

ADCPによる対馬東水道の流速測定

大村 浩一

福岡県水産海洋技術センター 筑前研究所

緒 言

近年, ADCPによる測流が水産研究所をはじめとして多くの研究機関で実施されている。ADCPは流れの情報を空間的に多量に収集することができるため, 既存の測流機器に比べて海洋現象を詳細に説明することが可能となった。

ADCPの測定方法には船底型, 曳航型, 係留型, 海底設置型等があるが, とくに船底型の場合にはADCPを船舶に設置すれば航行する際には, いつでもデータを得ることができる利点があり, しかも航行しながら複数の深度を連続的に測流できるため, ある観測線の流速断面構造を捉えられる。

福岡県水産海洋技術センターでも, 対馬東水道での対馬暖流の動態をモニターする目的で調査取締り船「つくし」にADCPを設置し, 1992年から年4回の定期的な観測を始めた。本報告では, これまでに蓄積されたADCPデータを用いて東水道での流動構造について解析した。また, 東水道の海域特性から対馬暖流のモニターのためにはADCPデータからの潮流成分の除去が必要であり, この除去方法についても検討した。

材料と方法

ADCPによる観測定線は, 漁況海況予報事業で実施されている沿岸定線のstn. 2~stn. 5である(図1)。ADCPの機種は古野電気製のCI-60で, この機種は3層を測流できるため観測層はstn. 2~4では10, 30, 50m, stn. 4~5は10, 50, 75mに設定した。観測定線の水深は最大でも約110mであったので対地モードで船速を測定し, 絶対流速を得ることができた。

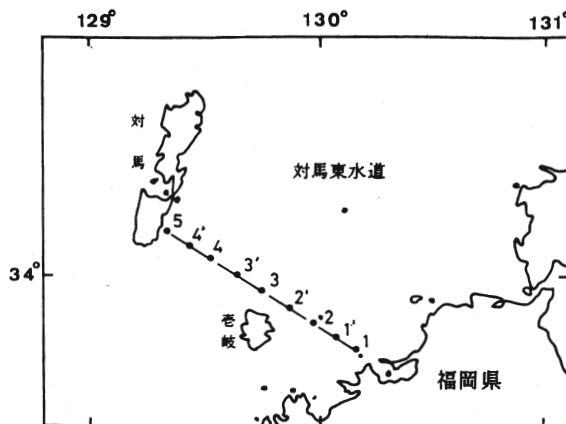


図1 対馬東水道でのADCP観測の観測定線。

観測は1992年度には6, 8, 11, 3月, 1993~95年度は5, 8, 11, 3月の年4回行い, 1992年6, 8月の観測は25時間をかけて4往復, 1993年5月の観測では18時間をかけて3往復, それ以外の観測では原則として1往復した。

これらの生データを用いて, まず東水道での流動構造を検討した。ここでの流動構造とは水深の違いによる流速差である。実測流のなかでは対馬暖流と潮流とが卓越した成分として含まれるが, 潮汐波を長波と仮定すると実測流から各成分を分離しなくても水深の違いによる流速差は対馬暖流の流動構造を表していると考えられる。そこで, 同一観測点での3層の流速の平均値を順圧成分, 平均値からの偏差を傾圧成分とし, 季節別の傾圧成分の平均値を算出した。また, 順圧, 傾圧成分の比率についても解析した。

次に, 実測流からの潮流成分の除去方法について検討した。除去方法にはいくつかの方法が考えられるが, ここでは(1)4往復観測による方法(加藤1988)と(2)観測海域の調和常数を用いて観測時の潮流成分を推算し実測流から除去する方法(例えばSimpson1990;武岡・菊池1991)を用いた。(2)の方法の観測海域での調和常数は磯辺・大村(1994)によるもので, 1992年6月のデータを用いて(1)および(2)の方法によって潮流成分を除去したあとの残差流の結果を対比した。

また, (1)の方法では残差流の流速は日平均値になるのに対して, (2)の方法では観測した瞬間値を表す。ADCP観測を継続的に実施するためには, 観測が簡便な(2)の方法が適しているが, 一方で(2)の方法では残差流の時間的な変動が大きい場合には, 暖流の指標化が困難になる。そこで, 対馬暖流の強流帯に相当すると考えられるstn. 4(10m層)のデータを用いて(2)の方法での時間的な変動について検討した。まず, 1992年6月のデータを用いて流速の日変動についての解析を行い, その他のデータでは往路と復路の流速を比較することによって時間変動を解析した。なお, 往路と復路の観測時間の差は約60~140分間である。

結果及び考察

1 対馬東水道での流動構造

対馬東水道での流速断面構造の一例として1995年5月と8月の結果を図2に示す。5月の流速断面構造の特徴として水平方向に流速勾配が認められるが, 鉛直方向にはほとんどない。一方, 8月の分布をみると5月に比べて鉛直方向の流速勾配が大きい。

そこで, 流速の鉛直的な変化(傾圧成分)を検討するため, 季節別観測点別の傾圧成分を図3に示す。図3のY軸が傾圧成分を表し, この値が0の場合には順圧成分しかないことを意味する。この図をみると, 全ての観測点で8月の値が最も大きく, stn. 4を除く全点で3月の値が小さい。つまり, 夏季に傾圧成分が大きく, 冬季に小さくなる傾向を示している。観測点間での傾圧成分を比較すると, stn. 2で小さく, stn. 4で大きくなる傾向が認められるが, その他の観測点では明確な差は認められない。

次に, 傾圧成分の最も大きい8月と小さい3月のデータを用いて順圧, 傾圧成分比を比較をした。図4のA線上は順圧, 傾圧成分の流速が同じ値で, B線上は順圧, 傾圧成分の流速比が2:1, C線上は4:1, D線上は8:1である。3月をみると, 順圧成分の流速は0~1.4ノットの範囲内にある。順圧成分と傾圧成分の流速とは有為な関係は認められず, 傾圧成分は順圧成分の流速の遅速に関係なく0~0.2ノットの間にある。図4のXY座標にプロットされた点のうち, X軸とD線とに囲まれた領域にプロットされた点の47%が含まれ, D線とC線とに囲まれた領域では

分は順圧成分の流速の遅速に関係なく0~0.2ノットの間にある。図4のXY座標にプロットされた点のうち、X軸とD線とに囲まれた領域にプロットされた点の47%が含まれ、D線とC線とに囲まれた領域では34%になり、この2つで80%を越える。つまり、3月の流動は

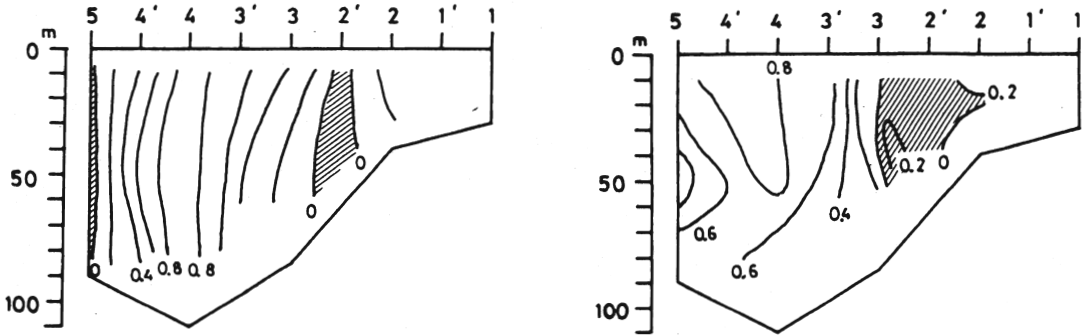


図2 対馬東水道での実測流の流速断面図。観測時間は1995年3月6日 10:00~11:50, 1995年8月1日 10:00~11:50。図中の正の値は北東流, 負の値は南西流。

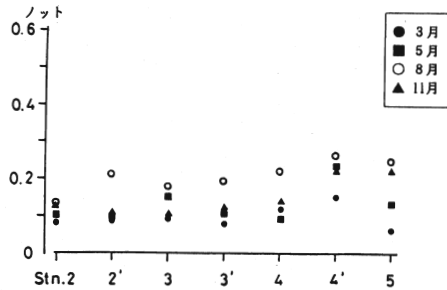


図3 季節別観測点別の傾圧成分の流速。

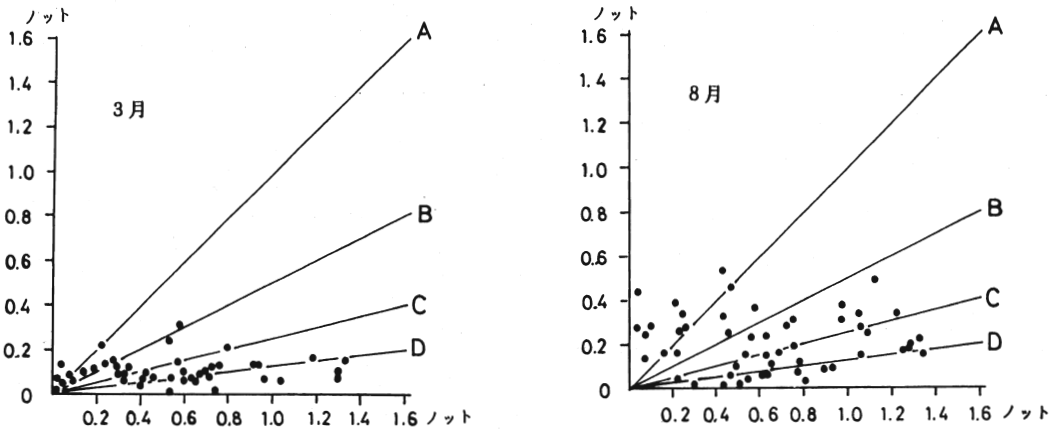


図4 順圧成分, 傾圧成分の流速。X軸は順圧成分の流速, Y軸は傾圧成分の流速。

順圧的な傾向が強い流れであると言える。

一方、8月では順圧成分の流速は3月の場合と変わらないが、傾圧成分の流速は0~0.5ノットの範囲内にあり、3月に比べて変動幅が大きい。これに伴ってX軸とC線とに囲まれた領域に含まれる点は50%で、3月に比べて大幅に減少する。つまり、8月の流動は3月に比べて傾圧的な流動構造の傾向が強くなる。

2 潮流成分の除去方法の比較

1992年6月1~2日のデータを用いて(1)の方法(4往復観測)によって潮流成分を除去した後の残差流の流速断面構造を図5に示す。流速断面構造の特徴として北東向きの流れがstn. 2'~4'にかけて認められ、とくにstn. 4~4'では0.6ノットの強流帯がある。また、stn. 2~2'とstn. 4'~5には南西向きの流れが認められる。

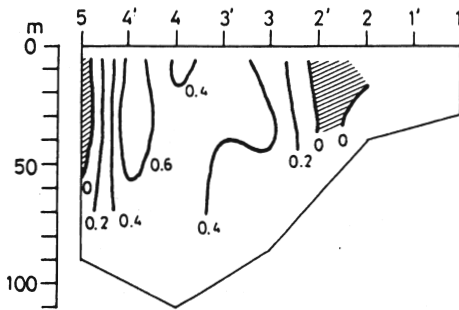


図5 加藤(1988)の方法による対馬東水道での残差流の流速断面分布。観測時間は1992年6月1日11:00~2日10:10。図中の正の値は北東流、負の値は南西流。

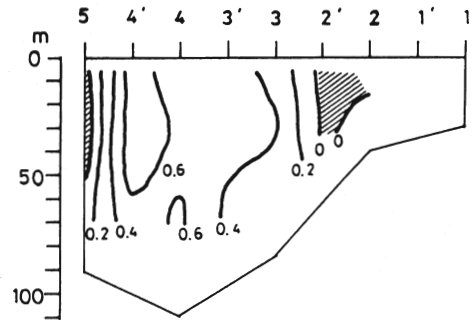


図6 磯辺・大村(1992)の方法による対馬東水道での残差流の流速断面分布。観測時間は1992年6月1日11:00~12:50。図中の正の値は北東流、負の値は南西流。

一方、(2)の方法によって1992年6月1日の11時から12時50分に観測した残差流の流速断面構造を図6に示す。対馬沿いのstn. 4'~5あるいは壱岐周辺のstn. 2~3'に南西流が卓越しており、両水域間に北東流が認められる。図5と図6を比較すると、巨視的な流れの傾向としては一致しているものの北東流あるいは南西流が流れている範囲も流速も異なっている。これは(1)の方法が日平均の残差流であるのに対して(2)の方法が観測したときの瞬間値であることを反映していると考えられる。つまり、残差流には時間的な変動があることが示唆される。

なお、6月は4往復観測をしているため、(2)の方法を用いるとそれぞれの観測毎(8観測)の残差流を求めることができる。8回の残差流を算出しそれを平均化した流速断面構造を図7に示しているが、平均化した場合(図7)と(1)の方法の結果(図5)を比較すると、北東流あるいは南西流が流れている範囲や流速もほぼ同じ流れの傾向となる。

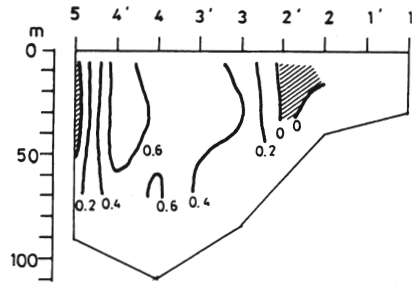


図7 磯辺・大村(1992)の方法によって1992年6月1日～2日の間にえられた8個の残差流を平均化した流速断面分布. 図中の正の値は北東流, 負の値は南西流.

3 残差流の時間的な変動

1992年6月のデータを用いて(2)の方法によってstn. 4の10m層の8個の実測流と残差流の流速を図8に示す. 残差流は-1.66～2.16ノットの間で変動しており, 日変動の値は4ノットにも達する. また, 図1に示した同じ観測定線で磯辺・大村(1992)は1992年8月に延べ8回の観測を行っており, 残差流の流向, 流速は一日の間で大きく変動することを指摘しており, この論文の中の図5を参照すると残差流の日変動は3ノット以上である. このようにわずか2回の結果であるが, 残差流の日変動は非常に大きくなる場合もあることが示唆される. 日々の残差流の変動が2～3ノット以上ある場合の頻度が多い状態, つまり, このような日変動が定常状態であるならば(2)の方法による対馬暖流の流量の指標化は困難になる.

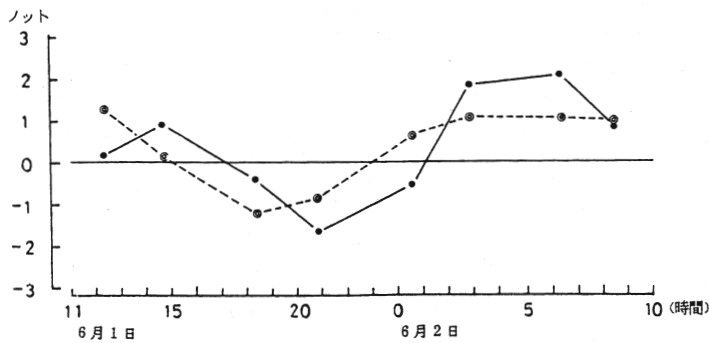


図8 stn. 4の10m層における実測流と残差流の時系列. 観測時間は1992年6月1日11:00～2日10:10, 実線は実測流, 破線は残差流.

このため1992～'95年のデータのうちstn. 4(10m層)の往路と復路の残差流の偏差を比較することで時間的な変動を検討する. stn. 4(10m層)における残差流を図9に示す. X軸は往路の流速を, Y軸は復路の流速を表し, 各々の流速が等しければ $Y=X$ 上にあり, 2本の破線に囲まれた領域にあれば流速の偏差は0.5ノット以下である. この図をみると, 残差流は $Y=X$ 上にはないものの破線で囲まれた領域にほとんど含まれている. 偏差の平均値を算出すると0.3ノットになる. この値は, 流速の偏差としては大きな値とは言えな

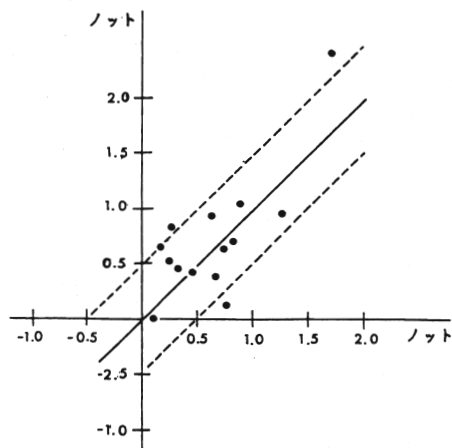


図9 stn. 4の10m層における往路と復路の残差流の流速.
X軸は往路の流速, Y軸はと復路の流速.

いが, あくまでも相対的な値でしかない.

そこで, 往路の流速と往復の偏差との関係を図10に示す. A線上にある場合は往路の流速と同じ値の偏差があることになり, B線上では往路の流速と偏差の比が2:1で, C線上ではその比が4:1となる. X軸とC線とに囲まれた領域にプロットされた点の50%が含まれ, C線とB線とに囲まれた領域とを合わせると65%を越える. 往路と復路の観測時間の差は約1~2時間であるため, この程度の時間差では残差流の時間的変動は小さい場合が多いといえる. しかし, 一方でY軸とA線上に囲まれた範囲にも4箇所もプロットされており, わずか1, 2時間でも時間的変動が大きい場合もある.

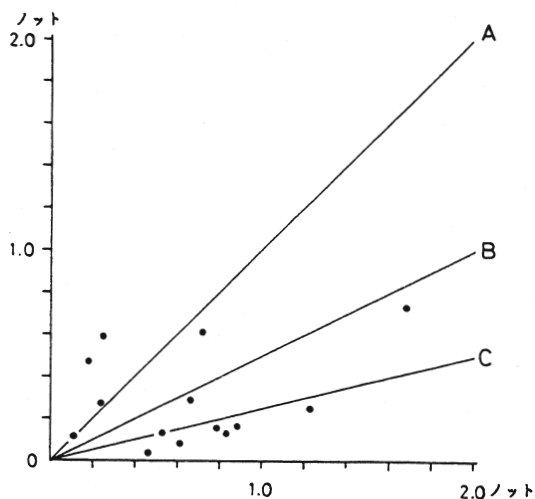


図10 stn. 4の10m層における往路と復路の残差流の偏差と往路の残差流の流速.
X軸は往路の流速, Y軸は往路と復路の流速の偏差.

今後はデータを蓄積して, 残差流の時間的変動の解析をさらに検討することが必要であるし, また残差流の時間的変動の要因として潮流推算の際の誤差も含まれている可能性もあり, 潮流推算の精度の向上も併せて検討することが課題である.

要 的

1. 対馬東水道で1992～'95年にかけて年4回の割合でADCP観測を実施し,得られたデータを用いて流動構造について解析した. また, ADCPデータからの潮流成分の除去方法についても検討した.
2. 東水道での流動構造は夏季に傾圧成分が大きく, 冬季に小さくなる傾向を示している. また, 対馬暖流の強流帯(stn. 4)で傾圧成分を大きく, 沿岸側で(stn. 2)で小さい.
3. 潮流成分の除去方法について, (1)4往復観測による方法と(2)観測海域の調和常数を用いて観測時の潮流成分を推算しデータから除去する方法を検討した結果, 残差流成分には時間的に大きな変動の可能性があることが示唆された.

文 献

- 磯辺篤彦・大村浩一(1994) 対馬海峡東水道における対馬暖流. 沿岸海洋研究ノート, (32), 2, 91-100.
- J. H. Simpson, E. G. Mitchelson-Jacob and A. B. Hill(1990) Flow Structure in a channel from an acoustic doppler current profiler. Continental Shelf Research, (10), 6, 589-603.
- 加藤 修(1988) 超音波潮流計による残差流の測定. 西海区水産研究所研究報告, (66), 59-67.
- 武岡英隆・菊池隆展(1991) ADCPによる測流データからの潮流の推算法. 沿岸海洋研究ノート, (29), 1, 76-81.