

Appendix 2. The name list of catches only on November 22, 1992; categorized into three groups of high, low, and non-price

Group	Scientific name	Japanese name	Group	Scientific name	Japanese name
High price:	<i>Lophius litulon</i>	Kiankou	Low price:	<i>Urolophus aurantiacus</i>	Hirataei
	<i>Doederleinia berycoides</i>	Akamutsu		Non-price:	<i>Pterois lunulata</i>
	<i>Psenopsis anomala</i>	Ibodai	<i>Pseudaesopia japonica</i>		Setoushinoshita
	<i>Stichopus japonicus</i>	Manamako	<i>Charybdis acuta</i>	Beniishigani	

GPSの測位精度—Ⅲ*¹

3種類のGPS受信機による二定点

ディファレンシャルGPSの補正効果

本村紘治郎*²・中田 裕*²・内田和良*³・濱口正人*⁴・
田淵清春*⁵・下川伸也*⁴・堀田俊孝*⁵・濱田悦之*⁶

Accuracy of Positioning by GPS-Ⅲ*¹

Effect of Correction by a Differential GPS using Three Types
of GPS Receiver at Two Fixed Stations

Kojiro Motomura*², Yutaka Nakada*², Kazuyoshi Uchida*³, Masato Hamaguchi*⁴,
Kiyoharu Tabuchi*⁵, Shin-ya Shimokawa*⁴, Toshitaka Hotta*⁵, and Etuyuki Hamada*⁶

A capability to control the accuracy of the GPS satellite signals, selective availability(SA), is intentionally operated for military purposes, thus causing errors in the ship's position. This is improper for fishery research works. One way of correcting the errors as small as in an allowable range is to adopt a mode of differential GPS(DGPS).

Experiments were carried out to investigate the distribution of errors of the positions at two stations with three types of GPS receivers in Shimonoseki city in 1993. The errors were measured at the two stations where the same type of receivers were set. The GPS receivers used are the 1-channel(initial), 1-channel(improved) and 5-channel types. The best results were obtained when two shipping GPS receivers with the 5-channel type were used in the DGPS of three dimensional positioning, and this method is of great use for fishery purposes. The conclusions are summarized as follows:

- (1) 97.1% of positions corrected by the DGPS were distributed within the range of 20 meters from an antenna.
- (2) Considering the standard deviation and the distance root mean squared, position accuracy under the SA-on condition was improved about three times by the DGPS compared with that by a GPS receiver with a 1-channel type under the SA-off condition.

水産大学校研究業績 第1469号, 1994年1月18日受付.

Contribution from Shimonoseki University of Fisheries, No. 1469. Received Jan. 18, 1994.

*¹ 1993年度日本水産学会中国・四国支部大会(下関)にて発表.

*² 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).

*³ 水産大学校漁業学科漁業機器学講座(Laboratory of Fishery Instrumentation, Department of Fishery Science and Technology, Shimonoseki University of Fisheries).

*⁴ 水産大学校漁業学科運用学講座(Laboratory of Seamanship, Department of Fishery Science and Technology, Shimonoseki University of Fisheries).

*⁵ 水産大学校練習船天鷹丸(Training Ship Tenyo-maru, Shimonoseki University of Fisheries).

*⁶ 東京水産大学海洋生産学科(Department of Marine Science and Technology, Tokyo University of Fisheries).

1 まえがき

著者らはこれまで、一定点におけるGPSの測位実験を行い、その精度を評価してきた^{1,2,3)}。その結果、現在のGPSの測位精度は、SA(selective availability: 選択利用性)と呼ばれる人為的な誤差のため、放射方向の距離誤差の標準偏差(standard deviation: 以下 σ という)の2倍値は約100mに劣化していることが明らかになった。しかも、SAによる誤差の傾向は一様でなく、地域的な誤差の傾向を把握できないことも確認された。このことは、連続した高精度の位置を必要とする魚礁調査やその他各種の漁業調査では、単独のGPS受信機による測位は効果的でないことを意味する。そのため、本校で行う漁業調査(例えば山口県仙崎沖魚礁調査など)では、ロランCあるいは一般的に普及していない光波式測距装置により位置の情報を得ている。

SAによる誤差を補正し、GPSの測位精度を向上させる方法として、ディファレンシャルGPS*(以下DGPSという)の研究が進められ^{4,5,6,7)}、すでに専用受信機が実用化されている。しかし、DGPSの専用受信機は高価であること、また、わが国沿岸海域でDGPSによる測位をリアルタイムで行う場合、船舶電話の回線を使用するための端末機器が必要であること、そして通信費がかかることなど、今すぐ専用受信機を漁業調査に利用するには、装置や経費など実用面でいくつかの難点がある。したがって、DGPS

を漁業調査に応用する場合には、当分の間、低価格で汎用性のあるGPS受信機を使用することになる。そのため、市販の船用GPS受信機を用いたDGPSによる測位を、簡便かつ効果的に行うための基礎資料を得ておく必要がある。本研究では、3種類の船用GPS受信機を用いて、DGPSの測位実験を行い、その補正効果について基礎的な検討を行った。

2 実験方法と装置

DGPSの方法は、トランスロケーション方式と干渉測位方式に大別され^{5,8)}、このうちのトランスロケーション方式には

- ・疑似距離を補正する方法
- ・緯度経度を補正する方法

の2方法がある。今回の研究目的は、汎用受信機による簡易なDGPSの補正効果を検討することであるから、トランスロケーション方式のうち、位置を補正する方法、すなわち、基準局のGPS位置より得られた緯度経度誤差を用いて移動局のGPS位置を補正する方法を選んだ。

実験期日、使用された受信機の型、測位方法および受信機の設置場所をTable 1に示す。

受信機の型は、GPSの運用初期に開発された1チャンネル高速シーケンシャル受信機(日本無線製、JLR-4000F)、同機種種の改良型受信機(同、JLR-4100)、5チャンネル多

Table 1. Method of experiment

Date	Type of GPS receiver	Method of positioning	Reference station	Remote receiver
Feb. 12, 1993 (24 hours)	1-channel receiver: JLR-4000F(JRC) (initial type)	2D	S. U. F	Tenyo-maru
13 (24 hours)		3D	S. U. F	Tenyo-maru
Mar. 12, 1993 (24 hours)	1-channel receiver: JLR-4100(JRC) (improved type)	2D	S. U. F	Tenyo-maru
Dec. 15, 1992 (24 hours)		3D	S. U. F	S. U. F
Apr. 13, 1993 (12 hours)	5-channels receiver: JLR-4110(JRC)	2D	S. U. F	Tenyo-maru
14 (12 hours)		3D	S. U. F	Tenyo-maru

S. U. F: Shimonoseki University of Fisheries
2D : Two dimensional positioning
3D : Three dimensional positioning

* 本報告ではディファレンシャル手法のことをいう。

重受信機(同、JLR-4110)の3種類で、1機種につき2台ずつ、合計6台を使用した。以下それぞれを、1チャンネル初期型受信機、1チャンネル改良型受信機、5チャンネル受信機と呼ぶことにする。

同じ機種種の受信機を、基準局と移動局として1台ずつ設置し、2次元測位(以下2D測位という)と3次元測位(以下3D測位という)の実験を行った。基準局および移動局のアンテナを、それぞれ本校三科共用実験棟屋上および下関港停泊中の本校練習船天鷹丸に設置した。また、1実験のみ、基準局のアンテナ位置から32.2m東に離れた位置に、移動局のアンテナを設置した。基準局と移動局のアンテナ間の直線距離は5実験が13,997.1m、1実験が32.2mであった。

測位誤差を得るための基準位置として、両局のアンテナ位置を7500分の1または15000分の1の海図より複数の人員で読み取り、それぞれの緯度と経度を平均した。この場合には実尺度で約1.5m以下の読み取り誤差が介入するが、ここでは無視することとした。

基準局周辺には、アンテナから北東、東および南西方向に、仰角がそれぞれ約6°、9°、14°の山が存在する。移動局周辺には、仰角約5°以上の受信障害物は存在しない。

1チャンネル型受信機では4秒間隔で、5チャンネル型受信機では5秒間隔で出力されるデータを、RS-232C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保存した。そのうち、基準局と移動局で、同じ時刻に、同じ衛星の組み合わせで得られたデータを解析に用いた。

3 結果および考察

3.1 補正前と補正後の位置の水平誤差分布

補正前と補正後の水平誤差分布を同心円図にして、Figs. 1~3に示す。Fig. 1は1チャンネル初期型受信機、Fig. 2は1チャンネル改良型受信機、Fig. 3は5チャンネル受信機による測位の結果である。各図の上部に単独受信機による移動局の位置誤差の水平分布を、下部にそれらをディファレンシャル補正した結果を示す。また、左は2D測位、右は3D測位の結果である。使用した受信機により、補正後の水平誤差の分布範囲が異なるため、分布図の最大半径を300mまたは100mとした。

1チャンネル初期型受信機では、補正前と補正後の位置誤差分布の傾向は同様で、2D測位3D測位とも、補正効果は顕著には現れていない。

1チャンネル改良型受信機では、2D測位3D測位とも、補正された位置誤差の多くは中心付近に集まっていて、1チャンネル初期型より誤差の分布範囲は狭い。しかし、そのいくつかは放射方向に筋状の分布をなし、100mを超えたものもある。1チャンネル改良型受信機による3D測位の実験では、基線長は32.2mで他の実験に比べて短かったが、その基線長の影響は現れなかった。

5チャンネル受信機の2D測位では、補正された位置誤差の多くが40m以下の範囲におさまった。3D測位の補正結果は、さらに良好である。3D測位の場合、40m以上の位置誤差は2点のみで、ほとんどの位置誤差が20m以下の範囲におさまっている。つまり、今回のDGPS実験で水平誤差の分布範囲を最も狭く、ほとんどを20m以下に補正できたのは、5チャンネル受信機で3D測位を行った場合であった。

3.2 補正前と補正後の水平位置誤差の基礎統計解析

GPS位置の補正効果を数値的に把握するため、補正前と補正後の位置誤差の基礎統計解析を行った。その結果を、Table 2に示す。なお、ここで示された相対度数は、補正前を意味するGPSの場合には、単独受信機で24時間に受信できた割合(以下受信率という)をいう。また、補正後を意味するDGPSの場合には、24時間にディファレンシャル補正ができた割合(以下ディファレンシャル率という)をいう。

Table 2を全体的にみると、2D測位よりも3D測位の方が効果的に補正されたと認められる。さらに、受信機の機種別および測位方式別に検討すると次のようである。

1チャンネル初期型受信機では、3D測位の補正後の平均位置は補正前に比べて真位置に近くなっているが、誤差のパラッキの範囲が広く補正効果が現れていない。

1チャンネル改良型受信機では、2D測位の経度の平均値とレンジを除けば、良好な補正効果が得られた。しかし、前述したように放射方向の筋状分布があること、ディファレンシャル率が低く、2D測位では39.65%、3D測位では23.94%であることを考えると、有効なディファレンシャル補正は期待できないと考えられる。

5チャンネル受信機によるDGPSの結果では、2D測位3D測位とも補正効果が顕著に現れている。とくに、3D測位では、ディファレンシャル率が66.31%で、また、誤差の平均値、距離誤差の二乗平均平方根(distance root mean squared: 以下drmsという)、 σ の値も他の実験に比べて非常に小さい。誤差の平均値をみると、緯度誤差は0.11m、

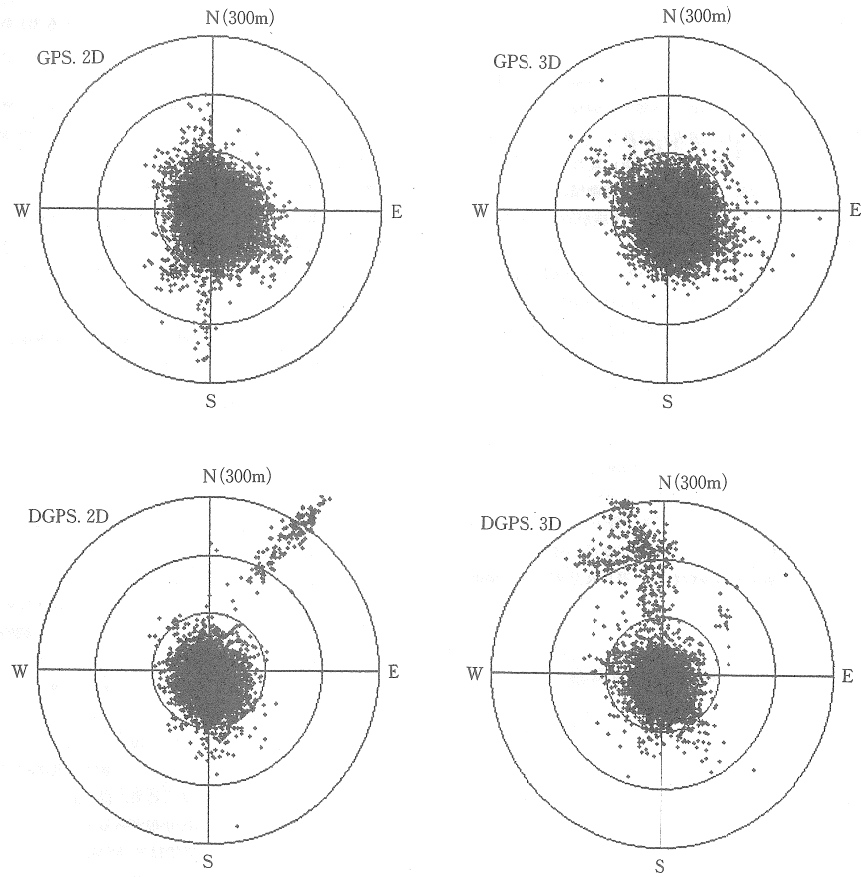


Fig. 1 Distribution of positioning errors of GPS and residual by DGPS using 1-channel receivers of initial type.

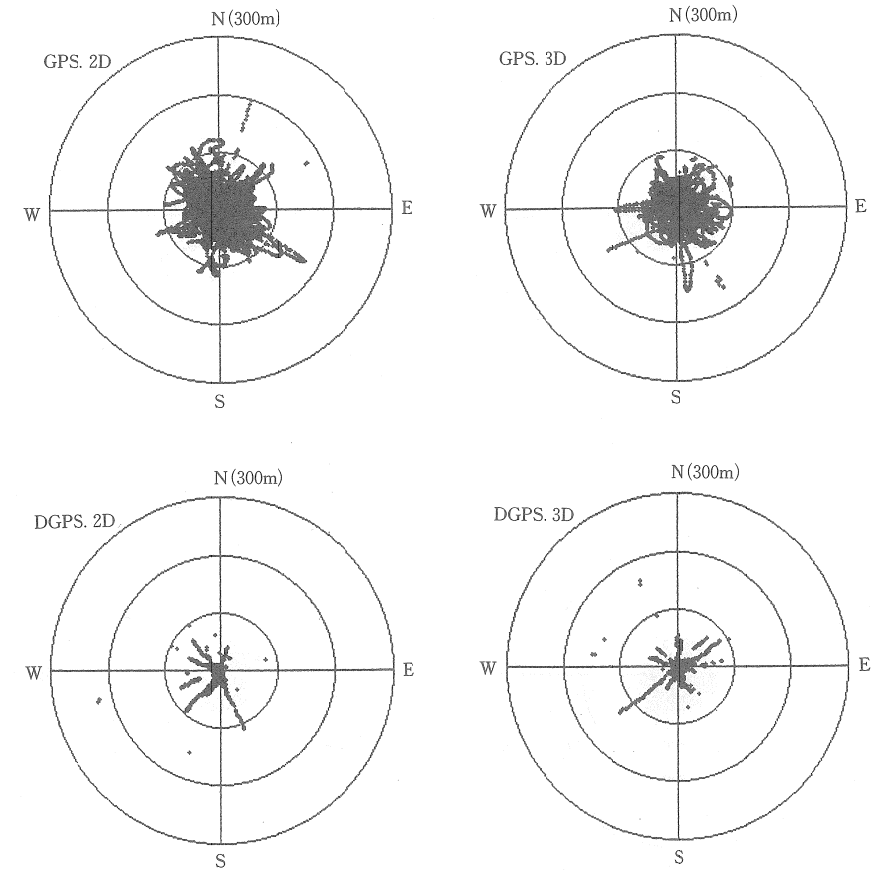


Fig. 2 Distribution of positioning errors of GPS and residual by DGPS using 1-channel receivers of improved type.

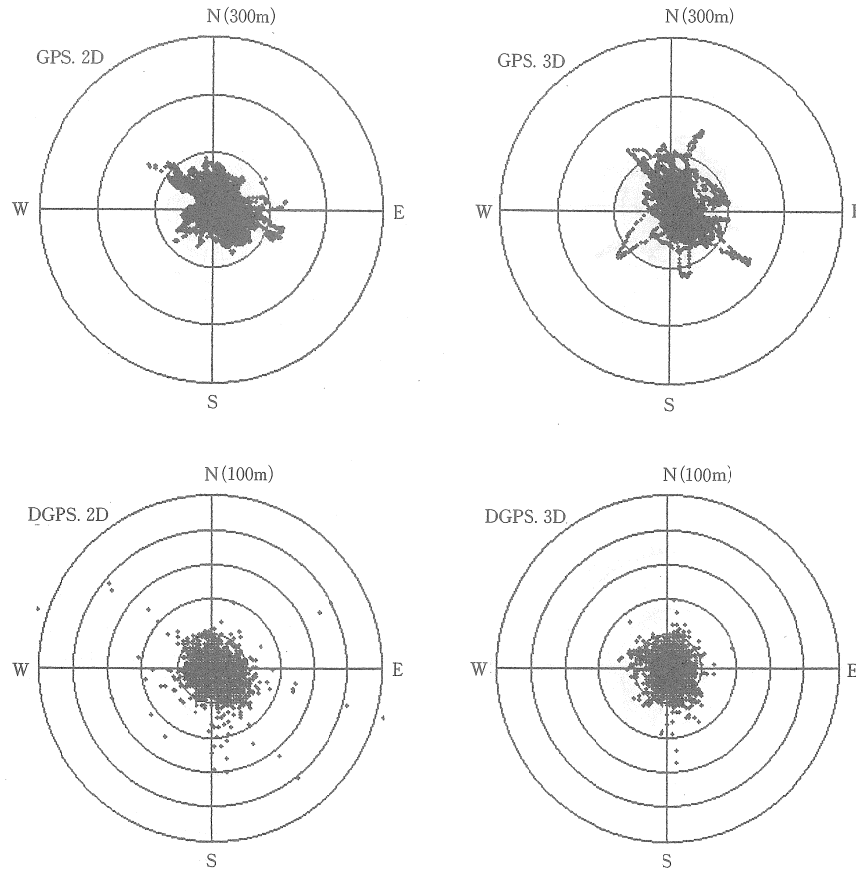


Fig. 3 Distribution of positioning errors of GPS and residual by DGPS using 5-channel receivers.

Table 2. Mean, range, drms and σ of positioning error by each receiver and residual by DGPS (unit in meter).

Type of GPS Receiver	Relative frequency (%)	Mean			Range		Drms.			σ				
		Lat.	Long.	Dist.	Lat.	Long.	Lat.	Long.	Rad.	Lat.	Long.	Rad.	Dist.	
1-channel receiver (initial type)	GPS-2D	80.47	7.62S	6.58E	41.79	460.35	287.82	37.70	32.01	49.46	36.92	31.33	48.42	26.46
	DGPS-2D	36.48	4.08S	10.56E	56.94	678.71	2203.24	147.83	108.63	183.45	147.77	108.12	183.10	174.39
	GPS-3D	75.55	10.81S	9.21E	44.04	375.30	440.86	37.46	35.41	51.55	35.86	34.19	49.55	26.78
1-channel receiver (improved type)	DGPS-3D	30.56	4.28N	4.20W	60.17	1826.99	693.99	83.85	42.79	94.14	83.74	42.59	93.95	72.40
	GPS-2D	97.76	1.87S	4.95E	34.99	305.06	265.35	30.44	29.01	42.05	30.38	28.59	41.72	23.33
	DGPS-2D	39.65	1.95S	6.84W	9.99	220.02	296.09	10.19	11.35	5.25	10.00	9.06	13.49	11.52
5-channel receiver	GPS-3D	40.63	4.06S	9.75E	34.23	233.13	215.91	29.14	28.38	40.68	28.86	26.65	39.29	21.98
	DGPS-3D	23.94	1.82S	1.32E	9.98	227.63	239.73	11.93	12.63	17.37	11.79	12.56	17.23	14.22
	GPS-2D	99.94	2.12N	14.44E	35.45	166.29	240.88	26.42	30.64	40.46	26.34	27.02	37.73	19.49
5-channel receiver	DGPS-2D	36.90	0.96S	0.34E	9.40	140.05	204.77	8.21	8.59	11.89	8.16	8.59	11.84	7.27
	GPS-3D	99.07	3.96N	14.48E	34.66	253.44	230.25	31.05	28.36	42.05	30.80	24.39	39.28	23.82
	DGPS-3D	66.31	0.11N	0.27W	7.04	93.93	65.98	6.43	5.39	8.39	6.43	5.38	8.39	4.56

Drms : distance root mean squared

Lat. : latitude

Long. : longitude

Dist. : distance

Rad. : radius

経度誤差は0.27 mである。海図から読み取った基準局と移動局それぞれの基準位置に読み取り誤差が含まれていないとすると、位置の補正によるDGPSは半日程度の計測で、測量にも応用できると考えられる。また、95%誤差界の半径とされる2 drmsは約16.8m, さらに σ は8.39mであるが、これらはSAが実施されていないときの単独受信機による測位³⁾にくらべて、約3倍精度が改善されたことになる。

1チャンネル受信機では初期型改良型とも、測位の次元に関わりなく受信率に比べてディファレンシャル率が極端に低い。これは基準局と移動局に設置された受信機で、衛星を補足する順番、電波の信号レベル、そのほか受信機特性の差などから内部処理の手順が異なり、測位に使用された衛星の組み合わせが同一でなかったためと思われる。

5チャンネル受信機による2D測位のディファレンシャル率が、3D測位と比較して低い原因の一つに、基準局と移動局の周囲の地形が異なっていることが考えられる。受信機が測位計算を行うとき、PDOP値が最小となるようなバランスの良い配置の衛星を選択する。したがって、2D測位の場合には3衛星で作られる三角形の面積が最大になるよう、低高度の衛星を補足する。基準局周辺にはアンテナからの仰角6°~14°の山が至近に存在し、その方

向にある低高度の衛星からの電波は遮断される。一方、移動局周辺では、基準局周辺の山ほど仰角の高い障害物は存在しない。そのため、移動局で低高度の衛星が補足されたとしても、基準局の視野内に存在しないことがある。つまり、両局で補足された衛星の組み合わせが度々異なり、ディファレンシャル率が低くなったと考えられる。

4衛星を補足する3D測位の場合には、4衛星で作られる4面体の体積が最大となるように、バランスよく衛星を補足して測位計算を行うが、2D測位の場合のような低高度の衛星が選択されないのであろうと思われる。

以上のことから、数値解析の結果も、5チャンネル受信機による3D測位の場合が、最も効果的なディファレンシャル補正が行われたとみなされる。

3.3 補正前と補正後の放射方向距離誤差の相対度数分布

前項までは誤差分布を総合的に述べたが、本項ではアンテナ位置からの距離誤差の分布について検討した。

3D測位で得られた位置の、アンテナから5m毎の距離誤差の相対度数分布をFig. 4に示す。同図の上部は単独受信機による距離誤差の相対度数分布、下部は補正後の相対度数分布である。図の左から順に、1チャンネル初期型

受信機, 1チャンネル改良型受信機, 5チャンネル受信機による結果をあらわした。同図より, アンテナ位置からどれぐらいの距離の範囲に, どれぐらいの位置の分布があるかということを知ることができる。

1チャンネル初期型受信機では, 補正前も補正後も同様の傾向を示し, ディファレンシャル補正の効果は明確には現れていない。

1チャンネル改良型受信機では, 補正された位置の82.6%がアンテナから半径15m以下の範囲に, 88.2%が20m以下の範囲に集まっている。しかし, 前述したように, 放射方向に筋状の誤差分布がみられることと, ディファレンシャル率が低いことを併せて考えると, 1チャンネル改良型受信機を使用した場合も, DGPSによる効果的な誤差補正は期待できないと考えられる。

5チャンネル受信機による3D測位の場合, ディファレンシャル補正はここでも優れ, 76.4%がアンテナから半径10m以下, 92.4%が15m以下, 97.1%が20m以下の範囲におさまった。

3.4 誤差の時系列変動

移動局のGPS位置が補正された様子を, 時系列で表示し, Fig. 5に示す。同図には, 補正効果が最も良く現れた5チャンネル受信機の3D測位のデータを用いた。同図の下部には, 測位に使用された衛星の組み合わせと, 測位中のPDOP (position dilution of precision: 精度劣化係数) 値を示す。SAのため緯度誤差および経度誤差が波状の曲線になっているが, 時系列で表示されたこれらの変動は基準局と移動局で同様の傾向を示している。同図より, 5

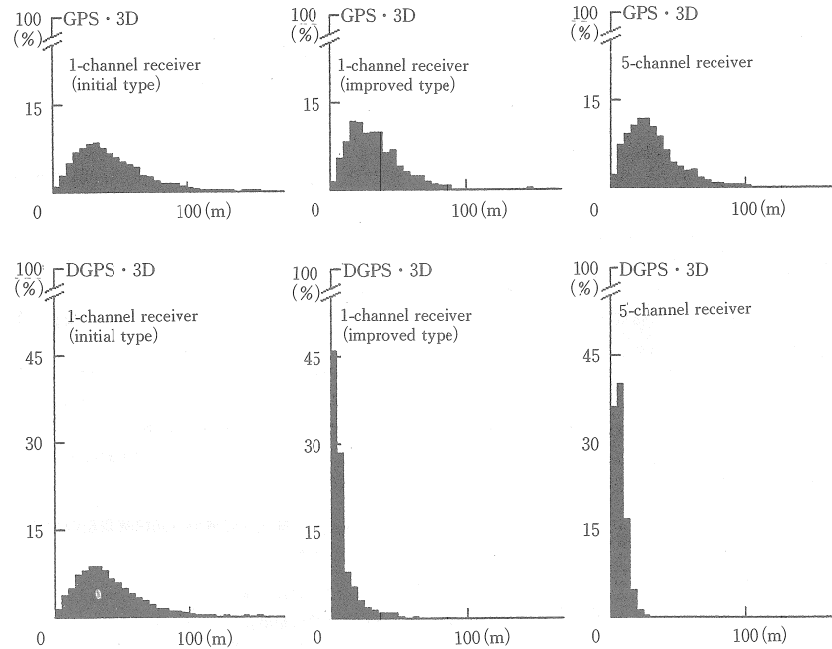


Fig. 4 Relative frequency distribution of distance errors of GPS and residual by DGPS by each receiver in case of three dimensional positioning.

チャンネル受信機を用いた3D測位の場合のディファレンシャル補正の効果を知ることができる。

両局の誤差の大きさが異なっている原因はいくつかあるが^{4, 5, 8)}, 利用者が簡易な方法で改善できることは電波の多重伝搬を防ぐことであろう。今後, さらにディファレンシャル補正の精度を向上させるには, 少なくともアンテナの水平面より低い位置からの電波を遮断し, 多重伝搬の影響を小さくするための簡単な装置を取り付ける必要がある

う。

今回の実験の結果を総合的にみると, 最も効果的なディファレンシャル補正を行うことができたのは, 5チャンネル受信機による3D測位の場合であった。米国や北部ヨーロッパの一部で油田探査や地震調査のために利用されているDGPSより補正の精度は低いが⁹⁾, 船用5チャンネルGPS受信機の3D測位による位置補正のDGPSは, 漁業調査において期待できる手法であると考えられる。

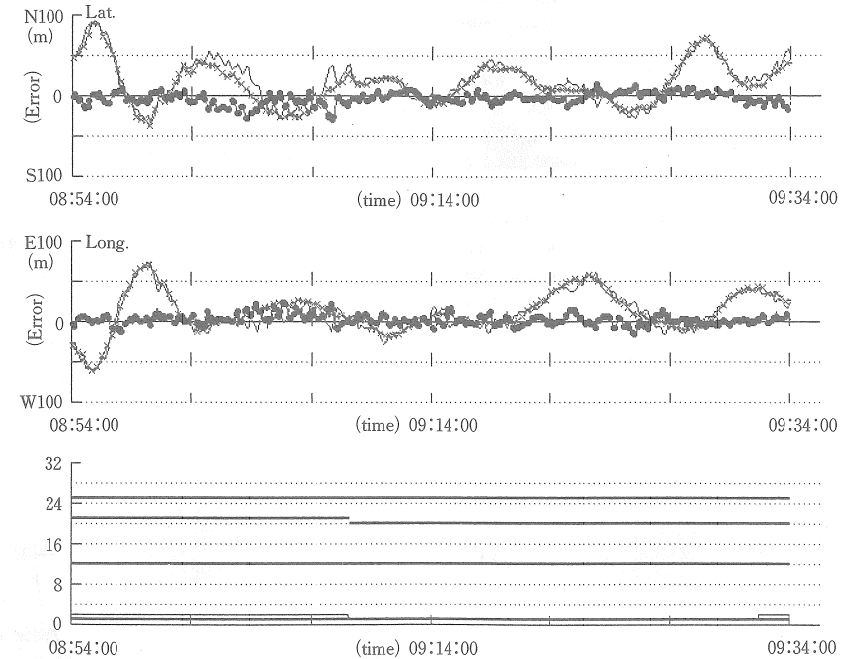


Fig. 5 Curves showing time series of latitudinal(upper) and longitudinal (center) errors with corrected errors. Lower portion of this figure shows combinations of satellites, and PDOP values.

- : reference station
- x—: remote receiver
- : residual by DGPS
- : satellite number
- : PDOP value
- PDOP: position dilution of precision

3.5 衛星の組み合わせを無視した場合の誤差分布

位置補正によるディファレンシャル手法では、基準局と移動局で測位に使用されたGPS衛星の組み合わせが同一であるときのデータを使わなければならないとされている⁸⁾。したがって、実験時のデータとして、衛星の番号を記録しておく必要があるが、受信機によっては、その番号が出力端子から出力されないものがある。このような仕様の受信機でDGPSによる測位を行う場合には、衛星番号が出力されるように改善するか、または、受信機に表示される衛星番号を、連続的に目視で読み取り、実験野帳などに筆記することになる。しかし、読み取り・記録の作業には手間と労力を要し、長時間の実験には不向きである。そこで、使用した衛星の番号が得られない場合を想定して、衛星の組み合わせを無視した場合の補正を試みた。使用したデータは、最も効果的に補正された5チャンネル受信機により得られたものである。その結果を水平誤差分布図にしてFig. 6に、また、距離誤差の相対度数分布図にしてFig. 7に示す。これらの図とFig. 3およびFig. 4を比較すると、補正後の誤差は補正前と同様、広い範囲に分布している。したがって、衛星の組み合わせを無視した場合には、緯度

経度を補正する手法は適切でないことが本実験でも確認された。

4 2定点 DGPS の応用

5チャンネル以上の多重受信方式の受信機による簡易な2定点DGPSの応用を考えてみる。

5チャンネル受信機の場合、補正後の平均位置誤差は、0.1m~0.3mの範囲であったから、この程度の誤差が許容される範囲の測量に应用できるであろう。また、移動局が停止またはそれに近い状態のときには、3.3で述べたように、移動局の補正された位置の約97%は20mの範囲内にあるとみなせるから、この範囲の誤差が許容されるなら、測深機や魚群探知機などの音響計測機器と併用することにより、漁業に関連の深い天然礁の調査、人工魚礁の沈設および測位を含む漁業関連工事に应用できるであろう。さらに、より詳しい漁場の水深図や海底地形図の作成も可能で、2定点DGPSの漁業分野への応用は幅広いものとなるであろう。

今回の実験には、2機種種の1チャンネル受信機と1機種種の5チャンネル受信機を用いたが、6チャンネル以上の同

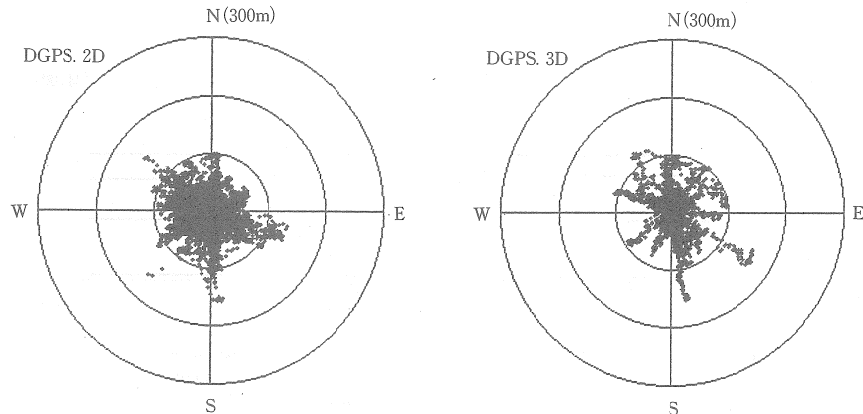


Fig. 6 Distribution of positioning errors by DGPS when the satellites were not in the same combinations between at GPS reference station and GPS remote receiver.

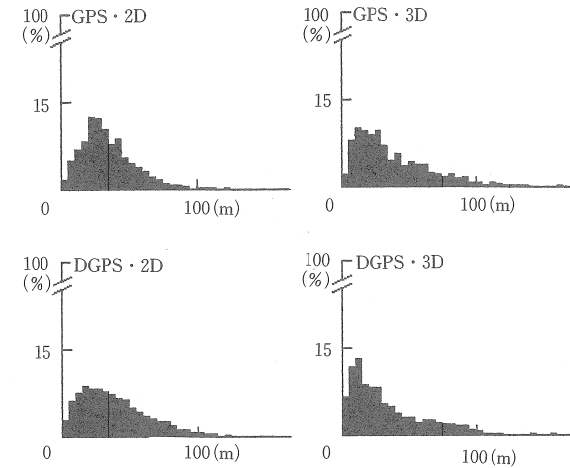


Fig. 7 Relative frequency distribution of residual of distance by DGPS when the satellites were not in the same combinations between GPS reference station and GPS remote receiver.

時受信可能な受信機を用いて3D測位を行った場合には、さらに精度の高いディファレンシャル補正が期待できると思われる。

5 あとがき

市販されている3種類の船用GPS受信機により2定点DGPSの実験を行った。その結果は次のように要約される。

- (1) 低価格の船用GPS受信機を用いて行った位置補正によるDGPSでは、5チャンネル受信機の3次元測位が良好であった。
- (2) 補正された位置の97.1%は、アンテナから20m以下の範囲内であった。
- (3) 補正された位置の精度は、SAが実施されていないときの単独受信機による位置の精度に比べて約3倍向上した。
- (4) 移動局が停止または停止に近い状態であるなら、位置を補正するディファレンシャル手法は、測量や漁

業計測に应用できる。

また、今後の検討課題として、次の各項があげられよう。

- (1) 移動局が高速または低速で移動しているときの補正効果。
- (2) 速度ベクトルデータの補正とその応用。
- (3) 今回の実験に用いられなかった多重受信方式の受信機、とくに6チャンネル以上の多重受信可能な船用GPS受信機を使用したときの補正効果。

現在GPSは、教育および各種の調査、研究などに、利用され、その分野はますます拡大している。受信機によっては衛星番号が出力されないものがあるが、上記のような目的で有効利用するためには、少なくとも測位に使用した衛星の番号、仰角、方位角および衛星の健康情報が、RS232C端子から出力されるような受信機であることが望ましい。とくに、小型のポータブルタイプのは、今後さらに利用価値が高くなると思われるので、必要に応じ少ない経費でそのような仕様に改善できるよう受信機メーカーに対し望みたい。

終わりに、本研究を行うにあたり、種々ご協力をいただ

いた練習船天鷹丸船長久保田勝彦助教授はじめ乗組員各位に厚くお礼申し上げます。また、機材提供の便宜をはかっていただいたジェーアールシーエス株式会社、特機営業部長田中力氏、および同次長磯辺敏氏、GPSに関する多くの情報を提供していただいた日本無線株式会社九州支社船舶営業部佐古秀美氏に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 本村絃治郎・実藤 了・水谷壮太郎・長友洪太・大村千之：航海, 96, 39-46(1988)
- 2) 実藤 了・本村絃治郎・水谷壮太郎：航海, 97, 77-82(1988)
- 3) 中田裕・本村絃治郎・田淵清春・濱田悦之：水産大研報, 41, 179-191(1993)
- 4) 柿原利治・若木毅・柳川三郎：東京水産大研報, 75, 87-93(1988)
- 5) 加瀬順一・林正吾・菊岡仁：航海, 111, 42-50(1992)
- 6) 小林弘明・新井康夫・奥田成幸・石橋 篤・岡本康裕：第88回航海学会講演予稿集, 28(1993)
- 7) 柿原利治・武田誠一・峰 雄二・佐藤 要：日航論, 90, 53-61(1993)
- 8) 日本測地学会：GPS—人工衛星による精密測位システム—, 初版, 日本測量協会, 東京, 1986, 169-216
- 9) 木村小一：造船技術, 309, 71-95(1993)

Variations of SH Content and Kamaboko-Gel Forming Ability of Shark Muscle Proteins by Electrolysis

Moritsugu Hamada*, Shoichiro Ishizaki*†, and Takeshi Nagai*

The variations of SH content and kamaboko gel-forming ability of muscle protein by electrolysis were examined using ground shark, *Charcharhinus japonicus*. Sarcoplasmic and myofibrillar proteins of 0.5-0.8 mg/ml were electrolyzed for up to a maximum of 5 h at 5.5 mA/cm², and the contents of total SH (T-SH) and the reactive SH (R-SH), namely exposed SH on the surface of the protein, were determined during electrolysis. The content of R-SH increased with the duration of electrolysis, although those of T-SH did not vary. On the other hand, the pH value of the protein solution at the cathode side, increased with the time duration of electrolysis. Consequently, the increase in content of R-SH was found to be dependent on the exposure of the SH group which was buried inside the molecule by the raised pH, not by the reduction of the SS bond. The kamaboko gel-forming ability of the electrolyzed shark mince was unable to be improved by electrolysis, as evaluated by the results of both puncture and folding tests.

1 Introduction

Kamaboko, one of the traditional and popular seafood products in Japan, is made by heating the minced fish meat kneaded with a small amount of salt. The quality of kamaboko is chiefly evaluated by the strength of ashi, namely the total assessment of rigidity, elasticity, crispiness, and texture. The ashi depends mainly on the property of network structure of myofibrillar proteins. The formation of the network structure has been reported by many

workers¹⁻⁷⁾ to be mainly attributed to the cross linkage between myofibrillar proteins through disulfide bond (SS bond), hydrogen bond, and/or hydrophobic bond. On the basis of the SS bond theory, we deduced following hypothesis: If the free or highly reactive SH groups can be increased in number by exposing the SH groups which are buried inside the myofibrillar protein molecules to the surface, the strength of ashi may be enhanced.

In this report we describe the variation of SH content by electrolysis and kamaboko-gel

水産大学校研究業績 第1470号, 1993年12月9日受付.

Contribution from Shimonoseki University of Fisheries, No. 1470. Received Dec. 9, 1993.

* Department of Food Science and Technology, Shimonoseki University of Fisheries, 2-7-1 Nagata-honmachi, Shimonoseki 759-65, Japan (浜田盛承, 石崎松一郎, 永井 毅: 水産大学校製造学科).

† Present Address; Department of Food Science and Technology, Tokyo University of Fisheries, 4-5-7 Konan, Minato-ku, Tokyo 108, Japan (石崎松一郎: 東京水産大学食品生産学科).