

## 湖沼調査における DGPS 測位

西村 清和<sup>1)</sup>

### DGPS positioning in lake surveys

Kiyokazu Nishimura<sup>1)</sup>

**Abstract:** Obtaining accurate positions of survey points or lines is essential for the execution of precise lake surveys. Use of GPS (Global Positioning System) has recently become common in lake surveys. However, accuracy is only approximately 100 m in autonomous (single) GPS positioning using a receiver, and high accuracy positioning cannot be achieved. Therefore, I utilised a differential GPS (DGPS) system, which improved the accuracy of the positioning for lake surveys. This may achieve an accuracy of 1-5 m for static positioning and 3-10 m for moving applications. The DGPS system consists of two sets of GPS receivers (base/field units), a low-power UHF radio transmitter and receiver for wireless transmission of DGPS correction data, and a notebook computer. Real-time DGPS and post-processing DGPS can be implemented by combining these components. Following DGPS positioning, lake survey was carried out in Lake Nakaumi. The procedure applied was: (1) Long distance DGPS positioning between Tsukuba and Daikon-jima Is. (distance of approximately 600 km), to evaluate the system. (2) Positioning of a base station at Koshin observatory, located in the center of Lake Nakaumi. (3) Real-time DGPS positioning for setting buoys and markers. (4) Comparison between single GPS and DGPS positioning in the navigation. As a result of these tests, it became clear that DGPS is far superior to single GPS in positioning accuracy.

**Keywords:** DGPS, GPS positioning, Lake Nakaumi, lake survey

#### 1. はじめに

中海・宍道湖をはじめとする湖沼での各種の調査観測を行う上で、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。従来から測位方法として、湖岸の既知の目印を利用して六分儀やトランシットによる測位が行われており、航走調査の場合は電波測位が用いられていた。中海・宍道湖で行われた音波探査やサイドスキャンソナー調査では電波測位システムの一つであるトリスポンダによる電波測位がおこなわれた(例えば徳岡ほか, 1991; 徳岡ほか, 1993)。電波測位システムは主局と複数の従局を必要として設備も大掛かりで手軽に使用できるものではなかつ

た。これに対し、近年 GPS (Global Positioning System: 汎地球測位システム) が測位システムとして急速に普及し始めた。GPS は軌道高度約20,000 km を周回する衛星からの電波を受け、受信地点の三次元的位置を計測するシステムである。1993年末に24個の衛星による完全運用状態となった。現在では、船舶の航法用はもとより、カーナビゲーションやレジャー用として、また精密測量や地殻変動観測など多岐の分野で利用されている。1990年代に入り、中海・宍道湖の調査においても GPS が従来の測位システムに代わって利用されるようになった。GPS 受信機1台のみを使用する単独測位では、GPS の民間用の使用モード(L1帯, C/A コード) において、測位精度は水平方向で100 m 程度(95%の確率円)である。位置精度を要しない調査では使用できるが、数 m の位置精度が必要な場合は実用的ではない。1995年より筆者らは中海において湖底湧水観測や塩分層の動態観測を目的として光ファイバ分布型温度センサによる湖底温度測定を始めた(西村・松

<sup>1)</sup> 通商産業省工業技術院地質調査所

Geological Survey of Japan, Higashi 1-1-3, Tsukuba 305, Japan.

林, 1996; 徳岡ほか, 1996). その中で, 温度センサとして機能する光ファイバケーブルを, 所定の位置に敷設するため, 高精度な位置測定が必要となった. 当初, 単独測位の GPS を用いたが, GPS の位置精度が十分ではなく, 思うような敷設作業ができなかった.

## 2. DGPS測位の概要

単独測位の GPS の測位誤差の要因は, 軌道情報の誤差, 衛星時計の揺らぎ, 電離層および対流圏での電波伝搬誤差, マルチパス誤差, 受信機ノイズなどがあるが, もっとも大きい誤差要因は SA (Selective Availability: 選択利用性) である. 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, これにより, 単独測位の精度は約100 m となっている(土屋・辻, 1995). 湖沼調査では, 前章で述べた事例のほかに, 観測機器あるいは観測用のブイを目標地点に設置すると, ブイを数十 m 間隔で設置する

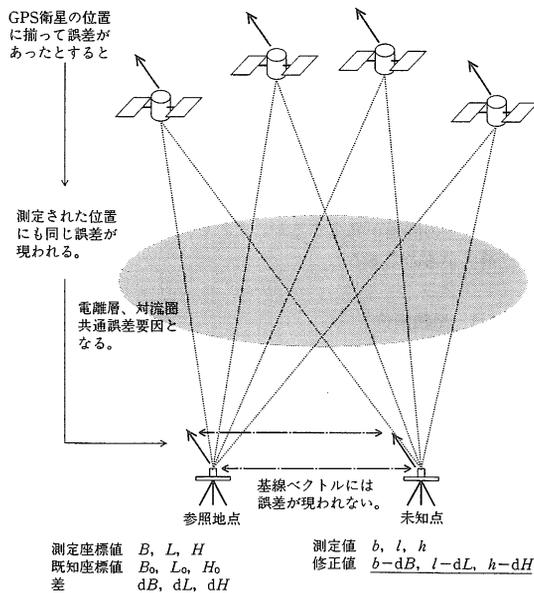


図1. DGPS 測位の概念 (土屋・辻, 1995).

Fig. 1. General idea of DGPS positioning (Tsuchiya and Tsuji, 1995).

など, 数 m の測位精度が要求される場合がある. GPS で数 m の精度を実現する測位方式として, DGPS (differential GPS: 差動 GPS) がある. DGPS 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. 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(図1) (土屋・辻, 1995). これにより

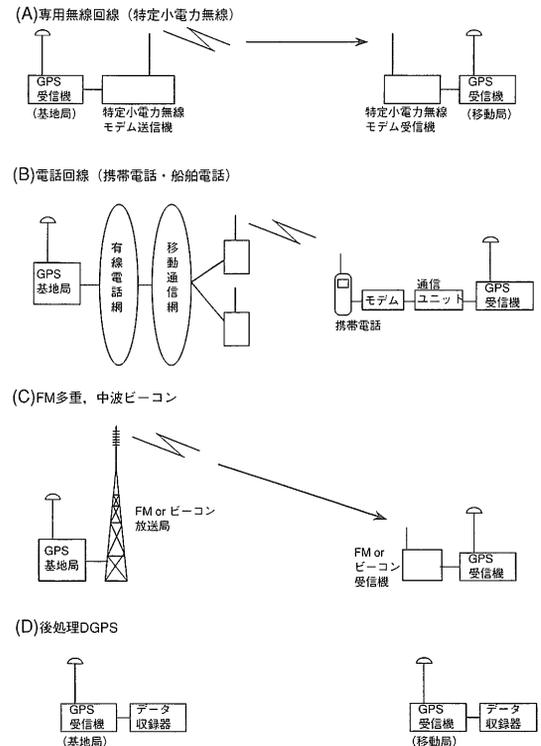


図2. DGPS 補正データの伝送方式 (A)専用無線回線による伝送, (B)電話回線による伝送, (C)FM 多重, 中波ビーコン放送による伝送, (D)後処理 DGPS.

Fig. 2. Transmission method of DGPS correction data. (A)Transmission by radio circuit. (B)Transmission by telecommunication circuit. (C)Transmission by FM multiplex or MF marine radiobeacon broadcasting. (D)Post-processing DGPS.

SA に起因する誤差も消去することができる. 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に加えて未知点の位置を算出する (安田, 1996). リアルタイムで伝送できれば即時に補正された位置が得られる. 精度は10 m 以内が期待できる. さらに改良が加えられ10 cm の桁に迫る例もあるという.

## 3. DGPS測位の方法

リアルタイムで DGPS 測位を行う場合, 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. 同一の補正データを多くの利用者が使用することから, データ伝送の共通規格, RTCM SC-104 規格が米国「船舶電波技術委員会」により定められている. 疑似距離補正データ等

は RTCM SC-104 規格のフォーマットで伝送され、それを未知点の GPS 受信機へ入力する。リアルタイムで DGPS 測位を行う場合、補正データの伝送がネックとなっている。補正データの伝送は、無線通信（専用回線）、電話回線（有線・無線）によるものがすでに実用に供されており、今後、中波ビーコン電波や FM 多重放送で補正データを伝送するシステムが実用化される。これらの DGPS 補正データの伝送方式および補正データの伝送を行わない後処理 (post-processing) DGPS の概要を以下に述べる。

#### (1) 無線通信（特定小電力無線）

参照地点（基地局）で受信した補正データを無線送信機で送信し、それを未知点（移動局）側の無線受信機で受信し、復調した補正データを GPS 受信機に入力して DGPS 測位を行う。本格的な専用無線回線は、電波の割当や無線局の免許が必要など、困難な問題があるが、送信電力の小さい特定小電力無線では、免許手続きは不要である。しかし、到達距離が短く、長距離伝送は行えない。図2(A)にその概略図を示す。1996年8月から開始した中海湖心付近での塩分躍層動態の長期観測において、光ファイバケーブルの敷設、音響送受波器の設置に特定小電力無線モデムを使用した DGPS 測位を行った。

#### (2) 電話回線（携帯電話、船舶電話）

基地局で受信した補正データをモデムを介して公衆電話回線へ送出し、それを携帯電話等で受信する（図2(B)）。商用サービスとして日本船舶通信(株)が運用する補正情報サービスがある。基地局は横浜市鶴見区にあり、NTT 電話網、NTT ドコモ移動通信網を通じ日本全国、さらに衛星船舶電話 (N-STAR 通信衛星) を通じ日本周辺200海里水域内での利用が可能である。移動局側は携帯電話、モデム、通信ユニット、GPS 受信機を用意する。RTCM SC-104 規格の補正データが伝送され、DGPS 測位を行う。基地局の受信機を用意する必要がない利点があるが、長時間使用により通信コストがかかるという欠点がある。1995年8月、中海湖心付近での塩分躍層動態の長期観測において、光ファイバケーブルの敷設、音響送受波器の設置に携帯電話を使用した DGPS 測位を行った（浅子ほか、1997）。

#### (3) 中波ビーコン局

海上保安庁の海上中波ビーコン局から発射される中波ビーコン電波に DGPS 補正データを重畳して放送する実験が1995年12月から開始された（図2

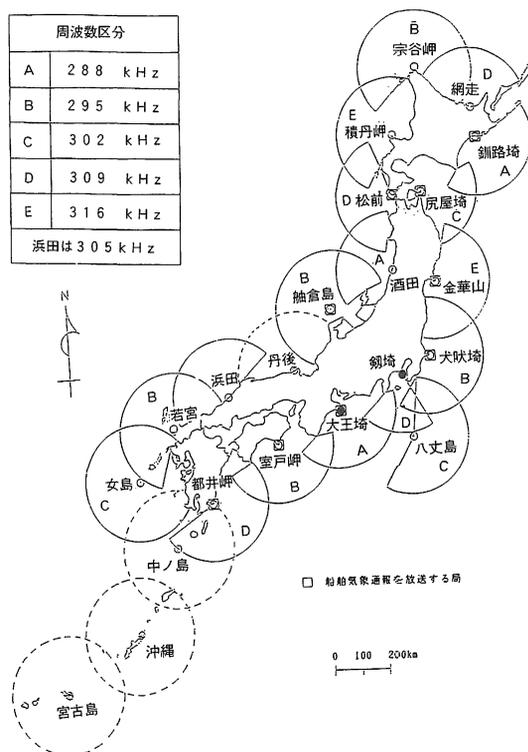


図3. 日本における中波ビーコン局の配置。

Fig. 3. Location of MF marine radiobeacon stations.

(C)）。実験局は劔崎（神奈川県、周波数309 kHz）および大王崎（三重県、周波数288 kHz）の中波ビーコン局で、およそそのサービスエリアは半径200 kmの海上である（安田、1996）。順次全国のビーコン局で DGPS 補正データの放送開始が予定されるが、2000年までに全国展開が完成するという（図3）。海上中波ビーコンによる DGPS は一部陸上でも利用できるが、空電や陸上電波伝搬による電波の減衰などによるデータ回線不安定時など十分な注意が必要である（北條、1996）。中海・宍道湖周辺で利用できそうなビーコン局は浜田および丹後のビーコン局である。DGPS 用のビーコン受信機は十数万円程度であり、ビーコン受信機能を組み込んだ船舶用の DGPS 対応受信機も製品化されつつある（北條、1996）。

#### (4) FM 多重 DGPS

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 受信機を中心に、車速センサー、方位センサを組み合わせ、位置推測計算を行い、道路形状データと照合するマップマッチング処理により現在地の地図表示を行う。しかし各センサの精度は十分でなく、より高精度なカーナビゲーションを実現するために FM 多重を補正データ伝送に用いた DGPS の導入が進められている（伊藤、1996）。これにより測位精度10 m 以内が実現する。FM 多

重とは FM 放送の電波のすきまにデジタルデータを送出するもので、FM 文字放送と同様のものである。検証実験はすでにおこなわれており、1997年中にはほぼ全国ネットで展開されるという。DGPS 補正データを効率的に伝送するための伝送フォーマットが開発された。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今後使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。

#### (5) 後処理 DGPS

リアルタイムで DGPS を行うには(1)~(4)に述べた各種の補正データの伝送手段が必要である。これに対し、リアルタイムの DGPS 測位を行わず、後処理 (post-processing) で DGPS 測位を行う場合は、システム構成は極めて簡単になる。移動局はリアルタイムでは単独測位を行い、同時に移動局、基地局とも DGPS 処理に必要な測位データ、例えば疑似距離データを収録しておく。測定終了後、基地局および移動局の収録データを処理して、DGPS 測位結果を算出する(図2(D))。後処理 DGPS により、1996年8月、筑波-大根島間の長距離測位、大根島-湖心観測所間の測位等を行った。

## 4. DGPS 受信システムの構成

筆者が1995年末に導入した DGPS 受信システムについてその構成の概要を述べる。DGPS 受信シス

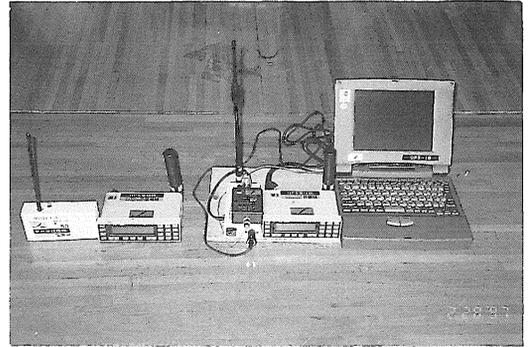


図4. DGPS 受信システムの各コンポーネントの写真  
左側 無線モデム送信部, GPS 受信機. 右側 無線モデム受信部/プリアンプ, GPS 受信機, ノート型パーソナルコンピュータ.

Fig. 4. Components of the DGPS receiver system. Left side: transmitter of wireless modem and GPS receiver. Right side: receiver/pre-amplifier of wireless modem, GPS receiver and notebook computer.

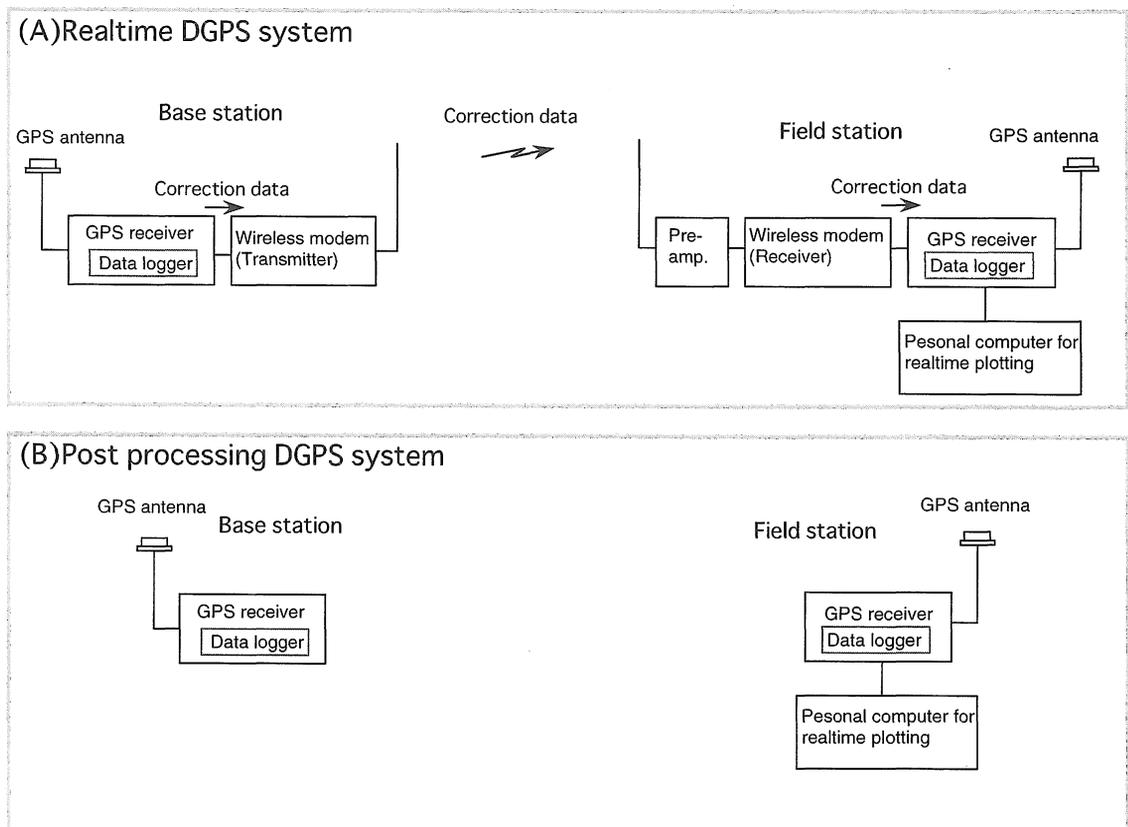


図5. DGPS 受信システムのブロック図 (A)リアルタイム DGPS 測位, (B)後処理 DGPS 測位.

Fig. 5. Block diagram of DGPS receiver system. (A) Real-time DGPS positioning. (B) Post-processing DGPS positioning.

表1. DGPS 受信システムの基本仕様.

Table 1. Basic specification of DGPS receiver system.

GPS受信機	基地局および移動局用
型名	GPS 100 SRVY II (GARMIN International, Inc.)
受信衛星数	8衛星
データ更新	1秒に1回
精度	5 m (SA off) 単独測位Averaging (static) 30 m (SA on) 15 m (SA off) 単独測位Navigation mode (dynamic) 40 m (SA on) 1-5 m DGPS Averaging (static) 3-10 m DGPS Navigation mode(dynamic)
データ収録	内部メモリ
データ容量	3D 測位データ200,000点 (50時間) または疑似距離 測定データ18時間
インタフェース	NMEA 0180, 0182, 0183, PLOTTING, RTCMほか
寸法・重量	159(W)x100(D)x51(H)mm, 0.71kg
GPSアンテナ	付属アンテナおよび外部アンテナ
外部アンテナケーブル	3 m
同延長ケーブル	9 m
後処理ソフトウェア	
型名	PC100S2 (GARMIN International, Inc.)
主な機能	DGPS 後処理, 測位データのグラフィックプロット, RINEX formatとのデータ変換

## 特定小電力無線モデム装置

送信部型名	YRM-211T (八重洲無線 (株))
受信部型名	YRM-211TR (八重洲無線 (株))
送信周波数	400 MHz帯
送信電力	10 mW
無線回線伝送速度	4800 bps
インタフェース	RS-232C (1200~9600 bps)
寸法・重量	32(W)x134(D)x72(H)mm, 0.52kg (送信部, 受信部とも)

## 後処理および現場測位表示用携帯型コンピュータ 2台

型名	Latitude Xpi P75D (Dell Computer Corp.)
CPU	Pentium 75MHz
RAM	16MB
ハードディスク	520 MB
型名	FMV-475NL/S Model 340S (富士通 (株))
CPU	486DX4 75MHz
RAM	16MB
ハードディスク	340 MB

テムは、GPS 受信機 (GPS 100 SRVY II, Garmin 社) 2台, 特定小電力無線モデム装置送信部および受信部, ノート型パーソナルコンピュータ(PC) 2台から構成される(図4)。これらのコンポーネントの組み合わせにより, 無線回線によるリアルタイム DGPS 測位および後処理による DGPS 測位が行える。リアルタイムの DGPS 測位を行う場合, 基地局側では, GPS 受信機へ特定小電力無線モデム装置の送信部を接続して使用する (図5(A))。特定小電力無線モデム装置の送信アンテナは, 外部アンテナの使用が許可されていないので, モデム装置をできるだけ見通しの良い高所に設置する。GPS アンテナ設置点の位置データを GPS 受信機に入力し, RTCM フォーマットの DGPS 補正データの送出手が可能となる。データの伝送速度は4,800 bps である。移動局側では GPS 受信機に特定小電力無線モデム装置の受信部を接続し, DGPS 補正データの受信を行う。モデム装置の受信部にはプリアンプおよびホイップ型外部アンテナを接続し, 受信感度の向上を図っている。リアルタイムの測位データは PC のディスプレイ上にDGPS処理ソフトウェア (PC100S2)

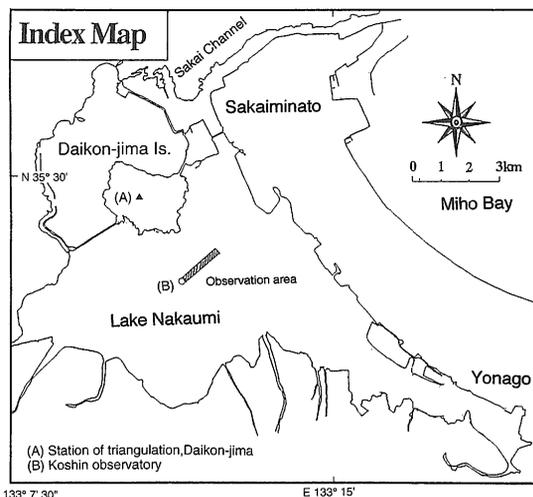


図6. DGPS 測位実験水域を示す図 (日本測地系).

Fig. 6. Location map of experimental area for DGPS positioning (Tokyo datum).

を使用して表示することができる。

後処理による DGPS の場合は, 基地局, 移動局の GPS 受信機のみを使用し, それぞれ受信機の内部記録装置に疑似距離データを収録する (図5(B))。測位終了後, DGPS 処理ソフトウェア(PC100S2)を使用して, 各 GPS 受信機内の疑似距離データを PC へ転送し DGPS 処理用ファイルを作成する。その後順次処理を行い DGPS 測位データを算出する。表1に DGPS 受信システムの基本仕様を示す。この DGPS 受信システムは, DX アンテナ (株) によりシステム化された。

## 5. 中海調査での DGPS 測位

1986年8~9月, 中海湖心付近での塩分躍層動態の長期観測を開始するにあたって, 光ファイバケーブルの敷設, 音響送波器および流向流速計の設置作業に前章で述べた DGPS 受信システムを使用した。測位作業に先立ち, この DGPS システムの性能評価のための長距離の DGPS 測位および中海湖心観測所に設置する基地局の測位を行った。また, 航走調査において, 単独測位と DGPS 測位との比較を行った (図6)。

## (1) つくば一大根島間の長距離 DGPS 測位

参照地点と未知点が数100 km 離れている場合, DGPS が実用的に使用できるか, また DGPS 受信システムの性能評価を行うため, 実際に, 位置のわかっている地点で, DGPS 測位を行い, 測位結果と既知点の値とを比較した。1996年7~8月に, 地質調査所 (茨城県つくば市) に GPS 基地局を設置し, 一方未知点 (移動局) を, つくばより約800 km 離

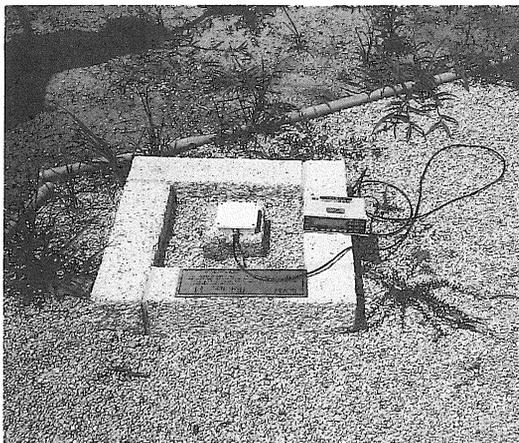


図7. 大根島二等三角点に設置した GPS アンテナおよび GPS 受信機.

Fig. 7. GPS antenna and receiver mounted on the station of triangulation of Daikon-jima.

れた北海道小樽市, 約200 km 離れた静岡県清水市, 約600 km 離れた島根県八束町 (大根島) の三角点に設置し, 順次測定を行った. 小樽市の測定は, 基地局 GPS 受信機のデータ収録のトラブルにより, 測位結果がでなかったが, 清水市, 大根島の測定では, 測位結果を得ることができた. ここでは, つくば-大根島間の DGPS 測位結果について述べる. 地質調査所の構内には GPS 用基準点が2点設置されている. これは地質調査所地質情報センター地形情報課により, 国土地理院の人工衛星観測点との間で GPS 測量を行い設置されたもので, 精度は水平方

向1 cm, 垂直方向で2 cm 程度である (地質調査所, 1995). そのうち地質調査所本館屋上にある基準点 (GSJ2) の近くに GPS アンテナを設置し, 連続的に疑似距離データの収録を行った. 表2に位置データを示す. 一方, 大根島の大塚山山頂にある二等三角点にGPS アンテナを設置し Static mode で約1時間の疑似距離データの収録を行った (図7). 両 GPS 受信機の測位データを処理し, 測位結果を得た. 国土地理院による二等三角点の測量成果および DGPS の測位結果を同じく表2に示した. 三角点の成果は日本測地系 (Tokyo datum) で表示されており, 両者を比較する都合上, DGPS の測位結果は日本測地系で表示した. 処理プログラムの中では GPS 測位系の WGS-84系で計算が行われている. 楕円体高はジオイド高に標高を加算したものであるが, WGS-84系と日本測地系では準拠楕円体が異なるため, 楕円体高, ジオイド高は相違する. 大根島の三角点での WGS-84系および日本測地系のジオイド高は国土地理院による「ジオイドマップ」(Geographical Survey Institute, 1996) および土屋・辻(1995)の「日本測地系の楕円体からのジオイド高」の図から読み取った. ジオイド高は, WGS-84系では34.4 m, 日本測地系では-27.5 m とした. GPS 測位結果と国土地理院測量成果とを比較すると, 緯度・経度の差は, DGPS 測定値-国土地理院測量成果=-5.27 m (緯度方向), -0.91 m (経度方向) であり, 日本測地系の楕円体高の差は, DGPS 測定値-国土地理

表2. 地質調査所 GPS 基準点, ならびに大根島二等三角点での DGPS 測位結果と国土地理院測量成果との比較.

Table 2. GPS bench mark position in Geological Survey of Japan used as the reference station for DGPS positioning and comparison of DGPS positioning result and triangulation result by Geographical Survey Institute at the triangulation station in Daikon-jima Island.

Station		Geodetic system	Latitude (dms)	Longitude (dms)	Ellipsoidal height(m)	Geoid height(m)	Elevation (m)
GSJ2	GPS bench mark in GSJ	WGS-84	N 36 03 43.6309	E 140 07 58.9393	100.547		
GSJ2	GPS bench mark in GSJ	Tokyo datum	N 36 03 32.1050	E 140 08 10.7206	61.521		
Daikon-jima	Measured data by DGPS (Md)	Tokyo datum	N 35 29 34.085	E 133 10 26.036	14.2		
Daikon-jima	Station of triangulation (St)	Tokyo datum	N 35 29 33.914	E 133 10 26.072	14.7	-27.5	42.2
	Difference (Md-St)		+0.171	-0.036			
	Difference (Md-St)		+5.27(m)	-0.91(m)	-0.5(m)		

表3. 湖心観測所屋上における DGPS 測位結果.

Table 3. Results of DGPS positioning at the roof of Koshin observatory.

Station		Geodetic system	Latitude (dms)	Longitude (dms)	Ellipsoidal height(m)	Geoid height(m)	Elevation (m)
Daikon-jima	Station of triangulation	Tokyo datum	N 35 29 33.914	E 133 10 26.072	14.7	-27.5	42.2
Koshin observatory	Measured data by DGPS	Tokyo datum	N 35 27 47.245	E 133 11 35.102	-22.4	-27.5	5.1
Koshin observatory	Measured data by DGPS	WGS-84	N 35 27 58.582	E 133 11 25.745	39.5		

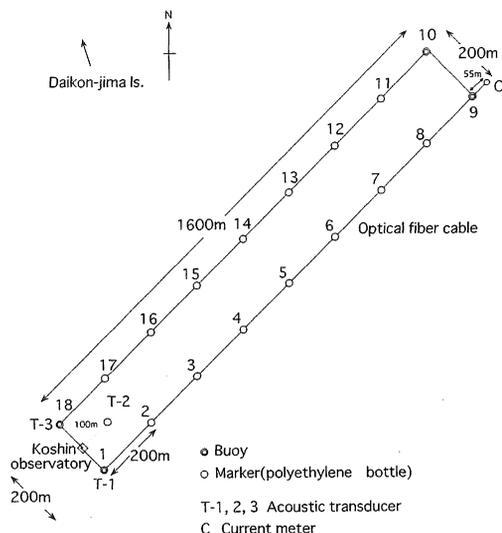


図8. 中海湖心におけるブイ・マーカー設置図。

Fig. 8. Distribution of the buoys and markers in the center of Lake Nakaumi.

院測量成果 $=-0.5\text{ m}$ となった。GPS 電波の経路となる電離層，対流圏は複雑で一様でないため，DGPSの参照点と未知点間の距離が長くなるとそれぞれの点の電離層遅延，対流圏遅延が異なり精密な補正は困難となる（矢吹，1995）。測位精度が確保できるのは参照点と未知点間の距離が100 km 程度以内と言われている。それに対し，今回の測定では受信機の仕様の精度（Static mode で5 m，表1）をほぼ満足するものであり，また長距離にもかかわらず電離層，対流圏の状況も良好であったと思われる。

## (2) 中海湖心観測所基地局の位置決定

1986年8月から開始した中海湖心付近での塩分躍層動態の長期観測では，建設省湖心観測所を中心に湖底への光ファイバケーブルの敷設，音響送受波器および流向流速計の設置をおこなった。設置作業にDGPSを使用した，そのため，DGPS測位の参照点(基地局)を湖心観測所屋上に設置することにした。基地局の測位データは無いので，大根島二等三角点と湖心基地局との間でDGPS測位を行い，位置を決定した。大根島二等三角点上に基地局のGPSアンテナを置き，一方，湖心観測所の屋上北東側の空調機の上に移動局のGPSアンテナを置いた。Static mode で1時間DGPS測位を行い，大根島三角点の国土地理院測量成果をもとに湖心の移動局の位置を決定した。表3に日本測地系の測位結果およびWGS-84系へ変換した測位結果を示す。大根島三角点と湖心観測所との距離は約4 kmで，ジオイド高は湖心観測所の方が数 cm 高いと思われるが，ここでは同一とみなした。

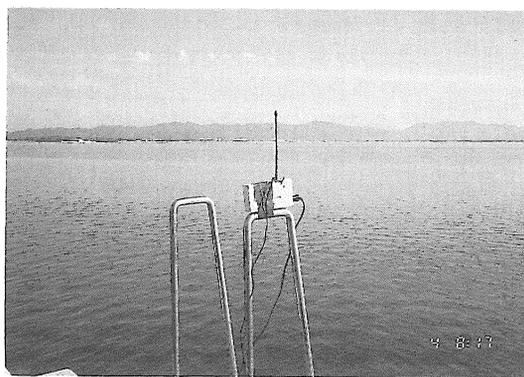


図9. 湖心観測所屋上に設置した無線モデム送信部。

Fig. 9. Transmitter of wireless modem mounted on the roof of Koshin observatory.

## (3) 光ファイバケーブルの敷設および音響送受波器の設置のための DGPS 測位

観測範囲を表示するブイ4点と光ファイバケーブルを湖底に敷設する際，予め敷設位置をガイドするマーカーを15点設置した。このマーカーはポリタンクやポリびんを浮きとして利用した簡単なものである。図8に示すように湖心観測所から北西方向に幅200 m，長さ1,600 mの範囲に配置してある。マーカーの間隔は約200 mである。これらのブイおよびマーカーの設置は，特定小電力無線モデムを利用したリアルタイムDGPS測位で行った。湖心観測所屋上にGPSアンテナ，GPS受信機，特定小電力無線モデムの送信部を設置し，基地局とした（図9）。一方，GPSアンテナ，GPS受信機，特定小電力モデムの受信部，ノートPCから構成される移動局を舟に設置した。ノートPCにはDGPS測位データがディスプレイ上にプロットされるようになっている。予めブイ・マーカーの投入予定点をwaypointとして入力・表示し，waypointに舟を誘導し，ブイ・マーカーを投入した。その一例を図10に示す。北東方向から舟を航走させ，マーカー No.12, No.14, No.16を設置した時のノートPCの画面表示を示している。測位系はWGS-84系を使用した。無線モデムによる，ディファレンシャル補正データの送受信は，基地局から1 km以上離れると，不調になり，DGPS測位から単独測位に切り替わることが時々おこった。その際は，舟をドリフトさせながら，DGPS測位へ復旧するのを待った。主なブイ・マーカーの設置位置(WGS-84)系を表4に示す。日本測地系の緯度経度で表示するにはWGS-84系の値に対し，緯度 $-11.337''$ ，経度 $9.357''$ を加える。

(4) 航走調査での単独測位と DGPS 測位との比較  
 航走調査の際の単独測位と DGPS 測位の精度を比較する目的で、ブイ No.10から No.18までの間をマーカーに沿って南西方向に船速約8ノットの航走した。航走距離は約1.6 km であり、船は各マーカーの進行方向右側2-3 m 程度の位置を通過するように操船した。ノート PC へ単独測位の位置を、プロッ

トおよび収録し、一方 Dynamic mode による DGPS 測位の位置を後処理で算出した。

航走中、ノート PC に表示されるリアルタイムプロット（単独測位）をみると、マーカー No.15付近まではマーカーに沿ってプロットされていたが、それ以降はマーカーに沿って航走しているのに拘わらず、進行方向右側に大きくずれて行った。

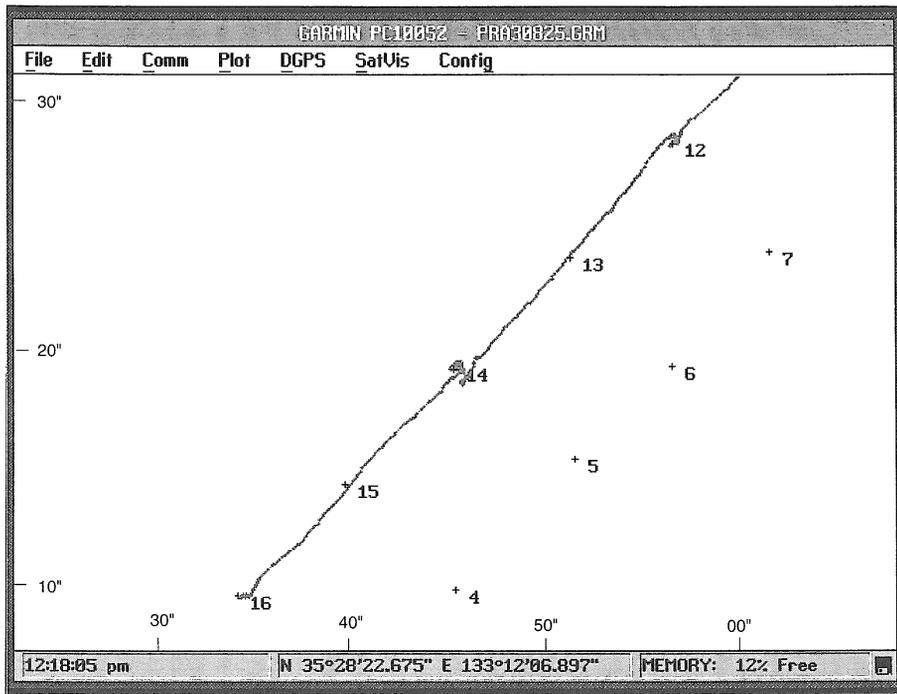


図10. マーカー投入時の DGPS 測位航跡表示例(WGS-84系).  
 Fig. 10. Plot example of DGPS track during deployment of markers (WGS-84).

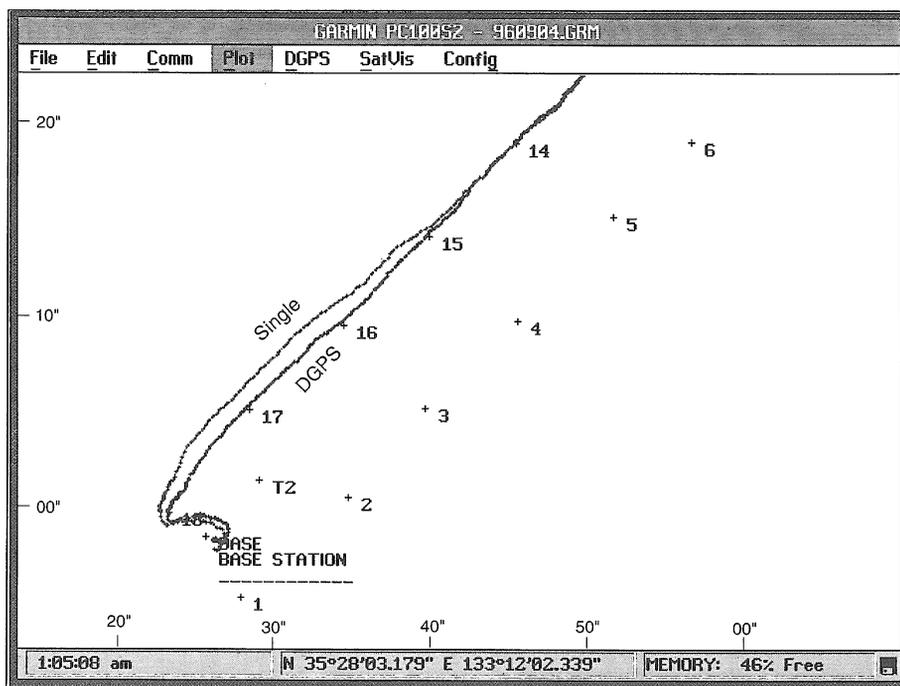


図11. 航走調査における DGPS 測位結果と単独測位結果の比較(WGS-84系).  
 Fig. 11. Comparison between DGPS and Single GPS surveys (WGS-84).

表4. 中海湖心における主なブイ・マーカーの位置  
(WGS-84系).

Table 4. Positions of buoys and markers in the center of Lake Nakaumi.

Station	Latitude (dms)	Longitude (dms)
No. 1	N 35 27 55.483	E 133 11 28.377
No. 5	N 35 28 15.056	E 133 11 51.624
No. 9	N 35 28 34.218	E 133 12 14.046
No. 10	N 35 28 37.134	E 133 12 07.134
No. 14	N 35 28 18.827	E 133 11 45.398
No. 18	N 35 28 00.301	E 133 11 22.781
BASE	N 35 27 58.582	E 133 11 25.745

実験終了後処理を行い、単独測位と DGPS 測位の結果を同時にプロットすると、図11のように表示された。DGPS 測位による航跡は各マーカーの右側 3~9 m の距離にあり、リアルタイムプロットに見られたような右側に大きくずれることや、またマーカーの左側を通過することはなかった。

単独測位の結果をみると、マーカー No.11から No.15付近までは DGPS 測位の値に近いが、マーカー No.15から No.18までは 30 m 程度の距離差が生じている。この実験では、厳密な精度の検討はできなかったが、DGPS 測位は、単独測位に比較して格段に高精度測位が可能であることが明らかになった。

## 6. ま と め

DGPS 測位システムを使用し、中海湖心付近でブイ・マーカーの設置を行った。

今回の測位結果を見ると、DGPS によれば精度、位置の再現性が単独測位に比べ格段に良いことが明らかになった。湖沼調査においても有力な測位手段となると思われる。そのなかでネックとなる部分は、補正データの伝送であるが、幸いにして、中波ビーコンや FM 多重による補正データの伝送が実用化されつつある。今回の測位実験では補正データの伝送に特定小電力無線モデムを使用した。予想よりも通信範囲が狭いことがわかった。マーカー側の試験では海上で 4 km まで通信可能ということであったが、湖心観測所より最大 2 km 程度であった。送信アンテナ位置を高くすると受信性能の向上など改善箇所は限られている。リピータで信号を中継し、通信範囲を広げる手段もある。測位実験では、後処理 DGPS 測位を頻繁に行った。ブイを精度良く設置する場合など、リアルタイム DGPS が必要であるが、リアルタイムであることを問わなければ、後処理 DGPS が取り扱いが容易で、実用的である。

## 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、同三瓶良和講師には実験の機会とご協力をいただいた。島根大学学生板坂尚孝氏、神田 貢氏には、現場作業を手伝っていただいた。建設省中国地方建設局出雲工事事務所には、中海湖心観測所を使用させていただいた。中海漁業協同組合には、備船についてご協力をいただいた。地質調査所海洋地質部石原文実課長には本論をまとめるにあたり GPS 全般に関する助言をいただいた。同所上嶋正人研究調査官、佐柳敬造ならびに小田啓邦科学技術特別研究員には GPS 基地局の設置および GPS データ収録にご協力をいただいた。また同所地質情報センター地形情報課には、地質調査所内の GPS 基準点について情報を提供していただいた。以上の方々および機関に厚くお礼申し上げます。

## 文 献

- 浅子正浩・秋定真・小神野和貴(1997)ディファレンシャル GPS を利用した中海における位置測定システムについて。汽水域研究センター特別報告第 3号, 島根大学汽水域研究センター (印刷中)。  
 地質調査所(1995) GPS 測量から求めた地質調査所の 3次元位置について。地質調査所。  
 Geographical Survey Institute (1996) GEOID in JAPAN, Geographical Survey Institute。  
 北條晴正(1996)GPS/DGPS 受信機の動向。シンポジウム GPS/DGPS 利用技術の展望, (社)日本航海学会, 35-58。  
 伊藤徹(1996)自動車における利用。シンポジウム GPS/DGPS 利用技術の展望, (社)日本航海学会, 115-130。  
 西村清和・松林修(1996)光ファイバ分布型温度センサの海洋および湖沼調査への適用。海洋調査技術, 8: 17-31。  
 徳岡隆夫・大西郁夫・高安克巳・米元正一・安間恵・後藤慎二・園田巖・鹿島薫(1991)中海北西部(本庄工区)の湖底地形と堆積層。山陰地域研究(自然環境), 7: 23-38。  
 徳岡隆夫・高安克巳・三瓶良和・土屋洋一・安間恵・松岡弘和・井内美郎・西村清和(1993)音波探査による中海の浮泥層と塩水楔の検討(予報)。山陰地域研究(自然環境), 9: 9-17。  
 徳岡隆夫・三瓶良和・亀井健史・玉理圭太郎・西村清和・松田滋夫・須崎聡(1996)汽水湖中海におけ

- る塩分躍層動態の長期観測. LAGUNA (汽水域研究), 3: 73-90.
- 土屋淳・辻宏道(1995)GPS 測量の基礎. (社)日本測量協会, 274 p.
- 矢吹哲一郎(1995)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, 7: 47-54.
- 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.