

# 海況自動観測ブイ10ヶ年観測結果（1991～2000年）から みられる三河湾の赤潮と貧酸素

青山裕晃・石田基雄・木村仁美

## Red tides and hypoxia described from the decade data (1991-2000) of the oceanographic observation buoy system in Mikawa Bay

AOYAMA Hiroaki\*<sup>1</sup>, ISHIDA Motoo\*<sup>1</sup>, and KIMURA Hitomi\*<sup>2</sup>

**Abstract:** The oceanographic observation buoy system has stored the data in Mikawa Bay since 1991. It consists of 3 buoys and data receiver. Each buoy has two oceanographic observation devices for two layers, 3.5m below surface and 2.0m above bottom, and meteorological observation device. The data are composed of water temperature, salinity, dissolved oxygen, current velocity, air temperature and wind velocity. Authors report average, maximum, and minimum value of the decade data from 1991 to 2000, respectively. Characteristics of Mikawa Bay, special reference to red tides and hypoxia, are briefly described from these data.

キーワード；三河湾，海況自動観測ブイ，平年値，貧酸素，赤潮

気象海象の変動を迅速に漁業者に伝達することにより，漁業の適正管理を図り，漁業経営の安定に資することを目的として三河湾に海況自動観測ブイが3基設置されている。このデータは，ブイ旬報（月3回），ブイ情報（夏期：週1～2回）および貧酸素情報（夏期：月1～2回）として郵送あるいはFAX（平成13年度よりホームページへも掲載：月3回）により迅速に漁業協同組合を始めとする関係機関に伝達されている。

また，平成6年のアサリの大量へい死，<sup>1)</sup>平成8年春季のハプト藻類の大規模赤潮，<sup>2)</sup>平成12年のヘテロカプサ（殺二枚貝性）<sup>3)</sup>の赤潮といった突発的な異常現象においてもその機構解明に関する重要な知見がブイデータから得られ，長・短期の海洋環境変動をリアルタイムで取得できる有用性と利便性が評価されている。

この観測ブイは1991年3月に設置され，同年4月より観測を開始し，2001年現在に至っている。今回，観測データが10年間蓄積<sup>4)</sup>され，これらを取りまとめる

ことにより，三河湾で発生する赤潮や貧酸素について若干の知見が得られたので報告する。

### 材料および方法

海況自動観測ブイは，テレメータ装置（松下電器産業株式会社製 ETH3227AA），ブイ浮体（株式会社ゼニライト製 DB-35E7-P），計測器（株式会社鶴見精機製 03531-03561）で構成され，風向風速，気温と海面下3.5m（以後，上層と呼ぶ）および海底面上2.0m（以後，下層と呼ぶ）の水溫，塩分，溶存酸素飽和度，流向流速を毎正時に計測し，磁気媒体に記録するものである。

ブイは，図1および表1に示す位置に設置されている。また，各測定項目の計測方式，測定手法は表2のとおりである。

\*1 愛知県水産試験場（Aichi Fisheries Research Institute, Miya, Gamagori, Aichi 443-0021, Japan）

\*2 愛知県農林水産部水産課（Aichi Prefecture Fisheries Division, Nakaku, Nagoya, Aichi 460-8501, Japan）

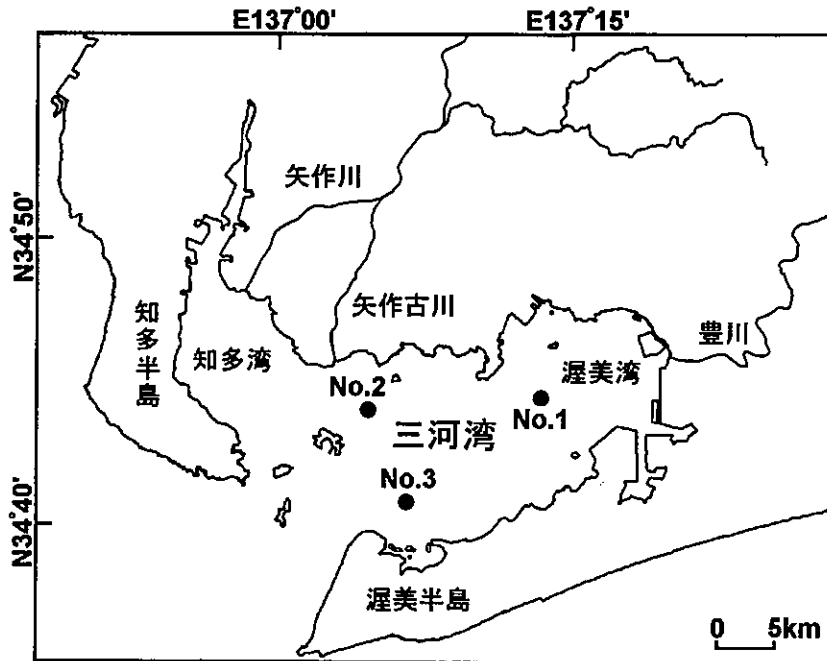


図1 三河湾海況自動観測ブイ位置  
●自動海況観測ブイ

表1 海況自動観測ブイ設置位置及び水深

ブイ番号	北緯	東経	設置水深*
No.1	N 34° 44.4'	E 137° 13.4'	11
No.2	N 34° 44.5'	E 137° 4.5'	12
No.3	N 34° 40.3'	E 137° 6.0'	14

\*水深は平均水深

表2 海況自動観測ブイの計測方式および測定手法

計測器	計測方式	測定手法
風向風速計	プロベラ、矢羽根コンパス式	2分間のスカラー平均 2m/s以下は微風とし、風向は記録しない
気温計	白金測温抵抗式	瞬間値
水温・塩分計	白金測温抵抗式、電磁誘導型セル式	瞬間値
溶存酸素計	ガルバニセル型隔膜電極(攪拌機構付)	15秒攪拌後の瞬間値
流向流速計	超音波振動子、フラックスゲートコンパス式	1分間(120data)の平均値

## 結果

1, 2, 3号ブイの水温, 塩分, 溶存酸素飽和度の10ヶ年の月別平均値をそれぞれ図2, 3, 4に, さらに各観測項目の最大値, 最小値並びに全平均値, 全最大値, 全最小値をそれぞれ表3, 4, 5に示した。流向流速と風向風速の平均値については, 南北, 東西成分に分離した後, 求めるベクトル平均とした。

### 1 水温

1号ブイの上層は3.7~32.1℃の範囲で, 年平均16.6℃, 同じく下層は4.0~29.5℃の範囲で, 年平均15.6℃であった。2号ブイの上層は4.9~31.0℃の範囲で, 年平均17.0℃, 同じく下層は6.1~30.1℃の範囲で, 年平均16.5℃であった。3号ブイ

の上層は5.0~31.3℃の範囲で, 年平均16.8℃, 同じく下層は4.9~29.3℃の範囲で, 年平均16.2℃であった。

年平均でみると上, 下層とも2号, 3号, 1号の順で高かった。水温の範囲は1号ブイの上, 下層とも他の2つのブイよりも広く, 2, 3号ブイはほとんど同じであった。1号ブイは他の地点よりも暖まりやすく冷えやすい特徴がみられた。

春季(3月~5月)と秋季(9月~11月)は上下層間の水温差はほとんどみられないが, 冬季(12月~2月)には下層が0.3~0.5℃位上層よりも高く, 夏季(6月~8月)には上層が3~4℃位の下層よりも高くなった。

### 2 塩分

1号ブイの上層は21.8~34.7PSUの範囲で, 年平均30.5PSU, 同じく下層は25.0~34.7PSUの範囲で, 年平均31.6PSUであった。2号ブイの上層は19.6~34.1PSUの範囲で, 年平均31.0PSU, 同じく下層は23.0~34.8PSUの範囲で, 年平均31.9PSUであった。3号ブイの上層は20.1~34.5PSUの範囲で, 年平均31.4PSU, 同じく下層は26.2~35.5PSUの範囲で, 年平均32.3PSUであった。

年平均をみると上下層とも3号, 2号, 1号の順で高く, 外海の高塩分水の影響を受けやすい順となっている。しかし, 最低塩分をみると2号の方が1号よりも低くなっており, 2号の方が河川水の影響を受けやすいか, 出水量が矢作川の方が豊川よりも多かったためと考えられる。

上層塩分は7月と10月に低下しやすく, 特に7月は水温差もあって密度差が拡大し顕著な2層構造となるこ

表3 1号ブイの月別10ヶ年平均値、最大値および最小値

月	項目	番号	上層					下層					風		
			水温 (°C)	塩分 (PSU)	DO (%)	流向 (degree)	流速 (m/s)	水温 (°C)	塩分 (PSU)	DO (%)	流向 (degree)	流速 (m/s)	気温 (°C)	風向 (degree)	風速 (m/s)
Apr	ave	1	12.9	30.4	107.8	4	0.011	12.1	31.3	92.7	34	0.012	13.8	320	1.90
	max	1	20.6	33.6	187.0	88	0.380	17.6	33.3	141.0	325	0.490	25.2	101	18.80
	min	1	8.9	26.1	51.0			8.9	28.1	34.0			3.5		
May	ave	1	17.8	30.7	105.7	313	0.010	16.5	31.7	77.9	67	0.011	18.2	49	0.40
	max	1	22.0	34.0	197.0	177	0.400	20.7	34.3	148.0	88	0.310	28.7	92	17.50
	min	1	13.6	24.0	52.0			11.7	25.0	3.0			8.0		
Jun	ave	1	21.7	30.5	106.6	314	0.006	19.4	32.3	47.7	46	0.012	21.8	126	0.84
	max	1	27.6	33.6	211.0	256	0.490	23.8	34.5	116.0	88	0.370	32.2	105	22.70
	min	1	18.6	21.8	5.0			15.9	25.4	0.0			15.4		
Jul	ave	1	25.3	29.6	107.3	10	0.012	21.3	32.1	27.1	12	0.008	25.8	162	1.30
	max	1	30.4	33.4	202.0	258	0.510	28.6	34.0	121.0	227	0.380	34.4	90	20.80
	min	1	20.2	24.1	0.0			18.2	25.5	0.0			17.2		
Aug	ave	1	27.2	30.3	107.6	331	0.015	23.3	32.3	23.9	17	0.009	27.1	137	1.86
	max	1	32.1	34.7	238.0	193	0.480	29.2	33.6	129.0	60	0.390	36.8	199	18.60
	min	1	20.4	25.3	29.0			18.8	28.5	0.0			19.8		
Sep	ave	1	25.3	30.4	94.5	317	0.012	24.3	32.0	46.2	26	0.008	24.3	69	1.01
	max	1	30.5	33.9	203.0	122	1.400	29.5	34.7	130.0	15	0.480	33.9	170	26.00
	min	1	20.9	23.5	1.0			21.1	28.9	0.0			14.1		
Oct	ave	1	21.1	29.8	103.7	283	0.011	21.4	31.0	69.5	21	0.011	19.4	344	2.67
	max	1	26.3	32.5	247.0	96	0.720	25.7	33.0	169.0	210	0.460	29.6	171	21.10
	min	1	16.4	21.8	10.0			16.8	26.8	5.0			9.1		
Nov	ave	1	15.9	30.5	100.0	301	0.008	16.3	31.0	88.7	7	0.013	14.0	329	4.30
	max	1	20.5	32.6	187.0	144	0.720	22.2	33.4	130.0	262	0.440	24.2	197	17.40
	min	1	10.6	26.9	29.0			10.6	28.1	25.0			5.4		
Dec	ave	1	10.5	30.5	101.0	270	0.007	11.0	31.1	95.1	360	0.021	8.8	320	5.64
	max	1	14.8	32.3	171.0	184	0.860	15.8	33.5	128.0	281	0.600	18.9	327	18.80
	min	1	5.8	26.7	63.0			6.0	28.8	54.0			-0.8		
Jan	ave	1	7.2	30.9	102.7	302	0.004	7.5	31.3	100.8	0	0.025	6.0	317	6.03
	max	1	10.6	32.6	147.0	210	0.340	11.6	33.1	135.0	100	0.290	15.4	286	17.20
	min	1	4.6	28.2	75.0			4.9	28.1	63.0			-4.0		
Feb	ave	1	6.0	31.0	101.5	337	0.009	6.2	31.4	99.7	344	0.028	5.6	316	6.04
	max	1	10.1	32.8	136.0	215	0.330	11.1	33.1	118.0	13	0.300	17.8	104	19.80
	min	1	3.7	27.8	50.0			4.0	29.7	65.0			-2.3		
Mar	ave	1	8.3	31.0	101.7	338	0.006	8.2	31.5	98.7	349	0.021	8.6	318	4.46
	max	1	12.7	32.4	150.0	85	0.440	11.3	32.9	118.0	342	0.280	19.9	286	18.40
	min	1	4.7	27.7	52.0			5.0	29.2	62.0			-0.2		
All	ave	1	16.6	30.5	103.3	324	0.008	15.6	31.6	72.6	8	0.014	16.2	324	2.22
	max	1	32.1	34.7	247.0	122	1.400	29.5	34.7	169.0	281	0.600	36.8	170	26.00
	min	1	3.7	21.8	0.0			4.0	25.0	0.0			-4.0		

表4 2号パイの月別10ヶ年平均値、最大値および最小値

月	項目	番号	上層					下層					風		
			水温 (°C)	塩分 (PSU)	DO (%)	流向 (degree)	流速 (m/s)	水温 (°C)	塩分 (PSU)	DO (%)	流向 (degree)	流速 (m/s)	気温 (°C)	風向 (degree)	風速 (m/s)
Apr	ave	2	13.2	31.1	107.3	239	0.013	12.9	31.8	94.6	9	0.011	13.7	328	2.06
	max	2	19.9	33.1	166.0	188	0.560	19.0	33.5	146.0	154	0.420	25.1	91	17.80
	min	2	9.5	24.4	65.0	9.4	28.1	30.0				2.9			
May	ave	2	17.6	31.0	104.7	247	0.024	16.9	31.9	85.6	15	0.009	17.9	64	0.48
	max	2	22.4	33.4	197.0	136	0.510	21.8	34.8	144.0	28	0.440	28.0	92	19.50
	min	2	13.6	24.1	52.0	265	0.013	13.5	27.7	20.0	5	0.010	21.7	126	1.22
Jun	ave	2	21.4	31.1	107.2	265	0.013	19.8	32.2	69.4	5	0.010	21.7	126	1.22
	max	2	26.3	33.5	221.0	124	0.810	24.0	34.2	155.0	358	0.390	32.5	96	21.40
	min	2	18.1	21.0	41.0	266	0.023	16.4	25.6	3.0			14.8		
Jul	ave	2	24.8	29.6	99.5	258	0.480	28.1	34.4	127.0	315	0.440	34.0	120	21.00
	max	2	30.4	34.1	190.0	20	0.490	30.1	33.9	148.0	288	0.710	34.0	110	18.90
	min	2	19.7	20.1	4.0	278	0.024	17.9	23.0	0.0			17.7		
Aug	ave	2	26.7	30.6	101.5	241	0.450	25.2	34.6	126.0	28	0.420	29.6	127	26.70
	max	2	31.0	34.1	178.0	20	0.490	30.1	33.9	148.0	288	0.710	34.0	110	18.90
	min	2	19.9	25.4	3.0	248	0.021	18.9	24.5	0.0			19.6		
Sep	ave	2	25.0	30.3	99.5	213	0.013	16.6	31.4	91.2	6	0.020	13.5	330	4.34
	max	2	30.1	34.0	198.0	117	0.820	28.5	34.3	135.0	24	0.680	33.2	124	28.40
	min	2	20.4	21.8	28.0	241	0.450	20.8	26.7	0.0			12.6		
Oct	ave	2	21.0	30.6	97.9	234	0.021	21.4	31.3	80.6	15	0.015	19.0	338	2.91
	max	2	25.0	33.5	161.0	241	0.450	25.2	34.6	126.0	28	0.420	29.6	127	26.70
	min	2	17.0	19.6	46.0	212	0.450	17.3	27.0	25.0			8.1		
Nov	ave	2	16.3	31.2	94.6	213	0.013	16.6	31.4	91.2	6	0.020	13.5	330	4.34
	max	2	21.2	33.0	156.0	212	0.450	21.9	33.8	130.0	255	0.560	23.9	104	16.70
	min	2	11.3	27.7	58.0	212	0.017	11.3	28.4	36.0			4.6		
Dec	ave	2	11.5	31.4	94.8	212	0.017	11.9	31.7	92.3	10	0.018	8.5	323	5.72
	max	2	15.4	33.3	156.0	100	0.450	16.4	33.9	119.0	260	0.450	17.9	287	17.10
	min	2	6.8	28.8	70.0	190	0.008	6.8	30.1	67.0	20	0.021	-2.0		
Jan	ave	2	8.4	31.8	101.4	190	0.008	8.9	32.0	97.9	20	0.021	5.9	320	5.94
	max	2	11.6	33.5	152.0	86	0.410	12.3	34.1	129.0	60	0.330	14.1	312	18.00
	min	2	5.0	29.5	59.0	220	0.004	6.1	29.6	67.0			-3.8		
Feb	ave	2	7.3	32.0	99.0	220	0.004	8.0	32.1	98.6	13	0.017	5.5	319	6.08
	max	2	11.8	33.4	135.0	93	0.380	12.1	33.4	121.0	56	0.380	18.6	118	18.70
	min	2	4.9	29.9	51.0	230	0.013	6.1	28.0	63.0			-2.2		
Mar	ave	2	9.1	31.9	100.9	28	0.470	9.3	32.2	97.1	3	0.015	8.5	321	4.72
	max	2	13.0	33.9	127.0	28	0.470	12.9	34.1	126.0	95	0.320	19.6	312	17.50
	min	2	5.6	29.5	31.0	244	0.015	6.1	30.7	61.0			0.2		
All	ave	2	17.0	31.0	100.7	244	0.015	16.5	31.9	79.0	6	0.014	15.9	328	2.02
	max	2	31.0	34.1	221.0	117	0.820	30.1	34.8	155.0	288	0.710	34.0	124	28.40
	min	2	4.9	19.6	3.0	212	0.017	6.1	23.0	0.0			-3.8		

表5 3号パイの月別10ヶ年平均値、最大値および最小値

月	項目	番号	上層					下層					風		
			水温 (°C)	塩分 (PSU)	DO (%)	流向、(degree)	流速 (m/s)	水温 (°C)	塩分 (PSU)	DO (%)	流向 (degree)	流速 (m/s)	気温 (°C)	風向 (degree)	風速 (m/s)
Apr	ave	3	12.9	31.5	99.9	263	0.068	12.8	32.2	92.5	70	0.014	13.9	314	1.98
	max	3	19.3	33.8	158.0	94	0.720	17.8	34.2	129.0	230	0.430	27.7	84	20.70
	min	3	9.2	26.8	60.0			9.3	27.5	44.0			3.9		
May	ave	3	17.4	31.4	99.0	259	0.068	16.6	32.4	85.7	56	0.019	18.1	18	0.39
	max	3	22.2	33.5	167.0	55	0.830	20.7	34.2	123.0	96	0.690	26.3	97	20.50
	min	3	12.5	20.9	56.0			12.3	27.8	39.0			8.0		
Jun	ave	3	21.0	31.5	102.0	262	0.064	19.3	32.8	75.2	73	0.025	21.6	119	0.85
	max	3	26.2	34.2	201.0	119	0.690	24.1	35.5	117.0	312	0.530	33.0	84	22.00
	min	3	17.4	24.6	34.0			16.2	26.2	16.0			3.1		
Jul	ave	3	24.4	30.3	103.7	234	0.036	20.9	32.7	61.9	81	0.011	25.7	153	1.52
	max	3	29.6	34.1	187.0	106	0.680	26.9	34.2	119.0	85	0.630	36.3	90	20.50
	min	3	18.8	20.9	28.0			17.4	28.6	6.0			17.0		
Aug	ave	3	26.1	31.0	95.8	230	0.045	23.2	32.7	60.5	72	0.020	26.9	132	1.94
	max	3	31.3	34.5	197.0	281	0.820	27.8	35.2	113.0	62	0.560	35.8	101	18.50
	min	3	21.3	24.4	21.0			18.6	28.3	1.0			19.8		
Sep	ave	3	24.8	31.2	92.6	224	0.033	23.9	32.3	72.6	90	0.016	24.3	34	0.86
	max	3	30.5	33.8	167.0	318	0.960	29.3	34.3	140.0	238	0.720	34.6	107	24.50
	min	3	20.8	23.8	16.0			20.7	27.5	4.0			14.9		
Oct	ave	3	21.4	30.9	94.0	250	0.052	21.7	31.7	79.9	108	0.023	19.6	330	3.38
	max	3	25.9	33.6	215.0	253	0.570	25.4	34.7	126.0	89	0.540	27.5	105	21.30
	min	3	17.5	20.1	38.0			17.5	26.8	30.0			10.2		
Nov	ave	3	16.7	31.5	95.4	259	0.034	17.1	31.9	90.2	99	0.012	14.2	318	5.00
	max	3	21.0	33.2	150.0	266	0.750	21.9	34.1	119.0	250	0.450	24.4	306	18.90
	min	3	11.6	27.7	59.0			11.6	28.5	50.0			6.2		
Dec	ave	3	11.7	31.5	95.5	257	0.024	12.4	31.9	91.3	90	0.014	9.2	311	6.39
	max	3	15.7	32.9	150.0	327	0.770	16.6	34.3	116.0	61	0.790	18.9	292	18.50
	min	3	7.0	29.1	55.0			7.3	29.4	59.0			-0.1		
Jan	ave	3	8.3	31.7	98.0	236	0.030	8.8	32.1	96.8	73	0.012	6.5	308	6.87
	max	3	11.8	33.1	138.0	262	0.520	12.3	33.7	133.0	265	0.520	16.0	309	18.60
	min	3	5.4	30.0	66.0			5.7	30.7	55.0			-3.0		
Feb	ave	3	7.1	32.0	98.4	234	0.030	7.5	32.3	96.9	90	0.013	6.0	309	6.99
	max	3	11.0	33.6	122.0	51	0.530	11.3	33.8	130.0	335	0.460	15.8	272	20.10
	min	3	5.0	29.2	77.0			4.9	30.8	53.0			-1.4		
Mar	ave	3	8.8	32.0	97.4	261	0.047	9.0	32.4	96.7	53	0.009	8.8	310	5.20
	max	3	12.7	33.6	132.0	305	1.000	12.7	33.7	121.0	264	0.380	21.6	306	21.50
	min	3	5.7	30.0	51.0			5.8	29.9	54.0			1.2		
All	ave	3	16.8	31.4	97.6	251	0.043	16.2	32.3	83.1	79	0.015	16.3	315	2.52
	max	3	31.3	34.5	215.0	305	1.000	29.3	35.5	140.0	61	0.790	36.3	107	24.50
	min	3	5.0	20.1	16.0			4.9	26.2	1.0			-3.0		

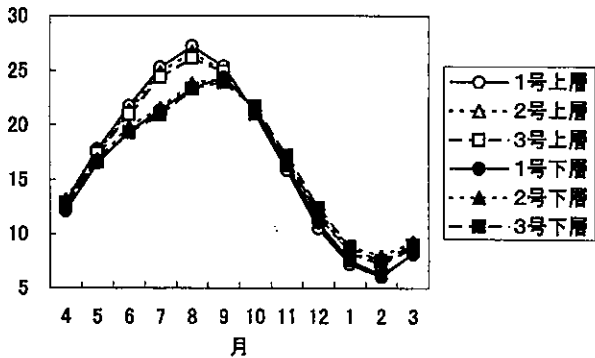


図2 月別水温平均値 (°C)

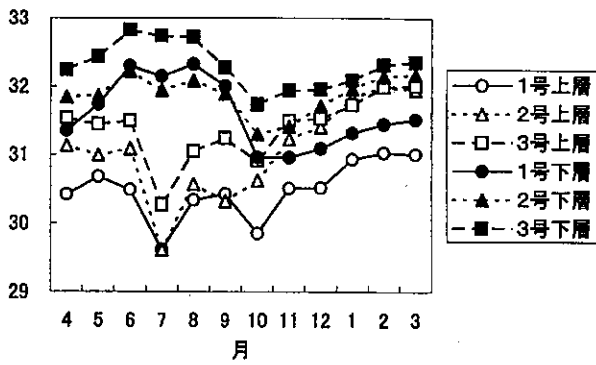


図3 月別塩分平均値 (PSU)

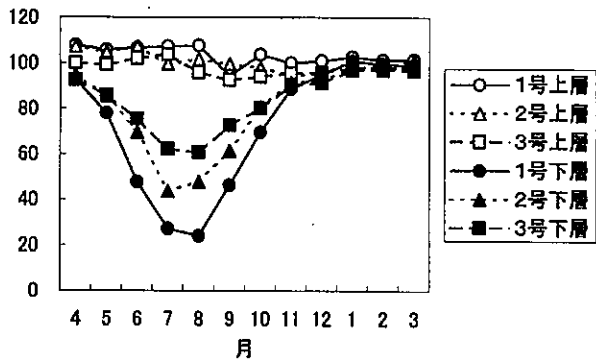


図4 月別溶存酸素飽和度平均値 (%)

とが理解できる (図3)。

3 溶存酸素飽和度

1号ブイの上層は0~247%の範囲で、年平均103.3%、同じく下層は0~169%の範囲で、年平均72.6%であった。2号ブイの上層は3~221%の範囲で、年平均100.7%、同じく下層は0~155%の範囲で、年平均79.0%であった。3号ブイの上層は16~215%の範囲で、年平均97.6%、同

じく下層は1~140%の範囲で、年平均83.1%であった。

年平均は上層では1号、2号、3号の順で高く、最大値はいずれも200%を越えている。これは、植物プランクトン生産の程度を反映している。下層では逆に1号、2号、3号の順で低くなっており、夏季の貧酸素化の程度を反映している。図4に示すように、6月から溶存酸素飽和度が減少し始め7~8月に極小となり、9~10月に回復に向かっている。9月の1号ブイ上層の溶存酸素が低くなっているが、苦潮(青潮; 離岸風による低酸素水の湧昇)の頻度が高かったためと推定される。

4 流向流速

流向流速のベクトル平均をみると1号ブイの上層は、324°, 0.008m/s, 下層は、8°, 0.014m/sで、年間を通じて上層は北西方向へ、下層は北方向へ流れる傾向があった。2号ブイの上層は、244°, 0.015m/s, 下層は、6°, 0.014m/sで、上層は西南西方向へ、下層は北方向へ流れる傾向があった。3号ブイの上層は、251°, 0.043m/s, 下層は、79°, 0.015m/sで、上層は西南西方向へ、下層は東北東方向へ流れる傾向があった(表5)。3号では上層と下層で逆方向になり、上層流出、下層流入の鉛直循環流が観測された。

上層の流速をみると、1号、2号、3号の順で小さかった。一方、底層の流速は、0.014~0.015m/sといずれもよく一致した。

5 気温

1号ブイは-4.0~36.8°Cの範囲で、年平均16.2°Cであった。2号ブイは-3.8~34.0°Cの範囲で、年平均15.9°Cであった。3号ブイは-3.0~36.3°Cの範囲で、年平均16.3°Cであった。

年平均をみると3号、1号、2号の順で高かった。夏季(6~8月)の風速(海風)が2号ブイが一番大きかったことに関連があると思われる。

6 風向風速

風向風速のベクトル平均をみると1号ブイは、324°, 2.22m/s, 2号ブイは、315°, 2.02m/s, 3号ブイは、328°, 2.52m/sであった。年平均ではいずれも北西方向から吹く結果となったが、夏季は南から、秋~冬季は北西方向から風が吹き、陸域と同様に季節風が吹くことが示された。

考察

三河湾は、東京湾や大阪湾と並び富栄養化した海域で

あるといわれている。<sup>9)</sup>このことは、各ブイの溶存酸素飽和度が端的に示している。上層においては、ほぼ年間を通じて溶存酸素が過飽和となっており、盛んな植物プランクトン生産を反映している一方で、夏季には下層において低酸素飽和度がみられる。これは、夏季の下層で過剰な有機物の分解（酸素消費）が行われていることを示している。過飽和の上層と低酸素の下層という矛盾したこの立体構造が、三河湾の過剰な栄養状態を表している。

## 1 赤潮発生日数

三河湾における近年の赤潮発生日数は、東部の渥美湾と西部の知多湾を合わせて年間200日程度と報告されている。<sup>10)</sup>特に渥美湾は150日程度となっており、発生日数の7割以上を占める赤潮多発海域となっている。

赤潮発生時には溶存酸素飽和度が高くなると推測されることから、各ブイ上層について110%以上を記録した日数を調べ図5に示した。高溶存酸素飽和度日数は、1号、2号、3号の順に多くなっていて、これまでの赤潮の分布傾向とよく一致していた。1号ブイは他のブイと比べ、河口に近く陸域からの栄養負荷を受けやすい上、上層流速が小さく、植物プランクトンが滞留しやすい海

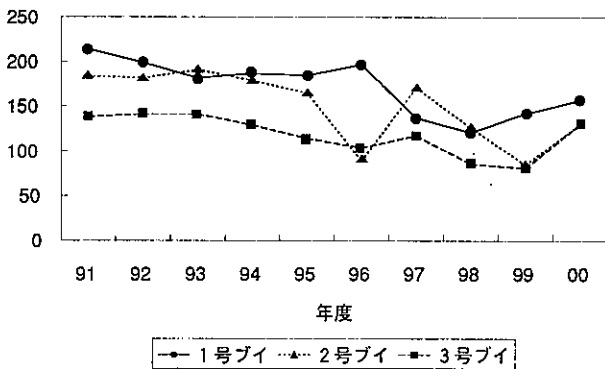


図5 上層酸素飽和度が110%以上を記録した日数

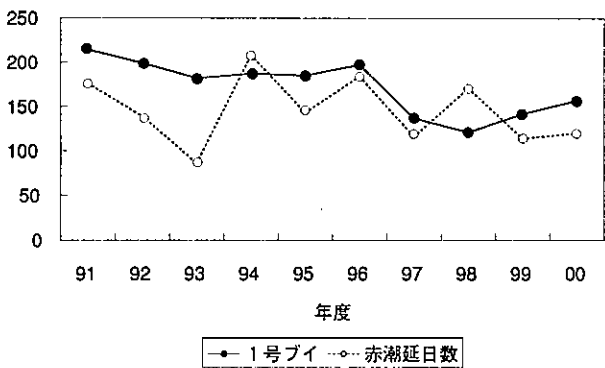


図6 1号ブイ上層酸素飽和度が110%以上を記録した日数と渥美湾における赤潮延べ日数

域にあるため、赤潮が発生しやすかったと推測される。ここで、1号ブイを渥美湾における赤潮発生日数を代表する地点とみなし、1号ブイの高酸素飽和度の日数と渥美湾の赤潮発生日数を対比させてみる(図6)と前者が121~214日(平均172.1日)に対し、後者が86~208日(平均145.7日)とほぼ同じ日数となり、近年の減少傾向にもよく一致した。さらに詳細な検討の必要があるが、渥美湾の赤潮日数の大半が1号ブイを含む範囲で記録すると思われ、赤潮観測を補完するものとして期待される。

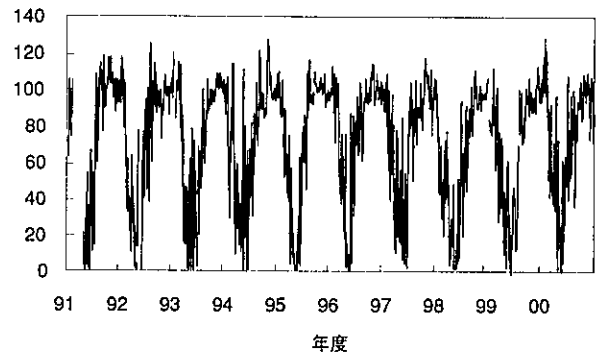


図7 1号ブイ下層の日平均溶存酸素飽和度(%)の推移

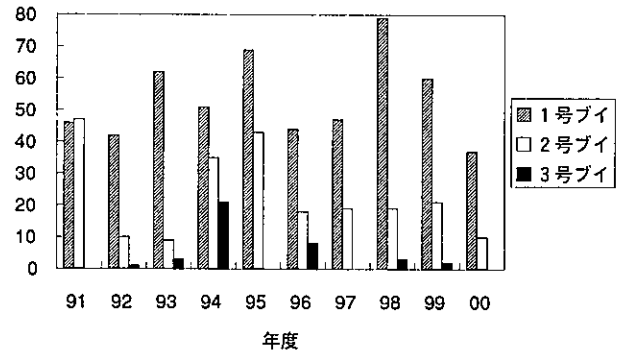


図8 下層溶存酸素飽和度の日平均が30%未満となった日数

## 2 貧酸素

赤潮と並び漁場環境に重大な影響を及ぼす夏季の底層における酸素低下<sup>11),12)</sup>について、特に低酸素化しやすかった1号ブイの下層日平均溶存酸素飽和度(図7)をみると毎年、6月頃から酸素飽和度が低下し始め、7~8月には0~10%となり、9~10月に回復するというパターンを繰り返している。生物の生存に影響を与えるとされる30%未満(以降貧酸素と呼ぶ)となる日数(図8)をみると37~79日で平均は50日を超えている。大規模な苦潮が発生した1994年<sup>1)</sup>は3号ブイにおいても21日を記録し、貧酸素の範囲が広く長期にわたっていたことがわかる。

三河湾の貧酸素化の要因については、外海からの下層

表6 夏季(6~8月)における下層流向流速のベクトル平均値

年度	1号ブイ		2号ブイ		3号ブイ	
	流向 (degree)	流速 (m/s)	流向 (degree)	流速 (m/s)	流向 (degree)	流速 (m/s)
1991	34	0.011	332	0.004	140	0.014
1992	41	0.012	48	0.010	76	0.021
1993	6	0.011	327	0.024	59	0.014
1994	44	0.009	8	0.017	69	0.021
1995	357	0.008	57	0.004	66	0.019
1996	24	0.007	341	0.018	69	0.021
1997	19	0.008	8	0.001	57	0.012
1998	51	0.014	6	0.010	71	0.019
1999	20	0.008	292	0.011	102	0.020
2000	85	0.004	5	0.012	63	0.034
平均	30	0.009	351	0.010	75	0.018

流入による酸素供給を上層からの沈降物と底泥有機物の分解による酸素消費が上回るため<sup>14, 15)</sup>であるといわれていることから、酸素供給量を左右する下層の流向流速、酸素消費速度上昇の要因の一つである下層水温、上層からの沈降有機物量を増大させる赤潮などと貧酸素の関連について以下に述べたい。

#### (1) 下層の流向流速と貧酸素

夏季の下層流向流速のベクトル平均を表6に示した。3号ブイは夏季平均で0.018m/sで年平均とあまり変わらなかったが、1号ブイは0.009m/s、2号ブイは0.010m/sで、それぞれの年平均0.014m/s、0.014m/sよりも小さくなっていた。夏季の底層流速が弱まる原因はわからないが貧酸素化を進める要因になると考えられる。

しかしながら、外海からの下層流入による酸素供給に関連すると思われる3号ブイの流速が平均値の0.018m/s以下となった91年、93年、97年の貧酸素日数(図8)は多くなっていないことから、意外にも貧酸素化の規模を決定する主要因ではないと考えられた。

#### (2) 下層水温と貧酸素

図9に下層水温(日平均)と下層溶存酸素飽和度(日平均)の関係を示した。水温が高くなるほど溶存酸素飽和度が低くなる右下がりのグラフとなっている。下層の低酸素水が上層水と混合して回復する期間も含まれているので明確ではないが、水温が20℃を越えると貧酸素化しやすくなる傾向がある。初めて溶存酸素飽和度の日平均が10%未満となった日の平均水温をみると19.2~23.4℃(平均20.8℃)となっている。1号ブイにおいては、下層水温20℃がしきい値となり、これを越えることが貧酸素化の引き金となっているように思われる。1号ブイの底層水温の推移(図10)をみると、貧酸素化が顕著だった1994年だけが29℃と特に高くなっていることから、この高水温が貧酸素水塊を大規模に発達させた要因

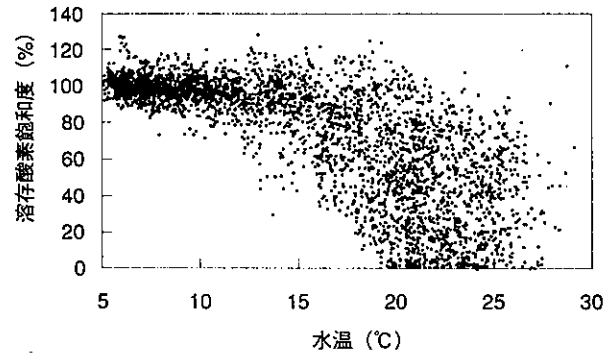


図9 1号ブイの下層水温と溶存酸素飽和度(%)の関係

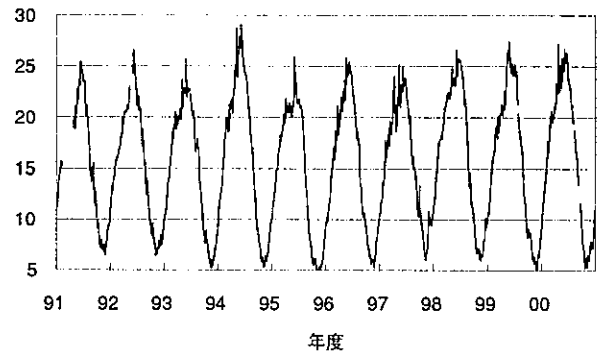


図10 1号ブイ下層の日平均水温(°C)の推移

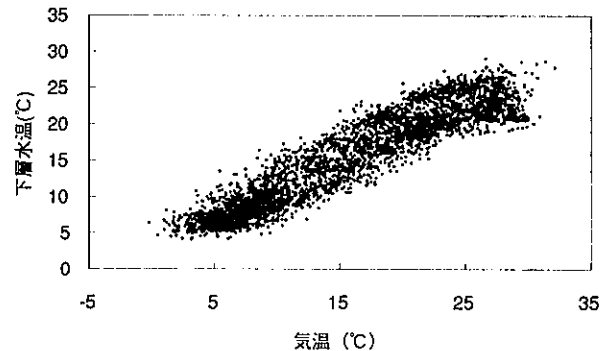


図11 1号ブイにおける気温と下層水温の関係

の一つと推定できる。

鈴木・寺澤<sup>16)</sup>は貧酸素水塊の数値解析に用いた底泥や沈降有機物の酸素消費速度式を(1)式のような温度の指数関数として記述している。水温が25℃では20℃の酸素消費速度の1.4倍、30℃では2.0倍の酸素消費速度と計算される。下層水温が夏季の三河湾の酸素収支に及ぼす影響は大きいと考えられる。

$$O_2Cs = k \times \exp(0.0693T) \quad (1)$$

$O_2Cs$ : 酸素消費速度

$k$ : 底泥や沈降有機物で異なる消費速度の係数

$T$ : 水温



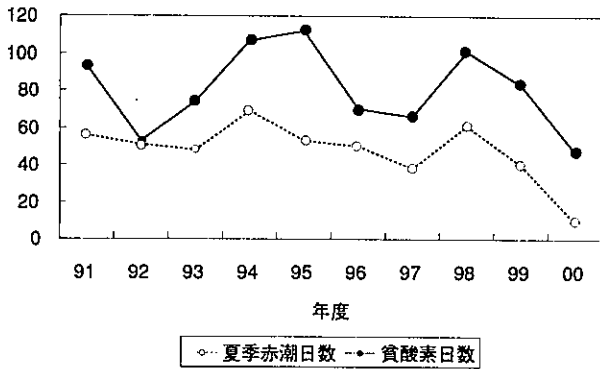


図12 1～3号ブイの合計貧酸素日数と夏季（6月～8月）の渥美湾の赤潮日数

当然のように思われるが、下層水温と気温には明確な関係（図11）があり、下層水温を上昇させる要因は気温（日射）である。猛暑がもたらす影響の一つに貧酸素化の増大を加えてもよいだろう。

### (3) 赤潮と貧酸素

上層の有機沈降物の増加に伴う酸素消費量の増加が貧酸素化の要因の一つであるといわれている。その有機沈降物の元となる赤潮と貧酸素との関連をみるため、夏季の赤潮日数と1～3号ブイの合計貧酸素日数を対比させる（図12）と、夏季の赤潮日数の増減と貧酸素日数の増減とは非常によく一致し、赤潮と貧酸素の関連が強いことがうかがわれた。このことは、赤潮発生を抑制する対策が貧酸素を抑制する対策にもつながることを示唆している。

### (4) その他

風が引き起こす吹送流が鉛直循環流の駆動力になること（宇野木<sup>16)</sup>など）はよく知られているが、ベクトル平均による集計方法では、風と流向流速の間に明確な関係は導くことが出来なかった。しかし、6～8月の日最大風速が12m/s、15m/s、18m/s以上となった強風日数（図13）をみると、1991年、94年、95年が少なく、92年、93年、97年、99年が多い。強風日数が多い年は貧酸素日数が少なく、強風日数が少ない年は貧酸素日数が多い傾向がみられた。強風による上下混合や上層からの酸素の拡散が進んだ結果とも考えられるが、強風時には降雨を伴うことが多く、降雨による密度流（鉛直循環流）の増大の可能性も少なくない。

貧酸素化の要因をより詳しく研究するには、ブイの観測結果だけでなく気象データや河川流量、<sup>17)</sup> 外海水の流入量を左右する黒潮の動態などの検討も必要とされ、今後の課題となった。

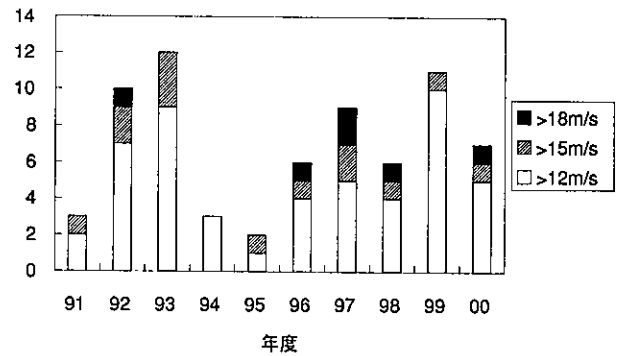


図13 1号ブイにおける夏季（6月～8月）の日最大風速が12, 15, 18m/sを越えた日数

貧酸素化の要因は以上に述べた気象海象要因だけではなく、陸域からの栄養負荷や埋立面積の増大、<sup>12, 13)</sup> 河川取水量の増加といった社会的要因も考えられる。しかし、本観測ブイがデータ取得した1990年代において、これら事項は特に大きく変化していないと考えられることから、最近10年位の短い期間における貧酸素の変動は気象海象による要因が主体となっていると言えるだろう。近年、地球温暖化問題が議論されているが、気温の上昇が陸上の生態系だけでなく、貧酸素化といった形で沿岸の生態系に及ぼす影響もかなり大きいと考えられる。

しかしながら、沿岸の生態系を保全するためには、沿岸の富栄養化を人為的に軽減させる措置が不可欠であることは言うまでもない。

### 謝 辞

三河湾海況自動観測ブイは平成2年度沿岸漁業構造改善事業の助成により設置された。ブイの設置、運営、管理等に協力いただいた中部電子エンジニアリング株式会社加藤氏、データの補正、整理に当たった歴代ブイ担当者および水質調査船「しらなみ」乗務員を始めとするその他多数の関係者の努力により成されたことに対し、ここに深謝いたします。

### 文 献

- 1) 愛知県水産試験場（1995）平成6年夏季におけるアサリの大量へい死について。愛知県，pp. 21.
- 2) Kai M., T. Hara, H. Aoyama and N. Kuroda (1999) A massive coccolithophorid bloom observed in Mikawa Bay, Japan. J.Oceanogr., 55, 395-406.
- 3) 尊田佳子・木村仁美（2001）2000年三河湾における *Heterocapsa circularisquama* 赤潮の発生状況。愛知水試研報，8，1-6.

- 4) 愛知県水産試験場 (1995a) 1991~1992年度三河湾海況自動観測ブイデータ集. 愛知県, pp.376.
- 5) 愛知県水産試験場 (1995b) 1993~1994年度三河湾海況自動観測ブイデータ集. 愛知県, pp.372.
- 6) 愛知県水産試験場 (1997) 1995~1996年度三河湾海況自動観測ブイデータ集. 愛知県, pp.376.
- 7) 愛知県水産試験場 (1999) 1997~1998年度三河湾海況自動観測ブイデータ集. 愛知県, pp.372.
- 8) 愛知県水産試験場 (2001) 1999~2000年度三河湾海況自動観測ブイデータ集. 愛知県, pp.373.
- 9) 西条八束 (1984) 内湾の富栄養化. 内湾の環境科学, 上巻, 培風館, 1-37.
- 10) 愛知県水産試験場 (2001) 平成12年伊勢湾・三河湾の赤潮発生状況. 愛知県, pp.27.
- 11) 石田基雄・原保 (1996) 伊勢・三河湾における水質変動と富栄養化について. 愛知水試研報, 3, 29-41.
- 12) 青山裕晃 (2000) 三河湾における海岸線の変遷と漁場環境. 愛知水試研報, 7, 7-12.
- 13) Teruaki Suzuki (2001) Oxygen-deficient waters along the Japanese coast and their effects upon the estuarine ecosystem J. Environ. Qual., 30 (2), 291-302.
- 14) T. Suzuki and Y. Matsukawa (1987) Hydrography and budget of dissolved total nitrogen and dissolved oxygen in the stratified season in Mikawa Bay, Japan. J. Oceanogr. Japan, 43, 28-48.
- 15) 鈴木輝明・寺澤和彦 (1997) 富栄養化海域における貧酸素水塊の数値解析による再現と工学的改善効果の検討-伊勢・三河湾における事例研究-. J. Adv. Mar. Sci. Tech. Soci., 3 (1), 81-102.
- 16) 宇野木早苗 (1984) 内湾の物理環境. 内湾の環境科学, 上巻, 培風館, 63-162.
- 17) 宇野木早苗 (1998) 内湾の鉛直循環流量と河川流量との関係. 海の研究, 7 (5), 283-192.