

# 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 —

千葉元<sup>\*</sup>、金山恵美<sup>\*\*</sup>、田近茂樹<sup>\*\*</sup>、東山茂勝<sup>\*\*</sup>、  
井口眞司<sup>\*\*</sup>、古山彰一<sup>\*\*\*</sup>、朝野洋<sup>\*\*\*</sup>、若林信一<sup>\*\*\*\*</sup>

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

Hajime CHIBA, Emi KANAYAMA, Shigeki TAJIKA, Shigekatsu HIGASHIYAMA,  
Masashi IGUCHI, Sho-ich FURUYAMA, Hiroshi ASANO and Shinichi WAKABAYASHI

### Abstract

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., 2009. 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 April, 2006 to Feb., 2009, 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 Jiuze River are recognized. In this paper the data obtained from the research and its result are shown.

## 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で大きく、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、より深い所は深層水領域となっている。

そこで、湾の表面水温は、平均的に3月はじめの10℃前後の低極から、8月後半の約27～28℃の高極の範囲で変化すると言われる。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、本校の実習船「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。前報告<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>では、2004～2007年度分の、CTD観測で得た水深約50mまでの海水温度、塩分の季節変動特性についての見解を示した。表1に2008年3月から、2009年1月までの観測航海の実施状況を示す。本論では、CTD観測で得た海水温度及び塩分の2008年度における調査結果について述べる。また併せて行ったADCPによる海水の流向流速観測の結果について示す。

## 2. 観測航海概要

観測ポイントとしてp5の図3の9個所を設定した。各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'以内の範囲で行えた。

観測内容は、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っている。表2に観測野帳を示す。

そして水中での下向き分光照度と上向き分光照度の鉛直分布を測定するために水中分光放射計（Biospherical 社 P R R 600）により水深30mまでの観測を行った。そして、CTD（アレック電子製 A A Q 1180）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。

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。観測船として使用した「さざなみ」の外観及び仕様を図1に示す。図2には、この「さざなみ」に設置したADCPを示す。

表1 2008年3月～2009年1月の観測概要

|       | 月 日     | 天候   | 風向    | 風速(m/s) | 気温        | 水温        | 採水Point     |
|-------|---------|------|-------|---------|-----------|-----------|-------------|
| 2008年 | 3月 27日  | bc   | var.  | 2～6     | 8.9～11.3  | 10.6～12.5 | 1～9         |
| 2008年 | 4月 24日  | c-r  | NW-W  | 8～13    | 12.8～15.1 | 13.1～15.2 | 1,2,3,4,6,7 |
|       | 5月 27日  | c    | N-NE  | 1～5     | 15.0～18.8 | 17.0～18.2 | 1～9         |
|       | 6月 24日  | c-bc | NW-W  | Calm～5  | 19.5～20.9 | 20.5～21.8 | 1～9         |
|       | 7月 31日  | c-r  | SE-W  | Calm～6  | 25.1～27.5 | 26.6～27.5 | 1～9         |
|       | 8月 26日  | c    | SW-NE | Calm～5  | 24.5～26.2 | 24.5～26.2 | 1～9,K       |
|       | 9月 25日  | o    | S-SW  | 1～3     | 18.8～20.2 | 22.8～25.0 | 1～9,K       |
|       | 10月 30日 | bc   | SW-W  | 1～6     | 12.5～18.8 | 18.0～21.1 | 1～9,K       |
|       | 12月 16日 | b    | SE-SW | 1～4     | 9.2～12.5  | 13.4～16.0 | 1～9         |
|       | 12月 24日 | bc-c | S-SE  | 5～8     | 5.8～7.2   | 12.5～13.5 | 1,3,6,K     |
| 2009年 | 1月 22日  | o-c  | SW-W  | Calm～2  | 5.1～8.3   | 9.5～12.5  | 1～9,K       |

表2 2008年10月の観測航海における観測野帳（観測項目一覧）

| 調 査 名                           |    | 富山湾プロジェクト    |              | 調査参加者        |              | NPEC:ー       |              | 富 大: 2名      |              | 商船: 千葉勉2名    |     |
|---------------------------------|----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----|
|                                 |    |              |              |              |              | 環境科学センター:    |              |              |              | NES: 砂田、安念、西 |     |
| 採水年月日                           |    | H20.6.24     |              |              |              |              |              |              |              |              | 備 考 |
| 採水地点                            |    | 1            | 2            | 3            | 4            | 5            | 6            | 7            | 8            | 9            |     |
| 緯度(N)                           |    | 36° 47.623′  | 36° 49.861′  | 36° 47.625′  | 36° 49.950′  | 36° 52.192′  | 36° 47.562′  | 36° 49.981′  | 36° 49.909′  | 36° 51.851′  |     |
| 経度(E)                           |    | 137° 19.853′ | 137° 19.679′ | 137° 15.166′ | 137° 15.169′ | 137° 15.442′ | 137° 09.344′ | 137° 09.057′ | 137° 05.338′ | 137° 03'100′ |     |
| 採水時間                            |    | 9:30         | 9:44         | 9:12         | 10:19        | 10:06        | 8:48         | 10:41        | 11:18        | 11:03        |     |
| 天候                              | 前日 | 雨のち曇り        |              |              |              |              |              |              |              |              |     |
|                                 | 当日 | C(曇)         | C(曇)         | C(曇)         | C(曇)         | C(曇)         | C(曇)         | bC(晴)        | C(曇)         | bC(晴)        |     |
| 風向風速                            |    | calm         | NW 1         | NW 3         | NW 2         | W 4          | NW 5         | W 5          | NW 3         | W 3          |     |
| 波・うねり                           |    | 1.0          | 1.5          | 0.7          | 0.5          | 1.0          | 0.5          | 0.5          | 0.3          | 0.5          |     |
| 雲 量                             |    | 10           | 10           | 10           | 10           | 10           | 10           | .9           | 10           | 9            |     |
| 気温(℃)                           |    | 20.8         | 19.5         | 20.6         | 19.8         | 20.0         | 20.9         | 20.0         | 19.7         | 20.3         |     |
| 透明度(m)                          |    | 3.0          | 5.0          | 4.0          | 13.0         | 14.0         | 7.0          | 14.0         | 12.0         | 14.0         |     |
| 水温(℃)                           |    | 21.2         | 21.2         | 20.5         | 21.0         | 21.0         | 21.5         | 21.2         | 21.6         | 21.8         |     |
| 塩分                              |    | 26.89        | 29.06        | 18.18        | 33.18        | 32.91        | 27.57        | 33.01        | 32.64        | 32.4         |     |
| 水温(℃)《富山大》                      |    | 20.0         | 21.0         | 20.5         | 20.6         | 20.8         | 21.2         | 21.0         | 21.5         | 20.5         |     |
| pH 《富山大》                        |    | 8.18         | 8.23         | 8.29         | 8.15         | 8.22         | 8.27         | 8.11         | 8.22         | 7.88         |     |
| 水色 《富山大》                        |    | 5            | 4            | 4            | 2～3          | 2～3          | 3            | 2～3          | 3            | 2～3          |     |
| SS                              |    | 1.666        | 0.975        | 4.05         | 0.14         | 0.34         | 1.44         | 0.44         | 0.18         | 0.08         |     |
| クロロフィルa                         |    | 3.187        | 2.962        | 2.524        | 0.236        | 0.217        | 1.114        | 0.174        | 0.238        | 0.462        |     |
| DO                              |    | 8.31         | 8.535        | 8.16         | 7.71         | 7.76         | 7.8          | 7.79         | 7.595        | 7.86         |     |
| CDOM                            |    | 0.1768       | 0.1631       | 0.324        | 0.04956      | 0.03933      | 0.1812       | 0.04748      | 0.0767       | 0.06371      |     |
| クロロフィルa<br>(富大サンプル)             |    |              |              |              |              |              |              |              |              |              |     |
| CDOM(2週間後)                      |    |              |              |              |              |              |              |              |              |              |     |
| CDOM(4週間後)                      |    |              |              |              |              |              |              |              |              |              |     |
| 備 考<br>(GTD及びPRRファイル番号、その他特記事項) |    | P080624C     | P080624D     | P080624B     | P080624F     | P080624E     | P080624A     | P080624G     | P080624I     | P080624H     |     |



|               |                                   |
|---------------|-----------------------------------|
| Dimensions    | (L):53.59m, (B):10.00m, (D):5.40m |
| Gross tonnage | 231tons                           |
| Service Speed | 12.50 knots                       |

図1 「さざなみ」の外観及び主要目

### 3. 海水温度の季節変動特性（2008年度）

海水の一般的特性として、太陽放射の加熱による水温影響が直接的に及ぶ範囲は水深約10m程度と言われている。これに対流運動等が加わることになる。また、外洋の表面塩分濃度は大部分が33～37%の間にあり、全海洋の平均塩分は34.7%である。そして、沿岸海域では流入河川水の量の増減に伴って表面塩分が変化していく。この密度の小さい河川水は表面に薄く広がり、また海潮流により影響されることになる<sup>(5)</sup>。

#### 3.1 海水温度の特性

富山湾の表面水温は、平均的に3月はじめの10℃前後の低極から、8月後半の約27～28℃の高極の範囲で変化すると言われる。また、湾の流動は、密度の水平分布や河川流入水の移動方向から、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、秋から冬には弱まると考えられる。また、冬季においては、表層海水が冷やされ、これが沈降する事により対流現象が起こり、結果として表層からある深度までは水温がほぼ一定になるという鉛直循環現象が起こる<sup>(6)</sup>。図5の海水温度データ（pp.6～8の左欄）を見ると、表層の温度が20度を下回り十数度以下となる10月から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、5月においては、表層温度が20～25℃の間となり、鉛直循環は見られない。また、10月においては、表層はやはり20～25度の間であるが、鉛直循環の傾向を示している。この初夏と初

秋においては、海水温度の鉛直分布特性が大きく変化する。また、10月においては、特にSt.3, 5, 8, 9において、鉛直循環が非常に強くなる傾向が見えている。そして、こうした箇所では、p.5の図4に示す透明度も10m程度以上の良好な状況で、特に鉛直循環がグラフ上では、ほぼ直線となっているSt.5, 9では、10数m以上の高い透明度となっている。このエリアには、何らかの原因で河川水の流入がされてないものと思える。

全体的に見ると、St.1, 2においては水深約10mまでの温度変化が大きく、特に神通川の河川水が強く影響しているものと思える。これに比べると、河口直近のSt.3や、その沖合のSt.4の方が、こうした影響が少なく見とれる。また、St.4, 5は、ほぼ同様の傾向を示している。そして、St.6も、やはりSt.1, 2と同様の傾向が見れる。これより、沿岸域で河川水が強く、これが東方面へ流入している傾向が想定できる。

#### 3.2 海水塩分濃度の特性

図5の塩分データ（pp.6～8の右欄）では、表層においては全体的な平均塩分濃度より低めであり、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。神通側河口から沖合いに離れる、St.3, 4, 5においては、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, 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。

### 4. ADCP調査概要

ADCPは日本語では超音波式多層流向流速計と表されている。このADCPでは図2に示すように海中へ複数方向の音波のパルスを発射し、海底または各層の海中懸濁物質等から反射するエコーのドップラーシフトを測定し、各層の海水の流向流速を把握するものである。一般的に超音波ビームを3か4方向に照射し、これら各ビームから得られる流速をベクトル合成することにより、船に対する相対流向流速を求める<sup>(7)</sup>。「さざなみ」には（株）エス・イー・エイのコーディネートによるRDインストルメント社製のADCPシステムが装備されている。

海水の流向流速の絶対ベクトルを知るためには、船の対地速力の正確な値を知る必要がある。海底からの超音波の反射波が検出可能ならば、これより高精度の対地速度を求めることができる。当システムでは、水

深が約50m までは海底反射波の検出が可能であり、"Bottom Tracking Mode"と呼ぶ。また GPS 測位から算出した対地速度の利用も可能であるが、海底からの反射検出の場合より精度が劣り、これを "GPS Mode"と呼ぶ。

8月の観測航海より、このADCP計測を開始した。基本的には、全観測箇所の観測停船時にデータ収集を行っているが、現在、解析中である。特に河口近辺での流動メカニズムを探るために、図2に示す河口観測エリアでの計測を重点的に行った。図6に河口観測エリアの拡大図と、観測ルートを示す。このエリアは、小矢部川と庄川の河川水が多く流入し、また海底谷(あいがめ)が直近まで食い込む、複雑な海底地形となっている。ここで、St.1～9の一連の観測の最後に、St.9から伏木航路を通して、このエリアへのアプローチを行った。まず、伏木指向灯前の航路ブイの近辺で停船し採水観測を行った。その後、5 kt 程度で航走し小矢部川に侵入する。内部で停船して採水した後に、反転し庄川河口を目指す。庄川河口近辺で停船して採水を行う。これが一連の動作となる。ここで、ADCP取得データ例を図7に示す。これは、A→B→Cと移動した際のデータであり、横軸にこれらの位置を示した。また、水深が約50mまでは、ボトムトラッキングモードでのデータ取得が可能である。上段の流速の深度

分布を見ると、流速が約0.15m/s以下と非常に弱いことが分かる。そして、下段の流向分布を見ると、場所と深度により、流向が大きく異なることが分かる。河口から出た所では、水深が約10mまでは、西から南方向に約0.1m/sの流れの層があることが分かる。また、B近辺の水深が急激に変化する部分では、低部に河を遡る反流が確認できる。今後、こうしたデータを蓄積し、このエリアの流れのメカニズムを解析し、これを富山湾全体の流れの把握につなげていきたい。

## 5. おわりに

今年度の観測においても、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、塩分濃度も低く、また海水温度の鉛直循環が弱くなることが推測された。特に、今年度の観測においては、神通川からの流入水による影響が顕著に確認された。また、ADCP計測により、河口付近の流向流速分布を捉えることができ、海水流動の立体構造を把握できることが確認された。今後、同プロジェクト参加諸氏の成果<sup>(8)</sup>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4学年の越田亘学生、同学科2学年の出倉祐樹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。

## 引用文献

- (1) 千葉他:「富山湾の海水温度・塩分濃度の季節変動特性」—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38号, 平成17年7月
- (2) 千葉他:「富山湾の海水温度・塩分の季節変動特性—第2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39号, 平成18年7月
- (3) 千葉他:「富山湾の海水温度・塩分の季節変動特性—第3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40号, 平成19年7月
- (4) 千葉他:「富山湾の海水温度・塩分の季節変動特性—第4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41号, 平成20年7月
- (5) 能沢源右衛門:「新しい海洋科学」, 成山堂, 平成11年12月
- (6) 松永勝彦, 久万健志, 鈴木祥広:「海と海洋汚染」, 三共出版, 平成14年10月
- (7) 海洋音響学会編:「海洋音響の基礎と応用」, 成山堂書店, 2004年1月
- (8) 財団法人環日本海環境協力センター:「平成19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20年3月

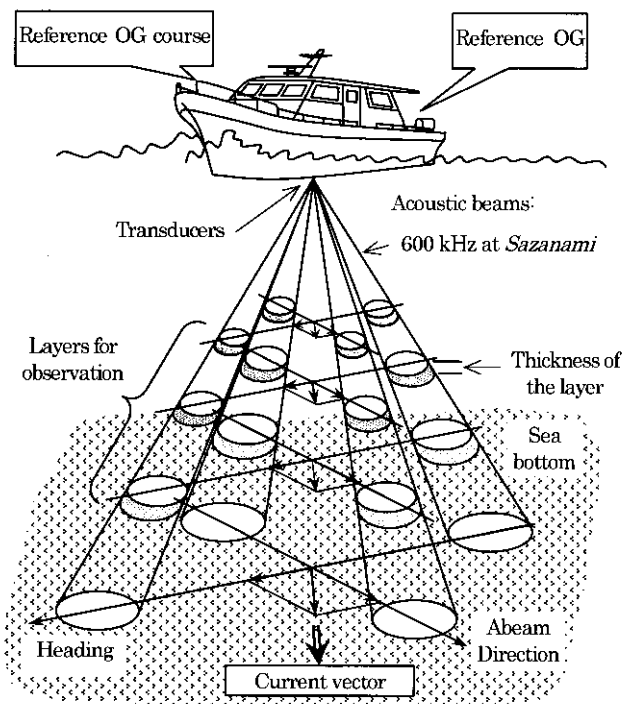


図2 船舶搭載型 ADCP による流向流速計測  
(参考針路はシステム内蔵の磁気コンパス、参考船速は海底反射波のドップラーシフトより得る。)

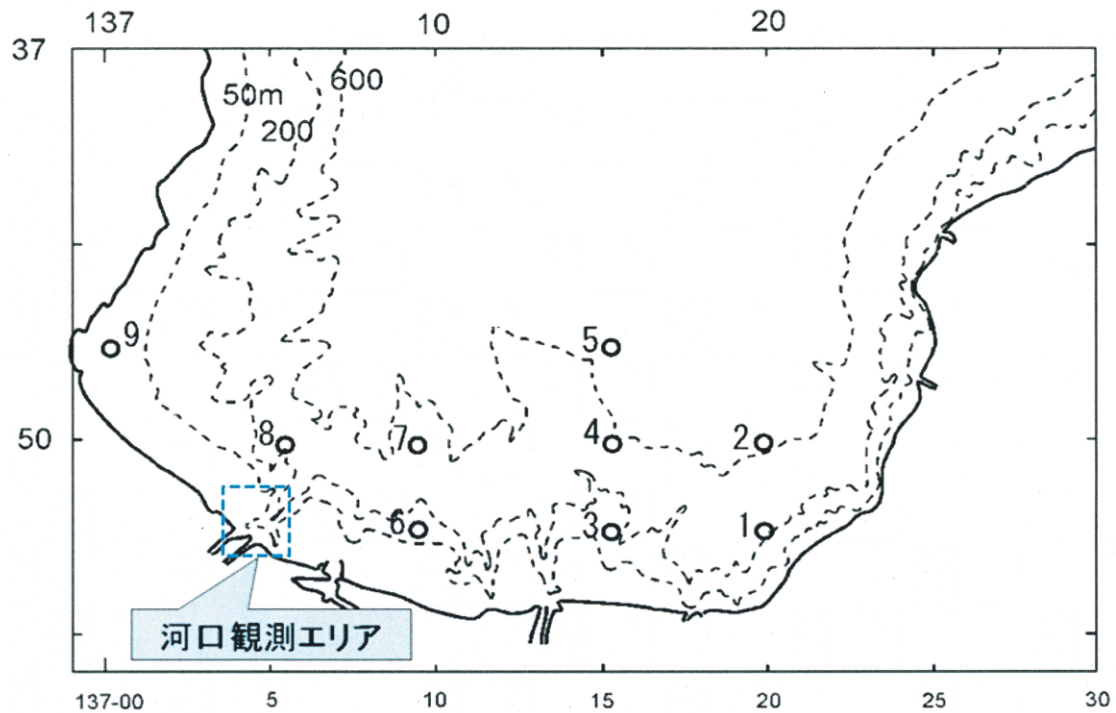


図3 富山湾プロジェクトにおける観測定点（青四角がADC P河口観測エリアを示す。）

| 透明度(m) | St.1 | St.2 | St.3 | St.4 | St.5 | St.6 | St.7 | St.8 | St.9 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 08'3月  | 12.5 | 12   | 12   | 16   | 15   | 16   | 14   | 16   | 17   |
| 08'4月  | 6    | 5    | 5    | 4    | —    | 5    | 3    | —    | —    |
| 08'5月  | 4    | 8    | 12   | 22   | 20   | 15   | 16   | 17   | 14   |
| 08'6月  | 3    | 5    | 4    | 13   | 14   | 7    | 14   | 12   | 14   |
| 08'7月  | 2    | 2    | 5    | 4    | 3    | 3    | 5    | 6    | 8    |
| 08'8月  | 5    | 8    | 3    | 8    | 10   | 5    | 9    | 11   | 12   |
| 08'9月  | 6    | 5    | 6    | 5    | 5    | 9    | 18   | 9    | 8    |
| 08'10月 | 12   | 9    | 15   | 15   | 23   | 8    | 13   | 11   | 18   |
| 08'11月 | 8    | 18   | 12   | 19   | 22   | 8    | 13   | 16   | 9    |
| 08'12月 | 3    | —    | 4    | —    | —    | 3    | —    | —    | —    |
| 09'1月  | 11   | 12   | 11   | 9    | 10   | 7.5  | 7    | 9    | 10   |

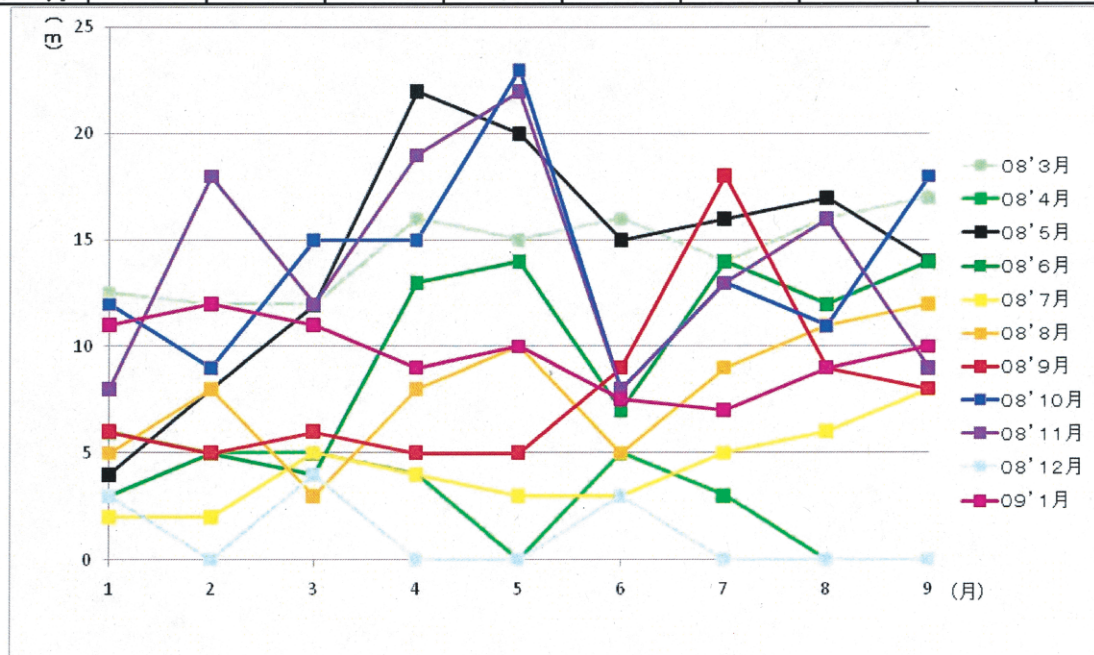


図4 透明度の観測結果

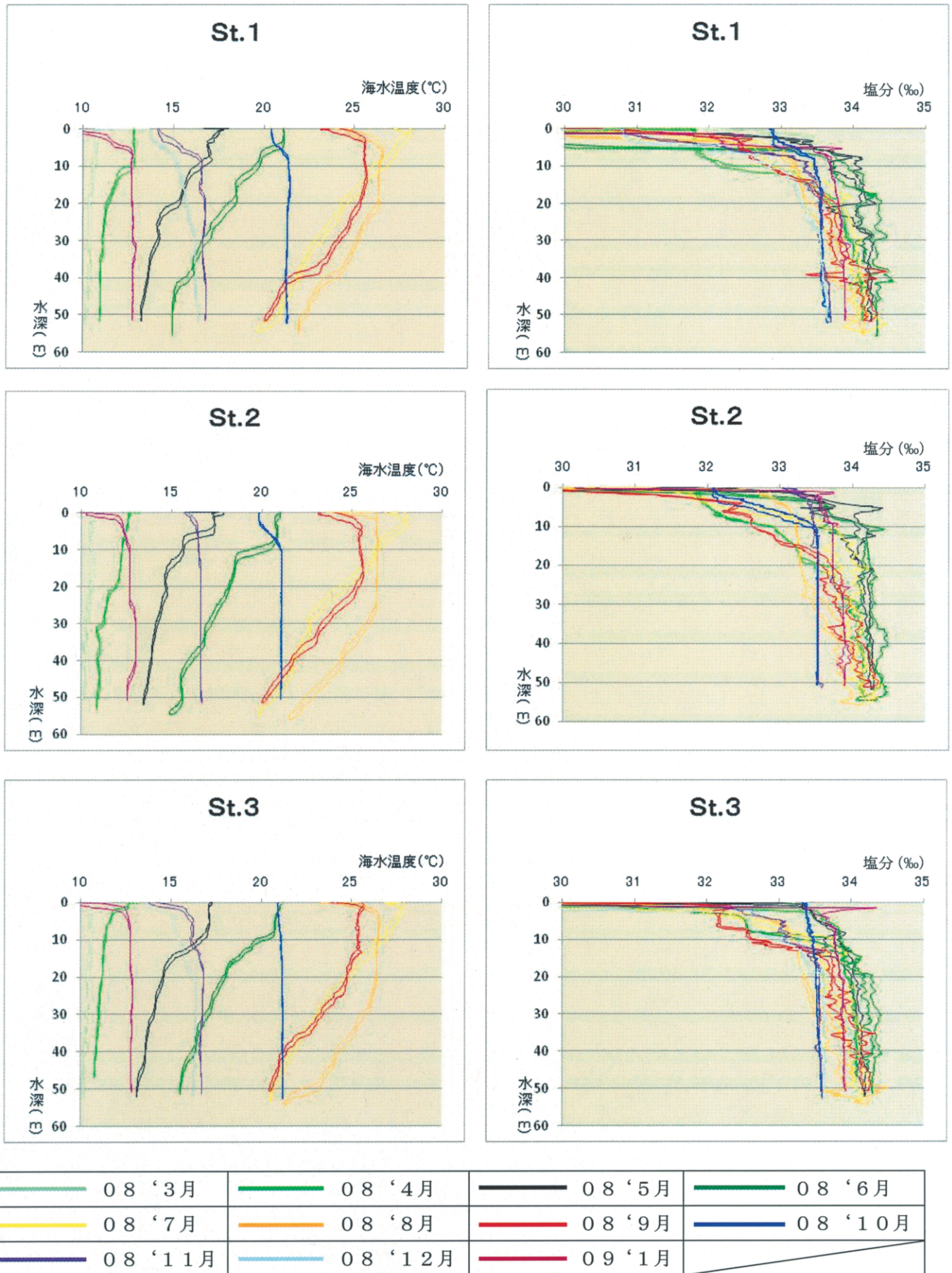


図5. 1 海水温度(左欄)・塩分濃度(右欄)の季節変動特性の観測結果(St.1, St.2, St.3)  
(表1の2008. 12. 16のデータは11月分として扱う。)

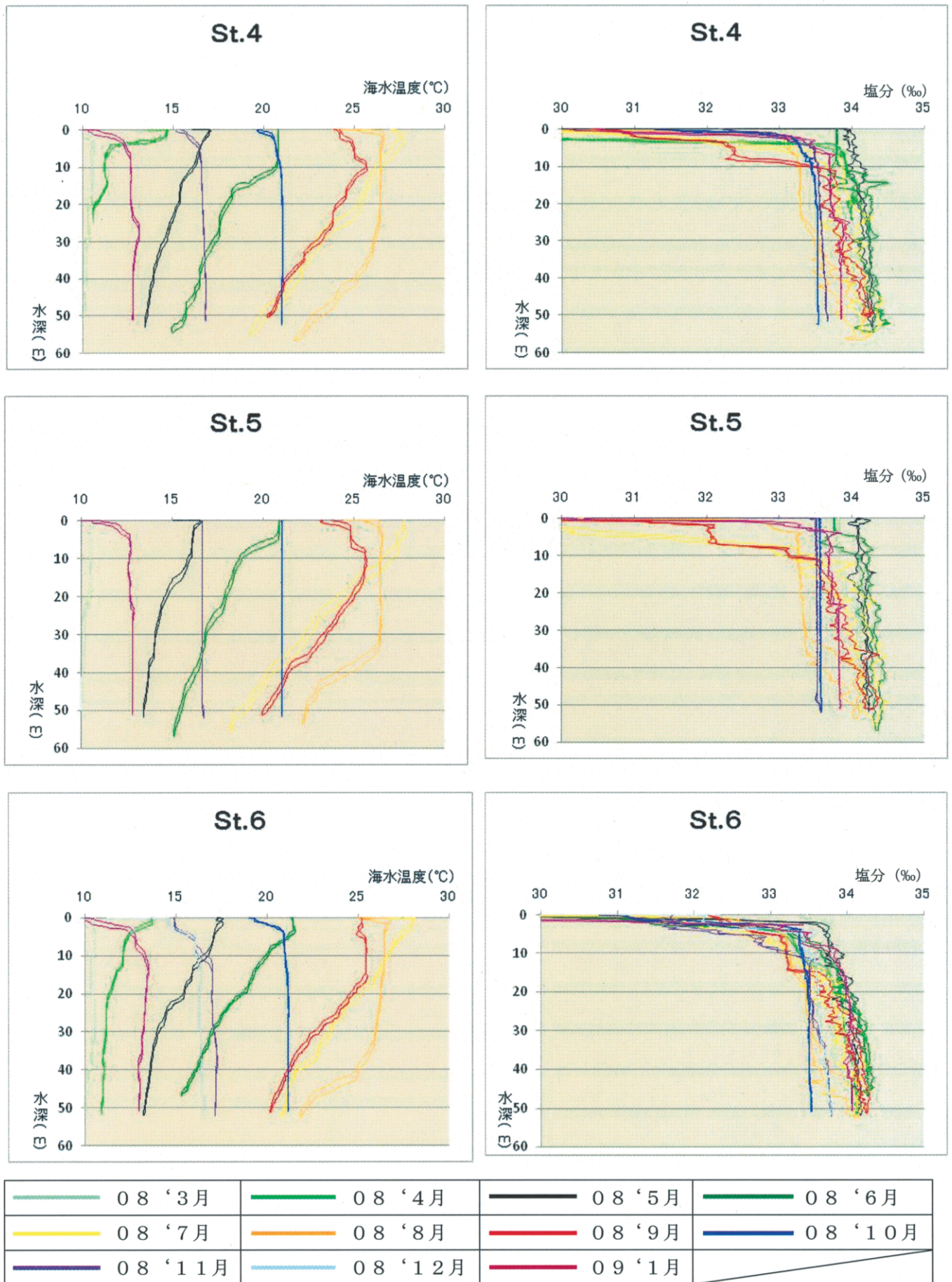


図5. 2 海水温度(左欄)・塩分濃度(右欄)の季節変動特性の観測結果(St.4, St.5, St.6)  
(表1の2008. 12. 16のデータは11月分として扱う。)

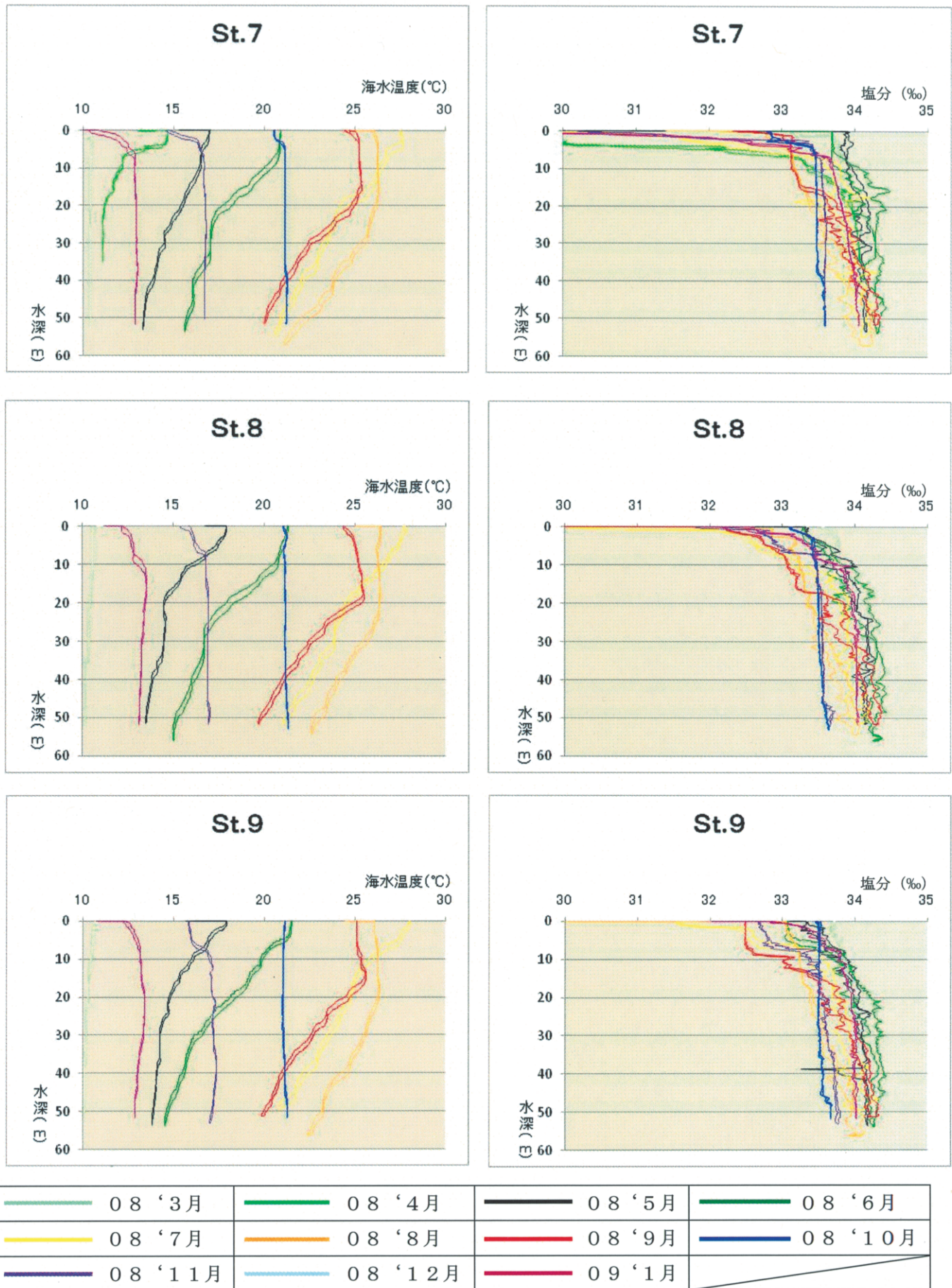


図5. 3 海水温度(左欄)・塩分濃度(右欄)の季節変動特性の観測結果(St.7, St.8, St.9)  
(表1の2008. 12. 16のデータは11月分として扱う。)

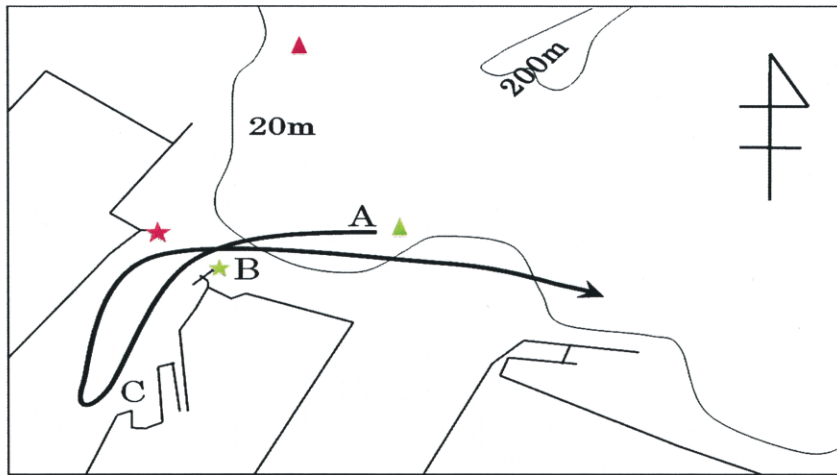


図6 図4の河口エリアの拡大図及びADCP観測ルート

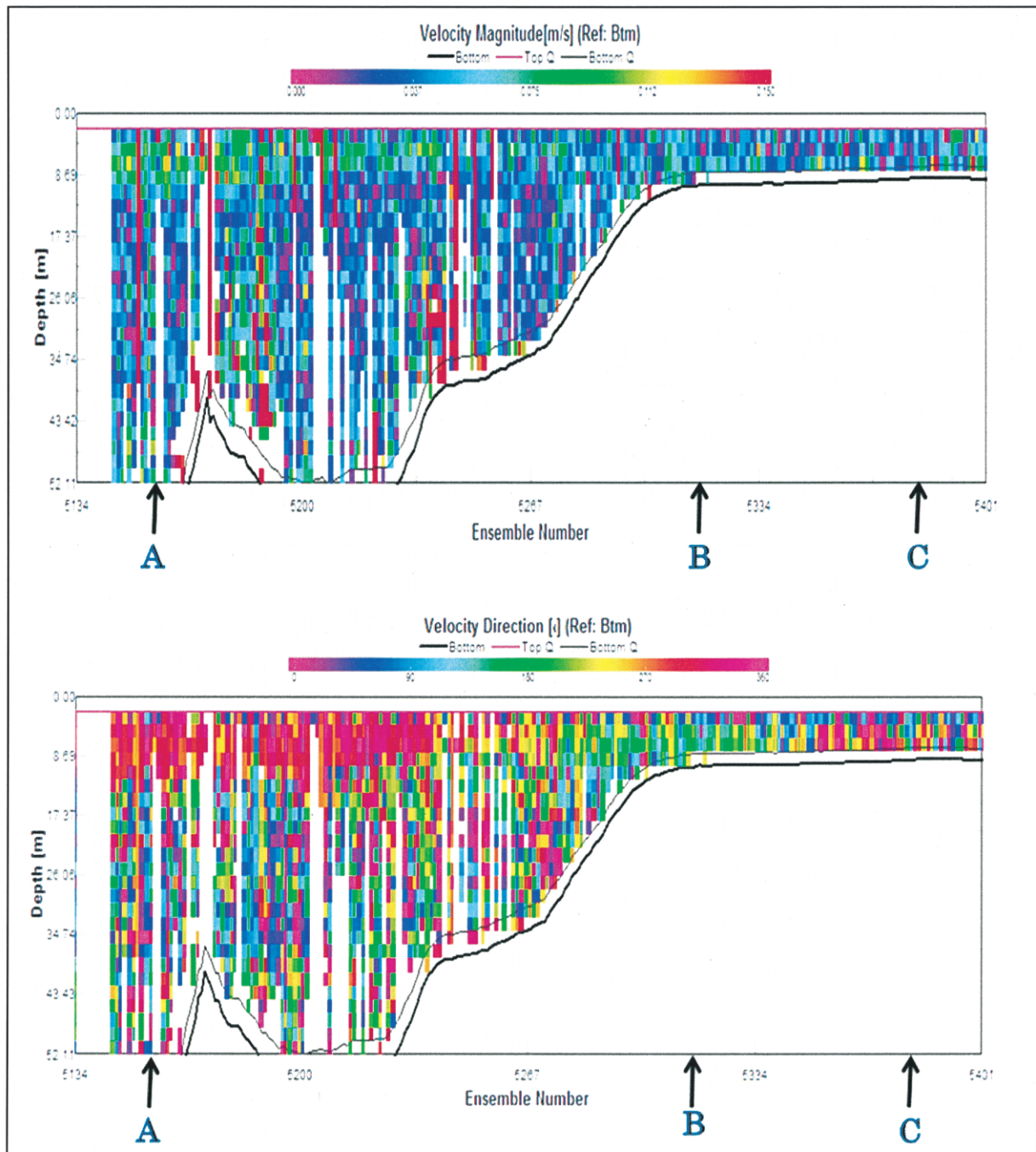


図7 9/25観測時の小矢部川河口域の流速（上段）、流向（下段）の深度分布