

環 境 關 係

漁場環境モニタリング調査指導事業

I モニタリング調査

久米 洋*・武智 昭彦・高島 景・喜安 宏能
試験船「よしゅう」松本 直樹 ほか6名

目 的

本県沿岸域の水質、底質、プランクトン等をモニタリングすることによって、漁場環境の長期変動を検討するための基礎資料を収集するとともに、赤潮、酸欠、貝毒等による漁業被害の軽減、未然防止を目的とした。

I 宇和海

方 法

1 漁場環境監視調査

(1) 下波湾水質・底質

調査定点を図1に、調査定点座標を表1、調査内容を表2に示した。

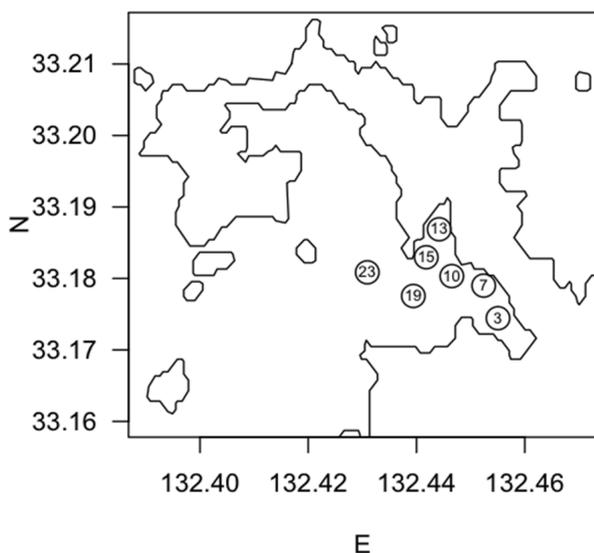


図1 下波湾水質底質調査定点

表1 下波湾水質・底質調査定点位置

定 点	北 緯	東 経
3	33.1744°	132.4550°
7	33.1790°	132.4524°
10	33.1803°	132.4465°
13	33.1868°	132.4441°
15	33.1829°	132.4418°
19	33.1775°	132.4394°
23	33.1808°	132.4309°

表2 下波湾水質・底質調査内容

調 査 定 点	回 数	調 査 項 目	層
水質調査	地 1回 点 / 15 月	水温 (CTD)	0, 5, 10
		塩分 (CTD)	20, 30
		透明度 (セッキ板)	B-1m
		DO (ウインクラー法)	
		COD (アルカリ性過マンガン酸カリウム窒化ナトリウム変法)	COD は 0, 5, 10 m
底質調査	湾 3回 内 7 / 点 年	酸揮発性硫化物 (AVS-S)	0-1cm

(2) 宇和海底質調査

調査定点を図2に、調査月日および調査内容を表3に示した。

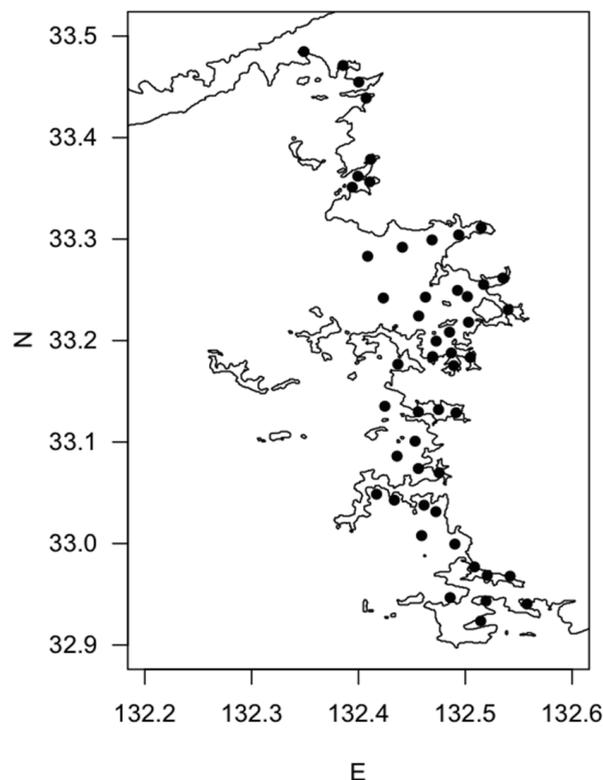


図2 宇和海底質調査定点

* 現 東予地方局産業経済部水産課

表3 宇和海海底質調査内容

調査月日	定点	調査項目および方法	層
5月29-31日	50	酸揮発性硫化物 (AVS-S)	亜表層 (0-1cm)

2 宇和海赤潮発生監視調査

調査定点を図3および表4に、調査月日、調査内容、調査項目および観測層を表5、表6に示した。

なお、試料の一部を(水研機構)瀬戸内海区水産研究所及び広島県立大学に提供した。

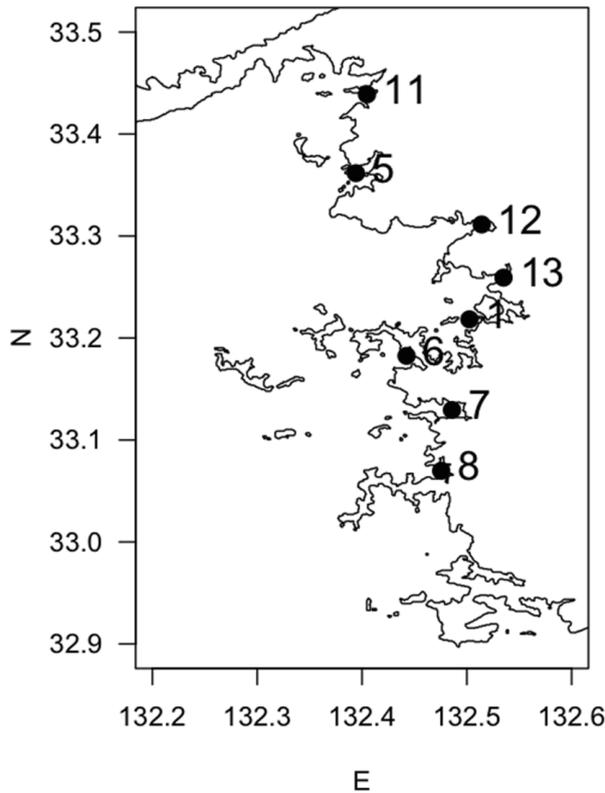


図3 宇和海赤潮発生監視調査定点

表4 赤潮発生監視調査定点位置

定点	北緯	東経
①	33.21833°	132.50250°
⑤	33.36166°	132.39416°
⑥	33.18250°	132.44250°
⑦	33.12944°	132.48583°
⑧	33.06972°	132.47555°
⑪	33.43888°	132.40472°
⑫	33.31138°	132.51416°
⑬	33.25916°	132.53500°

表5 赤潮発生監視調査月日および調査内容

調査月日	定点	調査内容		
		気象、海象	水質	プランクトン
5月25, 26日	8	○	○	○
6月20, 21日	8	○	○	○
7月25, 26日	8	○	○	○
8月28, 29日	8	○	○	○

表6 赤潮発生監視調査項目および観測層

調査内容	調査項目	観測層
気象、海象	天候、雲量、風向、風力、透明度(セッキ板)、水色	—
水質	水温(CTD)、塩分(CTD)、DO(ウインラー法)、DIN、DIP、DSi(オートアナライザー)	0、5、10、20、30、B-1m
	クロロフィルa(DMF溶媒によるターナ-蛍光光度法)	0、10、B-1m
プランクトン	海水1ml中の種組成	0、10m

3 宇和海貝毒発生監視調査

(1) 春季モニタリング

*Gymnodinium catenatum*と*Alexandrium*属を対象として、調査定点(岩松湾と御荘湾及び内海)を図4に、調査内容を表7、表8に示した。

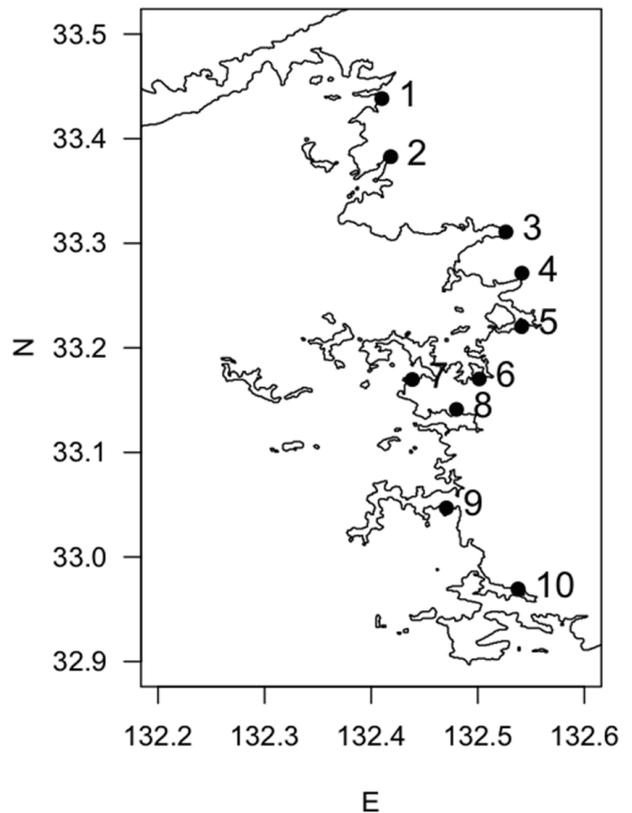


図4 宇和海貝毒発生監視調査定点

表7 調査項目および期間（春季モニタリング）

項目	調査期間
水質・プランクトン	4月12日～6月27日の間、計16回
貝毒成分	麻痺性貝毒（公定法）3検体

表8 調査内容及び観測層（春季モニタリング）

調査内容	観測層
水質 水温（CTD）、 塩分（CTD）	各層等量混合 (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7m)
プランクトン	各層等量混合

(2) 冬季モニタリング

*Gym. catenatum*を対象として、調査定点（八幡浜、三瓶湾、法華津湾、吉田湾、宇和島湾、三浦東、下波湾、岩松湾、内海、御荘湾）を図4と表9に、調査内容を表10、表11に示した。

表9 冬季モニタリング調査定点位置

定点	北緯	東経
八幡浜	33.43833°	132.41000°
三瓶湾	33.38277°	132.41833°
法華津湾	33.31083°	132.52638°
吉田湾	33.27138°	132.54138°
宇和島湾	33.22027°	132.54111°
三浦	33.17027°	132.50138°
下波湾	33.16972°	132.43861°
岩松湾	33.14111°	132.48000°
内海	33.04694°	132.47055°
御荘湾	33.96944°	132.53777°

表10 調査項目および期間（冬季モニタリング）

項目	調査期間
水質・プランクトン	平成29年12月～平成30年3月の間、計4回

表11 調査内容及び観測層（冬季モニタリング）

調査内容	観測層
水質 水温（CTD）、 塩分（CTD）	各層等量混合 (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)
プランクトン	各層等量混合

結 果

1 漁場環境監視調査

(1) 下波湾水質・底質

調査結果を表12に示した。水温は13.4～27.1℃（平均19.7℃、前年差-0.6℃）、塩分は33.08～34.57（平均34.25、前年差+0.07）、透明度は6.5～18.0m（平均11.7m、前年差+1.7m）、溶存酸素量(DO)は3.87～5.93mL/L（平均4.87mL/L、前年差+0.11mL/L）、化学的酸素要求量(COD)は0.002～0.68mg/L（平均0.24mg/L、前年差+0.07mg/L）の範囲で推移し、貧酸素などの水質悪化は観測されなかった。

本調査が始まった平成3年以降の5m層における透明度とDOおよびCODの推移をそれぞれ図5～7に示し、その経年変化を検討した。

透明度は平成3年からの線形回帰が、透明度 = -0.0026月 + 11.446で浅くなる傾向である。

DOは、平成3年からの線形回帰が、DO = 0.0018月 + 4.5158で、上昇傾向である。

CODは、平成3年からの線形回帰が、COD = -0.0014月 + 0.7703で、減少傾向である。

また、底泥の酸揮発性硫化物(AVS-S)は0.012～0.406mg/g·dryの範囲にあり、特に魚類養殖海域の底泥で高い値を示したが、早急な改善を要する値(1.0mg/乾泥g以上)はなかった。

(2) 宇和海底質調査

調査結果を表13に示した。酸揮発性硫化物(AVS-S)は、0～0.538mg/g·dry（平均0.051mg/g·dry、前年差-0.019mg/g·dry）の範囲であった。養殖漁場でない海域は、0～0.013mg/g·dry（平均0.004mg/g·dry、前年差-0.004mg/g·dry：図8）、真珠養殖漁場は0～0.085mg/g·dry（平均0.018 mg/g·dry、前年差+0.001mg/g·dry：図9）の範囲にあり、AVS-Sによる漁場区分によると0.2mg/g·dry未満の「健全な漁場」に区分された。一方、魚類養殖場は、0.002～0.538mg/g·dry（平均0.102mg/g·dry、前年差-0.049mg/g·dry：図10）の範囲にあり、同漁場区分により3定点が0.2～0.6mg/g·dryの「要注意漁場」に区分された。この定点は、北灘3定点であり、1997年以降では、ほぼ要注意又は改善が必要な漁場になっている。この北灘の3定点は、岩松湾の奥に位置する漁場であり、かつ、岩松湾がかなり閉鎖的な海域であるため、改善が上向きにならない原因の一つと考えられた。

表12 下波灣水質調查結果

年	月	日	採水層 (m)	水温 (°C)	塩分 (psu)	透明度 (m)	DO (mL/L)	酸素飽和度 (%)	COD (mg/L)
H29	4	19	0	18.4	34.30	10.5	5.10	95.5	0.01
H29	4	19	5	18.5	34.38		5.64	105.7	0.12
H29	4	19	10	18.6	34.47		5.39	101.3	0.17
H29	4	19	20	18.5	34.55		5.21	97.9	
H29	4	19	30	18.5	34.57		5.20	97.7	
H29	4	19	B-1	18.0	34.55		5.28	98.1	
H29	5	17	0	18.7	34.38	13.0	5.69	107.2	0.05
H29	5	17	5	18.4	34.44		5.35	100.1	0.16
H29	5	17	10	18.3	34.46		5.23	97.8	0.00
H29	5	17	20	18.2	34.46		5.17	96.5	
H29	5	17	30	18.2	34.21		5.05	94.1	
H29	5	17	B-1	18.2	34.50		4.80	89.6	
H29	6	14	0	20.2	34.38	6.5	5.57	107.7	0.42
H29	6	14	5	19.6	34.32		5.08	97.2	0.38
H29	6	14	10	19.0	34.36		4.89	92.5	0.25
H29	6	14	20	18.9	34.39		4.59	86.7	
H29	6	14	30	18.8	34.42		4.48	84.6	
H29	6	14	B-1	18.7	34.46		4.60	86.6	
H29	7	20	0	26.0	34.16	7.5	5.30	113.6	0.26
H29	7	20	5	24.6	34.19		5.21	109.0	0.66
H29	7	20	10	23.7	34.20		5.00	102.9	0.23
H29	7	20	20	23.3	34.20		4.67	95.5	
H29	7	20	30	22.7	34.21		4.09	82.8	
H29	7	20	B-1	22.2	34.34		4.43	88.9	
H29	8	8	0	27.1	33.79	10.0	4.26	92.8	0.11
H29	8	8	5	27.1	33.89		4.44	96.8	0.18
H29	8	8	10	26.8	34.14		4.32	93.7	0.08
H29	8	8	20	26.0	34.16		4.21	90.1	
H29	8	8	30	25.5	34.18		4.21	89.4	
H29	8	8	B-1	23.4	34.29		4.15	85.0	
H29	9	19	0	24.9	33.08	11.0	4.02	84.0	0.24
H29	9	19	5	24.7	33.53		4.09	85.4	0.24
H29	9	19	10	24.6	33.73		4.22	88.0	0.13
H29	9	19	20	24.4	33.80		4.16	86.5	
H29	9	19	30	24.3	33.89		3.94	81.8	
H29	9	19	B-1	22.8	34.13		4.05	82.1	
H29	10	18	0	23.0	33.94	12.0	4.29	87.2	0.50
H29	10	18	5	23.0	33.97		4.74	96.3	0.45
H29	10	18	10	23.0	34.02		4.09	83.1	0.45
H29	10	18	20	22.7	34.01		4.17	84.3	
H29	10	18	30	22.4	34.03		4.05	81.4	
H29	10	18	B-1	21.9	34.13		3.87	77.2	
H29	11	2	0	23.8	34.05	16.5	4.37	90.0	0.40
H29	11	2	5	23.8	34.09		4.70	96.9	0.68
H29	11	2	10	23.8	34.09		4.36	89.9	0.14
H29	11	2	20	23.8	34.09		4.41	90.9	
H29	11	2	30	23.5	34.10		4.33	88.8	
H29	11	2	B-1	23.2	34.10		4.41	90.0	
H29	12	16	0	17.0	34.32	13.0	4.87	88.8	0.66
H29	12	16	5	17.1	34.34		5.02	91.7	0.60
H29	12	16	10	17.1	34.34		4.83	88.2	0.37
H29	12	16	20	17.1	34.35		4.81	87.8	
H29	12	16	30	17.1	34.35		4.73	86.4	
H29	12	16	B-1	17.1	34.35		4.94	90.2	
H29	1	17	0	14.5	34.11	14.5	5.73	99.1	0.09
H29	1	17	5	14.5	34.31		5.56	96.4	0.12
H29	1	17	10	14.5	34.34		5.50	95.4	0.13
H29	1	17	20	14.5	34.37		5.36	93.0	
H29	1	17	30	14.5	34.36		5.44	94.3	
H29	1	17	B-1	14.3	34.37		5.28	91.1	
H29	2	16	0	13.6	34.30	18.0	5.39	91.7	0.00
H29	2	16	5	13.6	34.55		5.63	96.0	0.23
H29	2	16	10	13.6	34.56		5.27	89.8	0.19
H29	2	16	20	13.6	34.56		5.67	96.6	
H29	2	16	30	13.6	34.56		5.30	90.3	
H29	2	16	B-1	13.4	34.54		5.49	93.1	
H29	3	19	0	15.4	34.46	7.5	5.93	104.7	0.04
H29	3	19	5	15.3	34.48		5.41	95.5	0.02
H29	3	19	10	15.0	34.56		5.49	96.2	0.02
H29	3	19	20	14.9	34.56		5.41	94.7	
H29	3	19	30	14.9	34.56		5.47	95.6	
H29	3	19	B-1	14.8	34.55		5.31	92.7	

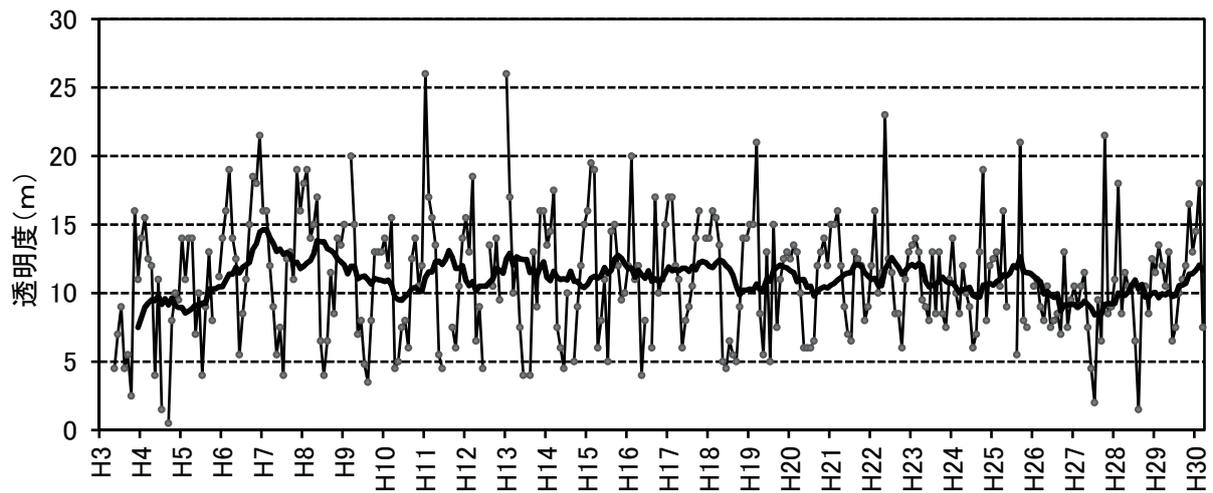


図5 透明度の推移 (下波湾水質調査)

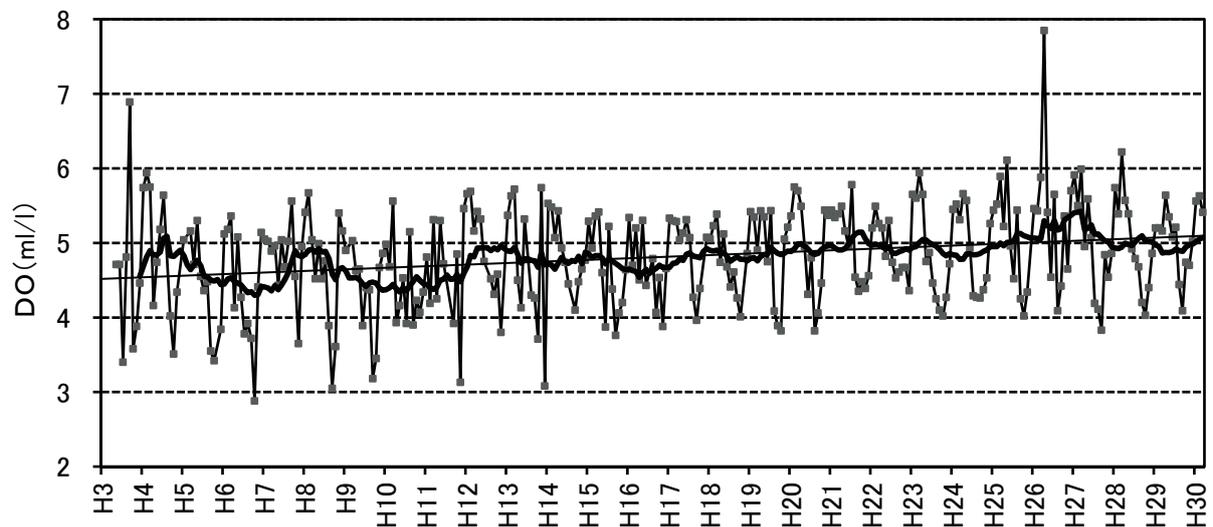


図6 DO (5m層) の推移 (下波湾水質調査)

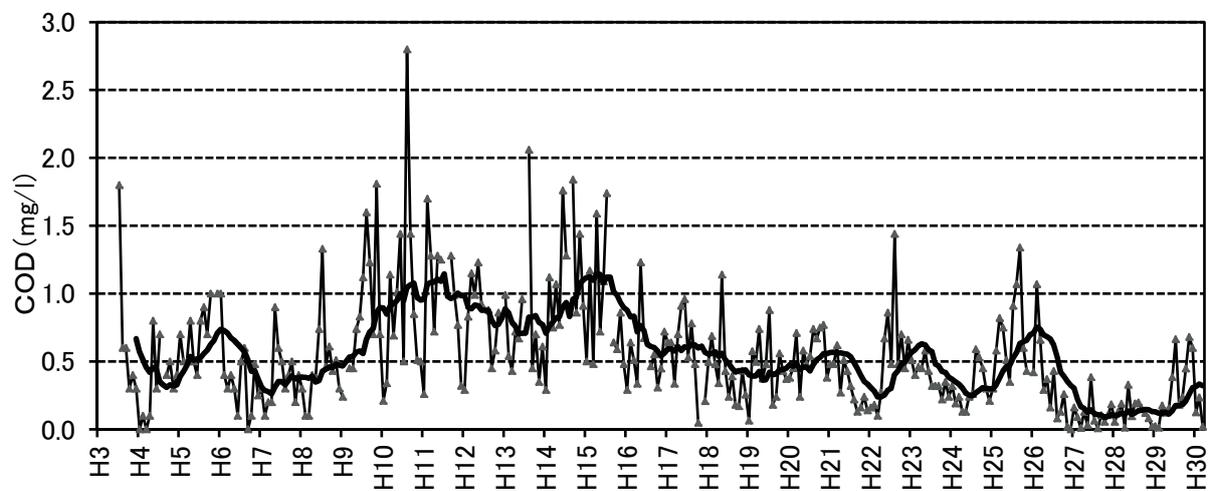


図7 COD (5m層) の推移 (下波湾水質調査)

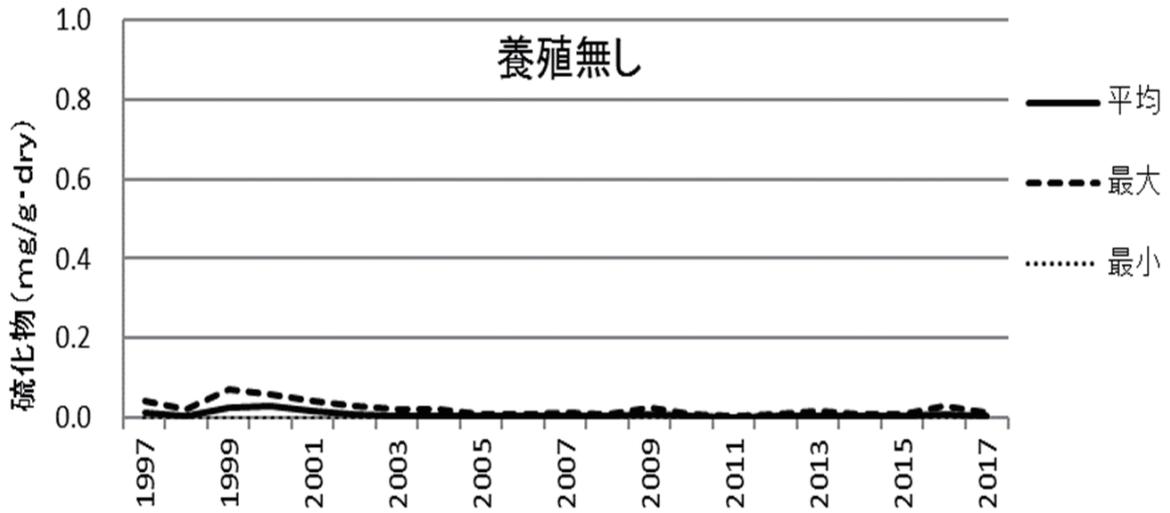


図8 宇和海底質調査における養殖漁場でない海域の硫化物の経年変化

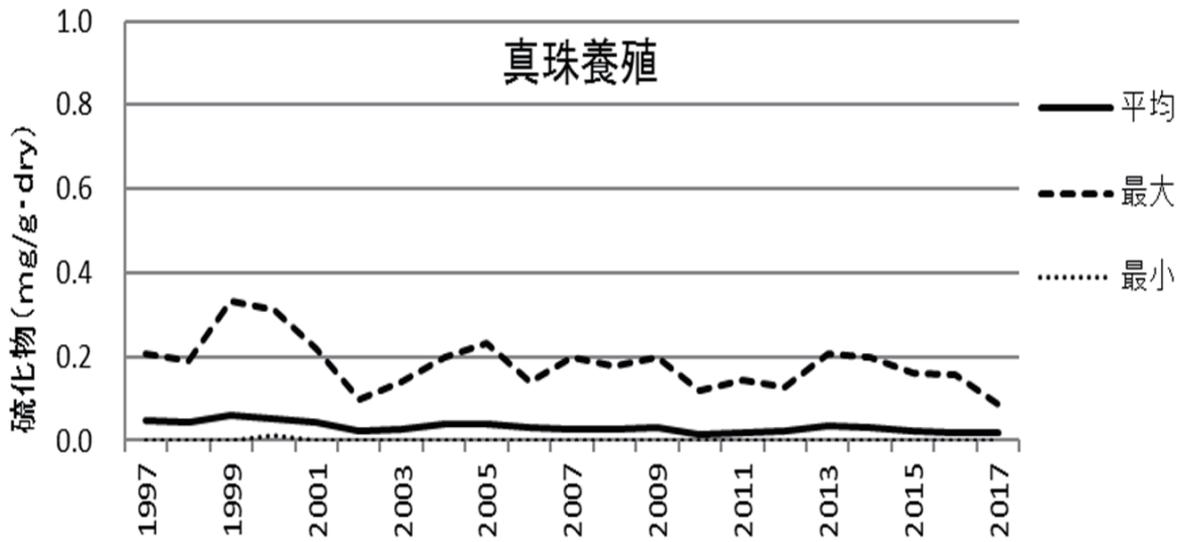


図9 宇和海底質調査における真珠養殖漁場海域の硫化物の経年変化

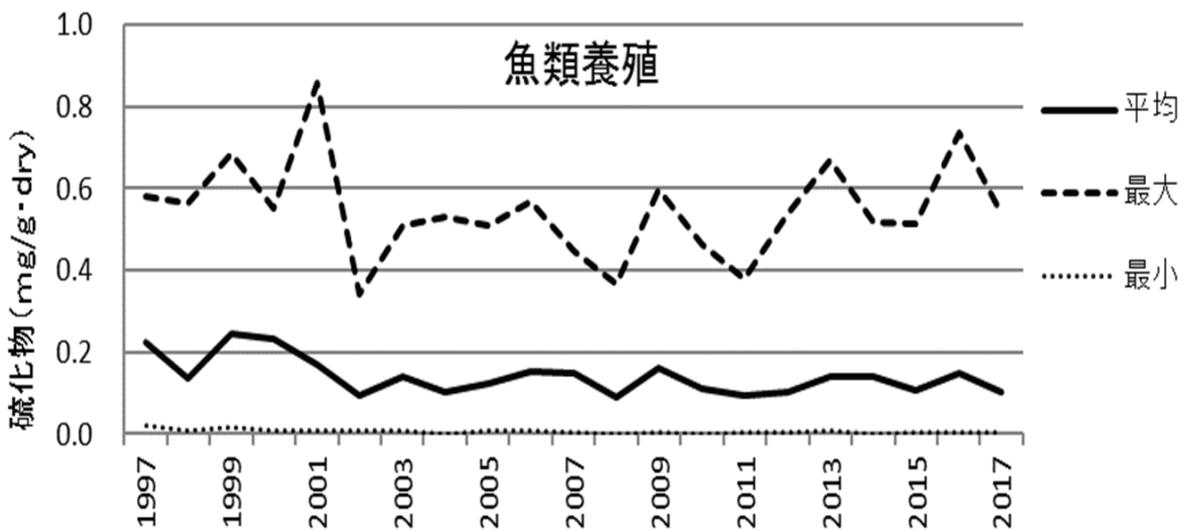


図10 宇和海底質調査における魚類養殖漁場海域の硫化物の経年変化

表13 宇和海底質調査結果

年	月	日	地点	海域	漁場	乾物% (%)	硫化物AVS-S (mg/g·dry)
H29	5	29	1	伊方町	魚	46.8	0.039
H29	5	29	2	川の石	真珠	33.7	0.022
H29	5	29	3	八幡浜	魚	32.8	0.022
H29	5	29	4	八幡浜	魚	37.6	0.032
H29	5	29	5	三瓶湾	魚	38.1	0.088
H29	5	29	6	三瓶湾	魚	47.6	0.016
H29	5	29	7	三瓶湾	魚	66.9	0.006
H29	5	29	8	三瓶湾	魚	47.4	0.012
H29	5	29	9	法華津	真珠	68.1	0.001
H29	5	29	10	法華津	真珠	54.3	0.002
H29	5	29	11	法華津	真珠	46.3	0.001
H29	5	29	12	法華津	一般	42.4	0.001
H29	5	29	13	法華津	一般	40.2	0.002
H29	6	31	14	吉田	魚	37.1	0.170
H29	6	31	15	吉田	魚	44.9	0.046
H29	6	31	16	宇和島	一般	48.9	0.013
H29	6	31	17	宇和島	一般	43.3	0.004
H29	6	31	18	宇和島	一般	41.6	0.007
H29	6	31	19	宇和島	魚	54.6	0.008
H29	6	31	20	宇和島	魚	38.6	0.131
H29	6	31	21	宇和島	真珠	65.8	0.044
H29	6	31	22	遊子	魚	43.9	0.005
H29	6	31	23	遊子	魚	38.3	0.191
H29	6	31	24	遊子	真珠	37.7	0.065
H29	6	31	25	三浦	真珠	41.0	0.022
H29	6	31	26	三浦	真珠	52.3	0.002
H29	6	31	27	三浦	真珠	52.1	0.004
H29	6	31	28	遊子	一般	44.7	0.006
H29	6	31	29	下波	魚	41.0	0.077
H29	6	31	30	北灘	魚	50.0	0.300
H29	6	31	31	北灘	魚	32.7	0.538
H29	6	31	32	北灘	魚	42.4	0.411
H29	6	31	33	北灘	一般	59.0	0.001
H29	6	31	34	下灘	真珠	52.3	0.014
H29	6	31	35	下灘	真珠	47.7	0.002
H29	6	31	36	下灘	真珠	49.7	0.001
H29	6	31	37	下灘	真珠	57.1	0.007
H29	5	30	38	内海	真珠	57.1	0.002
H29	5	30	39	内海	真珠	54.4	0.002
H29	5	30	40	内海	真珠	56.5	0.002
H29	5	30	41	内海	真珠	56.4	0.003
H29	5	30	42	御荘	真珠	44.9	0.085
H29	5	30	43	御荘	真珠	56.1	0.060
H29	5	30	44	御荘	真珠	58.2	0.029
H29	5	30	45	内海	真珠	60.0	0.000
H29	5	30	46	内海	一般	58.2	0.000
H29	5	30	47	西海	魚	45.6	0.002
H29	5	30	48	福浦	魚	51.3	0.018
H29	5	30	49	西海	魚	49.2	0.008
H29	5	30	50	久良	魚	44.7	0.021

2 赤潮発生監視調査

水質調査結果を表14、15に、プランクトン検鏡結果を表16に示した。

発生した赤潮は表17に示した4件で、構成種は、渦鞭毛藻 *Kalenia mikimotoi*、*Kalenia papilionacea*、ラフィド藻 *Heterosigma akashiwo* であった。*Kalenia mikimotoi* は、宇和島湾において6/19に遊泳細胞が確認され、7/8に同湾で赤潮を形成した後、宇和海沿岸各地で赤潮状態となり9/13に終息した。最高細胞数は200,000cells/mLであった。この赤潮による漁業被害は250万円であった。宇和島市の気象は、日照時間では6月下旬に少なめであった他は、多かった。降水量

では6月下旬から7月上旬にやや多く、8月上旬には台風による降雨が見られた。宇和島湾遊子地先の5m層の水温は、6月下旬に急な水温上昇が見られたものの、赤潮発生時期および衰退時期では、急潮などの水温の急変は確認できなかった。宇和島湾の3m層の栄養塩類では、DINは5月以降1μM前後で低く推移し、DIPも5月以降は0.1μM以下で推移した。日照時間が多かったにもかかわらず、*Kalenia mikimotoi* 赤潮が長期継続した原因として、表層(3m)の栄養塩類が非常に少なく推移したことにより、競合種である珪藻類が繁茂できなかったことによって *Kalenia mikimotoi* が優占したものと考えられた。

表14-1 宇和海水質調査結果表 (5月)

年	月	日	地点	採水層 (m)	透明度 (m)	水色	水温 (°C)	塩分 (psu)	DO (mL/L)	酸素飽和度 (%)
H29	5	25	1	0	7.5	69	23.2	33.89	5.89	119.99
H29	5	25	1	5			19.3	34.27	5.72	108.85
H29	5	25	1	10			18.3	34.22	5.76	107.58
H29	5	25	1	20			17.8	34.19	5.56	102.81
H29	5	25	1	30			17.9	34.26	5.36	99.23
H29	5	25	1	B			18.0	34.42	5.15	95.73
H29	5	25	5	0	14.0	69	20.9	33.969	5.02	98.25
H29	5	25	5	5			19.7	34.058	5.47	104.63
H29	5	25	5	10			18.6	34.11	5.44	102.14
H29	5	25	5	20			17.3	34.025	5.30	97.01
H29	5	25	5	30			17.5	34.216	4.85	89.12
H29	5	25	5	B			17.4	34.242	4.88	89.62
H29	5	26	6	0	7.0	51	21.1	34.17	5.73	112.54
H29	5	26	6	5			19.4	34.32	5.63	107.32
H29	5	26	6	10			18.4	34.40	5.38	100.69
H29	5	26	6	20			18.2	34.38	5.17	96.45
H29	5	26	6	30			18.2	34.39	5.17	96.37
H29	5	26	6	B			18.2	34.41	4.84	90.28
H29	5	26	7	0	6.5	52	20.9	33.12	5.13	99.86
H29	5	26	7	5			19.1	34.31	5.43	102.98
H29	5	26	7	10			18.5	34.44	5.11	95.84
H29	5	26	7	20			18.2	34.42	4.20	78.32
H29	5	26	7	B			18.3	34.47	4.10	76.68
H29	5	26	8	0	12.5	60	21.9	34.22	5.59	111.47
H29	5	26	8	5			19.3	34.52	5.94	113.08
H29	5	26	8	10			18.7	34.52	5.52	104.02
H29	5	26	8	20			18.4	34.47	5.46	102.30
H29	5	26	8	30			18.3	34.47	5.07	94.74
H29	5	26	8	B			18.3	34.52	4.77	89.23
H29	5	25	11	0	15.0	69	21.7	33.71	5.06	100.26
H29	5	25	11	5			19.8	34.21	5.84	112.15
H29	5	25	11	10			18.5	34.16	5.91	110.72
H29	5	25	11	20			18.1	34.27	5.43	100.92
H29	5	25	11	30			17.9	34.33	4.43	82.09
H29	5	25	11	B			17.8	34.39	3.82	70.74
H29	5	25	12	0	8.0	69	22.3	33.89	5.56	111.42
H29	5	25	12	5			21.4	33.96	5.72	112.95
H29	5	25	12	10			18.2	34.27	5.57	103.77
H29	5	25	12	20			18.0	34.32	5.34	99.24
H29	5	25	12	B			18.0	34.31	5.29	98.13
H29	5	25	13	0	7.5	69	23.1	33.89	5.30	107.72
H29	5	25	13	5			20.5	34.17	5.48	106.58
H29	5	25	13	10			18.6	34.30	5.33	100.17
H29	5	25	13	20			17.9	34.27	5.50	101.96
H29	5	25	13	B			18.1	34.35	5.29	98.38

表14-2 宇和海水質調査結果表 (6月)

年	月	日	地点	採水層 (m)	透明度 (m)	水色	水温 (°C)	塩分 (psu)	DO (mL/L)	酸素飽和度 (%)
H29	6	20	1	0	11.0	60	23.6	34.35	5.93	122.07
H29	6	20	1	5			21.5	34.14	5.50	108.95
H29	6	20	1	10			20.7	34.33	5.61	109.55
H29	6	20	1	20			19.7	34.20	5.48	104.93
H29	6	20	1	30			19.5	34.25	5.77	110.21
H29	6	20	1	B			18.6	34.22	5.22	98.01
H29	6	20	5	0	7.5	63	23.0	34.06	5.59	113.60
H29	6	20	5	5			23.0	34.03	5.46	110.93
H29	6	20	5	10			21.1	34.00	6.05	118.77
H29	6	20	5	20			19.1	34.13	5.90	111.70
H29	6	20	5	30			18.6	34.14	5.05	94.81
H29	6	20	5	B			18.5	34.17	4.87	91.20
H29	6	21	6	0	9.5	60	23.3	34.25	5.12	104.65
H29	6	21	6	5			23.2	34.31	5.00	102.21
H29	6	21	6	10			23.1	34.51	4.98	101.64
H29	6	21	6	20			23.0	34.54	5.05	102.86
H29	6	21	6	30			22.8	34.55	5.15	104.59
H29	6	21	6	B			21.6	34.55	4.87	96.80
H29	6	21	7	0	4.5	54	23.0	31.82	4.63	92.83
H29	6	21	7	5			23.1	33.98	5.04	102.51
H29	6	21	7	10			23.0	34.43	4.86	99.03
H29	6	21	7	20			22.8	34.51	5.09	103.28
H29	6	21	7	B			22.6	34.52	5.42	109.71
H29	6	21	8	0	8.0	69	23.6	34.13	4.95	101.69
H29	6	21	8	5			23.6	34.13	5.02	103.12
H29	6	21	8	10			23.2	34.54	4.96	101.42
H29	6	21	8	20			22.8	34.54	5.06	102.79
H29	6	21	8	30			22.7	34.55	5.60	113.50
H29	6	21	8	B			22.5	34.56	4.96	100.24
H29	6	20	11	0	7.0	60	23.1	33.69	5.91	120.12
H29	6	20	11	5			21.7	34.01	6.09	120.90
H29	6	20	11	10			19.9	34.04	6.06	116.46
H29	6	20	11	20			18.8	34.05	5.55	104.45
H29	6	20	11	30			18.4	34.07	5.61	104.79
H29	6	20	11	B			18.2	34.08	4.75	88.43
H29	6	20	12	0	7.5	63	23.0	34.13	5.82	118.38
H29	6	20	12	5			22.8	34.11	5.91	119.71
H29	6	20	12	10			19.8	34.15	5.72	109.68
H29	6	20	12	20			19.1	34.16	5.57	105.58
H29	6	20	12	B			18.9	34.16	5.41	102.01
H29	6	20	13	0	5.0	51	23.2	34.02	5.91	120.52
H29	6	20	13	5			22.2	34.05	5.99	119.96
H29	6	20	13	10			20.4	34.21	6.21	120.58
H29	6	20	13	20			19.4	34.17	5.61	106.91
H29	6	20	13	B			19.1	34.18	5.56	105.40

表14-3 宇和海水質調査結果表 (7月)

年	月	日	地点	採水層 (m)	透明度 (m)	水色	水温 (°C)	塩分 (psu)	DO (mL/L)	酸素飽和度 (%)
H29	7	26	1	0	9.5	63	29.6	34.08	5.36	121.68
H29	7	26	1	5			26.4	34.07	5.34	115.07
H29	7	26	1	10			23.8	34.02	4.97	102.44
H29	7	26	1	20			23.1	34.03	4.85	98.65
H29	7	26	1	30			22.9	34.03	4.76	96.50
H29	7	26	1	B			22.8	34.20	4.14	83.94
H29	7	26	5	0	11.0	63	27.6	33.92	5.49	120.57
H29	7	26	5	5			28.5	33.78	5.11	113.89
H29	7	26	5	10			24.6	33.95	4.89	102.19
H29	7	26	5	20			22.9	33.99	4.66	94.43
H29	7	26	5	30			22.4	33.98	4.57	91.94
H29	7	26	5	B			22.3	33.67	4.02	80.57
H29	7	25	6	0	8.0	63	25.2	34.15	4.88	103.06
H29	7	25	6	5			24.3	34.17	5.00	104.06
H29	7	25	6	10			23.9	34.17	4.90	101.17
H29	7	25	6	20			23.5	34.17	4.75	97.50
H29	7	25	6	30			23.4	34.17	4.97	101.80
H29	7	25	6	B			23.2	34.19	4.81	98.21
H29	7	25	7	0	4.5	45	27.6	33.36	5.35	117.07
H29	7	25	7	5			27.5	33.36	4.73	103.36
H29	7	25	7	10			24.6	34.18	4.49	93.95
H29	7	25	7	20			24.1	34.18	4.52	93.72
H29	7	25	7	B			23.9	34.18	4.41	91.06
H29	7	25	8	0	14.0	54	26.3	33.62	4.92	105.65
H29	7	25	8	5			25.7	34.18	5.39	114.94
H29	7	25	8	10			24.7	34.22	5.42	113.57
H29	7	25	8	20			24.3	34.23	4.88	101.55
H29	7	25	8	30			23.9	34.23	4.97	102.80
H29	7	25	8	B			23.3	34.24	4.87	99.64
H29	7	26	11	0	7.0	63	30.8	33.63	5.05	116.65
H29	7	26	11	5			28.7	33.64	5.85	130.72
H29	7	26	11	10			25.2	34.05	4.30	90.74
H29	7	26	11	20			23.4	34.16	4.37	89.44
H29	7	26	11	30			22.8	34.11	3.99	80.77
H29	7	26	11	B			22.8	34.22	3.43	69.57
H29	7	26	12	0	7.5	63	30.8	33.99	5.47	126.47
H29	7	26	12	5			29.1	33.92	5.95	133.86
H29	7	26	12	10			23.6	34.16	5.86	120.53
H29	7	26	12	20			23.1	34.13	4.96	101.00
H29	7	26	12	B			22.8	34.11	4.47	90.60
H29	7	26	13	0	3.5	36	28.0	34.13	6.73	149.09
H29	7	26	13	5			29.3	33.80	5.19	117.15
H29	7	26	13	10			24.4	34.18	3.50	72.90
H29	7	26	13	20			23.3	34.19	3.53	72.16
H29	7	26	13	B			23.1	34.19	3.42	69.67

表14-4 宇和海水質調査結果表 (8月)

年	月	日	地点	採水層 (m)	透明度 (m)	水色	水温 (°C)	塩分 (psu)	DO (mL/L)	酸素飽和度 (%)
H29	8	28	1	0	4.5	45	27.8	33.91	5.08	112.00
H29	8	28	1	5			25.3	34.01	4.36	92.26
H29	8	28	1	10			23.8	34.08	4.32	89.04
H29	8	28	1	20			23.2	34.09	4.09	83.48
H29	8	28	1	30			23.0	34.14	3.88	78.89
H29	8	28	1	B			22.5	34.19	3.75	75.65
H29	8	28	5	0	7.5	63	27.1	33.93	5.00	108.90
H29	8	28	5	5			25.2	33.88	4.58	96.68
H29	8	28	5	10			24.1	34.00	4.33	89.62
H29	8	28	5	20			23.6	34.00	4.12	84.56
H29	8	28	5	30			23.5	34.04	3.99	81.76
H29	8	28	5	B			22.8	34.13	4.90	99.30
H29	8	29	6	0	5.0	63	28.3	34.14	5.23	116.32
H29	8	29	6	5			24.7	34.20	4.25	89.07
H29	8	29	6	10			23.6	34.21	3.82	78.56
H29	8	29	6	20			23.2	34.22	4.05	82.74
H29	8	29	6	30			23.1	34.24	3.83	78.00
H29	8	29	6	B			20.5	34.43	3.58	69.73
H29	8	29	7	0	3.5	45	26.7	33.82	5.05	109.14
H29	8	29	7	5			26.3	33.89	3.80	81.69
H29	8	29	7	10			24.0	34.20	4.20	86.96
H29	8	29	7	20			23.4	34.19	4.09	83.75
H29	8	29	7	B			23.1	34.21	4.03	82.16
H29	8	29	8	0	14.0	63	27.0	34.13	4.44	96.60
H29	8	29	8	5			24.8	34.17	4.57	95.92
H29	8	29	8	10			24.3	34.18	4.42	91.96
H29	8	29	8	20			23.7	34.19	4.19	86.23
H29	8	29	8	30			23.4	34.19	4.41	90.34
H29	8	29	8	B			23.1	34.24	4.17	85.04
H29	8	28	11	0	6.5	54	26.3	33.91	4.78	102.75
H29	8	28	11	5			25.9	33.82	4.46	95.24
H29	8	28	11	10			24.6	33.86	4.38	91.45
H29	8	28	11	20			23.7	33.92	4.42	90.80
H29	8	28	11	30			23.3	33.95	4.46	91.12
H29	8	28	11	B			23.0	34.02	4.34	88.23
H29	8	28	12	0	8.0	54	25.5	34.07	5.47	116.04
H29	8	28	12	5			24.0	34.00	4.20	86.90
H29	8	28	12	10			23.7	34.04	4.16	85.63
H29	8	28	12	20			23.4	34.09	3.76	77.03
H29	8	28	12	B			23.1	34.12	3.79	77.18
H29	8	28	13	0	6.5	63	30.6	33.65	4.80	110.50
H29	8	28	13	5			24.6	34.02	4.15	86.68
H29	8	28	13	10			24.1	34.05	4.05	83.86
H29	8	28	13	20			23.4	34.10	3.93	80.41
H29	8	28	13	B			23.1	34.12	3.63	73.91

表15-1 宇和海栄養塩調査表 (5月)

年	月	日	地点	採水層 (m)	NH ₄ -N (μ M)	NO ₂ -N (μ M)	NO ₃ -N (μ M)	DIN (μ M)	DIP (μ M)	DSi (μ M)	CHLO-a (μ g/L)
H29	5	25	1	0	1.1	0.3	0.1	1.5	0.04	1.8	0.0
H29	5	25	1	5	0.1	0.0	0.2	0.3	0.04	1.1	
H29	5	25	1	10	0.2	0.0	0.2	0.4	0.08	2.1	0.0
H29	5	25	1	20	0.4	0.0	0.0	0.4	0.15	2.8	
H29	5	25	1	30	0.5	0.1	0.1	0.7	0.16	4.7	
H29	5	25	1	B	0.7	0.6	0.5	1.8	0.21	5.1	0.0
H29	5	25	5	0	2.0	0.0	0.6	2.6	0.37	3.1	0.2
H29	5	25	5	5	0.3	0.0	0.1	0.4	0.07	2.4	
H29	5	25	5	10	0.4	0.1	0.4	0.9	0.10	5.3	0.0
H29	5	25	5	20	0.3	0.4	0.3	1.0	0.13	4.5	
H29	5	25	5	30	0.7	0.2	0.4	1.2	0.32	6.2	
H29	5	25	5	B	1.0	0.5	0.8	2.2	0.28	6.3	0.5
H29	5	26	6	0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.13	1.2	0.2
H29	5	26	6	5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.02	1.1	
H29	5	26	6	10	0.3	0.1	0.3	0.7	0.02	2.6	1.2
H29	5	26	6	20	0.1	0.5	0.4	1.0	0.11	3.4	
H29	5	26	6	30	0.2	0.6	0.7	1.5	0.14	4.3	
H29	5	26	6	B	0.9	0.6	1.0	2.6	0.14	5.9	0.9
H29	5	26	7	0	1.2	0.1	0.3	1.6	0.05	2.0	0.5
H29	5	26	7	5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.03	0.6	
H29	5	26	7	10	0.2	0.0	0.2	0.4	0.05	1.8	0.7
H29	5	26	7	20	1.4	1.3	1.1	3.8	0.41	4.8	
H29	5	26	7	B	2.1	1.4	1.4	4.8	0.50	8.5	1.9
H29	5	26	8	0	0.4	0.0	0.2	0.6	0.02	0.5	0.0
H29	5	26	8	5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.02	0.5	
H29	5	26	8	10	0.1	0.0	0.2	0.3	0.00	1.1	0.2
H29	5	26	8	20	0.1	0.0	0.0	0.1	0.01	0.8	
H29	5	26	8	30	0.2	0.4	1.0	1.5	0.08	3.2	
H29	5	26	8	B	0.3	0.2	0.5	1.0	0.11	2.5	0.5
H29	5	25	11	0	2.5	0.0	0.9	3.4	0.05	1.8	0.5
H29	5	25	11	5	0.3	0.0	0.0	0.3	0.02	1.0	
H29	5	25	11	10	0.4	0.0	0.2	0.6	0.02	0.7	0.0
H29	5	25	11	20	0.6	0.0	0.1	0.7	0.07	1.0	
H29	5	25	11	30	0.9	0.0	0.1	1.0	0.23	3.4	
H29	5	25	11	B	1.8	0.0	0.3	2.1	0.51	8.8	0.5
H29	5	25	12	0	0.4	0.0	0.2	0.6	0.06	0.6	0.0
H29	5	25	12	5	0.3	0.0	0.0	0.3	0.04	3.6	
H29	5	25	12	10	0.3	0.0	0.1	0.4	0.03	4.0	0.0
H29	5	25	12	20	0.4	0.0	0.0	0.5	0.17	5.1	
H29	5	25	12	B	0.7	0.1	0.3	1.0	0.32	6.2	0.5
H29	5	25	13	0	0.6	0.0	0.5	1.2	0.02	1.3	0.7
H29	5	25	13	5	0.7	0.0	0.0	0.7	0.03	3.5	
H29	5	25	13	10	0.3	0.0	0.2	0.4	0.06	5.0	0.5
H29	5	25	13	20	0.4	0.0	0.0	0.5	0.11	5.2	
H29	5	25	13	B	0.6	0.0	0.2	0.8	0.21	6.5	0.7

表15-2 宇和海栄養塩調査表 (6月)

年	月	日	地点	採水層 (m)	NH4-N (μ M)	NO2-N (μ M)	NO3-N (μ M)	DIN (μ M)	DIP (μ M)	DSi (μ M)	CHLO-a (μ g/L)
H29	6	20	1	0	1.1	0.1	0.2	1.4	0.01	4.1	0.5
H29	6	20	1	5	0.4	0.0	0.2	0.6	0.05	2.4	
H29	6	20	1	10	0.5	0.1	0.2	0.9	0.02	3.1	0.7
H29	6	20	1	20	1.6	0.3	0.2	2.1	0.17	7.3	
H29	6	20	1	30	0.5	0.1	0.0	0.5	0.05	2.4	
H29	6	20	1	B	1.3	0.8	1.0	3.2	0.24	5.6	0.2
H29	6	20	5	0	0.3	0.0	0.1	0.5	0.01	0.8	1.2
H29	6	20	5	5	0.3	0.0	0.0	0.3	0.00	0.5	
H29	6	20	5	10	0.3	0.0	0.1	0.4	0.01	1.2	0.5
H29	6	20	5	20	0.2	0.0	0.0	0.2	0.05	1.8	
H29	6	20	5	30	0.6	0.6	0.5	1.7	0.24	6.0	
H29	6	20	5	B	0.7	1.5	1.2	3.4	0.23	6.6	0.0
H29	6	21	6	0	1.0	0.1	0.3	1.4	0.01	4.1	1.2
H29	6	21	6	5	1.3	0.1	0.0	1.5	0.06	4.2	
H29	6	21	6	10	0.6	0.0	0.2	0.8	0.02	1.7	0.2
H29	6	21	6	20	0.7	0.0	0.0	0.8	0.04	1.4	
H29	6	21	6	30	0.7	0.0	0.0	0.7	0.06	1.4	
H29	6	21	6	B	1.1	0.0	0.3	1.4	0.13	4.2	0.0
H29	6	21	7	0	3.8	0.1	7.9	11.8	0.26	31.7	1.6
H29	6	21	7	5	1.6	0.0	0.1	1.7	0.04	1.1	
H29	6	21	7	10	2.2	0.0	0.6	2.8	0.08	3.4	0.5
H29	6	21	7	20	1.4	0.0	0.0	1.4	0.07	1.9	
H29	6	21	7	B	1.6	0.0	0.2	1.8	0.06	2.3	0.2
H29	6	21	8	0	0.7	0.0	0.3	1.0	0.05	1.9	1.4
H29	6	21	8	5	0.4	0.0	0.0	0.4	0.02	1.1	
H29	6	21	8	10	0.4	0.0	0.2	0.6	0.02	1.4	0.2
H29	6	21	8	20	0.7	0.0	0.0	0.7	0.00	1.2	
H29	6	21	8	30	0.4	0.0	0.0	0.4	0.02	1.2	
H29	6	21	8	B	1.0	0.0	0.2	1.2	0.05	2.4	0.2
H29	6	20	11	0	0.5	0.1	0.2	0.8	0.00	0.9	2.1
H29	6	20	11	5	0.4	0.0	0.0	0.4	0.03	0.9	
H29	6	20	11	10	0.4	0.0	0.2	0.6	0.02	1.5	0.0
H29	6	20	11	20	0.3	0.0	0.0	0.4	0.07	1.1	
H29	6	20	11	30	0.7	0.1	0.0	0.8	0.13	2.7	
H29	6	20	11	B	2.5	0.5	0.8	3.7	0.47	8.9	0.5
H29	6	20	12	0	0.5	0.0	0.1	0.7	0.01	0.8	0.2
H29	6	20	12	5	0.4	0.0	0.0	0.4	0.04	1.1	
H29	6	20	12	10	0.5	0.0	0.1	0.6	0.04	2.5	0.5
H29	6	20	12	20	0.4	0.0	0.0	0.4	0.14	3.4	
H29	6	20	12	B	0.7	0.0	0.2	0.9	0.09	4.9	0.2
H29	6	20	13	0	0.5	0.0	0.2	0.7	0.13	3.5	2.6
H29	6	20	13	5	0.4	0.0	0.0	0.4	0.01	1.1	
H29	6	20	13	10	0.5	0.0	0.1	0.6	0.04	2.0	0.5
H29	6	20	13	20	0.4	0.0	0.0	0.4	0.04	2.6	
H29	6	20	13	B	0.5	0.0	0.1	0.6	0.17	3.3	0.5

表15-3 宇和海栄養塩調査表 (7月)

年	月	日	地点	採水層 (m)	NH4-N (μ M)	NO2-N (μ M)	NO3-N (μ M)	DIN (μ M)	DIP (μ M)	DSi (μ M)	CHLO-a (μ g/L)
H29	7	26	1	0	2.3	0.2	0.3	2.8	0.01	10.1	0.2
H29	7	26	1	5	0.1	2.3	1.0	3.5	0.14	4.9	
H29	7	26	1	10	0.9	0.1	0.3	1.2	0.02	5.0	0.2
H29	7	26	1	20	0.0	0.2	0.2	0.4	0.03	3.1	
H29	7	26	1	30	0.3	0.1	0.1	0.5	0.02	2.4	
H29	7	26	1	B	0.5	0.2	0.3	1.0	0.04	4.0	0.2
H29	7	26	5	0	0.3	0.0	0.2	0.4	0.00	2.5	1.2
H29	7	26	5	5	0.3	0.0	0.0	0.4	0.00	1.9	
H29	7	26	5	10	0.2	0.0	0.2	0.5	0.01	3.8	1.2
H29	7	26	5	20	0.2	0.0	0.1	0.3	0.02	3.2	
H29	7	26	5	30	0.2	0.3	0.3	0.8	0.07	4.3	
H29	7	26	5	B	1.5	0.7	0.7	3.0	0.09	8.4	0.0
H29	7	25	6	0	1.3	0.1	0.3	1.7	0.01	11.1	0.5
H29	7	25	6	5	0.2	2.2	0.9	3.4	0.15	2.3	
H29	7	25	6	10	0.3	0.0	0.1	0.5	0.03	2.4	0.5
H29	7	25	6	20	0.3	0.2	0.2	0.6	0.04	1.5	
H29	7	25	6	30	0.2	0.2	0.2	0.6	0.05	1.5	
H29	7	25	6	B	0.5	0.1	0.4	0.9	0.08	2.5	0.5
H29	7	25	7	0	0.2	0.0	0.1	0.3	0.02	9.4	1.6
H29	7	25	7	5	2.0	0.1	0.1	2.2	0.05	1.0	
H29	7	25	7	10	2.0	0.1	0.2	2.3	0.03	2.0	0.7
H29	7	25	7	20	1.4	0.1	0.2	1.7	0.09	1.3	
H29	7	25	7	B	3.4	0.2	0.5	4.2	0.31	4.0	0.0
H29	7	25	8	0	2.6	0.0	1.8	4.5	0.02	1.6	0.5
H29	7	25	8	5	0.2	0.0	0.0	0.2	0.01	0.8	
H29	7	25	8	10	0.8	0.0	0.3	1.1	0.01	1.4	0.9
H29	7	25	8	20	0.2	0.0	0.0	0.2	0.02	0.9	
H29	7	25	8	30	0.4	0.1	0.2	0.7	0.04	1.6	
H29	7	25	8	B	0.6	0.2	0.5	1.3	0.07	2.9	0.2
H29	7	26	11	0	1.2	0.1	3.3	4.6	0.02	1.7	1.4
H29	7	26	11	5	0.4	0.0	0.1	0.4	0.00	1.0	
H29	7	26	11	10	0.7	0.0	0.4	1.0	0.00	2.9	0.9
H29	7	26	11	20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02	2.1	
H29	7	26	11	30	0.0	0.1	0.0	0.1	0.00	2.8	
H29	7	26	11	B	0.7	0.6	0.5	1.7	0.07	7.8	0.2
H29	7	26	12	0	0.5	0.0	0.2	0.8	0.03	0.7	1.2
H29	7	26	12	5	0.3	0.0	0.0	0.4	0.00	1.3	
H29	7	26	12	10	0.2	0.0	0.1	0.4	0.02	1.8	0.7
H29	7	26	12	20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1.7	
H29	7	26	12	B	1.0	0.0	0.2	1.2	0.00	3.0	0.2
H29	7	26	13	0	0.8	0.0	0.2	1.0	0.02	4.3	3.3
H29	7	26	13	5	0.5	0.0	0.0	0.6	0.00	1.0	
H29	7	26	13	10	0.4	0.0	0.2	0.6	0.01	2.7	0.7
H29	7	26	13	20	0.1	0.0	0.0	0.1	0.02	3.4	
H29	7	26	13	B	0.5	0.0	0.2	0.7	0.02	5.0	0.5

表15-4 宇和海栄養塩調査表 (8月)

年	月	日	地点	採水層 (m)	NH ₄ -N (μ M)	NO ₂ -N (μ M)	NO ₃ -N (μ M)	DIN (μ M)	DIP (μ M)	DSi (μ M)	CHLO-a (μ g/L)
H29	8	28	1	0	0.1	0.0	0.8	0.9	0.02	2.7	0.7
H29	8	28	1	5	0.6	0.5	1.1	2.2	0.16	3.7	
H29	8	28	1	10	0.4	0.7	1.7	2.8	0.21	4.6	0.5
H29	8	28	1	20	0.0	0.8	3.9	4.7	0.26	6.5	
H29	8	28	1	30	0.1	0.8	4.1	4.9	0.25	6.7	
H29	8	28	1	B	0.1	0.6	5.2	5.8	0.33	9.8	0.0
H29	8	28	5	0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.04	2.3	0.9
H29	8	28	5	5	0.1	0.0	0.0	0.1	0.04	3.2	
H29	8	28	5	10	0.1	0.1	0.2	0.4	0.08	3.8	0.5
H29	8	28	5	20	0.5	0.6	1.2	2.4	0.19	4.6	
H29	8	28	5	30	1.6	0.8	2.5	4.9	0.23	6.5	
H29	8	28	5	B	0.6	0.9	4.3	5.7	0.32	10.0	0.0
H29	8	29	6	0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.03	2.0	1.4
H29	8	29	6	5	0.8	0.7	2.7	4.1	0.30	5.2	
H29	8	29	6	10	0.0	0.9	3.6	4.5	0.24	6.1	0.5
H29	8	29	6	20	0.0	1.1	3.9	5.0	0.25	6.6	
H29	8	29	6	30	0.0	1.4	4.7	6.1	0.35	8.3	
H29	8	29	6	B	0.8	0.6	7.1	8.6	0.49	12.7	0.0
H29	8	29	7	0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.04	6.6	2.6
H29	8	29	7	5	2.3	0.9	2.9	6.2	0.31	6.1	
H29	8	29	7	10	0.7	0.9	3.3	4.8	0.33	6.5	0.5
H29	8	29	7	20	0.7	0.7	3.3	4.7	0.2	6.0	
H29	8	29	7	B	1.1	0.8	3.6	5.4	0.34	7.3	0.5
H29	8	29	8	0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.03	3.2	0.9
H29	8	29	8	5	0.1	0.2	1.2	1.5	0.08	4.7	
H29	8	29	8	10	0.1	0.4	2.3	2.8	0.13	4.9	0.7
H29	8	29	8	20	0.1	0.5	2.8	3.4	0.16	5.4	
H29	8	29	8	30	0.6	0.8	8.1	9.6	0.67	6.3	
H29	8	29	8	B	0.2	0.9	4.0	5.0	0.28	7.1	0.2
H29	8	28	11	0	0.2	0.0	0.2	0.3	0.05	1.1	2.3
H29	8	28	11	5	0.2	0.0	0.1	0.3	0.03	2.1	
H29	8	28	11	10	0.6	0.1	0.2	1.0	0.13	2.7	0.7
H29	8	28	11	20	0.9	0.6	0.5	2.0	0.20	3.6	
H29	8	28	11	30	0.5	0.6	0.9	1.9	0.15	3.4	
H29	8	28	11	B	0.7	0.9	2.0	3.6	0.32	9.8	0.0
H29	8	28	12	0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.03	3.6	0.9
H29	8	28	12	5	0.2	0.3	0.4	0.9	0.11	4.7	
H29	8	28	12	10	0.9	0.8	1.8	3.4	0.22	6.8	0.2
H29	8	28	12	20	0.5	1.2	2.5	4.2	0.29	9.0	
H29	8	28	12	B	0.4	1.2	2.9	4.5	0.30	8.9	0.2
H29	8	28	13	0	0.3	0.0	0.1	0.4	0.04	3.6	1.4
H29	8	28	13	5	1.3	0.2	0.3	1.9	0.15	4.2	
H29	8	28	13	10	1.4	0.4	0.8	2.6	0.18	4.6	0.0
H29	8	28	13	20	0.7	1.2	3.3	5.3	0.39	9.8	
H29	8	28	13	B	0.9	1.2	3.5	5.6	0.42	11.4	0.0

表16-1 プランクトン検鏡結果 (5月)

Stn. 1						
Depth (m)	0	5	10	20	30	B-1
Diatom (sum)	810	780	440	890	164	0
<i>Heteroshigma akashiwo</i>	1					

Stn. 5						
Depth (m)	0	5	10	20	30	B-1
Diatom (sum)	43	121	143	208	832	1200

Stn. 6						
Depth (m)	0	5	10	20	30	B-1
Diatom (sum)	3580	2920	1520	730	360	181
<i>Gyrodinium spirale</i>	1					

Stn. 7						
Depth (m)	0	5	10	20	30	B-1
Diatom (sum)	400	109	422	93		6
<i>Ceratium furca</i>	12					
<i>Prorocentrum shikokuense</i>		63	21			

Stn. 8						
Depth (m)	0	5	10	20	30	B-1
Diatom (sum)	1200	1650	490	1090	430	380
<i>Gyrodinium spirale</i>	4			1		

Stn. 11						
Depth (m)	0	5	10	20	30	B-1
Diatom (sum)	9	135	320	830	830	460
<i>Akashiwo sanguinea</i>		1				

Stn. 12						
Depth (m)	0	5	10	20	30	B-1
Diatom (sum)	710	430	164	89		51
<i>Akashiwo sanguinea</i>				1		
<i>Gyrodinium spirale</i>	5	2				

Stn. 13						
Depth (m)	0	5	10	20	30	B-1
Diatom (sum)	13	21	13	26		9
<i>Prorocentrum shikokuense</i>			3			2
<i>Gyrodinium spirale</i>	10	2				
<i>Akashiwo sanguinea</i>	1	1				

表16-2 プランクトン検鏡結果 (6月)

Stn.		1					
Depth (m)		0	5	10	20	30	B-1
Diatom (sum)		435	200	51	127	82	0
<i>Gyrodinium spirale</i>		4					
<i>Gyrodinium dominans</i>		5		1			
<i>Ceratium furca</i>		1					
<i>Ceratium fusus</i>				1			
<i>Gonyaulax polygramma</i>		1					
<i>Heterosigma akashiwo</i>		1					
<i>Dictyocha sp. (球形)</i>		1					
<i>Protoperidinium sp.</i>				1			

Stn.		5					
Depth (m)		0	5	10	20	30	B-1
Diatom (sum)		720	740	730	630	488	0
<i>Gyrodinium spirale</i>		3	1				
<i>Gyrodinium dominans</i>			2				
<i>Ceratium furca</i>			1				

Stn.		6					
Depth (m)		0	5	10	20	30	B-1
Diatom (sum)		12	0	0	0	0	0

Stn.		7					
Depth (m)		0	5	10	20		B-1
Diatom (sum)		0	0	0	0		0
<i>Prorocentrum shikokuense</i>		8					
<i>Gyrodinium spirale</i>		1					

Stn.		8						
Depth (m)		0	5	10	20	30		B-1
Diatom (sum)		0	0	0	0	0	0	0

Stn.		11						
Depth (m)		0	5	10	20	30		B-1
Diatom (sum)		1180	710	680	255	248		0
<i>Gyrodinium spirale</i>		3						1
<i>Gyrodinium dominans</i>		8						
<i>Scrippsiella sp.</i>		1						
<i>Akashiwo sanguinea</i>		1						

Stn.		12					
Depth (m)		0	5	10	20		B-1
Diatom (sum)		210	260	120	86		48
<i>Karenia mikimotoi</i>		1					
<i>Cochlodinium polykrikoides</i>		4		4			
<i>Ceratium furca</i>		2					1
<i>Gyrodinium dominans</i>		2		1			

Stn.		13					
Depth (m)		0	5	10	20		B-1
Diatom (sum)		240	160	120	82		57
<i>Cochlodinium polykrikoides</i>		34					
<i>Ceratium furca</i>			4	3			
<i>Gyrodinium spirale</i>		4					

表16-3 プランクトン検鏡結果 (7月)

Stn. 1						
Depth (m)	0	5	10	20	30	B-1
Diatom (sum)	9	0	7	26	17	
<i>Karenia mikimotoi</i>	69	7	71	13	49	

Stn. 5						
Depth (m)	0	5	10	20	30	B-1
Diatom (sum)	2120	132	117	41		
<i>Karenia mikimotoi</i>	73	227	215	59		

Stn. 6						
Depth (m)	0	5	10	20	30	B-1
Diatom (sum)	260	175	148	113		
<i>Karenia mikimotoi</i>	26	27	4	1		

Stn. 7						
Depth (m)	0	5	10	20		B-1
Diatom (sum)	0	0	150	0		
<i>Karenia mikimotoi</i>	0	7	16	0		
<i>Chchloidium polykrikoides</i>	12					
<i>Gymnodinium impudicum</i>	16					

Stn. 8						
Depth (m)	0	5	10	20	30	B-1
Diatom (sum)	9	0	27	14	11	
<i>Karenia mikimotoi</i>	0	0	1	8	6	

Stn. 11						
Depth (m)	0	5	10	20	30	B-1
Diatom (sum)	2680	0	0	0		
<i>Karenia mikimotoi</i>	0	2310	490	51		

Stn. 12						
Depth (m)	0	5	10	20		B-1
Diatom (sum)	1240	0	0	0		
<i>Karenia mikimotoi</i>	710	570	410	35		

Stn. 13						
Depth (m)	0	5	10	20		B-1
Diatom (sum)	0	0	0	38		
<i>Karenia mikimotoi</i>	73	227	215	35		

表16-4 プランクトン検鏡結果 (8月)

Stn. 1							
Depth (m)	0	5	10	20	30	B-1	
Diatom (sum)	600	0	0				
<i>Karenia mikimotoi</i>	0	3	3				
Stn. 5							
Depth (m)	0	5	10	20	30	B-1	
Diatom (sum)	1650	0	0				
<i>Karenia mikimotoi</i>	0	4	14				
<i>Prorocentrum shikokuense</i>	0	420	460				
<i>Gonyaulax polygramma</i>	3	0	0				
Stn. 6							
Depth (m)	0	5	10	20	30	B-1	
Diatom (sum)	2500	4500	0				
<i>Karenia mikimotoi</i>	0	0	0				
Stn. 7							
Depth (m)	0	5	10	20	B-1		
Diatom (sum)	4200	0	0				
<i>Karenia mikimotoi</i>	0	0	0				
Stn. 8							
Depth (m)	0	5	10	20	30	B-1	
Diatom (sum)	70	0	0				
<i>Karenia mikimotoi</i>	0	0	1				
Stn. 11							
Depth (m)	0	5	10	20	30	B-1	
Diatom (sum)	850	400	127				
<i>Karenia mikimotoi</i>	0	0	21				
Stn. 12							
Depth (m)	0	5	10	20	B-1		
Diatom (sum)	0	0	0				
<i>Karenia mikimotoi</i>	0	3	3				
Stn. 13							
Depth (m)	0	5	10	20	B-1		
Diatom (sum)	1640	0	0				
<i>Karenia mikimotoi</i>	0	17	1				

表17 平成29年度の赤潮発生状況

番号	発生期間期	発生海域	漁業被害	構成種	最高濃度 (細胞/ml)	備考 (被害金額)
2017-R1	6/26-7/6	宇和島湾	無	<i>Heterosigma akashiwo</i>	66,000	
2017-R2	7/8-9/13	宇和海	有	<i>Karenia mikimotoi</i>	200,000	250万円
2017-R3	7/20-8/11	宿毛湾船越など	無	<i>Karenia papilionacea</i>	16,900	餌止め指導有
2017-R4	8/13-8/21	宇和島湾	無	<i>Heterosigma akashiwo</i>	106,000	

*Kalenia papilionacea*は、愛南町船越湾において6/27に遊泳細胞が確認され7/20に赤潮を形成し8/11に終息した。最高細胞数は16,900cells/mLであった。養殖魚に対する影響が不明であったため、一応餌止め対策を実施し、漁業被害は無かった。本種は、2005年に高知県浦の内湾において810cells/mLで日本初の赤潮となった種1)である。赤潮発生の原因は不明である。減少・衰退の要因には、中層域における水温急上昇に伴う海水交換が考えられた。今後、養殖魚に対しての影響が不明な点を研究していく必要があると考えられた。

3 貝毒発生監視調査

(1) 春季モニタリング

岩松湾、愛南町家串、御荘湾、船越湾、愛南町福浦地区において貝毒原因藻である*Gymnodinium catenatum*の出現を4~7月に調査した。検鏡方法は、等量混合濃縮(各層を300mL採水し混合後、1,000mLを5μmネットで濃縮)による検鏡で、当県では0.1cells/mL以上で毒化の危険が高まるとしている。岩松湾では、4/24(水温19.3℃)~6/16(水温20.4℃)に0.002~0.088cells/mLの出現であった。愛南町家串では、危険値は超えることはなく、4/12(水温17.1℃)~6/2(水温21.5℃)に0.004~0.032cells/mLの出現であった。御荘湾では、4/12(水温17.9℃)~6/12(水温21.4℃)に出現が確認され、5/9~5/12において危険値を上回った(最高細胞数0.652cells/mL)。船越湾では、4/19(水温19.9℃)~6/5(水温21.5℃)に0.004~0.056cells/mL確認された。福浦地区では4/19(水温20.0℃)~6/12(水温21.7℃)に0.004~10.4cells/mL確認され、5/9の天然イガイから5.2MU/gの毒量が検出されたため、二枚貝の出荷自粛等の注意喚起をし、8/2に出荷自粛等が解除となった。

(2) 冬季モニタリング

貝毒原因種である*Alexandrium tamarense*、*Alexandrium catenella*、は確認されなかったが、*Gymnodinium catenatum*は、御荘湾において3/2~3/29に0.002~0.028cells/mL確認された。

II 瀬戸内海

方 法

1 水質および底質監視調査

調査地点を図11(伊予灘)、図12(燧灘)に、調査月日と調査内容、調査項目と観測層を表18、表19に、藻場の調査月日と調査内容を表20に示す。

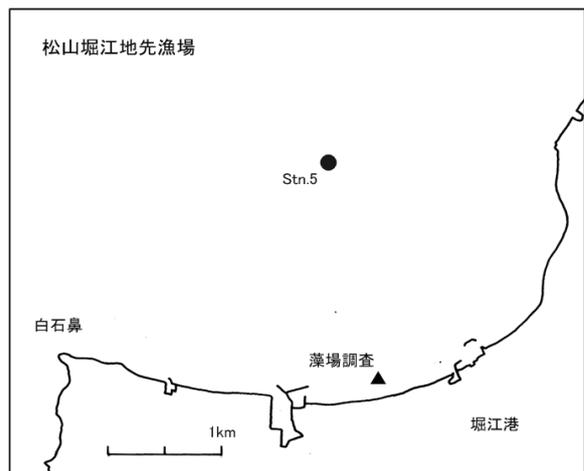


図11 調査定点 (伊予灘)

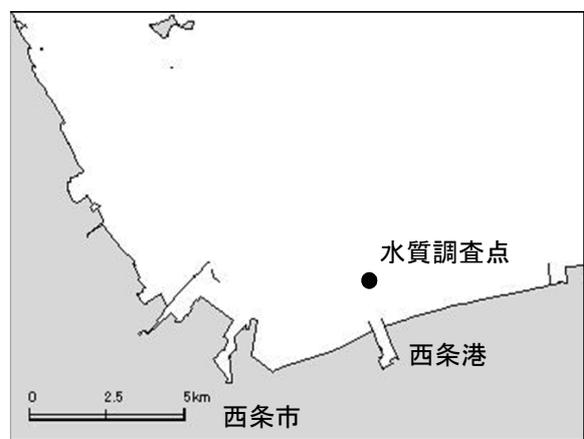


図12 調査定点 (燧灘)

表18 水質および底質の調査月日と調査内容

調査地点	調査月日	定点	調査内容		
			気象 海象	水質	底質
伊予灘	5/18	1	○	○	○
	9/22	1	○	○	○
燧灘	5/11	1	○	○	-
	8/22	1	○	○	-

表19 水質および底質の調査項目と観測層

調査内容	調査項目	観測層
気象 海象	天候、気温、風向、風速、 透明度(セッキ板)	-
水質	水温(多項目水質計)、 塩分(多項目水質計)、 DO(ウィンクラー法)	0.5、2.5、 5、10、B-1m
底質	粒度組成(ふるい分析法)、 COD(アルカリ性過マンガン 酸カリウム法)、 酸揮発性硫化物(AVS-S)、 IL(550℃、6時間および、 900℃、1時間)	-

表20 藻場の調査月日と調査内容

調査地点	調査月日	定点	調査内容
伊予灘	5/18	1	アマモ場面積 (GPS魚探、
	9/22	1	GISソフトウェア)

結 果

1 水質監視調査(表21、22)

(1) 水温

1) 伊予灘

5月の表層は15.7℃、底層は15.6℃であった。9月の表層は24.0℃、底層は24.0℃であった。

2) 燧灘

5月の表層は16.3℃、底層は15.7℃であった。8月の表層は29.9℃、底層は27.2℃であった。

(2) 塩分

1) 伊予灘

5月の表層は33.31、底層は33.30であった。9月の表層は32.99、底層は33.01であった。

2) 燧灘

5月の表層は32.69、底層は32.93であった。8月は表層、底層とも32.10であった。

(3) 透明度

1) 伊予灘

5月は13.0mで、9月は6.5mであった。

2) 燧灘

5月は3.0mで、8月は4.0mであった。

(4) 溶存酸素量

1) 伊予灘

5月の表層は5.25mL/L、底層は5.28mL/Lであった。9月の表層は4.02mL/L、底層は4.14mL/Lであった。

2) 燧灘

5月の表層は5.24mL/L、底層は4.83mL/Lであった。8月の表層は5.74 mL/L、底層は3.72 mL/Lであった。

伊予灘、燧灘とも水産用水基準値に定められた最低限維持値3.0mL/Lを上回った。

表21 水質監視調査結果(伊予灘)

観測月日	5/18	9/22	
観測時刻	12:50	12:11	
天候	b	r	
気温(℃)	21.5	22.0	
風向	NW	N	
風速(m/s)	3.0	7.0	
水深(m)	17.0	18.0	
透明度(m)	13.0	6.5	
水温(℃)	0.5m	15.71	24.01
	2.5m	15.63	24.01
	5.0m	15.60	24.02
	10.0m	15.60	24.02
	B-1	15.60	24.02
塩分	0.5m	33.31	32.99
	2.5m	33.31	32.99
	5.0m	33.31	33.00
	10.0m	33.32	33.01
	B-1	33.30	33.01
DO(mL/L)	0.5m	5.25	4.02
	2.5m	5.23	4.23
	5.0m	5.51	4.15
	10.0m	5.36	4.34
	B-1	5.28	4.14

表22 漁場環境監視調査(燧灘)

月日	採水層(m)	5月11日	8月22日
水温(℃)	0	16.29	29.88
	B-1	15.71	27.22
塩分	0	32.69	32.10
	B-1	32.93	32.10
透明度(m)		3.0	4.0
水深(m)		11.0	10.0
DO(mL/L)	0	5.24	5.74
	B-1	4.83	3.72

調査定点(E 133.0959, N 33.5810)

2 底質監視調査

(1) 藻場調査(図13、14)

1) 伊予灘

アマモ場の面積は5月が約6.7haで、9月が約7.0haであった。平成8年度の調査開始以降、藻場面積に大きな変化はみられていない。

(2) 底質調査(表23)

1) 伊予灘

含泥率(<0.063mm)は、5月が10.5%、9月が11.4%であった。CODは、5月が2.7mg/g・dry、9月が2.0mg/g・dryであった。酸揮発性硫化物(AVS-S)は、5月が0.006mg/g・dry、9月が0.002mg/g・dryであった。強熱減量(IL)は、550℃では5月が2.6%、9月が4.3%、900℃では5月が11.4%、9月が16.6%であった。

引用文献

- 1) H. Yamaguchi et al. 2016. Occurrence of *Kalena papilionacea*(Dinophyceae) and its novel sister phylotype in japan coastal waters. *Harmful Algae*. 57, 59-68.

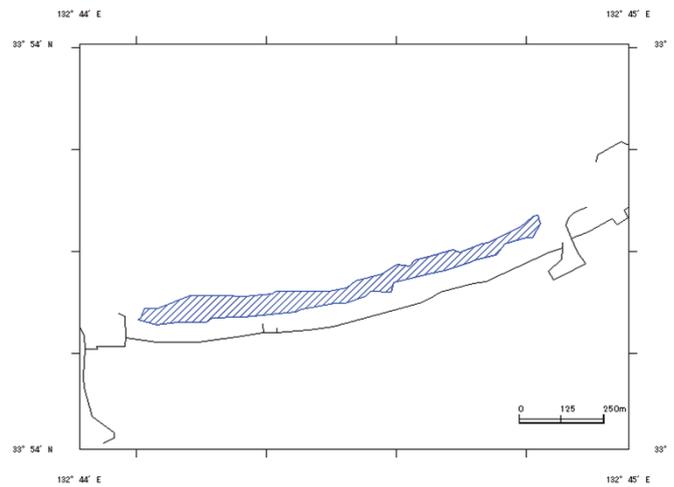


図13 藻場調査結果 (伊予灘5月)

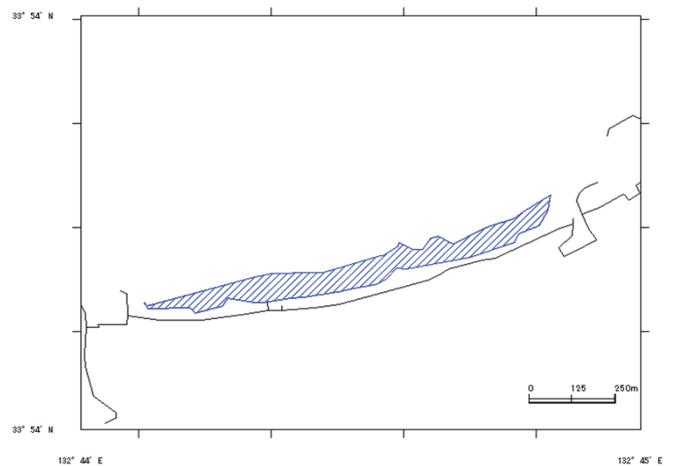


図14 藻場調査結果 (伊予灘9月)

表23 底質監視調査結果 (伊予灘)

観測日	粒度組成 (%)					COD (mg/g・dry)	AVS-S (mg/g・dry)	IL (%)	
	>0.5mm	0.5~ 0.25mm	0.25~ 0.125mm	0.125~ 0.063mm	<0.063mm			550℃	900℃
5/18	5.0	12.3	56.9	15.3	10.5	2.7	0.006	2.6	11.4
9/22	24.8	18.3	32.6	12.8	11.4	2.0	0.002	4.3	16.6

II 赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業 (漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業)

久米 洋*・試験船「よしゅう」松本 直樹 ほか6名

目 的

豊後水道域では、*Karenia mikimotoi*をはじめとする有害赤潮が発生し、頻繁な漁業被害を起こしていることから、愛媛・山口・福岡・大分・宮崎・広島県・愛媛大学および(水研機構)瀬戸内海区水産研究所がモニタリング調査を共同でおこない、これら有害種の初期発生から増殖、消滅に至るまでの全容を把握する。

なお、結果の詳細は、平成29年度漁場環境・生物多様性保全総合対策事業のうち赤潮・貧酸素水塊対策推進事業(瀬戸内海等での有害赤潮発生機構解明と予察・被害防止等技術開発)報告書(平成30年3月)に調査参画機関が合同で報告した。

方 法

図1に示した豊後水道北部海域12点(E1～E12)で*Kalenia mikimotoi*および*Cochlodinium polykrikoides*等の有害プランクトンと珪藻類を対象に、平成29年5月22日～同年7月31日の間計5回、栄養細胞、水温、塩

分、透明度、海象、クロロフィルa、DIN、DIP、DSiを測定した。

また、モニタリング調査時およびモニタリング調査に先立ち平成29年5月22日と平成30年1月5日に、PCR法を用いて、*Kalenia mikimotoi*、*Cochlodinium polykrikoides*、*Chattonella spp.*、*Heterosigma akashiwo*の高感度検出を行った。

結 果

平成29年度は、*Kalenia mikimotoi*赤潮のシードポピュレーションとなる遊泳細胞が豊後水道で1月から、周防灘で5月から分布し、それらが6月下旬からの低日照と多量の降雨により、同種の増殖に有利な環境となり赤潮を形成した。発生時期以降は周防灘・広島湾では日照時間が短い時期に有利に増殖し、豊後水道では陸水の影響を受け広域で赤潮を形成し、同時期に黒潮が離岸することで外洋との海水交換が活発に行われなくなり、赤潮形成が長期化したと考えられた。

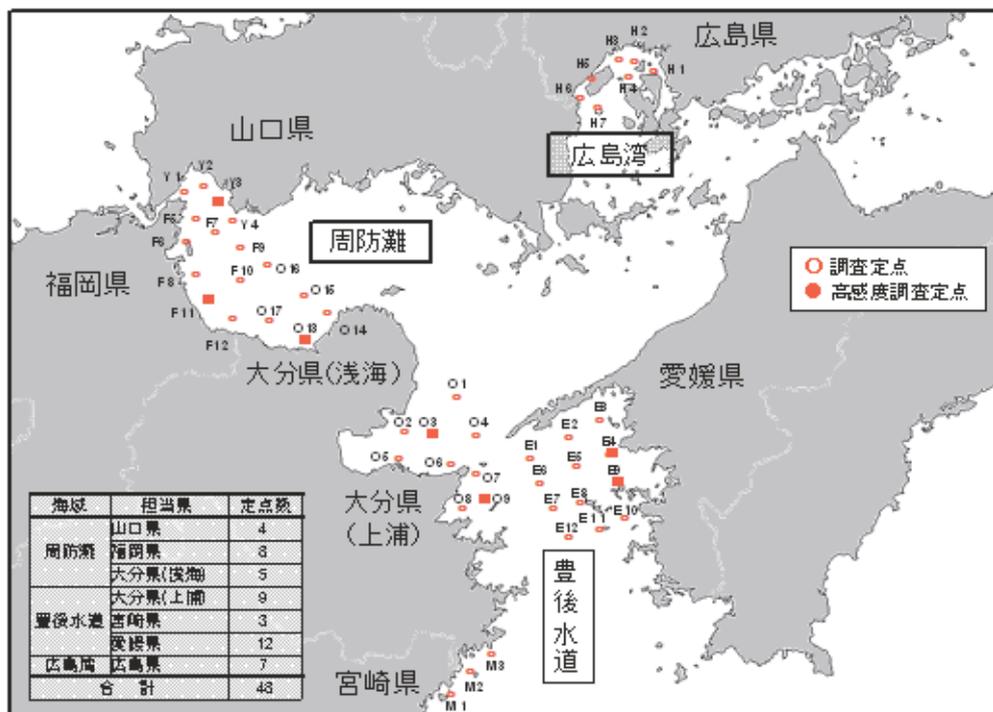


図1 調査海域および調査定点図

* 現 東予地方局産業経済部水産課

1 高感度調査

愛媛県海域の*Kalenia mikimotoi*のPCR検出は、5月22日・6月1日は未検出であったが6月22日～7月31日には0.0002～0.739cells/mL、平成29年1月5日にも0.001～0.003 cells/mLの検出があり、冬季の検出により、シードポピュレーションになる可能性が示唆された。

2 既存データからの解析

岩松湾における*Kalenia mikimotoi*赤潮の主な発生時期は6月下旬から8月上旬であるため、赤潮発生より以前に入手可能である1～7月の平成元～平成28年の気象(気象庁アメダス宇和島)・海象データのうち、発生・非発生の類型別に統計的に有意な差が検出された環境要素を解析に使用した。なお、*Kalenia mikimotoi*赤潮発生の基準は1,000cells/mL以上とし、平成29年は発生年であった。

統計解析方法は、ノンパラメトリック手法を採用し、発生・非発生の差はMann-Whitney-U検定を、発生・非発生判別は、要素間の多重共線性を順位相関検定によって考慮した上で「マハラノビス距離による判別分析」を、それぞれ危険値4%未満で処理した。なお、判別分析は、的中率の高い結果(80%以上)に対して本年度の判別を実施した。

差が検出された環境要素は、平成元～平成27年年の

危険値5%未満で処理した結果では7要素であったが、平成元～平成28年の危険値5%未満で処理した結果では前回の要素を含め14要素と増加したため、精度を上げて危険値4%未満で処理した結果、3月日照時間、5月下旬気温、6月0・5・10・Bm水温、6月5・BmDIPの8要素が得られた。

判別結果は、3月日照時間、5月下旬気温、6月0m水温の組み合わせによる的中率が82.1～92.9%であり、平成29年の判別も的中した。なお、5月下旬気温では6月5・10・Bm水温において、6月0m水温では6月5・10・Bm水温および6月5・BmDIPにおいてそれぞれ多重性が確認されている。

また、平成15～平成29年の岩松湾における*Kalenia mikimotoi*の初出現日と冬季環境要因の関係を相関係数から検討した。下波5m層水温と比較すると、12～翌3月の平均水温は $r=-0.200$ ($p\text{-value}=0.474$)、1～3月の平均水温は $r=-0.282$ ($p\text{-value}=0.307$)であり、あまり関連は見られなかった。気温と比較すると1～3月の平均気温は $r=-0.653$ ($p\text{-value}=0.010$)と相関が高く、特に2月を除いた1月と3月の平均気温では $r=-0.864$ ($p\text{-value}=2.2e-16$)と非常に高い相関性を示した。したがって、冬季の気温で特に1月と3月の気温が高いほど初出現日が早くなる傾向が示唆された。

Ⅲ 赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業（漁業被害防止軽減対策試験）

（赤潮・貧酸素水塊対策推進事業）

竹中 彰一・武智 昭彦

目 的

有害プランクトン類の毒性評価手法の確立や魚介類へい死因子を特定し、被害を軽減するための適切な養殖技術指導、魚介類へい死抑制技術の基礎を確立する。

なお、結果の詳細は、平成29年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業、赤潮・貧酸素水塊対策推進事業（九州海域での有害赤潮・貧酸素水塊発生機構解明と予察・被害防止等技術開発「シャットネラ等の魚介類への影響・毒性発現機構の解明」）報告書（平成30年3月）に記載した。

方 法

平成29年6月26日から9月13日にかけて宇和海で発生した*K. mikimotoi*赤潮を用いて、当センターで種苗生産したマハタとクエの養殖用種苗に対して曝露試験を実施した。

試験当日は無給餌とし、赤潮への曝露中は微通気とし、蛍光式溶存酸素計（ハック社製LDO-HQ30d）を用いてモニタリングをおこない酸素欠乏が無いことを確認した。

試験開始後、鰓蓋の動きが停止し、棒等で刺激しても反応が無かったものを死亡と判定し、へい死時間を測定した。曝露時間は最長でも6時間とし、それを経過したものは生残とした。

1 マハタ稚魚への曝露試験

7月15日に宇和島市吉田町沿岸で採水した*K. mikimotoi*の赤潮海水（細胞密度26,400cells/mL）を用いた。試験には30L容のパンライト水槽に赤潮原液（26,400cells/mL）、これをろ過海水で希釈した13,000cells/mL、6,500cells/mLの合計3濃度試験区を設けた。このうち、13,000cells/mLと6,500cells/mL試験区については各2水槽とした。

マハタ稚魚は1試験区5尾で、平均体重は132.5g、平均全長は195.6mmであった。

2 クエ稚魚への曝露試験

7月22日に宇和島市坂下津周辺で採集した*K. mikimotoi*の赤潮海水（細胞密度15,300cells/mL）を用いた。試験には30L容のパンライト水槽に赤潮原液（15,000cells/mL）、これをろ過海水で希釈した7,500cells/mL、3,500cells/mLの合計3濃度試験区を設けた。このうち、15,000cells/mLと7,500cells/mL試験区については各2水槽とした。

クエ稚魚は1試験区5尾で、平均体重は52.6g、平均全長は166.3mmであった。

結果および考察

1 マハタ稚魚への曝露試験

2時間20分間の曝露期間中、対照区のろ過海水区ではへい死は認められなかった。赤潮原水の26,400cells/mLにおいては、曝露開始20分後からへい死が始まり、32分後に全滅するなど、強く魚毒性が認められた。13,000cells/mLにおいては、1尾目が34分後と38分後にへい死し、それぞれ51分後と53分後には5尾目がへい死して全滅した。6,500cells/mLにおいては、1尾目が38分後と1時間1分後にへい死し、それぞれ1時間14分後と1時間18分後に全滅した。このように、すべての試験区で1時間半以内にマハタがへい死することから、少なくとも*K. mikimotoi*は6,500cells/mL以上の細胞密度で、マハタ稚魚に対して致死的作用を示していると考えられる。

2 クエ稚魚への曝露試験

6時間5分の曝露期間中、対照区のろ過海水区、3,500cells/mLと7,500cells/mLの曝露区ではへい死は認められなかった。赤潮原水に近い15,000cells/mLでは、曝露開始2時間20分後および3時間37分後に1尾目がへい死したが、残りの4尾は試験終了時の6時間5分まで生残した。7,500cells/mLにおいてもへい死しないことから、マハタと比較するとクエの方が本種に対する耐性があると推測される。マハタはへい死直前まで水中を狂奔していたが、クエは水槽の底でじっとしていたことから赤潮に曝露された時の行動の差異が生死に影響した可能性がある。一方、*K. mikimotoi*の魚毒性は変化しやすいことが知られており、マハタの試験に用いた赤潮の毒性が強かった可能性もあることから、さらなる比較検討が必要であると考えられる。

総 括

平成25年度から5年間、水産研究・教育機構西海区水産研究所を中心として愛媛大学と本県が、有害プランクトン類の毒性評価手法の確立や魚介類へのへい死因子を特定し、へい死のメカニズムを解明することで、新たなる被害の低減技術の基礎的知見を得ることを目的として行われた。本県は、最も被害額の多い*K. mikimotoi*赤潮による漁業被害の低減を図るため、魚類に対する曝露試験を行い、そのへい死状況の知見を収集した。

1 平成25年度(2013年度)

宇和島市岩松湾で発生した*K. mikimotoi*赤潮海水によりマアジを用いた暴露試験を行った。赤潮濃度11,000cells/mL以上の暴露でへい死が確認された。また、餌止めによりへい死が抑制できること、餌止めされたマアジは酸素消費速度が低下することが確認された。

2 平成26年度(2014年度)

宇和島市吉田湾で発生した*K. mikimotoi*赤潮海水によりマアジとトラフグ、宇和島湾三浦地先で発生した*K. mikimotoi*赤潮海水によりトラフグを用いた暴露試験を行った。マアジは9,500cells/mL、トラフグは14,300cells/mL以上で4時間以内に半数がへい死した。

また、暴露した個体の組織切片像で二次鰓弁上皮細胞の浮腫や剥離、及び二次鰓弁間細胞の変形や剥離・消失が強く認められた。

3 平成27年度(2015年度)

宇和島市吉田湾と同下波湾で発生した*K. mikimotoi*赤潮海水によりヒラメを用いた暴露試験を行った。

15,000cells/mL以上で4時間以内に半数がへい死した。

愛南町船越湾で発生した*K. mikimotoi*赤潮海水によりマダイを用いた暴露試験を行った。5,200cells/mL以上で5時間11分以内にすべてがへい死した。ヒラメは、カレニア赤潮に対する耐性が高いと考えられたが、鰓細胞の損傷を受けていることが確認された。

4 平成28年度(2016年度)

宇和島市吉田湾で発生した*K. mikimotoi*赤潮海水によりトラフグの暴露試験を行った。14,000cells/mL以上で4時間以内に40%以上がへい死した。

5 平成29年度(2017年度)

宇和島市吉田町沿岸で採水した*K. mikimotoi*の赤潮海水によりマハタの暴露試験を行った。6,500cells/mL以上で1時間18分以内にすべてがへい死した。

宇和島市坂下津周辺で採水した*K. mikimotoi*の赤潮海水によりクエの暴露試験を行った。7,500cells/mLの暴露でもへい死せず、15,000cells/mLで5尾中1尾のみへい死するなど、比較的カレニア赤潮に対して高い耐性があると推察された。

ICT技術を利用した赤潮・魚病対策技術の開発

(戦略的情報通信研究開発推進事業)

久米 洋*1・原川 翔伍*2・武智 昭彦

目 的

養殖現場において多発する赤潮と魚病は、計画的な養殖生産を妨げる重要かつ最大の要因である。そこで、ICTを利用して生産者へ注意報や警報として情報発信するとともに、生産者からシステムへ養殖魚や海洋環境の情報をフィードバックすることにより相互に情報共有する、生産者・愛媛大学や愛媛県水産研究センターなどの研究機関・宇和海周辺の自治体が連携した双方向の水産コミュニケーションシステムを構築し、赤潮・魚病被害の予防および早期対策につなげることを目的とし、本事業の赤潮対策技術の開発について検討する。

なお、本事業は総務省の戦略的情報通信研究開発推進事業(SCOPE)地域ICT振興型研究開発の「養殖現場と連携した双方向『水産情報コミュニケーションシステム』による赤潮・魚病対策技術の開発の研究開発(152309003)」により実施した。

研究成果の概要

宇和海全域への赤潮情報発信広域化の検討

宇和海北中部海域のSt.1, 2, 4, 5, 6 (宇和島湾)およ

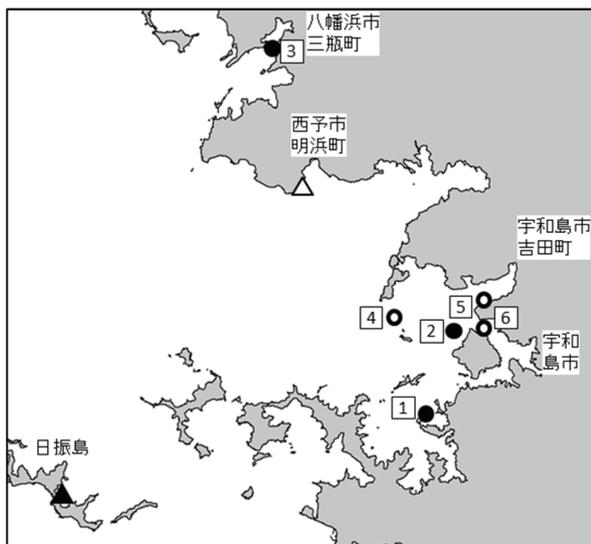


図1 調査定点 (数字は定点番号)

- : 魚病病原体+赤潮プランクトン
- : 赤潮プランクトン
- ▲△ : 多層水温観測装置

びSt.3 (三瓶湾) (図1)において、リアルタイムPCR法(qPCR)の検出系を用い*Karenia mikimotoi*の遺伝子の検出を行った。また、宇和海における赤潮や病原体等粒子の輸送に重要な潮流を把握する基礎データである水温情報について、新たに西予市明浜町に多層水温観測装置を設置し、観測体制を整備した(図1中▲)。

赤潮プランクトンの遺伝子検出については、宇和海北中部海域のSt.1, 2, 4, 5, 6 (宇和島湾)において、13時から15時の間に、水深10mまで1m毎に10層を採水し、等量混合してサンプル海水2Lを得て、各1Lずつを遺伝子検出と濃縮検鏡に用いた。St.3(三瓶湾)では、水深3m・7mの2層を採水し、等量混合して、1Lを遺伝子検出に用いた。

図2に示すように、*K. mikimotoi*の遺伝子は、平成28年には4/25の調査当初から10-2~10-1copy/mLレベルで検出されたものが、平成29年は、3/30に2定点に

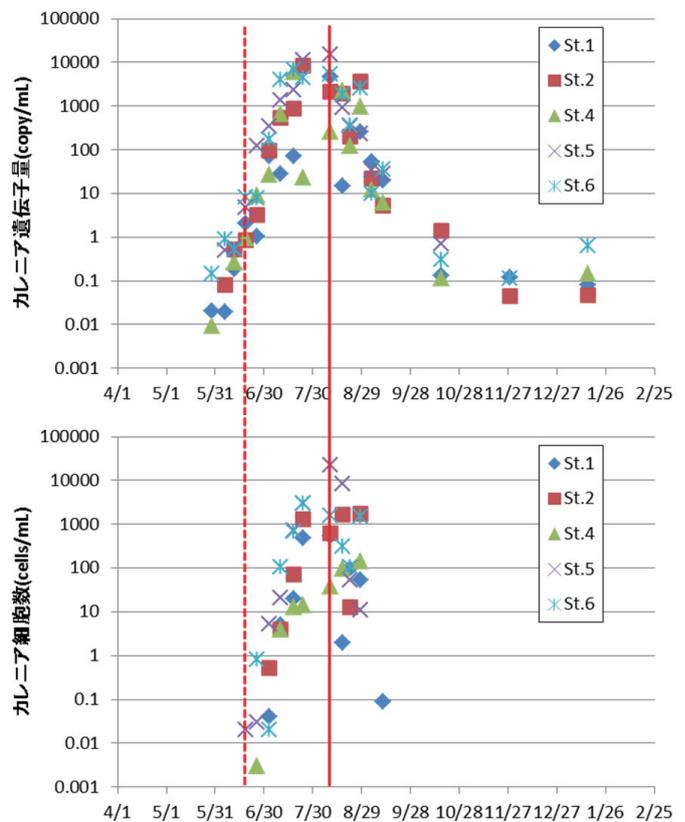


図2 *K. mikimotoi* 遺伝子量と遊泳細胞密度の推移

*1 現 東予地方局産業経済部水産課

*2 現 農林水産部水産局漁政課

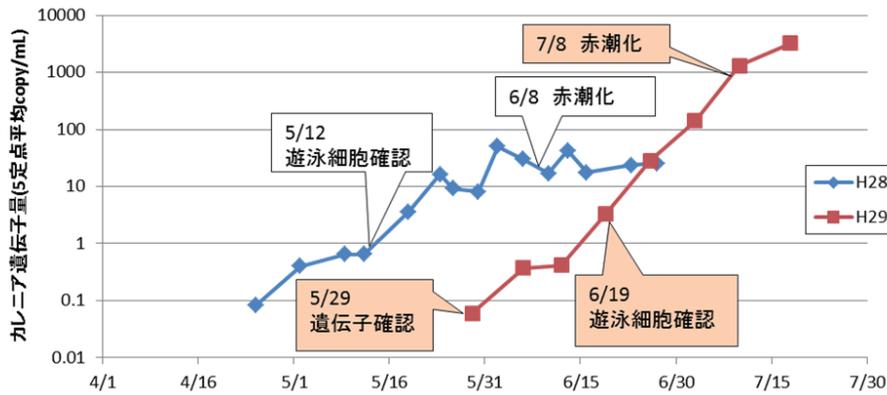


図3 *K. mikimotoi* 遺伝子量の推移 (H28, 29比較)

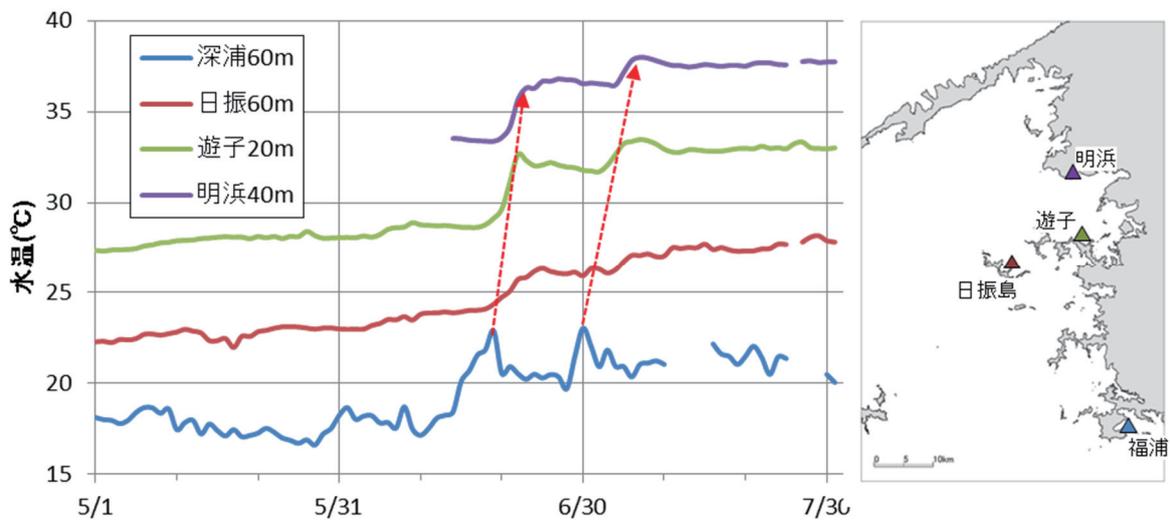


図4 多層水温観測装置の配置と最深層水温の推移
日振島：+5℃、遊子：+10℃、明浜：+15℃で表示

において検出されたのを最後に、5/29まで全く検出されなかった。5/29以降は、8/10にピークに達するまで直線的に増加し、8/17以降、急減したものの、遊泳細胞が確認されない時期でも遺伝子は10-1~10-2copy/mL前後で検出された。これに対して濃縮検鏡による *K. mikimotoi* の遊泳細胞数は、遺伝子による検出と比べて20日遅れの6/19(図2中赤色破線)に初めて確認され、遺伝子量の推移と同様に8/10(図2中赤色実線)まで指数的に増加した。8/17以降、遊泳細胞は大きく減少して、9/11に1定点において0.09cells/mL確認されたのが最後となった。このように、平成29年度は赤潮化の種となる遊泳細胞の出現が遅かったものの、赤潮化するまでの日数は、平成28年度の27日に対して19日と短期間で増殖した(図3)。

したがって、調査海域である宇和島湾は、5月末から7月中旬の期間は、海水交換のような攪乱の少ない比較的安定した状態にあったと考えられた。

なお、宇和島湾においては、7/8~8/31まで *K.*

mikimotoi が赤潮化の基準である1000cells/mL以上となり、赤潮状態であった。

図4に多層水温観測装置の配置と各装置の最深層午前9時の水温を示した。黒潮系の暖水が高知県足摺岬から海岸沿いに北上して、豊後水道に進入した結果、2・3日間に水温が急上昇する現象である急潮は、赤潮発生期前の5~7月の間の宇和島湾においては、2回観測された。急潮は、多くの場合、南から入ってくるので、水温は、南の観測点から順に急上昇を示し、1回目の急潮は福浦において6/19にピークに達し、6/22には明浜まで伝播した。2回目は、福浦において6/30にピークに達し、7/6には明浜まで伝播した。

この2回の急潮は、*K. mikimotoi* 遺伝子量が増加しつつある時期に発生しているが、急潮に伴う海水交換によって遺伝子量が減少または停滞する現象は見られず、遺伝子量は、急潮後も指数的に増加を続けた(図3)。平成28年には、急潮が及ぶと、高密度の赤潮プランクトンが1日で消滅しており、急潮による海水

交換の割合に大きな違いが見られた。

図5に平成28年の赤潮を消滅させたときの水温変化(図5中赤色矢印)と平成29年の水温変化を示した。平成28年の急潮では、5m層で2.6℃、20m層で0.8℃の上昇であったのに対して、平成29年の1回目の急潮では、5m層で3.5℃、20m層で3.7℃と表層から底層まで大きく上昇した。また、平成28年の急潮は、水温が上昇した後、元の水温まで低下したが、平成29年の急潮では、水温がピークに達した後の低下幅が小さかった。このように、水温上昇の幅と水温上昇が起きた層の厚さだけでは、海水交換の大きさを評価できないことがわかった。

平成28・29年の結果から、海水中の赤潮プランクトンの遺伝子を定量することで、従来法の濃縮検鏡より2週間早期に*K. mikimotoi*の増減傾向が把握され、餌止めや生簀の避難等の対策をとるリードタイムが確保された。また、沿岸に配置した水温観測装置によって、赤潮プランクトンや魚病病原体を運搬する急潮を捉えることが可能であった。

遺伝子検査及び濃縮検鏡結果は、調査翌日には、水産研究センターのページに公開した(<http://ehime-suiken.jp/>)。また、水温観測装置からの水温データは、専用のページ(<http://akashio.jp/kaisuion/>)において、常時公開している。

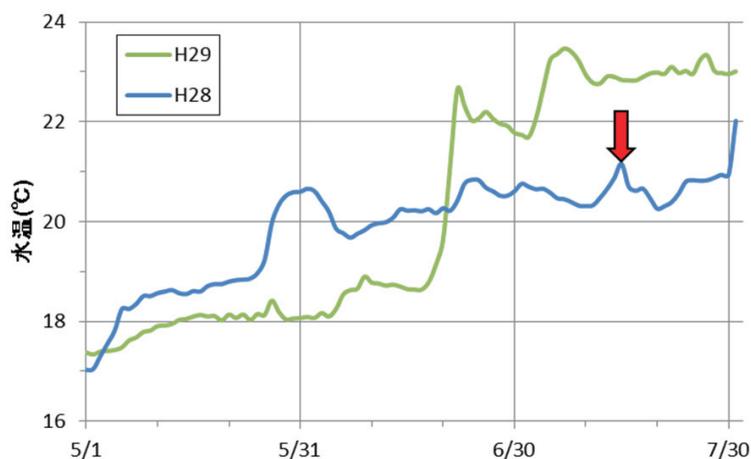


図5 遊子20m層における水温の推移

IoT海況予測による水産業支援サービス事業

(IoTサービス創出支援事業)

武智 昭彦・久米 洋*

目 的

養殖業の中心地である宇和海は、急潮、底入り潮といった大きな水温変動を伴う太平洋からの独特の潮の流れが起り、栄養分や新鮮な海水の流入など養殖に好適な環境を形成しているが、これらの潮の流れは、海水温の低下といった養殖に負の側面も有している。そこで、宇和海センサーネットワークシステムを構築し、そこから得られるデータと海洋物理学の知見に基づき、宇和海の沿岸環境情報の集積と海況(現況、予測)情報として、水産業者に可視化した情報を伝達することを目的とした。

なお、本事業は、国立大学法人愛媛大学が受託した総務省のIoTサービス創出支援事業(平成28年度補正予算)(29-0155-0126)により実施した。

研究成果の概要

受託事業全体の詳細は、総務省IoTサービス創出支援事業(平成28年度補正予算)の成果の公開 <https://www.midika-iot.jp/admin/wp-content/uploads/2017/03/midika-iot-h28-seika-13.pdf>において公開されている。具体的には、国立大学法人愛媛大学が、多層水温観測装置3基及び水温・クロロフィル・溶存酸素観測装置4基を購入し、図1に示したように宇和海沿岸に設置した。設置にあたっては、装置を設置する養殖施設所有者との調整及び設置作業について水産研究センターが分担した。

各機器からの観測結果は、専用のページ(<http://akashio.jp/>)において、常時公開している。

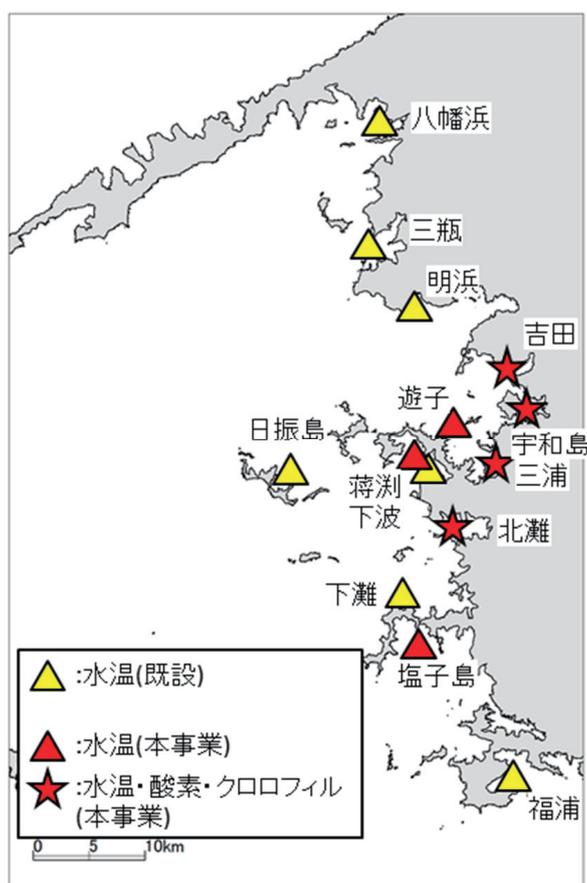


図1 センサーネットワークの配置

* 現 東予地方局産業経済部水産課

宇和海における有用藻類温暖化影響調査

(漁業・養殖業に係る気候変動の影響評価)

竹中 彰一・武智 昭彦・河野 芳巳

目 的

環境の変動が藻場の生態系や藻類養殖に及ぼす影響を評価し、高い精度で藻場の変化を予測する技術を開発するための基礎データを得ること目的に、宇和海を対象にヒジキやトサカノリ、ワカメらの有用藻類養殖試験を行った。

なお、結果の詳細については、農林水産省委託プロジェクト研究、農林水産分野における気候変動対応のための研究開発、漁業・養殖業に係る気候変動の影響評価、平成29年度実績報告書、西日本沿岸海域の藻場生態系への影響調査と高精度予察技術開発に記載した。

方 法

1 材料

藻類養殖試験は、前年度に設定した試験を継続して実施した。ヒジキ種苗は愛媛県産の養殖用天然種苗、トサカノリ母藻は愛媛県産の天然母藻、ワカメ種苗は徳島県産の養殖用種糸を使用した。

2 養殖試験

養殖試験の場所を図1に示した。伊方と明浜は魚類小割生簀、下灘と愛南は藻類養殖施設を利用した。

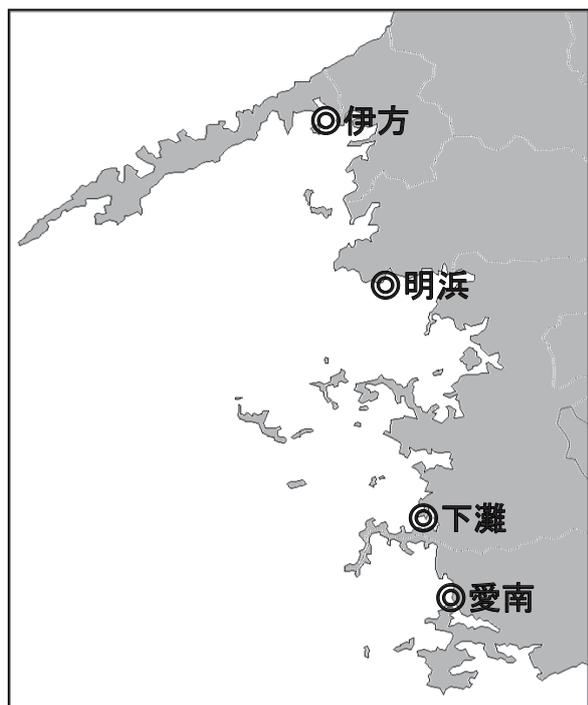


図1 試験場所の位置

(1) 水温測定

水温は、メモリー式水温計を使用し、これを各試験場所の水深1m、3mおよび10m(愛南は5m)に設置した。

(2) 栄養塩類濃度測定

養殖試験の期間中、各養殖試験場所で定期的に1m、3mおよび水深10m(愛南は5m)で採水して、全窒素(DIN)とリン酸態リン(PO₄-P)の濃度を測定した。

(3) ヒジキ養殖試験

種苗をロープに挟み込んで養殖ロープを作成した。養殖ロープは針金枠に固定し、平成28年12月20日に伊方と明浜、同年12月26日に下灘と愛南において籠に収容し、海中に垂下した。その後、約1か月経過してから養殖ロープを籠から取り出して海中に展開し、月1回の頻度で平成29年6月下旬まで藻体の全長を測定した。

(4) トサカノリ養殖試験

平成29年1月中旬にトサカノリ母藻を100gずつ丸ちようちん籠に収容し、これらを水深3mおよび10mに垂下して養殖試験を開始し、月1回の頻度で同年6月下旬まで藻体の重量を計測して1日あたりの重量の変化を求め、これを日間生長率とした。

(5) ワカメ養殖試験

種糸をロープに挟み込んで養殖ロープを作成した。養殖ロープはヒジキ養殖と同様に針金枠に固定し、籠に収容して平成28年12月20日に各試験場所に垂下して試験を開始した。その後、籠からロープを取り出して展開し、月1回の頻度で4月中旬まで藻体の全長測定を行った。

結 果

1 水温測定

水温の推移を図2~4に示した。水温は2月中旬まで低下傾向を示し、3月中旬以降はすべての層とも上昇傾向となり、5月中旬には試験場所間の温度差が縮小した。

2 栄養塩類濃度測定

栄養塩類濃度の推移を表1に示した。伊方と明浜については、養魚飼料、排泄物由来と思われる窒素量の増加が見られた。リン酸態リン(PO₄-P)については、試験場所による大きな差はみられなかった。

3 ヒジキ養殖試験

各試験場所における平均主枝長の推移を図5に示した。明浜と下灘の生長が良好であったが、伊方では大

量の付着生物みられ、愛南では食害が発生して低調な結果となった。

4 トサカノリ養殖試験

各試験場所の日間生長率の推移を図6に示した。トサカノリは、3mと10mともに試験開始当初から5月中旬までは生長が見られたが、5月下旬以降には藻体の崩壊が見られた。水深別の日間生長率は10mよりも3

mの方が良好で、各試験場所で最も良好であったのは愛南で3月、下灘で4月、明浜、伊方では5月であった。

5 ワカメ養殖試験

各試験場所における藻体長の推移を図7に示した。愛南と伊方では、3月まで生長が見られ、下灘と明浜では4月まで生長が見られた。

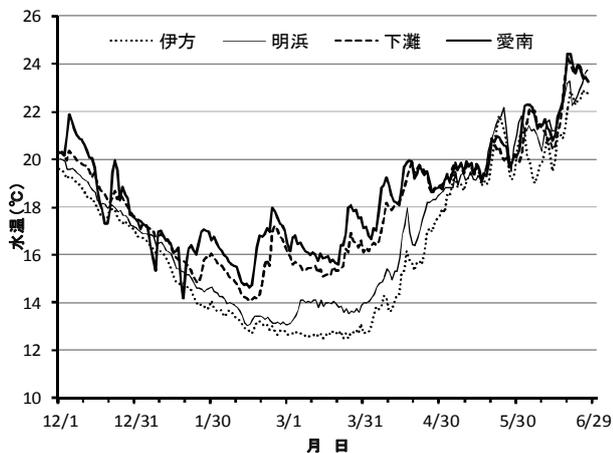


図2 水深1m水温の推移

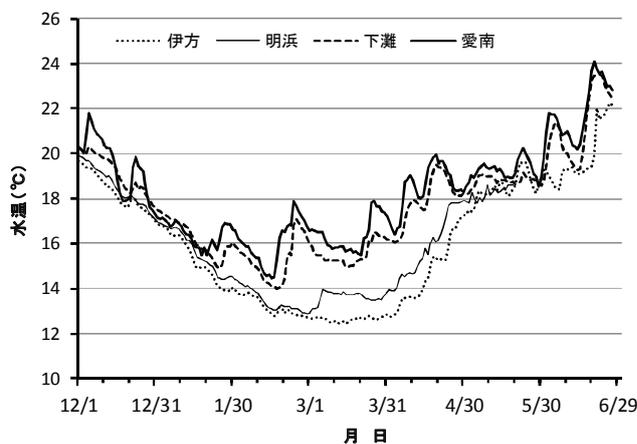


図4 水深10mの水温の推移 (愛南は5m)

※明浜の5/19~6/29は機器不調のため欠測

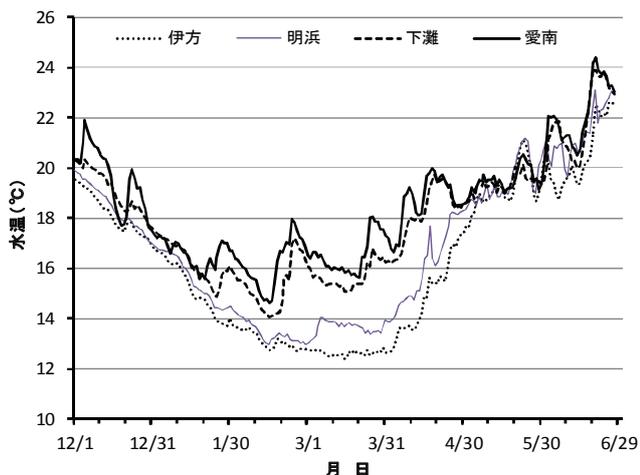


図3 水深3m水温の推移

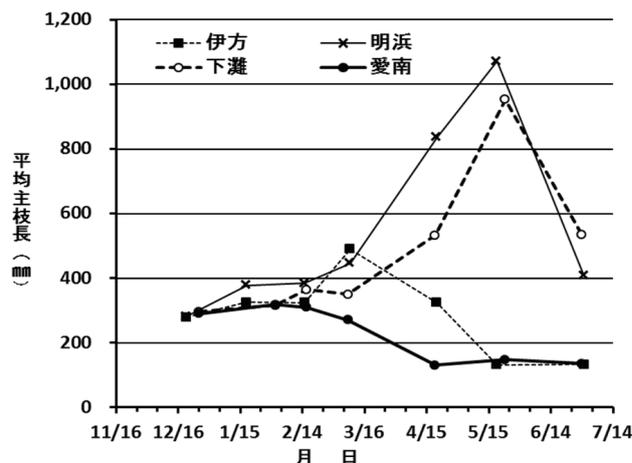


図5 ヒジキ全長の推移

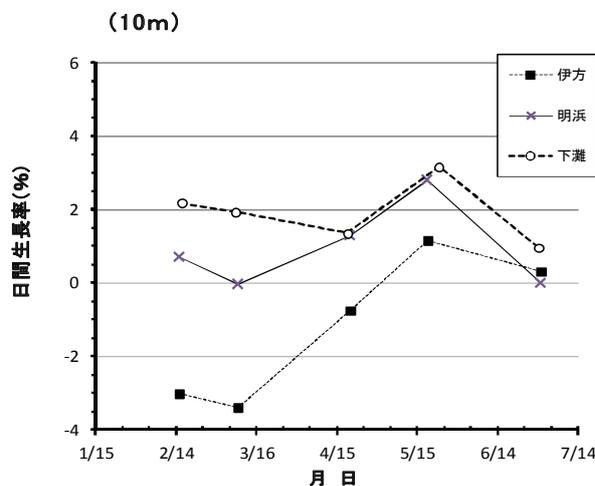
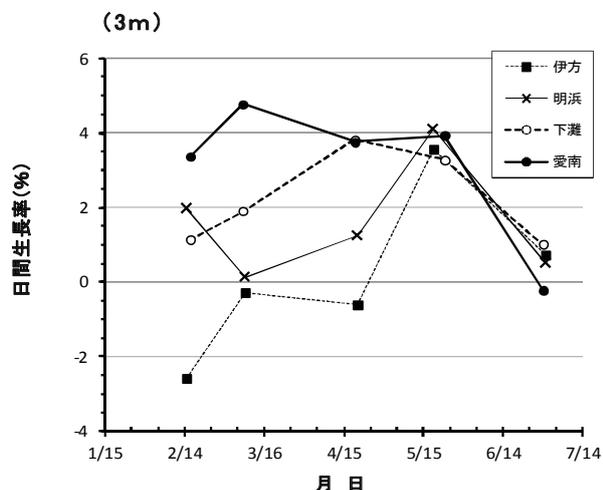


図6 トサカノリ日間生長率の推移

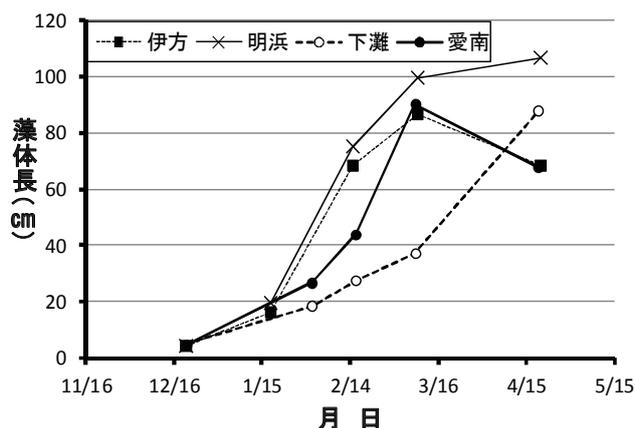


図7 ワカメ藻体長の推移

表1 栄養塩類濃度の推移

PO4-P		(μM)								
		27年		28年						
水深		12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	
伊方	平均	0.52	0.54	0.54	0.43	0.20	0.12	0.18	0.13	
	1	0.52	0.53	0.55	0.49	0.20	0.16	0.24	0.04	
	3	0.53	0.54	0.57	0.45	0.21	0.13	0.21	0.07	
	10	0.52	0.56	0.51	0.34	0.21	0.08	0.08	0.28	
明浜	平均	0.59	0.57	0.49	0.12	0.18	0.03	0.22	0.13	
	1	0.58	0.56	0.47	0.13	0.19	0.04	0.20	0.09	
	3	0.60	0.57	0.49	0.12	0.18	0.05	0.12	0.19	
	10	0.58	0.58	0.51	0.10	0.18	0.02	0.33	0.11	
下灘	平均	0.51	0.39	0.37	0.22	0.28	0.06	0.06	0.10	
	1	0.52	0.40	0.34	0.23	0.29	0.07	0.05	0.11	
	3	0.51	0.39	0.36	0.23	0.27	0.06	0.05	0.10	
	10	0.49	0.38	0.40	0.21	0.27	0.04	0.08	0.09	
愛南	平均	0.34		0.30	0.26	0.21	0.10	0.07	0.09	
	1	0.28		0.30	0.29	0.20	0.13	0.04	0.08	
	3	0.35		0.30	0.27	0.22	0.11	0.07	0.10	
	5	0.38		0.31	0.23	0.21	0.08	0.10	0.09	

DIN		(μM)								
		27年		28年						
水深		12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	
伊方	平均	9.65	8.49	8.42	6.21	2.36	5.58	5.92	11.18	
	1	10.83	9.04	8.37	7.55	2.65	7.13	8.17	18.57	
	3	9.54	8.01	8.48	6.03	2.73	6.42	6.77	8.81	
	10	8.77	8.42	8.40	5.06	1.70	3.19	2.84	6.17	
明浜	平均	9.89	9.57	7.32	2.26	2.03	2.37	4.52	2.91	
	1	10.02	10.62	7.47	2.99	2.47	2.70	5.21	2.01	
	3	9.58	9.30	7.08	1.99	2.24	2.34	3.38	4.45	
	10	10.09	8.81	7.42	1.80	1.37	2.05	4.96	2.26	
下灘	平均	8.92	7.15	6.26	3.66	3.95	1.76	2.56	2.55	
	1	10.01	7.46	6.29	3.94	4.37	2.04	2.29	2.38	
	3	8.67	6.66	6.11	3.58	3.81	1.82	2.93	2.77	
	10	8.10	7.34	6.63	3.45	3.69	1.56	2.46	2.51	
愛南	平均	6.92		5.51	4.08	3.45	3.11	2.54	3.26	
	1	6.78		5.52	4.77	4.60	3.87	2.45	3.83	
	3	6.28		5.35	3.88	3.20	2.69	2.69	3.38	
	5	7.79		5.66	3.60	2.55	2.77	2.48	2.57	

内水面カワウ被害低減技術開発

中村 翠珠・成田 公義*

目 的

本県において近年、カワウの増殖によるアユを中心とした内水面漁業資源への被害が増大していることから、県内におけるカワウの生態および水産資源への影響実態を解明し、カワウの生活史を考慮した最も低コストで効果的に水産被害を低減する手法を確立する。

方 法

1 アユに対する被害状況調査

アユに対するカワウの被害を推定するため、県下で捕獲されたカワウの胃内容物を調査し、その結果から摂餌状況を推測した。また、狩猟のできない重信川でのカワウ捕獲個体の胃内容物調査を目的として、効果的な捕獲手法開発試験を実施した。本試験では、愛媛県自然保護課および河川管理者である国土交通省松山河川国道事務所重信川出張所の許可を得て、鳥獣保護法により運用されている網猟免許に定める無双網を設置し、捕獲を試みた。無双網は片無双網とし、図1に示すように長さ1.8mの竹の棒2本(手竹)をそれぞれ足杭に固定したのち、竹の棒の間に長さ13m、目合い60mm角の網をはり、網の片側を地面に固定させた。また、手竹2本の頂部にそれぞれ3.6mの控え網と手網として2mmのワイヤー100mを結んでおき、遠隔から

手網を引っ張ることで手竹が反対側に倒れ、網付近にいるカワウを捕獲できるようにした。網の設置場所は、試験1週間前の事前調査において、カワウが休息している様子が確認された時前の2ヶ所の中州(中州1、2とする)とした。無双網の操作者は中州2の網設置場所から約50m下流側の草陰に設置したテント内で待機し、カワウが設置場所内に侵入した時に作動させるものとした。

2 カワウの飛来数・繁殖実態調査

県内に棲息するカワウの個体数調査、カワウの時およびコロニー数調査、各コロニーでの繁殖実態調査をNPO法人西条自然学校に委託した。

3 アユ等有用水産資源に対するカワウの被害防除対策試験

重信川において、アユ放流前日から放流翌日にかけてのカワウの飛来、捕食行動の有無を観察した。

結果および考察

1 アユに対する被害状況調査

平成29年7月(夏季)と11月~12月(冬季)に加茂川漁業協同組合管内で銃器により捕獲されたカワウ11羽の胃内容物の調査結果を図2に示す。空胃率は夏季で67% (n=3)、冬季で12.5% (n=8)だった。夏季に捕獲

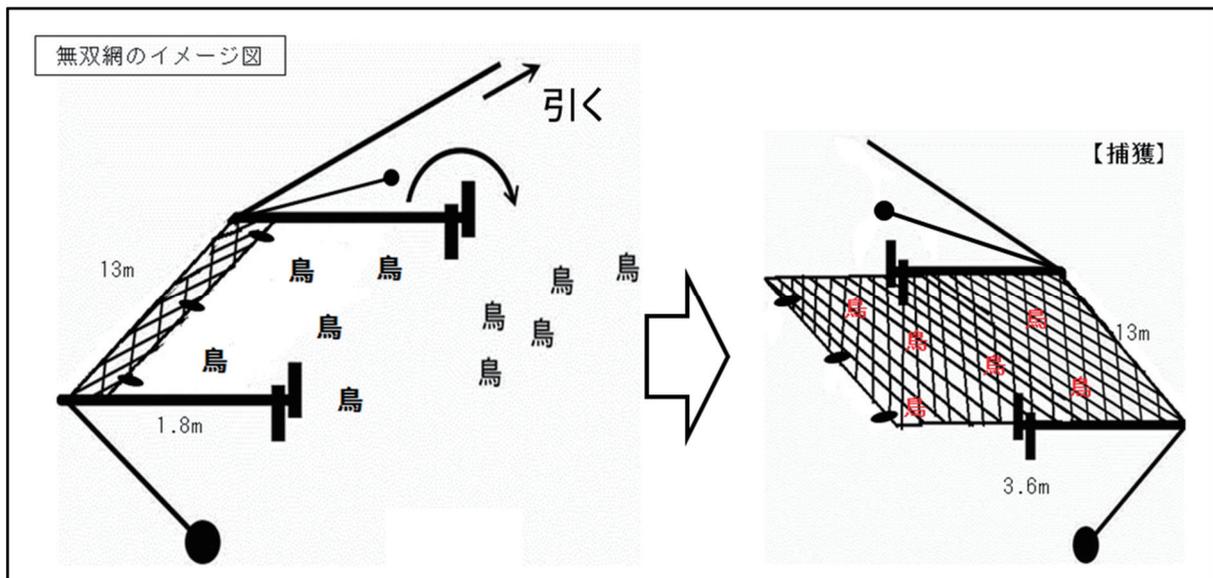


図1 無双網を用いた捕獲方法のイメージ図

* 現 農林水産部水産局漁政課

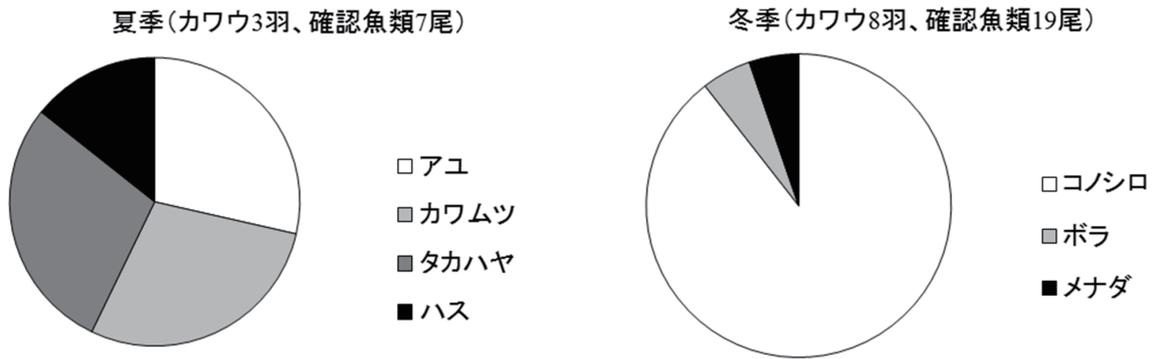


図2 カワウ胃内容物調査結果

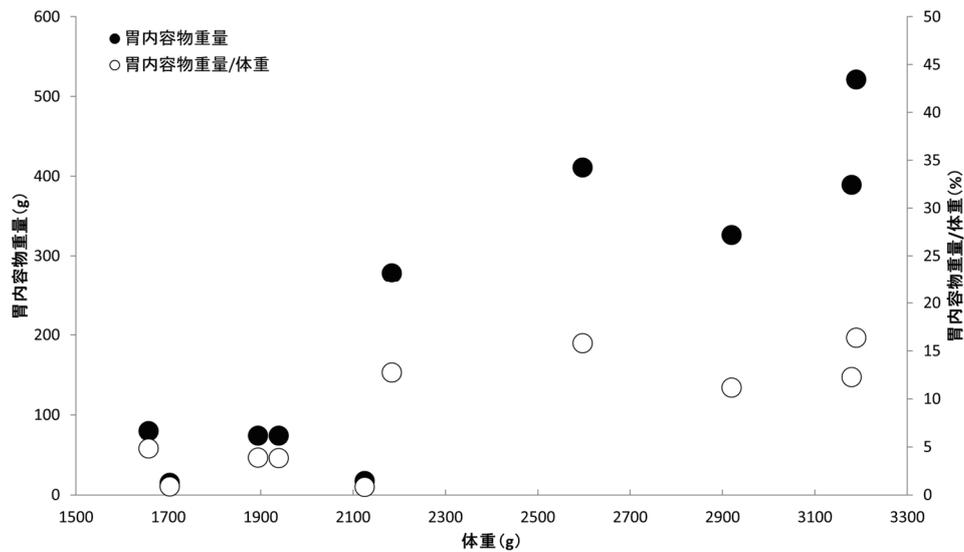


図3 捕獲されたカワウの体重ごとの胃内容物重量および胃内容物重量/体重との関係

された個体の胃内容物には7尾の魚類が確認され、その内訳はアユ、カワムツ、タカハヤが28.6%、ハスが14.3%とすべて淡水魚だった。冬季に捕獲された個体の胃内容物には19尾の魚類が確認され、コノシロが89.5%、ボラ、メナダが5.3%とすべて海水魚だった。夏季と冬季では捕獲場所が異なり、夏季は加茂川の中・上流域、冬季は河口付近で捕獲されている。これら魚類の多くは夏季(加茂川の中・上流域)と冬季(河口付近)の捕獲地点周辺で普通に見られるものであり、カワウが採食場所において利用しやすい魚種を任意に捕食していることが示された。過去2年間の被害状況調査においては、河川水辺の国勢調査やカワウの胃内容物調査の結果から、重信川におけるアユへの被害額を推定し、推定方法によって27~2,600万円とその試算額に大きな開きが生じることを示した。本年度7月のカワウ胃内容物に占めるアユの個体数割合は28.6%であり、この値を採用する場合には被害額は約1,938万円となり、アユの被食率の推定根拠により結果が大きく変動するとした昨年度の結果を支持するものとなった。

胃内容物重量はカワウの体サイズが大きいくほど増加する傾向がみられ、胃内容物の体重比は2kg以上の個

体のほとんどで10%以上(図3)、11月~12月の捕獲個体における胃内容物重量は体重の0.8~16%であった。

重信川におけるカワウ捕獲試験は、7月13日午前中~7月18日午前中にかけておこなわれ、7月15日および16日を除く毎日、捕獲が試みられた。試験地周辺の環境としては、中州1の100m下流に中州2が位置しており、中州1が平坦な砂礫地で障害物がないのに対し、中州2は背丈の高い草の繁茂により見通しが悪く、調査者が付近に隠れられるような障害物が多かった。こうした状況から、無双網は7月13日~17日は増水時にも常に露出している中州2に、7月18日は晴天であったため中州1に設置し、無双網の操作者は中州2の網設置場所から約50m下流側の草陰に設置したテント内で待機した。7月13日は、15時から17時まで観察をおこなったが、カワウの飛来はみられなかった。翌7月14日には5時半から11時にかけて観察したが、前日までの雨のため砂地の面積が晴天時より狭く、カワウは中州2に降り立たなかった。また、遠隔地で休息しているカワウを捕獲場所に誘導するため、無双網の設置場所より1.5km上流の出合橋付近、および800m下流の河口大橋付近にいたカワウをロケット花火で追い払ったところ、追い払われたと思われる群れが中州2付近に戻

ってきたが、畔に戻り、水辺には降りなかった。7月17日の6時～12時にかけて再度観察したところ、中州1で約50羽のカワウが休憩していた。また、昼前になると上流・下流よりカワウの群れが畔前に戻ってきて中州2付近に着水するものの、上陸はしなかった。また、何羽かの個体は中州2上空を旋回するが上陸はせず上流へ向かった。その後上流・下流より畔前に戻ってきた個体も、中州2に上陸することなく中州1付近に着水し休息した。試験前の事前調査では中州2で休息する個体もみられていたが、今回の試験では中州2に降り立つ個体がいなかったことから、無双網や網を作動させるための手綱、あるいは調査者に気が付き警戒していた可能性がある。

今回の調査では無双網付近にカワウは降り立たなかったが、無双網へカワウが接近しなかった原因について、無双網および調査者による影響が考えられたため、再度捕獲調査をする際はこうした点を考慮したうえでの実施が望ましい。

2 カワウの飛来数・繁殖実態調査

結果の詳細は「平成29年度愛媛県カワウ飛来数・繁殖等に関する実態調査報告書」に記載した。平成29年度の本県におけるカワウ生息数は、夏季に1,870羽、冬季には5,532羽と推定され、平成27、28年度同様冬季に増加した(図4)。各時季の飛来数については、夏季、冬季通して昨年度より多く、過去3年の調査で最大となった。夏季の繁殖は8地点で確認され、429巣がみられた。夏季の営巣数のうち、60%以上が南予地方

にあったが、調査期間3年で南予地方の占める割合は減少し、東予地方で増加した。特に今治市の弓杖島では111巣と昨年度同様多くの繁殖が確認され、平成27～28年度にかけて増加したまま維持されていた。また、冬期については平成27年度調査では営巣がみられなかったが、平成28年度に東予地方で197巣が確認され(河原津、弓杖島)、平成29年度の調査でも188巣が確認された。年間を通じて平成28、29年度の繁殖巣数は東予地方全体ではほぼ変わらないが、河原津では増加、弓杖島では減少し、上島町の鳶ノ子島で新たに営巣が確認され、繁殖場所の拡大が懸念された。

3 アユ等有用水産資源に対するカワウの被害防除対策試験

重信川において、5月17日に実施されたアユの放流に合わせて、当日5時半より、放流地点上流の出合橋付近で飛来するカワウを観察した。カワウは出合橋付近ではみられなかったが、6時頃に出合橋と出合橋上流の自転車橋との間に70～80羽ほど着水していた。その20分後には、このうち約40羽が放流地点よりも下流へ飛び立ち、残りは着水したまま上流へ向かった。アユ放流翌日の5月18日に同様の観察をおこなったが、出合橋と出合橋上流の自転車橋との間の地点では前日よりやや早い5時40分頃に約100羽の群れが着水していた。また、6時半には約2km下流にある畔前で重信川漁業協同組合がロケット花火による追い払いを実施しており、ここで着水・休息していたカワウはロケット花火の使用により上流方向へ飛び去った。飛び去った

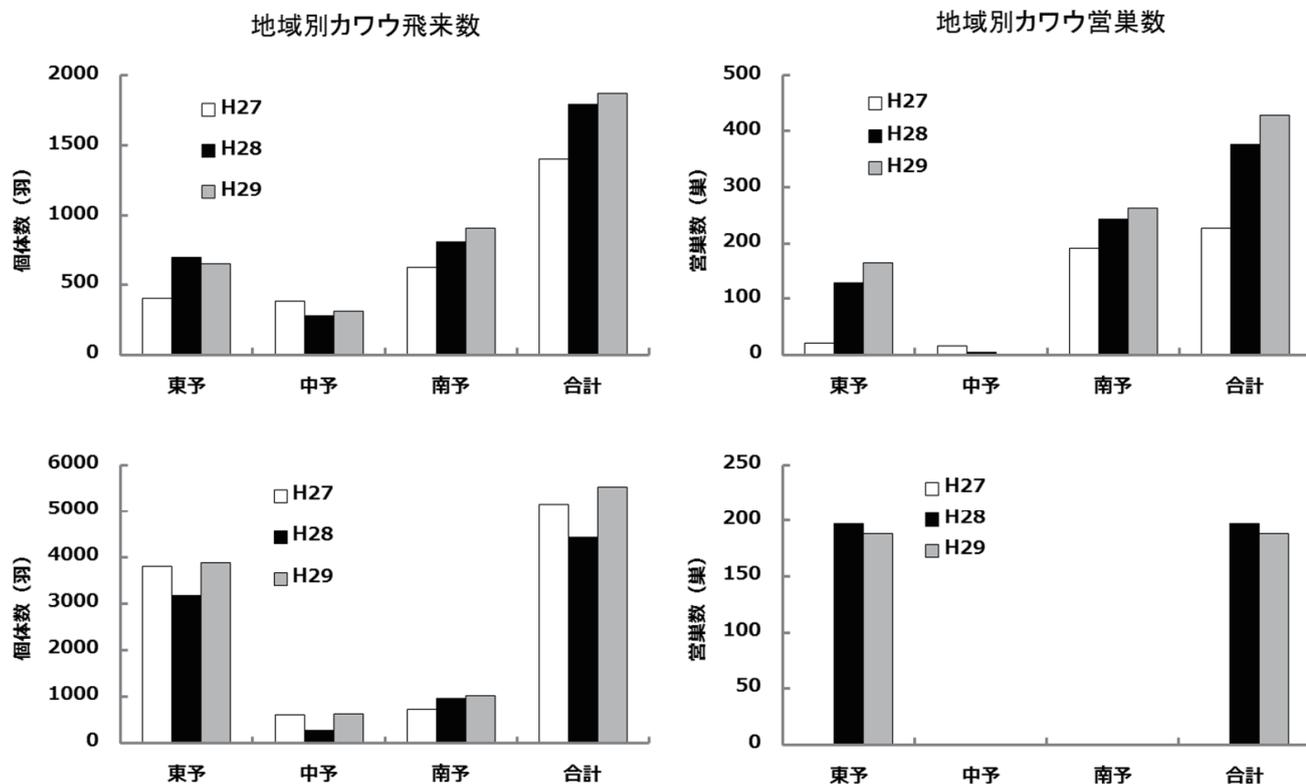


図4 地域別カワウ飛来数と営巣数 上：夏季、下：冬季

カワウの群れは調査の範囲内である河口～自転車橋の間に見受けられず、さらに上流へ移動したと考えられた。こうしたことから、飛来したカワウに対するロケット花火による追い払いは有効であり、放流後解禁までの早朝の追い払い作業の継続は重要であると考えられた。

総 括

近年、カワウの増殖によるアユを中心とした内水面漁業資源への被害が増大していることから、当所では平成26年度から29年度の3年間で県内におけるカワウの生態および水産資源への影響実態を調査し、カワウの生活史を考慮した最も低コストで効果的に水産被害を低減する手法について検討した。その内容は以下のとおりである。

1 アユに対する被害状況調査

カワウの狩猟ができない重信川において、アユに対するカワウの被害を推定するため、平成27年～29年にかけて県内の3河川で捕獲されたカワウ49個体の胃内容物調査を実施したところ、淡水魚6種、海水魚4種が確認された(表1)。胃内容物調査から確認された生物の個体数の総計は190尾であり、そのうち最も多かったのはカワムツで56尾、次いでコノシロが49尾、アユは3番目に多く30尾であった。カワウの繁殖期である6～7月に捕獲された個体からは、加茂川・中山川由来の両方でアユが確認され、加茂川由来の個体での比率は最大で48.6%であった。また、平成28年10月中山川由来のカワウ胃内容物にはアユは確認されず、淡水魚であるカワムツが86%を占めていた。また、越冬期の11月～1月については平成28年11月の加茂川産でアユが確認されたのみで、海水魚のボラやコノシロ等が多く確認され、特に加茂川産の個体ではコノシロの比率が最大で86.5%だった。

これらの結果を踏まえ、カワウの狩猟ができない重信川においてアユに対する被害額を推定するため、鳥

獣被害防止特措法に基づく被害防止計画の作成における、カワウによる漁業被害金額の算定方法として水産庁より示されている「カワウによるアユへの漁業被害金額(円)=カワウ飛来数(羽/日)×飛来日数(日)×1日あたり捕食量(g)×アユ被食率×アユ単価(円/kg)」の式を利用した。重信川におけるカワウの飛来数は、委託調査における時での最大個体数を採用し、飛来日数は期間中の連続した日数とした。また、カワウの1日の摂餌量を500g、アユの単価は3,000円/kgとした。アユの被食率としては、前述したカワウの胃内容物調査において、6～7月に捕獲されたカワウの胃内容物に占めるアユの割合と、重信川での魚類群集の構成割合をおおむね示していると考えられる、河川水辺の国勢調査における全魚種に占めるアユの割合から推定したところ、0.4～40%と大きな差があり、被害額も約27～2,600万円と約100倍の開きがあった。

このように、被害額はアユの被食率をどのように設定するかによって大きく変動するが、カワウの胃内容物調査の結果より、カワウは採食場所・時期によって採食する魚種が異なることから、被害地域におけるアユの被食割合を正しく把握することが重要と考えられた。一方で、より現場の被害を反映させた正確な被害状況の推定には、特にアユが多く食べられていると考えられる放流時期のカワウの胃内容物を知ることが重要であるが、実際には10月以降の狩猟期間のカワウしかほとんど調べられておらず、繁殖期のカワウ個体は調査全体の14%に留まっている。山梨県では、アユが放流される4月～6月に捕獲されたカワウ胃内容物から被食割合を求め、被害額を算出している¹⁾。愛媛県では平成29年度に重信川中州において無双網を用いたカワウの捕獲試験を行った。カワウの捕獲には至らなかったが、銃器が使用できない場所でのカワウ捕獲への取り組み事例の一つとなった。今後もより正確なアユ被害額推定に向けて各組合等が取り組みを行う必要があると考えられる。

表1 カワウの胃内容物から確認された魚類の河川および捕獲時期ごとの個体数

魚種	加茂川						中山川		肱川	魚種別計	生息域別計
	H27 6月	H28 11月	H29		H27 6月	H28 10月	H28 12月				
淡水魚											
アユ	17	6	2		1		4	30		115	
カワムツ	14	1	2		1	37	1	56			
オイカワ	3	10			1	3	1	18			
タカハヤ	1		2			3		6			
ハス			1					1			
ヨシノボリ類					4			4			
海水魚											
メナダ								1			
ボラ		5	5				9	20			
ヒイラギ		5						5			
コノシロ			32		6	11		49			
									75		

2 カワウの飛来数・繁殖実態調査

県内に棲息するカワウの個体数調査、カワウの塒およびコロニー数調査、各コロニーでの繁殖実態についてNPO法人西条自然学校に委託し、3年間調査を実施した。その結果、繁殖期の飛来数は、3年間増加し続け、平成27年度はみられなかった冬期の営巣が平成28、29年度には継続してみられた。これらのことから、愛媛県内でのカワウの繁殖期は4月～8月頃とされてきたが、現在はその期間が1月～8月頃に長期化している可能性がある²⁾。平成29年にカワウ管理計画を策定している広島県や山口県などでは、平成25～28年度にかけて、カワウの個体数および営巣数の顕著な増加はみられていないが³⁻⁴⁾、県内でのカワウの繁殖期の長期化が継続的なものかどうか、今後の調査が望まれる。

3 アユ等有用水産資源に対するカワウの被害防除対策

重信川漁業協同組合では例年5月中旬より8～10g程度のアユの放流を開始しており、その時間は日や天候により多少の前後はあるが、10時ごろが多いようである。本事業における観察結果から、重信川においてカワウは5時半～6時半にかけて放流地点周辺に飛来し、捕食を行っているが、放流時には周辺にみられず、塒等で休息していたことから、現在行われている種苗放流における放流時刻はカワウの捕食タイミングを避けており、有効と考えられた。また、放流開始後は6月1日のアユ釣り解禁当日にかけて、5時半から6時半まで主要な放流場所2地点でロケット花火による追い払いを行っている。本事業における観察結果では、こうした追い払いがカワウの着水を妨げ、また漁場からの飛び去りを促していること、追い払われたカワウはしばらく漁場へ再飛来しなかったこと、重信川下流域に形成された塒におけるカワウの数が、連続したロケット花火による追い払いの結果減少していたこと(重信川漁業協同組合への聞き取り)などから、本手法による放流から解禁までの追い払いの継続は、放流アユに対するカワウの初期被害防止に有効であると推察された。今後も、こうした追い払いによってカワウの飛来数がどのように変化するかをモニタリングしていく必要がある。ただし、本手法の継続には多くの人手と時間等コストがかかるため、更なる効率的な追い払い手法が望まれる。

効率的な追い払い手法として他県の例では、山梨県での塒へのビニールテープ張りによる分布管理が挙げられ、個体数管理では滋賀県の琵琶湖でのエアライフルによるシャープシューティングが特に高い効果を上げている⁵⁾。しかし、前述したように重信川では銃器による狩猟が禁止されているほか、塒まで近づきにくいこともありこれらの実行が難しいと考えられる。また、近年ドローンを用いたビニールテープ張りやカワウ追い払いが注目されているが、塒付近の重信川下流

域は松山空港に近く、その上空は無人航空機の飛行の許可が必要となる空域に指定されており、使用には地方航空局長の許可が必要となる。今後ドローンによるカワウの被害防除対策を実施する場合は、許可申請にあたっては地域の内水面漁業協同組合、ドローン操作にあたっては全国内水面漁業協同組合連合会等が実施する講習会を修了するかそれと同等の飛行経験者がその役割を担うため、各機関が連携して進めていく必要がある。

4 影響予測と対策指針策定

平成26年度付けで環境省、農林水産省が共同発表した「カワウ被害対策強化の考え方」において、カワウの個体群管理の目標は「被害を与えるカワウの個体数を10年後(平成35年度)までに半減させること」とされている。カワウの個体数は季節の変動が激しく全体の個体数の把握が困難なため、本県において現時点では「被害を与えるカワウの個体数」が明確ではないが、本事業の3年間で県下のカワウの個体数と営巣数の増加が確認され、今後何らかの対策を講じなければ個体数および被害ともに増加し続けると考えられる。そこで関係各機関・団体による愛媛県カワウ管理検討会を開催し、カワウによる漁業被害の軽減を目的として、前述したカワウの個体群管理、被害防除対策に加え、県や市町村および被害者が連携して行う生息環境管理等について取りまとめた「愛媛県カワウ管理指針」を策定し、愛媛県庁ホームページで公開した⁶⁾。この指針では、カワウ被害防除対策として「個体群管理」、「被害防除対策」、「生息環境管理」を管理の柱に据えており、それぞれ塒やコロニーの分布管理、河川上空へのビニールテープ張りによるカワウ飛来防除、魚類がカワウに補食されにくい環境整備、のような点について行動の指針を定めている。今後は本指針により、カワウ被害低減に向けて実施可能な対策を講じ、関係府県との連携をはかる必要がある。

参考文献

- 1) 坪井潤一(2010) Let's カワウ対策. 全国内水面漁業協同組合連合会.
- 2) 特定非営利活動法人 西条自然学校(2018)平成29年度愛媛県カワウ飛来数・繁殖等に関する実態調査実施報告. 特定非営利活動法人 西条自然学校.
- 3) 広島県(2017)第二種特定鳥獣(カワウ)管理計画. 広島県.
- 4) 山口県(2017)第2期第二特定鳥獣(カワウ)管理計画. 山口県.
- 5) 坪井潤一(2013)空飛ぶ漁師カワウとヒトとの上手な付き合い方. 成山堂書店.
- 6) 愛媛県(2018)愛媛県カワウ管理指針 (<https://www.pref.ehime.jp/h37200/documents/kawau.pdf> (2018年3月))愛媛県.