

## 有明海佐賀県海域におけるクロロフィルa量の推移

梅田 智樹

## Changes in the Amount of Chlorophyll a in the Ariake Sea off Saga Prefecture

Tomoki U<sub>MEDA</sub>

## まえがき

2000年以降、有明海湾奥部において水産資源の回復、特に二枚貝類資源の回復が喫緊の重要課題となっている。

この二枚貝類資源の回復にかかる対策、施策を検討するうえで、二枚貝類資源の変動要因の検証が必要であり、その要因のうち重要なものとして、餌料環境、つまり植物プランクトンの出現状況が挙げられる。

この植物プランクトンの出現状況の指標としては、従来からプランクトン沈澱量を用いることが多い。近年、有明海湾奥部では冬季のプランクトン沈澱量が減少している傾向にあることから、二枚貝類にとっての餌料の不足が指摘されてきている。しかしながら、近年のプランクトン構成種としては、小型植物プランクトンの割合が増加しており、プランクトンの採取に用いるプランクトンネットの目合いの関係上、小型プランクトンはすり抜けてしまいプランクトン沈澱量に反映されていない可能性が示唆されている<sup>1)</sup>。このため、植物プランクトンの出現状況の正確な指標として、クロロフィルa量（以下、Chl-aとする）を用いることがあるが、佐賀県有明水産振興センター（以下、センターとする）が年間を通じて実施している浅海定線調査において、プランクトン沈澱量観測は1975年6月以降実施されているものの、Chl-aの測定が開始されたのは2005年4月以降である。有明海佐賀県海域の海洋観測におけるChl-aは、1983年9月から毎年度9月から2月もしくは3月の主にノリ養殖期間に測定されていただけである。従って、3月から8月のChl-a観測データは2005年3月以前はほぼ皆無である。

そこで、今回はまず2005年4月以降に実施した浅海定線調査の観測データを基にした重回帰分析により、未観測のChl-aの推算式を作成した。次に、その推算式により算出したChl-a推算値（以下、推算Chl-aとする）と海洋観測で観測したChl-a（以下、実測Chl-aとする）を用いて、1974年4月以降の農林水産大臣管轄海域を含む有明海佐賀県海域（以下、佐賀県海域とする）におけるChl-aの推移についてとりまとめた。

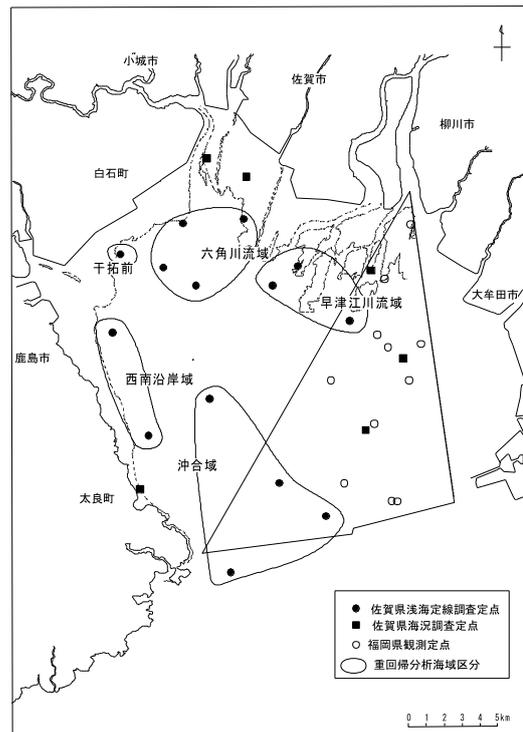


図1 重回帰分析に用いた観測定点及び海域区分

また、福岡県水産海洋技術センター有明海研究所（以下、有明海研究所とする）が海洋観測を実施している同海域の観測定点のChl-a変動との比較を行った。

さらに、有明海の有用二枚貝類のうち、十分な摂餌活動が達成されずに衰弱死していると示唆された<sup>2)</sup> タイラギの漁獲量の推移とChl-aの推移についても比較を行った。

## 方 法

## 1 重回帰分析による未観測Chl-aの推算式の作成および補間

## 1) 重回帰分析に用いた観測データ

重回帰分析に用いた観測定点及び海域区分を図1に示した。重回帰分析を行うにあたり、浅海定線調査の定点である14定点を西南沿岸域、沖合域、早津江川流域、六角川流域および千拓前の5海域に分けた。

重回帰分析には、2005年4月から2016年3月の調査で得

られた観測データのうち、水深 (m)、透明度 (m)、水温 (°C)、塩分、溶存酸素量 (以下、DOとする) (mg/l)、化学的酸素消費量 (以下、CODとする) (mg/l)、pH、溶存性無機態窒素 (以下、DINとする) ( $\mu\text{g}^{\text{at}}/\text{l}$ ; 以下の栄養塩の単位は同じ)、DINの三態窒素である硝酸態窒素 (以下、 $\text{NO}_3$ とする)、亜硝酸態窒素 (以下、 $\text{NO}_2$ とする)、アンモニア態窒素 (以下、 $\text{NH}_4$ とする)、溶存性無機態リン (以下、 $\text{PO}_4$ とする)、溶存性無機態ケイ素 (以下、 $\text{SiO}_4$ とする) 及び Chl-a ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ) を用いた。なお、プランクトン沈澱量については、「水深2mからの鉛直曳き」から「5m (水深6m以浅ではB-1m) からの鉛直曳き」に変更した2007年4月以降のデータは採取手法の統一性が取れないことより今回の解析には用いなかった。また、上記観測データについては、全ての採水層のものを用いた。

## 2) 重回帰分析の方法

重回帰分析ソフトは、Microsoft社の表計算ソフト Excel2010を用いた。

実測Chl-aを目的変数とし、水深、透明度、水温、塩分、DO、COD、pH、DIN、 $\text{NO}_3$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{NH}_4$ 、 $\text{PO}_4$ 、 $\text{SiO}_4$ を説明変数とした。また、重回帰分析は毎月毎に行い、説明変数には、植物プランクトンの発生により観測値 (分析値) が上昇すると見込まれるDO、CODおよびpHのいずれかが含まれることとした。

さらに、各対象月毎の実測Chl-aが $30\mu\text{g}/\text{l}$ 以上となっていた場合は、後で述べる理由により、対象月の全体データと実測Chl-aが $30\mu\text{g}/\text{l}$ 未満のデータ (以下、「実測Chl-a  $<30\mu\text{g}/\text{l}$ 」という) それぞれで重回帰分析を行った。

また、併せて、Chl-a観測未実施時の海洋観測において、実測Chl-aが $30\mu\text{g}/\text{l}$ 以上になるものと見込めるときのDO、CODおよびpHの観測値についての検討も行った。

## 3) 未観測Chl-aの補間

上記の推算式を用いて、1974年4月から2005年3月までの海況観測における未観測Chl-aを補間する推算Chl-aを算出した。

## 2 佐賀県海域におけるChl-aの推移

### 1) 佐賀県海域におけるChl-aの月別、年別推移

Chl-aの推移の取り纏めに用いた調査定点および海域区分を図2に示した。

Chl-aの推移の取り纏めを行うあたり、佐賀県海況調査定点を峰ノ州北 (タイラギ漁場周辺)、ガンドウ (ア

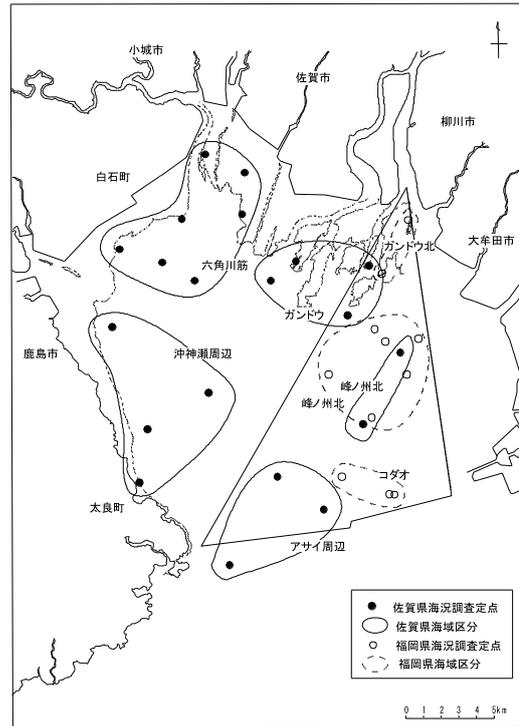


図2 Chl-a推移取り纏め海域区分

サリ漁場周辺)、六角川筋 (サルボウ漁場周辺)、沖神瀬周辺 (サルボウ・アサリ・タイラギ漁場周辺)、コダオ周辺 (タイラギ漁場周辺) および全域の海域に区分した。そして、上記「1 3)」で算出した推算Chl-aと、実測Chl-aを基に、海域別Chl-a平均値の月別平均、年別平均を求め、1974年4月以降のChl-aの推移を取り纏めた。

### 2) 福岡県観測Chl-aの月別推移の対比

有明海研究所から提供いただいた1996年4月から2015年3月までの観測データのうち、有明海農林水産大臣管轄海域の12定点をガンドウ北、峰ノ州北およびコダオの海域に区分した (図2)。そして、それぞれの海域別Chl-aの月別平均値を用い、センターにおける同海域及びその周辺の海域の同期間のChl-aの推移との対比を行った。

ただし、センターと有明海研究所とは観測実施月が異なる期間があるため、両機関間データの統計的対比を今回は行わず、Chl-aの対象観測期間中の集計概要および推移状況の対比のみを行った。

### 3) タイラギ漁獲量とChl-aの推移との対比

佐賀県海域における1974~2015年のタイラギ漁獲量 (佐賀県有明海漁業協同組合大浦支所のタイラギ貝柱重量) の推移と、同期間の有明海全域の月別Chl-a平均値の当年12ヶ月平均、前年12ヶ月平均、当年度12~3月 (漁期の当年冬期) 平均、前年度12月~当年度7月 (前年度冬期から当年度産卵期) 平均、前年度7月~当年度3

月（タイラギの稚貝着底時期から1年貝漁獲対象までの期間）平均および前々年度7月～当年度3月（同稚貝着底時期から2年貝漁獲対象までの期間）平均との推移対比を行った。

## 結 果

### 1 重回帰分析により未観測Chl-aの推算式

#### 1) 重回帰分析結果

重回帰分析条件別の実測Chl-aと各観測値間の重回帰分析結果を表1に示した。

今回の重回帰分析は、表1のとおり全ての条件別重回帰において重相関Rが0.4を超えていたことより、「相関がある」と判定できた<sup>3)</sup>。

ただし、4月の干拓前の重回帰は5%有意をも得られなかったため、換算式としては不採用とし、1%有意もしくは5%有意が得られた他の重回帰は推算式として採用した。

そして推算Chl-aを求める推算式は、表1に示した各推定式係数にそれぞれ対応した観測データを乗じて加算した次の式とした。

$$\begin{aligned} \text{推算Chl-a} = & \text{①} + \text{②水深} + \text{③透明度} + \text{④水温} + \text{⑤塩分} \\ & + \text{⑥DO} + \text{⑦COD} + \text{⑧pH} + \text{⑨DIN} + \text{⑩NO}_3 \\ & + \text{⑪NO}_2 + \text{⑫NH}_4 + \text{⑬PO}_4 + \text{⑭SiO}_4 \end{aligned}$$

#### 2) 実測Chl-aと推算Chl-aの対比による推算式の評価

上記「結果1-1)」の推算式から算出した実測Chl-aと推算Chl-aの対比散布図を図3に示した。

いずれの場合も有明海における大部分のChl-a観測値である「実測Chl-a  $<30\mu\text{g}/\text{l}$ 」のほとんどが $y=x$ の直線上あるいはその付近に収束していたことより、今回の推算式は十分使用可能であると評価できた。

ただ、実測Chl-aに $30\mu\text{g}/\text{l}$ 以上のデータ（以下、「実測Chl-a  $30\mu\text{g}/\text{l} \leq$ 」という）が含まれていた重回帰による推算式、特に7～9月の各海域別の推算式では「実測Chl-a  $<30\mu\text{g}/\text{l}$ 」となる目的変数に対応する推算値が $y=x$ 直線から発散する傾向がみられた。

そこで、全体データに「実測Chl-a  $30\mu\text{g}/\text{l} \leq$ 」が含まれていた対象海域について、「実測Chl-a  $<30\mu\text{g}/\text{l}$ 」のみを抜き出して、それぞれの場合で重回帰分析を行った。その結果、「実測  $<30\mu\text{g}/\text{l}$ 」のみの重回帰による推算式では「実測Chl-a  $30\mu\text{g}/\text{l} \leq$ 」となる目的変数に対応する推算値が $y=x$ 直線の右側下方に発散しており、実測Chl-aが大きくなるほどその傾向が大きくなっていった。

しかし、「実測Chl-a  $<30\mu\text{g}/\text{l}$ 」では全体データを用

いた重回帰分析の場合と比較してもその分布が明らかに $y=x$ の直線上あるいはその付近に収束していた。

そして、全体データに「実測Chl-a  $30\mu\text{g}/\text{l} \leq$ 」が含まれていた対象海域については、全体データの重回帰分析による推算式からの推算Chl-aの中の「実測Chl-a  $30\mu\text{g}/\text{l} \leq$ 」分と「実測  $<30\mu\text{g}/\text{l}$ 」のみの推算式から算出した推算Chl-aのうち「実測  $<30\mu\text{g}/\text{l}$ 」分を併合した推算Chl-aと実測Chl-aの相関は、全体データの重回帰分析による推算式からの推算Chl-aと実測Chl-aの相関を見た場合より相関係数が高くなっていった。

以上のことから、実測Chl-aが $30\mu\text{g}/\text{l} \leq$ となるものと見込まれた場合には、全体データの推算式および「実測  $<30\mu\text{g}/\text{l}$ 」のみの推算式を併用して推算Chl-aを算出した。

#### 3) Chl-a観測未実施時の海洋観測において「実測Chl-a $30\mu\text{g}/\text{l} \leq$ 」と見込めるDO、CODおよびpHの観測値の検討

2月、6～10月の海域全体での実測Chl-aと、DO、CODおよびpHそれぞれの散布図を図4に示した。

「実測Chl-a  $30\mu\text{g}/\text{l} \leq$ 」となるDO、CODおよびpHは、2月がDO $11.07\text{mg}/\text{l}$ 、COD $2.29\text{mg}/\text{l}$ およびpH $8.63$ で、6月がDO $6.87\text{mg}/\text{l}$ 、COD $1.94\text{mg}/\text{l}$ およびpH $8.03$ で、7月がDO $4.64\text{mg}/\text{l}$ 、COD $1.39\text{mg}/\text{l}$ およびpH $8.18$ であった。また、8月がDO $7.04\text{mg}/\text{l}$ 、COD $2.46\text{mg}/\text{l}$ およびpH $7.95$ で、9月がDO $7.29\text{mg}/\text{l}$ 、COD $2.07\text{mg}/\text{l}$ およびpH $7.92$ で、10月がDO $7.90\text{mg}/\text{l}$ 、COD $2.69\text{mg}/\text{l}$ およびpH $8.01$ であった。

以上の数値を基にDO、CODおよびpHそれぞれを「実測Chl-a  $<30\mu\text{g}/\text{l}$ 」か「実測Chl-a  $30\mu\text{g}/\text{l} \leq$ 」かで分類し、DOとCOD、DOとpH、およびCODとpHをそれぞれ対比したところ（図5）、2月では『DO  $13.7\text{mg}/\text{l} \leq$ 、COD $3.36\text{mg}/\text{l} \leq$ およびpH  $8.60 \leq$ 』であった場合は、実測Chl-aが $30\mu\text{g}/\text{l}$ 以上であると見込まれた。また、6月では『DO  $9.11\text{mg}/\text{l} \leq$ 、COD  $2.59\text{mg}/\text{l} \leq$ 』もしくは『COD  $2.59\text{mg}/\text{l} \leq$ 、pH  $8.32 \leq$ 』、7月では『DO  $9.51\text{mg}/\text{l} <$ 、COD  $3.43\text{mg}/\text{l} \leq$ 』もしくは『DO  $9.51\text{mg}/\text{l} <$ 、pH  $8.85 <$ 』、8月では『COD  $3.29\text{mg}/\text{l} \leq$ 』、9月では『DO  $8.72\text{mg}/\text{l} <$ 、COD  $2.24\text{mg}/\text{l} <$ 、pH  $8.31 <$ 』、10月では『DO  $7.90\text{mg}/\text{l} \leq$ 、COD  $2.69\text{mg}/\text{l} \leq$ 』もしくは『COD  $2.69\text{mg}/\text{l} \leq$ 、pH  $7.95 <$ 』であった場合は、実測Chl-aが $30\mu\text{g}/\text{l}$ 以上であると見込まれた。

表1-1 重回帰分析結果一覧

海域名	Chl-a濃度 区分	標準係数													重相関 R	有意 F (p)	有意 水準			
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬						
	(観測項目名) (係数記号)	切片	水深	透明度	水温	塩分	DO	OD	pH	DIN	NO3	NO2	NH4	PO4	SiO4	n数				
1月	西南沿岸域	all	9.2976	-1.0795	-2.2043	1.7085	-1.4526	4.1812	13.207	-	-	-	-	-2.3968	-	34	0.8942	0.7457	1.288E-07	**
	沖合域	all	-14.6139	-0.0246	-	-	2.3300	0.2702	-	-	-	-	-	-1.7763	-	53	0.7476	0.5590	4.231E-08	**
	早津江川流域	all	-48.0871	-	-	1.1720	0.0481	4.0655	1.9819	-	-	-0.0667	-	-	-	42	0.8204	0.6277	6.617E-08	**
	六角川流域	all	52.9849	0.5780	2.6055	-	-2.2020	1.4746	-	-	-	-	-	-0.6593	-	53	0.6179	0.3161	2.970E-04	**
2月	干拓前	all	-48.3453	-	-	1.7606	-	-	4.3164	1.2225	-	-	-	-	-	14	0.8298	0.5951	6.894E-03	**
	西南沿岸域	all	75.6965	-	-	-0.7905	-2.4086	1.4535	1.1877	-	-0.6477	-	-	-	-	34	0.7000	0.3989	1.371E-03	**
	沖合域	all	74.8227	-	-	-0.3866	-2.4600	1.3476	0.8317	-	-0.5900	-	-	-	-	33	0.7468	0.4758	3.174E-04	**
	早津江川流域	all	-70.8336	0.0925	-0.6086	0.2337	-	-	-	8.8681	-	-	-	-	-	53	0.6831	0.4371	1.879E-06	**
3月	六角川流域	all	-74.4431	-	-	-1.5796	-0.1780	-	9.2379	-	-0.0775	-	-	-	-0.0662	42	0.8806	0.7369	5.001E-10	**
	西南沿岸域	all	-148.8562	-	-	-	-1.6521	1.4903	23.2830	-	-0.3254	-0.2848	-	-	-	53	0.9010	0.7918	6.142E-16	**
	干拓前	all	-57.9285	-	-	-	-	5.3800	82.490	-	-	-	-	-	-	14	0.8378	0.6477	1.285E-03	**
	西南沿岸域	all	-53.0019	-	-	-	-	3.6673	3.8421	-	-	-	-	-	-	12	0.7057	0.3885	4.498E-02	*
4月	西南沿岸域	all	-52.2324	-0.0630	-3.5188	-	-	7.8720	-	-	-	-	-	-	-	36	0.5849	0.2804	3.510E-03	**
	沖合域	all	-2.7077	-	-0.7702	-0.2941	-0.3985	-	3.7484	-	-	-	-	-7.6430	-	55	0.5687	0.2389	3.398E-03	**
	早津江川流域	all	-106.7000	-	-1.2238	0.1295	0.3200	-	12.3761	-	-	-	-	-	-	43	0.7347	0.4913	4.448E-06	**
	六角川流域	all	-59.3116	-0.0091	-	-0.3802	-	0.7606	9.2349	-	-	-	-	-	-	54	0.5238	0.2220	2.460E-03	**
5月	干拓前	all	-42.1754	-	-	-	-	-	7.0044	-	1.5970	-	-	-	-	14	0.8827	0.6675	2.629E-03	**
	西南沿岸域	all	-88.4979	-0.5669	-3.7266	-	-2.0789	16.0425	-	-	-	-	-	-	-	34	0.6280	0.3108	4.678E-03	**
	沖合域	all	-103.2303	-	-0.7255	0.2761	-	-0.8355	12.7632	-	-0.3948	18.4308	-2.0782	-	-	53	0.7330	0.4652	5.971E-06	**
	早津江川流域	all	-7.8150	0.1719	-1.8117	0.3281	-	1.1436	0.6870	-	-0.1171	-	-0.1645	-	-	40	0.6816	0.3474	3.179E-03	**
6月	六角川流域	all	-9.7231	-0.4414	-4.7488	-	-	2.3632	1.7712	-	-	-	-	1.4194	-	51	0.6466	0.3388	3.648E-04	**
	干拓前	all	25.1986	1.4978	-	-	-	-	-	-	7.8411	-	-	-	-	12	0.7570	0.4130	6.632E-02	**
	西南沿岸域	all	-9.2788	-	-	1.5099	-0.9100	-	7.5106	-	-	7.7940	-	-	-	34	0.6521	0.3460	2.331E-03	**
	沖合域	all	-24.0676	-	-1.1952	0.6879	-0.1709	0.7472	-0.9313	2.2567	-	-	-	-	0.0485	52	0.7383	0.4677	9.439E-06	**
7月	早津江川流域	all	7.8451	0.8629	-	0.9658	-1.0020	1.3259	1.1420	-	-0.0882	-	-	-4.1459	-	40	0.7883	0.5386	2.383E-05	**
	六角川流域	all	64.2865	0.1642	-	0.7342	-2.6043	0.7374	1.3382	-	-	-0.5545	-	-	-	50	0.6820	0.3905	9.083E-05	**
	干拓前	all	36.0229	-	7.3915	0.8223	-2.5281	-	13.7239	-	-	-	-	-	-	12	0.9017	0.6574	3.410E-02	*
	西南沿岸域	all	-20.3856	-2.1833	-	-	-	3.0021	1.79702	-	-	-	-	-8.1165	-	34	0.8612	0.7090	3.531E-08	**
8月	沖合域	all	24.5641	-	-	0.5500	-0.4211	0.4046	8.5088	-	-	-	-	-6.8654	-	31	0.8294	0.6254	1.098E-05	**
	西南沿岸域	all	15.4684	0.1617	-1.1425	0.5900	-1.1139	0.8303	3.6965	-	-	-	-	-	-	51	0.9158	0.8236	7.338E-16	**
	早津江川流域	all	-9.4759	-	-1.8459	-1.2500	-0.1641	4.6682	1.3219	-	-	-	-	-	-	40	0.8658	0.7127	2.346E-06	**
	六角川流域	all	3.0883	0.1281	0.5833	-0.8276	-0.3760	2.6723	7.9043	-	-	0.3314	-	-	-	39	0.7826	0.5250	4.984E-05	**
9月	西南沿岸域	all	-74.0408	-	-	0.1887	-0.8686	-	5.4898	41.3492	-	-	-	-	-	50	0.9536	0.8013	7.432E-23	**
	六角川流域	all	-132.7133	-	-	-	-	0.7622	3.5573	16.3052	-	-	-	-	-	41	0.5507	0.2468	3.598E-03	**
	干拓前	all	41.0776	-	-	-3.6453	-1.1010	3.1207	3.59776	-	-	-	-	-	-	11	0.9790	0.8307	2.788E-04	**
	西南沿岸域	all	-244.4482	2.1832	-1.1436	-3.5854	-	1.7419	-	39.4763	-	-	-	-	-	9	0.9630	0.9102	2.038E-02	*
10月	西南沿岸域	all	-397.9145	4.6307	-	-	-	2.3092	45.6592	-	-	-	-	-	-	32	0.6957	0.4287	2.957E-04	**
	沖合域	all	-131.083	-	3.6231	0.1537	-	0.5279	-	16.3286	-	-	-	-	-	26	0.7613	0.4985	7.932E-04	**
	早津江川流域	all	21.9837	0.7030	-21.7844	0.8578	-1.1695	2.4573	10.7795	-	-0.7191	-	-	-	-	53	0.7844	0.5555	1.278E-07	**
	六角川流域	all	-22.8715	-	0.3411	1.2798	-0.3200	0.3009	-	1.2489	-	-	-	-3.4731	-	40	0.7286	0.4473	1.815E-04	**
11月	早津江川流域	all	-38.6778	-	-1.8477	-	5.9092	9.7085	-	-	-0.1943	-	-	-	-	40	0.7890	0.5781	7.435E-07	**
	六角川流域	all	-37.9210	-	0.4602	-	-	1.2058	4.7482	-	-	-	-	-	-	32	0.7926	0.5731	1.501E-05	**
	西南沿岸域	all	-77.9741	-	4.0602	-	5.3359	232.705	-	-	-	-	-	-	-	51	0.7936	0.5953	7.672E-09	**
	干拓前	all	-83.9770	-	1.3326	-	0.1642	1.3798	48.006	8.8406	-	0.1345	-	-	-	38	0.8511	0.6692	3.022E-07	**
12月	西南沿岸域	all	-12.9858	-	-	-	-	2.8126	3.6039	-	-	-	-	6.8377	-	12	0.8753	0.6785	6.628E-03	**
	干拓前	all	1.9259	-	-	-	-	0.4835	-	-	-	-	0.7415	5.4794	-	8	0.9280	0.7571	3.440E-02	*

1); \*\*が1%有意、\*が5%有意を示す。

表1-2 重回帰分析結果一覧

海域名	CH <sub>2</sub> 濃度 区分	標準式係数															重相関 R	有意 F	有意 水準 <sup>1)</sup>	
		(観測項目名) (係数記号)	切片 ①	水深 ②	透明度 ③	水温 ④	塩分 ⑤	DO ⑥	COD ⑦	pH ⑧	DIN ⑨	NO <sub>3</sub> ⑩	NO <sub>2</sub> ⑪	NH <sub>4</sub> ⑫	PO <sub>4</sub> ⑬	SG <sub>4</sub> ⑭				
西南沿岸域	all	-13.3818	-1.9355	-6.2603	-	-24.3647	-	-	-	-0.3239	-	-	-	-	-	0.8559	0.7001	4.635E-09	**	
	<30μg/L	29.3809	-	-3.3277	-	-0.8045	-	4.2276	-	-	-	-	-0.3828	-	-	31	0.7279	0.4575	4.331E-04	**
	all	-105.3705	-0.0101	-2.2247	-	-	-	20.1077	10.0109	-	-	-	-	-	-	58	0.7352	0.5051	2.498E-08	**
沖合域	<30μg/L	-130.9461	-	-	-	-	-	69.304	15.3739	-	-	-	-	-	-	49	0.7047	0.4742	1.963E-07	**
	all	7.4978	0.5033	-1.9340	0.6379	-1.3159	2.1322	6.0772	8.6519	-	-	-	-0.3334	-	-	46	0.8183	0.6087	1.679E-07	**
	<30μg/L	-50.1594	-	1.0637	-1.9553	-	2.1719	2.1719	8.6519	-	-	-	-0.8882	-	-	42	0.8532	0.7484	6.519E-11	**
六角川流域	all	-18.0841	5.1228	-6.8983	-	-0.8579	-	1.79.65	-	1.3254	2.9314	-	-6.3625	-	-	58	0.8346	0.6523	1.584E-10	**
	<30μg/L	-58.6955	-	1.8775	-	-	-	2.8785	-	-	-	-	-0.9331	-	-	45	0.6782	0.4204	1.186E-05	**
	all	-122.3874	-	-6.1595	-	-	-	38.2598	0.7353	-	-	-	-	-	-	15	0.9675	0.9186	7.421E-07	**
干拓前	<30μg/L	-48.0666	-4.0859	-1.0204	5.0020	-	4.8708	-	-	-	-	-	-	-	-	12	0.8725	0.6717	7.198E-03	**
	all	42.8519	1.6408	-1.5776	-	0.2662	4.7853	-	-	-	-1.1491	-	-2.4463	-	-	36	0.8778	0.7132	1.811E-07	**
	<30μg/L	19.8658	0.1006	-1.7534	-1.0259	-0.3193	4.4591	1.3231	-	0.2215	-	-	-	-	-	52	0.8486	0.6735	8.308E-10	**
沖合域	<30μg/L	15.6284	-	-1.0191	-0.6684	-0.0005	2.7818	-	-	0.3230	-	-	-3.8884	-	-	47	0.8145	0.6117	6.105E-08	**
	all	1.5225	1.0673	-	2.3760	-	0.7054	-	-	-0.3103	-	-	-	-	-	44	0.5541	0.2551	1.992E-03	**
	<30μg/L	-0.9335	-	-	-	-	1.2884	-	-	-0.2012	-	-	-	-	-	43	0.5567	0.2568	2.150E-03	**
六角川流域	all	9.3504	-	-	-0.5289	3.1515	3.4267	-	-	-	-	-	-3.8111	-	-	55	0.6482	0.3737	1.985E-05	**
	<30μg/L	-92.5048	12.9294	-	-	2.3335	32.09	7.8480	-	-	-	-	-3.3243	-	-	53	0.6417	0.3628	3.197E-05	**
	all	-96.6380	9.2802	-	-0.8465	0.0062	-	5.0306	9.3380	-	-	-	-1.3364	-	-	14	0.9557	0.8748	8.498E-05	**
干拓前	<30μg/L	47.2649	-0.5531	1.6481	-2.9599	2.0796	2.9902	-	-	-	-	-	-	-	-	38	0.6414	0.3133	5.228E-03	**
	all	114.2383	-	3.5640	-	4.0672	0.9722	31.491	-	-	-	-	-	-	-	35	0.5424	0.2001	2.907E-02	*
	<30μg/L	-52.8668	-0.2593	-	1.6882	0.3649	1.6780	1.5786	-	-	-	-	-	-	-	54	0.7617	0.5355	5.844E-06	**
沖合域	all	-23.3025	-	0.9845	0.4790	0.3187	1.0948	2.9375	-	-	-	-	-0.2083	-	-	54	0.6321	0.3229	3.507E-04	**
	<30μg/L	-35.4993	4.7321	1.3608	0.1142	-	-0.3638	1.1412	-	-	-	-	-	-	-	14	0.8915	0.5551	3.589E-02	*
	all	-4.9720	-	-5.8055	-	-	2.4606	3.9673	-	-	-	-	-1.3213	-	-	36	0.8589	0.7059	1.100E-08	**
西南沿岸域	all	2.6895	-0.1172	-1.0255	-	1.3854	-0.5170	-	-	-	-	-	-	-	-	53	0.8147	0.6279	3.900E-10	**
	<30μg/L	0.2649	1.6583	-	3.7042	-	0.2364	3.5709	5.3660	6.3690	-	-	-4.9456	-	-	43	0.7971	0.5862	2.728E-07	**
	all	-90.1486	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.3147	-	-	54	0.8858	0.7767	1.247E-14	**
干拓前	<30μg/L	-173.0800	-0.5553	-	-	1.9628	2.2419	3.6652	12.5883	-	-	-	-	-	-	14	0.9389	0.8015	1.721E-03	**
	all	-64.2509	-	-	2.2972	-	2.9837	-	-	-	-	-	-1.1766	-	-	38	0.5889	0.2517	4.830E-03	**
	<30μg/L	1.1015	-	-0.6497	0.4651	-	1.2675	-	-	-	-	-	-	-	-	56	0.7811	0.5703	4.629E-09	**
沖合域	all	-10.5293	0.4982	1.6711	0.6206	-	0.8880	-	-	-	-	-	-0.4700	-0.4225	-	45	0.7820	0.5502	1.318E-06	**
	<30μg/L	-88.1711	0.3243	2.3548	0.4525	1.8845	-	1.8443	-	-	-	-	-0.3273	-0.0822	-	57	0.7578	0.5122	3.421E-07	**
	all	47.5740	-11.5771	10.1808	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	0.7747	0.4802	2.257E-02	*

1): \*\*が1%有意、\*が5%有意を示す。

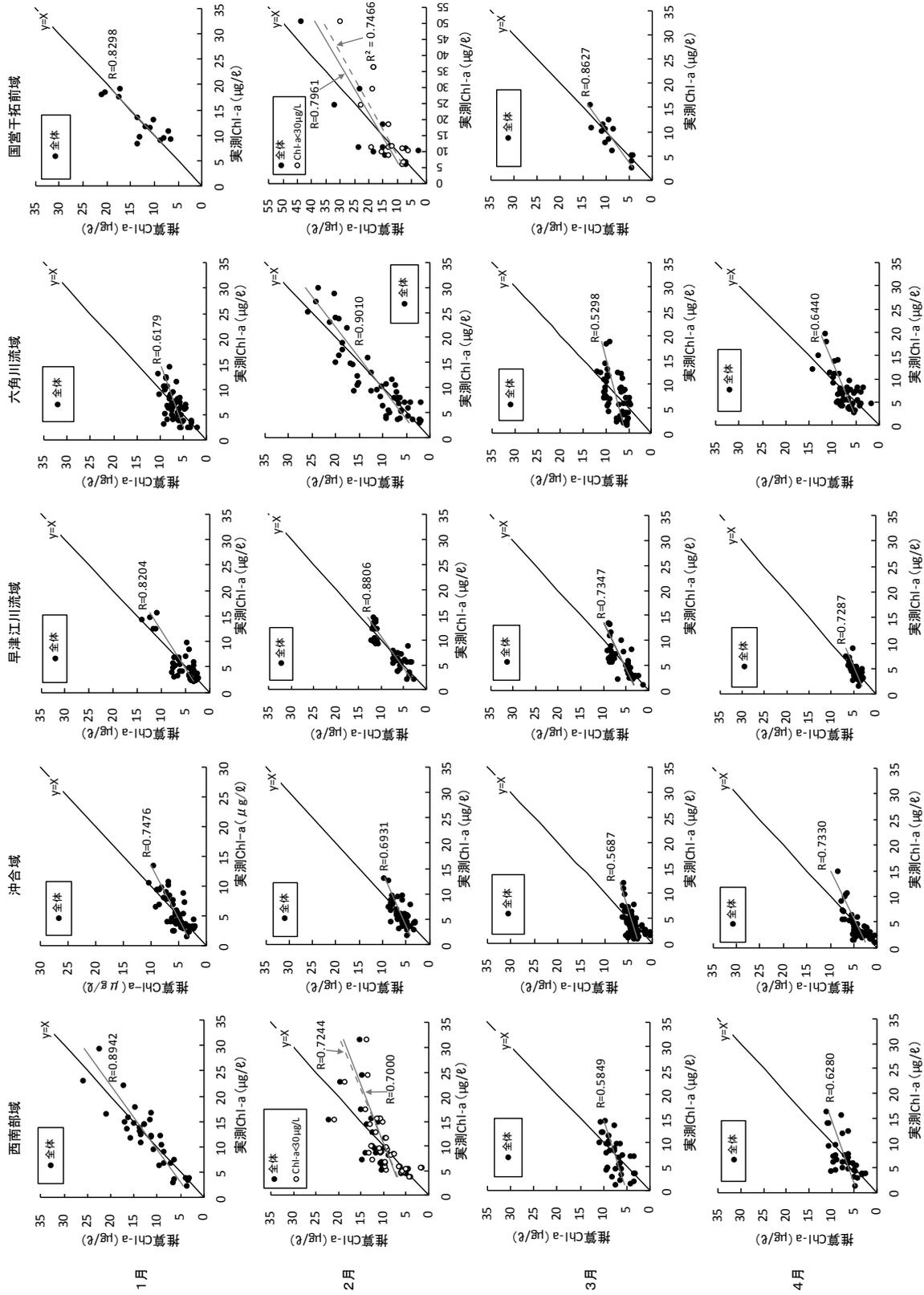


図3-1 実測Chl-aと推算Chl-aの対比【——全体データの近似線、-----併用データの近似線】

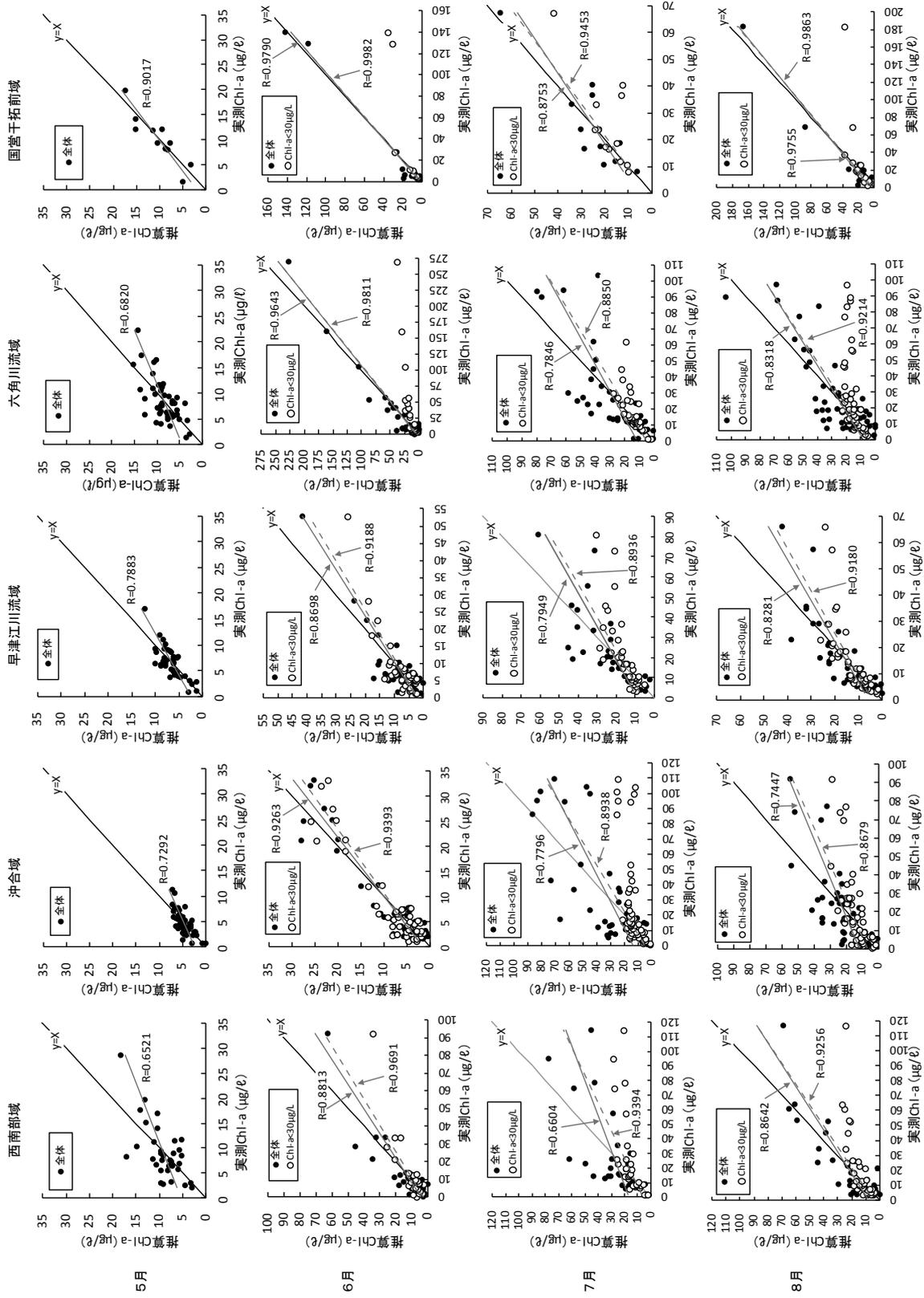


図3-2 実測Chl-aと推算Chl-aの対比【——全体データの近似線、-----併用データの近似線】

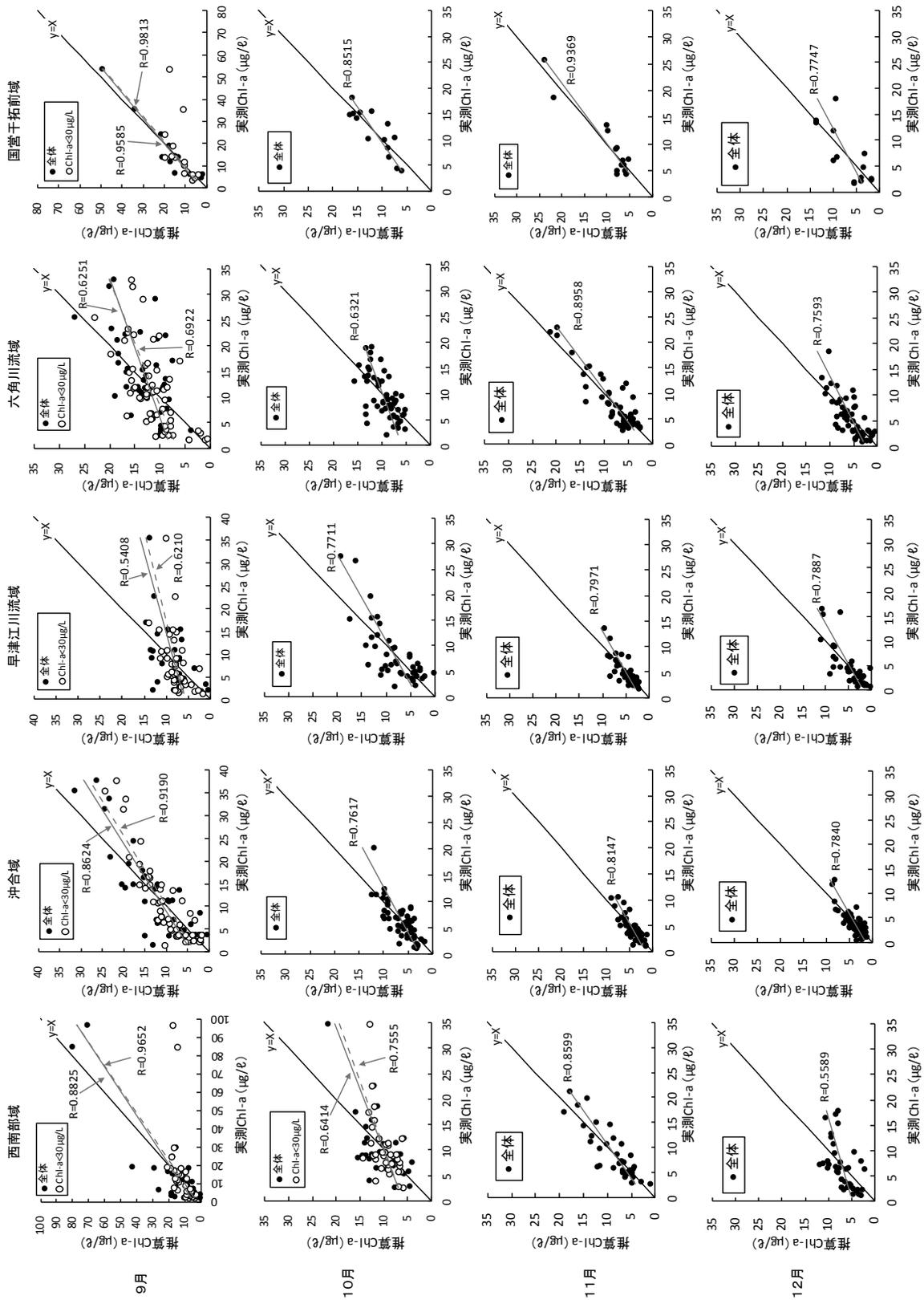


図3-3 実測Chl-aと推算Chl-aの対比【——全体データの近似線、---併用データの近似線】

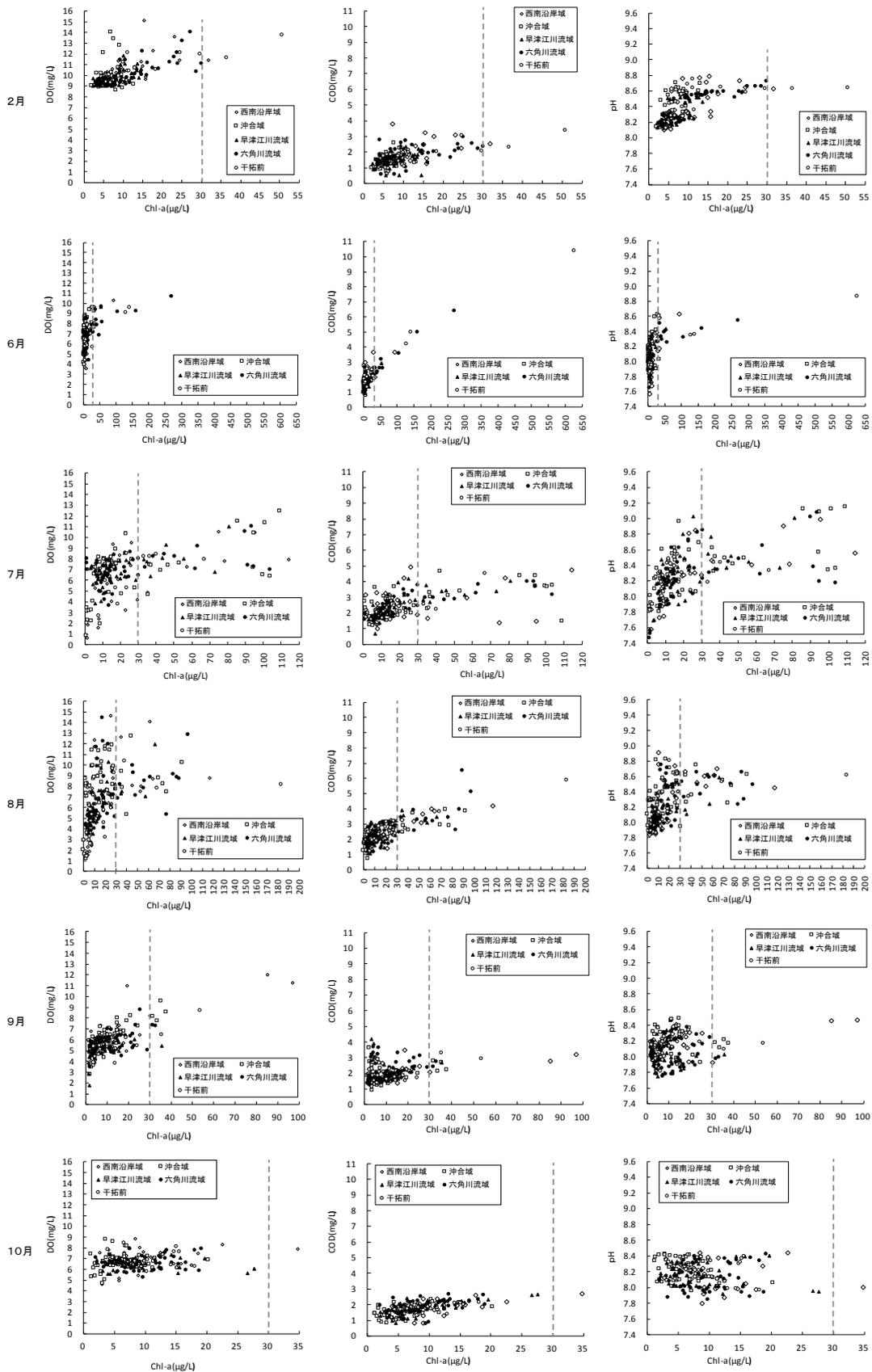


図4 実測Chl-aに対するDO, CODおよびpHの分布

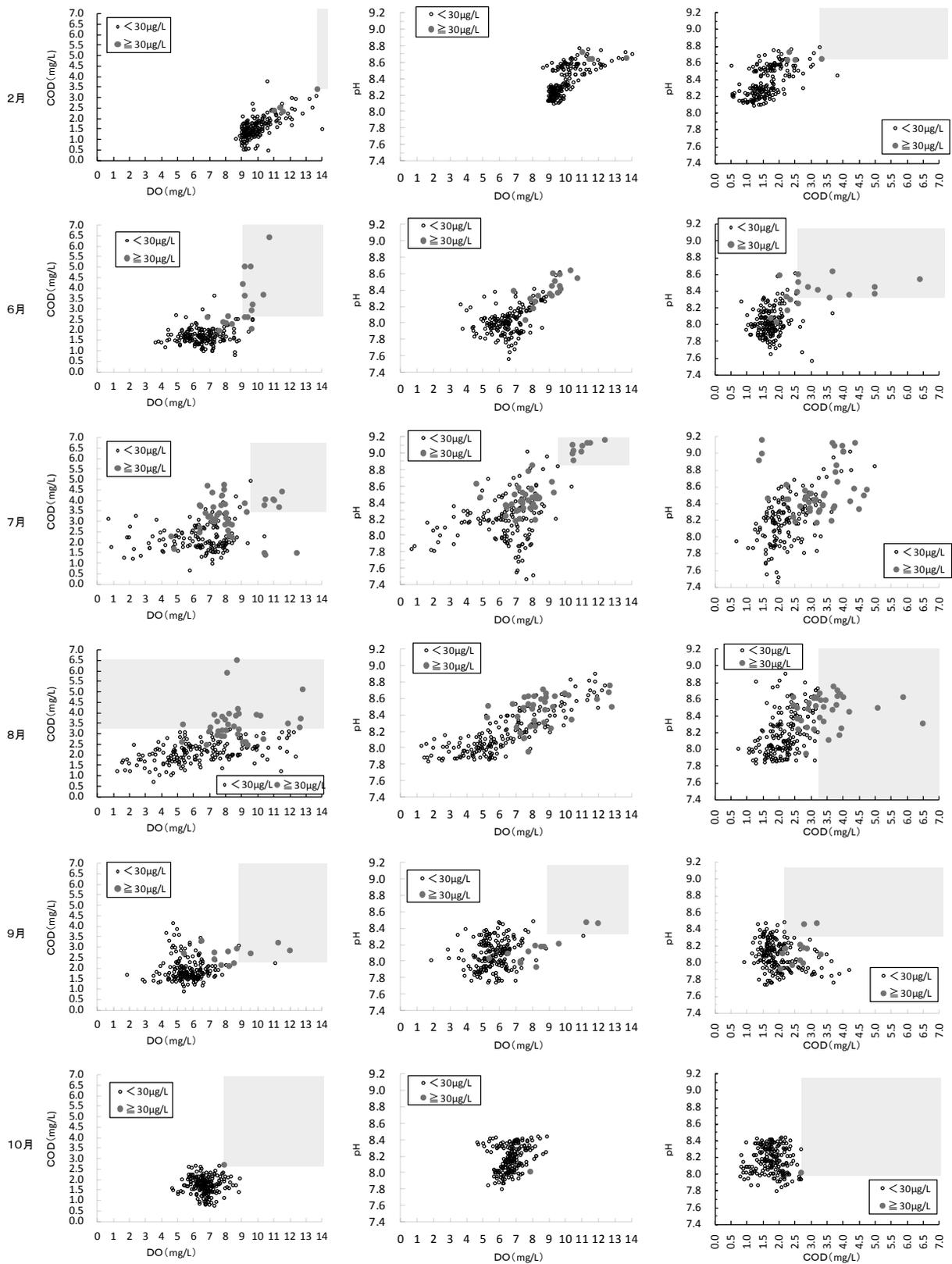


図5 実測Chl-aが<30 μg/Lもしくは30 μg/L≤となる場合のDO, CODおよびpHの相互間分布  
 ( ■ 「実測Chl-a 30 μg/L≤」と推測される範囲)

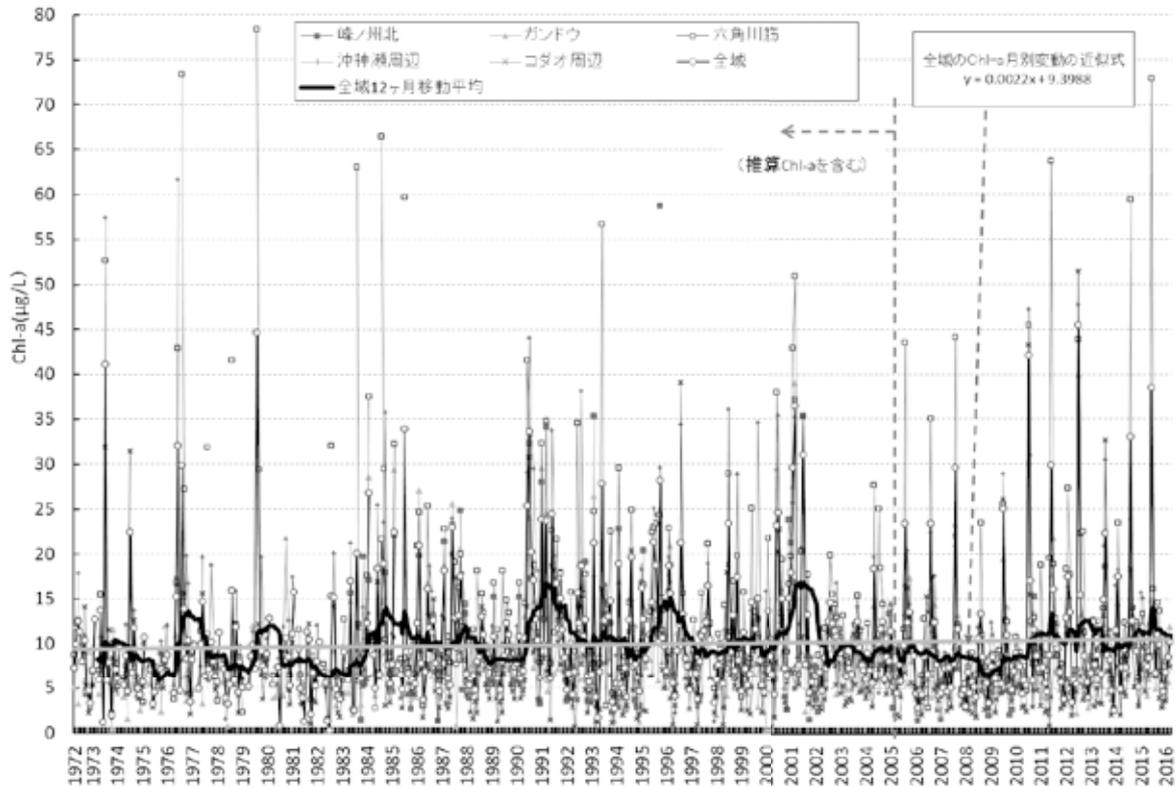


図6 有明海佐賀県海域におけるChl-a月別平均値の経月推移

## 2 佐賀県海域におけるChl-aの推移

### 1) 佐賀県海域におけるChl-aの月別推移

各海域におけるChl-aの月別平均値の経月推移を図6に、月毎の年別推移を図7に示した。

1972年4月から2015年3月までの期間を通しての海域別のChl-aの月別平均値の経月推移では、コダオ周辺が他海域に比べChl-aが低くなる傾向にあり、六角川筋は逆に他海域に比べChl-aが高くなる傾向にあった。

なお、1972年4月から2015年3月までの期間を通しての各海域におけるChl-aの月別平均値は、峰ノ州が $1.26 \sim 58.74 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $9.39 \mu\text{g}/\text{l}$ ) (平均値；以下同じ)、ガンドウが $0.16 \sim 39.86 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $8.08 \mu\text{g}/\text{l}$ )、六角川筋が $0.81 \sim 78.38 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $13.02 \mu\text{g}/\text{l}$ )、沖神瀬周辺が $1.04 \sim 57.42 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $10.92 \mu\text{g}/\text{l}$ )、コダオ周辺が $0.28 \sim 51.37 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $6.92 \mu\text{g}/\text{l}$ )で推移していた。また、全域では $0.28 \sim 45.43 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $9.98 \mu\text{g}/\text{l}$ )で、全域における12ヶ月移動平均は当該期間中 $5 \sim 15 \mu\text{g}/\text{l}$ の範囲で推移し、僅かに増加傾向で推移していた。

次に、月毎の年別推移ではここでも各月を通してコダオ周辺が他海域に比べChl-aが低くなる傾向にあったが、 $1 \mu\text{g}/\text{l}$ を下回ったのは4月、5月及び7月それぞれの一部であった。

逆に、六角川筋は他海域に比べChl-aが高くなる傾向

にあり、特に6月、8月及び2月はその傾向が強かった。

各海域のうち全域における各月毎の年別推移は4月が $1.71 \sim 8.74 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $5.41 \mu\text{g}/\text{l}$ )、5月が $3.85 \sim 18.31 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $7.92 \mu\text{g}/\text{l}$ )、6月が $0.83 \sim 38.45 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $11.61 \mu\text{g}/\text{l}$ )、7月が $6.49 \sim 45.43 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $17.61 \mu\text{g}/\text{l}$ )、8月が $6.72 \sim 44.68 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $16.79 \mu\text{g}/\text{l}$ )、9月が $5.05 \sim 18.92 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $11.26 \mu\text{g}/\text{l}$ )であった。また、同様に10月が $1.99 \sim 28.22 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $9.32 \mu\text{g}/\text{l}$ )、11月が $3.46 \sim 17.48 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $7.39 \mu\text{g}/\text{l}$ )、12月が $2.58 \sim 15.02 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $6.21 \mu\text{g}/\text{l}$ )、1月が $3.03 \sim 23.90 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $8.52 \mu\text{g}/\text{l}$ )、2月が $2.82 \sim 29.56 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $12.37 \mu\text{g}/\text{l}$ )、3月が $3.99 \sim 36.42 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $8.85 \mu\text{g}/\text{l}$ )であった。

また、全域における各月毎の年別推移を推移線（一次近似線）でみたところ、5月から8月、2月から31月が減少傾向を示していた。しかしながら、すべての月で対象期間前半の高いChl-aに引っ張られる形で減少傾向を示しているだけであり、2005年から2015年までの期間で減少傾向を示している月はみられなかった。

### 2) 佐賀県海域におけるChl-aの年別推移

次に、各海域における1972年から2015年までのChl-aの年別平均値の推移を図8に示した。

峰ノ州北、ガンドウ周辺およびコダオ周辺で $5 \mu\text{g}/\text{l}$ を下回る年があったものの、大部分が $5 \sim 15 \mu\text{g}/\text{l}$ の間で推

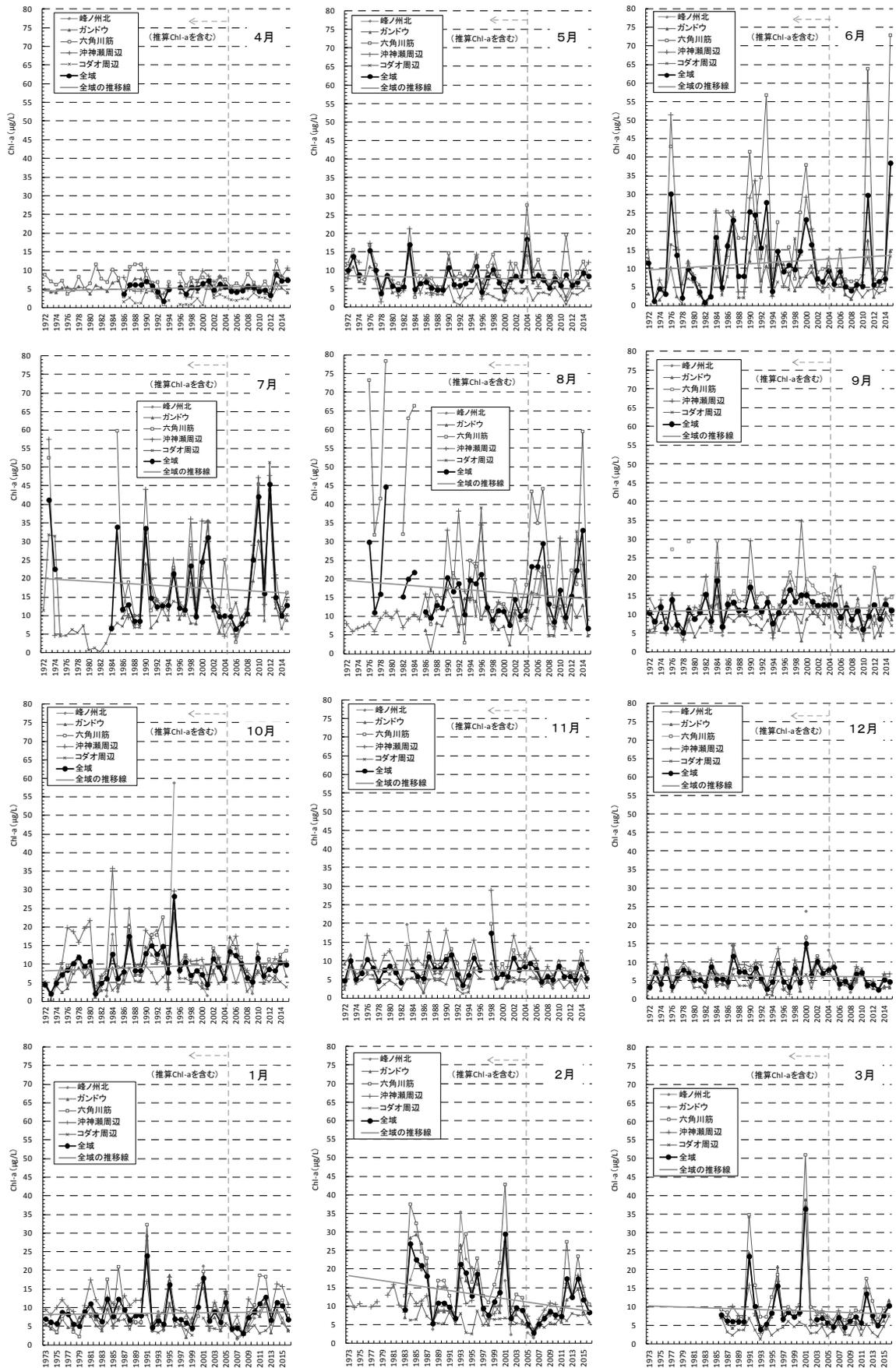


図7 有明海佐賀県海域におけるChl-a月別平均値の月毎の推移

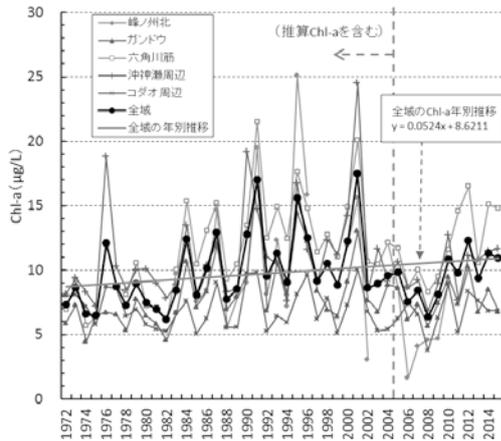


図8 有明海佐賀県海域におけるChl-a年別平均値の推移

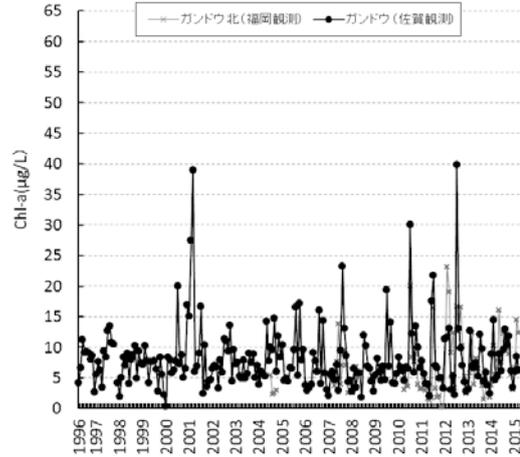


図10 ガンドウ北(福岡観測)とガンドウ(佐賀観測)のChl-a月別平均値の推移

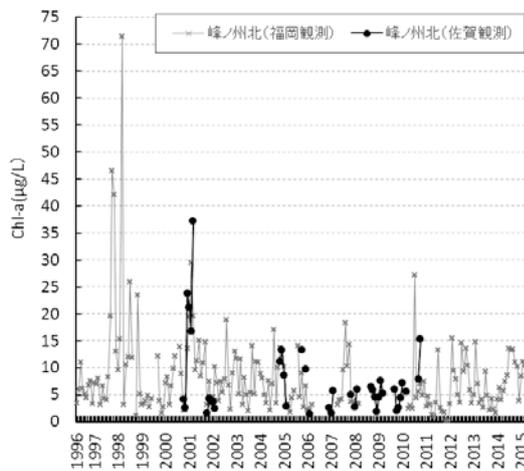


図9 峰ノ州北(福岡観測)と峰ノ州北(佐賀観測)のChl-a月別平均値の推移対比

移していた。

各海域におけるChl-aの年別平均値は、峰ノ州北が $1.63 \sim 25.09 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $9.96 \mu\text{g}/\text{l}$ )、ガンドウが $4.37 \sim 17.07 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $8.14 \mu\text{g}/\text{l}$ )、六角川筋が $5.67 \sim 21.49 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $11.69 \mu\text{g}/\text{l}$ )、沖神瀬周辺が $6.83 \sim 24.51 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $10.84 \mu\text{g}/\text{l}$ )、コダオ周辺が $3.77 \sim 10.04 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $6.92 \mu\text{g}/\text{l}$ )であった。また、全域が $5.69 \sim 17.48 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $9.80 \mu\text{g}/\text{l}$ )であり、増加傾向で推移していた。

### 3) 福岡県観測Chl-aの月別推移の対比

有明海農林水産大臣管轄海域およびその周辺における福岡観測Chl-aとの推移対比について、まず、峰ノ州北(福岡観測)と峰ノ州北のChl-a月別平均値の推移状況を図9に示した。この両者については峰ノ州北(福岡観測)が $0.16 \sim 71.40 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $8.23 \mu\text{g}/\text{l}$ )、と峰ノ州北が $1.41 \sim 37.15 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $7.61 \mu\text{g}/\text{l}$ )と、重複している観測月が少なかったものの、重複部分の値の変動の比較からほぼ同様の推移であったと推測された。

次に、ガンドウ北とガンドウのChl-a月別平均値の推

移状況を図10に示した。この両者についてはガンドウ北が $0.22 \sim 23.15 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $6.78 \mu\text{g}/\text{l}$ )、とガンドウが $1.76 \sim 39.86 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $8.06 \mu\text{g}/\text{l}$ )と、2009年4月以後の重複している部分からほぼ同様の推移であったと推定された。

そして、コダオとコダオ周辺のChl-a月別平均値推移状況を図11に示した。この両者についてはコダオが $0.11 \sim 65.50 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $6.80 \mu\text{g}/\text{l}$ )、とコダオ周辺が $0.69 \sim 51.37 \mu\text{g}/\text{l}$  ( $6.83 \mu\text{g}/\text{l}$ )と、ほぼ同様の推移であったと推定された。

### 4) タイラギ漁獲量とChl-aの推移との対比

タイラギ年別漁獲量とChl-a月別平均値集計別平均値の変動を図12に、タイラギ年別漁獲量と各Chl-a月別平均値集計別平均との対比分布を図13に、タイラギの年別漁獲量と各Chl-a月別平均値集計別平均との対比関連一覧を表2に示した。

タイラギ年別漁獲量の推移と各Chl-a月別平均値集計別平均値の推移の対比については、1998年までは両者にある程度同調がみられたが、1999年以降はほとんどみられず、特に、2000年から2002年までと2009年以降のChl-aの増加に対応したタイラギの漁獲量の増加は確認されなかった(図12)。

さらに、タイラギ年別漁獲量と各Chl-a月別平均値集計別平均値との関係は負の相関であり(図13)、相関係数の絶対値は0.4未満であった(表2)。

## 考 察

### 1 重回帰分析による未観測Chl-aの補間

今回作成した推算式に関して、重相関Rがそれ程高くないものもみられたが、絶対値が0.4を超えていた<sup>3)</sup>ことより今回の目的は達せられたと考えられた。

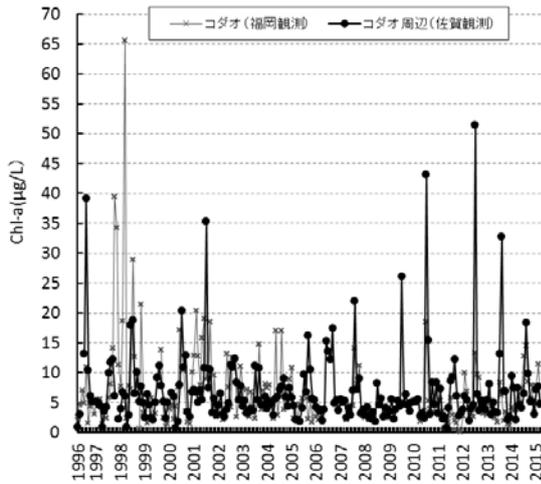


図11 コダオ（福岡観測）とコダオ周辺（佐賀観測）のChl-a月別平均値の推移対比

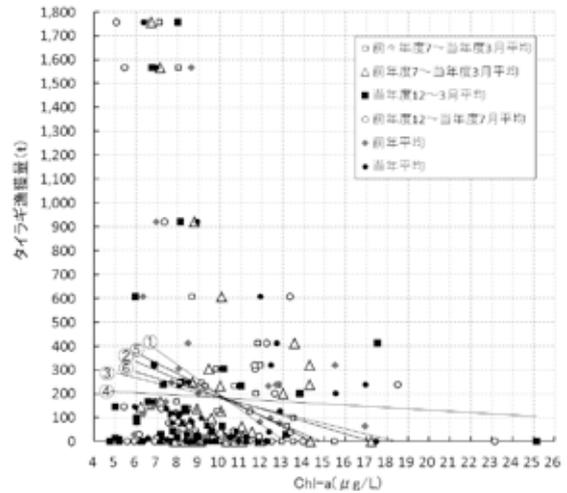


図13 タイラギ年別漁獲量と各Chl-a月別平均値集計別平均との相関分布（図中直線の数字は表2に対応）

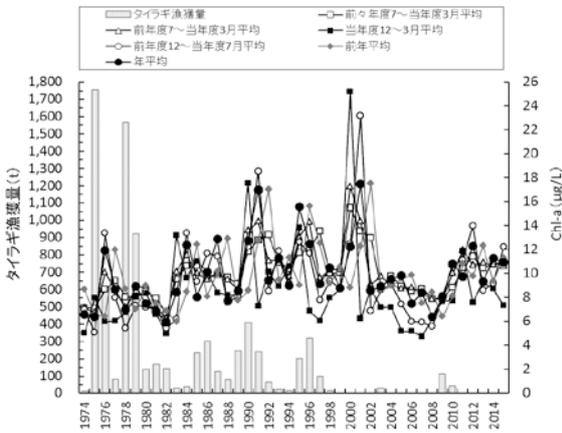


図12 タイラギ年別漁獲量とChl-a月別平均値集計別平均値の推移

表2 タイラギ年別漁獲量とChl-a月別平均値の集計別平均値の対比相関

Chl-a月別平均値集計方法	相関係数	有意水準 <sup>※</sup>
① 当年平均	-0.1840	**
② 前年平均	-0.2694	**
③ 当年度12月～3月平均	-0.0498	**
④ 前年度12～当年度7月平均	-0.2031	**
⑤ 前年度7月～当年度3月平均	-0.2678	**
⑥ 前々年度7月～当年度3月平均	-0.3231	**

※)「\*\*」は1%有意を示す。

ところで、今回は、実測Chl-aを $30\mu\text{g}/\text{l}$ で区切って重回帰分析および推算式の作成を行った。しかし、今後Chl-aを含む浅海定線観測データを蓄積し、再度、推算Chl-aの検証を行う場合は、もう少し小さな実測Chl-aで区別した方が重回帰分析の精度が上がるかもしれない。

また、未実施時の海洋観測における実測Chl-aの値を見込む説明変数として、DO、CODおよびpHを用いたが、今回の重回帰分析を行ううえで、これら3つの説明変数以外にも実測Chl-aとの相関が高い説明変数がいくつかみられた（未報告）。今後、推算Chl-aの検証を行う場合は、この点についても検討する必要があると考えられた。

また、実測Chl-aとそれに対応する推算Chl-aとの対比において、 $y=x$ 直線の右側への大きな発散が確認されていないことから、推算式における実測Chl-aに対する過大な推算Chl-aの算出はないと推定された。

なお、今回、「実測Chl-a  $30\mu\text{g}/\text{l} \leq$ 」が含まれていた重回帰による推算式で「実測Chl-a  $<30\mu\text{g}/\text{l}$ 」となる目的変数に対応する推算値が $y=x$ 直線から発散する傾向がみられた。これは、重回帰分析を用いて推算式（重回帰式）を作成する際、目的変数の大きな値の方に説明変数の係数が設定されるため、値の小さな目的変数に対する推算値（予測値）の誤差が大きくなることによると推測された。逆に「実測  $<30\mu\text{g}/\text{l}$ 」のみの重回帰による推算式で「実測Chl-a  $30\mu\text{g}/\text{l} \leq$ 」となる目的変数に対応する推算値が $y=x$ 直線の右側下方に発散していたのは、推算式に用いた目的変数の上限値を超えた目的変数に対して当該推算式が対応しきれず、推算値の誤差が大きくなったためと推測された。

## 2 佐賀県海域におけるChl-aの推移

有明海佐賀県海域においては、珪藻類もしくは微細藻類が常在している。年間の植物プランクトン発生傾向は4～5月に珪藻類もしくは微細藻類が確認され、6～8月はラフィド藻類（*Chattonella* sp.等）、渦鞭毛藻類（*Akashiwo sanguinea*等）が発生するとともに赤潮化することがあり、場合によっては珪藻類との混合赤潮を発生させる。9月からは珪藻類が優占し、往々にしてノリ養

殖漁期中に赤潮化し、ノリの色落ち等の被害を発生させる傾向にある。

図7中の6～8月のChl-aの急激な増加については、センターが水産庁へ提出している赤潮発生状況（月報）より7月の2010年および2012年が珪藻類赤潮によるもので、それ以外はラフィド藻類、渦鞭毛藻類の単独もしくは混合の赤潮、あるいは珪藻類との混合赤潮によるものと推定された。さらに、渦鞭毛藻類が増殖した場合、珪藻類単独の場合に比べChl-aが相当以上高くなる現象は、瀬戸内海の場合<sup>4)</sup>と同様であった。また、当該海域において珪藻類が増殖した場合のChl-aの最高値は約 $45\mu\text{g}/\ell$ （2012年7月；構成種*Skeletonema* spp.[max81,500cells/ $\ell$ ], *Thalassiosira* spp.[max18,752cells/L], 他）と推測された。

木元ら<sup>5)</sup>は当該海域において1979年6、8～9、12月、1980年3、6、9、11月、1981年2月に植物プランクトンの現存量調査を実施しており、その結果として6月は $1.8\sim 10.0\text{mg}/\text{m}^3$  ( $\mu\text{g}/\ell$ と同じ；以下同様)、9月は $1.8\sim 20.0\text{mg}/\text{m}^3$ 、11月は $5.5\sim 10.4\text{mg}/\text{m}^3$ 、12月は $1.8\sim 4.5\text{mg}/\text{m}^3$ 、2月は $10.0\sim 22.2\text{mg}/\text{m}^3$ 、3月は $2.5\sim 4.4\text{mg}/\text{m}^3$ であったが、本報におけるChl-aの推移範囲はこれらの結果と同程度であった。

なお、二枚貝類の成長に係るChl-a指標については、Saxby<sup>6)</sup>が、世界の温帯および温帯沿岸域で二枚貝類養殖が成功している海域にはChl-a換算で $1\sim 10\text{mg}/\text{m}^3$ の植物プランクトンが存在するとしており、西オーストラリア州における二枚貝養殖のための海水中Chl-aの指標として、月を通じて $1\text{mg}/\text{m}^3$ を超えていること、年平均値で $2\sim 3\text{mg}/\text{m}^3$ であることとしている。

また、林<sup>7)</sup>は日本国内の当該海域と同じ閉鎖性海域である瀬戸内海中央部におけるChl-aの推移について、年平均値が1980年代の $3.8\mu\text{g}/\ell$ から1990年代には $3.0\mu\text{g}/\ell$ となり、2010年以降は $2.3\mu\text{g}/\ell$ に減少しているが、カキ養殖の生産量に大きな影響は見られていない、としている。ただ、今後さらにChl-aの減少が続いた場合の身入りの遅れや悪化等に対する懸念されるも示している<sup>7)</sup>。

さらに、岩男<sup>8)</sup>は瀬戸内海周防灘大分県沿岸域のChl-a年平均値の変動について、同海域で4万tのアサリが漁獲された1985年が表層約 $4.5\mu\text{g}/\ell$ 、底層（10m）約 $5.0\mu\text{g}/\ell$ であったものが、1996年には表層約 $2.3\mu\text{g}/\ell$ 、底層（10m）約 $3.5\mu\text{g}/\ell$ と、減少傾向にあるとしている。さらに、宮下<sup>9)</sup>は同海域の2007年（アサリ漁獲量数百t）の年平均値（水深0-5m）が $2.96\mu\text{g}/\ell$ であったことにより、同海域におけるアサリ資源減少の要因の一つとして、植物プランクトンの絶対量の減少

の可能性を示唆している。

佐賀県海域における1974年4月以降のChl-aの月別平均値は、区分海域のコダオ周辺で4月から7月に、ガンドウ周辺で6月、8月および10月に $1\mu\text{g}/\ell$ を下回っていたものの、他の区分海域では $2\mu\text{g}/\ell$ を超えるChl-aで推移しており、Saxby<sup>6)</sup>の報告の2倍以上で推移していた。さらに、全域のChl-aの月別平均値の月毎平均値は同報告の5～17倍であった。

一方、本報により作成した推算式から求めた値を含む、佐賀県海域における1974年4月以降のChl-aの年別平均値は、各区分海域のうち、峰ノ州北で2006年に $1.63\mu\text{g}/\ell$ となったものの、それ以外の区分海域では $3\mu\text{g}/\ell$ を超えて推移していた。各区分海域別のChl-aの年別平均値を、瀬戸内海中央部の1980年代のChl-aの年平均値<sup>7)</sup>と比較すると、峰ノ州北が0.4～6.6倍、ガンドウ周辺が1.2～4.5倍、六角川筋が1.5～5.7倍、沖神瀬周辺が1.8～6.5倍、コダオ周辺が1.0～2.6倍で推移しており、全域では1.6～4.6倍で推移していた。同様に瀬戸内海周防灘大分県沿岸域においてアサリ漁が盛んであった1985年のChl-a年平均値<sup>8)</sup>と比較してみると、峰ノ州北が0.3～5.0倍、ガンドウ周辺が0.9～3.4倍、六角川筋が1.1～4.3倍、沖神瀬周辺が1.4～4.9倍、コダオ周辺が0.8～2.0倍で推移しており、全域では1.2～3.5倍で推移していた。

以上のことより、1974年4月から2016年3月までの佐賀県海域におけるChl-aは、各区分海域別もしくは全域でみても、二枚貝が成長あるいは二枚貝を生産するうえで問題ないと推測された。

また、当該海域におけるタイラギ年別漁獲量の推移と各Chl-a月別平均値集計別平均値の対比を行ったが、両者の関係が負の相関であり、かつ相関係数の絶対値が0.4未満であった<sup>3)</sup>ことより両者の推移には関連性はほぼ無いと推測され、1974年4月から2016年3月までの期間に限れば「タイラギの十分な摂餌活動が達成されず」<sup>2)</sup>の要因が「餌料生物である植物プランクトンが減少(不足)したことによる」という仮定は考え難い。

ただし、今回用いたChl-aには珪藻類、渦鞭毛藻類等の光合成プランクトンのクロロフィルの他、紅藻類（養殖ノリ等）・アオサ藻類（ヒトエグサ等）由来未分解懸濁物のクロロフィルも含んでいる場合がある。このことから、当該海域に生息している珪藻類を主組成とした餌料性植物プランクトンの量とそれにより生息しうる二枚貝類の資源量については今後詳細に検討していく必要があると考える。

## 謝 辞

有明海福岡県沖の海洋観測データを提供していただいた福岡県水産海洋技術センター有明海研究所に感謝する。

また、タイラギの漁獲貝柱重量データを提供していただいた佐賀県有明海漁業協同組合大浦支所に感謝する。

## 文 献

- 1) 松原賢 (2012) : 有明海佐賀県海域におけるノリ漁期の植物プランクトン, 日本水産学会監修/大嶋雄治編. 豊穰の海・有明海の現状と課題, 9-24.恒星社厚生閣. 東京.
- 2) 松山幸彦 (2012) : タイラギの異常と資源回復への取り組み, 日本水産学会監修/大嶋雄治編. 豊穰の海・有明海の現状と課題, 53-62.恒星社厚生閣. 東京.
- 3) 柳井久江 (2001) : 4Step エクセル統計 . 第4版, 198, (有) オームエス出版, 埼玉県.
- 4) 弘田禮一郎・遠藤拓郎 (1965) : 瀬戸内海における海洋基礎生産

に関する研究-2-基礎生産とプランクトン, 広島大学水畜産学部紀要 6(1), 101-132.

- 5) 木元克則・安楽正照 (1983) : 有明海における海況と植物プランクトンの現存量. 九州西方沿岸海域に関する総合研究報告書. 科学技術庁研究調整局,122-132.
- 6) Sidney A. Saxby (2002) : A review of food availability, sea water characteristics and bivalve growth Performance at coastal culture sites in temperate and warm temperate regions of the world, FISHERIES RESEARCH REPORT 132. 48.
- 7) 林浩志 (2003) : 瀬戸内海中央部における表層海水中の溶存態無機窒素とクロロフィルaの経年変化. 岡山水研報告28.1-4.
- 8) 岩男 昂 (2001) : 周防灘大分県沿岸域の水質変動. 大分海水研調研報3, 19-25.
- 9) 宮下幸久・井関和夫・湯川翔太・小池一彦・手塚尚明・浜口昌巳 (2008) : 周防灘における光環境,クロロフィルa及び濁度の季節・海域変動.広島大学大学院生物圏科学研究科紀要 47,41-51.