

## 狭い水域における簡易なディファレンシャル GPS の 有効性について

本村紘治郎<sup>\*1</sup>・中田 裕<sup>\*1</sup>・伊藤 東<sup>\*2</sup>・  
水谷壮太郎<sup>\*3</sup>・久保田勝彦<sup>\*3</sup>・濱田悦之<sup>\*4</sup>

### Availability of the method of the Latitude-and-Longitude Correction for Differential GPS in Narrow Water Area

Kojiro Motomura<sup>\*1</sup>, Yutaka Nakada<sup>\*1</sup>,  
Azuma Ito<sup>\*2</sup>, Sotaro Mizutani<sup>\*3</sup>,  
Katsuhiko Kubota<sup>\*3</sup>, and Yosiyuki Hamada<sup>\*4</sup>

Applying the method of the latitude-and-longitude correction to improvement of ship position, an offline differential GPS(DGPS) positioning was examined in narrow water areas such as channels or ports. Measurements of positions of the training ship "Tenyo-maru" at the Kurushima channel and Takamatsu port were conducted in July 1993. The channel and the port are located about 100nmi and 160nmi, respectively, to the east of the National Fisheries University as the reference station. 99.7% of pairs of data collected were available for analysis. The positions corrected were compared with those determined directly by means of radar and gyrocompass mounted on the ship. A remarkable improvement of ship position was found after the correction; errors of the corrected position showed 25.2m in terms of 2drms in about 160nmi from the reference station. This suggests that the method was useful for actual positioning in the narrow water area.

---

水産大学校研究業績 第1490号, 1995年2月3日受付.

Contribution from Shimonoseki University of Fisheries, No. 1490. Received Feb. 3, 1995.

\*1 水産大学校漁業学科航海学講座(Laboratory of Navigation, Department of Fishery Science and Technology, Shimonoseki University of Fisheries).

\*2 新潟県立海洋高等学校 (Niigata Prefectural Kaiyo High School).

\*3 水産大学校天鷹丸 (Training Ship Tenyo-Marun, Shimonoseki University of Fisheries).

\*4 東京水産大学海洋生産学科 (Department of Marine Science and Technology, Tokyo University of Fisheries).

## 1 緒言

GPSに操作されているSA(Selective Availability: 選択利用性)は、米国の軍事上の目的で行われているため、今後も解除される見通しは薄いと思われる。SAによる誤差は、これまでの実験の結果から、2 drmsで100mを超えることが明らかにされた<sup>1, 2)</sup>。したがって、狭水道や港湾などのような、地形的に制約された水域(以後、制約水域という)を航行する場合に、GPSの単独測位で求めた位置をそのまま利用することは、航行の安全上問題がある。

SAによる誤差を補正し、GPS単独測位の位置精度を向上させる手法として、最も有効なディファレンシャルGPS(以後、DGPSという)は、すでに北ヨーロッパや米国の一部でシステム化され、油田探査、地震調査、沿岸航海などの位置測定に利用されている<sup>3)</sup>。また、エジプトでは紅海やスエズ湾の航行安全に向けて、DGPSのネットワークが検討されている<sup>4)</sup>。わが国でも、DGPSは各分野で注目されているが、DGPS仕様の受信機による本格的なDGPS測位は、一部の研究<sup>5, 6)</sup>や測量および建設の分野で行われているだけで、一般的な普及には至っていない。このような現状では、DGPS仕様でない普通のGPS受信機を利用してDGPS測位を行うのも有効な一つの方法であろう。

著者らはDGPS測位を簡便に行うことを目的として、普通の船用受信機による経緯度補正方式の簡易なDGPS

の測位精度と測得率について検討し、その有効性を評価した<sup>7, 8)</sup>。しかし、これらは、GPS両局の距離が約30海里以下と比較的近く、しかも、移動局が停止中か、または低速移動中の場合であった。ここでは、基地局から100海里以上隔たった制約水域を、移動局が約5~12ノットの速力で移動中の簡易なDGPSの有効性とその実用有効範囲について述べる。

## 2 装置および方法

### 2.1 測位装置と測位方法

本校練習船天鷹丸の第50次航海において、来島海峡航行中の平成5年7月9日09時30分から10時02分までの間と、高松港出港中の同年7月11日10時14分から10時24分までの間にDGPS測位を行った。DGPS測位を行った海域をFig. 1に示す。

GPS両局のうち、基地局のGPS受信機は本校の電波計器実験室に設置され、移動局のGPS受信機は天鷹丸に搭載された。これら2台の受信機は、定点DGPSの実験<sup>7)</sup>で、補正効果が最もよく現れた5チャンネル多重受信方式の船用GPS受信機(日本無線, JLR-4110)である。測位にあたり、PDOP(以後DOPという)値のレベルを、本受信機のDOP値選択機能の最大範囲であるDOP値20以下に設定し、3次元測位を行った。そして、GPS両局それぞれの

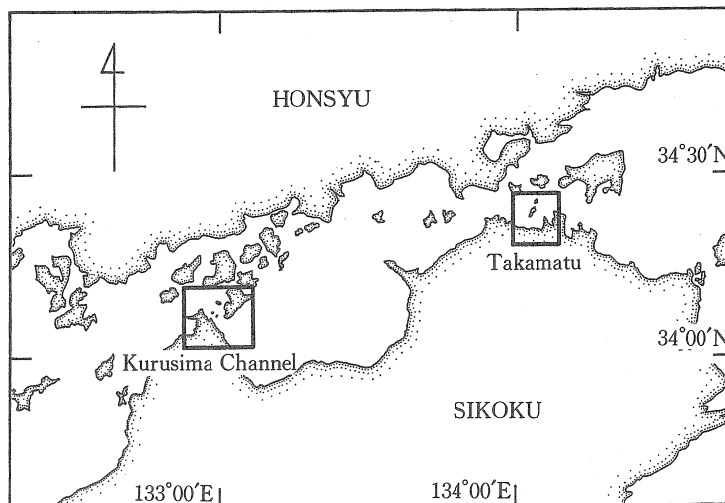


Fig. 1 Seto Inland Sea, areas of DGPS positioning.

受信機から、4秒間隔で出力される測位時刻、緯度、経度、高度、針路、速度、DOP値、衛星番号、信号レベル、ステータスなどのデータを、RS232Cを介してパーソナルコンピュータに取り込み、フロッピーディスクに記録した。この方法で得られたGPS両局のデータを用いて、後日、オフラインによりディファレンシャル処理を行った。

補正値を求めるための基地局の位置は、本校に設置されたGPSアンテナの位置(日本測地系で34°03.9604'N, 130°53.7031'E)とした。このアンテナ位置は、レーザ測距儀(アトラス・エレクトロニク・ジャパン・リミテッド, アトラスLARA90-205)で測定された下関市吉見漁港防波堤灯台からの距離と、見通し線の方位を使って、数値計算で得られた。レーザ測距儀の誤差は、5cm以下<sup>9)</sup>で、測距によるアンテナ位置の誤差はほとんどないと考えてよい。また、方位誤差を0.1°以下とすると、総合的に判断されたアンテナ位置の誤差は1.5m以下であり、この誤差は無視した。

基地局のアンテナ高さは平均海面より32mで、その周辺には、北東、東、南西の各方向に、仰角がそれぞれ約6°、9°、14°の山がある。また、天鷹丸のGPSアンテナ高さは海面より17mである。

DGPS位置の精度評価を行う基準の位置(以後、評価基準位置という)を得るための資料として、DGPS測位中、沿岸の顕著な地物のジャイロコンパス(横河北辰電機, CMZ-300)方位とレーダ(日本無線, JMA-850-9CA, 3cm波)距離を測定した。この評価基準位置決定上の誤差を小さくするため、測位目標として、方位変化が少なく、移動局からの距離が1海里以下にある地物をできるだけ選んだ。レーダ画面のレンジは測位目標までの距離にあわせて1.5海里以下の狭いレンジを選んだ。そして、レーダ距離の測定者が、誤差0.01海里以下の精度で距離を読み取った瞬時に合図を行い、同時に、時刻と地物のジャイロコンパス方位を読み取った。この場合のサンプリングタイムは、約30秒または約1分間隔とした。

なお、ジャイロエラーとレーダ距離の定誤差については、下関港、高松港および神戸港の停泊中に測定し、それぞれ+0.3°と+20mを得た。

来島海峡航行中の天候は霧、風向NNE、風力2、海況1、視程2、潮流は南流の初期、流速は3から4ノットであった。また、高松港出港中の天候は晴、風向NNE、風力1、海況1、視程5であった。

なお、GPS両局間の直線距離は、基地局から来島海峡までが約195km(約105海里)、基地局から高松港までが約

295km(約160海里)である。

## 2.2 データの処理

GPS両局で得られたデータのうち、同じ時刻に同じ衛星の組み合わせで測位されたときのデータを用いて、天鷹丸の位置を次式により補正し、DGPS位置とした。なお、以後、GPS測位、GPS位置、GPS誤差とはすべて単独測位によるものを意味することとする。

$$Lat_{id} = Lat_{ig} + (Lat_r - Lat_{rg}) \dots \dots \dots (1)$$

$$Long_{id} = Long_{ig} + (Long_r - Long_{rg}) \dots \dots \dots (2)$$

$Lat_{id}$	:	天鷹丸のDGPS緯度(度分)
$Long_{id}$	:	天鷹丸のDGPS経度(度分)
$Lat_{ig}$	:	GPS緯度(度分)
$Long_{ig}$	:	GPS経度(度分)
$Lat_r$	:	基地局の緯度(度分)
$Long_r$	:	基地局の経度(度分)
$Lat_{rg}$	:	GPS緯度(度分)
$Long_{rg}$	:	GPS経度(度分)

一方、沿岸航行中に測定した顕著な地物のジャイロコンパス方位とレーダ距離を用いて、来島海峡通航中は15000分の1の海図上に、また高松港出港中は10000分の1の海図上に作図して、評価基準位置の緯度と経度を求めた。

位置誤差を得るために比較する評価基準位置、GPS位置およびDGPS位置の測位時刻は同時性が必要である。しかし、評価基準位置のデータはレーダ観測者が最も精度よく測距できた約30秒または約1分間隔の任意の時刻に、また、GPSデータは4秒間隔で得られたため、評価基準位置とGPS位置およびDGPS位置の時刻が同じでないことがあった。その場合には、評価基準位置の時刻と同時刻のGPS位置およびDGPS位置を、比例計算で求め内挿した。内挿による誤差はほとんどないと考えてよい。そして、評価基準位置とGPS位置およびDGPS位置との差を、それぞれGPS誤差およびDGPS誤差とした。得られたGPS位置の総データ数は893個、そのうちDGPS位置のデータ数は839個であった。また、評価基準位置と比較できたGPS位置およびDGPS位置は42個であった。

## 3 結果および考察

### 3.1 移動局の位置誤差

移動局の位置誤差の水平分布を、Fig. 2に示す。同図の

上部はGPS測位，下部はDGPSによる補正後，左は来島海峡通航中，右は高松港出港中である。同心円の中心は航行中の移動局の評価基準位置である。

同図によれば，移動局のGPS誤差はSAの影響を受けて，100mを超えたものもあるが，DGPSにより補正すると誤差の分布範囲は狭くなり，すべての誤差が45m以下になった。とくに，来島海峡通航中よりも高松港出港中の方がDGPSの効果がよく現れている。

移動局の放射方向誤差を5mごとにきざみ，その相対度数分布をFig. 3に示す。Fig. 2と同様，上部はGPS測位，下部はDGPSによる補正後，左は来島海峡通航中，右は高松港出港中である。

来島海峡通航中のDGPS測位では，20m以上25m未満の放射方向誤差が最も多く25.0%で，相対累積度数は，25m未満が60.7%，40m未満が96.4%であった。高松港出港中のDGPS測位では，5m以上10m未満の放射方向誤差が最も多く50.0%で，相対累積度数は，10m未満が57.1%，20m未満が92.8%であった。以上のことは，

$$CEP = 2.5/2 \text{ drms} \dots\dots\dots (3)$$

で得られる50%確率誤差円の半径や，95%確率誤差円の半径である2 drmsの値とおおむね一致している。

擬似距離補正のDGPS測位をDOP値1.5以下の条件で行う場合，DGPS誤差の2 drmsは，GPS両局の距離が

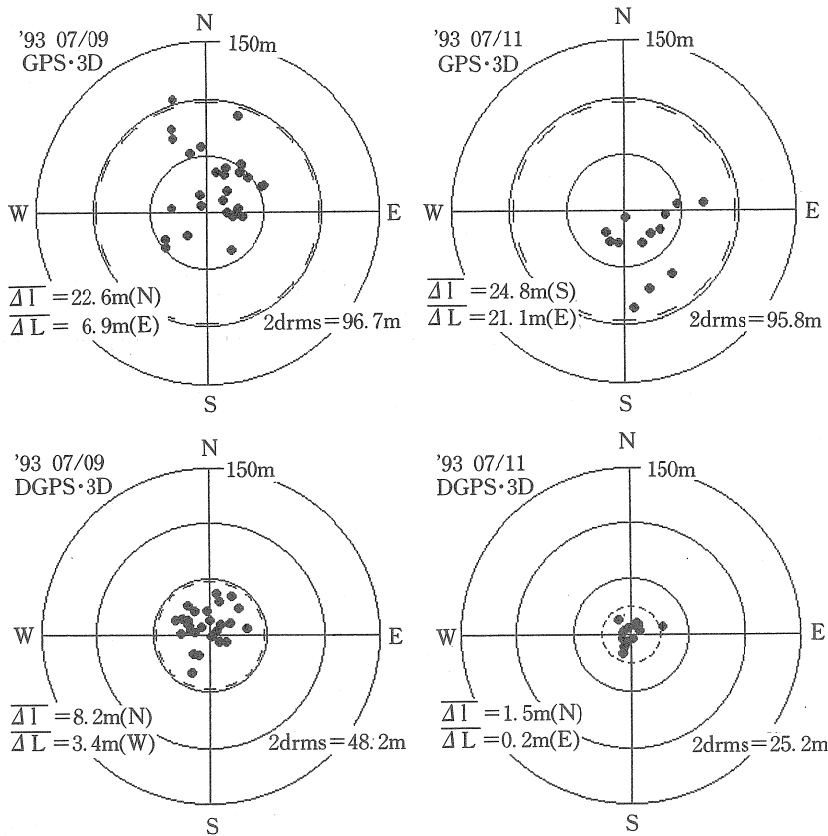


Fig. 2 Horizontal position errors.

$\overline{\Delta T}$  : mean of errors in latitude  
 $\overline{\Delta L}$  : mean of errors in longitude

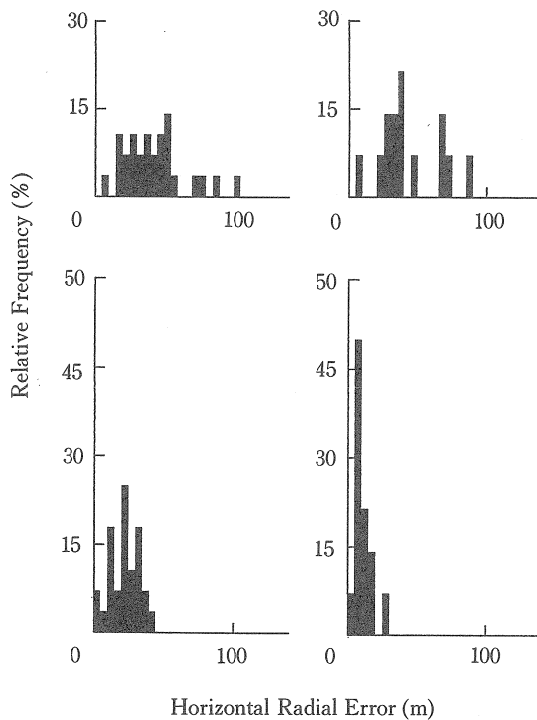


Fig. 3 Relative frequency of horizontal radial errors.

100海里のとき9.1m, 500海里のとき15.8mとされている<sup>10)</sup>。下関と来島海峡間の距離は約105海里, 下関と高松港間の距離は約160海里であるが, GPS 両局間の距離が500海里のときの擬似距離補正のDGPSよりも今回のDGPS測位は精度が悪い。

また, 定点DGPSの結果<sup>5)</sup>や漁場探査中のDGPSの結果<sup>8)</sup>と比較しても, 今回のDGPS測位は精度が劣っている。とくに, 来島海峡通航中のGPS誤差は, DGPSにより最大45mに軽減されているが, DGPS誤差の2 drmsは48.2mで, 前報<sup>7, 8)</sup>の2倍以上になった。一方, 高松港は基地局からの距離が来島海峡より遠いにも関わらず, 同港出港中のDGPS誤差の最大値は29.0m, 2 drmsは25.2mで, 来島海峡通航中のDGPS測位より精度がよかった。

このようなDGPS誤差の要因として, DGPS測位では, 補正値を求めるための基地局のアンテナ位置の誤差, GPS 両局それぞれの受信機の内部の誤差の違い, マルチパスなどが考えられる。また, 航行中の評価基準位置を得

るときの誤差も大きく影響する。この評価基準位置は, ジャイロコンパスによる沿岸地物の方位とレーダ距離を資料として作図で得られたから, 装置内部のジャイロエラーやレーダの距離誤差を取り除いても, 方位と距離測定上の誤差, 測定時刻の誤差, 海図の精度, 作図上の誤差および緯経度読み取り上の誤差が介入する。

来島海峡通航中の評価基準位置は, 沿岸の灯台, 岬角, 水上岩を測位目標として求められた。そこで, ジャイロコンパスによる方位読み取り誤差を $0.3^\circ$ 以下<sup>11)</sup>, 測定時刻の誤差を0.5秒以下, レーダ距離読み取りの誤差, 海図編纂上の誤差, 海図の海岸線とレーダ映像の整合の度合いによる誤差などを総合すると, 方位と距離測定上の誤差は放射方向誤差で約20m以下と考えられる。また, 作図上の誤差, さらにジャイロコンパスの設置場所とレーダのスキャナの設置場所の違いによる誤差などをあわせた約10m以下とすると, 来島海峡通航中の評価基準位置の最大誤差は約30mと推定できる。

一方, 高松港出港中では, 評価基準位置を得るための測位目標は高松港朝日町外防波堤北灯台と同防波堤北端であった。岸壁離岸後, 天鷹丸はこの灯台を船尾に見ることが多かったため, 灯台の方位変化は小さく, 方位読み取り誤差とそれに伴う位置の誤差は来島海峡ほど大きくない。また, 防波堤端の形状とレーダ映像との整合性や, 映像の乱れによる誤差は来島海峡通航中に比べて極めて小さく, 総合的な最大誤差は約10mと推定できる。とすると, 今回のDGPS誤差が比較的大きかった原因は, 航行中の評価基準位置の精度に影響されていると考えられる。

長岡ら<sup>10)</sup>は, DGPSを航空管制用レーダのバイアス誤差の更正に利用した。この航空管制用レーダと今回使用されたレーダの精度は異なるが, 今回の評価基準位置にもかなりの誤差が介入していると考えられる。とくに, 来島海峡通航中のDGPS誤差が高松港出港中に比べて大きいことは, 以上のように考えると納得できる。

評価基準位置を, ジャイロコンパスとレーダを使用して求める方法は, 介入する誤差の大きさを考慮すると適切でない点もあるが, 上述のように検討された誤差を差し引くと, 来島海峡通過中も高松港出港中も, 2 drmsはほぼ15~20mとみなしてよい。

### 3.2 補正効果の時系列的検討

つぎに, 移動局のGPS位置が補正された様子を, 測位に使用された衛星の組み合わせやDOP値とともに, 時系列的にFig. 4に示す。同図は評価基準位置と比較できた

場合だけを示しているため、完全な時系列ではないが、SAによる誤差の傾向と補正の様子をおおむね知ることができる。

同図の縦軸は測位誤差を、横軸はデータ番号を示す。補正効果を見やすくするため、基地局の緯度誤差を北に、経

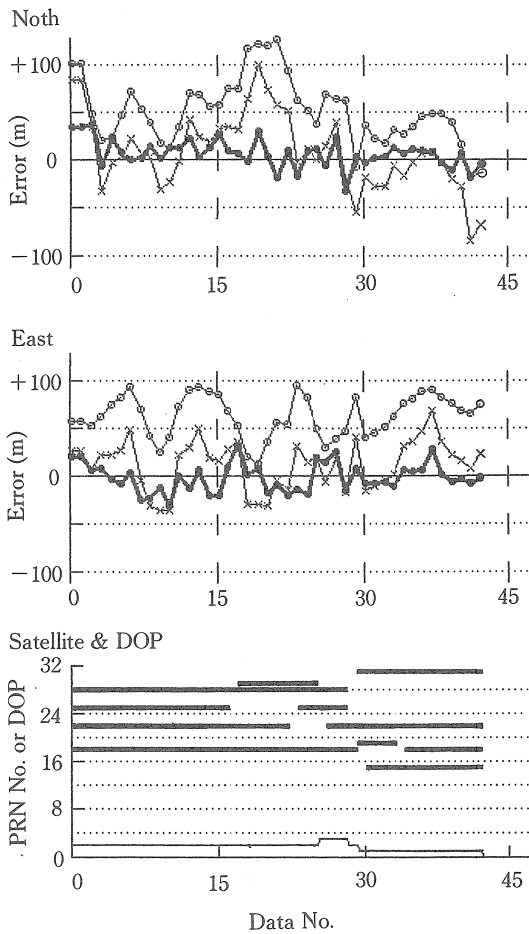


Fig. 4 Continuous plot of errors in latitude and in longitude with changes of combinations of GPS satellites and PDOP values, obtained at the reference station and the remote receiver.

- : reference station(Shimonoseki University of Fisheries)
- ×: remote receiver(Trainig ship Tenyo-Maru)
- : DGPS
- : Satellite
- : PDOP

度誤差を東にそれぞれ50mずらしてある。GPS両局の緯度誤差、経度誤差の変動が大きな波状になっているが、これは主としてSAによるものである。

データ番号28までのデータより、データ番号29以降の方がDGPS効果がよく現れている。これは、前節で述べたように、来島海峡通航中よりも、高松港出港中のDGPS測位の方が精度よく行われたことを示している。

### 3.3 制約水域航行中におけるDGPSの有効性

来島海峡と高松港における天鷹丸の航跡をFig. 5およびFig. 6に示す。来島海峡通航中のDGPS誤差には、比較的大きなものもあったが、移動局のDGPS位置はGPS位置よりも評価基準位置の近くに求められた。

簡易なDGPSの有効性を評価するときには、測位精度だけでなく、測位時間、サンプリングタイムおよび実際に得られたDGPS位置の個数をもとに、測得率を検討する必要がある。

Fig. 6に示されたように、高松港出港直後約3分間、DGPS位置が得られなかった。この原因は、高松港周辺の建築物、島等により低高度の衛星からの電波が遮蔽され、基地局で測位に利用された衛星の組み合わせと移動局で利用された衛星の組み合わせが異なったためと考えられる。

簡易なDGPSの研究<sup>7)</sup>を始めたとき、狭水域や港内では、周囲の地形の影響を受けて、DGPS測位の測得率は低いであろうと予想していた。定点DGPSやレーザ測位と比較したときの測得率<sup>7,8)</sup>についてはすでに述べたが、今回も測得率は以外に高く、サンプリングタイム4秒の測位で、来島海峡では99.7%、高松港では77.2%であった。

以上より、基地局から約160海里以内の水域で、20m以下の誤差が許容されるような場合には、簡易なDGPSは船位または航跡の把握に有効であると考えられる。

本校を中心とした半径160海里の海域を、基地局のカバーレッジエリアの一例としてFig. 7に示す。カバーレッジエリア内では、航行中の船舶の位置決定のほか、旋回径の測定、漁船や調査船の航跡の把握、船舶の輻輳する狭い水域の浚渫作業を行うときの土運船の運航ルートの実態把握、一般航行船舶などの運航管理や海上交通分野への簡易なDGPSの応用も可能であろう。さらに、電話回線を利用したパーソナルコンピュータ通信などの手段で、補正值を転送するなら、移動局を搭載した船舶はリアルタイムで精度のよいDGPS位置を、経緯度レベルで知ることも可能である。

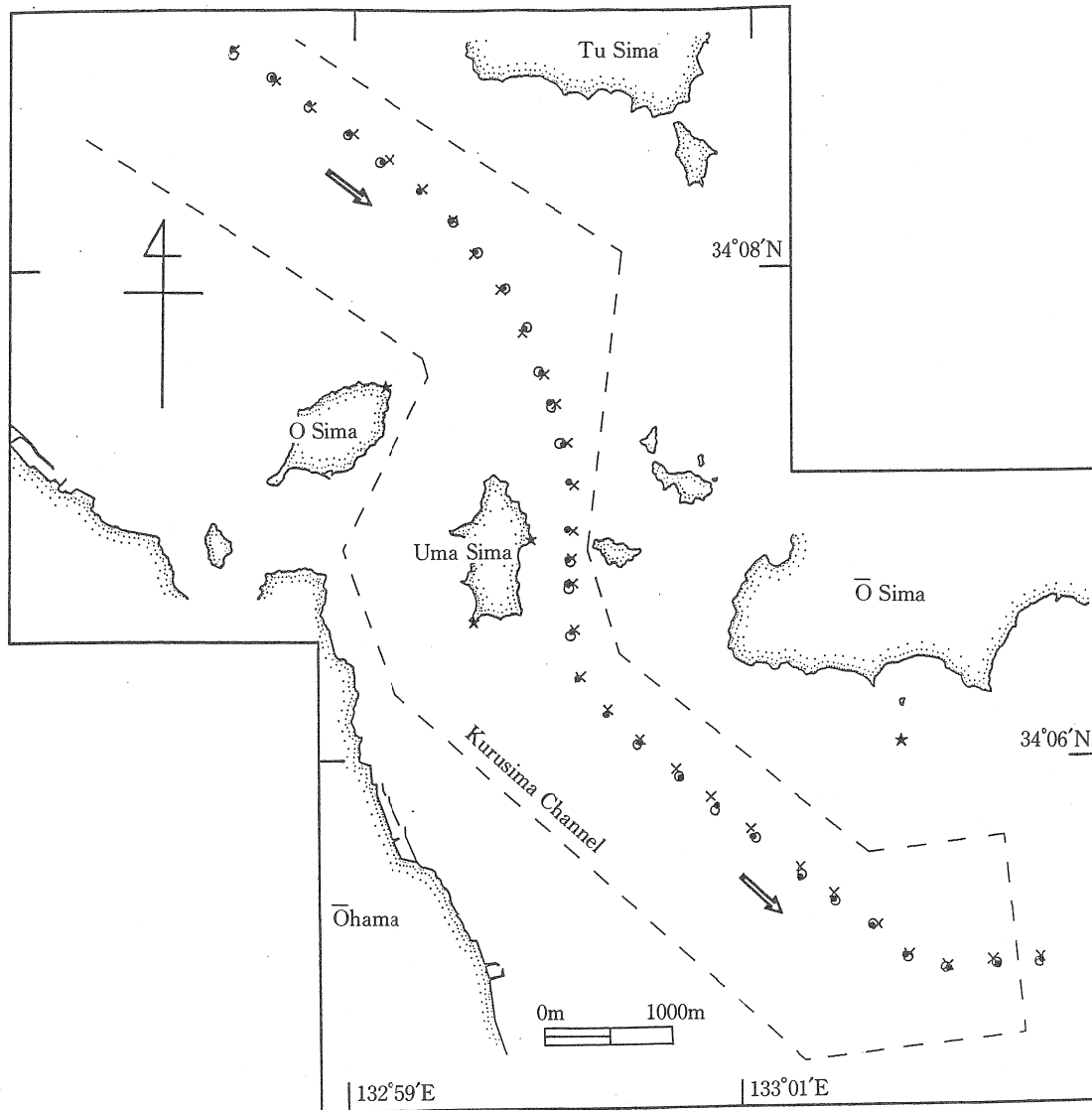


Fig. 5 Positions in Kurushima channel.

- : fixed by gyro compass and radar
- × : fixed by GPS
- : fixed by DGPS

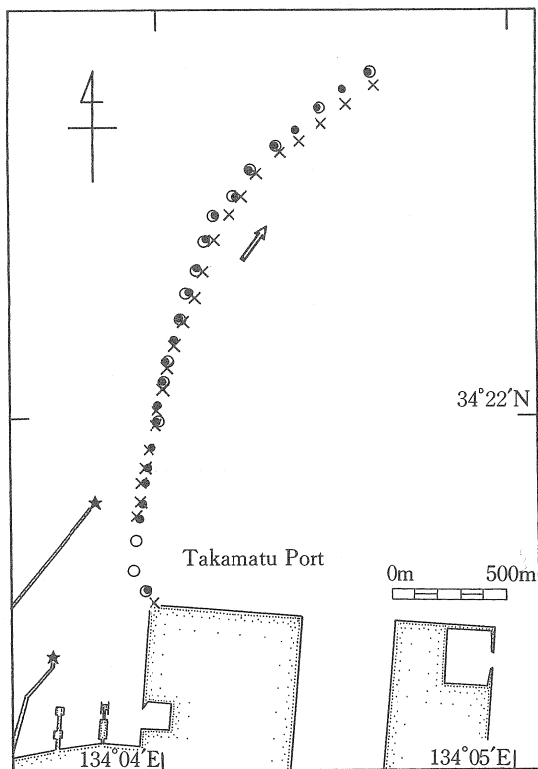


Fig. 6 Positions in Takamatsu port.  
Symbols used are the same as those in Fig. 5.

#### 4 要約

瀬戸内海の制約水域を航行中の天鷹丸の位置を簡易なDGPSにより求めた。その結果を要約すると、

- (1) 移動局のGPS単独測位誤差はSAのため100mを超えたものもあるが、DGPSにより誤差はすべて45m以下に軽減された。
- (2) 基地局から約160海里離れた移動局の、DGPS誤差の2 drmsは25.2m、DGPS位置の測得率は77.2%であった。
- (3) 簡易なDGPSは、基地局から約160海里離れた制約水域を、約12ノットの速力で航行中の船舶の位置補正に有効であった。
- (4) 簡易なDGPSは、基地局のカバーレージエリア内の、漁船、特殊作業船、さらに一般船舶などの運航管理や海上交通分野、また、操縦性能試験などへの応用が期待できる。

終わりに本研究を行うにあたり、種々御協力いただいた天鷹丸乗組員の方々と平成5年度専攻科船舶運航課程の学生諸君に厚くお礼申し上げます。

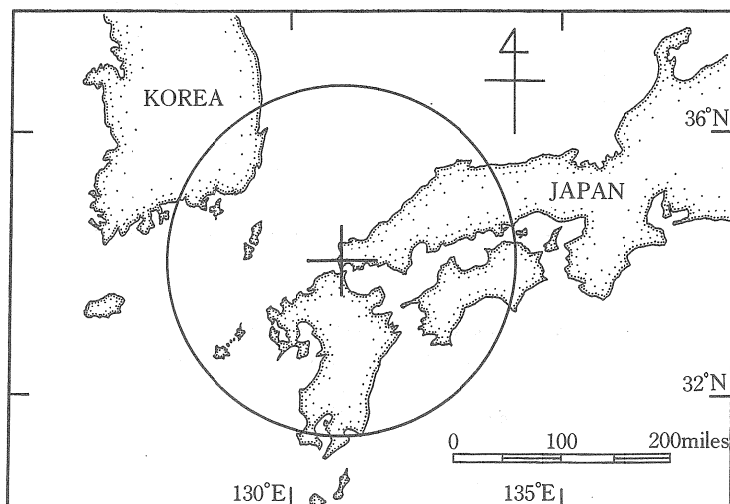


Fig. 7 DGPS coverage area in case of the reference station located at Shimonoseki University of Fisheries.



## 参 考 文 献

- 1) 中田 裕・本村紘治郎・田淵清春・濱田悦之：水産大研報, 41, 179-191(1993)
- 2) 片山 晋：航海, 113, 4-11(1992)
- 3) 木村小一：造船技術, 309, 71-95(1993)
- 4) H. El-saadawy : Journal of The Institute of Navigation, 47, 332-337(1994)
- 5) 柿原利治・武田誠一・峰雄二・佐藤 要：日航論, 90, 53-61(1994)
- 6) 加来信之・北館勝彦：日航論, 90, 81-88(1994)
- 7) 本村紘治郎・中田 裕・内田和良・濱口正人・田淵清春・下川伸也・堀田俊孝・濱田悦之：水産大研報, 42, 119-130(1994)
- 8) 本村紘治郎・中田 裕・内田和良・濱野 明：日航論, 92, 9-17(1995)
- 9) J. Riegl : LR90-2 USER'S MANUAL(1992)
- 10) A. Brown : Journal of The Institute of Navigation, 36, 265-285(1989)
- 11) 鮫島直人：船位誤差論, 初版, 天然社, 東京, 1954, pp107-115
- 12) 長岡 栄・天井 治：日航論, 90, 63-72(1994)