

## 湖沼調査における DGPS 測位 (その 2) — DGPS 補正データ放送を利用した高精度測位 —

西村清和<sup>1</sup>・石原文実<sup>1</sup>

### DGPS positioning in lake surveys (part 2)

#### - High precision positioning using broadcasting service of DGPS corrections -

Kiyokazu Nishimura<sup>1</sup> and Takemi Ishihara<sup>1</sup>

**Abstract:** In lake surveys, it is very important to measure positions of survey sites or lines with a high precision. DGPS (Differential Global Positioning System) is a new high-precision positioning technique. The DGPS system needs DGPS correction data obtained at a GPS reference station with a known geographic coordinate. Service of several methods to transmit DGPS correction data started recently in Japan, i.e., broadcasting by MF (middle frequency) marine radiobeacon, FM multiplex broadcasting and distribution via the Internet. Experiments were carried out in and around Lake Nakaumi to evaluate whether these DGPS correction data services were usable. We used correction data from a MF radiobeacon station located in Hamada (western part of Shimane prefecture) and those from a FM broadcasting station FM San'in located in Matsue (eastern part of Shimane prefecture). However, the correction data from the MF radiobeacon of Hamada could not be received around Lake Nakaumi. We expect that we can use DGPS correction data from another new radiobeacon station (Tango, Kyoto prefecture) which starts its service in April, 1999. On the other hand, we could receive excellent correction data from the FM radio station and we could carry out the DGPS positioning in most locations of Lake Nakaumi. To evaluate repeatability of the DGPS positioning in navigation survey, two buoys about 120m away from each other were installed in Lake Nakaumi, and we navigated a boat loaded DGPS receiver between two buoys. It was found out that positioning precision was within several meters. Moreover, we confirmed that we can carry out DGPS positioning using correction data via the Internet in anywhere we like.

**Key words:** DGPS, FM multiplex, Lake Nakaumi, positioning, radiobeacon

### はじめに

湖沼での調査観測において、測点あるいは測線の正確な位置測定を行うことは調査観測の精度を上げるうえで極めて重要である。近年 GPS (Global Positioning

System: 全地球測位システム) が測位システムとして急速に普及し始め、湖沼調査にも使用されるようになった。

しかしながら、GPS 受信機一台でおこなう単独測位の GPS では、軌道情報の誤差、衛星時計の揺らぎ、

<sup>1</sup> 工業技術院地質調査所

Geological Survey of Japan, Tsukuba 305-8567, JAPAN

電離層および対流圏での電波伝搬誤差, マルチパス誤差, 受信機ノイズ, SA (Selective Availability: 選択利用性) により精度は, 水平方向で 100m 程度 (95% の確率円) となっている (土屋・辻, 1995). SA は民間に開放されている使用モードにおいて, 米国国防総省が行う測位の精度を作為的に劣化させる操作で, これが最も大きな誤差要因となっている。

このような誤差を解消する測位法として, 「DGPS」 (Differential GPS) や「干渉測位法」がある。DGPS システムでは, 予め位置が正確に分かっている参照地点 (reference point) で測位誤差を求め, それによって未知点での測位結果を補正して精度を改善するものである (図 1). 具体的には, 参照地点と未知点で同時に GPS 測位を行い, 参照地点で得られる GPS により測位された実測位置から求めた各衛星までの距離 (pseudorange: 疑似距離) と, 各衛星の放送軌道暦による衛星位置と真の位置から求めた計算距離との差を疑似距離補正データとして未知点へ何らかの方法で伝送する。未知点側では, その値を各衛星からの疑似距離から差し引いて未知点の位置を算出する (安田, 1996). こうすることによって, 両地点での測定誤差のうちの共通成分が相殺されて, 結果として精度が改善される。これにより SA に起因する誤差も消去することができる。精度は数 m から 10m 程度である。

DGPS 測位を行う場合, 参照地点 (基地局) および未知点 (移動局) においてそれぞれ GPS 受信機が必要となる。さらにリアルタイムで DGPS 測位を行う場合は, 参照地点で求めた補正データを未知点の GPS 受信機に伝送しなければならない。

西村 (1997) は汽水湖中海での観測において, 1995 年から DGPS システムを導入し高精度測位を可能とした。使用した DGPS 測位の方式は, 補正データを特定小電力無線機で伝送するリアルタイム DGPS 測位と補正データの伝送は行わないで, 後処理 (post processing) で補正を行う後処理 DGPS 測位である。これにより, 高精度測位が実現したが, 特定小電力無線機を用いたシステムでは, 補正データの電波の到達距離が 2km 程度で, 広範囲の調査観測には不向きであった。また, 基地局の設置やシステム全体のハンドリングが煩雑で, より簡素な DGPS 測位が待望された。一方, 後処理 DGPS 測位では, 調査観測終了後に処理を行うため, 基地局, 移動局の受信状態が悪いことに気づかずに, 測定を行い, 測位結果が得られないことがあった。

上記の欠点を解消し, 能率的な DGPS 測位を行うには, DGPS 補正データをいずれかの公共の伝送手段を

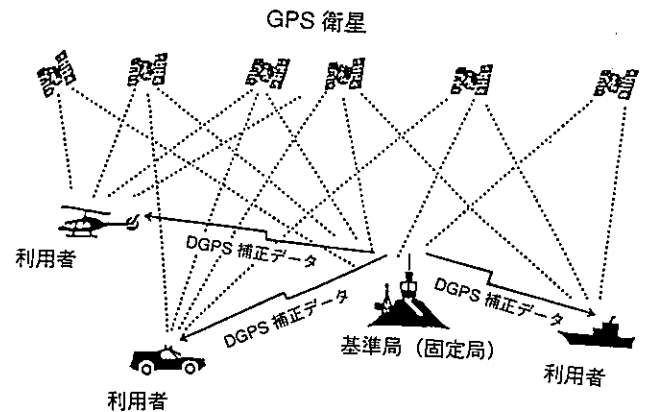


図 1. DGPS の構成 (安田, 1998).

Fig. 1. Configuration of the DGPS (Yasuda, 1998).

通して取得することである。

本論では, DGPS 補正データの伝送手段の現状について概説した後, 汽水湖中海を中心とした DGPS 測位実験の結果について述べる。

## DGPS 補正データの伝送手段

西村 (1997) において, DGPS 補正データの取得手段について紹介した。それによると, 補正データの伝送手段として, (1) 無線通信 (特定小電力無線等), (2) 電話回線 (携帯電話, 船舶電話), (3) 中波ビーコン, (4) FM 多重 DGPS, がある。

補正データのサービスは, 電話回線によるものがすでに実用に供されており, ついで日本周辺海域の航行援助のための中波ビーコンによる補正データ放送の実験が海上保安庁により 1995 年 12 月から開始された。陸上においては, カーナビゲーションの精度向上を目的として FM 多重放送による補正データサービスが 1997 年 5 月から開始された。また最近ではインターネットを介して補正データを配信する実験が行われている。

### (1) 中波ビーコンによる DGPS 補正データ放送

海上保安庁の海上中波ビーコン局から発射される 300kHz 前後の中波ビーコン電波に DGPS 補正データを重畳して放送するもので, その実験が釧路 (神奈川県, 周波数 309kHz) および大王埼 (三重県, 周波数 288kHz) のビーコン局で開始された (西田, 1997). おおよそのサービスエリアは半径 200km の海上である。1998 年 4 月には犬吠埼 (千葉県, 周波数 295kHz); 浜田 (島根県, 周波数 305kHz) など全国 11 局でサービスが開始され, さらに 1999 年 4 月からは丹後 (京都府, 周波数 316kHz) など全国 14 局でサービスが開

始され、全国展開がほぼ完成する（図2）。

## （2）FM 多重 DGPS 補正データ放送

GPS を用いたカーナビゲーションシステムが近年急速に普及し始めている。GPS 受信機による単独測位では、その精度は十分ではなく、より高精度なカーナビゲーションを実現するためにFM多重放送を補正データ伝送に用いたDGPSの導入が図られた。FM放送の音声周波数領域はステレオ放送の主・副音声の他に76kHzを副搬送波とするデータ送信用のチャンネルが用意され、いわゆる「見えるラジオ」とよばれるFM文字放送が運用されている。このデータの一部にDGPS補正データが挿入され、約5秒毎のデータ更新周期で送信されている。オーディオ、家電、自動車メーカー各社の出資による（株）衛星測位情報センターが設立され、DGPSシステムの構築、放送システムの整備等が進められた。そして1997年5月から、全国7ヶ所の基準局で解析したDGPS位置補正データをTOKYO FMをキイ局とするJFN系列放送局他のFM多重放送に載せて全国一斉にサービスを開始した

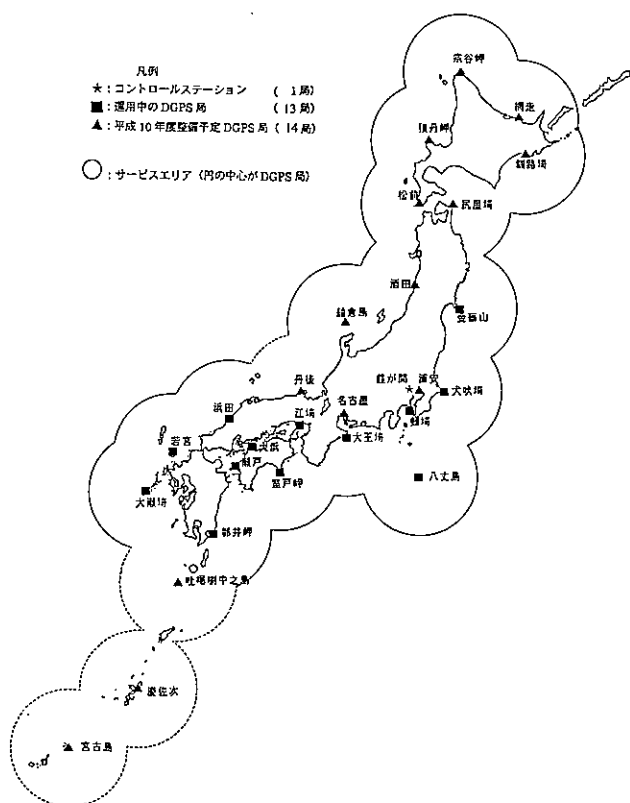


図2. 日本における中波ビーコン局の配置（西田，1997に基づく）。

Fig. 2. Location of the MF marine radiobeacon stations in Japan (based on Nishida, 1997).

（川島，1997；安田，1998）。全国の放送局および基準局の位置を図3に示す。これにより測位精度10m以内が実現するという。カーナビゲーション用として開発されたシステムであるが、湖沼での調査観測で利用できる補正データ伝送システムの一つであると思われる。

## （3）インターネットによるDGPS補正データの配信

DGPS補正データをインターネットで配信する実験が1998年12月から地図ソフトメーカーの（株）アルプス社（<http://www.alpsmap.co.jp/>）で行われている。これは、GPS基地局（名古屋市千種区に設置）で測定して得たGPS補正データをWEBサーバを通して提供するものである。利用するユーザーは携帯電話などからインターネットに入り、アルプス社のWEBサーバをアクセスして、RTCM SC-104 フォーマットの補正データをダウンロードする（図4）。インターネットによる補正情報配信の目的は上記の中波ビーコン、FM多重によるデータ放送のサービスエリアが限られており、山間部などでは受信できないなど、DGPSを十分には利用できない状況を打開することにあるという。従来から同様のシステムとして電話回線による補正データの伝送のサービスが行われているが、それに比べインターネットを利用することから利用者の装置が簡単になるなどの利点がある。



図3. FM多重DGPSデータ放送局および基準局の位置（安田，1998）。

Fig. 3. Location of the FM radio stations which broadcast DGPS correction data and the reference stations of GPS (Yasuda, 1998).

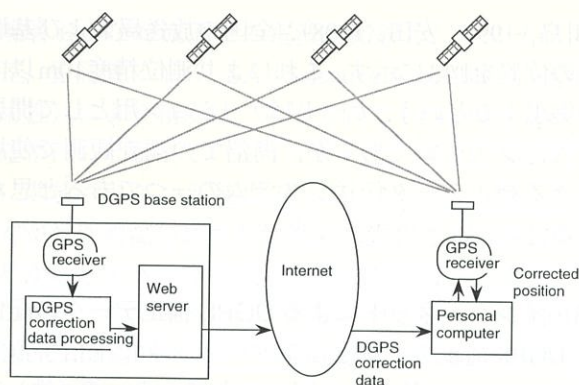


図4. インターネットによる DGPS 補正データ配信システム (アルプス社ホームページを参考にした).

Fig. 4. DGPS correction data distribution system via the Internet and the web server (referred to the homepage of Alps mapping Co., Ltd.).

## DGPS 補正データ放送を利用した DGPS 受信システムの構成

筆者等は 1998 年はじめから, DGPS 補正データ放送を利用した DGPS 受信システムの湖沼への適用性について評価実験を始めた. 以下に実験で使用中波ビーコン, FM 多重およびインターネットによる DGPS 受信システムの構成の概要を述べる.

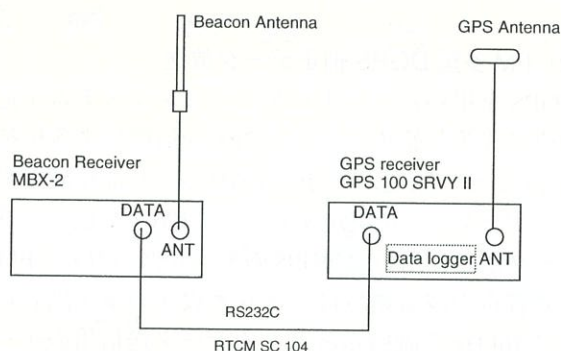
### (1) 中波ビーコンによる DGPS 受信システム

DGPS 受信システムは, GPS 受信機 (GPS 100 SRVY II, Garmin International, Inc., 米国) およびビーコン受信機 (MBX-2, Communication Systems International Inc., Canada) から構成される (図 5 (A)). さらにリアルタイムの位置のプロットを行う場合は, ノートパソコンを接続する. ビーコン受信機から出力されるデータは RTCM SC-104 フォーマットで 4800bps のシリアルデータである. 測位データは GPS 受信機内のメモリーに収録でき, 測位終了後, ノートパソコンへデータ転送する.

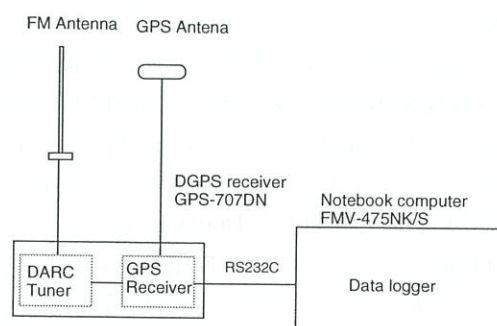
図 5. 実験で使った DGPS 受信システムのブロック図. (A) 中波ビーコン受信機と GPS 受信機, (B) FM 多重 DGPS 受信機, (C) FM 多重受信ユニットと GPS 受信機, (D) GPS 受信機とインターネット接続用携帯型パソコン.

Fig. 5. Block diagram of the DGPS receivers used in the experiments. (A) MF marine radiobeacon receiver and GPS receiver, (B) FM multiplex DGPS receiver and notebook computer, (C) FM multiplex receiver unit and GPS receiver, (D) GPS receiver and mobile computer for Internet connection.

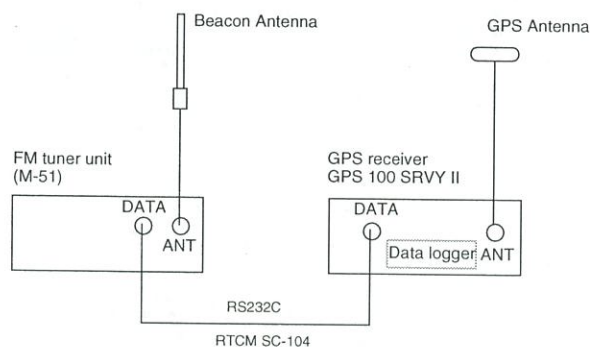
(A) GPS receiver + Radio beacon receiver



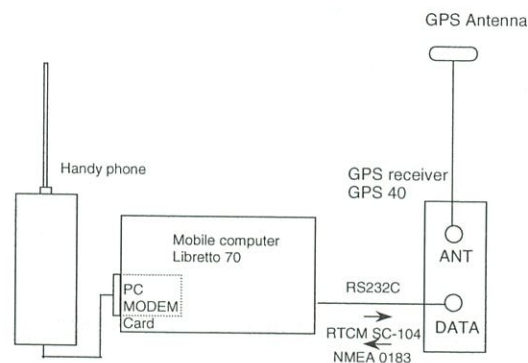
(B) DGPS receiver with FM tuner



(C) GPS receiver + FM tuner unit



(D) GPS receiver + Mobile computer + Handy phone





## (2) FM多重によるDGPS受信システム

FM補正データ放送が開始されて日が浅いため、受信機等の製品はまだ揃っていない。カーナビゲーション用として、FM多重受信アダプタやFM多重受信機能を組み込んだ製品が出始めた。実験では、DGPS受信ユニット (GPS-707DN, パイオニアナビコム (株) およびDGPS用FM多重受信ユニット (M-51, (株) データテック) +GPS受信機 (GPS 100 SRVY II) を使用した。DGPS受信ユニット (GPS-707DN) はGPS受信機とFM多重チューナーが一体となったもので、操作用スイッチ、表示器は一切ない。パソコン (FMV47NLSS3, 富士通 (株)) のシリアルポートに接続し、コマンド入力およびデータ出力を行う (図5 (B))。DGPS用FM多重レシーバはFM受信機で、DGPS補正データをRTCM SC-104フォーマットまたはDARCフォーマットでシリアルデータとして出力するようになっている (図5 (C))。

## (3) インターネットによるDGPS受信システム

実験では携帯型パソコン (Libretto 70, (株) 東芝), 携帯電話 (NTTドコモ), GPS受信機 (GPS-40 Garmin International, Inc., 米国) を使用した。携帯型パソコンにはアルプス社の提供するGPSドライバソフトウェアをセットアップした。携帯電話を使用し公衆回線からインターネットプロバイダへダイヤルアップ接続を行い、アルプス社のWEBサーバにアクセスする。受信した補正データ (RTCM SC-104フォーマット) はGPS受信機に入力されDGPS測位が行われる。測位結果はパソコンに収録される (図5 (D))。

## 測 位 実 験

### (1) FM多重DGPS受信ユニット (GPS-707DN), (2)

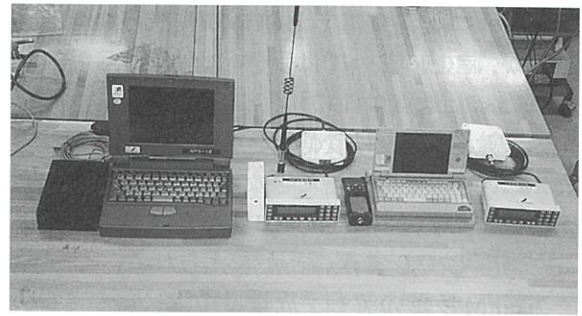


図6. 実験に使用したGPS受信機群。左からDGPS受信ユニット (GPS-707DN), ノートパソコン, FM受信ユニット (M-51), GPS受信機 (SRVY II, FM-DGPS測位用), GPS受信機 (GPS-40, インターネット配信DGPS用), 携帯型パソコン (Libretto 70), GPS受信機 (SRVY II, 単独測位用)。

Fig. 6. GPS receivers used for the experiments. From the left, DGPS receiver (GPS-707DN), Notebook computer (FMV-475NK/S), FM multiplex receiver units (M-51), GPS receiver (SRVY II for FM DGPS), GPS receiver (GPS 40 for Internet DGPS), Mobile computer (Libretto 70), GPS receiver (SRVY II for point positioning).

FM多重受信ユニット (M-51) + GPS受信機 (SRVY II), (3) ビーコン受信機 + GPS受信機 (SRVY II), (4) インターネット接続用携帯型パソコン + GPS受信機 (GPS 40), (5) 単独測位GPS受信機 (SRVY II) を使用してDGPSシステムの評価実験を行った (図6)。

### (1) 補正データ放送の受信範囲のチェック

島根県下において利用可能なDGPS補正データ放送は、浜田のビーコン局からの電波およびFM山陰のFM多重放送波である。島根県下のいくつかの調査観測地においてこれらの補正データが利用できるかチェックした (表1)。

表1. 島根県下におけるDGPS補正データ放送の受信状況調査結果 (1998年2月～1999年2月)。

Table 1. Investigation results of the reception condition of the DGPS correction service in Shimane Prefecture (Feb. 1998- Feb. 1999).

| 調査地点             | FM多重DGPS | ビーコンDGPS (浜田局) | インターネットDGPS | 受信(通信)状態 |
|------------------|----------|----------------|-------------|----------|
| 江の川河口            | —        | ◎              | —           | ◎ 良好     |
| 江の川河口から5.5km上流地点 | ×        | ×              | ◎           | ○ 可能     |
| 菰沢池(江津市浅利)       | ×        | ○              | —           | × 不可     |
| 島根大学構内 (松江市)     | ◎        | —              | —           | — 未調査    |
| 大根島大塚山           | ◎        | ○              | —           |          |
| 島根大学江島分室 (八束町江島) | ◎        | ×              | —           |          |
| 中海中浦水道           | ◎        | ×              | —           |          |
| 中海湖心観測所付近        | ◎        | —              | —           |          |
| 中海大橋川河口沖         | ◎        | —              | ◎           |          |
| 中海米子空港沖          | ◎        | —              | ◎           |          |
| 中海米子湾入口          | ×        | —              | ◎           |          |
| 中海飯梨川河口沖         | ◎        | —              | —           |          |
| 中海下意東沖           | ×        | —              | ◎           |          |
| 中海大根島江沖          | ◎        | —              | —           |          |
| 中海本庄工区           | ◎        | —              | —           |          |
| 美保湾 (美保関町沿岸)     | ×        | —              | —           |          |

中波ビーコン波は海上 200km が受信可能範囲と言われるが、陸上においては受信状況が悪い。受信状態の良好だった地点は江の川河口（江津市）だけである。大根島大塚山では受信できたが、受信状態は良くない。また中海では受信できなかった。電波の伝搬経路が長距離の陸上であり、山間部を通ることにより電波が減衰してしまうことが考えられる。

一方、FM 多重のデータ放送は中海においては、米子湾入り口付近、中海南部の下意東沖を除き良好に受信でき、DGPS 測位が行えた。当然ながら測位地点が FM 山陰のサービスエリア内である必要がある。

インターネットによる DGPS 補正は、野外でインターネットへ接続できれば利用可能である。実験地点はいずれも携帯電話により公衆回線経由でインターネットへ接続ができたので、取得した補正データを用いて、DGPS 測位が行えた。中海ではどこでも問題なく使用でき、島根県西部の江の川流域の山間部においても DGPS 補正データが得られ、DGPS 測位が行えた。

## (2) 大根島二等三角点での定点測定

位置がすでにわかっている地点で、DGPS の定点観測を行った。測定地点は大根島の大塚山山頂（標高 42.2m）で、二等三角点が設置されている（図 7 (1)）。この三角点に GPS アンテナを設置し、FM 多重 DGPS、中波ビーコン DGPS、単独測位 GPS の受信を各受信機で行った。定点測定は 1998 年 4 月 19 日（測定 1）と同年 12 月 24 日（測定 2）の 2 回行った。

### 1) 測定 1

FM 多重 DGPS、中波ビーコン DGPS、単独測位 GPS

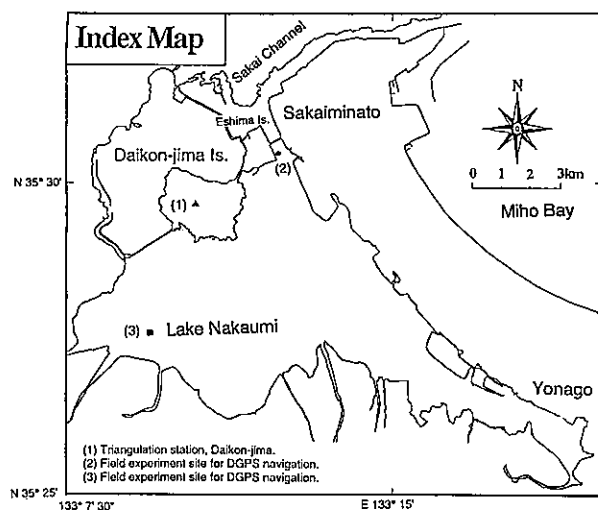


図 7. 中海周辺の実験地点を示す図（日本測地系）。

Fig. 7. Location map of experimental sites for DGPS positioning (Tokyo datum).

について 2 時間測定を行い、1 秒間隔の測位データを収録した。中波ビーコン（浜田局）の DGPS 補正データは、受信できたものの、データ受信率は 100% ではなく、安定した受信状態ではなかった。測位結果は半径約 25m の範囲でばらついており、予想以上の誤差を有している。単独測位では、半径 50m を超えるばらつきが多く見られた。一方、FM 多重 DGPS 受信ユニット（GPS-707DN）では、補正データ放送が終始安定に受信でき、DGPS 測位が行えた。測位誤差分布図を図 8 に示す。測位のばらつきは、ほぼ半径 1m 以内に収まっている。また緯度および経度方向の時間変動は ±1m 以内であった（図 9）。

各受信システムによる測位データの 2 時間の平均値を求めた（表 2）。FM 多重 DGPS による測位では、測位誤差は小さいが、測位値は三角点の値（国土地理院測量成果）と 4m 程度の差が生じている。この受信機では、測地系のデフォルトは日本測地系であり、測位データは日本測地系で出力した。受信機内部の測地系変換ソフトウェアが適切でない可能性もある。

### 2) 測定 2

FM 多重 DGPS、単独測位 GPS について 1 時間測定を行い、1 秒間隔の測位データを収録した。FM 多重 DGPS の測位は、FM 多重 DGPS 受信ユニット（GPS-707DN）および FM 多重受信ユニット（M-51）+ GPS 受信機（SRVY II）で行った。各受信システムによる測位誤差分布図を図 10 (A), (B), (C) に示す。同じ DGPS 補正データを受信しているにもかかわらず、GPS-707DN と M-51 による測位結果に精度の違いが現れている。これは、GPS 受信機の性能の違いが反映している可能性もある。

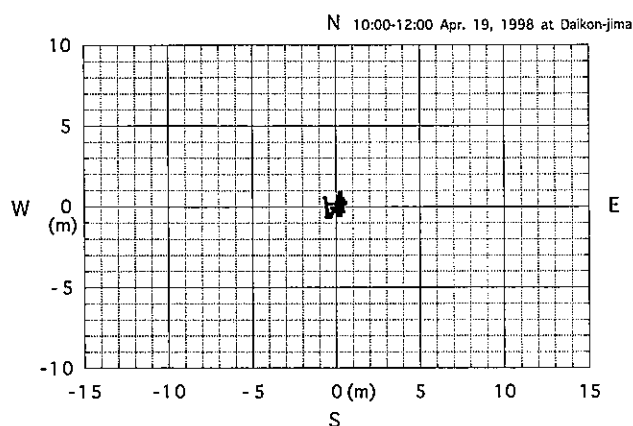


図 8. FM 多重 DGPS 測位における測位分布図（大根島二等三角点，1998 年 4 月 19 日）。

Fig. 8. Distribution chart of DGPS positioning by using FM DGPS corrections (triangulation station in Daikon-jima Island, Apr. 19, 1998).

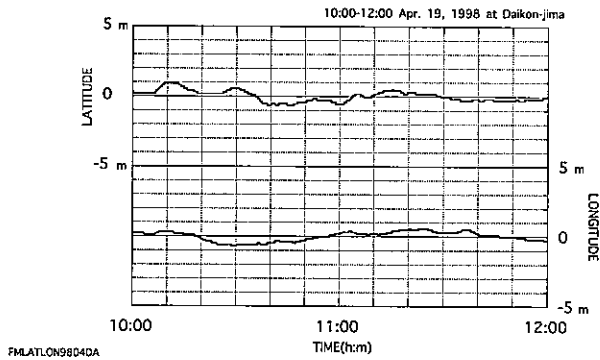


図9. FM多重DGPSの測位値における緯度・経度方向の時間変動(大根島二等三角点, 1998年4月19日).  
Fig. 9. Time variation of latitude and longitude values measured by the FM DGPS positioning (triangulation station in Daikon-jima Island, Apr. 19, 1998).

各受信システムによる測位データの1時間の平均値を求めた(表2). 各システムの測位データは測定1の結果と同様の傾向にあるが, 値は一致していない。

### (3) 航走調査でのDGPS測位の位置の再現性

航走調査の際のDGPSの精度を評価する目的で, 地中海中浦水道付近(水深約7m)にブイを2点設置しその間を舟で10回航走した(図7(2)). 北側のブイをA, 南側のブイをBとした. ブイを固定点として, 毎回ブイ通過時に測位をおこなえば, 位置の再現性を把握することができる. ブイA, B間の距離は約120mで, 舟が常にブイの東側を通過するように航走し, その際のブイと舟の舷側の距離は1m程度に保つようにした. GPSアンテナは舟の中央部に取り付けただので, 針路が南北どちらでも同一地点を通過することになる. そしてGPSアンテナがブイに最接近したときの時刻を計時し, 実験終了後, 収録データからブイ通過時の位置をプロットした. GPS受信システムはFM多重DGPSのGPS-707DNおよびM-51, 単独測位GPSの3セットを用意した。

ブイA, BへのGPSアンテナの最接近時刻とその時のFM多重受信ユニット(GPS-707DN)によるDGPS測位結果を表3に示す. また図11にはFM多重DGPS測位データ(GPS-707DN)による航跡およびブイへの最接近点を白丸で示した. ブイA, B付近を拡大し, 最接近点(測点)を図12(A), (B)に示した. これによると, 測点は, ブイA, Bとも, 舟の進行方向(約310度または130度)に分散しており, 舟の直角(横)方向にはあまり分散していない. ブイへの最接近時の時刻は時計から読んだので, 読み取りの際の誤差が入る可能性がある. 舟は秒速2.4m程度で航走しているので, 時刻の読み取りが正確でないと舟の進行方向に数mの誤差が入ってくるかも知れない. ブイA, Bの測点の標準偏差を舟の進行方向および横方向に分けて算出した. ブイAの標準偏差は, 進行方向5.2m, 横方向0.9mであり, ブイBの標準偏差は, 進行方向5.5m, 横方向1.1mであった。

一方, FM多重受信ユニット(M-51)およびGPS受信機(SRVY II)によるDGPS測位では, FM多重受信ユニット(GPS-707DN)の場合に比べ精度が落ちる結果となった(図13). 単独測位では, 図14に示すように, 測位精度が悪く, 位置の再現性がないことから, 精密な位置決定には使用できないことが明らかである。

### (4) インターネットによるDGPS測位の実験

1999年2月14日に江の川の河口から5.5~7km上流の地点で, さらに同年2月16日に中海において舟を航走させてインターネットによるDGPS測位実験を行った(図7(3)). 携帯電話を用い, 携帯型パソコンを工業技術院計算センター(茨城県つくば市)へ接続し, インターネットを介しアルプス社のWEBサーバ上のDGPS補正データを取得した. いずれの測位実験も良好で, DGPS測位データを得る

表2. 大根島二等三角点でのDGPSおよびGPS単独測位の測位結果と国土地理院測量成果との比較(1998年4月19日, 1998年12月24日).

Table 2. Comparison of DGPS and point positioning results and triangulation result by Geographical Survey Institute at the triangulation station in Daikon-jima Island.

| Date          |                                               | Geodetic system | Latitude (dms) | Longitude (dms) | Difference of Lat. Md-Ts | Difference of Lon. Md-Ts |
|---------------|-----------------------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| Apr. 19, 1998 | Measured data (Md) by FM-DGPS (GPS-707CN)     | Tokyo datum     | N35 29 34.029  | E133 10 26.172  | 0.115" (3.55m)           | 0.100" (2.51m)           |
| Apr. 19, 1998 | Measured data (Md) by Beacon-DGPS             | WGS-84          | N35 29 45.148  | E133 10 16.592  |                          |                          |
|               |                                               | Tokyo datum     | N35 29 33.811  | E133 10 25.949  | -0.103" (-3.18m)         | -0.123" (-3.09m)         |
| Apr. 19, 1998 | Measured data (Md) by GPS (point positioning) | WGS-84          | N35 29 45.177  | E133 10 16.461  |                          |                          |
|               |                                               | Tokyo datum     | N35 29 33.840  | E133 10 25.836  | -0.074" (-2.28m)         | -0.234" (-5.88m)         |
| Dec. 24, 1998 | Measured data (Md) by FM-DGPS (GPS-707CN)     | Tokyo datum     | N35 29 33.965  | E133 10 26.117  | 0.071" (2.19m)           | 0.045" (1.13m)           |
| Dec. 24, 1998 | Measured data (Md) by FM-DGPS (M-51)          | WGS-84          | N35 29 45.215  | E133 10 16.639  |                          |                          |
|               |                                               | Tokyo datum     | N35 29 33.878  | E133 10 25.995  | -0.036" (-1.11m)         | -0.076" (-1.91m)         |
| Dec. 24, 1998 | Measured data (Md) by GPS (point positioning) | WGS-84          | N35 29 45.134  | E133 10 16.641  |                          |                          |
|               |                                               | Tokyo datum     | N35 29 33.797  | E133 10 25.998  | -0.117" (-3.61m)         | -0.074" (-1.86m)         |
|               | Triangulation station (Ts) Daikon-jima        | Tokyo datum     | N35 29 33.914  | E133 10 26.072  |                          |                          |

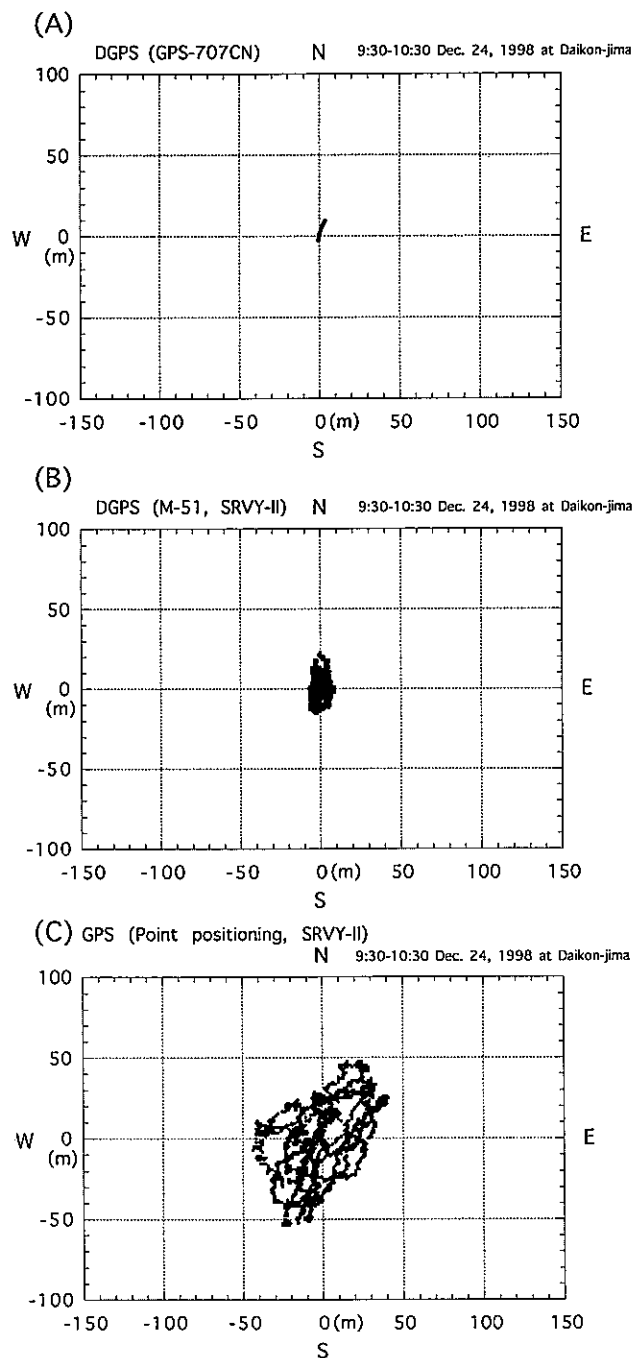


図10. DGPS測位および単独測位GPSにおける測位分布図(大根島二等三角点, 1998年12月24日). (A)はGPS-707DNによるDGPS測位, (B)はM-51とSRVY IIによるDGPS測位, (C)はSRVY IIによる単独測位の結果を示す.

Fig. 10. Distribution chart of DGPS and GPS positioning (Triangulation station in Daikon-jima Island, Dec. 24, 1998). Results of (A) DGPS positioning by GPS-707DN, (B) DGPS positioning by M-51 and SRVY II and (C) point positioning GPS by SRVY II are shown respectively.

表3. ブイA,BへのGPSアンテナの最接近時刻とその時のFM多重DGPSによる測位結果(1998年4月19日).

Table 3. The time of the closest approach of a GPS antenna approached to buoys A and B, and the positioning results by using the FM DGPS correction.

| Point # | Buoy | Time(hms) | Latitude (dms) |        | Longitude (dms) |        |
|---------|------|-----------|----------------|--------|-----------------|--------|
| 1       | A    | 13:05:10  | N 35 30        | 34.777 | E 133 12        | 13.855 |
| 2       | B    | 13:06:00  | N 35 30        | 32.117 | E 133 12        | 17.621 |
| 3       | B    | 13:07:12  | N 35 30        | 31.777 | E 133 12        | 18.066 |
| 4       | A    | 13:08:04  | N 35 30        | 34.461 | E 133 12        | 14.281 |
| 5       | A    | 13:09:08  | N 35 30        | 34.594 | E 133 12        | 14.051 |
| 6       | B    | 13:09:56  | N 35 30        | 32.102 | E 133 12        | 17.586 |
| 7       | B    | 13:11:05  | N 35 30        | 31.906 | E 133 12        | 17.961 |
| 8       | A    | 13:11:59  | N 35 30        | 34.516 | E 133 12        | 14.277 |
| 9       | A    | 13:12:58  | N 35 30        | 34.641 | E 133 12        | 14.012 |
| 10      | B    | 13:13:49  | N 35 30        | 32.086 | E 133 12        | 17.66  |
| 11      | B    | 13:14:50  | N 35 30        | 31.930 | E 133 12        | 17.922 |
| 12      | A    | 13:15:40  | N 35 30        | 34.496 | E 133 12        | 14.297 |
| 13      | A    | 13:16:30  | N 35 30        | 34.672 | E 133 12        | 13.969 |
| 14      | B    | 13:17:25  | N 35 30        | 32.066 | E 133 12        | 17.613 |
| 15      | B    | 13:18:26  | N 35 30        | 31.945 | E 133 12        | 17.887 |
| 16      | A    | 13:19:13  | N 35 30        | 34.488 | E 133 12        | 14.305 |
| 17      | A    | 13:20:04  | N 35 30        | 34.594 | E 133 12        | 14.066 |
| 18      | B    | 13:20:54  | N 35 30        | 31.977 | E 133 12        | 17.699 |
| 19      | B    | 13:21:47  | N 35 30        | 31.848 | E 133 12        | 17.855 |
| 20      | A    | 13:22:32  | N 35 30        | 34.426 | E 133 12        | 14.227 |

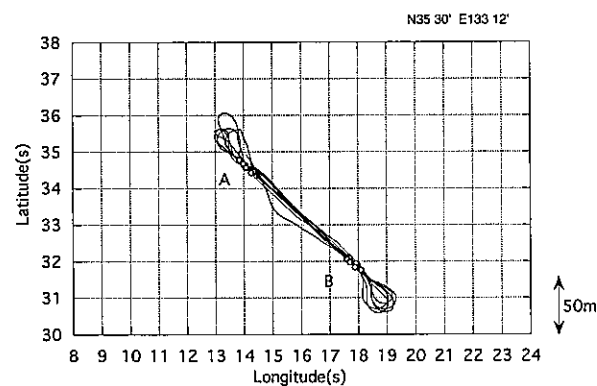


図11. FM多重DGPS測位データ(GPS-707DN)による航跡およびブイへの最接近点を示すマーク(1998年12月22日, 日本測地系).

Fig. 11. Track chart of FM DGPS positioning data (GPS-707DN, Dec. 22, 1998, Tokyo datum). An open circle indicates position of the closest approach of a GPS antenna to a buoy.



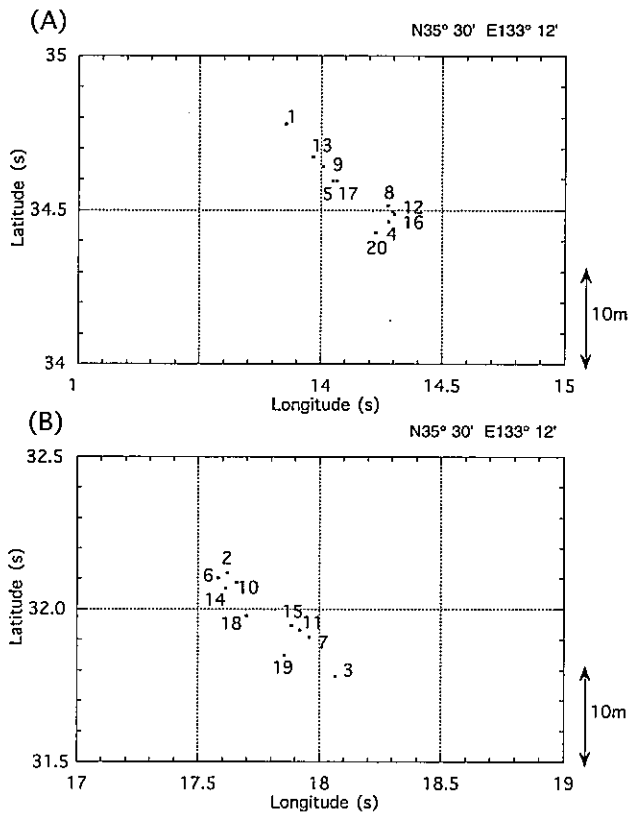


図12. ブイ付近の拡大図（日本測地系）. (A) はブイ A, (B) はブイ B 付近を示す. マークはブイへの最接近点を示す.

Fig. 12. Expanded view around the buoy. (A) and (B) show around buoy A and B respectively. A dot indicates position of the closest approach of a GPS antenna to a buoy.

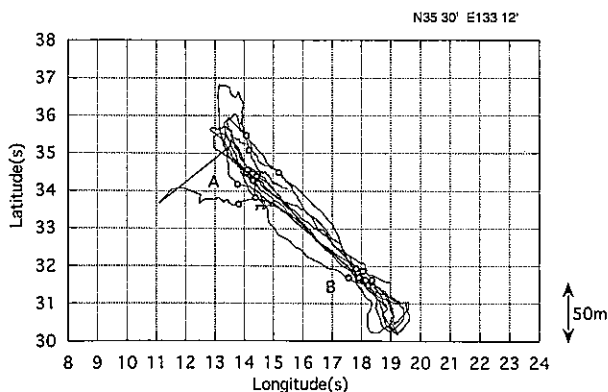


図13. FM 多重 DGPS 測位データ (M-51, SRVY II) による航跡およびブイへの最接近点を示すマーク (1998 年 12 月 22 日, 日本測地系).

Fig. 13. Chart of tracks plotted by FM DGPS positioning data (M-51, SRVY II, Dec. 22, 1998, Tokyo datum). An open circle indicates position of the closest approach of a GPS antenna to a buoy.

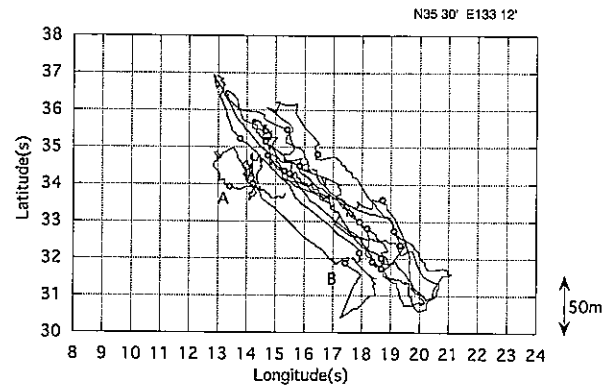


図14. 単独測位の GPS 測位データ (SRVY II) による航跡およびブイへの最接近点を示すマーク (1998 年 12 月 22 日, 日本測地系).

Fig. 14. Track chart of point positioning GPS data (SRVY II, Dec. 22, 1998, Tokyo datum). An open circle indicates position of the closest approach of a GPS antenna to a buoy.

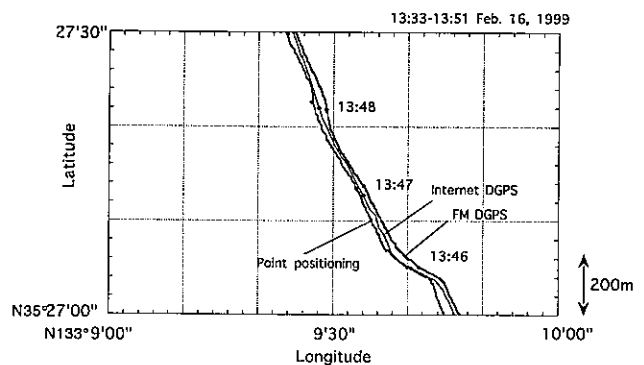


図15. 航走時における測位結果 (1999 年 2 月 16 日, 日本測地系). インターネット配信 DGPS, FM 多重 DGPS および単独測位 GPS を示す. 中海大橋川河口沖合い.

Fig. 15. Result of positioning in the cruising off the mouth of R. Ohashi in Lake Nakaumi (Feb. 16, 1999, Tokyo datum). Data of Internet DGPS, FM DGPS and point positioning GPS are shown respectively.

ことができた。図 15 には、中海大橋川河口沖でのインターネット DGPS 測位データの一部を、FM 多重 DGPS および単独測位 GPS の測位データとともに示した。

## ま と め

DGPS補正データ放送およびインターネット配信による DGPS 補正データを利用し、DGPS 受信システムの湖沼への適用性について評価実験を行なった。FM 多重放送による DGPS は中海の大部分の水域で使用できることがわかった。測位実験の結果、FM 多重による DGPS は高精度であり、位置の再現性が良好であり、今後、湖沼での調査観測への利用が期待される。中海においては、中波ビーコン（浜田局）による DGPS は使用できないことがわかった。1999 年 4 月にサービスを開始する予定の丹後局（京都府）の電波は海上伝搬で中海に到達するので、使用できるかもしれない。今後チェックする必要がある。インターネット配信による DGPS 補正データの取得は、FM 多重や中波ビーコン波の利用ができない地域で有効な手段であると言える。しかし、野外においては携帯電話が必要なので、ランニングコストがかさむ欠点を有する。

DGPS補正データ放送は、最近始まったばかりであり、まだ一般に普及はしていない。今後も実験を重ね実用的な DGPS 測位法を確立したいと考えている。

謝辞：本研究において、島根大学総合理工学部徳岡隆夫教授には実験の機会と各種のご協力をいただいた。島根大学汽水域研究センター中海分室松本雅夫氏には実験船の操船をしていただき、島根大学学生井上卓彦君には現場実験を手伝っていただいた。また（株）アルプス社にはインターネット配信データを使用させていただいた。以上の方々および会社には厚くお礼申し上げます。

## 文 献

- 川島達郎（1997）FM 多重による DGPS 補正データ放送の現状。GPS シンポジウム '97, (社) 日本航海学会 GPS 研究会, 133-144.
- 西田之重（1997）中波ビーコンによる DGPS 補正データ放送の現状。GPS シンポジウム '97, (社) 日本航海学会 GPS 研究会, 119-132.
- 西村清和（1997）湖沼調査における DGPS 測位。LAGUNA（汽水域研究）, 4: 39-48.
- 土屋淳・辻宏道（1995）GPS 測量の基礎。（社）日本測量協会, 274 p.
- 安田明生（1996）GPS/DGPS の測位原理。シンポジウム GPS/DGPS 利用技術の展望, (社) 日本航海学会, 1-33.
- 安田明生（1998）GPS および DGPS の現状と動向。GPS シンポジウム '98, (社) 日本航海学会 GPS 研究会, 3-24.