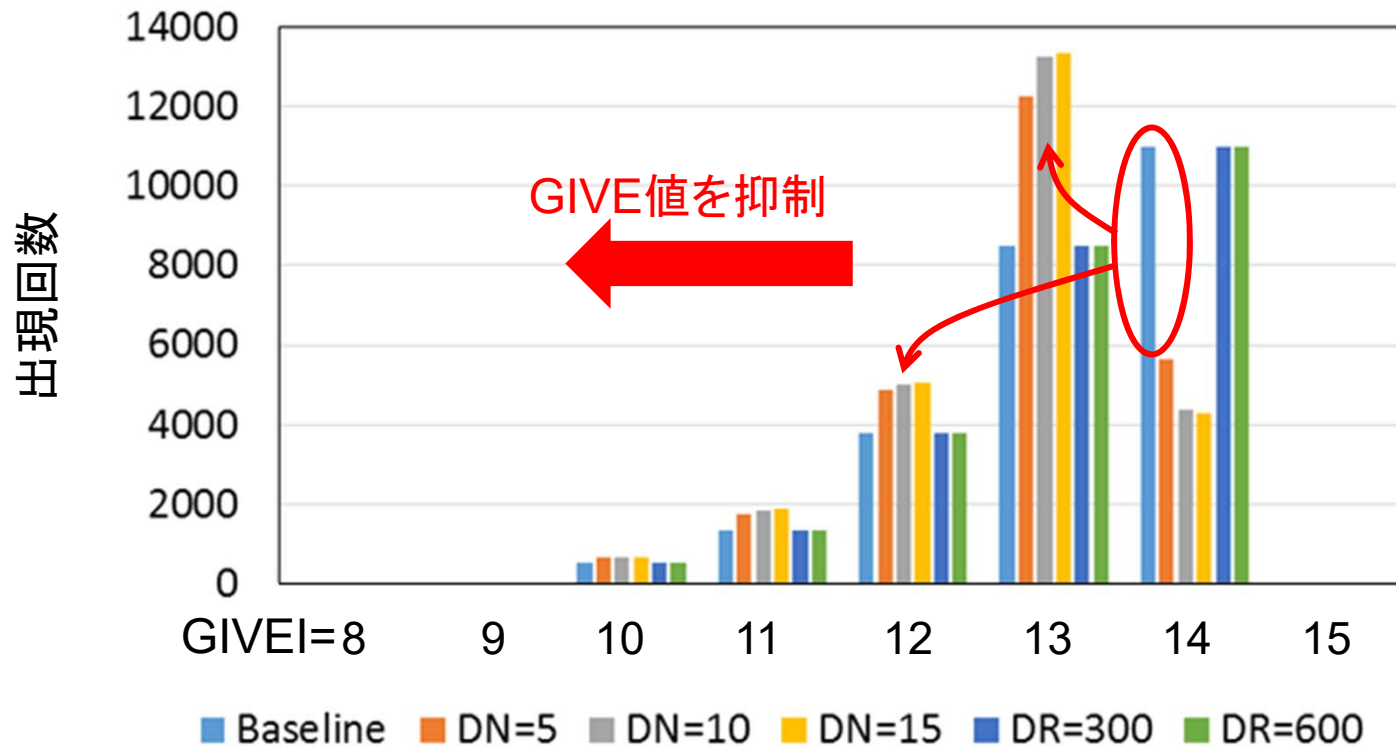


GIVEI	GIVE値
8	2.7 m
9	3.0 m
10	3.6 m
11	4.5 m
12	6.0 m
13	15 m
14	45 m
15	Not Monitored

- 時期(2)について、嵐回避アルゴリズム(方法1)を適用
- GIVEI=14(最大値)となっている状況を、より小さいGIVEIで置き換えている
 - 保護レベルの低減によるアベイラビリティの改善が見込める

GIVEIの分布(方法2)

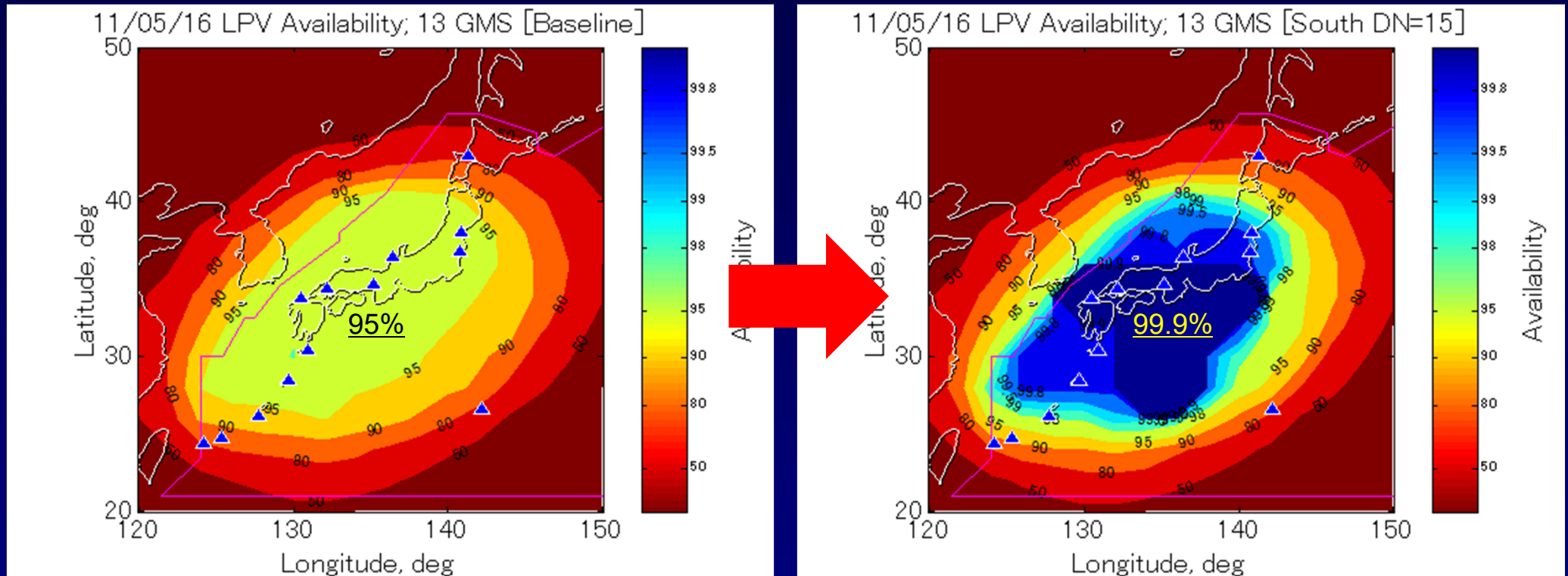
GIVEIのヒストグラム



GIVEI	GIVE値
8	2.7 m
9	3.0 m
10	3.6 m
11	4.5 m
12	6.0 m
13	15 m
14	45 m
15	Not Monitored

- 時期(2)について、嵐回避アルゴリズム(方法2)を適用
- GIVEI=14(最大値)となっているケースについて、さらに多く、より小さいGIVEIで置き換えている(パラメータによっては半減できる)

LPVアベイラビリティ:期間(1)

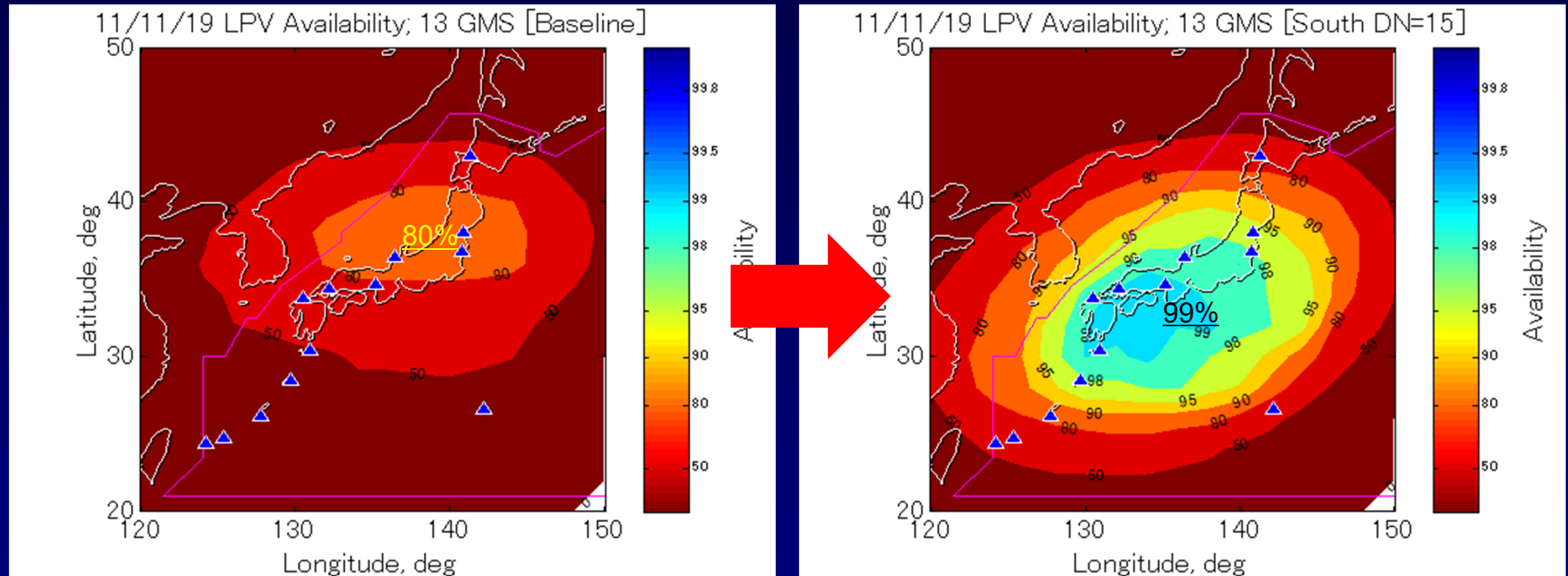


現行アルゴリズム

嵐回避アルゴリズム(方法2)

- LPV進入モード(HAL=40m / VAL=50m)のアベイラビリティを試算
- 提案アルゴリズム(方法2)により、アベイラビリティを大幅に改善できることを確認
 - さらなる改善のためには、他の既存改良アルゴリズムとの組合せが考えられる

LPVアベイラビリティ:期間(2)

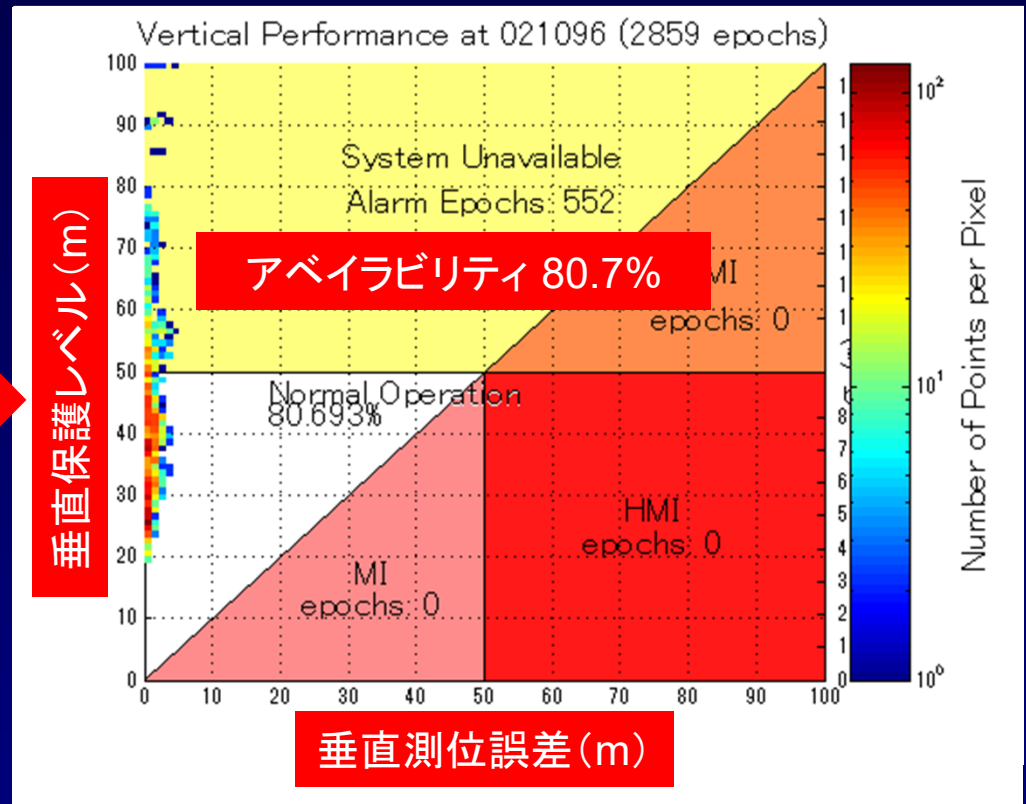
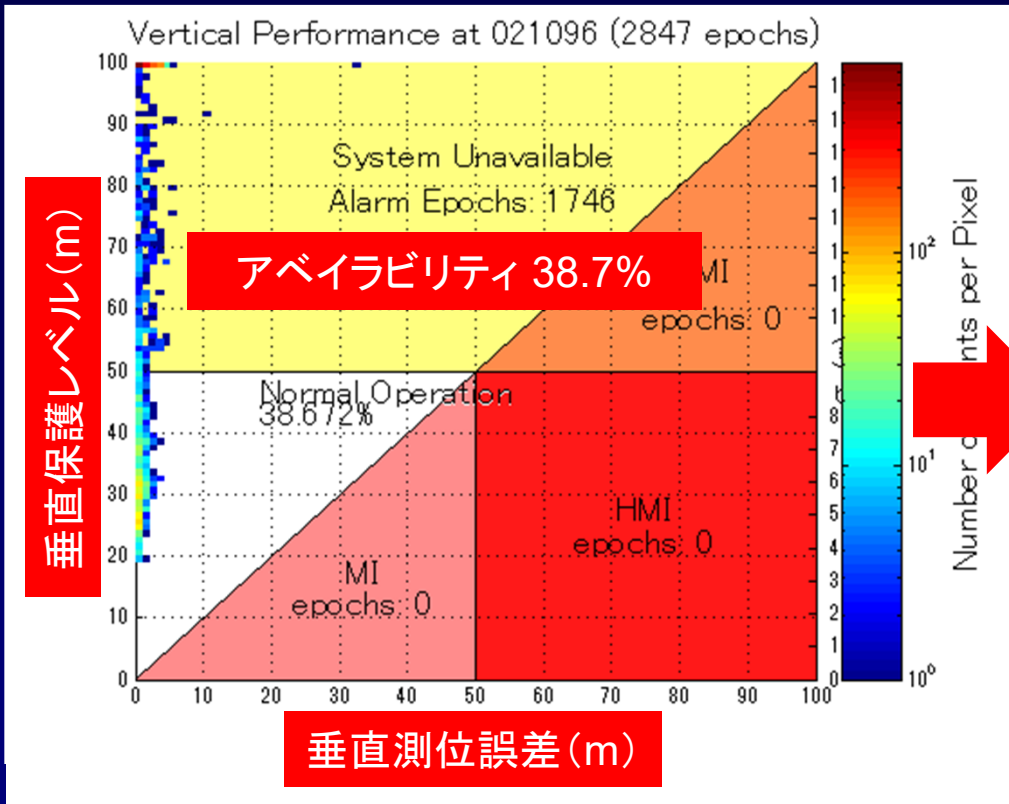


現行アルゴリズム

嵐回避アルゴリズム(方法2)

- 電離圏活動が活発な時期についても、同様にアベイラビリティを改善
- 99.9%のアベイラビリティを達成するためには、やはり他の既存改良アルゴリズムとの組み合わせが有効と思われる。

安全面の確認: 保護レベル



現行アルゴリズム

嵐回避アルゴリズム(方法2)

- 電離圏活動が活発な時期(期間2)について、保護レベルと測位誤差を比較
 - 条件: 測位誤差が保護レベルを超えないこと
- 安全上の問題を生じることなく、アベイラビリティを改善していることを確認

Conclusion

- **MSASの性能向上**
 - MSAS V2(2020年～): 現行静止衛星及び地上設備の更新。準天頂衛星システムの静止衛星(QZS 3号機)のL1Sb信号を使用。
 - MSAS V3(2023年頃～): 垂直ガイダンスを実現、LPV/LPV200進入モードを供用。
- **電離圏遅延補強アルゴリズムの開発**
 - MSASで垂直ガイダンスを実施するには、電離圏遅延補強アルゴリズムの改良が欠かせない。
 - 今回は、電離圏嵐モニタの誤警報の多さに着目し、嵐回避アルゴリズムを考案した。
 - 電離圏嵐モニタが嵐を検出した場合に、遠方の観測データを減らしたうえで再度補強情報の生成を試みる。
 - シミュレーションにより効果を確認。南方の観測データから順に抑制する方式(方法2)で高い効果が得られる。
- **今後の研究開発課題**
 - 過去の電離圏嵐の際のアーカイブデータによる検証。
 - 他の既存改良アルゴリズムとの併用による効果の評価、最適な組合せの検討。