

# 2周波SBASの検討

電子航法研究所

第6回研究発表会(平成18年度)

2006年6月1-2日

通信・航法・監視領域

\* 星野尾 一明、伊藤 実、松永 圭左

# 発表内容

1. 研究の背景
2. 電子航法研究所の取り組み
3. MSAS試験信号の性能
4. SBAS CAT-I実現に必要な性能とMSASの性能の位置付け。
5. サービスボリュームモデル (SVM: Service Volume Model) による2周波SBASアベイラビリティ等の予測。
6. まとめ

# 研究の背景

## 2周波SBASをなぜ考えるか。

### 現状:

- ・現状では、SBASによるCAT-I精密進入は実現は困難、APV進入の利用率が十分でない。

### 理由:電離層活動の影響が大きい。

- ・日本付近で電離層格子点が嵐とされ電離層情報が利用できない割合は30-40%と大きい。
- ・電離層誤差を示すGIVEがWAASに比して大きい。
- ・日本は磁気赤道に近く電離層活動が活発。電離層不規則構造
- ・プラズマバブルの影響を受けやすい。
- ・日本列島に沿ったモニター局配置しかできないため電離層データが少なめである。

### 外国、ICAO:

- ・GPSの脆弱性が指摘され、ロバスト性向上のため民間用のL5信号が追加されることとなった。
- ・L5を搭載したGPS衛星が2007年ごろより打ち上げられる。
- ・L1/E5を搭載するGALILEOの運用が2008年に計画されている。
- ・ICAOでL1/L5による2周波SBASが検討されている。

# 電子航法研究所の取り組み

## SBAS CAT-I 運用とAPV利用率向上を目指す研究。

- ・2周波(L1+L5)システム要件検討とSVMによる性能予測。

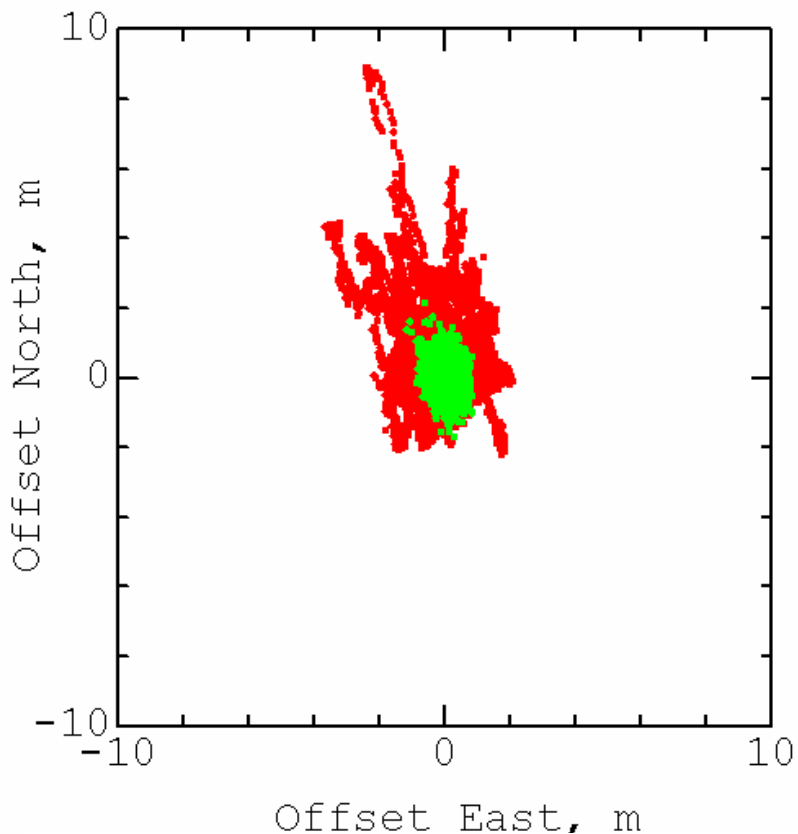
### L5追加による要件:

機能構成上の要件, メッセージフォーマットの変更, メッセージ放送タイミング, 電離層補正方式, 複数周波数利用方式, 誤差配分, 要件配分

- ・2周波システム性能実証
  - －2周波受信機による実証実験
- ・電離層プラズマバブル対策、到来予測
- ・1周波システム電離層性能向上

# MSAS試験信号による性能の例と電離層の影響—測位精度—

アベイラビリティ NPA : 100.0%、 APV1 : 89.8%

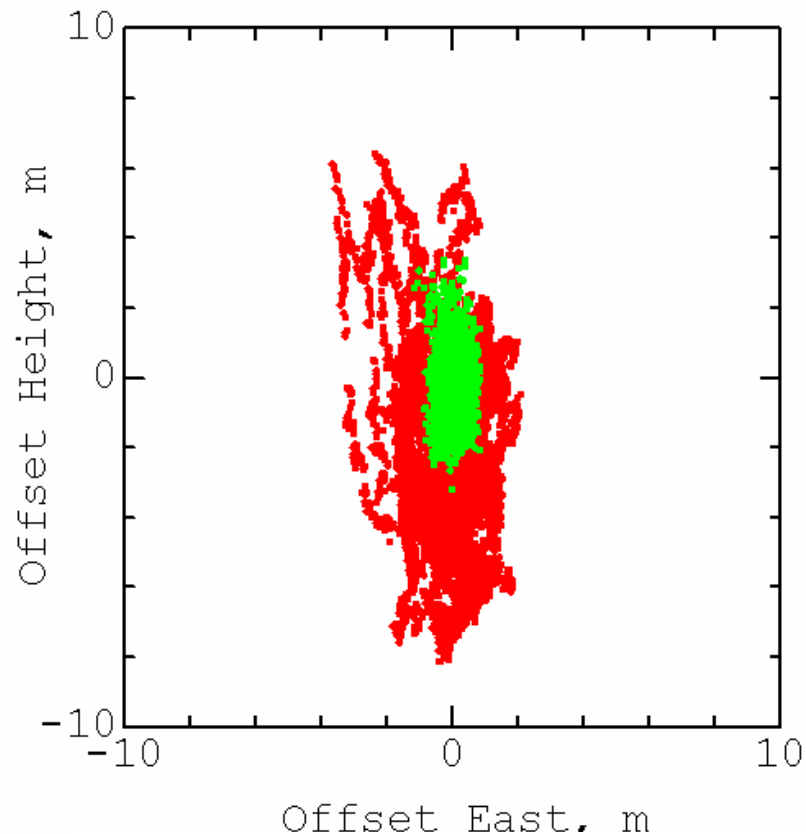


## 水平測位誤差 (m)

MSAS:RMS 0.412 m, MAX 2.211m

GPS:RMS 1.668 m, MAX 9.216 m

緑 MSAS、赤 GPS



## 垂直測位誤差 (m)

MSAS:RMS 0.710 m, MAX 3.361 m

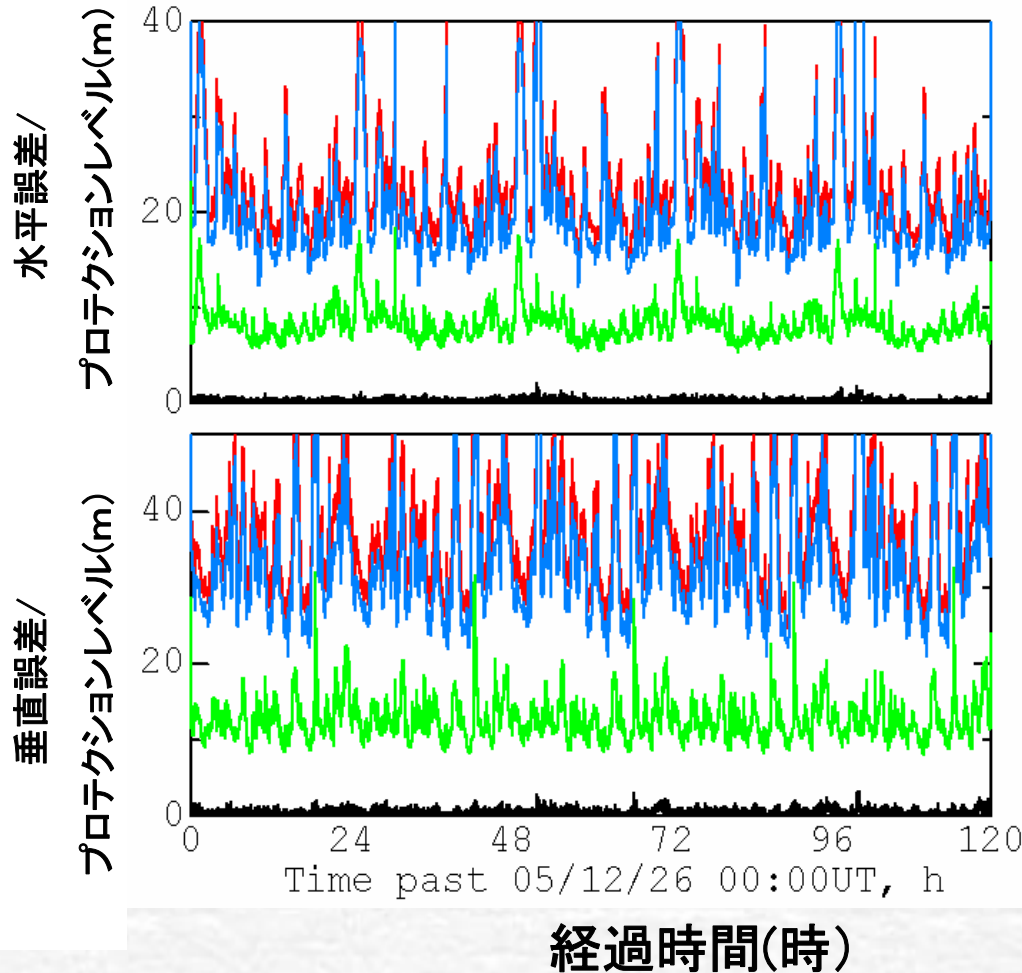
GPS:RMS 3.225 m, MAX 8.151 m

緑 MSAS、赤 GPS

MSAS 2005年12月26—30日のGEONET 川越データ、MSASデータ使用

# MSAS試験信号による性能の例と電離層の影響

## —プロテクションレベル—



- ・GIVE:6m以上
- ・プロテクションレベルの大半は電離層の寄与

黒 誤差  
赤 プロテクションレベル  
青 電離層による寄与 (SARPsでいうsigma\_UIRE)  
緑 UDREによる寄与 (SARPsでいうsigma\_ft)

### 測位誤差とプロテクションレベルを時系列表示

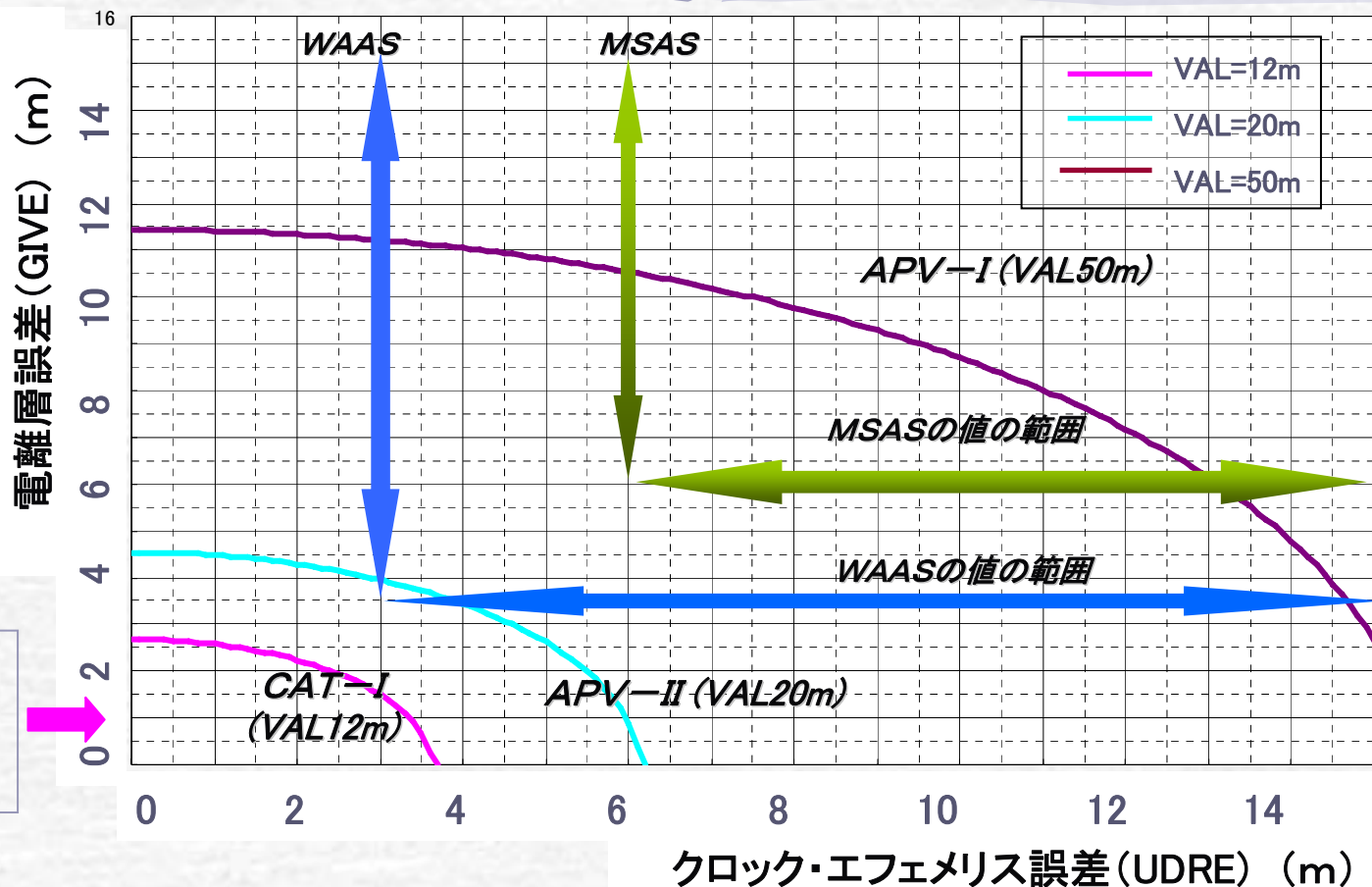
MSAS 2005年12月26－30日のGEONET川越データ、MSASメッセージを使用

# SBAS CAT-I 実現に必要な性能とMSASの性能の位置付け

## MSAS:

- ・APV-IIは可能であるが、利用率が十分でない。
- ・CAT-I、APV-IIIは電離層性能、クロックエフェリス性能改善必要。

2周波システムにおけるGIVEの予想値

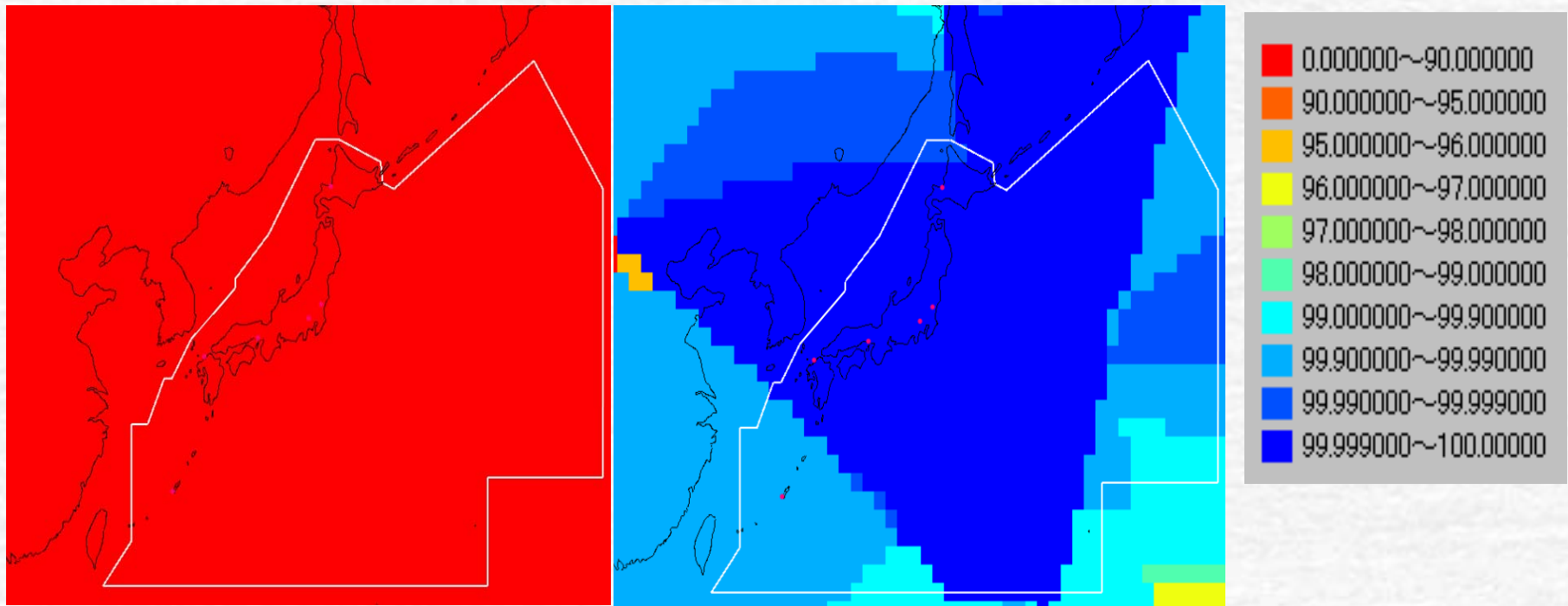


## SBASにおいてAPV、CAT-Iを可能とする

クロックエフェリス誤差 (UDRE) と電離層誤差 (GIVE) の関係 (VDOP=2.0)

- ・ APV-Iを実現するためには、 $GIVE=11.5m$ ,  $UDRE=15m$ 以下、
- ・ CAT-Iを実現するためには、 $GIVE=2.5m$ ,  $UDRE=3.5m$ 以下の必要がある。

# サービスボリュームモデル(1/4) (SVM: Service Volume Model)



**SVMで計算した現在の1周波システム(左)および  
将来の2周波システム(右)のMSASのCAT-I利用率**



# サービスボリュームモデル(2/4) (SVM: Service Volume Model)

- 利用性(アベイラビリティ)、完全性(インテグリティ:プロテクションレベル)等を計算するシミュレーションモデル。
- 衛星配置、測距性能、地上局配置等を仮定あるいはMSASのメッセージを利用して計算。
- 衛星数、地上監視局の増設、電離層遅延補正等の性能向上を行った場合にサービスレベル、範囲を推定することができる。

# サービスボリュームモデル(3/4) (SVM: Service Volume Model)

- SBASの設置者が相互運用性を評価するために統一した考えでSBASアベイラビリティ等を計算するために合意した計算方法、パラメータに準拠。
- 2周波SBASについては検討中。
- SBASアベイラビリティおよびRAIMアベイラビリティを計算する。

# サービスボリュームモデル(4/4) (2周波システム/Galileoへの対応)

- ①コアとなる衛星システム(GPS、GALILEO等)の衛星数(合計:100個, GEO:16個)、使用可能衛信号数を3種類(L1,L2,L5)に対応。
- ②衛星クロック・エフェメリス補正残差(UDRE)、電離層補正精度(GIVE)等はアルゴリズム変更に応じ柔軟に設定可能とした。  
外部プログラムによるUDRE、GIVEの作成
- ③RAIMにおいてVPLを計算可能とした。  
(アルゴリズムは暫定)

# SVM計算方法(1/3)

- アベイラビリティはシステムが要求される精度、インテグリティを満たしサービス可能な時間の割合と定義される。
- 入力には衛星配置(アルマナック)、GPSおよび静止衛星(GEO)の平均故障間隔(MTBF)、平均修復時間(MTTR)、航法として要求される精度、インテグリティの値。
- 時刻、場所を与えて、それぞれの時刻、場所におけるアベイラビリティを計算する。

# SVM計算方法(2/3)

## アベイラビリティ

$$IAL(u, R, t) = \sum_{i=0}^{C_{gps}} \left\{ \sum_{j=0}^{C_{geo}} \left( W_i^{gps} \cdot W_j^{geo} \cdot K_{ij} \right) \right\}$$

$$K_{ij}^V = \frac{1}{N_{ij}^V} \sum_{n=1}^{N_{ij}^V} bool[R(ij, n)]$$

$W_i^{gps}$ 、 $W_j^{geo}$  : 可視の衛星のすべての組み合わせを考慮した利用率。

$N_{ij}^V$  : 可視衛星のすべての組み合わせ数を示す。

$R$  : *bool*関数内の  $R$ は航法要求を満足すかどうかを示し、*bool*関数は航法要求が満足されると1となり満足されない場合は0となる。

$K_{ij}^V$  : 与えられたGPS衛星とGEO衛星が故障した場合の航法要件を満足する条件付確率である。

# SVM計算方法(3/3) - 航法要件 -

## 航法要件

- ① 最低4個以上の衛星が可視であること。
- ② 航法に要求される精度を満足すること。
- ③ 航法に要求されるインテグリティを満足すること（最低1つのGEO衛星が利用可能）。

$$HNSE (95\%) = 2.45\sigma_H$$

$$VNSE (95\%) = 1.96\sigma_V$$

$$HPL = \begin{cases} K_{H,NPA} \cdot d_{major} & \text{エンルート, NPA} \\ K_{H,PA} \cdot d_{major} & \text{精密進入(PA)} \end{cases}$$

$$VPL = K_{V,PA} \cdot d_U$$

水平保護限界値 ≤ 水平警報値

$$HPL \leq HAL$$

および

垂直保護限界値 ≤ 垂直警報値

$$VPL \leq VAL$$

のとき利用可能とする。

$$K_{H,NPA} = 6.18, K_{H,PA} = 6.0, K_{V,PA} = 5.33$$

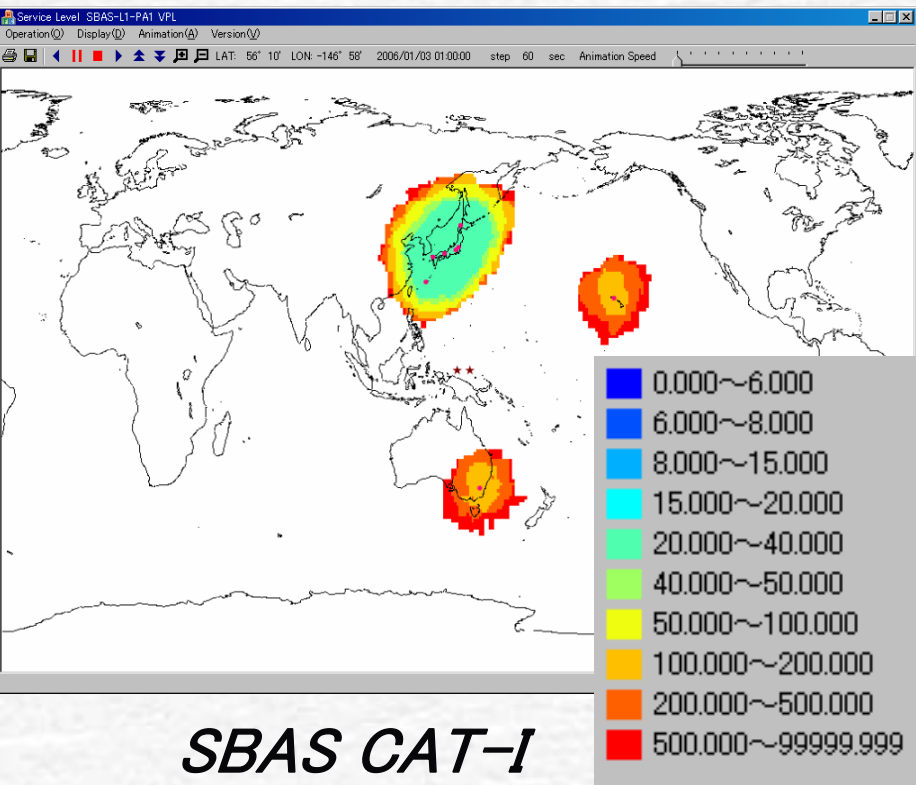
# 計算条件

表1 解析条件(暫定値)

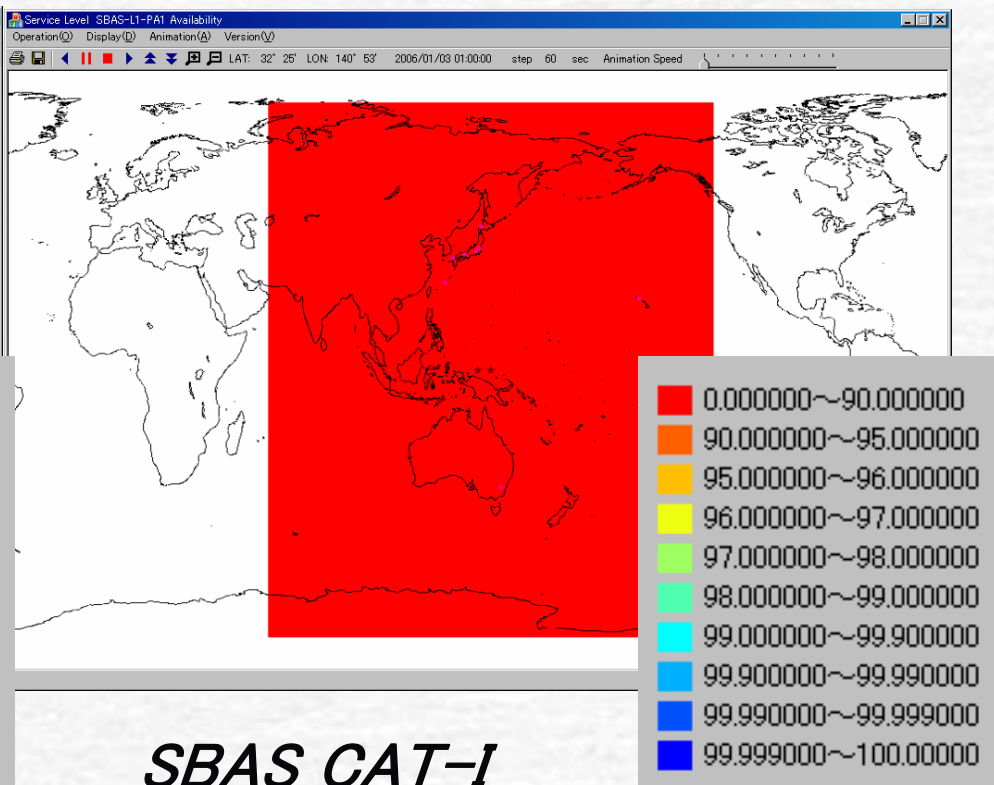
測位精度要求 95%(m) 水平/垂直	CAT-I 16/20	警報値(m) 水平/垂直	CAT-I 40/15
UDRE(m)	4	GIVE(m)	平面近似
GEO MTBF(時間)	100,000	GEO MTTR(時間)	120
GPS MTBF(時間)	7,300	GPS MTTR(時間)	72
地上局	神戸、常陸太田、札幌、東京、福岡、那覇、 ハワイ、オーストラリア		
2周波電離層測定誤(m)	0.32 (L1/L5) GIVE: 1m相当		
RAIM 測距誤差(m)	12.5 (L1 1波)、 4.0 (L1/L5 2波)		
解析期間	2006年1月3日01:00		
衛星配置	GPS: Yuma332、Yuma 335、 GEO:140° 、 145° E		
仰角マスク	ユーザー5度、地上局15度		

# 計算結果

# L1 1周波 SBAS CAT-I VPLと アベイラビリティ



**SBAS CAT-I  
L1 1周波VPL**



**SBAS CAT-I  
L1 1周波アベイラビリティ**

VPLは20m以上となり、L1 1周波でのCAT-Iは困難



# L1/L5 2周波SBAS CAT-I VPLと アベイラビリティ

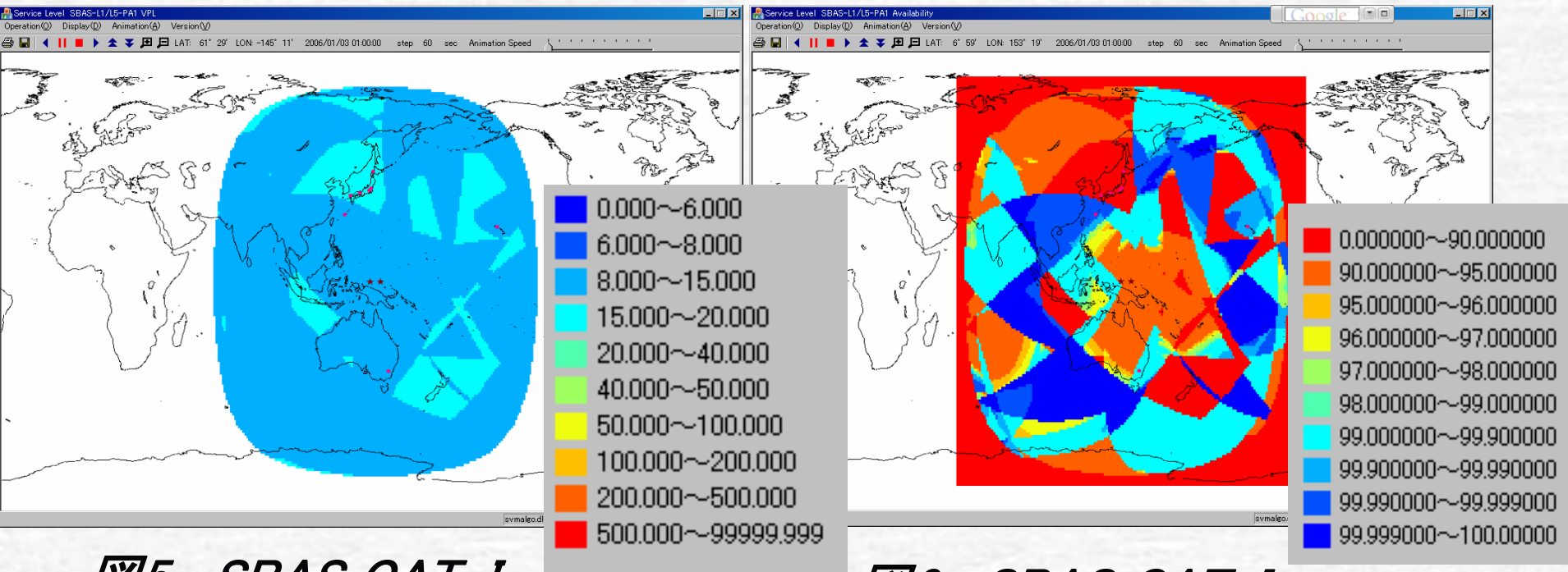


図5. SBAS CAT-I  
L1/L5 2周波VPL

図6. SBAS CAT-I  
L1/L5 2周波アベイラビリティ

VPLは8-20mであり、L1/L5 2周波でのCAT-Iは一部90%を下回る。  
電離層測定誤差=0.32m, UDRE=4m, 一定値で計算。

# L1 1周波およびL1/L5 2周波SBAS CAT-I アベイラビリティ(58衛星)

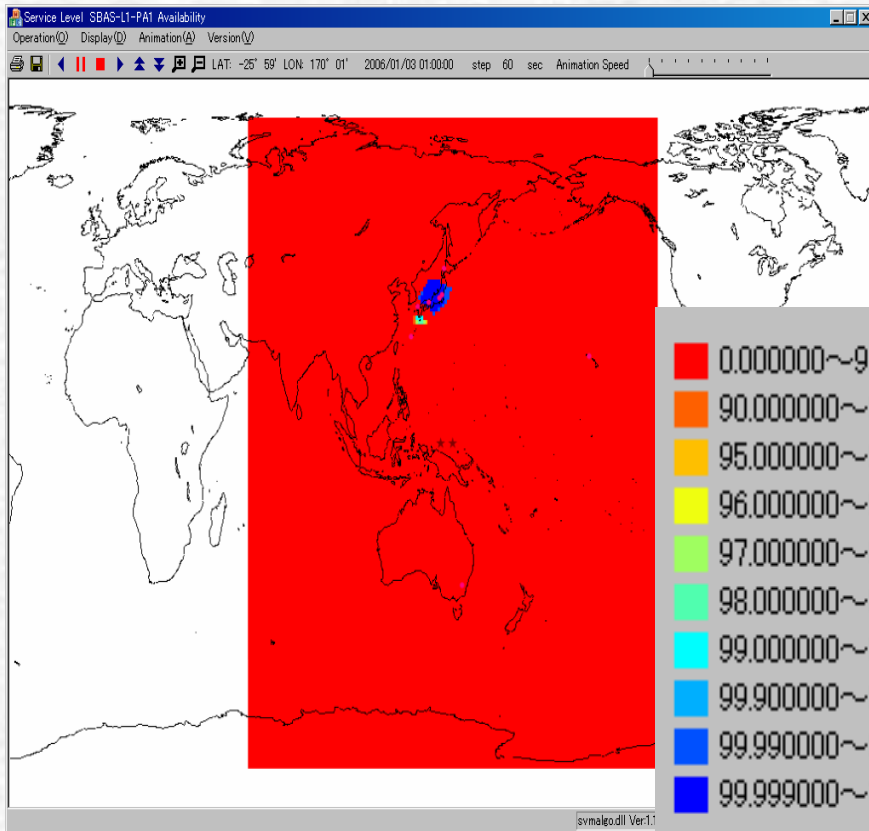


図9. SBAS CAT-I L1  
アベイラビリティ(58衛星)

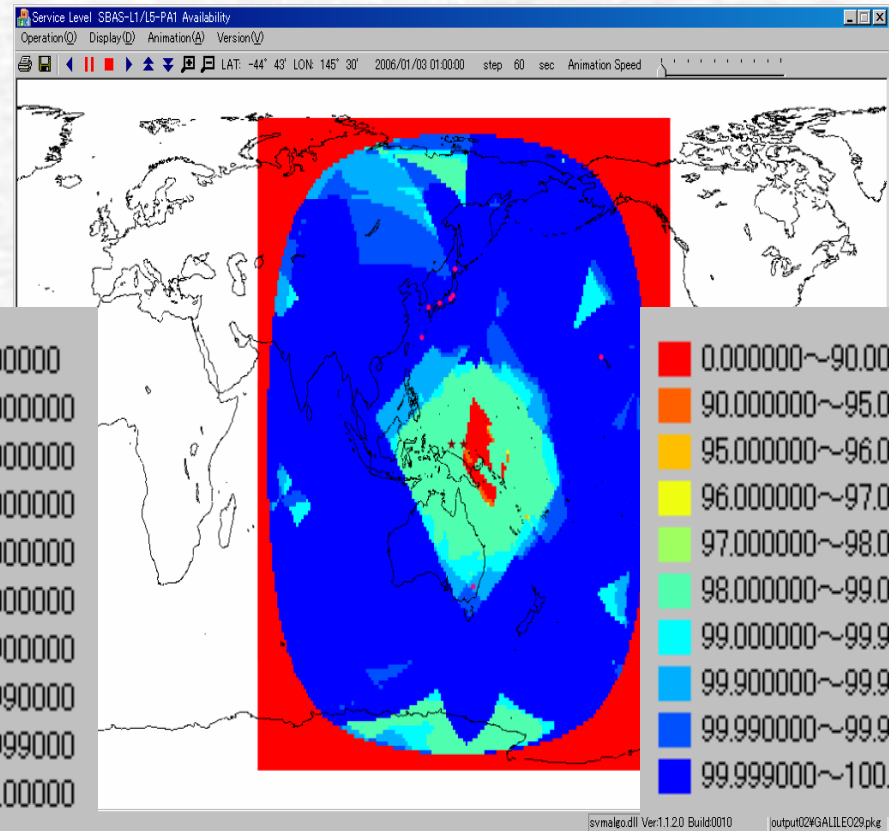


図10. SBAS CAT-I L1/L5  
アベイラビリティ(58衛星)

GPS+GALILEOを使用すると、MTSATカバレッジ内において、L1/L5 2周波でのCAT-Iアベイラビリティは99.9%以上

電離層測定誤差=0.32m, UDRE=4m, 一定値で計算。

# L1 1周波RAIM VPLと L1/L5 2周波 RAIM VPL

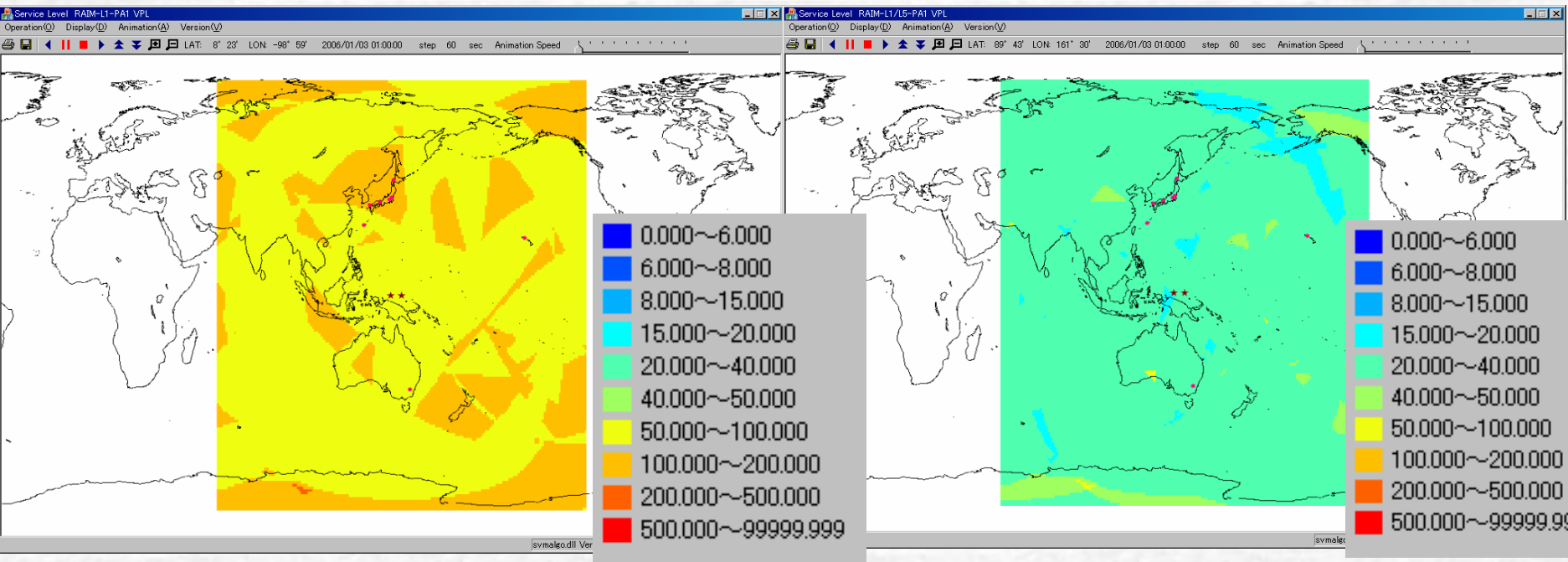


図7. RAIM CAT-I  
L1 1周波VPL

図8. RAIM CAT-I  
L1/L5 2周波VPL

- ・L1のみの場合のVPLは50-200mでRAIMのみではAPV-Iは困難。
- ・L1/L5の場合VPLは15-50mで、CAT-Iは困難であるが、APV-Iはほぼ全域で利用可能である。

# まとめ

**2周波SBASによるCAT-I精密進入の初期的な検討と2周波サービスボリュームモデルによる予備的性能予測を述べた。**

- 1. 電離層補正方法、クロック・エフェメリス誤差、衛星数はSBASの精密進入利用率に大きな影響を与える。**
- 2. 電離層補正誤差は2周波を利用することにより必要レベルまで改善できると考えられる。**
- 3. 2周波によりCAT-I SBAS実現の可能性がある。**
- 4. クロック・エフェメリス誤差(UDRE)については監視局の配置、追加あるいはGPSとGALILEOの共用を考慮する可能性がある。**
- 5. 計算条件、結果の妥当性の検証が必要である。**