

調査船 “たじま” による ADCP を用いた海流観測の問題点

五利江 重昭・尾崎 為雄・反田 實*

兵庫県但馬水産事務所試験研究室

緒 言

兵庫県但馬水産事務所調査船“たじま”(140ton, 1000ps)には古野電気株式会社製超音波流速計 CI-30(以下, ADCP と呼ぶ)が搭載されている。従来から, 海洋観測時にはこれを用いた海流観測を行ってきたが, 観測結果の表示はモニターだけであり, 海流データの記録と保存はモニターを見ながら手書きにより観測野帳に記載していた。そこで, 平成5年度から参画した海況情報収集迅速化システム開発試験事業において海流データの自動収録システムを構築し, データの収集とシステムの検討を行ってきた。その結果, データの収集から作画に至る一連のシステムは一応の完成をみた。しかし, 作画結果を検討したところ, 対地モードでは妥当な結果が得られていると判断されたものの, 対水モードでは船首方向に対して左側への流れが不自然に多く観測されるなど, 結果の信頼性に疑問が持たれた。以下では“たじま”搭載の ADCP データ収録システムの概要を紹介するとともに, 対水モード観測時の問題点について若干の検討結果を述べる。

“たじま”搭載の ADCP データ収録システムの概要

ADCP および GPS 受信機からのデータはインターフェイスを介してノートパソコン(日本電気製 PC-9801)に収録される。ジャイロ情報は AD 変換の後, 潮流計に送られる。ノートパソコンへのデータ転送周期はインターフェイスのディップスイッチによって変更できる(2秒~10分)。システムの流れとデータ転送周期を図1に示す。

データの収録には古野電気株式会社作成のデータ収録ソフトを使用した。船上でフロッピーディスクに収録したデータは漁業情報サービスセンターが作成した真測流速変換プログラムにより真測流速に変換した。このプログラムは対水モードで観測したデータから絶対流速を得るため, 航法装置(GPS)から航法対地速度ベクトルを求め, ドップラーシフトによって得られた各層の対水速度ベクトルを差し引くことによって真測流速ベクトルを算出し, 微少定数演算(小野房吉 1991)などの平滑化処理を行うものである。

真測流速演算に使用される元データは次の4つである。

- ①航法装置(GPS)の緯度・経度値とその測位時刻
- ②ADCPからの船速と進路
- ③ADCPからの各層の流速値(対水モード時は各深度の流速差データ)
- ④ジャイロコンパスからの船首方位

また, 真測流速演算のプロセスは次のとおりである。

- ①GPSの緯度経度情報から航法対地速度と航法真進路を求める

*現：兵庫県水産試験場

② ADCPによる基準層船速と各流速測定層の流速ベクトルを合成し、各測定層の対水船速を求める

③ ①で得られた航法対地速度ベクトルから、②で得られた各層対水速度ベクトルを差し引き、真測流速ベクトルを得る

④ 微少定数演算を行う(オプション)

⑤ 移動平均する(オプション)

真測流速変換したデータは漁業情報サービスセンターが作成した海流解析基本プログラムにより作画した。

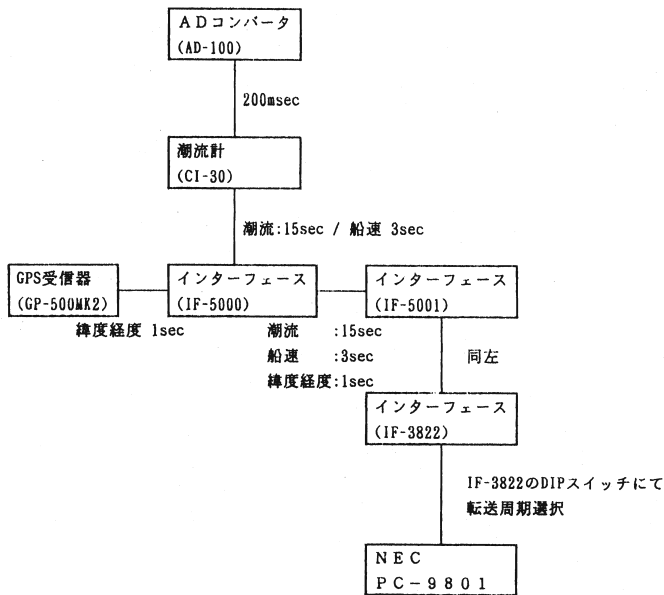


図1 調査船“たじま”のADCP収録システムとデータ転送周期。

対地モードと対水モードの比較試験結果

対水モードの信頼性をみるため、ほぼ同一の海域で対地モードと対水モードの略同時観測を行い結果を比較した。

a 調査内容

調査は図2に示すように同一モードでの往復観測を1単位とし、これを対地モード、対水モード、対地モード、対水モードと、1単位毎に手動で観測モードを切り替え、合計4往復の観測を行った。1往復の観測所要時間は約1時間であった。観測の概要は以下の通りである。

調査時期：1994年10月5日10時46分～15時58分

気象・海象：波浪2，うねり2，風WNW6.7m/s，晴れ

調査海域・水深：N35°45'～50' E134°31'～39'，水深150～240m

観測層：10m，50m，100m

ADCP平均時間：2分 データ収録間隔：10秒

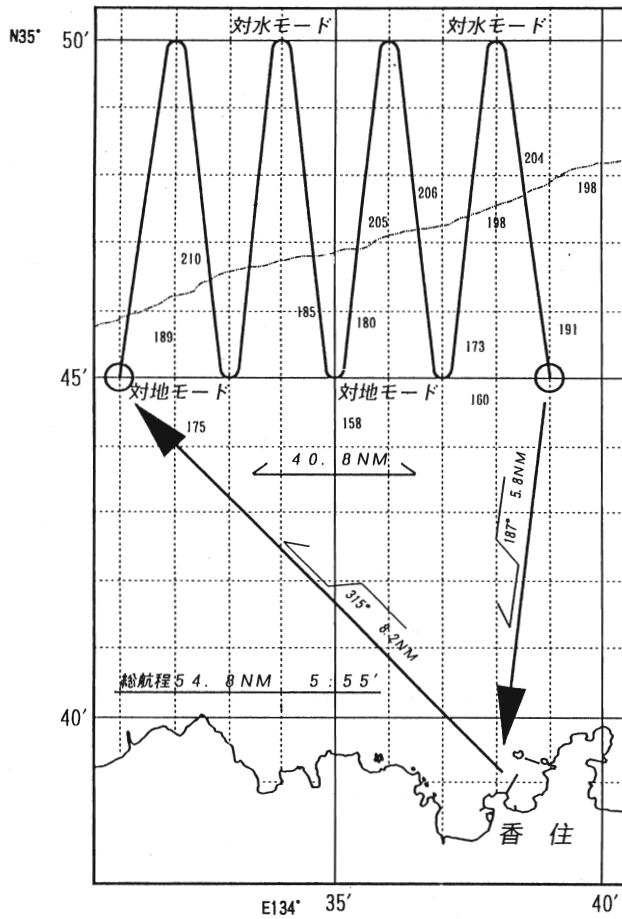


図2 対地モードと対水モードの比較試験海域図。

b 調査結果

調査結果は海流解析基本プログラムを用いて作画した。作画は10m層と50m層について行ったが、両層の結果に大きい違いが見られなかったため、以下では10m層の結果だけを示した。真測流速算出プログラムの設定では、移動平均個数は10とした。

図3に結果を示す。この図のデータは微小定数演算を行っている。図から明らかなように対地モードと対水モードでは全く異なる結果となった。一方、対地モードどうし、および対水モードどうしは類似した結果となった。この海域の流れが4時間程の間に大きな変化を繰り返すとは考えにくいことから、両モードの測定結果のどちらかに大きな誤りがあると見るのが妥当である。対水モードの流れを見ると流れが発散しているように見え、極めて不自然である。また、船の進行方向の左側に流れの向きが偏っているようにも見える。一方、対地モードの流れはこの海域の流れとして流向、流速とも妥当と言える(松山・名角1983)。これらのことから、対水モードの観測結果には何らかの原因による異常が現れていると考えられる。以下では対地モードの測定結果が妥当であるという前提のもとに論議を進める。

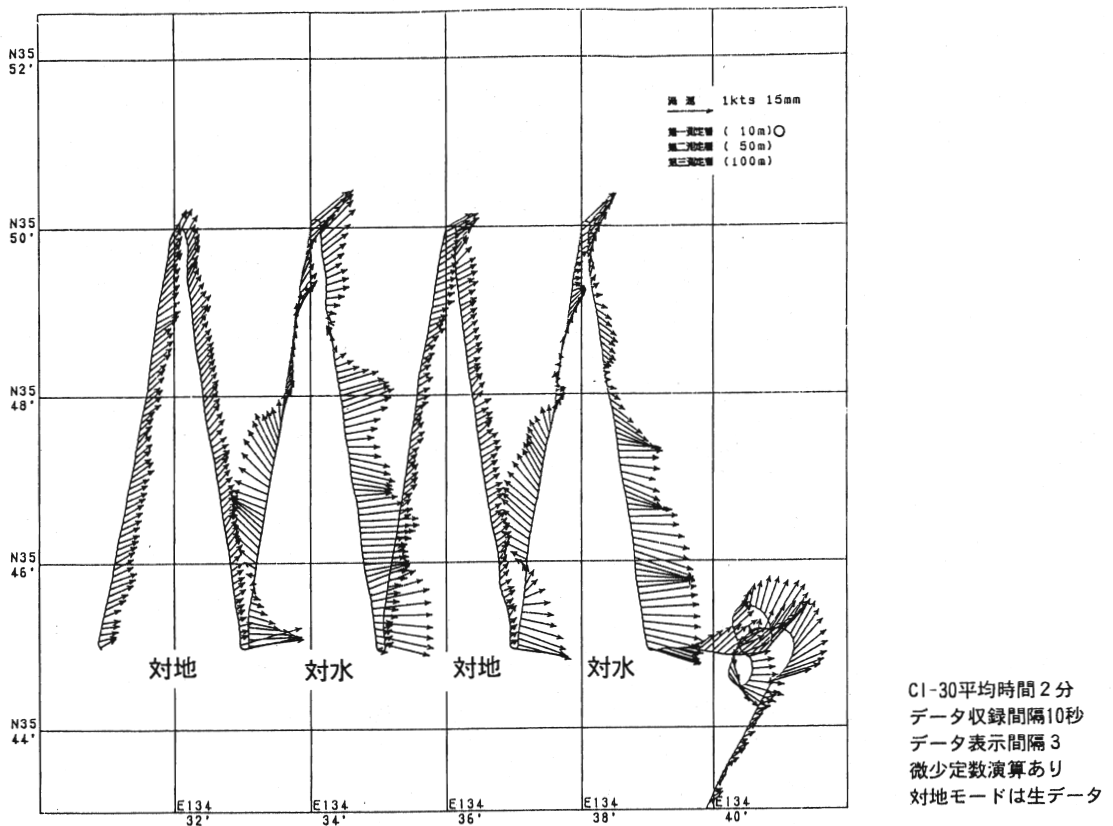


図3 対地モードと対水モードの比較試験結果.

図4は対地モードの測定結果に海流演算を施すとともに、微少定数演算を行わないで作画したものである。海流演算とは対水モード時の真測流速演算と同様、航法装置(GPS)から対地情報を得るもので、計算プロセスは真測流速演算と同じである。図には、対地モードと対水モードのそれぞれ最初の1往復分だけを示してある(以下の図も同様)対地モードのデータに海流演算を施すと、対水モードと同様な結果となった。このことは、図3に見られた対地モードと対水モードの違いは、測器上の問題ではなく、対地情報をドップラーシフトによって得るか、GPSによって得るか、の違いによって生じていることを示しており、さらに、GPSを用いることに大きい問題があることを示している。図4には時空間スケールの異なる3つの問題があるように見える。小スケールから述べると、まず第1は、流れの方向と大きさのバラツキである。この原因の1つとして、航法船速に見られるノイズが考えられるが、それについては後に述べる。図3のように微少定数演算をするとこのバラツキは見えなくなる。第2は15~20分の周期でみられる"うねり"のような変動である。この原因は明らかではないが、現在のGPS測位データにはSA(Selective Availability)と呼ばれる、位置精度を劣化させる変動モードが含まれており、これが図に見られる"うねり"の原因である可能性がある。第3は、全体として見られる流れの不自然さ(偏り)である。先にも述べたがこの海域では発散するような流れがあるとは考えにくい。この原因として、ジャイロコンパスの誤差やトランジューサの取り付け誤差が考えられるが、これについては次節で述べる。

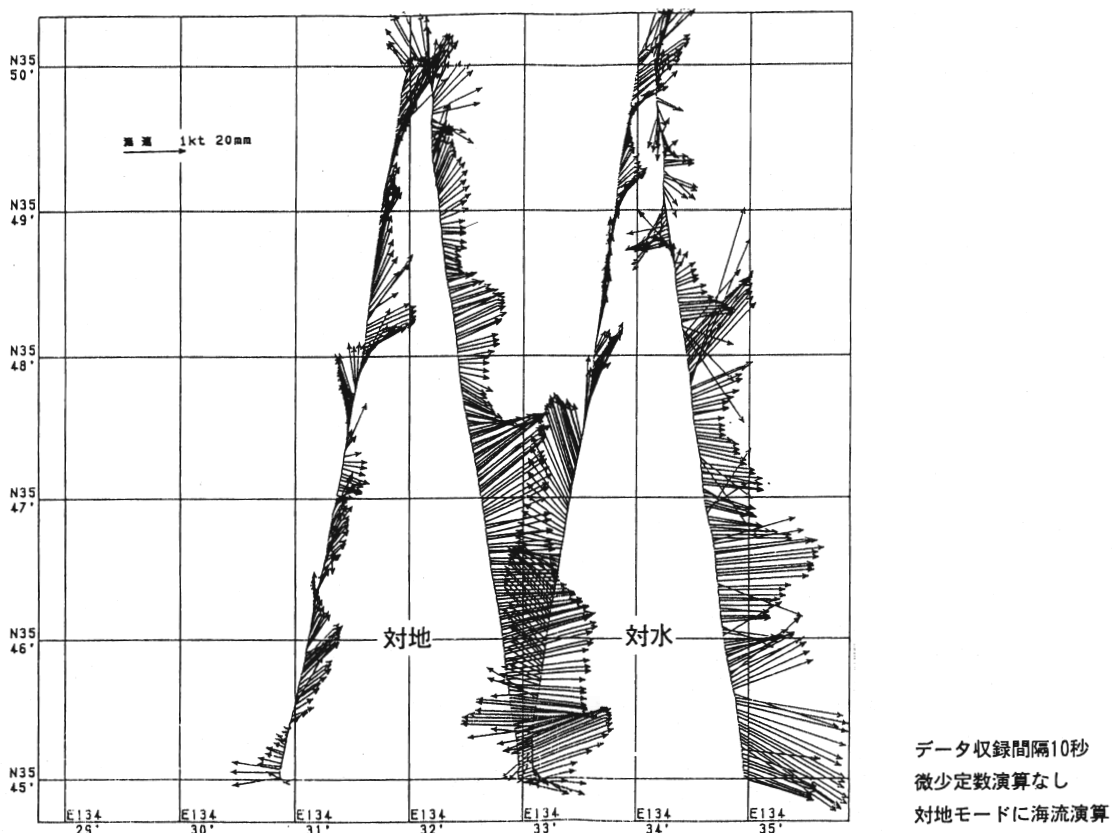


図4 対地モードと対水モードの比較試験結果.

図5は図4の2往復間のドップラー船速と航法船速を示したものである。この間、ドップラー船速は概ね9~9.5ノットの範囲で変動していた。一方、航法船速には頻繁にノイズが現れ、時には20ノットを越す値が見られた。検討の結果、これら異常値はGPSの測位間隔が短すぎたために発生したと判断された。今回の観測ではデータ収録間隔を10秒としたが、船速を10ノットとすると、この間の船の移動距離は約51mとなる。これに対し、現在のGPSには約30mの測位誤差があるとされている。このため、GPSの測位誤差の

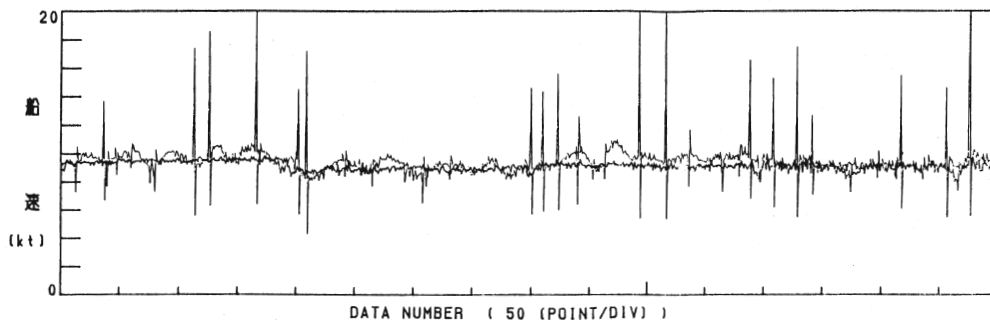


図5 10秒間隔収録によるドップラー船速と航法船速(GPS).
大きいノイズの見られるのが航法船速.

分布によっては、大きな船速誤差が発生する可能性がある。先に述べた小さな時間スケールの流れの方向と大きさのバラツキは、航法船速に見られるノイズによって発生したと推定される。

比較試験という性格上なるべく多くのデータを収集するため収録間隔を10秒としたが、かえって小さなスケールのノイズを拾ってしまう結果となった。そこで収録データの間引きを行い、2分間隔の収録となるようにデータの編集を行った。

図6は再編集した2分収録データをもとに図5と同様、ドップラー船速と航法船速を示したものである。収録間隔を2分にすると航法船速のノイズは消える。2往復目の中間点付近で航法船速が落ちているが、これは進路変更に伴うノイズと思われる。

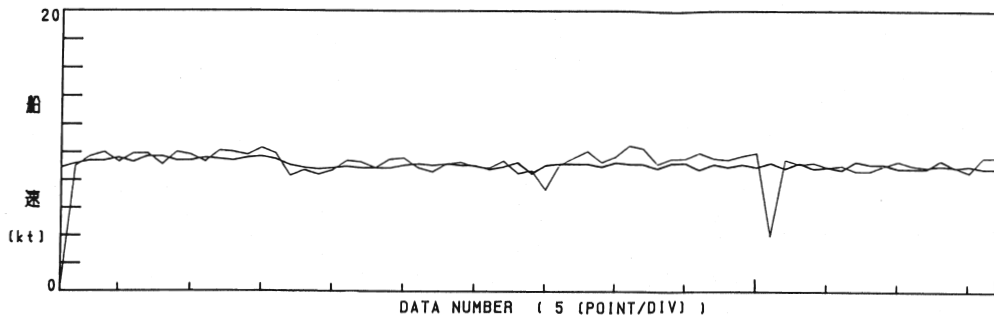
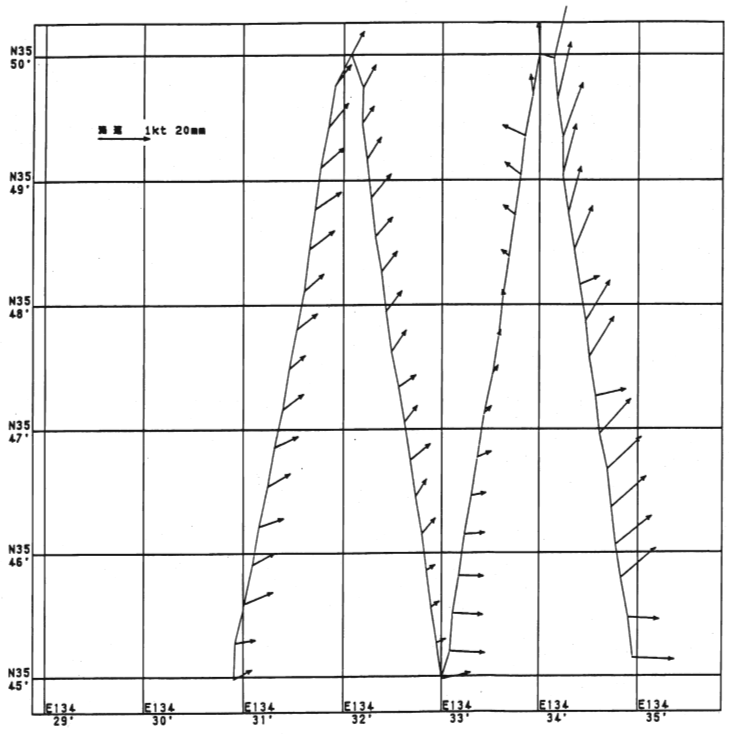


図6 2分間隔収録によるドップラー船速と航法船速(GPS).

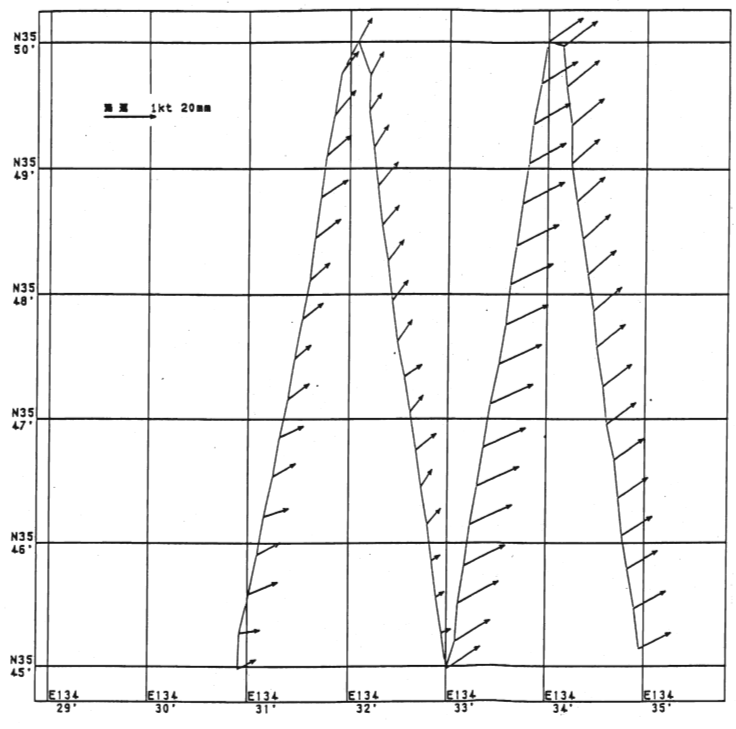
図7は2分収録データに基づき、対地モードと対水モードのそれぞれ最初の1往復分を示したものである。ここでは対地モードのデータに海流演算は行っていない。対地モードでは、データの間引きはあるものの、図3とほぼ等しい流れを示した。対水モードでは、図4で見られた急激な流れのバラツキは少なくなった。また平均時間が長くなったため、15~20分周期の“うねり”も見えなくなった。以上のことから、データの収録間隔を長く取ることによって、GPSの測位誤差に関わる、先の2つの問題点を取り除くことは可能と考えられた。しかし、対水モードに見られる全体的な流れの不自然さは解消されない。これについては、GPSの測位誤差以外の要因によって生じている可能性が高いと思われる。

ところで、図7は微少定数演算を行っていない。その理由は、微少定数演算を行うことによって調査結果の本質が見えなくなってしまうからである。図8は図7のデータに微少定数演算処理をしたものである。図8では対地モードと対水モードの結果が類似しており、対水モードでも比較的良いデータがとれるという見方になる。しかし、これは見せかけであり、データの本質は先に述べたとおりである。今回のようなデータを検討する際に、微少定数演算処理を施すのは危険と言えよう。



データ収録間隔 2分
 微少定数演算なし
 対地モードは生データ

図7 対地モードと対水モードの比較試験結果.



データ収録間隔 2分
 微少定数演算あり
 対地モードは生データ

図8 対地モードと対水モードの比較試験結果.

進路誤差の検討

先の比較試験の結果，対水モードの信頼性に疑問が持たれた．その原因は，真測流速演算の過程で，対地情報を航法装置から求めているためであるが，GPSの測位誤差はデータの収録間隔を2分程度とすることによって防ぐことが可能と考えられた．従って，GPSの測位誤差を除去した後も残存する流れの不自然さは，ジャイロ誤差やトランジューサの取り付け誤差に起因している可能性が高い．そこで，以下では，それらの誤差について検討する．

a 進路誤差が流れ図に及ぼす影響

ジャイロ誤差やトランジューサの取り付け誤差が原因で生じる船の進路誤差が，流れ図の上で実際にどの程度の違いとなって現れるかを見るため，海流解析基本プログラム上で -3° と -5° の補正をし，元の図と比較した．図9-Aは1995年4月5日～6日に実施した沿岸定線調査時の10m層の流れ図である．沿岸定線における船の運航は常に左回りである．対地モードと対水モードの切り替えは自動モードによる．微少定数演算はせず，10項の移動平均を行った．また，対地データは海流演算をしないで生のまま出力した．図9-Bと図9-Cは同一の条件で，それぞれ -3° と -5° の進路補正をしたものである．

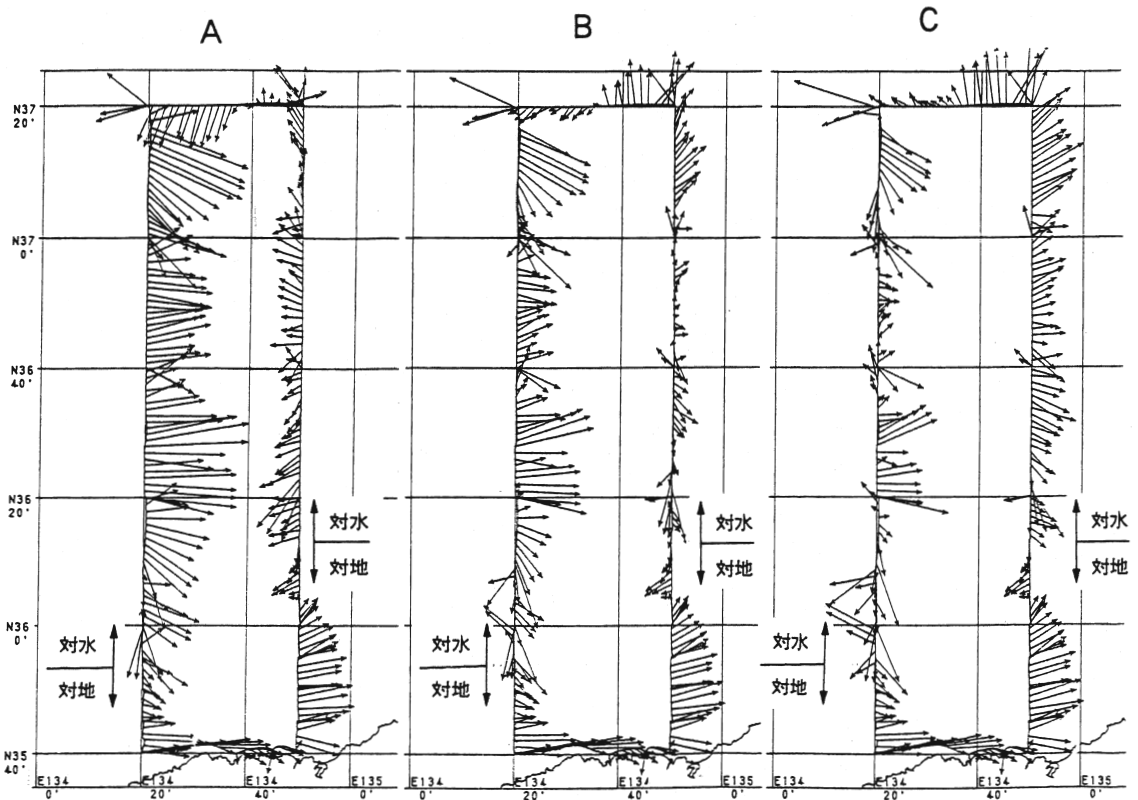


図9 沿岸定線調査におけるADCP観測結果(1995年4月5～6日)。

図9-Aは対水モードの流れが収束する方向に向いており、一見して不自然な感じを与える。このような傾向は沿岸定線で収録した多くのデータにみられ、水温分布との比較検討においても結果の妥当性に疑問が持たれた。また、対地モードと対水モードの切り替え時のつながりも悪い。図9-Bと図9-Cからわかるように、進路補正を行うと流れの方向および大きさとも大きく変化する。特に -5° の補正をすると全く異なった流れ図になってしまう。このように進路誤差は対水モードの真測流速演算結果に鋭敏に反応する。従って、本測定システムはジャイロ誤差やトランジューサの取り付け誤差がわずかな範囲に押さえられて初めて成立するシステムと言えよう。評価しうる流れ図を得るためには、進路誤差は少なくとも $\pm 2^{\circ}$ 以内であることが必要と思われる。

b 航法装置とドップラーの方位誤差角

GPSに測位誤差がなくジャイロ誤差やトランジューサの取り付け誤差がなければ、航法装置とドップラー(対地)の方位角誤差は0となる。ここでは、直線航行時のデータを用いること、およびデータ収録間隔が2分であるということから、GPSで得られた船速、進路が真であるという前提のもとに論議を進める。

図9に示す沿岸定線観測では通常水深200m~300mを境に沖側ではドップラーの対水船速と進路が、岸側では同じく対地船速と進路が得られる。そこで、各測点間の直線航行時のデータを抽出し、航法積算方位とドップラー積算方位を求め、両方位差を算出した。この作業は、真測流速演算プログラムのメニューの中で実行することができる。ジャイロ誤差やトランジューサの取り付け誤差を評価するためには対地モードでの方位差をみなければならないが、今回は対水モードにおける方位差も算出した。対水モードの方位差には流れの影響が含まれるため、上記の誤差を評価するには不適當であるが、方位差の時間的変化を見ることによって、システムの問題点に関する何らかの情報が得られる可能性があると考え、算出した。

図10に4回の沿岸定線における航法装置とドップラーの方位誤差角の時間変化を示した(航法装置基準)。方位誤差角は殆どがマイナスの値を示すとともに、時間的に大きい変化を示した。船の運航はStn. 8までが北進、Stn. 7以降が南進であるが、この"渡り"を境に誤差角が大きくなっている例がみられる。また、総じて復路(南進時、以下同じ)での誤差角が大きい傾向が見られる。表1に対地モード時の往路(北進時、以下同じ)と復路別の方位誤差角の平均値およびドップラー船速と航法船速の平均船速比を示した。船速は、航法船速のほうが大きい傾向があるが、その差は2%以内であった。方位誤差角はほとんどの調査において、復路で大きい値を示した。また、平均誤差角の最大値は -65° であった。このように方位角誤差はマイナスの傾向を持つとともに、調査毎、また、同一調査においても時間的に大きい変化を示した。方位角誤差がトランジューサの取り付け誤差に起因するならば、その値は安定しているはずである。従って、このような誤差の変動はジャイロ誤差に起因している可能性が高いと考えられる。"たじま"搭載のジャイロコンパス(東京計器 ES-11A)は、一般的に船が旋回後、方位安定までに1時間以上を要するとされている。実際に、"たじま"を 180° 旋回させ、ジャイロコンパスの方位を記録したと、通常方位付近に達するまでに20分、その後安定するまでに合計約1時間を要した。したがって、進路変更後少なくとも20分程度は、対水モードの観測値にジャイロ誤差が大きく影響してくると考えられる。しかし、表1の往路と復路で見られた方

位角誤差の違いは，単に船の旋回後のジャイロコンパスの応答遅れに起因する誤差だけでは説明できないように思われる．このような誤差が”たじま”搭載機器特有のものなのか，また，一般的に見られる現象であるのかは不明である．

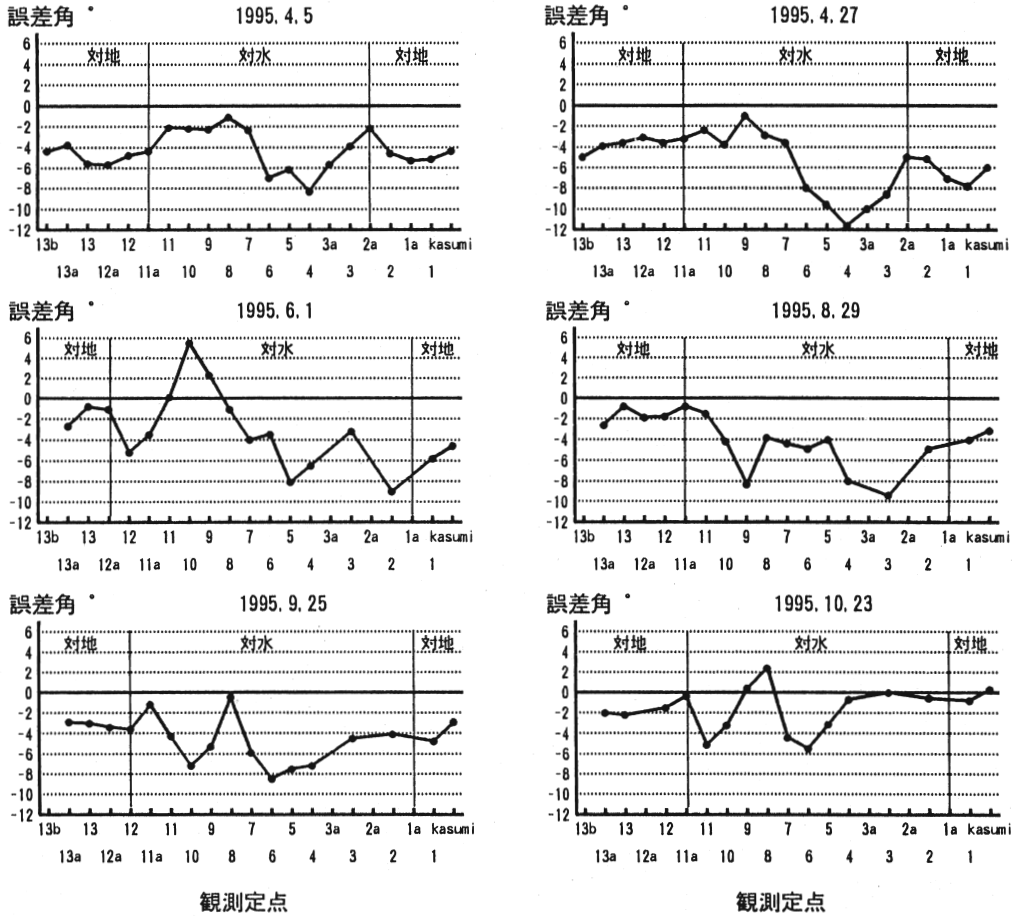


図10 沿岸定線調査における航法装置とドップラーの方位誤差角.

表1 沿岸定線調査の対地モード時における航法装置とドップラーの方向誤差角および船速比(ドップラー/航法).

調査年月日	誤差角 (度)		船速比 (%)	
	往路	復路	往路	復路
950405	-4.8	-4.9	99	98
950427	-3.7	-6.5	98	98
950601	-1.5	-5.2	98	98
950829	-1.6	-3.6	98	99
950925	-3.2	-3.9	98	99
951023	-1.5	-0.3	98	98

ま と め

調査船“たじま”搭載の超音波流速計を用いた海流観測システムは一応の完成をみた。しかし、沖合域の対水モードで得られた海流図には多くの不自然な流れが見られ、結果の信頼性に疑問が持たれた。そこで、種々の検討を行った結果、トランジューサの取り付け誤差も否定できないものの、ジャイロ誤差が結果に大きい影響を与えていると推察された。

進路誤差の補正は海流解析基本プログラムのメニューで実行することができ、補正値は任意の値を取り得る。しかし、この補正は、トランジューサの取り付け誤差などに起因する安定した進路誤差に適用できるものであり、時間的に変動する誤差には対応できない。したがって、“たじま”のADCPにみられる進路誤差を上記のプログラムで補正することは難しい。このため、ADCPシステムの根本的な改善のためには、ジャイロコンパスに関する検討が必要である。現在“たじま”に搭載のジャイロコンパスは速度・加速度誤差自動修正機能を有していないが、それら機能を有するジャイロコンパスへの更新も検討する必要がある。

現状では、対水モードのデータを真測流速変換して得られた流れ図をそのまま利用することはできない。そこで、次善の策として、流れが小さいと推定される下層を基準層として他の2層の流れを表す方法が考えられる。この方法の場合、ジャイロ誤差があっても流れの方向や大きさに与える影響は小さい。基準層はなるべく深く、流れの小さい層を採用するのが良いが、古野電気製のCI-30の場合水深200mぐらいが限度と思われる。また、第3層を基準層とすると、観測し得るのは2層となる。このようにして得られた流れはむろん絶対流速ではないが、基準層の流れが小さければ、全体的な流れの傾向を把握する事は可能と思われる。まだまだ検討は不十分であるが、幾つかの観測データにこの方法を適用し、作図したところ、現実に近いと思われる流れの傾向が表現されており、水温図などと比較しながら今後も検討を進めていく必要があると考えている。

文 献

- 松山優治・名角辰郎(1983) 沿岸漁場における環境調査計画について-兵庫県但馬沖の流況観測をモデルとして-。水産土木, 20, 1-5.
- 小野房吉(1991) ADCPの推定速度補正追尾方式による改良。水路, 79, 22-26.