

## 19. 2周波 SBAS の検討

通信・航法・監視領域 \*星野尾 一明、伊藤 実、松永 圭左

### 1. はじめに

2005年2月26日及び2006年2月18日にMTSAT（運輸多目的衛星）新1号機（MTSAT-1R）と2号機（MTSAT-2）がそれぞれ打ち上げられ、現在、AMSS（航空移動衛星通信）の試験運用、MSAS（MTSAT Satellite-based Augmentation System、運輸多目的衛星用衛星航法補強システム）の試験が実施されているところである。AMSSの運用開始は2006年夏、MSASは2007年春に運用開始とされている。

一方、GPSは近代化が進められており、L2C機能を搭載したブロックII-R-M衛星が2005年より打ち上げられている。また、新しい民間用の信号であるL5と呼ばれる信号機能がブロックII-Fに搭載され、2007年頃より打ち上げられる予定である。さらにその先には、L1Cを追加したGPS IIIが計画されており性能向上が期待される。また、欧州のGALILEOも軌道実証試験用衛星が2005年12月28日に打ち上げられ、2008年頃の運用開始が期待される。

現在の静止衛星型衛星航法補強システム（SBAS）は電離層補正を地上モニター局で2周波を用いて測定した電離層遅延を基に経緯度5度の電離層格子点（IGP）の垂直遅延量として放送する。利用者は自分を囲む3-4個のIGP電離層遅延量を用いて、内挿により自分の位置の電離層遅延量を求める。このため、電離層補正は電離層活動の影響、電離層遅延モデルの適合性等の影響を受ける。特に、MSASがサービス対象とする日本付近は地磁気赤道に近く、全電子数密度勾配の大きい地域に位置し電離層が活発な領域にある。また、電離層の赤道異状帯で発生する電離層プラズマバブル等の電離層活動の影響を受ける。

このため、日本付近においては、米国、欧州に比べて電離層の影響が大きく、MSASでは電離層補正が必要な精密進入の利用率が十分でない。電離層の影響を解決あるいは軽減し、システムの頑強性を高めるため、1周波システムにおける電離層性能の向上あるいはシステムの2周波化が検討さ

れている。また、ICAO（国際民間航空機関）のNSP（航法システムパネル）においても2周波SBASのSARPs（標準勧告方式）の検討が行われており、無線周波数部分についてはほぼ決定されている。2周波システムでは、さまざまな信号の利用方法が考えられ、どのような信号利用方法とするかの議論が続けられているところである。

電子航法研究所では、2周波システムでSBAS CAT-I精密進入を実現するために必要な事項の検討を行うとともに、2周波システムの性能予測あるいはシステム構成の検討のために2周波サービスボリュームモデル（SVM: Service Volume Model）を開発した。

MSAS等SBASの利用性（アベイラビリティ）は、衛星配置、地上監視局配置、電離層状態等により影響を受け変化する。開発した2周波SVMはMSASを対象とし、利用性、完全性（インテグリティ）等を計算するシミュレーションモデルであり、MSASのアベイラビリティ等の性能を衛星配置、測距性能等を仮定あるいはMSASのメッセージを利用して計算するものである。MSASの地上監視局の増設、2周波数化、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、範囲がどの様になるかを推定することができる。

本論文では、MSASを用いた精密進入について、SVMを用いて2周波SBASアベイラビリティ等の予備的解析結果の概要を述べる。

### 2. MSAS 試験信号による性能の例と電離層の影響

国土地理院GEONET川越データと2005年12月26-30日のMSAS試験信号メッセージを用いて解析した各飛行フェーズでの利用率は、NPAでは100.0%、LNAV/VNAVでは92.3%、APV1では89.8%、APV2は、この例では0%であった。

図1に測位誤差プロテクションレベルの時系列を示す。MSASの水平測位誤差と垂直測位誤差はそれぞれ0.42m、0.71 m rmsであり、電離層誤差（GIVE）は6m以上である。プロテクショ

ンレベルの大半は電離層の寄与分が占めている。これらは、限られた場所の限られた期間のデータに基づくものであり、正確な利用率等はさらに多くのデータの解析が必要である。

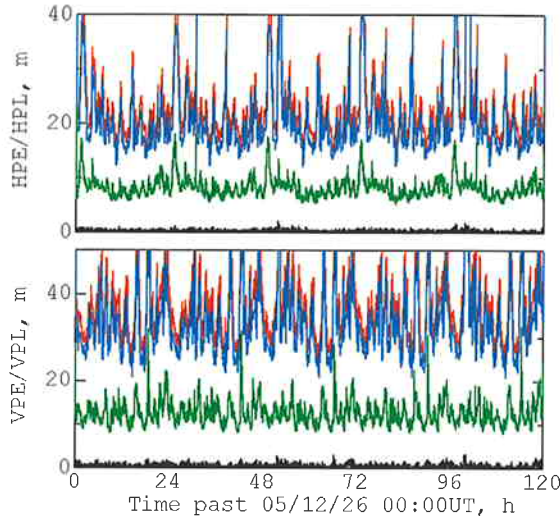


図1. 測位誤差とプロテクションレベルの時間系列、  
黒 誤差、赤 プロテクションレベル、青 電離層による寄与 (SARPs である  $\sigma$ )、緑 UDRE による寄与 (SARPs である  $\sigma_{flt}$ )

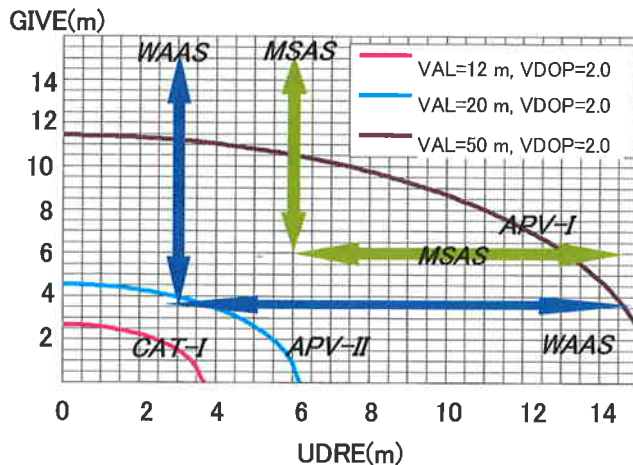


図2. SBASにおいてAPV、CAT-Iを可能とするクロック・エフェメリス補正残差 (UDRE) と電離層誤差 (GIVE) の関係 (VAL=12~50m、VDOP=2.0)

### 2.1 CAT-Iに必要な電離層性能

図2に、APV-I、APV-II、CAT-I精密進入に必要なクロック・エフェメリス補正残差 (UDRE)

とGIVEの関係を示す。図2には、現在得られる、MSASとWAASのUDREとGIVEの範囲も示されている。APV-Iを実現するためには、GIVE=11.5m、UDRE=15m以下、APV-IIを実現するためには、GIVE=4.5m、UDRE=6.2m以下、CAT-Iを実現するためには、GIVE=2.5m、UDRE=3.5m以下にする必要がある。

### 3. サービスボリュームモデル (SVM) <sup>(1)</sup>

SVMは文献(1)に記載されているものをベースに、コアとなる衛星システムの衛星数、使用可能信号数を3種類(L1, L2, L5)、衛星のクロック・エフェメリス補正残差、電離層補正精度等を柔軟に設定できるようにしたものである。1周波SVMはMSAS、WAAS(米国の広域補強システム、EGNOS(欧州GPS静止衛星オーバーレイ航法サービス)等、静止衛星型衛星航法補強システム(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、パラメータに準拠すると共にSBASメッセージを利用してアベイラビリティを計算する機能およびRAIMによるアベイラビリティを計算する機能を付加している。

2周波SVMについても同様に計算前提条件の合意に向けての検討が続けられているところである。

#### 3.1 計算方法

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。アベイラビリティはサービス領域内に設定した地点毎に計算される。

入力は衛星配置、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に基づき、時刻、場所を与えて、それぞれの時刻、場所における精度、インテグリティを満足する確立としてアベイラビリティを計算する。インテグリティを満足しているかどうかの判断は水平保護限界値(HPL)、垂直保護限界値(VPL)<sup>(2)</sup>を計算し、水平警報値(HAL)、水平警報値(VAL)と比較し、要求値より小さいと利用可能とする。その他、DOP、HPL、VPL、電離層貫通点(IPP)配置等を入力する。

4. 計算結果

表1にSVM等の解析条件（暫定値）を示す。これらの解析条件は仮に設定したものであり、かなり厳しい値を使用している。ベースラインとなる条件、将来の信号利用方法、電離層補正方法等現実的な方法に基づき設定していく必要があるものと考えている。

ここでは、L1のみの1周波システム、L1/L5 2周波システム、GPS衛星29機と、GALILEO衛星等追加のコア衛星29機を使用することを想定し、これらの組み合わせのアベイラビリティ、RAIM<sup>(3)</sup>アベイラビリティ等の比較を行った。また、示してあるアベイラビリティ等は瞬時の値であり、時刻とともに変化することにご注意願いたい。

4.1 1周波、2周波システムアベイラビリティ

図3と5に1周波の場合と2周波の場合のVPLを示す。また、図4と6に1周波、2周波のCAT-Iアベイラビリティをそれぞれ示す。1周波ではアベイラビリティは90%未満であるが、2周波の場合、衛星配置によってアベイラビリティが変化し、一部90%未満の部分もあるが、95%以上のアベイラビリティは確保できそうである。VPLは全域で20m以下である。また、図7と8にRAIM VPLを、1周波、2周波の場合について、それぞれ示す。2周波の場合、ほぼ全域において、RAIM VPL40m以下となっている。

4.2 衛星数58機とした場合のアベイラビリティ

図9と10はベースとして使用する衛星数58機とした場合の、1周波と2周波のアベイラビリティを示す。衛星軌道は現状のGPSアルマナックを2種使用して計算している。2周波58衛星だとアベイラビリティは99.99%以上が大部分を占める

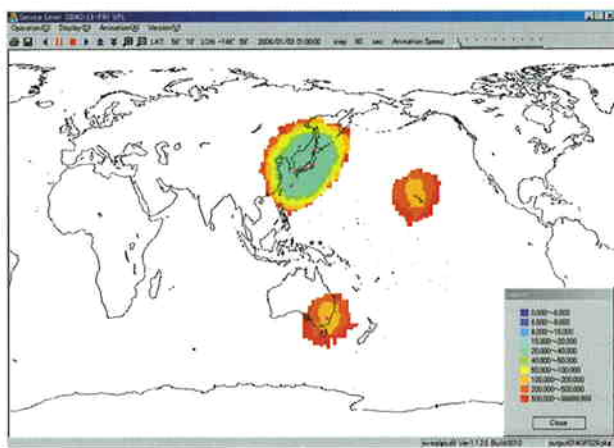


図3. SBAS CAT-I L1 VPL

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 測定誤差(m)	0.32 (L1/L5)		
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		

ようになる。

5. あとがき

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性能予測を述べた。

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。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そうであるが、UDREについては監視局の配置、追加あるいはGPSとGALILEOの共用が必要になる可能性が高い。

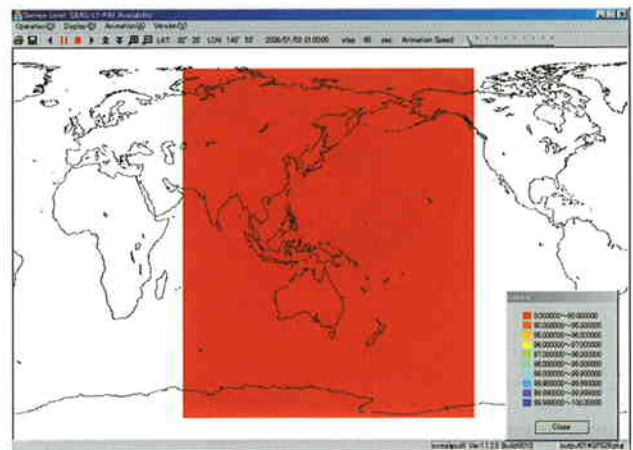


図4. SBAS CAT-I L1 アベイラビリティ

また、SVM では多くの仮定が含まれており、結果の妥当性の検討が必要と考えている。また、複数信号の利用方法についても、ICAO 等で検討中である。このような、複数信号の使用方法についての検討に、本 SVM が役立てば幸いである。

参考文献

(1) SERVICE VOLUME MODEL SIMULATION ASSUMPTIONS FOR SBAS PERFORMANCES” ,

IWG/SVM/2.0, June 30 2000

(2) MINIMUM OPERATIONAL PERFORMANCE STANDARDS FOR GLOBAL POSITIONING SYSTEM/WIDE AREA AUGMENTATION SYSTEM AIRBORNE EQUIPMENT” , RTCA DO-229C, November 28, 2001

(3) T. Walter, P. Enge:” Weighted RAIM for Precision Approach” , Proceedings of ION GPS-95, September 12-15, 1995, pp.1995-2004

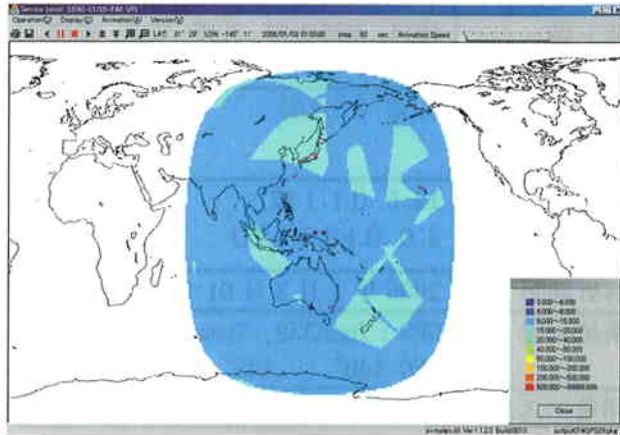


図5. SBAS CAT-I L1/L5 VPL

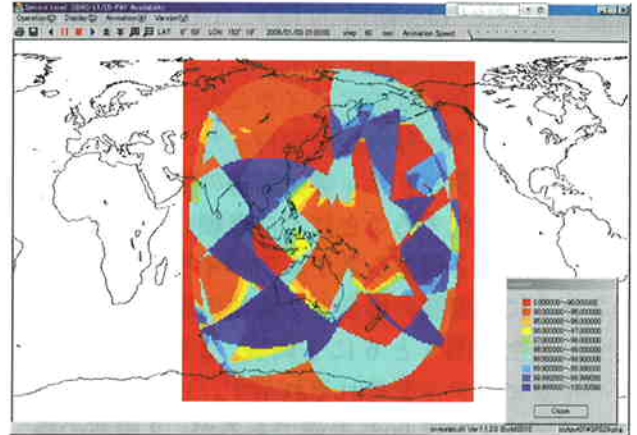


図6. SBAS CAT-I L1/L5 アベイラビリティ

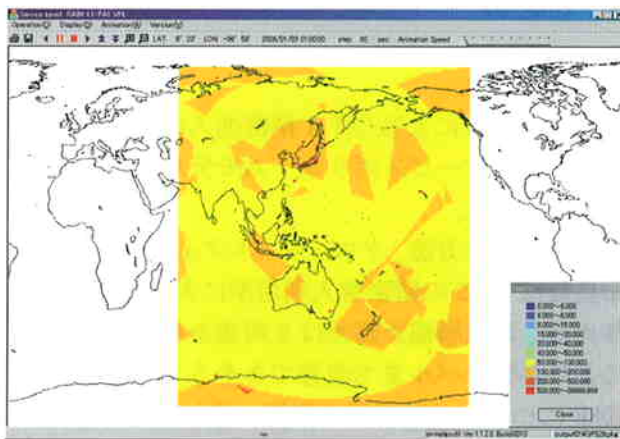


図7. RAIM CAT-I L1 VPL

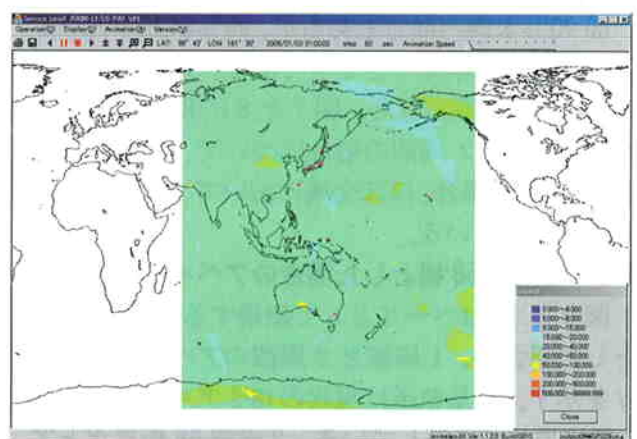


図8. RAIM CAT-I L1/L5 VPL

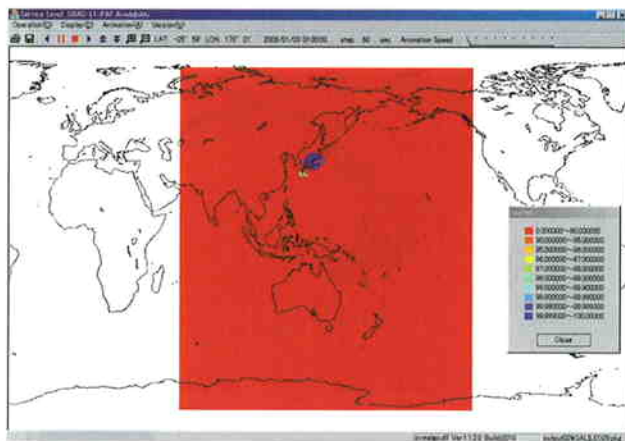


図9. SBAS CAT-I L1 アベイラビリティ(58衛星)

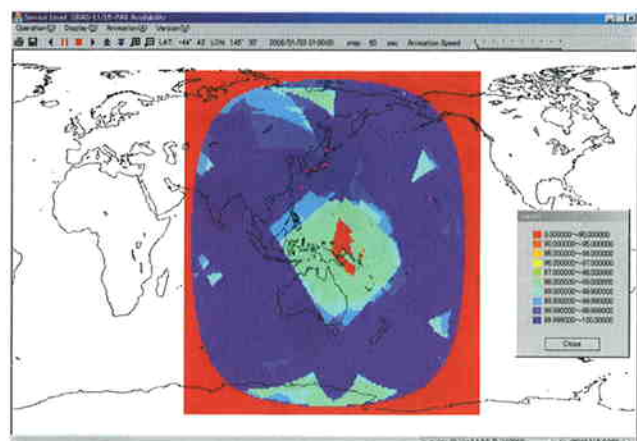


図10. SBAS CAT-I L1/L5 アベイラビリティ(58衛星)