

# 16. 日本FIRにおける インドGAGANの性能評価

---

平成27年度（第15回）電子航法研究所研究発表会

電子航法研究所 航法システム領域

麻生 貴広， 坂井 丈泰

# 発表内容

---

## 1. 背景

## 2. インドSBAS(GAGAN)の概要

## 3. GAGANを用いた評価

- ∅ 評価手法
- ∅ 日本でのGAGANの受信状況
- ∅ 非精密進入における性能評価

## 4. まとめ

# 1 . 背景

- n 航空機の航法においては、衛星航法システムの導入が世界的に進められ、米国のGPS（Global Positioning System：全地球測位システム）やロシアのGLONASS（Global Navigation Satellite System）が主に使用されている。
- n GPSを航空機の航法に利用するにあたっては、GPS自体の故障率や故障した際のユーザへの伝達遅れ等があり信頼性が足りない。そのためGPSを単独で航空機の航法に利用することができず、適切な補強システムが必要とされている。

エンルート/ターミナル/非精密進入には、以下の補強システムが使用されている。

- 航空機ベースの補強システム  
ABAS（Aircraft Based Augmentation System）
- **静止衛星型衛星航法補強システム**  
**SBAS（Satellite-Based Augmentation System）**

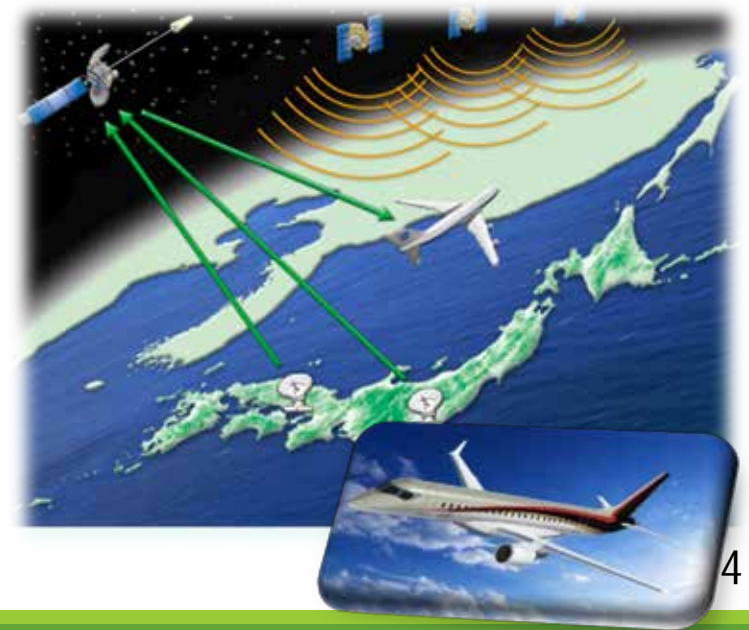
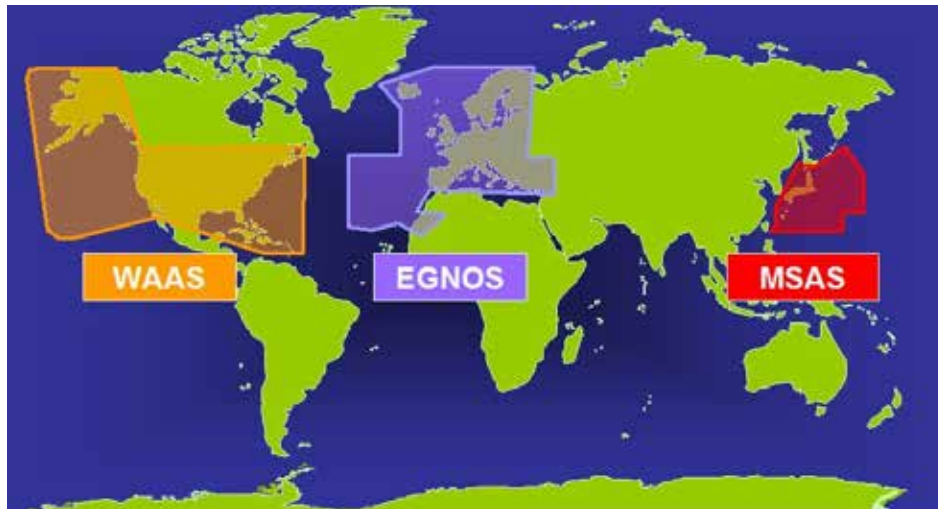
また、精密進入には以下の補強システムが使用されている。

- 地上型衛星補強システム  
GBAS（Ground-Based Augmentation System）

n 日本においては、国土交通省航空局がSBASを整備し、2007年9月から日本のFIRでサービスを開始。

MSAS (MTSAT Satellite-based Augmentation System:  
運輸多目的衛星用航法補強システム)

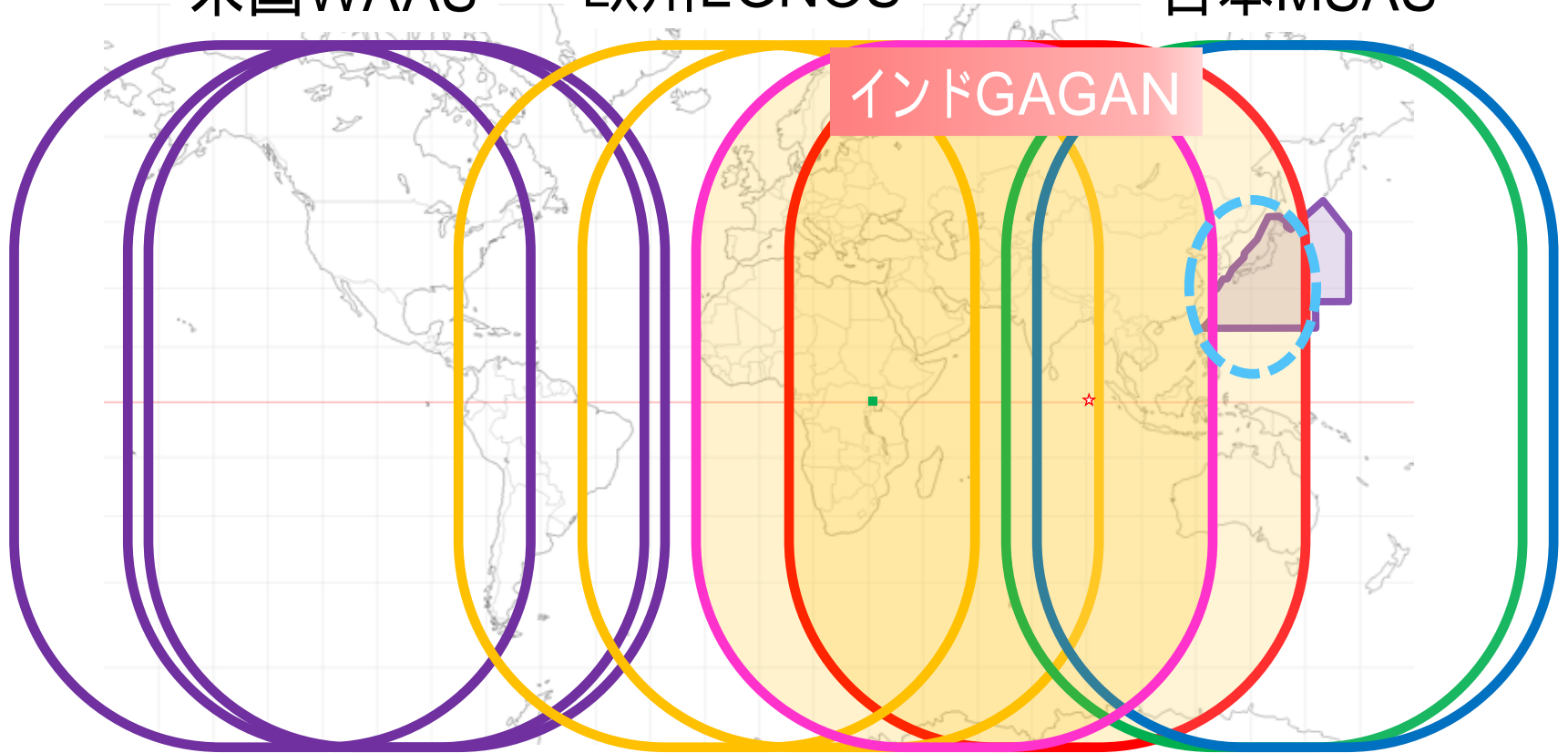
n しばらくの間、SBASは米国のWAAS,日本のMSAS,欧州のEGNOSでサービスを行ってきた。



米国WAAS

欧州EGNOS

日本MSAS



インドGAGAN

## SBAS静止衛星のカバレッジ

- n 2014年：インドのSBAS(GAGAN)が日本でも受信され始めた。
- n SBAS受信機はMSASではなくGAGANを使ってしまう場合が有り得る。



日本のFIRを飛行するSBAS受信機を搭載した航空機について、**GAGANを使用した場合の安全性**を評価する必要がある。

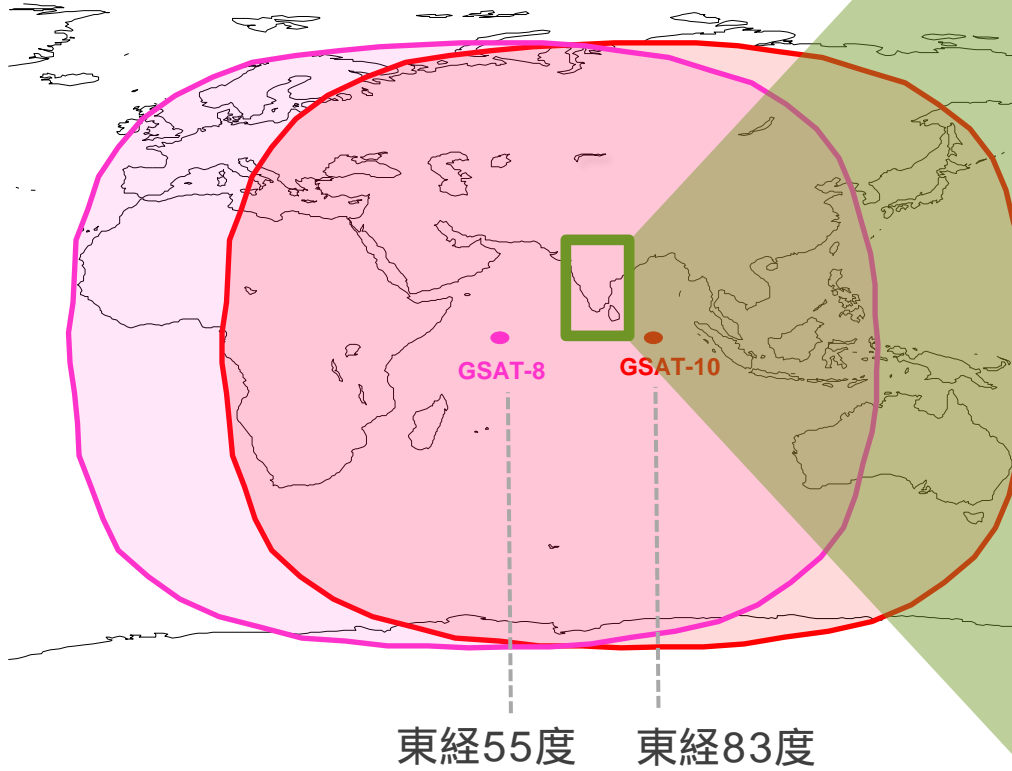
## 2 . インドSBAS ( GAGAN ) の概要



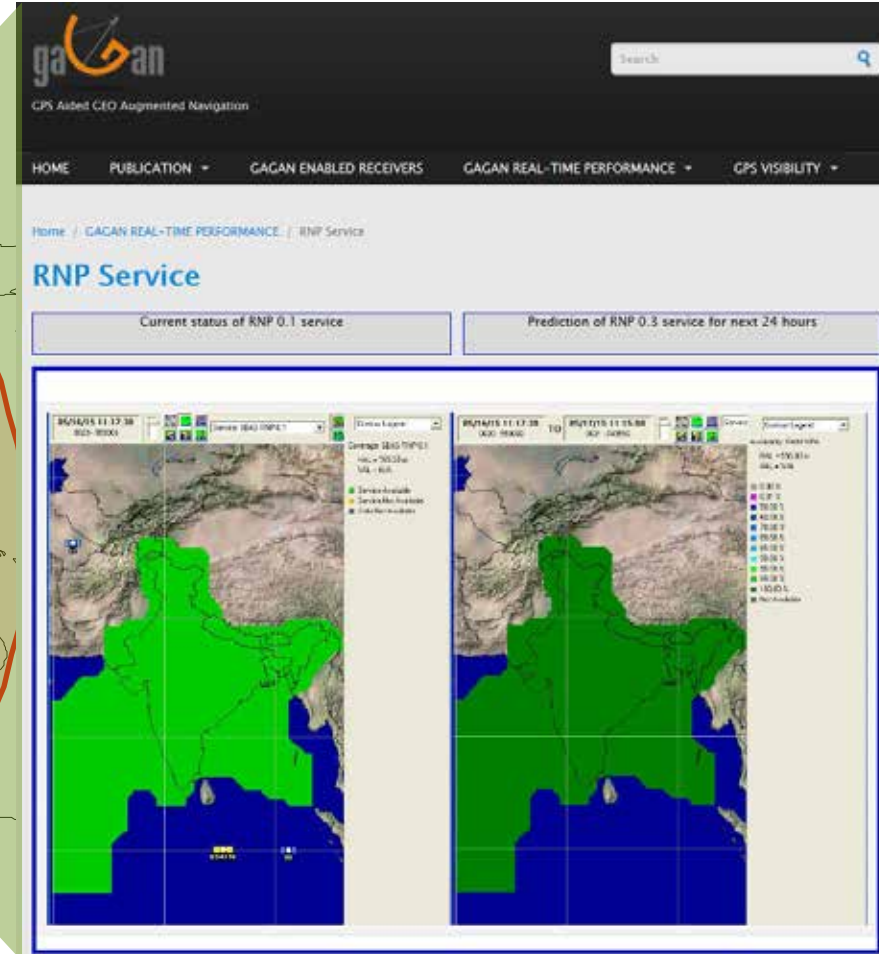


- n GAGAN(GPS Aided GEO Augmented Navigation)は、インドの FIRにおける航空交通流の改善に向けた、航空機の航法に適した精度やインテグリティを提供するSBASシステムである。
- n システム開発を担当するインド宇宙研究機関ISRO ( Indian Space Research Organisation ) と SBASサービスプロバイダのAAI ( Airports Authority of India ) による共同プログラム。
- n 2009年の実証フェーズを経て、2013年に最終運用フェーズへ移行。その後、インド航空局DGCA ( Directorate General of Civil Aviation ) により2013年にRNP0.1が認証され、2014年2月から正式に運用が開始。現在、APV-1に向けた認証の作業中。



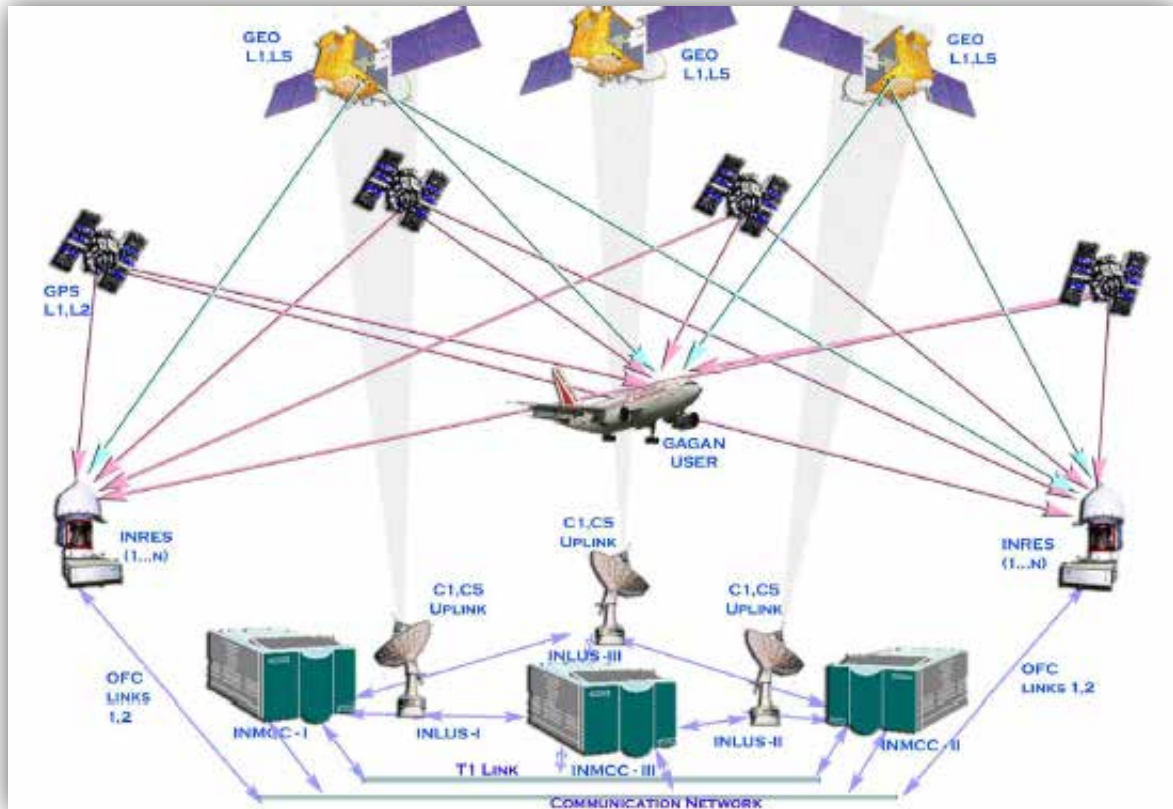


(アンテナ中心方向は70度)

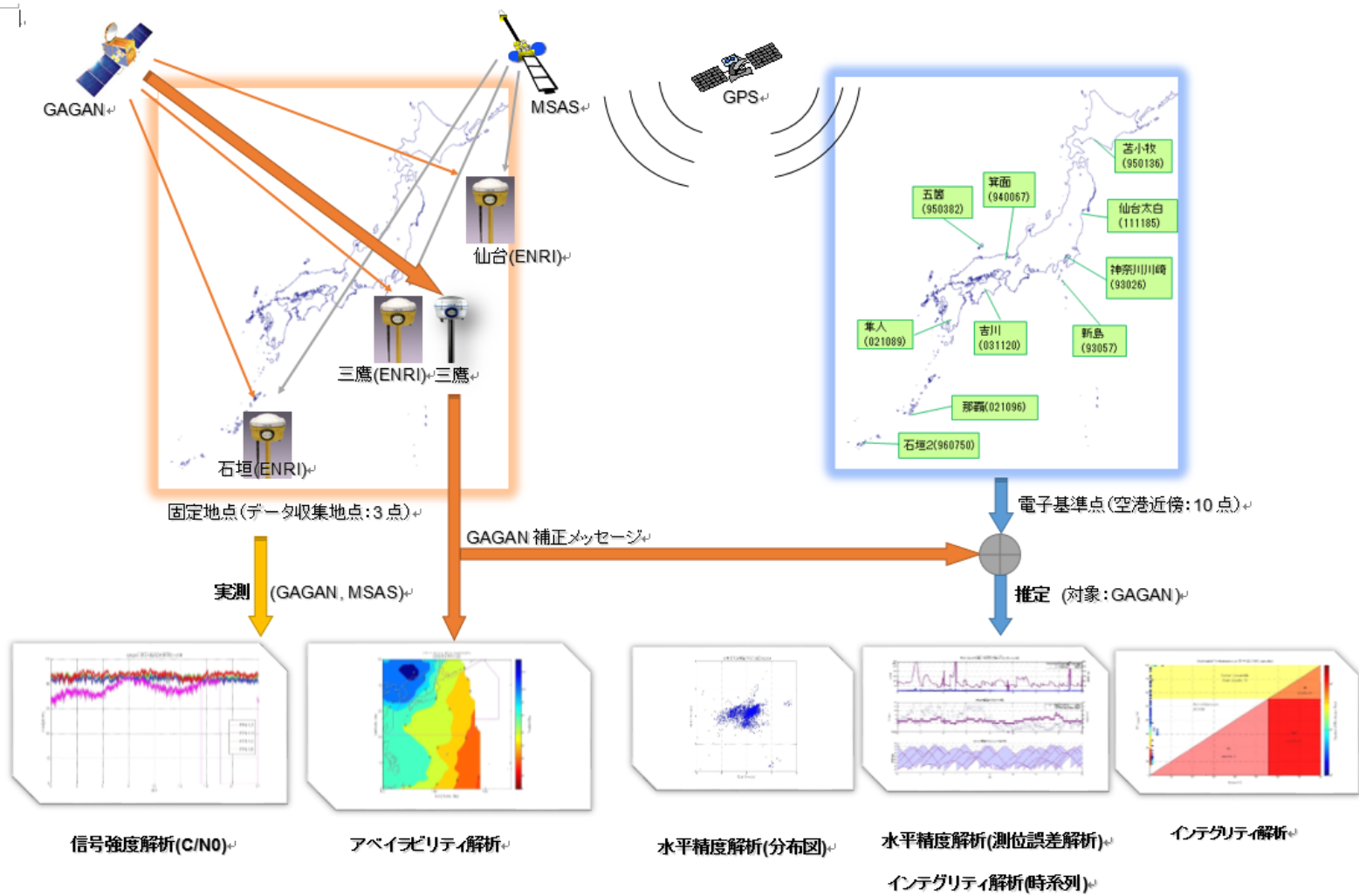


## <システム構成>

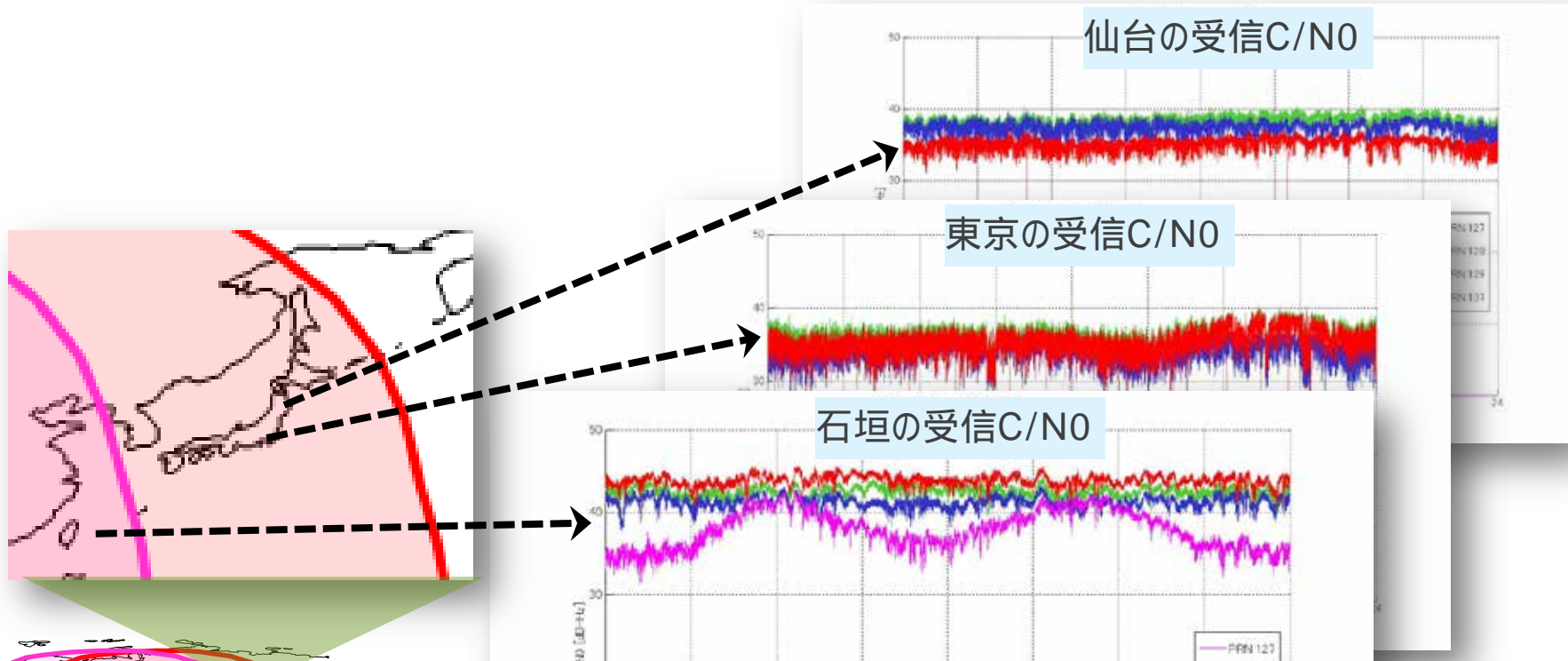
- ⊘ 地上監視局(INRES) : 15
  - ⊘ 統制局(INMCC) : 3
  - ⊘ ネットワーク装置
  - ⊘ アップリンク局(INLUS) : 3
  - ⊘ 静止衛星 : 2
- ( + 1機打上げ予定 )



# 3 . GAGANを用いた評価 手法



### 3-1 日本でのGAGANの受信状況



GAGAN (PRN128)とMSAS (PRN129, PRN137)の受信強度を比較すると次のとおり。

┃ 仙台：MSAS > GAGAN

┃ 東京：MSAS ≒ GAGAN

┃ 石垣：MSAS < GAGAN

## 3-2 非精密進入における性能評価

### ICAO SARPs

オペレーション	95%精度 (Horizontal)	インテグリティ	アベイラビリティ	アラート・リミット(HAL)
エンルート	2NM	$1-1 * 10^{-7}/h$	0.99- 0.99999	2NM
ターミナル	0.4NM	$1-1 * 10^{-7}/h$	0.99- 0.99999	1NM
<b>非精密進入 (NPA)</b>	220m ( 0.12NM)	$1-1 * 10^{-7}/h$	0.99- 0.99999	<b>0.3NM (=556m)</b>

# SBAS機上装置

(SBAS対応 機上GPS受信機)

## SBAS信号(GPS補強信号)受信

RTCA DO-229に基づく  
SBAS受信機の流れ

補強メッセージを用いて自機位置を計算

水平保護レベル(HPL)を計算

警報限界(水平アラート・リミット：  
HAL)と比較

航法オペレーションの可否

RNP\_APCHなど

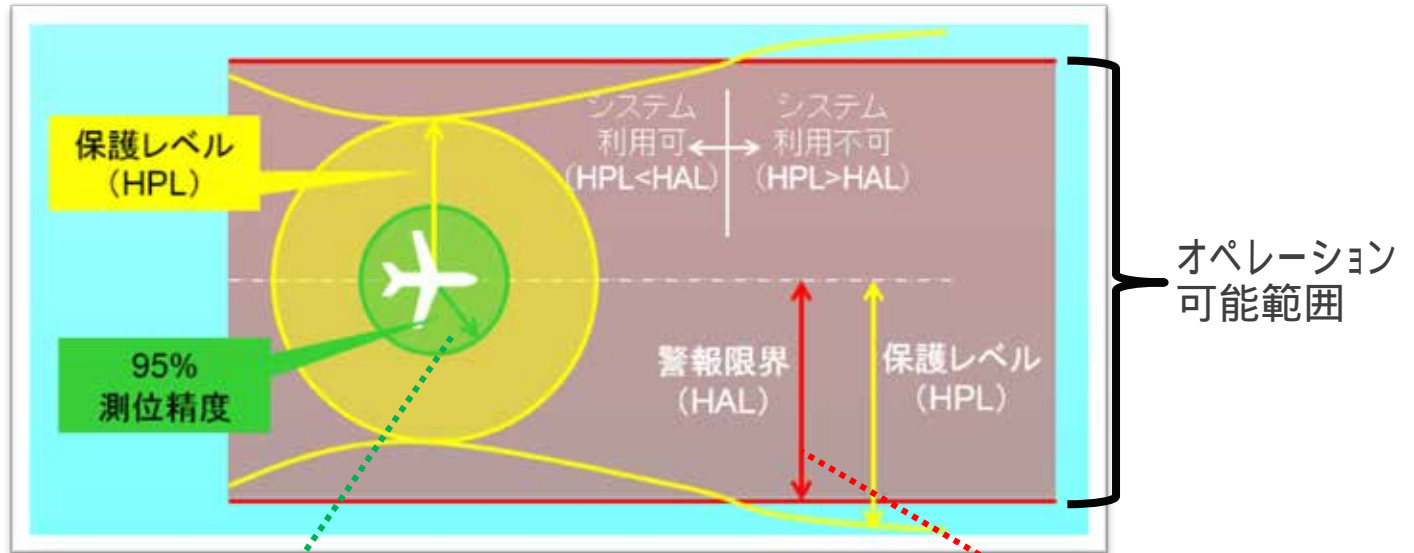
パイロットへの警報



出典：ユニバーサル社



# SBASの基準



オペレーション	95%精度	インテグリティ	アベイラビリティ	アラート・リミット(HAL)
非精密進入 (NPA)	220m	$1-1 \times 10^{-7}/h$	0.99-0.99999	0.3NM (=556m)

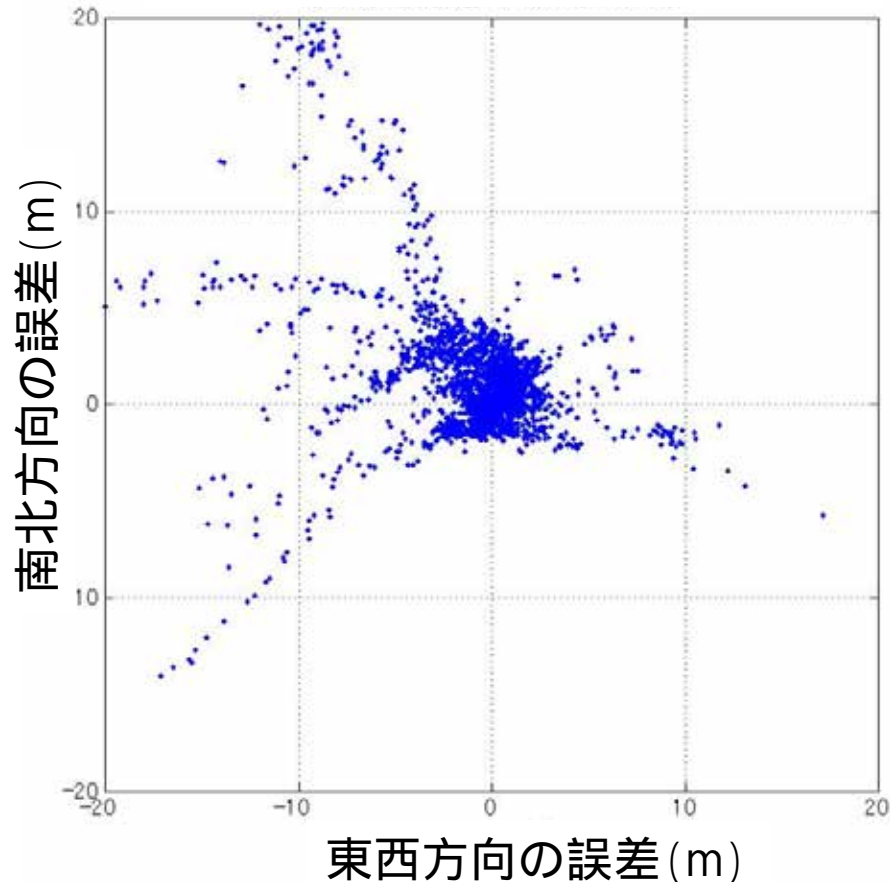
インテグリティを満足するには常に  
位置誤差 < HPL  
の関係にあること。

HPL < HAL  
を満足する時間率



# 95%精度の評価

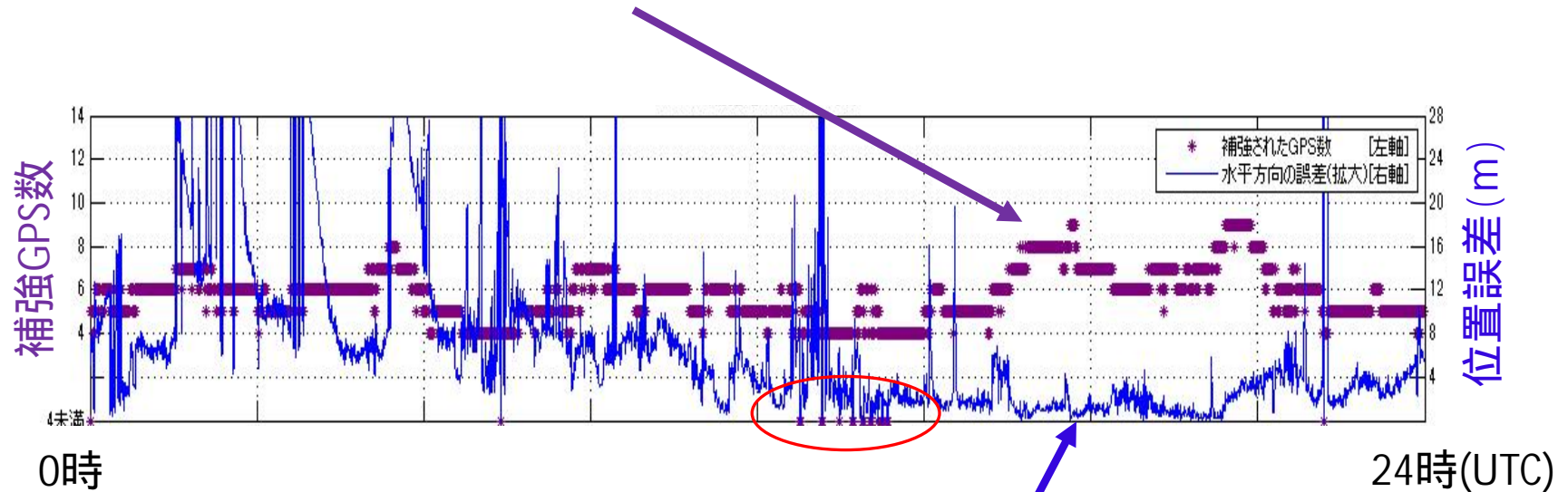
GAGAN(PRN128)で補強した場合の  
水平誤差



東京での(例)

- GAGANの補強を用いて測位計算した結果を、真の座標を中心に東西方向及び南北方向の誤差として1日分をプロットしたものの。
- 水平位置誤差は概ね真値  $\pm 20\text{m}$  の範囲に収まっているものの、まれに放射状に発散している。

GAGANによって補強されるGPSの数を時系列に表示。

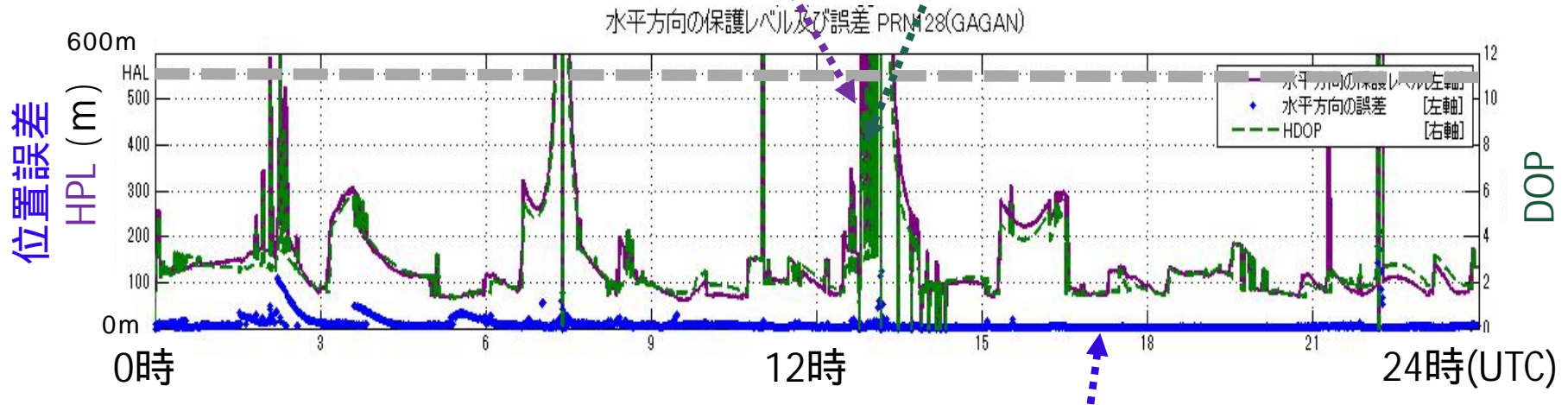


横軸をUTC 0 ~ 24時として、縦軸に水平面における位置誤差を時系列で表示。

- 1日の後半で補強GPS数が増加傾向にある時は、位置精度も比較的lowめに安定している。

GAGANによって補強された水平保護レベル値(HPL)を時系列に表示。

GAGANによって補強されたGPSの配置による水平DOP値。



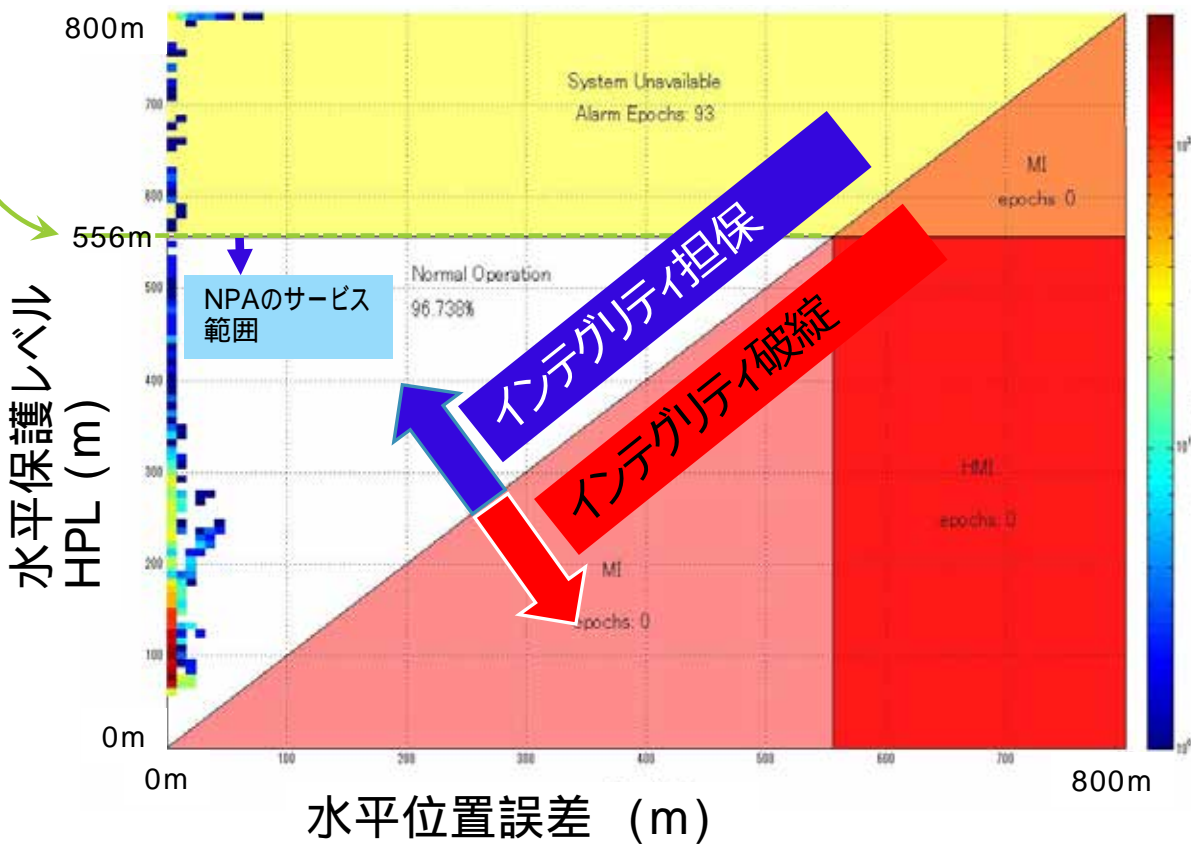
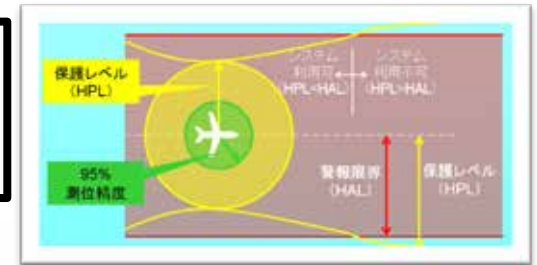
横軸をUTC 0～24時として、縦軸に水平面における位置誤差を時系列で表示。

- **誤差**: 大きいところで100mであるものの、非精密進入の要件である精度220m(95%)を十分満足している。
- **HPL**: 概ね100-300m程度であるものの、まれに警報限界HAL(556m)を超えていることが分かる。
- HPLはDOPに対して強い相関があることが分かる。HPLの劣化がGAGANで補強される「GPSの幾何学的配置」に起因していることが分かる。

# インテグリティの評価

NPAのアラームリミットは556m  
受信機が計算したHPLの値が  
これ以下であればNPAサービス可能

インテグリティ担保とは常に  
**HPL > 位置誤差**  
の関係にあること。

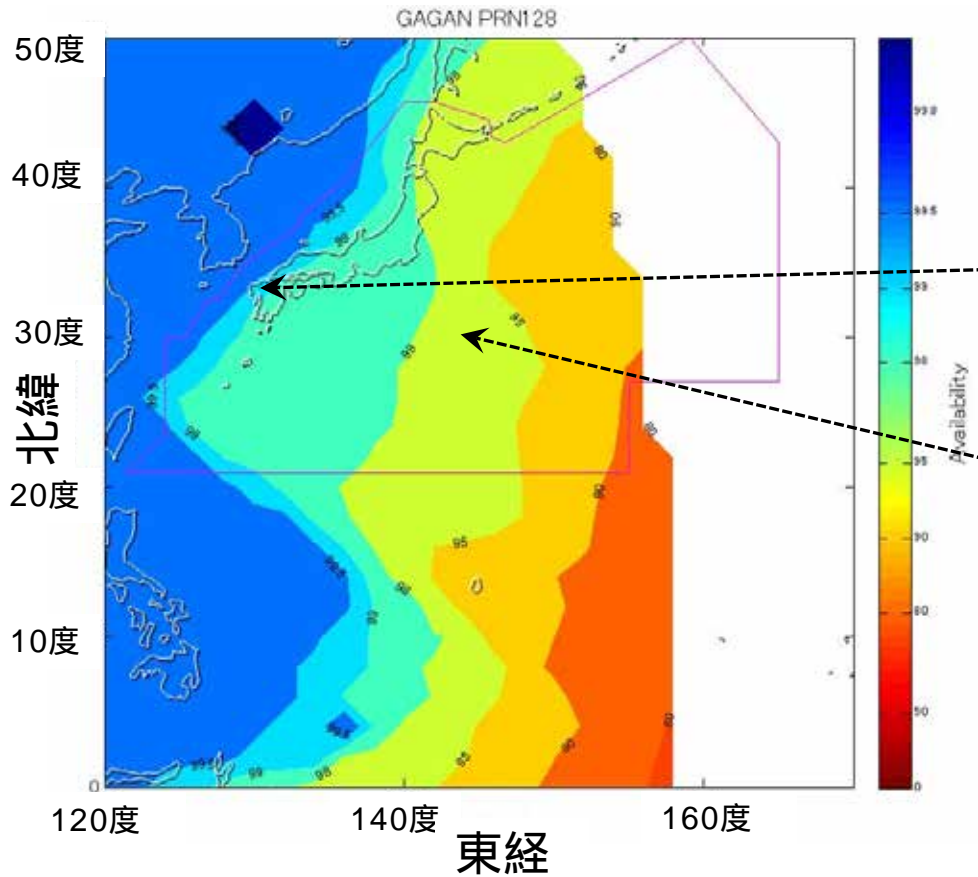


測位誤差とHPLの関係  
(スタンフォードチャート)

仮に斜線より右のエリアにプロットがある場合はインテグリティが保たれておらず、航空機が危険な状態にあることを示す。

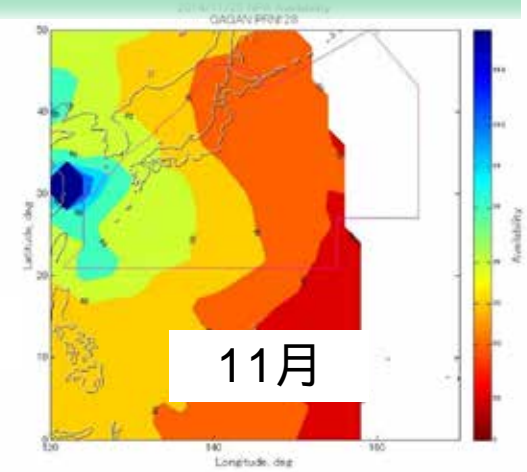
保護レベルが常に誤差より大きい(誤差をバウンドしている)ことを確認することでユーザが危険な状態になかったことが分かる。

# アベイラビリティの評価



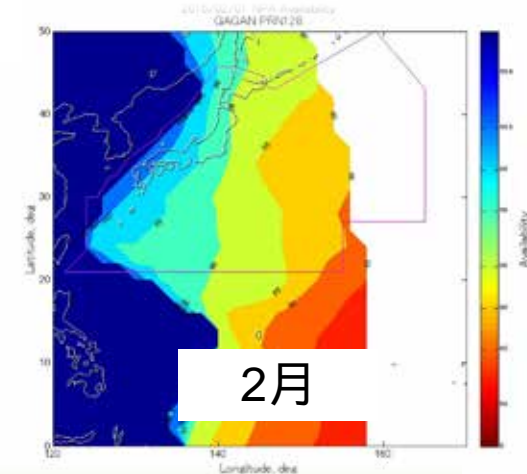
99%

11月



95%

2月



GAGANを使用した際のアベイラビリティ  
11月は80 ~ 98%, 2月は90 ~ 99.8%  
NPAサービスの規定 ( ICAO 99 ~ 99.999% / 日本99.9%以上 )



## 4 . まとめ

- | 日本のFIR内において、GAGAN ( PRN128 ) はほぼ全域において安定した受信が可能。東京以西ではMSASより受信信号強度が高いことが確認された。
- | 非精密進入の要件である95%精度220m以内であり、常に保護レベルが誤差を大きくバウンドしており、インテグリティが担保されていることを確認した。
- | 一方、アベイラビリティについては、補強可能なGPS数が4基に満たない時間帯や水平保護レベルHPLがHAL ( 556m ) を超える時間が発生しており、2014/11から2015/2の間は80 ~ 99.8%であった。
- | GAGANは今後、更に日本に近い東経93.5度に位置するGSAT-15の打ち上げを2015年7月に予定している。更には、新たに運用が予定されているSBASとして、ロシアのSDCM、韓国のK-SBAS、中国のBD-SBASがある。
- | 日本周辺でのSBAS環境が充実してくることでシームレスな運航が可能となり、SBASユーザにとってはメリットがある一方、SBAS受信機が自動で適切なSBASを選択できるか問題が残る。
- | 引き続きMSASと他国のSBASについて相互運用性も考慮しながら、十分な性能評価を行う予定である。

ご清聴ありがとうございました。