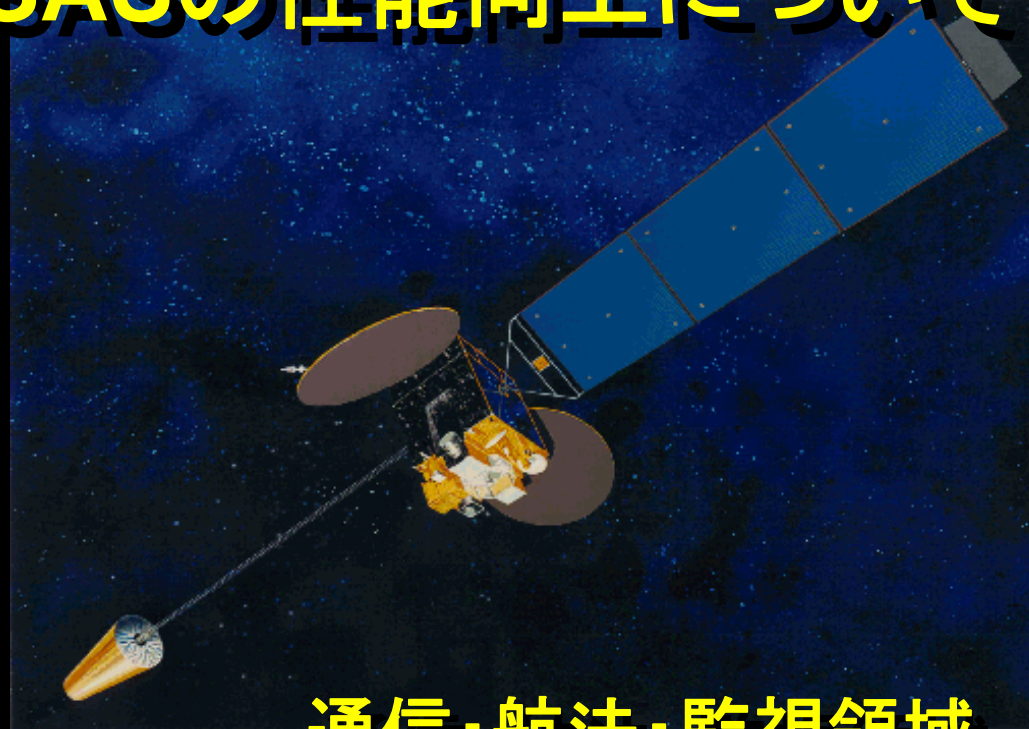


## 14. MSASの性能向上について(その2)



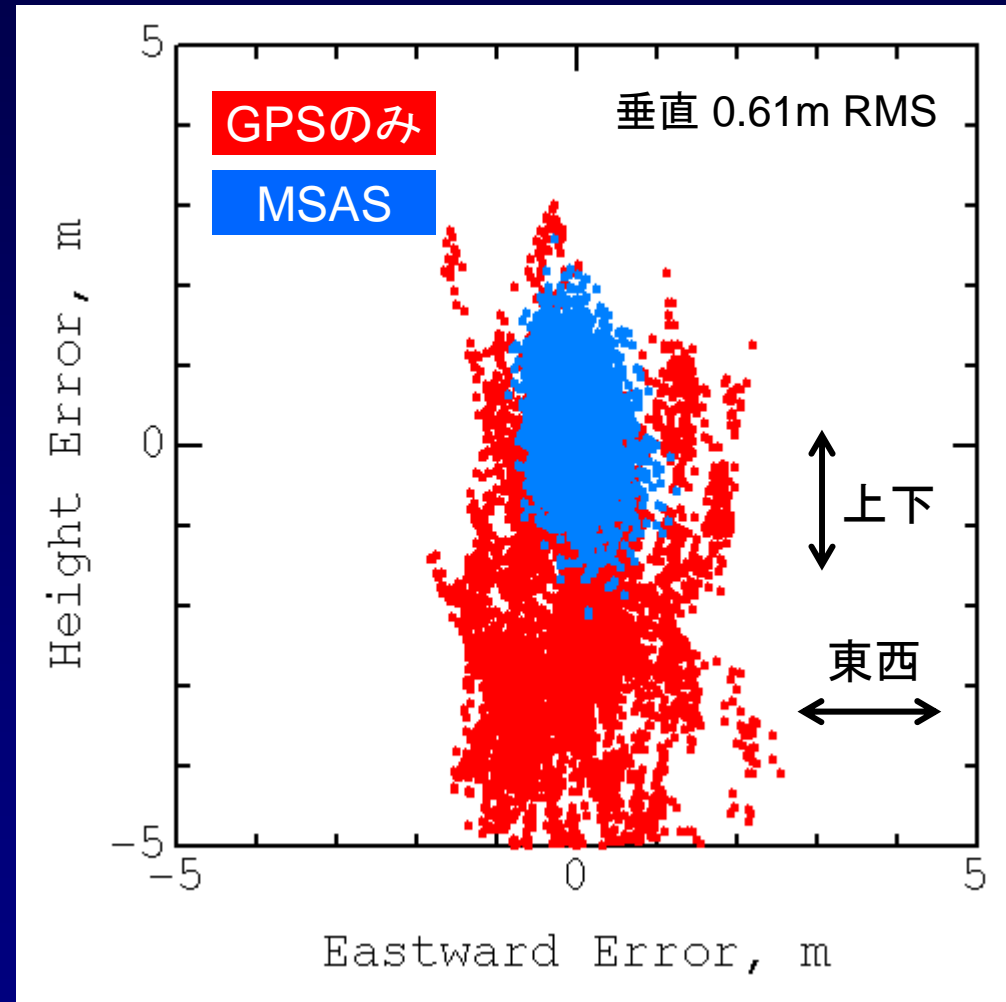
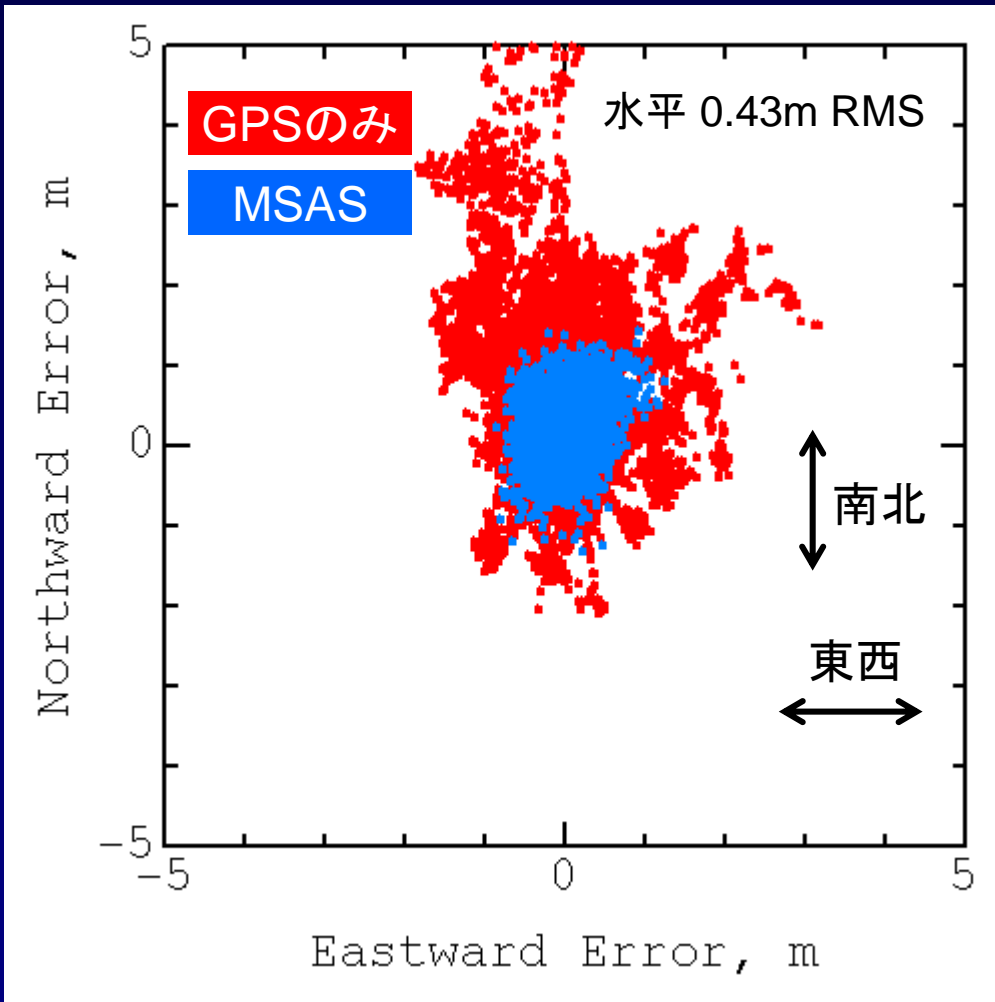
通信・航法・監視領域

坂井 丈泰、松永 圭左、吉原 貴之、  
伊藤 実、星野尾 一明

# Introduction

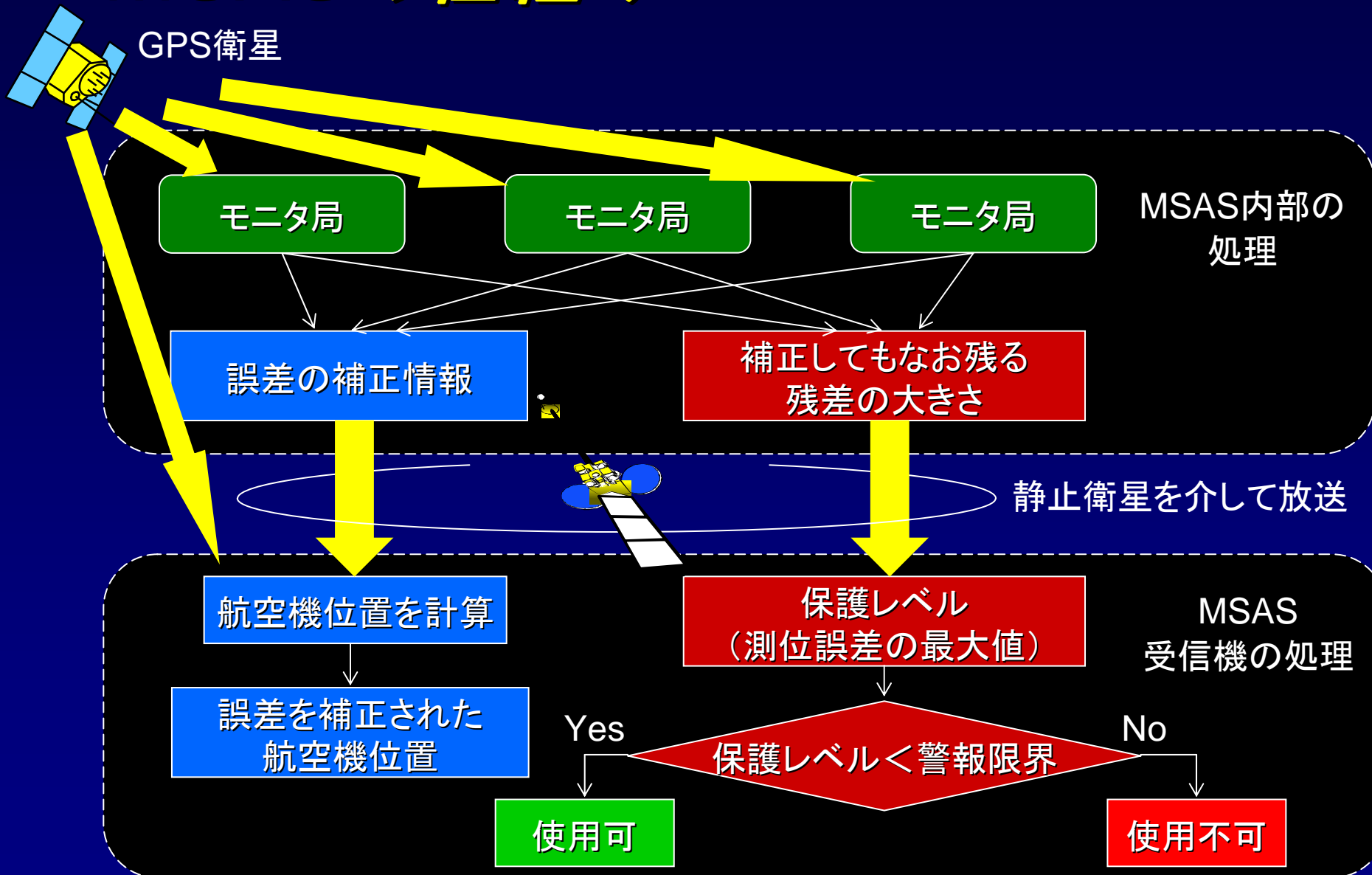
- MSAS(運輸多目的衛星用衛星航法補強システム)は、実用を開始：
  - MTSAT-1R/2(ひまわり6/7号)の2機体制。
  - インテグリティ(完全性)を備えたRNP航法システム。
- MSASのアベイラビリティ(有効性)：
  - NPA(非精密進入)航法モード(RNP 0.3)までは**100%(常時)利用可能**。
  - APV(垂直誘導付進入)航法モードでは、アベイラビリティの向上が課題。
- 電離層遅延補正方式の改良による性能向上：
  - APVモードのアベイラビリティを阻害している最大の要因は**電離層遅延**。
  - アベイラビリティを向上するため、電離層遅延補正方式の改良を検討した。
  - シミュレーションによる評価：モニタ局を追加したうえで改良方式を採用することにより、**APV進入及びCAT-I進入**をサービス可能との見通しを得た。

# 測位精度の例



GEONET 940058(高山) 08/1/17-19  
MSAS PRN129 (MTSAT-1R) PAモード

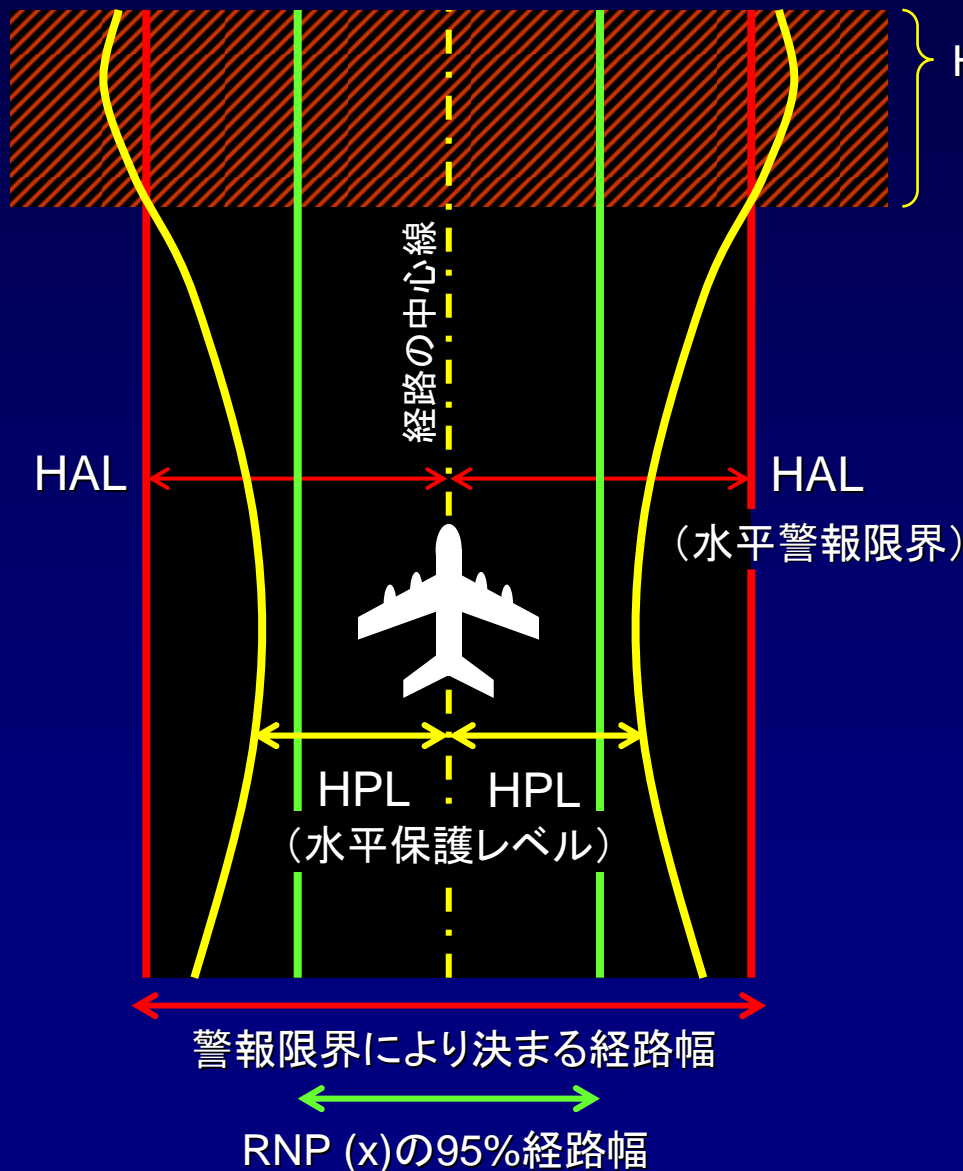
# MSASの仕組み



# RNP航法とMSAS

- MSASはRNP航法システム：
  - RNPシステム：航法システムが所定の性能で動作していることを（航法システム自身が）モニタし、所定の性能でない場合は警報を出す機能を要求。
  - MSAS対応受信機は、保護レベルを計算することで警報機能を実装：**RNP航法システム**として利用可能。
  - RNP10から**RNP0.1**まで対応可能。 → RNP RNAV、RNP AR
- GPS/MSAS受信機の規格：
  - **FAA TSO-C145**：GPS/WAAS (MSAS) 受信機の基本部分の規格。この受信機の実出力（位置情報）は、FMSに入力される。
  - **FAA TSO-C146**：スタンドアロン航法機器＝TSO-C145受信機＋FMS機能。ND（航法画面）やコース偏差指示器（CDI/VDI）を備える。RNAV航法や、（米国の）LPV進入が可能。RF Legを含む曲線進入経路を設定可能。
  - （参考）GPS/RAIM受信機（TSO-C129）：垂直方向の誘導には使えない。

# 保護レベル



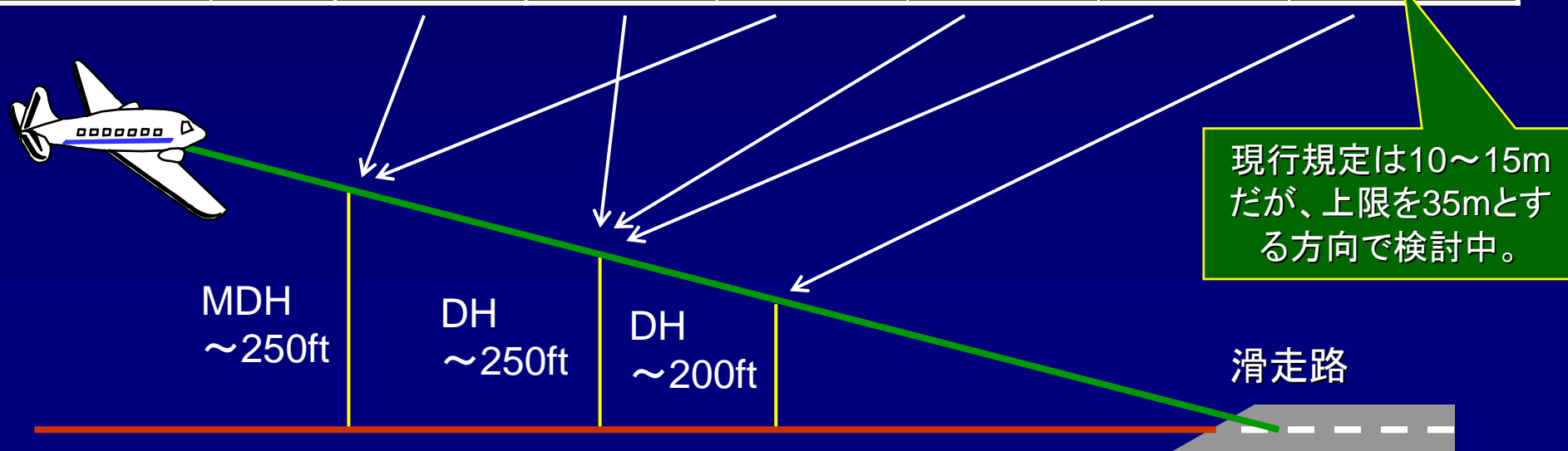
- 測位誤差の99.99999%が入る範囲
- 水平保護レベル(HPL)・垂直保護レベル(VPL)
- GPS衛星の移動に伴い刻々と変化する
- 航空機が保護レベルの範囲を外れている可能性:  $10^{-7} = 0.0000001$  以下
  - 航空機は必ず**保護レベルの内側**にいる。
- 保護レベルの範囲内に障害物が入らないようにする。
- 航法モードに対応した**警報限界**を定める(水平警報限界:HAL、垂直警報限界:VAL)
  - 保護レベルが警報限界よりも小さければ、その航法モードにGNSSを使用できる。
  - 保護レベル > 警報限界となったら**警報**を出す:**RNP航法の警報要件**

# 進入モードと警報限界

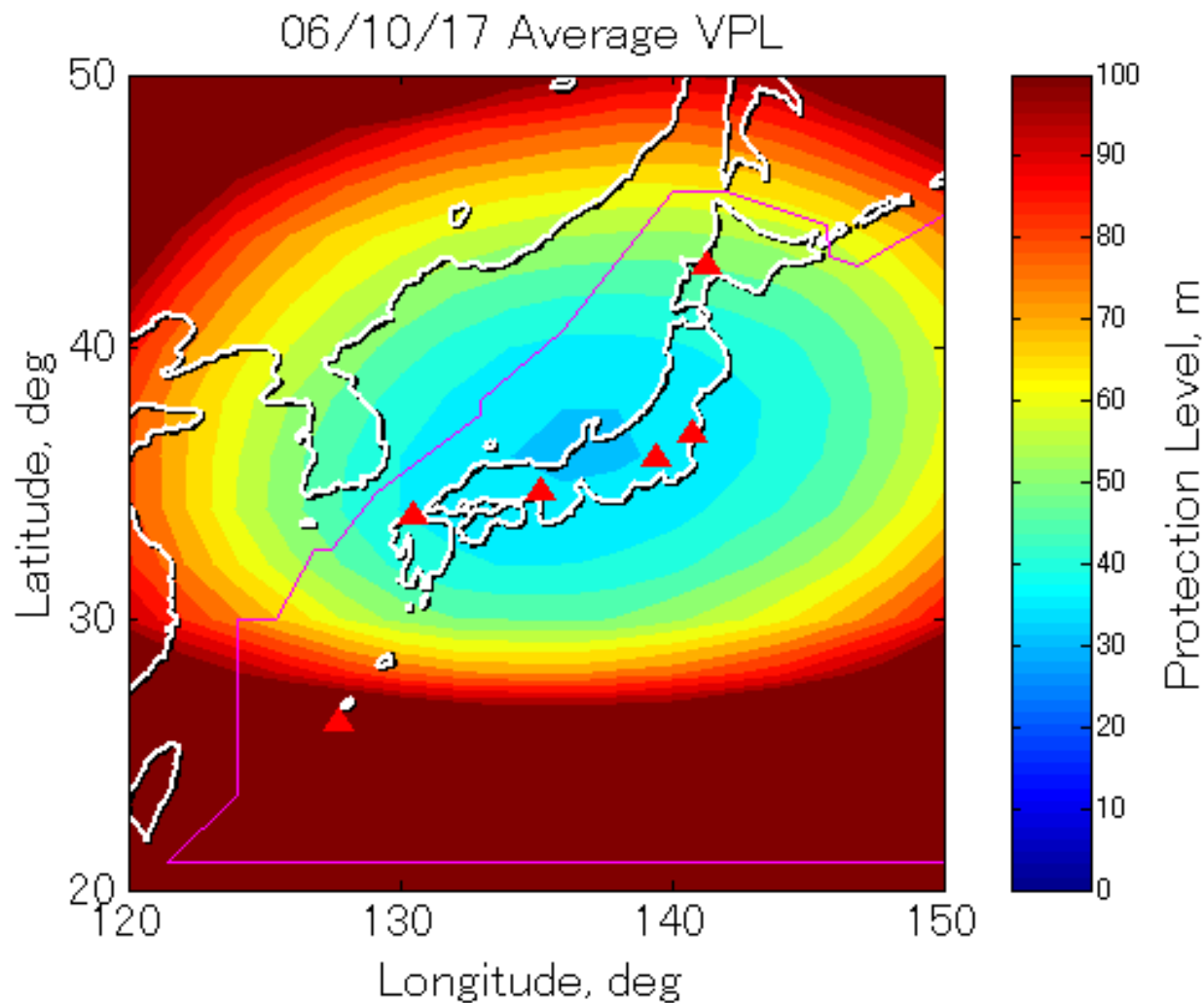
※「保護レベル < 警報限界」なら、GNSSを利用可能

(カッコはFAAの呼び方)

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



# 垂直保護レベルの分布例



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

PRN129 (MTSAT-1R)  
Test Signal

Contour plot for:  
Average VPL

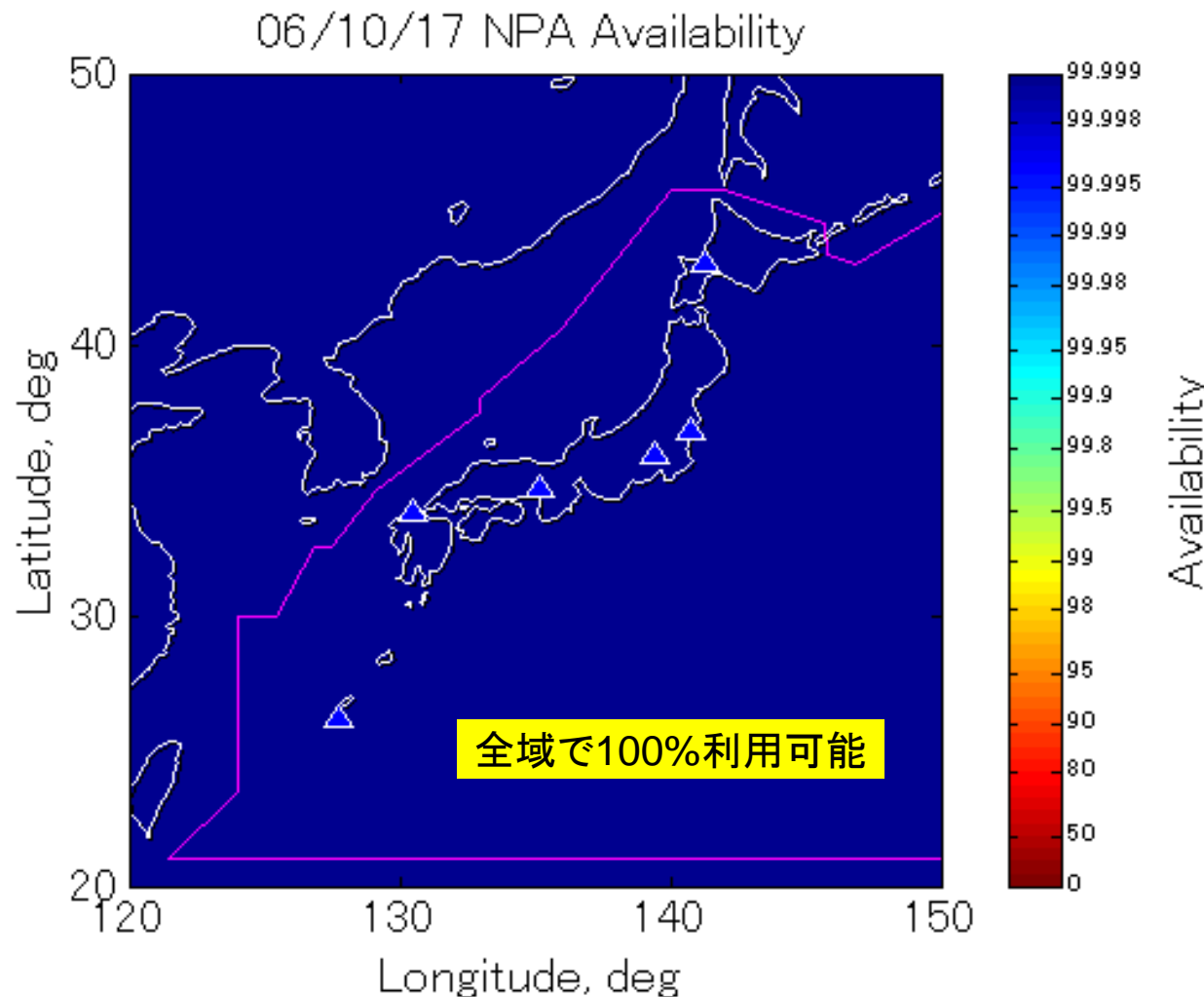
垂直保護レベル  
(VPL)の平均値



# 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

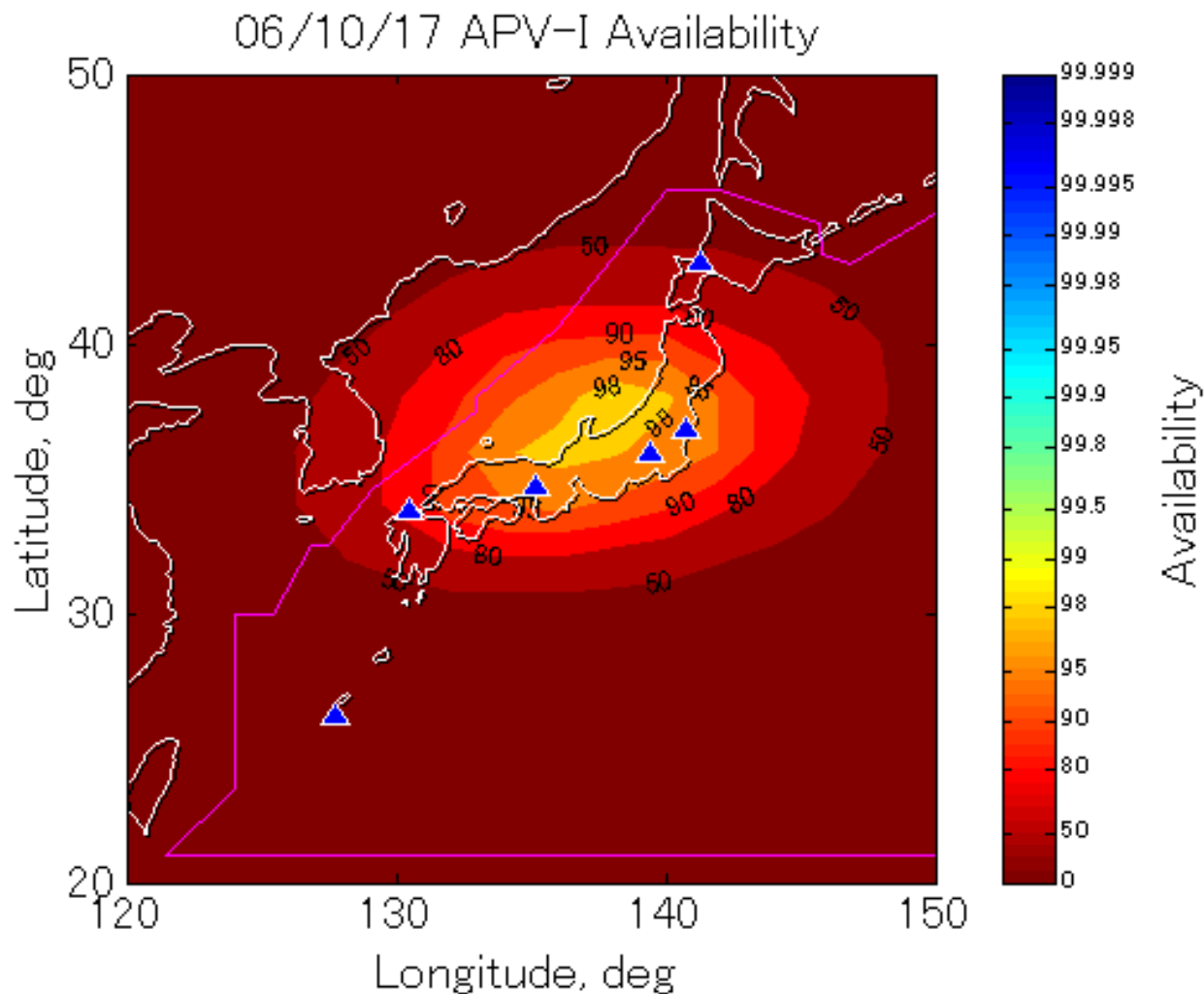
PRN129 (MTSAT-1R)  
Test Signal

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

NPAモードを  
利用可能な時間割合 (%)

(RNP 0.3に相当)

# アベイラビリティ分布例 (APV-I)



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

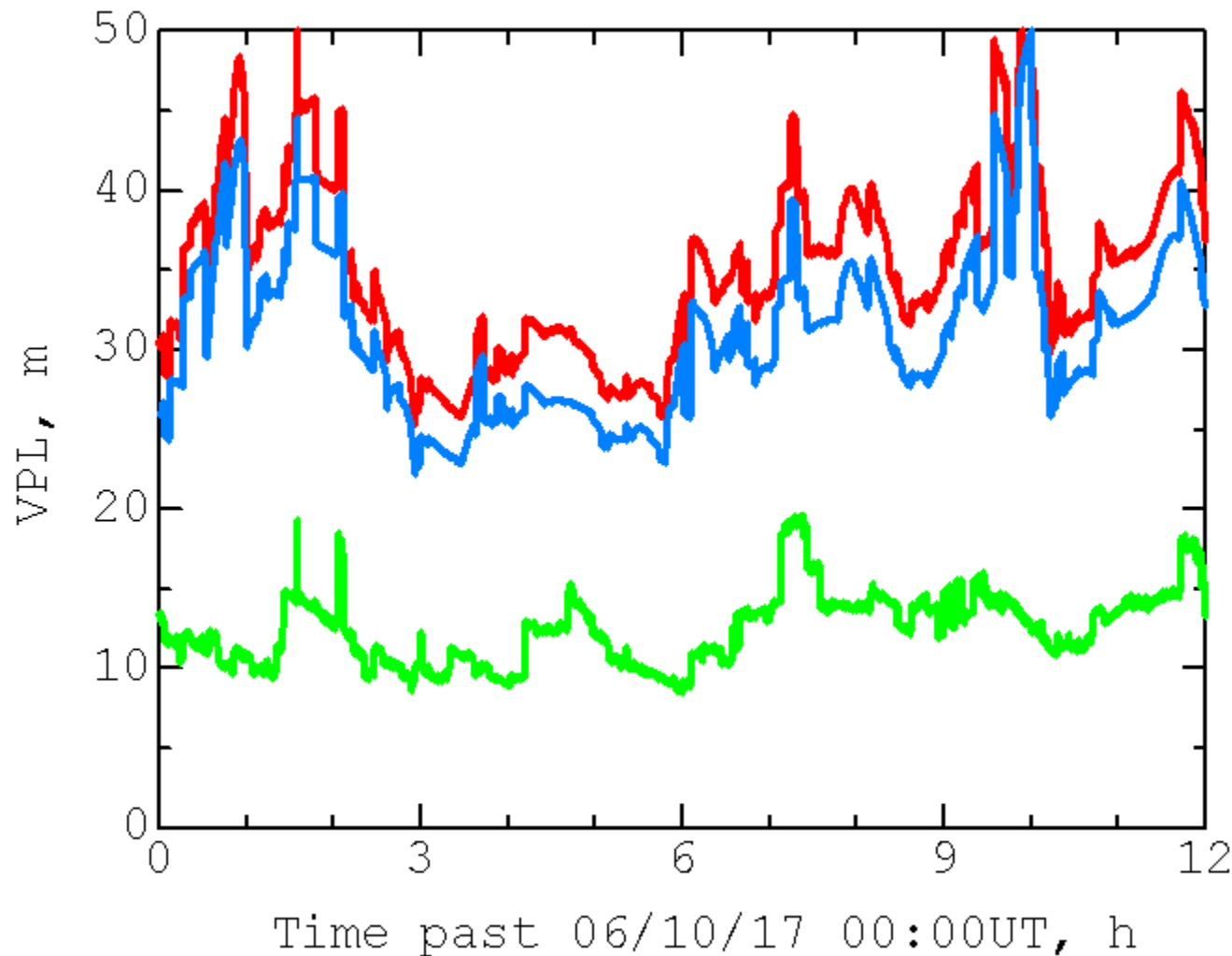
PRN129 (MTSAT-1R)  
Test Signal

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 (%)

(米国のLPV進入に相当)

# 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

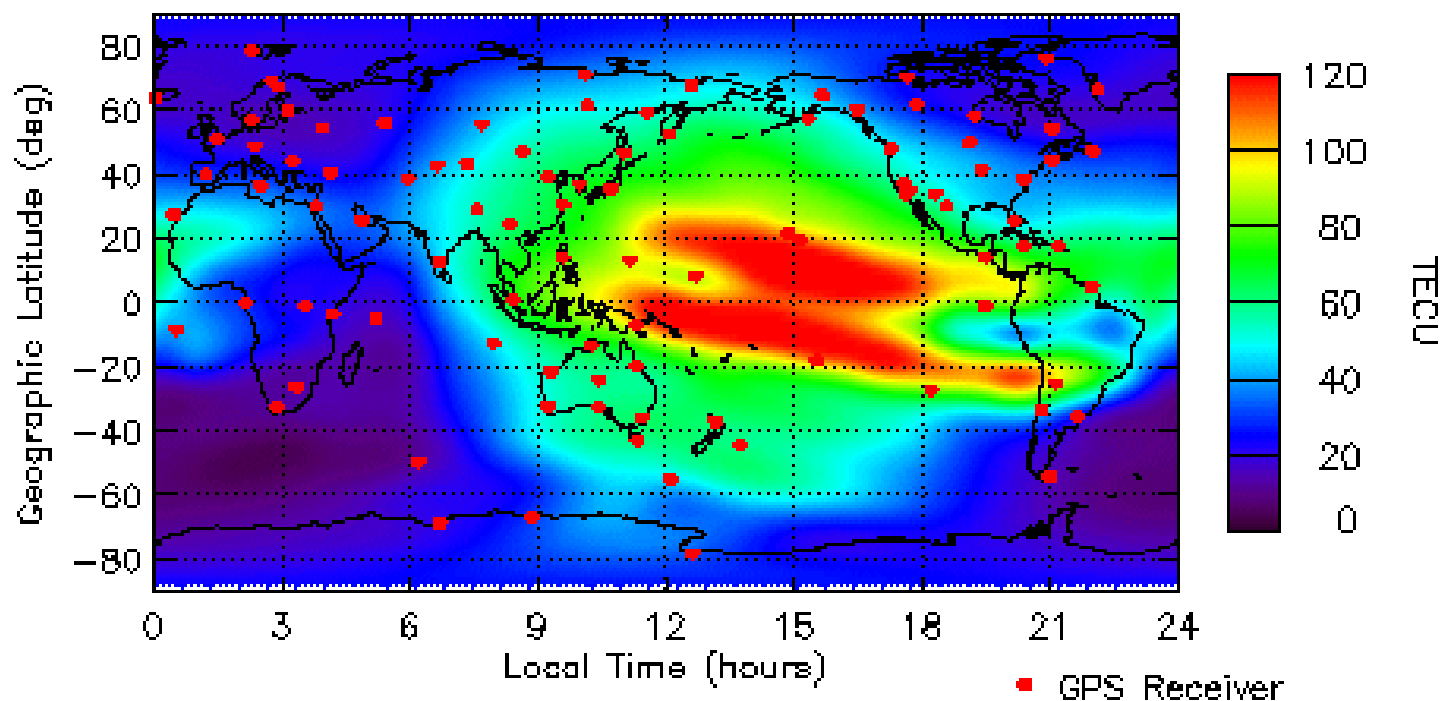
PRN129 (MTSAT-1R)  
Test Signal

- 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

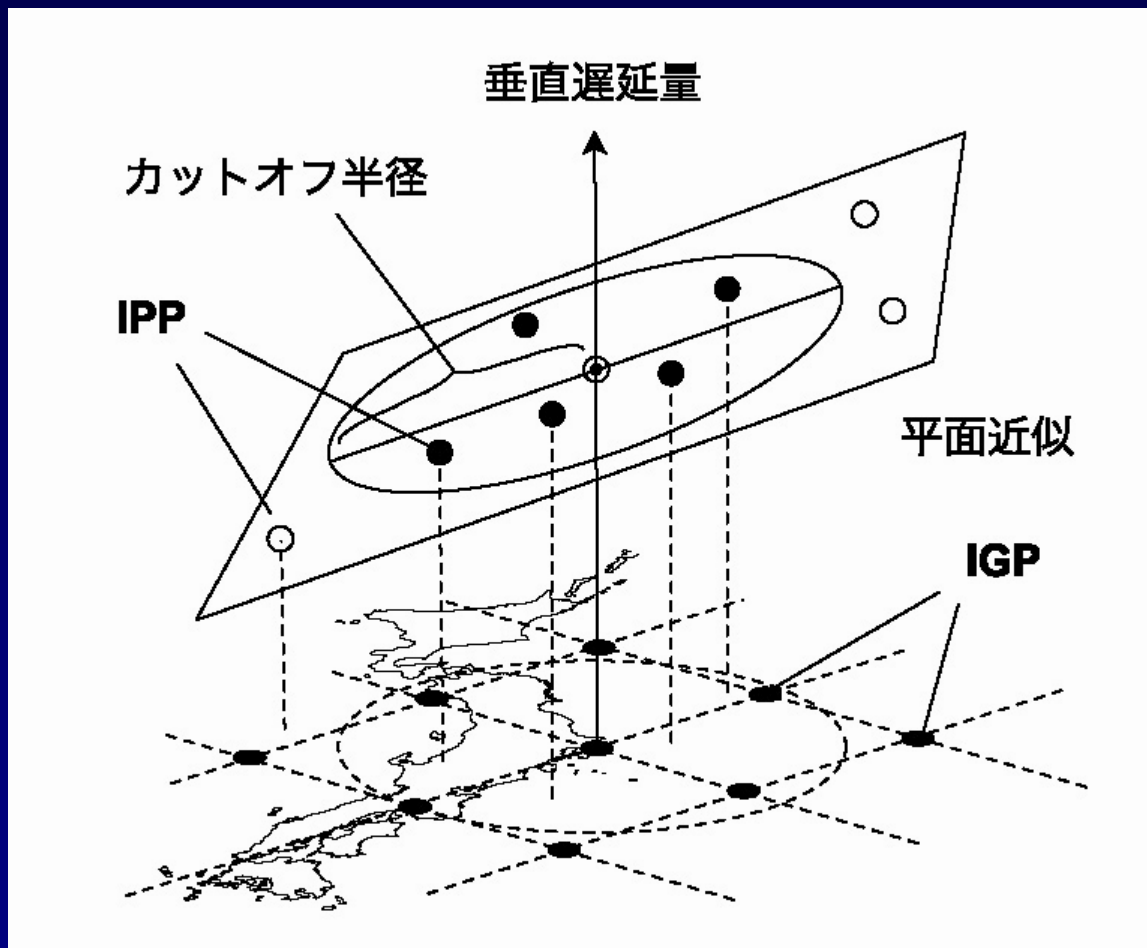
電離層  
遅延マップ  
(NASA/JPL)

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。

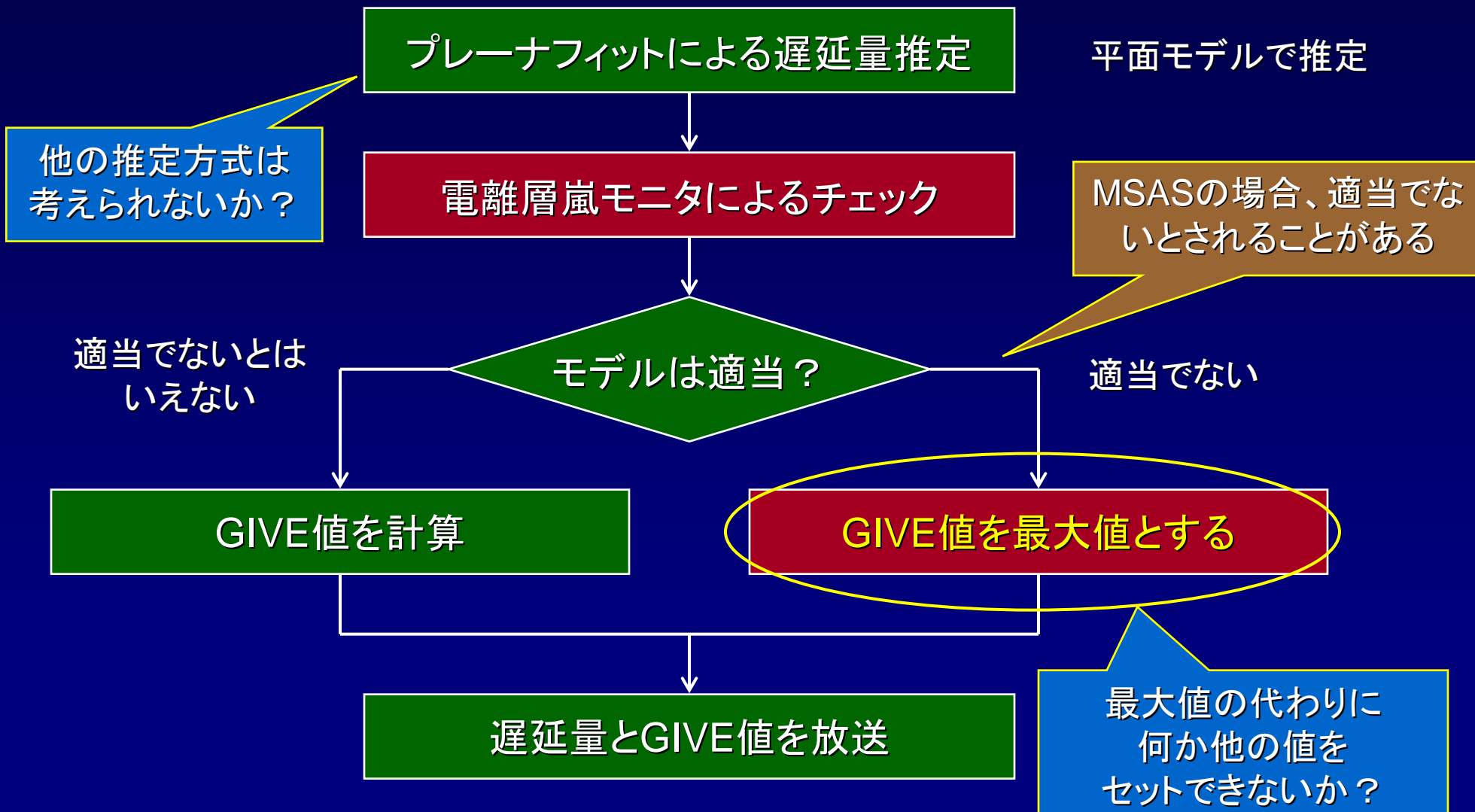
# 電離層遅延補正方式: プレーナフィット



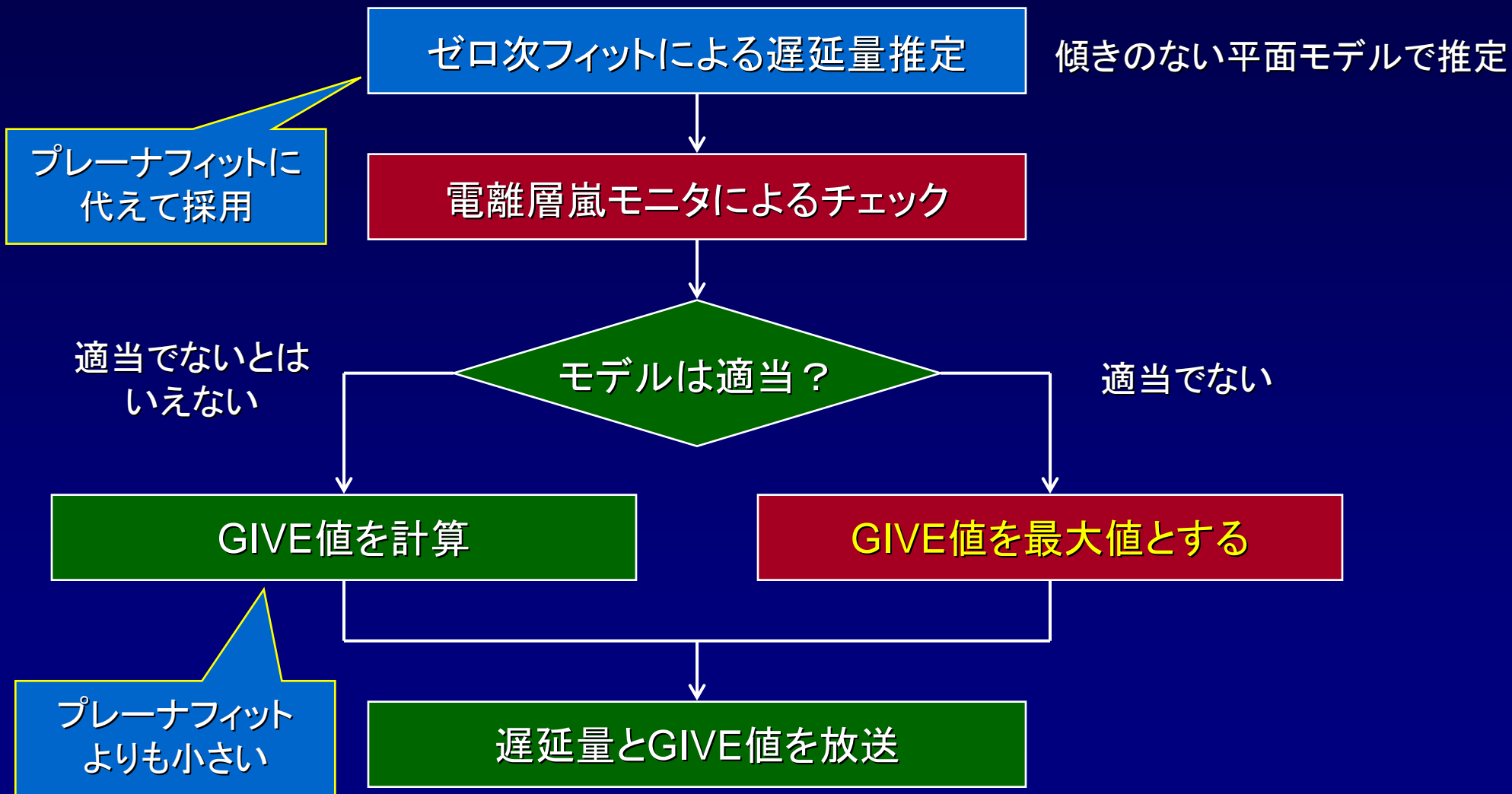
- 米国WAASのために考案された方式。
- MSASも同じ方式を使用(パラメータが若干異なる)。
- 平面モデルで電離層を近似し、遅延量とGIVE値を計算する。
- 平面モデルによる近似が妥当かどうか: 電離層嵐モニタでチェックする。

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

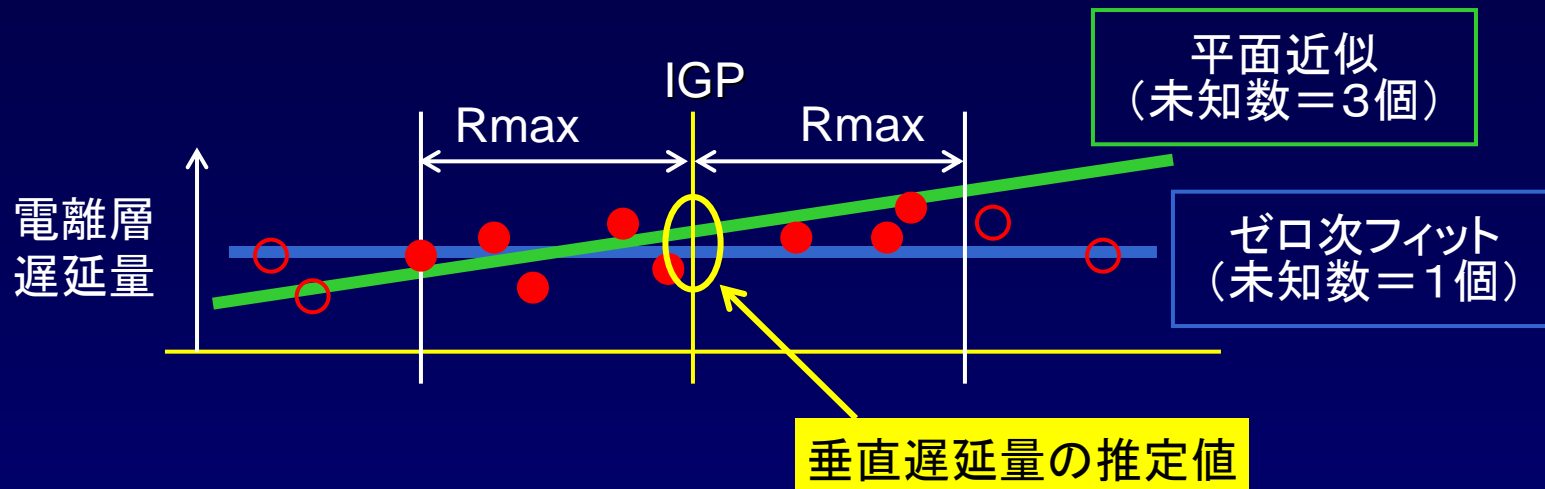


# 方式(1): ゼロ次フィット



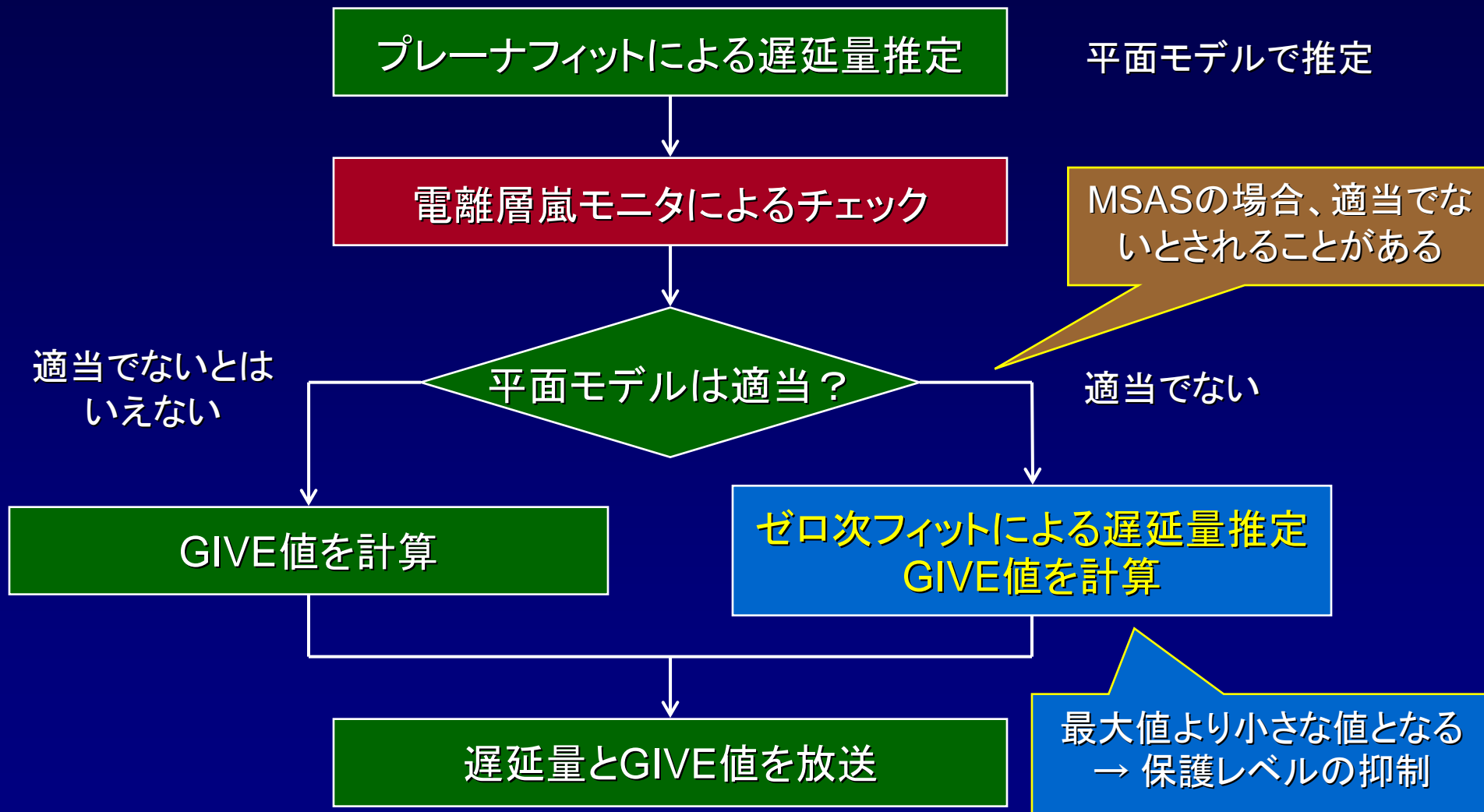


# ゼロ次フィット

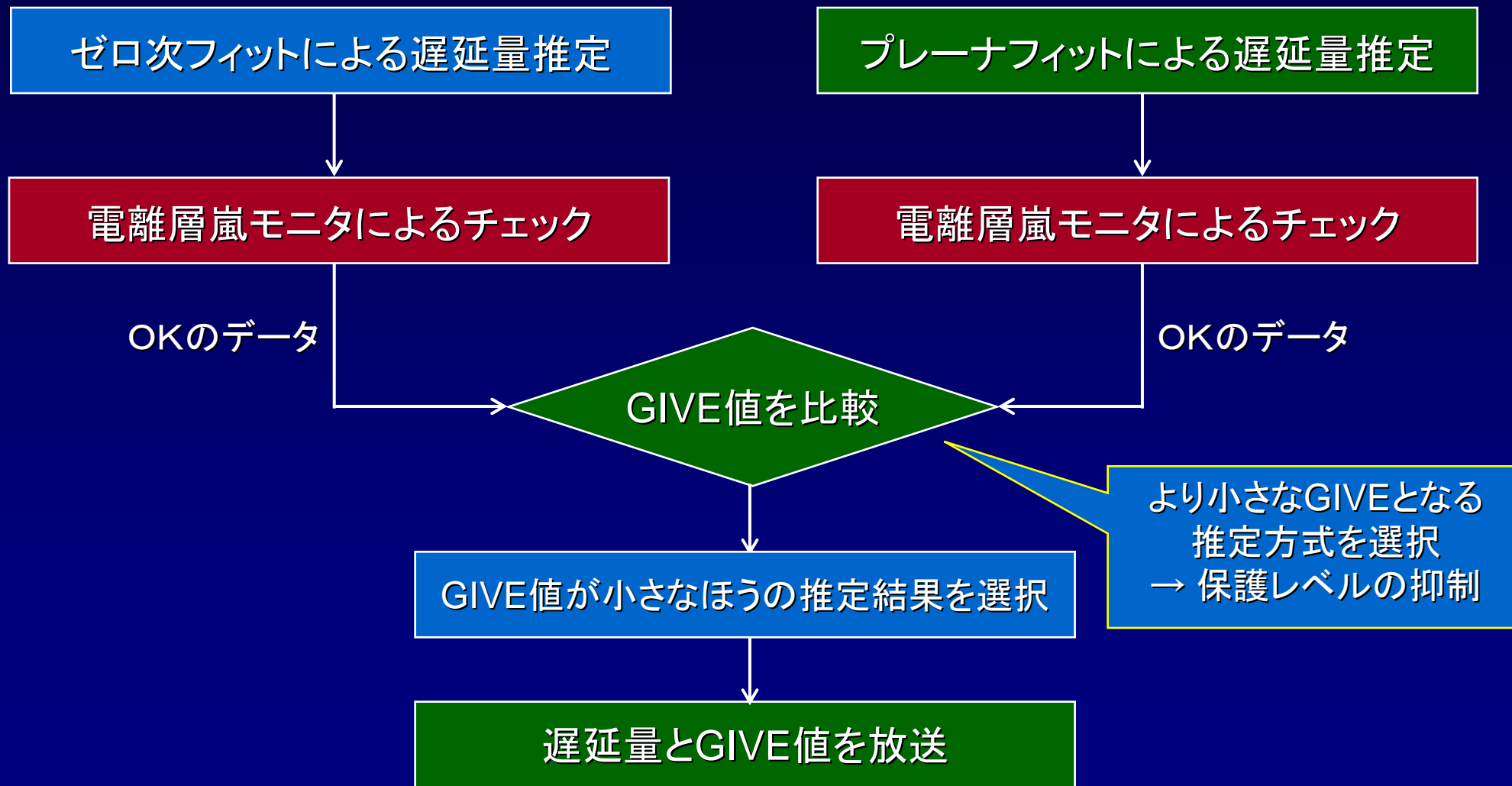


- 電離層嵐モニタが嵐状態と判定した場合：平面モデル(1次近似)は現実の電離層遅延量分布に当てはまらない。
- このような場合、1次に代えて**ゼロ次の近似**(傾きのない平面)が有効：
  - 推定すべき未知パラメータは1個ですむ(重み付き平均と等価)。
  - 次数を落とした、よりロバスト(安定)な推定。
  - 通常時の推定精度はプレーナフィットに比べて劣るが、**測定データが少ない場合でも的外れな推定はしない。**

# 方式(2): 適応ゼロ次フィット

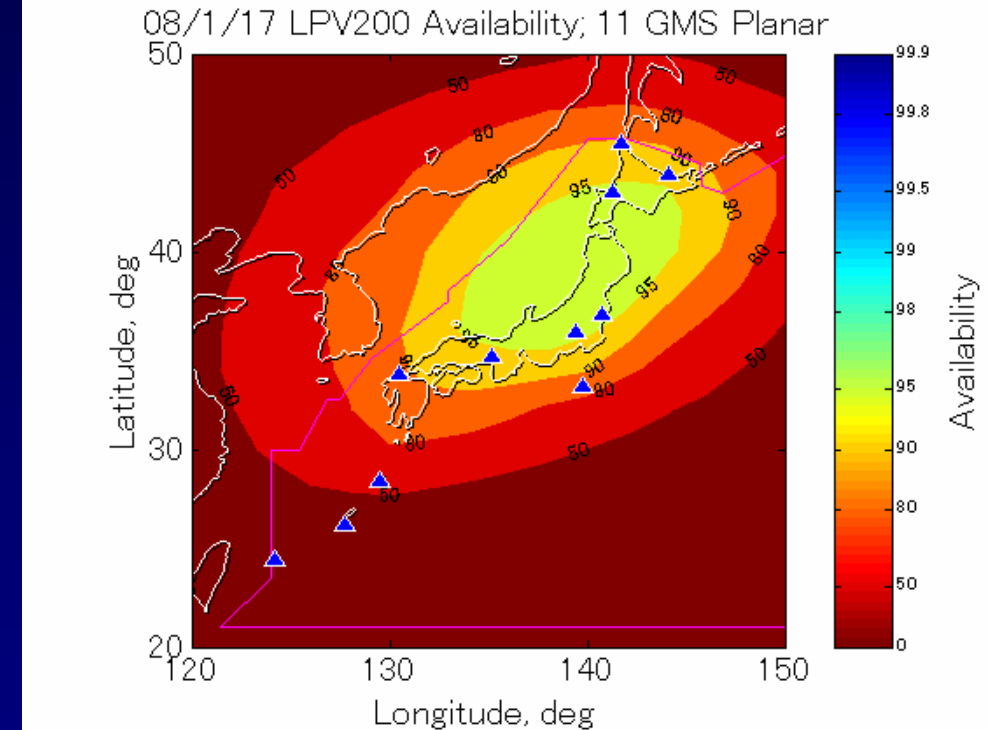
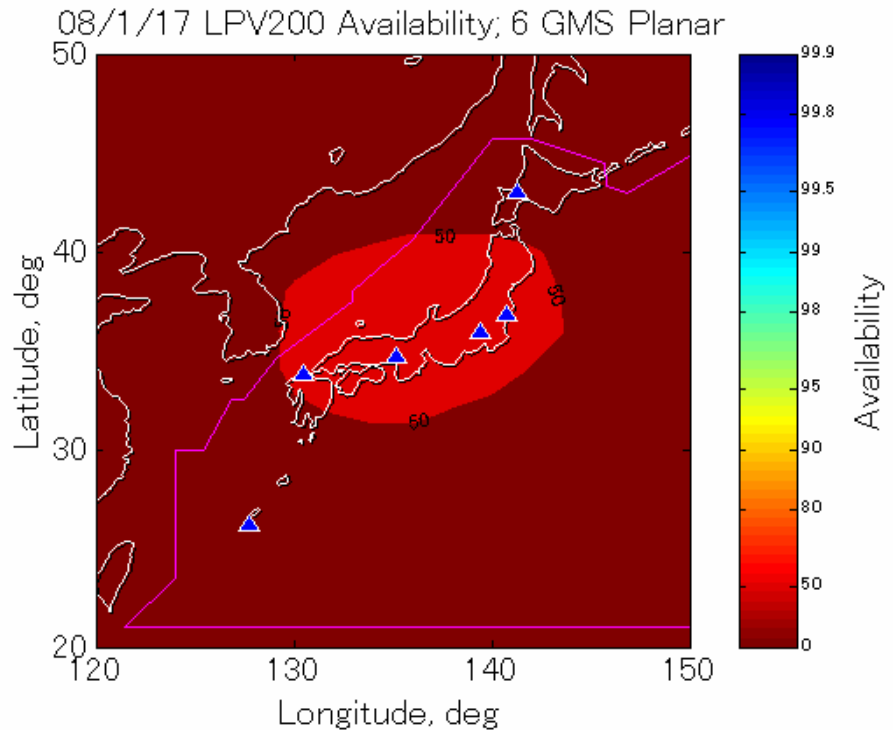


# 方式(3):最小フィット



# 性能評価: 現行MSAS

## CAT-Iモードアベイラビリティの計算例



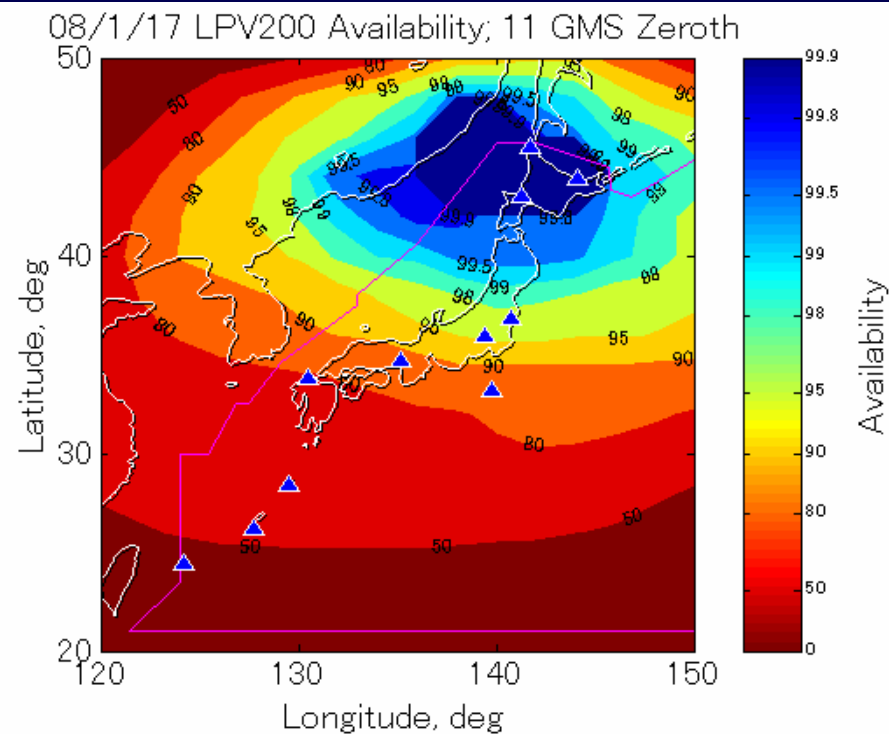
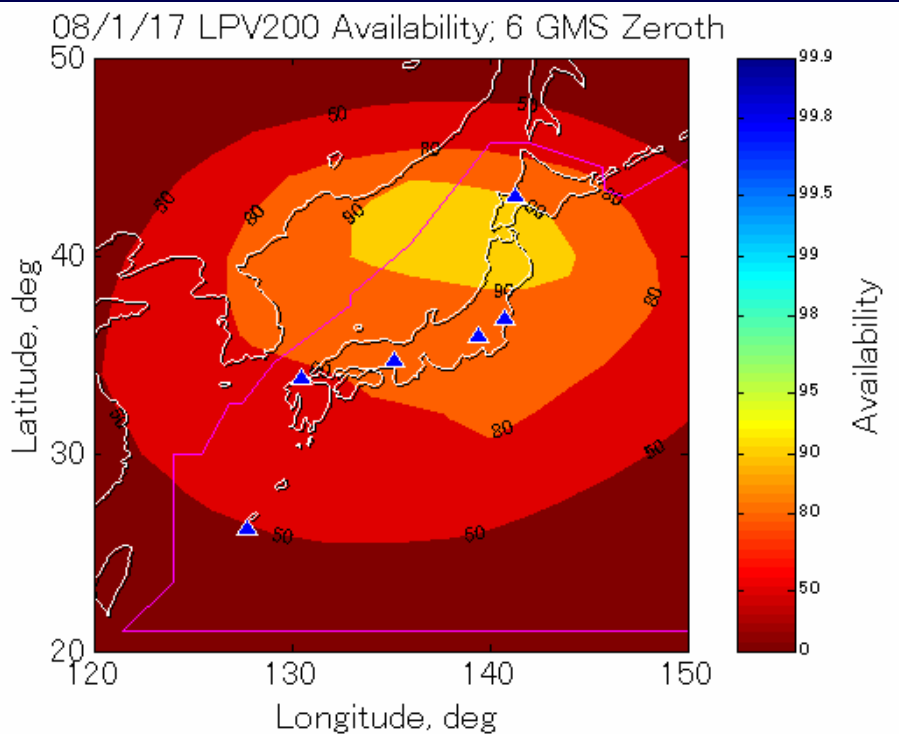
現行の地上局配置 (国内6局)

5局を追加した場合  
(稚内・女満別・八丈島・名瀬・石垣島)

- モニタ局の追加により、アベイラビリティ95%の地域が現れる。
- △はモニタ局の位置。

# 性能評価:方式(1)ゼロ次フィット

## CAT-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)

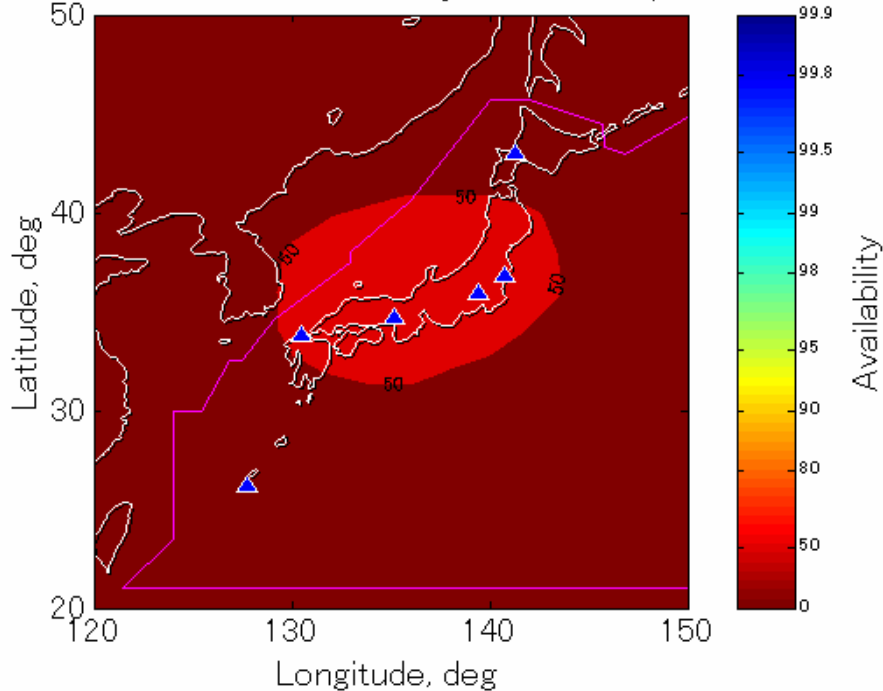
5局を追加した場合  
(稚内・女満別・八丈島・名瀬・石垣島)

- 5局を追加すると、北海道地方でアベイラビリティ100%の地域が現れる。

# 性能評価: 方式(2)適応ゼロ次フィット

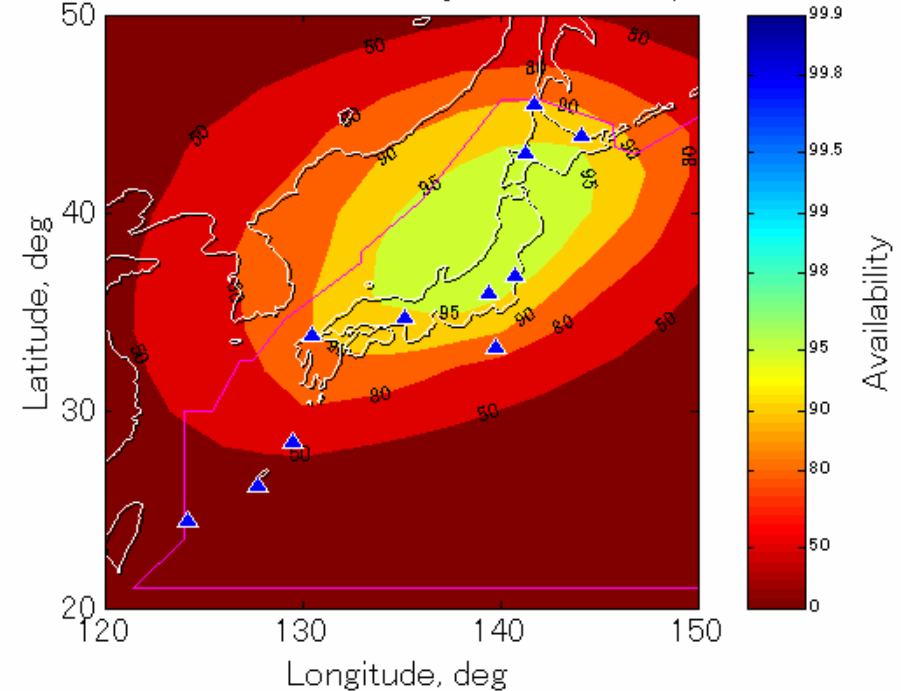
## CAT-Iモードアベイラビリティの計算例

08/1/17 LPV200 Availability, 6 GMS Adaptive 1



現行の地上局配置(国内6局)

08/1/17 LPV200 Availability, 11 GMS Adaptive 1



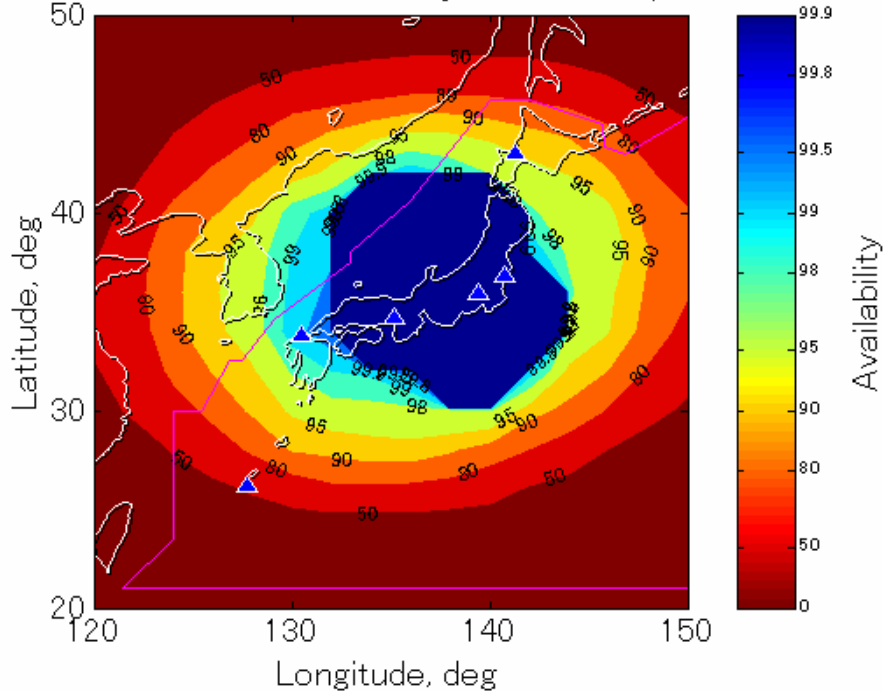
5局を追加した場合  
(稚内・女満別・八丈島・名瀬・石垣島)

- 現行アルゴリズムとあまり変わらない。

# 性能評価:方式(3)最小フィット

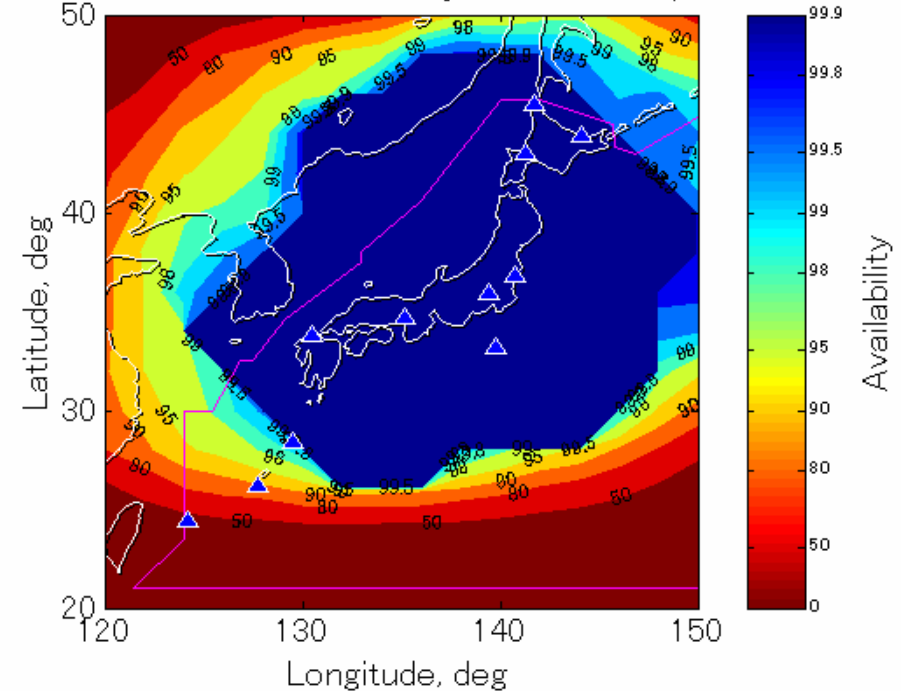
## CAT-Iモードアベイラビリティの計算例

08/1/17 LPV200 Availability, 6 GMS Adaptive 5



現行の地上局配置(国内6局)

08/1/17 LPV200 Availability, 11 GMS Adaptive 5



5局を追加した場合  
(稚内・女満別・八丈島・名瀬・石垣島)

- 現行GMS配置でも、アベイラビリティ100%の地域が現れる。
- 5局を追加して、北海道～九州でアベイラビリティ100%とできる。

# 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(RNP 0.3)まではアベイラビリティ100%。
  - APV(垂直誘導付進入)及びCAT-I進入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：日本全国でAPV-I進入、また北海道～那覇でCAT-I進入を常時利用可能とできる見通しを得た。
  - 性能向上は、MSASシステム側のGMS追加及びソフトウェア改修による：ユーザ受信機には何らの改修も必要としない。
- 今後の課題：
  - 改良方式について、過去の電離層嵐の際のデータを用いて検証する。
  - 最適な追加GMS局位置の検討及び動作パラメータの最適化。