

# 富山湾の海水温度・塩分の季節変動特性 —第6報— —実習船「さざなみ」による海洋環境計測—

千葉元\*<sup>1</sup>, 金山恵美\*<sup>2</sup>, 田近茂樹\*<sup>2</sup>,  
東山茂勝\*<sup>2</sup>, 井口眞司\*<sup>2</sup>, 古山彰一\*<sup>3</sup>, 辻本良\*<sup>4</sup>

## Seasonal Variations of Sea Water Temperature and Salinity at Toyama Bay VI - Oceanographic Observation by Training Ship "SAZANAMI" -

CHIBA Hajime, KANAYAMA Emi, TAJIKA Shigeki, HIGASHIYAMA Shigekatsu,  
IGUCHI Masashi, FURUYAMA Sho-ichi and TSUJIMOTO Ryo

Water pollution in Toyama Bay has become a big issue. It is mainly caused by the water from big rivers flowing into the bay. Our research was made on board a training ship, SAZANAMI' from May, 2004 to Feb., 2010. In the research water temperature and salinity in the bay were measured at 9 fixed points at intervals of one month. The result, at from March, 2009 to Feb., 2010, shows that the water temperature and the salinity are influenced by seasonal water circulation and the river water. And, some influences by the river water of Jiuzu River are recognized. Also, ADCP observation, which is capable of resolving both speed and direction of the absolute water movements, has done at the cruising. In this paper, the datas obtained from the research and its result are shown.

Keywords : Oceanographic Observation, Toyama Bay, CTD, ADCP, Water pollution

### 1. はじめに

富山湾は本州日本海側のほぼ中央、能登半島の東側に位置し、湾口が北東に開いている外洋性内湾である。湾奥域の海岸線は単調な弓状をなし、大陸棚の発達が乏しく岸深であり、海脚や海底谷が数多く存在する。この湾奥域に流入する河川は、西から小矢部川、庄川、神通川、常願寺川、黒部川の5つの1級河川その他、中小29河川を数える。このように富山湾奥では陸からの淡水の流入量が多く、これらの河川を通じて、陸域から海域へ栄養塩類が多く供給されていると考えられ、また表層と深層とでは変化があると考えられる。水温の季節変化は、約100m以浅では気温の季節変化や表層水の影響が大きく、約200m以深で小さい。これまでの若潮丸のCTD観測でも、こうした傾向が確認されている。水深約200~300mでは対馬暖流水の影響が大きく、これが季節変動を行っている。

そして、より深い所は深層水領域となっている。

また、湾の流動は、密度の水平分布や流入河川水の移動方向から、基本的に反時計回り方向の流動が存在し、春から夏にかけて強まり、秋から冬には表層から中層の鉛直循環により弱まると考えられる。

平成16年度より(財)環日本海環境協力センターが行う「富山湾プロジェクト」に当校が参画することになり、実習船「さざなみ」を用いた海洋環境計測を行うこととなった。ここでは海洋汚染の防止のため、富山湾における、海水温度、透明度、塩分等の物理系のデータ、クロロフィル、各種リン等の化学系のデータを海上の広い範囲で取る事を目的としている。ここでは図2に示した定点について、基本的に各月一回の観測航海を行う事を目標としている。これまで、2004年5月か、2008年2月までの観測航海を実施してきて、各年度毎の考察を行ってきた<sup>(1)</sup>。また、2008年度より、「さざなみ」にADCPを仮設して、海水流動の流向流速の観測も行ってきた。本章ではCTD観測で得た海水温度及び塩分、ADCP観測で得た流向流速分布の考察を行う。

\*1 商船学科

e-mail: chiba@nc-toyama.ac.jp

\*2 技術室

\*3 電子情報工学科

\*4 財団法人環日本海環境協力センター

## 2. 富山湾の海洋環境特性計測

現在、(財)環日本海環境協力センターが中心となり推進している「富山湾プロジェクト」と、ここにおける「さざなみ」の活用について述べる。

### 2.1 富山湾プロジェクト<sup>(2)</sup>

日本海及び黄海の海洋環境保全を目的として、日本、中国、韓国及びロシアでは、北西太平洋行動計画(NOWPAP)に基づき、各種プロジェクトを進め、各国が役割を分担しつつ、同海域の環境保全に取り組んでいくこととされている。平成11年の政府間会合において、富山県が設立した(財)環日本海環境協力センターが特殊モニタリング・沿岸環境評価地域活動センターに指定され、平成13年度には調査研究の支援機関である富山県環境化学センターに衛星観測データの受信・解析装置(環日本海環境ウォッチシステム)を設置し富山湾をモデル海域としてシートルースデータ(実際に船を出して海で調査したデータをまとめたもの)と衛星データの関係を検討し、調査を行っている。

特に衛星画像と照合するシートルースデータの取得が重要である。衛星画像は海表面や海洋表層に対する面のみとしての活用となるが、シートルースデータならば鉛直方向の観測が可能である。ここで有効なシートルースデータを得るには、適当な間隔の海上定点の、適当な時間間隔での船上計測が重要である。

### 2.2 「さざなみ」の活用

図1の当校の実習船「さざなみ」は、主に商船学科の教育実習や様々な研究航海に利用する他、カッターレース大会、ヨット部やカッター部の海上系課外活動の支援に利用されている。

当船には、磁気コンパス・ジャイロコンパス・電磁ログ・レーダー・ロラン航法装置・無線方位測定機・音響測深儀・GPS航法装置・国際VHF無線電話機・風向風速計等多くの装置や機器等が積載されており、海洋環境計測に適したものである。

### 2.3 海洋観測航海

実際の観測航海の手順について示す。図2に示す観測ポイントまでの船の誘導は船上のGPSを用いて、緯度、経度共に0.1分以内の範囲で行えた。観測内容については天候・雲量は目視、気温・風向風速は船内機器で、表面水温は棒状温度計、透明度は透明度板で、海色は水色計により観測した。またポンプにより水深0.5及び2mから海水試料を採り、溶存酸素濃度、各形態別リン濃度、栄養塩類分等の分析を行う。



Dimensions	(L):16.0m,(B):4.10m,(D):1.22m
Gross tonnage	15tons
Service Speed	20.5knots

図1 「さざなみ」外観及び主要目  
(富山高等専門学校・射水キャンパスの臨海実習場に常時係留)

表1 2009年3月～2010年2月の観測概要

	月	日	天候	風向	風速(m/s)	気温	水温	雲量	採水Point	
2009年	3月	30日	b-bc	var.	Calm~3	7.1~8.3	9.2~11.0	2~3	1,3,6,7,8,K	
	4月	30日	bc	N-NE	Calm~3	13.5~15.8	14.3~15.3	2~3	1~9,K	
	5月	28日	o	N-NE	2~3	16.5~17.1	18.0~19.0	10	1,3,6	
	6月	26日	bc	W-SW	2~8	23.4~28.1	21.7~24.6	2	1~9,K	
	7月	27日	o-r	N-NW	3~6	21.8~23.9	23.6~24.7	10	1~9,K	
	8月	26日	bc	N-NE	Calm~2	22.3~24.0	21.8~22.5	3~6	1~9,K	
	9月	28日	o	S-W	1~9	18.8~20.2	22.8~25.0	10	1,3,6	
	10月	30日	bc	S-W	1~4	18.5~21.2	19.3~20.8	4~6	1~9,K	
	11月	26日	b	SE-SW	Calm~2	12.0~15.2	13.6~17.7	1~2	1~9,K	
	12月	25日	b-bc	SW-SE	Calm~2	6.5~10.9	11.5~14.0	2~3	1,3,4,6~9,K	
	2010年	1月	29日	r-o-bc	S-SW	2~10	4.8~5.5	10.4~10.8	6~10	1,2,3,6
		2月	25日	o-bc	var.	3~12	10.8~14.5	9.8~11.4	5~10	1~3~9,K

鉛直分布を測定するために水中分光放射計 (Biospherical 社 PRR600) により水深 30m までの観測を行った。この計測のため、停船時には船首を太陽方向に立たせるようにした。そして、CTD (アレック電子製 AAQ1180) により海水温度、塩分濃度、濁度、クロロフィル a 濃度の水深 50m までの観測を行った。ここで停船時に風が強い場合には船が横流れし、センサーを吊るすケーブルも横に流され、100m を有するケーブルが水深約 30m 程度にしか到達しない場合があった。

尚、毎回の観測航海は 8 時 30 分過ぎには出航し、最初のポイントである St. 6 には 9 時頃到着し観測が始まる。ポイントの順番は図 2 に示す、6, 3, 1, 2, 5, 4, 7, 9, 8 と半時計廻りで行った。各ポイントにおける観測時間は 10 分程度である。そして、おおよそ 12 時 30 頃には観測完了、着岸は 13 時前後となるのが通例であった。また、衛星データとの比較が望まれるため、各回とも 2~3 日の候補日を設けて、その内の気象・海象条件がマッチする日を選定した。

### 3. CTD 観測結果及び考察

当学では練習船「若潮丸」により、新湊沖約 5 海里における CTD 観測を、水深約 700m、まで行っている。この季節変動特性については別に報告している<sup>(3)</sup>。この観測結果 (温度) より、夏場には太陽放射の加熱による水温影響が水深約 100m 程度まで直接的に及び、冬場の鉛直循環も約 100m 程度まで及んでいることが分かる。また塩分の観測結果から、夏場において対馬暖流水の影響が強い場合は、水深約 30~50m に及び、低塩分の沿岸表層水の影響が及ぶ範囲と接していることが分かる。これらと比較しながら、2009 年度の季節変動特性を考察する。次ページ以降の図 3 に海水温度、図 4 に透明度、図 5 に塩分の観測結果を示す。

#### 3.1 海水温度の特性

図 3 の海水温度データを見ると、表層の温度が約 20 度を下回り 10 数度以下となる 10 から 4 月までは、冬季の鉛直循環により海水温度が一定となる傾向が見えている。しかし、6 月においては、表層温度が 20~25 度の間となり、鉛直循環は見られない。例年のデ

ータを見ると、この 5 か 6 月において、冬場から夏場の傾向に変化していく。6~9 月においては夏場の傾向となるが、8 月が表層で約 25℃ の一番高温度の時期となっている。また、この 8 月のデータでは、どのポイントにおいても水深約 20m までが一定値を示している。これは透明度の図の注釈でも示しているが、この数日間で降水量が非常に少なかったため、河川水の流入も少なく一定値になったと思える。

全体的に見ると、特に沿岸部の St. 1, 2, 3, 6 においては水深約 10m までの温度変化が大きく、特に神通川や富山新港からの流出水が強く影響しているものと思える。同じ沿岸部でも、St. 9 では、こうした影響が小さい。また、St. 4, 5 は、ほぼ同様の傾向を示している。これより神通川から出た河川水が沿岸沿いに東方向に流入していることが推測される。これも例年通りの傾向であるが、この強さが年変動していることも考えられるので、今後、実情と原因を検証していきたい。

#### 3.2 塩分の特性

図 5 の塩分データでは、表層においては全体的な平均塩分より低めであり、水深が深く成るにつれて上がってくる傾向がある。そして、これらの値は水深が約 200~300m に存在する対馬暖流水の値に収束していくものと推測できる。全体的に見ると、水深が約 20m 以上においては 6 月が 34PSU 以上の高塩分のピーク時であることが分かる。また、透明度が高い 8 月においては、水深が約 30m において、33PSU 程度の低塩分から 34PSU 以上の高塩分にシフトしていくのが確認できる。また 7 月においては、表層から水深約 10m において、30~33PSU の低塩分層が広く分布していて、特に St. 4, 5, 7, 8, 9 で顕著に見られる。この観測の一週間程前は降雨日が多く、この影響が表層に出ているものと思える。神通側河口から沖合いに離れる、St. 3, 4, 5 においては、冬場の鉛直循環の状況を見ると、沖合いに行くにつれて、河川水の影響が減っていく全体傾向が見られる。St. 7, 8, St. 9 では、この傾向がさらに弱くなる。これは、湾内の半時計廻りの海流の影響と思える。これは例年通りの傾向である。

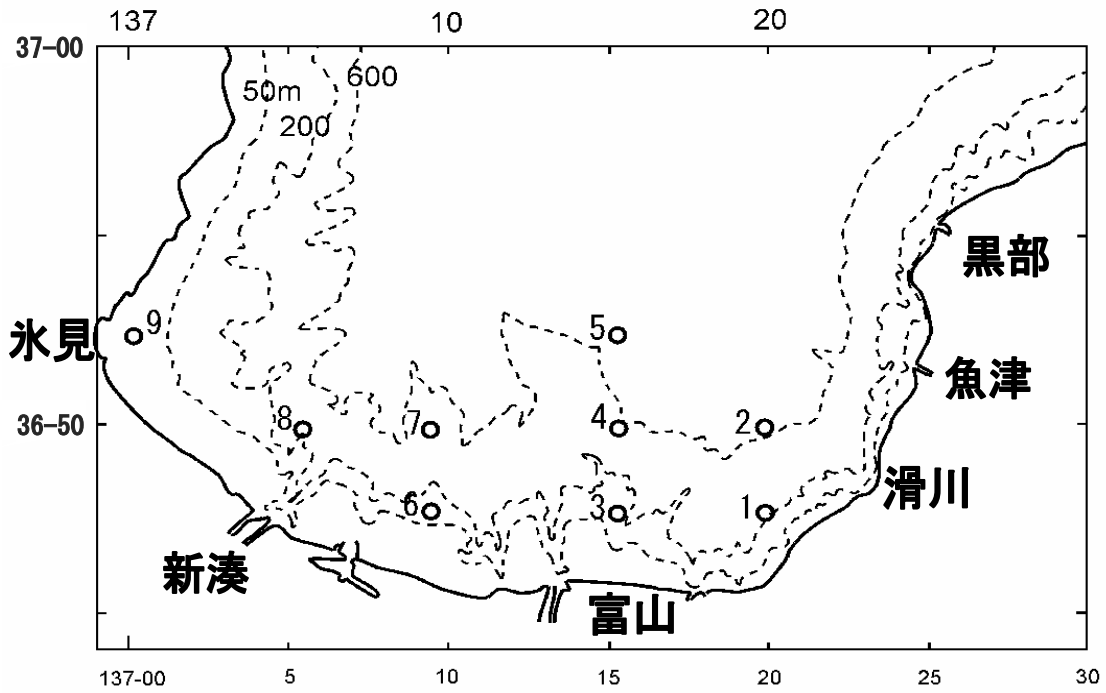


図2 計測ポイント St. 1~St. 9 及び周囲地名

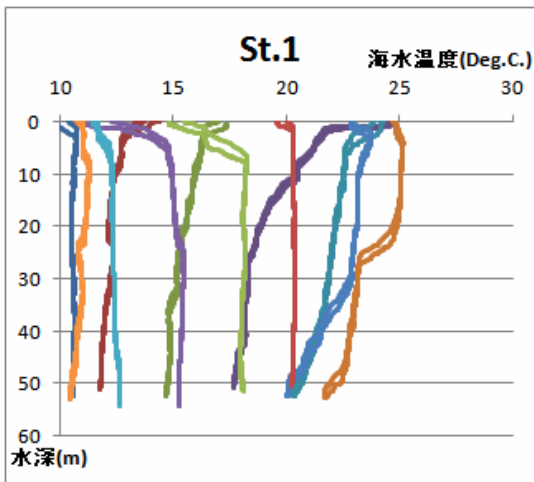
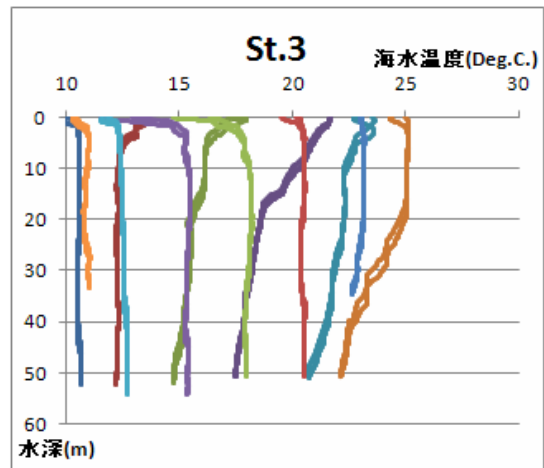
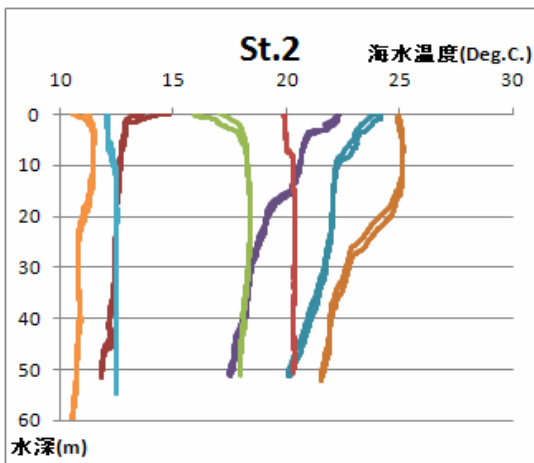
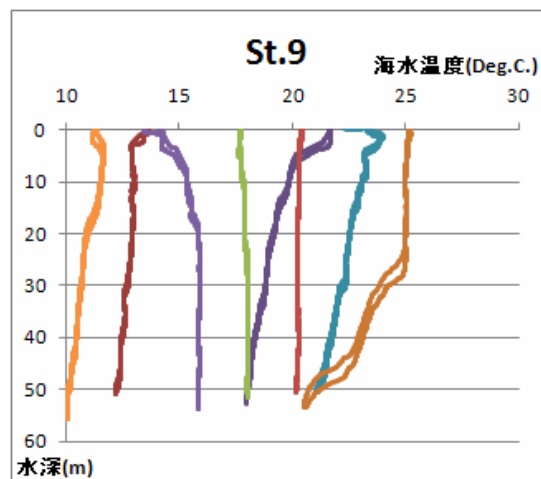
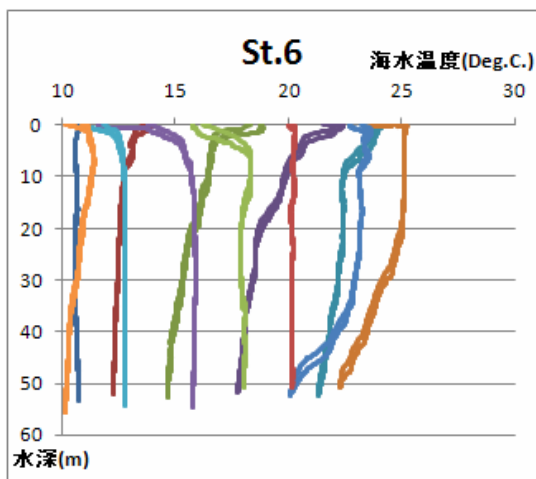
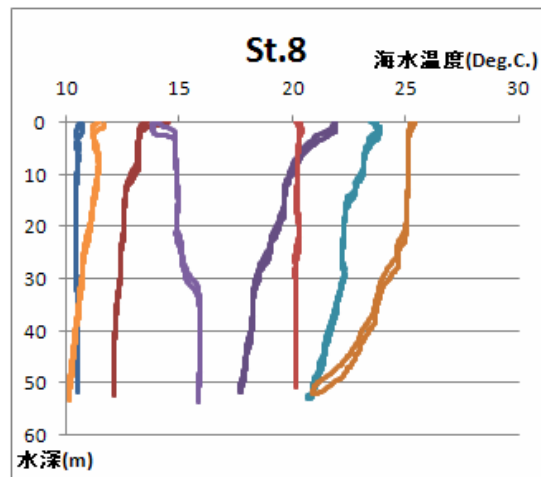
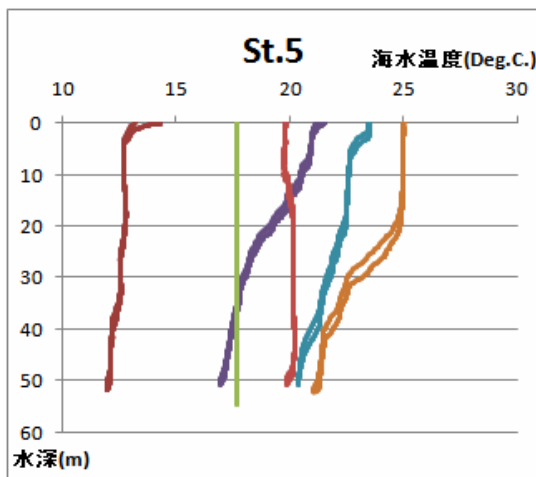
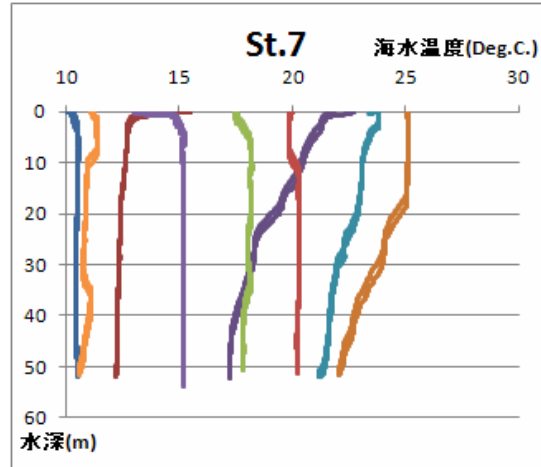
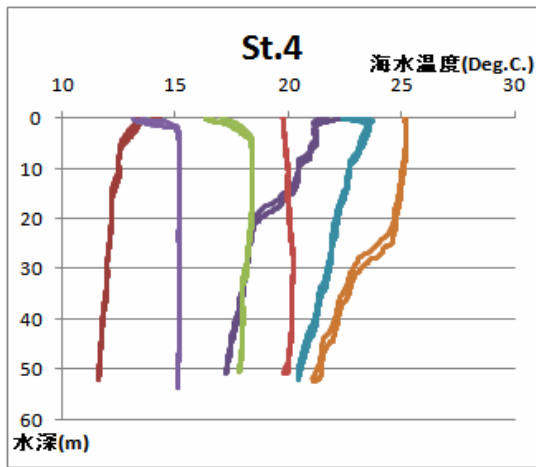


図3 海水温度の鉛直分布の季節変動特性 [2009年3月~2010年2月]

(本ページに St. 1~3, 次ページに St. 4~9 のデータを示す。)

- 3月
- 4月
- 5月
- 6月
- 7月
- 8月
- 9月
- 10月
- 11月
- 12月
- 1月
- 2月





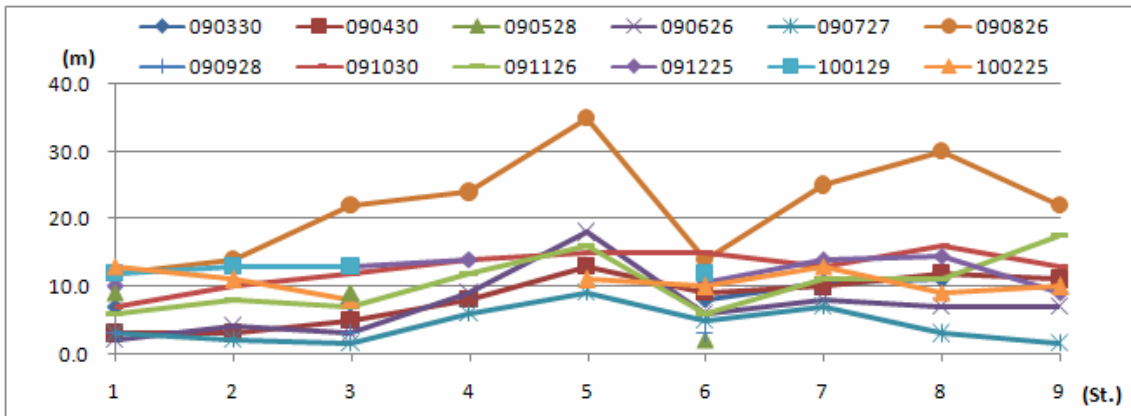


図4 透明度の季節変動特性[2009年3月～2010年2月]

[8月26日の観測の高透明度は、以下の2要因が複合したものであると推測できる。

- ・高塩分の対馬暖流水の影響が強く、これが水深約30mまで影響している。
- ・観測日を含めて数日間が降水が殆ど無い状態であった。富山アメダスにおいては、8/22～8/26の降水量は0mmである。これより河川水流入が減っていたと思える。]

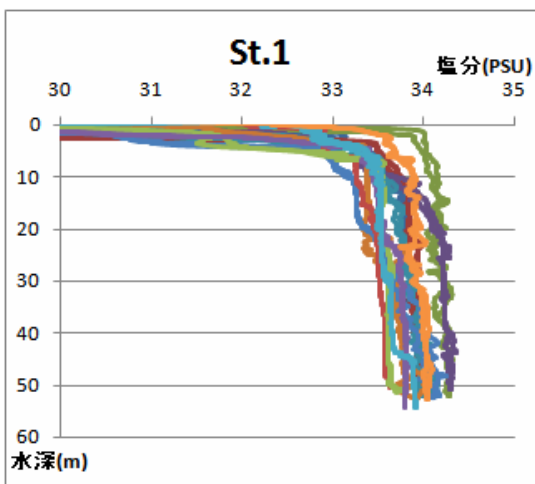
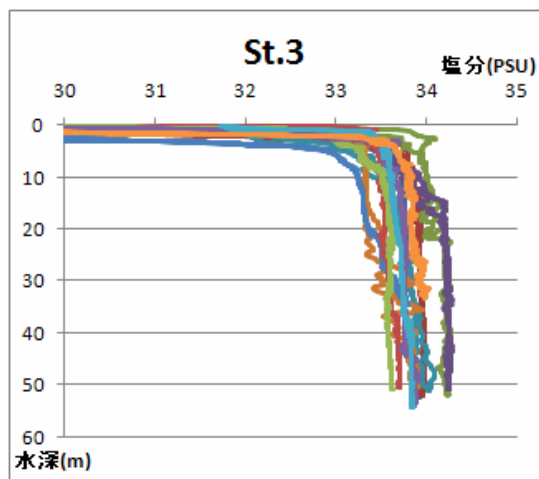
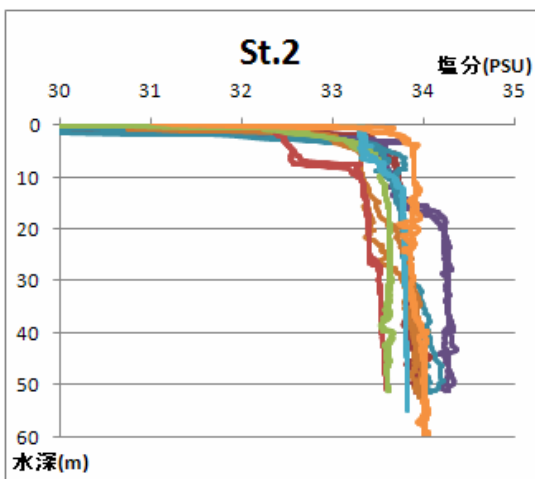
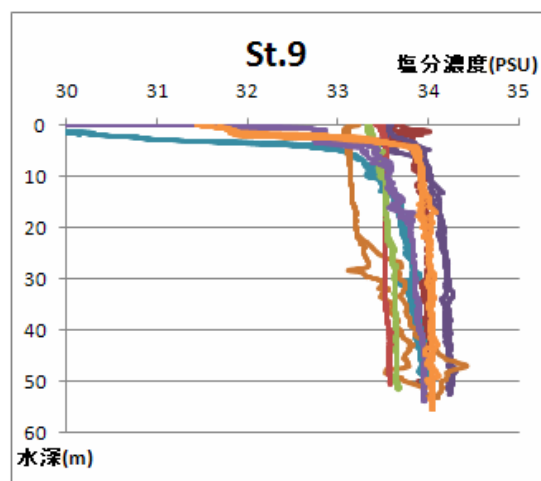
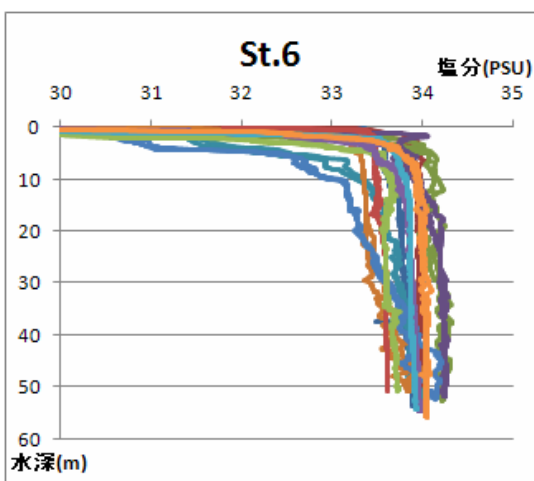
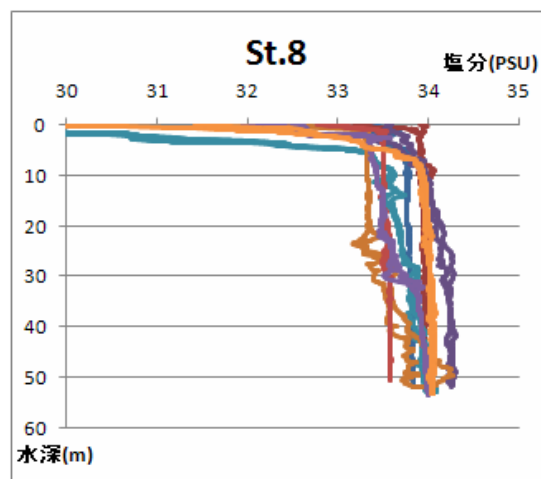
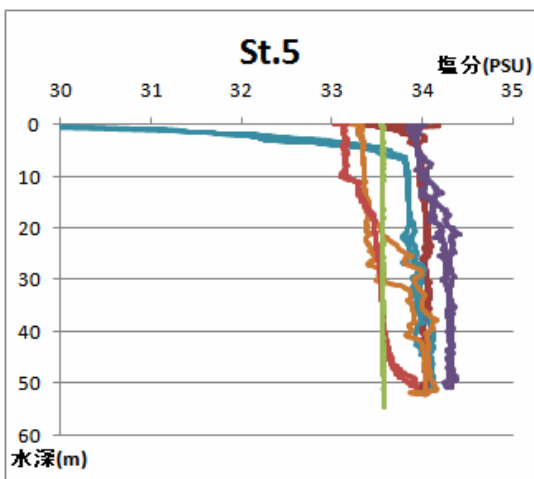
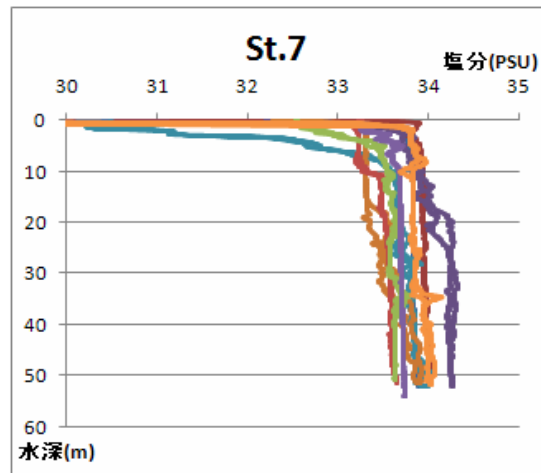
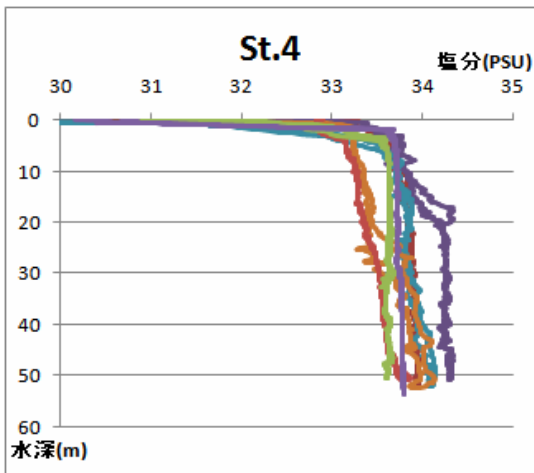


図5 塩分の鉛直分布の季節変動特性 [2009年3月～2010年2月]

(本ページに St. 1～3, 次ページに St. 4～9 のデータを示す。)

- 3月 — 4月 — 5月
- 6月 — 7月 — 8月
- 9月 — 10月 — 11月
- 12月 — 1月 — 2月





## 4. ADCP 観測結果及び考察

### 4.1 ADCP 観測のシステム化

富山湾の海底地形特性や、海水の鉛直方向構造により、富山県沿岸部に存在している、①外海の海流の分流、②潮汐に伴う潮流、③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。実際には、こうした流れが複合して、現場の海域に発生するが、個々の影響は線形現象に捉えることができるので、全体的な特性の概略をつかむ事は可能と考える。「富山湾プロジェクト」では、富山湾内に9観測定点を設け、月一回の海洋環境の実船観測を行っている。これに併せて、ADCPによる海潮流の計測を行い、この計測手法を確立すると共に、現象の定量的把握を行う。そして、流体力学に基づく数値シミュレーションを実施、こうした現象のメカニズムを解明し、その予測技術の確立を目指していく。こうした富山県沿岸部における、海潮流の季節・時間・場所的な流向流速特性を把握し、その予測技術を確立できれば、船舶運航、防災、漁業、海洋環境保全等の多くの分野に貢献できる。

そこで、まず、「さざなみ」を小型ADCP搭載測定用にシステム化した。この小型ADCPは、航走中の船舶に搭載して海潮流の流向及び流速を測定することができる。そして、センサー部を水面に挿入固定するために、船体の外舷にフィットする金属性の取り付け金具を作成した。この取り付け位置はセンサーから照射する超音波ビームが船体による影響を受けない位置にある必要がある。また、船舶の航走により生じる気泡の影響が極力小さい位置にある必要がある。今回はRDInstruments社のWorkHorseADCPを採用した。この仕様を表2に示す。図6に、ADCPによる流向流速計測の概念を示す。ADCPでは海底からの超音波反射が検知でき、これによる対地速度を用いるボトムトラッキングモードでは高精度の測定が行える。本研究で検討しているシステムでは水深約100mまで、このボトムトラッキングモードでの測定が可能である。これ以上の水深においては、GPS測位の対地速度を利用した、GPSモードとなる。実際には同ADCPを搭載した「さざなみ」により、図2で示した定点、で各5～10

分程度停船させての海潮流の多層観測を行った。そして、この計測時間帯において、小型CTDにより海水の水温、塩分等の鉛直分布の把握を行う。

そして、計測により収集したデータの解析を行い、海潮流の発生メカニズムの検討を行う。ここで海潮流については、「潮汐流」、「海流」、「密度流」、「吹走流」の複合したものが「海底地形の影響」を受けて実際の形になっていると思える。この観測で取得したデータにより、これらの要因を客観的に整理することができ、その相互関連性も把握できると思える。また研究背景に示した、富山湾の海水の鉛直構造も、その特徴を解析するうえでの大きな要因になっていると思える。

表2 「さざなみ」搭載 ADCP の主要目  
(RDInstruments:WorkHorseADCP、  
コーディネイトは(株)SEAによる。)

Items	Range
Oscillation center frequency	600 kHz
Layer thickness	0.5~4 m
Number of layers	1 ~128 layers
Measurement accuracy	± 1 mm/s
Maximum measurement depth	100 m

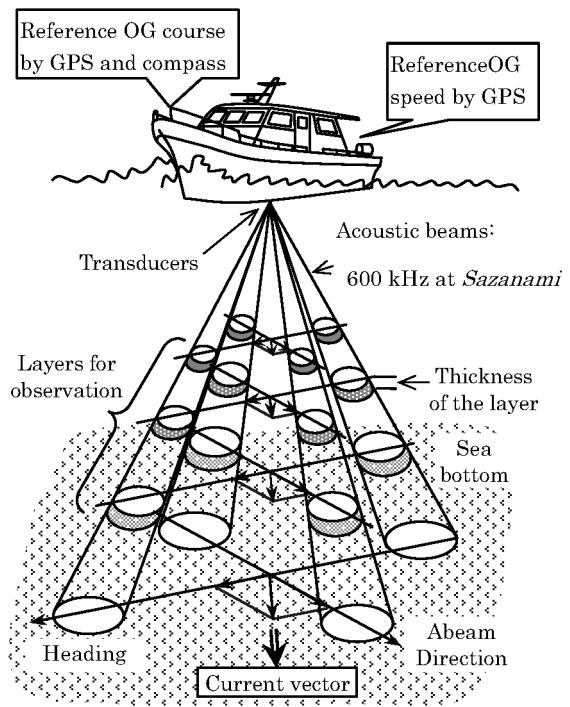


図6 船舶搭載型ADCPによる流向流速計測(参考針路はシステム内臓の磁気コンパス、参考船速は海底反射波のドップラーシフトより得る。)



まず、「さざなみ」の ADCP 観測のシステム化を行った。外舷に取り付ける専用金属製治具の作成を行い、観測実験を行った所、船速が約 5 ノットまでは正常な観測が可能であることが分かった。ここで、「さざなみ」は船体が FRP 製であり、ADCP の内蔵磁気コンパスが参考針路として十分に作用していることが確認された。そして、水深が約 70~80m まではボトムトラッキングモードでの高性能の測定が可能であることが分かった。また、専用の小型 GPS を接続しての GPS モードでの試験も行った。ここでも、停船中の観測において、船の流され方が、ほぼ一定方向と針路であれば、おおよその流向流速ベクトルを把握できることが分かった。こうして ADCP 観測のシステム化が行えた<sup>(4)</sup>。

#### 4.2 富山湾プロジェクト定点での観測

富山湾プロジェクトの毎月一回の観測航海にて、ADCP 観測を行った。図 7 に観測結果例を示す。これは、2009 年 3 月 9 日に実施した観測における、図 2 の St.6 における観測結果である。ここで、諸観測で 10 分程の停船を行っているが、太線は風や潮で流された船の航跡で、ボトムトラッキングによるものである。そして、細線が観測された流向流速ベクトルを示している。これより、水深が約 3m においては、ENE 方向に約 0.2m/s の流れがあることがある。当システムでは、水深が 2m 毎に各面における流向流速ベクトルを把握することが可能となった。

図 8.1 には図 2 の全点における、水深が約 3m、10m における、流向流速ベクトルを示す。こうして湾内全体の流れの傾向を知ることが可能となった。ここでは上げ潮時のためか、全体的半時計廻りで、沿岸部では陸岸に沿って流れる傾向が見られる。

図 8.2 は同様に、2009 年 6 月 26 日に実施した観測結果である。ここでは潮流の停滞時であるためか、全体的には等深線に沿った時計回りの流れが、水深が約 3~31m において確認できる。しかし、St. 2, St. 6, St. 8 では、反対方向の流れが確認され、St. 9 では他よりも流れの強さが弱く、水深による方向も一定していない。今後、こうしたデータを蓄積し、富山湾全体の流れの把握につなげていきたい。

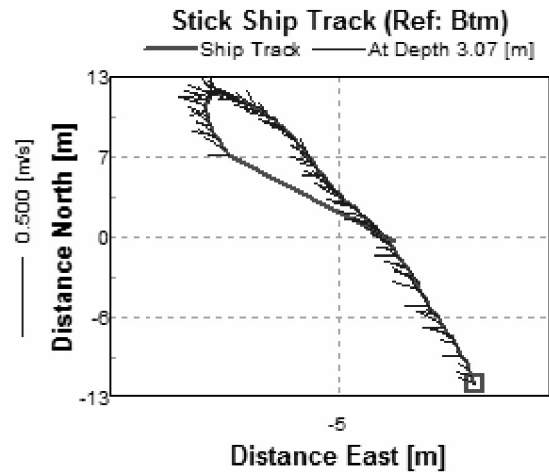


図 7 ADCP 観測結果 [ボトムトラッキングモード] (細線：図 2 の St. 6 の水深約 3m における流向流速ベクトル、太線：船の航跡)

#### 5 今後の展望

今回の一連の観測より得られた知見を示す。まず、沿岸に近い海域ほど、河川水の影響を受けることが分かった。また、この観測海域では半時計回りの大きな流れが存在する時期があり、この時には河川水が多く滞留する地域で、透明度が低くなり、塩分も低く、また海水温度の鉛直循環が弱くなることが推測された。こうした海水流動を実際に把握するために、ADCP 観測を試みた。

また本年度の 8 月の観測で見られたような、透明度が非常に高い場合の要因としては、夏場において対馬暖流の流入が強く水深が約 30~50m の範囲まで影響を及ぼしている、晴天が続き河川からの流入量が少なく海水中の混濁物が少ないといった条件が重なる場合であると推測できた。「若潮丸」による CTD 観測の経年データ<sup>(5)</sup>より、対馬暖流水の富山湾への流入状況は、年によって強弱の変動があることが推測される。ここで、「さざなみ」におけるこれまでの取得データの、季節、深さ、観測地点、年ごとの違いによる解析においても、こうした対馬暖流水の影響を考慮していきたい。また、2009 年 9 月には、JAMSTEC 「なつしま」が上越沖から富山湾の七尾沖に至る海域において、水中カメラ及び CTD による深海底の調査を行っている<sup>(6)</sup>。ここでは、対馬暖流の水深 100m 前後での流入状況が、上越沖から若潮丸観測定点まで、ほぼ同一の傾向を示すことが確認されている。

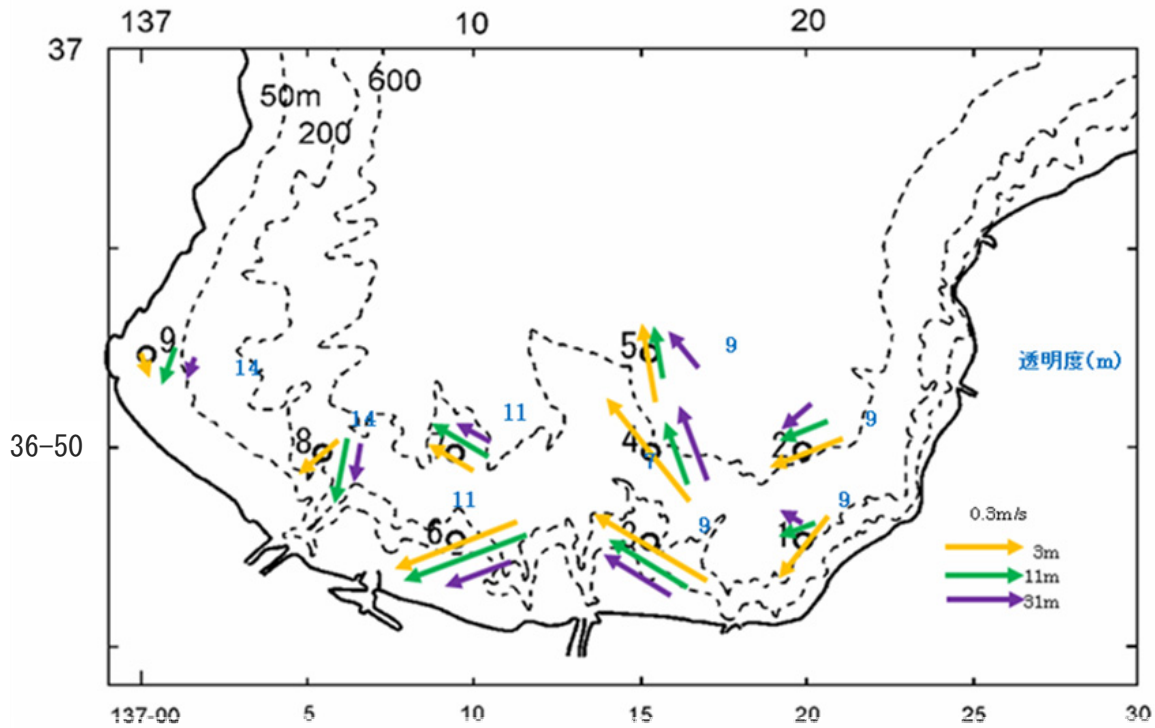


図9 2009年3月9日での流向・流速（水深3m/11m/31m付近・透明度）

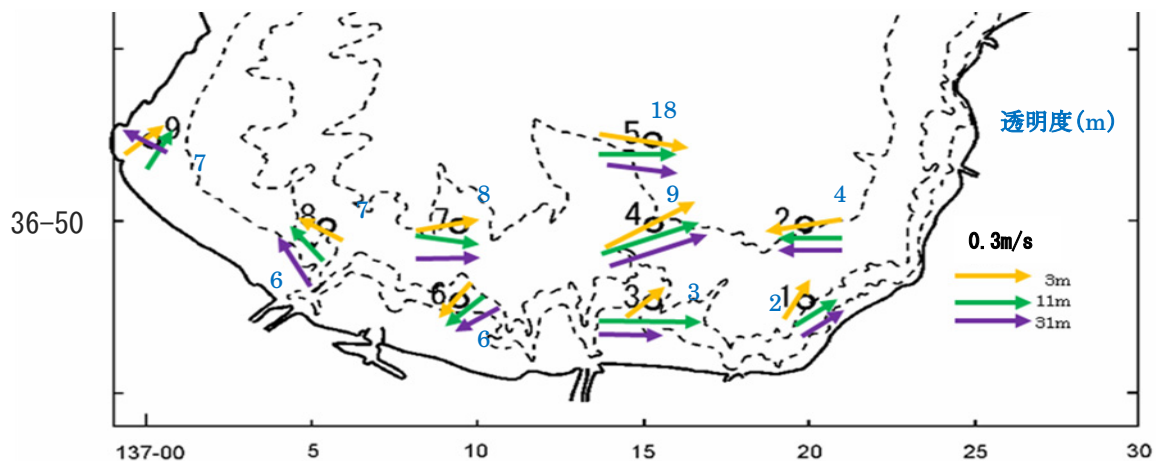


図10 2009年6月26日での流向・流速（水深3m/11m/31m付近・透明度）

今後、研究統括及び衛星データとのマッチング解析を進める(財)環日本海環境協力センター、名古屋大学地球水循環科学講座石坂研究室、観測航海にて海水の現地サンプリングを行い、この化学分析を進める富山大理学部生物圏環境化学科の田口・倉光・波多研究室との連携を検討しつつ、観測航海を続けていきたい。本稿のデータ整理及び図表作成には、商船学科研究生の布目明弘氏、同5学年の越田亘学生にご尽力を頂きました。観測航海でお世話になった皆様に併せて、ここに謝意を表させていただきます。尚、ADCP計測については、科学研究費（基盤研究(C)、2007-2008, 19560806)によるものです。

**参考文献** (1) 千葉 他：「富山湾の海水温度・塩分の季節変動特性 -第5報-」-実習船「さざなみ」による海洋環境計測-，富山商船高等専門学校研究集録第42号，平成21年7月 (2) (財)環日本海環境協力センター：「平成20年度環境省委託業務 北西太平洋地域海行動計画活動推進事業報告書」，平成21年3月 (3) 古山 他：「富山湾の季節的な水塊構造変動の調査報告」，海洋気象学会例会講演要旨集，120：1-4.，平成21年2月 (4) H.Chiba et al, “Observations of Current Direction and Speed by Shipboard ADCP and GPS Reference Data”，International Symposium on GPS/GNSS in Tokyo 2008, 2008.11 (5) 千葉 他：「CTDデータ・深海画像による富山湾の海洋構造調査」，Blue Earth' 10, BE10P-32, 平成21年3月