

駿河湾における微量元素 (Mn, Fe, Ni, Cu および Cd) の鉛直分布と変動

Vertical profiles and variation of trace elements (Mn, Fe, Ni, Cu and Cd)
in Suruga Bay

榎田 和彦¹・横山 由香²・吉野 美紀³・佐藤 義夫⁴・加藤 義久⁴

Kazuhiko ENOKIDA, Yuka YOKOYAMA, Miki YOSHINO,
Yoshio SATO and Yoshihisa KATO

Abstract

Dissolved Mn, Fe, Cu, Ni and Cd concentrations in seawater were investigated at four stations (St. 1, St. 2, St. 3 and St. 4) in Suruga Bay every two years from 2002 to 2007. Concentration levels of Cd, Ni and Cu in Suruga Bay were about the same as averages previously obtained in the North Pacific Ocean and their vertical distribution patterns in Suruga Bay were almost the same as reported from the North Pacific, except for the surface layer. On the other hand, concentrations of Mn and Fe in Suruga Bay were about 200 and 60 times higher than averages from the North Pacific, respectively, and their variation was high. The vertical distribution of dissolved Mn and Fe showed that their concentrations increased from 100 m to 500-600 m in depth. This phenomenon was attributed to the diagenetic dissolution of Mn and Fe oxides in suboxic bottom sediments of several hundred meters in depth.

Key Words: Trace element, Sea water, Suruga Bay, "Deep sea water"

要 旨

焼津沖から駿河トラフにかけての駿河湾において、定点 (St. 1, St. 2, St. 3 および St. 4) を設け、ほぼ隔年で、溶存態微量元素 (Mn, Fe, Ni, Cu および Cd) の観測を行った。その結果、同湾における溶存態 Ni, Cu および Cd は、北太平洋 (外洋) における濃度および分布とほぼ同じであった。また、観測時毎の鉛直分布の違いは表層以外ではほとんどなかった。一方、溶存態 Mn および Fe 濃度は、北太平洋 (外洋) における濃度に比べて、それぞれ最大で約 200 倍および 60 倍と非常に高濃度であった。また、鉛直分布は、外洋とは大きく異なり、観測時における変動も大きかったが、深さ 100 m から 500 m~600 m にかけて両元素の濃度が高くなる傾向があることがわかった。このような底層あるいは中層における Mn と Fe の高濃度は、水深数百メートルの亜酸化的堆積物中からの続成的還元溶出の結果と考えられる。

キーワード: 微量元素, 海水, 駿河湾, 海洋深層水

¹東海大学連合大学院理工学研究科総合理工学専攻 (〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸 3-20-1)

²東海大学大学院海洋学研究科海洋科学専攻 (〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸 3-20-1)

³日本かつお・まぐろ漁業協同株式会社 補給部 (〒135-0034 東京都江東区永代 2-31-1)

⁴東海大学海洋学部海洋科学科 (〒424-8610 静岡県静岡市清水区折戸 3-20-1)

1. 緒 言

駿河湾は、湾口の御前崎－石廊崎間で約 55 km、湾口から湾奥まで約 65 km の開放型の湾で、湾奥部まで延びる深い海溝（駿河トラフ：最大水深約 2450 m）を持つ。このような地形的特徴により、同湾では、沿岸水、黒潮系水、北太平洋中層水（亜寒帯中層水）および北太平洋深層水の四つの水塊が成層構造をなしている（稲葉, 1996a）。駿河トラフの西側には、陸棚と石花海堆に囲まれるように石花海海盆（最大水深約 925 m）と呼ばれる窪地が広がっている。「駿河湾深層水」は、この石花海海盆の焼津沖深さ 397 m と 687 m からくみ上げられており、低温性、富栄養性、清浄性などの特色を有するため、飲料水、食品や化粧品、養魚や藻類の培養、タラソセラピーなどに利用されている。

北太平洋における海洋地球化学的研究の結果、微量元素の分布は、1) 濃度が表層で低く深層で高い栄養塩型、2) 表層で高く深層で低いスキヤベンジ型および 3) 深度に関わらずほぼ一定の値を示す保存性成分型の 3 つに分類される。主要な微量元素のうち、Fe, Ni, Cu および Cd は、1) の栄養塩型の分布を示し、平均濃度はそれぞれ約 0.6 nmol L^{-1} , 8 nmol L^{-1} , 2 nmol L^{-1} および 0.75 nmol L^{-1} , Al, Mn および Co は、2) のスキヤベンジ型を示し、平均濃度はそれぞれ約 1 nmol L^{-1} , 0.3 nmol L^{-1} および 0.02 nmol L^{-1} と報告されている（野崎, 1992）。

駿河湾の地形は南方に向かって開口しているため、表層の水温や塩分の分布は黒潮の影響を受けやすいことが知られている（稲葉, 1996b）。また、内部潮汐による水温・塩分の変動（安田, 2002）や石花海海盆中央部の 300 m 以深における北東向きの弱い流れの存在（黒山ら, 2000）など、駿河湾における海洋物理学的な研究例は多いが、先に挙げた微量元素の化学物質濃度に関する報告例は少ない。最近、宗林（2002）は、駿河湾における Al, Mn, Fe および Co の濃度が外洋における濃度と比べて、それぞれ 98 倍、120 倍、13 倍および 20 倍と高いことを報告している。「駿河湾深層水」を長期的に利

用するにあたり、それ以外の化学元素についても濃度の変動を把握しておくことは非常に重要である。

本研究では、「駿河湾深層水」の取水口を含む東西方向に観測点を設け、2002 年から 2007 年まで 5 回採水し、駿河湾における微量元素（Mn, Fe, Ni, Cu および Cd）の分布および変動について検討した。

2. 方 法

観測は、2002 年から 2007 年まで、St. 1.5（2006 年 9 月）、St. 2.5（2006 年 9 月）および G11（2003 年 4 月）を除き、定点（St. 1～St. 4）において、東海大学所属望星丸の航海を利用して行った。観測点を Fig. 1 に、観測日時を Table 1 に、それぞれ示す。観測点は、焼津沖の石花海海盆に St. 1, St. 1.5, St. 2 および St. 2.5 を、海盆と駿河トラフの境界に St. 3 を、トラフに G11 および St. 4 を設けた。なお、St. 1.5, St. 2.5 および G11 のデータ

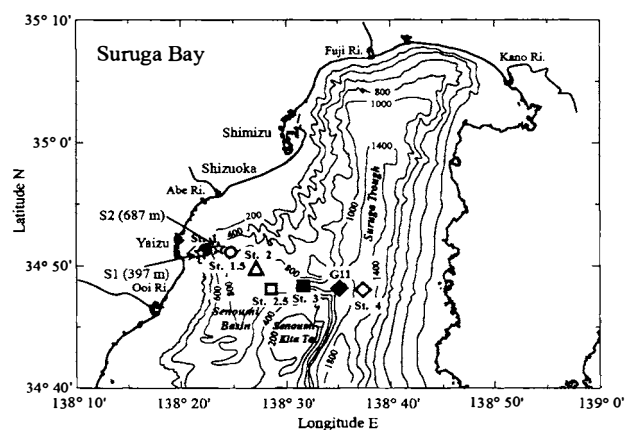


Fig. 1 Sampling stations and bottom topography of Suruga Bay, Japan.

Table 1 Sampling date and stations in Suruga Bay

Station	Date	Station	Date
St. 1	2002. 9. 18	St. 3	2002. 9. 18
St. 1	2004. 9. 21	St. 3	2004. 9. 21
St. 1	2007. 9. 14	(St. 2.5	2006. 8. 31)
St. 2	2002. 9. 18	St. 4	2002. 9. 17
St. 2	2004. 9. 21	St. 4	2003. 9. 20
St. 2	2006. 8. 31	St. 4	2006. 8. 30
St. 2	2007. 9. 14	St. 4	2007. 9. 13
(St. 1.5	2006. 8. 31)	(G11	2003. 4. 25)

は、各々の近接観測点である St. 2, St. 3 および St. 4 のデータに加えて整理を行った。S1 (397 m) および S2 (687 m) は、「駿河湾深層水」の取水口が設置されている場所である (Fig. 1)。

海水試料は、ニスキン採水器を用いて採取した。Mn, Fe, Ni, Cu および Cd の測定用海水試料は、直ちに船上あるいは研究室で、前もって酸洗浄したヌクレポアフィルター (孔径 $0.4\ \mu\text{m}$) を用いてろ過した。ろ液に HNO_3 (和光純薬工業 超微量分析用) を 10 mL 加えて pH 2 以下とし、ポリプロピレン容器に数ヶ月間保存した。その後、海水試料を Chelex-100 樹脂 (Kingston *et al.*, 1978) またはイミノ二酢酸キレートディスク (3M Empore™ Chelating Disk) を用いて約 200 倍に濃縮した。イミノ二酢酸キレートディスクによる濃縮には、栗山 (2004) の方法を用いた。濃縮した溶液は、ICP-AES (Perkin Elmer Optima 3300 DV) を用いて上記の元素について測定した。本研究におけるイミノ二酢酸キレートディスクを用いた回収率、検出限界および標準偏差を Table 2 に示す。回収率は、駿河湾の表面海水 1 L に Mn, Fe, Ni, Cu および Cd を各 $10\ \mu\text{g}$ 添加して求めた。検出限界は、バックグラウンドの標準偏差 σ の 3 倍とした。なお、微量元素の測定値は、回収率を乗じないで示した。水温および塩分は CTD (Sea-bird Electronics 911 plus), $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ はオートアナライザー (Bran Luebbe Traacs 2000), 溶存酸素は溶存酸素測定装置 (Kimoto DOT-05) で測定した。

Table 2 Analytical methods, their recovery, detection limit and standard deviation

Method	Cd	Fe	Mn	Ni	Cu
Recovery (%)					
Chelate disk	90	83	84	92	80
Detection limit (nmol L^{-1})					
Chelate disk	0.04	0.39	0.04	0.45	0.23
Chelex-100	0.04	0.49	0.09	0.63	0.63
Standard deviation Seawater (nmol L^{-1}) (n=3)					
Chelate disk	0.078 ± 0.005	0.67 ± 0.14	0.68 ± 0.01	2.62 ± 0.25	0.31 ± 0.02

3. 結果および考察

3.1 一般水質項目 (水温, 塩分, 溶存酸素および $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)

本研究におけるポテンシャル水温および塩分をそれぞれ Fig. 2(a) および (b) に示す。ポテンシャル水温は、表層で高く、深層で低かった。塩分は表層で低く、100 m 付近に極大、400 m 付近に極小を持ち、深度とともに高くなった。水温および塩分は、450 m 以深においてはほぼ同じであったが、450 m 以浅においては、観測年により変動が認められた。

本研究における駿河湾の T-S ダイアグラム (Fig. 3) から、A) 沿岸水, B) 黒潮系水, C) 北

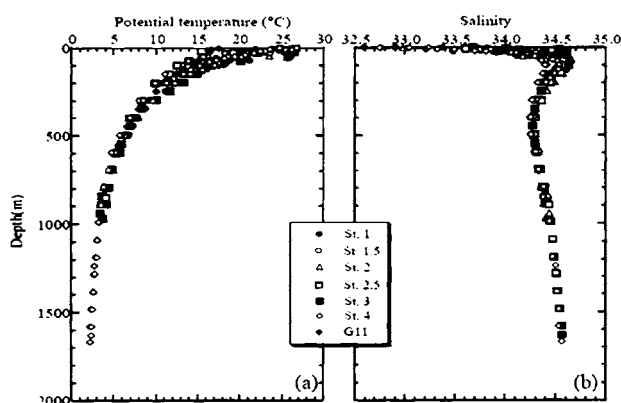


Fig. 2 Vertical profiles of potential temperature (a) and salinity (b) in Suruga Bay.

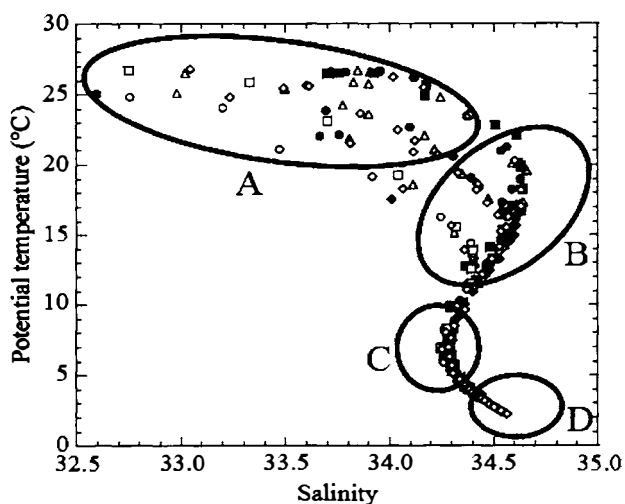


Fig. 3 T-S diagram in Suruga Bay. A, B, C and D indicate Coastal Water, Kuroshio Water, Intermediate Water and North Pacific Deep Water, respectively.

太平洋中層水（亜寒帯中層水）および D) 北太平洋深層水の 4 つの水塊に区分できた。また、沿岸水に比べて高温・高塩分である黒潮系水の影響は観測ごとでは大きく異なるが、同一観測時における各観測地点間での違いは、海洋表層以外ではほとんど認められなかった。

駿河湾における塩分極小層における塩分は 34.25～34.30、平均で 34.27 であり、四季を通して深さ 400～500 m に存在した。塩分極小層は、相模湾でもほぼ同じ深さに同様の値で見出されており、外洋の北太平洋中層水と関連していると考えられている（中村, 1982）。北太平洋中層水は、親潮系水と呼ばれる低温・低塩分の海水と黒潮系水と呼ばれる高温・高塩分の海水との混合により形成されると考えられている（楊・永田, 1990）。

2002 年から 2007 年までの各観測点で得られた溶存酸素および $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の鉛直分布を Fig. 4 に示す。溶存酸素 (Fig. 4(a)) は、表面で 5 mL L^{-1} とほぼ飽和状態であった。深さ約 1,000 m に向かってその濃度は減少し、それ以深では徐々に増加する傾向を示した。 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (Fig. 4(b)) についてみると、溶存酸素の分布と対照的で、表面では検出限界以下であるが、深さ約 1,000 m に向かって濃度が高くなる傾向が認められた。この濃度および分布は、鎌谷ら (2000) が報告した相模湾におけるリン酸塩の濃度および分布とほぼ同じであった。「駿河湾深層水」の取水深度に近い 400 m および 700 m の溶存酸素は、それぞれ $2.54 \pm 0.14 \text{ mL L}^{-1}$ お

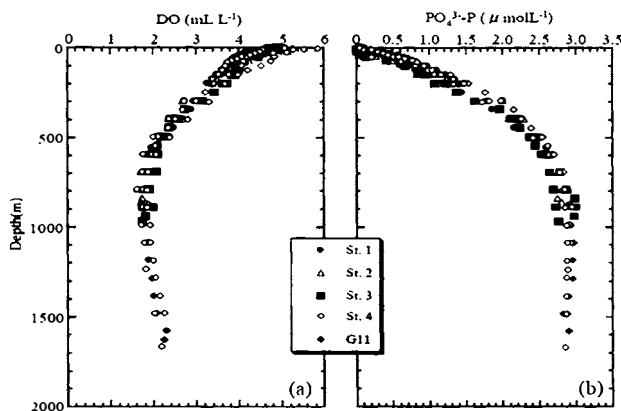


Fig. 4 Vertical profiles of dissolved oxygen (a) and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (b) in Suruga Bay.

よび $1.86 \pm 0.11 \text{ mL L}^{-1}$ であった。また、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度は、深さ 400 m および 700 m で、それぞれ $2.15 \pm 0.14 \mu\text{mol L}^{-1}$ および $2.74 \pm 0.07 \mu\text{mol L}^{-1}$ であった。深さ 700 m における溶存酸素および $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度の変動は、400 m の場合に比べて小さいことがわかる。

3.2 溶存態微量元素 Ni, Cu および Cd

本研究における Cd と Ni の鉛直分布を Fig. 5 に、Cu の鉛直分布を Fig. 6 に、各層（深さ 1,000 m まで）におけるこれらの元素濃度の平均値および標準偏差を Table 3 に示す。Fig. 5(a) から、駿河湾における Cd の鉛直分布が北太平洋（外洋）におけるそれとほぼ同じであることがわかる。すなわち、濃度が表層で低く深層に向かって高くなる栄養塩型であった。また、その濃度レベル (Table 3) も北太平洋のそれ (野崎, 1992) とほぼ同じであった。Cd と $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の間には高い相関関係があることが知られている (Bruland, 1980)。駿河湾における Cd (nmol L^{-1})/ $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ($\mu\text{mol L}^{-1}$) の回帰直線の傾きは 0.32 であり、北太平洋におけるそれとほぼ同じであることが報告されている (宗林, 2002)。本研究では Cd と $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の間 (Fig. 7) にも高い相関関係が見出せた (相関係数 $R=0.98$)。Cd (nmol L^{-1})/ $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ($\mu\text{mol L}^{-1}$) の回帰直線の傾きは 0.28 と低かったが、本研究における Cd の回収率 (Table 2) が約 90% であることを考慮

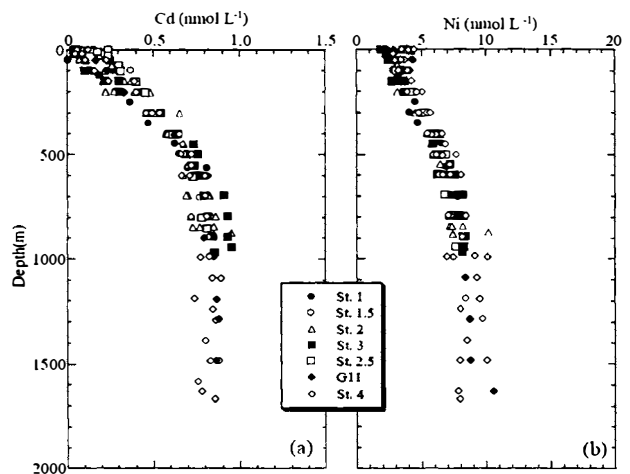


Fig. 5 Vertical profiles of dissolved Cd (a) and Ni (b) in Suruga Bay.

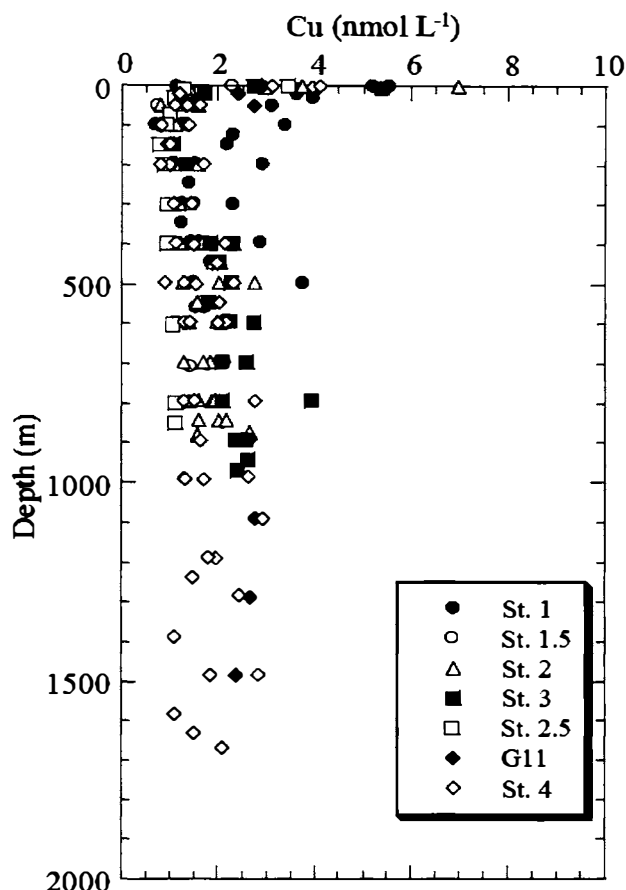
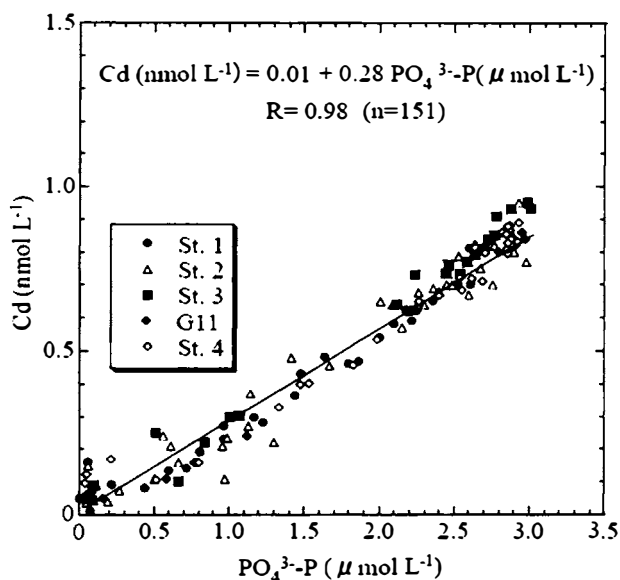


Fig. 6 Vertical profile of dissolved Cu in Suruga Bay.

Table 3 Mean concentrations and standard deviations of Cd, Ni and Cu in Suruga Bay

Depth (m)	Cd (nmol L ⁻¹)	Ni (nmol L ⁻¹)	Cu (nmol L ⁻¹)
100	0.21±0.09	3.4±0.4	1.2±0.7
200	0.35±0.09	4.1±0.5	1.3±0.6
300	0.48±0.13	5.0±0.5	1.3±0.4
400	0.60±0.11	5.9±0.4	1.6±0.6
500	0.70±0.06	6.4±0.3	2.0±1.0
600	0.72±0.05	6.8±0.6	1.6±0.5
700	0.76±0.06	7.3±0.5	1.8±0.3
800	0.77±0.06	7.4±0.5	1.6±0.3
900	0.80±0.13	8.2±0.1	2.3±0.5
1000	0.78±0.07	8.3±1.5	1.7±0.6

すると、宗林 (2002) の報告している傾きと同程度である。「駿河湾深層水」の取水口深度に近い 400 m および 700 m における Cd 濃度は、それぞれ $0.60 \pm 0.11 \text{ nmol L}^{-1}$ および $0.76 \pm 0.06 \text{ nmol L}^{-1}$ であった。各層ともその変動幅は小さく、観測時期の違いによる大きな変動はみられなかった。塩分に対して Cd 濃度をプロットすると (Fig. 8(a)),

Fig. 7 Relationship between Cd and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$.

T-S ダイアグラム (Fig. 3) と対称的であることがわかる。すなわち、駿河湾における Cd 濃度は、沿岸水、黒潮系水、北太平洋中層水 (亜寒帯中層水) および北太平洋深層水の 4 つの水塊混合によって支配されていると推察された。

Ni の鉛直分布 (Fig. 5(b)) は、表面水中で平均 3.9 nmol L^{-1} と低く、底層に向かい濃度が高くなる栄養塩型の分布を示した。塩分に対して Ni 濃度 (Fig. 8(b)) をとると、Cd 濃度 (Fig. 8(a)) と同様に T-S ダイアグラムと対称的であった。「駿河湾深層水」の取水深度に近い 400 m および 700 m の Ni 濃度 (Table 3) は、それぞれ $5.9 \pm 0.4 \text{ nmol L}^{-1}$ および $7.3 \pm 0.5 \text{ nmol L}^{-1}$ と、変動が小さいことがわかった。

Cu の濃度 (Fig. 6) は表層で高く、深さ約 100 m に極小値をもち、それ以深では底層に向かって徐々に高まる傾向がみられた。Cu 濃度は Cd および Ni に比べて変動が大きかったが、表面水を除き、その濃度レベルは外洋におけるそれとほぼ同じであった。2002 年における St. 1 では、全体的に約 1 nmol L^{-1} 高かった。このように全体的に Cu 濃度が高くなる現象は、宗林 (2002) によっても駿河湾西部沿岸海域で報告されている。外洋における溶存態 Cu 濃度の分布は栄養塩型で、深層ではスキベンジングと海底堆積物からの供給が混在した形と

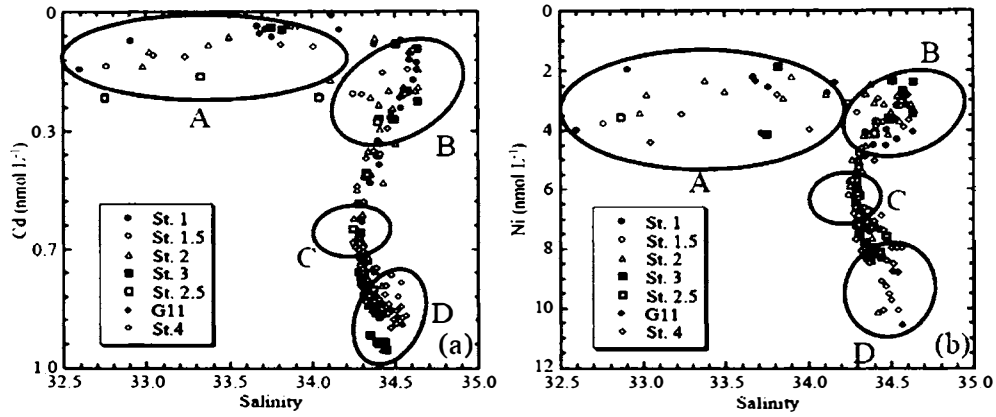


Fig. 8 Relationships between Cd (a) or Ni (b) and salinity. A, B, C and D indicate Coastal Water, Kuroshio Water, Intermediate Water and North Pacific Deep Water, respectively.

いわれている (Boyle *et al.*, 1977). 「駿河湾深層水」の取水深度に近い 400 m 層および 700 m 層における Cu 濃度は、それぞれ $1.6 \pm 0.6 \text{ nmol L}^{-1}$ および $1.8 \pm 0.3 \text{ nmol L}^{-1}$ であった (Table 3), 駿河湾における Cu の分布は、単に沈降粒子の分解や水塊構造のみに依存していないことを示しているが、その原因は明らかではない。

3.3 Mn および Fe

各観測点ごとの Mn の鉛直分布を Fig. 9 に示す。Fig. 9(a), (b), (c) および (d) は、それぞれ、St. 1, St. 2, St. 3 および St. 4 のものである。先述のとおり、St. 1.5, St. 2.5 および G11 は、それぞれ近接観測点である St. 2, St. 3 および St. 4 に加えて

検討した。北太平洋 (外洋) における Mn 濃度の平均値は、 0.3 nmol L^{-1} と報告されている (野崎, 1992) が、駿河湾における Mn の濃度は、それより約 5~200 倍高く、各観測点間におけるその濃度の差も大きかった。St. 1 では深さ 300 m から底層に向かって急激に濃度が高まり、St. 2 および St. 3 においても、深さ約 600 m に極大を示しながら底層に向かって高くなる傾向を示した。駿河トラフに位置する St. 4 では、石花海海盆で見られたような底層に向かう濃度の上昇傾向が見られず、深さ約 600 m 以深ではほぼ一定もしくは減少傾向がみられた。しかし、その濃度は約 $1.0 \sim 26 \text{ nmol L}^{-1}$ と他の観測点におけるそれとほぼ同じであった。この元素の分布の特徴は、どの観測点でも、表層で濃度

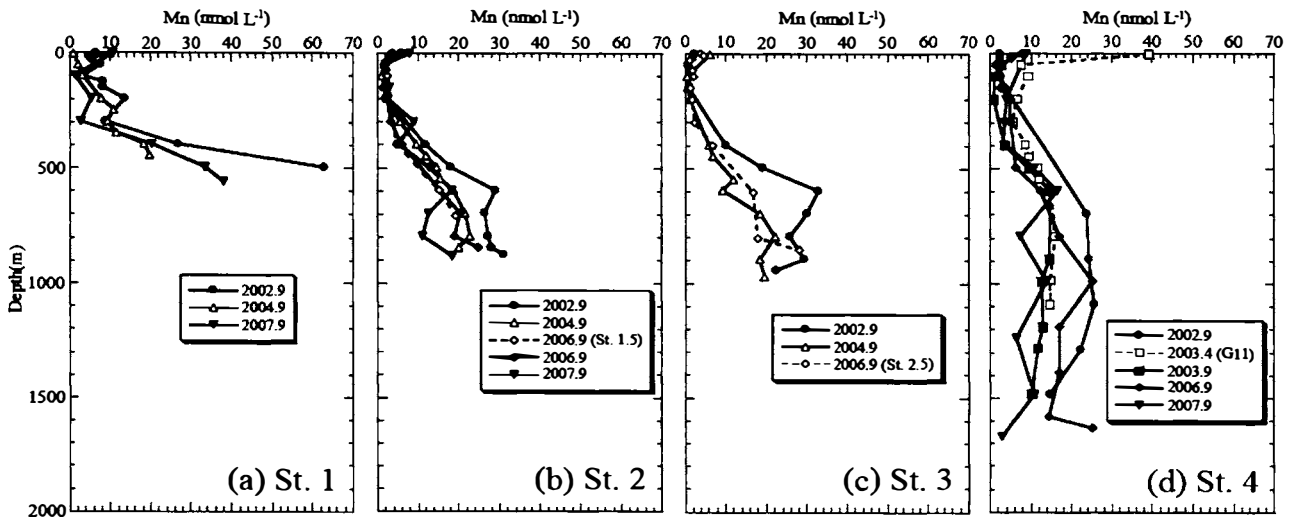


Fig. 9 Vertical profiles of dissolved Mn in Suruga Bay.

が高く、深さ約 100 m で極小を示すことである。高い Mn 濃度を示す表層水は、河川水と外洋水の混合した沿岸水であるため、Mn は主に河川によって供給されたものと考えられる。深さ約 100 m 層における低い Mn 濃度は、塩分極大で特徴づけられる黒潮系水の流入に起因しているものと推察される。外洋域における Mn の分布は、前に述べたようにスキャベンジ型を示すが、石花海盆では、底層に向かって濃度が高まる傾向がみられる。

Table 4 に「駿河湾深層水」の取水口に近い St. 1 および St. 2 における深さ 400 m および 700 m の Mn と Fe 濃度とその観測点における海底からの距離を示す。なお、観測ごとに多少位置がずれるため、St. 1 および St. 2 における水深は、それぞれ 500~600 m および 700~900 m であった。St. 1 における海底から深さ 400 m までの距離は 100~200 m である。この深さにおける Mn 濃度は、18.3~26.8 nmol L⁻¹ と高濃度であり、変動も大きいことがわかる。一方、St. 2 における海底から深さ 400 m までの距離は、500~520 m であった。St. 2 における深さ 400 m の Mn 濃度は、5.0~9.5 nmol L⁻¹ の間で変動し、St. 1 の 400 m におけるそれに比べて 1/2~1/6 と低かった。また、St. 2 における深さ 700 m は、海底から 200~220 m 上部であった。St. 2 の深さ 700 m における Mn 濃度は、12.6~26.5 nmol L⁻¹ の間で変動し、St. 1 の深さ 400 m におけるその濃度 (18.3~26.8 nmol L⁻¹) とほぼ同じであった。すなわち、Mn の分布は、海底からの距離と関連していると考えられた。

Klinkhammer and Bender (1980) は、太平洋

において、溶存酸素濃度が 2.2 mL L⁻¹ 以下になると、Mn 濃度が高くなると報告している。一方、駿河湾内における溶存酸素濃度 (Fig. 4(a)) は、深さ 400 m 以深で、2.2 mL L⁻¹ 以下となる。したがって、懸濁粒子中に存在する二酸化マンガンの還元により、Mn 濃度が上昇した可能性が考えられるが、駿河湾における表層懸濁物中の平均 Mn 濃度はたかだか 4.2~7.6 nmol L⁻¹ (佐藤, 1985) であり、桁違いに高い Mn 濃度をこれだけから説明することはできない。既に述べたように、St. 2 および St. 3 の深さ 500 m~600 m において Mn の極大値がみいだされた。St. 2 および St. 3 の水深は、900~1,000 m と深い。したがって、この極大の形成には、海底堆積物からの続成的還元溶出ばかりでなく、その深度付近の比較的有機物の多い大陸棚堆積物から続成的に還元溶出した Mn が、移流や拡散によりこの観測点に供給された可能性が考えられる。

Fe の鉛直分布を、Mn と同様に Fig. 10 に示す。北太平洋における Fe 濃度の平均値は、0.6 nmol L⁻¹ で、その分布は栄養塩型を示すことが知られている (野崎, 1992)。駿河湾における Fe 濃度は、北太平洋における平均濃度に比べて、約 2~60 倍と Mn 濃度と同様に非常に高い。また、各観測点における濃度変動が大きい。そして、石花海盆に位置する観測点 (St. 1, St. 2 および St. 3) においては、底層に向かって濃度が高くなる。特に、St. 2 および St. 3 では、濃度に違いがあるが、観測時期が異なっても深さ 500 m~600 m に極大層が見出された。St. 4 の Fe 濃度は、2002 年における観測結果以外は他の観測点に比べて低く、深さ約 600

Table 4 Mn and Fe concentrations and distance from the sea bottom at St. 1 and St. 2

Station	St. 1			St. 2						
	400 m			400 m			700 m			
Date	(nmol L ⁻¹)		Distance from sea bottom (m)	Date	(nmol L ⁻¹)		Distance from sea bottom (m)	(nmol L ⁻¹)		Distance from sea bottom (m)
	Mn	Fe			Mn	Fe		Mn	Fe	
2002.9.18	26.8	7.7	126	2002.9.18	6.9	12.2	499	26.5	5.0	199
2004.9.21	18.3	13.7	108	2004.9.21	9.5	4.1	503	21.6	5.3	203
2007.9.14	20.3	30.7	189	2006.8.31	5.8	5.2	511	20.3	8.5	211
				2007.9.14	5.0	5.3	518	12.6	18.4	218
average	21.8	17.4			6.8	6.7		20.3	9.3	

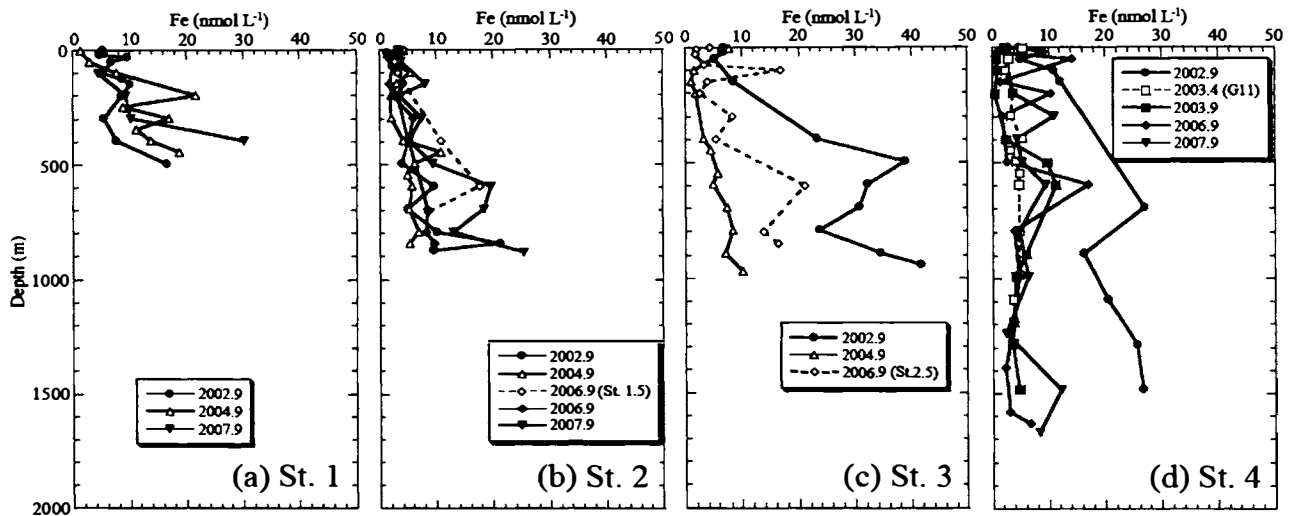


Fig. 10 Vertical profiles of dissolved Fe in Suruga Bay.

mに極大がみられる。St. 1 および St. 2 の深さ 400 m および 700 m の Fe 濃度 (Table 4) を比較すると、Mn ほど顕著ではないが、St. 1 (400 m) のその濃度は、他に比べて高い。このことは、S1 における Fe 濃度が、S2 におけるその濃度に比べて高い可能性を示唆する。Fe 酸化物の酸化還元電位は、Mn のそれよりも低い (Froelich *et al.*, 1979)。すなわち、Fe は Mn よりも還元され難く、酸化され易い性質をもつ。どの観測点においても溶存酸素が存在する (Fig. 4) ことから、駿河湾における溶存態 Fe は Fe^{2+} や Fe^{3+} などのイオン状ではなく、コロイド状のものや有機錯体などが多いと考えられる。外洋においては、溶存態 Fe のかなりの部分は、コロイド状で存在していると報告されている (Nishioka *et al.*, 2001)。

4. 結 論

駿河湾において、ほぼ隔年で定点観測を行い微量元素 (Mn, Fe, Ni, Cu および Cd) の分布および変動を調べた結果、以下のことが明らかとなった。

Ni および Cd 濃度は、外洋域における濃度レベルおよび分布とほぼ同じで、濃度の変動は小さいが、水塊構造に大きく依存していると考えられる。一方、Cu 濃度は、外洋域におけるその濃度レベルとほぼ同じであったが、変動は大きく、単純に水塊構造の

みに依存していないと考えられる。「駿河湾深層水」の取水深度に近い深さ 400 m および 700 m における Cd 濃度は、それぞれ 0.60 ± 0.11 および $0.76 \pm 0.06 \text{ nmol L}^{-1}$ で、Ni 濃度はそれぞれ 5.9 ± 0.4 および $7.3 \pm 0.5 \text{ nmol L}^{-1}$ で、両元素とも濃度変動は小さかった。深さ 400 m および 700 m における Cu 濃度は、 1.6 ± 0.6 および $1.8 \pm 0.3 \text{ nmol L}^{-1}$ と変動は大きい、深さ 700 m における変動は、400 m におけるそれに比べて小さいことがわかった。「駿河湾深層水」が取水されている S2 (687 m) における Cd, Ni および Cu の濃度変動は、S1 (397 m) におけるこれらの値に比べて小さいことが予想される。

一方、Mn および Fe の濃度および鉛直分布は、外洋域におけるそれらと大きく異なることがわかった。駿河湾における Mn および Fe の濃度は、外洋における平均濃度に比べて、それぞれ最大で約 200 倍および約 60 倍と非常に高く、濃度分布の変動も大きかった。石花海盆の観測点 (St. 1, St. 2 および St. 3) における Mn および Fe の濃度は、底層に向かって増加する傾向があり、深さ 500 m ~ 600 m に極大層がみられた。取水地点に近い St. 1 および St. 2 における深さ 400 m と 700 m の Mn と Fe 濃度を比較した結果、いずれの元素も St. 1 の 400 m における濃度が、St. 2 の 400 m および 700 m に比べて高いことがわかった。取水口は海

底から7 m上に設置されていることから、取水中のMnおよびFeの濃度は、本研究で得られたそれらの濃度に比べて高くなることが予想される。MnおよびFeは地殻中に多く含まれるため、駿河湾のような沿岸域では、外洋域に比べて供給される量が非常に多いことが考えられる。しかし、粒子態として海水中に存在するMn濃度は、4.2~7.6 nmol L⁻¹であることから、駿河湾の高い溶存態Mn濃度を懸濁粒子の溶解によって説明することは難しい。よって、駿河湾において溶存Mn濃度が高い原因は、亜酸化的堆積物からのMnの続成的還元溶出の結果と考えられる。また、Feが高濃度である原因は、陸域からのFeの供給と海底からの続成的還元溶出が複合した結果と考えられる。しかしながら、溶存態MnおよびFeの分布および濃度にはまだ不明な点も多い。今後、海水中の懸濁粒子、堆積物および溶存態のMnおよびFeの化学種を含めた研究を進めていく必要がある。

謝 辞

本研究において用いた試料は、東海大学所属望星丸の航海において採取された。試料の採取に関しては、本学の守屋洋氏および同船乗組員の皆様のご支援を頂いた。また、韓国の京東大学中島敏光博士および海洋研究開発機構の豊田孝義博士には、情報提供や分析機器の使用など便宜を図って頂いた。試料分析には、当時、大学院生だった遠藤太郎氏の協力を頂いた。また、本研究をとりまとめるにあたり元理化学研究所の竹松伸博士にご助言およびご指導を頂いた。これらの方々に厚く御礼申し上げます。

文 献

- Boyle, E. A., F. R. Sclater and J. M. Edmond (1977) The distribution of dissolved copper in the Pacific. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 37, 38-54.
- Bruland, K. W. (1980) Oceanographic distributions of cadmium, zinc, nickel, and copper in the North Pacific. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 47, 176-198.
- Froelich, P. N., G. P. Klinkhammer, M. L. Bender, N. A. Luedtke, G. R. Heath, D. Cullen, P. Dauphin, D. Hammond, B. Hartman and V. Maynard (1979)

Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial Atlantic: suboxic diagenesis. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 43, 1075-1090.

- 稲葉栄生 (1996a) 駿河湾の水温。駿河湾の自然 (東海大学海洋学部編)。静岡新聞社、静岡、pp. 42-50.
- 稲葉栄生 (1996b) 駿河湾における急潮と沿岸湧昇。駿河湾の自然 (東海大学海洋学部編)。静岡新聞社、静岡、pp. 50-56.
- 鎌谷明善・奥 修・辻 久恵・前田 勝・山田佳昭 (2000) 相模湾における栄養塩類の分布と消長。日本水産学会誌, 66, 70-79.
- Kingston, H. M., I. L. Barnes, T. J. Brady and T. C. Rains (1978) Separation of eight transition elements from alkali and alkaline earth elements in estuarine and seawater with chelating resin and their determination by graphite furnace atomic absorption spectrometry. *Anal. Chem.*, 50, 2064-2070.
- Klinkhammer, G. P. and M. L. Bender (1980) The distribution of manganese in the Pacific Ocean. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 46, 261-384.
- 栗山清治 (2004) キレートディスクを用いた固相抽出法による環境水中の微量元素の抽出。環境と測定技術, 31(5), 37-45.
- 黒山順二・畠山 清・高尾宏一・筒井浩之・豊田孝義・中島敏光 (2000) 駿河湾深海係留系を使った石花海盆における流動変動の観測。海洋科学技術センター試験研究報告, 42, 127-137.
- 中村保昭 (1982) 水産海洋学的見地からの駿河湾の海洋構造について。静岡県水産試験場研究報告, 17, 1-153.
- Nishioka, J., S. Takeda, C. S. Wong and W. K. Johnson (2001) Size-fractionated iron concentrations in the northeast Pacific Ocean: distribution of soluble and small colloidal iron. *Mar. Chem.*, 74, 157-179.
- 野崎義行 (1992) 海水中の微量元素：平均濃度と北太平洋における鉛直分布。地球化学, 26, 25-39.
- 佐藤義夫 (1985) 駿河湾の海洋環境と生産性に関する研究—海水および懸濁物質中の化学成分—。東海大学海洋研究所研究報告, 7, 1-6.
- 宗林由樹 (2002) 駿河湾と北太平洋における微量金属の動態。沿岸海洋研究, 40, 21-27.
- 安田訓啓 (2002) 駿河湾の海洋深層水の動態—湾口東部海域中層における係留観測結果より—。沿岸海洋研究, 40, 9-20.
- 楊 城基・永田 豊 (1990) 日本近海における中層水の分布特性。海と空, 66, 1-13.
- (2008年12月11日受付; 2009年9月9日受理)