

漁業指導船「江の島丸」におけるADCP観測の誤差補正について

Property of the observations by ENOSHIMA-MARU's ADCP.

樋田史郎

Shiro TOIDA*

緒 言

ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler: 音響ドップラー流速計)は、超音波を海中に発射し、海水中の懸濁物等からの反射音響のドップラーシフトを測定することで、いくつかの層の流向流速を計測する。調査船で航行しながら ADCP 観測を行なうことで、海域の流れの構造を立体的に把握できる。

ADCPは、海底から反射する音響信号を受信できる場合は対地速度を得ることができるが(対地モード)、相模湾のような深い海域では、各層の観測値は移動する船を基準とした相対速度しか得ることができない(対水モード)。「江の島丸」の竣工当時はGPSを実用的に利用することができず、相対値として得られるADCPの観測値を対地速度に変換することは困難であった。漁業指導船「江の島丸」(99トン)は昭和60年の竣工当初からADCP(古野電気株式会社, CI-30)を搭載しているが、漁獲調査における操業中の漁場の潮流観測を目的としていたこととあわせて、海域の流れの構造の立体的把握に必要な対地速度を現実的に解析できなかったことから、観測データの収録は考慮されていなかった。その後、調査船「さがみ」が、急潮予測等の研究を目的とした多層観測が可能なADCP(SunWest社, SW2000)を搭載し、急潮発生時の海域の流れの構造を立体的に把握できるようになった¹⁾。2001年3月に「さがみ」が廃船となったことから、CI-30にGPSと連携したデータ収録装置を追加し(2001年6月)、研究を目的とした観測の機能を「江の島丸」が担うことになった。

ADCPの観測データは、船に対して一定の方向に偏った系統誤差を含む場合がしばしばである。この系統誤差は、トランスデューサの取り付け角の不整合が主な原因として知られており、Joyceの方法²⁾により補正する必要がある。CI-30の観測値に含まれる系統誤差は、東北ブロックで共同開発したパソコン用プログラム「コンパス不整合角演算ソフト」によって処理が可能である³⁾。しか

しながら、「江の島丸」に搭載されたCI-30の個体は搭載時期が古く上述のとおりGPSとの連携が予定されていなかったため、対水モードの観測値を対地速度に変換できるか否かの検討がまず必要となる。そのうえで、通常のADCPとしての誤差補正の検討を行なう。また、「江の島丸」は調査航海の内容が多岐にわたり、船体トリムが大きく異なる場合が多いこと等、観測条件も多岐にわたる。これらの観測条件の違いによる系統誤差の処理の妥当性も「江の島丸」固有の条件として検討しなければならない。

方 法

ADCP 観測

ADCP観測は、古野電気CI-30(130kHz, 3層観測)により、漁業指導船「江の島丸」の各種航海において実施した。航行海域は、東京湾、相模湾・相模灘及び伊豆諸島である。

「江の島丸」の竣工当初はデータを収録することができなかったため、データ収録装置を設置した2001年6月以降のデータを検討に供した。収録装置では、GPSによる位置及び時刻の情報がCI-30の観測値と併せて記録される。収録したデータは、「コンパス不整合角演算ソフト」に適用できるデータ形式ではないため、専用にプログラムを作成の上、データ形式を変換した。この変換後のデータを「コンパス不整合角演算ソフト」による解析に供した。

「江の島丸」のCI-30では、海底の反射音響が受信可能な場合、船速及び流速は対地速度で観測される(「対地モード」)。相模湾・相模灘のほとんどの海域では、深度が大きいため、海底の反射音響が得られず「対水モード」で観測するが、観測時にはGPSと連携できないため、トランスデューサー直下の流速との相対値が記録される。この相対値とGPSからの情報を「コンパス不整合角演算ソフト」により、「対水モード」の観測値は対地速度に変

換される。

Joyceの方法による補正定数 α 及び $1+\beta$ は、「コンパス不整合角演算ソフト³⁾」を用い、対地モード時及び対水モード時にそれぞれ、次に示す「対地モード法」及び「対水モード法」によって算出した。

系統誤差の補正(対地モード法)

「コンパス不整合角演算ソフト」の対地モード法では、GPSによる航法システムから得られる対地船速とADCPによる対地船速を比較し、系統誤差の補正定数を算出する。ADCP観測のうち、水深の浅い海域でのみ対地モードにより観測される。「江の島丸」の航海のうち、東京湾、伊豆諸島海域の漁場の多く、及び相模湾・相模灘の一部において、水深が浅いためADCPは対地モード観測された。

「コンパス不整合角演算ソフト」による検討においては、一航海中に観測された対地モードのデータをなるべく多く選択した。ただし、緯度、経度、船速及び針路に通常考えられない異常な値が入っている場合、本来対地データが取れるはずのない深い場所に対地データがある場合、ならびに海底地形と深度の影響で航行中に頻繁に対地モードと対水モードが切り替わる場合は検討から除外した。また、船の加減速が激しい場合は良好な観測結果が得られないため、安定した航行が行なわれる時の観測値を参照する必要がある。収録されたデータについて試行錯誤した結果、8ノット以上、9.5ノット以下の時の観測値を検討に供した。

系統誤差の補正(対水モード法)

対水モード法では、往復航行あるいはそれに類似した航行を行ない、往路(区間1)と復路(区間2)の観測値を平均し、残差を小さくする補正定数を求める。2つの区間を航行している際の海域の流れは、空間的及び時間的に変化しないと言う前提で補正定数が求められるため、それぞれの区間の長さは長すぎても短すぎても良好な結果は得られない。これらの区間については随意に決定し、結果で示す。

対地モードでは全ての観測値が対地速度で記述でき、GPSとADCPとによる対地船速を比較すれば、各観測層の誤差補正は原理的に不要である。一方、対水モード法においては、ある観測層の観測値を基準として誤差補正を

求めるが、それぞれの観測層の観測値は独立して変動する。このため、観測層の違いによる観測値の影響を検討する必要がある。そこで、対水モード法においては各層について補正定数を算出し、各観測層にわたる補正の妥当性を検討した。

結果及び考察

系統誤差の補正(対地モード法)

補正定数の算出結果を表1に示した。東京湾においては、32航海(複数の日数で往復等をする場合は、1日を1航海として取り扱った。以下同)のデータを検討に供した。相模湾・相模灘においては、81航海のデータを検討に供した。伊豆諸島海域の漁場のうちサバ資源調査において28航海及びキンメダイ資源調査において11航海のデータを検討に供した。

算出された補正定数は、キンメダイ資源調査時においては、 $\alpha=-4.9$, $1+\beta=0.99$ であったが、それ以外の海域においてはいずれも、 $\alpha=-6.0$, $1+\beta=1.00$ であった。調査海域の状況は、サバ資源調査とキンメダイ資源調査のいずれにおいてもほとんど違いが無い。キンメダイ資源調査が他の航海と異なる点は、計量魚探を使用することである。計量魚探及びADCPはともに精密かつ強力な音響観測機器である。双方の周波数は重ならないが、ADCPはドップラーシフトを観測するため、計量魚探の音響の影響を受ける可能性はあり得ると考えられる。しかしながら、このことは可能性の一考察であり、原因は解明できていないため、今後検証する必要がある。とは言え、計量魚探を使用した調査航海においては、ADCPの誤差補正定数が異なることから、同航海時のADCPの観測結果の信頼性は疑問がある。計量魚探を使用する際には、現地での調査・操業の参考に利用することとどめ、海洋構造の研究に利用することは控えるべきであろう。

「江の島丸」は、氷、餌及び漁獲物等の積載の有無により、船体トリムが大きく変化する。特に、海洋観測と漁獲調査とでは、目に見えた違いがある。この船体トリムの影響が補正定数に影響する可能性が危惧されたが、結果をみると違いは見られなかった。

表1 対地モード法で算出した調査海域別の補正定数

	α		$1+\beta$		検討に供した観測数	船体トリム
	平均 (標準偏差)		平均 (標準偏差)			
東京湾	-6.0	(0.7)	1.00	(0.00)	32	艫足
相模湾・相模灘	-6.0	(0.7)	1.00	(0.01)	81	艫足
伊豆諸島 漁獲調査	-6.0	(1.0)	1.00	(0.01)	28	不定
伊豆諸島 計量魚探調査	-4.9	(0.8)	0.99	(0.01)	11	不定

系統誤差の補正 (対水モード法)

2001年6月29日、2001年7月18日、2002年1月17日、2002年1月20日、2002年1月25日、2002年2月22日、2002年5月20日及び2002年7月4日の8航海について検討した。同一航海で、複数の往復航行の箇所もあるため、15組の区間について検討した。その結果は表2のとおりであった。

表2 対水モード法で算出した観測層別の補正定数

		α	$1+\beta$
		平均 (標準偏差)	平均 (標準偏差)
第1層	10m	-6.1 (1.1)	0.96 (0.05)
第2層	100m	-5.8 (1.2)	0.97 (0.02)
第3層	200m	-6.4 (1.4)	0.96 (0.02)

対水モードにおける補正定数と、対地モードにおけるそれは完全には一致しなかった。けれども、対水モード

法は不確実な要素が多いことを考慮すれば、ほぼ同一の結果とみなして差し支えないと考えられる。このことから、対水モードの観測値の補正にあたっては、不確定要素の少ない情報から算出された対地モード法の補正定数を使用して差し支えないと考えられる。

対水モード法における各層間の補正定数は若干異なっていたが、対水モード法の補正自体の不確定要素を考慮すれば、ほぼ同一とみなして差し支えないと考えられる。

対水モード法において、 α 項は深い層ほどデータの標準偏差が大きく、 β 項は逆だった。このことは、深い層ほど、 α 項は流速ベクトルの角度の情報が定まりにくくなる傾向があり、 β 項はそれ自身の情報量が減少する傾向があることを示している。これらはいずれも深くなるほど音響信号が減衰し、その分、相対的にノイズが増加すること(S/N比の低下)に起因していると考えられる。また、本報では定量的に評価をしていないが、深い層ほど観測値に異常値が多く見受けられ、観測値自体の質を別途考慮する必要がある。

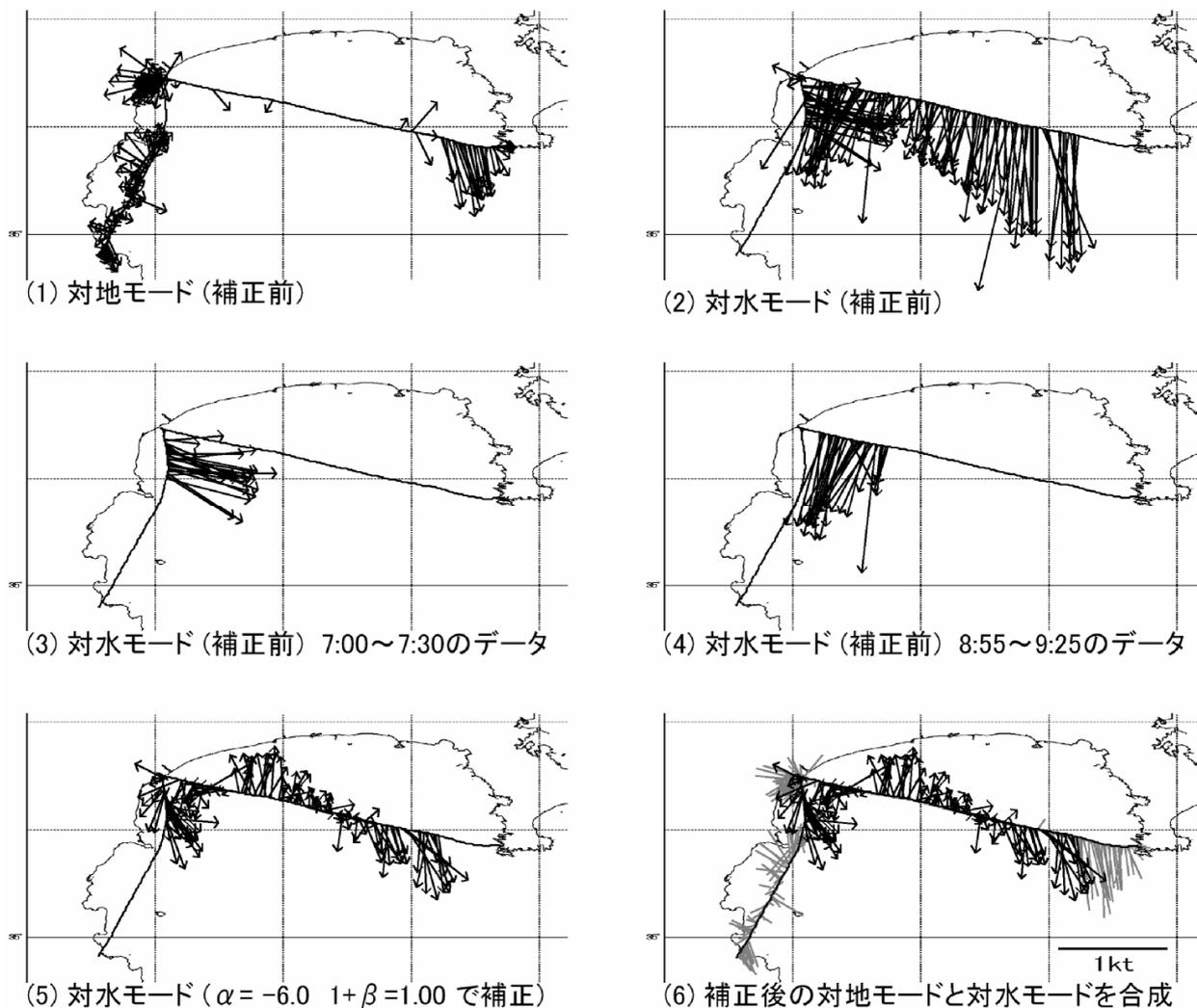


図1 誤差補正の例 (2002年1月25日)

誤差補正の例

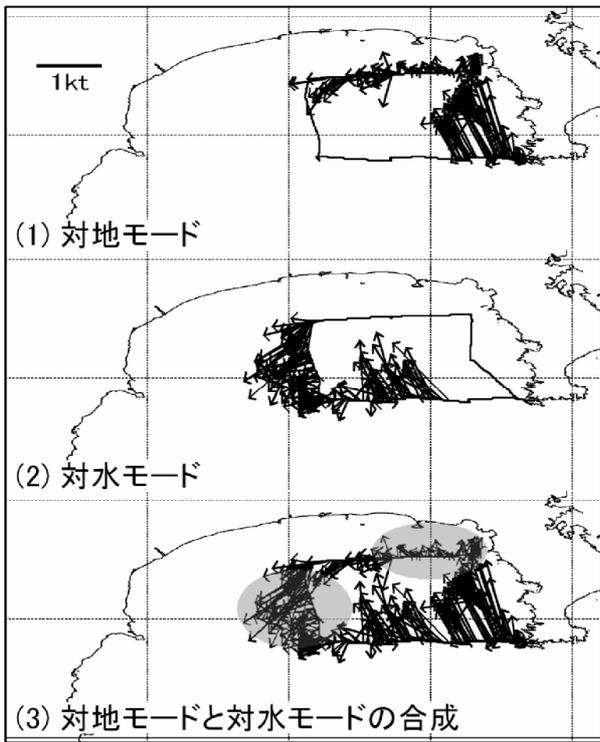
誤差補正の例として2002年1月25日の検討経過を図1に示した。(1)は未補正の対地モード、(2)は未補正の対水モードである。未補正の対水モードは右舷に著しく偏った観測値が示されている。「コンパス不整合角演算ソフト」において、区間1として7:00~7:30のデータ(3)、区間2として8:55~9:25のデータ(4)を検討に供した。(5)に定数を $\alpha=-6.0$ 、 $1+\beta=1.00$ として補正した対水モードのデータを示した。(6)に補正後の対地モード及び対水モードのデータを合成して示した。対地モードと対水モードのデータは連続性がみられ、補正結果は妥当であると考えられる。

補正した観測結果の例

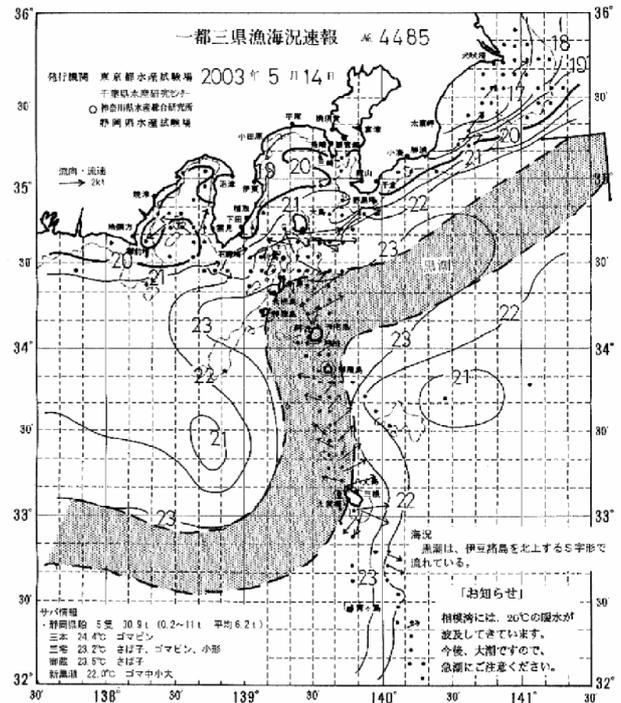
2003年5月14日の観測例を図2に示した。補正定数は、 $\alpha=-6.0$ 、 $1+\beta=1.00$ とし、図では対地モード及び対水モードの補正後のデータを示している。この時の海況は、同日の一都三県漁海況速報⁴⁾に見られるとおり、城ヶ島沖から反時計回りに顕著な暖水波及が特徴的であった。

ADCPによる観測結果は、表面水温の分布及び既報の一般的な流れ⁵⁾と一致して、相模湾を1ノットを超える反時計回りの流れを捉えている。しかし、相模湾中央で1

ノット以上の流れがあるにもかかわらず、相模湾東部のごく沿岸では流れがほとんどない場所も見られた。岩田⁶⁾は、流速計設置により、相模湾沿岸の複数点の平均流から、黒潮由来の変動に対応する湾内の循環流が陸棚斜面に沿って流れ、陸棚上の流れは弱い事を考察している。本報のこの結果は、岩田の知見⁶⁾と一致しているとともに、論じられている現象を、短い時間スケールの中で空間的に現象を捉えた観測事例であると考えられる。また、本報の例は、湾西部沿岸での流れの様相を論じるには不十分であるが、既報の知見⁶⁾を踏まえて推察すると、速い流れは湾西部沿岸にも伝播していなかった可能性がある。城ヶ島沖浮魚礁ブイで観測される流速が1ノットを超えると、ほぼ必ず小田原地先の流れが速くなると石戸谷は述べており、相模湾における急潮は城ヶ島沖浮魚礁ブイにおける流速モニタリングを鍵として予測している⁷⁾。しかしながら、循環流のある陸棚斜面の海域と定置網漁場がある陸棚上の海域との間における流れの関係については、十分な知見が無い。急潮予測の精度向上には、城ヶ島沖ブイで捉えた速い流れの西への伝播と陸棚上の様相について、空間的な観測事例を蓄積する必要がある。



いずれも補正済み($\alpha=-6.0$, $1+\beta=1.00$)



(4) 同日の一都三県漁海況速報

図2 観測結果の例 (2003年5月14日)

城ヶ島沖から反時計回りの顕著な暖水波及が見られた時の観測例を示した。

相模湾中央で1ノットを超える流れがあるにもかかわらず、湾東部のごく沿岸では流れがほとんど無い場所も見られた(3の印影部分)。

ま と め

上述の結果及び議論から次のとおりまとめる。

- ・ 漁業指導船「江の島丸」に搭載されたADCPの観測データは、不整合角の補正($\alpha=-6.0$, $1+\beta=1.00$)により使用可能である。
- ・ 観測海域に関らず同じ補正定数を適用可能である。
- ・ 船体トリムに関らず同じ補正定数を適用可能である。
- ・ 対水モードか対地モードかに関らず同じ補正定数を適用可能である。
- ・ 各層ともに同じ補正定数を適用可能であるが、観測値自体の質の問題は別途考慮すべきである。
- ・ 計量魚探を使用時には、本ADCPを使用しない方がよい。

謝 辞

海洋観測を支えてくださった漁業指導船「江の島丸」の奥村弘幸船長をはじめ乗組員の方々にお礼申し上げます。懇切なご助言を下された、中央水産研究所 斉藤 勉博士、秋山秀樹博士、そして中央ブロック各都県の海況

調査担当の皆様にお礼申し上げます。有益なプログラムをご提供くださった東北区水産研究所 清水勇吾博士、そして東北ブロック各県の海況調査担当の皆様にお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 樋田史郎 (2003): 調査船「さがみ」におけるADCP観測について, **8**, 81-87.
- 2) Joyce, T. M. (1989): On in-situ "calibration" of shipboard ADCPs. J. Atmos. Oceanic Technol., 169-172.
- 3) 東北区水産研究所他(2002): 海洋構造変動パターン解析技術開発試験事業報告書(平成9~13年度), 3-316.
- 4) 東京都・千葉県・神奈川県・静岡県(2003): 一都三県漁海況速報, No.4485.
- 5) 宇田道隆 (1937): 「ぶり」漁期における相模湾の海況及び気象と漁況との関係. 水産試験場報告, **8**, 1-59.
- 6) 岩田静夫 (1984): 相模湾の流動特性. 水産海洋研究会報, **47・48**, 100-102.
- 7) 石戸谷博範(2000): 相模湾における定置網を急潮から守るマニュアル. ていち, **97**, 1-23.