

ADCPを用いた宗谷海峡の流れの実測の紹介

田中 伊織・中多 章文・八木 宏樹

北海道立中央水産試験場

結 言

海況情報収集迅速化システム開発試験事業は、(1)対馬暖流の流路や流量の変動実態、(2)流れと水温・塩分分布との対応関係、(3)対馬暖流の流入部と流出部における流量配分などを明らかにすることを目的として開始された。

しかし、北海道立中央水産試験場おやしお丸搭載のRD社製超音波ドップラー流速計(ADCP)は実に多くのトラブルに見舞われ続け、現在まで系統立てたデータ解析が行えるデータ収集体制が確立されるまでに至っていない。そこで、ここではこの事業の主目的に関連して、中央水産試験場がロシアサハリン漁業海洋研究所(Sakhalin Research Institute of Fisheries & Oceanography(SakhNIRO))と行っている宗谷海峡の日ロ共同観測(ラペルーズ・プロジェクト)において同じ北海道立の稚内水産試験場北洋丸で得たADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)データと、ロシア側の流速計のデータを解析して求めた宗谷海峡の流れの実測結果を紹介する。そして、この中ではADCPのキャリブレーション方法に関して重点を置いて述べる。なお、キャリブレーション以外の部分については、1996年10月に開催されたNanaimo(カナダ)におけるPICES第5回年次総会のシンポジウムで口頭発表した一部であり、ラペルーズプロジェクトチームで現在別の場所に投稿準備中の論文の内容の一部を紹介するものであることを付記する。

材料と方法

宗谷海峡の通過流量を求めるために、日本標準時で1995年8月8日18:00から8月9日18:50にかけて日ロ中間ラインをはさみ東経142度線上で、ロシア水域内はサハリン漁業海洋研究所、日本水域内は北海道立中央水産試験場が分担して海流を測定した(図1)。ロシア側では係留系を2系統、AANDERAA社製 RCM4型流速計を2台ずつ合計4台を2観測点に設置し15分間隔で海流測定を行った。日本側では北海道立稚内水産試験場所属試験調査船北洋丸を使い、ADCPで海流測定を行った。日本側は潮流成分を除去するために24時間50分の往復観測法(加藤 1988)の変法を用い、そして、往復回数を8回に拡張した観測を実施した。使用したADCPはRD社製VM-150を用い、測定層厚は2mに設定、測定は対地モードで行った。データの平均間隔、記録間隔はそれぞれ1分とした。データ収録ソフトはTransect (BB-ADCP) Ver. 2.70である。

ADCPのキャリブレーションは、ADCPで得られた対地船速をデータ収録システムに同時に記録されている衛星航法による船速(GPSによって得られた船速)と比較することによって行った。

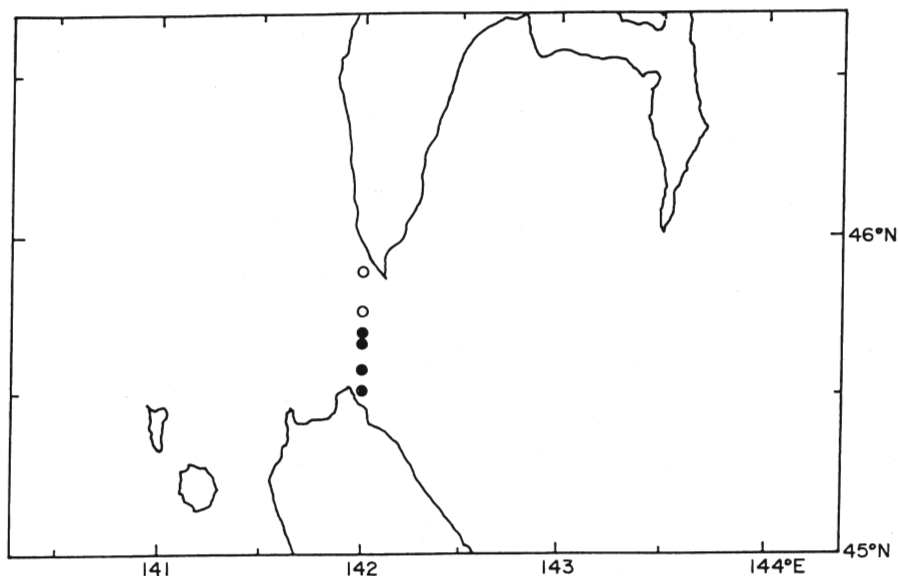


図1 観測海域と観測点(ADCP基準定点, 黒丸印;係留系, 白抜きの丸印).

結果および考察

(1)ADCPのキャリブレーション

北洋丸搭載のADCPシステムは起ち上げ時毎にメインジャイロの値をシステムに手入力するようになっていて、そのため航海毎にシステムに方位の誤差が混入することになり、キャリブレーションが必要である。

宗谷海峡の東経142度線上の日本側水域におけるADCP8往復観測時のGPSによって得られた船速(GPS船速)に対する対地船速(対地船速)の比(船速比), ADCPで得られた船の方位(対地方位)のGPSによって得られた船の方位(GPS方位)からの差(方位差), そしてそれらの30分間の移動平均値を時系列として図2に示す。観測開始時から約6時間の間は平均風速が毎秒10mを越える状況が多かったため、気泡が船底部に多量に入り込み、ADCPデータが合計で約3時間分欠測になった。このため、海流測定に関して4点設定したADCPの基準観測点のうち3点は往復観測の予定観測時刻に欠測が生じ、潮流成分の除去が不完全になってしまう結果となった。その他、異常と思われるデータ(主にADCPデータ)があったので、これらは欠測扱いにし、残り約1300データを解析の対象とした。

船速比は全期間を通してほぼ安定し、特別な傾向は示さず、全期間の平均は0.982(標準偏差は0.095)でADCPで得られた対地船速はやや小さめに出ていた。

方位差については大きなバラツキがあるが、ほとんどの値は-5度から+5度の間にある。方位差の30分間の移動平均を見ると、かなり規則正しい波形を示している。8往復観測は日ロ中間ライン近くの観測点から南に向かって開始し、最後は北に向かって終了したので、北に向かう場合は正の方向に偏り、南に向かう場合は負の方向に偏ることが明らかに見られる。GPSのデータにはこのような傾向は出ないことから、方位差に現れるこの変化傾向はジャイロコンパスの誤差によるものと判断される。ジャイロコンパスの性質の一つに、ジャイロコンパスの軸の指示する方向が、船が北に針路を取ると実際の針

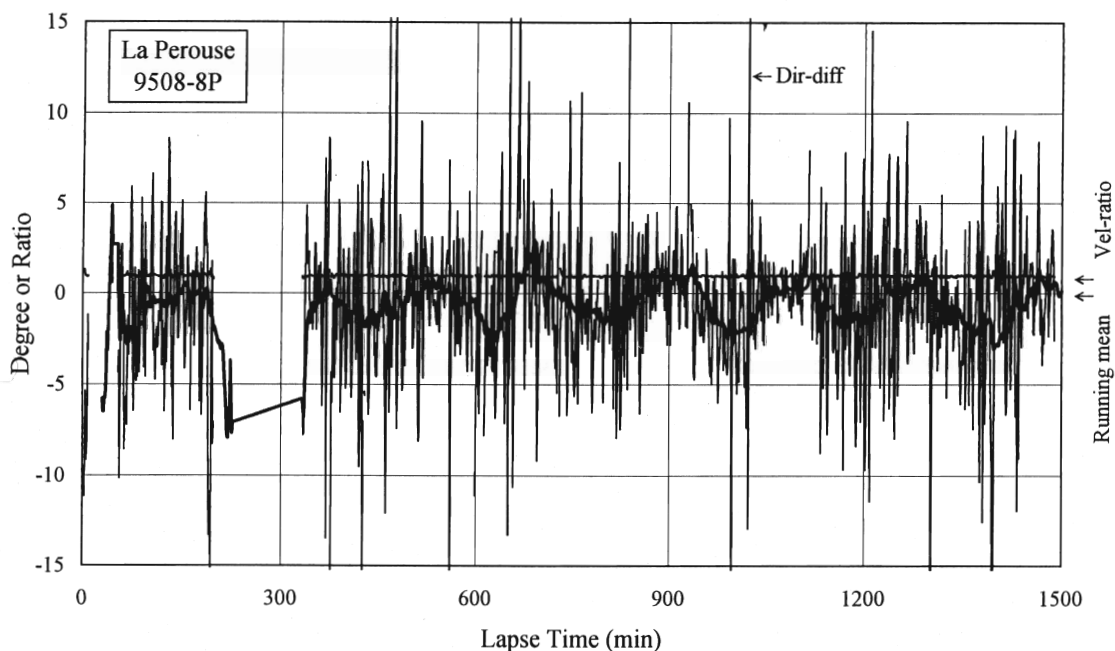


図2 宗谷海峡の東経142度線上の日本側水域におけるADCP8往復観測時における、対地方位のGPS方位からの差(方位差, 実線), その30分移動平均(太い実線), 対地船速のGPS船速に対する比(船速比, 細い実線)(移動平均については作図ソフトウェアの制約から実際の経過時間よりも15分遅れて作図されている)。

路よりも西側に、南に針路を取ると東側に偏するという速度誤差(西谷1988)がある。図1に示されている方位差の変化傾向はこの速度誤差によるものと考えられる。また、観測航路上は主にタコ漁業の漁場であることや、商船の往来などでおびただしい数の漁船・商船がいた。そのため、北洋丸の針路・船速を頻繁に調整する必要があった。これはジャイロコンパスの変速度誤差(西谷 1988)を引き起こすことになる。今回の測定では針路・船速の調整を頻繁に行っているため、これについては全体の方位差の変化傾向の中ではランダムノイズのように現れると考えられる。そこで、変速度誤差はランダム成分と見なし、速度誤差は南北8往復データをすべて平均することによって打ち消されると考えられる。したがって、全期間のデータを平均することでADCPのトランスデューサーの取り付け角度の誤差とシステム立ち上げ時のジャイロコンパス方位の手入力誤差の合成誤差が得られ、全期間についての方位差の平均として -0.58 度(標準偏差は 4.08 度)が得られた。

山田(1993)は、船の進行ベクトルについてADCPの対地データとGPSによるデータとで比較する場合、一定針路かつ一定速度で航行する10分間以上の期間のデータを平均化して比較する必要があると述べている。そこで、この条件を満たす期間の一例を図3に示した。この期間は船の針路が 180 度 ± 5 度以内(図3a)、船速9ノット前後(図3b)で、30分間継続していた。この期間内について船速比の平均値は 0.977 (標準偏差は 0.034)で、ADCPで得られた対地船速は全期間を通した場合と同じくやや小さめに出ていた(図3c)。方位

差は、全期間を通した場合と同様に-5度から+5度の間にあるが、加速・減速がほとんどないほぼ一定船速時であることから、この変動にはジャイロコンパスの誤差に関しては変速度誤差によらない変動が現れていると考えられる。この変動は完全なランダム成分というよりは主に合成波として現れているようでもあるので、この変動の大部分はGPS情報に含まれるSA(Selective Availability)という誤差成分によるものと考えられる。この期間内の方位差の平均は-1.31度(標準偏差は2.11度)であった。また、この期間内の平均緯度、南北方向の平均船速に対する速度誤差の理論値は、西谷(1988)に示されている式から、-0.80度と計算される。平均の方位差からこの理論値を差し引くことで、ADCPCのトランスデューサーの取り付け角度の誤差とシステム立ち上げ時のジャイロコンパス方位の手入力誤差の合成誤差が得られ、結果は-0.51度となった。

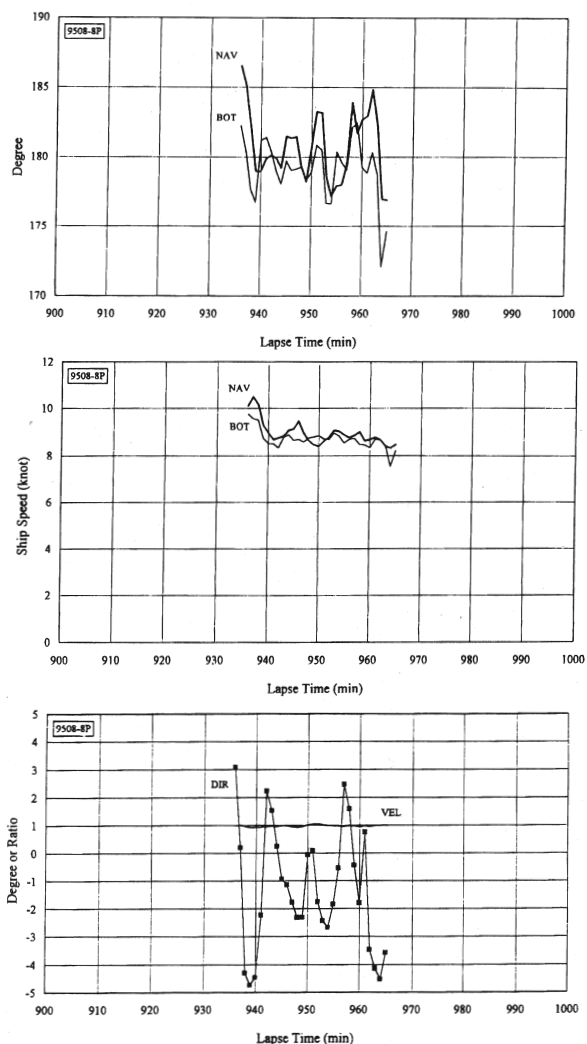


図3 (a)GPS方位(太い実線)と対地方位(細い実線), (b)GPS船速(太い実線)と対地船速(細い実線), (c)対地方位のGPS方位からの差(方位差, 黒い四角)とGPS船速に対する対地船速の比(船速比, 細い実線).

このように、二つの方法でADCPのキャリブレーションを行い、両方の結果はお互いに非常に良い一致を見た。

以上の解析から、ADCPのトランスデューサーの取り付け角度の誤差とシステム立ち上げ時のジャイロコンパス方位の手入力誤差の合成誤差として得られる、見かけ上のトランスデューサーの取り付け角度誤差は時計回りの方向にあることが示された。また、ADCPで得られた対地船速はGPSによって得られた船速より小さく出ていることが示された。そして、ここでは全期間を通してキャリブレーションの解析をした結果の方を海流測定の結果の解析に適用することにする。したがって、見かけ上のトランスデューサーの取り付け角度誤差は時計回りに0.58度、船速比は0.982とし、これらの値で流速値を補正する。

(2)海流

東経142度線上の日ロ中間ライン近くの観測点での、潮流成分を除去した残差流の流速プロファイルを図4に示す。この観測点は往復観測時の欠測がなく、潮流成分の除去は最も良いと考えられるところである。そして流れは順圧的であることが特徴である。ここでは密度分布を示さないが、宗谷海峡の日本側では密度成層が発達しているにもかかわらず流れは他の観測点においても順圧的であることが特徴的である。そこで、宗谷海峡の流れを見るのために各観測点における鉛直平均ベクトルを作成した(図5)。

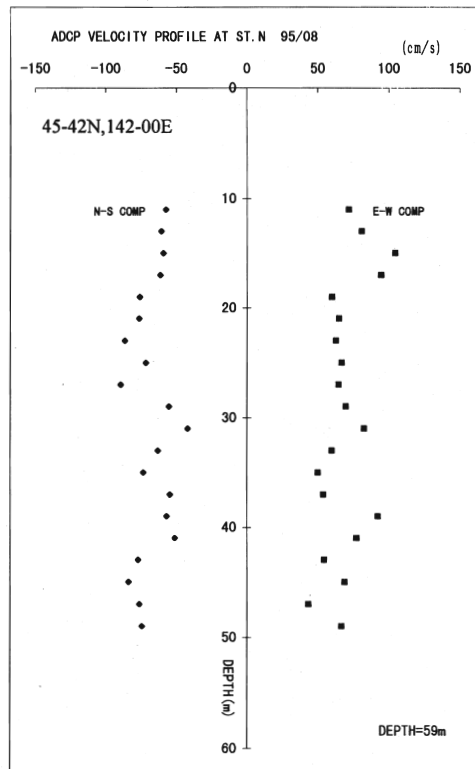


図4 潮流成分を除去した平均流(残差流)の鉛直分布。
(ラペルーズ・プロジェクト 1997, 準備中)

ロシア側の測流データは日本側でADCP往復観測を行ったのと同じ時間帯で平均化されて、潮流成分は除去されたものであり、かつ鉛直的に平均されている。そして、この図から潮流成分を除去した残差流はほぼ南東流であることがわかる。さらにこのデータを東経142度線上で宗谷海峡内を積分した流出流量は1.18Svと見積もられた。

日ロ共同海洋観測直前に、北海道水産試験場は定期海洋観測を行っていて、地衡流計算から、本州西岸沖を北上する流量(3.07Sv)、津軽海峡から流出する流量(1.05Sv)、北海道西岸沖を北上する流量(1.98Sv)を押さえることができていた。宗谷海峡から流出する流量が求められたことから、サハリン西岸沖を北上する流量は0.84Svと計算された。この流量は、日本海の北端の間宮海峡での流量は無視できるから、日本海を循環する循環流(あるいはリマン海流)の流量と考えられる。また、宗谷・津軽の2つの海峡の流出流量の合計は対馬海峡から日本海へ流入する流量と等しいことから、この時対馬海峡から日本海に流入する流量は2.23Svと見積もられた。

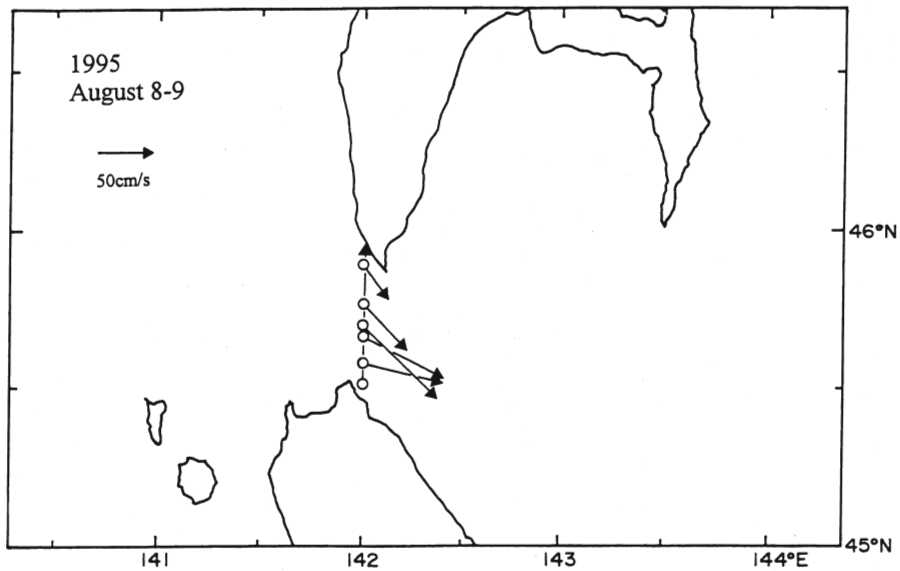


図5 鉛直平均残差流の分布。

(ラベルーズ・プロジェクト 1997, 準備中)

文 献

- 加藤 修(1988) 超音波式潮流計による残差流の測定. 西水研研報, 第66号, 59-67.
 山田東也(1993) 超音波ドップラー流速計による流速測定と系統的誤差. 日水研報告, (43), 1-7.
 西谷芳雄(1988) コンパスと自動操舵. 成山堂書店, 東京, 123pp.