# 伊勢湾口における流況・水質のフェリーによる連続観測

Water Quality and Current Monitoring Program at the Mouth of Ise Bay using Ferry

鈴木高二朗<sup>1</sup>·田中陽二<sup>2</sup>·西村大司<sup>3</sup>·日置幸司<sup>4</sup>·中出浩靖<sup>5</sup>·中村由行<sup>6</sup>

## Kojiro SUZUKI, Yoji TANAKA, Daishi NISHIMURA Koji HIOKI , Hiroyasu NAKADE and Yoshiyuki NAKAMURA

The monitoring program of current and water quality at the mouth of Ise Bay has been conducted since Mar. 2008. The obtained water quality data is compared with datasets of freshwater discharge, meteorological parameters and tide. 1) At the mouth of Ise Bay, the velocity of tidal current is larger than 1m/s at the spring tide. The largest velocity is observed at Irago strait. 2) The residual current in shallow layer is larger at the spring tide rather than at the neap tide.3) Because the shallow water and deep water are mixed by the high speed tidal current at the Irago strait, salinity at the Irago strait is larger than that of the other area.4) The salinity becomes lower several days after the fresh water runoff from rivers. Even if there is little fresh water discharge, salinity becomes higher at the spring tide because the water column is well mixed at the spring tide.

## 1. はじめに

伊勢湾口は内湾と外洋の水塊が入れ替わる場所であ り、海水交換や外洋水の湾内への影響を明らかにする上 で重要な海域である.また、そこでの流況・水質データ は伊勢湾の流況シミュレーションを行う上で重要な境界 条件となる.しかしながら、これまでのところ伊勢湾口 での流況や水質の観測例は少なく、不明な点も多い.

一方,伊勢湾は背後に大都市圏をかかえており,今後 も公共事業や海域環境の蘇生事業が実施される可能性が 高い.このような事業の影響評価を行ううえで,海域環 境の長期連続的な観測が望まれている.ここでは,伊勢 湾口での海水交換や流況・水質の長期的な変化を捉える ため,伊勢湾口のフェリーに流況・水質の観測装置を設 置し,連続的な観測を実施することとした.

鈴木ら(2004,2006)は、伊勢湾の観測に先立ち、東 京湾口のフェリーに観測機器を設置し、2003年12月から 東京湾口の連続観測を実施している.その結果、東京湾 口は外洋水の影響により、流れが多層構造になるほか、 内湾と外洋の境目であるフロントが発生することがある といったことが分かってきている.さらに、東京湾内の 連続観測データと比較したところ、外洋水が容易に東京 湾央の羽田周辺まで流入し、時には青潮の発生とも関連 することなども分かってきている(鈴木ら、2008).

1 2 3	正会員 正会員	工修 環博	(独)港空研海洋環境情報チームリーダー (独)港空研海洋環境情報研究チーム 国交省名古屋港湾空港技術調査事務所 (名古屋技調)前所長
4 5 6	正会員	工博	国交省名古屋技調調查課前課長 国交省名古屋技調調查課 (独)港空研研究主監

一方,伊勢湾口は東京湾口と比較すると水深も浅く, 幅が狭いことから,大潮時には強混合,小潮時にも弱混 合になっており,湾口部で密度の大きい水塊と混合され て重くなった表層水塊が伊勢湾内部に侵入することなど が明らかにされている(藤原,2002).

## 2. 観測方法

## (1)伊勢湾フェリー"伊勢丸"

伊勢湾口のモニタリングシステムとして,伊勢湾口を 日々航行している伊勢湾フェリー株式会社所有の船舶 "伊勢丸"に湾口海峡部の流況水質データを取得するシ ステムを構築した.図-1は,伊勢湾の水深とフェリーの 航路である.伊勢丸は三重県の鳥羽港と愛知県の伊良湖 港の間約20kmを,AM8:10~PM18:35にかけて片道約55 分で1日約4往復している.

観測された流況水質データは鳥羽港に寄港した際に無



図-1 伊勢湾の水深と伊勢湾フェリーの航路

線LANを通じてデータを回収できるようになっている. なお,伊勢丸の総トン数は2,331トンであり,旅客定員 は 500名,乗用車搭載台数は 43台,最高速力は19ノッ ト,横揺緩衝装置はフィンスタビライザーである.

モニタリングシステムの設置は,2008年2月19日から 27日にかけて行われた伊勢湾フェリー"伊勢丸"保守の ためのドック入渠にあわせて実施し,その後,2008年3 月18日から観測を開始した.

#### (2) 各種観測装置

図-2は、伊勢丸と各種計測器の設置場所を示す模式図 である.本モニタリングシステムは、メインテナンスが 頻繁に行えないため、メインテナンスが比較的容易で、 観測上重要な項目に絞って装置を設置した.

流向流速計は,RD-Instruments社製300kHzの船舶搭載 型超音波流向流速計である.水質は,塩分水温のみ計測 することとし,FSI社製Excell Thermosalinographを用いて いる.いずれの計測器も東京湾フェリーの観測では保守 回数が少なく済んでいる.

塩分水温はエンジン冷却用の管路から,管を分岐して, 表層の海水を採取し,船内で計測している.この際,何 らかの原因で泡が管路内部にあると塩分水温が計測でき なくなるため,泡抜き用のチャンバーを設置している. そのほか,管路の閉塞を防ぐためのストレイナーや電磁 式のスケール付着防止装置も設置している.

## 3. 観測結果

#### (1) フェリーの航跡と航路の平均水深

図-3は、2008年6月9日からの100航海分のフェリーの 航跡である.伊良湖水道周辺では約2~3kmの蛇行はあ るものの、それ以外は蛇行が小さいことが分かる.以後 の解析では、図-3中の平均的な航路を標準航路とし、蛇 行している場合はこの航路に投影して位置を決めた.

図-4は、ADCPのボトムトラックによって計測された 100航海分の水深データであり、白の一点鎖線はその平 均値である.なお、ADCPでは、サイドローブの影響で 喫水下約7m分の流速を計測することができない.その ため、表層から10.14mの位置からの計測データとなるた め、図-4ではその分を補正して表示している.

伊勢湾口部は地形が極めて複雑であり、起伏に富んで



図-3 伊勢湾フェリーの航跡(2008年6月9日から100航海)



図-4 フェリー航路の水深(2008年6月9日から100航海)

いる.特に伊良湖水道部が最も深く,平均水深は約90m である.鳥羽港から約9kmの位置にある航路中央部も深 くなっており,そこでの平均水深は約70mである.

一方,フェリー航路全体の平均水深を求めると,平均 水深は約44.1m,断面積は857,000m<sup>2</sup>であった.

#### (2) ADCPで計測された伊勢湾口流向流速の特徴

#### a) 大潮時の流向流速分布

図-5は2008年4月23日の大潮の日に計測された流向流 速データである.標準航路に対して直角な方向の流れ成 分であり,黒が流出,白が流入を示している.伊良湖水 道部に強い流れが発生しており,最も速いところでは, 最大で1m/sにも及ぶ流速が出ている.また,鉛直方向に 一様な流れとなっていることが分かる.

#### b)断面平均流速

図-6は、2008年6月9日~9月25日にかけての断面平均 流速(黒四角)と、そのデータに対して主要8分潮で調 和解析を実施して求めた調和成分(実線)および、残差 成分(白丸)である.ここで、断面平均流速は、標準航 路に対して垂直方向の流れを平均したものである.

断面平均流速は、大潮と小潮での流速差が大きく異なっており、小潮のときは断面平均流速が10~20cm/s程度





であるのに対し、大潮の時は40cm/sを越えている.

本来,残差流の平均はゼロになるべきであるが,全般 にプラス側(流入側)に偏り,平均値は+1.5cm/sだった. 通常,閉鎖性内湾の残差流は,上層流出,下層流入とい うエスチュアリー循環の流れ構造を持っており,今回の ADCP観測では表層から約10m部分の流速を計測できな いため,平均するとプラス(流入側の値)になったもの と考えられる.

#### c)潮流楕円

図-7は、2008年6月9日~9月25日にかけての南北方向, 東西方向の流速を主要8分潮で調和解析して求めたM2分 潮の潮流楕円である.水深の深い鳥羽から約9km離れた 航路中央部と、15km離れた伊良湖水道部での潮流楕円が 特に大きく,楕円の長径は約1m/sと大きい.また、その 大きさは表層から底層まで同程度の大きさになっている ことも分かる.鳥羽から約12km離れた地点も水深が深 いが、コンサ礁と横瀬および神島にはさまれた形となっ



ているためか、潮流楕円があまり大きくない.

潮流楕円の向きは海底地形に影響されており,流速の 大きい鳥羽から8km,15km地点では楕円の向きが図-3に 見られる深い海峡にそっているのに対し,鳥羽から7km 地点までの答志島と菅島にはさまれた菅島水道では楕円 の向きがほぼ東西方向に寝た形になっている.

#### d)残差流

図-8は、2008年6月9日~9月25日にかけての残差流の 平均値である.鳥羽から1km、8~9km、12km、14kmの 位置の海峡部では、湾内に流入する傾向にあり、その最 大流速は約0.2m/sである.また、全般に表層では、内湾 から外洋へ流出する傾向にある.

このような流れの構造は、①伊勢湾口特有の複雑な地 形による局所的な渦によってできる潮汐残差流と、②表 層流出,下層流入という内湾に特徴的なエスチュアリー 循環の組み合わせによって起きているものと考えられ る.ただし,それぞれの寄与率を知るには、さらに検討 が必要である.

図-9は、2008年6月9日~9月25日の残差流のデータか ら、大潮の5日間と小潮の5日間をそれぞれ抽出して平 均したものである.残差流の分布はあまり大きく変化し ていないが、詳細に見ると大潮時の方が小潮時よりも全 般に流入量が多くなっている.特に表層からの流入量が 大きい傾向にある.

(3) 水質測定装置による伊勢湾口の塩分水温の特徴

図-10は、2008年3月18日17時前後に計測された塩分





図-11 塩分水温の時系列変化(破線内はADCPのデータが取 得された期間,それ以外はADCPが欠測)

水温のデータである.全般に伊良湖側の方が塩分水温と もに高く,低いのは水深の浅い菅島水道に相当する.

図-11は、観測開始の2008年3月から11月までの時系 列の塩分水温であり、横軸はフェリー航路の各地点の鳥



羽港からの距離である.塩分は全般に降水量の多い夏期 に小さく、冬期に大きくなっている.また、図-10で見 られたように全般に伊良湖側の塩分が高い.これは後述 するように水深の大きい伊良湖側で,表層と下層の海水 が混合することによるものと考えられる.また、約2週 間の周期で増減を繰り返しており、塩分の低下は鉛直混 合が小さくなると考えられる小潮時に対応する場合が多 い.一方、水温は年変動がはっきりと見られるほかに、 塩分と同様に約2週間の周期で増減を繰り返していた. 特に、夏期には塩分が高くなると水温が下がり、塩分が 低いときは水温が高いという逆の傾向にあった.

図-12は、フェリー航路の各地点での4~11月までの平 均値と、各季節の平均値を、それぞれ塩分水温について 求めたものである.塩分水温ともに伊良湖側の方が高い 傾向にある.塩分を詳細に見ると、菅島水道のある7km までの地点で最小値をとり、鳥羽から8~9km地点で極 大となり、一旦、14km地点で極小値をとった後、伊良湖 水道以東では極大となっているのが分かる.

図-7の水深および潮流楕円と比較すると,全般に水深 が浅く流速の小さい場所では塩分が小さく,逆に水深が 深く流速の大きい場所では塩分が大きくなっていること が分かる.また,図-8と比較すると残差流の流入量が大 きい箇所ほど,塩分が大きい傾向にある.このように, 塩分水温の場所的な特徴は,伊勢湾口の複雑な地形と流 況に関係しているものと考えられる.

図-13は、塩分水温、流向流速の航海毎の平均値と河 川流量、および伊良湖の天文潮位の時系列変化である。 河川流量は、伊勢湾と三河湾に流入する一級河川の総流 量であり、国交省水文水質データベースから求めた.塩 分は、実線矢印に示すように河川からの出水後、数日す ると低下する傾向にあり、淡水流入量の大きかった9月 初旬には塩分が約22.1PSUまで減少した.



しかし,破線矢印に示すように河川からの出水とは違 うタイミングでも塩分が低下している場合がある.これ らの塩分低下はちょうど小潮の時に見られる特徴があ り,逆に大潮時には上昇する.水温は,夏期の小潮時に 大きく,大潮時に小さくなっている.このような夏期の 塩分上昇,水温低下は外洋あるいは下層の海水の影響を 受けており,一方,夏期の塩分低下,水温上昇は内湾の 表層水の影響を受けているものと考えられる.

すなわち,夏期,流速が大きい大潮時には低塩・高温 の表層水が高塩・低温の下層水と大きくかき混ぜられ, 逆に小潮時には混合が小さいために,その逆の傾向にな っているものと推察される.これらの特徴は,流れが速 く,大潮時に強混合,小潮時に弱混合となる断面積の小 さい伊勢湾口の特徴を示しているものと考えられる.

## 4.まとめ

伊勢湾口のフェリーに, 流況・水質を連続的に計測す るシステムを設置し, 2008年3月より連続的に計測を開 始した.以下に本研究で明らかとなった事項をまとめ る.

- 1)伊勢湾口での潮流は、最も深い伊良湖水道部で大き く、大潮時では1m/sに及んでいた.
- 2)残差流は、湾中央部と伊良湖水道で流入量が最も大 きく、それ以外では表層流出、下層流入となっている。
- 3) 全般に塩分は年間をとおして伊良湖側が大きい傾向に あった.この現象は伊良湖側(特に伊良湖水道)の水 深が深く,かつ,そこでの潮流が大きくて表層から下

層の海水が混合しやすいために,下層の高塩分水と表 層の低塩分水が混ざることで起きるものと考えられる.

- 4) 大潮時と小潮時の平均残差流を比較したところ,残 差流は大潮時の方が小潮時よりも表層において流入量 が多かった.このことは3) で述べたように大潮時に 湾口の表層塩分(密度)が大きくなり,この重い表層 水塊が伊勢湾の底層部に流れ込むためではないかと推 察される.
- 5)淡水流入量の大きかった9月初旬には塩分が約 22.1PSUまで減少した.また,淡水流入の影響のほか に,全般に小潮時に塩分が低下し,大潮時に塩分が上 昇する傾向が見られた.大潮の時には,表層と下層の 水が混ざりやすくなるために,このような大潮時の塩 分上昇があるものと考えられる.

謝辞:本観測を実施するにあたり,伊勢湾フェリー株式会 社の皆様から多大なご協力を頂いています.

#### 参考文献

- 鈴木高二朗・加藤英夫(2004):フェリーによる東京湾口の 流況計測,港空研資料, No.1075, 11p.
- 鈴木高二朗・竹田 晃(2006):東京湾口フェリーによる海 洋環境の2003~2005年の観測結果とその特性,港空研資 料, No.1134, 37p.
- 鈴木高二朗・磯部雅彦・諸星一信(2008) :流況・水質の長 期連続データから見た東京湾口と湾奥の関係について, 海岸工学論文集,第55巻, pp. 1076-1080.
- 藤原建紀 (2002) :伊勢湾の生態系を支配する流動構造,日 本プランクトン学会誌,49, pp.114-121.