

2.5 長期の静止データ及び船舶航行データにおける MSAS の精度評価について

久保信明、毛利悠美子（東京海洋大学）

nkubo@kaiyodai.ac.jp

2.5.1 はじめに

GPS の運用以来、測位精度は様々な技術を用いて向上されてきた。しかしながら、標準的な GPS 一周波受信機での単独測位は、数メートルから 10 メートル程度に及ぶ誤差があるのが現状である。受信機を 2 つ使用することで誤差要因を除き精度を高めることも可能であるが、単独測位に比べて手間もコストもかかる。そのため、より良い精度を得たい場合には、GPS 衛星からのデータとは別に、DGPS 補正用のデータを常に受信し、2 つのデータを合わせて測位を行う必要がある。現在補正データの送信は、無線 LAN や携帯の電波などを用いて行っているが、これらの電波は送信できる範囲が限定されており、電波が届かない場所での精度は保障されない。

MSAS (MTSAT Satellite-based Augmentation System: 運輸多目的衛星用衛星航法補強システム) は、DGPS 補正データを用いる測位手段であるが、その大きな特徴は補正データを宇宙から送信している点である。そのため、GPS 信号が受信できる環境であれば同時に補正データも入手することが可能であるとされる。一方、海上保安庁の保有する方向探知用の中波ビーコン (中波無線方位信号所) は、H18 年度に全ての中波ビーコンが廃止されており、現在、中波ビーコン局の業務は DGPS 補正值放送のみとなっており、日本沿岸を航行する船舶では、海上保安庁のビーコン DGPS が広く使われている

本稿では、MSAS を使用した測位方法と、従来広く使用されてきた海上保安庁のビーコン DGPS による測位精度を、連続静止点観測及び海上における船舶による移動体実験にて実地評価する。

2.5.2 各測位方式の概要

2.5.2.1 MSAS

MSAS とは、地上モニタ局で GPS 測位信号の誤差を測定し、各地のデータを用いて総合的に補正値を計算し、衛星から放送するシステムである。衛星同様空からデータを送信できるため、障害物に囲まれていても使用できるという利点があるが、一衛星から送信できるデータ量に限りがあるためサービスエリアは限られた地域内となる。それでもビーコン DGPS (局から半径約 300km) と比べて広い範囲で使用が可能である。

MSAS は、国際民間航空機関 (ICAO: International Civil Aviation Organization) の国際標準に規定されている静止衛星型衛星航法補強システム (SBAS: Satellite Based Augmentation System) に準拠した測位システムである。MSAS から放送される補正情報は国際標準フォーマットに準じており、同様に SBAS に準じたシステムである米国の WAAS、欧州の EGNOS などと同じ受信機で受信することが出来る。

2.5.2.2 中波ビーコン

中波ビーコン DGPS (以下 DGPS) は、海上保安庁が中波無線を用いて船舶用に放送している DGPS 補正情報を用いて測位を行う方法である。測位精度は現行の補正システムの中でも良く、1m 以内程度の精度が見込まれる。

しかし、船舶用として設置されているため、放送局は沿岸部に集中しており、内陸部や無線が届かない沖合、入り組んだ湾内など障害物の多い地域では、補正情報が届かないといった面もある。

2.5.3 静止点実験

2.5.3.1 実験概要

静止点観測は、東京海洋大学屋上に設置したアンテナを用いて行った。このアンテナでは長時間連続しての観測を行っており（2007年9月現在）、収集したデータを後からピックアップ解析した。アンテナの真位置は後処理RTK（使用受信機NovAtel OEMV）で算出した。

測位方式は、単独測位、MSAS、ビーコンDGPS（浦安・劔崎）の3方式4パターンで、アンテナは、JRC製JLR-4331E（MSAS・ビーコンDGPS受信機）を各1個ずつ、計4個用いた。このアンテナは、衛星から受信したデータを用いて受信機内部で演算を行い、NMEA形式で結果が出力される。また、補正データが受信できなかった際には自動的に単独測位を行うようになっている。

今回、2007/6/17~7/21の35日間の解析を行った。実際の使用時を想定し、測位中に補正データを受信出来ずに単独測位に切り替わった場合も含めての結果とする。

2.5.3.2 実験結果

図1~図4に各測位方法の1日毎の水平誤差（2drms）（2007/06/17~07/21の35日間）を折れ線で示した。

単独測位は測位結果の乱れる日が多く、結果にばらつきがあった。35日間の平均水平誤差の2drmsは3.49mであるが、特に飛びの多い（水平標準偏差が平均値より1.0大きい）3日間を除いた場合の平均値は3.34mとなっていた。ただし、最も結果の良い日でも2.8mと2mを切ることはなく、その他の測位方式と比べて精度が安定していないことがわかる。

MSASはビーコンDGPSほどの精度はないが、測位結果は安定しており、水平の2drmsで、大体は2m程度を保っていた。また、単独測位では低減出来なかった部分の補正ができており、単独測位と比較するとほぼ半分程度の精度となっていた。

ビーコンDGPSは浦安・劔崎の双方で測位結果が安定しており、水平の2drmsも2m以下であり、3方式では一番の精度を保っていた。6/21に浦安で補正できている乱れが劔崎で補正できていないことから、ビーコン局の立地により測位結果に違いがある可能性があるが、水平誤差からも分かるようにその差は僅かだと考えられる。なお、同

時に取得したNovAtel受信機のMSAS補正後の出力結果は、水平2drms（1日分）で1.08mであった。この時のキャリアスージングの設定値は、100秒とした。

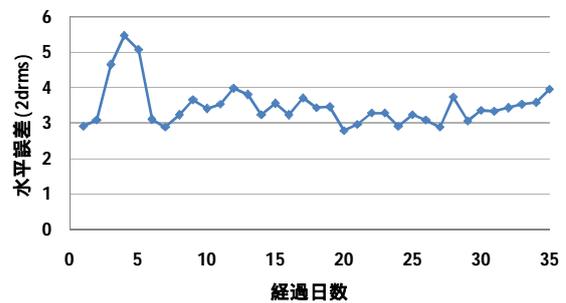


図1 単独測位による水平2drms誤差

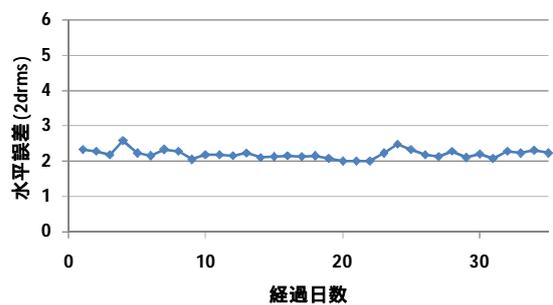


図2 MSASによる水平2drms誤差

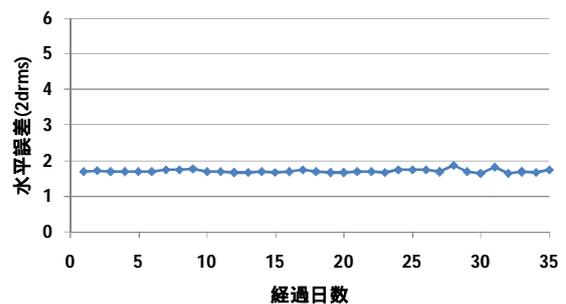


図3 DGPS浦安による水平2drms誤差

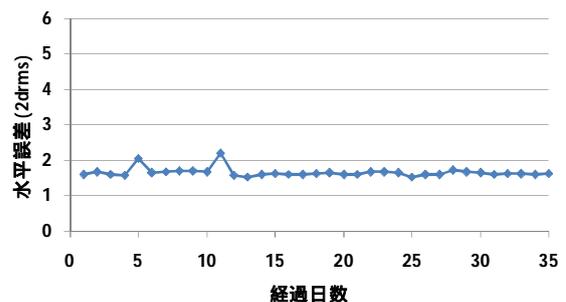


図4 DGPS劔崎による水平2drms誤差

2.5.4 船舶（移動体）実験

2.5.4.1 実験概要

船舶実験は、汐路丸（425 t, 50m）を用いて行った。海域は、主に館山（千葉県）付近で、航路は東京湾内から房総半島沿いに進み、25日の11:30に野島岬で折り返している。折り返す際、MSASと単独測位、DGPSの受信局を切り替えている。ルートを地図にプロットしたものを、最後のページの図5に示す。なお、図1には、各基準局の位置やビーコン送信局の位置も示した。

GPS・MSAS受信機にNovAtel社製のアンテナを設置し、信号を分岐してJRC製のGPS・MSAS受信機（JLR-4330W）2台と測位位置の基準に用いる高精度RTK受信機NovAtel OEMVに入力した。GPS・MSAS受信機においては、単独測位、MSAS、ビーコンDGPS（浦安・劔埼）の3方式4パターンの測位を、時間を分割して行った。またNovAtel受信機において、後処理RTKに必要な生データを取得し、同時にMSASによるDGPS測位結果も出力した。ビーコンDGPSの補正データはCSI-Wireless製MBX-3で受信し、それをGPS・MSAS受信機に入力している。表1に実験航海中の時間帯に対応した測位方式の概要を示した。なお、RTK測位用のノバテル受信機は、実験航海中は常にデータを取得していた。

RTKには、東京海洋大学の研究室屋上、国土地理院館山基準局の観測データ、富津小学校に設置した臨時基準局のデータを使用し、10cm以内のRTK測位精度を確保した。

静止点同様、実際の使用時を想定して測位中に単独測位に切り替わった場合も含めての結果とする。

2.5.4.3 実験結果 1

表2は船舶実験における各測位方式の結果である。それぞれ、全体の航行から16時間分を抽出した。さらに図6から図9に、それぞれの水平方向の測位結果を示した。図の黒線が経度方向の誤差、灰色の線が緯度方向の誤差を示している。全ての測位結果の原点は、後処理RTKによる測位位置とした。

表1 時間帯と測位方式

	時間帯
単独測位	7月25日12時～26日14時
MSAS	7月24日12時～25日12時
DGPS 浦安	7月25日12時～26日14時
DGPS 劔埼	7月24日12時～25日12時

表2 船舶実験の各測位方式の結果

	水平誤差 (2drms)	緯度方向 (ずれ)	経度方向 (ずれ)
単独測位	3.15	-0.09	-0.47
MSAS	2.65	-0.04	-0.16
DGPS 浦安	5.32	-0.33	-0.26
DGPS 劔埼	2.07	-0.23	0.03

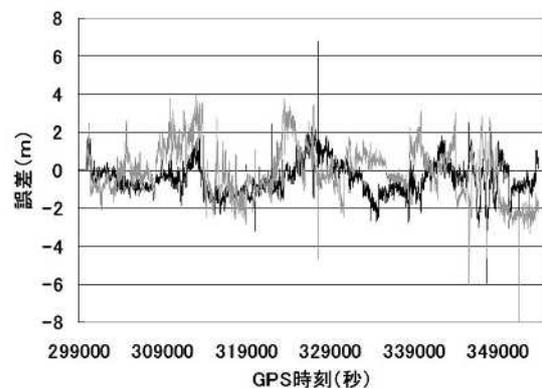


図6 単独測位による水平誤差

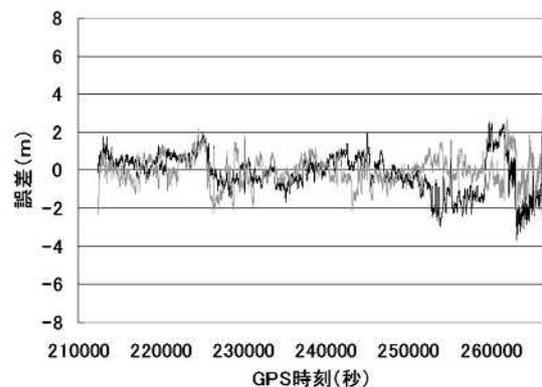


図7 MSASによる水平誤差

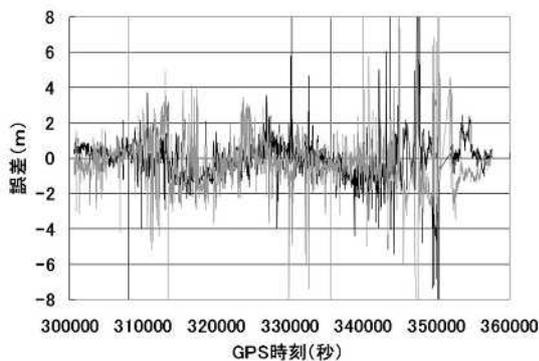


図8 DGPS 浦安による水平誤差

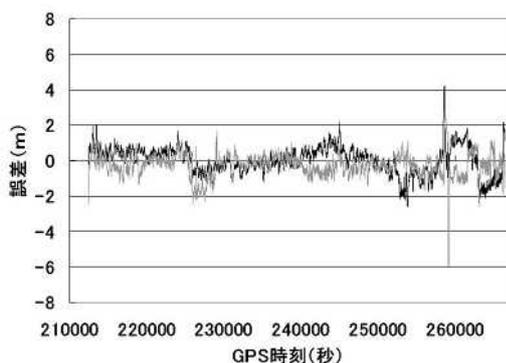


図9 DGPS 劔埼による水平誤差

単独測位は、静止点と同程度の精度であるが、測位結果の飛びが多く見られた。MSAS は、静止点観測には劣るものの、水平誤差の2drmsは2.65mと、補正の効果が見られた。若干補正が行われていない部分があったものの、全体に占める割合は低かった。単独測位との差が大きくなるように見えたが、静止データと同様に、さらに長期的な観測をして評価する必要があるといえる。

ビーコン DGPS 浦安局は、館山湾での取得率が悪く、他局とのデータの混信も見られた。そのため補正データを使用できない状態になることが多く、全実験期間の半数近くが単独測位となっていた。一方劔埼局のデータを利用した場合は、今回の実験では、ほぼ全ての時間で補正できており、4つの測位方式の中で一番良い精度となっている。

2.5.4.4 実験結果2

ここでは、実験に使用した NovAtel 受信機の生データ及び測位結果をまとめた。データは航行中の約44時間分を利用した。以下の3つの方式による測位結果を、上記と同じように後処理 RTKの測位結果と比較した。3つの方式は以下の表3の通りである。受信機のキャリアスムージング効果は100秒に設定した。単独測位1、2ともに、対流圏遅延量の計算は Saastamoinen による従来モデルを使用。なお、航行中に MSAS 信号を受信していない時間は、船が東京湾のレインボーブリッジまでを航行していた時間帯の一部で、全体の約1%であった。図9から図11に水平の測位結果(10秒毎の結果)、表3に測位結果の概要をまとめた。図の黒線は経度方向のずれ、灰色線は緯度方向のずれを示した。

表3 計算方式

	概要
単独測位1	電離層遅延は Klobuchar Model
単独測位2	電離層遅延は2周波より推定
DGPS	MSAS による補正情報

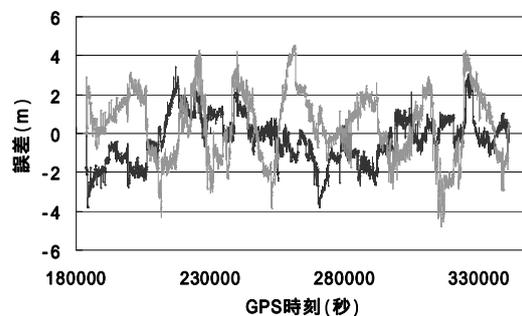


図9 単独測位1の場合の水平誤差

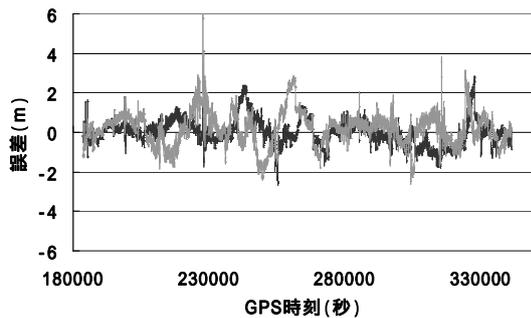


図 10 単独測位 2 の場合の水平誤差

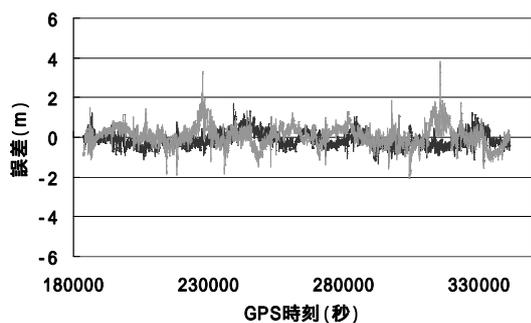


図 11 MSAS 補正 DGPS の場合の水平誤差

表 4 測位結果のまとめ (単位は m)

	単独 1	単独 2	MSAS
水平誤差 2drms	4.29	2.25	1.31
高度誤差 2drms	4.61	3.42	2.07
水平方向 平均ずれ	0.520	0.175	0.142
高度方向 平均ずれ	-0.871	0.398	0.905

図及び表 4 の結果より、MSAS 補正により、測位精度が改善されていることは明らかである。また、Klobuchar Model による電離層遅延推定に対して、2 周波を利用したほうが、大きく改善されることも確認できた。

航行中に MSAS 信号を受信できない時間帯が存在したが、これは東京湾を出航する際に起こっていた。よって、日本沿岸海域を航行中は、MSAS 信号をほぼ 100% で受信できることが予想される。周囲の開けた環境であれば、高性能受信機及

び高性能アンテナを用いれば、キャリアスムージングと MSAS 補正を利用して、2drms で 1m ~ 1.5m を達成することができると予想される。ただし、電離層の活動が活発な時期については、新たな評価解析が必要である。また、高度方向のずれの平均値を見ると、MSAS 補正の場合に、やや大きい結果となっていた。この現象は、静止データでも見られたので、原因追求を今後の課題としたい。

2.5.5 おわりに

今回の航海では、DGPS による精度改善が大きいことが確認できた。また、MSAS においても補正効果が得られ精度が改善していることを確認できた。通常の開けた環境では、静止でも移動体でも、キャリアスムージングを 100 秒程度行えば、水平の 2drms で 1m ~ 2m 程度を得ることが可能であった。ただし、受信機の性能による部分もあることに注意したい。中波ビーコンによる DGPS の場合、局によっては補正データ取得率が悪く、十分な補正効果が得られない場合もあったが、これは中波の伝播特性に由来するものと考えられる。

静止点観測において、MSAS で期待される精度が出ていない時間帯があった。また、電離層の活動が活発な時期での評価も必要であり、日本付近全ての場所での評価も必要である。DGPS 測位においても、浦安と剱崎の補正結果で大きく異なる等の問題も見受けられた。これらは今後の課題として調査する予定である。同様に、船舶実験の際に単独測位と DGPS 測位が混在した浦安の補正結果が、単独測位より悪くなっている時間帯も存在した。これらの要因についても、今後詳しく解析を行う予定である。

謝辞

本稿の執筆に欠かせないデータ取得機器の貸し出し、及び全体的なサポートをしてくださった、JRC の柏柳太郎氏、鷲頭浩一氏に大変感謝いたします

/1/ B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, J. Collins 原著，西修二郎訳，“GPS 理論と応用”，シュプリンガー・フェアラーク東京株式会社，2005

/2/ Pratap Misra, Per Engo 原著，日本航海学会 GPS 研究会(安田明生 他 8 名)訳，“精説 GPS

基本概念・測位原理・信号と受信機”， 社団法人
日本航海学会 GPS 研究会, 2004

/3/ 神戸航空衛星センター
<http://www.kasc.go.jp>



図 5 汐路丸実験航路及び各基準局位置