

有明海佐賀県沿岸域の底質環境

梅田智樹・堀 恭子・下前 敦・吉里敬祐・山口 聖・各務 諒
・増田裕二*・首藤俊雄・伊賀田邦義

Bottom Material Environment in the Innermost Area of Ariake Sound off Saga Prefecture

Tomoki UMEDA, Kyouko HORI, Atsushi SHIMOMAE, Keisuke YOSHISATO, Akira YAGUCHI,
Akira KAKUMU, Yuuji MASUDA, Toshio SHUTO and Kuniyoshi IGATA

はじめに

佐賀県有明水産振興センターでは、1980年度以降有明海佐賀県沿岸域の底質環境モニタリング調査を行い、底質に関するデータの蓄積を行ってきた。本調査で得られた知見についてはいくつか報告されている^{1,2)}。今回は2017年度までに蓄積された38ヶ年間分の当該データを取りまとめて底質の経年変化について検証したので、以下に報告する。

材料および方法

1 調査地点、調査期間および調査頻度

図1に調査地点を、表1に調査日及び調査頻度等の一覧を示した。

調査地点は、1980年度から1984年度まではSt.1, St.4, St.8を除く7地点、1986年度以降は10地点とした。

調査日は、1980年度から1992年度までは春季(5月)、夏季(主に8月)、秋季(主に11月)、冬季(2月)の年4回、1993年度から2007年度までは12月、1月、

3月の3回を加えた年7回、2008年度以降は再び春季(5月)、夏季(主に8月)、秋季(主に11月)、冬季(2月)の年4回実施した。

2 採泥方法

エクマンバージ型採泥器(採泥面積0.0225m²)を用いて表層泥を1回採取し、表層から約5cmのものをポリ容器に入れ密封し実験室へ持ち帰った。なお、底質が固いなど採取が困難な地点ではSKドレッジ(2.5L)も使用した。

底泥の試料は、粒径2mm以上の貝殻等を除いた後よく攪拌して、原則として当日のうちに分析した。当日分析できなかった項目は、容器を密閉して冷蔵もしくは冷凍保存し、後日分析した。

3 分析項目および分析方法

分析項目は、中央粒径値(以下、「Mdφ」という)、泥分含有率(以下、「MC」という)、酸揮発性硫化物(以下、「AVS」という)、化学的酸素要求量(以下、「COD」という)および強熱減量(以下、「IL」という)の5項目とした。各項目の分析方法は以下のとおりである。

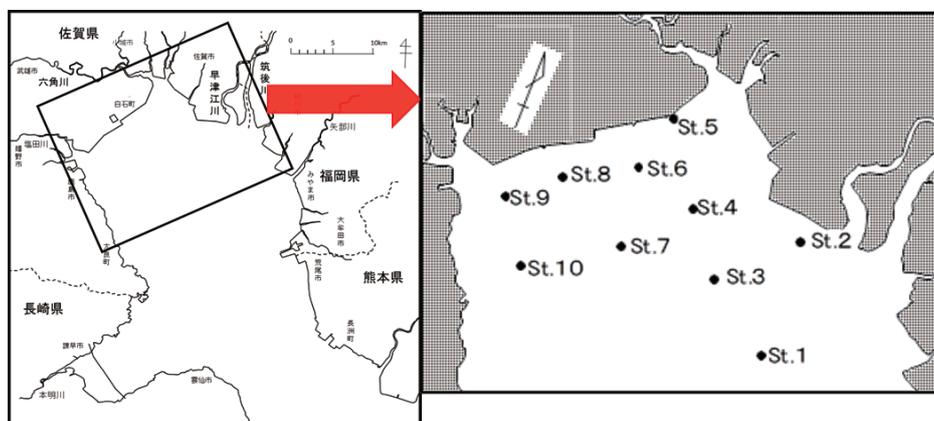


図1 調査地点

*: 現佐賀県玄海水産振興センター

表1 観測日及び観測項目等一覧

年度\月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	観測地点数	観測項目	備考
1980	—	19	—	—	19	—	—	25	—	—	12	—	7地点 (St.1, St.4, St.8を除く)	AVS, COD, IL	
1981	—	12	—	—	—	18	—	—	—	—	23	—			
1982	—	22	—	—	19	—	—	16	—	—	28	—			
1983	—	23	—	—	12	—	—	16	—	—	20	—			
1984	—	17	—	—	17	—	—	12	—	—	8	—			
1985	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	観測中断
1986	—	16	—	—	27	—	—	26	—	—	10	—	10地点	AVS, COD, IL	
1987	—	29	—	—	28	—	—	17	—	—	29	—			
1988	—	30	—	—	19	—	—	18	—	—	17	—	10地点	AVS, COD, IL, 粒 度組成[中央粒径 値, Md φ, MC (1993年度以降)]	
1989	—	10	—	—	10	—	—	21	—	—	26,27	—			
1990	—	14	—	—	23	—	—	26	—	—	18	—			
1991	—	29	—	—	—	11	—	27	—	—	20	—			
1992	—	19	—	—	27	—	—	26	—	—	19	—			
1993	—	20	—	—	20	—	—	17	16	14	8	17			
1994	—	13	—	—	24	—	—	25	21	18	17	20			
1995	—	17	—	—	16	—	—	10	12	—	23	26			
1996	—	23	—	—	30	—	—	27	26	—	10	28			
1997	—	29	—	—	20	—	—	—	17	—	—	—			
1998	—	15	—	—	10	—	—	—	—	14	25	—			
1999	—	13	—	—	25	—	—	29	17	—	22	30			
2000	—	11	—	—	12	—	—	15	—	23	15	28			
2001	—	29	—	—	30	—	—	20	20	10	6	8			
2002	—	10	—	—	12	—	—	15	3	22	21	28			
2003	—	20	—	—	26	—	—	26	17,18	17	—	2*, 26			
2004	—	10	—	—	12	—	—	17	15	18	17	16			
2005	—	26	—	—	—	14	—	—	28	—	—	9			
2006	—	19	—	—	3	—	—	14	11	11	9	12			
2007	—	11	—	—	22	—	—	28	26	25	—	13			
2008	—	20	—	—	29	—	—	26	—	—	25	—			
2009	—	12	—	—	25	—	—	26	—	—	26	—			
2010	—	28	—	—	30	—	—	24	—	—	—	9			
2011	—	25	—	—	—	16	—	—	13	—	—	19			
2012	—	28	—	—	—	—	—	30	—	—	—	27			
2013	—	8	—	—	6	—	—	20	—	—	26	—			
2014	—	22	—	—	28	—	—	26	—	—	18	—			
2015	—	21	—	—	18	—	—	25	—	—	18	—			
2016	—	25	—	—	23	—	—	16	—	—	22	—			
2017	—	30	—	—	28	—	—	21	—	—	28	—			

*) 時化のため順延した2月分調査

なお、Md φは1989年度以降、MCは1993年度以降に分析項目として追加した。

1) Md φ

粒度組成は篩い法(1, 0.5, 0.25, 0.125, 0.063mmの5種類の篩い)と粒度(粒子径)分布測定装置(株式会社高津製作所製 SA-CP3L [1988～2006年度], 同 SALD-3100 [2006～2016年度], 株式会社堀場製作所製 LA-350 [2017年度])による測定の併用とした。

2) MC

篩い法(上記、「(1) Md φ」と同じ)によった。

3) AVS

ガス検知管法⁴⁾によった。

(4) COD

アルカリ性過マンガン酸カリウム法⁴⁾によった。

(5) IL

貝殻の影響を考慮して550℃・1時間で行った。

ILに対する陸水の影響を見るため、筑後大堰直下流量日平均値データ((独)水資源機構筑後川局大堰管理所

提供分および国土交通省九州地方整備局ホームページ公表分;以下「大堰直下流量」とする),有明海灣奥部に流入する河川の上流に位置する気象庁観測所における降水量(気象庁ホームページ公開分;以下「観測所降水量」とする)との関係のみた。

4 底質の評価

底質の評価に関して、AVSおよびCODについては、水産用水基準³⁾における基準値を用いた。また、易分解性有機物(プランクトンの死骸等)の指標であるCOD値と難分解性有機物(魚の皮鱗、骨のリン酸カルシウムを主体とする無機物等)の指標であるIL値との比で自浄能力を表す指標であるC/I値⁵⁾についてもその推移のみた。

さらに、海水の交換が制限され、有機物の負荷量が多く、夏季に成層が発達し易い閉鎖性海域の有機物汚染の程度を評価する際に用いられる合成指標³⁾合成指標④³⁾についても、次の2式により算出し、底質の評価に用いた。

③ MC, AVS および COD から求める合成指標 (以下「合成指標③」という)

$$\text{合成指標③} = 0.582(\text{COD}-20.9)/15.4 + 0.568 \times (\text{AVS}-0.51)/0.60 + 0.580(\text{MC}-64.9)/30.5$$

④ MC, AVS および I L から求める合成指標 (以下「合成指標④」という)

$$\text{合成指標④式} = 0.588(\text{IL}-7.99)/4.52 + 0.559 \times (\text{AVS}-0.51)/0.60 + 0.584(\text{MC}-64.9)/30.5$$

なお, 上記の式より求められた指標値を表 2 により判定した。

表2 合成指標を基にした判定基準

判断基準	合成指標	底質の DO (mgO ₂ /L)
正常な底質	負の値	4.3mgO ₂ /L 以上
汚染された底質	正の値	4.3mgO ₂ /L 以下

結果

1 各分析項目の結果

1) Md φ

図 2 に地点別経月変化, 図 3 に地点別月別変化, 図 4 に年別四半期別水平分布を示した。

1989 年 5 月～2018 年 2 月の Md φ は, St.1 が 1.50～4.81 [2.30] で大きな変動がほとんどなく推移していた。St.2 が 1.07～7.73 [5.09] で 2005 年 2 月頃まで大きく変動しながら推移していたが, 2005 年 5 月以降は 5 から 6 台で推移していた。St.3 が 1.12～5.22 [2.25] で大きな変動がほとんどなく推移していた。St.4 が 3.27～7.62 [5.10] で, 2005 年 5 月頃以降細粒化傾向となり, 2015 年 5 月以降は 5 から 6 台で推移していた。St.5 が 5.07～8.43 [6.96], St.6 が 5.03～8.59 [6.87], St.7 が 4.95～8.59 [6.53] であり, 2005 年 2 月頃までは殆ど 7 台で推移していたが, 2005 年 5 月以降は粗粒化傾向となり, ほぼ 6 台で推移していた。St.8 が 2.97～8.08 [6.84], St.9 が 2.32～8.00 [6.84], St.10 が 4.96～8.06 [6.96] であり, 2005 年 2 月頃までは 7 台で殆ど推移していたが, 2005 年 5 月以降は 7 より低くなることが多くなりとなり, 2011 年 9 月以降はほぼ 6 台で推移していた。地点別月別変化では, St.2 および St.4 で 8 月および 12 月で低くなる傾向がみられた。年別四半期別水平分布では, 2013 年および 2017 年で 2009 年まであった 7 の等粒線がみられなかった。

以上のとおり, St.1 および St.3 は Md φ 2～3 台の細粒砂質 (表 3, 以下同じ) から極細粒砂質, St.2 付近は Md φ 1～7 と中粒砂質から極細粒シルト質が混在と, 鎌田⁶⁾・鎌田ら⁷⁾の報告 (以下, 「同報告」という) と

表3 粒度分類表 [Wentworth(1922)]

粒径		φ 単位	粒度分類名 (Wentworth size class)
(mm)	(μm)		
4098		-12.0	巨礫 (boulder)
256		-8.0	大礫 (cobble)
64		-6.0	中礫 (pebble)
4		-2.0	細礫 (granule)
2		-1.0	極粗粒砂 (very coarse sand)
1		0.0	粗粒砂 (coarse sand)
1/2	0.5	500	中粒砂 (medium sand)
1/4	0.25	250	細粒砂 (fine sand)
1/8	0.125	125	極細粒砂 (very fine sand)
1/16	0.0625	63	粗粒シルト (coarse silt)
1/32	0.0312	31	中粒シルト (medium silt)
1/64	0.0156	16	細粒シルト (fine silt)
1/128	0.0078	7.8	極細粒シルト (very fine silt)
1/256	0.0039	3.9	粘土 (clay)
0.00006	0.1	14.0	

同様であった。St.4 は Md φ 3～7 の細粒砂質～極細粒シルト質と同報告の範囲内で変動はしていたが, 2005 年 5 月以降細粒化傾向がみられていた。一方, St.5 から St.10 は 2005 年 2 月頃までは同報告と同様に Md φ 7 台の極細粒シルト質で殆ど推移していたが, 2005 年 5 月以降は粗粒化傾向となり, 2011 年 9 月以降は Md φ 7 台が消え, Md φ 5～6 の中粒シルト質から細粒シルト質で推移していた。

2) MC

図 5 に地点別経月変化, 図 6 に地点別月別変化, 図 7 に 1980 年度および 1989 年度から 2018 年度までの数年間隔年毎の年別四半期 (5,8,11,2 月以下同じ) 別水平分布を示した。

1993 年 5 月～2018 年 2 月の MC は, St.1 が 1.50～55.20% [14.99%] で変動しながら推移していたが, 2013 年 12 月以降 10%を下回ることが殆どなかった。St.2 が 3.78～99.40% [72.63%] で 2005 年 2 月頃まで大きく変動しながら推移していたが, 2005 年 5 月以降は 70%以上で推移していた。St.3 が 0.13～43.98% [13.34%] で 2007 年 2 月以降 30%を超えることが散見されるようになった。St.4 が 22.64～94.52% [62.11%] で, 2005 年 5 月頃以降上昇傾向となり, 2015 年 5 月以降は 80%以上で推移した。St.5 が 69.38～100.00% [97.50%], St.6 が 54.67～99.90% [96.65%], St.7 が 63.63～99.90% [92.12%], St.8 が 40.03～100.00% [95.36%], St.9 が 26.88～100.00% [91.59%], St.10 が 74.99～99.95% [96.23%] であり, St.9 の 1993 年 1997 年まで

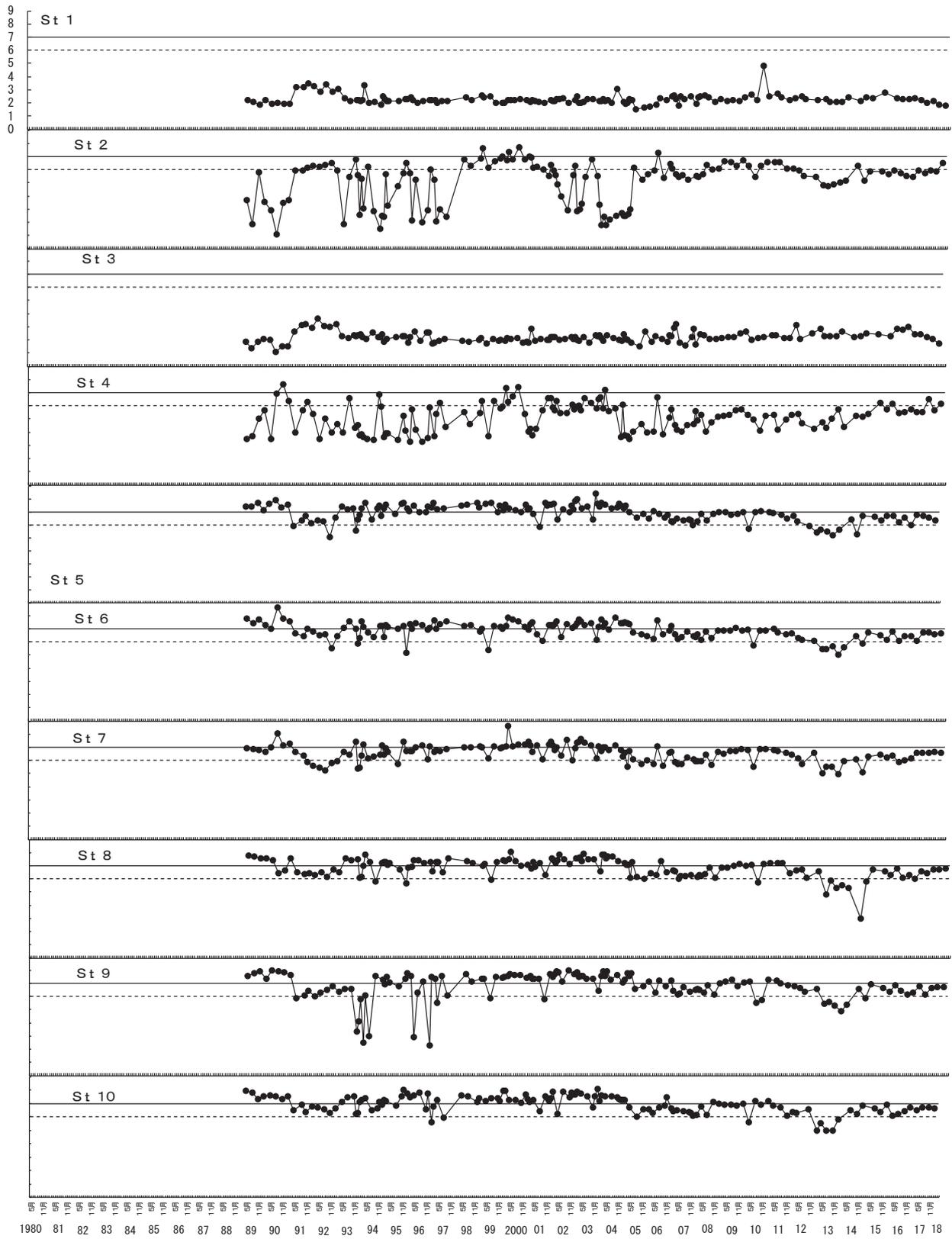


図2 Mdφの地点別経時変化

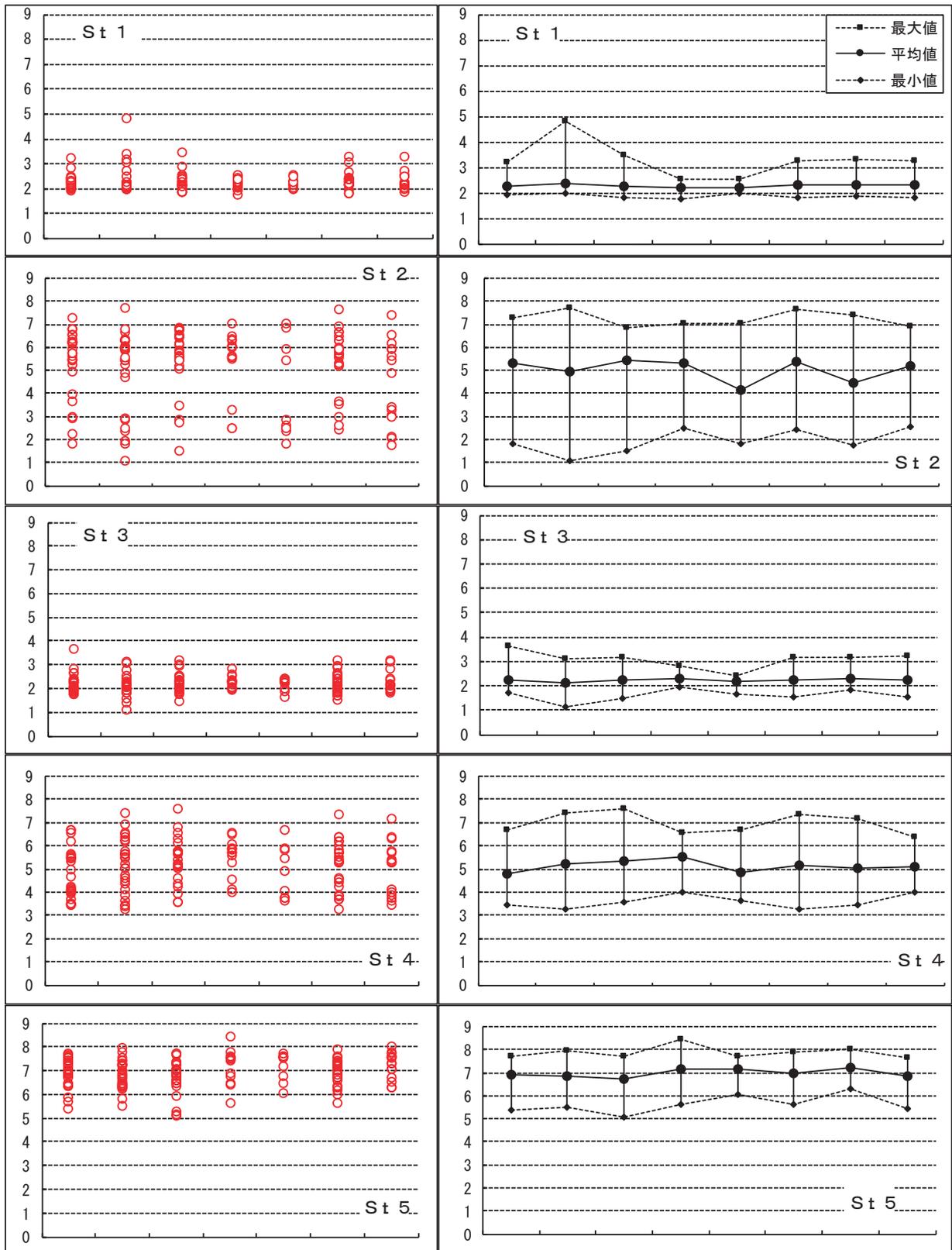


图3-1 地点别月别度数分布图 (Mdφ)

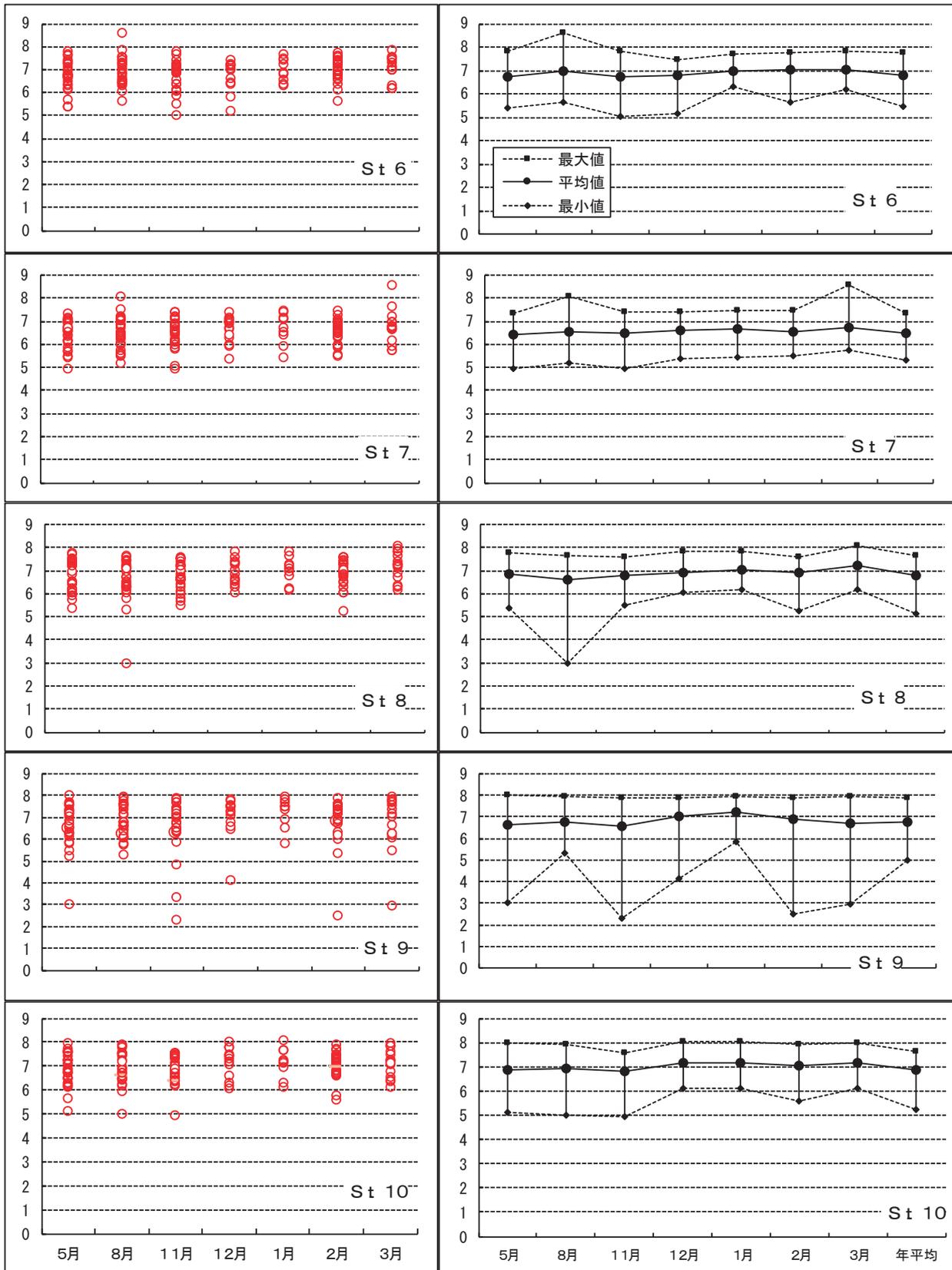
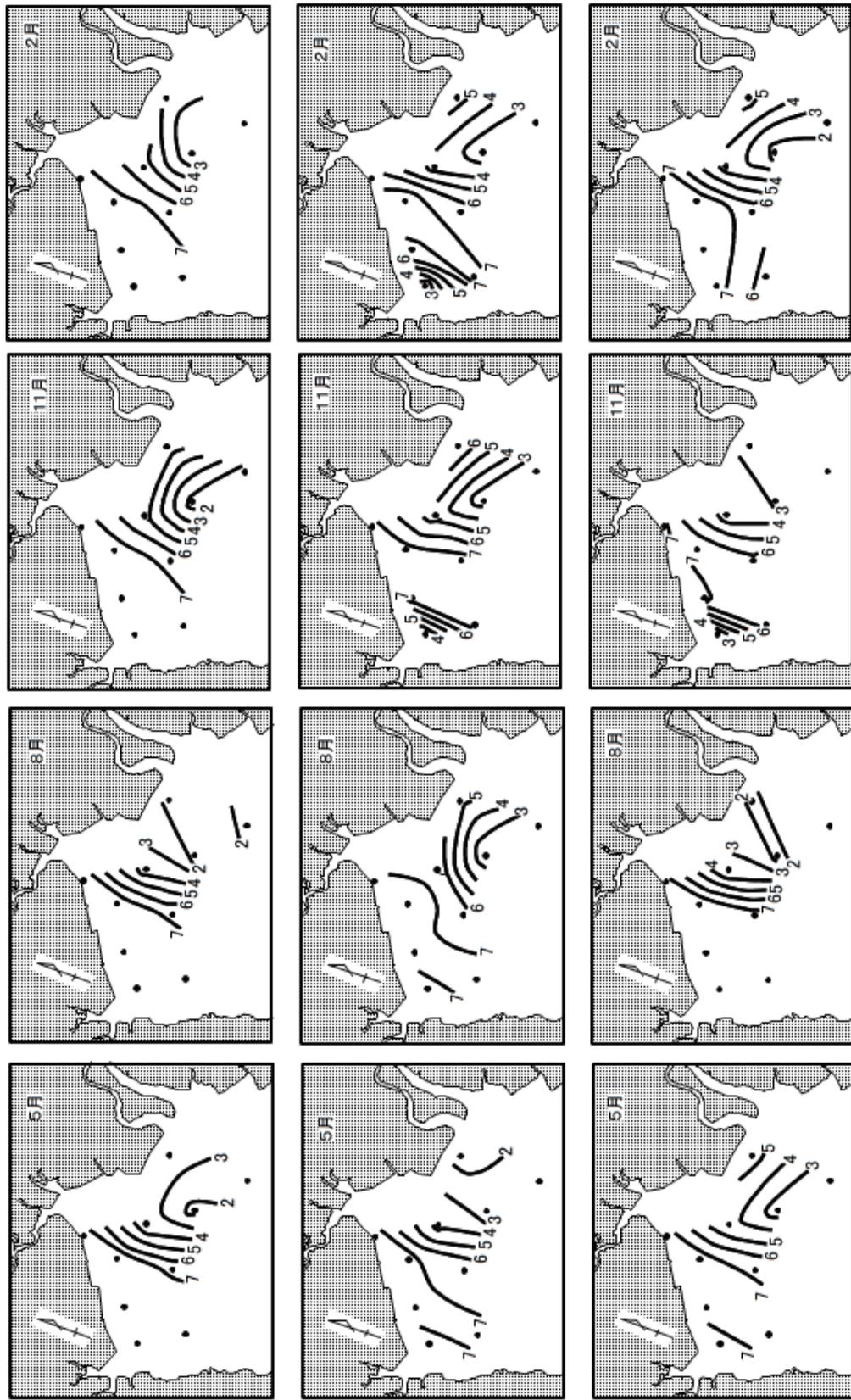


图3-2 地点别月别度数分布图 (Mdφ)



1989

1993

1996

図4-1 Md φの年別月別水平分布

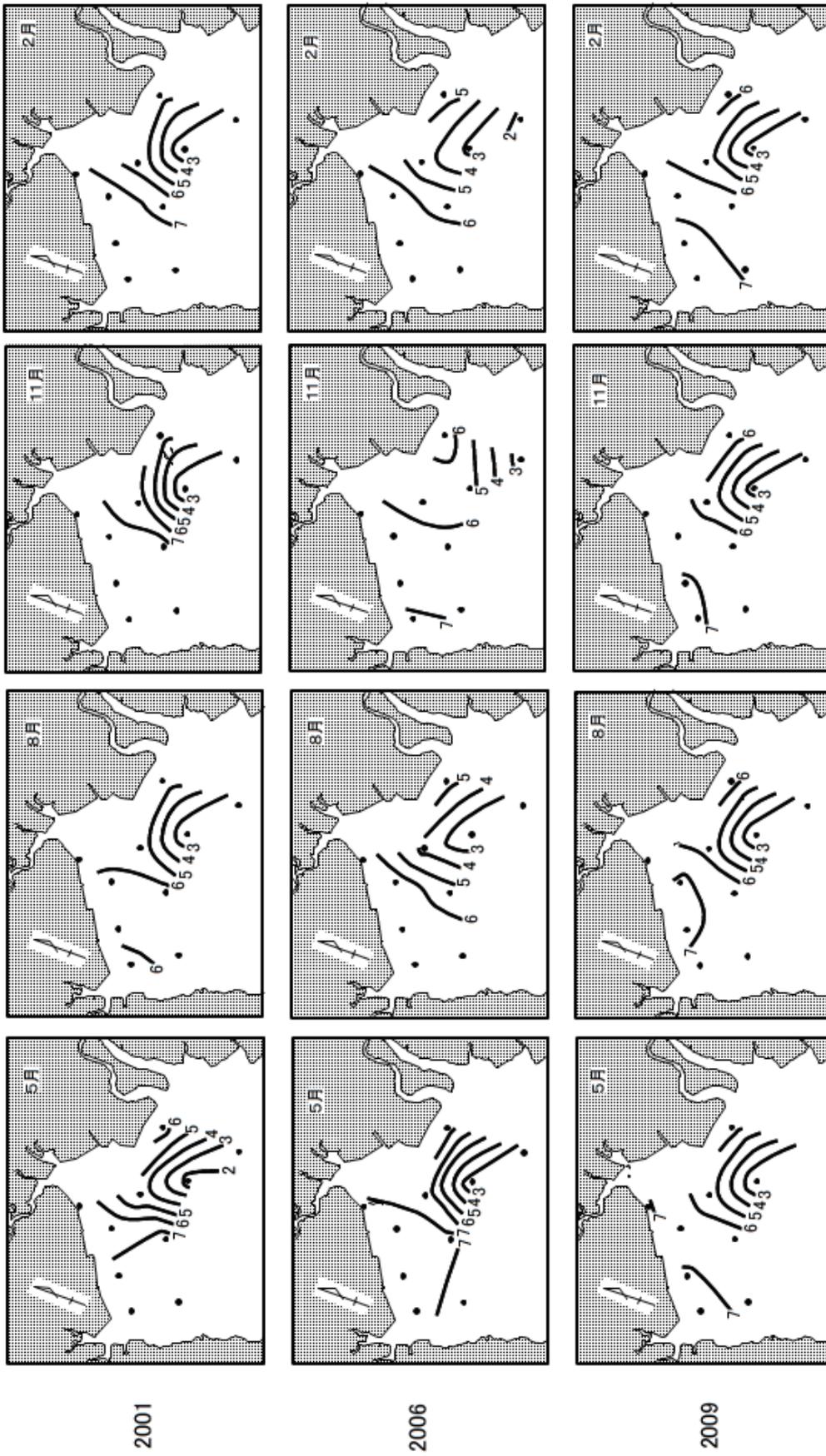


図4-2 Md φの年別月別水平分布

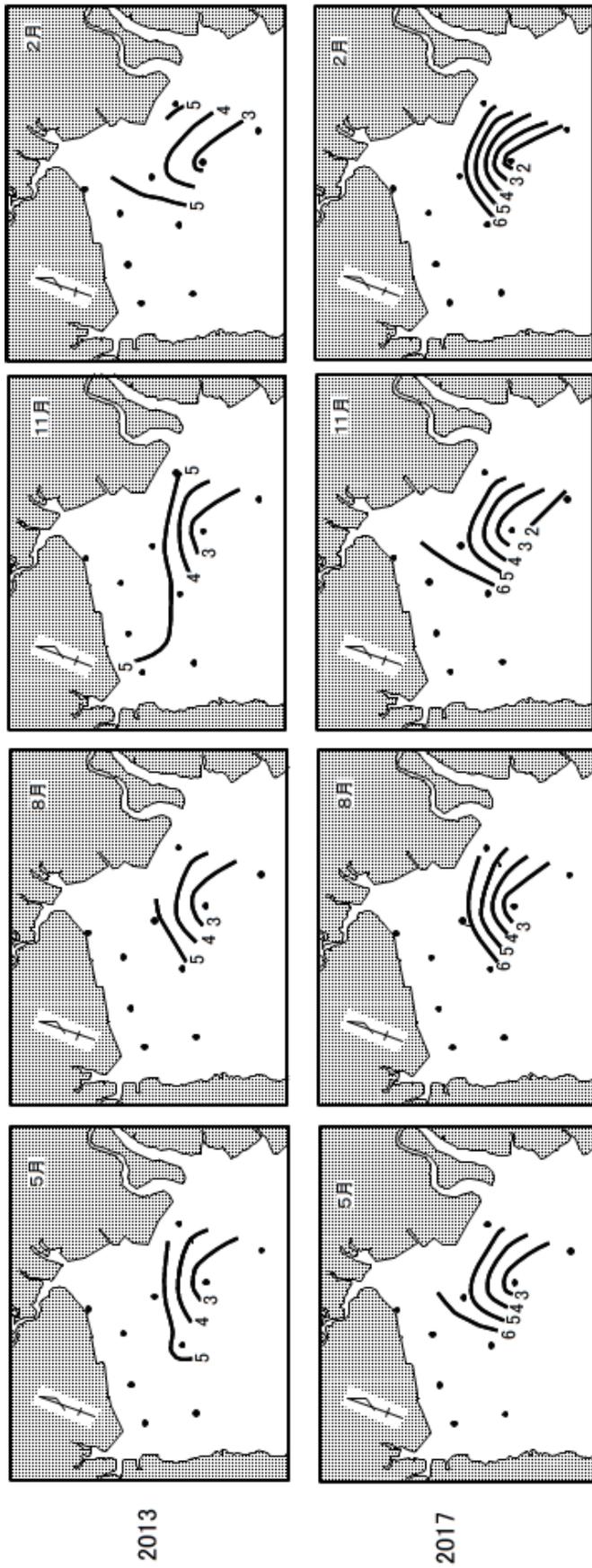


図4-3 Mdの年別月別水平分布

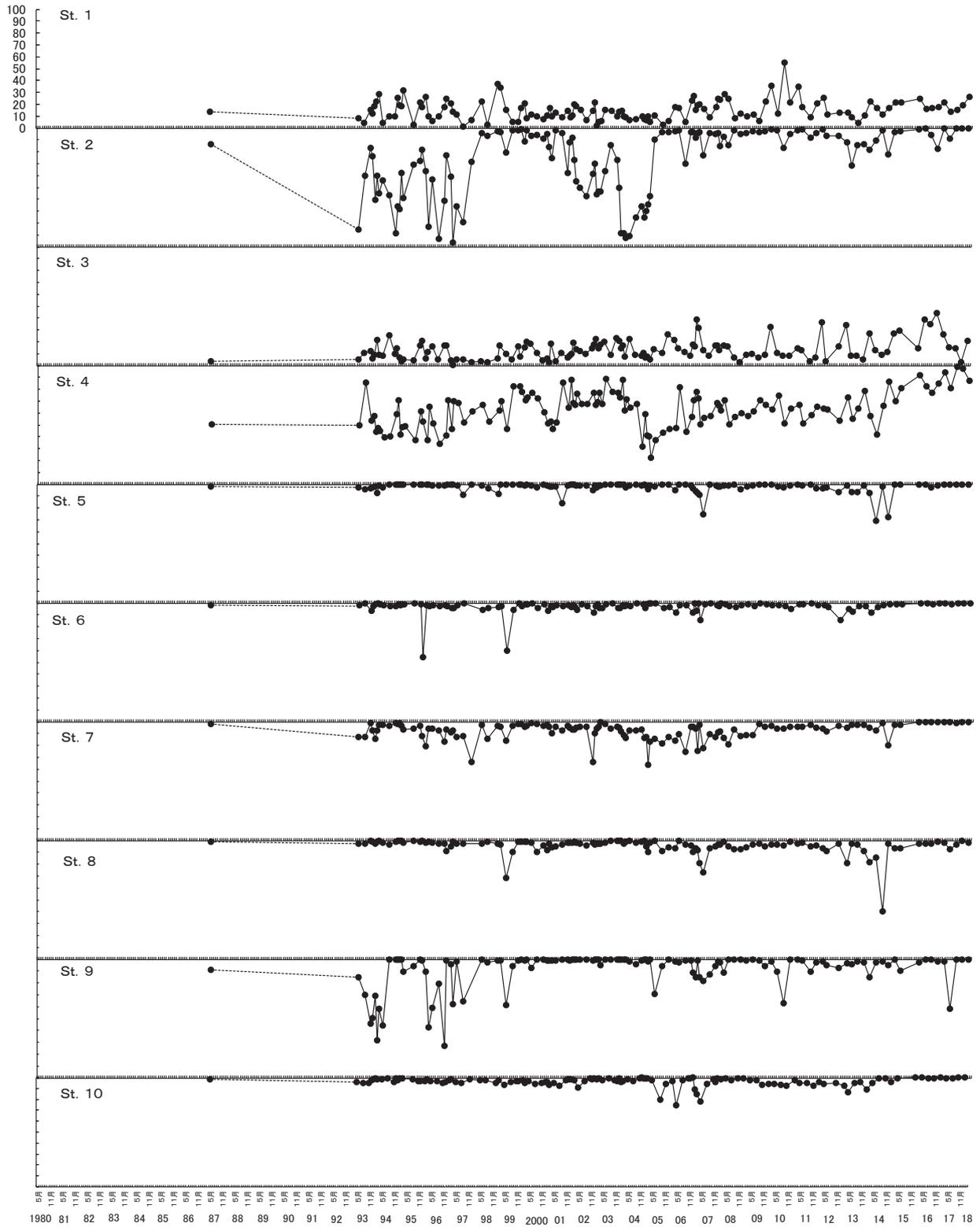


図5 MCの地点別経時変化

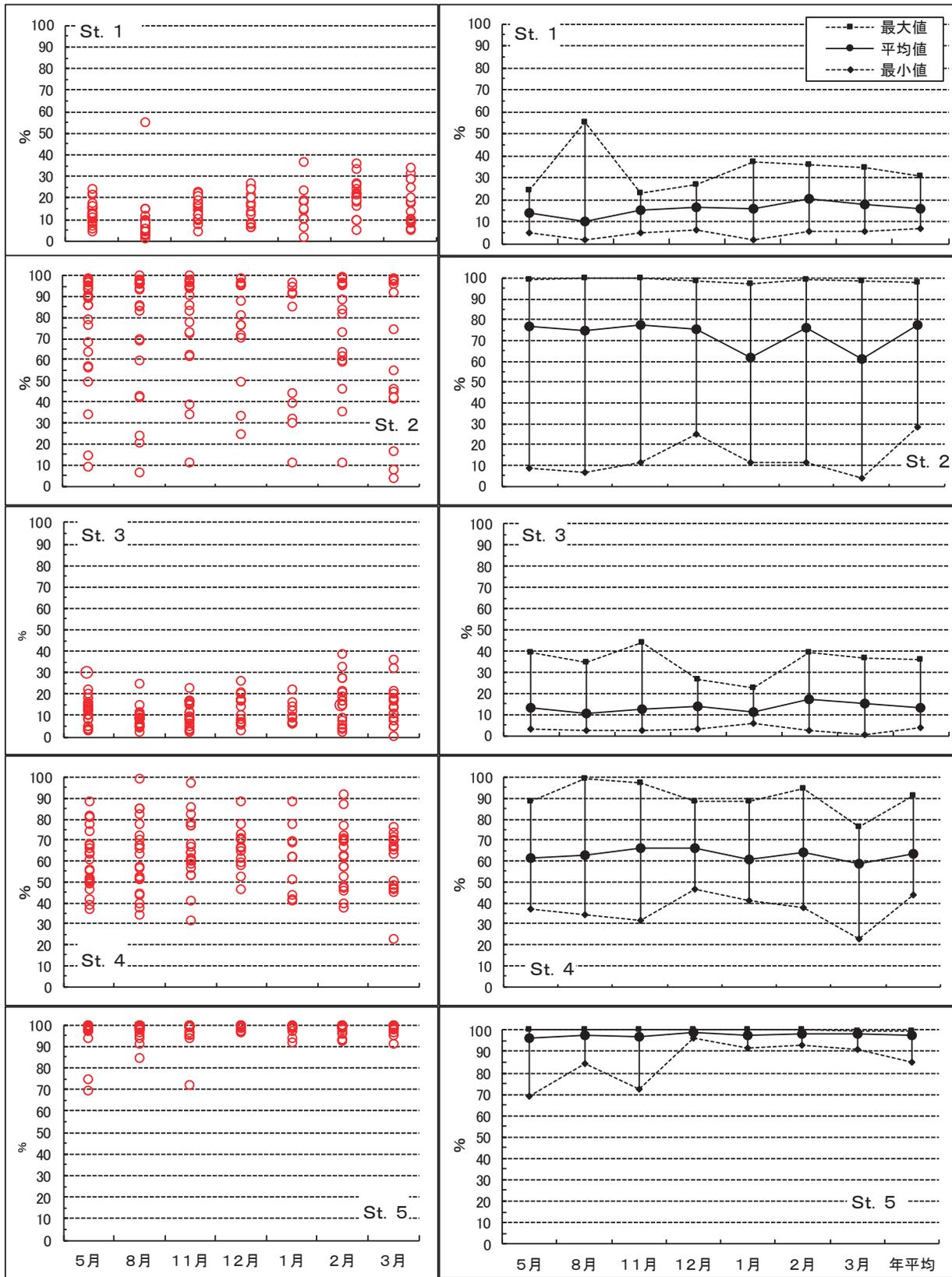


图6-1 地点别月别度数分布图 (MC)

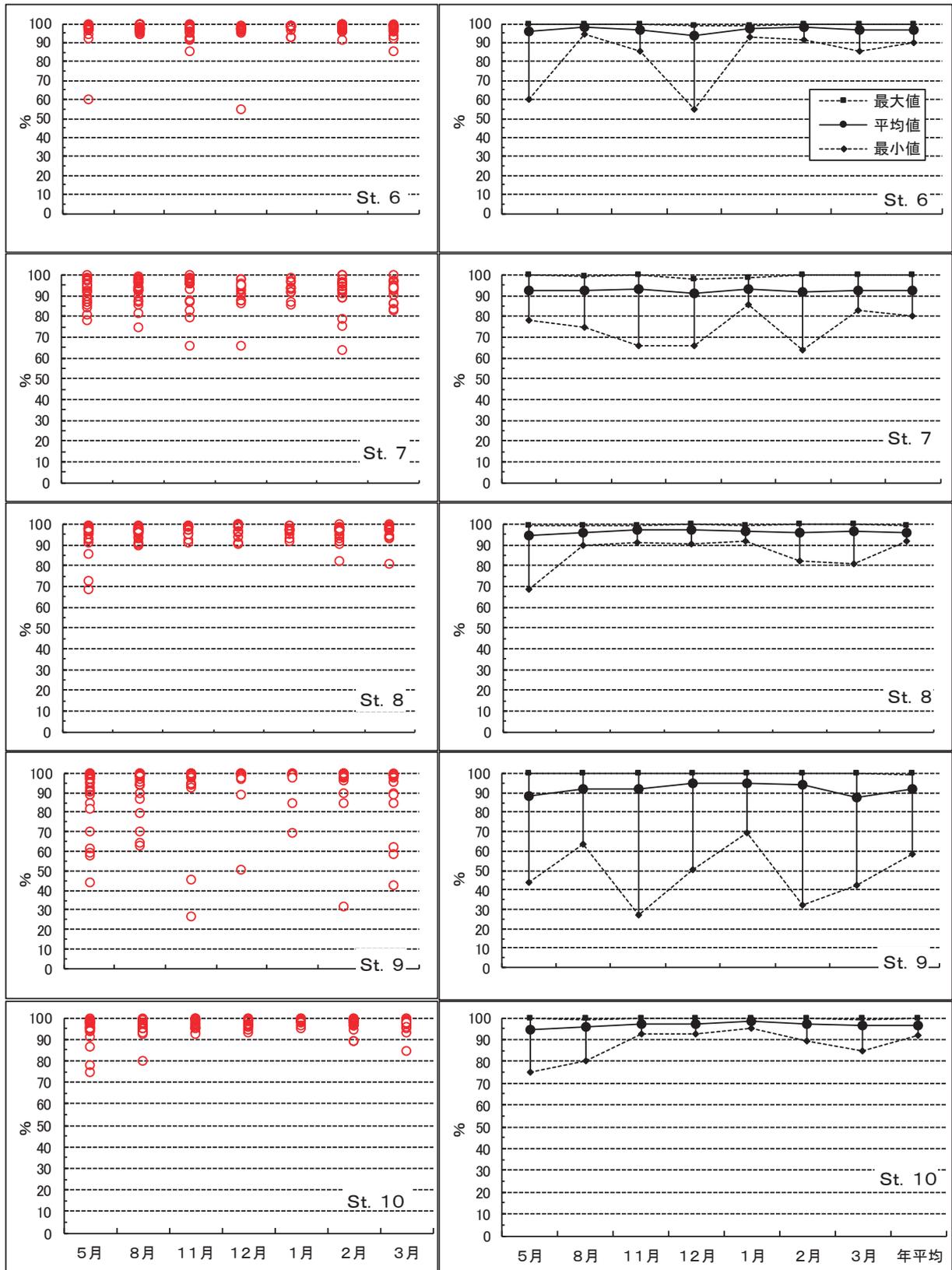


图6-2 地点别月别度数分布图 (MC)

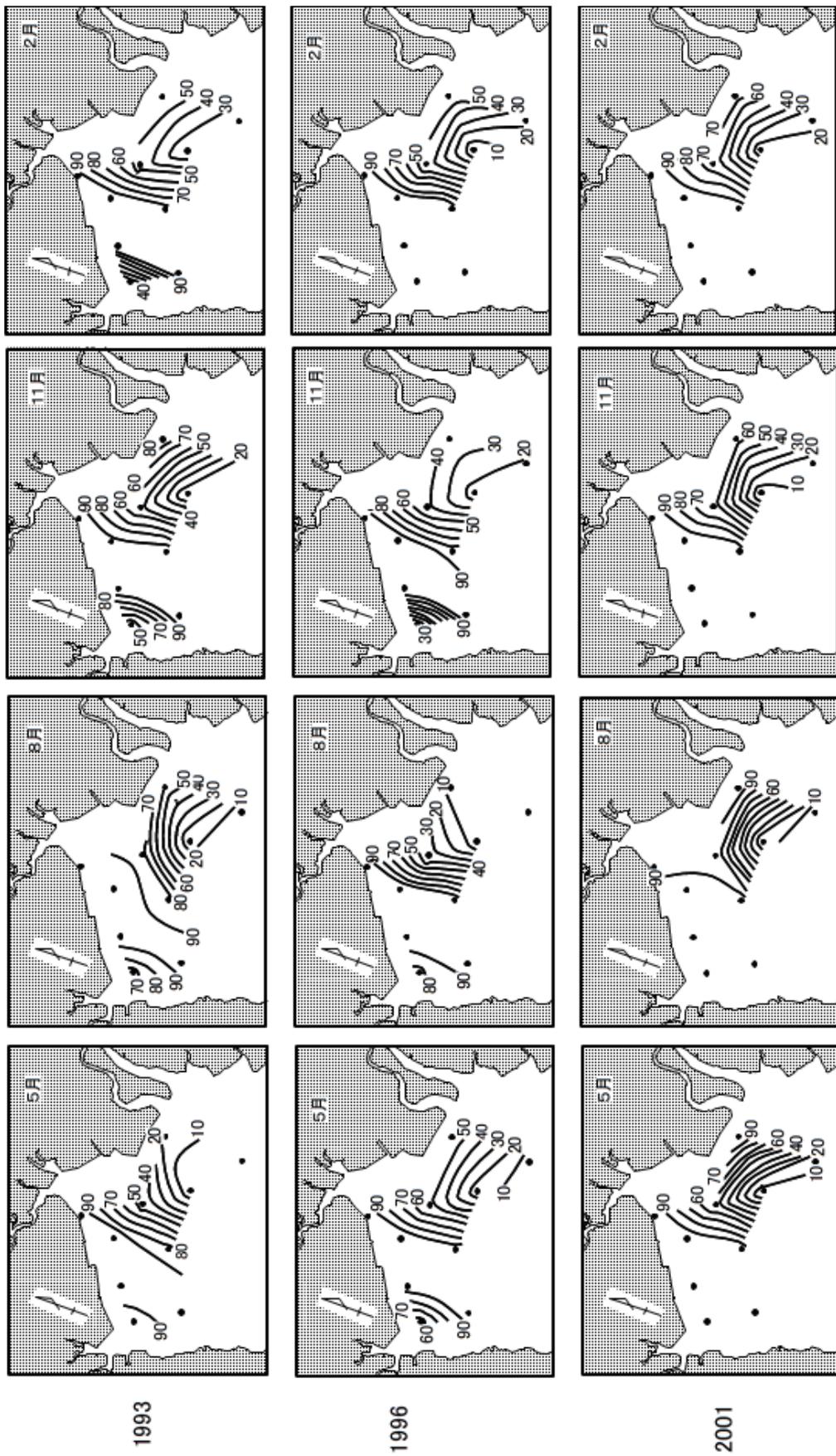


図7-1 MCの年別月別水平分布

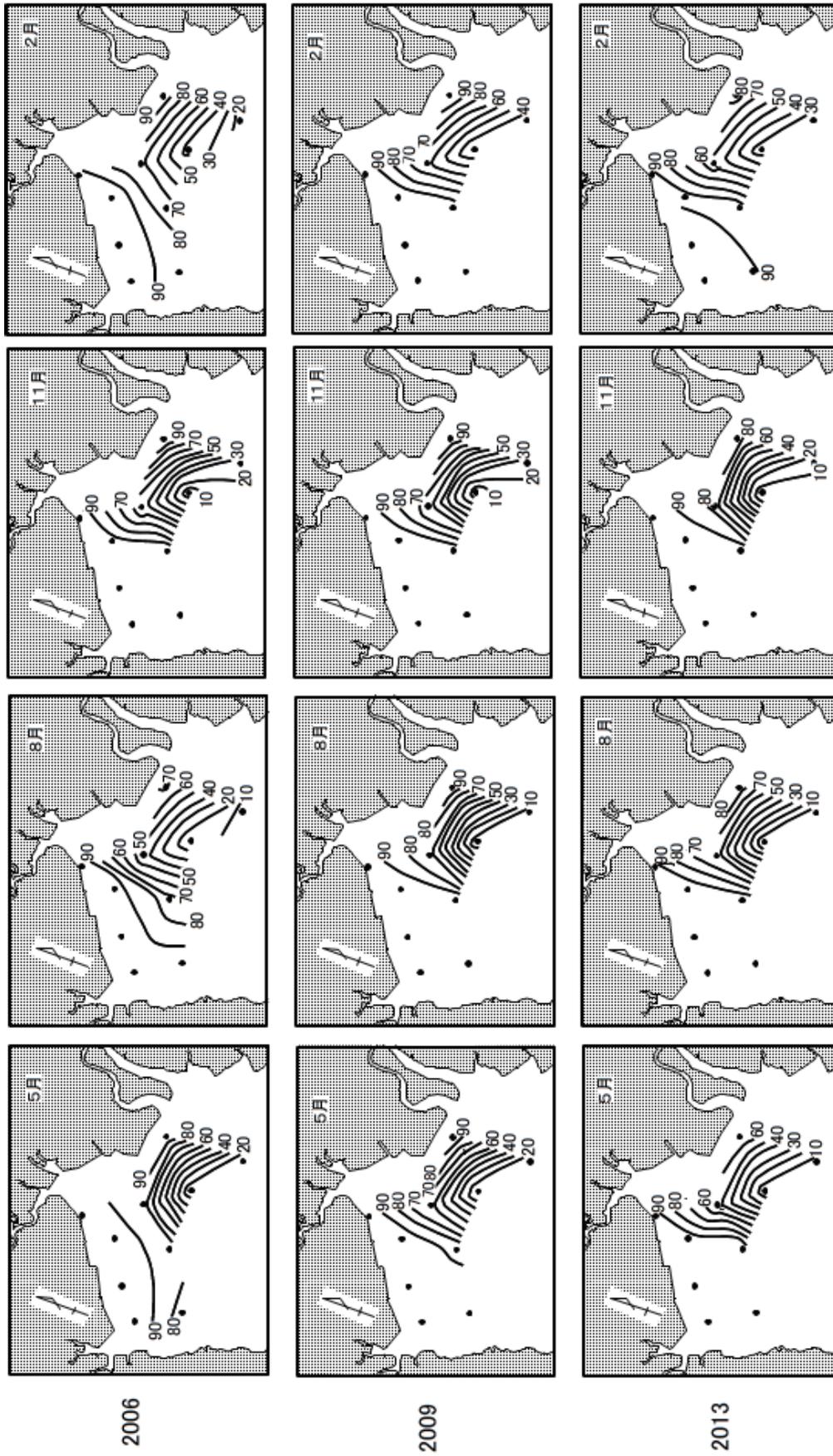


図7-2 MCの年別月別水平分布



2017

図7-3 MCの年別月別水水平分布

変動が大きかったが、それ以外のほとんどが90%以上で推移していた。MCは、Mdφの上昇が確認されたSt.4はもちろんのこと、Mdφに殆ど変化がみられなかったSt.1およびSt.3でも、2005年5月頃からMCの増加がみられていた。地点別月別変化ではSt.1からSt.4で8月および12月で低くなる傾向がみられた。年別四半期別水平分布では、2001年までSt.5からSt.7のあたりにあった90%の当率線が、2009年頃から徐々に東へ移動傾向となり2017年にはSt.4付近となっていた。

3) AVS

図8に地点別経月変化、図9に地点別月別変化、図10に1980年度および1989年度から2018年度までの数年間隔年毎の年別四半期別水平分布を示した。1980年5月～2018年2月において、St.1は0.000～0.355mg/g dry mud (以下、mg/gと省略) [0.019mg/g; 平均値、以下同じ]で、ほとんどが環境基準値0.2mg/g³⁾(以下「環境基準」という)をかなり下回って推移していた。St.2は0.000～1.038mg/g [0.337mg/g]で、変動が大きい推移をしていたが、2007年11月頃から環境基準を下回らなくなった。St.3は0.000～0.261mg/g [0.021mg/g]で、ほぼSt.1と同様の推移をしていた。St.4は0.003～0.586mg/g [0.070mg/g]で、環境基準をかなり下回って推移していたが、2012年5月頃から上昇傾向であった。St.5は0.012～1.198mg/g [0.326mg/g]で変動が大きかったが、2006年8月頃から上昇傾向であった。St.6は0.010～1.202mg/g [0.298mg/g]で変動が大きかったが、2007年5月頃から上昇傾向であった。St.7は0.020～0.893mg/g [0.254mg/g]で変動が大きかったが、2007年8月頃から上昇傾向であった。St.8は0.009～1.899mg/g [0.447mg/g]で変動が大きかったが、2007年9月頃から上昇傾向であった。St.9は0.002～3.070mg/g [0.394mg/g]で変動が大きかったが、2007年9月頃から上昇傾向であった。St.10は0.010～2.522mg/g [0.518mg/g]で変動が大きかったが、2006年8月頃から上昇傾向であった。地点別月別では、5月より8月、8月より11月以降が高い傾向にあった。年別四半期別水平分布では、St.5およびSt.10が高い傾向にあり、11月が等濃度線の間隔が密になる傾向がみられていたが、2009年あたりから全月でその傾向が強かった。

4) COD

図11に地点別経月変化、図12に地点別月別変化、図13に年別四半期別水平分布を示した。

1980年5月～2018年2月において、St.1は0.00～13.19mg/g dry mud (以下、mg/gと省略) [3.32mg/g;

平均値、以下同じ]で環境基準値20mg/g³⁾(以下「環境基準」という)を下回って推移していたが、2005年5月頃から上昇傾向であった。St.2は0.70～44.62mg/g [18.25mg/g]で環境基準を下回って推移していたが、2005年3月頃から上昇傾向であった。St.3は0.00～15.57mg/g [2.63 mg/g]で環境基準を下回って推移していたが、2005年5月頃から上昇傾向であった。St.4は2.96～21.72 mg/g [12.08mg/g]で環境基準を殆ど下回って推移し、2007年8月頃までが上昇傾向であったが、それ以降は減少傾向であった。St.5が7.30～33.81 mg/g [19.63 mg/g], St.6が7.25～35.19mg/g [20.14mg/g], St.7が6.71～28.67mg/g [17.52mg/g], St.8が7.38～39.93mg/g [20.19mg/g], St.9が7.03～36.23mg/g [19.95mg/g], St.10が7.09～49.99mg/g [21.00mg/g]で、全ての定点で2000年11月頃から上昇し環境基準を超えることが多くなったが、2009年11月頃から減少し、殆どが環境基準を下回るようになった。地点別月別では、11月から1月が高く、中でも12月が最も高い傾向にあった。年別四半期別水平分布では、St.5、St.6、St.8、St.9およびSt.10が20 mg/gを超えることが多かった、そのうち、St.8、St.9もしくはSt.10のいずれかが最も高くなる傾向にあり、中でもSt.10の頻度が高かった。

調査海域においては、2009年以降CODが減少傾向のあり、かつ環境基準を下回っていることから当該海域の底質環境での易分解性有機物分解能には問題ないと推定された。

5) IL

図14に地点別経月変化、図15に地点別月別変化、図16に年別四半期別水平分布を示した。表4に、ILと大堰直下流量、観測所降水量との関係を示した。

1980年5月～2018年2月のILは、St.1が1.33～9.69% [3.367%], St.2が1.72～16.08% [9.24%], St.3が1.29～8.41% [3.12%], St.4が2.36～13.17% [7.20%], St.5が8.48～22.07% [12.08%], St.6が8.51～21.32% [12.19%], St.7が6.04～17.50% [11.09%], St.8が5.32～18.45% [11.37%], St.9が3.79～27.50% [12.00%], St.10が4.56～21.62% [11.81%]であった。2005年5月頃までは減少もしくは横這い傾向であったが、それ以降は上昇傾向となり、2009年8月以降はそれが顕著になっていた。地点別月別では、St.1およびSt.3で3月、St.2で5月、St.4で11月、St.5からSt.10で8月がもっとも高かった。年別四半期別水平分布では、St.5からSt.10で10%以上となることが多く、2006年度からSt.1

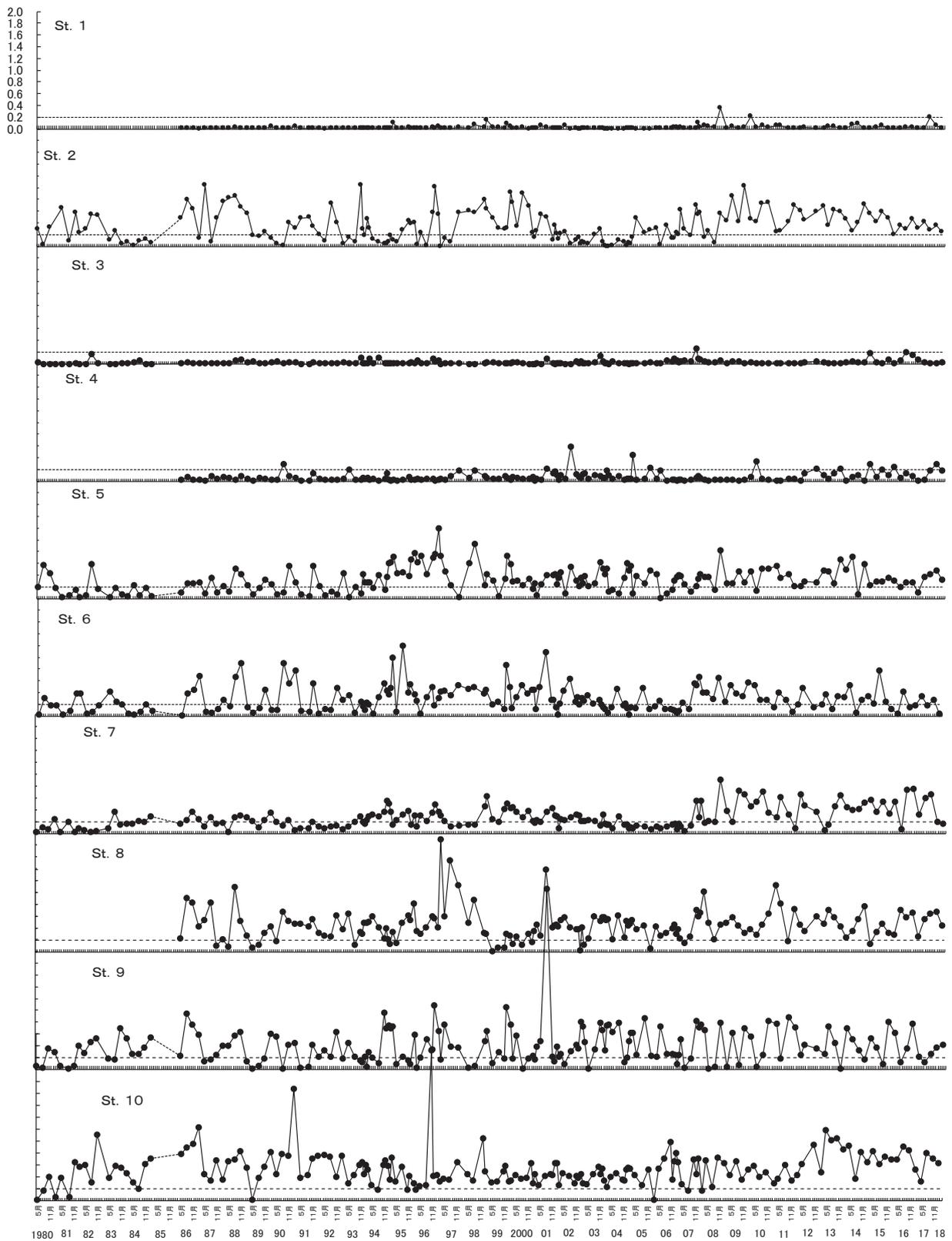


図8 AVSの地点別経時変化

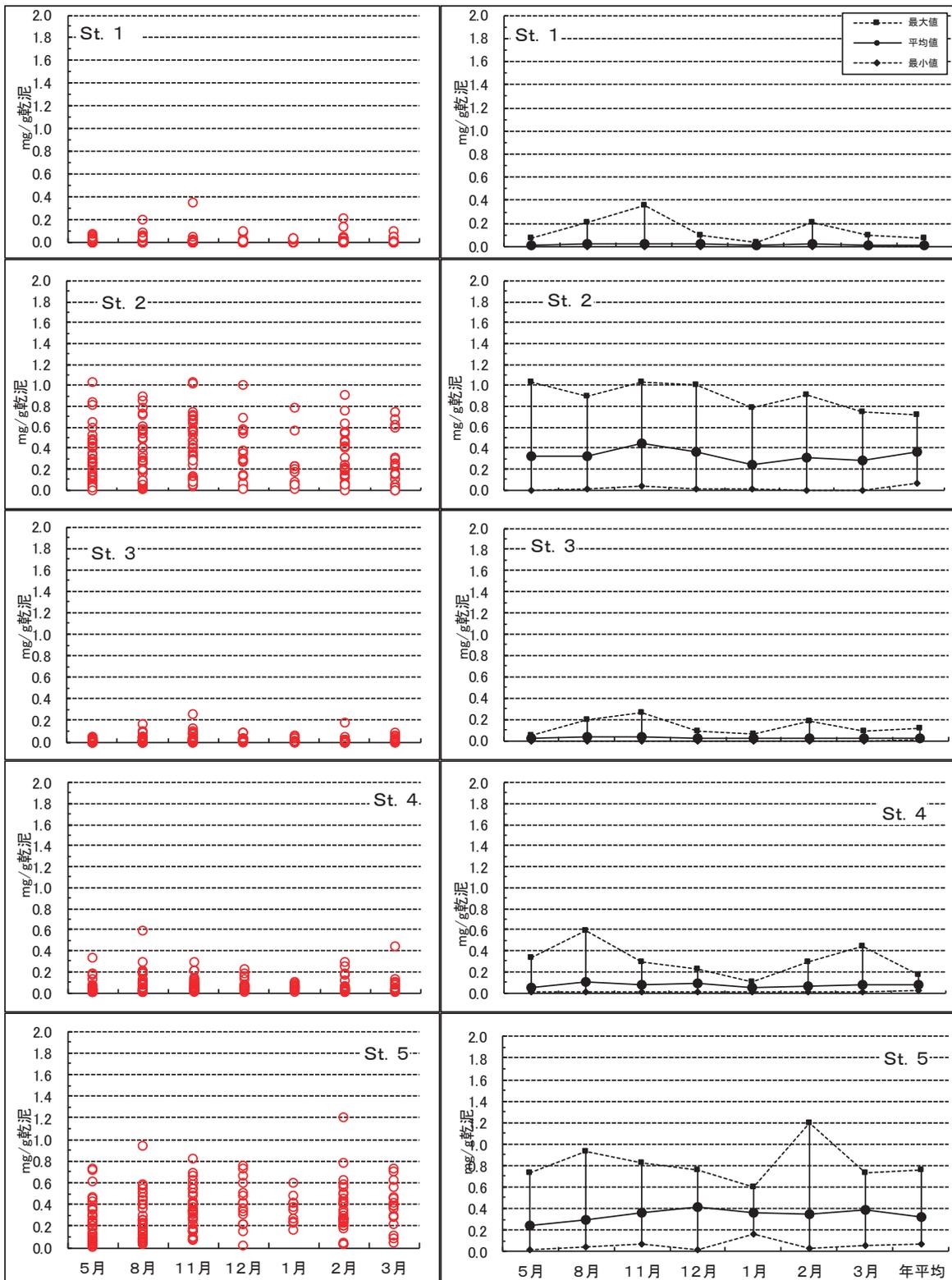


图9-1 地点别月别度数分布图 (AVS)

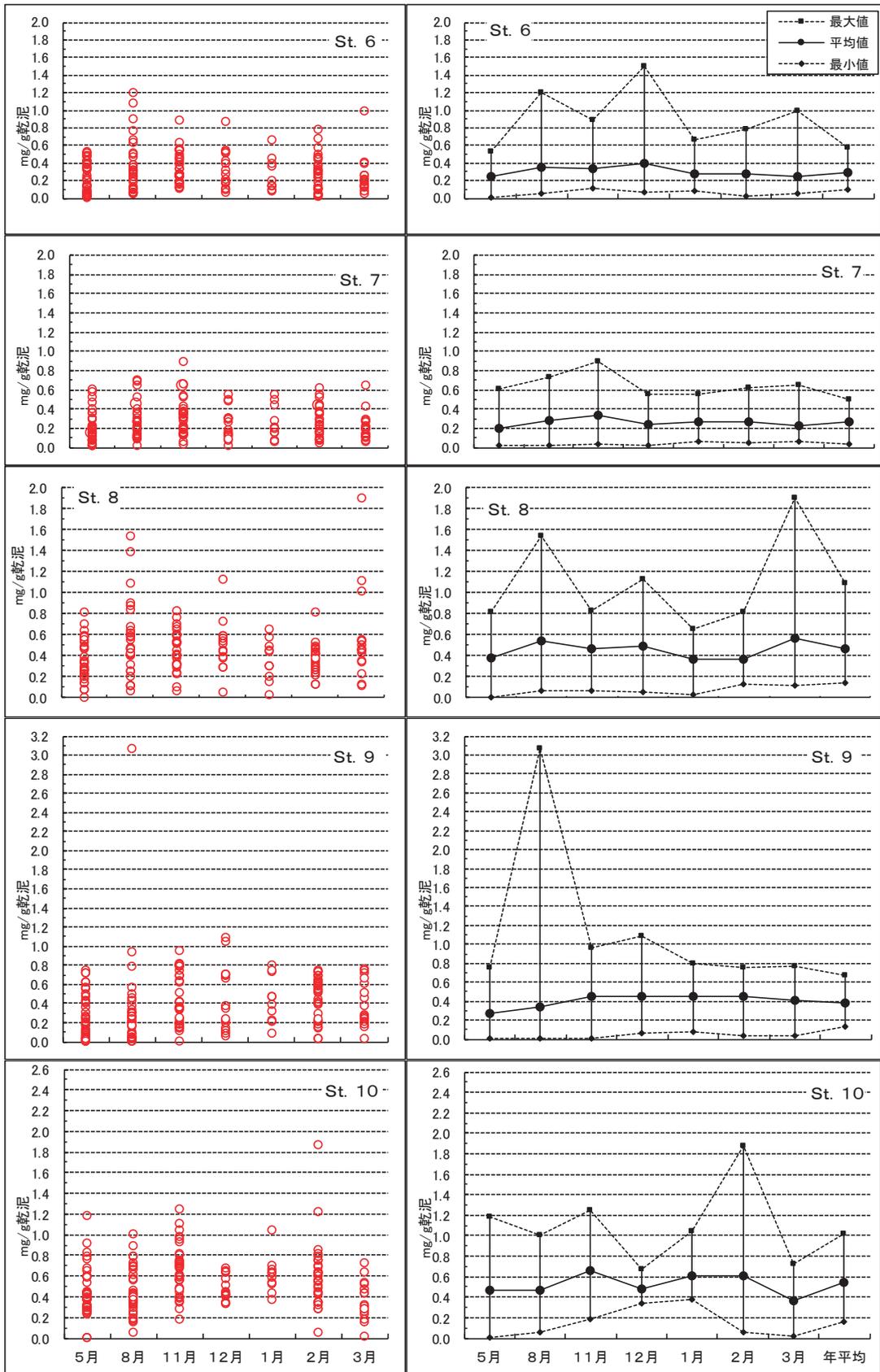


图9-2 地点别月别度数分布图 (AVS)

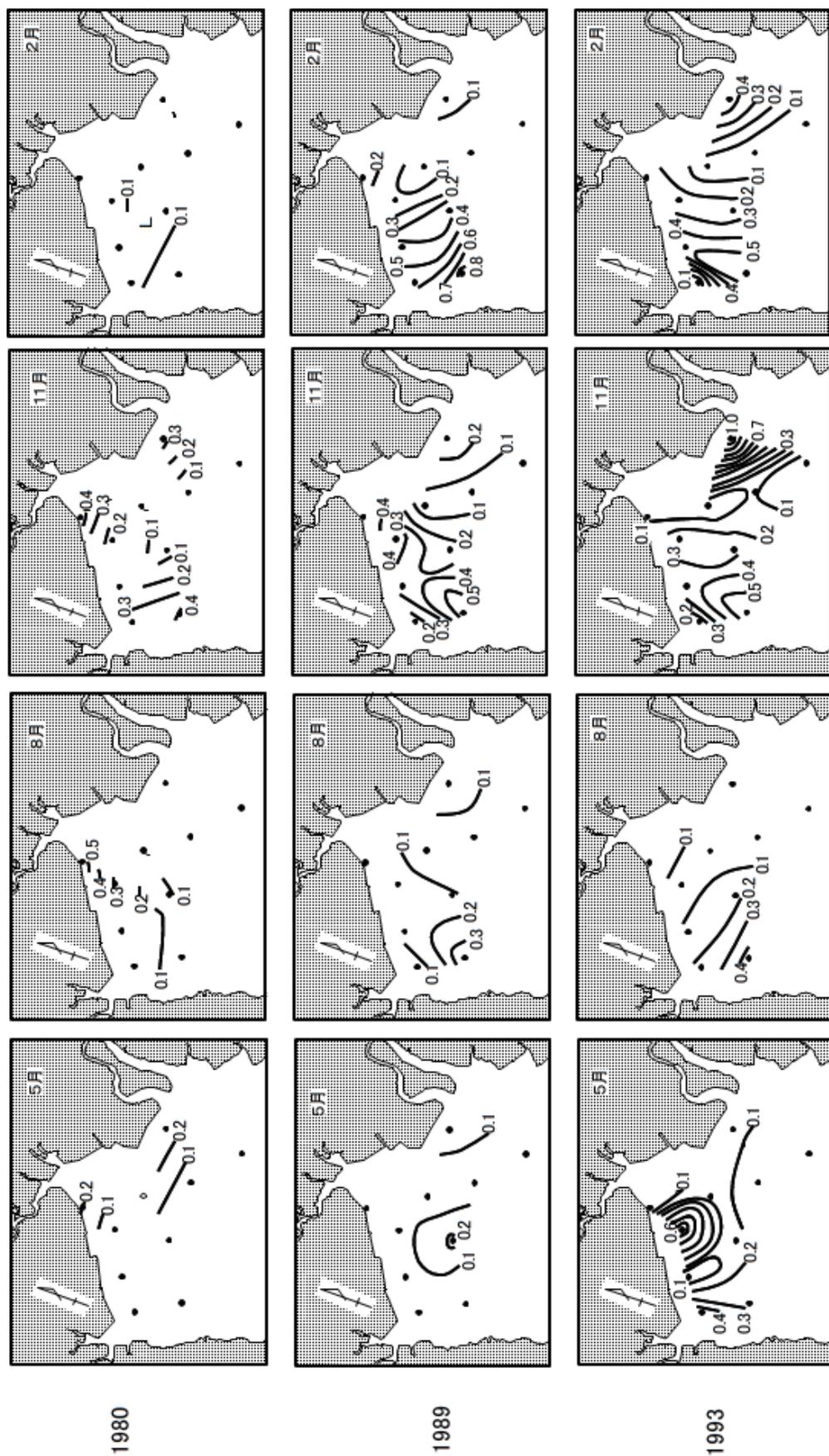


図10-1 AVSの年別月別水平分布 [単位: mg/g]

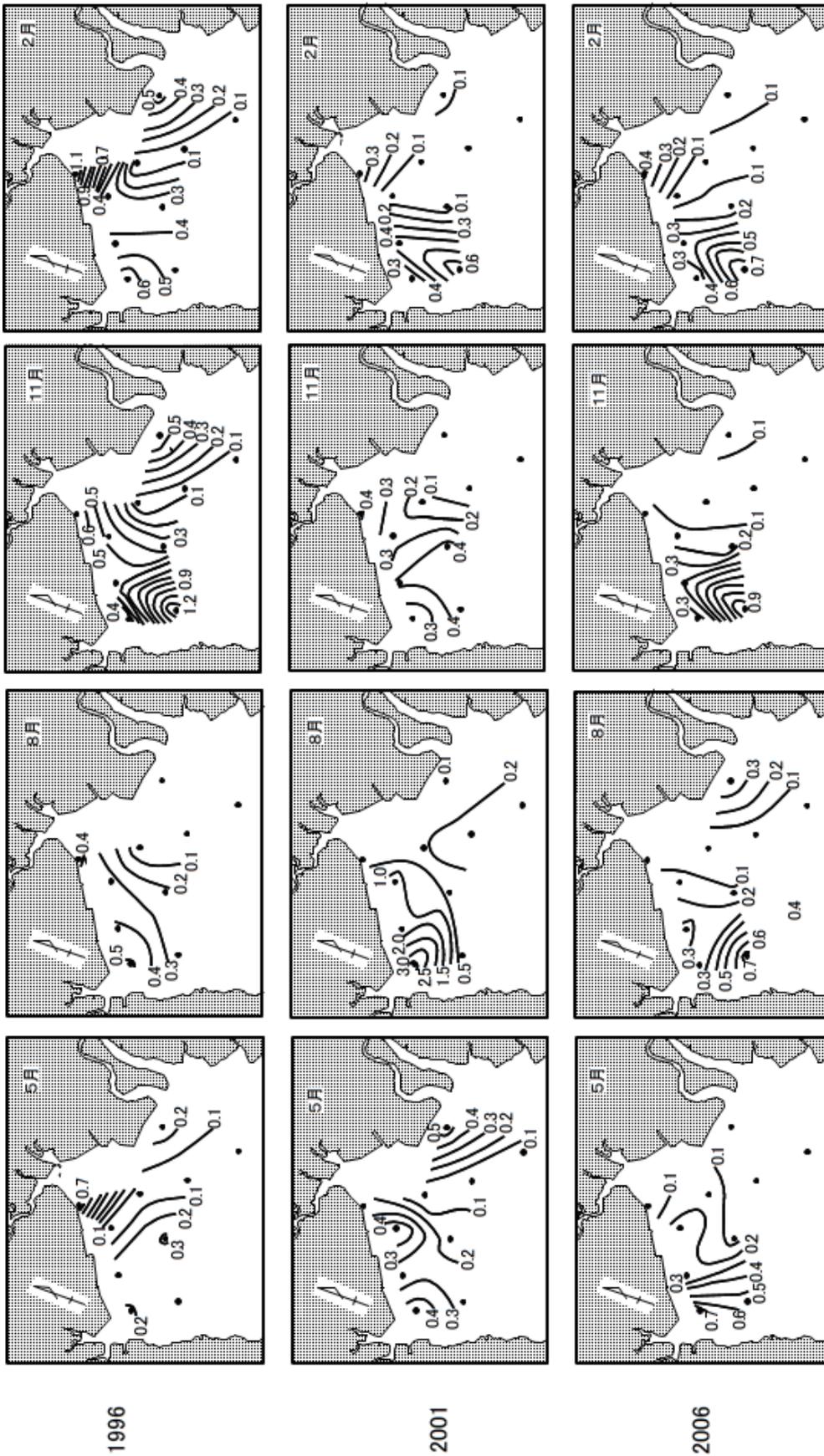


図10-2 AVSの年別月別水平分布 [単位: mg/g]

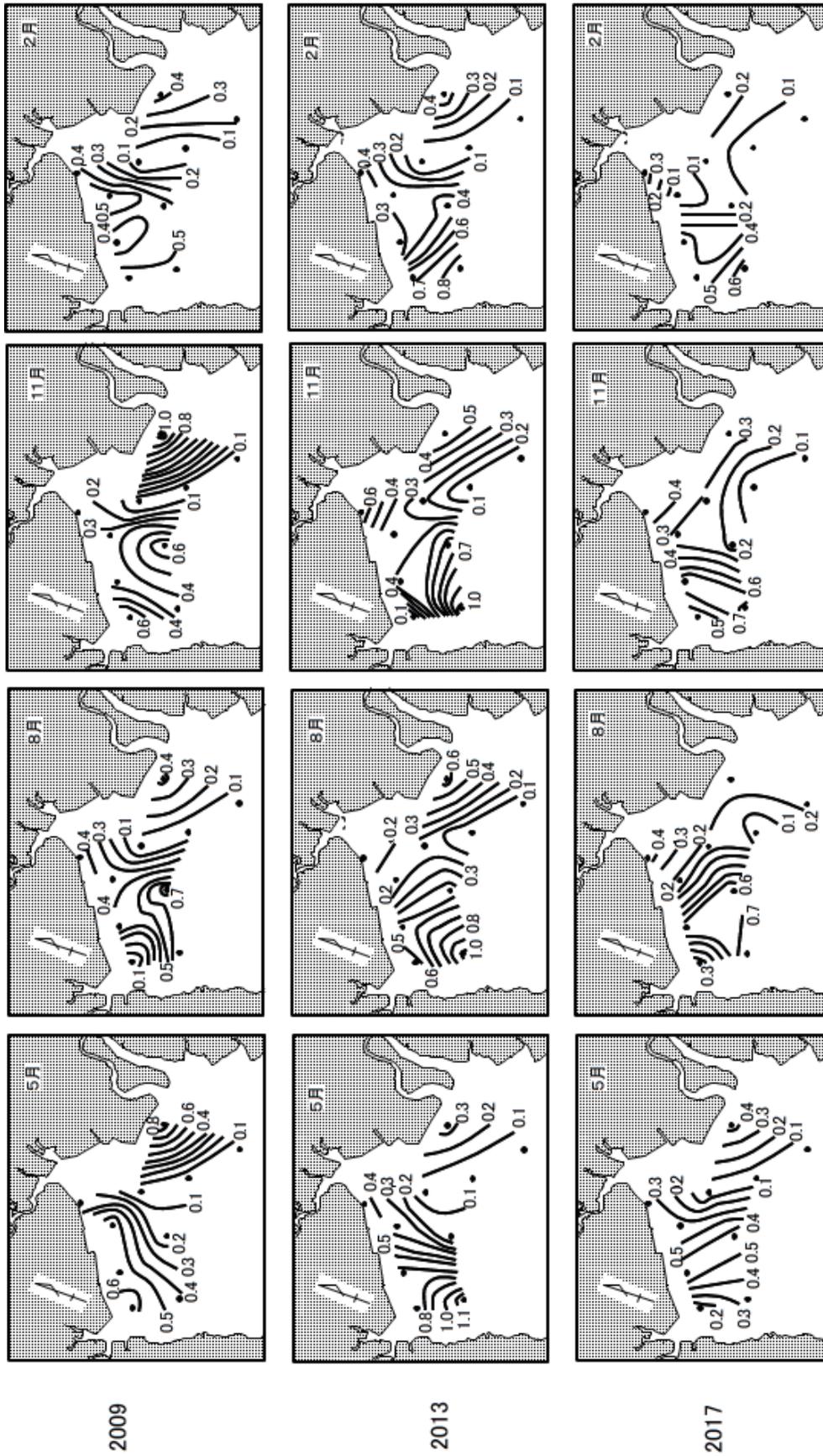


図10-3 AVSの年別月別水平分布 [単位: mg/g]

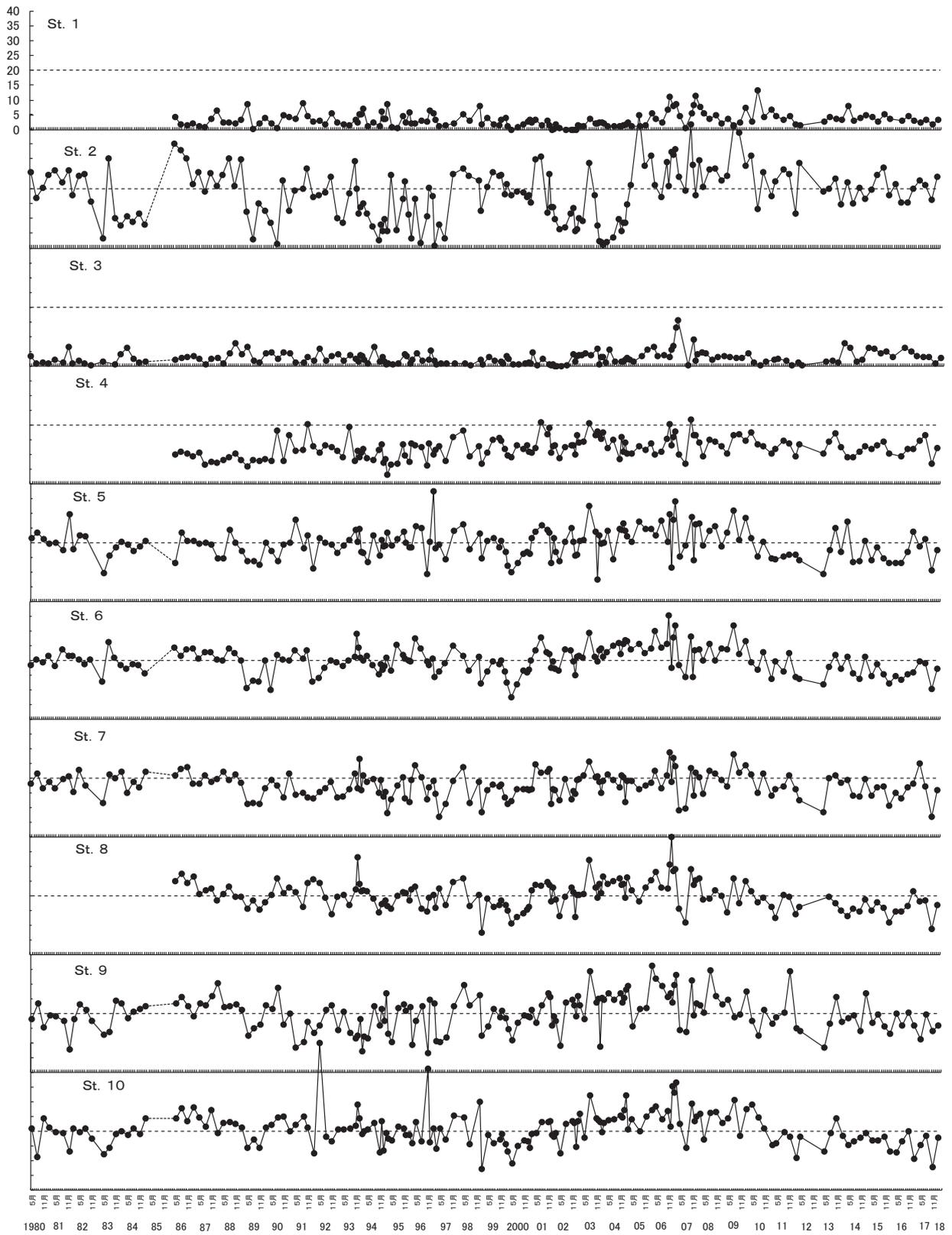


図11 CODの地点別経時変化

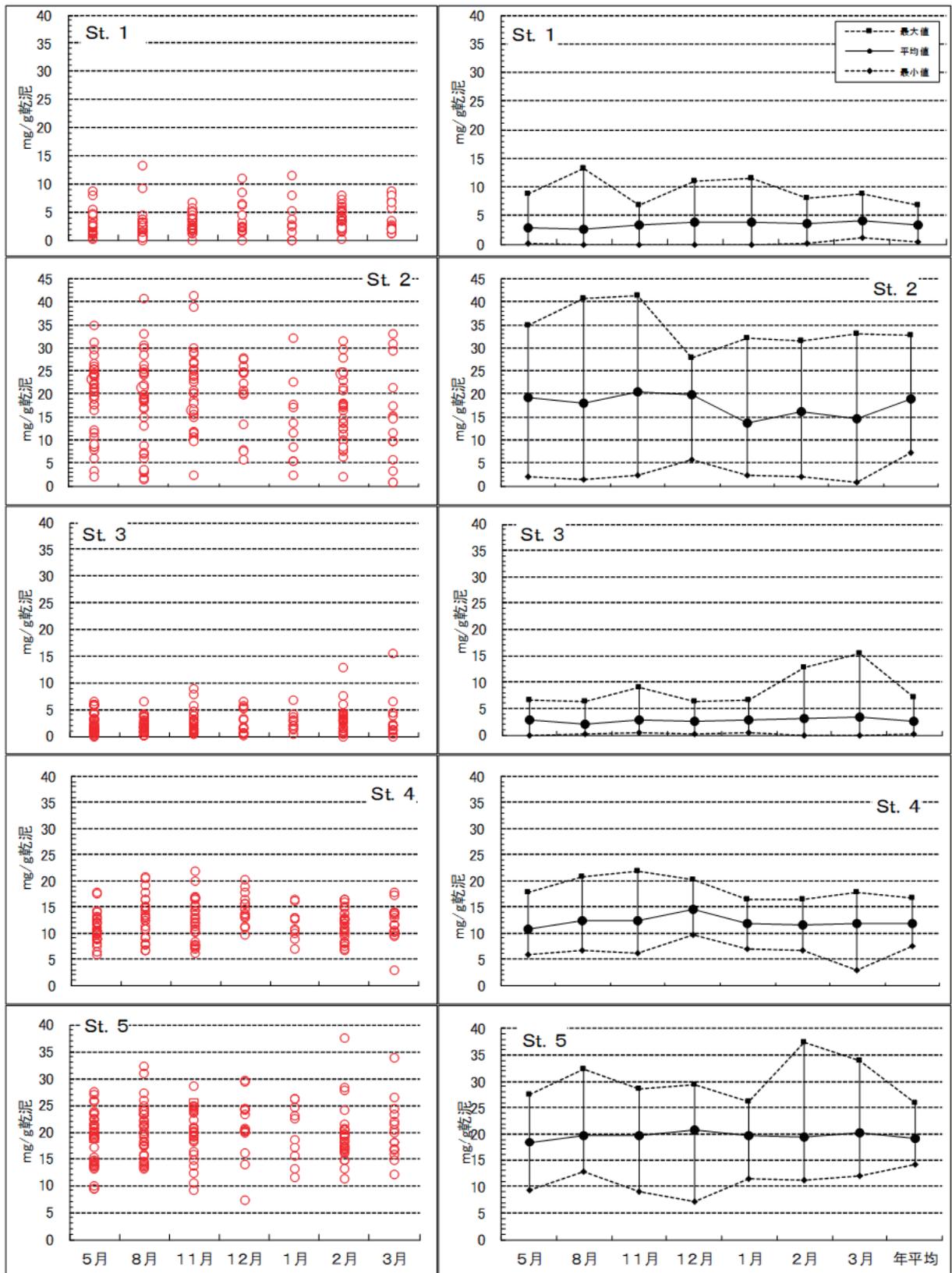


图12-1 地点别月别度数分布图 (COD)

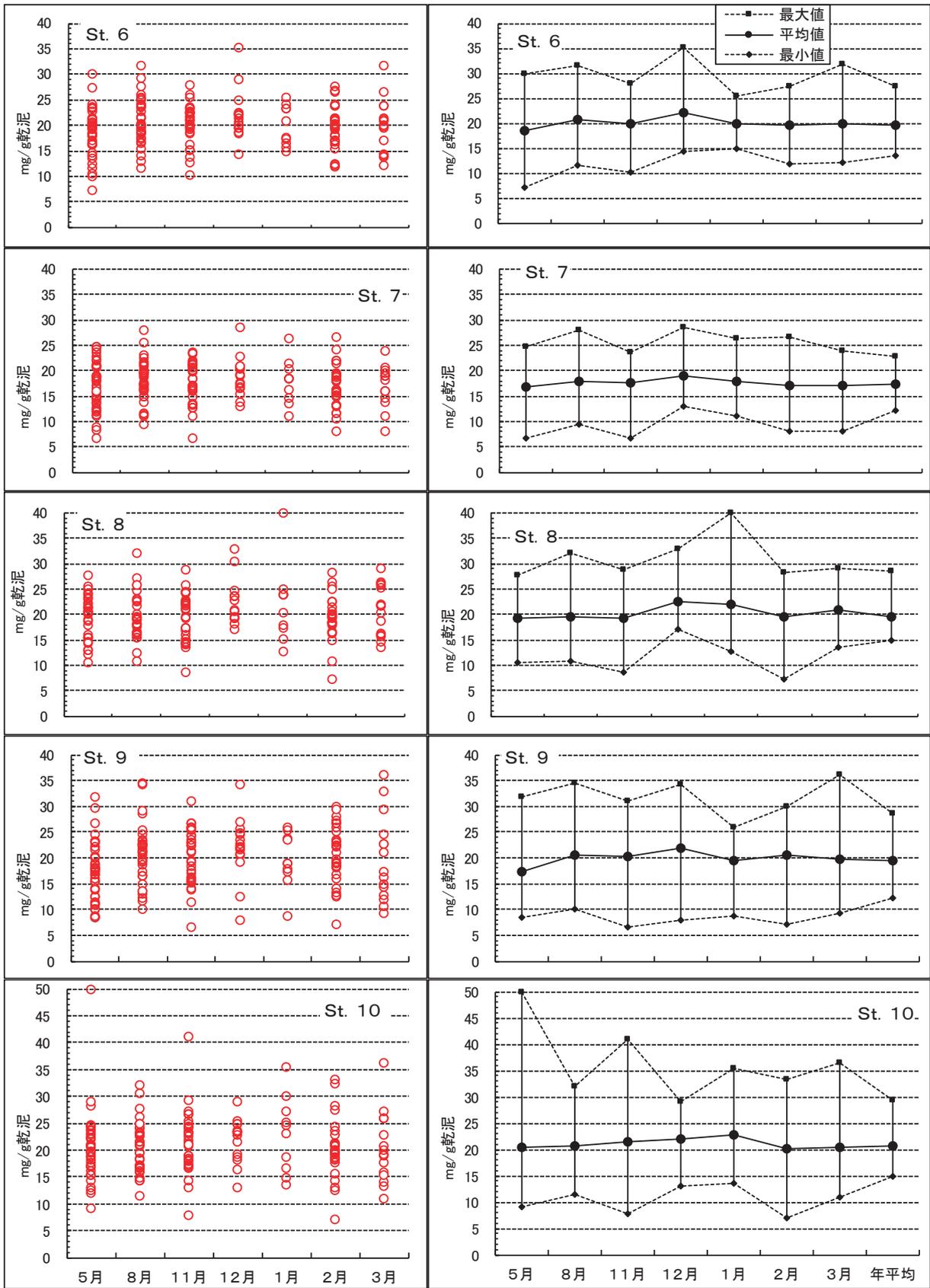


图12-2 地点别月别度数分布图 (COD)

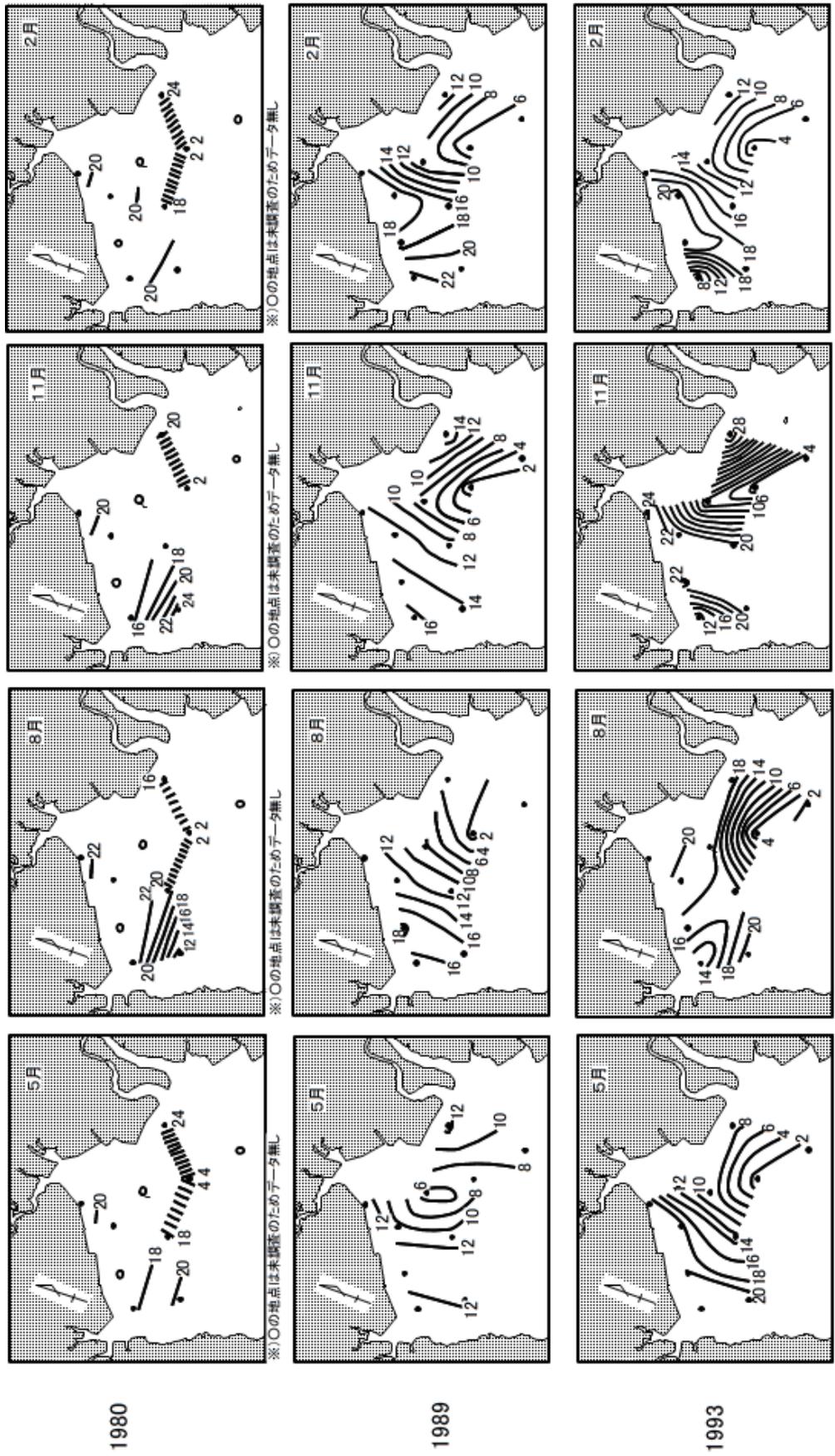


図13-1 CODの年別月別水平分布 [単位: mg/g]

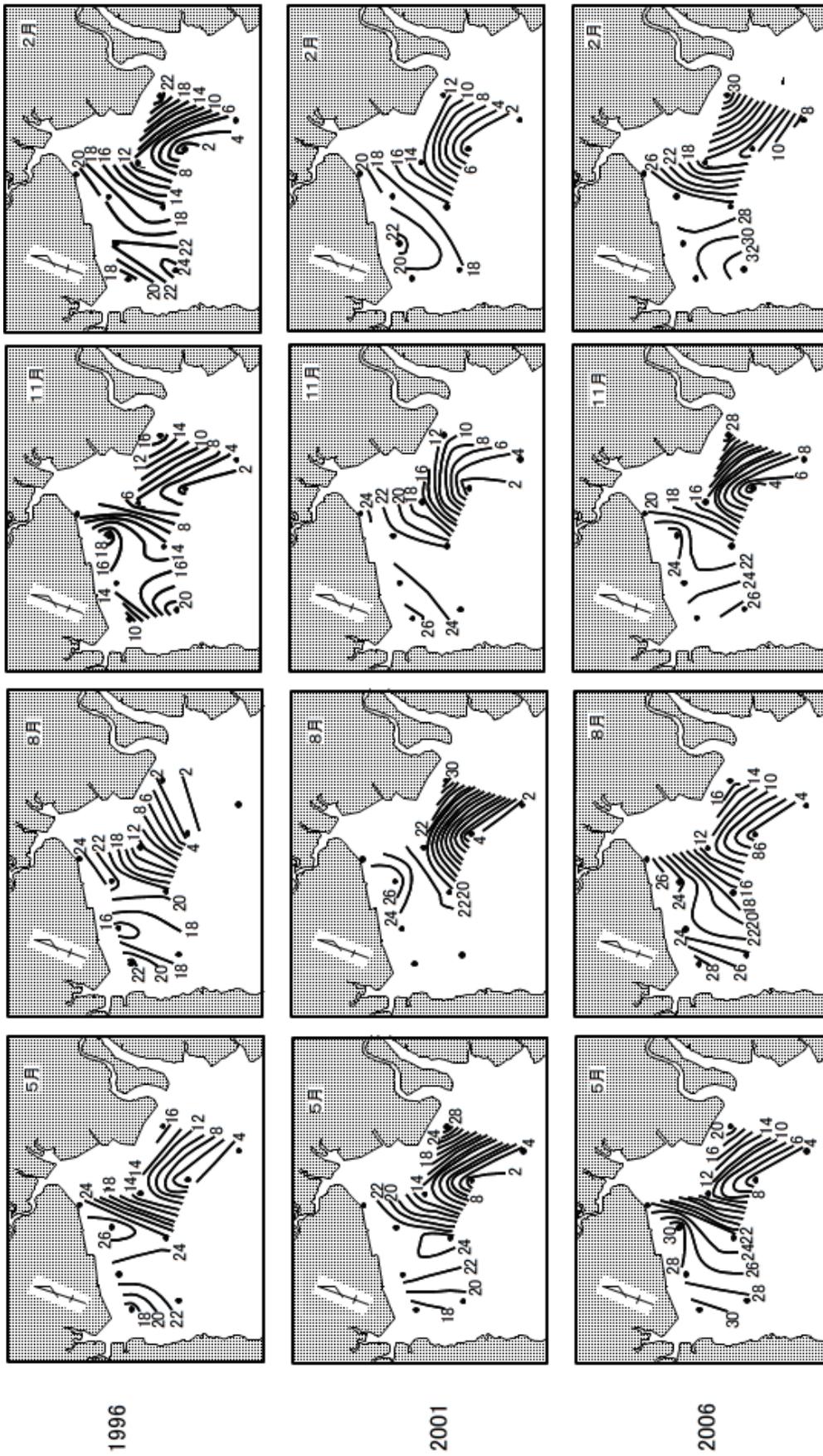


図13-2 CODの年別月別水分布 [単位: mg/g]

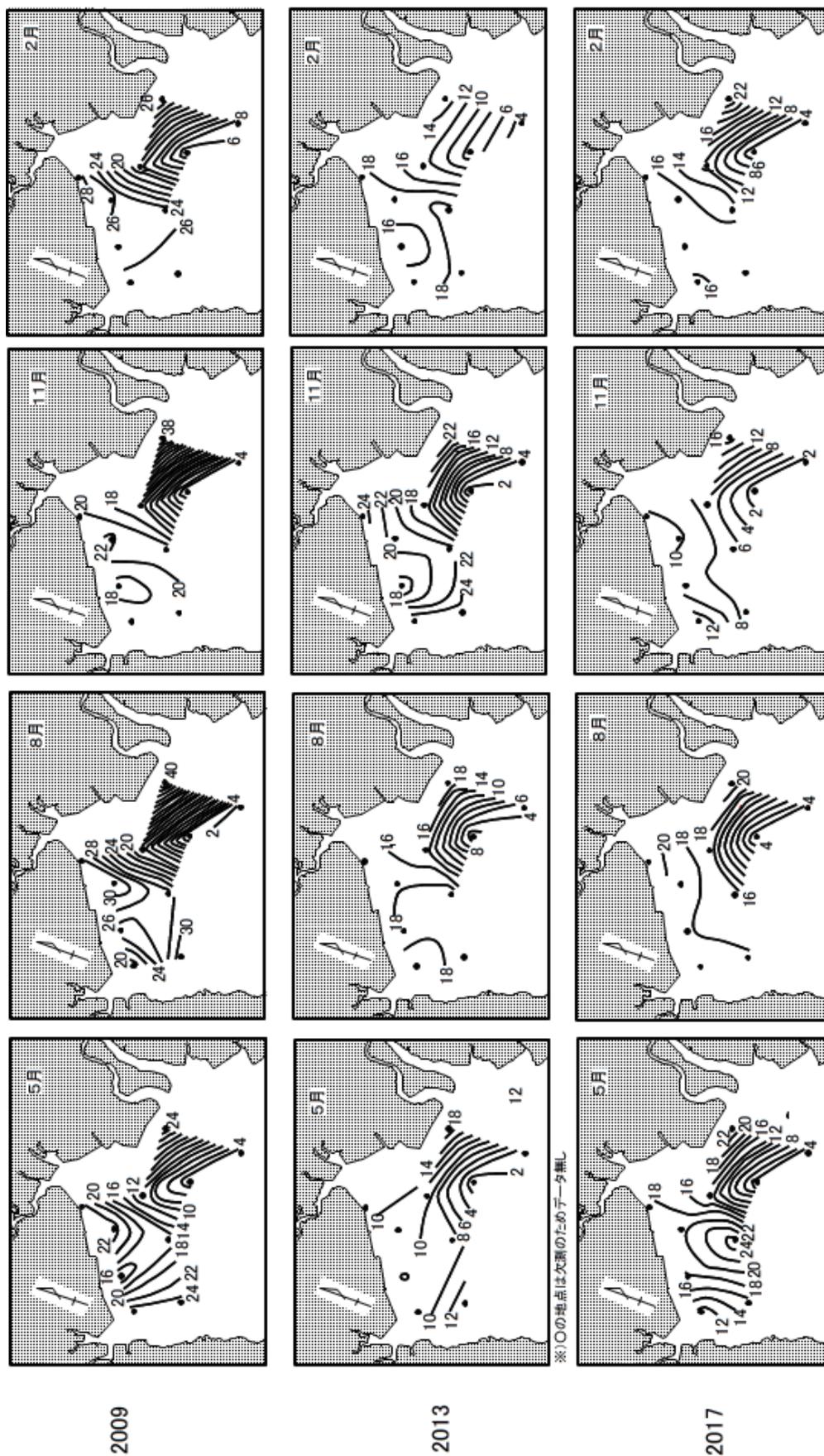


図13-3 CODの年別月別水平分布 [単位 : mg/g]

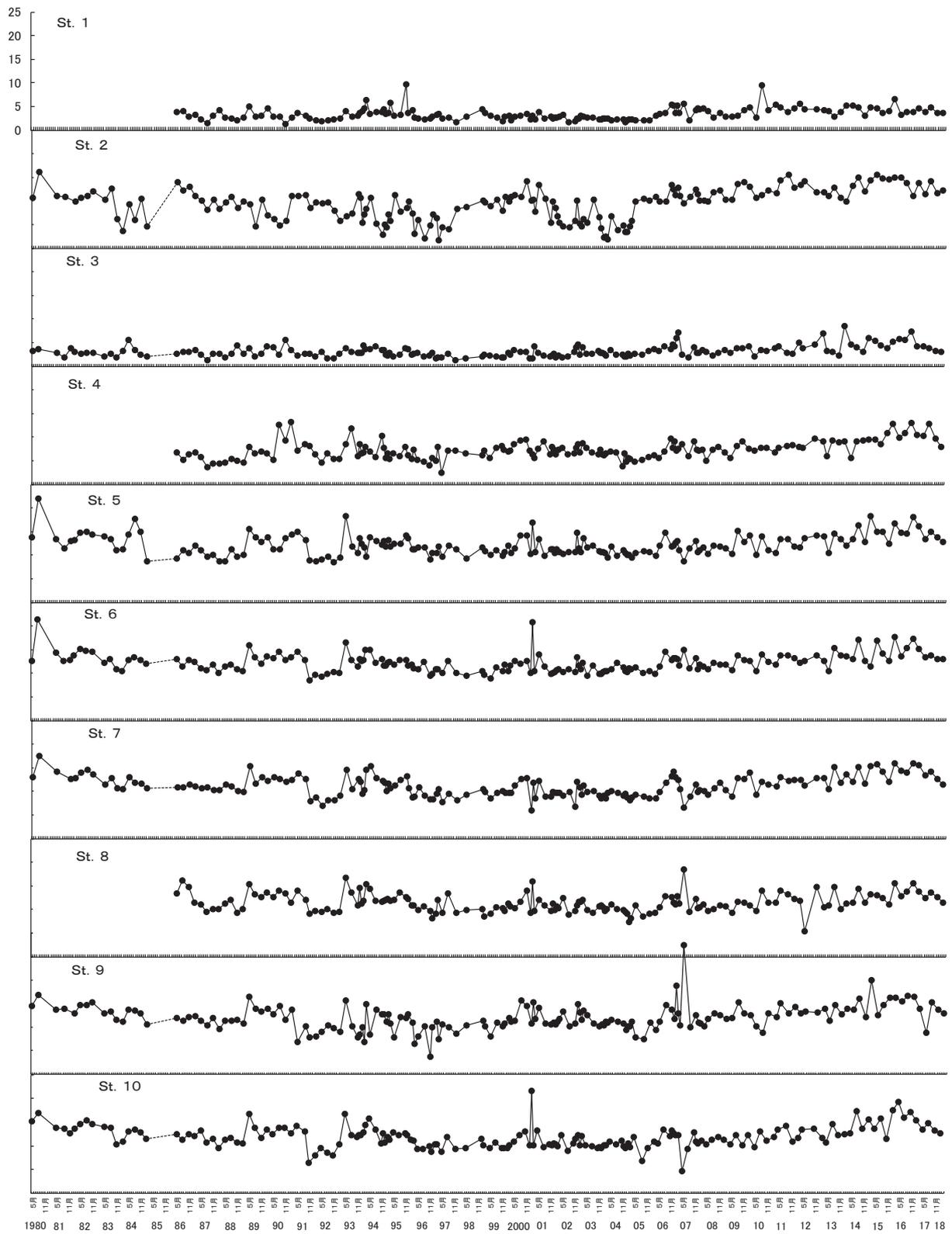


図14 ILの地点別経時変化

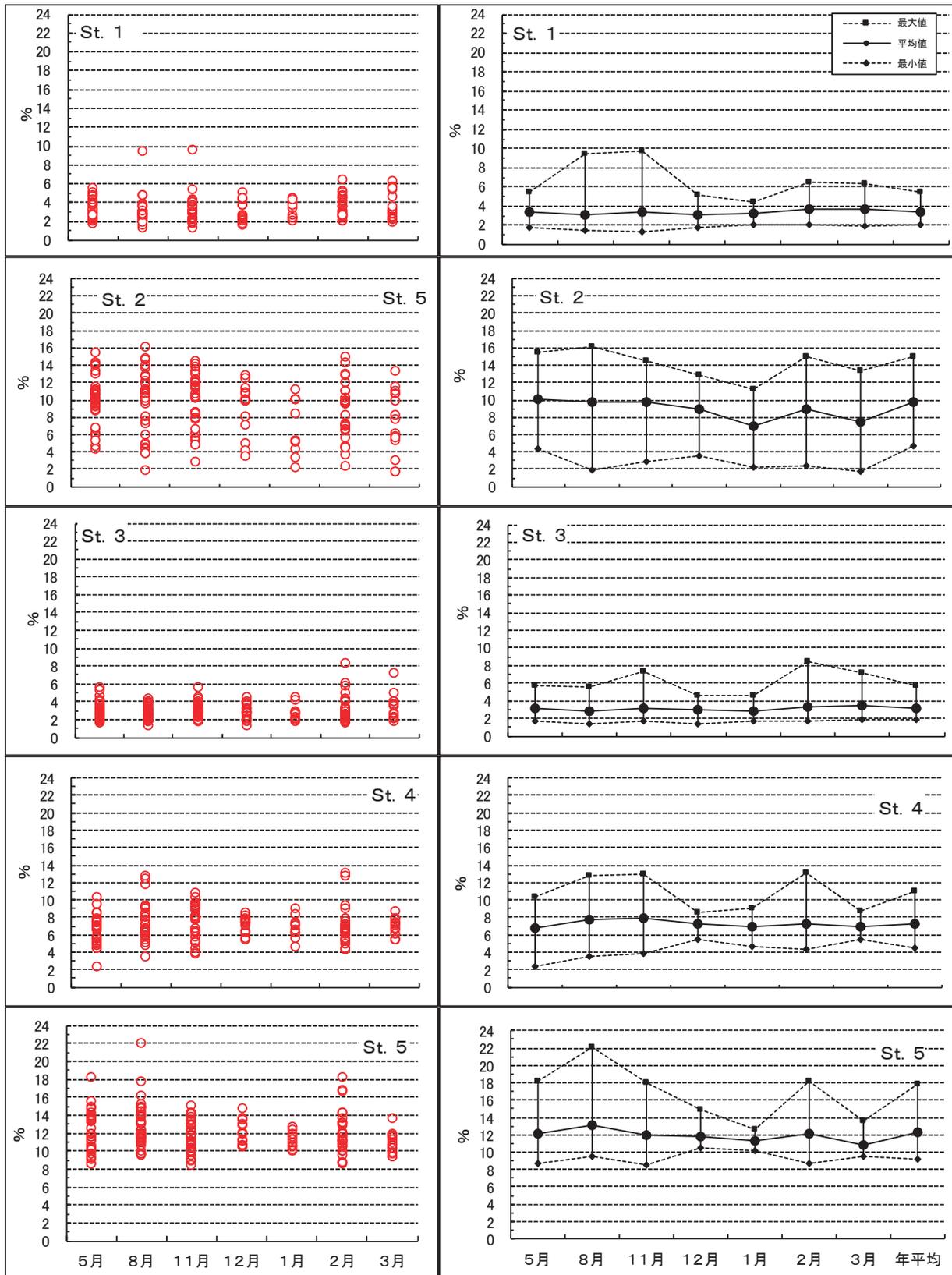


图15-1 地点别月别度数分布图 (IL)

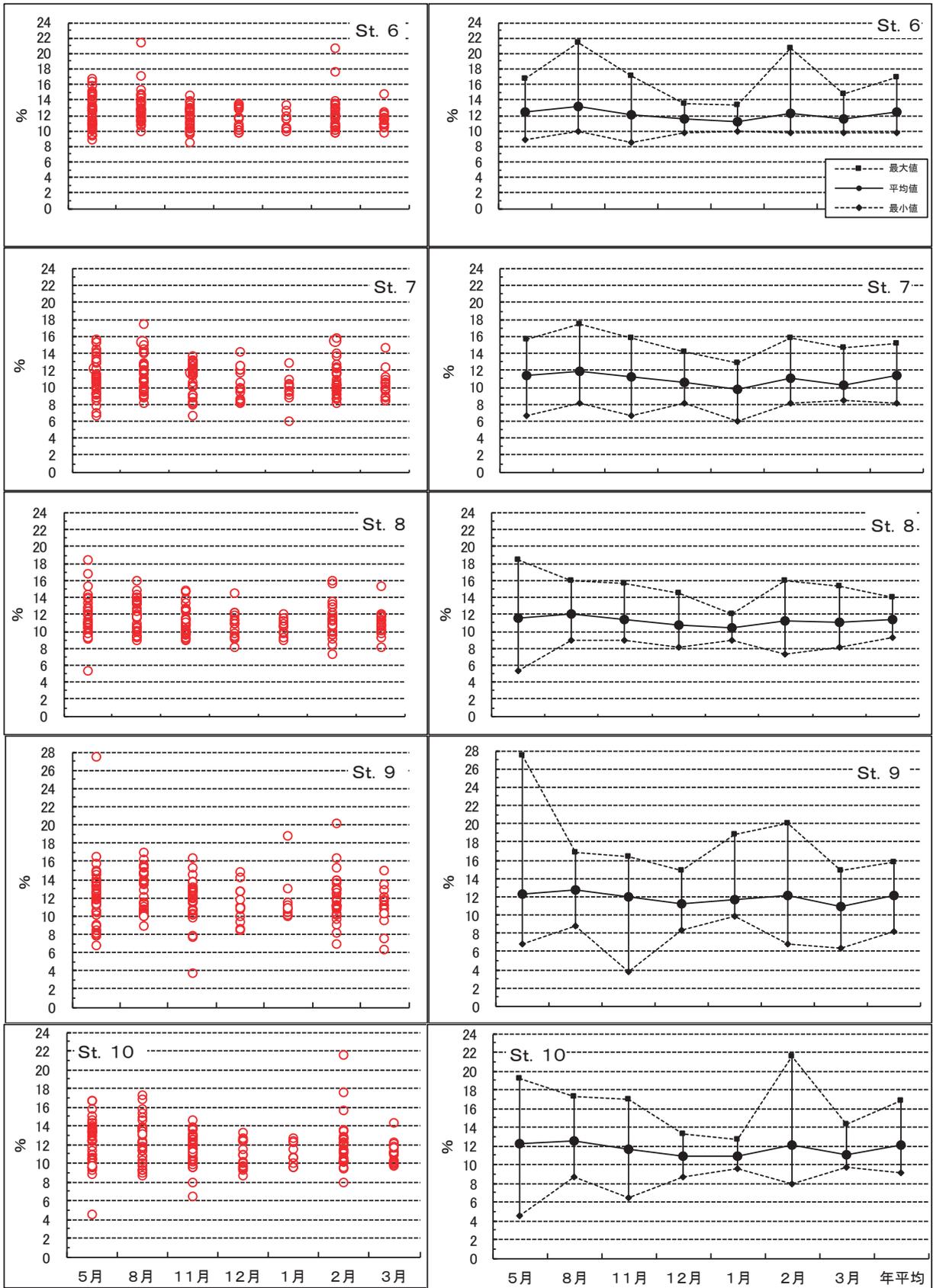


图15-2 地点别月别度数分布图 (IL)

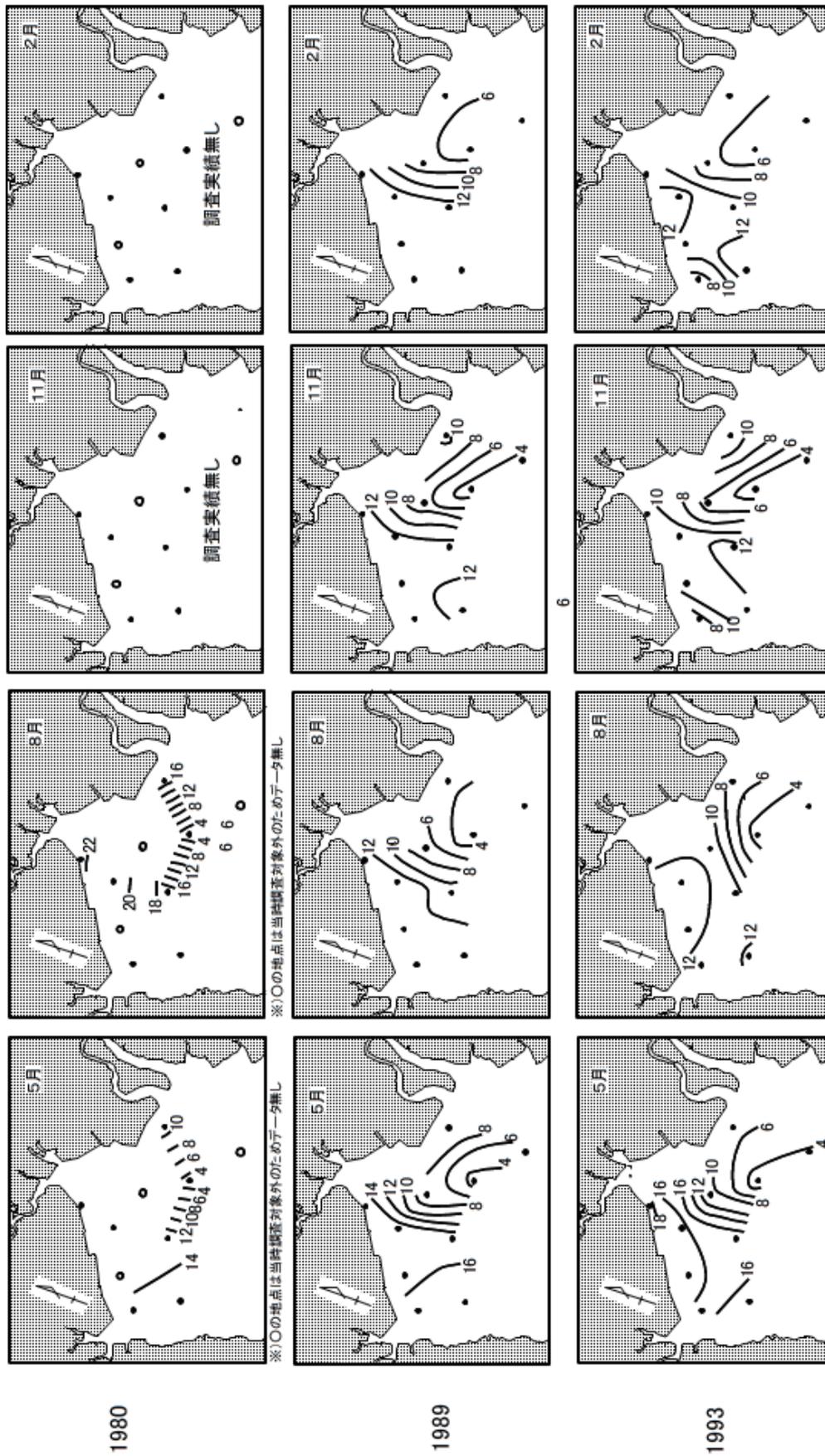


図16-1 IIの年別月別水水平分布 [単位: %]

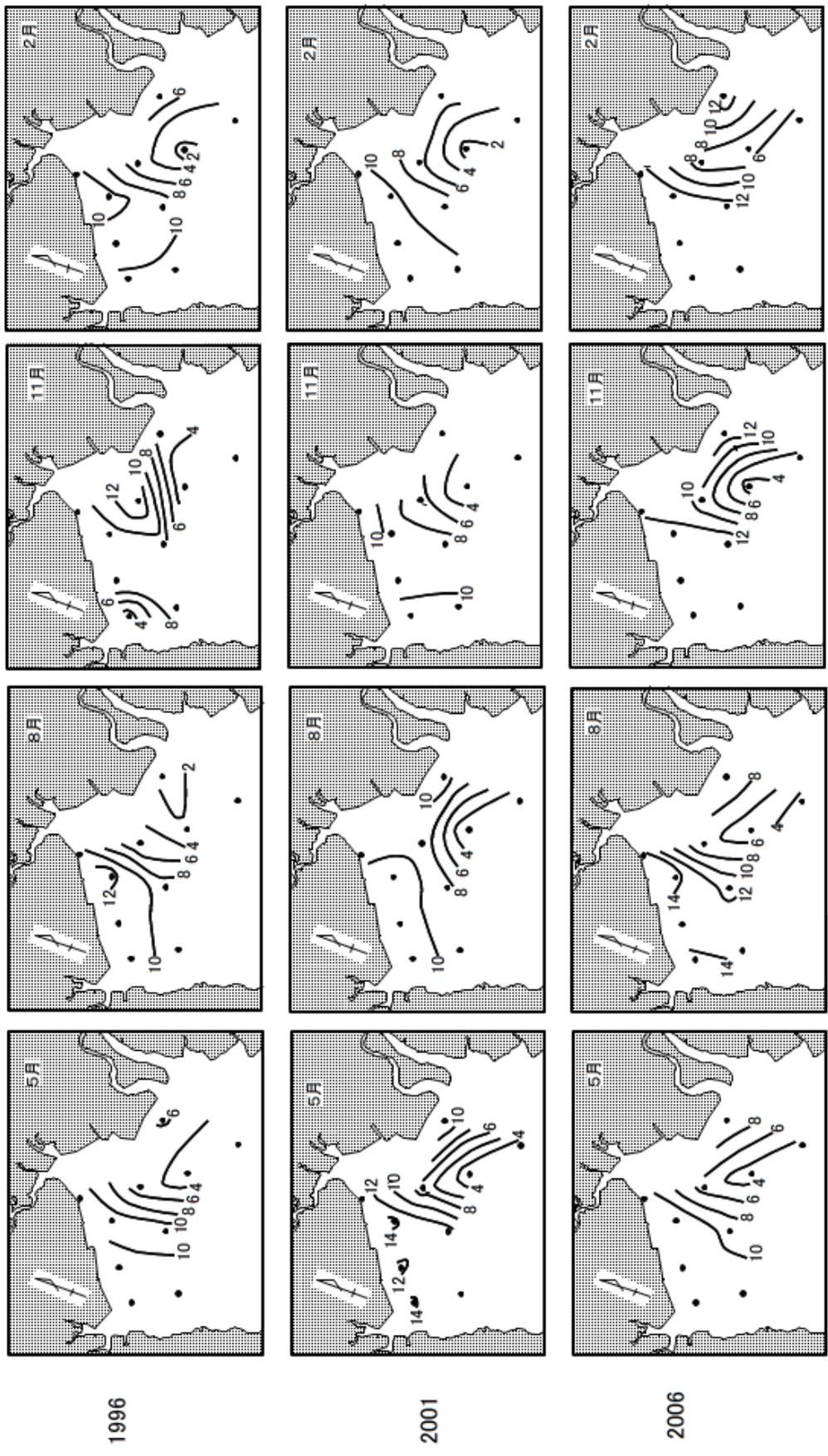


図16-2 IIの年別月別水水平分布 [単位: %]

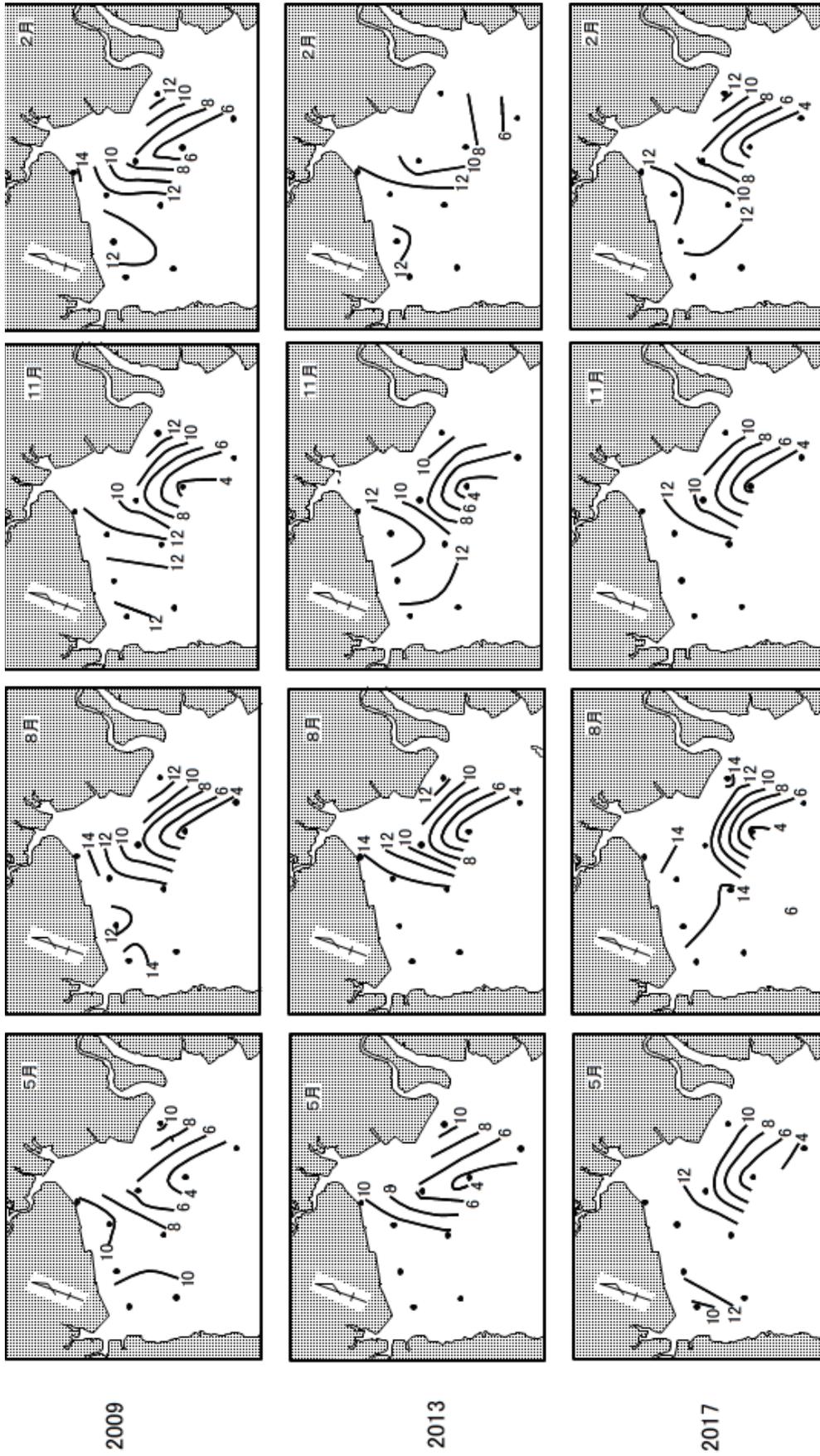


図16-3 ILの年別月別水平分布 [単位: %]

表4 ILと流量・降水量の相関

		St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9	St.10
前日		-0.087	0.018	-0.069	0.143	0.004	0.033	0.012	0.079	-0.053	0.033
筑後川 筑後大堰 直下流量 速報値 (日平均) (m ³ /秒)	過去1ヶ月累計	-0.155	0.062	-0.103	-0.028	0.079	0.093	0.033	0.079	-0.006	0.077
	過去2ヶ月累計	-0.101	0.081	-0.074	0.087	0.118	0.155	0.090	0.179	0.009	0.107
	過去3ヶ月累計	-0.122	0.118	-0.127	0.079	0.092	0.154	0.105	0.148	-0.017	0.096
	過去4ヶ月累計	-0.100	0.141	-0.128	0.086	0.073	0.145	0.110	0.144	-0.044	0.090
	過去5ヶ月累計	-0.020	0.184	-0.030	0.161	0.096	0.155	0.156	0.169	-0.044	0.101
	過去6ヶ月累計	-0.019	0.169	-0.029	0.149	0.047	0.091	0.108	0.129	-0.096	0.040
前日		-0.071	0.078	0.023	0.114	0.157	0.149	0.139	0.048	0.083	0.094
アメダス 久留米観測所 日降水量 (mm)	過去1ヶ月累計	-0.158	0.137	-0.116	0.013	0.143	0.152	0.090	0.118	0.062	0.119
	過去2ヶ月累計	-0.103	0.173	-0.068	0.133	0.258	0.271	0.201	0.222	0.112	0.202
	過去3ヶ月累計	-0.113	0.209	-0.107	0.132	0.242	0.268	0.203	0.216	0.116	0.195
	過去4ヶ月累計	-0.107	0.228	-0.130	0.137	0.219	0.260	0.202	0.204	0.077	0.186
	過去5ヶ月累計	-0.045	0.254	-0.066	0.210	0.223	0.253	0.217	0.209	0.079	0.181
	過去6ヶ月累計	-0.051	0.246	-0.067	0.211	0.175	0.195	0.166	0.180	0.024	0.124
前日		-0.069	0.089	0.029	0.125	0.135	0.145	0.119	0.048	0.079	0.105
アメダス 佐賀観測所 日降水量 (mm)	過去1ヶ月累計	-0.140	0.166	-0.091	0.059	0.151	0.167	0.106	0.122	0.080	0.154
	過去2ヶ月累計	-0.104	0.185	-0.064	0.147	0.246	0.273	0.201	0.219	0.116	0.207
	過去3ヶ月累計	-0.114	0.210	-0.109	0.141	0.225	0.255	0.200	0.209	0.115	0.194
	過去4ヶ月累計	-0.118	0.226	-0.132	0.157	0.205	0.244	0.196	0.196	0.072	0.185
	過去5ヶ月累計	-0.069	0.244	-0.065	0.218	0.202	0.229	0.202	0.196	0.068	0.174
	過去6ヶ月累計	-0.078	0.228	-0.072	0.210	0.146	0.159	0.142	0.162	0.007	0.105
前日		-0.055	0.114	0.011	0.082	0.150	0.165	0.144	0.043	0.096	0.104
アメダス 白石観測所 日降水量 (mm)	過去1ヶ月累計	-0.163	0.147	-0.136	0.095	0.139	0.175	0.118	0.160	0.064	0.158
	過去2ヶ月累計	-0.119	0.173	-0.080	0.173	0.248	0.277	0.207	0.241	0.112	0.212
	過去3ヶ月累計	-0.125	0.200	-0.130	0.170	0.226	0.253	0.204	0.222	0.099	0.192
	過去4ヶ月累計	-0.130	0.215	-0.155	0.172	0.210	0.243	0.197	0.203	0.064	0.184
	過去5ヶ月累計	-0.068	0.238	-0.085	0.242	0.211	0.236	0.205	0.212	0.056	0.179
	過去6ヶ月累計	-0.066	0.220	-0.087	0.234	0.166	0.172	0.156	0.186	0.001	0.120
前日		-0.047	0.118	0.008	0.055	0.146	0.170	0.153	0.029	0.100	0.108
アメダス 嬉野観測所 日合計降水量 (mm)	過去1ヶ月累計	-0.143	0.113	-0.114	0.065	0.105	0.132	0.082	0.133	0.040	0.134
	過去2ヶ月累計	-0.116	0.157	-0.072	0.141	0.231	0.265	0.191	0.233	0.119	0.201
	過去3ヶ月累計	-0.120	0.186	-0.118	0.128	0.213	0.240	0.182	0.216	0.106	0.179
	過去4ヶ月累計	-0.136	0.192	-0.144	0.123	0.189	0.221	0.174	0.198	0.063	0.168
	過去5ヶ月累計	-0.095	0.208	-0.089	0.183	0.179	0.203	0.173	0.197	0.048	0.148
	過去6ヶ月累計	-0.105	0.178	-0.101	0.171	0.130	0.145	0.113	0.167	-0.012	0.088

表5 各底質項目の相関マトリックス

	AVS	COD	IL	Mdφ	MC
AVS	—	0.554 **	0.502 **	0.535 **	0.583 **
COD	0.737 **	—	0.727 **	0.784 **	0.826 **
IL	0.756 **	0.854 **	—	0.821 **	0.881 **
Mdφ	0.764 **	0.850 **	0.894 **	—	0.955 **
MC	0.793 **	0.896 **	0.911 **	0.927 **	—

上段:単相関

下段:両対数相関

**:危険率1%で有意

でも10%以上となっていた。

ILと大堰直下流量、観測所降水量との関係では、St.1, St.3およびst.9以外の7定点で観測所降水量と弱い相関⁵⁾が確認され、St.2, St.4およびSt.7が調査日前5ヶ月間平均と、St.5, St.6, St.8およびSt.10が調査日前2ヶ月間平均と相関係数が高かった(表4)。このように観測所降水量との間に相関が確認されたことより、調査海域における難分解性有機物は、陸水起源物質が多いと推測された。

6) 各分析項目間の関係

各分析項目の関係について、表5に各項目間の単相関（上段）および両対数相関（下段）を示した。また、図17にMdφ、MC、AVS、CODおよびILの相互関係を示した。なお、すべての項目間において、危険率1%で有意であった。

(1) MdφとMC

MdφとMCとでは、単相関の相関係数が0.955、両対数相関の相関係数が0.927と、ともに極めて強い相関⁸⁾が確認された。単相関の相関係数が両対数相関のものより高かった。相互関係では、Mdφ6以下かつMC90%以下の範囲で収束傾向が強かったが、それ以外の範囲では分散傾向が強かった。全体的には直線関係(Excelによる近似式；以下同じ)が強かった。

(2) MdφとAVS

MdφとAVSでは、単相関の相関係数が0.535、両対数相関の相関係数が0.764と、両対数相関で強い相関⁸⁾が確認された。両対数相関の相関係数が単相関のものより高かった。相互関係では、Mdφ5付近を境に、それより下では収束傾向が強かったが、それより上では分散傾向が強かった。Mdφ5付近から上ではAVSが蓄積・増加する傾向にあった。全体的には累乗曲線関係が強かった。

(3) MdφとCOD

MdφとCODでは、単相関の相関係数が0.784、両対数相関の相関係数が0.850と、ともに強い相関⁸⁾が確認された。両対数相関の相関係数が単相関のものより高かった。相互関係では分散傾向が強く、Mdφ5より上でその傾向がさらに強く、CODが蓄積・増加する傾向にあった。全体的には対数曲線関係が強かった。

(4) MdφとIL

MdφとILでは、単相関の相関係数が0.821、両対数相関の相関係数が0.894と、ともに極めて強い相関⁸⁾が確認された。両対数相関の相関係数が単相関のものより高かった。相互関係では、上記「(3)」と同様に分散傾向が強く、Mdφ5より上でその傾向がさらに強く、ILが蓄積・増加する傾向にあった。全体的には累乗曲線関係が強かった。

(5) MCとAVS

MCとAVSでは、単相関の相関係数が0.583、両対数相関の相関係数が0.793と、両対数相関で強い相関⁸⁾が確認された。相互関係ではMC65%付近を境にそれより下では収束傾向が強かったが、それより上では分散傾向が強く、AVSが蓄積・増加する傾向にあった。全

体的には指数曲線関係が強かった。

(6) MCとCOD

MCとCODでは、単相関の相関係数が0.826、両対数相関の相関係数が0.896と、ともに強い相関⁸⁾が確認された。両対数相関の相関係数が単相関のものより高かった。相互関係では、MC25%あたりを境にそれより下では収束傾向が強かったが、それより上では分散傾向が強く、MC80%以上ではその傾向が非常に強く、CODが蓄積・増加する傾向にあった。全体的には累乗曲線関係が強かった。

(7) MCとIL

MCとILでは、単相関の相関係数が0.881と強い相関が確認され、両対数相関の相関係数が0.911と、極めて強い相関⁸⁾が確認された。相互関係では、上記「(6)」と同様に、MC25%あたりを境にそれより下では収束傾向が強かったが、それより上では分散傾向が強く、ILが蓄積・増加する傾向にあった。さらに、MC80%以上ではその傾向が非常に強かった。全体的には指数曲線関係が強かった。

(8) AVSとCOD

AVSとCODでは、単相関の相関係数が0.554、両対数相関の相関係数が0.737と、両対数相関で強い相関⁸⁾が確認された。相互関係では、COD7.0mg/g付近を境にそれより下では収束傾向が強かったが、それより上では分散傾向が強く、AVSが蓄積・増加する傾向にあった。全体的には累乗曲線関係が強かった。

(9) AVSとIL

AVSとILでは、単相関の相関係数が0.504、両対数相関の相関係数が0.756と、両対数相関で強い相関⁸⁾が確認された。相互関係では、IL7.5%あたりを境に、それより下では収束傾向が強かったが、それより上では分散傾向が強く、AVSが蓄積・増加する傾向にあった。全体的には累乗曲線関係が強かった。

(10) CODとIL

CODとILでは、単相関の相関係数が0.727、両対数相関の相関係数が0.854と、ともに強い相関⁸⁾が確認された。両対数相関の相関係数が単相関のものより高かった。相互関係では、C/I=2ラインの下部での分布割合が高かった。全体的には累乗曲線関係が強かった。C/Iの地点別経時変化(図18)では、2000年11月頃からC/Iが2を超える定点が増えていたが、2009年8～9月頃からC/I=2を下回るようになり、2014年8月頃からC/I=1前後で推移する定点が増えていた。これは、調査海域のCODが減少傾向にある一方で、ILが上昇傾向にあ

るためと推測され、調査海域の自浄作用⁵⁾が高いことが示唆された。

3. 合成指標

図 19 に地点別経時変化を、図 20 に合成指標③と合成指標③算出に用いた底質項目との相互関係を示した。図 21 に合成指標④の地点別経時変化を、図 22 に合成指標④と合成指標④算出に用いた底質項目との相互関係を示した。表 6 に各合成指標とそれぞれの合成指標の算出の基となった底質項目間の単相関と、底質項目のみを対数変換した片対数相関の相関係数を示した。すべての項目間において、危険率 1% で有意であった。

1) 合成指標③

地点別経時変化については、St.1 および St.3 が合成指標「-2」付近を横這いで推移した。St.2 が 2005 年 2 月頃まで大きく変動しながら推移していたが、2005 年 5 月以降は合成指標「0」以上で推移していた。St.4 が合成指標「-1 ~ 0」を横這いで推移したが、2005 年 5 月以降上昇傾向となり 2015 年 5 月以降は合成指標「0」付近で推移していた。St.5 から St.10 は概ね合成指標「0 ~ +1」を横這いで推移した。全定点において、8 月より他月の合成指標が高くなることが多々あった。

合成指標③と合成指標③の算出の基となった底質項目との相関については、合成指標③と MC で、単相関および片対数相関ともに極めて強い相関⁸⁾がみられたが、単相関の方が高く、両者には直線関係が強かった。合成指標③と A V S で、単相関および片対数相関ともに強い相関⁸⁾がみられたが、片対数相関の方が高く、両者には指数曲線関係が強かった。合成指標③と C O D で、単相関に極めて強い相関がみられ、片対数相関に強い相関がみられ、両者には直線関係が強かった。また、MC90%

以上の場合すべて「0」を上回っており、MC90%を超えている調査海域の定点はすべて「0」以上となる傾向にあった。ただし、調査海域を起因した貧酸素水塊の発生はこれまで確認されていない。

2) 合成指標④

地点別経時変化については、St.1 および St.3 が合成指標「-2 ~ -1」を横這いで推移していたが、2005 年 8 月以降は上昇傾向であった。St.2 が 2005 年 2 月頃まで大きく変動しながら推移していたが、2005 年 5 月以降は合成指標「0」以上で推移していた。St.4 が合成指標「-1 ~ 0」を横這いで推移したが、2014 年 8 月頃から合成指標「0」以上で推移していた。St.5 から St.10 は概ね合成指標「0 ~ +2」を横這いで推移し、2005 年 8 月以降は上昇傾向であった。全定点において、8 月より他月の合成指標が高くなることが多々あった。

合成指標④と合成指標④の算出の基となった底質項目との相関については、合成指標④と MC で、単相関および片対数相関ともに極めて強い相関⁸⁾がみられたが、単相関の方が高く、両者には直線関係が強かった。合成指標④と A V S で、単相関および片対数相関ともに強い相関⁸⁾がみられたが、片対数相関の方が高く、両者には指数曲線関係が強かった。合成指標④と I L で、単相関および片対数相関ともに極めて強い相関⁸⁾がみられたが、片対数相関の方が高く、両者には多項曲線関係が強かった。

また、合成指標③と同様に、MC90%以上の場合はすべて「0」を上回っており、MC90%を超えている調査海域の定点はすべて「0」以上となる傾向にあった。ただし、調査海域を起因した貧酸素水塊の発生はこれまで確認されていない。

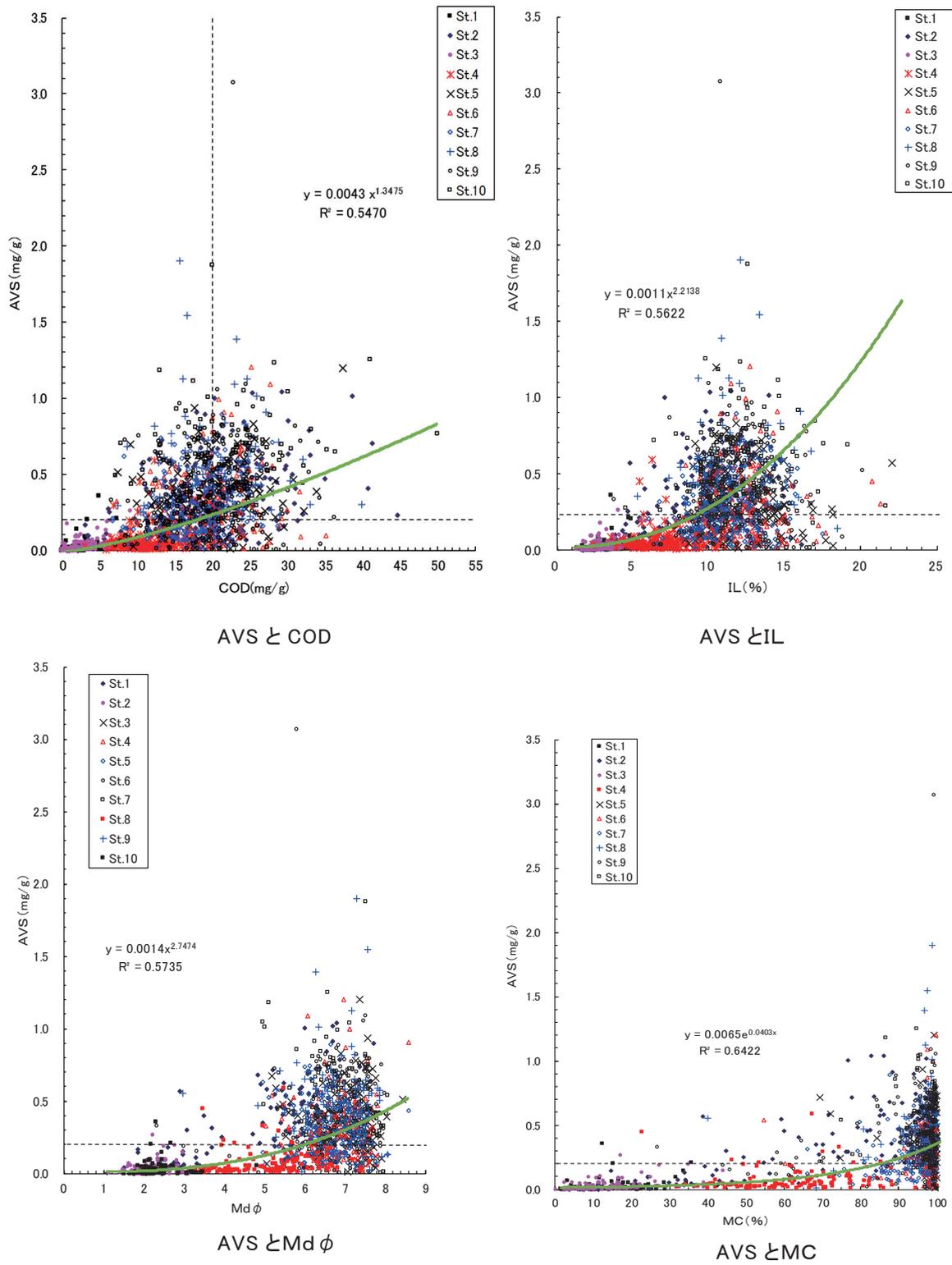
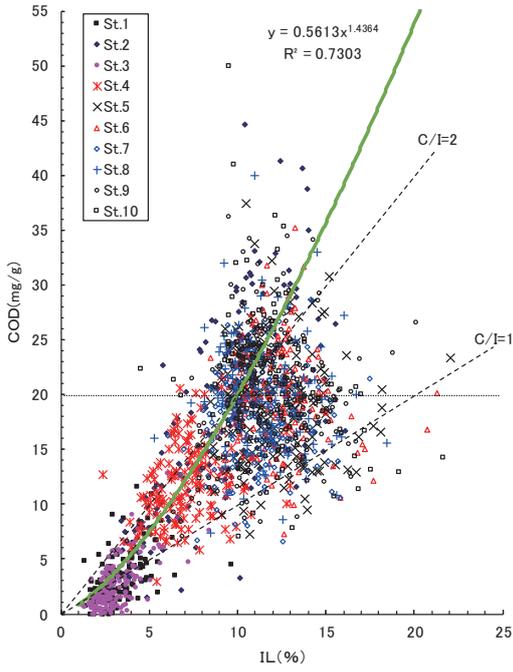
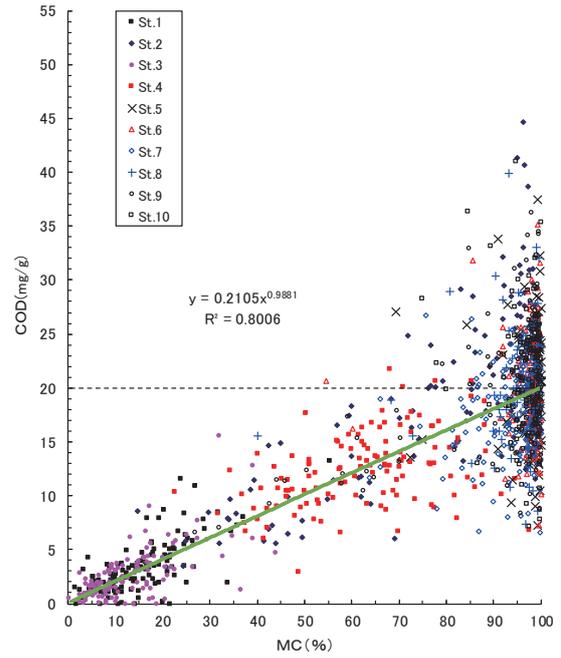


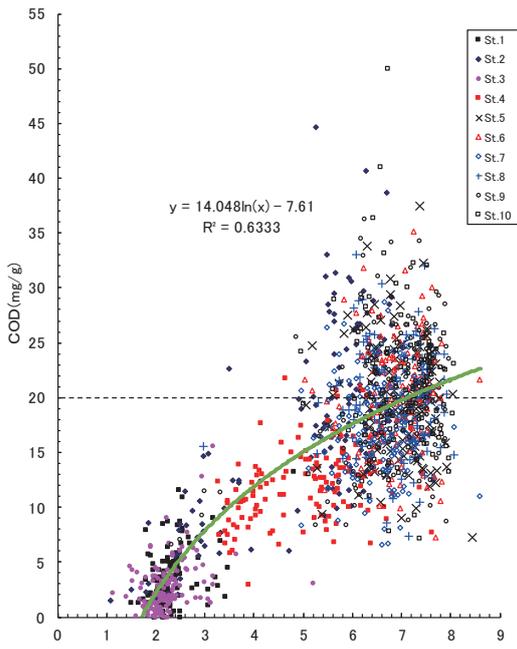
図17-1 各項目間の相互関係



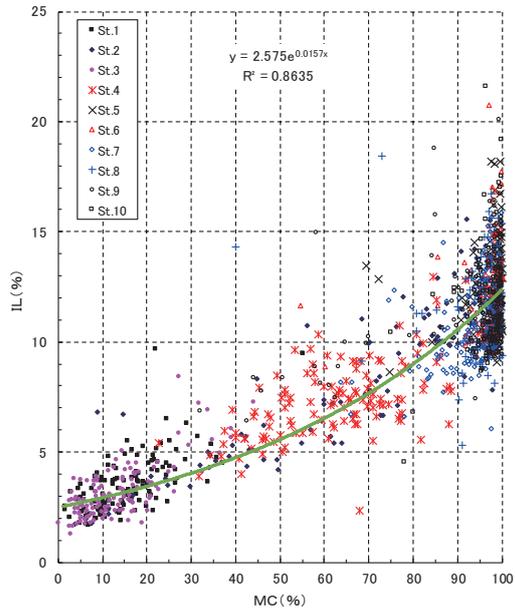
COD と IL



COD と MC



COD と Mdφ



IL と MC

図17-2 各項目間の相互関係

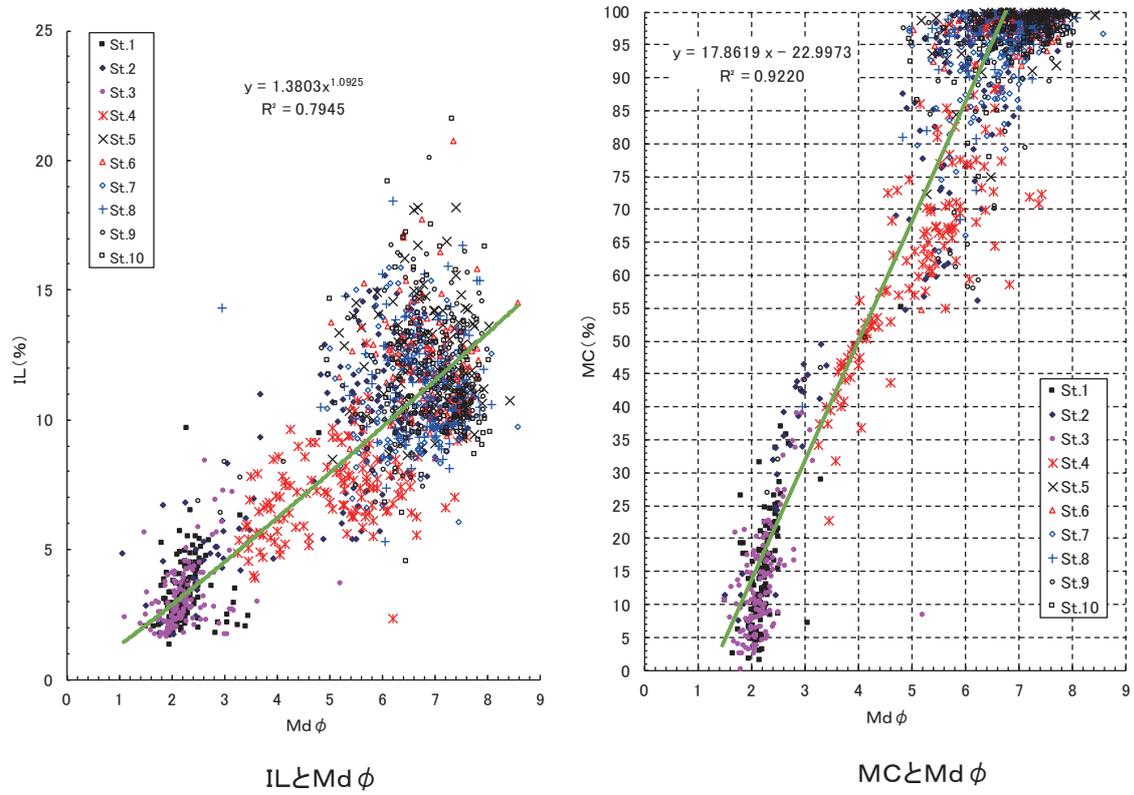


図17-3 各項目間の相互関係

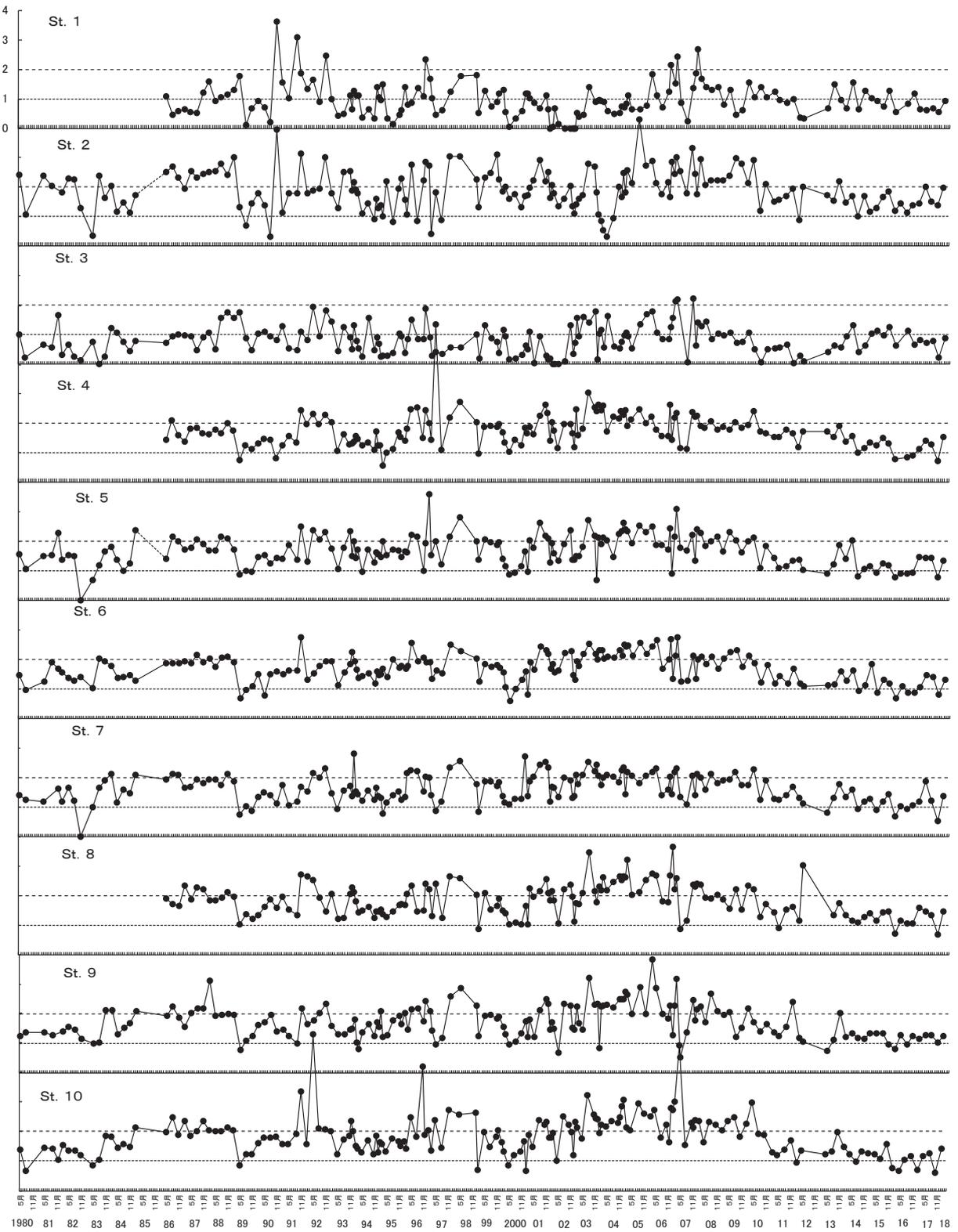


図18 各C/Iの地点別経時変化

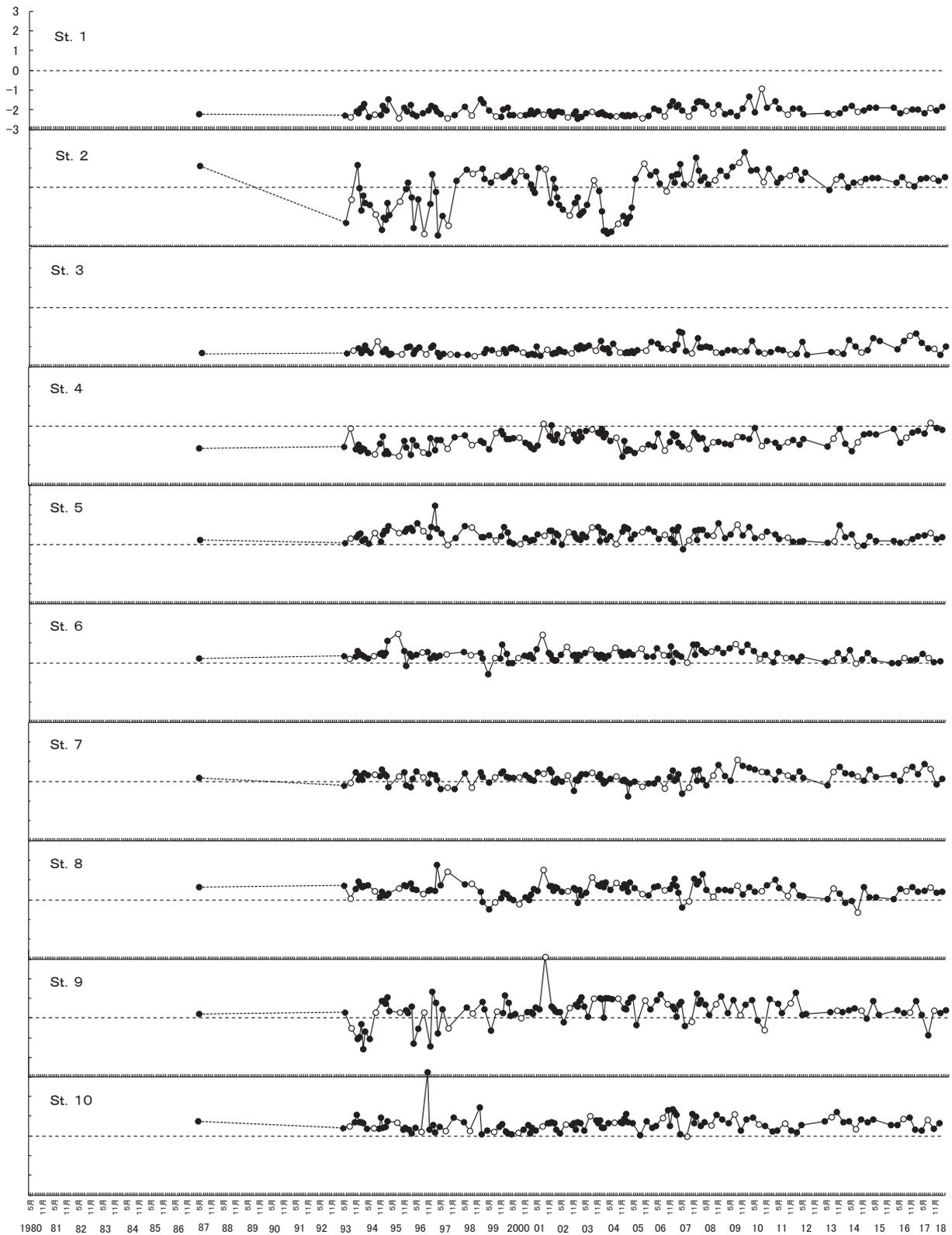
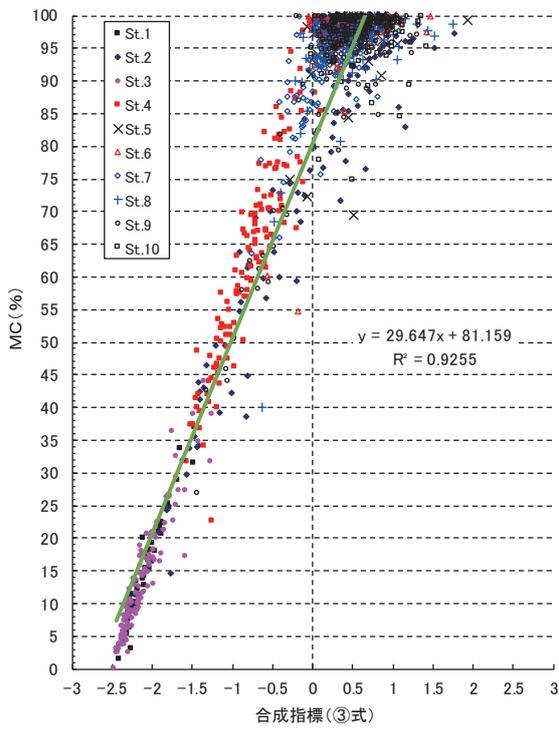
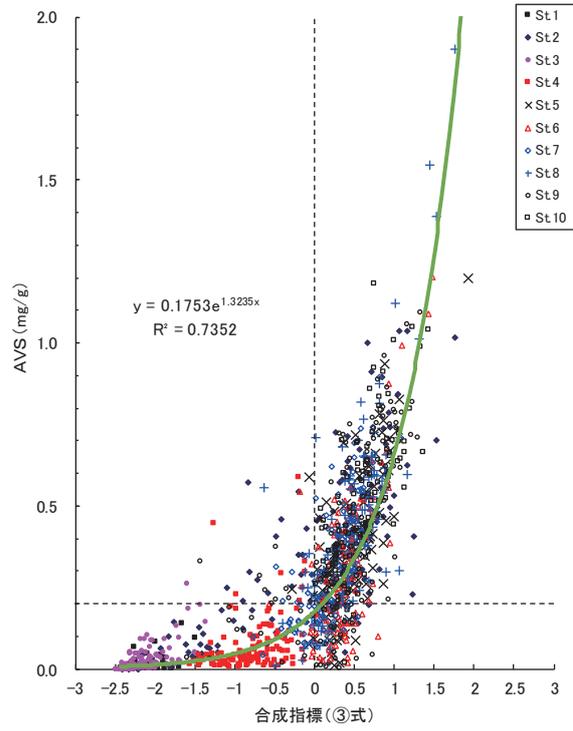


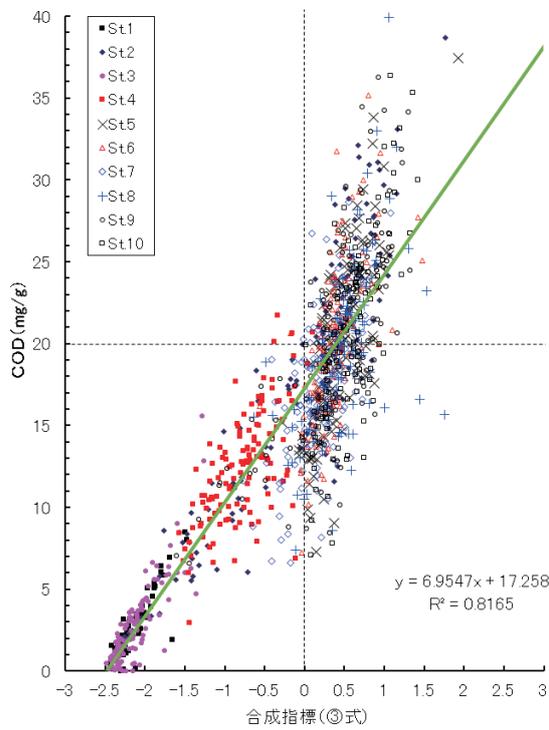
図19 合成指標③の地点別経時変化（グラフ中の「○」は8月を表している。）



合成指標③とMC



合成指標③とAVS



合成指標③とCOD

図20 合成指標③と各底質項目の関係

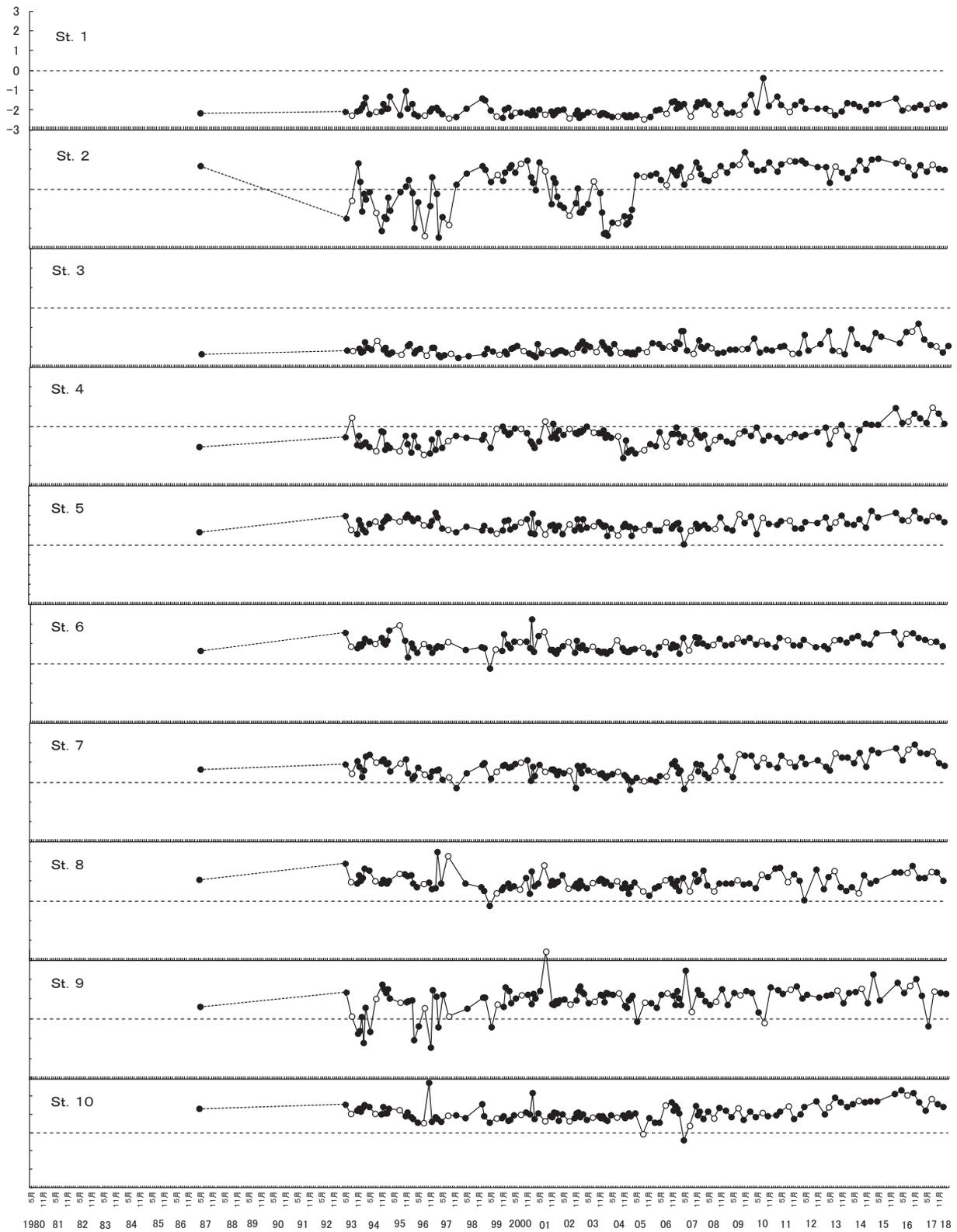
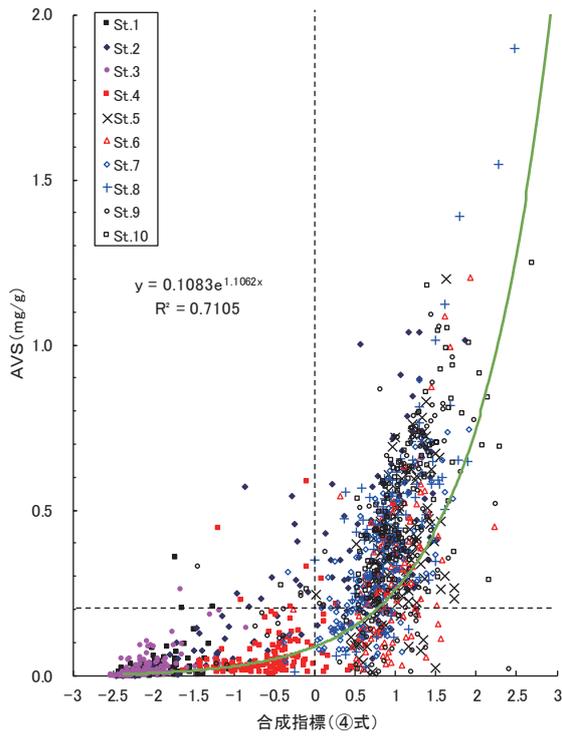
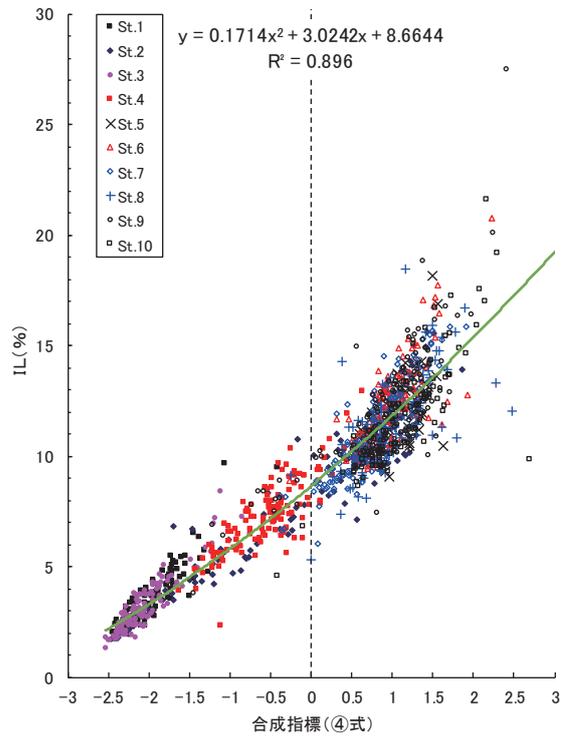


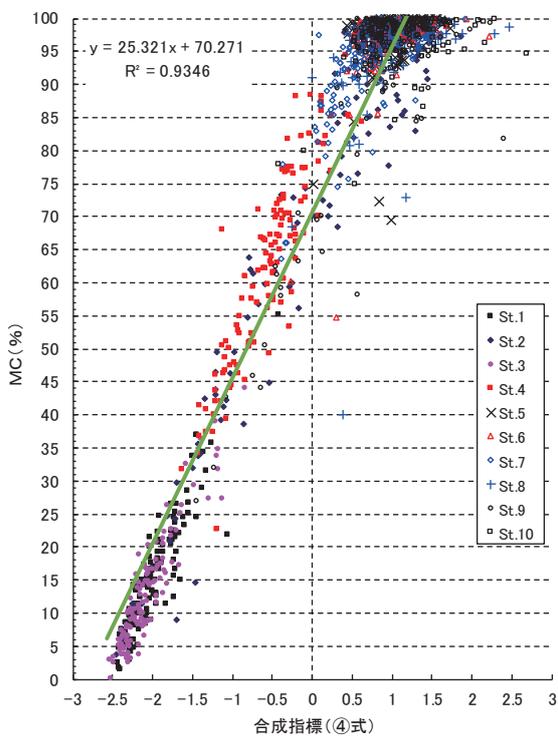
図21 合成指標④の地点別経時変化（グラフ中の「○」は8月を表している。）



合成指標④と AVS



合成指標④とIL



合成指標④と MC

図22 合成指標④と各要素の関係

表6 合成指標と算出底質項目間の相関マトリックス

	単相関				片対数相関			
	AVS	COD	IL	MC	AVS	COD	IL	MC
合成指標式 ③	0.734 **	0.904 **	—	0.962 **	0.863 **	0.870 **	—	0.917 **
合成指標式 ④	0.703 **	—	0.945 **	0.967 **	0.842 **	—	0.959 **	0.907 **

**：危険率1%で有意

文献

- 古賀秀昭・小澄千尋・杉原雄二・山下康夫(1986): 有明海湾奥部における底泥の化学成分について, 佐有水試研報 (10),115-122.
- 梅田智樹・伊賀田邦義 (2009): 有明海佐賀県沿岸域の底質環境と底生生物(マクロベントス)発生の経年的変化. 佐有水研報 24,67-72
- 日本水産資源保護協会(2018): 水産用水基準 8 版, 日本水産資源保護協会, 103-105.
- 日本水産資源保護協会(1980) 新編水質汚濁調査指針, 日本水産資源保護協会編, 恒星社厚生閣, 東京
- 有蘭真琴・水津洋志(1977): ハマチ養殖場における漁場老化について, 山口外海水試研報 (15),43-56.
- 鎌田泰彦(1980): 有明海の沿岸地質・海底地形と底質. 月刊海洋 Vol.12 (2),88-96.
- 鎌田泰彦・近藤 寛・西岡幸一・山田瑞枝・山下康夫・藤田猛男(1980):7 有明海北部の干潟堆積物の粒度組成と有機物, 西日本周辺大陸棚の堆積物とベントスの定量的研究 研究成果報告書, 長崎大学, 16-18.
- 柳井久江(2001): 4Step エクセル統計. 第4版, 198, (有)オーエムエス出版, 埼玉.