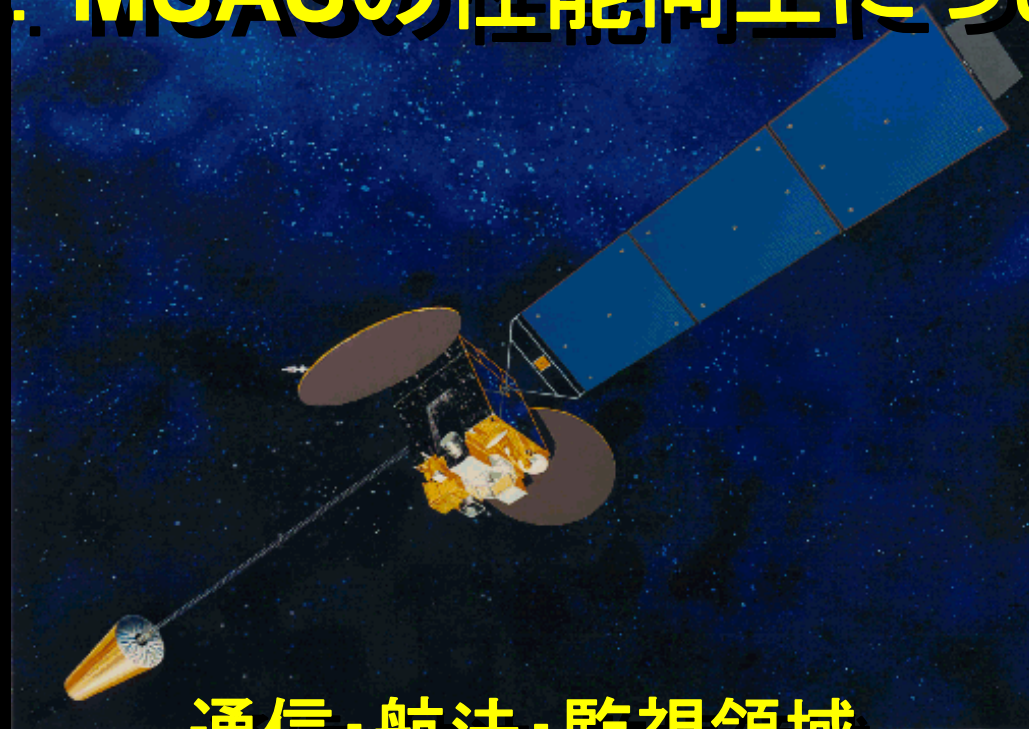


13. MSASの性能向上について



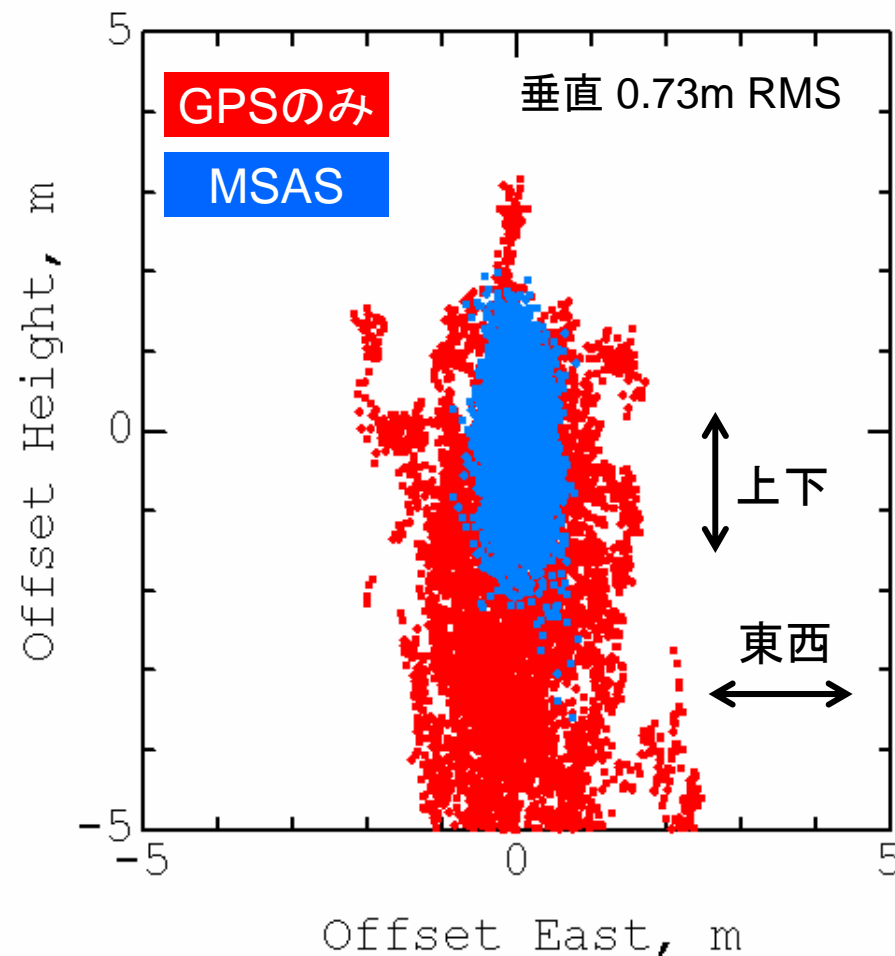
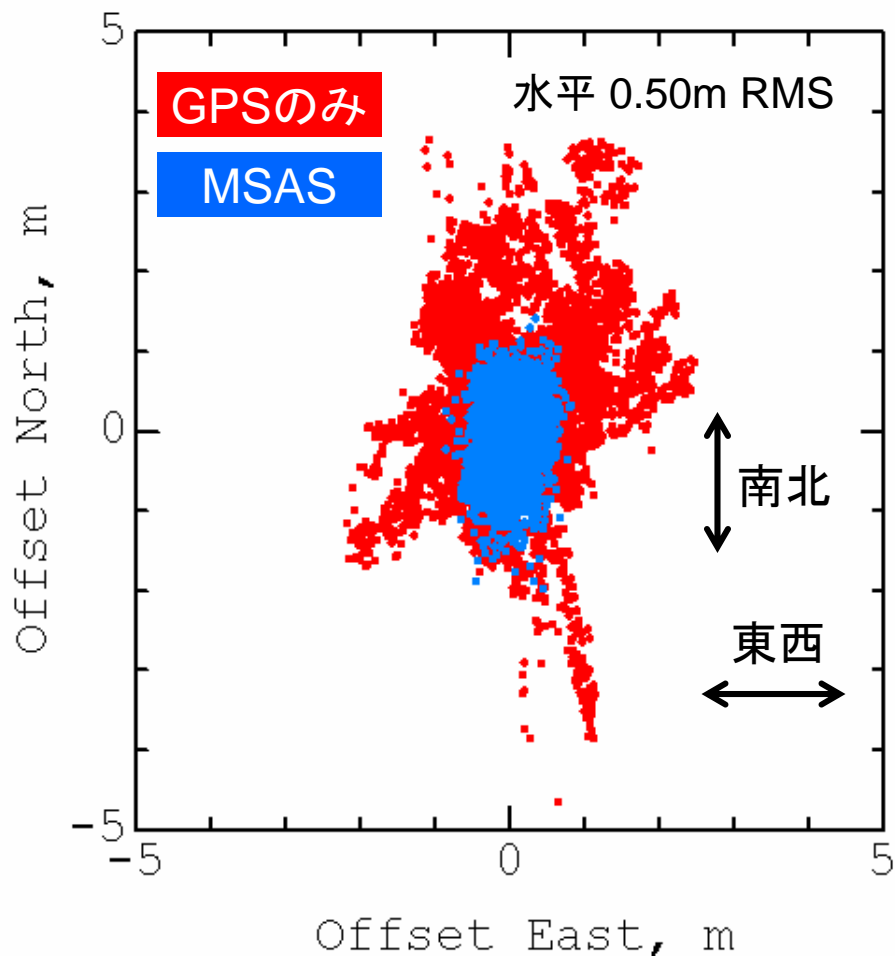
通信・航法・監視領域

坂井 丈泰、松永 圭左、伊藤 実、
吉原 貴之、近藤 俊一郎、星野尾 一明

Introduction

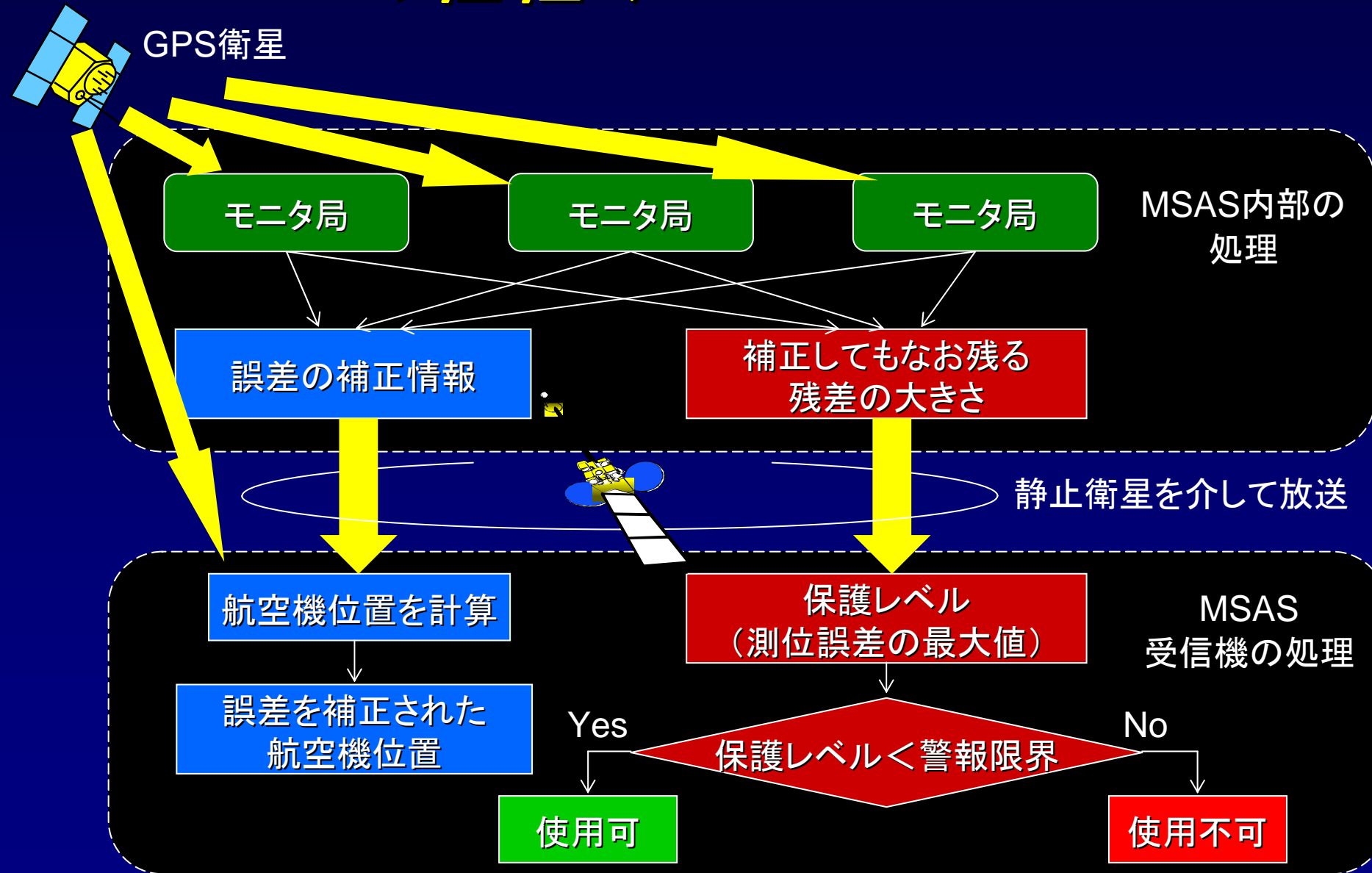
- MSAS (運輸多目的衛星用衛星航法補強システム) は、実用を開始：
 - MTSAT-1R/2 (ひまわり6/7号) の2機体制。
 - インテグリティ (完全性) を備えた衛星航法システム。
- MSAS のアベイラビリティ (有効性) :
 - NPA (非精密進入) 航法モードまでは **100% (常時) 利用可能**。
 - APV (垂直誘導付進入) 航法モードでは、アベイラビリティの向上が課題。
- 電離層遅延補正方式の改良による性能向上：
 - APVモードのアベイラビリティを阻害している最大の要因は **電離層遅延**。
 - アベイラビリティを向上するため、電離層遅延補正方式の改良を検討した。
 - シミュレーションによる評価の結果、モニタ局を数局追加したうえで改良方式を採用することにより、南西諸島方面も含めて日本全域でAPVモードをサービス可能との見通しを得た。

測位精度の例

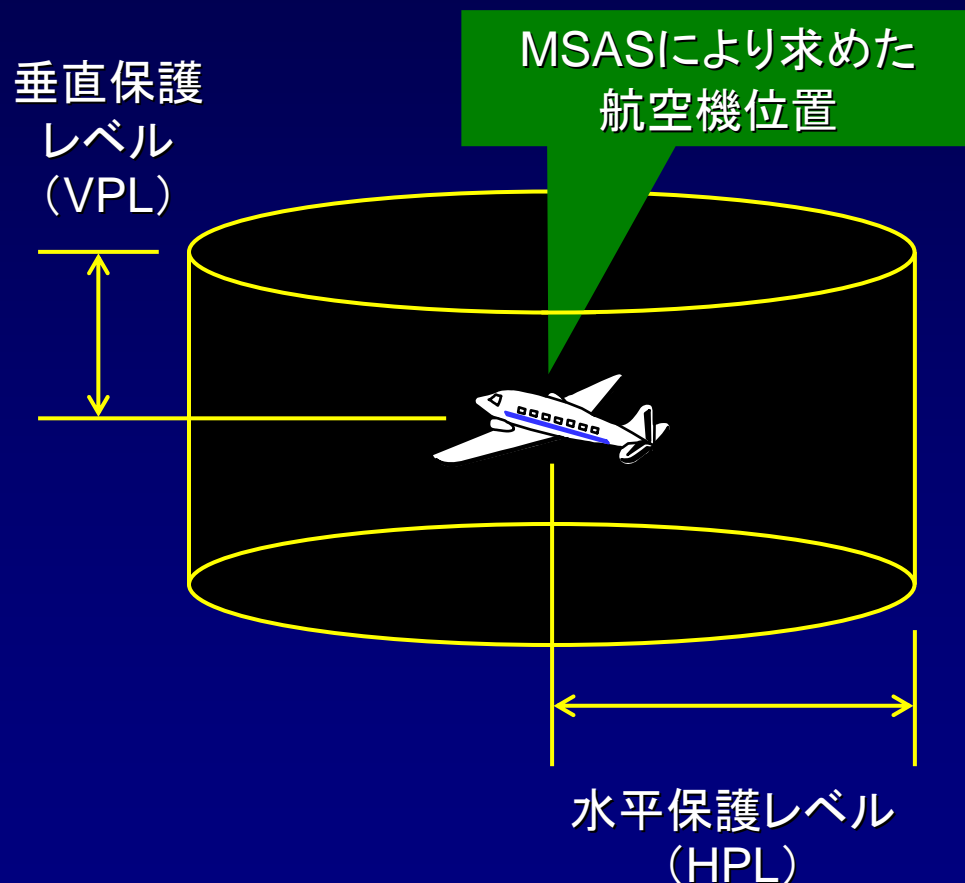


MSASの仕組み

GPS衛星



保護レベル



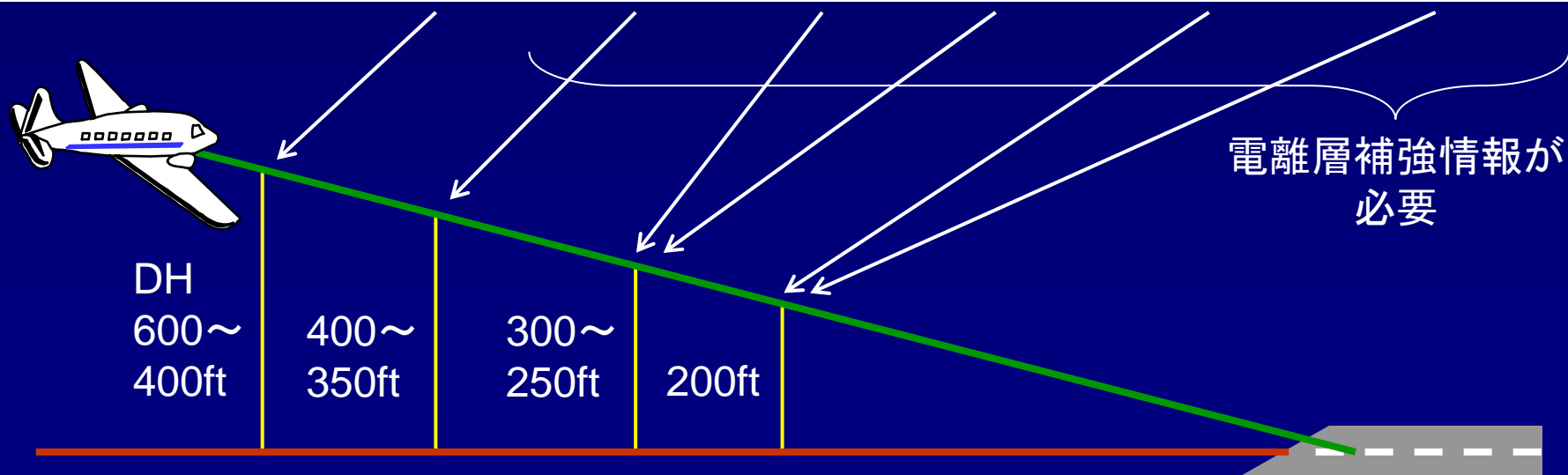
- 測位誤差の**99.99999%**が入る範囲
- 水平保護レベル(HPL)・垂直保護レベル(VPL)
- 航空機が円筒の範囲を外れている可能性: $10^{-7} = 0.0000001$ 以下
→ 航空機は必ず**円筒の内側**にいる。
- 保護レベルの範囲内に他航空機や障害物が入らないようにする。
- 航法モードに対応した**警報限界**を定める
→ 保護レベルが警報限界よりも小さければ、その航法モードにMSASを使用できる。

進入モードと警報限界

※「保護レベル < 警報限界」なら、MSASを利用可能

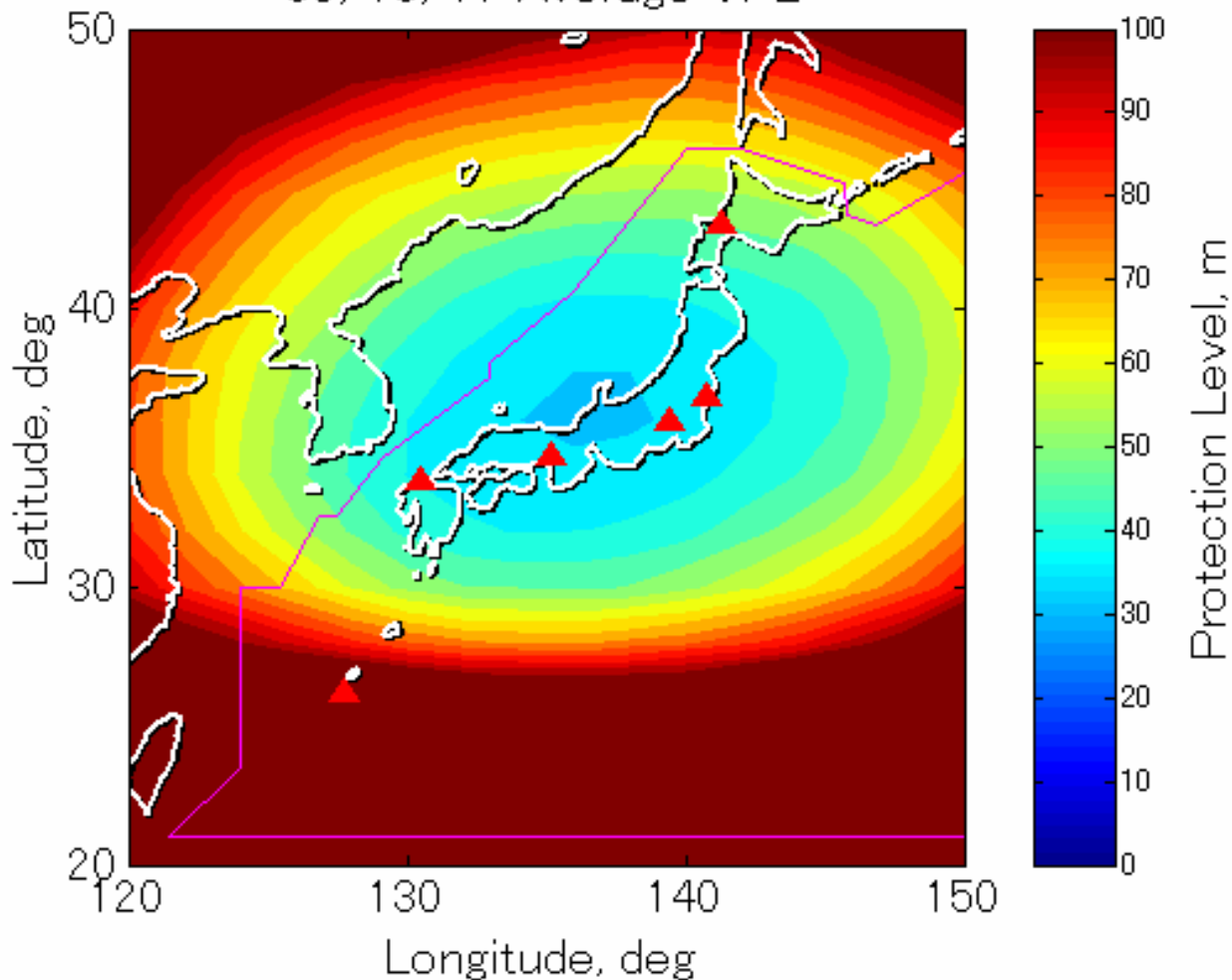
(カッコはFAAの呼び方)

進入モード		NPA	(LNAV/ VNAV)	APV-I (LPV)	APV-II	(LPV200)	CAT-I
警報限界 [m]	水平	556	556	40	40	40	40
	垂直	—	50	50	20	35	10~15



垂直保護レベルの分布例

06/10/17 Average VPL



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

PRN129 (MTSAT-1R)
Test Signal

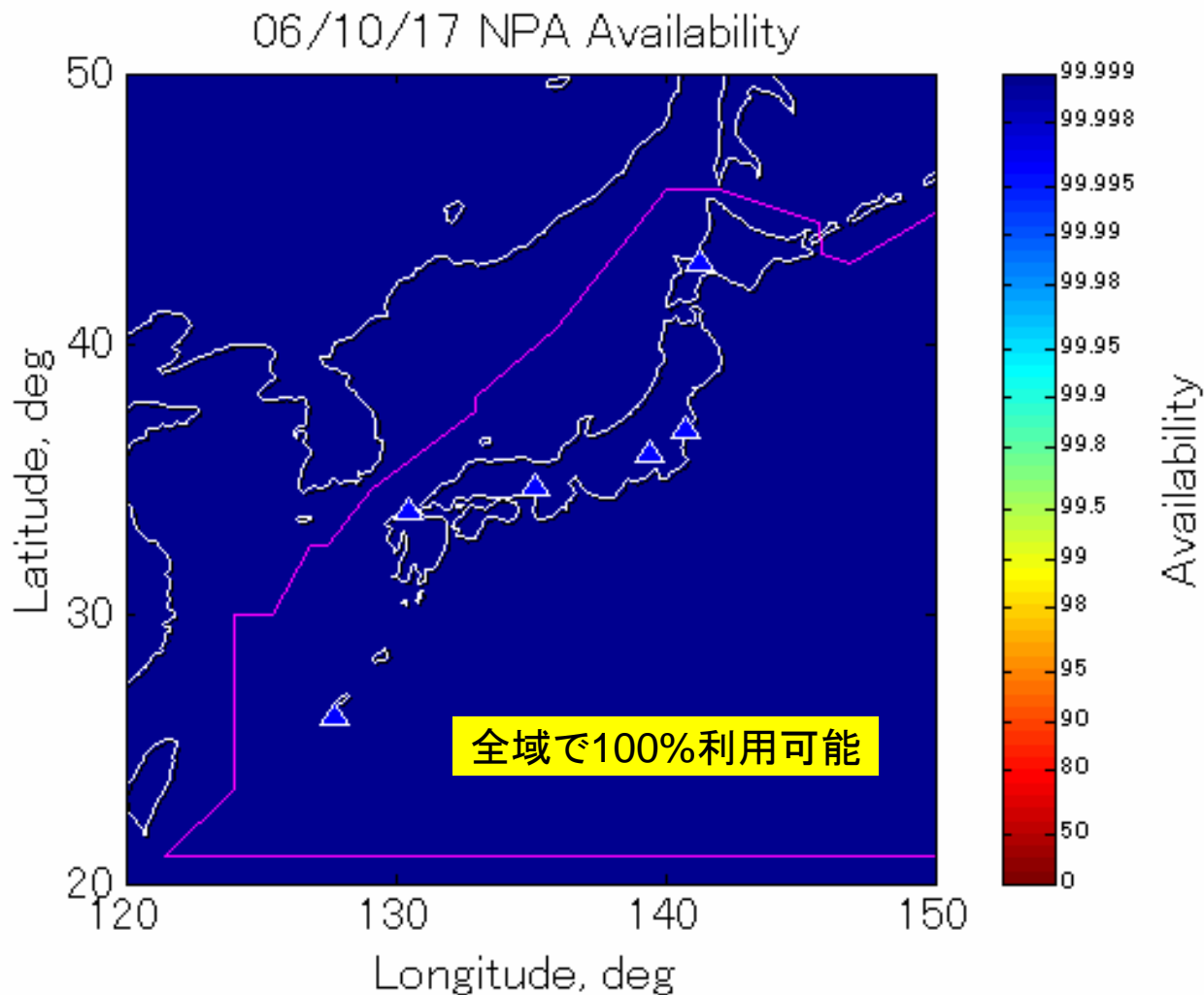
Contour plot for:
Average VPL

垂直保護レベル
(VPL)の平均値

アベイラビリティ

- 定義:「システムが利用可能な時間割合」
 - 場所や時間帯により異なる。
 - 航法モードによっても異なる。たとえば、APV航法モードでは確実な測位が求められる(警報限界が小さい)が、NPA航法モードでは必ずしもそうではなく、垂直方向については要求そのものがない。
 - 航法システムとして供用するには、99.9%程度以上のアベイラビリティが必要。
- MSASのアベイラビリティ:
 - MSAS受信機は、保護レベルが警報限界を超えた場合、対応する航法モードを使用不可とする → MSASが利用可能かどうかは、**保護レベルで決まる**。
 - アベイラビリティ = 「**保護レベルが警報限界より小さな**」時間割合。
 - 警報限界は航法モードによりあらかじめ決められている。
 - **アベイラビリティの向上 = 保護レベルの抑制**

アベイラビリティ分布例 (NPA)



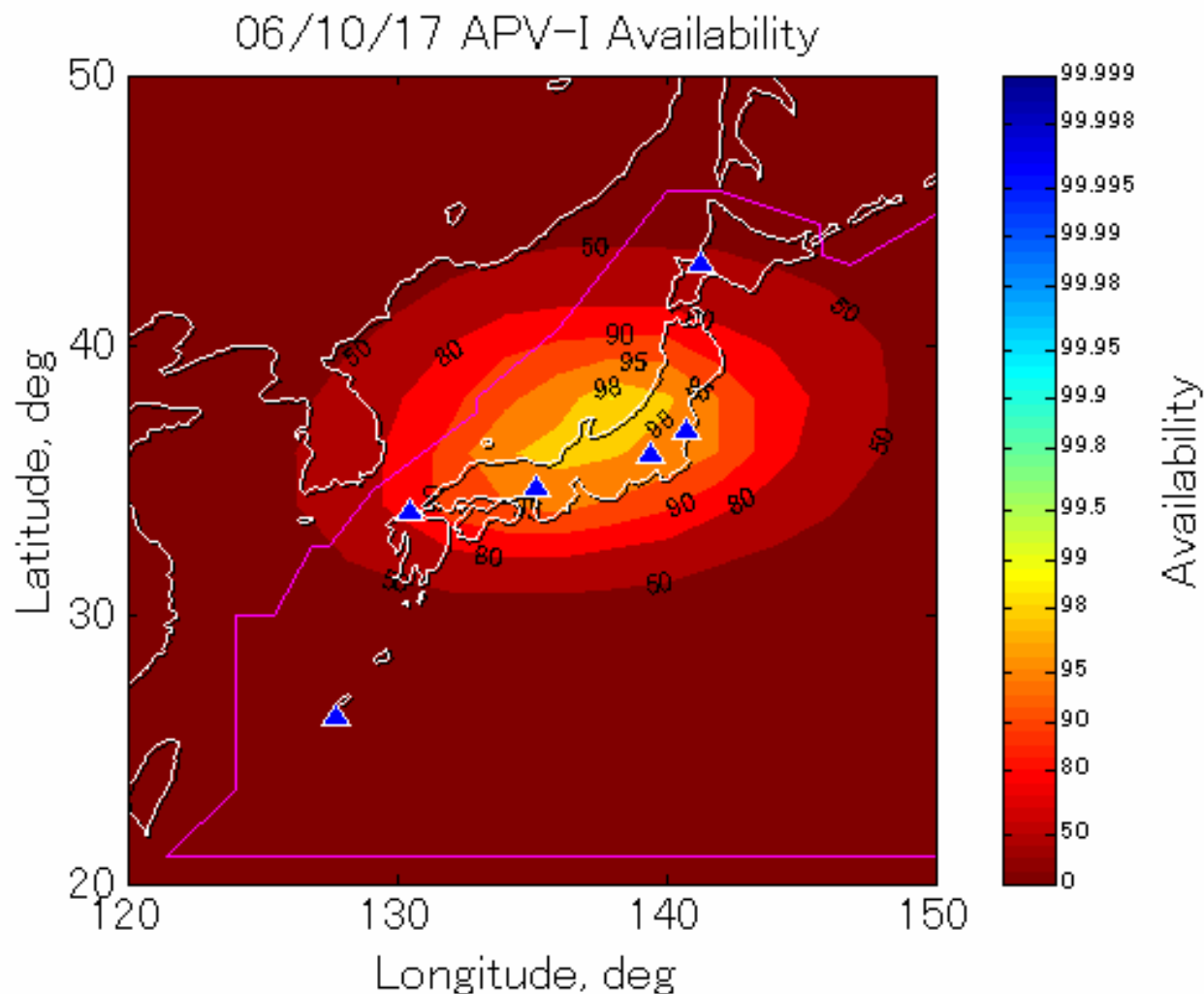
MSAS Broadcast
06/10/17 00:00-24:00

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 (%)

アベイラビリティ分布例 (APV-I)



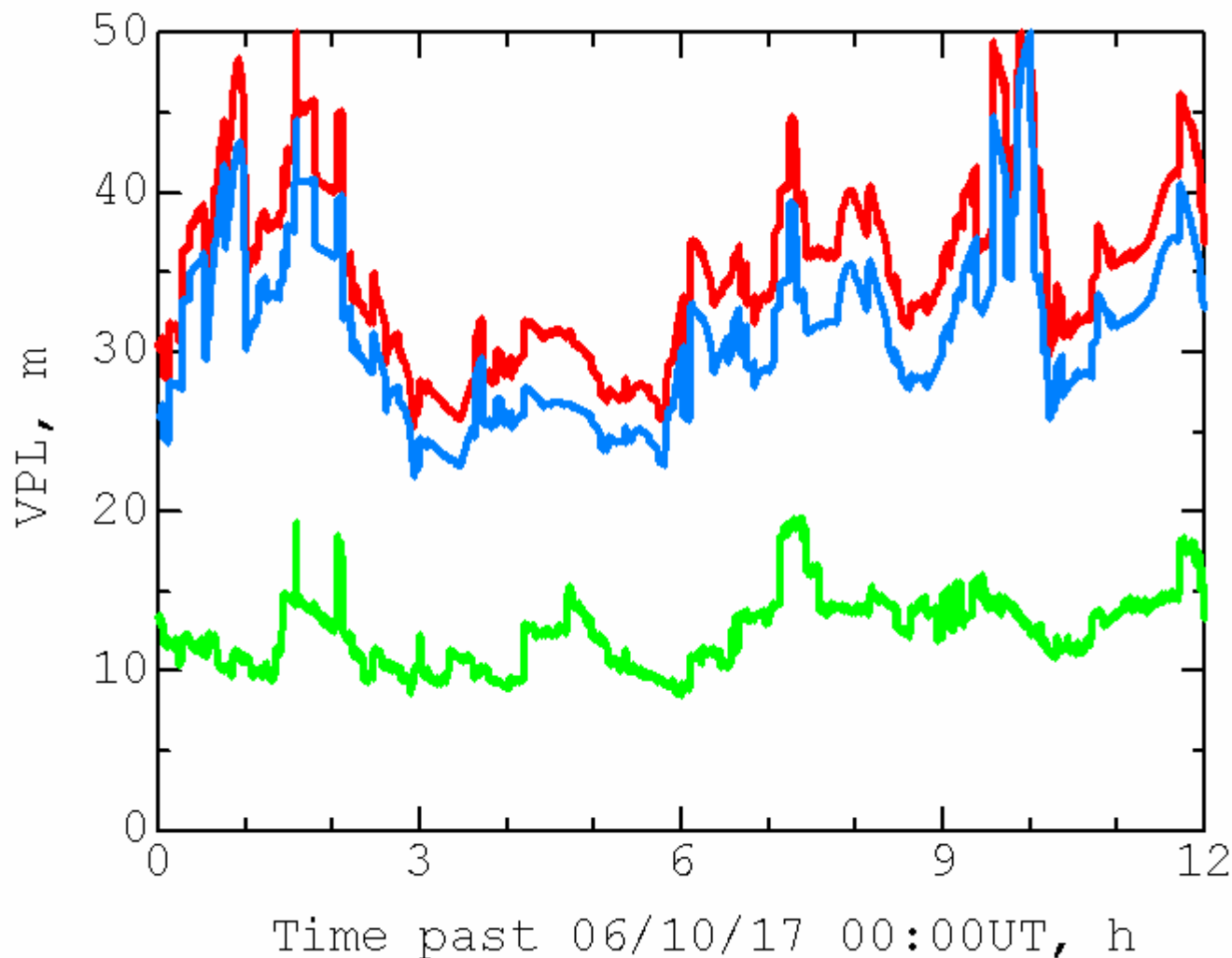
MSAS Broadcast
06/10/17 00:00-24:00

PRN129 (MTSAT-1R)
Test Signal

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

APV-Iモードを
利用可能な時間割合 (%)

垂直保護レベルの内訳



- 垂直保護レベル
- 電離層成分 (GIVE値)
- クロック+軌道

MSAS Broadcast
06/10/17 00:00-12:00
3011 Tokyo

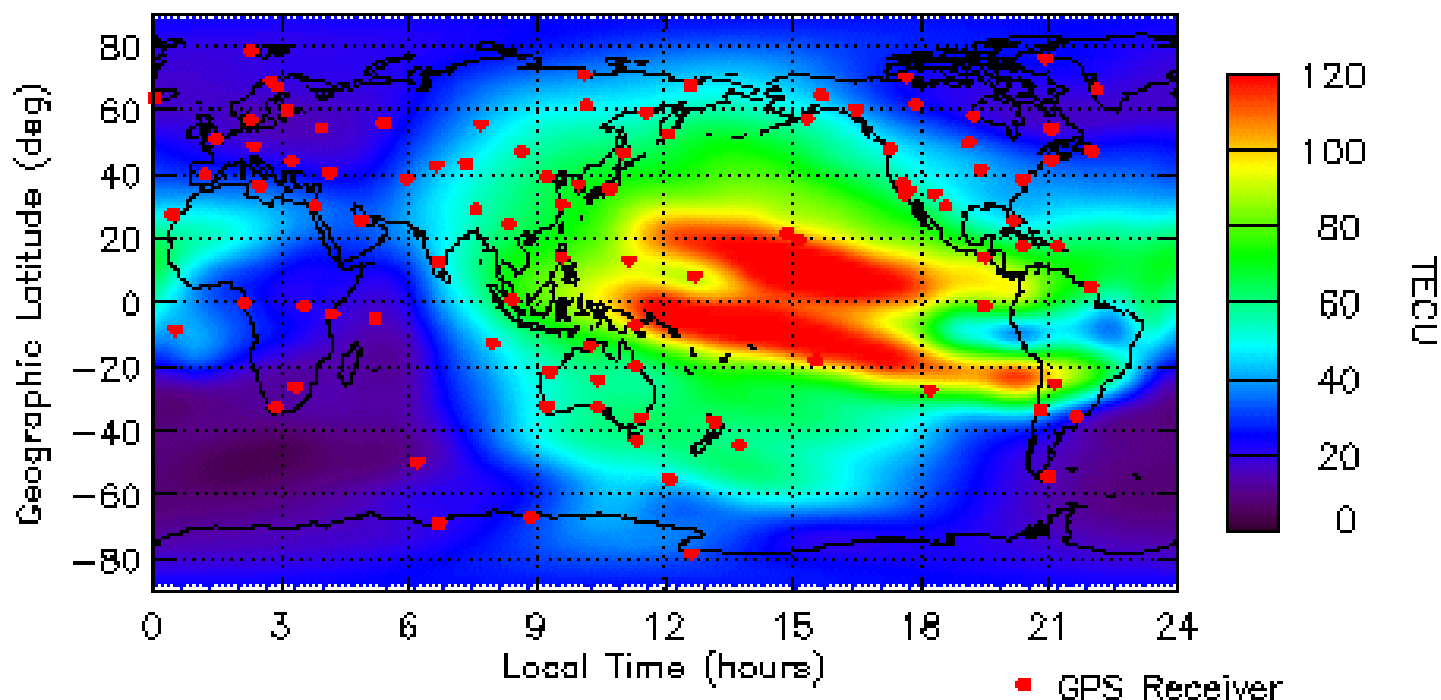
PRN129 (MTSAT-1R)
Test Signal

- MSASの垂直保護レベルは、電離層による項(GIVE値)が支配的。

不確実性の例: 電離層の赤道異常

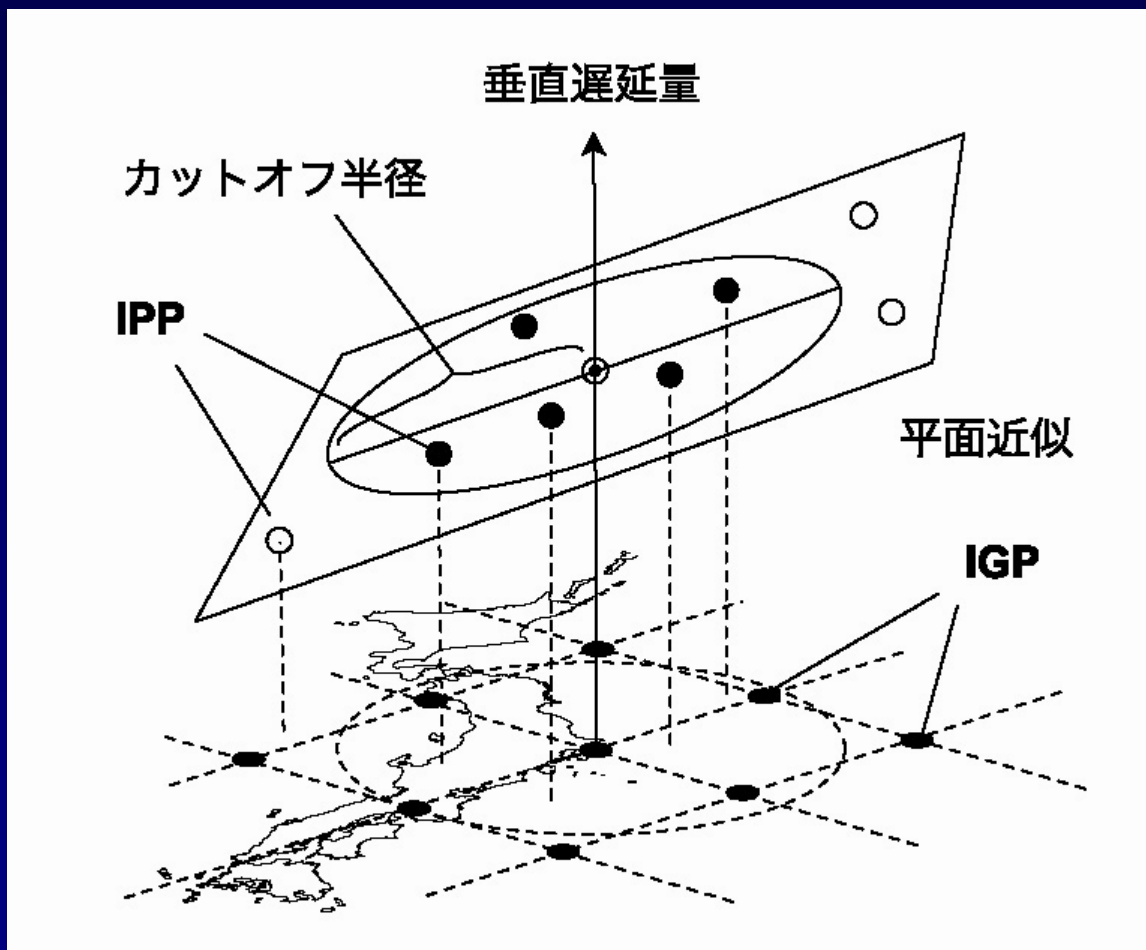
電離層
遅延マップ
(NASA/JPL)

04/17/02 Global Ionospheric TEC Map
01:00 - 02:00 UT



- 磁気赤道の南北にある、電子密度が高い領域。
- 常に存在するが、密度や大きさの変化を予測することは難しい。
- このため、南西諸島方面ではGIVE値を大きくせざるを得ず、保護レベルも大きくなる。

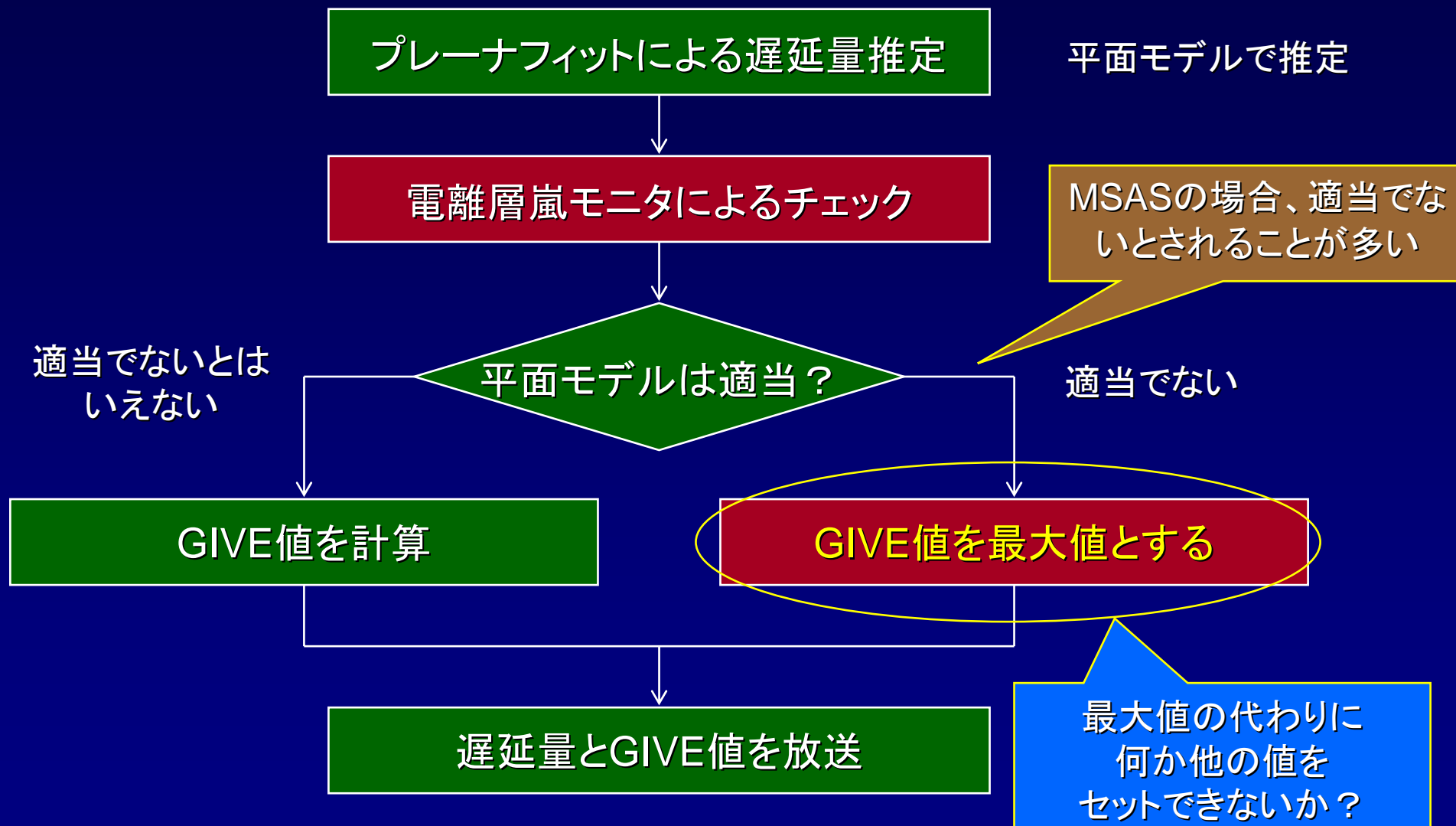
電離層遅延補正方式: プレーナフィット



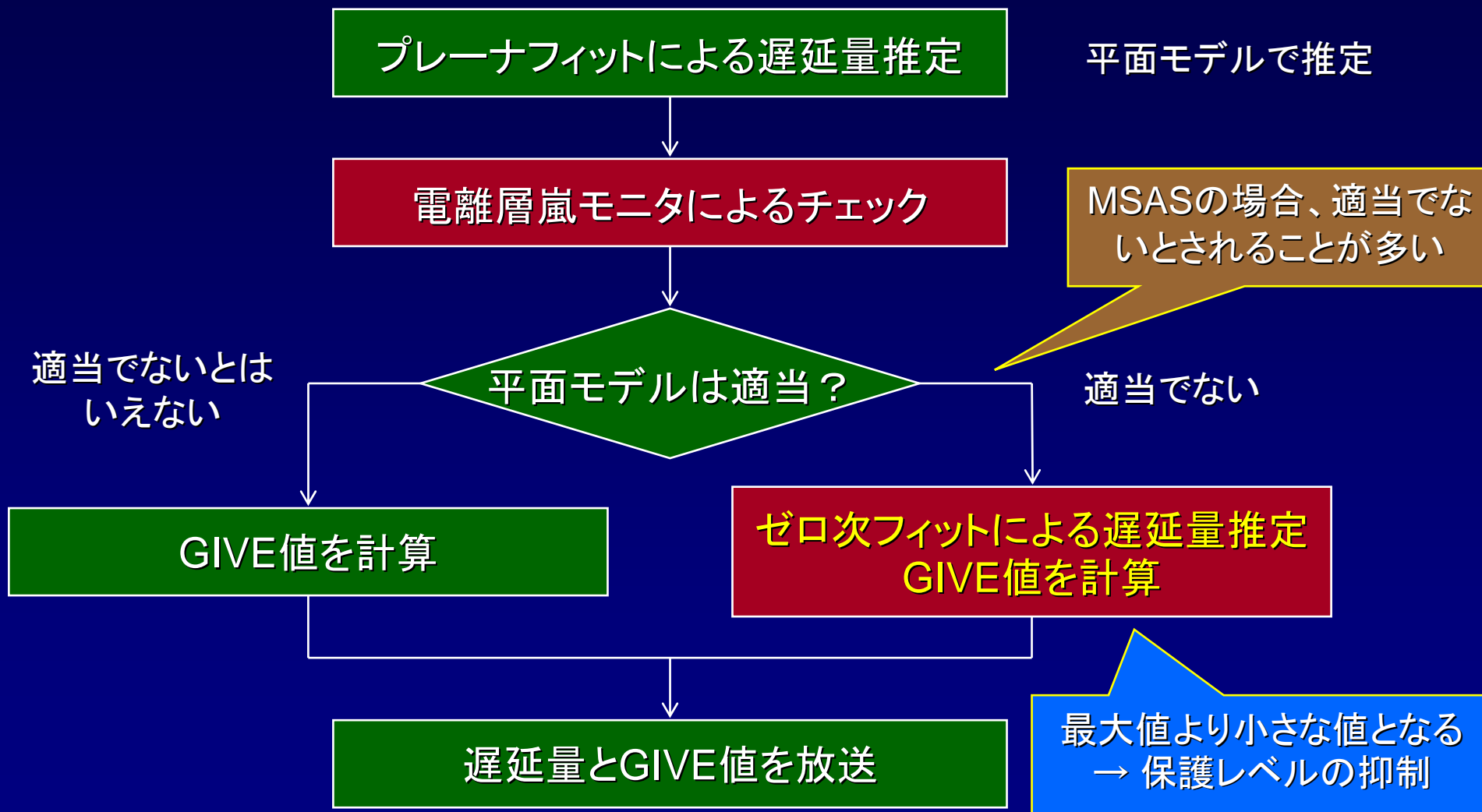
- 米国WAASのために考案された方式。
- MSASも同じ方式を使用(パラメータが若干異なる)。
- 平面モデルで電離層を近似し、遅延量とGIVE値を計算する。
- 平面モデルによる近似が妥当かどうか: 電離層嵐モニタでチェックする。

妥当でない場合 → GIVE値を大きくして対応する(ユーザを保護するため)。

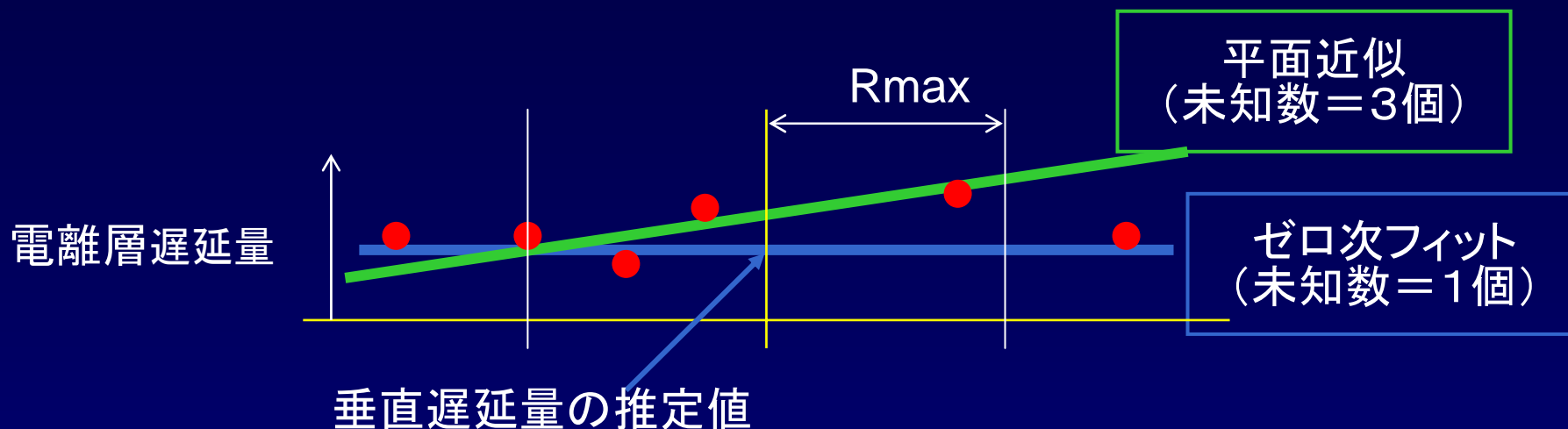
現行の電離層遅延補正方式



修正版の電離層遅延補正方式

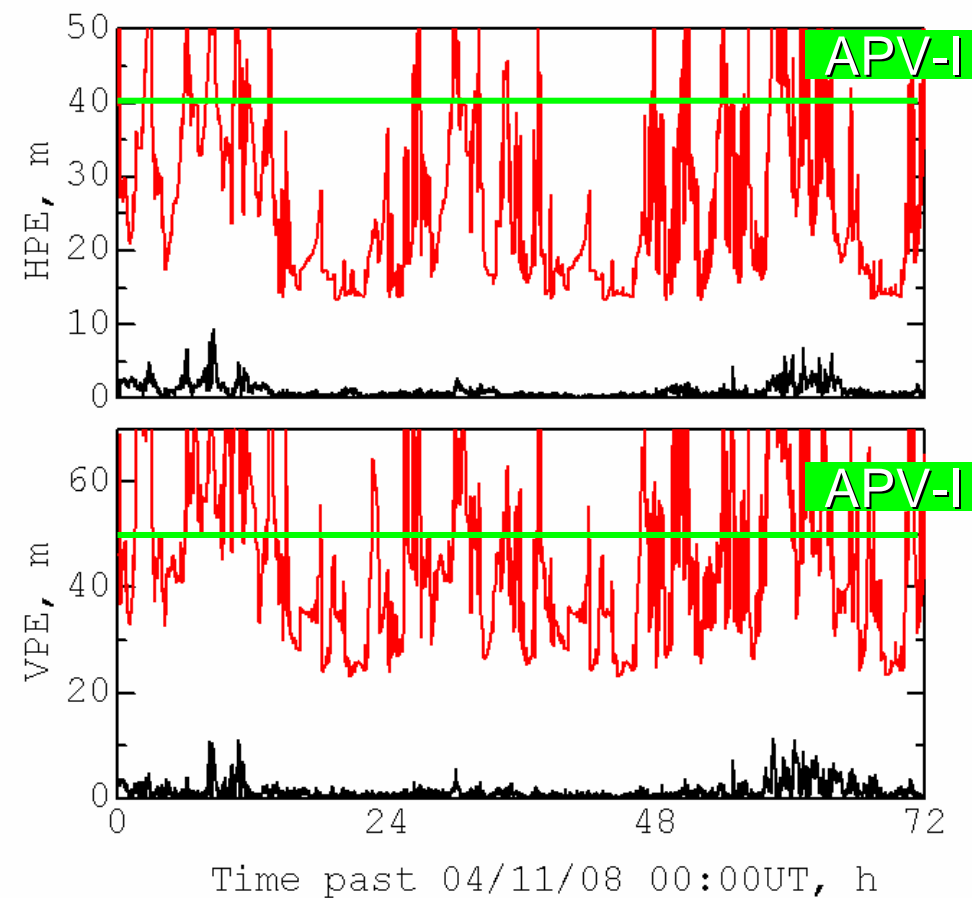
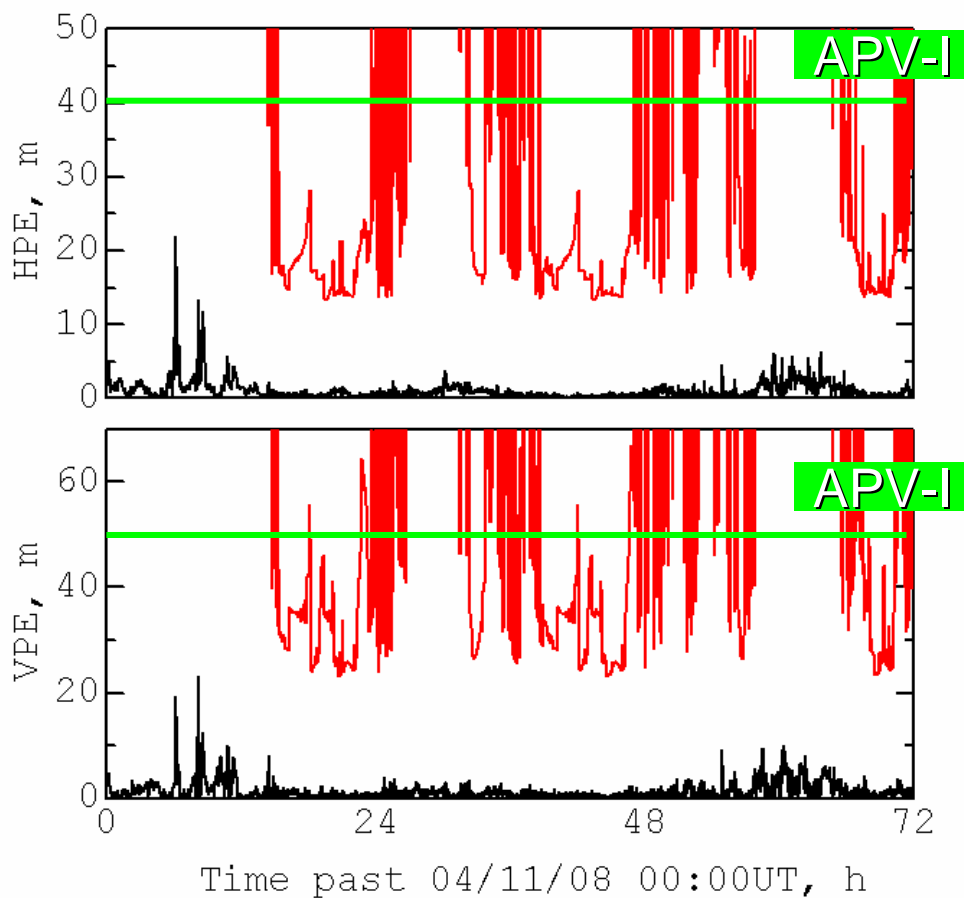


ゼロ次フィット



- 電離層嵐モニタが嵐状態と判定した場合：平面モデル(1次近似)は現実の電離層遅延量分布に当てはまらない。
- このような場合、1次に代えて**ゼロ次の近似が有効**：
 - 次数を落とした、よりロバスト(安定)な推定。
 - 推定すべき未知パラメータは1個ですむ(重み付き平均と等価)。
- 電離層嵐モニタが嵐状態と判定したか、あるいは観測データ数が不足する場合(プレーナフィットが実行できない)に、ゼロ次フィットを適用する。

保護レベルの抑制効果



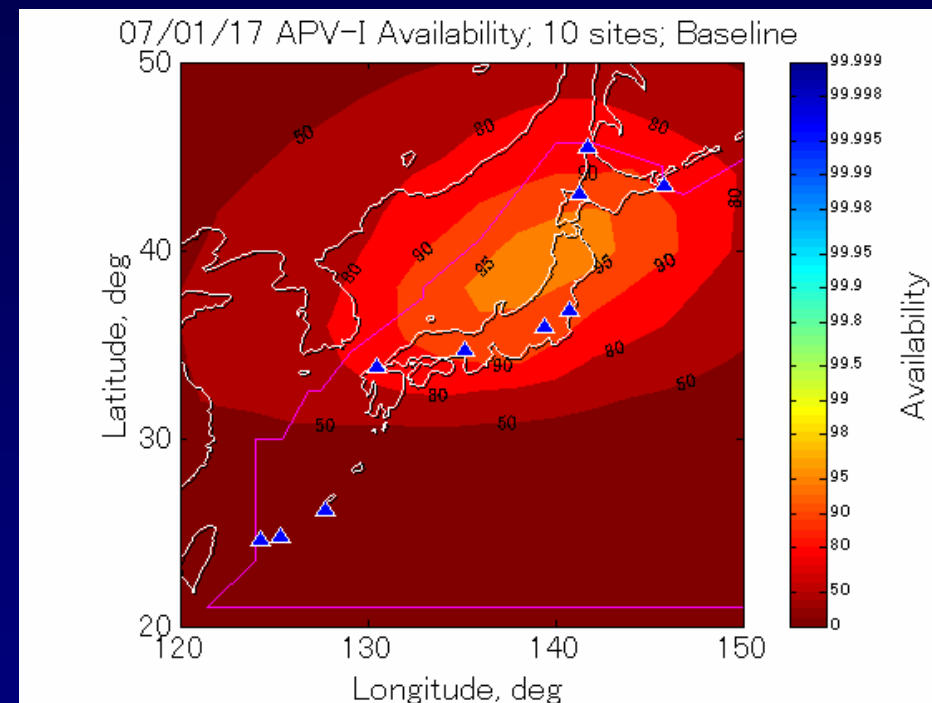
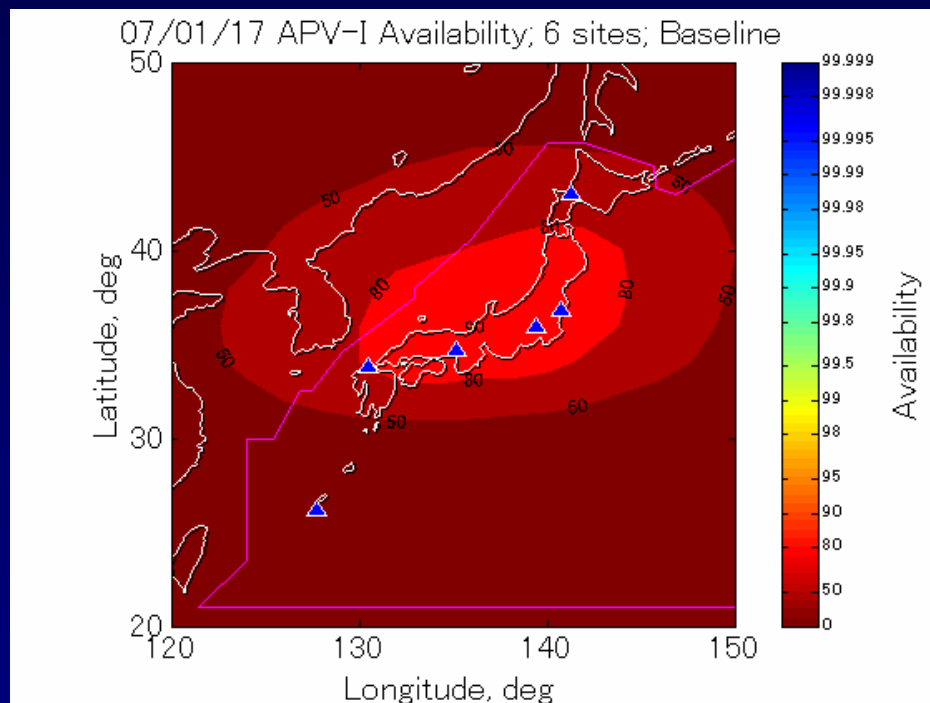
現行アルゴリズム

改良アルゴリズム

- 保護レベルを約1/3に抑制:アベイラビリティを改善。
- 保護レベルは依然としてユーザ測位誤差よりも十分に大きい。

性能評価: 現行MSAS

APV-Iモードアベイラビリティの計算例



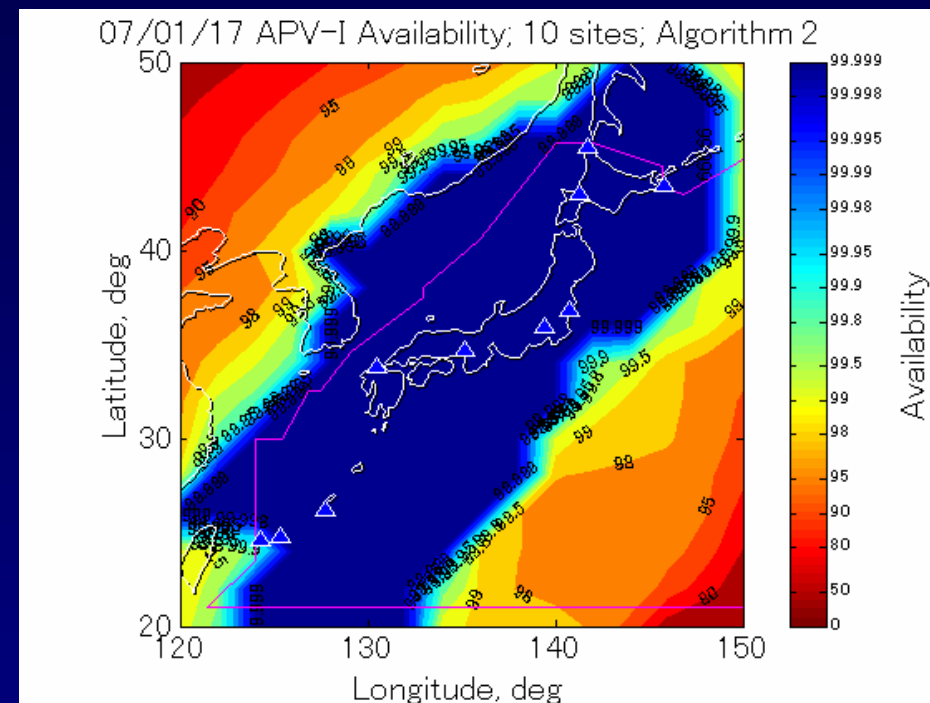
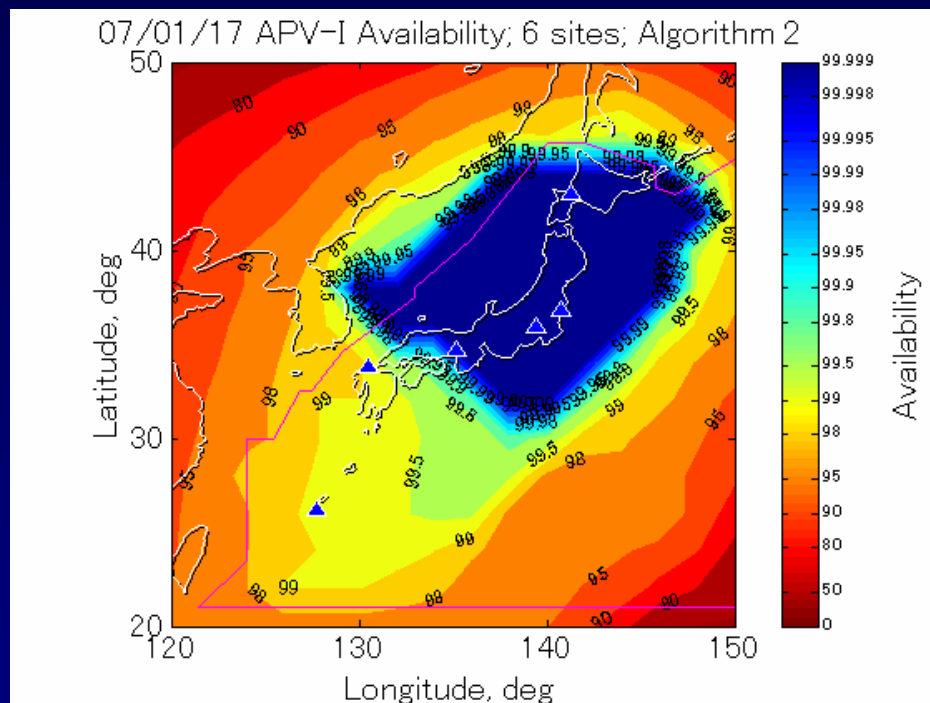
現行の地上局配置(国内6局)

4局を追加した場合
(稚内・根室・宮古島・石垣島)

- モニタ局を追加しても、南方では効果がほとんどない。

性能評価:改良アルゴリズム

APV-Iモードアベイラビリティの計算例



現行の地上局配置(国内6局)

4局を追加した場合
(稚内・根室・宮古島・石垣島)

- ゼロ次フィット+米国WAASで導入中の性能向上アルゴリズム。
- 4局の追加により、南西諸島も含めて常時利用可能となる。

Conclusion

- MSAS補強情報の特性：
 - 測位精度は良好。
 - NPA(非精密進入)航法モードまではアベイラビリティ100%を達成。
 - APV(垂直誘導付進入)航法モードではアベイラビリティが十分でない。
- 性能向上の検討：
 - 電離層遅延補正方式の変更により保護レベルを抑制する必要がある。
 - ゼロ次フィットに基づく改良方式を提案:南西諸島も含めて日本全域でAPV-I航法モードを常時利用可能とできる見通しを得た。
- 今後の課題：
 - 改良方式について、多くの電離層嵐の際のデータを用いて検証する。
 - さらに有効な方式の検討。