

## 主要湾域の海底堆積物中における 有害汚染物質濃度の経年変化の傾向†

清水潤子\*<sup>1</sup>, 野口賢一\*<sup>2</sup>, 三浦幸広\*<sup>3</sup>, 友久武司\*<sup>3</sup>

Temporal Trends of the Concentrations of Pollutants in the Surface Sediments from the Major Bays of Japan†

Junko SHIMIZU\*<sup>1</sup>, Ken-ich NOGUCHI\*<sup>2</sup>, Yukihiro MIURA\*<sup>3</sup> and Takeshi TOMOHISA\*<sup>3</sup>

### Abstract

The temporal trends of the concentrations of pollutants such as oil, PCBs, and heavy metals in the major bay areas of Japan were examined by using the data measured by JCG's marine pollution survey.

It was found that the concentrations of the pollutants tended to decrease at most of the survey areas, except in the case of a few areas and certain substances. However this tendency of decrease reduced after the 1990s as compared to that before the 1980s.

### 1 はじめに

沿岸海域は人間活動による環境影響を受けやすく、特に流域に大きな人口や産業を抱えた閉鎖性海域では、汚染が蓄積しやすい。一方でこのような海域は水産業やマリレジャー等の活動が盛んであり、人の健康への影響の懸念から有害物質による汚染についての一般の関心も高い。

我が国では高度経済成長期の公害問題で知られるように、海域においても有害物質による汚染が深刻化し、1971年に水質汚濁防止法、廃棄物の処理及び清掃に関する法律、海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律が施行され、環境改善へのとりくみが進められてきた。

海上保安庁海洋情報部（以下当部と略す）では、ちょうどこれらの法令による規制が始まった頃に当たる1972年から、我が国周辺の海域にお

ける海洋汚染状況を把握するための調査を行っている（海上保安庁海洋情報部、1975-2006）。沿岸海域における調査としては、全国の主な閉鎖性海域等（以下、主要湾域という）において、海水・海底堆積物中の油分、PCB、重金属等の濃度の調査を行ってきた（以下、主要湾域調査という）。

また、当部では1980年代初頭に東京湾、大阪湾、伊勢湾で堆積物コアと年代測定を合わせた重金属の集中的な調査を行っている。これらの海域において重金属による汚染は1970年代前半をピークとし、その後濃度の減少傾向を見せ始めている事が報告されている（陶ほか、1981, 1982, 1983）。

主要湾域調査における重金属等の濃度は、前出の法令による規制以降改善しており、公共用水域

†Received December 26, 2007 ; Accepted February 28, 2008

\*1 海洋研究室 Ocean Research Laboratory

\*2 第七管区海上保安本部 7th Regional Coast Guard Headquarters

\*3 海洋汚染調査室 Marine Pollution Research Laboratory

の環境基準値や水底底質の暫定除去基準値より十分低い値で推移している。一方で村上ほか(1998)の瀬戸内海における研究によれば、底質中の重金属濃度と底生の環形動物の生息状況との間に明らかな負の関係が報告される等、現在の汚染レベルであってもその推移を監視する事は重要であると考えられる。

今回、当部がこれまでに実施してきた主要湾域調査のデータのうち、海底堆積物中の汚染物質濃度について整理し、我が国沿岸の有害物質汚染濃度の経年変化の傾向について考察を行ったので報告する。

## 2 海底堆積物中汚染物質濃度の経年変化の検討

### (1) 使用データ

主要湾域調査は国内の主な閉鎖性海域等(内浦湾、仙台湾、東京湾、駿河湾、伊勢湾、大阪湾、紀伊水道、瀬戸内海、響灘、豊後水道、鹿児島湾、富山湾、若狭湾)において実施されている。調査では海水、海底堆積物を毎年採取し、汚染物

質の分析を行って結果を報告している。海底堆積物の採取にはスミスマッキンタイヤ型採泥器を使用し、海底表層1cmを採取している。調査点をFig.1に示す。

1972年から2005年までの34年分の調査結果データを検討対象としたが、長期にわたって継続している調査のため、分析法の改良や変更等が行われている分析項目や、サンプリング位置が変わった調査点がある。そこで、過去の分析担当者からの聞き取りや分析記録等の確認により、データの連続性に問題が無く比較が可能な項目として、油分、PCB、カドミウムおよび水銀濃度の4項目を選び、また、緯度経度を比較し同一調査点と判断できるものごとにとりまとめ、調査点ごとの経年変化の検討に用いた。検討を行った調査点はこれまで継続的に調査を実施してきた13海域59調査点である。年1回の調査ではあるが、調査できない年や、前述の理由で経年変化の検討には不適として除去したデータがある。そのため調査点、項目によってデータ数が異なり、最少で14、最大で31個であり、おおむね25個前後のデータを検討に用いた。

以下に今回の検討に用いた汚染物質等の分析法の概略を示す。

#### a) 油分

海底堆積物の加熱アルカリ分解-ノルマルヘキサン抽出溶液を活性アルミナ・シリカゲルカラムで分離し、脂肪族炭化水素を赤外吸光光度法で定量。

#### b) PCB

海底堆積物の加熱アルカリ分解-ノルマルヘキサン抽出溶液を活性アルミナ・シリカゲルカラムで分離し、ECDガスクロマトグラフ法で定量。

#### c) カドミウム

塩酸浸出溶液をDDTC(ジエチルジチオカルバミン酸ナトリウム)-MIBK(メチルイソブチルケトン)抽出し、フレイム原子吸光光度法で定量。

#### d) 水銀

加熱還元気化、金トラップ分離、原子吸光光度

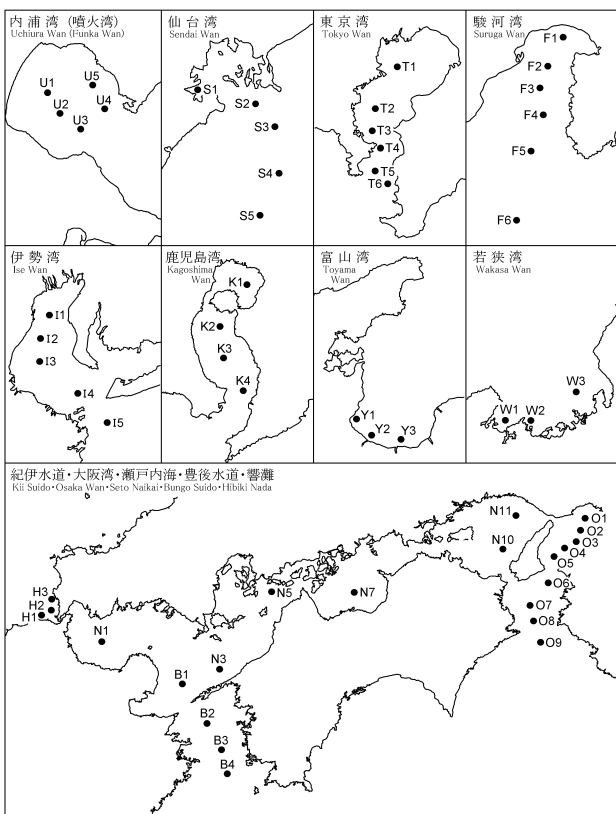


Fig. 1 Sampling positions and station numbers

法（冷蒸気方式）により定量。

e) 強熱減量

電気炉熱，重量測定による。

f) 粒度分析

比重浮標，ふるいわけ重量測定による。

## (2) 経年変化の検討法

汚染物質濃度の推移を概観するために，調査点，項目別に，調査年に対して濃度をプロットしたグラフを作成した。

さらに，時代とともに濃度が低下または上昇しているかどうかを客観的に判断するため，単回帰分析を行った。各調査点，項目別のデータに対し，一次回帰直線

$$[\text{汚染物質濃度 } (\mu\text{g/g-dry})] = \beta_0 + \beta_1 \times [\text{調査年 (西暦)}] \quad (\text{式 1})$$

を求め，傾き  $\beta_1 = 0$  を帰無仮説とする検定を行った。帰無仮説が有意水準 5% で棄却されれば  $\beta_1$  が傾きを持つと判断できる。

汚染物質は堆積物の粒子が細かい場合や，堆積物の有機物含有量が多い場合に堆積物吸着しやすくなることが知られているので，汚染物質濃度の経年変化を検討する際には，堆積物の有機物含有量や粒子の細かさの変化についても把握しておく必要がある。有機物含有量を示す指標として強熱減量，粒子の細かさの指標として含泥量を用いた。含泥量とは主要湾域調査結果として報告している粒度分析データの Clay (<2  $\mu\text{m}$ ) と Silt (2~62.5  $\mu\text{m}$ ) の値を合計した値である。強熱減量，含泥量についても単回帰分析を行い，傾き  $\beta_1 = 0$  を帰無仮説とする検定を行った。

$$[\text{含泥量 } (\%)] = \beta_0 + \beta_1 \times [\text{調査年 (西暦)}] \quad (\text{式 2})$$

$$[\text{強熱減量 } (\%)] = \beta_0 + \beta_1 \times [\text{調査年 (西暦)}] \quad (\text{式 3})$$

## (3) 結果

全調査海域の油分，PCB，カドミウムおよび水

銀濃度の年推移を表すグラフ (Fig. 2~Fig. 5) より，伊勢湾の湾奥側でカドミウム濃度の上昇する傾向が見られるほかは，ほとんどの調査海域で油分，PCB，カドミウムおよび水銀のいずれについても濃度の低下する傾向が見られる。特に調査開始当時の 1970 年代に比較的高い濃度を示し，1980 年代までに顕著な濃度の低下傾向がみられる。一方で 1990 年代以降は濃度低下のスピードが落ちている。この傾向は，大阪湾における長岡ほか (2004) による研究において，1972 年と 2000 年を比較すると重金属の濃度が半分から 5 分の 1 へと大幅に低下しているが，1990 年と 2000 年を比較すると有意な差が見られないと報告されていることと一致する。

また，東京湾奥 (T-1) や大阪湾奥 (O-1) では，近年でも依然として他海域に比べて高い濃度レベルにとどまっている。

汚染物質濃度と調査年に関する単回帰分析 (式 1) で求めた傾き  $\beta_1$  の検定統計量  $t_0$  を Table 1 に示す。Table 1 において太字で示した  $t_0$  値は有意水準 5% で  $\beta_1 = 0$  が棄却されるものである。なお， $t_0$  値は傾き  $\beta_1$  が正の場合正，負の場合負となる。

油分については半数以上の調査点で，PCB，カドミウムおよび水銀については 3 分の 1 から 4 分の 1 程度の調査点で有意な負の傾きを持つと判断できる  $t_0$  値を示した (Table 1)。逆に有意な正の傾きを持つと判断されたのは F-3 (駿河湾) の PCB および I-1, I-2, I-3 (伊勢湾) のカドミウムのみであった。残りのほとんどの調査点・項目については，有意さは示されなかったものの  $t_0$  が負の値を持っていた。

強熱減量および含泥量と調査年に関する単回帰分析 (式 2, 式 3) より，強熱減量および含泥量については 2 分の 1 から 3 分の 1 程度の調査点で有意に正の傾きを持ち，3 分の 2 以上の調査点で有意さは示されなかったものの  $t_0$  が正の値を持っていた。

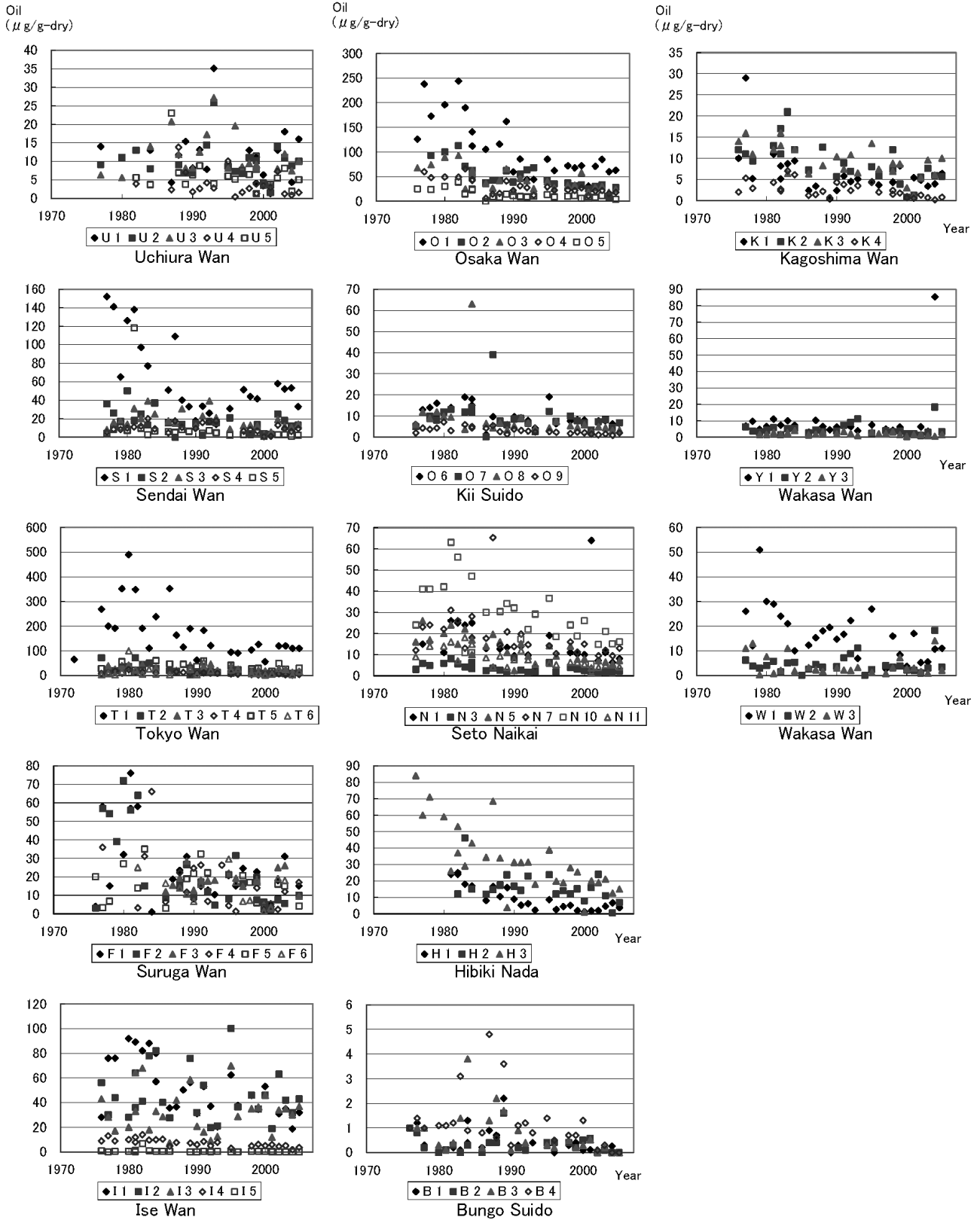


Fig. 2 Temporal changes of concentrations of Oil in surface sediment in the major bays of Japan.

Temporal Trends of the Concentrations of Pollutants in the Surface Sediments from the Major Bays of Japan

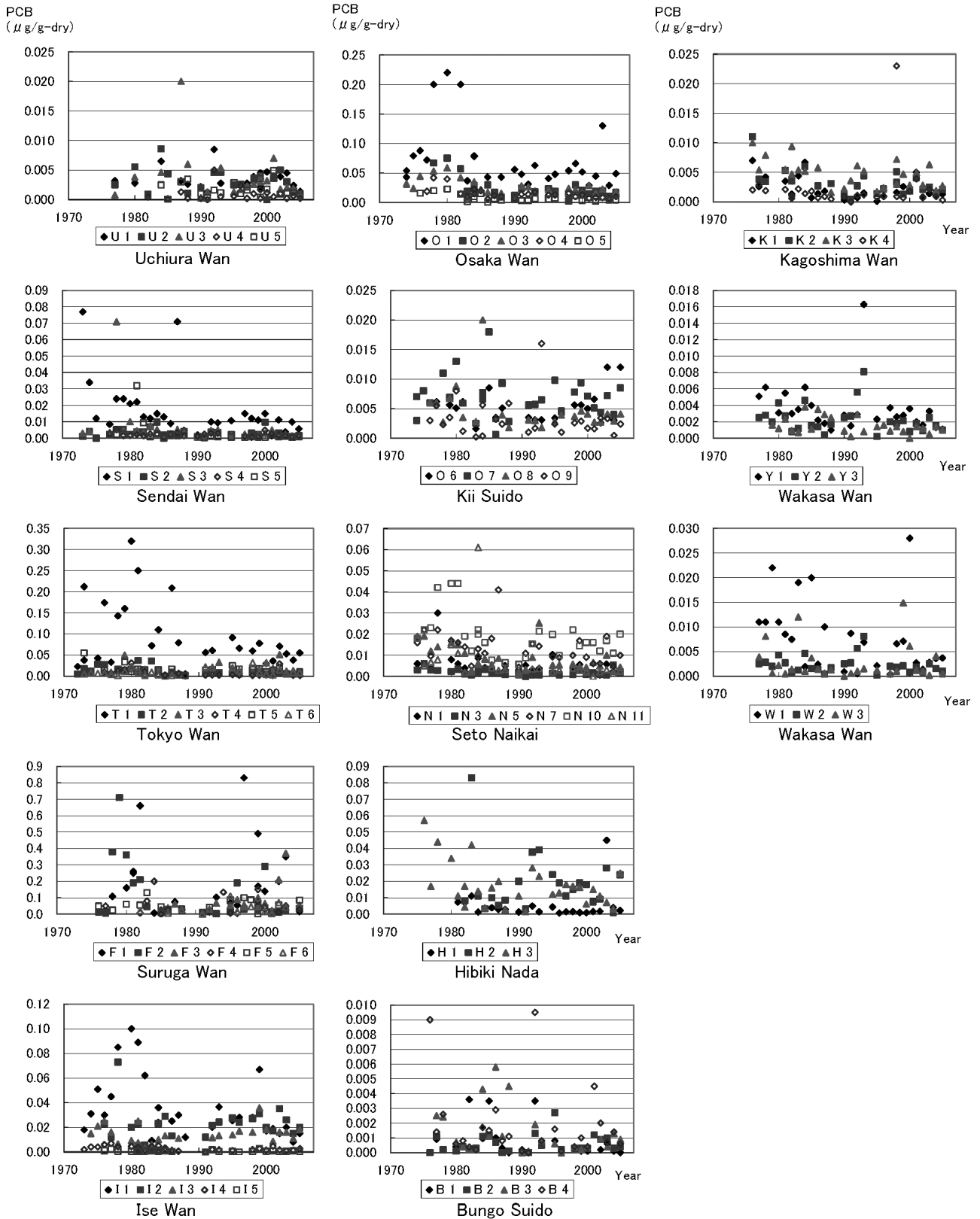


Fig. 3 Temporal changes of concentrations of PCBs in surface sediment in the major bays of Japan.

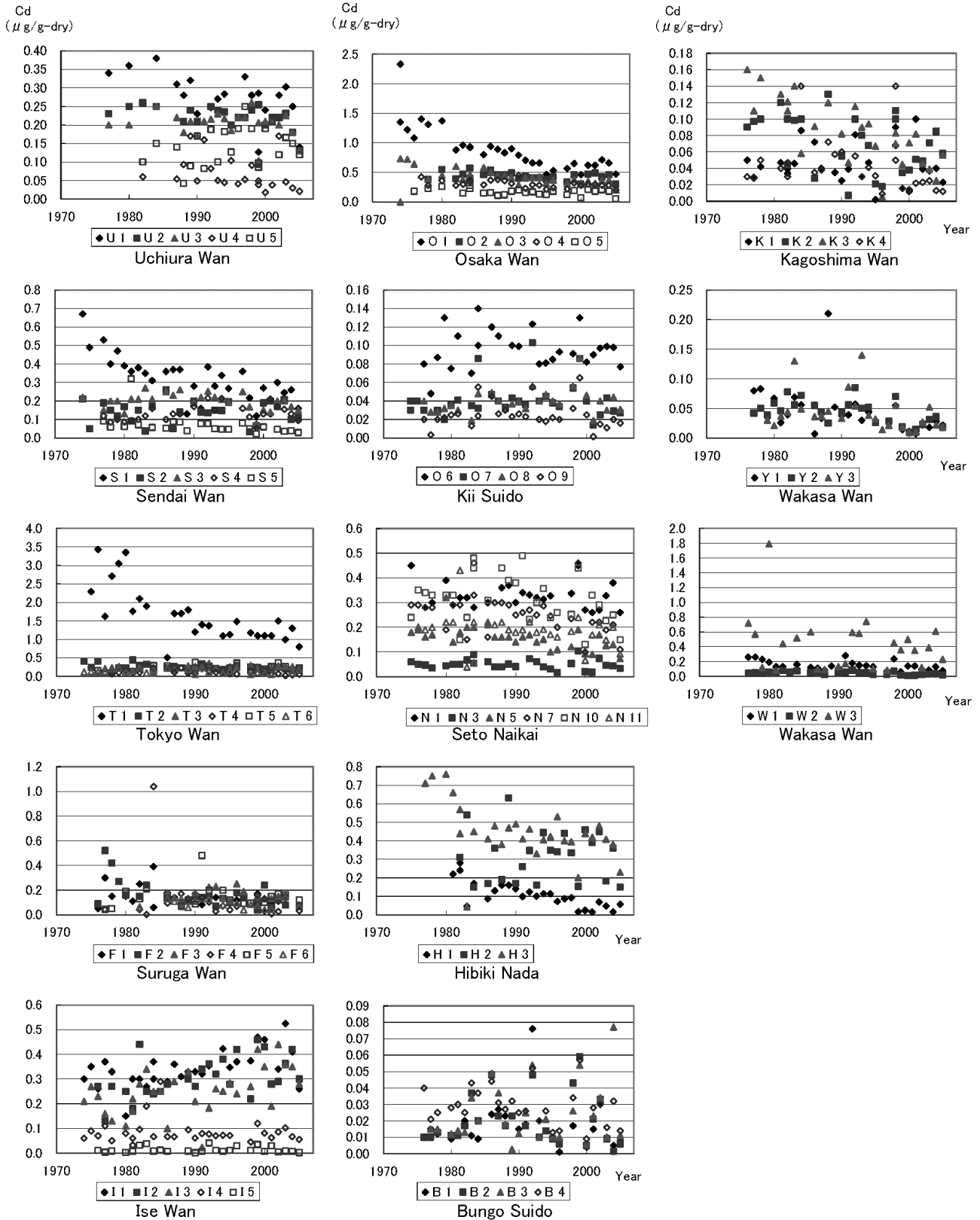


Fig. 4 Temporal changes of concentrations of Cadmium (Cd) in surface sediment in the major bays of Japan.

Temporal Trends of the Concentrations of Pollutants in the Surface Sediments from the Major Bays of Japan

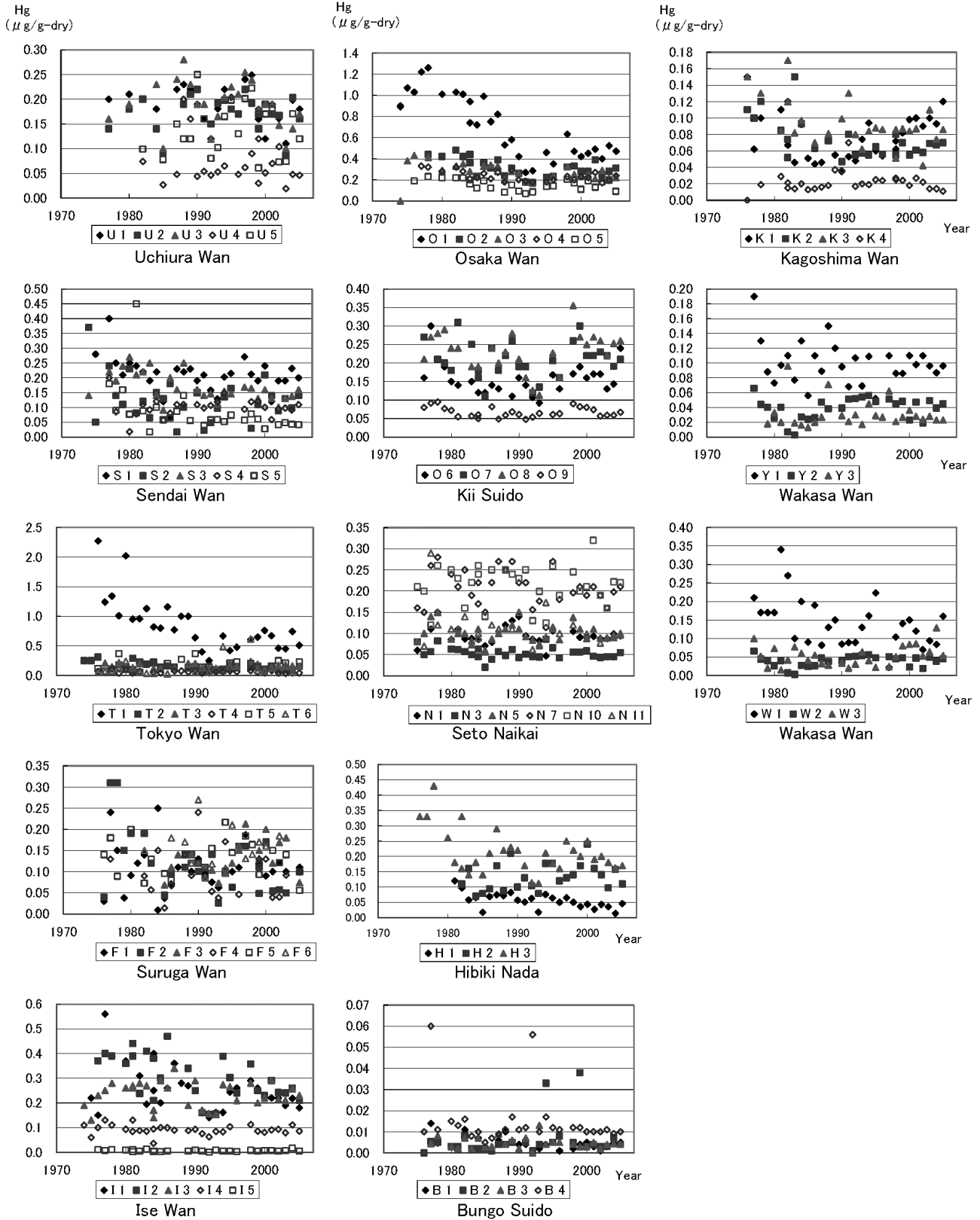


Fig. 5 Temporal changes of concentrations of Mercury (Hg) in surface sediment in the major bays of Japan.

Table 1 Test static ( $t_0$ ) and the number of data.  $t_0$  in the bold letter shows that  $t_0 > t(\phi, 0.05)$ , which means that inclination  $\beta_1$  is significant on the simple linear regression analysis ([concentration of pollutant] =  $\beta_0 + \beta_1 \times$  [year])

	Oil		PCBs		Cadmium		Mercury		Ignition Loss		Mad(%)	
	$t_0$	(n)	$t_0$	(n)	$t_0$	(n)	$t_0$	(n)	$t_0$	(n)	$t_0$	(n)
U-1	-0.50	(20)	-0.36	(18)	<b>-3.51</b>	(20)	-1.49	(21)	-0.04	(21)	1.52	(21)
U-2	-0.54	(21)	-0.98	(20)	<b>-2.54</b>	(22)	0.15	(23)	-0.32	(23)	<b>5.11</b>	(23)
U-3	-0.67	(22)	-0.77	(21)	-1.09	(23)	-0.91	(24)	1.30	(23)	<b>3.23</b>	(23)
U-4	-1.54	(20)	-0.10	(20)	-1.41	(21)	-0.81	(22)	-0.71	(22)	-0.56	(22)
U-5	-1.22	(20)	<b>0.23</b>	(21)	<b>1.40</b>	(22)	<b>0.36</b>	(23)	<b>2.09</b>	(22)	1.67	(23)
S-1	<b>-4.90</b>	(25)	<b>-2.78</b>	(29)	<b>-6.20</b>	(29)	-1.81	(29)	1.73	(30)	1.55	(30)
S-2	<b>-2.75</b>	(24)	-0.57	(27)	0.09	(27)	-1.40	(28)	<b>2.10</b>	(29)	1.99	(29)
S-3	-1.96	(25)	-1.64	(28)	-1.60	(27)	<b>-3.47</b>	(28)	0.52	(29)	1.71	(29)
S-4	-1.18	(24)	-1.33	(25)	1.72	(24)	-0.01	(25)	1.19	(26)	<b>3.36</b>	(26)
S-5	-1.55	(24)	-1.69	(24)	<b>-2.29</b>	(25)	<b>-2.64</b>	(26)	-1.82	(26)	-0.58	(26)
T-1	<b>-3.38</b>	(27)	-1.67	(29)	<b>-5.54</b>	(27)	<b>-5.28</b>	(28)	1.95	(31)	<b>2.40</b>	(33)
T-2	<b>-5.13</b>	(25)	<b>-3.06</b>	(29)	<b>-2.54</b>	(28)	<b>-5.04</b>	(29)	1.22	(31)	1.10	(32)
T-3	<b>-3.48</b>	(23)	0.23	(22)	1.04	(24)	-0.36	(25)	1.35	(25)	1.26	(25)
T-4	<b>-5.41</b>	(25)	-1.59	(24)	<b>-2.23</b>	(26)	-1.75	(27)	1.51	(27)	-0.94	(27)
T-5	-0.26	(22)	-1.33	(21)	1.71	(23)	0.85	(23)	<b>2.88</b>	(24)	<b>3.70</b>	(24)
T-6	-0.53	(24)	1.13	(25)	-0.05	(27)	1.44	(25)	<b>2.06</b>	(27)	1.51	(28)
F-1	<b>-2.17</b>	(26)	0.70	(25)	-1.99	(27)	0.05	(29)	1.60	(29)	<b>2.45</b>	(30)
F-2	<b>-4.17</b>	(25)	<b>-2.12</b>	(24)	<b>-3.55</b>	(25)	<b>-2.75</b>	(26)	-1.05	(27)	-0.10	(27)
F-3	-0.65	(18)	<b>2.33</b>	(17)	-0.41	(19)	1.66	(20)	0.34	(20)	0.31	(20)
F-4	<b>-2.43</b>	(20)	-0.39	(19)	-1.07	(20)	-0.45	(22)	-0.20	(22)	-0.62	(22)
F-5	-0.99	(21)	0.40	(20)	0.36	(22)	-0.03	(23)	<b>3.17</b>	(23)	<b>3.77</b>	(23)
F-6	-1.15	(16)	1.32	(14)	-0.53	(17)	0.01	(17)	-0.37	(18)	1.56	(18)
I-1	<b>-4.43</b>	(27)	<b>-2.48</b>	(28)	2.91	(30)	<b>-2.56</b>	(29)	<b>2.45</b>	(32)	<b>2.60</b>	(32)
I-2	-0.55	(26)	0.36	(25)	3.34	(27)	<b>-3.42</b>	(28)	<b>2.89</b>	(28)	<b>4.14</b>	(28)
I-3	-0.12	(27)	0.84	(28)	2.98	(30)	0.13	(31)	0.47	(31)	<b>6.25</b>	(31)
I-4	<b>-6.60</b>	(26)	<b>-2.55</b>	(28)	-0.49	(29)	-0.70	(30)	0.70	(31)	1.11	(31)
I-5	-1.61	(26)	-0.37	(25)	0.18	(27)	-0.33	(28)	<b>2.57</b>	(28)	-0.14	(28)
O-1	<b>-6.03</b>	(25)	-1.98	(27)	<b>-7.51</b>	(30)	<b>-7.73</b>	(30)	<b>2.72</b>	(31)	<b>4.70</b>	(31)
O-2	<b>-6.64</b>	(24)	<b>-3.66</b>	(22)	-1.89	(25)	<b>-2.84</b>	(25)	0.23	(26)	<b>4.35</b>	(26)
O-3	<b>-4.50</b>	(25)	<b>-3.10</b>	(28)	<b>-6.78</b>	(28)	<b>-4.58</b>	(27)	<b>2.35</b>	(30)	<b>5.25</b>	(30)
O-4	<b>-4.64</b>	(25)	<b>-3.64</b>	(25)	<b>-2.97</b>	(26)	<b>-3.51</b>	(25)	0.73	(26)	<b>2.63</b>	(27)
O-5	<b>-4.50</b>	(25)	<b>-2.43</b>	(25)	<b>-2.20</b>	(25)	-1.85	(26)	0.24	(27)	-1.04	(27)
O-6	<b>-2.77</b>	(26)	0.67	(24)	0.15	(26)	-0.52	(27)	<b>2.06</b>	(28)	<b>2.33</b>	(28)
O-7	-1.22	(26)	-0.45	(28)	0.33	(30)	0.04	(27)	<b>4.00</b>	(31)	<b>9.76</b>	(31)
O-8	-1.57	(26)	-1.61	(24)	1.40	(27)	0.31	(26)	1.32	(27)	0.70	(27)
O-9	<b>-4.87</b>	(27)	-0.67	(25)	-0.19	(28)	-0.97	(27)	2.00	(28)	1.63	(28)
N-1	-0.52	(23)	-1.75	(24)	-0.83	(25)	-0.46	(26)	<b>2.30</b>	(26)	<b>7.11</b>	(26)
N-3	<b>-3.36</b>	(27)	-1.85	(28)	-0.79	(28)	-1.49	(30)	-1.34	(30)	1.99	(30)
N-5	<b>-5.80</b>	(26)	<b>-3.09</b>	(27)	<b>-4.06</b>	(28)	-0.60	(29)	0.07	(29)	<b>5.93</b>	(29)
N-7	<b>-2.51</b>	(27)	-1.76	(28)	-1.90	(29)	-1.05	(30)	<b>2.15</b>	(30)	<b>6.87</b>	(30)
N-10	<b>-3.62</b>	(26)	<b>-2.40</b>	(27)	-1.53	(28)	0.23	(29)	1.12	(29)	<b>5.32</b>	(29)
N-11	<b>-5.00</b>	(26)	-1.52	(26)	-1.33	(28)	-1.35	(28)	-1.63	(29)	<b>7.14</b>	(29)
H-1	<b>-7.66</b>	(24)	0.47	(24)	<b>-6.17</b>	(25)	<b>-4.33</b>	(26)	-1.75	(26)	-1.65	(26)
H-2	<b>-2.28</b>	(21)	-0.65	(22)	-0.05	(23)	1.46	(24)	-0.04	(24)	<b>2.48</b>	(24)
H-3	<b>-5.96</b>	(28)	<b>-2.49</b>	(28)	<b>-3.07</b>	(28)	<b>-2.82</b>	(30)	1.06	(30)	-0.55	(30)
B-1	-1.85	(25)	-1.72	(24)	0.06	(25)	-2.03	(27)	-1.91	(27)	-0.10	(27)
B-2	-1.03	(24)	0.88	(25)	0.16	(26)	1.26	(27)	<b>2.23</b>	(27)	0.94	(27)
B-3	<b>-2.19</b>	(24)	-1.63	(24)	1.10	(26)	-0.68	(27)	1.93	(27)	-0.87	(27)
B-4	-1.92	(25)	-0.91	(26)	-1.19	(27)	-1.17	(28)	1.88	(28)	-0.71	(28)
K-1	<b>-2.74</b>	(26)	<b>-2.45</b>	(26)	-0.33	(27)	0.19	(28)	0.58	(28)	<b>3.60</b>	(28)
K-2	<b>-4.35</b>	(24)	<b>-3.01</b>	(24)	-2.02	(26)	<b>-3.52</b>	(26)	-1.30	(26)	0.39	(26)
K-3	<b>-3.96</b>	(25)	<b>-3.26</b>	(25)	<b>-6.15</b>	(26)	<b>-3.29</b>	(25)	-1.36	(26)	<b>4.27</b>	(26)
K-4	<b>-3.56</b>	(27)	0.58	(27)	-1.26	(26)	0.53	(28)	-1.69	(29)	-0.09	(29)
Y-1	1.04	(26)	-1.08	(26)	<b>-2.25</b>	(27)	-1.37	(28)	-0.29	(27)	-1.01	(27)
Y-2	0.50	(25)	-0.89	(26)	<b>-3.07</b>	(26)	1.06	(27)	<b>2.76</b>	(19)	<b>3.59</b>	(19)
Y-3	<b>-2.13</b>	(24)	-2.00	(25)	-1.42	(25)	-0.43	(26)	0.49	(26)	1.22	(26)
W-1	<b>-3.96</b>	(26)	-1.88	(26)	<b>-2.42</b>	(27)	<b>-2.86</b>	(28)	-1.09	(28)	1.52	(28)
W-2	0.50	(18)	-0.89	(17)	<b>-3.07</b>	(19)	1.06	(19)	0.40	(27)	<b>2.20</b>	(27)
W-3	-1.01	(25)	-0.32	(26)	-1.27	(25)	1.35	(27)	1.44	(26)	1.79	(26)



### 3 考察

強熱減量と含泥量の上昇傾向から、主要湾域の海底堆積物は有機物含有量が多く、堆積物粒子が細かく、汚染物質を吸着しやすい性質に変化してきていると考えられる。それにもかかわらず、ほとんどの海域および項目について濃度の低下が見られるか、または有意な上昇が見られていないことから、全般に主要湾域への陸側からの汚染物質の流入量は減少していると考えられる。

汚染物質濃度の有意な上昇を見せたのはF-3のPCBおよびI-1, I-2, I-3のカドミウムのみであった。

I-1~I-3では含泥量の、I-1, I-2では強熱減量の有意な上昇傾向が見られた。そのため、この海域におけるカドミウム濃度の増加が主に有機物含有量や堆積物粒子の粒度の変化による影響であることを否定しきれないが、今後も汚染物質の流入量の増加の可能性を念頭に、その推移について注意深く見守る必要があると思われる。

F-3において有意な上昇傾向が見られたPCB濃度については、汚染の負荷源と考えられる陸側に近いF-1, F-2において上昇傾向が見られないので、駿河湾に新たなPCBの負荷が起きているとは考えがたい。当部では1997年にF-6において簡易型コアサンプラーによって、海底表面下6-7 cmから表層にかけて濃度が上昇するPCBの鉛直プロファイルを得ているが(岡野ほか, 2001)、近年になって濃度が上昇している傾向を見せているという点で、今回得られたF-3における傾向と一致しており、湾奥のPCBが湾全体に広がっている可能性が考えられる。

当部では2002年に東京湾奥部で8本の堆積物コア試料を採取し、PCB, DDT等12種類の残留性有機汚染物質の濃度調査を行っている(清水ほか, 2004)。そのデータの解析の結果、1970年代は最湾奥の調査点に局所的に高い濃度が見られる分布であるが、近年では最大濃度レベルは下がりながらも湾奥部全体が高くなる傾向となっており(清水ほか, 2005 a, b)、駿河湾にも同様の傾向があると考えられる。

また、今回の検討により、1980年代以前に比べ、1990年代以降に汚染物質濃度の低下するスピードが落ちている傾向が見られた。1970年代からの各種の規制は、初期において汚染物質濃度の顕著な低下という形で、沿岸の閉鎖性海域における環境の改善に一定の効果を示したといえる。

一方で、東京湾奥や大阪湾奥等、1970年代に比べると濃度レベルが低下しているものの、近年でも依然として比較的高い濃度レベルにとどまっている海域がある。たとえば東京湾等では、流域の土壌や港域に蓄積した汚染物質が、台風等による出水イベントによって海域に運ばれることが知られている(橋本ほか, 1998, SAKATA et. al, 2006)。このような流域の土壌や港域に高濃度に蓄積した汚染物質の長期的な供給が、沿岸海域の環境改善を遅らせる原因の一つとして考えられる。

沿岸海域において環境がさらに改善されるためには、今後も汚染物質濃度の監視を継続するとともに、各種の排水や流域の土壌及び港域に蓄積した汚染物質が海域に及ぼす影響の評価を行い、汚染物質のさらなる排出削減や、汚染土壌・堆積物の浚渫除去等の対策を検討する必要があると考えられる。

### 4 まとめ

海上保安庁海洋情報部が1970年代から実施してきた主要湾域調査による堆積物中汚染物質濃度のデータを整理し、経年変化を検討した。ごく例外の海域、物質をのぞいて我が国沿岸の有害物質による汚染濃度は全般的に低下傾向であり、濃度の低下は1980年代までは顕著であったが、1990年代以降は緩やかであることがわかった。

### 5 謝辞

今回の検討を行うにあたって、過去の調査データについて整理されたデータベースを活用させていただきました。これまでの調査・分析・データ管理に関わってこられた海洋汚染調査室の諸先輩方の努力に敬意を表します。

経年変化の有意性についての検討方法について

は、田中友規研究官にご教示いただきました、この場を借りてお礼申し上げます。

#### 参考文献

海上保安庁海洋情報部 (1975-2006), 海洋汚染調査報告第1号~32号.

橋本俊也, 柳哲雄, 武岡秀隆, 高田秀重: 東京湾のPCB分布・堆積モデル, *沿岸海洋研究*, **36**, 1, p 77-82

長岡千津子, 山本義和, 江口さやか, 宮崎信之 (2004), 大阪湾における底質重金属濃度と底質環境との関係, *日本水産学会誌*, **70**, 2, 159-167.

村上和仁, 今富幸也, 駒井幸雄, 永淵修, 清水徹, 小山武信 (1998), 瀬戸内海における環形動物 (Annelida) の生息状況と底質環境の関係, *水環境学会誌*, **21**, 757-764.

岡野博文, 清水潤子, 野坂琢磨, 當重 弘, 青木繁, 佐々木康仁, 信國正勝, 茂木由夫 (2001), 駿河湾海底堆積物中のPCB調査, *水路部技報*, **19**, 84-89.

SAKATA MASAHIRO, MARUMOTO KOHJI, NARUKAWA MASAHIRO, ASAKURA KAZUO (2006), Mass Balance and Sources of Mercury in Tokyo Bay, *Journal of oceanography*, **62** (6), 767-775.

清水潤子, 山尾理, 野坂琢磨, 野口賢一, 峯正之, 松本敬三, 大市一芳, 堤一尚, 宮本哲司 (2005), 東京湾海底堆積物中におけるPOPs (残留性有機汚染物質) 濃度分布の特徴について (平成14年東京湾POPs調査結果より), *海洋情報部研究報告*, **41**, 35-49.

清水潤子, 山尾理, 田中友規, 野口賢一, 池田善郎 (2005 a), 東京湾におけるPOPs及びダイオキシン類汚染の要因について」**第14回環境化学討論会講演要旨集**, 88-89

清水潤子, 山尾理, 田中友規, 野口賢一, 池田善郎 (2005 b), 「東京湾におけるPOPs (残留性有機汚染物質) 汚染の地域的特性と変遷について—2002年東京湾POPs調査結果より

—」*海洋調査技術学会講演要旨集*, **17**, 42-43

陶 正史, 峯 正之, 岩本孝二, 當重 弘 (1981), 東京湾海底堆積物の重金属汚染, *水路部研究報告*, **16**, 83-93.

陶 正史, 柴山信行, 峯 正之, 岩本孝二, 當重 弘, 稲積 忍 (1982), 伊勢湾海底堆積物の重金属汚染, *水路部研究報告*, **17**, 379-393.

陶 正史, 柴山信行, 峯 正之, 岩本孝二, 當重 弘, 松本敬三 (1983), 大阪湾海底堆積物の重金属汚染, *水路部研究報告*, **18**, 105-114.