

8チャンネル型受信機によるGPSの測位精度と 国際的緊張に関連するSAの操作について

本村紘治郎*¹・中田 裕*¹・奥田邦晴*²・
藤川 求*³・入野寿就*⁴・濱田悦之*⁵

The Accuracy of Position Measurement by 8-channel
GPS Receiver and the operation of selective
availability in Relation to International Tension

Kojiro Motomura*¹, Yutaka Nakada*¹, Kuniharu Okuda*²,
Motomu Fujikawa*³, Motonari Irino*⁴,
and Yoshiyuki Hamada*⁵

There has been great improvement in GPS receivers so as to display higher performance, owing to high user demand. The multi-channel receivers, especially the 8-channel type, have recently become more popular with users than ever before, in place of the type of differential GPS (DGPS). The accuracy of the position measurement is $\pm 100\text{m}$ with 2drms by means of a single receiver, since the selective availability (SA) is operated. However, it is possible to measure the position more correctly with the condition that the SA was sometimes cancelled without warning. Experiments were carried out using the 8-channel receiver to evaluate the accuracy of positions measured during the period of SA-off and SA-on. The 2drms value of the horizontal radial error under the SA-on was 12.0m and no speed error was found; whereas the horizontal radial error due to the SA-off was 50.8m, in terms of 2drms, and the mean error of speed was 0.17m/sec. The values measured by the 8-channel receiver showed higher fidelity in the position measurement. There is indication that the SA might be frequently cancelled if the military situation worsened.

水産大学校研究業績 第1537号, 1996年1月17日受付.

Contribution from National Fisheries University, No. 1537. Received Jan. 17, 1996

- *¹ 水産大学校漁業学科航海学講座(Laboratory of Navigation, Department of Fishery Science and Technology, National Fisheries University).
- *² 弓削商船高等専門学校情報工学科(Department of Information Science and Technology, Yuge National College of Maritime Technology).
- *³ 郵政省(The Ministry of Posts and Telecommunications).
- *⁴ 池田興業株式会社(Ikeda Kogyo Co., Ltd).
- *⁵ 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の飛躍的な普及に伴い、その受信機を高性能化するための改良が重ねられている。最近では、近い将来わが国でもシステム化が予定されているディファレンシャルGPSに対応できるように、受信チャンネル(以後、CHという)数の多い受信機が開発されてきた。

GPSの単独測位の精度評価については、既に多くの報告がある¹⁻⁶⁾。しかし、それらの多くはGPSの運用初期から完成前までの過渡期に、1CH型受信機や5CH型受信機を用いて行った評価試験に基づくもので、GPSの完成後、8CH型受信機を用いて行った精度評価については、わが国ではまだ例がない。

GPSには、1990年3月25日以降、米国の国防上の目的でSA(Selective Availability: 選択利用性)が実施され、単独測位の位置精度は $2\text{drms}(2 \times \text{distance root mean squared})$: 放射方向誤差の2乗平均平方根の2倍値)で約100mに劣化している⁵⁻⁷⁾。しかし、SAは時おり予告なしに解除されるようで、その場合には、単独受信機による高精度測位が可能になる。

本論文では、SA解除時と実施時の8CH型受信機による測位精度評価と、国際的緊張に関わるSAの操作について述べる。

2 装置および方法

実験は、1994年9月7日から1994年9月26日までの間、8CH型GPS受信機(日本無線、JLR-4110-MK II)を用いて、二次元測位(以下、2D測位という)で行なわれた。

位置精度評価のための基準位置(以後、評価基準位置という)は、本校三学科共用実験棟屋上に設置されたGPSアンテナの位置(34°03.9611'N, 130°53.7093'E)である。このアンテナ位置は、下関市吉見港北防波堤灯台からレーザ測距儀(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)で測定された距離と、見通し線の方位を用いて求められた。レーザ測距儀の測距誤差は±5cm以下で、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、この誤差を無視することにした。

GPSアンテナの高さは、平均海面から28mで、周辺には北東、東、南西の方向に、アンテナからの仰角がそれぞれ約6°、9°、14°の山が存在する。

受信機から4秒間隔で出力されるデータを、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。GPS衛星は23時間56分で再び定点観測者の頭上に現れるので、24時間分のデータを1ファイルとして、後日解析した。

実験期間中、SAが解除されたときのデータが得られたのは、9月19日10時00分から9月25日の5時00分(JST)までであった。本研究では、SAが解除されている場合の測位精度については9月23日のデータを、また、SAが実施されている場合の測位精度については9月9日のデータを用いた。

3 結果および考察

3.1 HDOP値の相対度数分布

GPSの2D測位において、測位精度の良否を判断する値としてHDOP(Horizontal Dilution of Precision)値がある。このHDOP値の大小は、観測者上空の衛星の配置に影響され、SAの解除中はHDOP値が小さいほど位置精度は良い。GPS完成前の実験結果では、HDOP値2の相対度数が最も高く72.3%で、HDOP値1の相対度数は15.9%であった。しかし、今回の実験結果ではSA解除時も実施時も、HDOP値1の相対度数が最も高く99.9%であった。したがって、現在では、測位に利用される衛星の配置が、観測者の上空で常にバランスの良い状態になっていると考えられる。

3.2 位置誤差の水平分布

位置誤差の水平分布をFig.1に示す。同図の左部分はSAが解除されているとき、右部分はSAが実施されているときである。同図中、データ数n、位置精度の評価に用いられる経緯度誤差の平均(Δl , ΔL)、 2drms 、さらに標準偏差(σ)の値を記入した。

4秒のサンプリングタイムと観測時間24時間を考慮すると、SA解除時は100%の受信率である。SA実施時に1回だけ受信できなかったが、この程度の欠落なら、通常の測位で受信率100%は期待できると考えられる。

Fig.1の左部分に示されたように、SAが解除されているとき、放射方向誤差の 2drms は12.0m、そして、最大値は13.0mであった。また、位置誤差の平均は評価基準位置より緯度方向で0.5m南、経度方向で2.8m西であった。

SA実施時の 2drms は約100mになるよう、米国国防省に

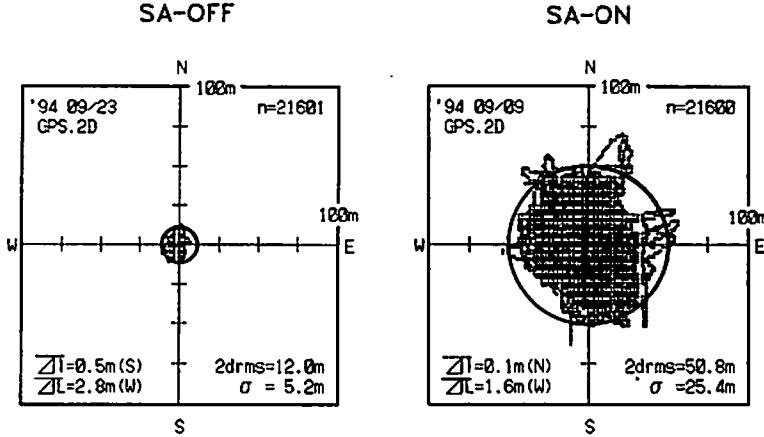


Fig. 1 Distribution of position errors.

より計画されている⁷⁾が、Fig. 1の右部分に示されたように、SAが実施されていても、8CH型受信機による放射方向誤差の2drmsは約51mであった。また、SA実施時の位置誤差の平均は、緯度方向で0.1m北、経度方向で1.6m西であった。

SA実施時の平均位置は、SA解除時の平均位置から半径1.3m以下の範囲にある。この傾向は著者らが前に行った実験のうち、HDOP値を2以下のデータで解析した結果と極めてよく似た傾向にある⁶⁾。したがって、SAが実施されていても24時間の定点測位結果を平均して得られた位置と、SA解除時の平均位置との距離は、約2m以下とみなしてよいと考えられる。

アンテナ位置を基準とした放射方向誤差を5mごとにきざみ、その相対度数分布をFig. 2に示す。Fig. 1と同様、同図の左部分はSA解除時、右部分はSA実施時である。

SA解除時には、評価基準位置から5m以上10m未満の距離誤差が最も多く49.4%であった。また、10m以下には93.7%、15m以下にはすべての誤差がおさまった。一方、SA実施時には、評価基準位置から15m以上20m未満の距離誤差が17.5%で最も多く、20m未満の距離誤差の相対累積度数は48.9%であった。したがって、8CH型受信機による測位では、SA解除のとき、位置データすべてが、評価基準位置から半径15m以下の中に得られるが、SA実施時には、それより5m大きい20m以下の範囲であっても、全データの約1/2しか得られないと考えられる。

3.3 速度誤差

受信中の周波数測定により得られる速度誤差の相対度数分布をFig. 3に示す。同図の左部分に示すように、SA解除時の速度データには誤差がみられなかった。8CH型受信機では、SA解除時に誤差のない速度データを常時得ることができると考えられる。

Fig. 3の右部分は、SA実施時の速度誤差を、きざみ幅0.1m/secとして求めた相対度数分布である。最大誤差は0.72m/secで、平均は0.17m/sec、速度データの過半数(59.4%)は誤差0.2m/sec以下であった。

3.4 緯度誤差, 経度誤差, 放射方向誤差, 速度誤差, 衛星の組み合わせ, およびHDOP値の時系列表示

緯度誤差, 経度誤差, 放射方向誤差, 距離誤差, 速度誤差と衛星の組み合わせやHDOP値の変化の12時間分を時系列表示してFig. 4に示す。図を見やすくするために、HDOP値を8でカットした。

5CH以下のGPS受信機では、2D測位は3個の衛星の情報から、三次元測位(以後、3D測位という)は4個の衛星の情報から位置計算が行われる。測位実験中、受信機に表示された衛星の番号を確認したところ、測位に使用された衛星の数は6個から8個で、2D測位、3D測位に関わらず、位置計算は受信できたすべての衛星情報より行われていた。測位に使用された衛星番号は受信機から4個しか出

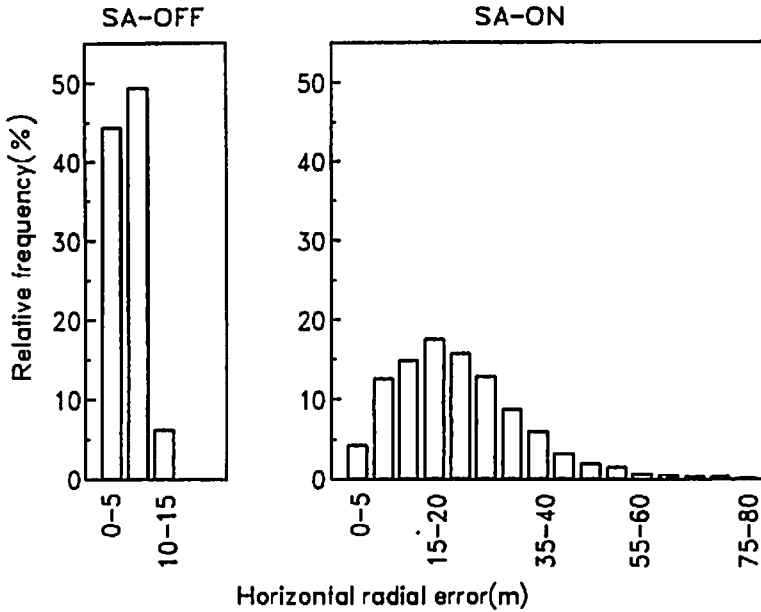


Fig. 2 Relative frequency distribution of horizontal radial errors.

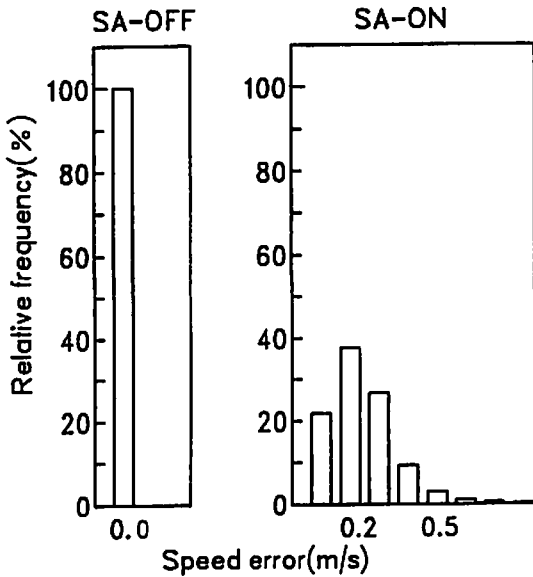


Fig. 3 Relative frequency distribution of speed errors.

力されないため、5個以上の衛星が測位計算に利用されても、Fig. 4には4衛星しか表示できなかった。

Fig. 4によれば、日本標準時の1994年9月25日05時00分からSAが実施されていることが明らかである。また、SA解除時と実施時の誤差の変動の様子も明らかである。

衛星の組み合わせが変化した時、それまでHDOP値1であったのが、一瞬、大きな値になり、直後に再び1になることがまれにあった。Fig. 4で、4衛星の組み合わせが変化しないにもかかわらず、HDOP値が大きな値を示すときは、表示されていない衛星の組み合わせが変化したためと考えられる。SA解除中、1CH型受信機では衛星が変わるとHDOP値が変化し、HDOP値が大きくなれば緯度、経度、速度の誤差も大きくなる⁶⁾。しかし、8CH型受信機では衛星の組み合わせが変わってもそれぞれの誤差に大きな変化はない。とくに、SA解除時にHDOP値が60を超えても、位置のジャンプはみられない。このことは、HDOP値に大きな変化を与えるような衛星配置の変化があったというよりも、衛星の交代時のHDOP値を受信機内部で計算するソフトの影響ではないかと考えられる。また、8CH型受信機では、信号を受信できたすべての衛星

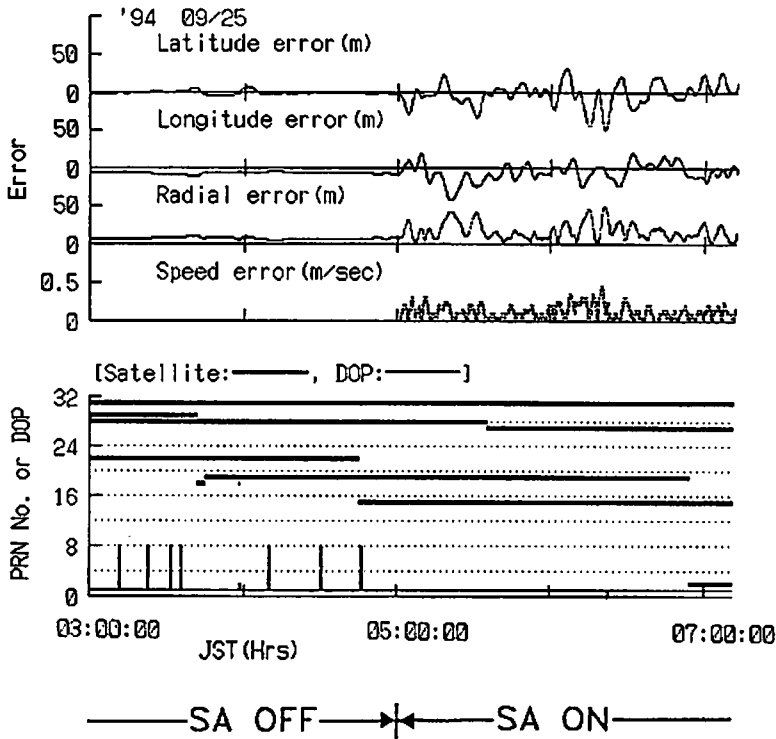


Fig. 4 Time series of position errors and speed errors. Lower portion of this figure shows combinations of satellites, and HDOP values.

の情報により、測位計算を行うため、測位に利用された衛星の組み合わせが変わっても、大きな位置のジャンプはないようである。

SAの影響による誤差の変動には、これまで報告されているように、緯度誤差、経度誤差、距離誤差、速度誤差ともに振幅の小さい変動と、大きい変動とがある^{5,6)}。振幅の小さいものは衛星内部の原子時計に関するSA、大きいものは、軌道情報に関するSAである。原子時計のSAは7~10分の周期的な誤差の変動を示し、軌道情報のSAは規則的ではないが、1.5~2時間の周期的な誤差の変動を示している。速度誤差の変動の周期はさらに短く、3~5分で位置誤差の周期的な変動の約1/2の周期である。Fig. 4によれば、位置誤差の振幅は±50m以下が多く、これまでの実験結果^{5,6)}の振幅より小さいが、変動の周期は変わっていない。

3.5 過去の実験結果との精度比較

著者らは、これまでGPSの測位精度に関するいくつかの実験を行ってきた^{1-6, 8-10)}。これらの実験に用いられた受信機は、1CH型受信機、4CH型受信機、そして5CH型受信機であるが、CH数が異なると測位精度も異なるようである。この精度比較には、同一時刻に同一場所で、CH数の異なる複数個の受信機を用いて実験を行うことが望ましいが、概略の傾向を把握するために、過去の研究結果と比較した。

1CH型受信機、4CH型受信機、5CH型受信機および8CH型受信機により、下段で得られた測位結果をTable 1に示す。位置および速度データのいずれも、8CH型受信機の方が高精度の測定値を得ている。

SAの解除・実施に関わらず、8CH型受信機の平均位置は、他の受信機に比べて評価基準位置に近い。また、

Table 1. Mean, 2drms and σ of position errors, and speed error by each receiver
(All data were obtained by two dimensional positioning with the condition that HDOP value was 1.)

	Type of Receiver	Number of Data	Position error (m)				Speed error (m/sec)	
			Mean		2drms	σ	Maximum	Mean
			Latitude	Longitude				
SA-off	1ch	2647	16.7N	10.5E	50.4	15.9	0.93	0.05
	8ch	21601	0.5S	2.8W	12.0	5.2	0.00	0.00
SA-on	1ch	2916	14.0N	2.4E	76.8	35.7	2.42	0.30
	4ch	830	1.2N	10.1E	64.8	30.8	1.18	0.31
	5ch	16626	3.1S	24.3E	103.4	45.5	2.11	0.29
	8ch	21600	0.1N	1.6W	50.8	25.4	0.72	0.17

1CH型受信機では経度方向誤差より緯度方向誤差が大きいことに比べて、4CH型、5CH型、8CH型受信機では緯度方向誤差より経度方向誤差が大きくなっている。このような平均位置誤差の傾向、受信CH数の相違による精度の相違は衛星の配置状態やデータ数のほか、受信機の型式や内部ソフトも原因すると考えられ、別の機会に改めて詳しく検討したいと考えている。

3.6 SAの解除と国際的緊張について

冒頭にも述べたとおり、SAの解除や実施は予告なく行われることが多い。実験結果を解析した後、明らかにSAが解除されたと考えられたので、確認のため米国コーストガードにSA操作の有無を問い合わせたが、明確な回答を得られなかった。

しかし、過去の様子では、国際情勢とSA操作は全く無関係ではないと思われる。国際情勢とSA操作の関係をFig. 5に示す。測位実験の都合で、SA解除や実施の明確な日時が判明しなかったこともある(図中の*印)が、湾岸

戦争やハイチ問題など国際的に何らかの緊張があるとき、SA解除の傾向がある。したがって、新聞記事やマスコミ関係のニュースなどで国際情勢を知ることにより、SA解除の兆しをある程度予測できると考えられる。

そこで、SAの解除や実施を簡単に知ることができるように、SA操作を観察する簡単なプログラムを開発した。GPS受信機とパーソナルコンピュータを接続し、本プログラムを実行させると、SA操作を観察する簡易な装置となる。フロッピーディスクに保存したデータによる作動試験中の本装置をFig. 6に示す。SA解除の兆しがあるとき、本装置を作動させ、CRTに表示された24時間観測の誤差の時系列を一見するだけで、SAの操作に変化があれば、SAの実施または解除の事実を容易に知ることができる。そして、SA解除の情報を直ちに漁業協同組合などを介して漁業者に知らせるなら、単独測位用の受信機だけを装備している漁船で測定された位置であっても、漁業者はSA解除期間における精度の良いGPS位置を有効に利用することができる。

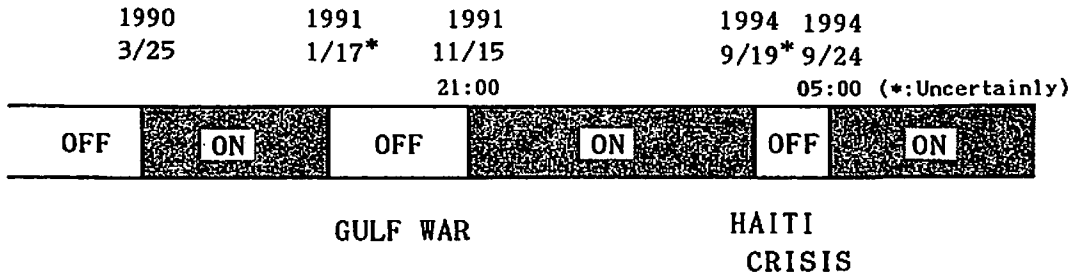


Fig. 5 Relation between SA-operation and international tension.

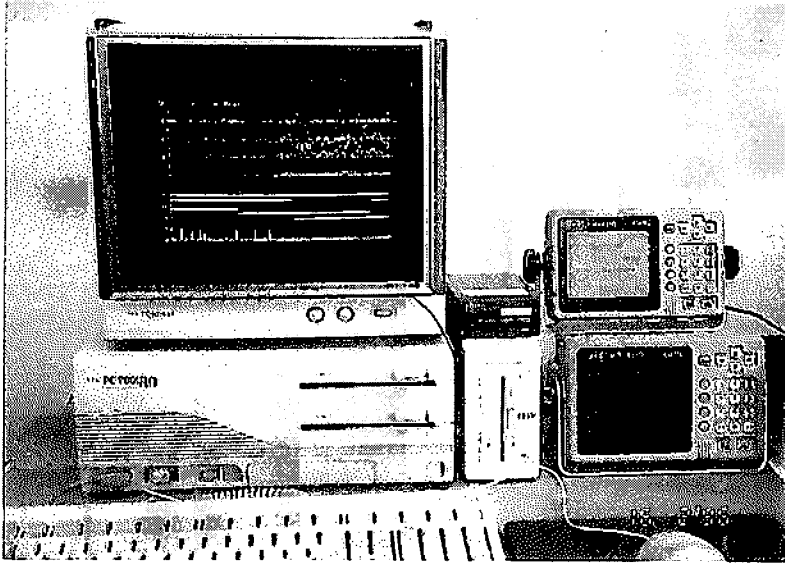


Fig. 6 System to monitor SA.

4 結 言

GPS完成後の8CH型受信機による測位精度を、SA解除時とSA実施時について検討し、さらに、SAの操作と国際的緊張との関連についても考察した。今回の研究結果は次のように要約される。

- (1)SAの操作に関わらず、99.9%のデータがHDOP値1であった。
- (2)SA解除時の位置精度は極めて高く、位置誤差の平均値は0.5m南、2.8m西で、2drmsは12.0mであった。速度誤差はなかった。
- (3)SA実施時の位置誤差の平均値は0.1m北、1.6m西で、2drmsは50.8mであった。また最大速度誤差は0.72m/secで、平均速度誤差は0.17m/secであった。
- (4)8CH型受信機は、受信チャンネル数が5CH以下の受信機より、位置データも速度データも精度が向上していた。
- (5)国際情勢に注意することにより、SA解除の兆しをみつけられそうである。

終わりに、本実験を行うにあたり、8CH型受信機を快く貸与して頂いたジェーアルシーエス株式会社、特機営業部部長田中力氏、および同次長磯部敏氏に厚くお礼申し上げます。また、本論文の作成にあたり、種々ご協力頂いた本校漁業学科平成5年度入学生の日影忠久君、川上千鶴

君、同6年度入学生の小室美保子君に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 奥田邦晴：航海，94，39-43(1987)
- 2) 本村紘治郎・実藤 了・水谷壮太郎・長友洪太・大村千之：航海，96，39-46(1988)
- 3) 実藤 了・本村紘治郎・水谷壮太郎：航海，97，77-82(1988)
- 4) 安田明生・平田 誠・奥田邦晴・今津隼馬：日航論，79，25-31(1988)
- 5) 片山 晋：航海，113，4-11(1992)
- 6) 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)
- 7) D.Olsen: Journal of ION, 36(4), 323-335
- 8) 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)
- 9) 本村紘治郎・中田 裕・内田和良・濱野 明：日航論，92，9-17(1995)
- 10) 本村紘治郎・中田 裕・伊藤 東・水谷壮太郎・久保田勝彦・濱田悦之：水産大研報，43，151-159(1995)。