

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：53203

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06625

研究課題名(和文) 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

研究課題名(英文) Ocean Environmental Survey for water structure and flow characteristics at coastal area which are influenced by combined river and ocean waters.

研究代表者

千葉 元 (Chiba, Hajime)

富山高等専門学校・商船学科・教授

研究者番号：20369961

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：まず、富山新港奥部に発生する、特異な流れについての調査を行った。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。これより、約0.1～0.3m/sの流れが発生すると確認できた。ここで、日本海特有の10～20cm程度の小さい潮高差でも、こうした流れに強い影響力を与えることが分かった。一方、こうした知見を活かし、宮城県山元町周辺海域において、流入河川水が海流と複合して、流れや水塊構造の鉛直分布へ与える影響の調査を行った。

研究成果の概要(英文)：We examine a particular current, at Toyama New Port, that is influenced by the combination of inflows and open seawater. This current occurs in summer and flows westward at the speed of about 0.1-0.3 m/s. We conducted CTD, Electromagnetic current meter, and ADCP observations of the marine environment for the flow in order to gain an understanding of the vertical formulations and seasonal variations. The results of those observations revealed that the waters consisted of three layers, with the upper layer most influenced by the river and the lower layer most influenced by the open sea. 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. We also had the observations at coast of Yamamoto-cho, Miyagi Prefecture and analyzed the characteristics of the flow and water structure. These are also influenced by combination of river and open sea waters.

研究分野：海洋環境計測

キーワード：エスチュアリー循環 CTD ADCP 電磁式流速計 水塊構造 海流 潮流

1. 研究開始当初の背景

富山湾は、大陸棚の発達が少なく、陸岸から海底へ向けて急峻に落ち込む海底地形となっており、陸岸から5海里程離れると水深が約500m～600mを超える深海域が広く存在する。また、富山湾には日本海を北上する対馬暖流が厚さ100～200m深で定期的に湾内に侵入し、対馬暖流層が形成されている。一方、富山湾には立山連峰に源を発する河川が多く流入し、これが塩分の低い沿岸表層水域を形成している。こうした海底地形特性と、海水構造は、富山県沿岸部に発生している、海流、潮流に伴う潮流、風に伴う吹走流、並びに水温や塩分勾配による密度流等に様々な影響を与えていると思える。

公益財団法人環日本海環境協力センターでは、富山湾の海洋環境の保全を目的として、平成15年度より「富山湾プロジェクト」を実施している。富山湾の広範囲な海水温度やクロロフィル濃度等の分布は、人工衛星リモートセンシングが可能である。申請者は、富山高等専門学校が所有する練習船・実習艇を用いて、上記の人工衛星データのリファレンスとしてシートルースデータの収集を行っている。平成15～18年度に渡るデータを解析した結果、海潮流、河川水流入、海底地形等に起因すると思われる海水流動の季節・時間・場所的特性が明らかとなった。そこで、平成19～20年度においては、科学研究費補助金「富山県沿岸域の海潮流の季節・場所的変動特性の実船観測と数値シミュレーション」(基盤研究(C):課題番号19560806)により、観測船に小型 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) を設置して、海潮流の流向流速の定量的な観測を行った。また、この現象に対する数値シミュレーションも実施してきた。しかし、①富山湾沿岸部の海底地形が複雑であること、②解析対象とする海流・潮流・河川水流入の現象が常に変動している、③観測周期が離散化していることから、目標とした富山県沿岸域の海潮流の季節・場所的変動特性の実用的な把握には、まだ十分に到っていない状況であった。そこで、平成21～24年度においては、科学研究費補助金「富山県沿岸域の海潮流の発生メカニズムの解明と予測技術の確立」(基盤研究(C):課題番号22560860)にて、富山県沿岸域の極沿岸域の数箇所の定点に海底設置型 ADCP を設置して、連続観測を行い、流れの時間変化特性の解析を行った。この成果として、④潮汐流や海流の影響、⑤強風時の吹送流の発生状況、⑥河川水量の変動による流れの変化特性、等のメカニズムの解析と考察が行えた。また、こうした活動を通じて、当該研究グループは CTD (Conductivity, Temperature and Depth profiler) や ADCP を用いた、高い海洋環境観測技術を有している。こうした技術を期待され、研究代表者の千葉は、宮城県磯浜漁港の震災復興促進プロジェクト (JST 復興促進センター平成26年度第一回採択課題:「漂砂機構解明

のための海底流調査及び動的データの活用」(課題番号:H26 仙 I-705, 実施時期平成27年3月まで)に採択されている。このプロジェクトの目的は、東北大震災以来、磯浜漁港周辺海域での海潮流特性が地盤沈下影響により大きく変化したことにより、漁業に大きな支障を及ぼしているために、海潮流とこれに起因する漂砂の発生メカニズムを解明することである。ここで、平成26年8～10月に、富山高専所有の観測機器により、現地海域での調査を行ったが、沖合から沿岸部に侵入する海流、阿武隈川等からの河川水流入が、複合して影響していることが確認できた。

2. 研究の目的

この研究の意義は、定性化が困難であると言われている、沿岸域の海潮流や水塊構造の発生及び変化の特性を明らかにすることである。そこで、これにより、以下の分野への貢献が期待でき、この成果は宮城県や岩手県の漁港の復興支援に直結できるものである。

- ・船舶運航
- ・防災(海岸侵食、高波や高潮の発生)
- ・漁業(最適魚場の移動及び選定)
- ・海岸施設の最適設計(漂砂の予測)
- ・海洋環境保全(富栄養水の海洋への拡散)
- ・漂流物の移動予測(事故流失・ゴミ等の漂流)

また研究の特色・独創性としては、富山県、宮城県の双方の沿岸部での特性解析を比較して行うことにより、海流(対馬暖流、親潮)と河川水が複合する海域における、より具体的な流れの発生メカニズムの考察が期待できる。加えて、沿岸部海洋観測における、無線センサネットワークのプロトタイプ及び設計指針の構築を行う。

3. 研究の方法

これまで行ってきた、大型船による富山湾全域における広域観測、小型船による沿岸域観測を継続して実施して、富山湾の全般的な流れの発生状況の把握を行う。そして、この発生要因のキーポイントとなる、極沿岸域の海洋環境特性について、ADCPの定点設置の連続観測と、水温・塩分計を搭載した無線データ伝送ブイによるセンサネットワーク構築による面的観測を実施していく。まずは、富山湾沿岸部で、これまでの観測経験から重要と思われるポイントでの観測を実施し、流れの原因究明の基礎データを取得していく。こうした技術を持って、宮城県磯浜漁港周辺海域の観測を実施し、ここで発生している流れの原因究明を行っていく。そして、双方で得られた結果を総合して、数値シミュレーションの入力初期条件となる基礎データを構築していく。また、海洋観測のための、最適なセンサネットワークの構築手法についてもまとめていく。

4. 研究成果

(1) 富山新港における観測

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、富山湾沿岸部の富山新港口付近から、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、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指した。

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、これまでの調査で確認されている。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。

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、この実習場近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。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。そして、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。

一例として、2016年7月12日から15日にかけてADCP観測を実施し、この観測の開始前後に同海域でのCTD観測を行っている。図1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0~360°、(b)Current velocityは0~300mm/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(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°C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、図1中の(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0.2~0.3m/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(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0.2~0.3m/sに上がっていることが分かる。(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・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、(c)に示す水深が浅くなる浮棧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。

こうした観測より、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。図2に、ここで起こる流れの発生機構を、冬季と春・夏季、干潮から満潮時の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(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(b)。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(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(e)。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(f)。約4~5m以深では、流れは不安定となっている(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栈橋近辺において、上方に行き、上層部の密度の低い水塊を押し出し(h)、表層の西向きの勢力が強くなると考えられる。

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ることもわかった。

尚、こうした現象の検知を行うためには、鉛直及び水平方向に複数の流速計の設置が必要であるが、水温・塩分センサーの設置で予測を行うことも可能である。これを実現する、無線ブイによるセンサーネットワークの基礎実験も実施した。

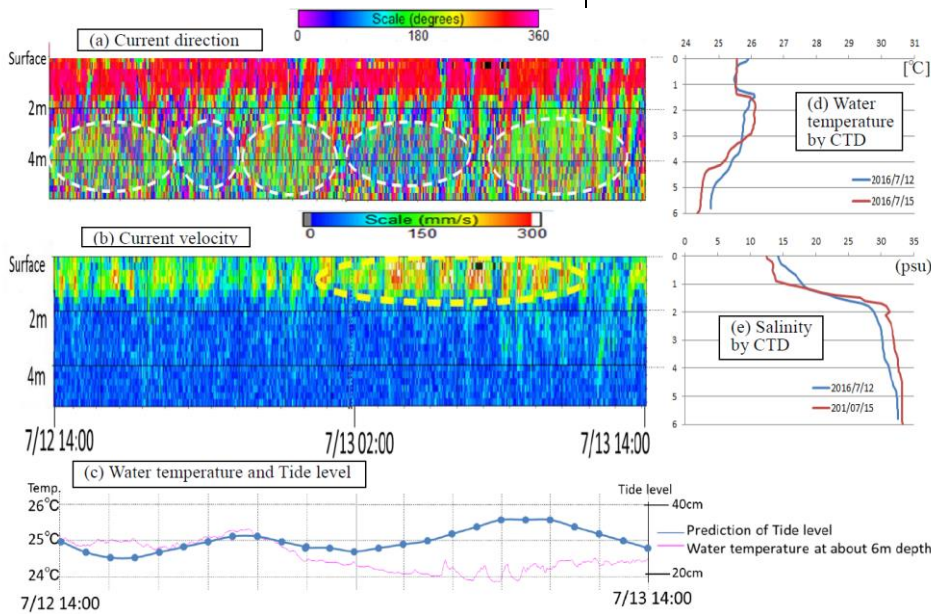


図1 (左)ADCP観測による、(a)流向(b)流速(c)水温と潮汐との比較、(右)CTD観による(d)水温(e)塩分の鉛直プロファイル(ADCP観測開始と終了時)

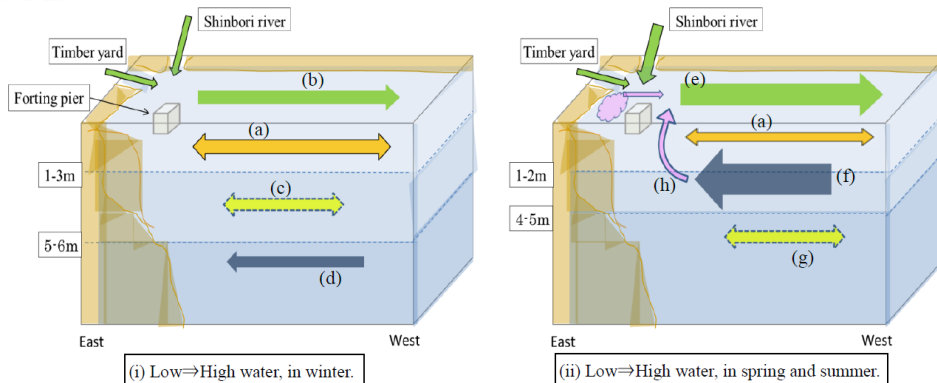


図2 観測結果より考察された、上げ潮時における、夏季と冬季における特異な流れの発生メカニズム

- (a) Surface flow, influenced by weather and sea condition. (The influence by swell is notable in winter.)
- (b) Inflow from timber yard and Shinbori River.
- (c) Unstable flow, in mixed water layer.
- (d) Tidal current, below about 5~6 m depth.
- (e) The low-density flows by river water inflow, and the water is stagnated in shallow water area and veer west.
- (f) Tidal current, below about 1~2 m depth.
- (g) Unstable flow, under tidal current water layer.
- (h) Upward flow by change of water depth.

(2) 宮城県磯浜漁港周辺海域での観測

宮城県最南端に位置する山元町磯浜漁港は、昭和26年12月13日に漁港指定(第1種、農林省告示第447号)を受けている。ここで、漂砂対策が長年の大きな課題となっているが、確実な効果を得られていない。

東日本大震災の震源地は、当該漁港からほぼ真東にあたるが、外郭施設で最も損壊が大きかったのは漁港南側の南護岸であること。また、沿岸の砂は南から北に移動しており、移動量は南部で多く、北部は少ないことが知られている。これらのことは、沿岸流はもちろん沖合の海底構造等にも大きく起因しているのではないかと推察される。

ここで、JST復興事務所による、共同研究、「漂砂機構の解明のための海底流調査及び動的データの活用」が、平成26年9月から平成27年3月にかけて実施された。ここで、富山高専は商船学科の千葉教員が主導し、周辺海域でのCTD、ADCPによる、流れの場所・季節的変動特性と、この基礎データとなる、水温・塩分・クロロフィルa等の鉛直分布の観測を実施してきた。また、平成27年4月から平成29年3月においても、継続観測を実施してきた。

ここで一連の観測の成果として、図3に示す、磯浜漁港周辺海域における、海洋モデルを構築することができた。この海面には上層には、阿武隈川や坂元川等の流入水の影響による塩分が低い水塊が存在する。ここでは、河川水から多くの土砂や栄養塩が供給されていると思える。また、この下層では、海水層があり、海流や潮汐流の影響で、沖から岸に向かっての流れが顕著である。また、この海域では、遠方で発生した波浪が、長周期のうねりとなって、沖から沿岸に進入する 경우가、多くある。このため、海底の土砂、また上層の河川水から沈降してくる土砂は、沿岸部の浅海域に集積するものと思える。

こうした土砂や水塊構造は、魚介類の生態系に大きな影響を与えると思える。山元町磯浜漁港で水揚げされるホッキ貝は、その類を見ない味の良さから人気を博している。この味を求められて、過去に三重県に稚貝を分けたこともあったが、山元町に同等の味のものには育たなかったという。地元古老による言い伝えでは、山元海岸の海底に流れる阿武隈川からの滞(泥土流)によって育まれるものということであった。また、現在でも、坂元川河口部の浅海域に多くの稚貝が生息していることが確認されている。

そこで、この澱み領域の存在と、水塊構造、クロロフィルa、流れの状況を把握するために、平成29年2月から8月にかけて、CTD・ADCP観測を実施した。これらの過程で得られた、ADCP及びCTDデータと、主に潮汐変化や河川水流入との考察を行った結果について示す。CTD・ADCP観測は、2月、4月、8月に実施し、5月と7月には、CTD観測のみを実施している。これらの観測では、満潮

から干潮の下げ潮時、干潮から満潮の上げ潮時での観測及び考察を行うことができた。また、同時期に、部分的では上空からのドローン観測も実施している。

図4には、一例として、2017年4月21日に行ったADCP観測のデータより抜粋した、水深が約3~6mにおける、反射強度と流向のデータを示す。この時には、満潮の停潮時と、満潮から干潮の下げ潮時において観測を行っている。まず、下げ潮時の反射強度において、水深が約3mのエリアでは赤色が強く、これ以深においては、黄色から黄緑色の反射強度の小さい水塊が存在していることが分かる。上潮から満潮時においては、反射強度は全体的に小さく、流向を見ると緑色である南向きの流れが顕著であることが分かる。ここで、同時にCTD観測を行っているが、こうした流れを発生させる、海流や河川水を推測できる、水温・塩分傾向が確認されている。

こうしたデータより分析した、ここで発生している現象について、上げ潮時と、下げ潮時に分けて、それぞれ図5、6に示す。河川水影響が強い水塊は、塩分が少ないため標準的な海水より密度が小さくなり、上層に停滞する。この下層では外海とつながる海水が存在し、干潮から満潮時には、沖から陸へ向かう流れとなる。ここで、阿武隈川から供給される土砂や栄養塩が、潮汐に伴う沖から陸への流れで、坂元川河口部へ押し付けられる。そして、坂元川から供給される土砂や栄養塩とぶつかり合い、澱み領域を生じる。

そして、下げ潮時には、阿武隈川からの流れは、潮汐流の影響で沖側に移動していき沿岸部での影響は弱くなる。一方、坂元川からの流れは強くなり、ここから供給される土砂や栄養塩が、河口部近辺に供給される。これまでの観測結果から、総括的に見ると、坂元川の流れは、阿武隈川や海流の影響により河口部で澱みを発生し、ここでは、潮汐の影響で阿武隈川と坂元川から供給される土砂と栄養塩がブレンドされて存在するといえる。この海底部は、濁度と蛍光量が非常に高いため、細かい砂や栄養塩が豊富に蓄積していることが推測される。

これらの考察より、この海域における流れは、二つの系統の河川水、海流、波浪等の影響が、図3に示すように、鉛直方向に分散して影響していることが分かった。

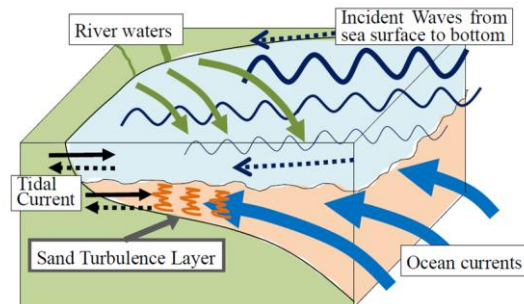


図3 観測結果より推測した磯浜漁港周辺海域の海洋モデル

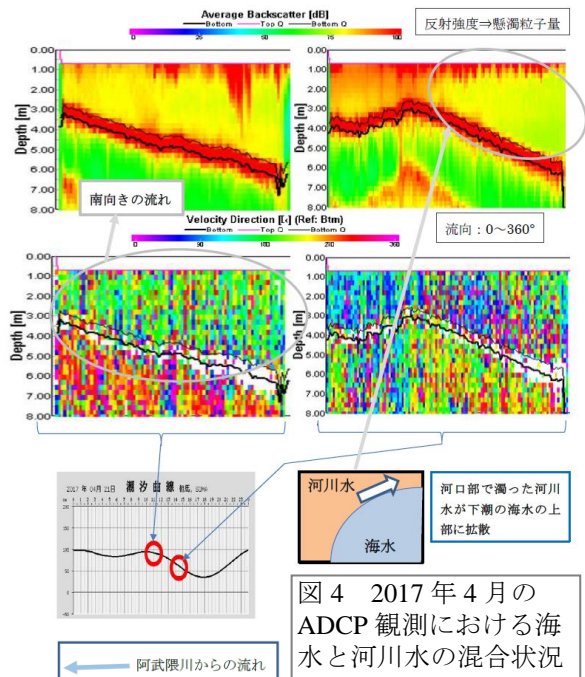


図4 2017年4月の ADCP 観測における海水と河川水の混合状況



図5 上げ潮時における流れの状況

阿武隈川から供給される土砂や栄養塩が、潮汐に伴う沖から陸への流れで、坂元川河口部へ押し付けられる。そして、坂元川から供給される土砂や栄養塩とぶつかり合い、濁み領域を生じる。

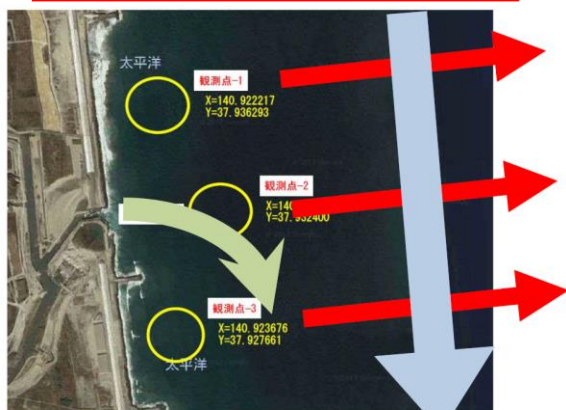


図6 下げ潮時における流れの状況

阿武隈川からの流れは、潮汐流の影響で沖側に移動していき沿岸部での影響は弱くなる。一方、坂元川からの流れは強くなり、ここから供給される土砂や栄養塩が、河口部近辺に供給される。

⇒坂元川の流れは、阿武隈川や海流の影響により河口部で濁みを生じ、ここでは、潮汐の影響で阿武隈川と坂元川から供給される土砂や栄養塩がブレンドされて存在する。

<引用文献>

- 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 29 年度 北西太平洋地域海行動計画活動推進事業報告書」, NPEC, 2018.3
- 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>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- ①神田侑希, 千葉元, 吉田将司, 島崎清寿, 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、日本航海学会論文集、査読有、Vol.136、, 2017.7、pp.98-106
DOI：<https://doi.org/10.9749/jin.136.98>

〔学会発表〕(計 1 件)

- ①池畑裕太郎, 千葉元, 神田侑希, 吉田将司, 富山湾沿岸部から富山新港内の海洋環境調査、日本航海学会 2017 年度秋季講演会、2017. 10

〔その他〕無し

6. 研究組織

(1)研究代表者

千葉元 (CHIBA, Hajime)
富山高等専門学校・商船学科・教授
研究者番号：20369961

(2)研究分担者

古山 彰一 (FURUYMA, Sho-ichi)
富山高等専門学校・電子情報工学科・教授
研究者番号：90321421

(3)連携研究者

吉田 将司 (YOSHIDA, Masashi)
サレジオ工業高等専門学校・機械電子工学科・講師
研究者番号：50446241

園田 潤 (SONODA, Jun)
仙台高等専門学校・知能エレクトロニクス工学科・教授
研究者番号：30290696

松浦 知徳 (MATSUURA, Tomonori)
富山大学・理工学研究部・教授
研究者番号：10414400

道田 豊 (MICHIDA, Yutaka)
東京大学・大気海洋研究所・教授
研究者番号：20323628