

## 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

### 1. はじめに

衛星航法システム GPS（全地球測位システム）の性能を大陸規模の広い範囲にわたって向上させる広域補強システムとしては、国際民間航空機関（ICAO）が標準規格化した SBAS（satellite-based augmentation system：静止衛星型衛星航法補強システム）の開発が進められている。米国はすでに WAAS（wide area augmentation system）を 2003 年 7 月より実用しており、欧州の EGNOS（European geostationary navigation overlay service）も 2005 年夏頃より試験運用を実施している。WAAS は 2008 年秋に性能向上を実施し、全米を対象に垂直誘導付進入（APV-I）の提供を開始した。

航空局は、SBAS 規格に基づいて MSAS（MTSAT satellite-based augmentation system：運輸多目的衛星用航法補強システム）を整備してきた。MSAS は所要の試験及び認証作業を経て、2007 年 9 月より運用を開始したところである[1]。

我が国における初めての広域補強サービスである MSAS は、現在のところ航空路～非精密進入に至る航法モードで利用可能となっている。当所ではさらに MSAS を垂直誘導付進入（APV-I）及び精密進入（CAT-I）に利用可能とするために必要な性能向上について検討を行っているところであるが、その概要を報告する。

### 2. インテグリティ

MSAS の機能のうち、もっとも重要なのがインテグリティの提供である。インテグリティとは、航法システムの出力が異常となることによる危険を防止するために必要とされる性能要件であり、MSAS においてはユーザ位置における測位誤差の信頼限界を危険率  $10^{-7}$  以下で与えることで実装されている。この信頼限界は保護レベル（PL：protection level）と呼ばれ、MSAS はユーザ受信機が保護レベルを計算するために

必要なインテグリティ情報を放送する。ユーザ受信機は、計算して求めた保護レベルが航空機の航法モードによりあらかじめ決められている上限値（alert limit：警報限界）より大きければ、その航法モードを利用不可とする。

それぞれの航法モードに応じて要求される警報限界を、表 1 に示す。航空路～非精密進入（NPA）の航法モードでは垂直方向の性能は規定されない一方、垂直誘導付進入（APV）～CAT-I 精密進入では垂直方向について厳しい要件が課されている。なお、CAT-I 精密進入については垂直警報限界 VAL を 35m とする案が検討されており、表 1 ではこの値を採用した。

### 3. 現行 MSAS の性能

各地点において、垂直誘導付進入（APV-I）航法モードのアベイラビリティ、すなわち当該航法モードを利用可能な（HPL<HAL かつ VPL<VAL を満たす）時間割合を図示すると、図 1 のようになる。関東～北陸地方でもっともアベイラビリティが高く、95%以上が得られている。この地域から離れるに従いアベイラビリティは低下し、北海道及び九州以遠では 80%以下であった。すなわち、関東～北陸地方においては 1 日のうち 95%の時間は APV-I 航法モードを利用できるが、北海道及び九州以遠では利用可能な時間は 80%以下でしかない。

図 1 からわかるとおり、現在においても MSAS により APV-I 進入を提供できないわけではないが、そのアベイラビリティは十分とはいえない。APV-I 進入が利用可能であるためには水平及び垂直のいずれも保護レベルが警報限界よりも小さいことが必要であるが、問題となるのは主に垂直方向の性能である。すなわち、APV-I 進入のアベイラビリティを改善するには、垂直保護レベルを低減する必要がある。

表1 GNSSの航法性能要件

航法モード	水平方向		垂直方向		インテグリティ
	95%精度	警報限界	95%精度	警報限界	
航空路	740 m	3.7 km	—	—	1時間あたり
ターミナル空域	740 m	1.85 km	—	—	1-10 <sup>-7</sup>
非精密進入 (NPA), 出発	220 m	556 m	—	—	
垂直誘導付進入 (APV-I)	16 m	40 m	20 m	50 m	着陸あたり
垂直誘導付進入 (APV-II)	16 m	40 m	8 m	20 m	1-2×10 <sup>-7</sup>
CAT-I 精密進入	16 m	40 m	4~6 m	10~35 m	

#### 4. MSAS 性能向上策の検討

MSAS は、経緯度で 5 度毎に設定された IGP (ionospheric grid point) における電離層垂直遅延量 (及びその不確実性を示す情報) をユーザに向けて放送する。不確実性を示す情報は GIVE 値と呼ばれ、保護レベルの算出に用いられる。垂直誘導付進入のオペラビリティを改善するためには、この GIVE 値を低減する必要があることがわかっている [2-4]。

##### 4. 1 現行の電離層補強アルゴリズム

電離層遅延推定アルゴリズムとして米国 WAAS 及び日本の MSAS が採用しているプレーナフィット (planar fit) 方式では、IGP 周辺における電離層遅延観測データをもとにして、平面モデルにより IGP 位置における電離層遅延量を推定する。このために MSAS 監視局には二周波型受信機が設置されており、周辺の電離層による遅延量を観測している。

プレーナフィット方式では、IGP 周辺の電離層の様相が平面モデルに適合している場合に限り正常な推定が行われる。電離層嵐等の影響により電離層活動が活発な場合はこうした条件が満たされないから、そのような状況が嵐検出器 (storm detector) により検出された場合はその IGP については GIVE 値を最大に設定してユーザを保護することとなっている。

後述のシミュレーション結果からもわかるとおり、プレーナフィットは必ずしも MSAS に最適な方式とはいえ、改良の余地がある [2-4]。

##### 4. 2 改良アルゴリズムの概要

垂直誘導付進入における MSAS の性能を改善するために、当所ではゼロ次フィット方式を採用することを考えた [2-3]。ゼロ次フィットの

基本的な考え方は、プレーナフィット (1 次フィット) よりもパラメータ推定の次数を落とし、安全な推定を行うことである。ゼロ次フィット方式の適用については次の三通りを考えた。

- (1) ゼロ次フィットのみを実行する。
- (2) 適応ゼロ次フィット方式 [4] : 通常はプレーナフィットを行うが、嵐検出器が反応した場合はゼロ次フィットとする。
- (3) 最小フィット方式 : プレーナフィットとゼロ次フィットの両方を実行し、GIVE 値の小さいほうを採用する。

これらのアルゴリズムを採用した場合の MSAS の性能を、シミュレータにより試算した。航法モードは CAT-I (VAL=35m) とする。動作パラメータは現行 MSAS に近いものであるが、WAAS の性能向上で採用されたアルゴリズムの一部 (ダイナミック Rirreg 及び多段階嵐検出器) の導入を想定することとした。脅威モデルについては、プレーナフィット及びゼロ次フィットのそれぞれに対応したものを作成した。

図 2 は現行のプレーナフィットアルゴリズムを採用した場合の CAT-I モードのオペラビリティを示しており、現行 MSAS と同じ 6 監視局構成 (左図) ではオペラビリティはまったく不十分である。稚内、女満別、八丈島、奄美大島、石垣島の 5 地点に監視局を追加して 11 局構成とした場合 (右図) は、東北地方を中心に 95% 程度のオペラビリティを確保できる。

図 3 はゼロ次フィットのみ (上記 (1)) とした場合の性能を示しており、6 局構成でもオペラビリティが 90% となる地域が現れることがわかる。11 局構成とした場合は北海道地方でオペラビリティ 100% となる地域があり、電

離層活動が活発ではない北方ではゼロ次フィットが仮定している電離層モデルに適合する平坦な遅延量分布となる場合が多いものと思われる。上記（2）の適応ゼロ次フィットを採用した

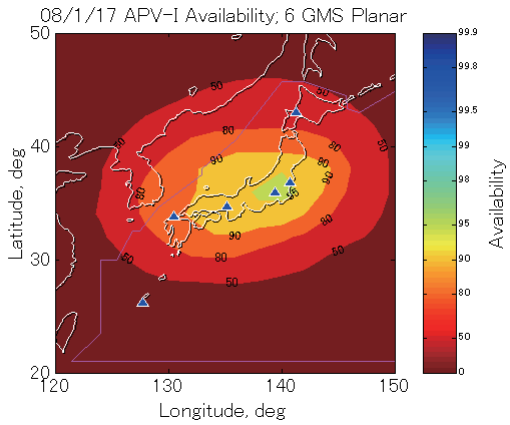


図1 現行アルゴリズムによるAPV-Iモードのアベイラビリティ

場合の試算結果を図4に示す。6局及び11局構成のいずれも現行アルゴリズム（図2）からほとんど変化がみられないが、これは電離層嵐と判定されることが実際には少なく、ゼロ次フィットが実行されていないことが原因である。すなわち、この例のように適応ゼロ次フィットを導入しても性能向上が期待できない場合がある。

図5は、プレーナフィットとゼロ次フィットの両方を実行してGIVE値の小さなほうを採用する最小フィット方式（上記（3））の試算結果である。6局構成でもアベイラビリティ100%となる地域があり、本方式が効果的に働いていることがわかる。監視局を追加して11局とした場合には、北海道～九州の全域で100%のアベイラビリティが得られた。いずれも監視局群の重心付近を中心として同心円状にアベイラビリティが変化していることから、図3右図のよ

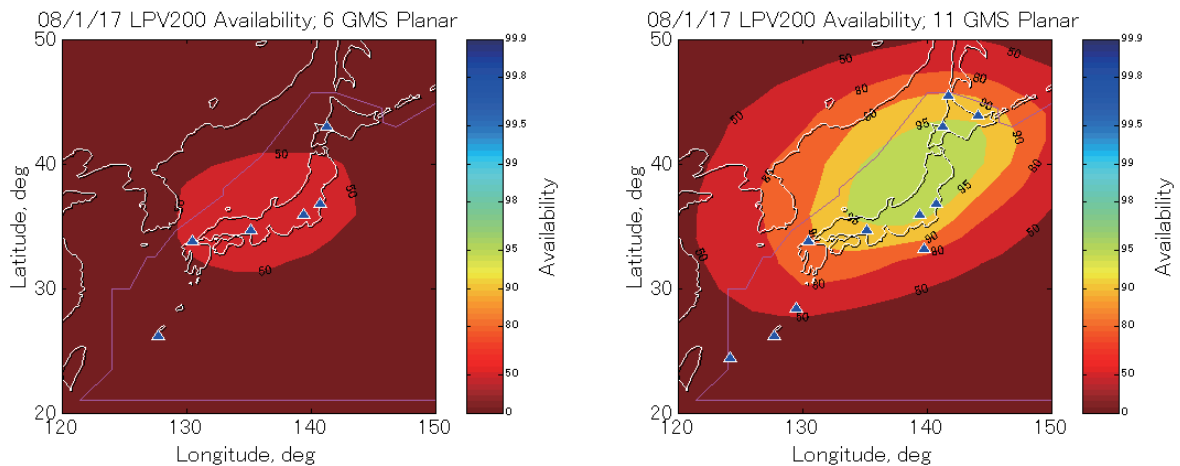


図2 現行アルゴリズムによるCAT-Iモードのアベイラビリティ

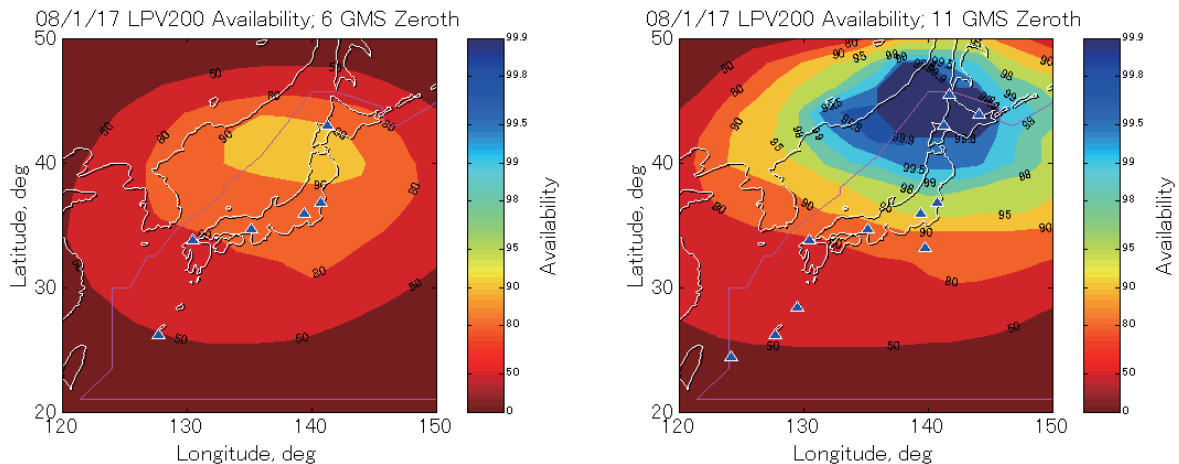


図3 ゼロ次フィットアルゴリズムによるCAT-Iモードのアベイラビリティ

うな特定の地域に偏った性能改善とは異なり、サービスエリアの全体にわたって効果的な性能向上が期待できることがわかる。

### 5. まとめ

我が国の広域補強システムである MSAS を、垂直誘導付進入（APV）及び CAT-I 精密進入でも利用可能とするために必要となる性能向上策について報告した。現行のプレーナフィットアルゴリズムに当所で検討しているゼロ次フィットアルゴリズムを組み合わせるとともに5局の監視局を追加することにより、CAT-I 精密進入を北海道～九州の全域で提供できる可能性がある。また、南西諸島においては垂直誘導付進入 APV-I を供用できる見込みである。

今後の課題としては、過去の電離層嵐を含むデータを用いて、アルゴリズムの性能を確認す

るとともに、動作パラメータや脅威モデルの安全性を検証する必要がある。また、さらなる監視局の追加による CAT-I 精密進入サービスエリアの拡大についても、可能性を検討したい。

### 参考文献

- [1] 真鍋英記：“運輸多目的衛星用航法補強システム（MSAS）の供用開始”，日本航海学会 GPS/GNSS シンポジウム, pp. 35～39, 2007.
- [2] T. Sakai, et. al., “Improving Availability of Ionospheric Corrections in the Low Magnetic Latitude Region”, ION NTM, pp. 569～579, San Diego, CA, Jan. 2005.
- [3] 坂井丈泰：“MSAS のアベイラビリティ向上”，第6回電子航法研究所研究発表会, June 2006.
- [4] 坂井丈泰 他：“MSAS の性能向上について”，第8回電子航法研究所研究発表会, June 2008.

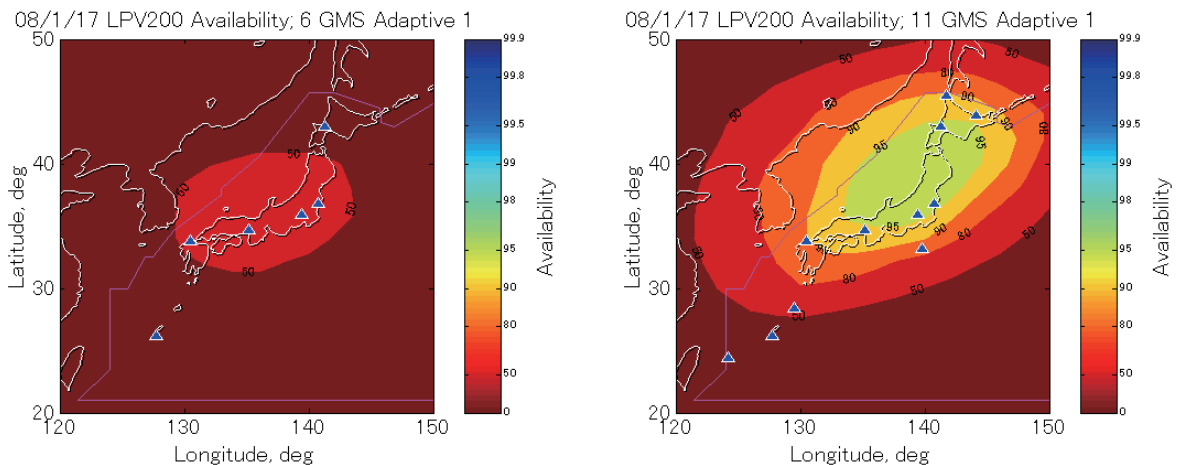


図4 適応ゼロ次フィットアルゴリズムによる CAT-I モードのアベイラビリティ

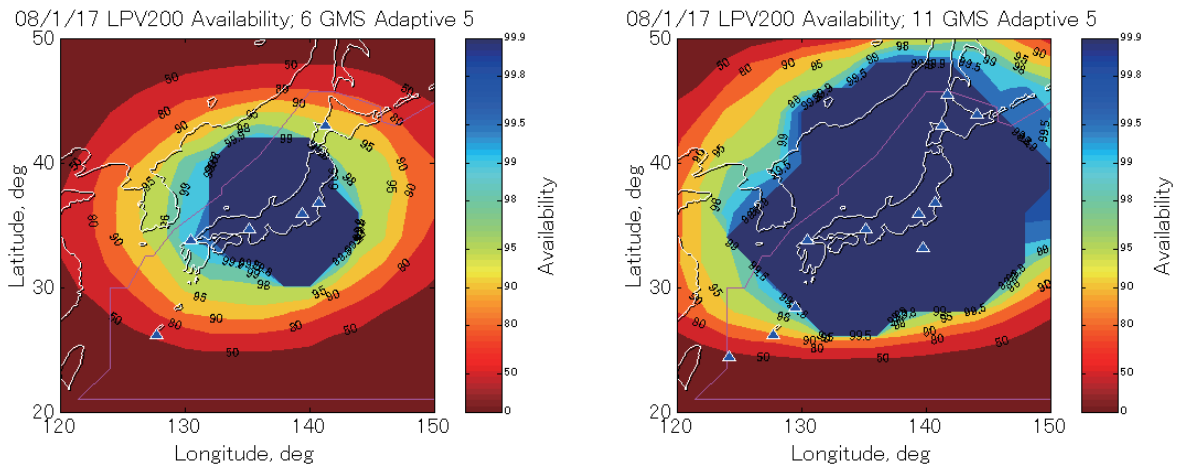


図5 最小フィットアルゴリズムによる CAT-I モードのアベイラビリティ