

大村湾湾口近傍における潮流現象の現地観測と数値解析

中村 武弘*・福本 正**・多田 彰秀***

1. 緒 言

大村湾は長崎県の中央部に位置し、佐世保湾を介して外海に繋がる水表面積約 330 km²、平均水深約 18 m の非常に閉鎖性の強い内湾である(図-1 参照)。佐世保湾と繋がる湾口は、針尾瀬戸(長さ約 7 km, 最小幅約 200 m, 平均水深約 30 m)と早岐瀬戸(長さ約 10 km, 最小幅約 20 m, 平均水深 4 m)との 2 つの水道があるが、実質的には針尾瀬戸が湾口とみなされる。湾口幅が小さいため湾内の平均潮差は約 50 cm と非常に小さいものの、針尾瀬戸の潮流は日本三大観潮地の一つに数えられるほど速く、上げ潮時には外海水が噴流状態で大村湾内に流入している。湾口近傍の流動は鉛直混合が盛んで、複雑な 3 次元構造を有し、速い潮流のためこれまでにも潮流観測は試みられてきたが困難を極め、いまだ詳細は不明な点が多い(海洋科学技術センター, 1983)。

本研究では、超音波ドップラー流速計(ADCP)を用いた流速観測、STD による水温・塩分観測および潮位観測を同時に実施するとともに、3 次元数値解析を行い、湾口近傍の潮流の 3 次元流動特性を明らかにする。

2. 現地観測

2.1 観測概要

大村湾湾口部の地形を図-2 に示す。湾口部の中央付近には水深 12 m の浅曾根があり、また針尾瀬戸から湾内に入ったところに水深 54 m の最深部がある。針尾瀬戸から宮浦方向、浅曾根の南側へ水深 30 m 以深の地形が続いており、水深 20 m の等深線は大崎半島と宮浦の中央部を通って大村湾の西側を南下するように分布している。超音波流速計による流速観測は図-2 に示される測線 AA', BB' および CC' に沿って、それぞれ 1996 年 7 月 25, 26, 27 日の 3 日間に分けて行われた。観測に用いた超音波流速計は RD Instruments 社製の 600 kHz トランスデューサー・ブロードバンド ADCP である。ADCP を観測船の舷側に取り付け、リアルタイムキネマティッ

ク GPS 測位法により走航位置を随時モニターで把握しながら観測線上を移動し、計測を行った。各測線上を約 20 分の移動時間で航行し、鉛直方向に 1 m 間隔の水平流速の分布を約 7 秒間隔で計測して断面流速分布を求め

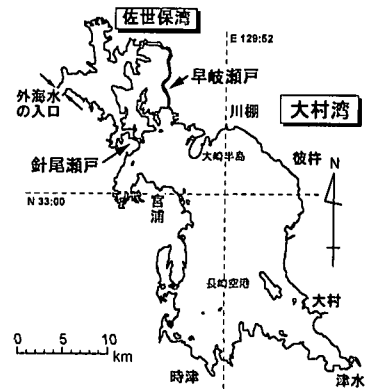


図-1 大村湾

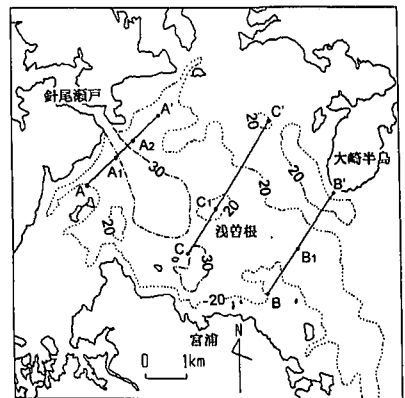


図-2 大村湾湾口部と観測線

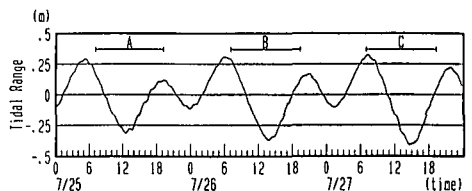


図-3 潮位記録(宮浦)と観測期間

* 正会員 博(工) 長崎大学教授 環境科学部環境科学科
 ** 博(工) 西松建設(株)技術研究所
 *** 正会員 博(工) 長崎大学助教授 工学部社会開発工学科

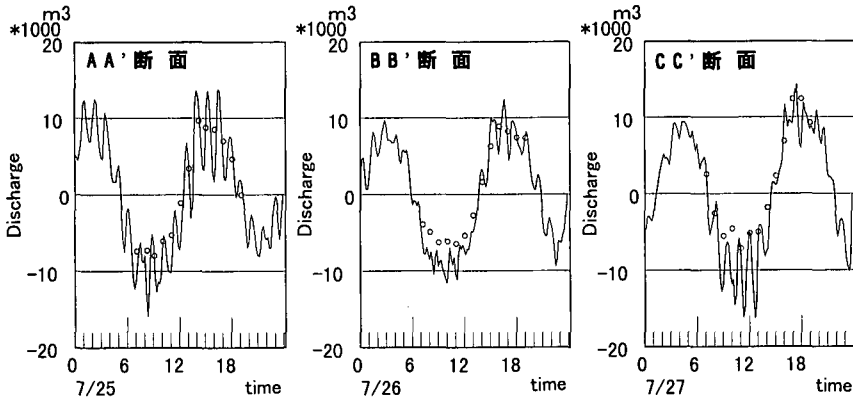


図-4 断面流量の経時変化 (○印：ADCPより，実線：潮位変動より)

た。計測範囲は水深3.3mから水深の90%の深さまでである。計測は1時間ごとに13回行い、それぞれ1潮汐間のデータを収集した。STDによる水温・塩分観測は、BB'およびCC'観測の際に、測線の端点(B, B'およびC, C')でそれぞれ2時間間隔で行った。また、観測期間中の潮位観測は、アレック電子社製メモリ水圧波高計AWH-16Mを用いて、宮浦(図-2)で計測した。7月25日から27日までの潮位の観測記録を図-3に示す。この期間中の潮汐は小潮期で日潮不等があり、潮差は増大傾向であった。図中のA, BおよびCは、それぞれAA', BB'およびCC'観測の計測期間を示している。

2.2 ADCP 観測

a) 潮汐流量の経時変化

ADCPの計測値より、3測線断面を通過する潮汐による流量の経時変化を求め、図-4に示す。図中の○印はADCPの流速値より算出された流量である。大村湾では湾口部と湾奥部との潮汐の位相差ほとんどなく、潮位は湾内でほぼ一様に昇降するものと見なせるため、各測線を通過する流量はその断面より湾奥側の水表面積と潮位差の積からも求めることができる。図中の実線は図-3の潮位変動の記録より10分間隔で算出された流量の経時変化である。両者を比較すると測線BB'とCC'では若干の違いが認められる。この理由は測線BB'とCC'が湾を完全に横切っていないため、ADCPによる算出値に誤差があるためである。これに対し、針尾瀬戸のすぐ傍に位置して瀬戸を通過する流量をほぼ正確に捉えることができる測線AA'で両者は良く一致している。これらより、ADCPの計測値は信頼できることが確認できる。また、潮位変動からの算出値に周期約80分の大きな変化が現れているが、これは静振の記録によるものである。

b) 潮汐流の流況

下げ潮時および上げ潮時の3水深(3.3m, 10.3m, 20.3m)におけるADCPにより計測された水平流速分布

を図-5に示す。各図中の潮位図は図-3を略記したものであり、●印が各測線における計測時刻を示している。

また、その時の各測線に垂直な流速成分の鉛直分布を図-6にそれぞれ示す。

i) 測線AA'における流況

下げ潮が始まるとAA'断面全域で針尾瀬戸に向かう流出方向の流れとなる。速さは中央部、北側、南側の順に大きい。鉛直方向には下層が速い。下げ潮時にもかかわらず、一時的に北側と南側の中層部に流入方向の流れがみられる。上げ潮時には、針尾瀬戸からの潮流はAA'断面の中央部を宮浦方向に向かい、南北両側の海水を連行して、噴流状態で流入する。そのため北側と南側での流向は、上げ潮時においても下げ潮時と同じ流出方向を向いている。中央部の主流の速さは、下層ほど速い。

ii) 測線BB'における流況

満潮時にはすでに北側の上層と下層で流出方向に流れているが、中層の南側には弱い流入方向の流れが残っている。下げ潮になると、南側の上層と下層で流出方向に流れ始めるが、流出の大きさは北側で強い。中層での流入方向の流れは、しだいに南側と北側で向きが反転し、下げ潮最盛期には北側だけに見られる。しかし、この中層からの流入は下げ潮期を通じてなくなることはない。干潮を前にして中・下層は流入方向に転じ、干潮を過ぎた時点で上層も流入方向に流れ始める。上げ潮時には断面全域で流入方向に流れる。流入は南側で強く、最強流は満潮の約1時間前に起り、その最強部は上層下部にある。しかし、この時北側の端(B'点)の上層と下層では流出方向の流れが起き始める。満潮前の流況は上・下層では南側で流入、北側で流出し、速さは南側で強い。中層では全域で流入となっている。

iii) 測線CC'における流況

満潮時にも憩流とはならず、浅曾根の南側では流入方向の強い流れ、北側では流出方向の流れが存在し、反時

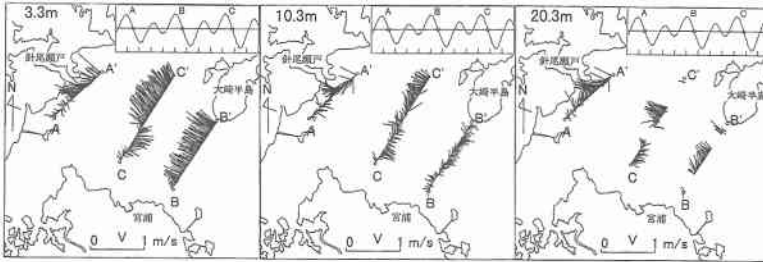
計回りの流れが形成されている。下げ潮になると北側の流出の速さが強くなり、逆に南側の流入の速さは徐々に弱くなる。流速の鉛直分布は、北側の流出部で上層に最強流部を有する。南側の流入部では中層にあった最強流部が干潮に近づくにつれて上層に移り、さらに浅曽根を超えて北側まで広がる。干潮時には北側下層部を除く全域で流入方向の弱い流れとなる。上げ潮の初期には、一時全域で流入方向に向うが、時間の経過とともに、南側

の流入速度が次第に大きくなる。北側では反対に転流して流れは流出方向となり、反時計回りの流れが形成される。針尾瀬戸からの流入水の主流部は、この測線上で浅曽根の南側にあるが、最強流部は中層にあり、AA'断面とは異なっている。

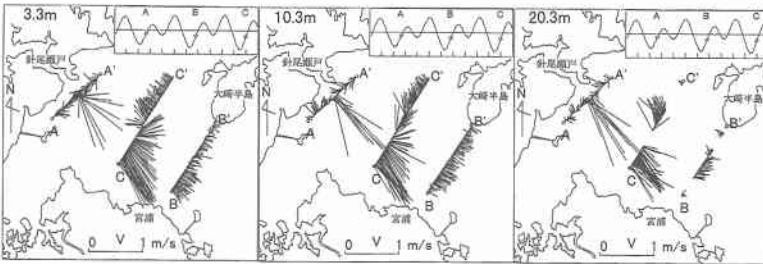
2.3 STD 観測

STDの観測地点はB, B', CおよびC'である。観測項目の水温と塩分を水深1m間隔で水表面から海底まで

測定し、密度(σ_t)は水温と塩分より計算して求めた。各観測点における密度のイソプレットを図-7に示す。図中の・印は計測点を示し、上部枠外および最下部の数値はそれぞれ水表面および海底での値を示している。観測時刻がそれぞれ違っているため、図-3の潮位記録と対照しながら干潮前後の変化を比較すると、C'地点とB'地点すなわち湾口部北側における2地点の変化の様子が良く類似していることがわかる。また、どちらにも水深5mと15m付近に躍層が見られる。これに対し、C地点の変化の様子は他の3地点とは全く違っていることもわかる。

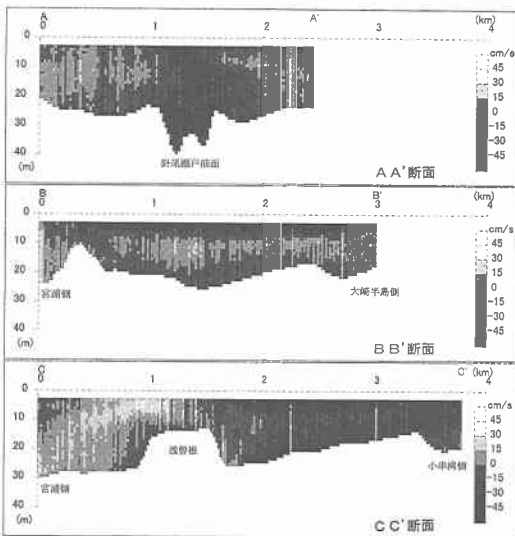


a) 下げ潮時

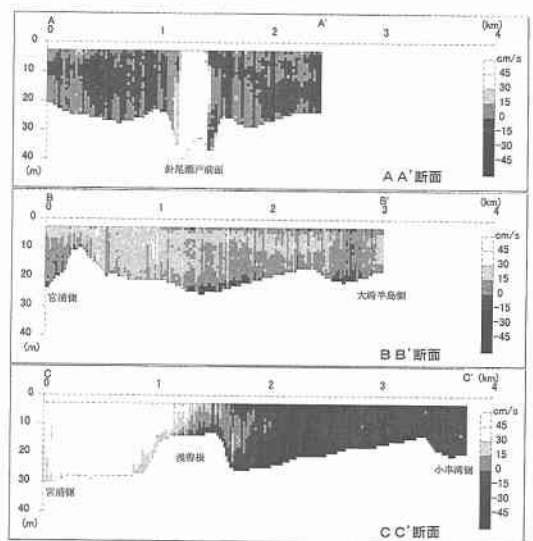


b) 上げ潮時

図-5 流速分布 (潮位図中の・印は計測時刻を示す)



a) 下げ潮時



b) 上げ潮時

図-6 測線に垂直な流速成分の断面分布

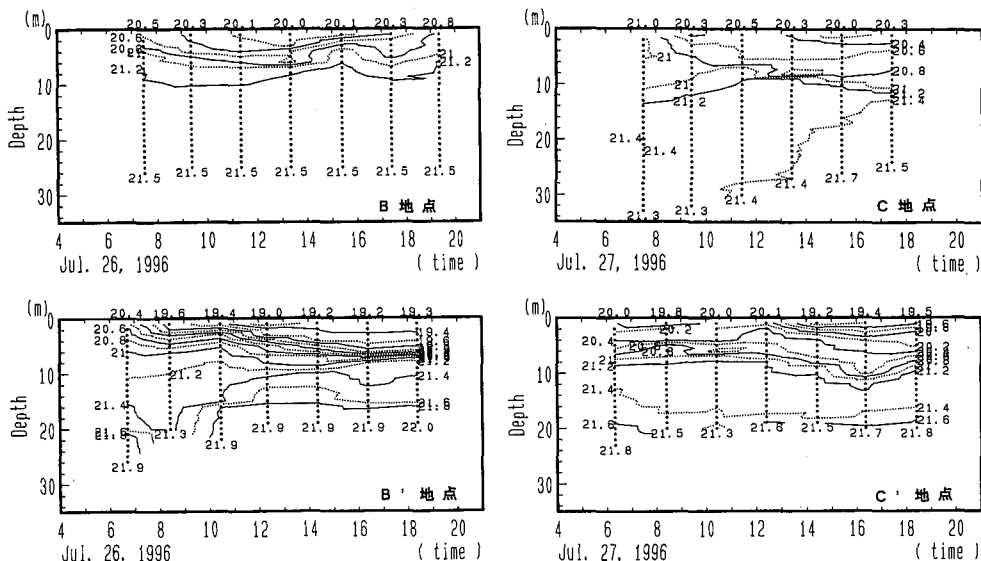
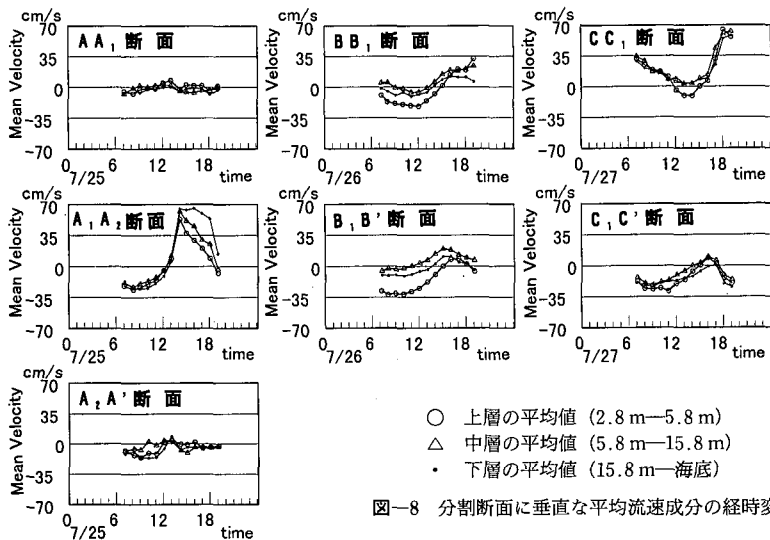


図-7 密度 (σ_t) のイソプレット



○ 上層の平均値 (2.8 m—5.8 m)
 △ 中層の平均値 (5.8 m—15.8 m)
 ・ 下層の平均値 (15.8 m—海底)

図-8 分割断面に垂直な平均流速成分の経時変化

2.4 湾口部における潮汐流の3次元構造

湾口部における潮汐流の3次元構造を明らかにするために、AA'断面を9分割、BB'断面とCC'断面を6分割に測線断面を分割する。すなわち、鉛直方向の分割は、STD観測の結果で水深5mと15m付近に躍層が見られたことから、全測線断面について水深5mと15mで上・中・下層に3分割する。水平方向には、測線AA'では中央部の針尾瀬戸から続く滞筋の流れを明確にするためA点より1kmのA₁点と1.6kmのA₂点の2地点で3分割、測線BB'ではB点より1.3kmの測線中央部のB₁地点で2分割、測線CC'ではC点より1.3kmの浅曽根上のC₁地点で2分割した(図-2参照)。各分割断面に垂直な平均流速成分の経時変化を求め、図-8に示す。

図-8より、AA'断面では針尾瀬戸からの流入水の速さは下層ほど速く、しかも下層ほど長時間続いていることがわかる。また、南北両側では1潮汐を通じてほとんど流出方向に流れていることもわかる。

BB'断面の上層では上げ潮時の後半を除いて強い流出が続き、北側で強い。中層での流入状態は、北側では下げ潮後半から上げ潮時にかけて、また南側では上げ潮時から下げ潮前半にかけて見られ、BB'断面では常に中層からの流入が存在していることがわかる。下層では上げ潮時に流入し、下げ潮時に流出する潮位変動と同位相の動きをしている。これより、BB'断面を境とした大村湾湾奥部と湾口部との海水交流は、上層から湾内水が流出し、中層から湾口部の海水が流入する形でなされていること

がわかった。

CC'断面の南側では中層と下層がほぼ同じ動きをしており、1潮汐を通じて常に流入状態である。それに対し、上層では干潮の前後2,3時間は流入方向に流れている。他方、北側では下層が常に流出状態にあり、上層と中層では干潮後の2,3時間だけ流入方向の流れとなる。これらより、湾口部中央部では浅曽根を中心として反時計回りの強い循環流が存在することが明確となった。

上げ潮時に針尾瀬戸から噴流状態で流入する水の最速部は、AA'断面では下層に存在する。さらに、CC'断面では中層下部、BB'断面では上層下部へと上昇していることがわかる。また、これら流速の経時変化の中で、CC'断面南側の変化の様子が他の断面とは違って位相が2,3時間遅れていることがわかる。これは、STD観測におけるC地点の密度のイソプレットが他の3地点とは違っていたことと符合する。このような複雑な流況が大村湾湾口部での船舶の航行を困難にしているものと考えられる。

3. 3次元数値解析

筆者らは、大村湾全域にわたる潮流の3次元数値解析モデルを開発している(福本ほか, 1996)。今回は、この数値モデルを用いて湾口部の流動を詳しく解析してみた。計算の諸元は水平格子間隔500m、鉛直13層(2m×10層+4m×3層)、針尾瀬戸からの流入角度は北から時計回りに155度とし、気温、湿度、風速、風向、河川水量、日射量、雲量等は大村湾における夏期の代表値を用いた。1潮汐間の平均値より求めた湾口部の鉛直断面流および下げ潮時の水深3mにおける流速分布をそれぞれ図-9および図-10に示す。図-9より、BB'断面を通しての海水交流が上層で流出、中層で流入となっており、現地観測の結果と一致していることがわかる。しかし、図-10の下げ潮時の流速分布は、現地観測の結果(図-5)と比較すると、CC'断面の南側における反時計回りの流れが再現されていないことがわかる。この理由としては、①格子幅、②湾口からの流入角度、③渦動粘性係数、渦拡散係数の値などに問題があるものと思われる。今回の計算では、格子幅を500mとしたが、湾口幅200mに比して大きい場合、湾口からの噴流状態の流れが厳密な意味で再現できていない。また、格子幅が湾口幅より大きい場合、湾口の格子数が1つとなり、湾口からの流入方向が格子の向きによって決定されるため、流入方向の角度の設定を検証する必要がある。さらに、湾口部付近の流れは時間的に緩急があり、空間的に複雑であるため、渦動粘性係数や渦拡散係数の値が適切であるかの検討も必要と思われる。流入角度については、135度に設定した場合の計算も行ってみたが、宮浦・大崎半島断面からの流

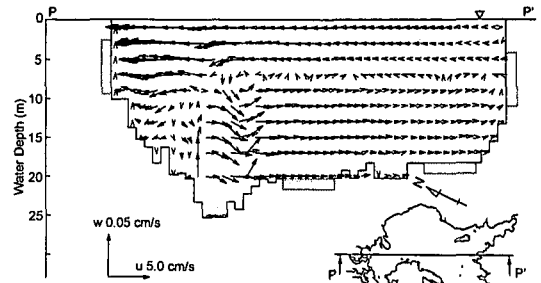


図-9 PP'断面に沿った平均流の鉛直分布(計算値)

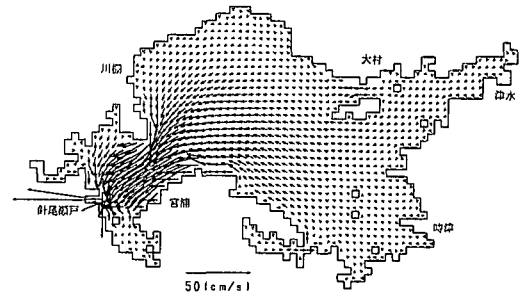


図-10 下げ潮時の水平流速分布(計算値、水深3m)

入方向や潮汐残差流に大きな変化が見られるものの、この場合も下げ潮時の浅曽根南側における反時計方向の流れは再現できなかった。

4. 結論

大村湾湾口部における潮流現象の現地観測をADCPを導入して行い、次のような流動特性が明らかになった。

- (1) 湾口部中央に位置する浅曽根を中心とした循環流の存在が明らかになった。
- (2) 宮浦と大崎半島を結ぶ断面での海水交流の状況は、上層で流出、中層で流入となっていた。
- (3) 上げ潮時の針尾瀬戸からの流入水は、噴流状態で流入し、その最強流部は湾口では下層にあるが、湾奥に入るにしたがい次第に上昇し、宮浦・大崎半島断面では上層下部にあることが明らかになった。

3次元数値解析を用いて湾口部の流動を解析した。その結果、宮浦・大崎半島断面での中層からの流入は確認されたものの、まだ多くの問題点が残されている。

参考文献

- 海洋科学技術センター(1983): 強い潮流域の海洋調査手法確立の研究(針尾瀬戸の調査実験), 109 p.
- 福本 正・多田彰秀・中村武弘・富樫宏由(1996): 成層した大村湾の流動に及ぼす風の影響について, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 396-400.