

半閉鎖性水域における溶存バリウムおよび ケイ酸塩の分布の特徴

中村智己*¹・副島広道*¹・加藤義久*²

Characteristics of dissolved barium and silicate distributions in the semi-closed estuaries of Japan

Tomomi NAKAMURA, Hiromichi SOEJIMA and Yoshihisa KATO

Abstract

Dissolved barium and silicate in seawaters from the semi-closed area, Ise Bay and the Seto-Inland Sea with Osaka Bay and Hiroshima Bay, were measured and the distributions of these lithogeneous constituents were compared with bay to bay.

In Ise Bay, the steep thermohaline front at the mouth of the bay was formed on April in 2003 and 2005. In the inside of the front, the seawaters were in low-salinity and high-barium, and the relation between barium and salinity showed that the distribution of barium was conservative. In Osaka Bay, observed on April in 2003, barium concentrations gradually decreased from the Port of Kobe to Tomogashima Channel. Although silicate was depleted in the central area of the bay, the distribution of barium was conservative from the view of the concentration change versus salinity. In Hiroshima Bay, observed on Nov. in 2001, the barium concentrations in this bay were rather higher than that in the estuary of Ohta River. This findings imply that there exist the other riverine barium input in this bay. In the Seto-Inland Sea, the relationship of the low salinity-high barium in the eastern area and vice versa in the western area were found out. Although the higher concentration of barium were obtained in the seawaters of Harima-Nada with longer residence time, the high co-relationship between barium concentration and salinity in the whole area indicate that the barium distribution is controlled by the mixing between the inland and the open seawaters.

1. はじめに

海水中のバリウムの分布は、一般的に栄養塩に類似して表層で濃度が低く、深層に向かって増加する。深層水中のバリウム濃度は、深層大循環に沿って大西洋よりも太平洋の深層水中で高い (Broecker and Peng, 1982)。また、Dehairs *et al.* (1980) は、懸濁粒子中に重晶石 (barite) が見出されると報告した。重晶石は溶解度が小さく、反応性に乏しいが、生物起源粒子の沈降過程において、わずかながら海水中へ溶解再生するが、残りの多くの重晶石は海底へと運ばれ、その大部分は海底表面において深層水へ再生すると考えられている (Dymond *et al.*, 1992)。バリウムの循環は、生物の無機骨格部分のそれと類似しているこ

とが知られ、海水中のその分布は多くの海域においてケイ酸塩やアルカリ度と良い相関を持つ傾向にある (Bacon and Edmond, 1972)。これらの成分は、表層における生物活動の影響が異なるので、海域毎に相関性は様々である。さらに、生物生産量の高い海域の堆積物中には重晶石が高濃度で存在していることが知られている (Revelle *et al.*, 1955)。

ここまで述べたことは、一般的に外洋域の鉛直的な海水について研究されてきたものがほとんどで、沿岸域におけるバリウムに関する研究はあまり報告されていない。もともとバリウムは、陸域から海洋に付加される元素であり、沿岸域の海洋表層への主な供給源の1つに河川が挙げられる。また、ケイ酸塩も河川を通して沿岸域に供給される陸起源物質である。ケイ酸塩は、溶存態無機リンや溶存態無

2007年1月24日受理

*1 東海大学大学院海洋学研究科海洋科学専攻 (Graduate School of Marine Science and Technology, Tokai University)

*2 東海大学海洋学部海洋科学科 (Department of Marine Science, School of Marine Science and Technology, Tokai University)

機窒素とともに、沿岸域で基礎生産を担う植物プランクトンの光合成に利用されることはよく知られている。

陸域から海洋に供給された物質が、沿岸海域においてどのような物理、化学および生物過程を通して外洋または海底へ輸送されるのかを知ることは、海洋における物質循環を研究するために重要である。

本研究では、海水中の溶存バリウムおよびケイ酸塩の分布を調べ、1) 半閉鎖的な海域における表層沿岸水の特徴、2) 駿河湾および黒潮系水との相違、の2点について検討した。

2. 試料

本研究では、前述の目的のために、2000年から2005年にかけて東海大学所属の望星丸航海 (BO-00-18, BO-01-20, BO-01-28, BO-03-01, BO-03-02, BO-05-02) を利用して、海水試料を採取した (Fig. 1)。駿河湾においては、2000年および2001年の9月に駿河湾を東西に横断する合計10測点で、ニスキン採水器を用いて鉛直的に海水試料を採取した (Table 1)。伊勢湾では、2003年および2005年の4月に伊勢湾から黒潮海域にかけて表層水の計71試料を

採取した。大阪湾では、2003年4月に紀伊水道と湾内において表層水を14試料採取した。瀬戸内海では、2001年11月の航海において紀伊水道から豊後水道に抜けるまでの表層水と、黒潮海域および遠州灘の表層水41試料を採取した。この2001年の航海では、黒潮海域から沿岸海域に向かって5測点で鉛直採水も行った (Table 1)。表層水試料は、航行中に研究用海水として船底 (-5 m) から汲み上げられた海水を採取した (Table 2)。海水試料は、100ml ポリプロピレン製容器に分取し、実験室に持ち帰った。なお、表層水 (-5 m) の水温および塩分は、採水時のサーモサリノグラフから読み取った。

3. 実験方法

3.1 海水中のバリウム測定の検討

海水中のバリウムの濃度は nmol/L レベルと非常に低く、試料採取時および分析試薬による汚染が大きな問題となる。このような問題をできる限り低減させるためには、海水試料からバリウムを濃縮等の前処理をすることなく直接測定するような高感度、高精度の分析法が望まれる。現在では、同位体希釈 ICP 質量分析法 (ID-ICPMS) が確

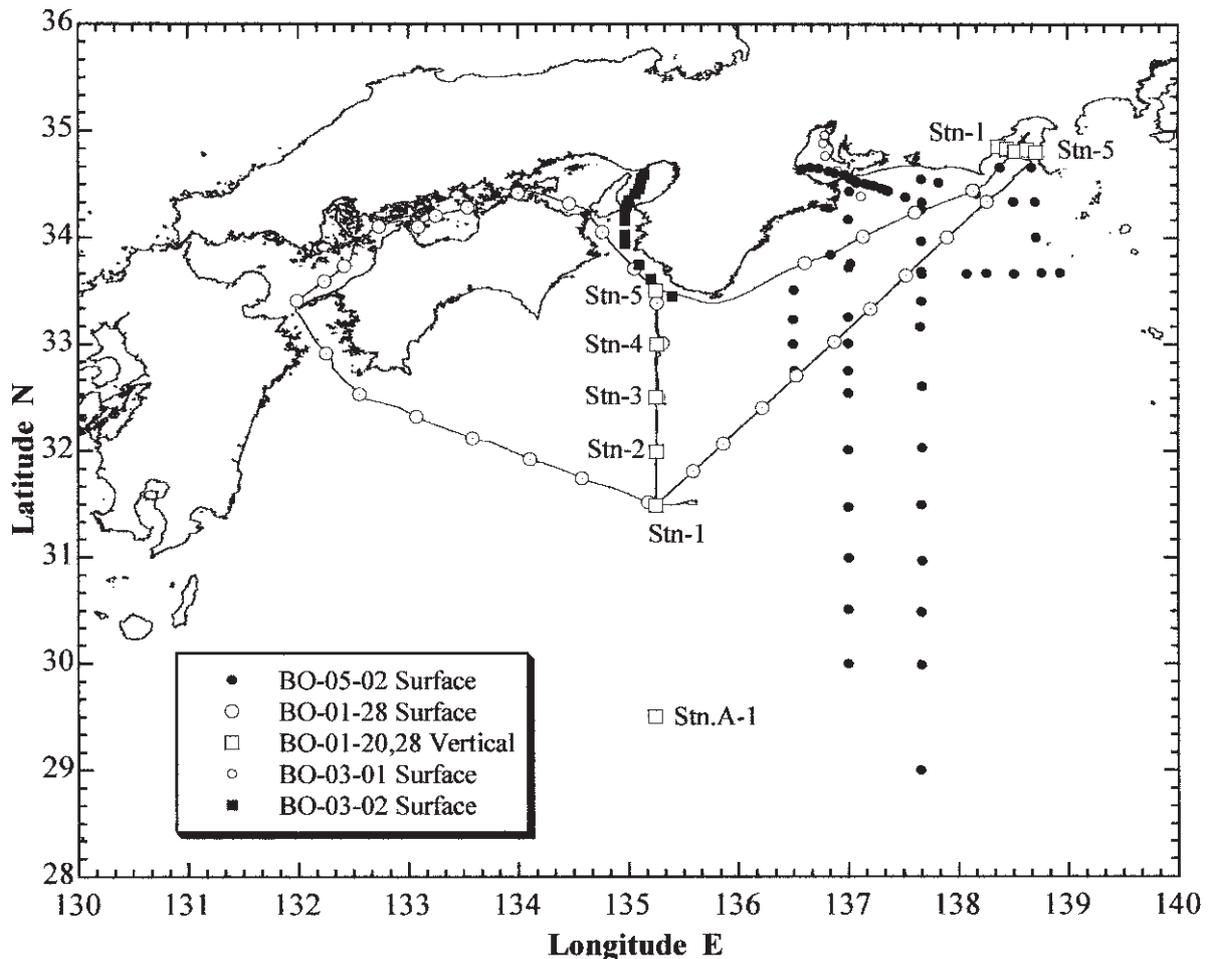


Figure. 1 Location of sampling stations.

Table 1 Sampling log of vertical seawater in BO-00-18 and BO-01-20, 28 cruises.

Cruise	Station	Sampling Date	Latitude N	Longitude E	Sampling Site
BO-00-18	St. 1	8-Sep-00	34°51.66'	138°22.29'	Suruga Bay
	St. 2	8-Sep-00	34°49.47'	138°26.93'	
	St. 3	8-Sep-00	34°48.31'	138°32.17'	
	St. 4	7-Sep-00	34°48.17'	138°37.28'	
	St. 5	7-Sep-00	34°48.01'	138°42.05'	
BO-01-20	Stn. 1	6-Sep-01	34°51.20'	138°21.80'	Suruga Bay
	Stn. 2	6-Sep-01	34°49.97'	138°26.50'	
	Stn. 3	6-Sep-01	34°48.47'	138°31.09'	
	Stn. 4	5-Sep-01	34°49.24'	138°37.38'	
	Stn. 5	5-Sep-01	34°48.06'	138°42.27'	
BO-01-28	Stn. 1	16-Nov-01	31°29.71'	135°14.95'	Shiono Misaka
	Stn. 2	16-Nov-01	31°59.73'	135°15.28'	
	Stn. 3	20-Nov-01	32°30.29'	135°15.14'	
	Stn. 4	20-Nov-01	33° 0.19'	135°15.64'	
	Stn. 5	20-Nov-01	33°30.52'	135°15.13'	

Table 2 Sampling log and sampling number of surface seawater.

Cruise	Sampling Period	Samplig Number	Sampling Site
BO-01-28	2001/11/15-2001/11/21	41	Seto Inland Sea Ensyuu-nada Kuroshio
BO-03-01	2003/4/16-2003/4/22	8	Ise Bay
BO-03-02	2003/4/25-2003/5/1	14	Osaka Bay
BO-05-02	2005/4/25-2005/5/1	63	Ise Bay Kuroshio

立され広く用いられている (Klinkhammer and Chan, 1990). 本研究では, ICP 発光分光光度計 (ICP-AES) を用いて, バリウムを定量する方法を検討した. ICP-AES 法はバリウムに対して高感度であるため, 海水試料を直接分光器に噴霧して測定することも可能である (Sugiyama *et al.*, 1984). しかしながら, 海塩の化学干渉を受けバックグラウンドが高くなり, 発光強度も変動しやすい. 鎌田 (2000) は, 塩を除く方法として比較的単純な操作で濃縮が可能な共同沈殿法を開発した. 本研究では, 基本的には鎌田 (2000) の方法に従ってバリウムを定量した.

3.2 ブランク海水の調整

分析を行うにあたって, バリウムが含まれないブランク海水の調整も試みた. このブランク海水は二酸化マンガンを付着させた繊維をカラムに詰め, 流速 1 ml/min. にて表層海水を通過させて調整した.

バリウムの測定は, 海水試料 25ml を用いて 1% マンガン

溶液 0.5ml を加え, 緩衝溶液 ($\text{CH}_3\text{COOH}-\text{CH}_3\text{COONa}$) にて pH4.0 に調整した. 次に, 0.8% 過マンガン酸カリウム溶液を 0.5ml 加え, 80°C の恒温槽に 3 時間湯浴した. その後, 遠心分離を行い二酸化マンガンの沈殿を捕集し, 5 ml の酸性溶媒で定容するために乾燥器 (60°C, 6hour) で水分を蒸発させた. 乾燥後, 沈殿を 0.1N 塩酸 - 1% 過酸化水素溶液 5 ml に溶解し, ICP-AES 法にてバリウム (波長; 455.403nm) を定量した. また, 調整したブランク海水を用いて各濃度のバリウム標準溶液を作り, 海水試料と同じ操作を行って検量線を作成した. さらに, 二次標準溶液として表層水 (BO-99-22; KN2SW) および深層水 (BO-98-22; KN3DW) のバリウムも実験毎に測定した.

なお, 表層水および深層水を用いてこの方法による誤差と回収率 (Ba 添加量 10, 20 $\mu\text{g/l}$) を求めた (Table 3) と, 表層水の濃度は $7.3 \pm 0.1 \mu\text{g/L}$ で回収率は $99.8 \pm 1.2\%$, 深層水では $20.2 \pm 0.1 \mu\text{g/L}$ で回収率は $99.3 \pm 1.8\%$ と良好であった.

Table 3 Concentration and recovery of barium determined by MnO₂ co-precipitation method.

	Surface Water (KN2SW)				
	μg/L	+10μg/L	Recovery %	+20μg/L	Recovery %
	7.4	17.3	99.9	27.3	100.0
	7.3	17.3	100.1	27.3	100.2
	7.2	17.3	99.7	27.1	99.1
Average	7.3	17.3	99.9	27.2	99.8

	Deep Water (KN3DW)				
	μg/L	+10μg/L	Recovery %	+20μg/L	Recovery %
	20.2	30.2	99.9	40.2	100.3
	20.2	30.1	99.5	39.9	98.5
	20.1	30.0	98.5	40.0	99.3
Average	20.2	30.1	99.3	40.0	99.4

4. 結果と考察

4.1 伊勢湾における表層水の特徴

後背地に大都市を持つ伊勢湾、大阪湾、東京湾などは、わが国の代表的な富栄養化が問題となっている閉鎖的内湾である。伊勢湾は、湾奥部に大河川の本曾川が流入し、外洋に向かって比較的広い湾口を持っている。伊勢湾における表層水の水溫、塩分、ケイ酸塩およびバリウムの緯度に対する水平分布を Fig. 2 に示した。BO-03-01 次航海における2003年4月の水溫および塩分の水平分布 (Fig. 2d, Fig. 2c) を見ると、伊勢湾内の海水と外洋水は、伊良湖水道沖を境にして水溫は約3°C、塩分では約3 PSU も変化している。柳 (1990) によると、海では2つの異なる水塊が水平に接すると、キャベリング効果や内部エクマン境界層により海面上では海面収束が生じる。この海面収束は、海洋前線またはフロントと呼ばれている。伊良湖水道沖でも高温・高塩分の沖合い水塊と低温・低塩分の沿岸水塊との境界に熱塩フロントが生じ、湾口において不連続な分布を示した。フロントを境界として、湾内と外洋の海水の密度を水溫および塩分から求めると、密度はほとんど変化しないことがわかった。フロントの両側で水溫が3°Cも急変するのに、密度が変化しないのは塩分差が補償しているためである。伊勢湾北部 (N-7) において塩分が21 PSU を示し、低塩分の表層水が分布している。これは、本曾三川 (本曾川、長良川、揖斐川) などの河川が流入して湾内の海水を著しく希釈するため、河川から流入した淡水は少しずつ海水と混合しながら沖に移流する。また、春季の伊勢湾奥部表層では西から東へ向かう流れがあり、本曾三川から供給された陸起源物質は湾東部に輸送される。したがって、バリウム (Fig. 2a) およびケイ酸塩 (Fig. 2b) の濃度は、湾口部から湾奥部に向かって増加した。名古屋港 (N-8) のそれらの濃度は、低塩分を示した地点 (N-7) と比較して高濃度であった。このことから、

名古屋港には本曾三川と異なるバリウムやケイ酸塩の供給源があると考えられる。また、湾中央部 (N-5) におけるバリウムおよびケイ酸塩の濃度は高くなる傾向を示した。その水域の塩分および水溫は周辺域のそれらよりも低くなった。これは、高バリウム、高ケイ酸塩濃度を保存した河川水が、海水と混ざりながら湾中央部まで移流してきた淡水ブルームであると考えられる。また、2005年の春季における伊勢湾の水溫を2003年と比較すると、前者には湾口部で不連続な分布 (Fig. 2d) が見られなかった。つまり、2005年には、伊良湖水道沖で2003年に見られた熱塩フロントを見出すことができなかった。この熱塩フロント消失は、2004年8月から2005年10月の1年2ヶ月も続いた黒潮の大蛇行により、伊勢湾から遠州灘に続く沿岸域の海洋環境が大きく変化したためと考えられる。伊勢湾における塩分とバリウムおよびケイ酸塩の相関関係を Fig. 3 に示した。これらの相関から、伊勢湾奥の表層水は、本曾三川などの河川水と名古屋港周辺の海水との混合によって形成されることが考えられる。さらに伊勢湾表層においては、前述した湾奥の混合水と遠州灘沿岸水との混合希釈によって海水の性質が決定されていると考えられる。

4.2 瀬戸内海および大阪湾における表層水の特徴

2001年11月には、BO-01-28 次航海における海洋観測の中で、遠州灘、瀬戸内海および黒潮海域において一週間にわたって、海洋表層水の採水とサーモサリノグラフによる水溫および塩分についてのデータ收拾を行った。瀬戸内海は、本州、四国および九州に囲まれた平均水深31mの内海で、10の湾および灘から成り立っている (Fig. 4)。また、外洋水との交換は、黒潮の影響を受ける豊予海峡、鳴門海峡および友が島水道、さらに対馬海流の影響を受ける関門海峡の4海峡で行われる。本報告におけるBO-01-28次航海は、黒潮海域から紀伊水道を経て瀬戸内海を西進し、豊後水道から黒潮海域に戻る行程を、2日足らずの日程で走破した。このように極めて短い期間で黒潮海域と瀬

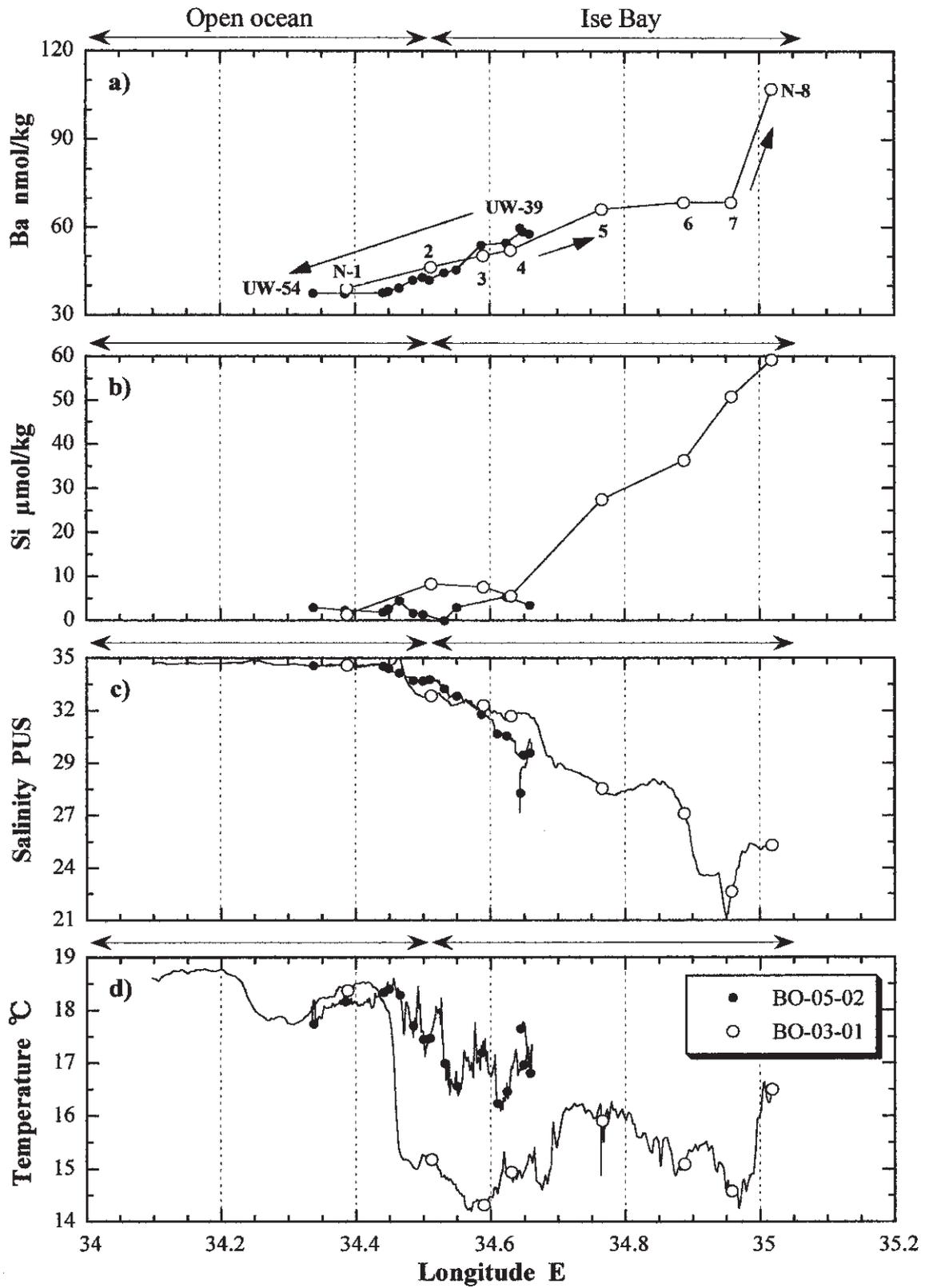


Figure. 2 Horizontal distributions of barium, silicate, salinity and temperature in Ise Bay.

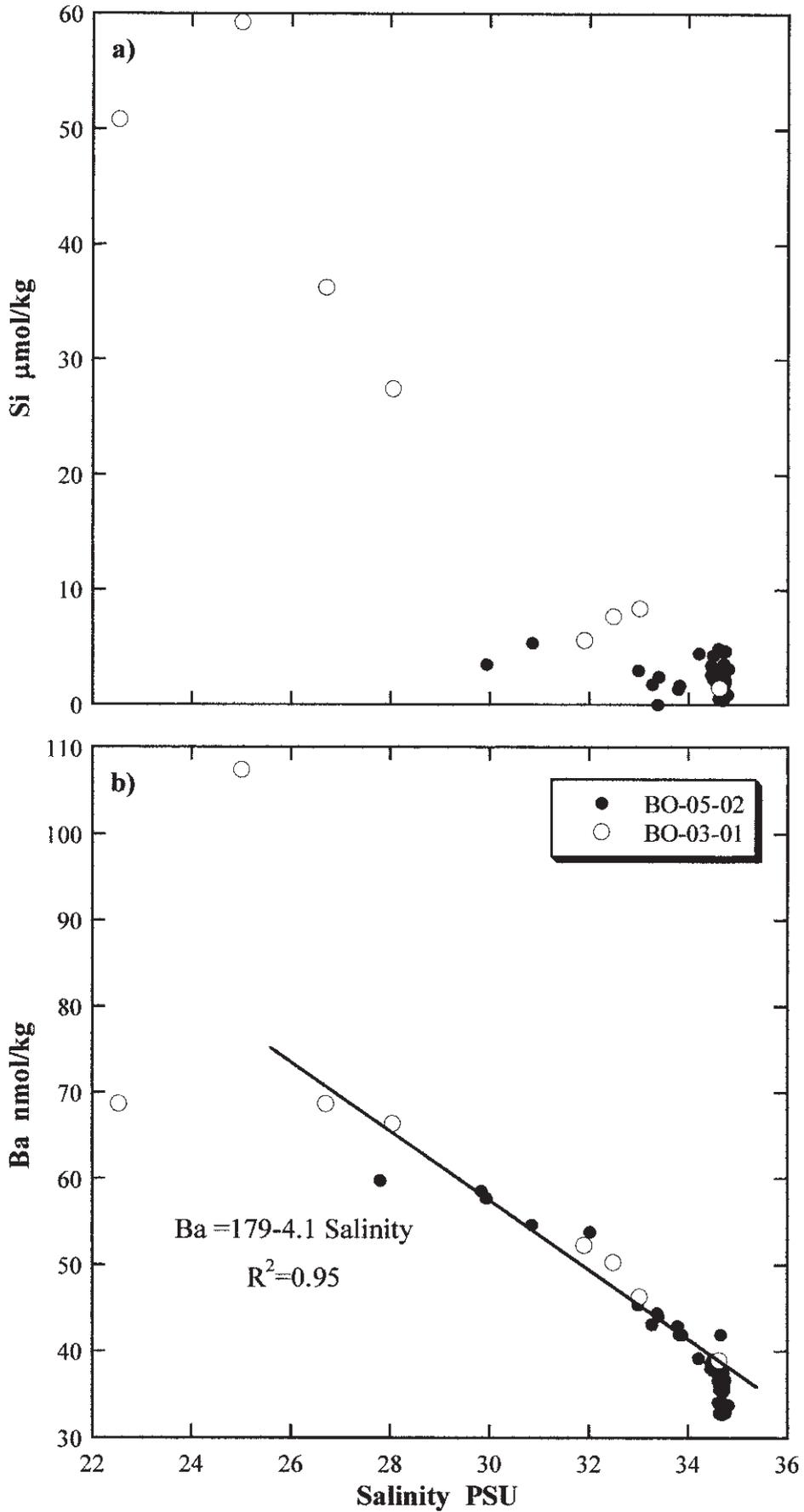


Figure. 3 Relation between salinity and silicate (a), and barium (b) in Ise Bay.

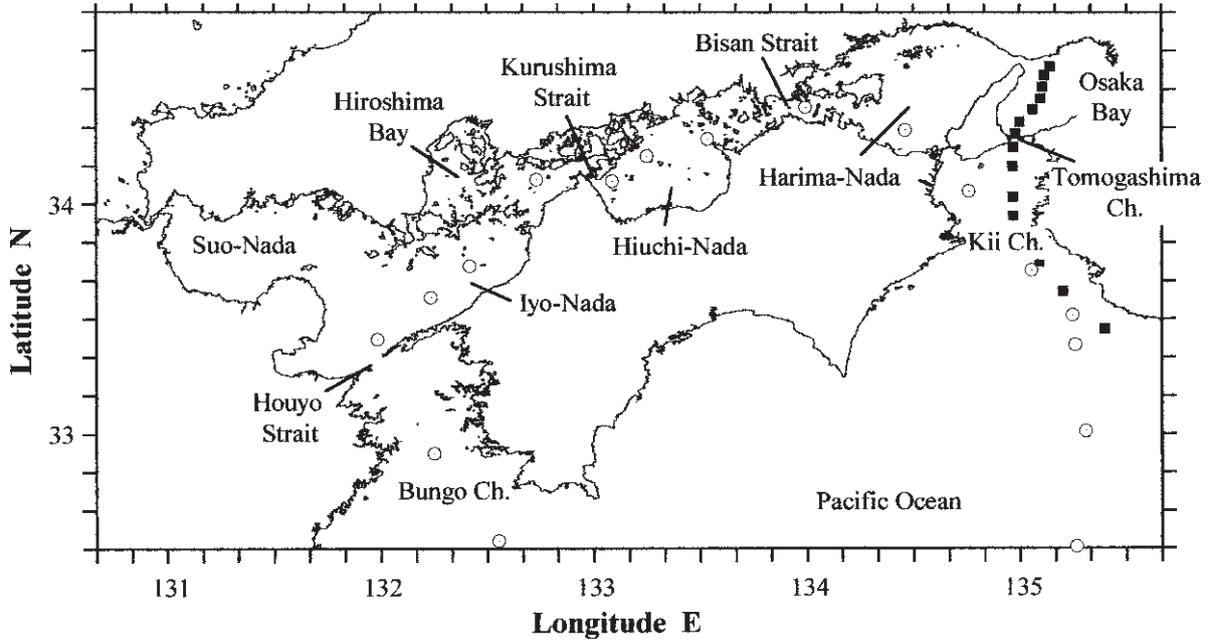


Figure. 4 Map of Seto Inland Sea. Plots are observation points.

戸内海を観測した報告はなく、内海の海水と外洋水(主に黒潮)との混合を知るために有意義な結果が得られることを期待した。また、2003年4月(BO-03-02)には時期的に異なるが、大阪湾においても表層水試料を採取することができた。

大阪湾における表層海水中のケイ酸塩、バリウム、クロロフィル a、塩分および水温の緯度に対する水平分布を Fig. 5 に示した。大阪湾においては、紀伊水道と湾奥を比較すると塩分 (Fig. 5d) で 8 PSU、水温 (Fig. 5e) では 2°C と大きく変化した。そして、大阪湾から紀伊水道にかけて水温が大きく変動した場所は、友が島水道 (O-8) であった。また、紀伊水道内 (O-9, 10, 11) と外洋域 (O-12, 13, 14) を比較すると、水温の分布 (Fig. 5e) が不連続となった。このように水温や塩分が急変する水域では、伊勢湾湾口部に見出されたものと同様にフロントが発達していると考えられ、海域ごとに表層水の分布の特徴を異なるものにしていく。大阪湾におけるバリウムおよびケイ酸塩の濃度は湾奥(神戸港; O-1)でともに高くなり、バリウムの分布 (Fig. 5a) は友が島水道に向かって漸次減少する。ケイ酸塩濃度 (Fig. 5b) は、大阪湾中央部 (O-5) で枯渇し、同地点では硝酸塩も同様に枯渇した。この水域でクロロフィル a 濃度が $0.8\mu\text{g/l}$ を示し、周辺水域の 2 倍以上の濃度増加が見られたことからプランクトンに摂取されていることが分かる。また、観測時の大阪湾は、ほぼ全域で赤潮状態であった。湾口(友が島水道; O-8)のフロント域においてはケイ酸塩濃度が高く、紀伊水道に入ると著しく減少する。フロントでは、物質を集積する効果があり、加えてケイ酸塩が再生するため増加したと考えられる。Fig. 5c を見ると、友が島水道周辺ではクロロフ

イル a の増加が見られなかったが、紀伊水道から外洋に向かってクロロフィル a 濃度が増加する傾向を示した。したがって、大阪湾および外洋域から輸送された栄養塩は速やかにプランクトンに取り込まれていると推察される。塩分とバリウムの相関関係 (Fig. 6b) から、バリウムは塩分に対して保存性の混合を示した。大阪湾と紀伊水道における回帰直線の傾きはやや異なり、大阪湾では陸域の影響が強く、紀伊水道では外洋水の影響が強く出ている。また、塩分とケイ酸塩の相関関係 (Fig. 6a) からは、クロロフィル a の増加が起こった湾中央部 (O-4, 5, 6) で、回帰直線よりも下にプロットが並び、ケイ酸塩が除去されたことを示している。さらに、湾口部 (O-9) で再生されたケイ酸塩は、回帰直線よりも上にプロットが並ぶ。

次に、2001年11月の観測 (BO-01-28) における表層海水中のケイ酸塩、バリウム、塩分および水温の経度に対する水平分布を Fig. 7 に示した。

この観測で得られた表層水の各データは、前述したように瀬戸内海だけでなく、遠州灘および黒潮系水も含まれている。瀬戸内海について考察をする前に、伊勢湾表層水の延長となる遠州灘の沿岸系水と黒潮系水を比較した。それらの水域における水温 (Fig. 7d)、ケイ酸塩 (Fig. 7b) およびバリウム (Fig. 7a) の分布を比較すると、遠州灘の表層水は黒潮系水より低温で、ケイ酸塩およびバリウムは高濃度であった。塩分の分布についても詳しく見てみると、黒潮系水に比べて遠州灘では低塩分の海水である。遠州灘の沿岸域には天竜川などの河川水が流入し、伊勢湾や駿河湾からも多くの陸起源物質が供給され沿岸系水を形成していると考えられる。この沿岸系水は、黒潮海域にまで広く分布している。副島 (2005) の報告にある表面水温お

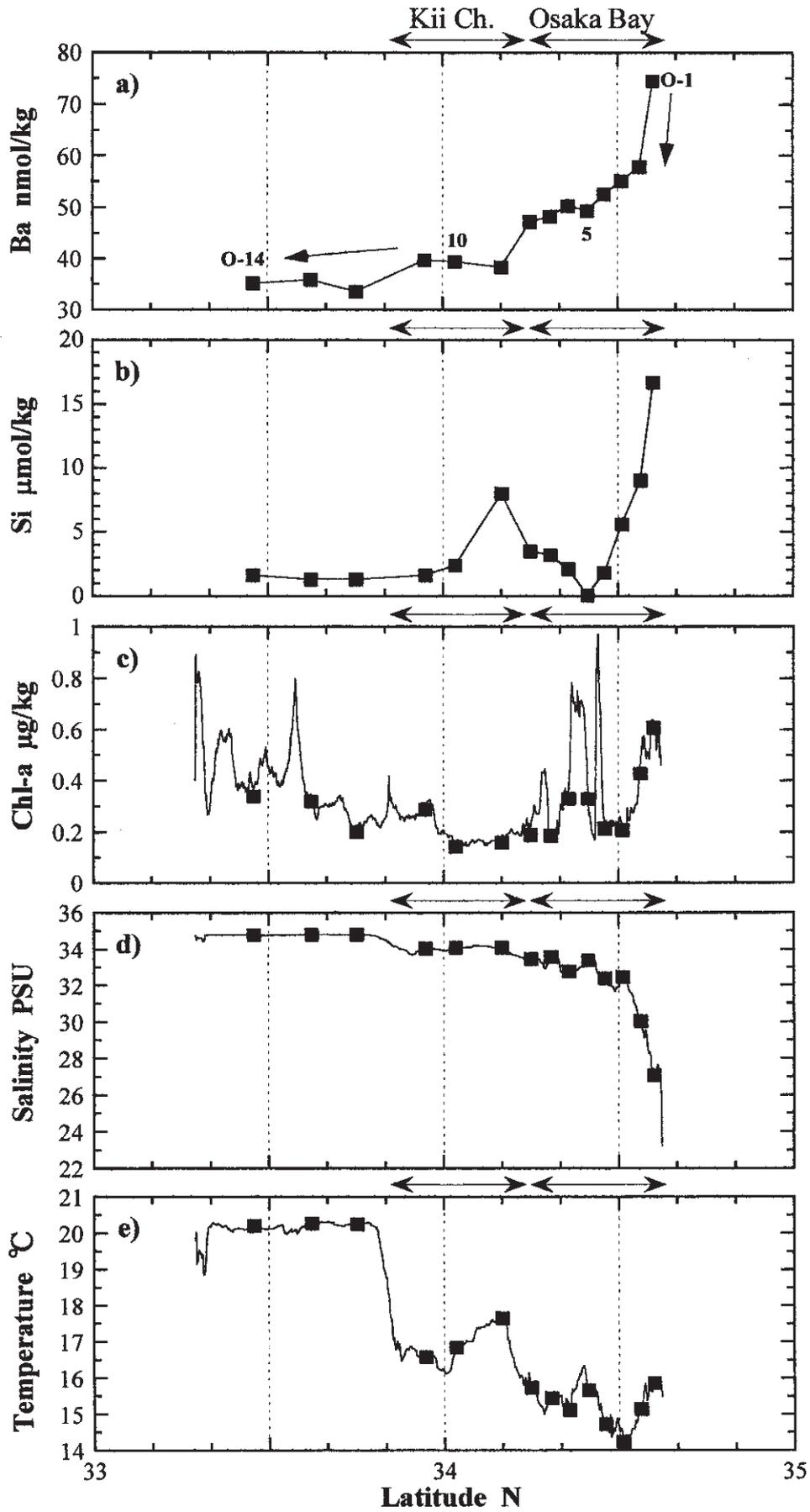


Figure. 5 Horizontal distributions of barium, silicate, Chl.-a, salinity and temperature in Osaka Bay.

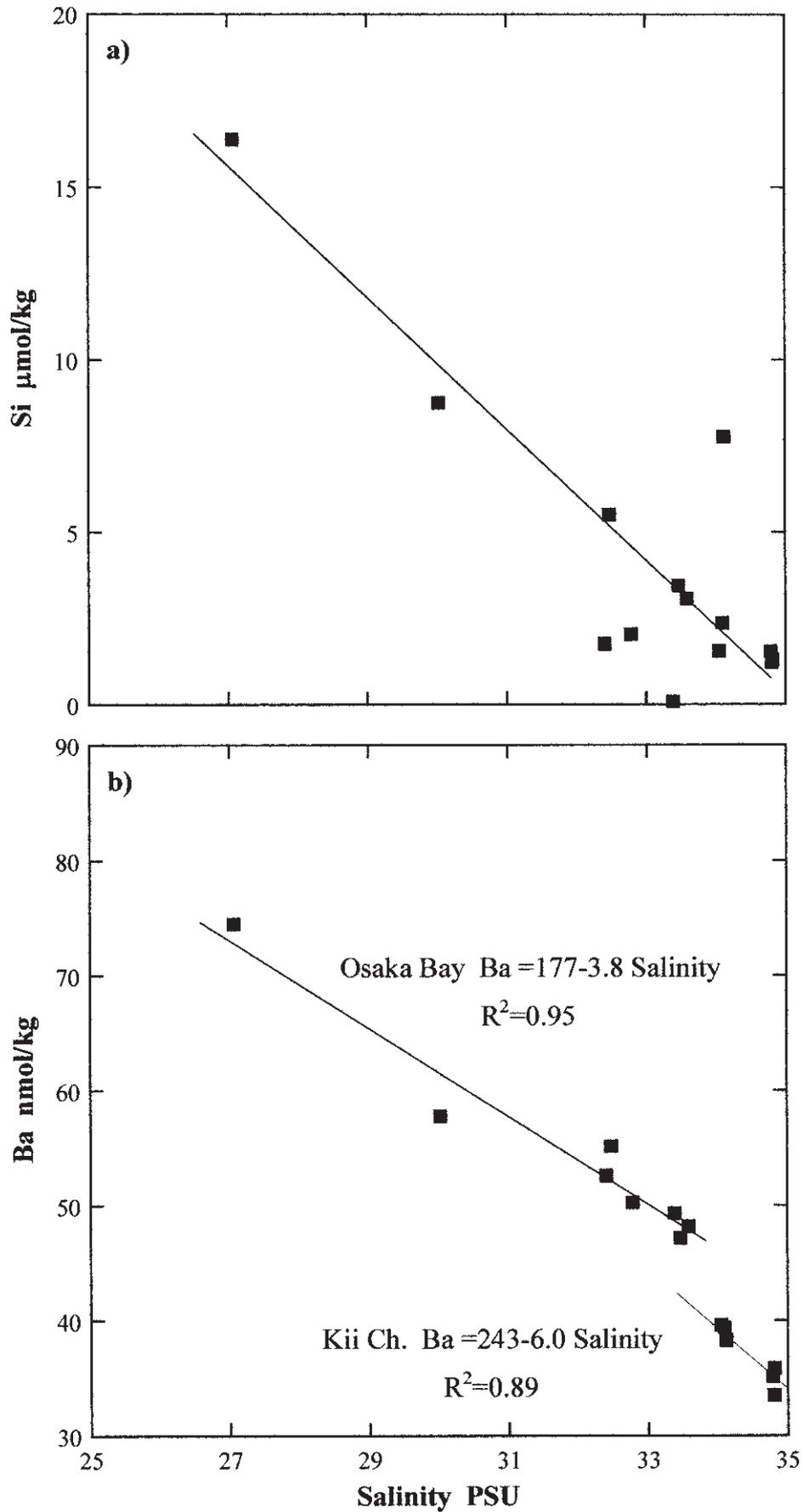


Figure. 6 Relation between salinity and silicate (a), and barium (b) in Osaka Bay.

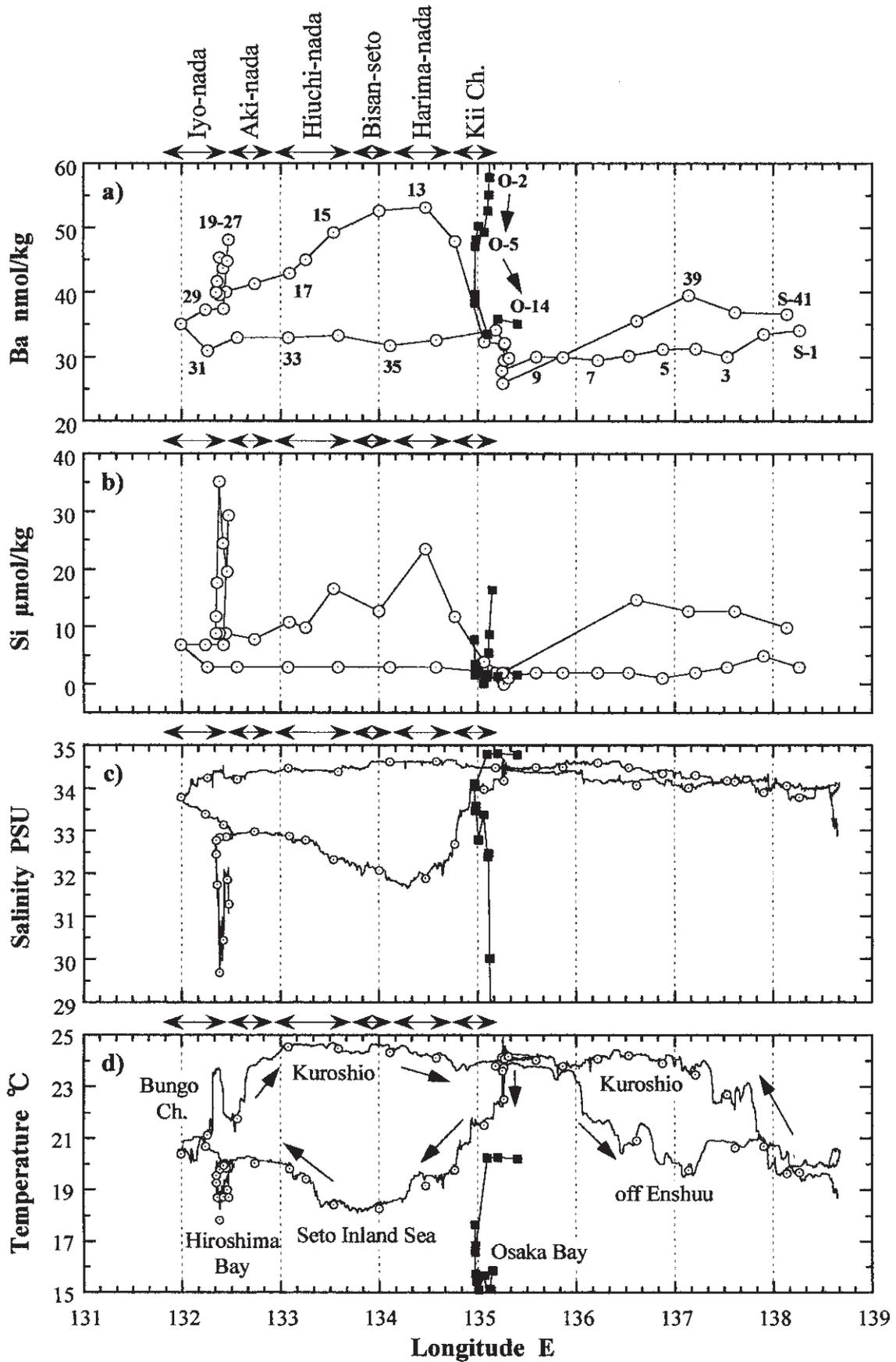


Figure. 7 Horizontal distributions of barium, silicate, salinity and temperature in BO-01-28 Cruise.

よびクロロフィル a 濃度の分布からは、黒潮を境界線として沿岸水と外洋水とが区分されている様子がはっきりと見える。

次に、瀬戸内海における塩分および水温の分布 (Fig. 7) を見ると、大阪湾を除く瀬戸内海 (平均塩分; 32.327, 平均水温; 19.3°C) と黒潮系水 (平均塩分; 33.754, 平均水温; 24.0°C) の水質に明確な違いが見られた。瀬戸内海における塩分は、備讃瀬戸を境に東部で低く、西部で高い。しかし、ケイ酸塩およびバリウム濃度は東部で高く、西部で低い傾向を示す。また、広島湾 (S-19~S-27) は、低塩分でケイ酸塩およびバリウムが高濃度を示した。豊後水道 (S-30) と紀伊水道 (S-12) における水温および塩分は、高温で高塩分を示す。海洋速報によると2001年11月20日前後の黒潮流路は、四国から潮岬にかけて非常に沿岸化していて、両水道には黒潮系水の強い影響が見られる。また、それぞれの海域を比較すると、豊後水道のほうが紀伊水道より高水温、高塩分であり、黒潮系水の影響がより顕著である。柳・樋口 (1981) によると、瀬戸内海で最も卓越した海洋の動的現象は潮汐・潮流であり、東部と西部の干満差 (全振幅) がそれぞれ 40-80cm および 100-220cm であると述べている。柳 (1996) は、 M_2 潮流の振幅分布から、燧灘や広島湾において潮流振幅が 10cm/sec. 以下となることを見出した。このような海域では沿岸からの有機物や栄養塩の負荷が大きいと、海水が滞留しやすいために、夏季に貧酸素水塊が発生しやすくなることを指摘している。

瀬戸内海における海況の特徴を決めている大きな要因の 1 つは塩分分布といえる。瀬戸内海には大小様々な河川が流入しており、流量の大きい主要な河川 (淀川, 吉井川, 高梁川など) は瀬戸内海東部に集中している。したがって、塩分は東部の方が低くなる。また、水温は水深が浅いため外的要因に影響されやすく、沿岸に近づくほどに季節変動幅が大きいと考えられる。

バリウム濃度は、瀬戸内海 (鳴門海峡から伊予灘) で平均 43.1 (32.3-53.2) nmol/kg, 黒潮海域では平均 31.5 (29.5-34.2) nmol/kg および閉鎖性の強い広島湾においては 39.6-48.1 nmol/kg となり、各海域で大きな差が見出される。ケイ酸塩についても瀬戸内海で高濃度を示し、その分布はバリウムの分布と類似し、塩分の分布とは逆相関となる (Fig. 7a, 7b, 7c)。このことから、バリウムはケイ酸塩と同様に陸域から供給されていることが分かる。また、Sugiyama *et al.* (1984) によると黒潮表層水中のバリウム濃度は、29.9-33.5 nmol/L と報告されており、本報告で得られた濃度はよく一致している。前述したとおり、瀬戸内海は多くの灘および湾が連なった閉鎖性の強い内海である。バリウムおよびケイ酸塩の分布についても、代表的な海域ごとに区分し、隣り合う海域の相互関係を考えたい。紀伊水道におけるバリウムの濃度は、紀伊水道の内側 (S-12) と外側 (S-11) を比較すると前者で高濃度であ

る。ケイ酸塩も同様で、外洋から紀伊水道を経て、播磨灘に向かって漸次増加が認められる。紀伊水道内でそれらの濃度が高くなる理由として、紀ノ川や吉野川などの河川の影響、大阪湾や播磨灘との海水交換に伴うこれらの成分の輸送、外洋性の海水による栄養塩の負荷などが考えられる。豊後水道と紀伊水道におけるバリウムとケイ酸塩濃度を比較すると、前者が後者よりも低濃度である。両水道とも外洋性の海水の影響が見られるが、豊後水道のほうがその傾向が強い。これは瀬戸内海東部と西部の干満差に加え、河川水の流入が少ないためと考えられる。播磨灘と燧灘におけるバリウムおよびケイ酸塩は、高濃度を示した。播磨灘は、赤潮発生 of 報告例が多いことでも有名である。この海域は、河川水の流入が多いため、陸起源物質の付加も多い。また、明石海峡や備讃瀬戸を通じて隣接する海域から栄養塩が輸送されるため、ケイ酸塩やバリウムが高濃度を示したと考えられる。単位面積当りの河川水流入量が多い (武岡, 1985) 備讃瀬戸におけるケイ酸塩濃度は、播磨灘や燧灘と比べて低い傾向を示した (S-14)。この要因としては、備讃瀬戸における強い潮流が大きく関係していると考えられる。柳・原島 (2003) が指摘しているように備讃瀬戸では、栄養塩類の負荷量が大いにもかかわらず、強い潮流のために速やかに播磨灘および燧灘に輸送される。備讃瀬戸におけるバリウムの分布は高濃度を示し、ケイ酸塩のそれとは異なっていた。これらの相違は、生物による取り込みが異なることが大きな理由と考えられる。伊予灘においては、塩分について述べたように河川水の流入が瀬戸内海東部よりも少ないことや外洋性の海水の影響が強いため、バリウムおよびケイ酸塩の濃度が低くなっている。広島湾は河川水の影響が大きく、低塩分であるため、バリウムおよびケイ酸塩濃度が高い。

広島湾からの海水の流出が瀬戸内海へのバリウム供給源の 1 つと推察し、広島湾に流れ込む太田川河川水のバリウムおよびケイ酸塩の分析も試みた。太田川-広島湾-瀬戸内海を通して淡水と海水の混合過程がいかなるものか、塩分とバリウムおよびケイ酸塩の相関 (Fig. 8) をとって考察した。また、太田川の測定値と広島湾沖 (S-19) における値を用いて太田川-広島湾沖の混合希釈線として、相関図に加えた。太田川河川水中のケイ酸塩濃度は 159 mmol/kg と非常に高く、多くのケイ酸塩が太田川から広島湾に供給されていることが分かった。しかし、河川水中のバリウム濃度は 47.1 nmol/kg を示し、広島湾奥のバリウム濃度 (44.0-48.1 nmol/kg) と比べて低い傾向にある。塩分とケイ酸塩の相関 (Fig. 8a) では、回帰直線上にプロットが並び、保存性の混合であることが分かる。また、瀬戸内海の海水も回帰直線の延長上に位置している。しかし、塩分とバリウムの相関 (Fig. 8b) を見ると、広島湾と瀬戸内海とで異なる回帰直線となった。この相関図から、広島湾の表層水のバリウム濃度は、瀬戸内海より低いことが分かった。また、バリウムとケイ酸塩との相関関係

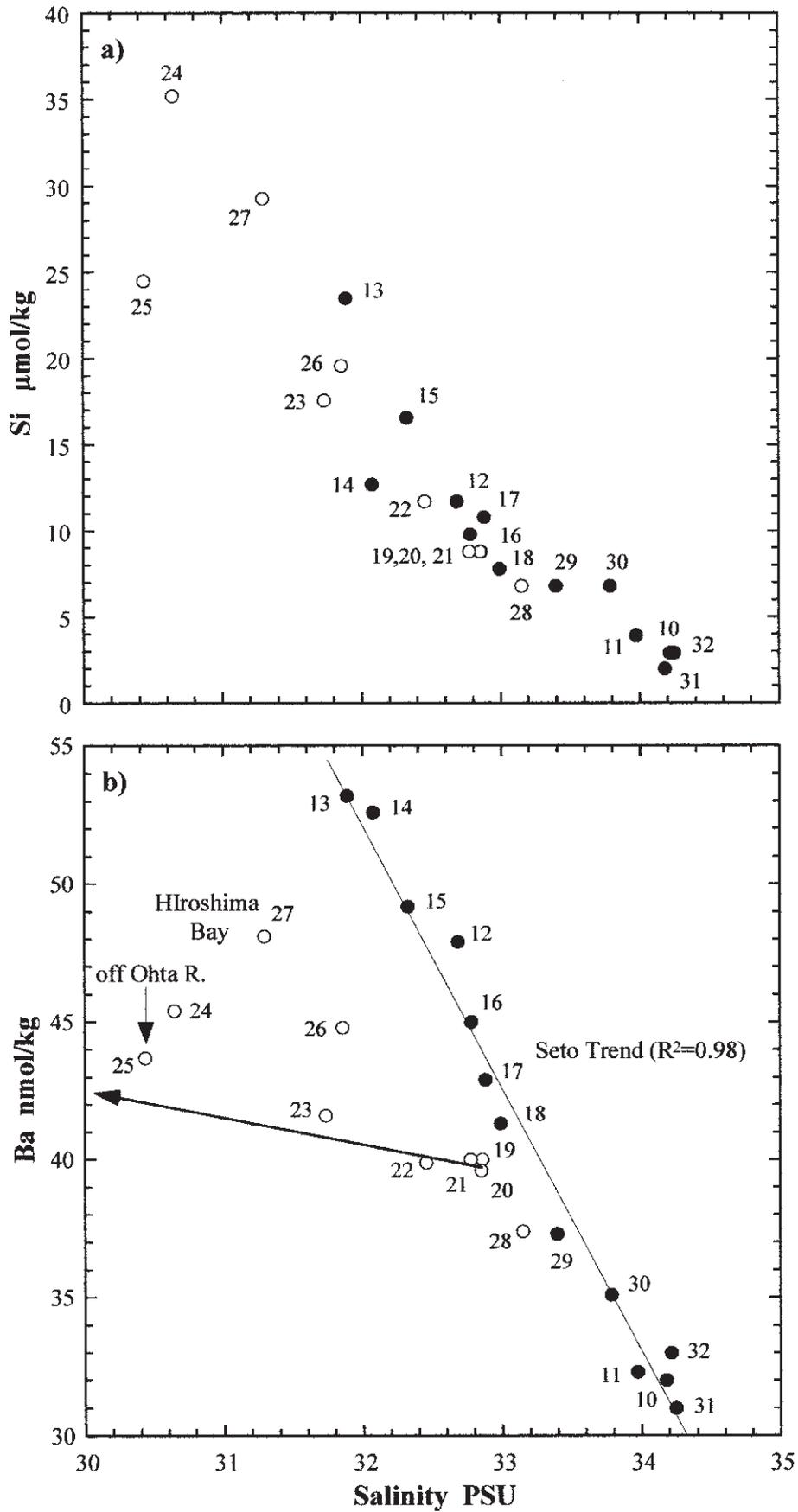


Figure. 8 Relation between salinity and silicate (a), and barium (b) in Seto Inland Sea.

(Fig. 9) に示されるように、広島湾および瀬戸内海における2成分のプロットは異なる2直線上に並ぶことから、それぞれの供給源の違いを表している。Fig. 8bの相関図において、大田川-広島湾沖希釈線を考えると、湾奥のS-26およびS-27のプロットは線よりも上に描かれている。つまり、広島湾におけるバリウムの供給源は、太田川以外の供給源が考えられる。ほかの供給源として高バリウム濃度を含む河川の流入や、底泥からの溶出などが考えられるが、現状ではよく分からない。また、基本的に瀬戸内海の表層水は、閉鎖性の強い内海水と黒潮系水の単純混合で決定される特徴を持っている。

4.3 駿河湾について

駿河湾表層水のバリウムの濃度は、2000年の観測で36.3-44.2nmol/kg、2001年の観測では35.3-39.6nmol/kgの範囲であった。伊勢湾や大阪湾と比較すると、開放型の駿河湾は外洋水の影響が大きいため、バリウム濃度は低い傾向を示す。表層0-20mの有光層内における塩分とケイ酸塩およびバリウムの相関関係 (Fig. 10) を見ると、2000年

および2001年の両年においてケイ酸塩およびバリウムは、塩分の低い駿河湾西部 (Stn. 1) の表層で高濃度を示し、高塩分域では低濃度を示した。特に、2000年のStn. 1における表層水中のバリウムとケイ酸塩濃度には、河川水の影響が強く見られる。それに伴い、ほかの観測点の表層水も、2001年と比較して低塩分化が生じている。Stn. 1の表層水中のバリウムは、ほかの観測点の平均値 (BO-00-18; 41.6nmol/kg, BO-01-20; 38.0nmol/kg) と比較すると10%以上高い濃度であった。

また、2000年の観測では、駿河湾中央部 (Stn. 4) の表層において高塩分、高ケイ酸塩濃度および高バリウム濃度となる特異的な海水が見出された。駿河湾西部には、安倍川や大井川などの河川が流入するため、Stn. 1において河川水の影響が低塩分および高バリウム濃度となって示される。Stn. 4の表層水について考察するには、鉛直的な議論を加える必要がある。そこで、亜表層 (0-200m) における塩分、水温、ケイ酸塩およびバリウムの鉛直分布をFig. 11に示した。駿河湾表層における塩分の分布 (Fig. 11c) は、西から東に向かって次第に高塩分となり、一見

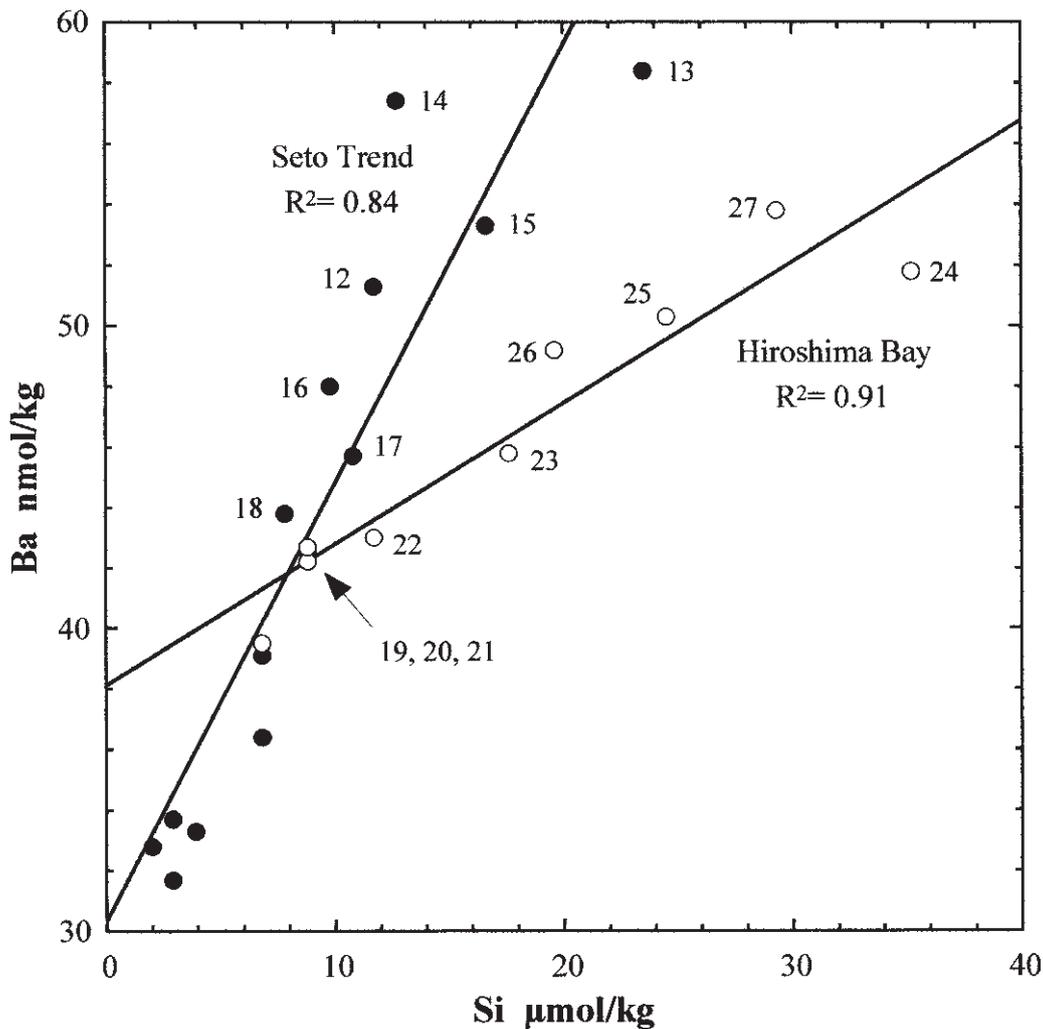


Figure. 9 Relation between barium and silicate in Seto Inland Sea.

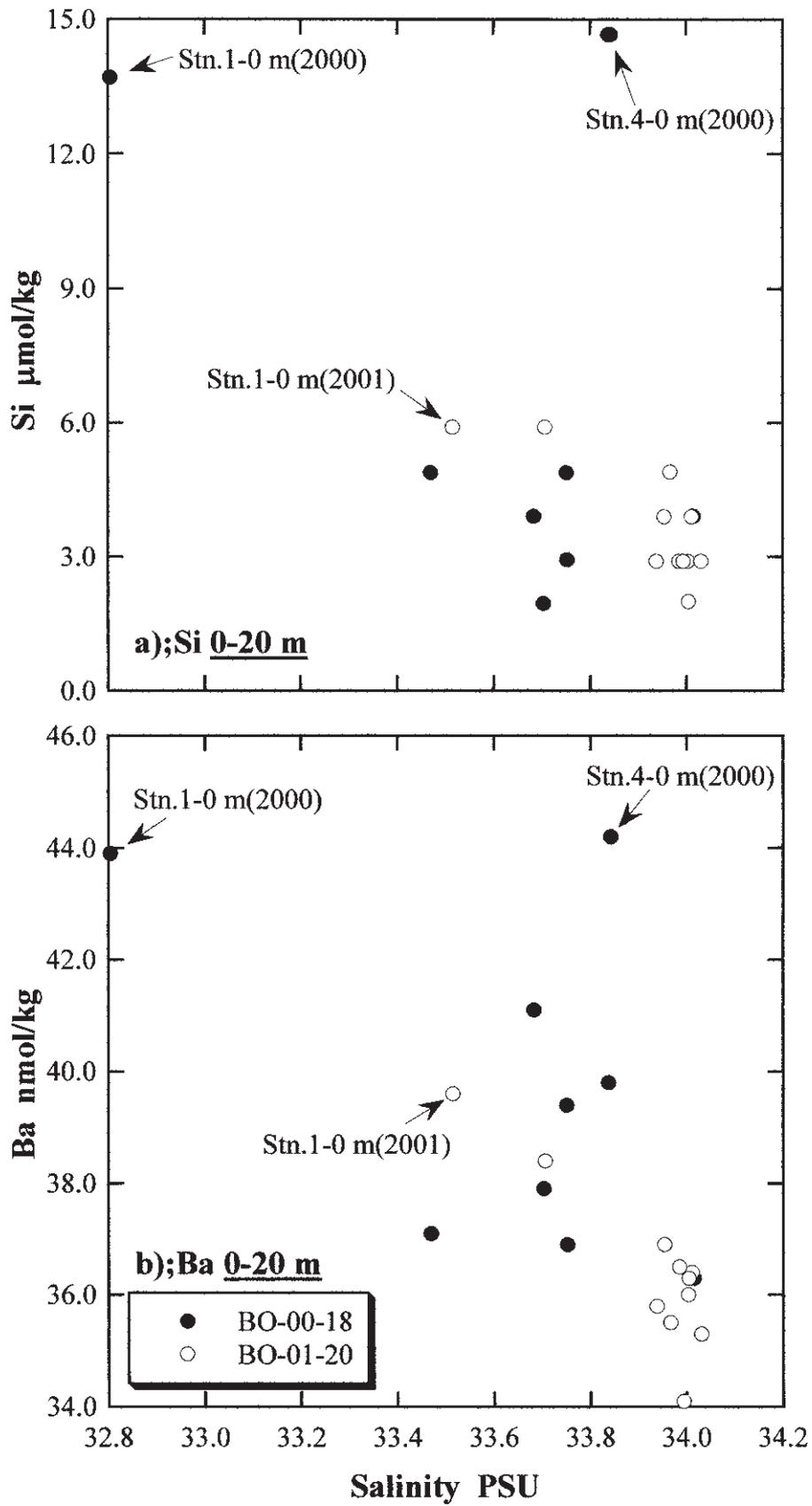


Figure. 10 Relation between salinity and silicate (a), and barium (b) in Suruga Bay.

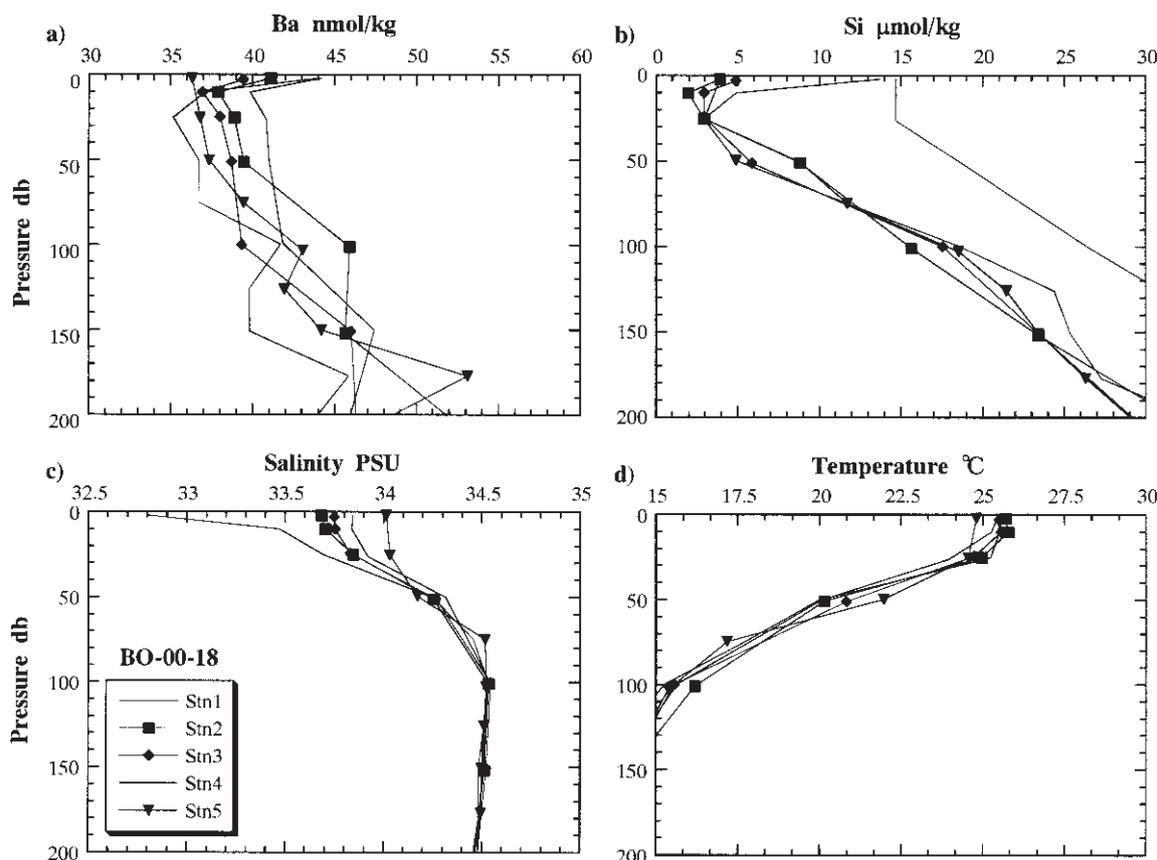


Figure. 11 Vertical profiles of barium (a), silicate (b), salinity (c) and temperature (d) in Suruga Bay.

して安倍川や大井川などの河川水が、湾西部から湾中央部にまで影響を及ぼしたように見える。しかし、それではバリウムとケイ酸塩の分布 (Fig. 11a, 11b) が、Stn. 4 でそれぞれ高濃度を示すので一致しない。また、Stn. 4 ではケイ酸塩とバリウムだけでなく、リン酸塩および硝酸塩も枯渇しておらず、AOU 値は他の観測点の 4-18 倍に相当した。さらに、垂表層からの鉛直混合について考えると、塩分や水温の分布 (Fig. 11c, 11d) から 50-100m 付近で躍層が十分に発達しているため沿岸湧昇による供給とは考えにくい。したがって、Stn. 4 における表層海水は、駿河湾西部沿岸水以外の陸水の影響があると考えられる。さらに、その表層水の特徴は生物生産が非常に高いにもかかわらず、豊潤な栄養塩類を蓄える海水であるといえる。このような高栄養塩・高バリウムを供給しうる起源として、筆者は伊勢湾において断続的に見出された淡水ブルームと同様に、駿河湾北部に流入する富士川由来の淡水ブルームを提案するが、必要且つ十分な結果が得られていない。富士川の流入する駿河湾北部において海水および河川水中のバリウムの分布を明確にするだけでなく、海水と淡水の混合過程を理解するためにも今後の課題にしたいと考えている。

参考文献

- Bacon, M. P. and J. M. Edmond (1972) Barium at GEOSECS in the Southwest Pacific. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **16**, 66-74.
- Broecker, W. S., and T. H. Peng (1982) Tracers in the Sea, Lamont-Doherty Geological Observatory, Columbia University, Palisades, New York, 690pp.
- Dehairs, F., R. Chesselet and J. Jedwab (1980) Discrete suspended particles of barite and the barium cycle in the open ocean. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **49**, 528-550.
- Dymond, J., E. Suess and M. Lyle (1992) Barium in deep-sea sediment: A Geochemical proxy for paleo-productivity. *Paleoceanogr.*, **7**, 163-181.
- 鎌田 稔 (2000) 北太平洋亜寒帯海域における海水および堆積物中のバリウムの分布と挙動—生物生産変動の古海洋学的プロキシ—として。東海大学大学院平成11年度修士論文。84pp.
- Klinkhammar, G. P. and L. H. Chan (1990) Determination of barium in marine waters by isotope dilution inductively coupled plasma mass spectrometry. *Anal. Chim. Acta.*, **232**, 323-329.
- Revelle, R., M. Barmlette, G. Arrhenius and E. D. Goldberg (1955) Pelagic sediment of the Pacific. *Geol. Soc. Am. Spec. Paper*, **62**, 221-236.

- 副島広道 (2005) ラジウム同位体をトレーサーとした沿岸水と外洋水の混合過程に関する研究。東海大学大学院平成17年度修士論文。47pp.
- Sugiyama, M., M. matsui and E. Nakayama (1984) Direct determination of barium in sea water by inductively coupled plasma emission spectrometry. J. Oceanogr. Soc. Japan, **40**, 295-302.
- 武岡英隆 (1985) 瀬戸内海の密度成層。海と空, **60**, 145-152.
- 柳 哲雄 (1990) 潮目の科学—沿岸フロント域の物理・化学・生物過程—。恒星社厚生閣, 169pp.
- 柳 哲雄 (1996) 西瀬戸の海況。瀬戸内海, **5**, 11-14.
- 柳 哲雄, 原島 省 (2003) 瀬戸内海における溶存態無機リン・窒素・珪素分布の特徴とその要因。海の研究, **12**, 565-572.
- 柳 哲夫, 樋口明生 (1981) 瀬戸内海の潮汐・海流。第28回海岸工学講演会論文集, 555-558.

要 旨

半閉鎖的水域である伊勢湾や瀬戸内海において、溶存バリウムおよびケイ酸塩を測定し、駿河湾および黒潮系水を対照海域として、これらの陸起源物質の海域ごとの分布の特徴を調べた。

伊勢湾では (2003年4月, 2005年4月観測), 湾口において熱塩フロントが発達し, 湾内では低塩分・高バリウム濃度であり, その分布は保存性の混合に支配されていた。大阪湾では (2003年4月), バリウム濃度は神戸港から友が島水道に向かって漸次減少の分布を示し, ケイ酸塩は湾中央域でほぼ枯渇していた。しかしながら, 溶存バリウムは塩分に対して保存性の分布を示した。広島湾では (2001年11月), 湾内におけるバリウム濃度が太田川水と比べてより高かった。太田川以外にも高バリウム河川水の供給が考えられる。瀬戸内海においては (2001年11月), 東部域で低塩分・高バリウム, 西部域ではその逆の分布傾向であった。特に, 滞留時間の長い播磨灘海中では高いバリウム濃度が見いだされた。しかしながら, 瀬戸内海全域をみれば, バリウムと塩分との強い相関関係は, バリウムの分布が内海水と外洋水との混合によって支配されていることを示している。