

ディファレンシャル GPS 処理プログラムの評価 (その2)

打田明雄：海洋研究室

Evaluation of Differential GPS Postprocessing Program (Part 2)

Akio Uchida : Planning Division Ocean Research Laboratory

1. はじめに

海上保安庁水路部では、水路測量・海象観測および海洋測地網の整備等を実施するにあたり、近年 GPS (Global Positioning System) を採用してきた。なかでも水路測量の一翼を担う測位システムは、1993年12月8日、米国国防総省による IOC (Initial Operational Capability) 宣言以来の GPS の本格的運用とともに、GPS 受信機の改良及び利用技術の進歩の結果、沿岸及び港湾区域の水路測量にとって極めて有効なリアルタイムキネマティックオンザフライ方式 (RTK-OTF: Real-Time Kinematic On-the-Fly) の手法が開発され、日常的に使用され始めた。しかし、この方式には利用範囲に限界があり、基準局から約20km付近まで利用可能とされているが、基準局から移動局への補正値を伝送する手段の制約もあり、現在の時点では、基準局から数kmの範囲で利用されているのが現状である。

一方、基準局から数十kmから数百kmまたは千km以上離れた海域において実施する海洋測量業務等においては、補正値を伝送する手段の制約から、現在リアルタイム DGPS (Differential GPS) が使用できないものの、GPS 単独測位に比較すれば、より高精度に船位が決定できる後処理方式による DGPS を採用している。

このため、このように陸地から遠く離れた海域での海洋測量や、陸上の基準局を測量海域に近接した地点に設置できない場合、また、将来遠距離海域において、通信衛星を使用したリアルタイム DGPS が利用可能になった場合を想定して、数十kmから千km以上の遠距離における DGPS 処理を行った場合に、

基準局からの距離が、移動局の位置決定に及ぼす影響についての評価を実施したので、水路部技法第13号「ディファレンシャル GPS 処理プログラムの評価」に続くものとして、これまでに得られた結果について報告する。

2. ディファレンシャル GPS の必要性

1973年から開始された GPS 開発スケジュールは、フェーズ I から III B になり、すでに22年間を経過している。国内でも測量、建設および船舶・航空機、自動車用の航法装置等の分野において広く使用され、利用技術も格段に進歩してきた。しかし、GPS は、米国が開発した軍事システムであり、基本的には、一般ユーザーには、SPS (Standard Positioning Service) の利用しか認めていない。このため、通常 GPS の測位精度は、利用制限を受け、SA (選択利用性, Selective Availability) が運用 (SA が ON) されており、意図的に衛星の軌道情報および時計情報の操作が行われて、精度劣化が起きている。

このことは、GPS 衛星が Block II, II A により構成されてからは、常時 SA が運用 (ON) されていることから理解できる事柄である。この SA の ON, OFF による測位精度の違いについて、1994年9月17日から24日20:00 (UTC) までの一週間、IOC 宣言後初めて SA が解除 (OFF) された GPS データとして、水路部が基準局用として設置運用しているマグナボックス社製 GPS 受信機 MX9112 により受信収録した。その状況を第9図から第11図までに示す。

第9図は、9月23日の受信状況であり、SA が解除 (OFF) されている状況を示している。第10図は、9月24日の受信状況であり、20時00分を境界として

SAの運用が再開された状況を示している。第11図は、9月25日の受信状況であり、SAが運用(ON)され、通常のSPSの利用精度となっている状況を示している。各図とも受信衛星個数(10衛星までを表示)、DOP(Dilution of Precision: 10までを表示)、楕円体上の高さ(100m以下の端数を表示)、緯度・経度(10秒以下の端数を表示)の変化を每秒値で図示している。

SAがON、OFF時における測位精度は、一般にSAが運用(ON)されている場合、2 drms (Twice the Distance Root Mean Square) で100m、SAが解除(OFF)されている場合15m (rms) 前後とされている。このため、9月23日データによりSAがOFFの時、9月25日データによりSAがON時の基準局(固定点)での5秒間隔の24時間データを使用して偏差を求めると、次の結果を得た。

9月23日 SAがOFFの時 9.6m (2 drms, 95%)

9月25日 SAがONの時 50.5m (2 drms, 95%)

この結果から、SAのON、OFFによる測位精度差は、究めて大きいことがわかるとともに、SAが運用されなければ、L1・C/AコードGPS受信機のみでも高い精度で測位が可能であることを示している。

これらのことから、水路測量等にGPSを使用するには、SAがOFFされることがほとんどない状況下では、測位方法として、SAの影響を取り除くとともに電離層および対流圏伝搬遅延誤差等を補正することにより、近距離では、リアルタイムキネマティックオンザフライ(RTK-OTF)、中距離では、リアルタイムDGPS (Real-Time DGPS)、中距離を含む遠距離では、後処理方式のDGPS (Postprocessing DGPS) およびキネマティックオンザフライ (Post-processing K-OTF) が、ユーザーの利用目的、使用可能な範囲で、より高精度な移動体の測位ができる方法として選択されることとなる。

3. 評価の方法

後処理方式によるDGPSを実施するには、陸上に設置した基準局(Reference Station)と移動局(Navigator)が必要であるが、水路部では、1994年9月より、東京都立川市にある海上保安試験研究セ

ンターの協力のもとに、測量船の行動期間中GPSローデータ及び補正データの収録ができる体制を構築している。GPS受信機は、陸上基準局用として、マグナボックス社の12チャンネルGPS受信機MX9112、移動局として測量船に搭載している12チャンネルGPS受信機MX9212を使用した。アンテナは、陸上基準局ではグランドプレーン付きパッチアンテナ、移動局ではポリユートアンテナを使用した。データの収録は、両局とも光ディスクを使用して行い、DGPS処理には、水路部技法第13号「ディファレンシャルGPS処理プログラムの評価」に記載したマグナボックス社(現在はライカ社に移管)の処理ソフトNAVREF (ver.1.50b)を使用した。

3-1. 基準局の位置

DGPS処理を行うためには、WGS84測地系による緯度・経度が決定された基準局が必要である。このため、平成6年11月10日から11月16日にかけて、下里水路観測所にあるレーザー装置不動点を測地基準点としたGPS測量による基線解析を実施した。GPS受信機は、トリンプル社の4000SSEにより、22時間を1セッションとした4セッション観測を行ない、海上保安試験研究センターにある電波実験台のほぼ中央に、基準点を設置した。MX9112用アンテナはこの基準点に近接しているため、実測し決定した。その結果は、次のとおりである。

(1) 電波実験台中央点の位置

測地系: WGS-84

緯度: 35°42'48.6963"N

経度: 139°24'22.4080"E

楕円体高: 144.64m

(2) 基準局(MX9112アンテナ)の位置

測地系: WGS-84

緯度: 35°42.80721"N

経度: 139°24.36615"E

楕円体高: 148.79m

3-2. 固定点に対する評価

評価地点として、東京、横須賀、久里浜、劔埼、蒲郡、和歌山、神戸、姫路、高知、長崎および沖縄の11点について実施した。なお、評価地点位置として、測地基準点を利用することは、ほとんどできな

いので、釧埼を除き、測量船の係留中、または陸上固定点でのGPS単独測位(3D Navigation)における24時間データの平均位置を評価地点位置とした。評価には、評価地点位置およびDGPS処理後の24時間データの平均位置からの偏差を求めることにより行った。

3-3. 移動体に対する評価

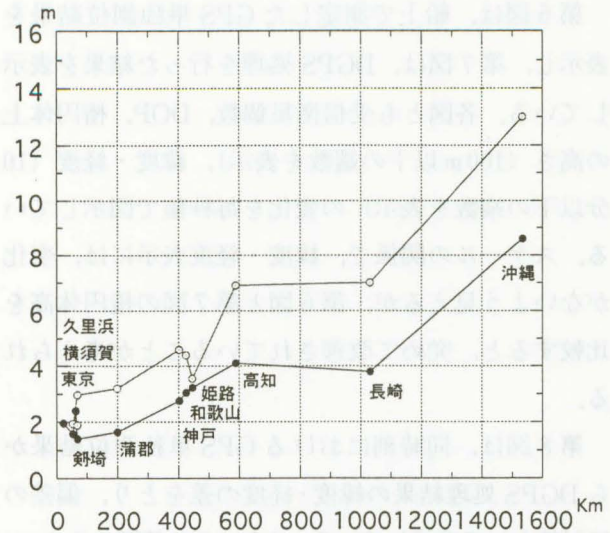
(1) 測量船「明洋」が、平成6年11月9日から10日にかけて実施した遠州灘海洋測量(A区)の約24時間のGPSデータに対して、DGPS処理を行うとともに、船上で収録したGPS単独測位結果との同時刻位置データの比較を行った。また、測線が2.5マイル間隔で7本、各測線長が約25マイルと測量範囲が限定していたため、DGPS処理後の楕円体上の高さについて、約24時間データの毎秒値を平均してA区の平均海面高を求め、ジオイド高との比較を行った。

(2) 測量船「天洋」が、平成7年7月14日から8月11日にかけて実施した大阪湾および淡路島西部海底地殻構造調査時における神戸港沖での錨泊中(7月22日)のデータに対して、DGPS処理を行うとともに、阪神・淡路大震災の復興にあたり、財団法人近畿移動無線センターが、神戸市鉢伏山に基準局を設置し、平成7年3月より運用しているリアルタイムDGPSシステムを使用して、同時刻位置データの比較を行った。このリアルタイムDGPSシステムは、基準局および船上の移動局ともトリンプル社の4000SSE GPS受信機を使用したシステムである。補正データの送信には、周波数453.10MHz、出力10W、伝送ポーレート4800bpsにより行われており、近距離では、RTK-OTFが可能なシステムとなっている。

4. 処理結果

4-1. 固定点に対する処理結果

第1図は、3-2.項で記載した約20kmから約1500kmまでの11地点について、評価地点位置およびDGPS処理後の24時間データの平均位置からの偏差の2 drms値で、それぞれ○および●により表示している。これらの地点の内、唯一測地基準点がある釧埼



第1図 基線長による偏差の2 drms

では、基線長が約68km、測地基準点からの偏差の2 drms値は1.38m、DGPS処理後の24時間データの平均位置からの偏差の2 drms値は1.27m、評価地点位置からの偏差の2 drms値は2.97mとなっており、このことから、評価地点位置の決定に約1.5m前後の誤差が含まれることが考えられる。

DGPS処理後の24時間データの平均位置からの偏差と、評価地点位置からの偏差での2 drms値は、約2mから4mの差があるが、これらは、観測地点が測量船の接岸中であるため、建物等からのマルチパスが影響していると考えられる。基線長が約1030kmの長崎では、アンテナがグランドプレーン付きのパッチアンテナを使用していたため、他の地点に比較して、約2mほど良い結果が得られている。

後処理方式によるDGPS処理結果として、DGPS処理後の24時間データの平均位置からの偏差の2 drms値は、基準局から200km付近までは、約2m前後の数値を示し、それより遠距離では、100kmあたり約0.5m程度で増加する。また、評価地点位置からの偏差の2 drms値は、100kmあたり約0.7m程度で増加する。

これらのことから、100kmあたりの増加は、1mを超えることはないと考えられる。また、長崎の結果により、アンテナの形状により、さらに精度の改善が見込まれる。

4-2. 移動体に対する処理結果

(1) 測量船「明洋」による遠州灘海洋測量(A区)

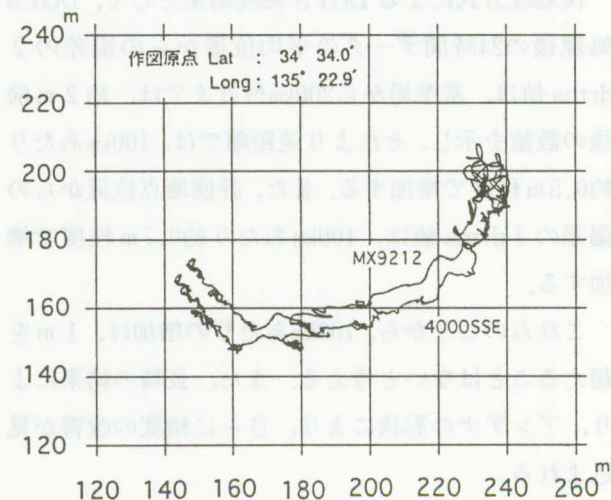
第6図は、船上で測定したGPS単独測位結果を表示し、第7図は、DGPS処理を行った結果を表示している。各図とも受信衛星個数、DOP、楕円体上の高さ(100m以下の端数を表示)、緯度・経度(10分以下の端数を表示)の変化を毎秒値で図示している。スケールの関係で、緯度・経度表示には、変化がないよう見えるが、第6図と第7図の楕円体高を比較すると、究めて改善されていることが考えられる。

第8図は、同時刻におけるGPS単独測位結果からDGPS処理結果の緯度・経度の差をとり、偏差の絶対値として表示している。また、この範囲の2 drmsは、46.5mとなり、第7図の緯度・経度は、SA成分が取り除かれているのがわかる。

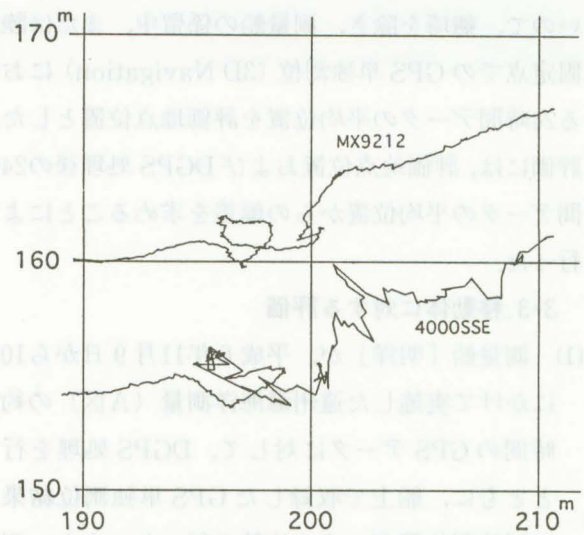
第7図の楕円体高の平均値(海面高)は37.2mであり、現代測地学に掲載されている「日本周辺のジオイド」と比較すると、同海域のジオイド高は、37mから38mとなっておりほぼ一致している。

(2) 測量船「天洋」による神戸港沖データ

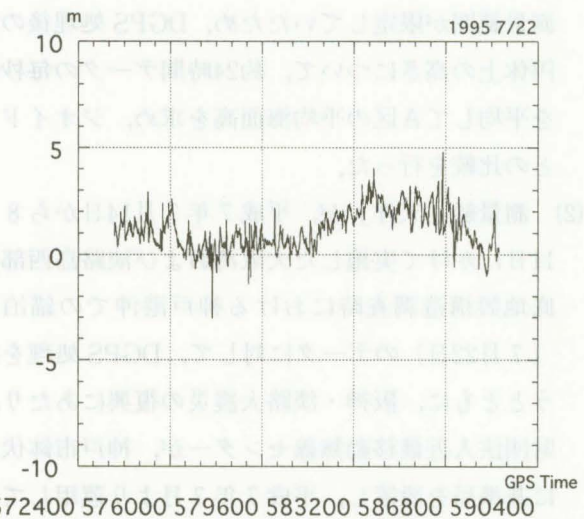
第2図は、リアルタイムDGPSと後処理方式によるDGPSの位置データをGPS時間で、573815秒から588885秒まで5秒間隔で表示し、第3図は、その一部を拡大して表示している。MX9212受信機用アンテナと4000SSE受信機用アンテナとは、測量船「天洋」の中心線上で、5.4m離れた位置に設置した。このため、第3図では、その差が良く現われている。



第2図 リアルタイムDGPSと後処理方式によるDGPSの航跡図



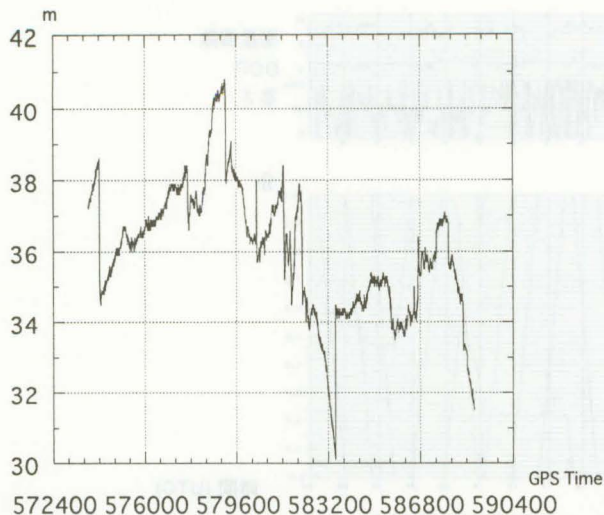
第3図 第2図の一部拡大図



第4図 リアルタイムDGPSと後処理方式によるDGPSとの同時刻位置の差

第4図は、後処理方式によるDGPS結果からリアルタイムDGPSデータの差をとり、アンテナ間の距離5.4mを補正した結果を表示している。リアルタイムDGPSデータの固有の偏差は特定できないが、第4図に表示したデータの2 drmsは、2.78mとなる。後処理方式によるDGPSに使用している基準局が観測海域から約380km離れていること、および4-1項の神戸におけるMX-9212のDGPS後の24時間データの平均位置からの偏差が2.75m(2 drms)であることから、固定点での結果と移動体での偏差はほぼ一致する。

第5図は、後処理方式によるDGPSの楕円体高(海面高)を表示している。同海域のジオイド高は、



第5図 後処理方式による DGPS の楕円体高

36mから37mとなっている。

5. DGPS 処理により判明した事柄

- (1) 移動局が使用するアンテナにグランドプレーン付きパッチアンテナまたは、チョウクリング付きパッチアンテナを使用することによりマルチパスの影響が減衰でき、精度の改善がはかれる。
- (2) 海上での測位精度は、建物等の構造物からのマルチパスが少ないで、接岸中での観測結果の内、DGPS 処理後の24時間データの平均位置からの偏差の結果に近い。
- (3) 移動局におけるリアルタイムまたは後処理方式の DGPS の水平位置測定についての安定度を把握するには、処理結果の高さの監視またはその評価をすれば瞬時に把握できる。
- (4) 遠距離における DGPS の測位精度は、約1500kmで、10m (2 drms) 以内と考えられるので、測位の改善に十分利用できる精度が得られ、海の調査に新しい時代が到来しているものと考えられる。

6. 今後の課題

DGPS は、目的によっては約2000km、もしくはそれ以上の範囲で利用できると考えられるので、今後、遠距離での観測を行うとともに従来実施してきた測量船による寄港地での観測を継続的に実施し、評価データの充実を計ることとしている。

今後、当面は後処理方式による DGPS 処理時間の

短縮を行うとともに、沿岸海域では、中波ビーコンを利用したりアルタイム DGPS への転換を行う必要があると考える。

また、将来、広範囲なサービスエリアが可能な通信衛星を利用した DGPS システムが安価に利用できる時代が来ることを想定すると、DGPS と慣性航法装置 (INS) を複合した高精度船位測定システムの研究開発に早急に取り組む必要があると考える。

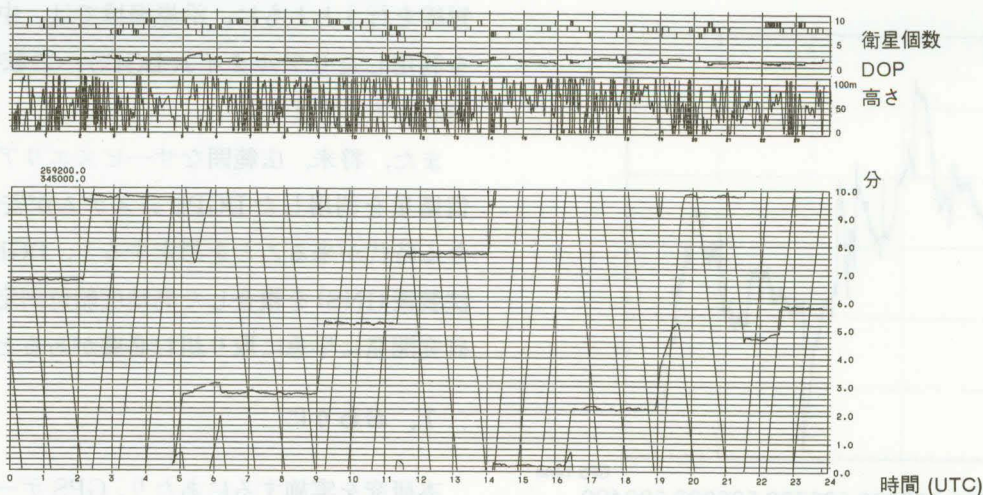
7. おわりに

本研究を実施するにあたり、GPS データの収録等に協力いただいた海上保安試験研究センター、測量船「天洋」、測量船「明洋」、測量船「海洋」、東京大学海洋研究所の藤本博巳先生、また、基準局の位置決定に協力していただいた矢吹哲一郎氏、森弘和氏に感謝の意を表します。

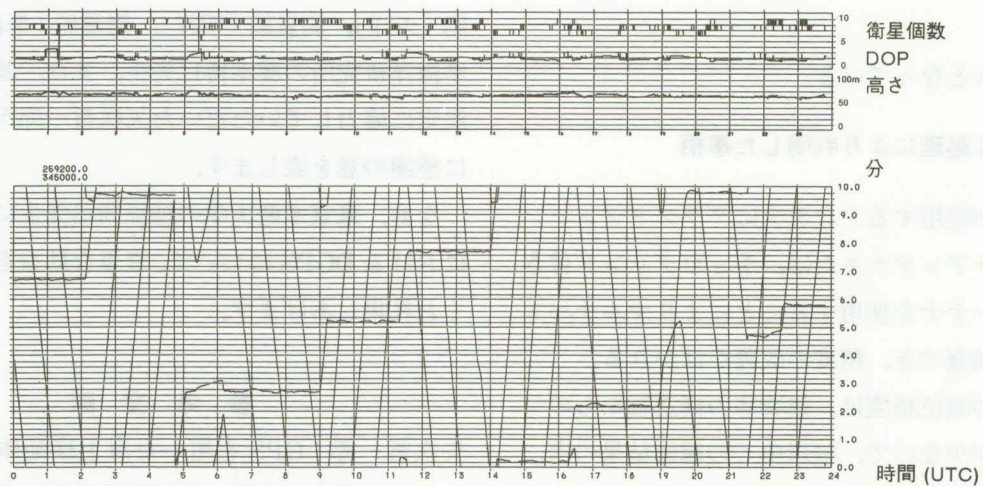
なお、東京水産大学の柿原利治先生には、遠距離における DGPS について、貴重な助言をいただき厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

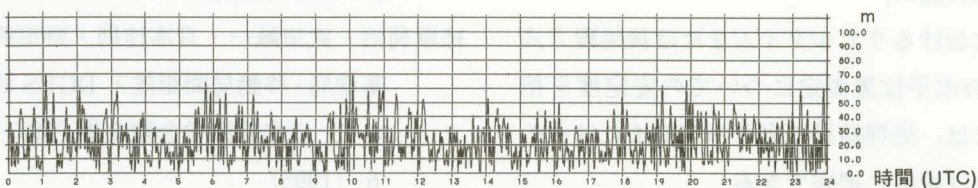
- 矢吹哲一郎：GPS を用いた海上移動体の測位技術の開発と応用，海洋調査技術，通巻13号，P 47～54，(1995)
- 柿原利治・武田誠一・宮本佳則・野田明・峰雄二：基準局・移動局間距離と DGPS 測位精度について，日本航海学会論文集，第93号，P 1～P 6 (1995)
- 日本測地学会：現代測地学，日本測地学会創立40周年記念号，P 88～92 (1994)



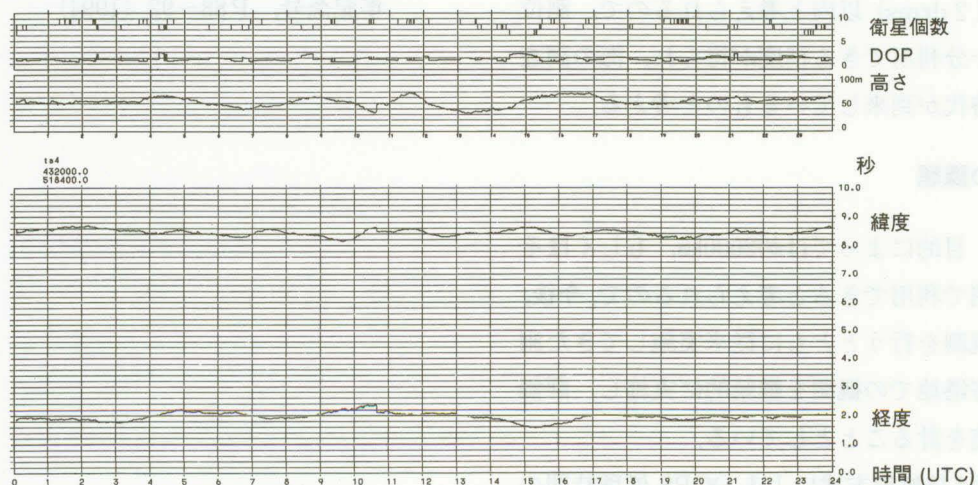
第6図 測量船「明洋」による3D単独測位結果



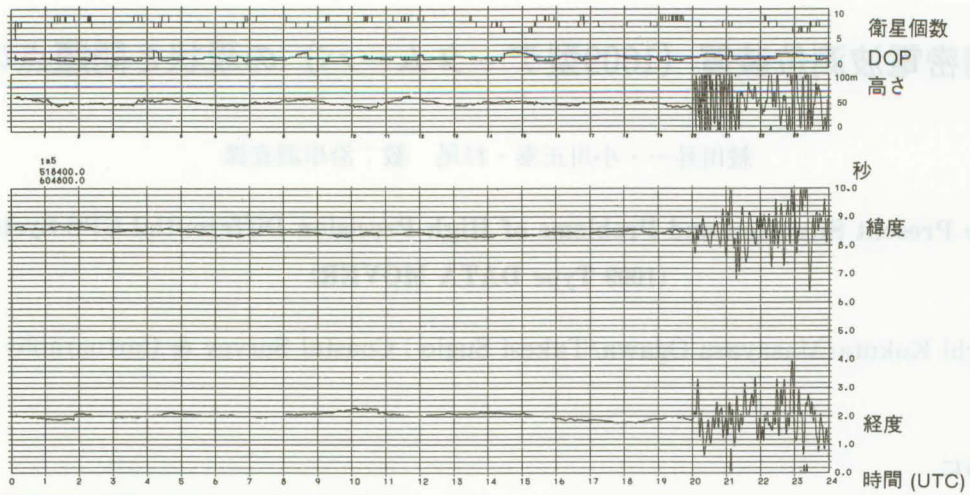
第7図 後処理方式によるDGPS処理結果



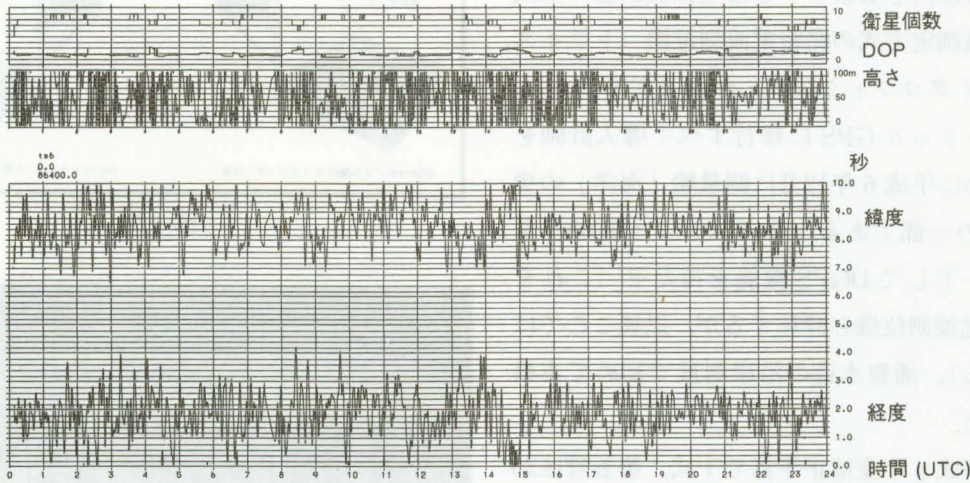
第8図 単独測位結果とDGPS処理結果の差



第9図 1994年9月23日, MX9112による3D単独測位 (SA, OFF)



第10図 1994年9月24日, MX9112による3D単独測位 (SA, OFF → ON)



第11図 1994年9月25日, MX9112による3D単独測位 (SA, ON)