

ノート

## 伊勢湾における貧酸素水塊発生時の植物プランクトン種および各種環境要因への湾内流の影響について

天野晴貴, 足立敦子, 新家淳治, 国分秀樹\*,  
竹之内健介\*\*, 小林利行\*\*

### Effect of Stream on Phytoplankton and Water Quality Environmental Factors at Occurrence of Hypoxic Water in Ise Bay

Haruki AMANO, Atsuko ADACHI, Junji NIINOMI, Hideki KOKUBU,  
Kensuke TAKENOUCI and Toshiyuki KOBAYASHI

伊勢湾内で発生する貧酸素水塊上層に外洋水が進入していることを調べるため、湾奥、湾中央および湾口の表層および中層の植物プランクトン種の調査を実施した。その結果、同時期に湾中央中層水と湾口水の両方に同種の植物プランクトン種が認められた。このことから、外洋水の中層進入の可能性が考えられる。また、エスチュアリー循環流および河川の流入が植物プランクトン数の増減に影響したと考えられる。更に、栄養塩類等の調査結果から、河川流入およびそれに伴うエスチュアリー循環流による底層からの輸送によって増加した栄養塩により、植物プランクトンが生産され、それに続く食物連鎖により湾内の物質循環が促され、湾内への有機物の蓄積を防ぐことに繋がると考えられる。

キーワード：伊勢湾、貧酸素水塊、植物プランクトン、栄養塩類、エスチュアリー循環

#### はじめに

伊勢湾沿岸は国内有数の漁場であり、また、海水浴場、潮干狩り場等のレクリエーション施設も広く分布し、地域にとって重要な資源である。しかし、伊勢湾内で夏季に発生する底層貧酸素水塊は、魚介類の大量へい死を引き起こし、漁業や観光業に被害を与えている。近年、伊勢湾では貧酸素水塊の発生期間の長期化や発生範囲の拡大が観測され、その対策が課題となっている。また、三重県水産研究所が実施している浅海定線観測調査において、夏季に発生する底層貧酸素水塊の直上でクロロフィル $a$ 濃度の極大が観測されている。三重県保健環境研究所が2012年度から実施している伊勢湾再生に係る調査研究事業において、2012年度に底層貧酸素水塊発生時の底質中の細菌叢調査を、2013年度に底層貧酸素水塊発生時の深度別植物プランクトン調査を実施した。これらの調査から底

層貧酸素水塊発生時の底質中では嫌気性細菌が優先しており、貧酸素水塊直上の水深で観測されたクロロフィル $a$ 極大が存在する海水層には渦鞭毛藻が多数存在していることが判明した<sup>1)</sup>。伊勢湾における貧酸素水塊の消長は、外洋から進入する水塊の水温・塩分の影響を受けるといわれている<sup>2)</sup>。また、外洋から湾内に進入する海水は、伊良湖水道（伊勢湾口）で湾内水と外洋水が混ざったもの（以後、混合水）である。この混合水は湾内水の密度との差によって湾内への進入深度が異なり、4月から10月には湾内の底層水（貧酸素状態の水塊）の上部（以下、中層）に進入すると推測されている<sup>3)</sup>。この推測のように、混合水が中層へ進入しているならば、混合水中と中層水中に同種の植物プランクトン種が存在する可能性がある。先に述べた渦鞭毛藻は、この進入により外洋から運ばれてきたとも考えられる。そこで2014年度の伊

\* 三重県水産研究所鈴鹿水産研究室

\*\* 三重県環境生活部大気・水環境課

勢湾再生に係る調査研究事業では、夏季に貧酸素水塊が発生する湾奥に加え、河川流入の影響が大きい湾奥と、1年を通して外洋水と湾内水が混合している湾口での植物プランクトン種の深度別存在状況の調査およびそれらの調査場所で採水した海水の理化学分析を実施した。得られた結果から、河川水および外洋水の湾内流入が湾内の物質循環に与える影響並びに混合水進入の状況について考察したので報告する。

## 調査方法

### 1. 観測点および観測期間

本研究の観測点位置を図1を示す。この図は、三重県水産研究所が毎月実施している伊勢湾浅海定線観測の各観測点を示している。今回の調査では、これらの地点から河川流入の影響が大きい湾奥測点(St. 2, 以下, 湾奥), 貧酸素化しやすい湾央測点(St. 10, 以下, 湾央)および1年を通して溶存酸素(以下, DO)を多く含む湾口測点(St. 18, 以下, 湾口)の3測点を選び、2014年7月3日, 8月12日および9月5日に調査を行った。サンプリングおよび現場観測は、水産研究所が実施する浅海定線観測調査に併せて行った。

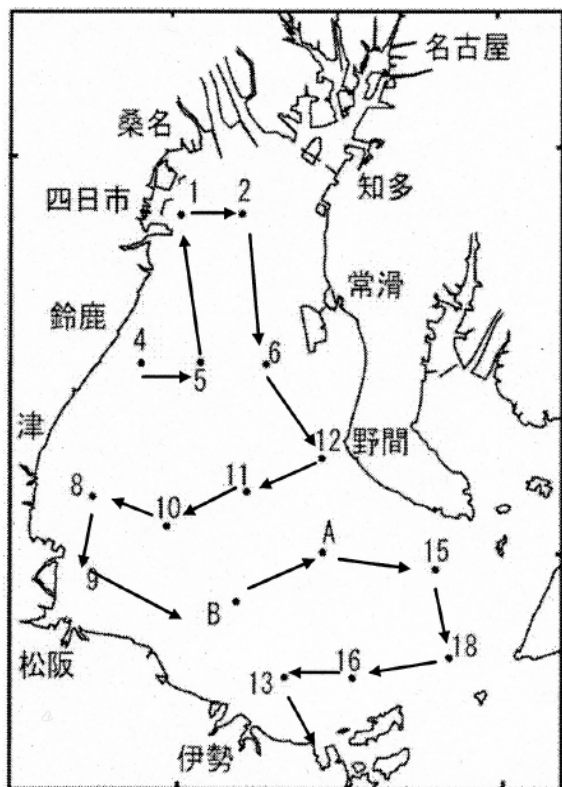


図1 浅海定線観測点および航路図  
出典：三重県水産研究所 浅海定線観測結果

### 2. 採水方法

各測点とも、水産研究所所有の海洋観測等多目的調査船「あさま」に装備されている採水機能付きCTDによりサンプリングを行った。各測点の採水深度は、表層(水深2m)および特定の深度(中層)の2測点で行った。特定の深度は次のとおりとした。

【湾奥】図1の測点：St. 2

採水当日のあさまのCTD観測データによる密度躍層付近

《7月》15m 《8月》10m 《9月》10m

【湾央】図1の測点：St. 10

2013年度に実施した調査と同様にクロロフィルa極大点付近を目標としたが、8月および9月はそれに該当する点が認められずDO躍層付近(深度：10~22m)とした。

《7月》22m 《8月》18m 《9月》10m

【湾口】図1の測点：St. 18

2012年12月~2013年11月のあさまのCTD観測データを参考にして鉛直混合が十分に起きている水深20mとした。

以下、2014年7月, 8月, 9月にサンプリングした試料を、それぞれ次の通り表記する。

【湾奥表層】湾奥上-7, 湾奥上-8, 湾奥上-9

【湾奥特定深度】湾奥下-7, 湾奥下-8, 湾奥下-9

【湾央表層】湾央上-7, 湾央上-8, 湾央上-9

【湾央特定深度】湾央下-7, 湾央下-8, 湾央下-9

【湾口表層】湾口上-7, 湾口上-8, 湾口上-9

【湾口特定深度】湾口下-7, 湾口下-8, 湾口下-9

### 3. 分析項目および方法

#### 1) 理化学分析

水温, 濁度, 化学的酸素要求量(COD), 総窒素(T-N)および総リン(T-P)を測定した。なお, 栄養塩類の分析はオートアナライザー(ビーエルテック社)で行った。

#### 2) 植物プランクトン調査

伊勢湾浅海定線調査終了後、水産研究所においてホルマリンで固定した。試料水1L中の植物プランクトンの出現種, 個体数および種類数を測定した。

## 結果

### 1. 理化学分析

試料の理化学分析結果を表1に示す。

#### 1) 濁度：

表1 試料の理化学分析結果

湾奥 (St.2)						
試料名 (水深)						
	上-7 (2m)	上-8 (2m)	上-9 (2m)	下-7 (15m)	下-8 (10m)	下-9 (10m)
濁度(ppm)	7.6	26	5.5	6.7	22	0.45
COD(mg/L)	2.9	1.7	2.5	1.4	2.4	1.5
TN(mg/L)	0.23	0.39	0.40	0.15	0.30	0.29
TP(mg/L)	0.026	0.068	0.047	0.016	0.056	0.046
湾央 (St.10)						
試料名 (水深)						
	上-7 (2m)	上-8 (2m)	上-9 (2m)	下-7 (22m)	下-8 (18m)	下-9 (10m)
濁度(ppm)	1.3	4.7	0.65	4.2	2.5	0.90
COD(mg/L)	2.0	1.3	2.3	1.4	1.2	1.7
TN(mg/L)	0.15	0.44	0.14	0.32	0.18	0.14
TP(mg/L)	0.011	0.063	0.0017	0.057	0.035	0.025
湾口 (St.18)						
試料名 (水深)						
	上-7 (2m)	上-8 (2m)	上-9 (2m)	下-7 (20m)	下-8 (20m)	下-9 (20m)
濁度(ppm)	4.1	1.7	5.5	1.1	1.0	1.6
COD(mg/L)	1.1	1.7	1.9	1.2	0.98	1.4
TN(mg/L)	0.17	0.31	0.14	0.18	0.23	0.14
TP(mg/L)	0.017	0.037	0.020	0.020	0.043	0.023

湾奥上下, 湾央上は9月<7月<8月の順に高かった。湾央下, 湾口下は大きな変化はなかった。湾口上は7月≒9月>8月であった。

2) COD :

湾奥上, 湾央上は7月≒9月>8月で, 湾奥下は7月≒9月<8月であった。湾央下, 湾口下は大きな変化はなかった。湾口上は8月≒9月>7月であった。

3) T-N, T-P :

湾奥上下のT-N は7月<8月≒9月となった。湾奥上下および湾口上のT-Pは7月<9月<8月の順に高かった。湾央上のT-N は7月≒9月<8月となった。湾口上下のT-N, 湾央上および湾口下のT-Pは9月<7月<8月の順に高かった。湾央下のT-NおよびT-Pは9月<8月<7月の順に高かった。

2. 植物プランクトン調査

表2に試料中に存在を確認できたプランクトン種を, 表3にその数を示す。

1) 試料に存在を確認できたプランクトン種

同一観測日に湾口上下と湾央下にのみ存在していたのは次のとおりであった。(単位: cell/L)

- (1) 珪藻 *Lauderia annulata*(No.27)

湾央下-9 : 240, 湾口下-9 : 300

(2) *Actinoptychus senarius*(No.35)

湾央下-9 : 240, 湾口下-9 : 60

(3) *Chaetoceros debile*(No.54)

湾央下-9 : 480, 湾口上-9 : 1440

(4) *C. distans*(No.58)

湾央下-9 : 240, 湾口上-9 : 5760

(5) *Thalassiothrix* spp. (No.66)

湾央下-8 : 120, 湾口上-8 : 240, 湾口下-8 : 120

(6) ハプト藻 *Haptophyceae*(No.78)

湾央下-9 : 720, 湾口上-9 : 960, 湾口下-9 : 480

2) 試料中のプランクトン数

各試料中のプランクトン数 (cells/L) の計測結果は次のとおりとなった。なお、湾奥下および湾央下の採水深度は月ごとに異なっている (表1参照)。

(1) 湾奥上

8月<7月<9月の順に多かった。

(2) 湾奥下

9月<7月<8月の順に多かった。

(3) 湾央上

9月<7月<8月の順に多かった。

(4) 湾央下

表 2 試料に存在を確認できたプランクトンの種と数

単位 : cells/L

番号	網	種	試料名								
			湾奥 上-7	湾奥 上-8	湾奥 上-9	湾央 上-7	湾央 上-8	湾央 上-9	湾口 上-7	湾口 上-8	湾口 上-9
1	クリプト藻	Cryptophyceae	30000	2400	30000	4320	3600	480	5280	1440	7200
2	渦鞭毛藻	<i>Prorocentrum compressum</i>									
3		<i>P. micans</i>									
4		<i>P. minimum</i>			7200				240		
5		<i>P. triestinum</i>	4800			2880			1920		
6		<i>Dinophysis acuminata</i>	600	240		120	1200		120		
7		<i>D. caudata</i>									
8		<i>D. rotundata</i>	300	120							
9		<i>Oxyphysis oxytoxoides</i>									
10		Gymnodiniales	4800	480	2400	4320			2880	1920	480
11		<i>Noctiluca scintillans</i>	600	120	900	840	300	560	240		
12		<i>Ceratium furca</i>	4800			240	1200	180		1680	
13		<i>C. fusus</i>	25200	6600	300	360	27600		480		480
14		<i>C. kofoidii</i>	1200						240		
15		<i>C. trichoceros</i>						120			
16		<i>C. tripos</i>									
17		<i>Gonvaulax verior</i>	1200								
18		<i>Protooperidinium bipes</i>	13200								
19		<i>P. depressum</i>	300			120	300				
20		<i>P. spp.</i>	1200	1440			2400			120	120
21		<i>Scrippsiella trochoidea</i>							120		
22		<i>Scrippsiella</i> sp.	2400								
23		<i>Oxytoxum</i> sp.									
24		Peridinales	10800	480	2400	4800	2400	60	2880	480	
25		珪藻	<i>Cyclotella</i> spp.			4800					
26	<i>Detonula pumila</i>									720	960
27	<i>Lauderia annulata</i>								480		
28	<i>Skeletonema costatum</i>			5760	634800		921600		1920	155520	17280
29	<i>Thalassiosira</i> spp.		396000	480	1383600	960	1200	960	9120	9120	5280
30	Thalassiosiraceae		20400	1920	277200		6000	240	2400	8160	2880
31	<i>Leptocylindrus danicus</i>		8400		6000	68640		120	2400		1440
32	<i>L. mediterraneus</i>										960
33	<i>L. minimus</i>		6000		33600					480	1920
34	<i>Coscinodiscus</i> sp.								120		
35	<i>Actinocyclus senarius</i>										
36	<i>Guinardia flaccida</i>										
37	<i>Rhizosolenia alata</i>										
38	<i>R. calcar avis</i>							120			
39	<i>R. delicatula</i>										
40	<i>R. fragilissima</i>		8400		1200					1920	480
41	<i>R. phuketensis</i>								720		720
42	<i>R. sp.</i>									120	
43	<i>Cerataulina dentata</i>										
44	<i>C. pelagica</i>		10800		6000					480	480
45	<i>Eucampia zodiacus</i>								480	1320	
46	<i>Bacteriastrum comosum</i>										
47	<i>B. spp.</i>										3360
48	<i>Chaetoceros affine</i>										
49	<i>C. coarctatum</i>						900				
50	<i>C. compressum</i>										14880
51	<i>C. costatum</i>										7200
52	<i>C. curvisetum</i>									240	960
53	<i>C. danicum</i>			120			300			240	
54	<i>C. debile</i>								960	1200	1440
55	<i>C. decipiens</i>				2400		1500			1920	960
56	<i>C. didymum</i>				6000					960	
57	<i>C. didymum</i> var. <i>anglica</i>									600	600
58	<i>C. distans</i>										5760
59	<i>C. pseudocurvisetum</i>									1440	
60	<i>C. sociale</i>										
61	<i>C. spp.</i>		9600		385200		15600		1920	6720	43680
62	<i>Asterionella glacialis</i>										15360
63	<i>Neodelphineis pelagica</i>			840	3600					23520	4320
64	<i>Thalassionema nitzschioides</i>				4800			240			5280
65	<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>				600					1200	
66	<i>Thalassiothrix</i> spp.									240	120
67	<i>Navicula membranacea</i>								240	120	
68	<i>Pleurosigma</i> spp.										120
69	<i>Trachyneis</i> sp.										
70	<i>Cylindrotheca closterium</i>		289200	2400	3600	9120	2400	480	4800	6720	6240
71	<i>Pseudo-nitzschia multistriata</i>		4800			5760		300	1920	6240	9120
72	<i>P. sp.</i> (cf. <i>pungens</i> )		22800	960		480	2400	540	960	9600	2040
73	<i>P. spp.</i>				2400	1440			1920	24000	10080
74	黄金色藻		<i>Apedinella spinifera</i>				480	1200		480	
75		<i>Dictyocha fibula</i>	1200						480		
76		<i>Distephanus speculum</i>	2400			480			1920		
77		<i>Ebria tripartita</i>	10800		2400	1440		60			960
78	ハプト藻	Haptophyceae								960	
79	ブラシノ藻	Prasinophyceae	3600	960		960				960	
		プランクトン数合計	895800	25320	2801400	107760	992100	4700	47400	268440	175200
		プランクトンの種類数	30	17	24	20	19	16	28	31	37

表 2 (続き)

単位 : cells/L

番号	綱	種	試料名								
			湾奥 下-7	湾奥 下-8	湾奥 下-9	湾央 下-7	湾央 下-8	湾央 下-9	湾口 下-7	湾口 下-8	湾口 下-9
1	クリプト藻	Cryptophyceae	1200	2400	720			960	1440	1200	240
2	渦鞭毛藻	<i>Proocentrum compressum</i>								60	
3		<i>P. micans</i>								60	
4		<i>P. minimum</i>									
5		<i>P. triestinum</i>									
6		<i>Dinophysis acuminata</i>	120	360			240				
7		<i>D. caudata</i>	480							120	
8		<i>D. rotundata</i>	120				120				
9		<i>Oxyphysis oxytoxoides</i>	60				180			60	
10		Gymnodinales	240	1440			240	120		480	
11		<i>Noctiluca scintillans</i>			630		120	10		60	
12		<i>Ceratium furca</i>	60				180		240	120	
13		<i>C. fusus</i>	60	480					960	540	300
14		<i>C. kofoidii</i>					120				
15		<i>C. trichoceros</i>									
16		<i>C. tripos</i>								120	
17		<i>Gonvaulax verior</i>									
18		<i>Protoperdinium bipes</i>		480							
19		<i>P. depressum</i>									
20		<i>P. spp.</i>		960	60	240	60				
21		<i>Scrippsiella trochoidea</i>							120		
22		<i>Scrippsiella</i> sp.									
23		<i>Oxytoxum</i> sp.	1200					60			
24		Peridinales				720	240		960	240	
25	珪藻	<i>Cyclotella</i> spp.									
26		<i>Detonula pumila</i>		240				960			
27		<i>Lauderia annulata</i>						240			300
28		<i>Skeletonema costatum</i>	1200	73440	4560	1440	480		2880	10800	960
29		<i>Thalassiosira</i> spp.	8400	4800	1200		1200	2400	1920	3120	960
30		Thalassiosiraceae	720	7200	720	240	240	480	1440	720	480
31		<i>Leptocylindrus danicus</i>	480	1440	240		2160	960	960	2640	
32		<i>L. mediterraneus</i>	540		360			480		720	480
33		<i>L. minimus</i>							1440	720	
34		<i>Coccinodiscus</i> sp.									
35		<i>Actinoptychus senarius</i>						240		360	60
36		<i>Guinardia flaccida</i>	60								
37		<i>Rhizosolenia alata</i>	60			240					120
38		<i>R. calcar avis</i>					60				
39		<i>R. delicatula</i>							360		
40		<i>R. fragilissima</i>	240	480			60	60	480		180
41		<i>R. phuketensis</i>	180	600					120	180	
42		<i>R. sp.</i>		120					120	60	
43		<i>Cerataulina dentata</i>		360							
44		<i>C. pelagica</i>		480			60				
45		<i>Eucampia zodiacus</i>		360							
46		<i>Bacteriastrum comosum</i>					240				
47		<i>B. spp.</i>									
48		<i>Chaetoceros affine</i>							1080	120	240
49		<i>C. coarctatum</i>									
50		<i>C. compressum</i>		840				1080			960
51		<i>C. costatum</i>									1440
52		<i>C. curvisetum</i>							480	180	
53		<i>C. danicum</i>		360	120		240			120	
54		<i>C. debile</i>						480		780	
55		<i>C. decipiens</i>		720				240		420	120
56		<i>C. didymum</i>		1560			120			720	
57		<i>C. didymum</i> var. <i>anglica</i>		1080				300		300	
58		<i>C. distans</i>						240			
59		<i>C. pseudocurvisetum</i>									
60		<i>C. sociale</i>								1440	1440
61		<i>C. spp.</i>		6720	720			480	3360	2640	3360
62		<i>Asterionella glacialis</i>									900
63		<i>Neodelphineis pelagica</i>		1200			240	1200		5280	480
64		<i>Thalassionema nitzschioides</i>		480	60		120			540	60
65		<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>		720	60		240	420		840	300
66		<i>Thalassiothrix</i> spp.					120			120	
67		<i>Navicula membranacea</i>	180				60		120		
68		<i>Pleurosigma</i> spp.								180	
69		<i>Trachyneis</i> sp.							120	60	
70		<i>Cylindrotheca closterium</i>	1680	6720	240	480	3120		2880	5040	
71		<i>Pseudo-nitzschia multistriata</i>		1440			2880			2640	
72		<i>P. sp.</i> (cf. <i>pungens</i> )	240	17280			1440	780		3840	480
73		<i>P. spp.</i>		9120				240		6000	240
74	黄金色藻	<i>Apedinella spinifera</i>									
75		<i>Dictyocha fibula</i>	480			480			480		
76		<i>Distephanus speculum</i>	720	480					1920		
77		<i>Ebria tripartita</i>	240		60			60			
78	ハプト藻	Haptophyceae						720			480
79	プラシノ藻	Prasinophyceae									240
		プランクトン数合計	18960	144360	9750	4680	13860	13090	24360	53160	14820
		プランクトンの種類数	25	32	15	13	24	24	24	39	25

表3 試料中のプランクトン数

単位：cells/L

分類群	試料名					
	湾奥 上-7	湾奥 下-7	湾央 上-7	湾央 下-7	湾口 上-7	湾口 下-7
珪藻	776,400	13,980	86,400	2,400	30,360	17,760
渦鞭毛藻	71,400	2,340	13,680	1,800	8,880	2,760
クリプト藻	30,000	1,200	4,320	0	5,280	1,440
その他	52,800	5,040	14,400	7,920	16,800	7,680
合計	930,600	22,560	118,800	12,120	61,320	29,640

分類群	試料名					
	湾奥 上-8	湾奥 下-8	湾央 上-8	湾央 下-8	湾口 上-8	湾口 下-8
珪藻	12,480	137,760	951,900	13,080	262,800	50,580
渦鞭毛藻	9,480	3,720	35,400	780	4,200	1,380
クリプト藻	2,400	2,400	3,600	0	1,440	1,200
その他	2,400	2,880	4,800	720	2,400	720
合計	26,760	146,760	995,700	14,580	270,840	53,880

分類群	試料名					
	湾奥 上-9	湾奥 下-9	湾央 上-9	湾央 下-9	湾口 上-9	湾口 下-9
珪藻	2,755,800	8,280	3,000	11,280	164,040	13,560
渦鞭毛藻	13,200	690	1,160	70	1,080	300
クリプト藻	30,000	720	480	960	7,200	240
その他	66,000	540	300	1,260	5,280	960
合計	2,865,000	10,230	4,940	13,570	177,600	15,060

大きな変動はなかった。

(5) 湾口上

7月<9月<8月の順に多かった。

(6) 湾口下

9月<7月<8月の順に多かった。

### 3. 気象庁アメダス観測所の観測データ

伊勢湾に流入する河川の流域（以下、流域）に位置する気象庁アメダス観測所の観測データ<sup>4)</sup>（日積算降水量、以下、アメダスデータ）を図2の流入区分ごとに集計し、表4に示した。各月のアメダスデータは、植物プランクトン調査実施日およびその9日前までの日について集計を行った。なお、流入区分は次のとおりとした。

#### 【北】伊勢湾北部

名古屋港、常滑港、四日市港を含む区域。流入する主要河川は、木曾川、長良川、揖斐川、庄内川、新川、員弁川、朝明川、三滝川、天白川（三重）、鈴鹿川。

#### 【西】伊勢湾西部

津・松阪港を含む区域。流入する主要河川は、志登茂川、安濃川、岩田川、雲出川、榑田川。

#### 【南東】伊勢湾南東部

三河湾を含む区域。流入する主要河川は、矢作川、豊川。

#### 【南西】伊勢湾南西部

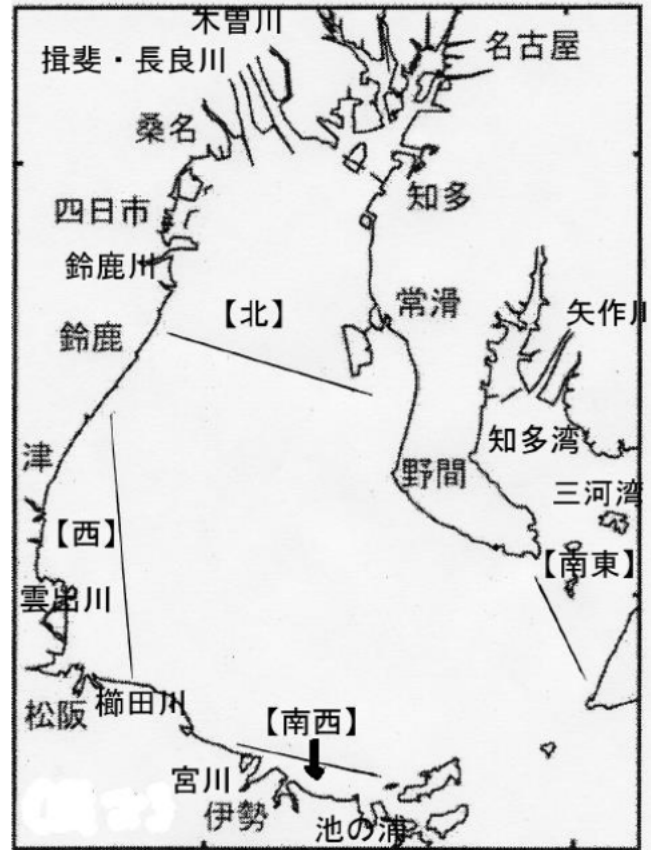


図2 伊勢湾に流入する河川の流入区分  
出典：三重県水産研究所 浅海定線観測結果

表 4 調査日および調査日以前 9 日間の伊勢湾流域アメダス日積算降水量  
(mm)

流入区分	日積算降水量									
	9日前 (6月24日)	8日前 (6月25日)	7日前 (6月26日)	6日前 (6月27日)	5日前 (6月28日)	4日前 (6月29日)	3日前 (6月30日)	2日前 (7月1日)	前日 (7月2日)	調査日 (7月3日)
湾北 <sup>1)</sup>	72.5	342.0	83.0	41.5	357.0	433.0	8.5	57.5	2.0	931.5
湾西 <sup>2)</sup>	1.0	18.5	0.5	23.0	134.5	6.0	0.0	0.0	0.0	135.0
湾南東 <sup>3)</sup>	0.0	29.5	0.5	0.0	25.5	99.5	0.0	0.0	38.5	267.0
湾南西 <sup>4)</sup>	1.0	0.0	0.0	26.0	62.0	4.0	3.0	0.0	0.0	102.0
流入区分	日積算降水量									
	9日前 (8月3日)	8日前 (8月4日)	7日前 (8月5日)	6日前 (8月6日)	5日前 (8月7日)	4日前 (8月8日)	3日前 (8月9日)	2日前 (8月10日)	前日 (8月11日)	調査日 (8月12日)
湾北	236.0	195.0	327.5	287.0	81.5	723.5	1999.5	3147.5	250.5	1000.0
湾西	4.0	5.5	7.5	85.0	2.5	1.5	1373.5	305.5	1.0	78.5
湾南東	27.0	88.0	7.5	0.0	4.5	1.5	400.0	948.5	49.5	702.5
湾南西	21.5	10.0	0.0	8.0	1.0	0.5	721.5	377.5	0.5	107.0
流入区分	日積算降水量									
	9日前 (8月27日)	8日前 (8月28日)	7日前 (8月29日)	6日前 (8月30日)	5日前 (8月31日)	4日前 (9月1日)	3日前 (9月2日)	2日前 (9月3日)	前日 (9月4日)	調査日 (9月5日)
湾北	130.5	65.5	46.0	121.0	134.0	643.0	1.5	12.5	406.5	757.5
湾西	0.5	23.5	5.5	0.0	26.0	31.0	0.0	16.0	68.5	0.5
湾南東	24.0	71.0	69.5	23.5	57.0	597.0	0.5	0.0	63.5	212.5
湾南西	0.5	21.0	12.0	3.0	33.5	105.0	0.0	48.0	89.5	1.0

伊勢湾流域内アメダス観測所所在地

- 1) 湾北: 北勢, 桑名, 四日市, 亀山, 蟹江, 愛西, 一宮, 名古屋, セントレア, 上石津, 関ヶ原, 大垣, 岐阜, 揖斐川, 美濃, 樽見, 関市板取, 八幡, 長滝, 美濃加茂, 恵那, 中津川, 伽藍, 黒川, 付知, 金山, 宮地, 萩原, 宮之前, 船山, 多治見, 南木曽, 須原, 木曽福島, 開田高原, 御嶽山.
- 2) 湾西: 津, 笠取山, 白山, 粥見.
- 3) 湾南東: 大府, 南知多, 一色, 岡崎, 豊田, 小原, 阿蔵, 作手, 稲武, 蒲郡, 新城, 豊橋, 田原, 伊良湖.
- 4) 湾南西: 小俣, 宮川, 鳥羽

伊勢市沿岸から池の浦を含む区域. 流入する主要河川は外城田川, 宮川, 勢田川, 五十鈴川.

- 1) 7月調査日までの10日間の積算降水量  
全流域のアメダスデータの合計は約 3,300mm, そのうち湾北分は約 2,330mm であった.
- 2) 8月調査日までの10日間の積算降水量  
8月10日に近畿地方を台風11号が通過し, 東海地方もこの台風の接近・通過の影響を受けたため, 全流域のアメダスデータの合計は約 13,600mm, そのうち湾北分は約 8,250mm であった.
- 3) 9月調査日までの10日間の積算降水量  
全流域分のアメダスデータの合計は約 3,920mm, そのうち湾北分は約 2,320mm であった.

4. 調査船あさまCTD観測データ

調査船あさまCTD観測データ<sup>5)</sup>(DOおよび密度, 以下, CTDデータ)を用いて2014年7月から9月の湾奥, 湾央および湾口のDOおよび密度について《海面付近》深度0.5m, 《表層試料採水の深度》深度2m, 《中層試料採水の深度》深度10m(湾奥・湾央), 15m(湾奥), 18m(湾央), 20m(湾口), 22m(湾央), 《海底から数m上(海底付近)の深度》深度20m(湾奥), 28m(湾央), 45m(湾口), 《比較用》30m(湾口)の各深度における測定値をまとめて表5に示した. なお, DOが2.4mg/L未満の状態を「貧酸素」として区分した.



表5 あさまCTD観測データ

測点	深度 (m)	DO(mg/L)			密度			備考
		7月	8月	9月	7月	8月	9月	
湾奥	0.5	7.89	5.20	6.40	18.16	11.37	12.06	
	2	7.83	4.91	6.33	18.17	18.00	13.78	採水(上)
	10	4.40	2.79	2.19	21.58	21.37	19.82	採水(下8,9)
奥	15	4.79	4.40	3.78	23.23	22.63	22.28	採水(下7)
	20	2.38	3.98	3.47	23.47	22.68	22.72	
湾	0.5	7.06	6.59	6.69	19.74	10.40	17.08	
	2	7.06	6.20	6.68	19.74	16.16	17.24	採水(上)
	10	2.76	5.55	5.23	23.16	19.67	20.85	採水(下9)
	18	1.35	4.07	2.95	23.83	21.16	22.48	採水(下8)
央	22	0.93	2.20	2.29	24.08	23.30	22.86	採水(下7)
	28	0.15	1.97	0.12	24.16	23.54	23.39	
湾	0.5	6.44	6.55	6.48	22.60	15.78	21.29	
	2	6.25	6.38	6.28	22.65	15.91	21.54	採水(上)
	20	5.79	4.69	5.41	23.49	21.65	22.27	採水(下)
口	30	5.83	4.88	3.63	23.59	22.47	22.92	
	45	5.55	4.94	3.18	23.68	22.64	23.49	

1) DO

(1) 湾奥

7月は深度20mで貧酸素状態であった。8月および9月は深度10mのDOが深度20mよりも低くなっていた。

(2) 湾央

7月から9月は深度28mにおいて貧酸素状態であった。

(3) 湾口

9月は深度10mにおいて貧酸素状態であった。8月および9月は深度30m以深で5mg/L未満であった。

2) 密度

(1) 湾奥

7月から9月は深度20mまで20未満であった。8月および9月は深度0.5mで約12以下であった。

(2) 湾央

7月から9月は深度2mまで20未満であった。8月は深度0.5mで約10以下であった。

(3) 湾口

8月は深度2mまで20未満であった。

5. 伊勢湾環境データベース 水質定点観測リアルタイム情報

国土交通省中部地方整備局港湾空港部がインターネット上で公開しているデータ<sup>6)</sup>「伊勢湾環境データベース 水質定点観測リアルタイム情報」(以



図3 水質定点観測点位置図  
出典:伊勢湾環境データベース

下, 定点データ) から, 植物プランクトン調査実施日およびその9日前までの日の《湾奥》, 《湾央》および《湾口》(各測点の位置は図3のとおり)の観測データの一部(塩分, 濁度, クロロフィル, DOおよび酸素飽和度)を利用して, 観測値の日時変化を図4~21に示した。以下において, 水質定点観測の湾奥, 湾央および湾口測点をそれぞれ定点湾奥, 定点湾央および定点湾口とする。

1) 定点湾奥



6月27日から7月2日は塩分が低下し、濁度が上昇していた（図4）。7月1日および7月2日は濁度、クロロフィルおよびDOのピークがほぼ重なって出現していた（図4および図7）。8月10日から8月12日は塩分が低下し、濁度が上昇していた（図10）。8月10日および8月11日は濁度、クロロフィルおよびDOのピークがほぼ重なって出現していた（図10

および図13）。8月7日の0時から12時はクロロフィルが増加後直ちに減少したのに対し、DOは減少後に増加していた（図13）。8月8日から8月9日はDOとクロロフィルのピークが重なっていた（図13）。8月10日から8月12日は高濁度のピークが出現していなかった（図10および図13）。9月4日から9月5日は塩分が一時的に低下している時に濁度が上昇

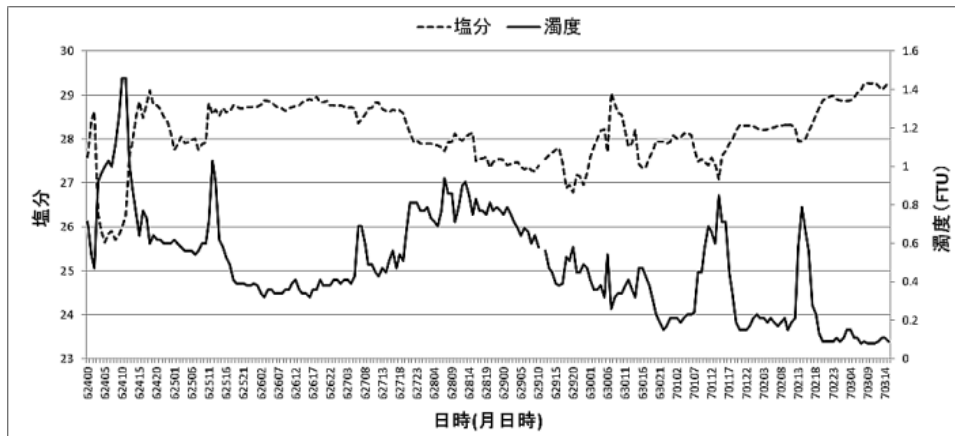


図4 定点湾奥における7月の塩分と濁度の変動（深度2m）

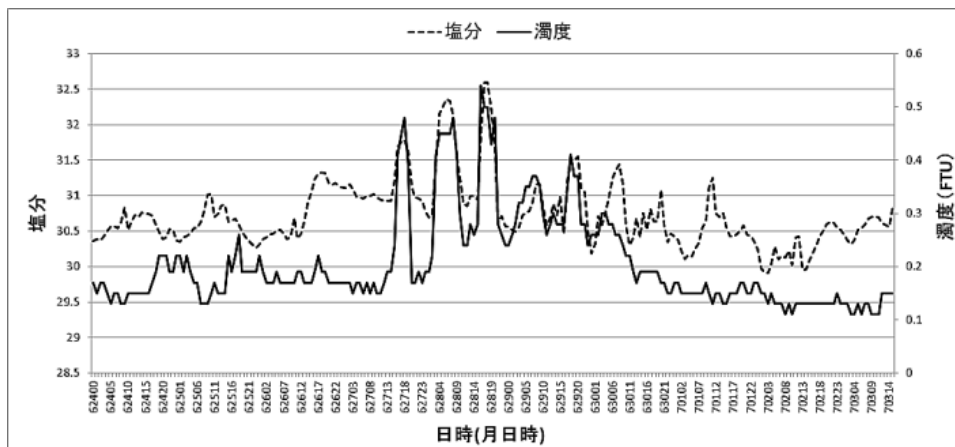


図5 定点湾中央における7月の塩分と濁度の変動（深度2m）

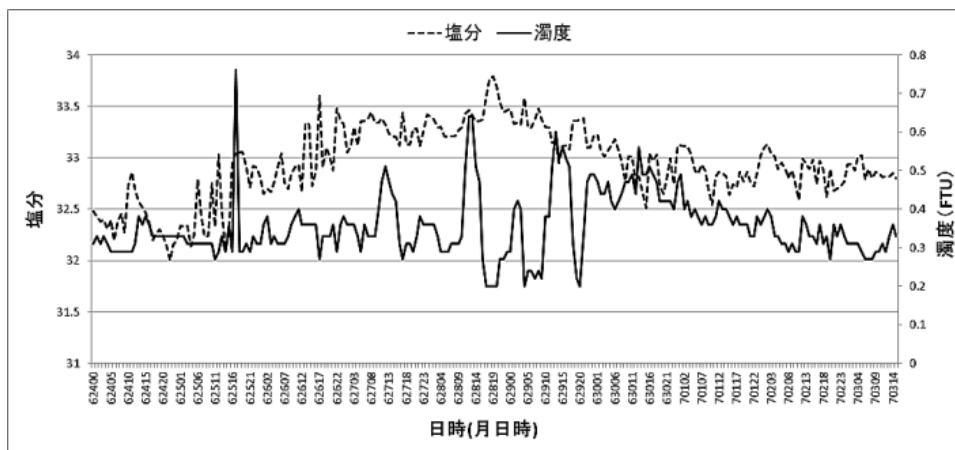


図6 定点湾口における7月の塩分と濁度の変動（上層：深度約3m）

し(図16), この時, 濁度, クロロフィルおよびDOのピークがほぼ重なって出現していた(図16および図19). 9月4日から9月5日はクロロフィルのピークが出現していたが, 濁度はそれに見合うほど上昇していなかった(図17および図20).

2) 定点湾央

6月27日から6月30日は塩分, 濁度, クロロフィ

ルおよびDOのピークがほぼ重なって出現していた(図5および図8). 8月10日は塩分, 濁度, クロロフィルおよびDOのピークがほぼ重なって出現していた(図11および図14). 8月31日から9月1日は塩分がその前2ヶ月間に比べて継続して低下している状況で, 濁度, クロロフィルおよびDOのピークがほぼ重なって出現していた(図17および

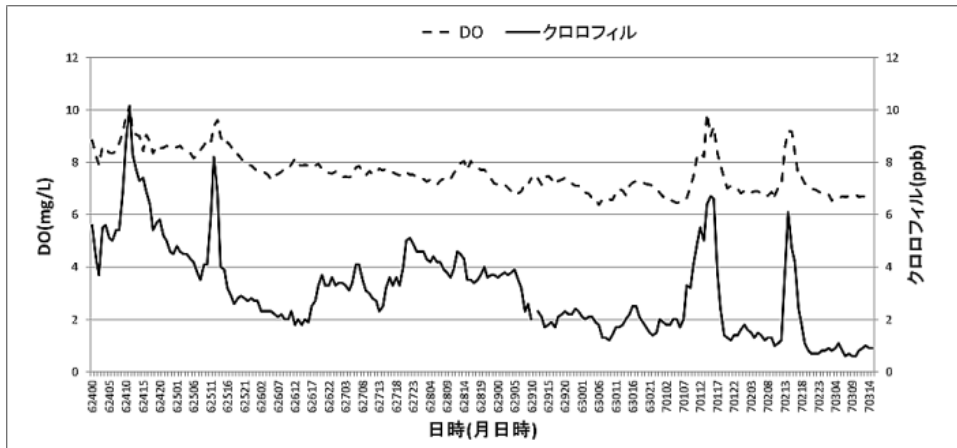


図7 定点湾奥における7月のDOとクロロフィル含量の変動(深度2m)

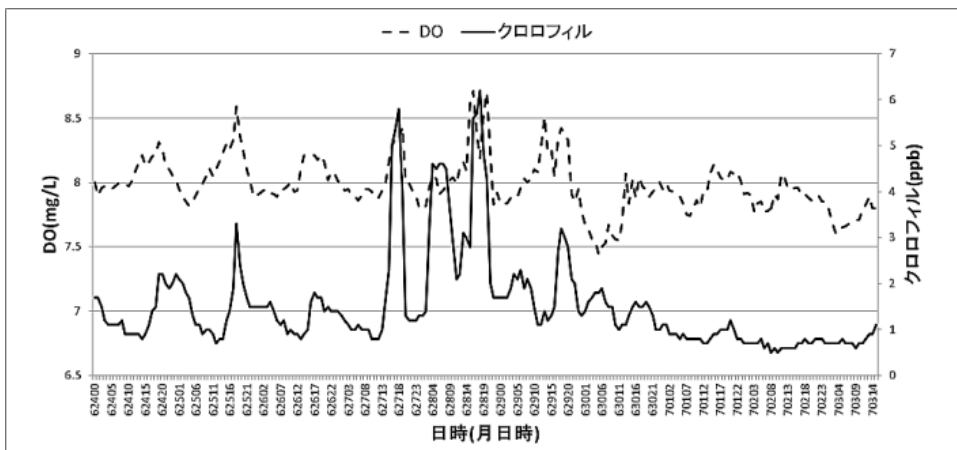


図8 定点湾央における7月のDOとクロロフィル含量の変動(深度2m)

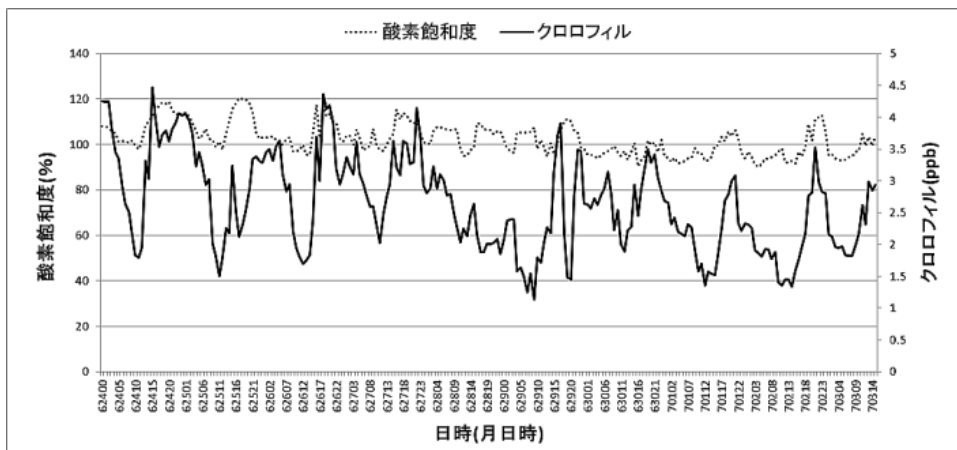


図9 定点湾口における7月の酸素飽和度とクロロフィル含量の変動(上層: 深度約3m)

図20) .

3) 定点湾口

6月29日から6月30日は濁度およびクロロフィルのピークが重なって出現していた(図6および図9) .  
8月12日は濁度およびクロロフィルのピークがほぼ重なって出現していた(図12および図15) . 8月30日から9月3日は塩分が低下している時に濁度

とクロロフィルのピークがほぼ重なる現象が発生していた(図18および図21) .

考察

1. 植物プランクトン調査結果からの湾内への外洋水の流入評価

2013年度は湾中央測点で調査を3回実施し、そのす

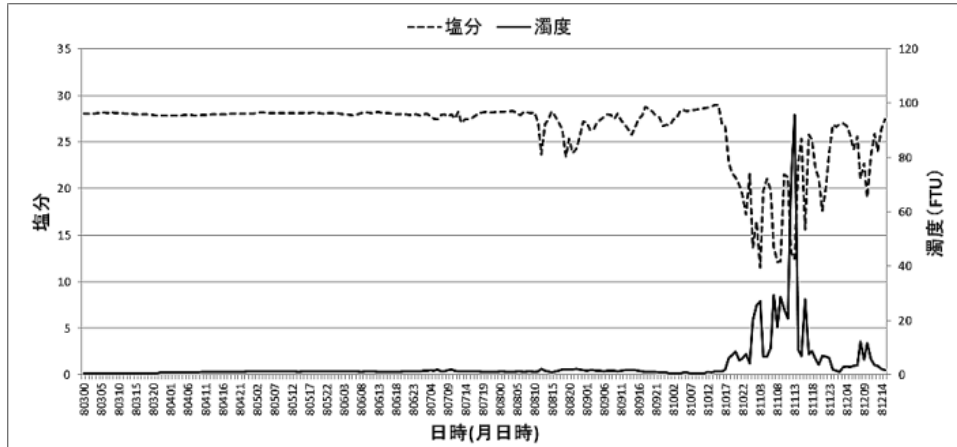


図 10 定点湾奥における 8 月の塩分と濁度の変動 (深度 2m)

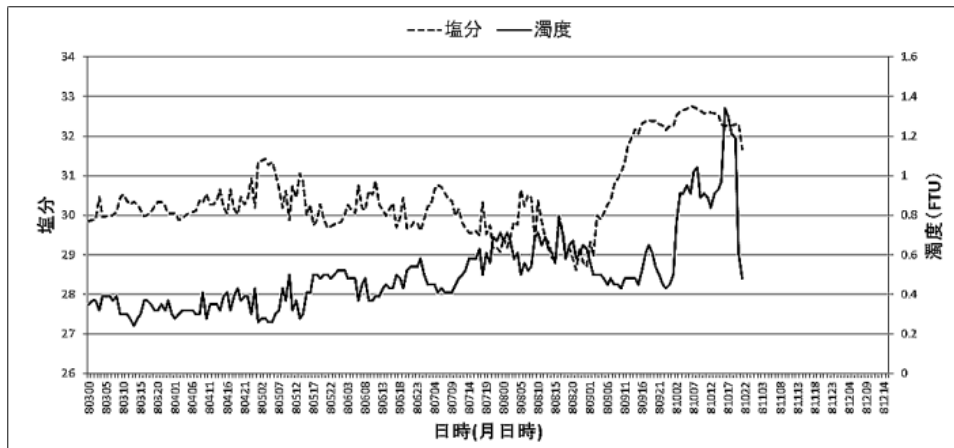


図 11 定点湾中央における 8 月の塩分と濁度の変動 (深度 2m)

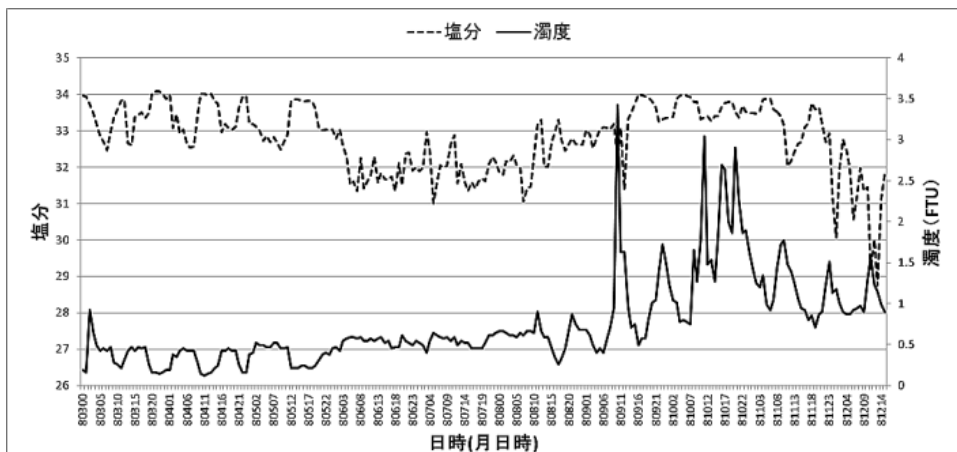


図 12 定点湾口における 8 月の塩分と濁度の変動 (上層 : 深度約 3m)

すべての調査でクロロフィルa極大が観測された。クロロフィルaの極大が観測された直上の海水層を採水して調査したところ3回とも渦鞭毛藻が多数存在していた<sup>1)</sup>。2014年度の調査では、7月には湾中央でクロロフィルaの極大が確認できたが、8月、9月の調査では認められなかった。7月の調査では珪藻と渦鞭毛藻で30%以上の割合を占めていたが、

8月および9月の調査では珪藻のみで80%以上を占めており、渦鞭毛藻は5%以下と減少していた。この構成比の変化がクロロフィルa極大の有無に影響している可能性が考えられる。細胞数やプランクトン種の構成比が異なっていたのは、調査日までに湾内へ流入した降雨水の影響を受けたためと考えられる。湾口と湾中央にのみ確認できたプラ

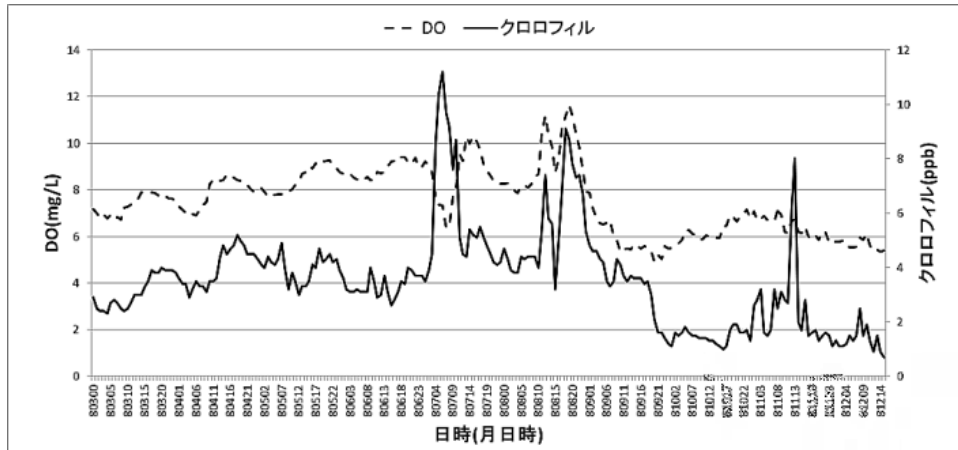


図 13 定点湾奥における 8月の DO とクロロフィル含量の変動 (深度 2m)

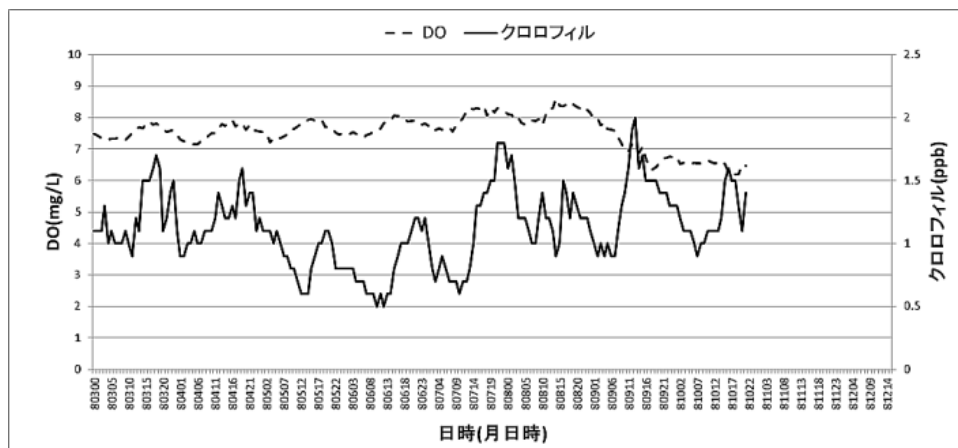


図 14 定点湾中央における 8月の DO とクロロフィル含量 (深度 2m)

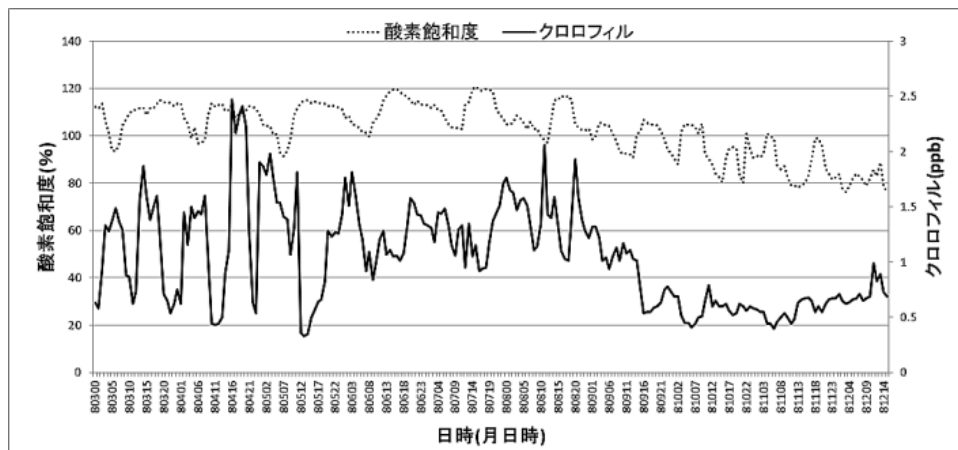


図 15 定点湾口における 8月の酸素飽和度とクロロフィル含量の変動 (上層：深度約 3m)

ンクトン種は、「結果 2. 植物プランクトン調査」で示したように6種類であった。それらの数は全種類とも数十から数千個と少ないが、外洋水の中層進入が起こっていた可能性を示唆する結果が得られた。

## 2. 陸域からの流入状況

台風の影響に伴う大量の河川水の流入が起こった時には、湾奥部の低塩分化および低塩分水が鉛直拡散を伴いながら沖側に拡散していく様子が観測されている<sup>7)</sup>。低塩分水とは即ち低密度の海水である。河川水が湾内に流れ込んだことにより、湾奥の海水の密度が低下し、湾口との間の圧力場に不均衡が生じる。その不均衡を解消するように湾

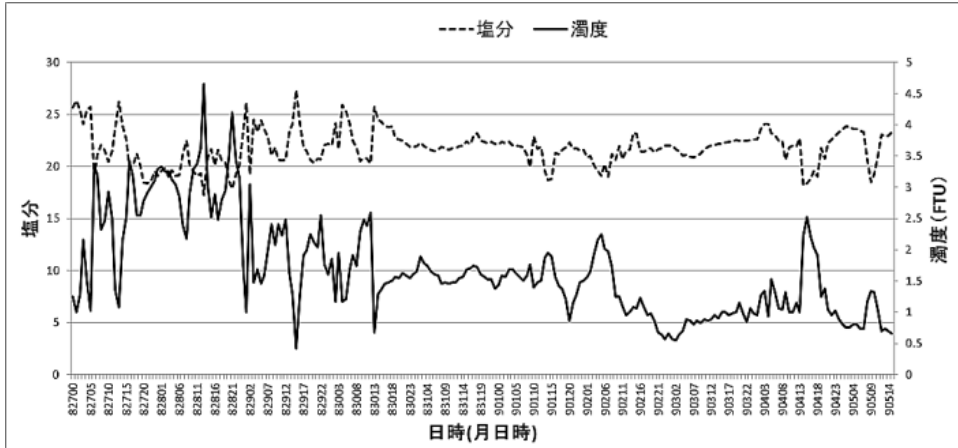


図 16 定点湾奥における9月の塩分と濁度の変動（深度2m）

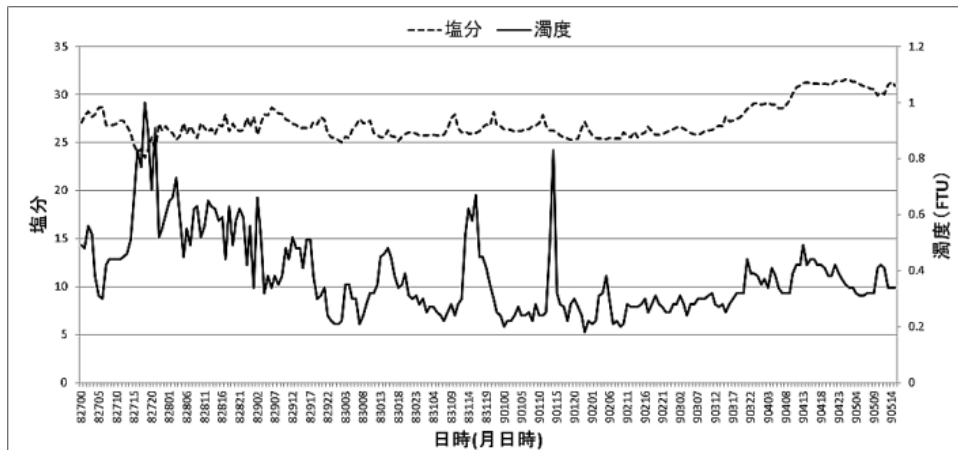


図 17 定点湾中央における9月の塩分と濁度の変動（深度2m）

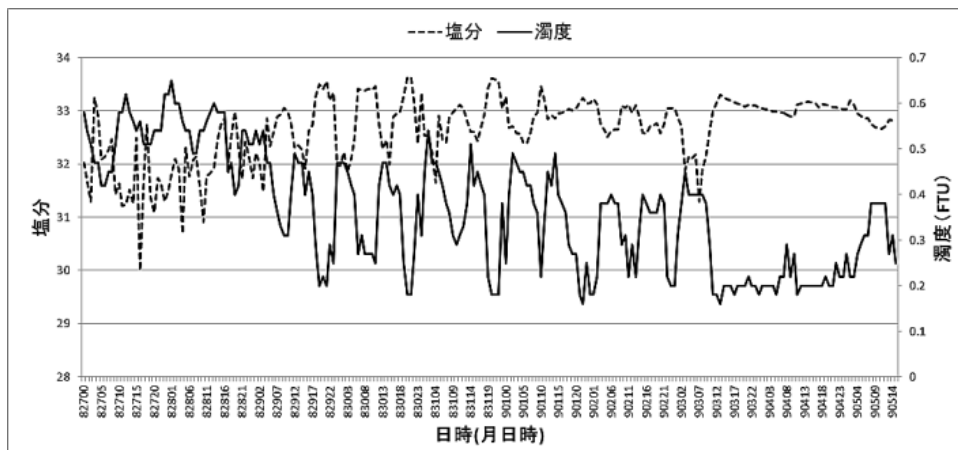


図 18 定点湾口における9月の塩分と濁度の変動（上層：深度約3m）

全体規模の循環が駆動される。その駆動によって低密度の海水が湾の上層を流れ、それより密度が大きい湾口の海水が下層を流れるエスチュアリー循環と呼ばれる海水の流れが発生する。エスチュアリー循環に伴う流量は河川流量の数倍から数十倍の規模があるとされており<sup>8,9)</sup>、台風の影響による大雨で大量の河川水の出水が起こった場合は、

河川流量の増大に伴ってエスチュアリー循環流量が増加し<sup>10)</sup>、より強力な循環が起こって通常よりも早く湾奥の海水が湾口に到達すると考えられる。表4に示した湾内に流入する河川の流域に設置されているアメダス観測所で20mm弱の降雨が1時間観測され、その観測された降雨が2日後には湾内に流入した形跡（流入河川沖で濁度およびクロロフ

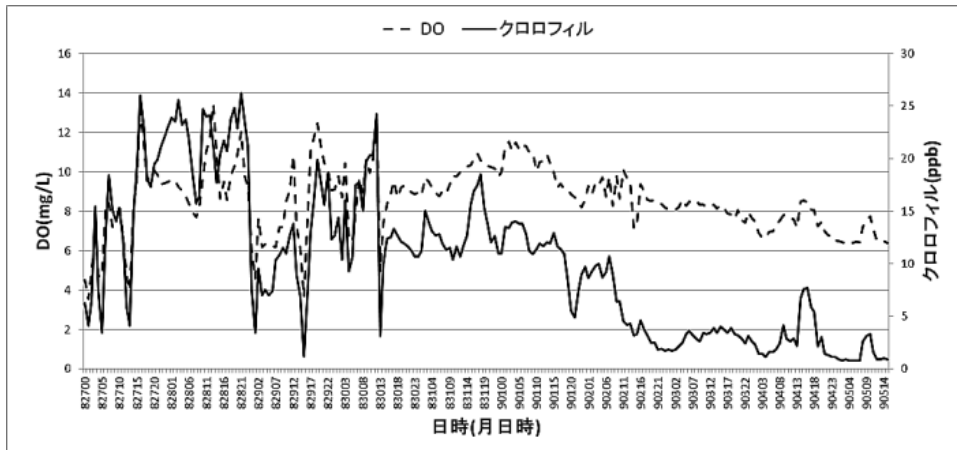


図 19 定点湾奥における9月のDOとクロロフィル含量の変動(深度2m)

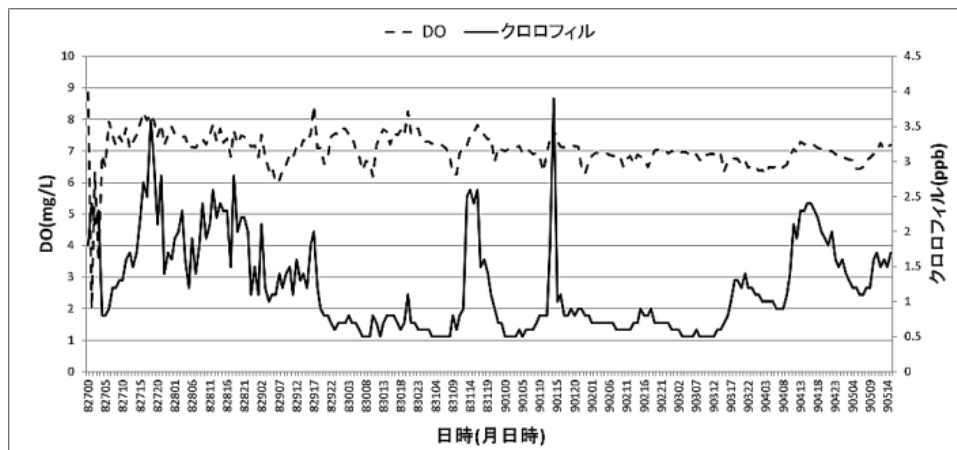


図 20 定点湾奥における9月のDOとクロロフィル含量の変動(深度2m)

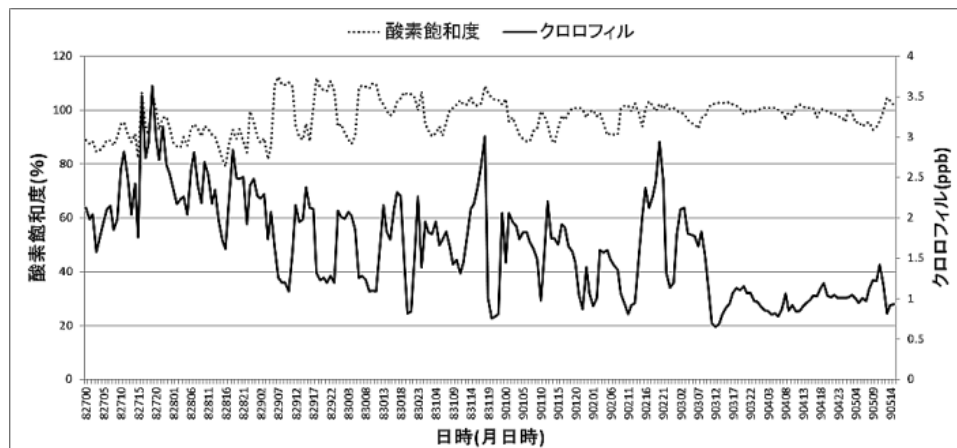


図 21 定点湾口における9月の酸素飽和度とクロロフィル含量の変動(上層:深度約3m)

イル濃度が上昇)が確認されており<sup>11)</sup>,表4でアメダス降雨量が多く観測された翌々日迄には降雨が湾内に流入していたものと考えられる.台風による大雨の流入で強力なエスチュアリー循環流が発生すること,また,20mm程度の雨量でも翌々日には湾内に到達していたことから,表4で8月8日から8月10日に観測された降雨は8月12日の調査日には湾奥に流入,湾央や湾口にも流れ込んでいたと考えられる.伊勢湾では台風の影響で30mほどの水深のある地点においても表面付近の海水が海底にまで到達していたという報告<sup>12)</sup>もあるので,8月12日はこのエスチュアリー循環流の影響に加え台風の強風の影響により生じた吹送流により湾内の海水が7月および9月よりは混合された状態であったと思われる<sup>13)</sup>.表5で8月12日の湾央の深度10m,湾口の深度2mの海水層の密度が16未満であるのはこれらの現象が原因と考えられる.あさまの調査結果では7月および9月の湾奥の深度2mの密度が20未満に低下していた.これは数日前の大量の降雨が湾内に流入したことにより,塩分濃度が低下したためと考えられる.湾奥の8月の深度20mのDOが貧酸素状態ではなくなり,深度10mのDOのほうが,深度20mのDOよりも低下した状態となっていた.これは数日前の大量の降雨が湾内に流入したことにより,湾内上層では湾奥から湾口に向かう流れが,下層ではこの反対向きの流れが,つまり湾内にエスチュアリー循環流が発生し<sup>14)</sup>,湾奥から低密度の湾内表層水が湾口まで到達し,その補償として湾奥底部よりはDOが多く含まれる湾口の海水が,湾奥の下層に流れ着いた影響を受けた結果と考えられる.河川流量が大きいほど湾内下層から上層への栄養塩輸送量は大きくなるとされており<sup>10)</sup>,表1において,7月よりも8月の湾奥上層の栄養塩濃度が高くなったのは,大雨の影響で河川流入量が増えたことにより栄養塩輸送量が増加したためと思われる.

### 3. 陸域からの流入による植物プランクトンへの影響

アメダスデータおよび定点データから,概ね大雨の3日後には定点湾奥に河川水が到達し,そこで河川水に含まれる豊富な栄養塩を利用して植物プランクトンが増殖し,濁度とクロロフィル濃度が上昇したと考えられる.定点湾央と定点湾口の濁度・クロロフィル濃度上昇については,塩分の減少を伴っておらず,河川水の影響はほとんどない

と思われる.採水時の植物プランクトン数は,その時点で河川出水に伴う栄養塩の到達・利用の状況およびエスチュアリー循環流の影響で植物プランクトンがその場所から流されたかどうか,或いはそこに別の場所から植物プランクトンが流れ着いたかの影響を受けたこともあり,月ごとに地点ごとに増減の幅が大きくなったと思われる.8月の湾央上の細胞数が約99.6万と8月で他の月よりも多いのは台風に伴った大雨の影響で発生したエスチュアリー循環流で湾奥から河川水に含まれる栄養塩が到達し(T-Nは7月の約3倍,T-Pは7月の4倍),そこで植物プランクトンがそれを利用して増殖したためと考えられる.また,9月の湾央上の細胞数が他の月より著しく少なかったのは,8月の増殖で栄養塩が減少したため(T-Nは7月より若干少ない目,T-Pは7月の2割弱),湾央では植物プランクトンが減少したと考えられる.なお,9月の湾奥上の細胞数が3月間で最大となったのは,大雨で河川出水に伴い流入した多量の栄養塩と下層から輸送された栄養塩(T-N,T-Pとも7月の約2倍)を利用して増殖が起こった<sup>15,16)</sup>ためと考えられる.

### まとめ

2014年度の植物プランクトン種の調査では,湾口での外洋混合水が湾内へ貫入した形跡を僅かに捉えるに留まった.8月および9月の調査は,大雨や台風の影響を受け,7月のみ湾央下でクロロフィルa極大が確認され,そこでの植物プランクトン種は高塩分を好み日周鉛直移動を行う渦鞭毛藻の比率が高い傾向であった.台風に伴う大雨と強風の影響によって,湾内に強いエスチュアリー循環流や吹送流が発生し,その影響で湾奥底部の貧酸素状態が一時的に解消されたことが確認できた.また,植物プランクトン数の増減へのエスチュアリー循環流および河川流入の影響が認められた.河川流入およびそれに伴うエスチュアリー循環流による底層からの輸送によって増加した栄養塩により,植物プランクトンが生産され,それに続く食物連鎖により湾内の物質循環が促されれば,湾内への富栄養化,ひいては底層貧酸素水塊の発生原因となる有機物の蓄積を防ぐことに繋がると考えられる.

### 謝辞

本研究は三重県水産研究所調査船あさまの協力により実施しました.ここに記して謝意を表します.



## 文 献

- 1) 足立敦子, 巽 正志, 齋藤麻衣, 国分秀樹, 仲野申一, 小林利行, 秋永克三, 前川行幸, (2014): 伊勢湾における貧酸素水塊発生時の植物プランクトン種の特徴について, 三重保環研年報, **59**, 66-73.
- 2) 川崎浩司, 戸田圭亮, 藤原建紀, (2010): 海洋データ同化システム情報を活用した伊勢湾における貧酸素水塊の長期再現計算, 沿岸海洋研究, **46**, 57-64.
- 3) 高橋鉄哉, 藤原建紀, (2000): 伊勢湾における外洋系水の進入深度と貧酸素水塊の季節変動, 海の研究, **9**, 265-271.
- 4) 気象庁, 過去の気象データ, <http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>
- 5) 三重県水産研究所, 浅海定線観測結果, <http://www.mpstpc.pref.mie.lg.jp/SUI/suzuka/senkaiteisen/senkaiindex.htm>
- 6) 国土交通省中部地方整備局港湾空港部, 伊勢湾環境データベース, 水質定点観測リアルタイム情報, [http://www.isewan-db.go.jp/realweb/REAL\\_WEB\\_buoy/PointSelect/Index.asp](http://www.isewan-db.go.jp/realweb/REAL_WEB_buoy/PointSelect/Index.asp)
- 7) 関根義彦, 川股信一, 佐藤祐一, (1992): 初冬期における伊勢湾の沿岸フロントの観測, 沿岸海洋研究ノート, **29**, 190-196.
- 8) 笠井亮秀, 杉本 亮, 赤嶺里美, (2007): 内湾域における中層クロロフィル極大の形成機構, 海と空, **82**, 53-60.
- 9) 藤原建紀, (2007): 河口域および内湾域におけるエスチュアリー循環流, 沿岸海洋研究, **44**, 95-106.
- 10) 山尾 理, 笠井亮秀, 藤原建紀, 杉山陽一, 原田一利, (2002): 河川流量の変動にともなう伊勢湾のエスチュアリー循環流量・栄養塩輸送量の変化, 海岸工学論文集, **49**, 961-965.
- 11) 喜岡 渉, 堀 孝博, 堀部扶実, 北野利一, (2008): 伊勢湾・三河湾における降雨後の物質輸送について, 海岸工学論文集, **55**, 1036-1040.
- 12) 佐藤 敏, (1996): 台風による伊勢湾の成層の崩壊, 水路部研究報告, **32**, 17-22.
- 13) 藤原建紀, (1996): 伊勢湾の成層とエスチュアリー循環の季節変動, 海の研究, **5**, 235-244.
- 14) 磯田 豊, (2010): エスチュアリー循環流で駆動される表層時計回り水平渦流に関する Fujiwara et al. (1997) 理論解の改訂, 北大水産彙報, **60**, 1-4.
- 15) 杉本 亮, 笠井亮秀, 山尾 理, 藤原建紀, 木村琢磨, (2004): 伊勢湾における河川流量の変動に伴う懸濁態有機物の変化, 水産海洋研究, **68**, 142-150
- 16) 笠井亮秀, (2012): 沿岸生態系における流動環境と物質循環, 日本水産学会誌, **78**, 372-375.