

学位論文

「天草灘・五島灘陸棚縁辺部における残差流の構造と変動

およびそのカタクチイワシ漁況との関連」

(Structure and Variation of Tidal Residual Currents in the
Continental Margin of Amakusa-nada and Goto-nada in
Relation to Anchovy Catch Fluctuation)

長崎大学大学院

生産科学研究科 システム科学専攻

高木信夫

目 次

第1章 緒言	31
1.1 五島灘および天草灘の海域的特徴	31
1.2 九州西岸（橘湾および西彼地区）のカタクチイワシの漁況	32
1.3 本研究の目的	33
第2章 天草灘・五島灘の流況と海況	34
2.1 材料と方法	34
2.2 結 果	36
2.3 考 察	38
第3章 安定同位体比を用いた橘湾および西彼地区における カタクチイワシの加入起源の検討	41
3.1 材料と方法	41
3.2 結 果	41
3.3 考 察	42
第4章 橘湾および西彼地区におけるカタクチイワシの漁況変動	44
4.1 材料と方法	44
4.2 結 果	46
4.3 考 察	48
第5章 結 論	51
謝 辞	54
引 用 文 献	55

第1章 緒言

1.1 五島灘および天草灘の海域的特徴

1.1.1 地理的、地形的特徴

長崎の西方に位置する五島灘は、福江島・宇久島などの5つの主島と大小143の島々からなる五島列島、長崎県西彼杵郡半島及び平戸島によってほぼ三方を囲まれた海域である (Fig.1.1)。また、海底地形の大部分は200m以浅の大陸棚で占められており、南部に開けた陸棚縁辺部で外海 (東シナ海) とつながっている。

一方、天草灘は五島灘の南東方向に位置しており、野母崎半島と天草半島および橘湾に囲まれ、五島灘と同様に海底地形の大部分が200m以浅の大陸棚で占められている。両灘で陸棚谷が発達しているため、海底の形状はいずれも非常に複雑である。さらに、両海域ともに生産性の高い海域として知られ、アジ・サバ・イワシ類をはじめとした多くの魚類が棲息している他、沿岸部にはイセエビ・アワビ・ウニなどの産卵育成に好適な天然礁が形成されており、古くから各種の漁業が盛んである。

1.1.2 五島灘・天草灘周辺海域の海況

五島灘周辺海域については古くから海洋観測が実施されており、その海況特性を把握するための資料整理が随時行われてきた。とくに水温・塩分のデータは、海況の解析に広く用いられている。永井 (1954) は海洋気象台が実施した1947～1951年の観測資料をもとに、五島灘における水温と塩分の年変化と熱収支の分析を行い、五島灘周辺の海況は対馬暖流の消長のみだけでなく、大陸冷水塊ならびに九州沿岸水の影響を大きく受けていることを示唆した。また井上 (1981)

は、長崎県水産試験場の観測資料を用いて五島灘の水温・塩分分布の一般的な特徴を述べている。すなわち、五島灘の表面水温と塩分は長崎側と五島側で低く中央部が高いが、年間を通してその差は小さく、五島灘全体がほぼ同一系統の水塊で占められていること、五島灘は対馬暖流域に似た状況を呈しており、対馬暖流の分岐状況や橘湾から流出する沿岸水の影響などが五島灘の海洋構造を複雑にしていることを示した。

さらに山本 (1999) は、長崎県水産試験場の1967～1997年の海洋観測資料をもとに、五島灘を構成している対馬暖流系水と沿岸水の季節的な消長を論じた。それに基づけば、夏季には対馬暖流分岐流の流入が強くなるとともに表層には低塩分水が広がり、そのため中層には顕著な塩分躍層が形成される。その後秋季に鉛直混合が始まり、冬季には表層から底層まで均一な水温・塩分分布が広がり、それが春季まで持続するとしている。さらに、水温・塩分の標準偏差の変動から、五島灘における水温の年変動は塩分の年変動よりも大きく、水温の年変動が対馬暖流系水の五島灘への流入勢力の判断に重要であるとしている。

このように、五島灘周辺海域の水温・塩分の分布変動など海況変動の実態については検討結果がいくつか報告されているが、海況変動のメカニズムについては、知見が極めて不十分である。一方、天草灘周辺海域の海況については、中村 (1990)、小笹ほか (1994) のきわめて断片的な報告があるだけで、その変動実態はほとんど明らかにされていない。

1.1.3 五島灘・天草灘周辺海域の流況

五島灘周辺海域の流れは、漁場形成や卵・仔稚魚および各種物質の輸送に関与

し、当該海域の生産性に大きく影響していると考えられる。その変動の実態やメカニズムを解析することは水産学上極めて重要である。五島灘周辺海域において、カタクチイワシ卵・仔稚魚の輸送に関する表層流の調査が報告されている（玉井, 1970, 長谷川, 1975）。玉井(1970)は、1967年7月に野母崎半島一天草下島間に投入した漂流物の大部分が北上した後、西彼杵半島・平戸島周辺に漂着したことを報告している。また、長谷川(1975)は天草灘西方で投入した漂流物を1昼夜追跡調査し、野母崎半島一天草下島間における北上流の存在を示している。一方、赤松(1950)は五島灘で夏季および秋季に行った1日間の係留測流結果から調和解析により潮汐残差流(平均流)を推算し、冬季は時計回りであるが五月頃から反転し、反時計回りの流れとなり、さらに10月頃に再び時計回りの流れになると推察している。

この五島灘における残差流については、近藤(1985)、宮地(1991)は概ね対馬暖流から派生した時計周りの環流と甕海峡を南下する流れであるとの見解を示している。さらに小田巻(1980)は、1979年と1980年に五島灘で実施したそれぞれ15日間の係留測流結果から、両年平均流の渦度が反対であることを示し、五島灘の残差流が東シナ海の黒潮の強さや流れの構造によって大きく変動していることを指摘している。森永(2000)も連続水温観測の結果から九州西岸に沿って北上する暖水の存在を示唆するとともに、人工衛星熱赤外線画像を用いて、黒潮北縁部に発生する前線波動から分岐・北上する暖水の経路の分類を試みている。以上のようなことから、当該海域の流況は、対馬暖流および黒潮の影響を受けて複雑に変動しているものと推察さ

れ、その実態や変動のメカニズムについてはまだ不明の点が多い。

卵・仔稚魚の輸送に対する影響という観点からは、往復流である潮流よりも残差流の果たす役割が重要と考えられるが、残差流の変動を明らかにするためには長期間にわたる流れの係留観測を行う必要がある。船舶の往来が多く漁業活動が盛んな当該海域では、そのような観測を実施することは極めて困難であり、そのことも当該海域における残差流の知見が極めて少ない一因となっている。

1.2 九州西岸(橘湾および西彼地区)のカタクチイワシの漁況

カタクチイワシ(*Engrails japonicus*)は広く日本周辺に分布し、とくに東シナ海では渤海・黄海の資源量が大いことなどが報告されている(Iseki and Kiyomoto, 1997; Iversen et al., 1993; Ohshimo, 1996)。九州西岸域においてカタクチイワシは、成魚のみならず仔魚期から稚魚期にかけて水産資源として漁獲利用されており、仔魚期はシラス干しの原料として、また稚魚・成魚は煮干しや素干し品の原料として用いられている。

長崎県農林水産統計に基づけば橘湾地区および西彼地区のカタクチイワシの漁獲量は、1970年代から1980年代にかけてのマイワシ漁獲量の増加に伴い減少し、その後も西彼地区では1987年から概ね横這い、橘湾地区では1996年から漸増にとどまっている。しかしながら、1990年代以降マイワシの漁獲量が皆無となったために、カタクチイワシは両地区の煮干し加工に関連した漁業者や水産従事者の重要な漁業対象種となっており、その漁況動向が注目されている。

しかし、漁況に影響を及ぼすと考えられる九州西岸域におけるカタクチイワシ

の回遊や資源加入の実態については不明な点が多い。例えば、黄海や東シナ海の大陸棚縁辺部を回遊している群れの存在 (Iversen et al,1993) や、朝鮮半島の東岸および西岸を季節回遊している群れ (Chang et al,1993) と、周年に渡り日本沿岸域で漁獲される群れとの違いについても十分に解明されていない。また、九州西岸域のカタクチイワシについては、1970年代に橘湾をモデル地区として西海区水産研究所と長崎県水産試験場が共同調査を行っているが (下村ほか, 1970)、成魚の回遊については漁業者の聞き取り情報の域を出ず、また資源加入機構についても周辺海域の海況・流況の知見が希薄であったため、ほとんど言及されていない。

1.3.本研究の目的

上述したように、五島灘沿岸や天草灘の北東に位置する橘湾で漁獲されるカタクチイワシの漁況変動、とくに資源加入

量や漁場への来遊量を決定する上で、流れによる卵・仔稚魚輸送が大きな影響を及ぼしていると考えられる。しかしながら、卵・仔稚魚の輸送に直接関わる天草灘・五島灘の流況については観測データは極めて少なく、とくにカタクチイワシの主な産卵期にあたる冬季~春季の流れに関する知見はこれまでほとんど得られていない。

そこで本研究では、天草灘および五島灘の流況とそれに関連する海況の変動実態と変動のメカニズムについて検討するために、当該海域と外海域をつなぐ陸棚縁辺部において船舶を用いた調査を繰り返し行い、とくに卵・仔稚魚輸送に貢献すると考えられる残差流の構造と変動の実態を明らかにしようとした。また、上記とカタクチイワシの漁況変動との関連について検討を加えることにより、漁況予測精度の向上や資源評価に資する基礎的な知見を得ることを目的とした。

第2章 天草灘・五島灘の流況と海況

五島灘東部に位置する西彼地区や天草灘の北東方向に位置する橘湾では、いわし類を漁獲対象とする中小型まき網等の漁業が営まれており、近年は春季に漁獲される、概ね体長3~6cmの小型のカタクチイワシが重要な漁獲対象となっている。下村ほか(1970)は、橘湾で漁獲されるカタクチイワシが主として仔稚魚期に天草灘・五島灘から供給されることを示唆しており、その漁況には五島灘・天草灘の流れの状況が重要な関わりを持つものと考えられる。しかしながら、船舶の往来が多く漁業活動が盛んな当該海域では、係留系を用いた観測を長期間実施することは困難なことから、五島灘・天草灘における流れ、とくに卵・仔稚魚の輸送に重要と考えられる残差流に関するこれまでの知見は非常に限られている。

たとえば、小田巻(1982)は秋季に実施した係留系による測流結果から、五島灘の恒流は比較的安定していること、天草灘や五島灘西部においては時に約 $35\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ の北上流がみられることを報告しているが、いわし類の主な産卵期にあたる冬季~春季における当該海域の残差流についての報告は全くない。

また、当該海域では他に漂流瓶や漂流ハガキなどを用いた調査が実施されており(玉井ほか, 1970, 永谷ほか, 1995)、永谷ほか(1995)は1月~4月に実施した漂流ハガキ調査の結果をもとに、冬春季の季節風の変化に起因する五島灘の流れの変化が、マイワシの卵・仔稚魚の輸送に影響を及ぼす可能性があることを指摘している。しかしながら、これらの結果は海表面の流れの概況を示しているにすぎない。このように、冬春季における流れについては観測データそのものが非

常に少なく、その構造や変動についてはほとんど知見が得られていない。

そこで、本章では五島灘南部・天草灘海域において、潮汐成分除去を目的とした船舶設置型超音波潮流計(以下ADCP)による測流観測を繰り返し実施し、残差流(日平均流)の変動実態を明らかにするとともに、それを測流時の多項目水質測定機(STD)による水温・塩分観測結果や人工衛星画像に基づく海面水温分布と対応させることにより、残差流の変動と水塊構造との関連性について考察した。

2.1 資料と方法

2.1.1 係留測流観測

潮流に対する平均流の大きさを見積もるために、調査対象海域のうち係留観測が可能な野母崎半島沿岸部のMO点(Fig.2.1)で2006年5月9日から6月8日まで係留測流観測を実施し、測流結果を調和解析することにより潮流調和定数を算出した。測定は電磁流速計(ACM16M:アレック社製)を、MO点の60m深(海底上25m)に設置して実施した(Fig.2.2)。なお、6月6日以降のデータにはバッテリー切れが原因と考えられる異常値が見られたことから、5月9日から5月24日までの15日間のデータについて調和解析を行った。

2.1.2 天草灘および五島灘におけるADCP観測および残差流の算出

潮流成分の除去を目的として、加藤(1988)の方法に従い、船舶設置型ADCPを用いて24時間50分で同一コースを4往復する測流観測を実施した。潮流が日周潮流と半日周潮流の和で

あるとの仮定のもとで、この方法により観測ライン上の定点で得られた8回の観測値を合計することによって、潮流の影響を除去することができる。後述する測線 A2 の観測には長崎県総合水産試験場の調査船鶴丸、測線 A1 および測線 B の観測には長崎大学水産学部の練習船鶴洋丸に搭載されている ADCP をそれぞれ用いた。調査海域と調査点を Fig.2.1 に、また調査日時等の詳細を Table 2.1 にまとめて示した。

た測線 A1, A2, B についてそれぞれ 13 定点間の平均値 (12 個) を算出し、その 8 回分の平均値を求めることにより測線 A1, A2, B 上の 12 点における日平均流 (残差流) を得た。

また、観測時の水塊構造を調べるため、ADCP による往復調査終了後、調査船鶴丸搭載 STD (アレック電子社製, ACL220PDK) で測線 A1 上の 7 定点(Stns. 1a, c, e, g, I, k, m)および測線 A2 上の 7 定点(Stns, 1a, 3,

Table 2.1. The information of observation in the Amakusa-nada and Goto-nada.

The area of the sea	Date	Name of study
Amakusa-nada	13-14 April 2004	1a-13
Amakusa-nada	10-11 May 2005	1a-13
Amakusa-nada	23-24 May 2005	1a-13
Goto-nada	23-24 May 2005	1a-m
Amakusa-nada	10-11 January 2006	1a-13
Amakusa-nada	24-25 January 2006	1a-13
Amakusa-nada	10-11 January 2007	1a-13
Amakusa-nada	13-14 March 2007	K1-K13

ADCP データの解析処理は、調査船搭載コンピュータにバンドルされた RD Instruments 社製ソフト Win River もしくは Vmdass から得た所定層毎の流れデータ (バイナリデータ) と GPS データ (NMEA: テキストデータ) を用いて行った。得られたバイナリデータはユーザズマニュアル (RD Instruments 社製) に記載されたバイナリデータフォーマットに従いアスキーデータに変換した。その後、ADCP データはすべてトランスデューサーとジャイロコンパスの不整合による誤差を補正し (Joyce, 1989), Fig.2.1 に示し

5, 7, 9, 11, 13), また長崎大学練習船鶴洋丸搭載の CTD (Sea Bird 社製, SBE-911 plus) で測線 B 上の 5 定点 (Stns. K1, K3, K5, K7, K9) について、それぞれ水温と塩分の観測を実施した (Fig.2.1)。

以上に加えて、調査海域を含む広域の海面水温分布について検討するため、人工衛星 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) に搭載された改良型高分解能放射計 (AVHRR: vanced Very High Resolution Radiomtr) の海表面温度分布 (MCSST: Multi-Channel Sea

Surface Temperature) の日毎合成熱赤外面像(BSQフォーマット)を、農林水産省農林水産研究情報センターが運営する農学情報資源システム (AGROPEDIA) の気象衛星画像データベースから取得した (<http://wesidab1.wesidab.agropedia.affrc.go.jp/cgi-bin/index.cgi>, 2004年4月14日, 2005年5月11日, 2005年5月24日, 2006年1月11日, 2006年1月25日, 2007年1月11日, 2007年3月13日)。なお、得られたデータはGISソフト (マリンエクスプローラー, 環境シミュレーション社製) により画像化した。

2.2 結果

2.2.1 係留測流観測から得られた潮流の評価

係留測流データの調和解析により得られた潮流調和定数のうち大きな振幅を示した4分潮(M_2, S_2, K_1, O_1)の潮流楕円を Fig.2.3 a)–d) に示す。4分潮の中では半日周潮である M_2 分潮が最も卓越しており、主軸方向は北東から南西方向、最大流速は $19.9 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。また、 S_2 分潮の主軸も北東から南西方向を示しており、最大流速は $8.1 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。1日周潮の流速は半日周潮に比べて小さく K_1 分潮と O_1 分潮の潮流楕円の主軸方向の最大流速は、それぞれ $3.6 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ と $2.6 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。

一方、調和解析により得られた平均流の流速は $6.0 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ であり、また潮汐の影響を除去するために25時間ボックスフィルターを施して得た平均流についても流速は $1.1 \sim 15.3 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ と M_2 分潮もしくは S_2 分潮の最大流速に比べて小さかった。

2.2.2 測線 A2 の往復観測で得られた日平均流

測線 A2 で実施した ADCP による24時間50分の往復観測で得られた30m深における日平均流の空間分布をまとめて Fig.2.4 に示す。なお、カタクチイワシは卵から仔稚期までは表面から50m深に分布するとの報告 (桑原・鈴木, 1984) を考慮して、ここでは日平均流の代表水深として30mを選択した。

2004~2007年の冬季および春季に実施した6回の測流結果のうち5回は全体に北上流が卓越し、Stn.9~Stn.13では北ないし北東向きの日平均流が認められた。一方、2007年1月10-11日は、南下流が Stn.1a~Stn.3 と Stn.11~Stn.13 で認められたが、このときも Stn.4~Stn.10 では北上流が見られた。橘湾は天草灘の北東に位置しており、測線 A2 の Stn.7~Stn.13 で観測された北~北東方向の日平均流は、橘湾への卵・仔稚魚の輸送に直接かかわる重要な働きをしている可能性がある。

2.2.3 測線 A1, A2 の平均流と水塊構造の対応

橘湾への卵・仔稚魚輸送に重要と考えられる測線 A2 で観測された北~北東向きの平均流と水塊構造との関連を検討するために、測流時の状況に対応する人工衛星 NOAA の熱赤外面像と、水温と塩分の鉛直断面図に10m深、30m深、50m深、70m深の日平均流を重ね描きしたものを、測流観測時別に Fig.2.5~Fig.2.9 に示した。なお、熱赤外面像上にも、ADCP による測流結果の中でデータ水深が最も浅い10m深の平均流を併記している。以下、観測年別に結果の概要を記す。

2006年1月10-11日および24-25日

(Fig. 2.5, Fig. 2.6) : 1月11日の熱赤外面像を Fig.2.5a に示す。甬島西方に分布していた 16°C 以上の高温域 (I) から連続する暖水が上甬島北西から天草下島に向け 100 m 等深線に沿って反時計回りに巴状に伸び、測線 A2 の Stn.10~Stn.13 に達しており、そこに北もしくは北東方向の日平均流が認められた。また、宇治群島東から甬島海峡にかけて 17°C 以上の高温域 (II) が分布していた。さらに測線 A2 の水温鉛直断面図 (Fig.2.5b) を見ると、Stn.5~Stn.13 の下層では 16°C の等温線が凹状の構造を示し、その最深部は 65 m 深に達していた (破線の赤枠部分を参照のこと)。Stn.9~13 で見られた北もしくは北東向きの日平均流の流速は 10 m 深では $11\sim 20\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、70 m 深では $24\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}\sim 28\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ であり、暖水塊の底部にも強い北~北東向きの流れが認められた。

次に 1月25日の熱赤外面像を Fig.2.6a に示す。宇治群島東から甬島海峡にかけて分布していた高温域 (III) から連続した暖水が上甬島東から天草下島に向けて沿岸に沿って細長く舌状に伸びている様子が分かる。この暖水は測線 A2 の Stn.9~Stn.13 に達し、Stn.5~Stn.7 と Stn.9~Stn.13 には北向きの流れが認められた。水温鉛直断面図 (Fig.2.6b) を見ると、このとき Stn.9~Stn.13 において 17°C 以上の暖水塊は 70 m 深まで達しており (破線の赤枠部分)、20 m 以浅の 17.5°C 以上の水塊 (塩分は 34.6) では最大 $34\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ の北向きの流れが認められた (破線の青枠部分)。

2007年1月10-11日 (Fig. 2.7) : 1月11日の熱赤外面像を Fig.2.7a に示す。

32°N 以南、 129°E 以西に雲域があるため明瞭ではないが、 18°C 以上の高温域が宇治群島東から甬島北西方まで広く分布し、 $32^{\circ}5'\text{N}$ 、 $129^{\circ}30'\text{E}\sim 130^{\circ}\text{E}$ の海域から北東方向に暖水が舌状に伸び、測線 A2 の Stn.7~Stn.13 まで達していることが分かる。このとき、Stn.7~Stn.10 付近に北~北東方向の平均流が認められた。さらに測線 A2 の水温鉛直断面図 (Fig.2.7b) によれば、Stn.7~Stn.13 には 70 m 深まで 17.5°C 以上の暖水塊 (塩分は 34.3~34.4) が認められ、北東向きの日平均流が見られた Stn.9 付近には 18°C 以上の水塊が 60 m 深まで分布していた (破線の赤枠部分)。

2004年4月13-14日 (Fig. 2.8) : 4月14日の熱赤外面像 (Fig.2.8a) を見ると、宇治群島東から甬島海峡にかけて分布していた高温域 (IV) から暖水が上甬島東の北方に細長く舌状に伸び、甬島海峡東を北西に伸長して、測線 A2 に達している。一方、水温鉛直断面図 (Fig.2.8b) によれば、測線 A2 の Stn.11~Stn.13 の表層には 19°C 以上の水塊がみられ、その下層では 17.5°C の等温線が凹状の構造を示し、その最深部は 70 m まで達していた (破線の赤枠部分)。このときに Stn.9~Stn.13 で見られた北向きの日平均流の 10m 深および 70m 深における流速は、それぞれ $31\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}\sim 40\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ および $19\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}\sim 22\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。

2005年5月10-11日および23-24日 (Fig. 2.9) : 5月11日の熱赤外面像を Fig. 2.9a に示す。 32°N 以南に雲域があるため明瞭ではないが、 $32^{\circ}\text{N}\sim 32^{\circ}30'\text{N}$ に 20°C 以上の高温域 (V) が分布していた。この高温域は測線 A1 の Stn.1a~e と測線 A2 の Stn.4~Stn.13

に認められ、北向きの日平均流が見られた。高温域の鉛直的な水塊構造 (Fig.2.9b)を見ると、測線 A2 の Stn.7 ~Stn.9 の表層に 20 °C以上の高温水が分布しており、その下層には 16 °C~19 °Cの等温線が凹状となった構造が認められる。16 °Cの等温線の最深部は 80 m 深まで達していた。

2005年5月23-24日についても、水塊構造と日平均流の状況には Fig.2.9 に示した5月10-11日と同様の傾向が認められた。

2007年3月13-14日 (Fig. 2.10) : 甬島北部海域の3月13日の熱赤外面像に10m深における日平均流の測定結果を重ね書きしたものを Fig.2.10a に、また、Stn.K1~Stn.K9 の水温鉛直断面図に10m深、30m深、50m深、70m深の日平均流を重ね描きしたものを Fig.2.10b にそれぞれ示した。熱赤外面像から、甬島海峡に分布している暖水は、上甬島東から北方に細長く舌状を呈して西薩沿岸まで伸び、さらに西薩沿岸に沿って北西に伸長して甬島北部海域まで達していることが分かる。水温鉛直断面図でも Stn.K5~Stn.K9 の表層に 18.0 °C以上の暖水が見られることから、そこで観測された北向きの日平均流 (水深毎の最大値は $34 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ~ $56 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$) は、西薩沿岸に沿って天草灘へ北上する暖水に対応した流れを示すものと考えられる。

2.3 考 察

当該海域において、これまで冬春季の係留測流データに基づいた調和解析によって残差流を推定した例はない。秋季については、小田巻 (1982) が五島灘、

天草灘で実施した係留観測結果を報告している。それに基づけば10月に天草灘で実施した係留測流データから算出した M_2 分潮は本研究で得られた M_2 分潮の調和定数とほぼ同一であり、平均流は M_2 分潮の主軸方向の最大流速に比べ小さいものであった。これらのことから調査対象海域である五島灘・天草灘においては、潮流 (往復流) の影響が大きいことが分かった、このため、卵・仔稚魚等の輸送にかかわる残差流について検討するためには、潮流成分を除去することが必要不可欠であることが確認された。

さらに本研究により、残差流に関する知見がこれまで非常に乏しかった天草灘・五島灘南部陸棚縁辺部において、橘湾へのカタクチイワシ仔稚魚等の輸送に重要な役割を果たしていると考えられる北~北東向きの残差流 (日平均流) の実態を捉えることができた。

この日平均流の流速は潮流の影響を強く受けており、時に潮流よりも大きな値を示すこともある。また、天草灘において、2004年4月には最大 $40 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、2007年3月には最大 $56 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ の流れが認められ、五島灘および天草灘で秋季に観測された $35 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上の北向きの流れ (小田巻, 1982) が、冬春季にもしばしば見られることが本研究によって確認された。また、測流時の水塊構造と対比することによって、この北向きの日平均流は暖水の北上とよく対応していることが明らかとなった。さらに、水温の鉛直断面分布から、この日平均流は表層だけでなく中・底層においても暖水に対応した構造を示すことが分かった。さらに熱赤外面像にもとづく海面水温の平面分布から、上記の北上する暖水は天草灘南方海域の暖水分布と連続していたものと推察された。天草灘南方海域に設定した測線

Bでも、表層に18℃以上の暖水が見られ、そこで観測された北向きの日平均流は、西薩沿岸に沿って天草灘へ北上する暖水に対応した流れとなっているものと考えられる。この観測結果は測線A2と同時期のものではないが、測線A2で観測された北上流が天草灘南方海域からの暖水の北上によるものであることを証明している。

本研究では、ADCPによる24時間50分の測流観測に引き続いて海洋観測を実施しており、また、水塊構造との対応関係を明らかにするため人工衛星画像もできる限り観測日に近い日時のものを使用した。しかし、いずれも全く同時の情報ではないため、流れの日変動が大きい場合には、解析手法上の問題が生じる可能性が考えられる。得られた観測結果に基づけば、観測期間における流れの状況はいずれも持続性が高く、とくに同時性のある人工衛星画像が取得できた2006年1月24-25日の暖水分布パターンにも大きな変化は見られなかった。したがって、本研究で対象としている現象に関しては、1日程度の時間スケールの変動性は比較的小さく、本研究で得られた結果は妥当であると判断した。

測線 A2で観測された暖水の起源については、甌島海峡から北上する場合 (Fig. 2.10a) の他に、甌島西方の暖水と連続している様子が見られる場合があった。例えば、1ヶ月以内に2回の調査を行った2006年1月は、1月10-11日に測線 A2で観測された暖水は甌島西方に分布する暖水と連続していたのに対して、1月24-25日に観測された暖水は甌島海峡に分布する暖水と連続していた。そこで、TS ダイアグラム (Fig. 2.11a) を用いてこの両日の観測結果を水塊構造の面から比較してみた。すなわ

ち、1月11日に観測された水塊を「水塊B」とし、1月25日に観測された水塊のうち、水塊Bよりも高水温・高塩分のもを「水塊A」、低水温・低塩分のもを「水塊C」として、それぞれをFig. 2.11aにプロットした。その結果、1月25日にStns.5~7に出現した水塊は1月11日に観測された水塊Bに属するのに対して、Stns.9~13に出現した水塊の大半はそれとは異なる水塊Aに属することから、これらの測点で観測された北向きの流れは異なる水塊の移動に対応したものであったことが示唆された。このことは、熱赤外面像や水温鉛直断面図から推察された暖水の起源の違いを裏付けている。

森永(2000)は、定置網に設置した水温計による連続水温観測データと人工衛星の熱赤外面像の解析によって、九州西方沿岸域への暖水の伝播に男女群島南東經由の他に甌島海峡および甌島西側經由のものがあることを示唆している。本研究において流れの変動と水塊構造の対応について検討した結果、天草灘・五島灘における北向きの流れは甌島海峡もしくは甌島西側を北上する暖水と密接に関連していること、天草灘・五島灘への物質輸送には九州西岸沿岸に沿う上述の流れが重要であることを新たに示すことができた。

なお、2006年1月24-25日には測線A2に低水温・低塩分の水塊Cが出現している。この水塊は、Fig. 2.11bに示した塩分断面分布から分かるようにStns.1a~3の中層から底層に分布しており、2005年5月10-11日調査でもStns.1a~3付近には34.1以下の低塩分水が認められた (Fig. 2.11c)。これらは、山本ほか (1999) が報告している橘湾もしくは有明海から天草灘への沿岸水の流出を示すものと考えられる。

小田巻(1982)は数値解析結果をもとに、五島灘における残差流の変動要因として黒潮変動の影響を指摘している。本研究で示した熱赤外面像からも、測線A2上を北上していた暖水は甬島西方海域から宇治群島東、もしくは甬島海峡から宇治群島東に分布する高水温域と連続していたことから、黒潮から分派したものである可能性が高いものと考えられるが、その発生機構については不明である。今後、水温・流れ等の連続観測などにより、暖水塊北上の機構が解明されること

を期待したい。

下村ほか(1970)は、橘湾で実施した短期の測流観測等から推定された流速分布をもとに、五島福江島と上甬島とを結ぶ範囲内の沿岸海域で産卵された卵・仔稚魚が主として橘湾に輸送されると推察している。本研究で明らかとなった天草灘を北上する流れは、甬島近海域の暖水塊と連続した構造を示していることから、この海域における浮魚類の資源量評価や漁況予報を行う上で有用な情報の一つとなるものと考えられる。

第3章 安定同位体比を用いた橘湾および西彼地区におけるカタクチイワシの加入起源の検討

動物の炭素・窒素安定同位体比は、その動物が食べる餌の炭素・窒素安定同位体比を反映している (Deniro and Epstein, 1978; Deniro and Epstein, 1981; Minagawa and Wada, 1984)。このため餌料環境の安定同位体比を地理的に分離することができれば、動物の移動や地理的起源を明らかにすることができる (Hobson, 1999)。例えば、Suzuki et al. (2008) は筑後川でスズキ (*Lateolabrax japonicus*) の稚魚について高塩分域と低塩分域との間の移動を追跡している。

一方、Tanaka et al. (2008) は、日本周辺のカタクチイワシについて炭素・窒素安定同位体比を調べ、内湾性 (沿岸性) と外海性 (沖合性) の安定同位体比の違いを明らかにしている。そこで本章では、橘湾と西彼地区で採集したカタクチイワシ標本の安定同位体比を調べ、既往の知見と比較することによりカタクチイワシの移動や、その地理的起源について検討した。

3.1 材料と方法

試験に供したカタクチイワシの標本は、2007年11月から2009年1月に漁獲された計50検体である (Table 3.1)。まず、カタクチイワシの主な漁期である春季の標本は、2008年の5~6月 (サンプルD-F) に採集した被鱗体長 60mm 以下のカエリ銘柄と、季節としては少し遅いものではあるが、秋季の標本として2007年12月 (サンプルA-C) に採集した被鱗体長

90mm 以下のカエリ~中羽銘柄である。この中でサンプルAの採集地は有明海、サンプルDの採集地は西彼地区であり、その他のサンプルは橘湾から採集したものである (Fig. 3.1)。また、漁業者からの聞き取りに基づけば、秋季とは群れが違々と指摘された冬季に漁獲された標本 (サンプルG-J) も比較データとして用いた。

サンプルは、採集後冷凍して実験室に持ち帰った。実験室で解凍した後体長を測定し、背部の筋肉を採取して安定同位体比の分析に供した。

次に、サンプルの安定同位体比分析における脂質含有量の影響を除くことを目的とした脱脂行程について記す。各標本は乾燥冷凍し、その後乳鉢で粉碎してから、クロロホルム：メタノール (2:1) によって標本の脱脂処理を行った。脱脂処理を経たサンプルを再度凍結乾燥した後、EA1110-DeltaPlus Advantage ConFlo III System によって燃焼、気体化し $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ および $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ の測定に供した。なお、安定同位体比は、大気中の窒素を基準物質として以下の式から算出した。

$$\delta^{13}\text{C}, \delta^{15}\text{N}(\text{‰}) = \left[\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right] \times 1,000$$

ここで、Rは $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比もしくは $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 比を示し、 R_{sample} はサンプルの測定値、 R_{standard} は標準物質の値である。

3.2 結果

安定同位体比分析の結果を Fig. 3.2 に示す。特に、 $\delta^{13}\text{C}$ が明確に分離され、秋季に採集したサンプルの $\delta^{13}\text{C}$ はすべ

て春季に採集したサンプルの $\delta^{13}\text{C}$ よりも高い値であった。サンプル A-C およびサンプル D-F は、 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ において非常に明確に分離されていたものの、サンプル A-C とサンプル G-J は $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ において重なりが認められた。

一方、サンプル D-F とサンプル G-J の $\delta^{13}\text{C}$ については、明確に分離されたが、 $\delta^{15}\text{N}$ においてはサンプル F, H, I に重なりが見られた。これらのサンプルをノンパラメトリックの多重比較 (Steel Dwass 検定) により検定を行った。その結果、 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ において、サンプル A-C とサンプル D-F ($p < 0.001$)、サンプル A-C とサンプル G-J ($p < 0.01$)、サンプル G-J とサンプル D-F ($p < 0.001$) について有意に違いが認められた。同時期に採集された標本間で比較すると、秋季標本については、 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ 両方においてサンプル C の安定同位体比がサンプル A, B よりも低く、春季標本についてもサンプル F の方がサンプル D, E よりも高い値となった。しかしながら、冬季標本であるサンプル G-J では $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ は同様の値であった。

このような標本採集期間による違いのうち、冬季標本であるサンプル A-C の安定同位体比の違いは、サンプル C がサンプル A, B よりも体長が小さいといったサンプル間の体長の違いに由来すると考えられる。

そこで、体長と $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ について相関を調べたところ、それらの関連性は有意であった ($\delta^{13}\text{C}$, $P < 0.01$; $\delta^{15}\text{N}$, $P < 0.001$)。

一方、60mm サイズより小さい体長のサンプルについては、同じ体長であっても $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ に違いが見られた (Fig.3.3)。

3.3 考 察

炭素・窒素安定同位体比は、動物の移動履歴や地理的起源を明らかにする上で有効な手法であり (Hobson, 1999)、春季と冬季に採集した標本の安定同位体比の違いは漁獲以前の餌環境の違いを示していると思われるが、Tanaka et al. (2008) が行った既往のカタクチイワシの安定同位体比散布図 (Fig3.2) と比較してみると、本研究で安定同位体比が高かった標本、特に秋季の標本であるサンプル A-C は Tanaka et al. (2008) で観測された内湾 (沿岸) のものとよく一致していた ($\delta^{13}\text{C} > \text{ca.} -17\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N} > \text{ca.} 11\text{‰}$)。一方、春季の標本であるサンプル D-F の $\delta^{13}\text{C}$ の値は、九州西岸外洋域の標本の値 (-18‰) と同じか、低めであり、太平洋海域の標本の値 ($\delta^{13}\text{C} < \text{ca.} -19\text{‰}$) に比べ少し高い値であった。本研究で得た $\delta^{15}\text{N}$ についての値は、Tanaka et al. (2008) が示した値 (九州西岸外洋域 10‰ ; 太平洋海域 $\delta^{15}\text{N} < \text{ca.} 9\text{‰}$) よりも高く、内湾性の値と近いものであった。

本研究で得られた標本と Tanaka et al. (2008) が示した値から判断すると、 $\delta^{15}\text{N}$ の値からは明確には言えないものの、 $\delta^{13}\text{C}$ の違いは内湾と外海域の摂餌場所の違いに由来するものと考えられる。このため本研究では、移動パターンについての議論に際して $\delta^{13}\text{C}$ を使用することとし、加えて $\delta^{15}\text{N}$ の比較を行うことで、より明確な分離が可能になると考えた。実際に有明海では、動物や一次生産について、 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の両方を用いた研究例が報告されている (Yokoyama et al. 2005; Suzuki et al. 2008; Yokoyama et al. 2009)。

採集時間や有明海における採集場所に

は違いがあるものの、Yokoyama et al.(2009)が示した底層の藻類やベントスの値は、本研究で得たカタクチイワシに関する冬季標本の $\delta^{13}\text{C}$ の値と同じであったことから、冬季標本と有明海食物網との関連性が示唆される。

Funamoto et al.(2004)は、沿岸域のカタクチイワシが主に春季～秋季に産卵すると報告している。本節の研究の中で2008年の5月～6月に採集した全ての標本の体長は、60mmより小さいことから、これらは春季に発生した群と考えられる。さらに、これらの $\delta^{13}\text{C}$ の値は、Tanaka et al. (2008)が示した外洋域のカタクチイワシの $\delta^{13}\text{C}$ の値と同様に低い値であったことから、2008年の5月～6月に採集されたカタクチイワシは、春季に外海で発生した後に摂餌しながら、短期間の間に内湾の環境に移動してきたものと考えられる。また、サンプルFはサンプルD,Eと比べ湾奥で漁獲され、安定同位体比も高い値となっている。これはわずかながらではあるが、内湾で安定同位体比の高い餌を摂取していたことを示すものと考えられる。

一方、秋季の標本は、春季の標本よりも安定同位体比は高く、内湾の特徴を呈している。特に、サンプルAとBは近似していた。このことは、橘湾で漁獲された魚群が、概ね有明海で漁獲された魚群と同じ摂餌履歴を持つことを示唆していると思われる。すなわち、本研究で得ら

れた結果は、橘湾で秋に漁獲されるカタクチイワシが有明海から回遊する、という下村ほか(1970)の仮説を支持したものとなった。なお、先述したとおりサンプルAは12月に採集したものであり、秋としては少し時期が遅いものの、秋漁は一般に10月と11月に漁獲のピークが見られる9～12月を指していることから、上記の結果は秋漁期に適用可能であると考えられる。

また、本研究で得られた秋季の標本の安定同位体比は、長期間内湾に滞在していたことを示唆している。さらに採集時の標本の体長を考慮することによって、これらが夏季～秋季に、橘湾内もしくは橘湾の近傍海域で発生し、橘湾内で成長した可能性を示唆することになる。

下村ほか(1970)は、カタクチイワシ春季発生群の橘湾への加入が橘湾の外海域に由来すると推論していたものの、本研究で実施した安定同位体比の分析結果によって、橘湾で春季に漁獲された小型魚は、夏季～秋季に漁獲された小型魚とは異なり外洋性を示すこと、すなわち発生場所が外洋であることを明らかにした。西彼地区においても安定同位体比の検討結果より、春季に漁獲されたカタクチイワシの小型魚は外洋性を示した。これらのことから橘湾および西彼地区で春季に漁獲されるカタクチイワシは、いずれも橘湾以外の外海域から主に加入しているものと推定される。

第4章 橘湾および西彼地区における カタクチイワシの漁況変動

橘湾および西彼地区で漁獲されるカタクチイワシは概ねカエリ(体長 4~6cm), 小羽(体長 6~8cm), 中羽(体長 8~10cm), 大羽(体長 10cm<)の銘柄別に漁獲物が区分されている。中でも煮干し加工の主原料となり高値で取引されるカエリ, 小羽といった小型のカタクチイワシが主要な漁獲対象銘柄となっている。小川(1976)は, 橘湾および西彼地区で漁獲される小型銘柄が主に春~夏秋季に漁獲される春期発生群で構成されていると報告している。しかしながら, マイワシ漁獲量が橘湾の漁獲量の多くを占めていた 1975~1995 年には, 漁海況調査の対象がマイワシであったこと, 近年の橘湾および西彼地区のカタクチイワシに関する研究が少ないこと等から, 両地区におけるカタクチイワシ漁況の変動について検討を行う際には 1960~1970 年代に蓄積された知見に頼らざるを得ない状況にある。

一方, 第2章では冬季~春季に橘湾南方に位置する甬島海峡もしくは甬島西方から天草灘を北上する流れが存在することを実測によって示し, それがカタクチイワシシラスの橘湾への輸送に重要な役割を果たしている可能性を示唆した。

さらに, 第3章では安定同位体比を用いて, 橘湾および西彼地区で春~夏秋季に漁獲されるカタクチイワシが春季に主として外海から加入したものにより構成されることを示した。しかしながら, 橘湾および西彼地区へのカタクチイワシの加入経路や他海域の漁況との関連性について検討された報告は全くない。

そこで本章では, 近年の橘湾と西彼地区において春季から夏秋季に漁獲され,

外海からの加入群と考えられる春季発生群小型銘柄(カエリ・小羽)に焦点を絞り, その漁況変動について検討を加えることとした。すなわち, 天草灘で見られた北上流に着目し, 甬島海峡で定期的に就航しているフェリーに設置された ADCP(Acoustic-Doppler Current Profiler)による測流データを用いて, カタクチイワシの漁況変動と北上流の変動傾向との関連性について検討を行うこととした。

4.1 材料と方法

4.1.1 漁獲統計資料

まず, 橘湾北部地区および西彼地区のまき網経営体を標本としてとりあげ, 橘湾北部地区については 1986~2008 年まで, 西彼地区については資料が入手可能な 1997~2008 年までの春季から夏秋季の銘柄別漁獲量について春季発生群の分離を試みた。すなわち, 既知である銘柄別体長「カエリ(体長 4~6cm), 小羽(体長 6~8cm), 中羽(体長 8~10cm), 大羽(体長 10cm<)」と既知の春季発生群の成長(大下, 2009; 一丸, 1993)を合わせて用いて, 春季発生群を分離した。なお, ここでの春季とは 3-5 月を意味している。

4.1.2 卵・仔魚採集資料

長崎県総合水産試験場が五島灘で実施しているカタクチイワシの卵・仔魚採集結果に着目し, 観測定点を変更した 2008 年を除く 1997~2007 年の 3-4 月のデータを解析に用いた。調査は濾水計(離合社製)を装着した改良型ルバックネット(内径 45cm, 網地 NYTAL52GG, メッシュサイズ 0.335mm)を用いて鉛直曳網し, 海底が 150m 以浅の場合には, 海底

直上から海表面まで曳網した。採集したプランクトン標本は、船上で 10%ホルマリン海水で固定した。得られた標本のうちカタクチイワシの卵・仔魚について計数を行った後、ネットの濾水率と曳網距離およびワイヤー傾角から 100m³ 当たりの卵・仔魚数を算出し、全調査点の平均値を求めた。

4.1.3 鹿児島県西薩海域のカタクチイワシシラス漁獲量資料

3-5 月においてバッチ網で漁獲される鹿児島県西薩地域 (Fig4.1) のシラス漁獲量を用いて、橘湾および西彼地区において春季から夏秋季に漁獲される春季発生群の小型銘柄 (カエリ・小羽) 漁獲量との関連性を検討した。また、鹿児島県におけるシラスの魚種組成は、1997 年からカタクチイワシ主体に変化したことが報告されていることから (加治屋, 2006), 鹿児島県西薩地域のシラス漁獲量については 1997~2008 年のデータを用いた。

4.1.4 春季における甬島海峡のフェリーデータ (ADCP と水温)

甬島海峡を横断する「フェリー甬」に鹿児島県水産試験場が設置した ADCP (Acoustic-Doppler Current Profiler) (古野電気製, CI-60G) を用いて 2003~2008 年に測定された 10m 深の流況データを解析した。用いた流況データはフェリー航路のうち、北部にあたる串木野一里間 (ルート I) (Fig4.2) のものである。流れのデータ、時間、位置情報は全てアスキーデータとして記録されているため、これらをもとに古野電気 (株) から入手したデータフォーマットに従い時間毎の 10m 深の北-南および東-西成分の流速を

算出した。さらに、得られた流速は全てトランスデューサーとジャイロコンパスの不整合による誤差の補正 (Joyce, 1989) を行った。

また、橘湾への卵・仔稚魚の輸送には往復流である潮流よりも残差流の果たす役割が大きいと考えられることから、流況データから潮流の影響を除去することが不可欠である。「フェリー甬」はルート I を定時に 1 日 3 回通過するため、ADCP による測流データは太陽時に同期した時間的に粗い semi-regular 間隔のデータとみなすことができる (黒田ほか, 2004)。すなわち、通常の調和解析を行うと 12 時間周期である S₂ 分潮が過大に評価される可能性が高い。そこで、黒田ほか (2004) の方法に従い、ルート I に Fig4.2 に示すように定点 (K1~K7) を設定し、各定点を中心として経度±1 分をその定点のデータとして取り扱うこととする、データ欠損が比較的少ない 2005 年 1 月~2006 年 12 月のデータから K₁, O₁, P₁, Q₁, M₂, N₂ の 6 分潮の調和定数を算出した。

また、黒田ほか (2004) が K₁, P₁ 分潮分離に用いた手法に倣い、潮位の M₂ 分潮と S₂ 分潮の振幅比と位相差から S₂ 分潮の調和定数を推算した。すなわち、観測定点の最寄りの験潮所 (串木野, 阿久根) の M₂, S₂ 分潮の潮位調和定数の平均値を用いて M₂ 分潮から S₂ 分潮の調和定数を算出した。これらの調和定数を用いて得られた各年 3-5 月の残差流を日単位で平均して解析に用いた。さらに、流況と同時にフェリーに設置された水温計 (古野電気製, TI-20E) のデータ (水深 5 m) についても日単位で平均値を求め、解析に用いた。

4.2 結果

4.2.1 カタクチイワシ春季発生群小型銘柄の漁況変動

春季発生群の成長に関する既往研究に基づけば、カタクチイワシ春季発生群の体長は、孵化後1ヶ月で30mm、2ヶ月で50mm、3ヶ月で65mm、4ヶ月で80mmであった。これらと既知の銘柄別体長（カエリ；体長4~6cm、小羽；体長6~8cm）から、春季発生群は発生後概ね1ヶ月~3ヶ月でカエリ、2ヶ月~4ヶ月で小羽として漁獲されるものと推察される。このことから、カエリの4~8月の漁獲群、小羽の5~9月の漁獲群を春季発生群の漁獲量とした。

Fig. 4.3 に橘湾北部地区および西彼地区におけるカエリ・小羽銘柄漁獲量の1日1隻当たり漁獲量指数の経年変化と、これらに占める春季発生群の割合を示す。なお、漁獲量指数は、1日1隻当たり漁獲量が最も多かった2006年に対する各年の漁獲量を比率で示したものである。

まず、橘湾地区では1日1隻当たりの漁獲量指数は、マイワシが卓越していた1986年から1995年にかけては0.13~0.42であったが、マイワシに代わってカタクチイワシが増加した1996年から2008年までの漁獲量指数は0.42~1.0に増加した。さらに、橘湾のカエリ・小羽銘柄全漁獲量に占める春季発生群の割合は、1995年以前は12~56%であったが、カタクチイワシ漁獲量が増加した1996年以降の春季発生群の割合は43~89%であり、両者には有意な差が認められた（ t 検定： $p < 0.01$ ）。一方、西彼地区におけるカエリ・小羽銘柄全漁獲量に占める春季発生群の割合は44~91%であり、橘湾北部地区と同様の傾向を示した。

4.2.2 五島灘におけるカタクチイワシ卵・仔魚密度の経年変動

1997年から2007年の五島灘におけるカタクチイワシ卵・仔魚の平均密度と橘湾および西彼地区の春季発生群の1日1隻当たり漁獲量の経年変動をFig.4.4およびFig.4.5に示す。なお、卵・仔魚の採集時期が3月~4月であるため、春季発生群漁獲量は4月以前発生群に基づくものとした。

五島灘における卵と仔魚の密度はほぼ同様の経年変動を示したが、これらと橘湾および西彼地区における春季発生群の漁獲量変動の関連性を検討した結果、両者の間に有意な相関は認められなかった（Fig. 4.6）。すなわち、1997年は卵・仔魚が著しく低かったのに対して、橘湾の春季発生群の漁獲量は高く、逆に卵・仔魚密度が最も高かった2005年には、春季発生群の漁獲量は低下した。

4.2.3 橘湾および西彼地区における春季発生群漁獲量と甬島周辺海域のシラス漁獲量との関係

鹿児島で3月~5月に漁獲されるシラスの発生月は、4月以前と考えられる。一方、橘湾と西彼地区で漁獲されるカタクチイワシ小型銘柄について推定する。すなわち、4月以前に発生したカエリ、小羽の漁獲期を先のカタクチイワシの成長から推定すると、各々5月~7月、5月~8月となった。そこで、Fig4.7に鹿児島県西薩海域の3月~5月のシラス漁獲量と、その発生時期に適合した橘湾および西彼地区におけるカタクチイワシ春季発生群の1日1隻当たりの漁獲量との関係を示す。両者の間にはそれぞれの地区で有意な正の相関が認められた（橘湾地区 $r=0.64$, $N=12$, $p < 0.05$, 西彼地区； $r=0.58$, $N=12$, $p < 0.05$ ）。

4.2.4 春季における飯島海峡の残差流と水温の変動

2003～2008年の各年3月～5月（実際には前後10日間を含む2月20日～6月10日）について残差流を求め、その日々変動をスティックダイアグラムでFig. 4.8a-fに示した。また、各年の残差流推定期間における水温の変動状況をFig.4.9に示す。残差流の変動状況は、年度によって相違があるものの、どの年も流向が北～東、または北～西の残差流が卓越しており、両者を含む北向きの残差流の出現率は59～79%であった

(2003年61%, 2004年77%, 2005年60%, 2006年79%, 2007年59%, 2008年70%) (Table 4.1)。さらに、各定点における北向きの残差流のうち北～東向きの流れの比率は、39～75%であった (K1, 75%; K2, 70%; K3, 60%; K4, 75%; K5, 66%; K6, 58%; K7, 39%)。

以下、各年の残差流の状況および流速と同時に測定された水温の変動と残差流との対応関係について述べる。なお、Fig.4.8に付記した矢印は、北～東向きの残差流が顕著でありかつ1°C/日以上水温上昇が認められた期間を表示したものである。

2003年 (Fig.4.8a) : 4月21日にK2において45 cm・s⁻¹の南西流が見られ、さらに5月26日はK3で64 cm・s⁻¹の南西流が見られるなど顕著な南下流が認められた。その後6月1日からは全体に北上流が卓越し、K1-K5で6月4日以降40 cm・s⁻¹以上の北～東向きの流れが認められた。5月26日に1.5°C/日以上急激な水温上昇が見られ、水温は20°C台から23°C台となったが、その後、水温は横ばい傾向で推移した。

2004年 (Fig.4.8b) : 3月29日にK1-

K5で40 cm・s⁻¹以上の北～東向きの流れが見られ、同時期の3月28～29日に1.9～2.1°C/日の急激な水温上昇が認められた (Fig.4.9参照)。

2005年 (Fig.4.8c) : K2-K4において3月26日までは南下流が見られたが、北上流に変化し、4月上旬まで20 cm・s⁻¹以上の北～東向きの流れが継続した。北上流時の3月30日に1.5°C/日の急激な昇温が見られ、その後も徐々に昇温し4月5日以降19°C台になったが、4月10日に降温傾向に転じた (Fig.4.9)。

2006年 (Fig. 4.8d) : 3月22日にK2-K5において、35 cm・s⁻¹以上の北～東向きの流れが見られ、その最大流速はK5で46 cm・s⁻¹であった。水温はK1-K7において3月22日は15°C台であったが、徐々に昇温し3月27日には16°C台となり、K3では1.1°C/日の水温上昇が認められた。さらに、5月5日にはK3-K6で40 cm・s⁻¹以上の北～東向きの流れが見られ、その最大流速はK5で54 cm・s⁻¹であった。水温は5月5日に19°C台であったが、徐々に上昇し、5月12日にK1-K5で0.9～1.1°C/日の顕著な水温上昇が認められた。また、5月21日にK4で39 cm・s⁻¹の北～東向きの流れが見られ、同日にK4で1.2°C/日の顕著な水温の上昇が認められた (Fig.4.9)。

2007年 (Fig.4.8e) : 3月2日にK5で、3月3日にK3-K4で35 cm・s⁻¹以上の顕著な北～東向きの流れが認められた。その後、4月9日まで北上流が卓越し、その間の最大流速は3月17日にK2で66 cm・s⁻¹であった。水温については、3月10日にK4-K5で1.0°C/日以上水温上昇が見られた後、3月17日までに全定点で1.0°C/日以上顕著な水温上昇が認められた。

2008年 (Fig.4.8f) : K2-K4において3

月 15 日から 5 月 19 日に北～東向きの流れが概ね継続し、この期間に 3 回 (3 月 19 日, 4 月 29 日, 5 月 15 日), 1°C /日以上の水温上昇が見られた。

以上のように、北～東向きの残差流が卓越している時期にそれに対応した急激な水温上昇が認められる事例が多いことが分かる。

そこでさらに、残差流と水温変動の関連を詳しく調べるために、3 月～5 月のデータ欠損が比較的少ない 2004 年について、甬島海峡横断面の水温分布の経日変動と残差流の変動との関連を検討した (Fig.4.10)。先に述べたように 2004 年 3 月 29 日付近は等温線の間隔が密になっており、水温の顕著な上昇が認められる。また、3 月上旬の K4-K7 と 5 月下旬の K1-K7 においても等温線の間隔が比較的密であることがわかる。同時期の流れ (Fig.4.8b) を見ると、いずれの時期にも $34\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上の北～東向きの流れが認められた。一方、顕著な水温上昇後の 4 月上旬から 5 月上旬では水温の顕著な変動は認められず、等温線の間隔が疎であった。さらに、5 月中旬には 20.5°C の水温が K7 から K4 に向かって伝播する様子が認められたが、このとき北～東向きの流れも K6 から K2 に向かって順に出現していたことがわかる (Fig.4.8b)。以上のような水温急上昇と北～東向きの残差流の対応関係は、他の年にも同様に認められた。

第 2 章では、2007 年 3 月 13-14 日に上甬島北部海域で観測された北上流が、上甬島東からの暖水の北上に対応していることを指摘している。そこで、この北上流と同時期 (2007 年 3 月 13 日) に甬島海峡で得られた残差流の推定値との比較を試みた (Fig.4.11)。上甬島北部海域では、この時に 10m 深で最大 $56\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$

の北向きの残差流が観測されている。一方、甬島海峡の各定点のうち、K1-K4 の残差流の向きは北東方向であり、その 10m 深の流速最大値は $43\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。また、この残差流の向きは熱赤外面像から判読した甬島海峡から上甬島北部に伸長していた暖水の向きと良く一致していた。

4.3 考 察

4.3.1 橘湾および西彼地区における春季発生群の漁況と加入起源

1960～1970 年代に橘湾および西彼地区で漁獲されていたカタクチイワシについて小川 (1976) は、春季発生群の発生量、生残率および来遊量によって漁況の好・不漁が大きく左右されると推察している。本節で春季発生群について検討した結果、カタクチイワシの漁獲量が増加した 1996 年以降は、小型銘柄の年間漁獲量の多くを、春季から夏秋季に漁獲される春季発生群が占めていることが分かった。

また、マイワシが橘湾における漁獲の主体であった 1995 年以前には、カタクチイワシ春季発生群の割合は少なかったことが明らかとなった。このことは、橘湾および西彼地区におけるカタクチイワシの漁況に、春季発生群の変動が大きく関与していることを示しており、1960～1970 年代の小川 (1976) の知見ともよく一致する。

一方、本節で橘湾の西に位置する五島灘における卵・仔魚の分布密度と橘湾および西彼地区の春季発生群の漁獲量との関係について検討した結果、両者に明確な関連性は認められなかった。

さらに、1997 年に橘湾で採集された小型魚の体長組成データ (長崎県総合水

産試験場の未発表データ)によれば、小型魚の多くは4月生まれと推定されているが、この年の3~4月には五島灘で卵・仔魚がほとんど採集されていない (Fig. 4.4 および Fig.4.5)。第3章で述べたように春季発生群が、外海からの加入が主であることを考慮すると、春季におけるカタクチイワシの卵・仔魚は、五島灘以外の沖合域から橘湾および西彼地区へ供給されている可能性が高いものと考えられる。

その一方で、甬島北東海域から南東海域を漁場とする鹿児島県西薩地域のシラス漁獲量 (3月~5月) と橘湾および西彼地区のカタクチイワシ春季発生群の漁獲量の間には、有意な正相関が認められた (Fig. 4.7)。このことは、外海からの加入に依存していると考えられる春季発生群の加入起源として甬島周辺海域が重要であることを示している。

4.3.2 春季の甬島海峡における残差流の変動実態

本研究では、既に第2章において天草灘で冬春季に実施した流況と海況の観測結果から、甬島海峡を含む甬島周辺海域からの北上流の存在を見出し、橘湾および五島灘への卵・仔魚輸送との関連性を指摘した。しかしながら、これらは時間的に断片的なものであり、この北上流がカタクチイワシの卵・仔稚魚の輸送に与える影響を厳密に評価することは困難であった。そこで、本章では甬島海峡のみの結果ではあるが、定期就航フェリーに設置された ADCP による長期間の連続的な流況観測データの分析を行い、上記の北上流がいずれの年にも3月~5月に比較的頻繁に発生していることを明らかにした。このことは、天草灘で観測された北上流が橘湾および西彼地区への卵・

仔稚魚輸送に与える影響が大きいことを示している。

また、残差流の変動と水温の関連について検討した結果、顕著な北~東向きの流れが認められた時には水温の急激な上昇が見られる事例が多く、2004年の解析例で具体的に示したように水温の経日変動は、残差流の変動ときわめて密接に関連していることがわかった。さらには、上甬島北部海域と甬島海峡において同時観測結果が得られた。2007年3月の事例において、両海域で観測された北上流がいずれも暖水の分布とよく一致していたことから (Fig.4.11)、上述の北上流が南方からの暖水塊の波及と密接に関連するものであることが示唆された。

なお、調和解析で得られた甬島海峡における潮汐残差流の妥当性については、検証に用いることのできるデータが限られているが、先述したように2007年3月に上甬島北部海域 (10m深) で得られた平均流と、本研究で甬島海峡において推定された残差流の流速最大値 (前者は $56\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、後者は $43\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 、いずれも北向きの流れ) に大きな違いは見られなかった。したがって、本研究で得られた甬島海峡における潮汐残差流の推定値は概ね妥当であると判断した。

4.3.4 橘湾および西彼地区のカタクチイワシ春季発生群漁獲量に対する残差流変動の影響

上述の甬島海峡の北~東方向の流れは、卵・仔稚魚の輸送を通じて、橘湾および西彼地区のカタクチイワシ漁獲量に影響を及ぼす可能性がある。そこで、甬島海峡 (K1~K7) で得られた残差流のうち、北~東向きの流速を各年毎に3月~5月のすべての期間について積算し、これを輸送指数 (transport index) と定義して橘

湾および西彼地区のカタクチイワシ春季発生群漁獲量との関連性を調べた。ただし時化等によりデータの欠損がある場合には、欠損したデータの前後1日のデータを用いて補間した。

輸送指数と橘湾および西彼地区のカタクチイワシ春季発生群漁獲量との間にはFig.4.12に示すような有意な正の相関が認められた。このことは北-東向きが残差流が、橘湾および西彼地区へのカタクチイワシ卵・仔魚の輸送に大きく関わっていることを裏付けており、この流れが橘湾における漁況の予測にとって極めて重要な要素となっていることを示している。

なお、小西ほか(2002)は、広域的なシ

ラス調査の結果として2004年4月に東シナ海の水温17-24℃の海域にカタクチイワシ仔魚が広く出現していたことを報告している。2004年4月の甬島海峡の5m深の水温は18~20℃台であったことから、このときに甬島海峡周辺海域にもカタクチイワシ仔魚が分布していたものと推察される。

以上のことから、橘湾および西彼地区で春季~夏秋季に漁獲されるカタクチイワシ春季発生群は、南方からの加入に主に依存しており、甬島海峡における北-東方向の残差流の年々の変動は、橘湾および西彼地区における漁況の変動に大きな影響を与えていることが分かった。

第5章 結 論

漁況予測は、漁業者の操業計画策定に利用されるほか、資源管理計画策定にも利用される水産学上欠かすことのできない課題の一つである(和田ほか, 1995)。本研究では、五島灘沿岸や天草灘の北東に位置する橘湾で漁獲されるカタクチイワシ、とくにその春季発生群(小型銘柄)を対象として、その卵・仔稚魚の輸送にかかわる天草灘・五島灘の冬春季の流況に関する詳細な調査を行い、残差流の構造と変動の実態を明らかにするとともに、カタクチイワシの漁況変動との関連について検討を行った。

5.1 天草灘・五島灘における海況と流況

野母崎半島沿岸で2006年5月6日～24日に実施した係留系による測流結果から、卵・仔稚魚輸送にかかわる流れについて検討するためには、潮流成分を除去することが必要不可欠であることが確認された。そこで、2004年～2007年の1～5月に天草灘で6回、五島灘と甑島北部海域で各1回、調査船に装備されたADCPによる24時間50分の往復観測を行い、それぞれについて潮流の影響を除去した残差流を算出した。その結果、天草灘から五島灘東部にかけて全体に北上流が卓越していること、天草灘の北ないし北東方向の残差流の流速は最大 $40\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ であり、この流れは天草灘の北東に位置する橘湾への卵・仔稚魚輸送に重要な働きをしていることが分かった。また、甑島海峡北部海域でも北上流が卓越して

おり、その最大流速は $55\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。

さらに、残差流と水塊構造の関連について検討するために、天草灘および甑島北部海域の北上流発生時の海況観測結果と熱赤外線画像の解析を行った。その結果、上述した北上流は甑島海峡もしくは甑島西方海域から連続した暖水の分布とよく対応しており、表層だけではなく中層および底層においても暖水に対応した構造を示すことが分かった。このことから、この北上流は天草灘南方海域おそらくは黒潮から分派した暖水の北上に対応するものと推察された。

5.2 安定同位体比を用いたカタクチイワシの加入履歴の検討

橘湾、西彼地区および有明海で春季、秋冬季に漁獲されたカタクチイワシを標本(合計50個体)として、安定同位体比($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$)分析を行い、橘湾および西彼地区で漁獲されるカタクチイワシの加入履歴について検討した。その結果、過去に日本国内で実施したカタクチイワシの安定同位体比分析の結果(Tanaka et al., 2008)から推定すると、春季に漁獲されたカタクチイワシの炭素・窒素安定同位体比は外海性を示し、また秋冬季に漁獲されたカタクチイワシは内湾性を示すことが分かった。

春季に漁獲されたカタクチイワシは、小型魚であり春季発生群と推定される。このことから、春季発生群は主に外海域で孵化し、その後摂餌を行いながら、漁場に参加してきたと考えられる。また、

秋季および冬季に漁獲された小型のカタクチイワシは、夏秋季に発生した群と考えられるが、これらの安定同位体比が内湾性を示したことから、これらは発生後に内湾に長く滞在していたものと推察される。このことは、これらが内湾もしくは内湾の近傍海域で発生したことを示唆している。すなわち、春季発生群は主に橘湾および西彼地区以外の外海域で発生した後、漁場に参加し、夏秋季発生群は橘湾および西彼地区の近傍海域で発生していると推察された。

なお、秋冬季に漁獲されたカタクチイワシの安定同位体比は、有明海で報告されたベントスの安定同位体比(Yokoyama et al., 2005; Suzuki et al., 2008; Yokoyama et al., 2009) よりも高く、また本研究で分析に用いた有明海で漁獲されたカタクチイワシの安定同位体比とほぼ同様の値であった。このことは、秋冬季に漁獲されたカタクチイワシが有明海から回遊してきたものである可能性を示しており、下村ほか(1970)が提示した仮説を支持している。

5.3 橘湾および西彼地区におけるカタクチイワシの漁況変動要因

橘湾および西彼地区における各々1986～2008年、1997～2008年のカタクチイワシ漁獲データと成長式を用いて春季発生群の漁獲量の分離を試みた。その結果、橘湾ではマイワシが減少しカタクチイワシが増加し始めた1996年以降は小型魚の漁獲量に占める春季発生群の比率が39～82%に増加していること、また西彼地

区についても1997年以降の小型魚の漁獲量に占める春季発生群の比率が平均73%と高いことが明らかとなった。このことは両地区の近年のカタクチイワシ漁況に春季発生群の変動が大きく関与していることを示している。

さらに、橘湾および西彼地区における春季発生群の漁況と天草灘南方に位置する鹿児島県西薩海域のカタクチイワシシラス漁況(1997～2008年)との関連性について検討した結果、両者の間には有意な正の相関が認められた(橘湾: $r=0.64$, 西彼地区: $r=0.67$)。このことは両地区のカタクチイワシ漁況が南方の外海域からの加入に大きく依存していることを示している。

そこで、春季発生群の卵・稚仔輸送に関与している北上流の変動実態を詳細に把握するため、甬島海峡を横断する「フェリー甬」に装備したADCPで2003～2008年に継続的に測定された流れのデータをもとに、各年3月～5月の潮汐残差流を算出した。その結果、甬島海峡における北上流の発生頻度は59-79%と高く、天草灘において北上流が頻繁に発生していることが明らかとなった。また、甬島北部海域において2007年3月13-14日に実施した測流調査で得られた北向きの残差流(10m深で最大 56cm s^{-1})は、この時に甬島海峡で得られた北向きの残差流の日平均値(最大 $35-43\text{cm s}^{-1}$)とほぼ一致しており、いずれも甬島南方の宇治群島から連続して認められた暖水塊の分布によく対応していた。

さらに、甬島海峡における北～東方向

の流速の累積値（輸送係数）と橘湾と西彼地区のカタクチイワシ春季発生群の漁獲量との関係について検討した結果、両者の間に有意な正の相関（橘湾： $r=0.85$ ，西彼： $r=0.85$ ）が得られた。このことは、甬島海峡における北～東方向の流れがカタクチイワシ卵・仔稚の輸送を通して、橘湾と西彼地区の漁場への加入に大きく寄与していることを示唆している。

5.4 漁況予測手法の確立に向けて

九州西岸のカタクチイワシの短期的な漁況予測については、五島灘で小川（1976）の、また鹿児島西薩海域で加治屋（2006）の報告があるにすぎない。小川（1976）は五島灘のカタクチイワシの漁況予測について、春初漁期（5月～6月）と秋初漁期（11月～12月）のシラス・カエリの漁獲量からその年の春漁と秋漁それぞれの全銘柄漁獲量が予測できるとしている。しかしながら、この手法は漁期中であり、本来求められている漁期前の予測はできない。また、加治屋（2006）は、鹿児島県西薩海域における春季のシラス漁獲量と、3月における鹿児島県西薩海域一帯のカタクチイワシ卵採集量や表面水温との関連性に注目し、それらに基づいて春季のシラス漁獲量が早期の加入量と黒潮暖水波及の程度により決定されるとしている。現在、鹿児島県では、この考え方に基づいてシラスの漁況予測を行っている。

一方、橘湾および西彼地区で春季～夏秋季に漁獲されるカタクチイワシについては、漁況予測として確立された方法は

ない。本研究で得られた知見に基づけば、橘湾および西彼地区で春季～夏秋季に漁獲される小型（カエリ，小羽）のカタクチイワシ春季発生群の漁獲量は、甬島海域周辺海域で漁獲される春季のシラス漁獲量および甬島海峡の北上流の変動と密接に関連している。春季～夏秋季のうち、とくに5月～9月における春季発生群の漁獲量は主に3月～4月生まれと推定されるので、上記の知見に基づいて北上流の状況から漁獲量を予測することが可能である。すなわち、3月～4月の輸送指数と5月～9月までの橘湾および西彼地区の春季発生群漁獲量との関連性を検討した。その結果、いずれについても有意な正の相関が認められた（橘湾 $r=0.88$, $p<0.05$ ；西彼地区, $r=0.85$, $p<0.05$ ）。

また、甬島海域周辺のシラス漁獲量は3月の産卵量と相関するとの報告（加治屋，2006）があり、早期に大まかな予測を行う上で有用な情報と考えられる。そこで、橘湾および西彼地区における春季～夏秋季のカタクチイワシ漁獲量と鹿児島県西岸における3月の産卵量との関連を調べてみた。その結果、両地区ともに漁獲量は産卵量と正の相関を示し、西彼地区については有意な高い相関が認められた（ $r=0.84$, $p<0.01$ ）。このことから3月の鹿児島県西薩海域における卵量や、鹿児島県が予測した甬島海域周辺における春季のシラス漁獲量を組み合わせることによって、漁況予測の精度をさらに向上させることが可能となるものと考えられる。

以上のように、本研究では橋湾および西彼地区のカタクチイワシを対象に、その漁況変動要因を、流れによる卵・仔稚魚輸送の影響に主眼をおいて検討した。その結果、漁況予測の基礎となる加入起源や輸送量の変動に関する新たな知見を得ることができた。しかしながら、本研究では、発育初期の加入量変動に関与すると考えられる初期減耗 (Hjort,1914) や初期摂餌の可否(Cushing,1975,1990) 等に関する生物学的な調査や解析は行っていない。今後とも、精度の高い漁況予測や資源評価を実施できるようにしていくためには、黒潮流域を含めた甌島周辺海域の流況変動やシラスの漁況変動に関する物理的、生物学的要因について総合的な調査・解析を進めるとともに、漁況変動のメカニズムを明らかにしていくことが不可欠である。

謝 辞

本研究の遂行および本論文のとりまとめにあたり、終始に渡って懇切なる御指導と御校閲を賜った長崎大学教授 中田英昭博士に謹んで感謝の意を表します。

本論文をとりまとめるにあたり、御助言、御校閲の労を賜った長崎大学教授 合田政次博士、長崎大学教授 多田彰秀博士および長崎大学準教授 山口敦子博士に厚く御礼申し上げます。

ADCP を用いた調査方法については、独立行政法人瀬戸内水産研究所 中川倫寿氏、独立行政法人水産総合研究センター 森永健司博士、独立行政法人西海区水産研究所 種子田雄氏に熱心にご指導を頂

いた。ここに深く御礼申し上げます。平成21年6月にご永眠された渡辺秀俊氏には、潮汐調和解析について有益かつ貴重なご指導を頂きました。心から御礼申し上げますとともに、御冥福をお祈り致します。独立行政法人西海区水産研究所 秋山秀樹氏には本稿をまとめるに際して大変有意義なご助言を頂いた。ここに深く感謝の意を表します。また、1 昼夜を越える調査船による観測は長崎県総合水産試験場調査船鶴丸元船長 川原好博氏、長崎大学練習船鶴洋丸船長 兼原壽生氏をはじめ、両船の乗組員の方々からご協力を頂くことで可能となりました。ここに厚く御礼申し上げます。学位を取得するにあたっては長崎県総合水産試験場、科学技術振興局、水産部の関係者各位に御理解と御支援を頂きました。ここに深く感謝を申し上げます。

長崎県総合水産試験場 一丸俊雄博士、独立行政法人西海区水産研究所 大下誠二博士、独立行政法人西海区水産研究所 田中寛繁博士にはカタクチイワシの生態について貴重なご意見を頂きました。独立行政法人 水産総合研究センター 黒田寛博士には、フェリー設置型 ADCP の解析に際して、大変有意義なご助言を頂きました。長崎県環境保健研究センター 山口仁士博士には示唆に富むご助言を頂くと同時に、入手困難な貴重な資料の提供を頂きました。長崎県総合水産試験場 海洋資源科の方々には本稿を取りまとめるにあたって御助言を頂いた他、日常の業務でも便宜を図って頂きました。

以上の方々への衷心よりの感謝の意を

ここに記して表します。

引用文献

- 赤松英雄(1950)五島灘に於ける潮流・海流について, 海洋と気象, 4, 65-72.
- Chang,S.D.,Hong,S.Y.,Park,C.K.,Chin,P.,Lee,B.G.,Lee,T.Y.,Kang,Y.J. and Gong,Y.(1980)Studies on the migration of anchovy *Engraulis japonicus* in Korean waters.Publ.Inst.Mar.Sci.Natl.Fish.Univ.Busan.12.
- Cushing D.H.(1975)Marine ecology and fisheries.Cambridge University Press,Cambridge.
- Cushing D.H.(1990)Plankton production and year-class strength in fish populations:an update of the match/mismatch hypothesis.Adv.Mar.Biol.26,249-293
- DeNiro,MJ.,Epstein,S.(1978) Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals.Geochim.Cosmochin.Acta 42,495-506.
- DeNiro,MJ.,Epstein,S.(1981) Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals.Geochim.Cosmochin.Acta 45,341-351.
- Funamoto,T.,Aoki,I.,Wada,Y.(2004)Reproductive characteristics of Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*, in two bays of Japan,Fish.Res.70,71-81.
- 長谷川義信(1975)五島灘南部海域における追跡型調査による表層の流動について, 長崎県水産試験場研究報告, 1, 103-110.
- Hjort J.(1914)Fluctuation in the great fisheries of northern Europe viewed in the light of biological research,Rapp.Pv.Reun.Cons.Perm.Int.Explor. Mer.20,1-228.
- Hobson,K.A.(1999)Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes:a review,Oecologia 120,314-326.
- 井上高文(1981)東シナ海及び対馬暖流域における海洋特性, 五島の生物, 29-72.
- Iseki.k. and Kiyomoto.Y.(1997)Distribution and setting of Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*)eggs at the spawning ground off Changjiang River in the East China sea.Fish Oceanogr.,6,205-210.
- 一丸俊雄・永谷浩・大下誠二(1993)長崎県沿岸域におけるカタクチイワシの耳石の日輪解析. 平成 5 年日本水産学会秋季大会講演要旨集, 108.
- Iversen.S.A.,Zhu,D.,Johannessen,A. and Torseten,R.(1993)Stock size, distribution and biology of anchovy in the Yellow Sea and East China Sea.Fish.Res.,16,147-163.
- Joyce,T. M.(1989) On in situ "calibration" of shipboard ADCPs. J. Atmos. Oceanic Technol.,6,169-172.
- 加治屋大(2006)鹿児島県におけるシラス漁況予測に向けた取り組み. 黒潮の資源海洋研究, 7, 13-16.
- 加藤修(1988)超音波式潮流計による残差流の測定. 西水研研報, 66, 59-67.
- 近藤正人(1985)東シナ海・黄海漁場の漁況に関する研究-I, 50m 深及び底層における平均水温・塩分の分析, 西海研研報, 62, 19-66.
- 小西芳信・佐々千由紀(2002)東シナ海の昼間表層におけるカタクチイワシシラスの多量採集. 2002年水産海洋学会創立40周年記念大会講

- 演要旨集, 110.
- 小笹悦二・小西芳信・松岡正信(1994) 1993年3月の九州西海域における餌料プランクトンの分布特性と環境要因. 平成5年度日本水産学会九州支部大会講演要旨集, pp. 4, 1994
- 黒田寛・磯田豊・大西光代・岩橋雅行・佐藤千鶴・中山智治・伊藤集通・伊勢田賢一・西澤慶介・島茂樹・外川織彦(2004)定期船 ADCP による semi-regular sampling データを用いた調和解析手法の検討—津軽海峡東口における潮流と残差流の評価—. 海の研究, 13, 553-564.
- 桑原昭彦・鈴木重喜(1984) 若狭湾西部海域におけるカタクチイワシ卵・稚仔魚の鉛直分布の昼夜変化. 日水誌, 50, 1285-1292.
- 桑野雪延・長谷川義信(1972) 五島灘におけるカタクチイワシの卵・稚仔輸送様式の推定第17回西水研ブロックシンポジウム報告書
- 桑岡亦也(1975)長崎県沿岸におけるカタクチイワシの産卵, 成長と漁況変動, 長崎県水産試験場研究報告, 1, 1-8
- Minagawa,M.,Wada,E.(1984) Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. Geochim.Cosmochim.Acta 48,1135-1140.
- 宮地邦明(1991)九州西海域における黒潮小蛇行に伴う渦流の変動及びその魚卵稚仔輸送への影響, 西海研研報, 69, 1-78.
- 森永健司(2000)九州西岸沿岸域での海況変動について—一定置網での水温連続観測記録から—. 西海ブロック漁海況調査研究報告, 8, 25-46.
- 永井正男(1954)五島灘における水温, 塩素量の年変化について, 海洋と気象, 6, 2-47.
- 永谷浩・大下誠二・一丸俊雄(1995) 漂流ハガキ調査から推定したマイワシ卵仔魚の輸送に関する研究. 西水研研報, 4, 27-33.
- 中村保昭(1990)第33章 五島列島周辺海域 II 物理, 続・日本全国沿岸海洋誌(総説編・増補編), 685-709, 東海大学出版会.
- 小田巻実(1982) 五島灘における潮流と恒流系に関して. 沿岸海洋研究ノート, 19, 112-120.
- 小川信次(1976) 五島灘・橋湾におけるカタクチイワシの来遊機構について. 西海区水産研究所研究報告, 48, 1-22.
- Ohsimo,S.(1996)Acoustic estimation of biomass and school character of anchovy *Engraulis japonicus* in the East China Sea and the Yellow Sea.Fish.Sci,62,344-349.
- 大下誠二(2009)九州北西岸におけるカタクチイワシの生物特性に関する研究. 日本海ブロック資源研究会報告, 44, 51-60.
- 下村敏正・山下秀夫・小笹悦二(1970)橋湾で漁獲されるカタクチイワシについて. 橋湾をモデルとした海況および魚群分布調査, 水産庁西海区水産研究所, 1-21.
- Suzuki,k.W.,Kasai,A.,Ohta,T.,Nakayama,K.T anaka,M.(2008) Migration of Japanese template bass *Lateolabrax japonicus* juveniles within the Chikugo River estuary revealed by $\delta^{13}\text{C}$ analysis,Mar.Ecl.prog.Ser.358, 245-256.
- 玉井一寿・井上尚文・近藤正人(1970) 橋湾の流況. 橋湾をモデルとした海況および魚群分布調査, 水産庁西海区水産研究所, 69-91.
- Tanaka,H.Takasuka,A.,Ohshimo,S.,Aoki,I.(2008)Geographical variations the trophic ecology of Japanese anchovy, *Engraulis*

japonicus, inferred

from carbon and nitrogen stable isotope ratios. Mar. Biol. 154, 557-568.

和田時夫・浅野謙治・岡田行親(1995)カタクチイワシ漁獲量と資源量の短期予報. 水産海洋, 54, 4, 384-388.

山本憲一・中田実・水田浩二(1999)水温・塩分の鉛直分布からみた五島灘の海況の特徴. 長崎水試研報, 25, 1-8.

Yokoyama, H., Tamaki, A., Koyama, K., Ishihi, Y., Shimoda, K., Harada, K. (2005)

Isotopic evidence for phytoplankton as a major food source for macro-benthos on an intertidal sandflat in Aiake sound, Japan. Mar. Ecol. Prog. ser. 304, 101-116.

Yokoyama, H., Sakami, T., Ishihi, Y. (2009) Food sources of benthic animals on intertidal and subtidal bottoms in inner Ariake Sound, southern Japan, determined by stable isotopes. Est. Coast. Shelf Sci. 82, 243-253.

要約

漁況予測は、漁業者の操業計画策定に利用されるほか、資源管理計画策定にも必要な水産上欠かすことのできない課題の一つである。五島灘沿岸や天草灘の北東に位置する橘湾で漁獲されるカタクチイワシ(*Engraulis japonica*)は重要な対象魚種となっており、その卵・仔稚の輸送にかかわる天草灘・五島灘の流況と漁況との関連等について検討が進められてきた。しかしながら、当該海域の流れの観測データはきわめて少なく、カタクチイワシの主な産卵期にあたる冬季~春季の流

れに関する知見は限られたものしかない。そこで本研究では、天草灘・五島灘の流況について船舶を用いた調査を行い、卵・仔稚魚輸送に貢献する残差流の構造と変動の実態を明らかにするとともに、カタクチイワシの漁況変動との関連について検討を加え、その漁況予測精度の向上に資する基礎的な知見を得ることを目的とした。

天草灘・五島灘における海況と流況

野母崎半島南部で2006年5月6日~24日に実施した係留系による測流結果から、卵・仔稚輸送にかかわる流れの変動実態について検討するためには、潮流成分を除去することが必要不可欠であることが確認された。そこで、2004年~2007年の1~5月に天草灘で6回、五島灘と甬島北部海域で各1回、調査船に装備されたADCPによる24時間50分の往復観測を行い、それぞれについて潮流の影響を除去した残差流を算出した。その結果、天草灘から五島灘東部にかけて全体に北上流が卓越していること、天草灘の北ないし北東方向の残差流の流速は最大 $40\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ であり、この流れは天草灘の北東に位置する橘湾への卵・仔稚輸送に重要な働きをしていることが分かった。また、甬島海峡北部海域でも北上流が卓越しており、その最大流速は $55\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。

さらに、残差流と水塊構造の関連について検討するために、天草灘および甬島北部海域の北上流発生時のSTDによる海況観測結果と熱赤外面像の解析を行った。

その結果、上記の北上流は甌島海峡もしくは甌島西方海域から連続した暖水の分布とよく対応しており、表層だけではなく中・底層においても暖水に対応した構造を示すことが分かった。このことから、この北上流は天草灘南方海域おそらくは黒潮から分派した暖水の北上に対応するものと推察された（第2章）。

安定同位体比を用いた橘湾および西彼地区におけるカタクチイワシの加入起源の検討

橘湾と西彼地区で春、秋、冬季に漁獲されたカタクチイワシ（合計50個体）の安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ ）の分析を行い、カタクチイワシの加入起源について検討した。その結果、秋冬季標本の炭素・窒素安定同位体比は、これまでに沿岸域で報告されている値に比べて高く内湾性を示した。

一方、春季標本は炭素・窒素安定同位体比は報告されている値に比べて低く、特に炭素安定同位体比は外洋性のカタクチイワシの値とよく一致していた。このことは両地区で春季に漁獲されるカタクチイワシは外海域に起源を持つことを示している（第3章）。

橘湾および西彼地区におけるカタクチイワシの漁況変動

橘湾および西彼地区における各々1986～2008年、1997～2008年のカタクチイワシ漁獲データから既往の成長に関する知見を用いて春季発生群の漁獲量の分離を試みた。橘湾では、マイワシが減少し

カタクチイワシが増加し始めた1996年以降は小型魚の漁獲量に占める春季発生群の比率が43～89%に増加しており、西彼地区についても1997年以降の春季発生群の比率は44～91%であった。これらは両地区の近年のカタクチイワシ漁況に春季発生群の変動が大きく関与していることを示している。

また、橘湾および西彼地区における春季発生群の漁況と五島灘における卵・仔魚分布密度の経年変動には関連性がほとんど認められなかった。そこで、両地区の漁況と天草灘南方に位置する鹿児島県西薩海域のカタクチイワシシラス漁況（1997～2008年）との関連性について検討した。その結果、両者は有意な正の相関を示すことが分かった（橘湾： $R=0.64$ 、西彼地区： $R=0.58$ ）。このことは、両地区のカタクチイワシ漁況が南方海域からの加入に大きく依存していることを示唆している。

一方、天草灘南方からの卵・仔稚輸送に関与している春季の北上流の変動実態を詳細に把握するため、甌島海峡を横断する「フェリー甌」に装備したADCPで2003～2008年に継続的に測定された流れのデータをもとに、各年3～5月の潮汐残差流を算出した。その結果、甌島海峡における北上流の発生頻度は59～79%と高く、天草灘において北上流が頻繁に発生していることが明らかとなった。また、甌島北部海域において2007年3月13～14日に実施した測流調査で得られた北向きの残差流（10m深で最大56cm s⁻¹）は、この時に甌島海峡で得られた北向き

の残差流の日平均値（最大 35–43cm s⁻¹）とほぼ一致しており、いずれも甌島南方の宇治群島から連続して認められた暖水の分布ともよく対応していた。そこでさらに、甌島海峡における北～東方向の流速の累積値と橘湾と西彼地区のカタクチイワシ春季発生群の漁獲量との関係について検討した結果、両者の間に有意な正の相関（橘湾 $R=0.86$ ：西彼 $R=0.82$ ）が得られた。このことは、甌島海峡における北～東方向の流れが橘湾と西彼地区へのカタクチイワシ卵・仔稚輸送に大きく寄与していることを示している（第4章）。

以上、本研究では継続的な船舶調査の結果や人工衛星画像等を総合的に解析することによって、これまで知見がきわめて少なかった冬季–春季の天草灘・五島灘における残差流の構造と変動実態を明らかにし、天草灘で観測された北～東向きの残差流の変動が、卵・仔稚輸送を通して橘湾および西彼地区におけるカタクチイワシ春季発生群の漁況に大きな影響を及ぼしていることを指摘した。このことはカタクチイワシの漁況予測の精度向上を図る上できわめて有用と考えられる（第5章）。

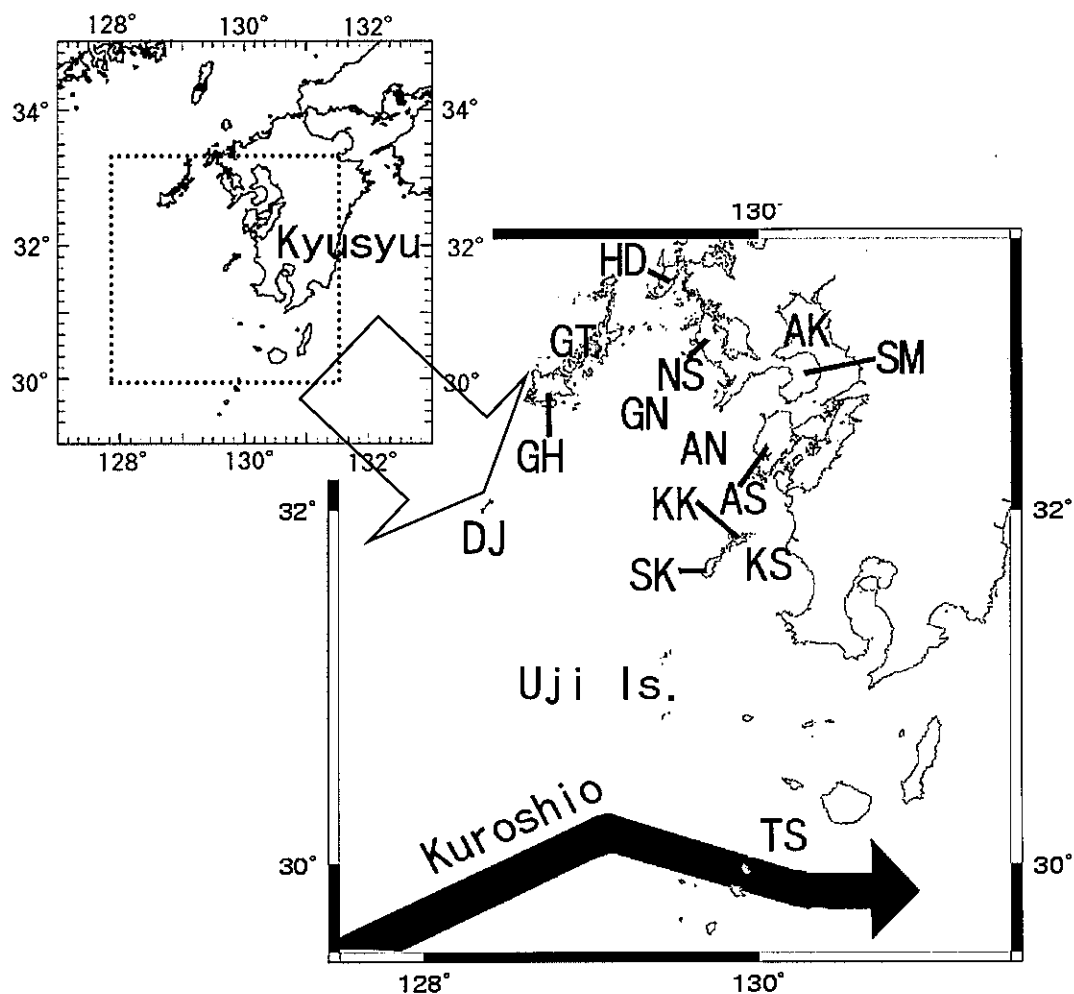


Figure 1.1 .Location of the study area, AK: Ariake Bay, AN: Amakusa-nada, As: Amakusa-shimoshima Pen., DJ: Danjyogunto IS., GH: Goto-fukuejima Is., GN: Goto-nada, GT: Goto-retto Is., HD: Hirado Is., KK: Kamikoshiki-shima Is., SK: Shimokoshiki-shima Is., SM: Shimabara Pen., TS: Tokara Strait.

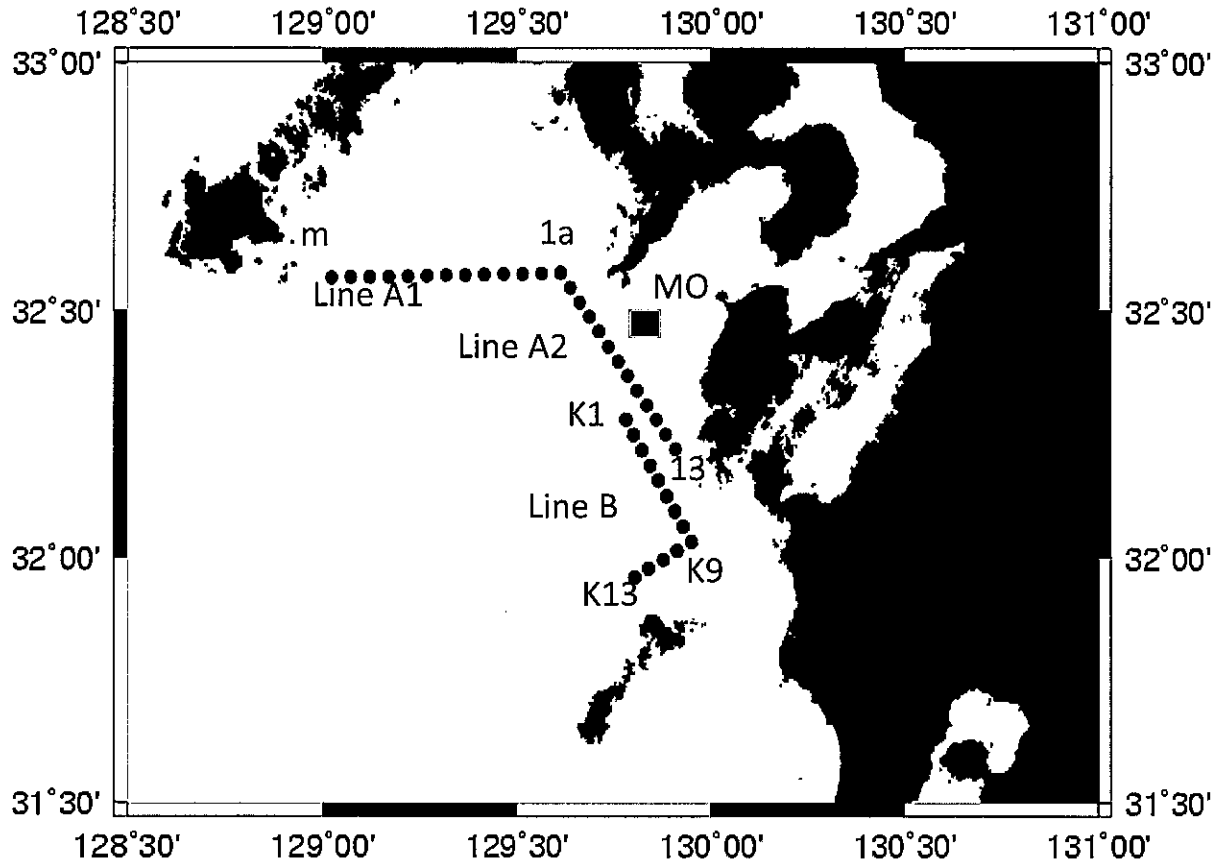


Figure2.1. Location of transects (Lines A 1,A2and B) for ADCP measurement and STD/CTD observation (b). The solid square (MO) indicates the mooring station for tidal current observation.

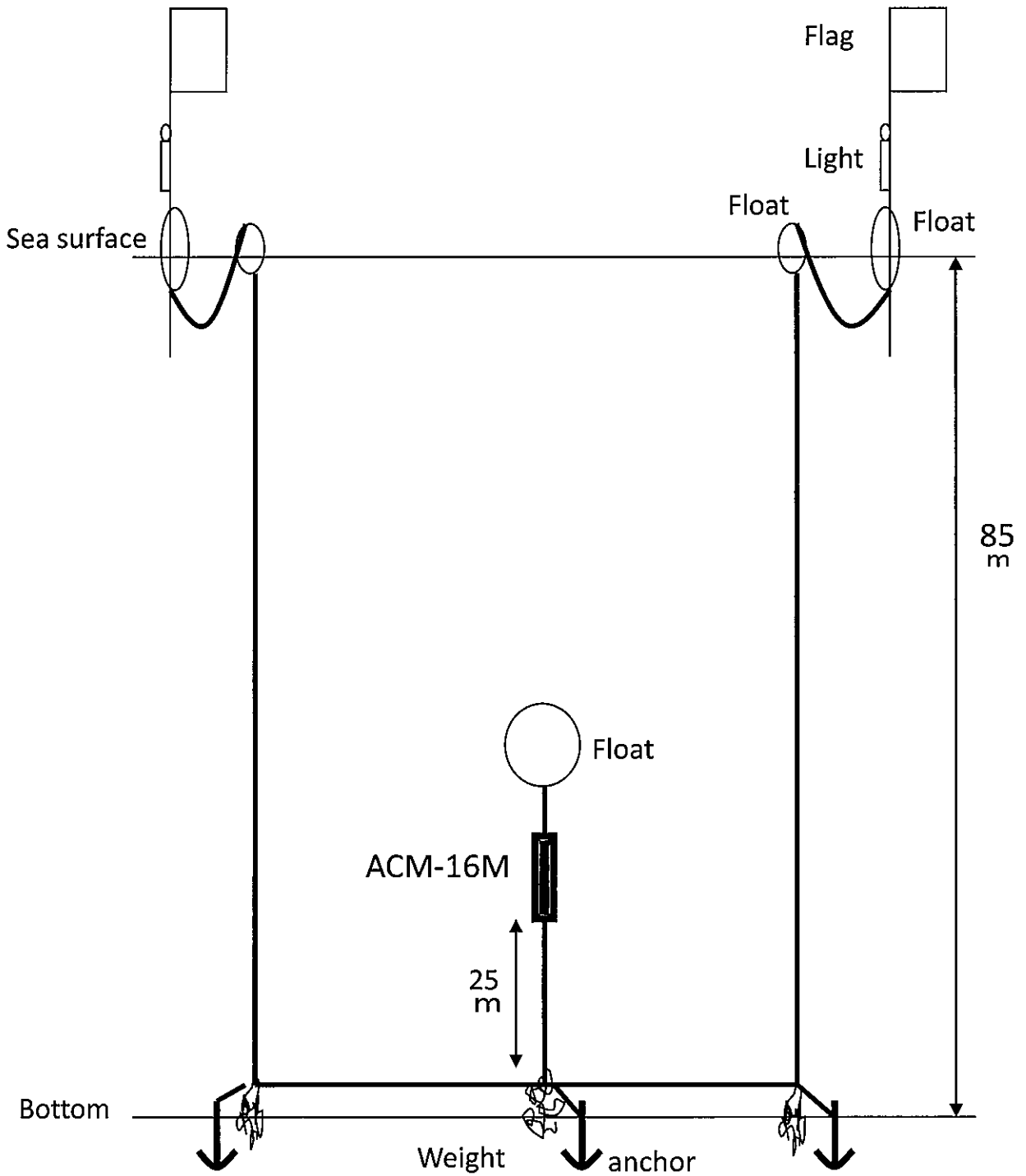


Figure 2.2. A drawing of mooring way

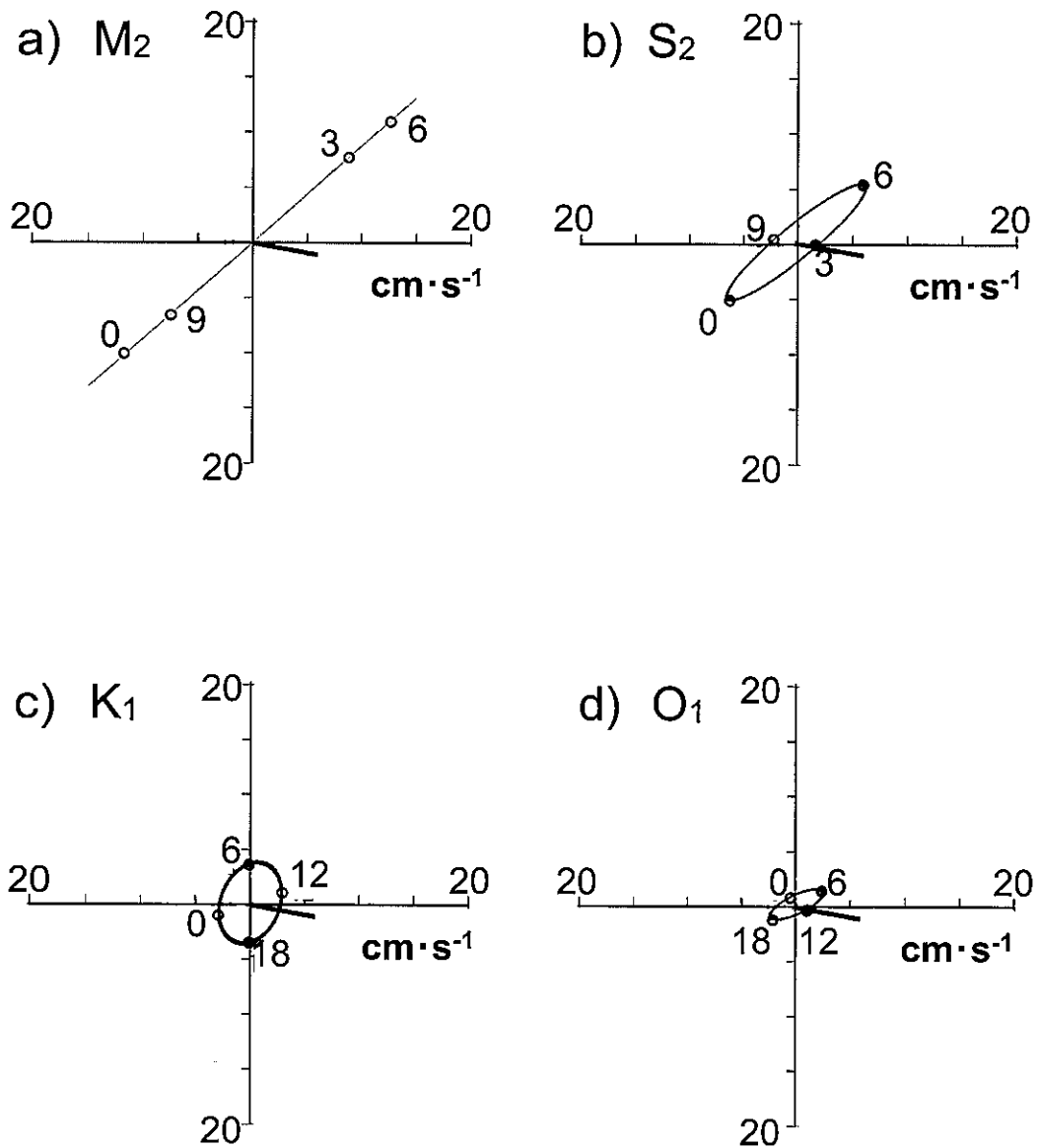


Figure 2.3. Tidal current ellipses for M_2 (a), S_2 (b), K_1 (c), and O_1 (d) tides, based on tidal current measurement conducted at 60 m depth of St. MO (see Fig.1b) from 9-24 May 2006. Bold solid lines in (a)-(d) indicate the tidal residual current.

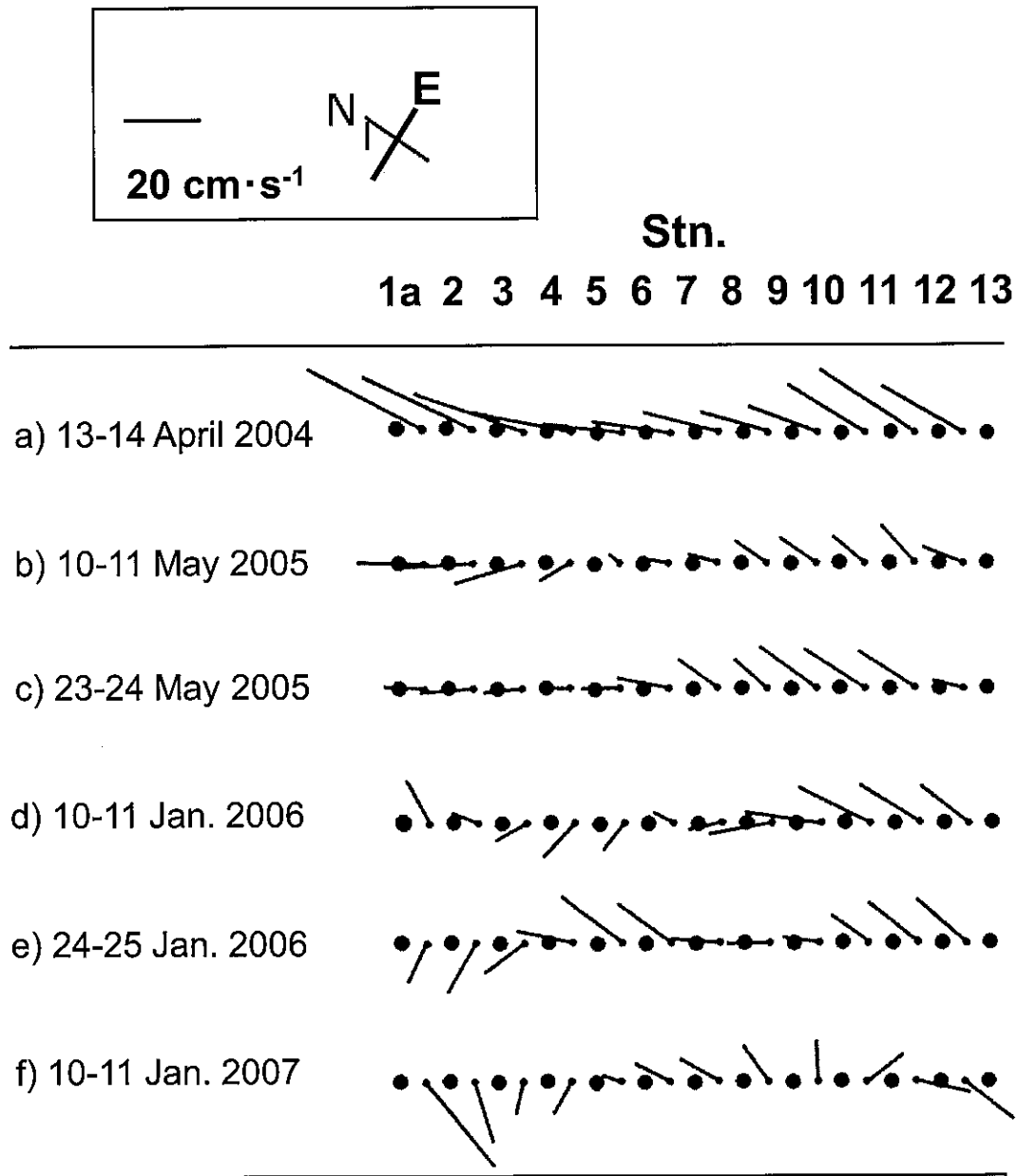


Figure 2.4. Spatial and temporal changes in the tidal residual current (daily mean current) at the depth of 30 m along the Line A (see Fig.1) in the shelf region of the Amakusa-nada.

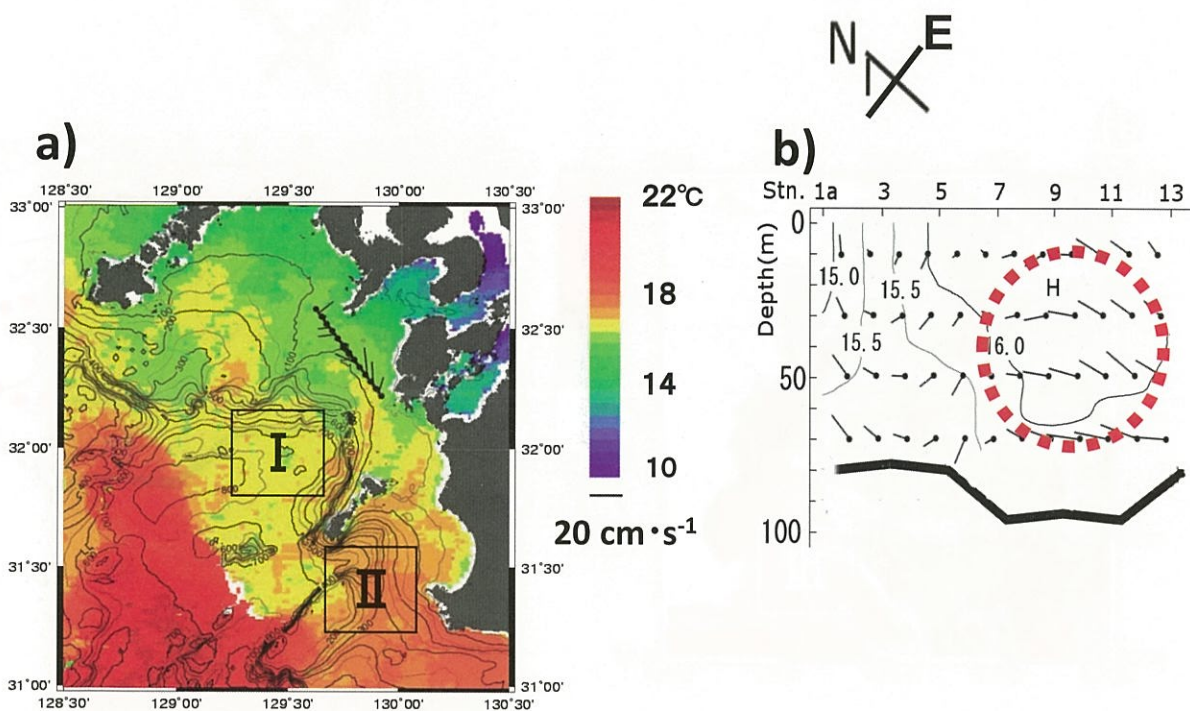


Figure 2.5. A composite image of NOAA/AVHRR on 11 January 2006 with daily mean currents at 10 m depth along Line A 2 (a), and vertical section of temperature and daily mean currents along Line A 2 on 10-11 January 2006 (b). The solid squares I and II indicate the areas of high temperature.

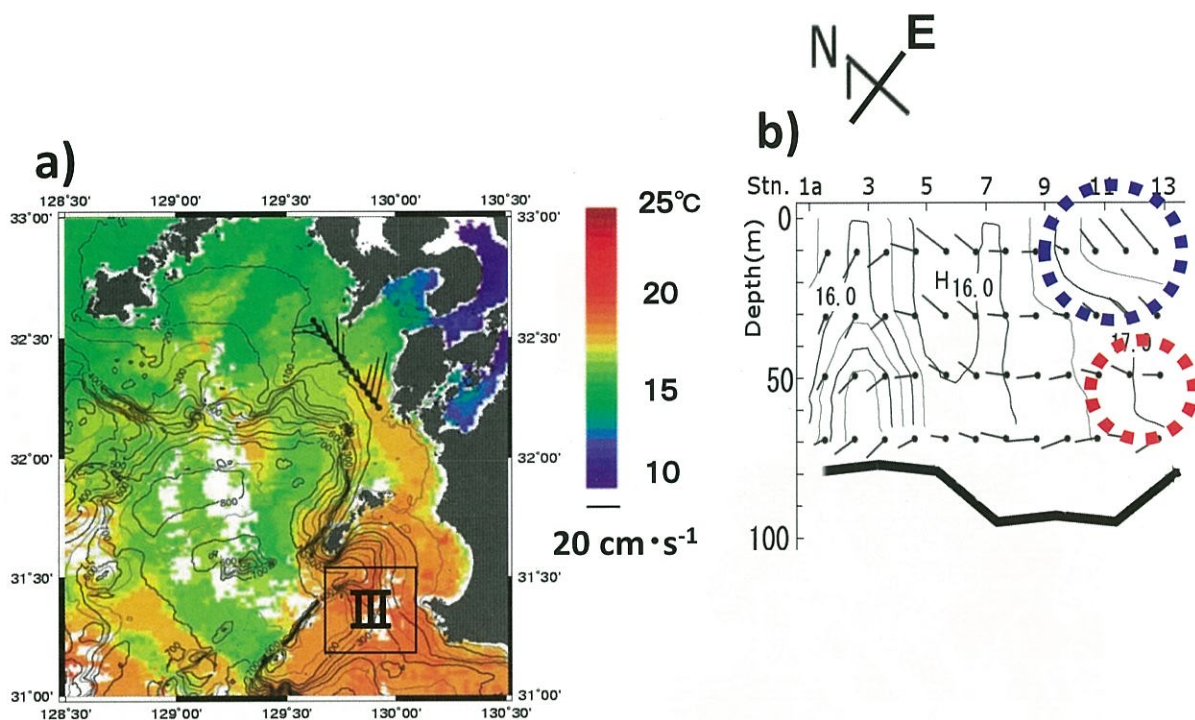


Figure 2.6 .A composite image of NOAA/AVHRR on 25 January 2006 with daily mean currents at 10 m depth along Line A 2(a), and vertical section of temperature and daily mean currents (b) on 24-25 January 2006 along Line A2. The solid square III indicates the area of high temperature.

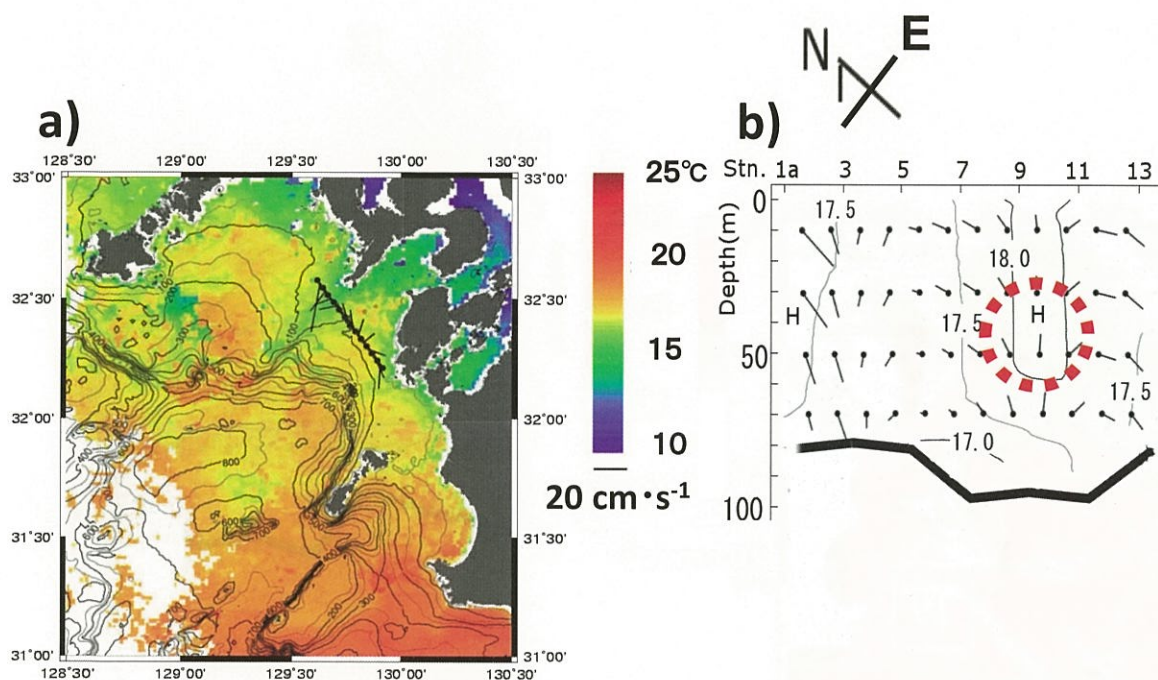


Figure 2.7 A composite image of NOAA/AVHRR on 11 January 2007 with daily mean currents at 10 m depth along Line A2 (a), and vertical section of temperature and daily mean currents along Line A 2 on 10-11 January 2007 (b).

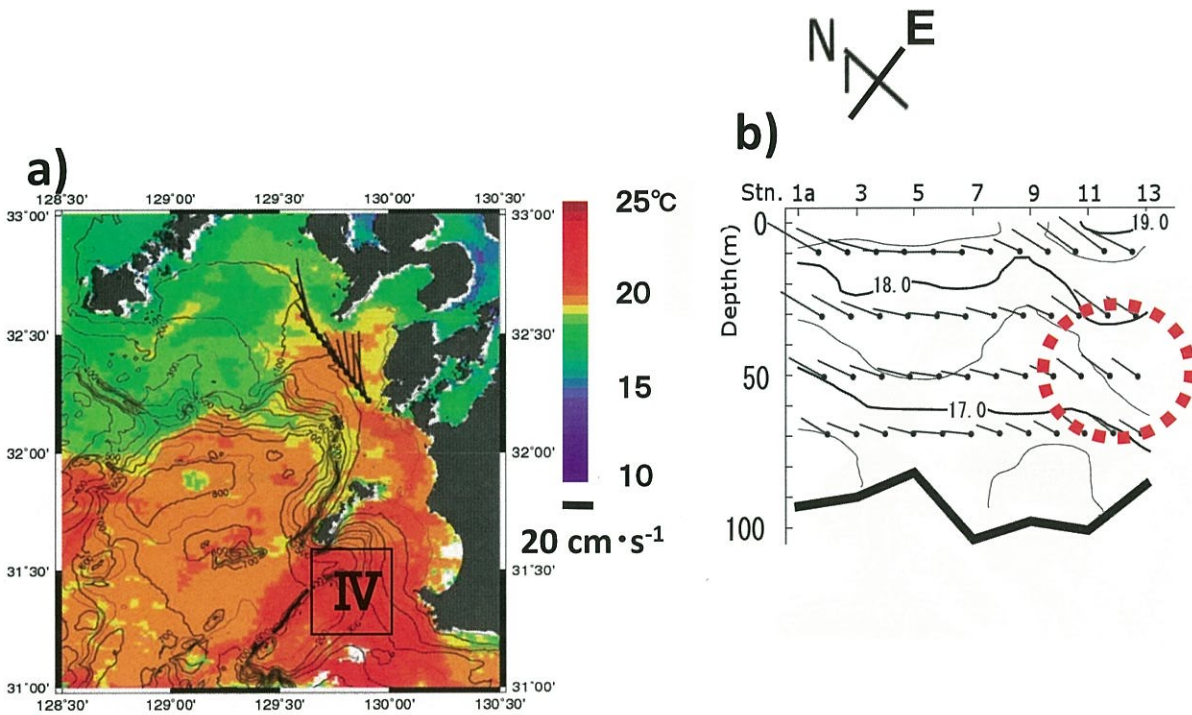


Figure 2.8 A composite image of NOAA/AVHRR on 14 April 2004 with daily mean currents at 10 m depth along Line A2 (a), and vertical section of temperature and daily mean currents along Line A2 on 13-14 April 2004 (b) . The solid square IV indicates the area of high temperature.

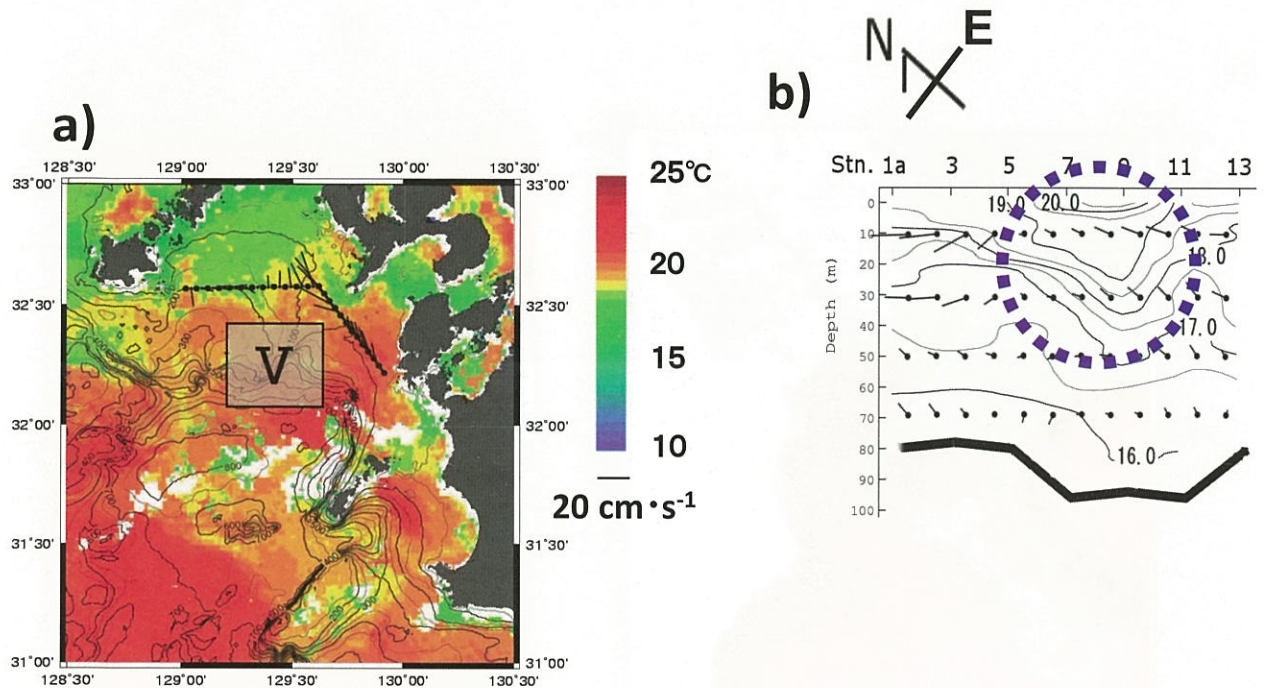


Figure 2.9. A composite image of NOAA/AVHRR on 11 May 2005 with daily mean currents at 10 m depth along Line A1 and A2 (a), and vertical section of temperature and daily mean currents (b) on 10-11 May 2005 along Line A2. The solid square V indicates the area of high temperature.

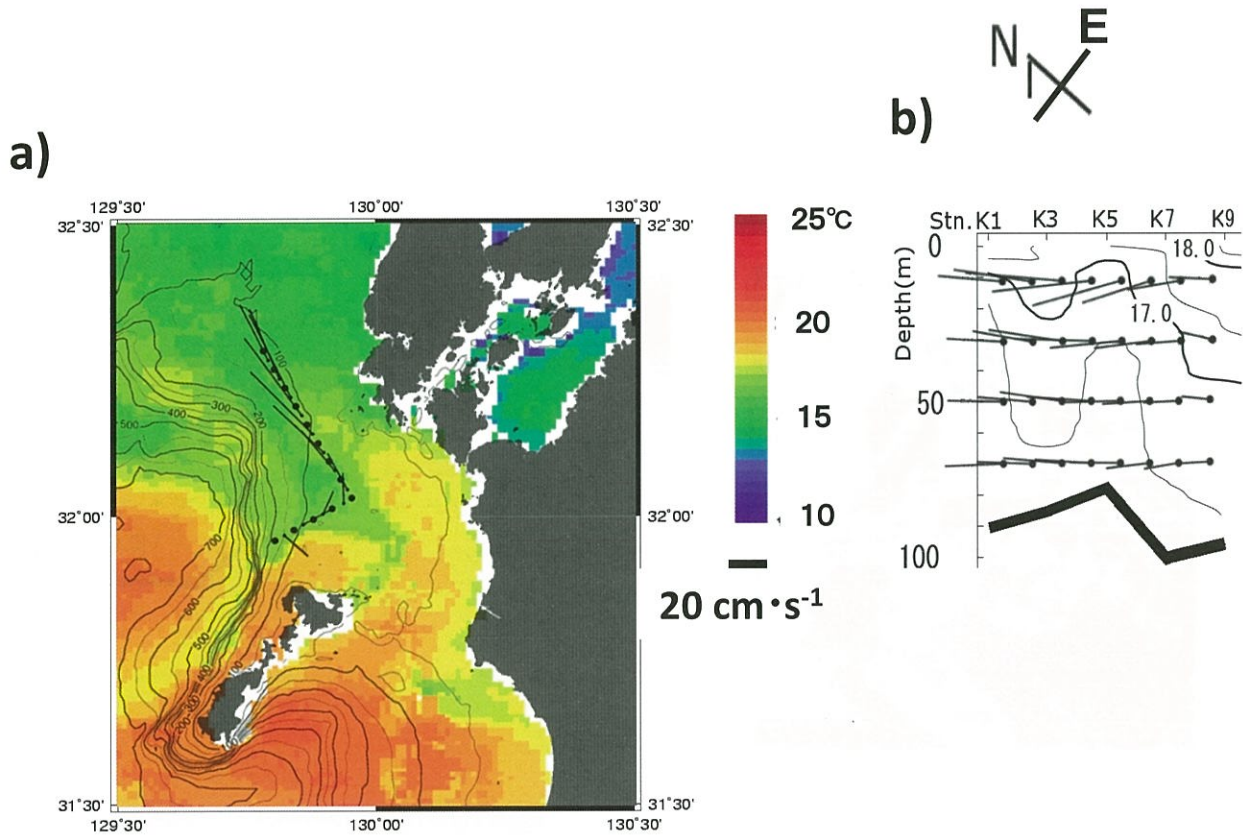


Figure 2.10. A composite image of NOAA/AVHRR on 13 March 2007 with daily mean currents at 10 m depth along two transects in the northern Koshiki-shima Is. (a), and vertical section of temperature and daily mean currents along the transect (Stn. K1-Stn. K9) on 13-14 March 2007 (b).

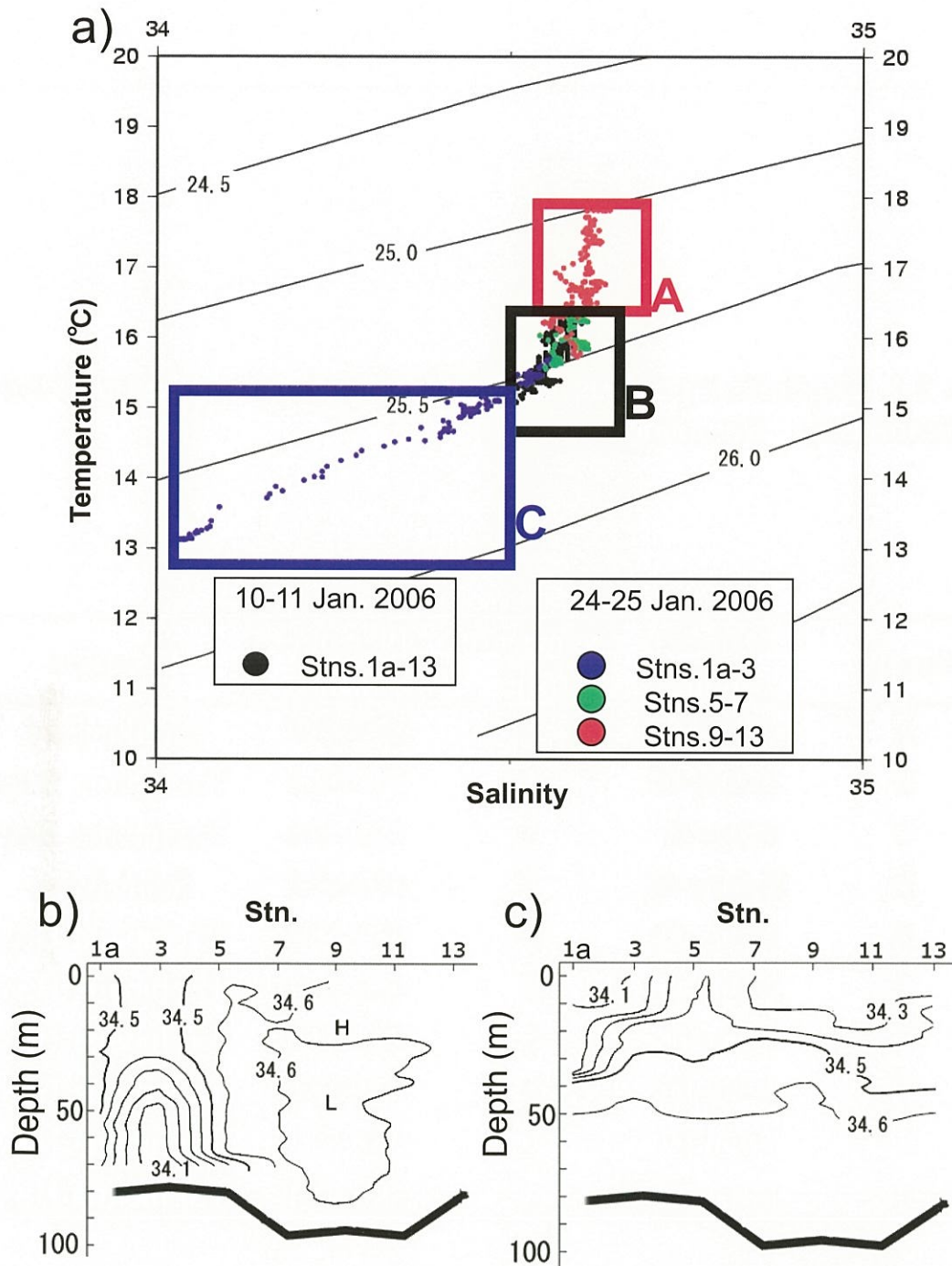


Figure 2.11. (a) A temperature-salinity diagram for water masses observed along Line A on 10-11 January 2006 (the water mass B, shown by black dots) and on 24-25 January 2006 (shown by blue dots: Stns.1-3, green dots: Stns.5-7 and red dots: Stns.9- 13). The water masses A and C correspond to higher temperature/higher salinity water and lower temperature/lower salinity water than the water mass B, respectively. Vertical sections of salinity on 24-25 January 2006 (b) and on 10-11 May 2005 (c) are shown in the lower panels.

Table 3.1. *Engraulis japonicus*. Samples collected in and around the Tachibana Bay. Sampling

Sample	Date of capture	Number of fish	BL range (mm)	Location
A	12-Dec-07	5	82.7-84.9	Ariake Bay
B	12-Dec-07	5	77.5-81.1	Tachibana Bay
C	6-Dec-07	5	48.9-59.8	Tachibana Bay
D	26-May-08	5	47.6-55.1	Seihi Area
E	13-Jun-08	6	33.2-56.2	Tachibana Bay
F	27-Jun-08	5	45.3-57.7	Tachibana Bay
G	5-Dec-08	5	29.6-34.9	Tachibana Bay
H	6-Jan-09	5	42.9-56.6	Tachibana Bay
I	8-Jan-09	6	46.8-72.1	Tachibana Bay
J	13-Jan-09	3	38.1-43.1	Tachibana Bay

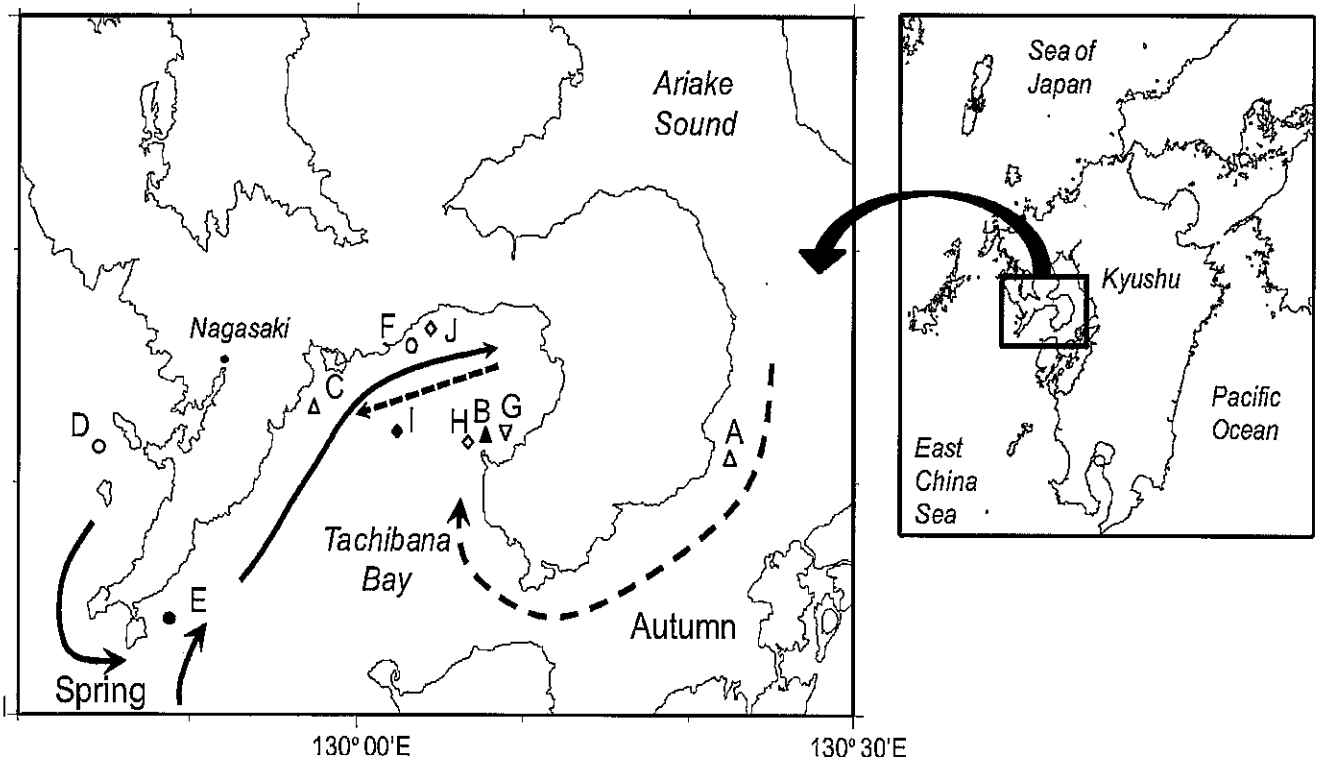


Figure3.1. *Engraulis japonicus*. Sampling sites (symbols) and migration route of anchovy for spring (solid lines) and autumn (broken lines) in and around Tachibana Bay as suggested by Anonymous (1970).

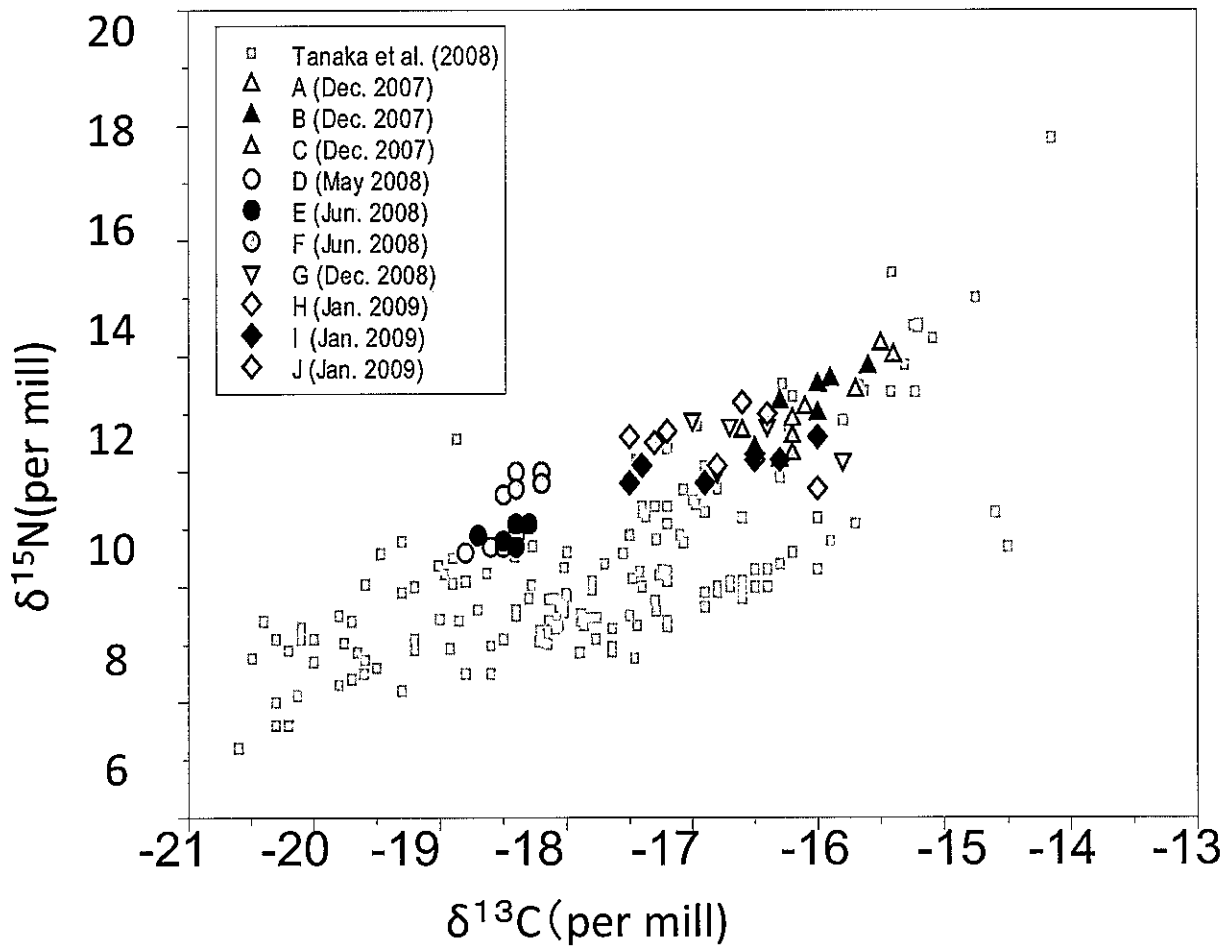


Figure3.2. *Engraulis japonicus*. Stable isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) of anchovy. Data of Tanaka et al. (2008) are also shown as square symbols.

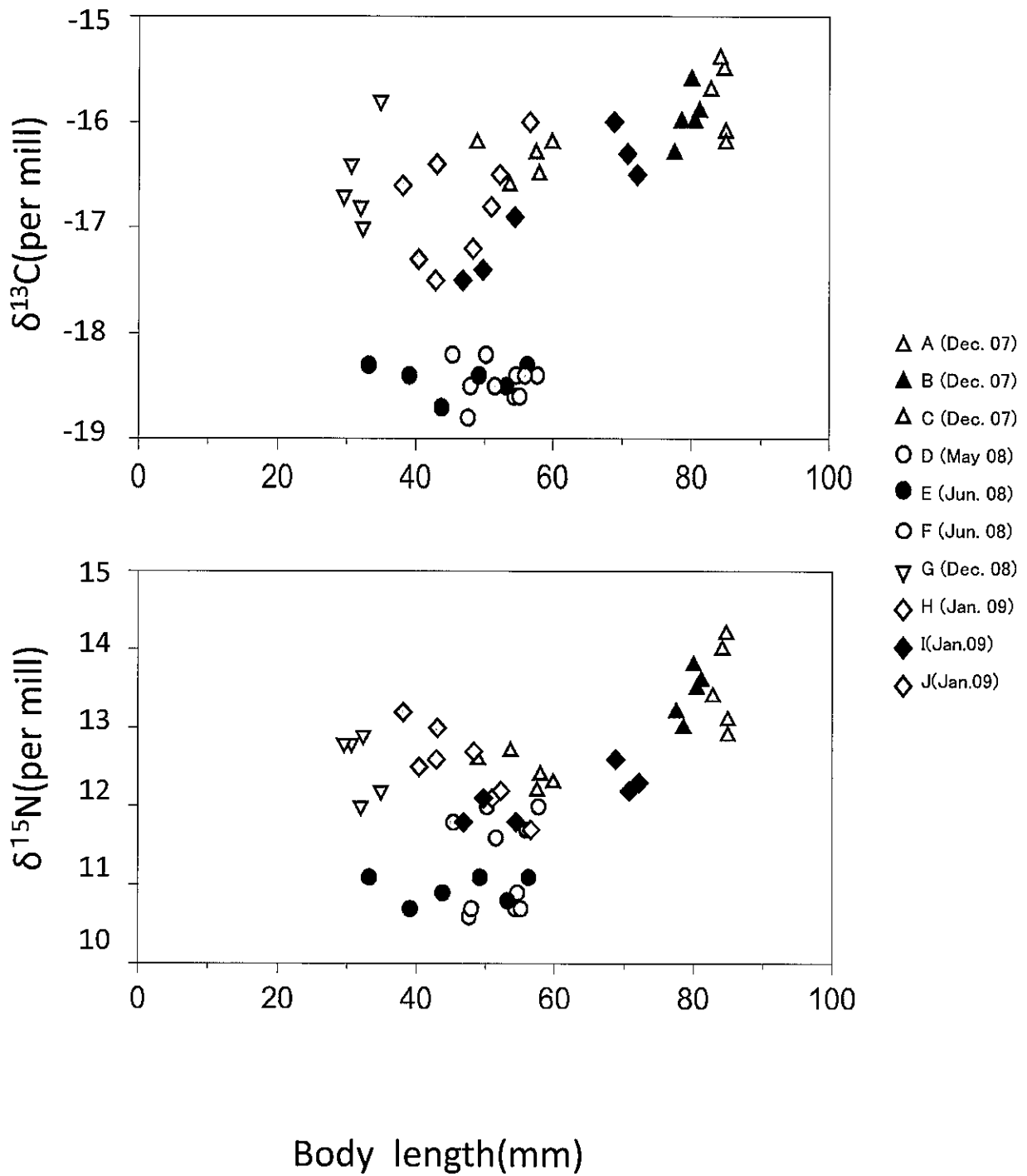


Figure 3.3. *Engraulis japonicus*. Relationship between body length and stable isotope ratios of anchovy.

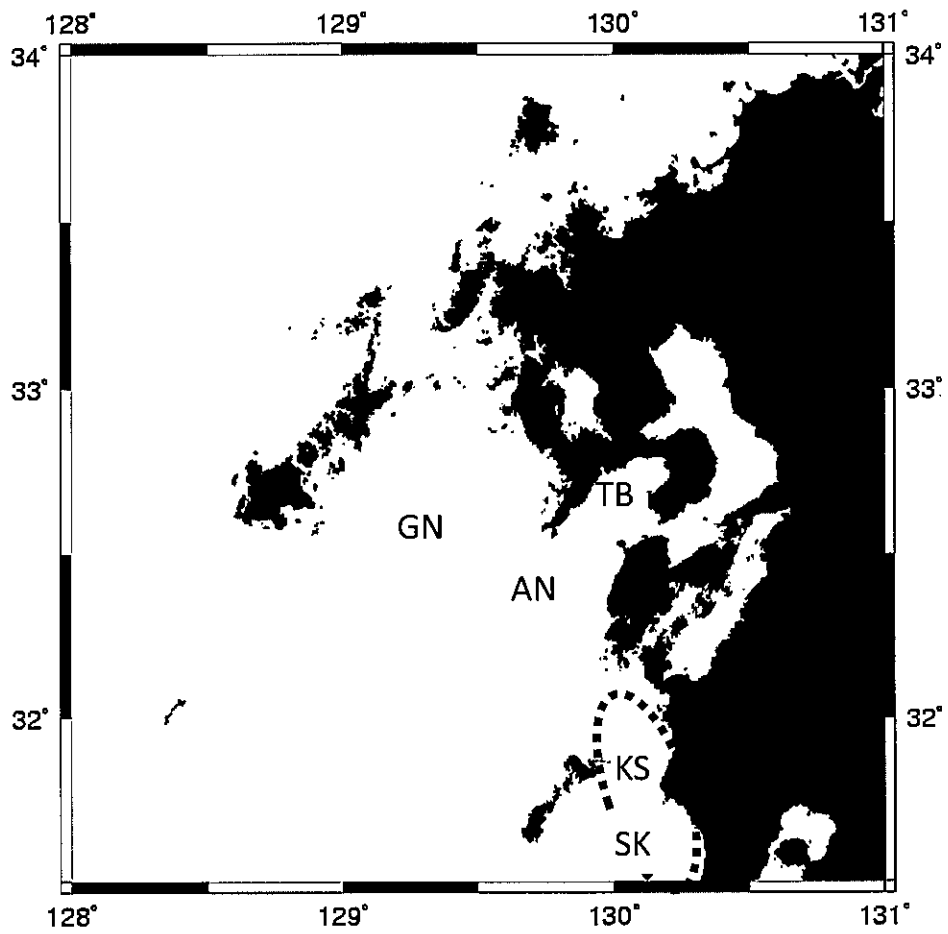


Figure 4.1. The target areas of this study. TB: Tachibana Bay , AN: Amakusa-Nada , KS: Koshiki Strait , SK: Seisatu-area , GN: Gotonada

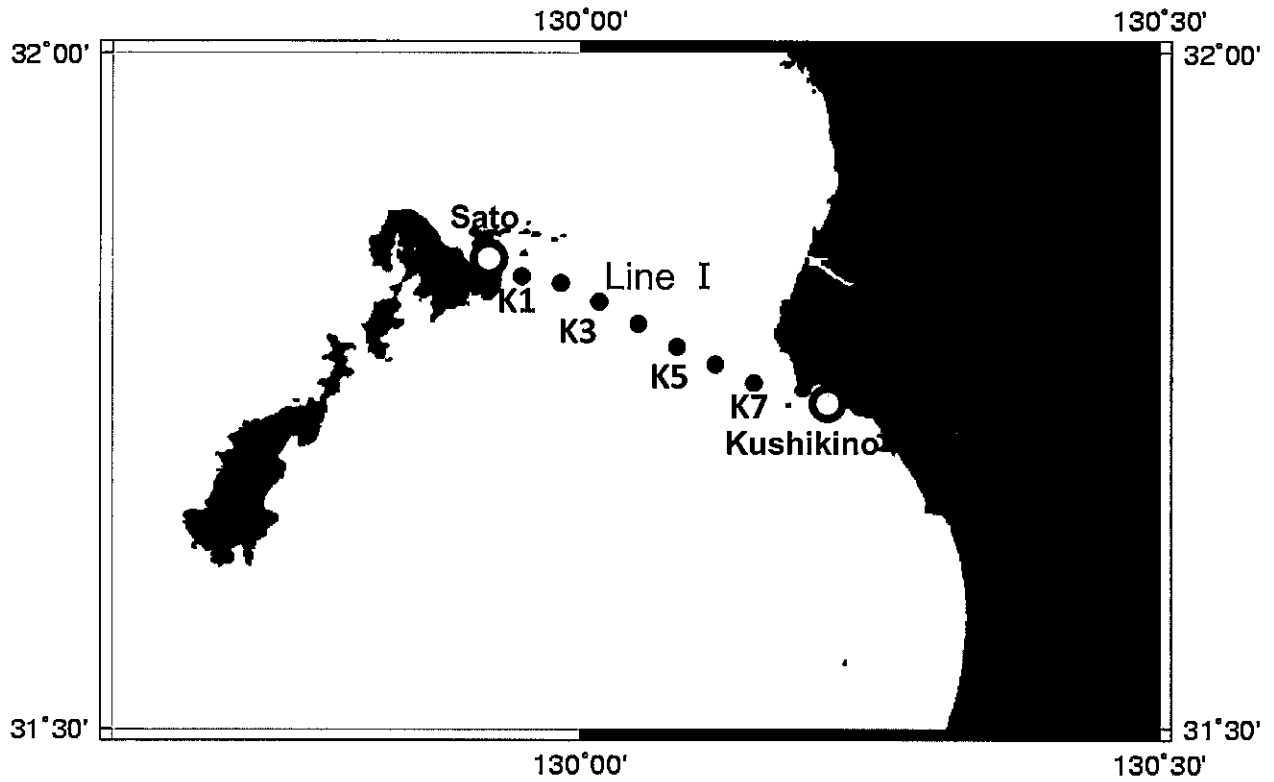


Figure 4.2. The stations used for the analysis of ADCP data obtained from monitoring by a ferry boat crossing the Koshikijima Strait.

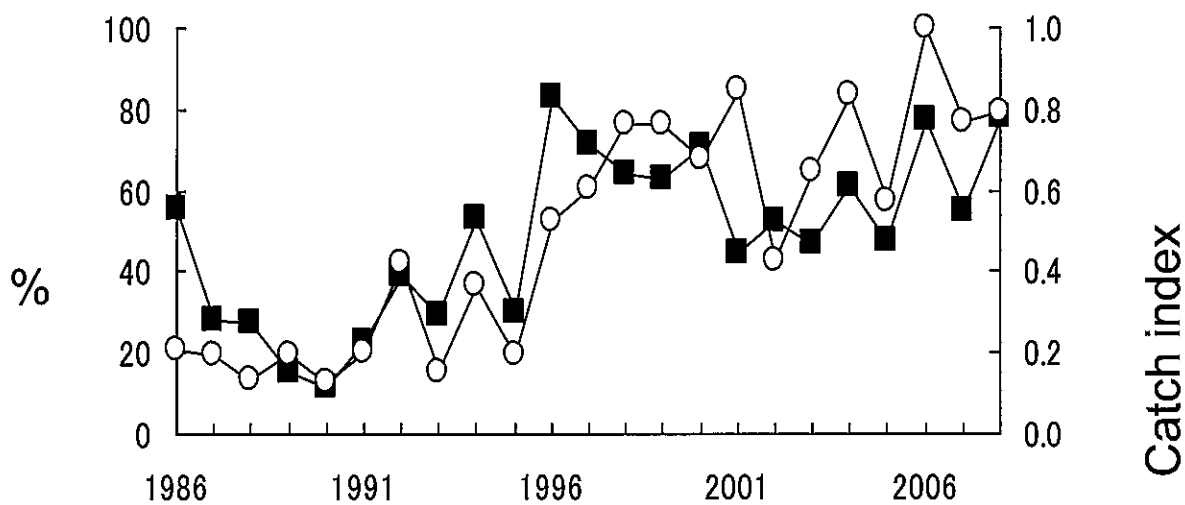


Figure 4.3 . Time-series of catch index (see the text for details) of small-sized anchovy in Tachibana Bay and percentage of the spring-spawned anchovy in 1986-2008. Solid squares: catch index of small-sized anchovy. Open circles: percentage of spring-spawned anchovy.

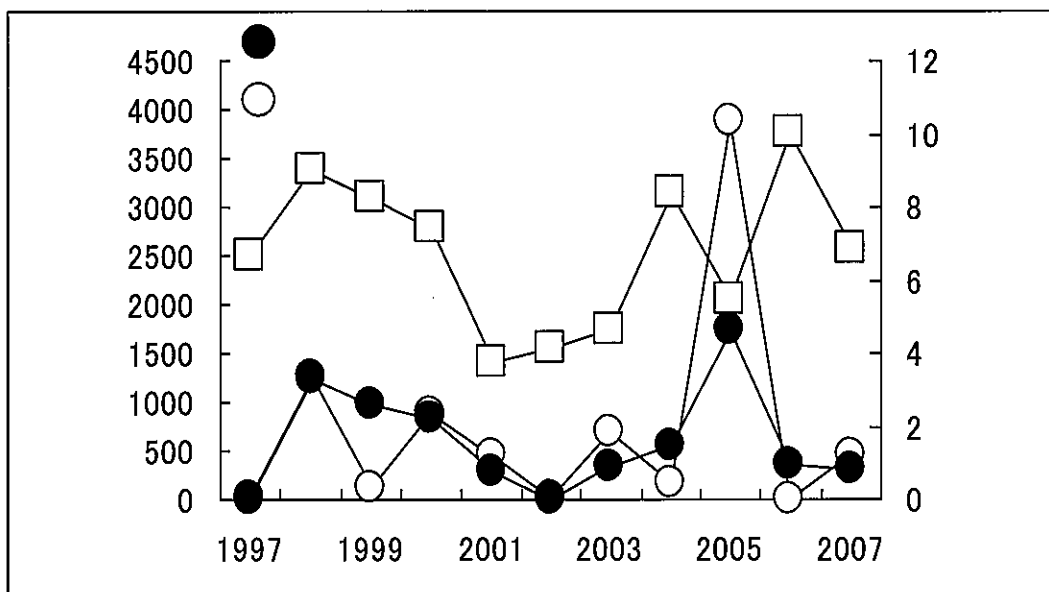


Figure 4.4. Time-series of the egg and larval density of anchovy in the Goto-nada in March-April, 1997-2007. The time-series of the catch of small-sized anchovy in Tachibana Bay is also indicated for comparison.

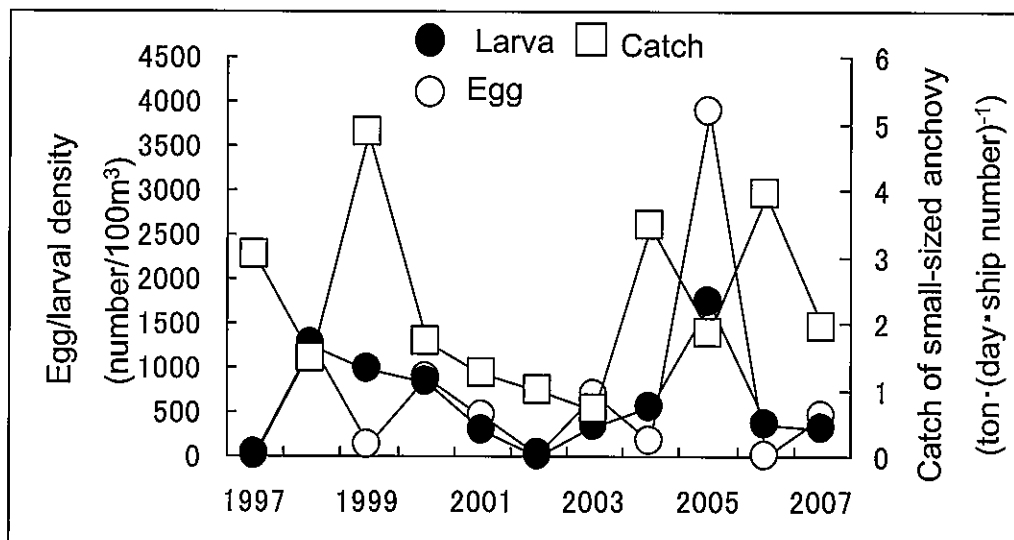
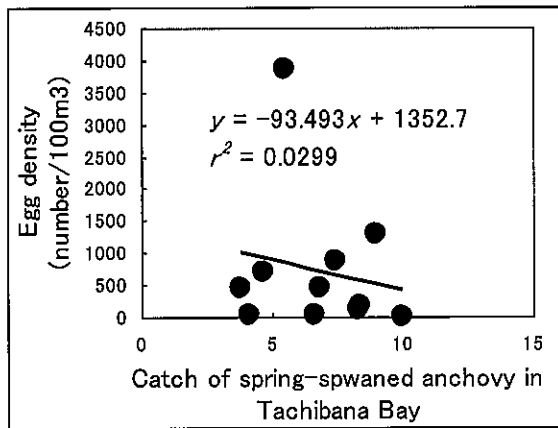
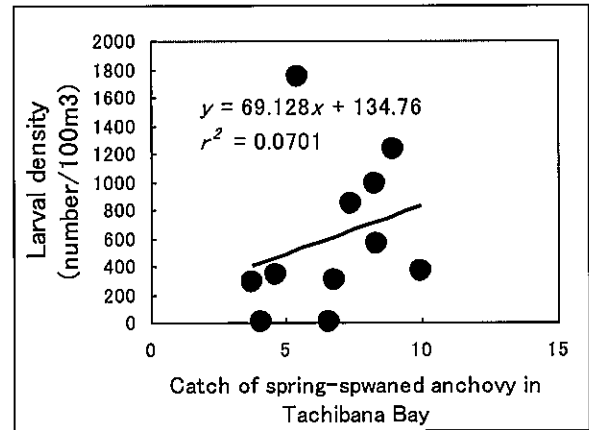


Figure 4.5. Time-series of the egg and larval density of anchovy in the Goto-nada in March-April, 1997-2007. The time-series of the catch of small-sized anchovy in Seihi area is also indicated for comparison.

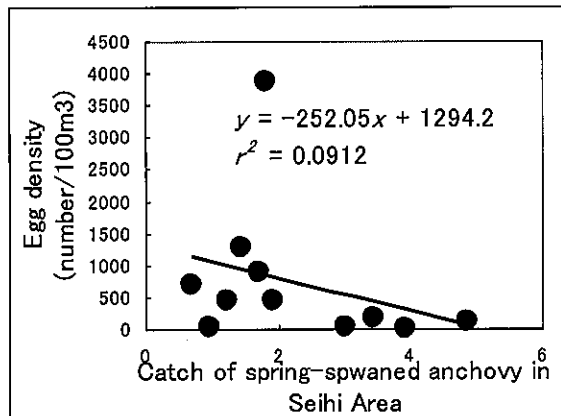
a)



b)



c)



d)

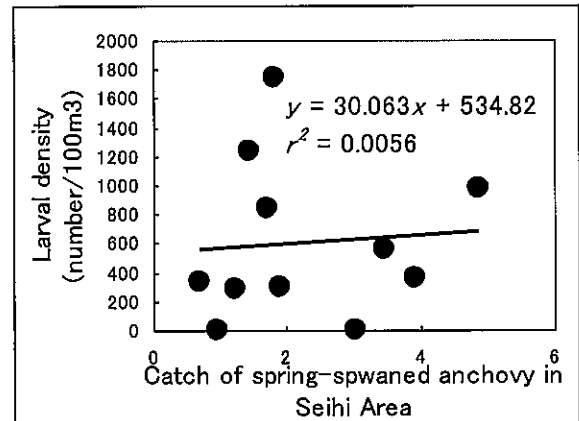


Figure 4.6 .Correlations between the egg density(or larval density) of anchovy in Mar.-Apl. in theGoto-nada and catch of spring-spawned anchovy in Tachibana Bay (or Seihi area). a) Correlation between egg density and catch in Tachibana-Bay. b) Correlation between larval density and catch in Tachibana-Bay. c) Correlation between egg density and catch in Seihi area,and d) Correlation between larval density and catch in Seihi area.

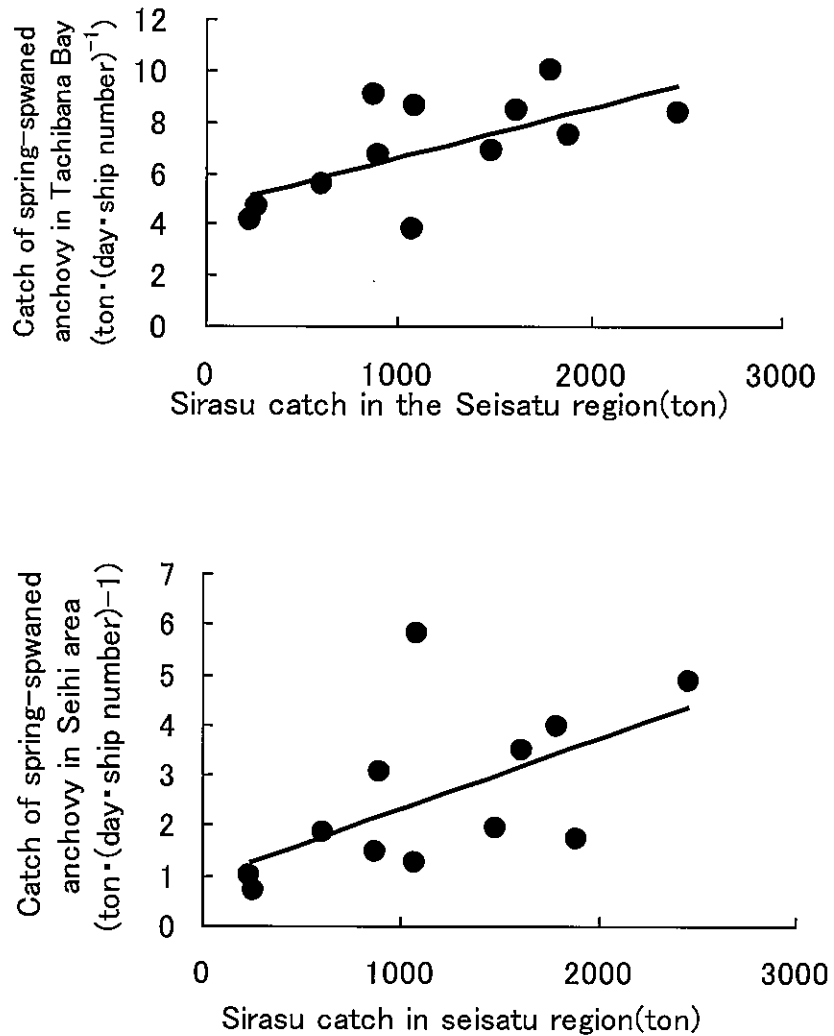


Figure 4.7. Correlation between the catch of spring-spawned anchovy in Tachibana Bay (or Seihi area) and the shirasu catch (March-May) in the Seisatsu region to the south of Tachibana Bay.

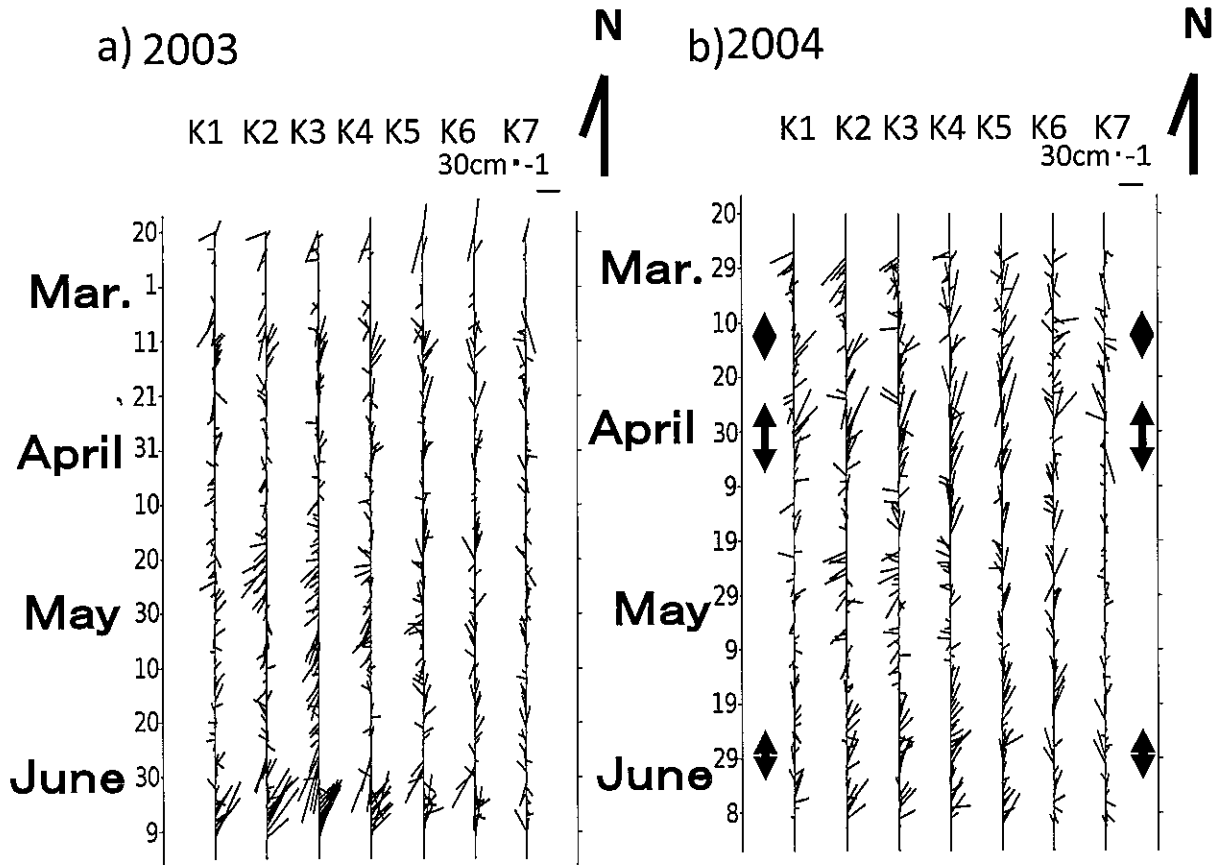


Figure 4.8 . Daily variations of the tidal residual current estimated from the ADCP data obtained from a ferry boat crossing the Koshikijima Strait from 20 Feb. to 10 June (see Fig. 4.1 for the stations K1-K7). (a) 2003, (b) 2004, (c) 2005, (d) 2006, (e) 2007 and (f) 2008. The arrows on the both sides of each panel indicate the period of prominent north-eastward currents, when water temperature recorded by the ferry boat showed a rapid rise with more than 1 degree per day.

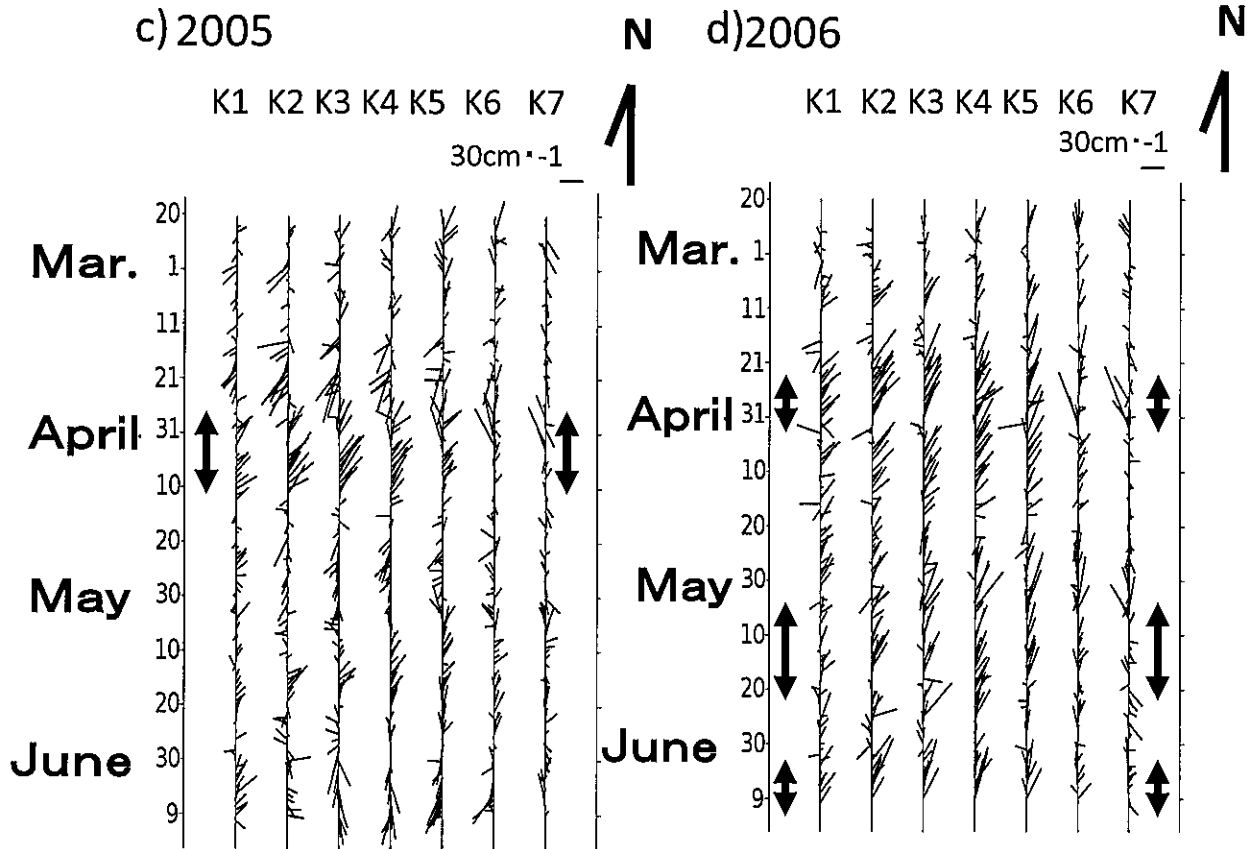


Figure 4.8 .continue Daily variations of the tidal residual current estimated from the ADCP data obtained from a ferry boat crossing the Koshikijima Strait from 20 Feb. to 10 June (see Fig. 4.1 for the stations K1-K7). (a) 2003, (b) 2004, (c) 2005, (d) 2006, (e) 2007 and (f) 2008. The arrows on the both sides of each panel indicate the period of prominent north-eastward currents, when water temperature recorded by the ferry boat showed a rapid rise with more than 1 degree per day.

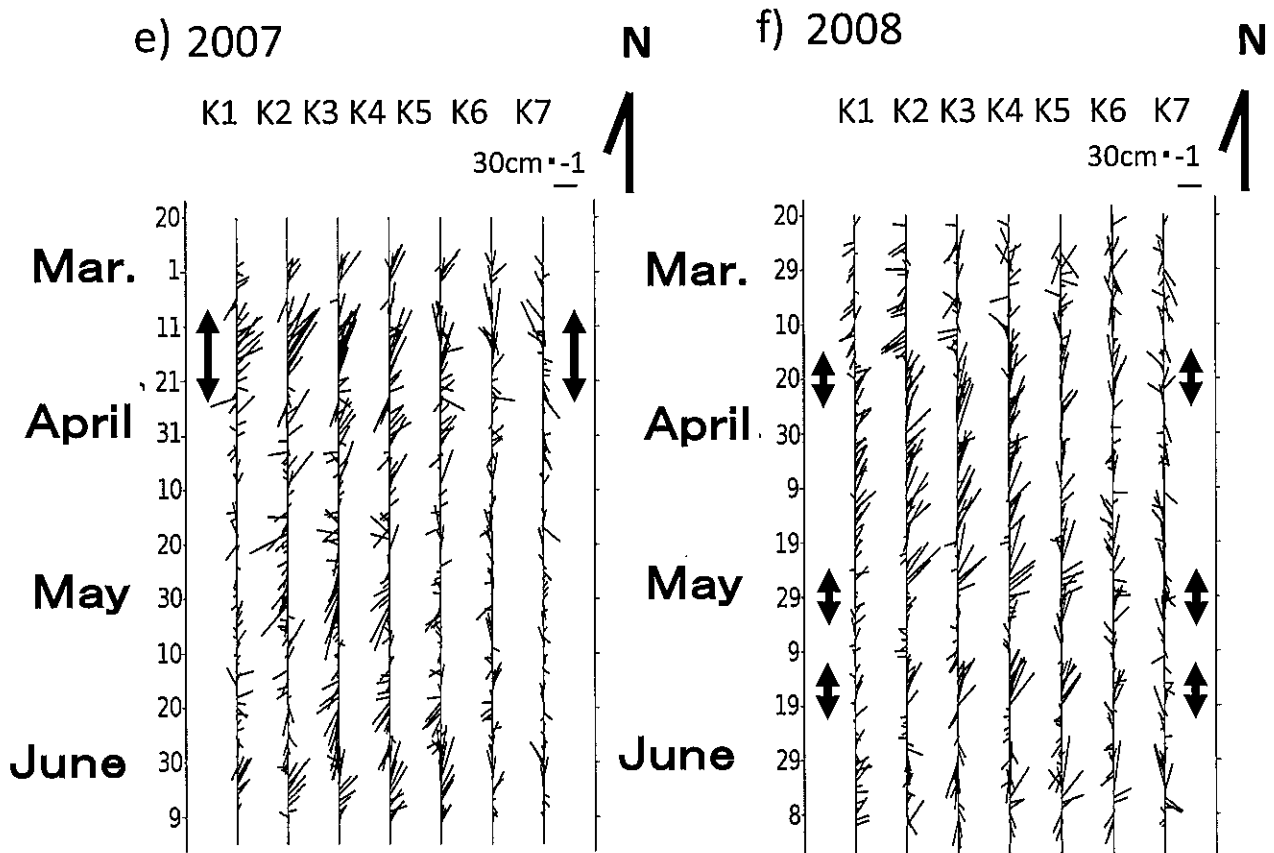


Figure 4.8.continue Daily variations of the tidal residual current estimated from the ADCP data obtained from a ferry boat crossing the Koshikijima Strait from 20 Feb. to 10 June (see Fig. 2 for the stations K1-K7). (a) 2003, (b) 2004, (c) 2005, (d) 2006, (e) 2007 and (f) 2008. The arrows on the both sides of each panel indicate the period of prominent north-eastward currents, when water temperature recorded by the ferry boat showed a rapid rise with more than 1 degree per day.

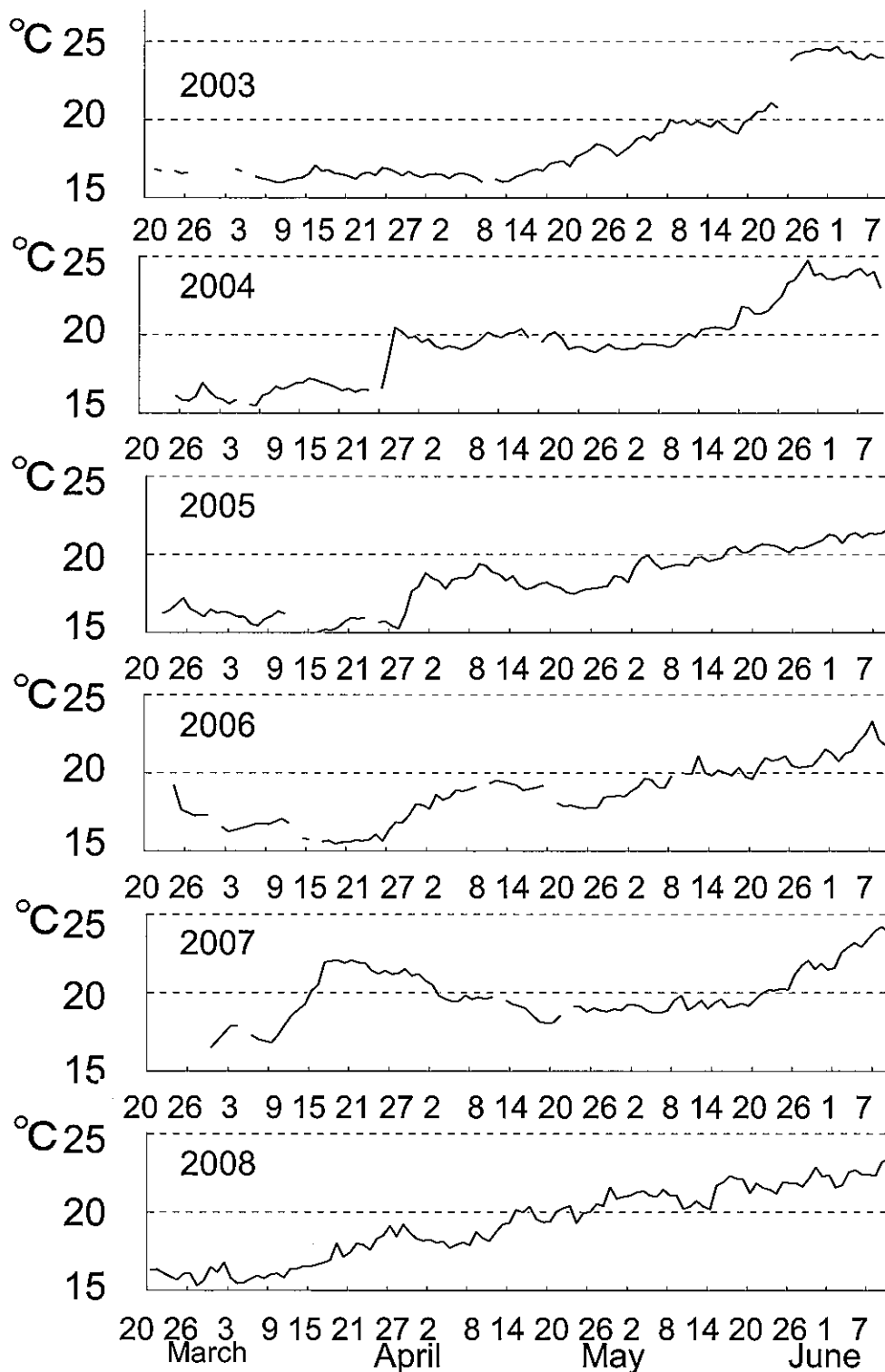


Figure 4.9. Daily variations of spatially averaged sea water temperature (at 5 m depth) measured by a ferry boat crossing the Koshikijima Strait from 20 Feb. to 10 June, 2003-2008.

Table 4.1. Frequency (%) of the north-eastward and north-westward residual currents in the Koshikijima Strait in Mar.-May, 2003-2008.

	N-W	N-E	Total
2003	30%	31%	61%
2004	30	47	77
2005	20	40	60
2006	20	59	79
2007	22	37	59
2008	21	49	70

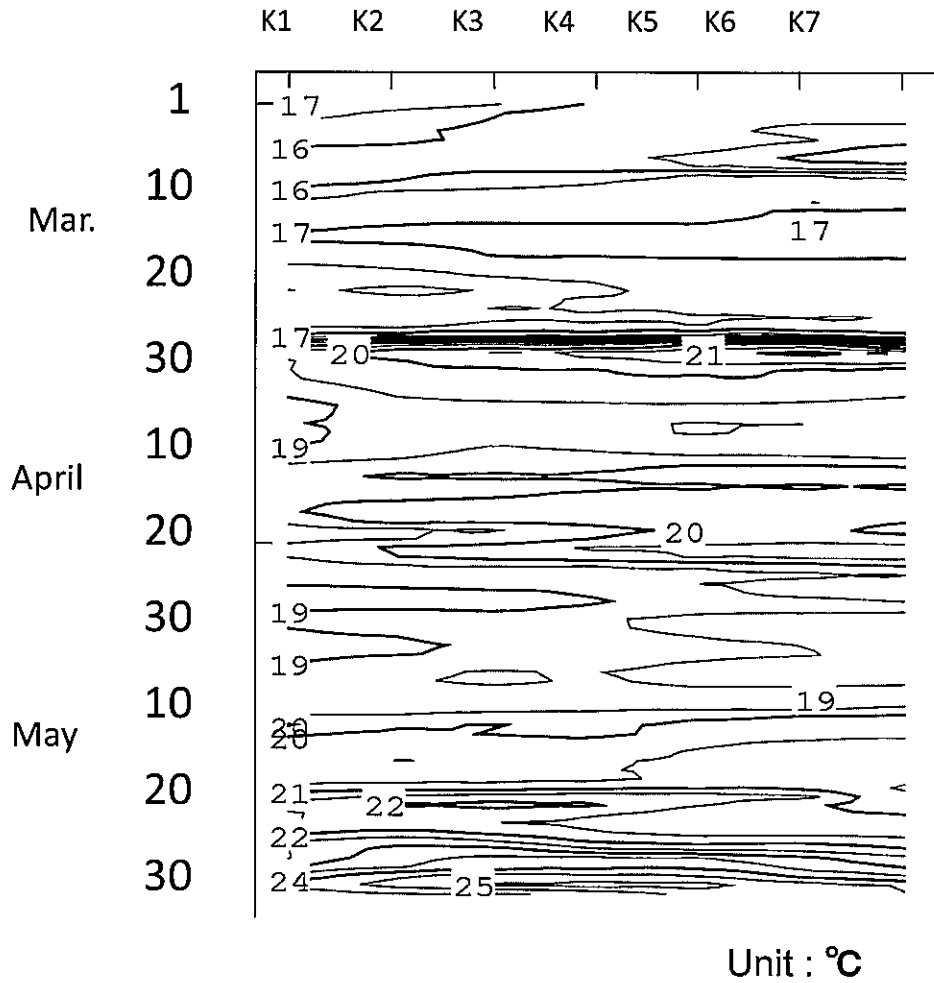


Fig.4.10. Daily variations of the sea water temperature (at 5 m depth) along the cross-section of the Koshikijima Strait (K1-K7) in Mar.-May 2004.

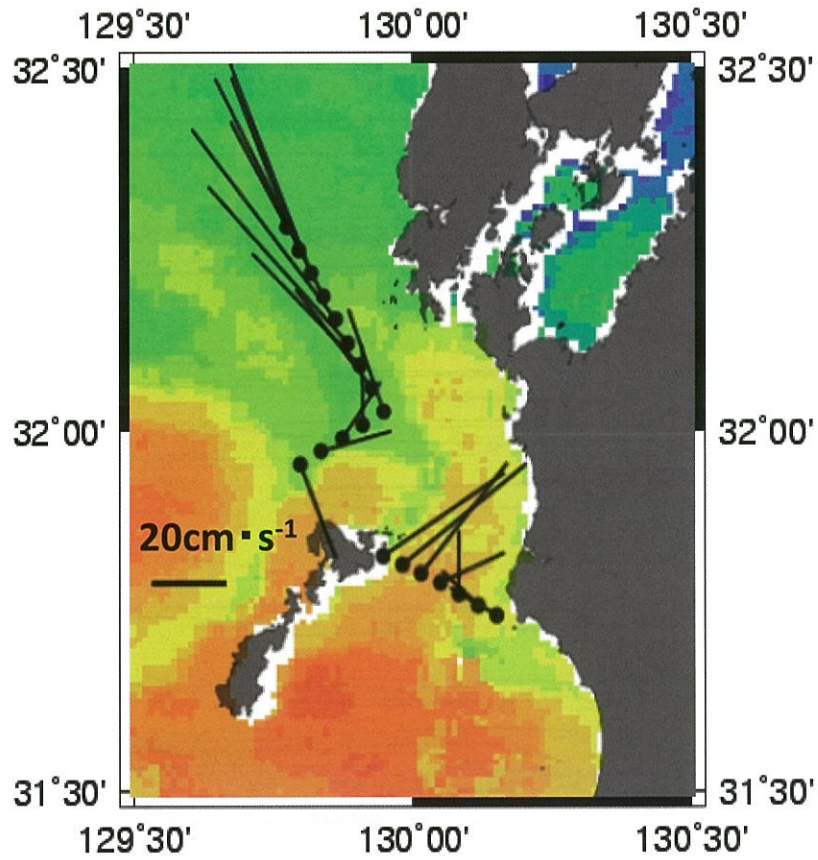


Figure 4.11. Spatial distributions of the tidal residual current around the Koshikijima Islands in 13-14 Mar. 2007, superimposed on the distribution of sea surface temperature detected by a satellite on 13 Mar. 2007.

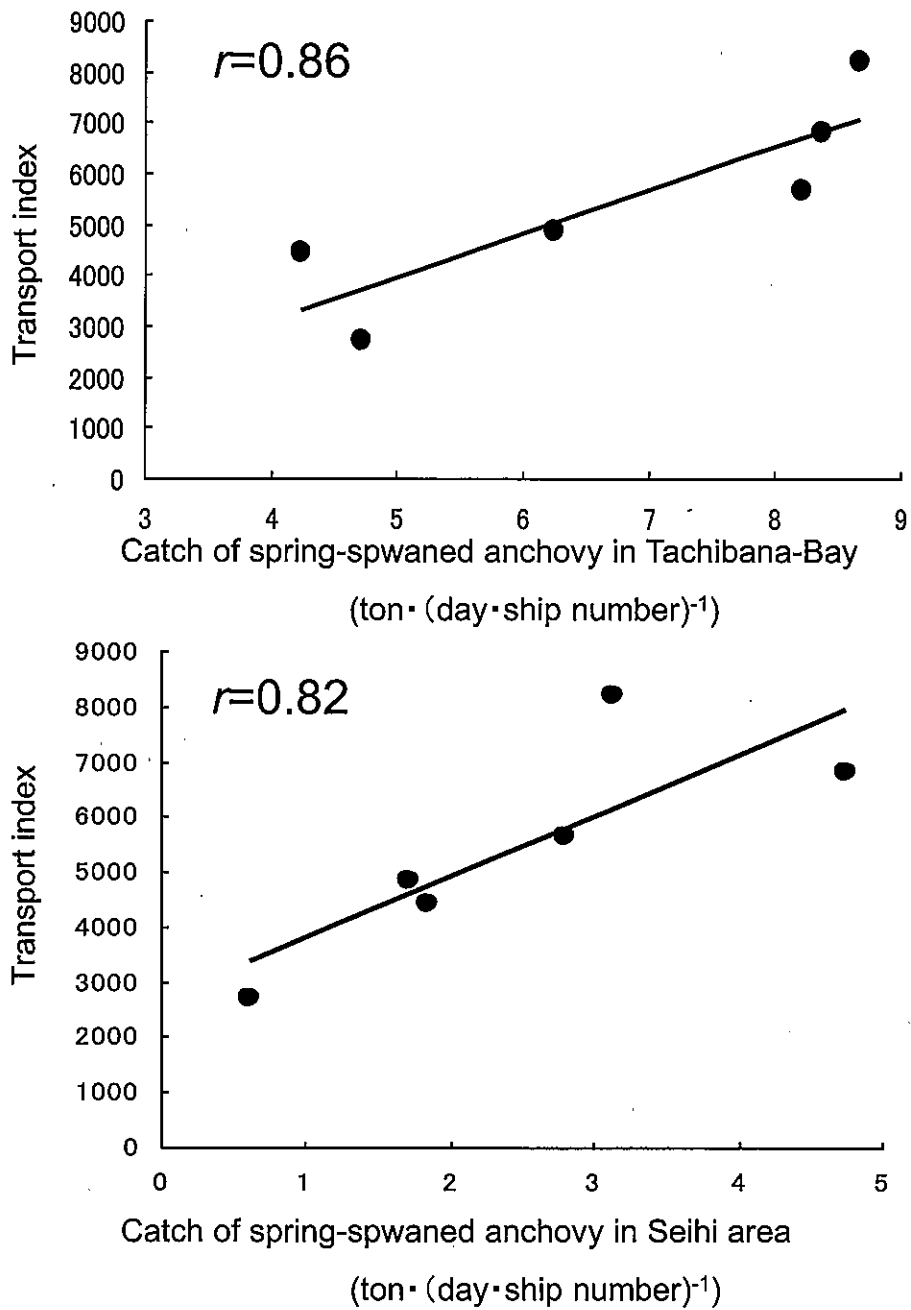


Figure 4.12. Correlation between the catch of spring-spawned anchovy and the transport index that is defined by accumulated north-eastward velocity at the Koshikijima Strait.

