港内の河口域近辺に発生する流れについての海洋環境調査

神田侑希¹・千葉元²・吉田将司³・島崎清寿⁴

Ocean Environmental Survey on Influence of River Inflows on Current within a Harbor

Yuki KANDA¹, Hajime CHIBA², Masashi YOSHIDA³ and Kiyohisa SHIMAZAKI⁴

Abstract

The waters facing the Marine Training and Research Center (MTRC) at the National Institute of Technology (NIT), Toyama College consist of a mixture of inflows from the Shinbori River, a timber pond and the open sea. In this study, we examine a particular current that is influenced by the combination of inflows and open seawater occurred in summer. This slow current, which flows westward at the speed of approximately 0.1–0.3 m/s, influences handling of small boats and the college training ship *Wakashio-maru* (231 GT) that operate from the MTRC pier. Accordingly, the authors conducted Conductivity, Temperature and Depth profiler (CTD), Electromagnetic current meter, and Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) observations of the marine environment of the flow in order to gain an understanding of the inflow waters such as their vertical formulations, seasonal variations, water structure, temperature, and salinity. The results of those observations revealed that the waters consisted of three layers, with the upper layer most influenced by the Shinbori River and the lower layer most influenced by the open sea. The middle layer was a mixture of both the upper and lower layers. It was also found that the borders of layers changed according to seasons, and that the flow was influenced by the tidal current at lower layer, the river water at upper layer and the topography.

Keywords : Navigation and earth environment, CTD, ADCP, Tidal current, Water mass structure

キーワード: 航海・地球環境、CTD、ADCP、潮流、水塊構造

1. はじめに

富山高等専門学校臨海実習場（以下、臨海実習場とする。）が、2015年3月に、Fig.1(a),(b)に示す富山湾沿岸部の富山新港入口付近から、南部の東水路奥部に移転した。この臨海実習場の前面海域は、富山湾からの流入海水と、Fig.1(b)に示す、近隣にある新堀川や貯木場からの低塩分水が混在している。ここで、夏場において、この外海水と低塩分水の共存影響と思われる、特異な流れが発生することが、しばしば見受けられた。具体的な状況としては、西向きの流れが発生して、カッター等の微速で航走する小型舟艇が、設定針路よりも西へ偏向する影響を受けていた。また、富山高専の練習船「若潮丸」（231t）が離岸の際、最後の係留索の張具合が強くなるといった影響が出ていた。

これらの流速は、こうした状況より 0.1～0.3m/s 程度と思えるが、小型舟艇の航行や大型船舶の離着岸等の微速航行の際の影響は無視できないものである。そこで、この海域の水塊構造や流れの海洋環境調査を行い、この海域に発生する特異な流れのメカニズムの解明を試み、臨海実習場船艇の安全航行に役立てることを目的としている。

この富山新港の外海である富山湾は、対馬暖流が沿岸部まで流れ込み、その上部に Fig.1(a)に示すように多くの河川水からの流入水が広がり、これらが場所的、季節的に変動していく状況が、千葉らのこれまでの調査^{(1),(2),(3)}で確認されている。そして、外海水と河川水が交わる河口域では、双方の密度差から、エスチュアリー循環を生じ、特異な流れが発生することが知られている⁽⁴⁾。

¹ 学生会員 富山高等専門学校 海事システム工学専攻 ms1512402@nc-toyama.ac.jp

² 正会員 富山高等専門学校 商船学科 chiba@nc-toyama.ac.jp

³ 正会員 サレジオ工業高等専門学校 機械電子工学科 ⁴ 非会員 富山高等専門学校 技術室

本論では、こうした知見から、臨海実習場前面水域における、流れのメカニズムの解明を試みる。

臨海実習場の平面配置図と観測点を Fig.1(c)に示す。図中の赤丸が水塊構造や流れの鉛直分布と季節変動特性の定点観測を行った、検潮室 (Tide station) 及び浮棧橋 (Floating pier) である。この海域の水深は、西側は約 6~8m、東側では約 4~6m である。しかし、浮棧橋の東側は、土砂等の堆積により約 2m 以下と非常に浅くなっている。この浮棧橋は、小型船でも航行困難な浅海部との境界を、水面に明確に示すため設置された。

2. 実地観測及び結果

2.1 観測 (固定点の電磁式流速計観測)

この臨海実習場の検潮室には、練習船「若潮丸」の入港支援を主目的として設置された、電磁式流向流速計 (JFE Advantech : INFINITY-EM、以下 EM current meterとする。) がある。この観測値は、臨海実習場内のPCでリアルタイムにモニターされ、データ記録も行っている。この流速測定は、海水が移動することによりセンサー中の磁束に生じる誘起電圧の変化から行い、このセンサーが直交して2軸あることにより、2つのベクトルより流向を求めている。絶対流向を算出する基準は、内蔵されている地磁気センサーである。検潮室の海側の窓より、手動によりセンサーを任意の水深に設置し、ここでの絶対流向流速を測定することが可能である。まずは、この EM current meter により、この実習場周辺の流れの鉛直分布、潮汐・風・河川水等との関係も把握を試みた。併せて、同時点で流れを起こす要因分析のために、CTD (Conductivity, Temperature and Depth profiler, JFE Advantech : RINKO-Profiler) 観測を行い、水温・塩分等の鉛直分布把握を試みた。この機器は、圧力・温度・電気伝導度センサーを搭載し、これから各水深の水温・塩分等の算出を行っている。これらの使用機器の主要目と観測範囲と精度を、Table1に示す。EM current meter は、流向流速の傾向の鉛直分布を知るために、センサー部分を表層の0.3m深から8m深まで、1m毎に移動させて観測した。各水深では、5分間の観測を行った。データ取得間隔は1秒である。CTDは、手動でロープを操作して、海面から海底まで垂直に降下し計測した。ここでは深度トリガーを0.1mに設定しての観測を行っている。深度のFSは600mで、センサーの水中投入時に深度の零点調整を実施している。

(a) Location of Toyama Shin-ko. and five big rivers, at the coast of Toyama Bay.

(b) Ex.(green point) and current(red point) locations of MTRC, NIT, Toyama College at Toyama Shin-ko.

(c) Arrangement of the facilities of MTRC and the observation points (red points) of this study, and the water depth contours by meters, and the shallow ~ deep blue areas means sea area with the depth.

Fig.1 Location of Marine Training and Research Center (MTRC), NIT, Toyama College and the observation points, "Tide station" and "Floating pier".

Table 1 Outline of EM current meter and CTD.

(i) EM current meter (JFE Advantech Co.: INFINITY-EM)

Items	Range	Mesurement accuracy
Current speed	0~±500cm/sec	±1cm/sec or ±2%
Direction	0~360°	±2°
Water temperature	-5~45°C	±0.02°C

(ii) CTD (JFE Advantech Co.: RINKO-Profiler)

Items	Range	Mesurement accuracy
Depth	0~600m	±0.3%FS
Water temperature	-5~40°C	±0.01°C (0~35°C)
Electric conductivity	0~70mS/cm	±0.01mS/cm

この観測を2015年10月から2016年6月にかけて実施してきたが、Fig.2に冬季、Fig.3に春季における観測結果例を示す。この観測を実施した日時、気象海象状況をTable2に示す。ここで、気温と風向風速は臨海実習場設置の観測機器、波浪の状況は目視で行った。潮汐の時間帯については、気象庁による富山新港の予測値を使用している⁽⁵⁾。

Fig.2ではEM current meterによる (a) Current velocity, (b) Current direction の2015年12月15日の観測結果を、縦軸のセンサー部の各設置水深におけるデータをプロットしている。(c) Scattered diagram では、0.5m深と6m深における、流向と流速観測値の散布図を示している。そして、CTD観測による(d) Temperature, (e) Salinity, (f) Densityの鉛直プロファイルを示している。これらのCTD観測値については、同時季の変動状況の比較のために、同年12月8日のデータも示している。

Fig.2(a),(b),(c)に示す流れについては、0.3m深においては、流速が約0.0～約0.1m/s程度、流向が約N～E、NW～Nにおいてばらついている。ここで、流向N～Eの流れは、この時がSW方向の風であったので、表層部における吹送流が発達したものと思える。そして、これとは別にNW～N方向の流れも存在し、Fig.2(d),(e)に示すCTD観測結果と比較すると、水深約1mまでは低水温・低塩分層が存在しており、河川水影響による流れと思える。これらの表層部の流れは、Fig.2(a),(b)に示すように、流速が約0.02m/s以下に非常に弱くなるが、1m深まで続き、2～5m深においては、流速が約0.04～0.06m/s、流向がE～NNEの範囲となっている。この深度範囲では、流速が非常に弱く、流向が不安定である。しかし、6m深において、流速は約0.0～0.02m/s以下と非常に弱い、Fig.2の(c) Scattered diagram に示す通り流向がE～SSEの範囲となり、ESEに強く分布している。

Fig.2(d),(e)のCTD観測結果を見ると、Table1に示す12月は気温が14～18℃であり、表層の水温が近い値になっているのが分かる。そして、水深が2～3mまでは温度・塩分共に水深に伴って急に増加し、この変化が5～6m深までは緩やかとなり、これ以深では一定となる傾向がある。CTD観測に

おける6～8m深の塩分は、富山湾沿岸部の水深約30m以深の観測値⁽⁶⁾である、約33.5～34.5に近い数値である。これより、港外の高塩分水とつながる深部にて、Fig.2 (f) Density に示す表層より高い密度 (σ で約23.8～24.4)の水塊で、潮汐影響が強いことが推測できる。そして、干潮から満潮の上げ潮時では、この富山新港東水路では東向きとなる、港口から港奥に向かう流れとなると思える。従って、6m深の流れは潮汐影響による、上げ潮の東流と判断している。この深部の潮汐に伴う流れは、Fig.2(d),(e),(f)に示す、12月8日と15日のCTD観測結果が類似した傾向を示すように、冬場に共通した現象であった。

こうして、この水域の水塊構造は、表層の河川水影響が強い水塊、底部の外海からの海水の影響が強い層、そして表層部と底部間の混合領域の3層構造と定義できる。そして、この境界線が、約1～3m深、5～6m深である。この境界は、Fig.2 (a), (b) に示した、流れの傾向変化の境界線とも一致するものである。

Fig.3はFig.2と同様に、2016年5月9日の観測結果を示している。Fig.3(d),(e),(f)に示すCTDデータでは、冬季との比較のために、Fig.2で用いた12月15日のデータも示している。まず、0.3m深においては、Fig.3(c) Scattered diagram より、流速が約0.04～約0.16m/s程度、流向が約W～NNWの流れが確認できる。これが、カッターを西向きに偏向させる流れとなっていた。この春季より、この西向きの流れが頻繁に発生するようになり、夏季により顕著になっていく。そして、1～3m深では、表層とは逆方向の東向きの流れとなっている。Fig.3の(c) Scattered diagram にて2m深では、流速約0.02～0.06m/sで、流向E～SEとなっている。これは、Fig.2における6m深の流れと同様、上潮に伴う港口から港奥に向かう流れであり、潮流影響と判断できる。この流れは1～3m深においては、流速が約0.04～0.06m/s、流向がE～NNEの範囲となっている。また、4～8m深では、流速が約0.02m/s以下と非常に弱く、このため流向も不安定である。

ここで、CTD観測結果を見ると、4～5月で気温が上昇し、新堀川からの流量も増えるので、Fig.3

Table 2 Date and weather, wave and tide conditions at the observations of EM current meter.

	Time	Wind direction	Wind speed	Air temp.	Wave	Tide
Dec.15,2015	13:20～13:55	SW～NW	3.0～4.0m/s	14℃	Very smooth	Low(12:00, 5cm)→High(18:00, 26cm)
May 9,2016	11:40～12:25	North	4.0m/s	17℃	Very smooth	Low(11:00, 15cm)→High(15:00, 28cm)

(d) Temperature より表層水温が上昇し、(e) Salinity より表層塩分が低下しているのが分かる。表層の塩分は約 8~10 であり、河川水影響が非常に強いことが分かる。この水温と塩分が鉛直方向に急激な変化をしている境界線は、1~2m 深であると言える。また、特に水温は 5m 深まで降下を続け、これ以深では一定となる。塩分も、2~5m 深まで緩やかな上昇を行い、5m 以深では一定となっている。ここで、(f) Density で確認すると、1~2m 深、4~5m 深で密度変化の境界があることが分かる。こうして、この水域の水塊構造は、表層の河川水影響が強い水塊、底部の外海からの海水の影響が強い層、そして表層部と底部間の混合領域、の 3 層構造と定義できる。そして、この境界線が、約 1~2m 深、4~5m 深である。この境界は、Fig.3 (a), (b) に示した、流れの傾向の境界線とも一致するものである。但し、冬季と春季の 3 層構造を比較すると、春季は表層が高温・低塩分で成層しているために、この下部の混合層は、底部の海水と密度が近い海水となっている。CTD 観測における、5 月 9 日の 2~8m 深の塩分は、冬季と同様に、富山湾沿岸部の水深約 30m 以深の観測値⁽⁶⁾である、約 33.5~34.5 に近い数値である。これより、この層において、潮汐影響が強いことが推測できる。

ここで、Fig.3(f) Density のグラフで、12 月 15 日と 5 月 9 日を比較したものにおいて、12 月 15 日の潮汐影響が大きい 6m 以深での密度は約 23.8~24.4 で、一定であり、この上層では密度が緩やかに低下している。5 月 9 日では、約 2~4.5m 深では密度が約 24.5~25.2、約 4.5~8m 深では密度が約 25.5 までに上昇している。そして、約 2m 以浅では密度が急激に下降している。5 月 9 日のように春季においては、中間層において、潮汐影響による流れの影響が顕著になっている。これは、港外と港内の、成層状況や鉛直混合の状況の差異による、密度差のバランスより、この中間層において、潮汐影響の流れが起こりやすく、その下層で流れが滞り状況になっているものと思える。この海域では、春季になり、河川水の流入量が上がると同時に、土砂や栄養塩の流入量も増加している。こうしたことで、底部では土砂や植物プランクトン、またその死骸等の影響で流れにブレーキがかかっていることも推測できる。

こうした結果より、この海域は河口域としてのエスチュアリー循環の特性⁽⁴⁾を持っていることが

判明した。下層は外海と近い温度・塩分であり、これは潮汐に伴い、約 0.05~0.1m/s 以下の非常に弱い流れであるが干潮から満潮時には東向き、満潮から干潮は西向きの流れとなっていることが分かった。また、上層は河川水や風の影響で、下層とは異なる流れとなっていることが確認された。特に、春から夏場にかけては、上層に低密度の海水が成層し、この水塊が動きやすくなっていることが推測される。

2.2 観測 (ADCP による流れの鉛直分布の連続観測)

2.1 において、EM current meter と CTD を用いた観測により、この実習場近辺の流れと水塊構造の鉛直分布を観測し、潮汐変化や河川水流入との関連性を考察した。次に、1 日以上の時系列的な変化傾向を把握するために、超音波式多層流向流速計 (Acoustic Doppler Current Profiler、以下 ADCP とする。: RDI Workhorse 1200kHz) での連続観測を行い、この海域の長期的な流れの変動状況の把握を試みた。この機器は、海底や海面での設置を行い、鉛直方向に複数の超音波ビームを発射し、水中の懸濁物質等からの反射波の強度とドップラーシフトより、流向及び流速を多層的に計測ができる。今回使用した ADCP は、1200kHz の周波数で 0.25m の間隔で計測している。Table3 に使用した ADCP の観測範囲と精度を示す。これまで千葉らは、この機器により富山湾沿岸部で多くの観測を行い、CTD 観測と併せて流れの現象解析を実施してきた⁽⁶⁾。ADCP の設置場所は Fig.1 (c) の“Floating pier”に示す赤点で、岸壁から浮桟橋の渡り通路から、海底にビームを上向きになるよう固定設置した。ここで、一番近い壁面や桟橋固定のチェーン等からは数 m 以上は離れていて、4 本の各ビームの反射強度状況等を分析して、これらの反射波による誤差影響が無いことは確認できた。これまでの海底固定設置により ADCP を用いた観測から、30~50 ピングでの平均化処理したものを 1 アンサンブルとして、横軸を時間、縦軸を水深とした、流向流速分布のコンター図を作成して、この流れの特性の考察を誤差評価も含めて行う。

そこで、今回は、0.6 秒間隔で 50 ピングの発信を行い、これを 1 アンサンブルとした。そして、この 1 アンサンブルを 3 分ごとに実施している。

Fig.2 Measured results of EM current meter((a) current velocity (b) direction and (c) Scattered diagram on Dec.15, 2015) and CTD ((d) Water temperature, (e) Salinity and (f) Density on Dec.8 and 15, 2015), in winter.

Fig.3 Measured results of EM current meter((a) current velocity (b) direction and (c) Scattered diagram on May.9, 2016) and CTD ((d) Water temperature, (e) Salinity and (f) Density on May 9, 2016, with compare result on Dec.15, 2015.) in spring.

ここで、Table3 に示すように、単ピングでの流速観測の精度が 0.182m/s なので、理論上の 1 アンサンブル観測精度は、0.182 を 1 アンサンブルのピング数 (50) の平方根で除した値となるので、 $0.182\text{m/s}/(50)^{1/2} \approx 2.57\text{cm/s}$ となる。

Table 3 Outline of ADCP (RDI Workhorse 1200 kHz)

Items	Range
Transmission center frequency	1200kHz
Constant layer thickness	0.25m
Maximum measurement distance	20m
Standard deviation at one ping	0.182m/s

① ADCP 観測 I (7 月)

2016 年 7 月 12 日から 15 日にかけて ADCP を浮桟橋下の海底に設置しての観測を実施した。また、この ADCP 観測の開始前後に同海域での CTD 観測を行っている。Fig.4 に 12 日 14 時から 13 日 14 時にかけての時間帯を抜粋した ADCP 観測結果と、CTD 観測による水温・塩分を示す。

ADCP 観測結果は、横軸を時間として、(a) Current direction は $0 \sim 360^\circ$ 、(b) Current velocity は $0 \sim 300\text{mm/s}$ を色分けして示している。縦軸は、反射強度が強い位置から確定した海面からの水深を示し、この縦軸を併せて、CTD 観測の (d) Temperature, (e) Salinity を示した。

ここで Fig.4(d),(e)に示す CTD の観測値は、7 月 12 日の ADCP 観測開始時から 7 月 15 日の ADCP 観測の終了時の値を示している。これより、この期間において、水温・塩分の鉛直分布に大きな差は無く、約 2m 深と約 4m 深を境界とした 3 層構造であることが確認できる。また、表層の水温が約 26°C まで上昇し、塩分が 16 と低く、夏場の高温と河川水影響が強く出ていることが確認できる。そして、(c) Water temperature and Tide level は、ADCP の超音波ビーム発信部に設置された水温センサー（水深約 6m）の観測値と、気象庁による富山新港の水位予測値⁽⁶⁾を、横軸を同一にして示す。

まず、Fig.4(a),(b)で示す ADCP による流向・流速の観測結果より、表層において、流速約 $0.2 \sim 0.3\text{m/s}$ 以上の西向きの流れが顕著だと分かる。そして下層では、白点線の丸印で示したように、流向が数時間の周期で変化している傾向が伺える。ここで、干潮から満潮に向かう範囲では、流向が東向きの傾向であることが分かる。

また Fig.4(c)Water temperature and Tide level で示す、この時間帯で 2 度目の干潮から満潮へ向かう、13 日 2 時から 10 時の時間帯では、(b) Current

velocity の表層の黄色点線丸印で囲った範囲で、流速が約 $0.2 \sim 0.3\text{m/s}$ に上がっていることが分かる。Fig.4(d),(e)で示す CTD 結果より、この流れが発生している表層から水深約 2m までは、高温度・低塩分で成層していることが分かる。これより、潮高差が大きく、潮流影響が大きいときに、上層の密度の低い水が流動を起こしやすい状況になっていることが推測される。これは、Fig.1 (c) に示す水深が浅くなる浮桟橋近辺の水路端部において、下層東流と上層西流の循環が起こっているものと推測される。また、(c) Water temperature and Tide level より、この満潮時においては、海底付近の水深センサー部で水温が、約 1°C 程低下しているのが確認できる。

② ADCP 観測 II (8 月)

次に、2016 年 8 月 3 日から 10 日にかけて ADCP を、7 月と同じ場所に設置して観測を行った。Fig.5 では、3 日 20 時から 4 日 8 時の ADCP データを抜粋して示している。ADCP データの (a) Current direction, (b) Current velocity, (c) Water temperature and Tide level、CTD データの (d) Temperature, (e)Salinity の表記方法は、Fig.4 と同一である。CTD の観測値は、8 月 3 日の ADCP 観測開始時から 8 月 10 日の ADCP 観測の終了時の値を示している。これより、この期間においては、水温が約 $1 \sim 2^\circ\text{C}$ 上昇しているのが分かるが、水温・塩分共に鉛直分布の変化傾向に大きな差は無い。そして、Fig.4 に示した 7 月と同様に約 2m 深と約 4m 深を境界とした 3 層構造であることが確認できる。ここで、表層の水温が約 29°C まで上昇し、塩分が 14 と低く、夏場の高温・低塩分の成層が強化され、河川水影響が強く出ていることが確認できる。

ここで、(a) Current direction より、表層部は一樣に西向きの流れが見られ、流速は $0.1 \sim 0.3\text{m/s}$ の速さがある。これは CTD 観測による水温・塩分より、表層から水深約 2m までの成層の範囲と一致している。しかし、この下層の流れの、数時間周期での流向変化は、Fig.4 の場合に比べて顕著で無く、潮流との相関性が確認できない。ここで、Fig.4 (b)と Fig.5 (b) に示す流速分布を詳細に確認すると、ほぼ一定の流向が確認できる流速の閾値が、約 5cm/s 以上であることが分かった。元々、こうした弱い流速に対しては、先に示した理論上は約 2.57cm/s の観測精度の状況では、これらのコンター図での把

Fig.4 (Left) Measured results of ADCP, (a) Current direction, (b) Current velocity and (c) Water temperature, compared with predicted water level by Japan Metrological Agency (JMA)⁽⁵⁾, July 12-13, 2016. (Right) Vertical profiles of (d) Water temperature and (e) Salinity by CTD measurement on July 12 and 15, 2016, start and end day of ADCP measurement.

Fig.5 (Left) Measured results of ADCP, (a) Current direction, (b) Current velocity and (c) Water temperature, compared with predicted water level by Japan Metrological Agency (JMA)⁽⁵⁾, Aug. 03-04, 2016. (Right) Vertical profiles of (d) Water temperature and (e) Salinity by CTD measurement on Aug. 03 and 04, 2016, start and end day of ADCP measurement.

握は、Fig.4 に示すレベルが限界と言える。

そこで、ADCP に設置されている温度センサー（水深約 6m）の計測値と、富山新港の水位予測を、Fig.5 (c) で比較してみると、Fig.4 (c) と同様に干潮時に水温が上がり、満潮時に水温が下がるという現象が確認できた。これは、底部まで高温となっている水塊に、外海から温度の低い海水が浸入することにより起こる現象と思える。ここで、流速が約 5cm/s 以下と非常に弱い状況であるが、干潮から満潮において、東向き流入が存在することが確認された。そして、この水温低下が起こっている、干潮から満潮へ向かう、3 日 22 時から 4 日 2 時の時間帯では、(b) Current velocity の表層の黄色点線丸印で囲った範囲で、流速が約 0.2～0.3m/s に上がっていることが分かる。

こうして、この 8 月の観測時においても、水路端部において、下層の東向きの流れに、表層の軽い水塊が押されている循環が発生していることが推測できる。

3. 流れの発生する現象についての考察

2 章で示した観測より、当研究で対象としている水域は、表層は河川水、その下層は外海と同密度でつながる海水影響が大きく、その間に混合層がある。この各層において、風、潮流、水塊の密度差等が要因となり、各層で異なる流れが発生していることが確認できた。そして冬季と春・夏季

では、この 3 層の境界位置が変化することを確認した。Fig.6 に、こうした観測結果から推測できる、ここで起こる流れの発生機構について、冬季と春・夏季、干潮から満潮時の上潮が東向きとなる場合について示した。

冬季の場合、水塊の境界は約 1～2m 深と 5～6m 深であり、表層部は貯木場・新堀川からの低塩分水の流入により西向きの流れ (Fig.6 の(a)) が発生するが、冬季の季節風や富山湾では定常的に発生しているうねりの侵入の影響で、この西向きの流れがハッキリしない場合が多い (Fig.6 の(b))。中層部の流れは不安定であり (Fig.6 の(c))、下層部は、約 0.05～0.1m/s 以下の弱い流速であるが、潮汐影響により干潮から満潮では東向きの流れが発生している (Fig.6 の(d))。

春・夏季では、水塊構造の境界は約 1～2m と 4～5m の 3 層構造になっている。まず、表層部は、気温上昇と河川水量の増加のために、高温・低塩分の密度が低い状態で成層している。この成層は、夏季には非常に強くなる。そして、こうして成層した水塊が、栈橋から東側の浅水域に溜まっており、これが西方に流れ出ていると考えられる (Fig.6 の(e))。ここが浅海域であるのは、土砂が堆積しやすい場所であるので、流入してくる河川水が澱む状況であることが伺える。この下層では、干潮から満潮の場合は東向き流れが発生している

Fig.6 The estimated vertical current structures in winter and summer, from the observation results in this study, at the case of Low⇒High water.

(Fig.6 の(f))。約 4~5m 以深では、流れは不安定となっている (Fig.6 の(g))。ここで、干潮から満潮の場合、この潮流の流れが、水深が急に浅くなる浮桟橋近辺において、上方に行き、上層部の密度の低い水塊を押し出し (Fig.6 の(h))、表層の西向きの勢力が強くなると考えられる。

4. おわりに

この春から夏場に顕著となる西向きの流れは、上層が低密度で成層する時期に発生しやすい現象である。そして、下層で干潮から満潮に伴う東向きの流れがあり、これが地形性効果で港の東端部で上方に行き、上層部の西向きの流れの勢力を増加させる。これにより、カッター航行や、大型船の離着桟橋に影響を受けるような、約 0.1~0.3m/s の流れが発生すると推測できた。

ここで、日本海特有の 10~20cm 程度の小さい潮高差による弱い潮汐流でも、こうした流れに強い影響力を与えていることもわかった。

今後は、続けて観測及びデータ分析を実施し、流れの発生条件をより明確にしていき、この予測技術の確立にも展開していきたい。特に、今回の観測では、考察まで至らなかった、満潮から干潮時における、表層から下層における、流れの構造と発生メカニズムを解明していきたい。また、こうした流れの水平的な分布についても把握したい。

今回の観測と考察で得た知見より、浮桟橋付近で上層と下層の水温と塩分状況の連続モニタリングを実施すれば、こうした流れの現象を予測することが可能である。この観測を複数点のネットワークで行えれば、より有効であると思える。既に、こうしたシステムの構築⁽⁷⁾にも取り組んでいる。

また、こうした現象は、日本全国の各地の港で発生していると思える。全長が 100m 超えるような大型船の場合、入港時に岸壁や係留ブイに近づく際、接岸スピードは 3~6 cm/s であり⁽⁸⁾、微速の流れでも大きく影響するものである。ベテランの水先人の事例報告⁽⁹⁾では、港内での予測しない局所的な流れが、操船に影響を与えた事例が多くあるが、ここで港内における河川水の影響が大きいことが指摘されている。具合的な事例としては、名古屋港入港の際、航路の予測潮流は東向きだったにも関わらず、河川の近くにある目的のブイ周辺になると、西向きに流され、ブイに近づくことが困難だったことが報告されている⁽¹⁰⁾。また、大

型船の微速操船では、上層と下層の流れが違う状況を考慮することの必要性も提言されている⁽¹¹⁾。

本研究では、こうした大型船の入港操船やシミュレータ訓練の設定に、有効な情報を提供していきたいようにも努めていきたい。

5. 謝辞

富山高等専門学校の臨海実習場技術職員の皆様、平成 28 年度商船学科卒業生の池畑裕太郎学生と藤澤映歩学生には、観測に多大にご協力を頂き、ここに謝意を表します。本研究の一部は(公財)環日本海環境協力センターの「富山湾プロジェクト」、平成 26 年度採択の科学研究費補助金(15K06625)「河川水と海流が複合影響を及ぼす沿岸域における海水構造・流動の特性把握」によるものです。

6. 参考文献

- (1) 千葉元・道田豊・古山彰一・橋本心太郎：「船舶搭載型 ADCP で捉えられた富山湾の流れの特性－夏期湾奥部で発生する反時計回りの渦について－」，海洋調査技術 27(2)，pp.1-14，2015.9.
- (2) 千葉元・浜田健史・道田豊・橋本心太郎：「船舶搭載型 CTD・ADCP による富山湾の海洋環境調査」，日本航海学会論文集 132，pp. 86-96，2015.7.
- (3) (公財) 環日本環境協力センター：「平成 27 年度環境省請負事務 北西太平洋地域海行動計画活動推進事業報告書」，(公財) 環日本海環境協力センター，2016.3
- (4) 宇野木早苗：「海の自然と災害」，成山堂書店，pp.229-234，2014.6.
- (5) 気象庁 HP・潮位表：<http://www.jma.go.jp>
- (6) 千葉元・古山彰一・道田豊：「海底設置型 1200kHz ADCP を用いた極沿岸域の流れ場計測」，日本海洋学会 2014 年度春季大会 118，2014.3.
- (7) Masashi Yoshida, Hajime Chiba and Yuki Kanda, “WSN Using the Small Buoy for 3-D mapping of a Coastal Area”, IS-GNSS, 2015.11.
- (8) 近藤信夫・今西邦彦：「瀬戸内海の気象と海象 第 6 部 瀬戸内海の水先案内」：海洋気象学会，pp.195-209，2013.1.
- (9) 石畑崔郎：「操船実学」，成山堂書店，2006.4
- (10) 同上 p.4 (11) 同上 p.275