

委員会における指摘事項等への対応

第1回～第3回委員会における指摘事項等を踏まえ、情報収集・整理を行った。

1. 第1回委員会における指摘事項

- 1-1. 汚濁負荷量の状況についてP. 1
- 1-2. 閉鎖性海域における難分解性有機物についてP. 12
- 1-3. 単独処理浄化槽における COD の平均水質についてP. 17
- 1-4. 発生負荷量等算定調査における原単位についてP. 19
- 1-5. 水環境の現状（底層溶存酸素量、貧酸素水塊、クロロフィル a）について ..P. 20
- 1-6. 各指定水域における漁獲量についてP. 25
- 1-7. 気候変動による水質影響P. 40

2. 第2回委員会における指摘事項

- 2-1. 合流式下水道の越流水による負荷についてP. 61
- 2-2. 下水処理場の季節別管理運転の実施状況についてP. 69
- 2-3. 下水処理場の高度処理化による負荷量の削減効果についてP. 74
- 2-4. 肥料の使用実態についてP. 75
- 2-5. 家畜排せつ物の利用状況についてP. 76
- 2-6. 鉄鋼業界における投資額と負荷量について（瀬戸内海）P. 77

3. 第3回委員会における指摘事項

- 3-1. 製紙業界における排水中の浮遊物質質量及び水の回収率についてP. 79
- 3-2. 水産資源と栄養塩類の関係性についてP. 80
- 3-3. 東京湾における合流式下水道への対策による効果についてP. 81
- 3-4. 兵庫県におけるイカナゴ資源の減少要因に関する研究についてP. 83

1. 第 1 回委員会における指摘事項

1-1. 汚濁負荷量の状況について

昭和 54 年度から平成 26 年度までの窒素・リンの発生源別負荷量について、以下のとおり昭和 54 年度から平成 12 年度までのデータを整理した（表 1～5）。

表 1 海域別・発生源別負荷量（窒素・りん）の推移（東京湾）

（窒素）

系	発生源		負荷量(t/日)								負荷比率(%)							
			S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26
生活系	下水道(生活系)		-	-	-	-	128.6	106.9	99.2	93.1	-	-	-	-	50.7	51.4	53.3	54.9
	合併処理浄化槽		-	-	-	-	8.1	8.4	8.7	8.2	-	-	-	-	3.2	4.0	4.7	4.8
	単独処理浄化槽		-	-	-	-	17.4	13.5	8.8	7.1	-	-	-	-	6.8	6.5	4.7	4.2
	し尿処理場		-	-	-	-	0.5	0.2	0.1	0.0	-	-	-	-	0.2	0.1	0.0	0.0
	雑排水		-	-	-	-	9.5	7.0	4.6	3.6	-	-	-	-	3.7	3.4	2.5	2.1
	小計		(201)	(187)	(183)	(175)	164	136	122	111	(55.2)	(56.2)	(57.4)	(62.5)	64.7	65.4	65.9	65.3
産業系	産業系指定地域内事業場		-	-	-	-	25.2	17.2	14.3	11.8	-	-	-	-	9.9	8.3	7.7	7.0
	下水道(産業系)		-	-	-	-	12.8	10.4	8.9	9.2	-	-	-	-	5.1	5.0	4.8	5.4
	小規模事業場		-	-	-	-	1.4	1.3	1.1	1.0	-	-	-	-	0.5	0.6	0.6	0.6
	未規制事業場		-	-	-	-	1.8	1.2	0.9	0.8	-	-	-	-	0.7	0.6	0.5	0.5
	小計		(96)	(82)	(72)	(50)	41	29	26	25	(26.4)	(24.6)	(22.6)	(17.9)	16	13.9	14.1	14.7
その他系	畜産系		-	-	-	-	3.1	1.8	1.1	0.5	-	-	-	-	1.2	0.9	0.6	0.3
	その他土地系	下水道(その他系)	-	-	-	-	24.1	17.9	17.1	14.4	-	-	-	-	9.5	8.6	9.2	8.5
		山林	-	-	-	-	3.0	2.9	3.7	3.7	-	-	-	-	1.2	1.4	2.0	2.2
		水田	-	-	-	-	4.6	4.6	4.6	3.8	-	-	-	-	1.8	2.2	2.5	2.3
		畑・果樹園	-	-	-	-	3.9	5.4	4.0	2.9	-	-	-	-	1.5	2.6	2.1	1.7
		その他の土地	-	-	-	-	9.4	9.1	8.6	9.1	-	-	-	-	3.7	4.4	4.6	5.4
		廃棄物最終処分地	-	-	-	-	0.0	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	0.0	0.1	0.1	0.1
		小計	-	-	-	-	45	40	38	34	-	-	-	-	18	19	20	20
	養殖系		-	-	-	-	0.3	0.1	0.0	0.1	-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0
	小計		(67)	(64)	(64)	(55)	48	43	37	34	(18.4)	(19.2)	(20.1)	(19.6)	19.0	20.7	20.0	20.0
	合計		(364)	(333)	(319)	(280)	254	208	185	170	(100)	(100)	(100)	(100)	100	100	100	100

（りん）

系	発生源		負荷量(t/日)								負荷比率(%)							
			S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26
生活系	下水道(生活系)		-	-	-	-	9.6	7.1	6.6	6.7	-	-	-	-	45.2	46.5	51.1	54.8
	合併処理浄化槽		-	-	-	-	0.8	0.8	0.9	0.8	-	-	-	-	3.9	5.4	6.7	6.7
	単独処理浄化槽		-	-	-	-	1.8	1.4	0.9	0.7	-	-	-	-	8.4	9.1	7.1	6.0
	し尿処理場		-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.2	0.1	0.0	0.0
	雑排水		-	-	-	-	1.3	1.0	0.7	0.5	-	-	-	-	6.3	6.5	5.1	4.2
	小計		(25)	(18)	(15)	(14)	13.5	10.4	9.0	8.8	(60.4)	(58.3)	(58.3)	(61.7)	64.0	68.0	69.8	71.5
産業系	産業系指定地域内事業場		-	-	-	-	0.9	0.5	0.4	0.3	-	-	-	-	4.5	3.4	3.3	2.8
	下水道(産業系)		-	-	-	-	1.2	0.8	0.7	0.7	-	-	-	-	5.6	5.1	5.1	5.8
	小規模事業場		-	-	-	-	0.9	0.3	0.2	0.2	-	-	-	-	4.2	1.7	1.7	1.7
	未規制事業場		-	-	-	-	0.4	0.3	0.2	0.2	-	-	-	-	2.1	1.7	1.4	1.6
	小計		(10)	(6)	(5)	(4)	3.5	1.8	1.4	1.4	(23.1)	(21.2)	(20.1)	(18.7)	16.3	11.8	10.9	11.4
その他系	畜産系		-	-	-	-	1.7	1.1	0.4	0.1	-	-	-	-	8.1	7.1	3.0	0.9
	その他土地系	下水道(その他系)	-	-	-	-	2.0	1.6	1.5	1.5	-	-	-	-	9.3	10.4	12.0	11.8
		山林	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	0.4	0.5	0.8	0.8
		水田	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	0.3	0.4	0.5	0.4
		畑・果樹園	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.0	-	-	-	-	0.2	0.5	0.4	0.3
		その他の土地	-	-	-	-	0.2	0.2	0.2	0.2	-	-	-	-	1.2	1.6	1.8	2.0
		廃棄物最終処分地	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.0	0.0	0.1	0.1
		小計	-	-	-	-	2.4	2.0	2.0	1.9	-	-	-	-	11.3	13	15	15
	養殖系		-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.3	0.2	0.1	0.1
	小計		(7)	(6)	(6)	(5)	4.2	3.1	2.5	2.1	(16.5)	(20.5)	(21.6)	(19.6)	19.7	20.3	19.4	17.1
	合計		(41)	(30)	(26)	(23)	21.1	15.3	12.9	12.3	(100)	(100)	(100)	(100)	100	100	100	100

※ 総量削減専門委員会（第1回）資料4-1 表1を更新

出典）発生負荷量等算定調査（環境省）、平成8年度瀬戸内海環境管理基本調査（環境庁）、（社）瀬戸内海環境保全協会資料
 注）端数処理の関係で合計値が一致しないことがある。括弧内の値は、関係都府県による推計結果による負荷量を示す。

表 2 海域別・発生減別負荷量(窒素・りん)の推移(伊勢湾)

(窒素)

系	発生源		負荷量(t/日)								負荷比率(%)									
			S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26		
生活系	下水道(生活系)		-	-	-	-	17.8	18.5	17.4	16.9	-	-	-	-	12.5	14.3	14.8	15.3		
	合併処理浄化槽		-	-	-	-	10.2	9.4	9.8	10.1	-	-	-	-	7.2	7.3	8.3	9.2		
	単独処理浄化槽		-	-	-	-	17.4	14.9	11.6	9.0	-	-	-	-	12.2	11.5	9.8	8.1		
	し尿処理場		-	-	-	-	1.3	0.3	0.2	0.1	-	-	-	-	0.9	0.2	0.2	0.1		
	雑排水		-	-	-	-	12.8	9.8	7.4	5.5	-	-	-	-	9.0	7.6	6.3	5.0		
	小計		(69)	(73)	(64)	(64)	60	52	47	42	(36.7)	(39.5)	(38.1)	(39.8)	41.9	40.3	39.8	38.2		
産業系	産業系指定地域内事業場		-	-	-	-	17.2	15.4	11.9	10.7	-	-	-	-	12.1	12.0	10.1	9.7		
	下水道(産業系)		-	-	-	-	3.0	3.1	2.7	5.3	-	-	-	-	2.1	2.4	2.3	4.8		
	小規模事業場		-	-	-	-	3.9	3.6	4.1	3.9	-	-	-	-	2.7	2.8	3.5	3.5		
	未規制事業場		-	-	-	-	3.9	3.4	2.9	1.2	-	-	-	-	2.7	2.6	2.5	1.0		
	小計		(52)	(49)	(42)	(39)	28	26	22	21	(27.7)	(26.5)	(25.0)	(24.2)	19.7	20.2	18.6	19.1		
その他系	畜産系		-	-	-	-	5.8	2.4	2.0	2.0	-	-	-	-	4.1	1.8	1.7	1.8		
	その他土地系	下水道(その他系)		-	-	-	-	5.2	6.2	5.9	4.3	-	-	-	-	3.7	4.8	5.0	3.9	
		土地系	山林		-	-	-	-	19.0	19.0	19.1	18.9	-	-	-	-	13.4	14.8	16.2	17.1
			水田		-	-	-	-	10.0	9.1	8.8	8.6	-	-	-	-	7.1	7.1	7.5	7.8
			畑・果樹園		-	-	-	-	4.6	4.0	4.0	4.0	-	-	-	-	3.2	3.1	3.4	3.7
			その他の土地		-	-	-	-	8.1	8.3	8.4	8.6	-	-	-	-	5.7	6.5	7.2	7.8
		廃棄物最終処分地		-	-	-	-	0.0	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	0.0	0.1	0.1	0.1	
	小計		-	-	-	-	47	47	46	44	-	-	-	-	33	36	39	40		
	養殖系		-	-	-	-	1.8	1.5	1.3	1.2	-	-	-	-	1.3	1.2	1.1	1.0		
	小計		(66)	(63)	(62)	(58)	55	51	49	47	(35.1)	(34.1)	(36.9)	(36.0)	38.4	39.5	41.5	42.7		
合計			(188)	(185)	(168)	(161)	142	129	118	110	(100)	(100)	(100)	(100)	100	100	100	100		

(りん)

系	発生源		負荷量(t/日)							負荷比率(%)									
			S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	
生活系	下水道(生活系)		-	-	-	-	1.6	1.1	1.0	1.0	-	-	-	-	10.6	10.4	11.2	12.7	
	合併処理浄化槽		-	-	-	-	1.1	1.0	1.1	1.1	-	-	-	-	7.3	9.4	11.6	13.4	
	単独処理浄化槽		-	-	-	-	1.5	1.3	1.0	0.8	-	-	-	-	10.2	12.3	11.3	9.7	
	し尿処理場		-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.4	0.1	0.1	0.1	
	雑排水		-	-	-	-	2.0	1.6	1.2	0.7	-	-	-	-	13.5	14.4	12.8	8.8	
	小計		(10)	(7)	(6)	(6)	6.4	5.1	4.3	3.7	(40.2)	(32.8)	(33.5)	(37.0)	42.0	47.2	47.8	45.1	
産業系	産業系指定地域内事業場		-	-	-	-	1.8	1.3	1.0	0.8	-	-	-	-	11.6	11.8	10.5	9.8	
	下水道(産業系)		-	-	-	-	0.3	0.2	0.2	0.3	-	-	-	-	1.9	1.9	2.2	3.9	
	小規模事業場		-	-	-	-	1.2	0.9	0.9	0.8	-	-	-	-	7.9	8.3	9.6	9.9	
	未規制事業場		-	-	-	-	0.9	0.6	0.5	0.4	-	-	-	-	5.7	5.7	5.1	4.4	
	小計		(7)	(7)	(5)	(5)	4.1	2.9	2.5	2.3	(28.7)	(31.9)	(28.2)	(27.7)	27.1	26.9	27.8	28.0	
その他系	畜産系		-	-	-	-	2.8	1.1	0.7	0.8	-	-	-	-	18.7	10.2	8.0	9.7	
	その他土地系	下水道(その他系)	-	-	-	-	0.5	0.4	0.3	0.2	-	-	-	-	3.0	3.4	3.6	3.0	
		土地系	山林	-	-	-	-	0.5	0.5	0.5	0.5	-	-	-	-	3.3	4.6	5.5	6.0
			水田	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	0.9	1.1	1.3	1.4
			畑・果樹園	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	0.4	0.5	0.6	0.6
			その他の土地	-	-	-	-	0.2	0.2	0.2	0.2	-	-	-	-	1.4	2.0	2.4	2.7
		廃棄物最終処分地		-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.0	0.1	0.1	0.1
	小計		-	-	-	-	1.4	1.3	1.2	1.1	-	-	-	-	9.0	12	13	14	
	養殖系		-	-	-	-	0.5	0.4	0.4	0.3	-	-	-	-	3.1	3.8	3.9	3.9	
	小計		(8)	(7)	(7)	(6)	4.7	2.8	2.2	2.2	(31.1)	(35.3)	(38.3)	(35.3)	30.9	25.9	24.4	26.8	
合計			(24)	(20)	(19)	(17)	15.2	10.8	9.0	8.2	(100)	(100)	(100)	(100)	100	100	100	100	

※ 総量削減専門委員会(第1回)資料4-1 表2を更新

出典) 発生負荷量等算定調査(環境省)、平成8年度瀬戸内海環境管理基本調査(環境庁)、(社)瀬戸内海環境保全協会資料
 注) 端数処理の関係で合計値が一致しないことがある。括弧内の値は、関係都府県による推計結果による負荷量を示す。

表 3 海域別・発生減別負荷量(窒素・りん)の推移(瀬戸内海)

(窒素)

系	発生源	負荷量(t/日)								負荷比率(%)									
		S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26		
生活系	下水道(生活系)	-	-	-	-	91.8	85.6	78.3	69.9	-	-	-	-	15.4	18.0	18.2	17.9		
	合併処理浄化槽	-	-	-	-	18.1	19.8	21.2	23.2	-	-	-	-	3.0	4.2	4.9	5.9		
	単独処理浄化槽	-	-	-	-	39.9	29.8	24.5	19.0	-	-	-	-	6.7	6.3	5.7	4.8		
	し尿処理場	-	-	-	-	2.7	0.9	0.5	0.3	-	-	-	-	0.4	0.2	0.1	0.1		
	雑排水	-	-	-	-	31.6	22.6	17.5	13.2	-	-	-	-	5.3	4.8	4.1	3.4		
	小計	(189)	(188)	(201)	(205)	184	159	143	125	(28.4)	(29.4)	(30.6)	(29.4)	30.9	33.4	33.0	32.1		
産業系	産業系指定地域内事業場	-	-	-	-	152.9	83.8	68.1	63.3	-	-	-	-	25.6	17.6	15.8	16.2		
	下水道(産業系)	-	-	-	-	19.9	14.9	13.4	11.4	-	-	-	-	3.3	3.1	3.1	2.9		
	小規模事業場	-	-	-	-	7.9	6.7	6.3	5.8	-	-	-	-	1.3	1.4	1.5	1.5		
	未規制事業場	-	-	-	-	11.4	9.7	7.8	6.7	-	-	-	-	1.9	2.0	1.8	1.7		
	小計	(249)	(225)	(223)	(259)	192	117	95	87	(37.4)	(35.2)	(34.0)	(37.2)	32.2	24.6	21.9	22.3		
その他系	畜産系	-	-	-	-	35.2	18.0	16.6	14.3	-	-	-	-	5.9	3.8	3.9	3.6		
	その他土地系	下水道(その他系)	-	-	-	-	20.5	24.9	19.7	17.1	-	-	-	-	3.4	5.2	4.6	4.4	
		土地系	山林	-	-	-	-	54.5	54.1	54.2	53.6	-	-	-	-	9.1	11.4	12.6	13.7
			水田	-	-	-	-	27.0	25.8	24.9	24.0	-	-	-	-	4.5	5.4	5.8	6.1
			畑・果樹園	-	-	-	-	11.3	10.3	10.6	10.1	-	-	-	-	1.9	2.2	2.5	2.6
			その他の土地	-	-	-	-	23.4	24.5	24.6	25.0	-	-	-	-	3.9	5.1	5.7	6.4
	廃棄物最終処分地	-	-	-	-	0.4	1.4	1.3	0.8	-	-	-	-	0.1	0.3	0.3	0.2		
	小計	-	-	-	-	137	141	135	131	-	-	-	-	23	30	31	33		
	養殖系	-	-	-	-	47.7	42.3	40.7	33.6	-	-	-	-	8.0	8.9	9.5	8.6		
	小計	(228)	(226)	(232)	(233)	220	200	195	178	(34.2)	(35.4)	(35.4)	(33.4)	36.9	42.0	45.0	45.6		
合計	(666)	(639)	(656)	(697)	596	476	433	390	(100)	(100)	(100)	(100)	100	100	100	100			

(りん)

系	発生源	負荷量(t/日)								負荷比率(%)									
		S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26		
生活系	下水道(生活系)	-	-	-	-	6.5	5.1	5.1	4.7	-	-	-	-	16.0	16.7	18.4	19.2		
	合併処理浄化槽	-	-	-	-	1.9	2.0	2.1	2.3	-	-	-	-	4.6	6.4	7.5	9.2		
	単独処理浄化槽	-	-	-	-	3.3	2.4	2.0	1.5	-	-	-	-	8.2	8.0	7.1	6.2		
	し尿処理場	-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.3	0.1	0.1	0.1		
	雑排水	-	-	-	-	4.1	2.9	2.2	1.7	-	-	-	-	10.2	9.6	8.0	6.8		
	小計	(30)	(19)	(17)	(17)	15.9	12.4	11.4	10.2	(47.1)	(40.6)	(38.9)	(40.9)	39.3	40.5	40.7	41.5		
	産業系	産業系指定地域内事業場	-	-	-	-	5.8	2.6	2.0	1.9	-	-	-	-	14.3	8.5	7.0	7.5	
下水道(産業系)		-	-	-	-	1.4	0.9	0.9	0.8	-	-	-	-	3.4	3.1	3.1	3.1		
小規模事業場		-	-	-	-	3.0	2.0	1.9	1.8	-	-	-	-	7.4	6.7	6.9	7.1		
未規制事業場		-	-	-	-	3.0	2.3	1.7	1.4	-	-	-	-	7.5	7.4	5.9	5.6		
小計		(20)	(16)	(14)	(13)	13.2	8.0	6.5	5.7	(32.4)	(34.5)	(33.3)	(32.4)	32.6	26.1	23.2	23.2		
その他系	畜産系	-	-	-	-	3.2	1.8	2.1	1.8	-	-	-	-	7.9	6.1	7.4	7.3		
	その他土地系	下水道(その他系)	-	-	-	-	1.4	1.5	1.3	1.1	-	-	-	-	3.4	4.8	4.5	4.3	
		土地系	山林	-	-	-	-	1.5	1.4	1.4	1.4	-	-	-	-	3.6	4.7	5.2	5.8
			水田	-	-	-	-	0.4	0.3	0.3	0.3	-	-	-	-	0.9	1.1	1.2	1.3
			畑・果樹園	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	0.4	0.4	0.5	0.5
			その他の土地	-	-	-	-	0.6	0.7	0.7	0.7	-	-	-	-	1.6	2.2	2.4	2.7
		廃棄物最終処分地	-	-	-	-	0.0	0.1	0.1	0.0	-	-	-	-	0.1	0.2	0.2	0.1	
	小計	-	-	-	-	4.0	4.1	3.9	3.6	-	-	-	-	9.8	13	14	15		
	養殖系	-	-	-	-	4.2	4.3	4.1	3.3	-	-	-	-	10.4	14.0	14.8	13.2		
	小計	(13)	(12)	(12)	(11)	11.4	10.2	10.1	8.7	(20.5)	(24.9)	(27.9)	(26.8)	28.1	33.3	36.1	35.4		
合計	(63)	(47)	(43)	(41)	40.4	30.6	28.0	24.6	(100)	(100)	(100)	(100)	100	100	100	100			

※ 総量削減専門委員会(第1回)資料4-1 表3を更新

出典) 発生負荷量等算定調査(環境省)、平成8年度瀬戸内海環境管理基本調査(環境庁)、(社)瀬戸内海環境保全協会資料

注) 端数処理の関係で合計値が一致しないことがある。括弧内の値は、関係都府県による推計結果による負荷量を示す。

表 4 海域別・発生減別負荷量(窒素・りん)の推移(大阪湾)

(窒素)

系	発生源		負荷量(t/日)								負荷比率(%)									
			S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26		
生活系	下水道(生活系)		-	-	-	-	59.3	56.1	49.9	42.5	-	-	-	-	38.8	46.2	48.0	48.5		
	合併処理浄化槽		-	-	-	-	4.5	3.0	2.7	2.2	-	-	-	-	2.9	2.5	2.6	2.6		
	単独処理浄化槽		-	-	-	-	10.4	6.4	4.9	3.7	-	-	-	-	6.8	5.3	4.8	4.2		
	し尿処理場		-	-	-	-	0.6	0.3	0.1	0.0	-	-	-	-	0.4	0.2	0.1	0.1		
	雑排水		-	-	-	-	8.2	5.1	3.5	2.4	-	-	-	-	5.4	4.2	3.3	2.8		
	小計		-	(101)	(109)	(107)	83	71	61	51	-	(50.5)	(53.0)	(55.6)	54.2	58.7	58.7	58.0		
産業系	産業系指定地域内事業場		-	-	-	-	23.8	7.0	5.2	4.1	-	-	-	-	15.6	5.8	5.0	4.7		
	下水道(産業系)		-	-	-	-	11.4	8.8	7.5	5.9	-	-	-	-	7.5	7.3	7.2	6.7		
	小規模事業場		-	-	-	-	2.0	1.3	1.1	0.8	-	-	-	-	1.3	1.0	1.1	1.0		
	未規制事業場		-	-	-	-	2.2	1.6	1.2	1.0	-	-	-	-	1.4	1.3	1.2	1.1		
	小計		-	(58)	(49)	(46)	39	19	15	11	-	(29.3)	(23.7)	(23.7)	25.8	15.7	14.4	12.5		
その他系	畜産系		-	-	-	-	2.7	0.8	0.6	0.5	-	-	-	-	1.7	0.6	0.6	0.6		
	その他土地系	下水道(その他系)		-	-	-	-	14.9	17.7	14.3	11.5	-	-	-	-	9.8	14.6	13.8	13.1	
		土地系	山林		-	-	-	-	4.2	4.2	4.2	4.1	-	-	-	-	2.7	3.4	4.0	4.6
			水田		-	-	-	-	3.9	3.4	2.9	2.9	-	-	-	-	2.5	2.8	2.8	3.3
			畑・果樹園		-	-	-	-	0.9	0.8	0.7	0.7	-	-	-	-	0.6	0.7	0.7	0.8
			その他の土地		-	-	-	-	4.6	4.6	4.7	4.9	-	-	-	-	3.0	3.8	4.6	5.6
		廃棄物最終処分地		-	-	-	-	0.1	0.3	0.2	0.3	-	-	-	-	0.1	0.3	0.2	0.4	
	小計		-	-	-	-	28	31	27	24	-	-	-	-	18	26	26	28		
	養殖系		-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0		
	小計		-	(40)	(48)	(40)	31	31	28	26	-	(20.2)	(23.3)	(20.7)	20.1	25.6	26.9	29.5		
合計			-	(199)	(206)	(192)	153	121	104	88	-	(100)	(100)	(100)	100	100	100	100		

(りん)

系	発生源		負荷量(t/日)								負荷比率(%)								
			S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	
生活系	下水道(生活系)		-	-	-	-	4.0	3.2	3.1	2.6	-	-	-	-	33.8	39.8	44.1	45.6	
	合併処理浄化槽		-	-	-	-	0.5	0.3	0.3	0.3	-	-	-	-	4.6	4.3	4.5	4.5	
	単独処理浄化槽		-	-	-	-	1.0	0.6	0.4	0.3	-	-	-	-	8.0	6.9	5.9	5.4	
	し尿処理場		-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.3	0.1	0.0	0.1	
	雑排水		-	-	-	-	1.1	0.7	0.5	0.3	-	-	-	-	9.6	8.8	6.8	5.8	
	小計		(14)	(9)	(8)	(8)	6.7	5.0	4.4	3.6	(60.8)	(56.0)	(54.2)	(58.0)	56.1	61.0	61.1	62.1	
産業系	産業系指定地域内事業場		-	-	-	-	1.0	0.2	0.1	0.1	-	-	-	-	8.2	2.6	2.0	1.8	
	下水道(産業系)		-	-	-	-	0.9	0.6	0.5	0.4	-	-	-	-	7.3	7.1	7.2	7.2	
	小規模事業場		-	-	-	-	0.8	0.4	0.4	0.4	-	-	-	-	6.5	5.2	5.9	6.2	
	未規制事業場		-	-	-	-	0.8	0.5	0.3	0.2	-	-	-	-	6.9	6.5	4.6	3.8	
	小計		(6)	(4)	(4)	(4)	3.4	1.7	1.5	1.0	(24.9)	(26.7)	(26.4)	(26.9)	28.8	20.7	20.8	17.2	
その他系	畜産系		-	-	-	-	0.4	0.2	0.1	0.1	-	-	-	-	3.6	2.0	1.9	2.2	
	その他土地系	下水道(その他系)	-	-	-	-	1.0	1.0	0.9	0.7	-	-	-	-	8.6	12.8	12.6	11.7	
		土地系	山林	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	1.1	1.5	1.8	2.1
			水田	-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.4	0.5	0.5	0.7
			畑・果樹園	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.2
			その他の土地	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	1.1	1.7	2.0	2.5
		廃棄物最終処分地	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	
	小計		-	-	-	-	1.3	1.4	1.2	1.0	-	-	-	-	11.3	17	17	17	
	養殖系		-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.2	
	小計		(3)	(3)	(3)	(2)	1.8	1.5	1.3	1.2	(14.3)	(17.2)	(19.4)	(15.1)	15.1	18.3	18.1	20.7	
合計			(23)	(17)	(14)	(13)	11.9	8.2	7.2	5.8	(100)	(100)	(100)	(100)	100	100	100	100	

※ 総量削減専門委員会(第1回)資料4-1表4を更新

出典)発生負荷量等算定調査(環境省)、平成8年度瀬戸内海環境管理基本調査(環境庁)、(社)瀬戸内海環境保全協会資料
 注)端数処理の関係で合計値が一致しないことがある。括弧内の値は、関係都府県による推計結果による負荷量を示す。

表 5 海域別・発生減別負荷量(窒素・りん)の推移（大阪湾を除く瀬戸内海）
(窒素)

系	発生源		負荷量(t/日)								負荷比率(%)							
			S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26
生活系	下水道(生活系)		-	-	-	-	32.5	29.5	28.3	27.4	-	-	-	-	7.3	8.4	8.7	9.0
	合併処理浄化槽		-	-	-	-	13.6	16.8	18.4	20.9	-	-	-	-	3.1	4.7	5.7	6.9
	単独処理浄化槽		-	-	-	-	29.5	23.4	19.6	15.3	-	-	-	-	6.6	6.6	6.0	5.0
	し尿処理場		-	-	-	-	2.1	0.7	0.4	0.2	-	-	-	-	0.5	0.2	0.1	0.1
	雑排水		-	-	-	-	23.4	17.5	14.0	10.8	-	-	-	-	5.3	4.9	4.3	3.6
	小計		-	(91)	(95)	(100)	101	88	82	74	-	(18.9)	(19.3)	(20.0)	22.8	24.8	24.9	24.5
産業系	産業系指定地域内事業場		-	-	-	-	129.1	76.8	62.9	59.1	-	-	-	-	29.1	21.7	19.3	19.5
	下水道(産業系)		-	-	-	-	8.5	6.1	5.9	5.5	-	-	-	-	1.9	1.7	1.8	1.8
	小規模事業場		-	-	-	-	5.9	5.5	5.2	4.9	-	-	-	-	1.3	1.5	1.6	1.6
	未規制事業場		-	-	-	-	9.2	8.1	6.6	5.7	-	-	-	-	2.1	2.3	2.0	1.9
	小計		-	(166)	(174)	(213)	153	98	80	76	-	(34.4)	(35.2)	(42.3)	34.4	27.6	24.3	25.2
その他系	畜産系		-	-	-	-	32.5	17.2	16.0	13.8	-	-	-	-	7.3	4.9	4.9	4.5
	その他土地系	下水道(その他系)	-	-	-	-	5.5	7.2	5.4	5.6	-	-	-	-	1.2	2.0	1.7	1.8
		山林	-	-	-	-	50.4	49.9	50.0	49.5	-	-	-	-	11.4	14.1	15.3	16.3
		水田	-	-	-	-	23.1	22.5	21.9	21.1	-	-	-	-	5.2	6.3	6.7	7.0
		畑・果樹園	-	-	-	-	10.3	9.5	9.9	9.4	-	-	-	-	2.3	2.7	3.0	3.1
		その他の土地	-	-	-	-	18.8	19.9	19.8	20.2	-	-	-	-	4.2	5.6	6.1	6.6
		廃棄物最終処分地	-	-	-	-	0.3	1.1	1.1	0.5	-	-	-	-	0.1	0.3	0.3	0.2
		小計	-	-	-	-	109	110	108	106	-	-	-	-	25	31	33	35
	養殖系		-	-	-	-	47.7	42.2	40.6	33.6	-	-	-	-	10.8	11.9	12.5	11.1
	小計		-	(226)	(225)	(189)	189	169	167	152	-	(46.7)	(45.5)	(37.7)	42.7	47.6	50.8	50.3
	合計		-	(483)	(494)	(503)	443	355	329	302	-	(100)	(100)	(100)	100	100	100	100

(りん)

系	発生源		負荷量(t/日)								負荷比率(%)							
			S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26
生活系	下水道(生活系)		-	-	-	-	2.4	1.8	2.0	2.1	-	-	-	-	8.6	8.3	9.6	11.1
	合併処理浄化槽		-	-	-	-	1.3	1.6	1.8	2.0	-	-	-	-	4.7	7.2	8.5	10.6
	単独処理浄化槽		-	-	-	-	2.3	1.9	1.6	1.2	-	-	-	-	8.2	8.4	7.5	6.5
	し尿処理場		-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.4	0.1	0.1	0.0
	雑排水		-	-	-	-	3.0	2.2	1.8	1.3	-	-	-	-	10.5	9.9	8.4	7.1
	小計		(16)	(10)	(9)	(9)	9.2	7.4	7.0	6.6	(40.9)	(30.1)	(29.5)	(34.9)	32.4	33.0	33.7	35.1
産業系	産業系指定地域内事業場		-	-	-	-	4.8	2.4	1.8	1.8	-	-	-	-	16.9	10.7	8.7	9.3
	下水道(産業系)		-	-	-	-	0.5	0.4	0.4	0.4	-	-	-	-	1.8	1.6	1.8	1.9
	小規模事業場		-	-	-	-	2.2	1.6	1.5	1.4	-	-	-	-	7.7	7.2	7.2	7.4
	未規制事業場		-	-	-	-	2.2	1.7	1.3	1.2	-	-	-	-	7.7	7.8	6.4	6.1
	小計		(15)	(13)	(11)	(10)	9.7	6.3	5.0	4.7	(39.2)	(39.4)	(36.0)	(40.1)	34.1	28.1	24.0	25.0
その他系	畜産系		-	-	-	-	2.8	1.7	1.9	1.7	-	-	-	-	9.7	7.5	9.3	8.8
	その他土地系	下水道(その他系)	-	-	-	-	0.3	0.4	0.4	0.4	-	-	-	-	1.2	1.9	1.8	2.0
		山林	-	-	-	-	1.3	1.3	1.3	1.3	-	-	-	-	4.6	5.9	6.3	6.9
		水田	-	-	-	-	0.3	0.3	0.3	0.3	-	-	-	-	1.1	1.3	1.4	1.5
		畑・果樹園	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	0.5	0.6	0.6	0.7
		その他の土地	-	-	-	-	0.5	0.5	0.5	0.5	-	-	-	-	1.7	2.3	2.5	2.8
		廃棄物最終処分地	-	-	-	-	0.0	0.1	0.1	0.0	-	-	-	-	0.0	0.3	0.3	0.2
		小計	-	-	-	-	2.6	2.7	2.7	2.6	-	-	-	-	9.2	12	13	14
	養殖系		-	-	-	-	4.2	4.2	4.1	3.3	-	-	-	-	14.6	19.0	19.7	17.2
	小計		(8)	(10)	(10)	(6)	9.6	8.7	8.8	7.5	(19.9)	(30.5)	(34.4)	(25.0)	33.5	38.8	42.3	39.9
	合計		(38)	(32)	(30)	(26)	28.5	22.4	20.8	18.8	(100)	(100)	(100)	(100)	100	100	100	100

※ 総量削減専門委員会（第1回）資料4-1 表5を更新

出典) 発生負荷量等算定調査(環境省)、平成8年度瀬戸内海環境管理基本調査(環境庁)、(社)瀬戸内海環境保全協会資料
注) 端数処理の関係で合計値が一致しないことがある。括弧内の値は、関係都府県による推計結果による負荷量を示す。

また、指定地域内事業場における発生負荷量等の推移について、以下のとおり窒素・リンのデータを整理した（表 6～15）。

表 6 指定地域内事業場ごとの窒素負荷量及び平均水質の推移（東京湾）

指定地域内事業場		東京湾															
		負荷量(t/日)								平均水質(mg/L)							
		S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26
下水処理場 ^(注)		-	-	-	-	165.6	135.2	125.2	116.7	-	-	-	-	16.5	13.1	12.0	11.4
生活系	合併処理浄化槽	-	-	-	-	3.0	2.0	1.4	1.3	-	-	-	-	15.5	14.9	15.5	15.2
	単独処理浄化槽	-	-	-	-	0.1	0.1	0.0	0.0	-	-	-	-	45.1	75.0	80.5	94.6
	し尿処理場	-	-	-	-	0.5	0.2	0.1	0.0	-	-	-	-	14.7	8.8	5.7	5.2
産業系	食料品等製造業	-	-	-	-	1.8	1.1	0.8	0.4	-	-	-	-	17.5	11.7	8.8	3.9
	繊維工業	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	7.8	3.4	7.8	6.6
	パルプ・紙・紙加工品製造業	-	-	-	-	1.1	0.6	0.5	0.4	-	-	-	-	4.6	3.4	3.5	3.3
	化学工業	-	-	-	-	5.2	4.5	3.3	2.8	-	-	-	-	17.9	17.9	14.0	13.3
	石油製品・石炭製品製造業	-	-	-	-	4.0	4.0	2.1	1.9	-	-	-	-	46.7	32.7	16.5	16.0
	鉄鋼業	-	-	-	-	9.2	4.2	5.6	4.9	-	-	-	-	64.2	26.9	34.5	29.4
	その他の指定地域内事業場	-	-	-	-	3.9	2.8	2.0	1.4	-	-	-	-	12.4	11.7	10.7	8.2
その他系	畜産農業	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	28.1	0.0	25.6	12.0
計		-	-	-	-	194.5	154.7	141.0	129.8	-	-	-	-	17.0	13.5	12.3	11.6

注 1) 下水処理場の負荷量には、生活系だけではなく、産業系、その他系も含まれている。

注 2) 合併処理浄化槽、単独処理浄化槽の負荷量には、日平均排水量 50 m³ 未満の特定事業場も含まれている。

表 7 指定地域内事業場ごとのリン負荷量及び平均水質の推移（東京湾）

指定地域内事業場		東京湾															
		負荷量(t/日)								平均水質(mg/L)							
		S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26
下水処理場 ^(注)		-	-	-	-	12.7	9.5	8.8	8.9	-	-	-	-	1.3	0.9	0.8	0.9
生活系	合併処理浄化槽	-	-	-	-	0.3	0.2	0.2	0.2	-	-	-	-	1.7	1.6	1.7	1.9
	単独処理浄化槽	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	5.0	8.1	9.0	10.3
	し尿処理場	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	1.0	0.5	0.1	0.2
産業系	食料品等製造業	-	-	-	-	0.2	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	1.5	0.9	0.8	0.7
	繊維工業	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	1.4	0.7	1.6	1.5
	パルプ・紙・紙加工品製造業	-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.3	0.2	0.3	0.2
	化学工業	-	-	-	-	0.3	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	0.9	0.6	0.4	0.4
	石油製品・石炭製品製造業	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.2	0.3	0.3	0.3
	鉄鋼業	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1
	その他の指定地域内事業場	-	-	-	-	0.4	0.2	0.2	0.1	-	-	-	-	1.3	0.8	0.9	0.7
その他系	畜産農業	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	3.8	0.0	3.6	2.4
計		-	-	-	-	14.0	10.1	9.4	9.4	-	-	-	-	1.2	0.9	0.8	0.8

注 1) 下水処理場の負荷量には、生活系だけではなく、産業系、その他系も含まれている。

注 2) 合併処理浄化槽、単独処理浄化槽の負荷量には、日平均排水量 50 m³ 未満の特定事業場も含まれている。

表 8 指定地域内事業場ごとの窒素負荷量及び平均水質の推移（伊勢湾）

指定地域内事業場		伊勢湾															
		負荷量(t/日)								平均水質(mg/L)							
		S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26
下水処理場 ^(注)		-	-	-	-	26.1	27.8	26.0	26.5	-	-	-	-	12.5	10.9	9.8	9.6
生活系	合併処理浄化槽	-	-	-	-	4.1	3.4	2.7	2.2	-	-	-	-	15.5	13.4	12.9	11.9
	単独処理浄化槽	-	-	-	-	0.6	0.3	0.3	0.3	-	-	-	-	66.6	58.9	59.0	82.5
	し尿処理場	-	-	-	-	1.3	0.3	0.2	0.1	-	-	-	-	27.9	9.6	6.7	5.6
産業系	食料品等製造業	-	-	-	-	1.0	0.9	0.8	0.6	-	-	-	-	5.6	5.2	5.5	5.0
	繊維工業	-	-	-	-	2.3	1.0	0.6	0.4	-	-	-	-	15.4	8.1	4.7	4.0
	パルプ・紙・紙加工品製造業	-	-	-	-	2.4	1.5	1.3	1.2	-	-	-	-	5.4	3.5	3.3	3.0
	化学工業	-	-	-	-	5.5	4.9	3.7	3.1	-	-	-	-	12.4	11.2	8.2	7.9
	石油製品・石炭製品製造業	-	-	-	-	0.4	0.3	0.2	0.2	-	-	-	-	12.1	9.1	6.0	8.6
	鉄鋼業	-	-	-	-	1.2	3.3	2.3	2.3	-	-	-	-	7.7	22.5	13.8	17.6
	その他の指定地域内事業場	-	-	-	-	4.4	3.6	3.1	2.8	-	-	-	-	7.7	6.6	6.4	5.8
その他系	畜産農業	-	-	-	-	0.6	0.4	0.3	0.3	-	-	-	-	107.7	76.7	68.9	84.4
計		-	-	-	-	49.9	47.7	41.5	40.0	-	-	-	-	11.3	10.1	8.8	8.7

注 1) 下水処理場の負荷量には、生活系だけではなく、産業系、その他系も含まれている。

注 2) 合併処理浄化槽、単独処理浄化槽の負荷量には、日平均排水量 50 m³ 未満の特定事業場も含まれている。

表 9 指定地域内事業場ごとのりん負荷量及び平均水質の推移（伊勢湾）

指定地域内事業場		伊勢湾															
		負荷量(t/日)								平均水質(mg/L)							
		S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26
下水処理場 ^(注)		-	-	-	-	2.4	1.7	1.5	1.6	-	-	-	-	1.1	0.7	0.6	0.6
生活系	合併処理浄化槽	-	-	-	-	0.5	0.4	0.4	0.3	-	-	-	-	1.9	1.6	1.8	1.9
	単独処理浄化槽	-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	6.7	6.3	5.3	7.4
	し尿処理場	-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	1.4	0.3	0.4	0.4
産業系	食料品等製造業	-	-	-	-	0.3	0.2	0.2	0.1	-	-	-	-	1.5	1.4	1.3	1.1
	繊維工業	-	-	-	-	0.2	0.1	0.1	0.0	-	-	-	-	1.4	0.9	0.5	0.4
	パルプ・紙・紙加工品製造業	-	-	-	-	0.2	0.2	0.1	0.1	-	-	-	-	0.4	0.4	0.2	0.2
	化学工業	-	-	-	-	0.5	0.3	0.3	0.2	-	-	-	-	1.1	0.8	0.6	0.6
	石油製品・石炭製品製造業	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.3	0.2	0.2	0.1
	鉄鋼業	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.1	0.3	0.1	0.2
	その他の指定地域内事業場	-	-	-	-	0.6	0.4	0.3	0.3	-	-	-	-	1.0	0.7	0.6	0.5
その他系	畜産農業	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	15.3	13.4	12.7	16.7
計		-	-	-	-	4.8	3.4	3.0	2.7	-	-	-	-	1.1	0.7	0.6	0.6

注 1) 下水処理場の負荷量には、生活系だけではなく、産業系、その他系も含まれている。

注 2) 合併処理浄化槽、単独処理浄化槽の負荷量には、日平均排水量 50 m³ 未満の特定事業場も含まれている。

表 10 指定地域内事業場ごとの窒素負荷量及び平均水質の推移（瀬戸内海）

指定地域内事業場		瀬戸内海															
		負荷量(t/日)								平均水質(mg/L)							
		S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26
下水処理場 ^(注)		-	-	-	-	132.2	125.4	111.4	98.4	-	-	-	-	14.1	12.3	11.2	10.1
生活系	合併処理浄化槽	-	-	-	-	9.2	5.4	4.8	3.7	-	-	-	-	21.2	15.0	15.7	14.5
	単独処理浄化槽	-	-	-	-	1.4	0.5	0.4	0.2	-	-	-	-	109.3	108.4	112.2	109.8
	し尿処理場	-	-	-	-	2.7	0.9	0.5	0.3	-	-	-	-	23.5	10.3	8.6	6.3
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
産業系	食料品等製造業	-	-	-	-	3.5	1.7	1.6	1.6	-	-	-	-	12.7	7.2	7.8	7.8
	繊維工業	-	-	-	-	3.5	1.4	2.0	3.7	-	-	-	-	19.9	11.1	5.5	9.1
	パルプ・紙・紙加工品製造業	-	-	-	-	6.0	3.8	3.2	3.1	-	-	-	-	3.6	2.4	2.2	2.2
	化学工業	-	-	-	-	62.0	36.6	22.2	17.6	-	-	-	-	30.1	20.1	15.7	13.8
	石油製品・石炭製品製造業	-	-	-	-	23.6	12.0	12.2	9.8	-	-	-	-	161.8	88.3	110.0	91.8
	鉄鋼業	-	-	-	-	40.6	23.0	22.4	23.8	-	-	-	-	36.9	20.9	21.5	20.3
	その他の指定地域内事業場	-	-	-	-	13.6	5.4	4.4	3.8	-	-	-	-	19.9	10.0	9.3	8.5
その他系	畜産農業	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	26.2	40.0	53.2	62.7
計		-	-	-	-	298.4	216.1	185.1	166.0	-	-	-	-	18.6	13.4	12.1	11.1

注 1) 下水処理場の負荷量には、生活系だけではなく、産業系、その他系も含まれている。

注 2) 合併処理浄化槽、単独処理浄化槽の負荷量には、日平均排水量 50 m³ 未満の特定事業場も含まれている。

表 11 指定地域内事業場ごとのりん負荷量及び平均水質の推移（瀬戸内海）

指定地域内事業場		瀬戸内海															
		負荷量(t/日)								平均水質(mg/L)							
		S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26
下水処理場 ^(注)		-	-	-	-	9.2	7.5	7.3	6.6	-	-	-	-	1.0	0.7	0.7	0.7
生活系	合併処理浄化槽	-	-	-	-	1.0	0.6	0.6	0.5	-	-	-	-	2.4	1.7	1.9	1.9
	単独処理浄化槽	-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	10.2	8.5	9.1	9.6
	し尿処理場	-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	1.2	0.3	0.3	0.3
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
産業系	食料品等製造業	-	-	-	-	0.7	0.3	0.2	0.2	-	-	-	-	2.7	1.1	0.9	0.9
	繊維工業	-	-	-	-	0.4	0.1	0.2	0.2	-	-	-	-	2.3	1.1	0.4	0.4
	パルプ・紙・紙加工品製造業	-	-	-	-	0.6	0.5	0.4	0.4	-	-	-	-	0.4	0.3	0.3	0.3
	化学工業	-	-	-	-	2.2	1.0	0.6	0.6	-	-	-	-	1.1	0.6	0.4	0.5
	石油製品・石炭製品製造業	-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.7	0.3	0.3	0.4
	鉄鋼業	-	-	-	-	0.6	0.2	0.2	0.1	-	-	-	-	0.6	0.2	0.2	0.1
	その他の指定地域内事業場	-	-	-	-	1.1	0.5	0.4	0.3	-	-	-	-	1.6	0.9	0.8	0.7
その他系	畜産農業	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	9.4	5.7	7.4	8.4
計		-	-	-	-	16.3	10.7	9.9	8.9	-	-	-	-	1.0	0.7	0.6	0.6

注 1) 下水処理場の負荷量には、生活系だけではなく、産業系、その他系も含まれている。

注 2) 合併処理浄化槽、単独処理浄化槽の負荷量には、日平均排水量 50 m³ 未満の特定事業場も含まれている。

表 12 指定地域内事業場ごとの窒素負荷量及び平均水質の推移（大阪湾）

指定地域内事業場		大阪湾															
		負荷量(t/日)								平均水質(mg/L)							
		S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26
下水処理場 ^(注)		-	-	-	-	85.7	82.6	71.7	59.8	-	-	-	-	13.7	12.1	10.8	9.6
生活系	合併処理浄化槽	-	-	-	-	3.1	1.3	0.8	0.6	-	-	-	-	20.7	14.8	12.9	14.1
	単独処理浄化槽	-	-	-	-	0.6	0.0	0.1	0.1	-	-	-	-	87.6	69.8	110.4	137.8
	し尿処理場	-	-	-	-	0.6	0.3	0.1	0.0	-	-	-	-	20.4	12.8	7.4	4.8
		-	-	-	-	0.6	0.3	0.1	0.0	-	-	-	-	20.4	12.8	7.4	4.8
産業系	食料品等製造業	-	-	-	-	0.3	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	9.6	4.0	4.5	3.9
	繊維工業	-	-	-	-	0.7	0.2	0.2	0.2	-	-	-	-	17.4	7.3	4.1	5.7
	パルプ・紙・紙加工品製造業	-	-	-	-	0.3	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	8.1	2.1	1.5	1.2
	化学工業	-	-	-	-	15.2	4.2	3.2	2.9	-	-	-	-	148.9	40.6	51.6	49.6
	石油製品・石炭製品製造業	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	8.5	5.4	3.9	4.6
	鉄鋼業	-	-	-	-	3.3	1.0	0.8	0.5	-	-	-	-	46.1	15.8	13.6	7.9
	その他の指定地域内事業場	-	-	-	-	3.8	1.3	0.8	0.3	-	-	-	-	28.7	13.9	10.4	6.0
		-	-	-	-	3.8	1.3	0.8	0.3	-	-	-	-	28.7	13.9	10.4	6.0
その他系	畜産農業	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0
計		-	-	-	-	113.8	91.1	77.9	64.6	-	-	-	-	16.6	12.5	11.1	9.8

注 1) 下水処理場の負荷量には、生活系だけではなく、産業系、その他系も含まれている。

注 2) 合併処理浄化槽、単独処理浄化槽の負荷量には、日平均排水量 50 m³ 未満の特定事業場も含まれている。

表 13 指定地域内事業場ごとのりん負荷量及び平均水質の推移（大阪湾）

指定地域内事業場		大阪湾															
		負荷量(t/日)								平均水質(mg/L)							
		S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26
下水処理場 ^(注)		-	-	-	-	5.9	4.9	4.5	3.7	-	-	-	-	0.9	0.7	0.7	0.6
生活系	合併処理浄化槽	-	-	-	-	0.4	0.2	0.1	0.1	-	-	-	-	2.6	1.7	1.5	1.8
	単独処理浄化槽	-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	9.7	6.1	7.5	11.0
	し尿処理場	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	1.0	0.6	0.3	0.5
		-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	1.0	0.6	0.3	0.5
産業系	食料品等製造業	-	-	-	-	0.2	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	6.2	0.9	0.8	0.5
	繊維工業	-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	3.3	1.0	0.3	0.4
	パルプ・紙・紙加工品製造業	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.5	0.1	0.0	0.1
	化学工業	-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	1.4	0.4	0.4	0.4
	石油製品・石炭製品製造業	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.1	0.2	0.2	0.1
	鉄鋼業	-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	1.7	0.2	0.2	0.1
	その他の指定地域内事業場	-	-	-	-	0.3	0.1	0.1	0.0	-	-	-	-	2.5	1.0	0.8	0.8
		-	-	-	-	0.3	0.1	0.1	0.0	-	-	-	-	2.5	1.0	0.8	0.8
その他系	畜産農業	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0
計		-	-	-	-	7.4	5.2	4.7	3.8	-	-	-	-	1.1	0.7	0.7	0.6

注 1) 下水処理場の負荷量には、生活系だけではなく、産業系、その他系も含まれている。

注 2) 合併処理浄化槽、単独処理浄化槽の負荷量には、日平均排水量 50 m³ 未満の特定事業場も含まれている。

表 14 指定地域内事業場ごとの窒素負荷量及び平均水質の推移（大阪湾を除く瀬戸内海）

指定地域内事業場		大阪湾を除く瀬戸内海															
		負荷量(t/日)								平均水質(mg/L)							
		S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26
下水処理場 ^(注)		-	-	-	-	46.5	42.9	39.6	38.5	-	-	-	-	15.0	12.8	12.0	11.2
生活系	合併処理浄化槽	-	-	-	-	6.1	4.1	4.0	3.2	-	-	-	-	21.4	15.0	16.4	14.6
	単独処理浄化槽	-	-	-	-	0.9	0.5	0.4	0.2	-	-	-	-	130.1	115.0	112.5	103.3
	し尿処理場	-	-	-	-	2.1	0.7	0.4	0.2	-	-	-	-	24.5	9.6	8.9	6.7
		-	-	-	-	2.1	0.7	0.4	0.2	-	-	-	-	24.5	9.6	8.9	6.7
産業系	食料品等製造業	-	-	-	-	3.2	1.6	1.5	1.5	-	-	-	-	13.2	7.7	8.3	8.3
	繊維工業	-	-	-	-	2.8	1.2	1.9	3.5	-	-	-	-	20.5	12.2	5.7	9.5
	パルプ・紙・紙加工品製造業	-	-	-	-	5.7	3.7	3.2	3.0	-	-	-	-	3.5	2.4	2.2	2.2
	化学工業	-	-	-	-	46.8	32.4	19.0	14.7	-	-	-	-	23.9	18.8	14.0	12.0
	石油製品・石炭製品製造業	-	-	-	-	23.5	11.9	12.1	9.7	-	-	-	-	182.1	103.7	135.7	118.4
	鉄鋼業	-	-	-	-	37.3	22.0	21.6	23.3	-	-	-	-	36.3	21.2	22.0	21.0
	その他の指定地域内事業場	-	-	-	-	9.8	4.1	3.6	3.4	-	-	-	-	17.7	9.1	9.1	8.9
その他系	畜産農業	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	26.2	40.0	53.2	62.7
計		-	-	-	-	184.6	125.1	107.3	101.2	-	-	-	-	20.2	14.0	12.8	12.0

注 1) 下水処理場の負荷量には、生活系だけではなく、産業系、その他系も含まれている。

注 2) 合併処理浄化槽、単独処理浄化槽の負荷量には、日平均排水量 50 m³ 未満の特定事業場も含まれている。

表 15 指定地域内事業場ごとのりん負荷量及び平均水質の推移（大阪湾を除く瀬戸内海）

指定地域内事業場		大阪湾を除く瀬戸内海															
		負荷量(t/日)								平均水質(mg/L)							
		S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26
下水処理場 ^(注)		-	-	-	-	3.3	2.6	2.7	2.8	-	-	-	-	1.1	0.8	0.8	0.8
生活系	合併処理浄化槽	-	-	-	-	0.7	0.5	0.5	0.4	-	-	-	-	2.3	1.7	2.0	2.0
	単独処理浄化槽	-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	10.6	8.9	9.4	9.3
	し尿処理場	-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	1.2	0.3	0.3	0.2
		-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	1.2	0.3	0.3	0.2
産業系	食料品等製造業	-	-	-	-	0.5	0.2	0.2	0.2	-	-	-	-	2.2	1.1	0.9	1.0
	繊維工業	-	-	-	-	0.3	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	2.0	1.2	0.4	0.4
	パルプ・紙・紙加工品製造業	-	-	-	-	0.6	0.5	0.4	0.4	-	-	-	-	0.4	0.3	0.3	0.3
	化学工業	-	-	-	-	2.1	1.0	0.6	0.6	-	-	-	-	1.1	0.6	0.4	0.5
	石油製品・石炭製品製造業	-	-	-	-	0.1	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.8	0.3	0.4	0.4
	鉄鋼業	-	-	-	-	0.5	0.2	0.2	0.1	-	-	-	-	0.5	0.2	0.2	0.1
	その他の指定地域内事業場	-	-	-	-	0.7	0.4	0.3	0.3	-	-	-	-	1.3	0.9	0.8	0.7
その他系	畜産農業	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	9.4	5.7	7.4	8.4
計		-	-	-	-	8.9	5.5	5.0	4.9	-	-	-	-	1.0	0.6	0.6	0.6

注 1) 下水処理場の負荷量には、生活系だけではなく、産業系、その他系も含まれている。

注 2) 合併処理浄化槽、単独処理浄化槽の負荷量には、日平均排水量 50 m³ 未満の特定事業場も含まれている。

1-2. 閉鎖性海域における難分解性有機物について

主に閉鎖性海域（一部それら海域に流入する河川、その他海域、湖沼）における難分解性有機物に関する知見を以下のとおり整理した。

【難分解性有機物の比率】

有機物量全体に対する難分解性有機物の比率（残存率）は、総じて 40～100%とされており、その由来により季節や調査位置で異なる傾向が示された。

【難分解性有機物の由来】

難分解性有機物の由来としては、内部生産由来（大阪湾⁹⁾・¹¹⁾、琵琶湖¹⁶⁾）、河川水中の腐食物質（大阪湾¹⁰⁾、広島湾⁶⁾）、下水処理水（大阪市内河川¹¹⁾）、製紙業等工場排水及び底質からの溶出（愛媛県沿岸域⁸⁾）とされており、また、伊勢湾では外海から湾内の中底層に 1.0mg/L の難分解性有機物の流入がある¹²⁾とされている。

なお、発生源別生分解試験による難分解性比率は、0.16（雑排水）～0.78（し尿処理場）であり、発生源により異なる¹⁶⁾とされている。

【経年変化】

難分解性有機物の経年的な変化としては、増加傾向にある（大阪湾流入河川⁵⁾、三河湾¹³⁾、八代海¹⁴⁾、琵琶湖¹⁶⁾）とされている（いずれの事例も BOD と COD との比率による）。

【季節変化】

愛媛県沿岸域では夏季・秋季に高く、冬季・春季に低い傾向（難分解性有機物由来の COD（105 日目の COD）⁸⁾）（図 1）、広島湾流入河川では春季～夏季に高い傾向（土砂由来のフミン物質等による（UV260/DOC）⁶⁾）（図 2）、大阪湾では 100 日生分解後の残存率の割合が夏季に比べて冬季で高い傾向（夏季の方が生分解を受けやすい有機物を多く含む）³⁾（図 3）など、海域や時期、その由来等により異なる傾向がみられた。

【分布】

有機物量全体に対する難分解性有機物の比率（残存率）は、武庫川（大阪湾流入河川）では一様、大阪湾の沿岸から沖合にかけて高くなる傾向（沖合に至るまでに生分解が進むことによる³⁾）（図 3）、大阪湾での E₂₆₀/DOC の結果では沖合ほど低い傾向（陸域に近いほど下水処理水の影響、沖合ほど内部生産の影響を受けている¹¹⁾）（図 4）、広島湾では塩分と負の相関（沖合で低い。流入河川からの土壌由来の難分解性有機物が拡散・希釈されている⁶⁾）（図 5）とあり、海域、時期、由来により様々な結果が示されている。

以上より、閉鎖性海域を中心とした難分解性有機物の知見では、難分解性有機物の有機物全体に占める割合は増加傾向にあり、概ね有機物量の半分以上を占めていること、

その由来としては内部生産や河川由来の腐食物質、処理場等からの処理水、外洋水等が挙げられた。

※ 難分解性有機物の指標

難分解性有機物の指標としては、概ね以下の値が用いられていた。

- ・長期(100 日間等)生分解後に残存する有機物量(COD、TOC)
- ・難分解性有機物の CNP 比(=3511 : 202 : 1)へのあてはめ (易分解性は 199 : 20 : 1)
- ・COD/BOD、C-BOD/TOC
- ・UV260/DOC (260nm の吸光度は難分解性有機物(フミン質等)と正の相関がみられる)
(なお、UV260/DOC は、土壌起源の腐植質(芳香族性有機物)で大きく、内部生産由来(脂肪族性有機物)で低い)

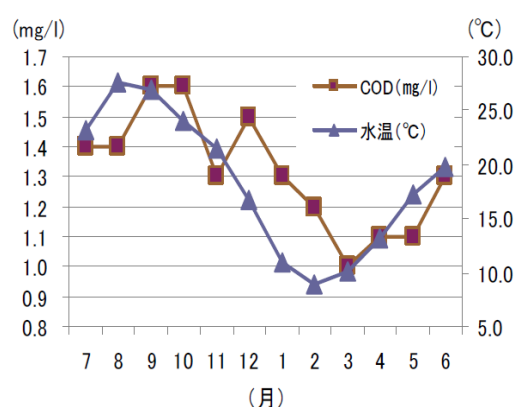


図4難分解性有機化合物由来のCOD及び水温の変動

(愛媛県沿岸域 10 地点の平均)

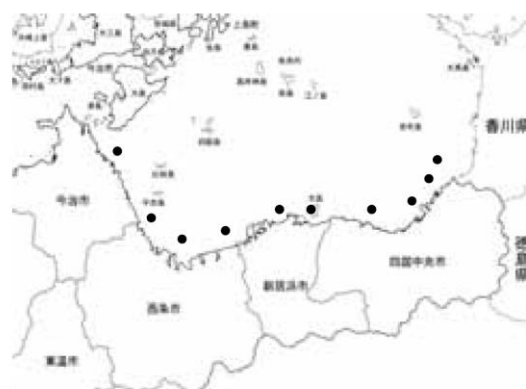


図 3 採水地点

図 1 難分解性有機物由来の COD(105 日目の COD) 及び水温の変動(愛媛県沿岸)⁸⁾

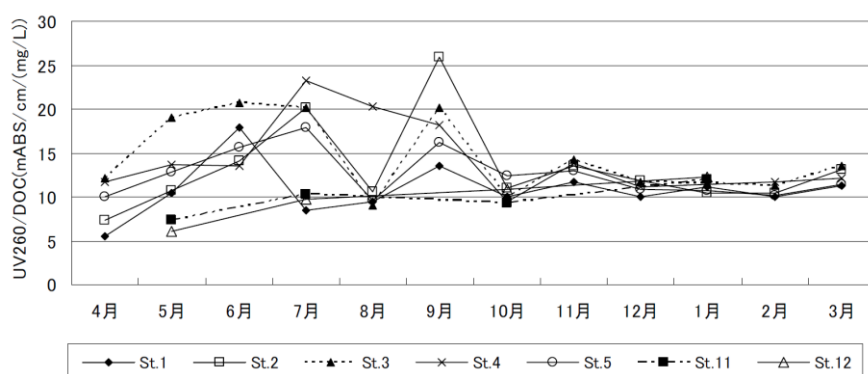


図 11 広島湾の UV260/DOC の季節変化 (表層)

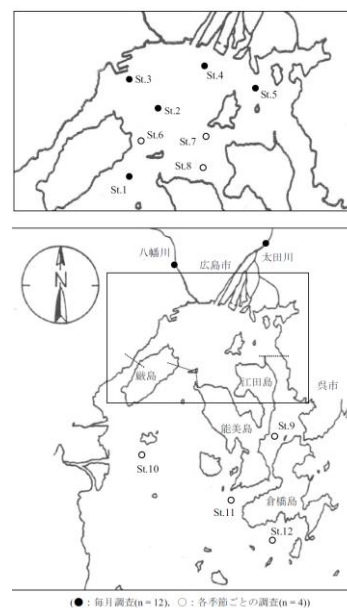


図 1 調査地点

図 2 UV260/DOC の季節変化(広島湾)⁶⁾

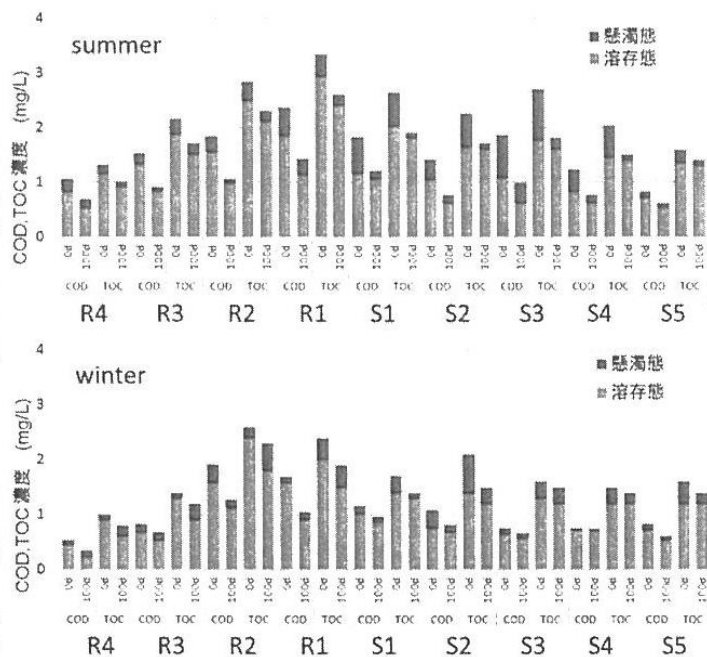


図2 各地点における TOC, COD 濃度

※ COD 濃度は炭素換算値(12/32 を乗じた値)

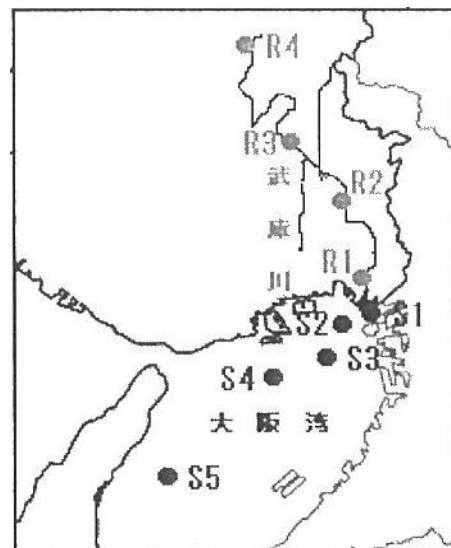


図3 長期生分解後の地点別 TOC, COD (武庫川・大阪湾)⁶⁾

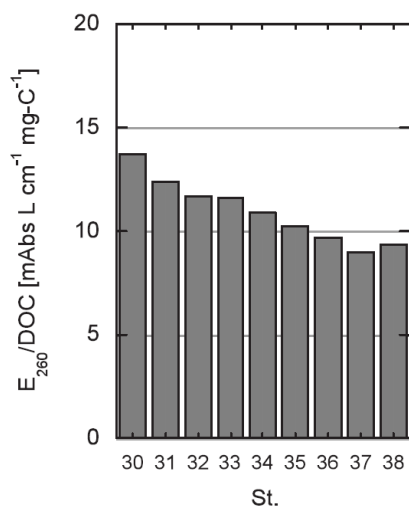
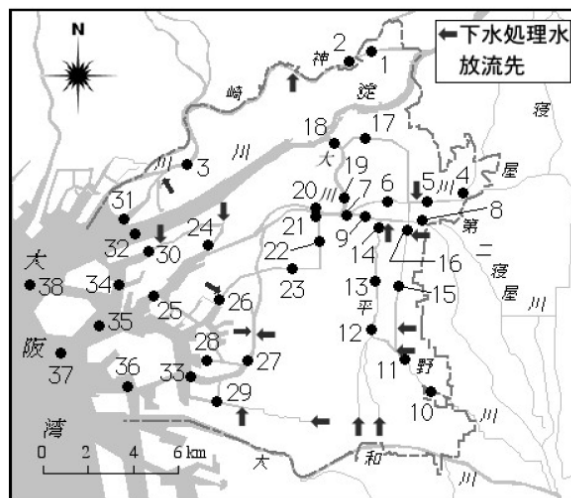


図14 E_{260}/DOC の年平均値 (海域)



St.	地点名	水域	類型	St.	地点名	水域	類型
1	小松橋	神崎川	B	20	天神橋(右)	堂島川	B
2	吹田橋	神崎川	B	21	天神橋(左)	土佐堀川	C
3	千船橋	神崎川	B	22	本町橋	東横堀川	C
4	徳栄橋	古川	D	23	大黒橋	道頓堀川	B
5	今津橋	寝屋川	D	24	春日出橋	六軒家川	B
6	新喜多大橋	寝屋川	D	25	天保山渡	安治川	B
7	京橋	寝屋川	D	26	甚兵衛渡	尻無川	C
8	飯東小橋	第二寝屋川	B	27	千本松渡	木津川	C
9	下城見橋	第二寝屋川	D	28	船町渡	木津川連河	C
10	中竹洲橋	平野川	D	29	住之江大橋下流	住吉川	C
11	安泰橋	平野川	D	30	北港大橋下流	正蓮寺川	C
12	陸橋	平野川	D	31	神崎川河口	大阪湾	海C
13	南弁天橋	平野川	D	32	淀川河口	大阪湾	海C
14	城見橋	平野川	D	33	木津川河口	大阪湾	海C
15	片一橋	平野川分水路	D	34	No.25ドムフィン	大阪湾	海C
16	天王田大橋	平野川分水路	D	35	No.5ブイ	大阪湾	海C
17	赤川橋	城北川	B	36	南港	大阪湾	海C
18	毛馬橋	大川	B	37	関門外	大阪湾	海C
19	桜宮橋	大川	B	38	北港沖	大阪湾	海C

図1 調査地点

図4 E_{260}/DOC の年平均値(大阪市内海域)¹¹⁾

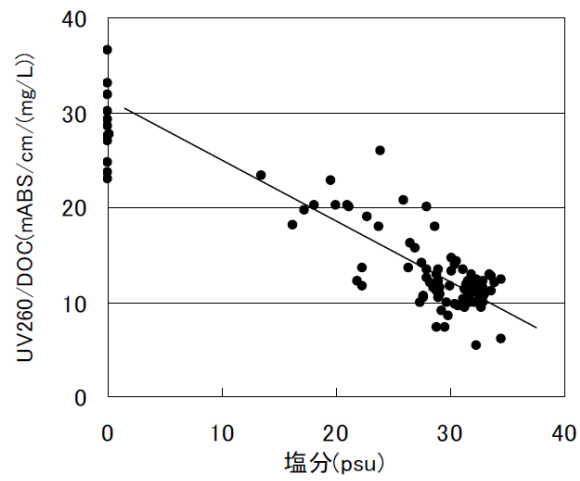


図 5 UV260/DOC と塩分との関係 (広島湾)⁶⁾

【参考文献】

- 1) 秋吉貴太ら(2018)「瀬戸内海における難分解性有機物に関する調査」,『大分県衛生環境研究センター年報 平成30年度』第46号, p. 33-36.
- 2) 鈴木元治ら(2018)「溶存有機態 CNP 比からみた播磨灘における有機物難分解化の状況について」,『日本水環境学会シンポジウム講演集』Vol. 21st, Page. 252-253.
- 3) 松林雅之ら(2015)「大阪湾流入の陸域由来による大阪湾海域の難分解性有機物及び窒素,リンに関する研究」,『日本水環境学会年会講演集』Vol. 49th, Page. 421.
- 4) 吉田光方子ら(2014)「武庫川流域を対象とした陸域由来による大阪湾海域の難分解性 有機物及び窒素,リンに関する研究」,『瀬戸内海』No. 67, Page. 65-68.
- 5) 前川真徳ら(2013)「大阪湾、播磨灘海水及び流入河川水における有機物濃度の変動」,『財団法人ひょうご環境創造協会兵庫県環境研究センター紀要』第5号, 2013, p. 1-10.
- 6) 後田俊直ら(2013)「広島湾における溶存有機物の分布と季節変化」,『広島県立総合技術研究所保健環境センター研究報告』No. 21, Page. 29-39.
- 7) 吉田光方子(2011)「播磨灘、加古川流域を対象とした難分解性有機物及び窒素、リンに関する特性評価」,大阪湾圏域の海域環境再生・創造に関する研究助成事業(平成23年度実施)成果発表会 個別発表.
- 8) 千葉倫敬ら(2011)「愛媛県沿岸域における難分解性有機化合物の調査」,『愛媛県立衛生環境研究所年報』No. 14, Page. 21-24.
- 9) 仲川直子ら(2010)「珪藻類を対象とした植物プランクトン由来の難分解性溶存有機物に関する特性評価」,『財団法人ひょうご環境創造協会兵庫県環境研究センター紀要』第2号, 2010, p. 1-7.
- 10) 仲川直子ら(2009)「陸域溶存有機物との比較における大阪湾域難分解性溶存有機物の構造特性及び分子量分布特性について」,『財団法人ひょうご環境創造協会兵庫県環境研究センター紀要』第1号, 2009, p. 31-36.
- 11) 新矢将尚ら(2007)「大阪市内水域における難分解性有機物の特性解析」,『大阪市立環境科学研究所報告 調査・研究年報』Vol. 69, Page. 31-36.
- 12) 渡邊卓弥ら(2019)「伊勢湾の有機物の分解特性に関する研究(その2)」,『三重県保健環境研究所年報』第21号(通算第64号), p. 88-93.
- 13) 服部廉ら(2012)「河川水中の難分解性有機物についての検討-公共用水域常時監視データの検討と河川水長期分解性試験-」,『愛知県環境調査センター所報』No. 39, Page. 35-39.
- 14) 大津一哲ら(2013)「八代海流入河川の難分解性有機物」,『熊本県保健環境科学研究所報(Web)』No. 43, Page. 98-100.
- 15) 中村心一ら(2007)「大村湾における溶存有機物実態調査」,『長崎県環境保健研究センター所報』No. 53, pp. 62-70.
- 16) 佐藤祐一ら(2016)「琵琶湖における難分解性有機物の起源: 発生源における生分解試験とボックスモデルによる推計」,『水環境学会誌』2016年 39 巻 1 号 p. 17-28.
- 17) 岡本高弘ら(2011)「難分解性を考慮した琵琶湖における有機物の現状と課題」,『滋賀県琵琶湖環境科学研究所センター 研究報告書』,第7号, p. 87-102.

1-3. 単独処理浄化槽における COD の平均水質について

単独処理浄化槽の COD 負荷の平均水質濃度が経年的に上昇（表 16～18）している原因について、以下のとおり整理・考察した。

単独処理浄化槽は、汚濁負荷の大きい雑排水を未処理で放流するだけでなく、合併処理浄化槽に比べて除去率が低く汚濁負荷も大きいことから、平成 12 年の浄化槽法の改正により平成 13 年 4 月以降は、合併処理浄化槽の設置が原則として義務づけられることとなった。また、既存の単独処理浄化槽において老朽化による破損や漏水等の事例も報告されている（図 6）ことから、合併処理浄化槽への転換が進められているところ。

単独処理浄化槽の負荷量のうち、日平均排水量 50 m³ 以上の事業場の平均水質濃度は、伊勢湾、大阪湾等の一部の水域において上昇傾向がみられる（表 19）。施設の老朽化による処理能力の低下が平均水質濃度の上昇の一因として示唆される。このほか、事業場数の減少により、排水濃度が高く設定されている日平均排水量 50 m³ 未満の特定事業場が占める割合が増加し、全体の負荷量が減少し、かつ、平均水質の値が高くなったものと考えられる。

表 16 指定地域内事業場ごとの COD 負荷量及び平均水質の推移（東京湾）（抜粋）

指定地域内事業場		東京湾															
		負荷量(t/日)								平均水質(mg/L)							
		S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26
下水処理場 ^(注)		73.9	86.1	97.8	104.8	106.6	100.9	98.6	92.8	13.1	13.0	11.4	11.6	10.7	9.8	9.5	9.1
生活系	合併処理浄化槽	7.0	4.9	3.3	4.5	2.9	2.0	1.4	1.2	15.6	13.1	10.8	15.8	14.7	15.1	15.2	14.8
	単独処理浄化槽	1.6	0.4	0.1	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	53.2	33.1	18.5	44.5	41.5	46.1	52.5	58.1

注）合併処理浄化槽、単独処理浄化槽の負荷量には、日平均排水量 50 m³ 未満の特定事業場も含まれている。

表 17 指定地域内事業場ごとの COD 負荷量及び平均水質の推移（伊勢湾）（抜粋）

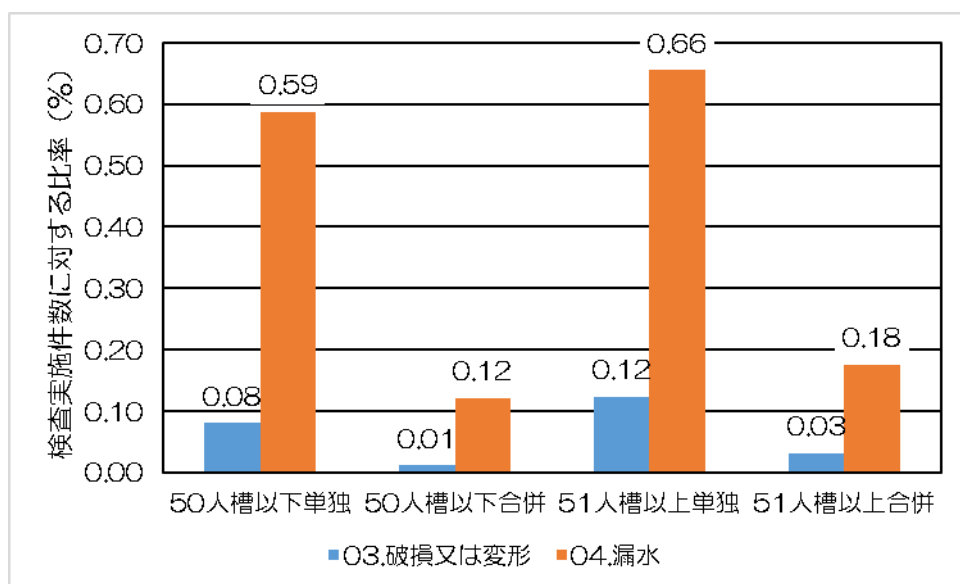
指定地域内事業場		伊勢湾															
		負荷量(t/日)								平均水質(mg/L)							
		S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26
下水処理場 ^(注)		22.8	24.7	25.8	25.4	23.7	26.8	23.9	24.4	15.7	16.7	15.0	14.6	11.3	10.5	9.0	8.8
生活系	合併処理浄化槽	2.8	2.2	2.2	6.0	4.7	3.7	3.1	2.5	20.9	15.0	12.8	19.7	17.5	14.6	14.7	13.5
	単独処理浄化槽	0.2	0.1	0.1	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2	34.7	27.2	40.0	49.4	45.9	30.5	38.8	54.3

注）合併処理浄化槽、単独処理浄化槽の負荷量には、日平均排水量 50 m³ 未満の特定事業場も含まれている。

表 18 指定地域内事業場ごとのCOD負荷量及び平均水質の推移（大阪湾）（抜粋）

指定地域内事業場	大阪湾															
	負荷量(t/日)								平均水質(mg/L)							
	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26	S54	S59	H1	H6	H11	H16	H21	H26
下水処理場 ^(注)	-	-	-	-	-	75.1	66.1	52.5	-	-	-	-	-	11.0	10.0	8.4
生活系																
合併処理浄化槽	-	-	-	-	-	1.1	0.9	0.6	-	-	-	-	-	12.7	14.8	15.3
単独処理浄化槽	-	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-	42.7	64.2	89.3
追加処理場	-	-	-	-	-	0.2	0.1	0.1	-	-	-	-	-	1.0	0.0	0.0

注）合併処理浄化槽、単独処理浄化槽の負荷量には、日平均排水量 50 m³ 未満の特定事業場も含まれている。



注）令和元年度浄化槽の指導普及に関する調査に基づく

図 6 破損又は変形、漏水の指摘状況

表 19 日平均排水量 50 m³ 以上の単独処理浄化槽の COD 負荷量及び平均水質の推移

		H16	H21	H26
東京湾	負荷量 (kg/日)	10	7	0
	平均水質 (mg/L)	18.2	35.2	0.0
	事業場数	11	6	1
伊勢湾	負荷量 (kg/日)	61	40	29
	平均水質 (mg/L)	16.2	15.2	22.1
	事業場数	42	26	22
大阪湾	負荷量 (kg/日)	13	6	1
	平均水質 (mg/L)	26.8	21.4	55.6
	事業場数	4	2	2

出典）発生負荷量等算定調査（環境省）

1-4. 発生負荷量等算定調査における原単位について

発生負荷量等算定調査において、土地系発生源による負荷量は、以下の原単位を用いて算出している（表 20）。

表 20 発生負荷量等算定調査における土地系の負荷量原単位

都道府県名	土地系											
	山林			水田			畑・果樹園			その他		
	負荷量原単位 (g/ha日)			負荷量原単位 (g/ha日)			負荷量原単位 (g/ha日)			負荷量原単位 (g/ha日)		
	COD	T-N	T-P	COD	T-N	T-P	COD	T-N	T-P	COD	T-N	T-P
埼玉県	2.5	19.0	0.50	17.5	76.0	1.00	10.0	76.0	1.00	10.0	19.0	0.50
千葉県	2.5	19.0	0.50	17.5	76.0	1.00	10.0	76.0	1.00	10.0	19.0	0.50
東京都	2.5	19.0	0.50	17.5	76.0	1.00	10.0	76.0	1.00	10.0	19.0	0.50
神奈川県	2.5	19.0	0.50	17.5	76.0	1.00	10.0	76.0	1.00	10.0	19.0	0.50
岐阜県	2.5	19.0	0.50	17.5	76.0	1.00	10.0	76.0	1.00	10.0	19.0	0.50
愛知県	2.5	19.0	0.50	17.5	66.6	0.88	10.0	66.6	0.88	10.0	19.0	0.50
三重県	2.5	19.0	0.50	17.5	76.0	1.00	10.0	76.0	1.00	10.0	19.0	0.50
京都府	2.5	19.0	0.50	17.5	76.0	1.00	10.0	76.0	1.00	10.0	19.0	0.50
大阪府	2.5	7.6	0.50	17.5	76.0	1.00	10.0	76.0	1.00	10.0	14.6	0.50
兵庫県	2.5	19.0	0.50	17.5	76.0	1.00	10.0	76.0	1.00	10.0	19.0	0.50
奈良県	2.5	19.0	0.50	17.5	76.0	1.00	10.0	76.0	1.00	10.0	19.0	0.50
和歌山県	2.5	19.0	0.50	17.5	76.0	1.00	10.0	76.0	1.00	10.0	19.0	0.50
岡山県	2.5	19.0	0.50	17.5	76.0	1.00	10.0	76.0	1.00	10.0	19.0	0.50
広島県	2.5	19.0	0.50	17.5	76.0	1.00	10.0	76.0	1.00	10.0	19.0	0.50
山口県	2.5	19.0	0.50	17.5	76.0	1.00	10.0	76.0	1.00	10.0	19.0	0.50
徳島県	2.5	19.0	0.50	17.5	76.0	1.00	10.0	76.0	1.00	10.0	19.0	0.50
香川県	2.5	19.0	0.50	17.5	76.0	1.00	10.0	76.0	1.00	10.0	19.0	0.50
愛媛県	2.5	19.0	0.50	17.5	76.0	1.00	10.0	76.0	1.00	10.0	19.0	0.50
福岡県	2.5	19.0	0.50	17.5	76.0	1.00	10.0	76.0	1.00	10.0	19.0	0.50
大分県	2.5	19.0	0.50	17.5	76.0	1.00	10.0	76.0	1.00	10.0	19.0	0.50

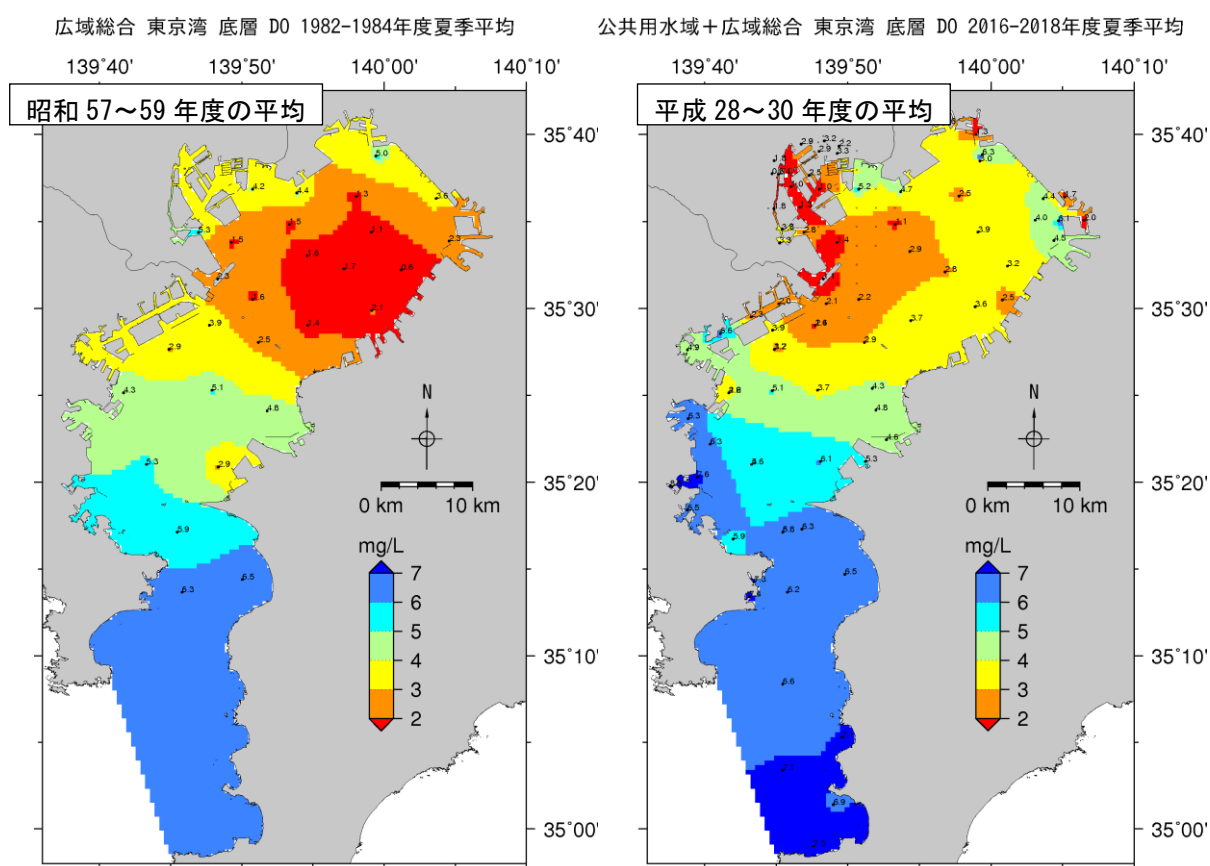
出典）発生負荷量等算定調査（環境省）

1-5. 水環境の現状（底層溶存酸素量、貧酸素水塊、クロロフィル a）について

1-5-1. 東京湾における底層溶存酸素量について

東京湾における底層溶存酸素量の分布について、2 mg/L 以下の、特に濃度の低い領域が縮小しているとの指摘事項に関して、以下のとおり整理した。

昭和 58 年頃と近年の夏季の底層 DO（溶存酸素量）の水平分布図を比較すると、東京湾では、湾奥部の一部で底層 DO 濃度が上昇した水域が見られるものの、2 mg/L 以下の特に濃度の低い水域の面積は大幅に縮小した。一方、湾奥部全体として 4 mg/L 以下の範囲は大きな変化が見られない。



出典) 昭和 57～59 年度は「広域総合水質調査」(環境省)、平成 28～30 年度は「広域総合水質調査」(環境省) 及び「公共用水域水質測定結果」(環境省) の基準点より作成

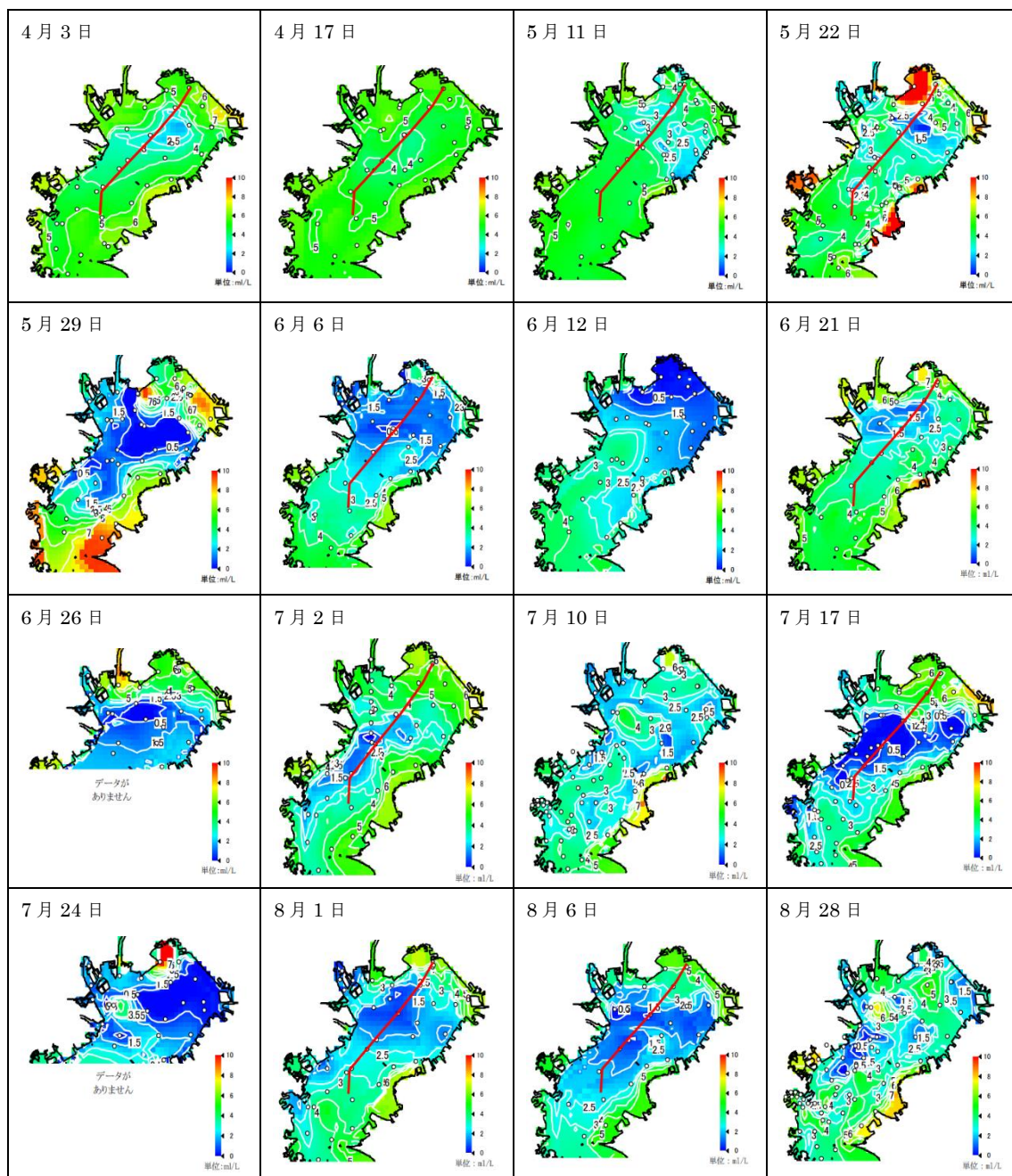
注) 平成 28～30 年度の分布図は、昭和 57～59 年度の分布図に比べて作成に用いた測定点数が多い。また、水質水平分布図の作成における地点間補間については、地点間の内外を問わず、拡散方程式に従った空間補間を行った。

図 7 総量削減開始当時と近年における夏季底層 DO 濃度分布の比較（東京湾）

1-5-2. 東京湾における貧酸素水塊の発生状況について

東京湾における貧酸素水塊の発生状況について、年最大規模が近年縮小傾向にある旨が出典元に記載されているとの指摘事項に関して、以下のとおり整理した。

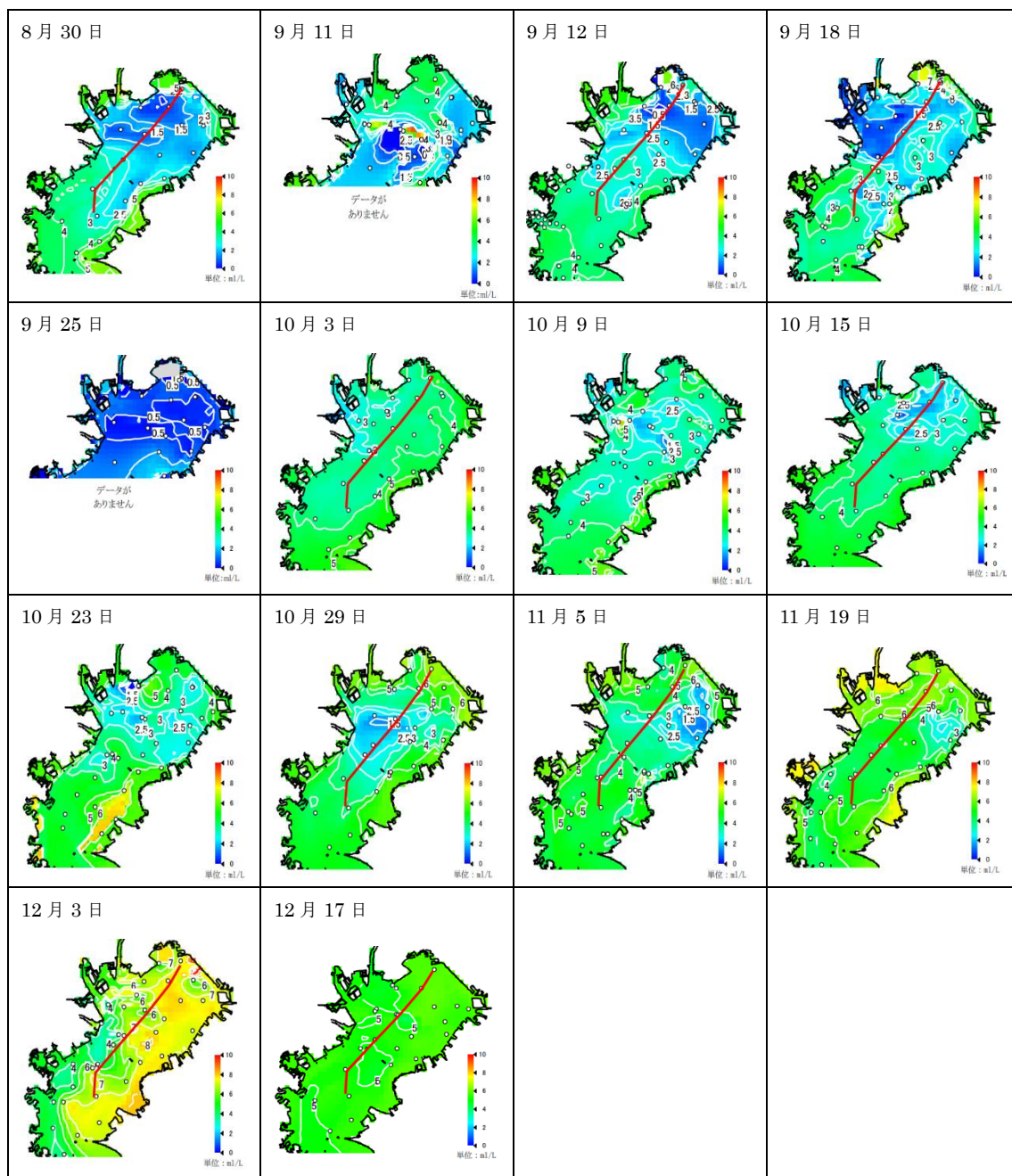
東京湾では関係都県等の調査によって、夏季の底層を中心に大規模な貧酸素水塊の存在が確認されている（図 8）。なお、貧酸素水塊の年最大の規模については、近年、縮小傾向にある（図 9）。



出典) 千葉県水産総合研究センター資料

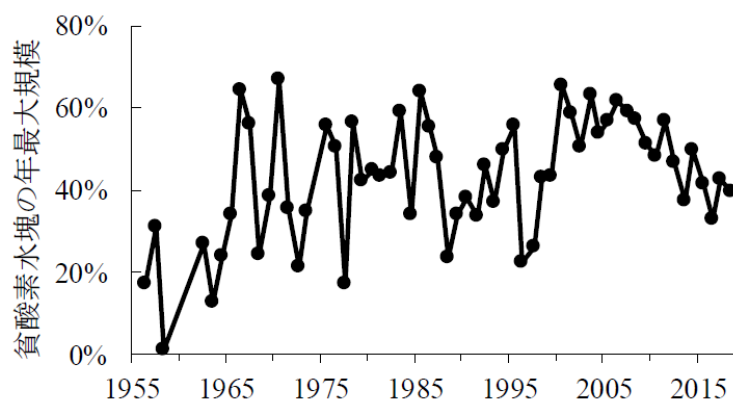
注) 底層溶存酸素量は底上1mの値を示す。

図 8(1) 東京湾底層における貧酸素水塊発生状況（平成 30 年 4 月～8 月）



出典) 千葉県水産総合研究センター資料
 注) 底層溶存酸素量は底上1mの値を示す。

図 8(2) 東京湾底層における貧酸素水塊発生状況 (平成 30 年 8 月～12 月)



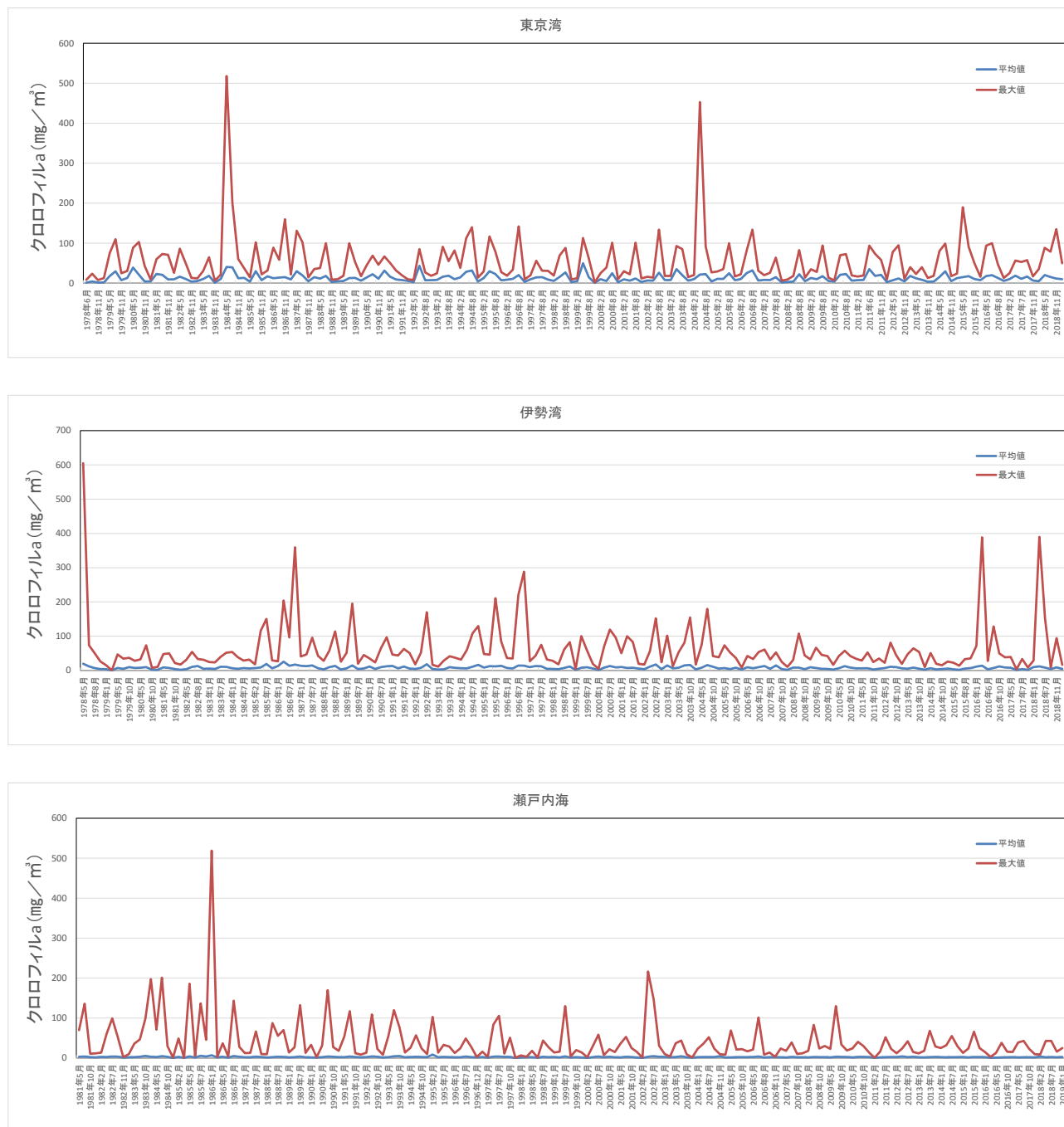
出典) 千葉県水産総合研究センター資料

図 9 東京湾における貧酸素水塊の
年最大規模の経年変化

1-5-3. クロロフィル a の推移

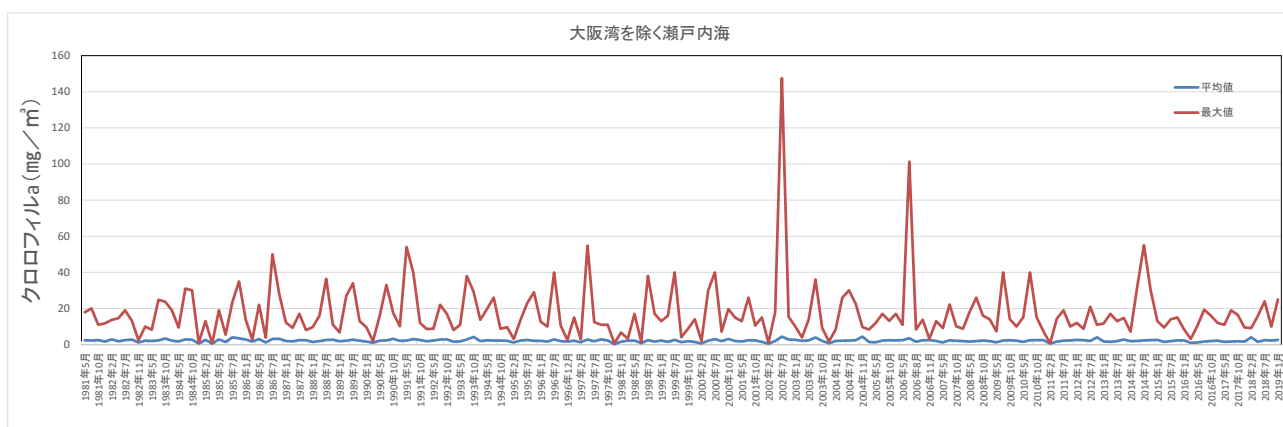
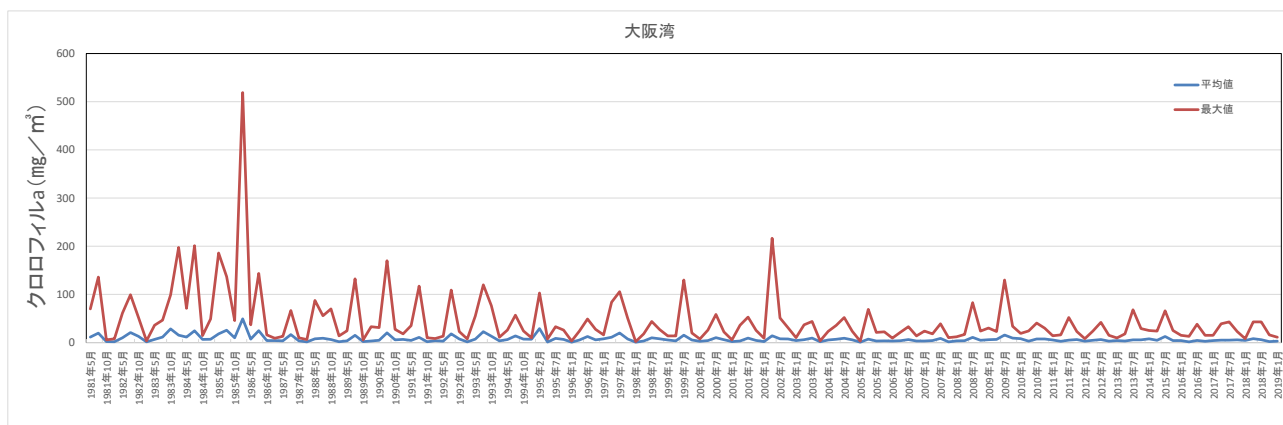
クロロフィル a について、平均濃度の推移だけでなく高濃度のクロロフィル a の出現の有無についても評価すべき、との指摘を踏まえ、広域総合水質調査におけるクロロフィル a の月別の最大値及び平均値の推移を湾別に示した図を以下に示す（図 10）。

瀬戸内海及び大阪湾においては、クロロフィル a 濃度の最大値の低下がみられるが、東京湾及び伊勢湾では、大きな変化はみられない。



出典）広域総合水質調査（環境省）より作成

図 10(1) 指定水域別のクロロフィル a 濃度（月別最大値及び平均値）の推移



出典) 広域総合水質調査(環境省)より作成

図 10(2) 指定水域別のクロロフィル a 濃度(月別最大値及び平均値)の推移

1-6. 各指定水域における漁獲量について¹

各指定水域における漁獲量のデータは次のとおり。

1-6-1. 東京湾

東京湾における漁獲量は、漁業・養殖業生産統計年報から集計した。漁獲量は、神奈川県、東京都、千葉県の県合計漁獲量から、内湾漁業では漁獲機会が少ない種を除き湾内で主に漁獲されている種を抽出し整理した（図 11）。また、魚種によって生活史や食性が異なり、東京湾の水環境との関係性も異なると考えられることから、生息層や食性を踏まえて魚種を分類し、それぞれの漁獲量の変化状況を整理した（図 12）。東京湾における生息層・食性の分類を表 21 に示す。

東京湾の漁獲量の推移をみると、1977 年以降、2015 年まで緩やかに減少を続けている。東京湾における生息層別、食性型別の漁獲量の推移をみると、底生介類、プランクトン食型が優先しており、東京湾の漁獲量は、これらの条件を満たす、はまぐり類、あさり類、さるぼう、その他の貝類といった二枚貝類の漁獲量によって増減している。

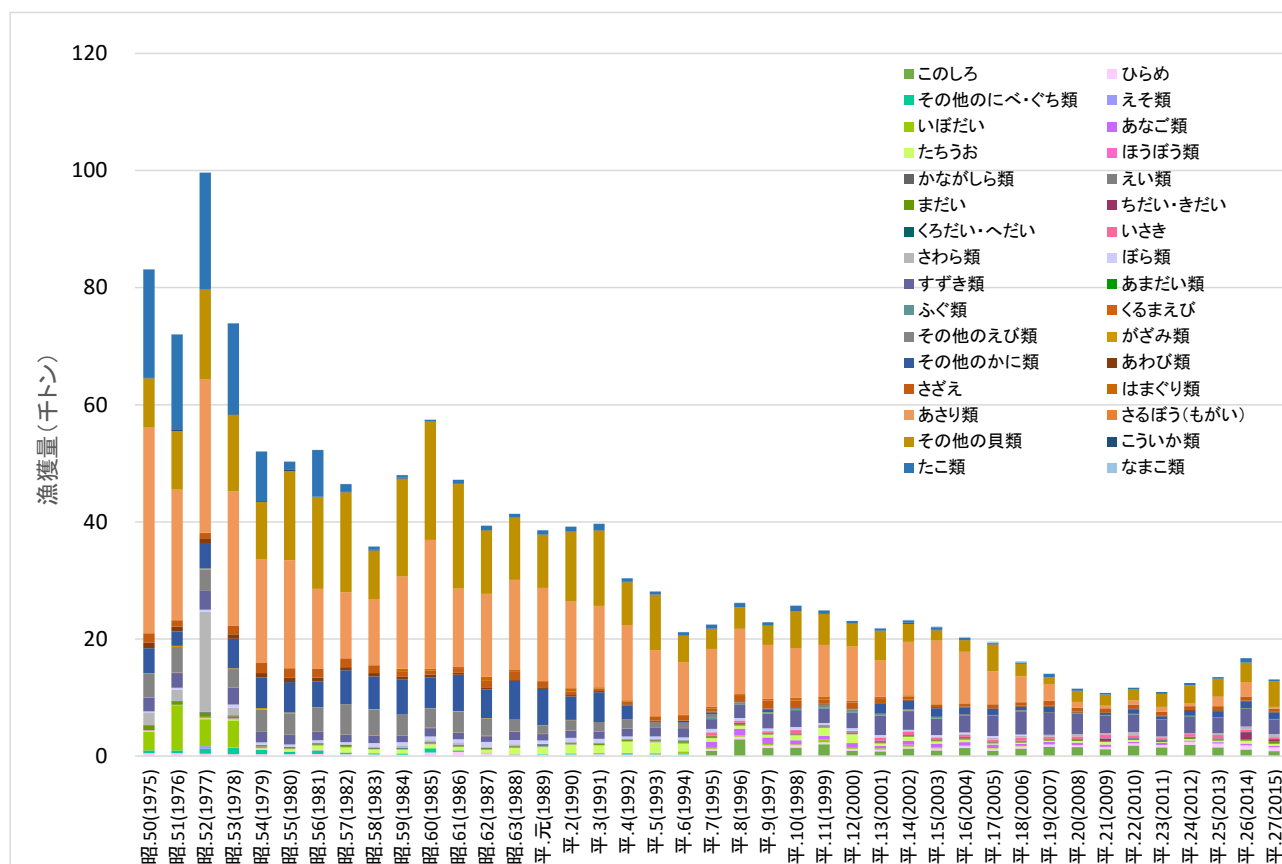
表 21 東京湾における生息層・食性の類型区分

分類	魚種	生息層類型	食性類型
魚類	このしろ	浮魚	プランクトン食型
魚類	ひらめ	底魚	魚食型
魚類	その他のにべ・ぐち類	底魚	ベントス食型
魚類	えそ類	底魚	魚食型
魚類	いばだい	底魚	ベントス食型
魚類	あなご類	底魚	ベントス食型
魚類	たちうお	底魚	魚食型
魚類	ほうぼう類	底魚	ベントス食型
魚類	かながしら類	底魚	ベントス食型
魚類	えい類	底魚	ベントス食型
魚類	まだい	底魚	ベントス食型
魚類	ちだい・きだい	底魚	ベントス食型
魚類	くろだい・へだい	底魚	ベントス食型
魚類	いさき	底魚	ベントス食型
魚類	さわら類	浮魚	魚食型
魚類	ぼら類	浮魚	プランクトン食型
魚類	すずき類	底魚	魚食型
魚類	あまだい類	底魚	ベントス食型
魚類	ふぐ類	底魚	ベントス食型
えび類	くるまえび	底生介類	ベントス食型
えび類	その他のえび類	底生介類	ベントス食型
かに類	がざみ類	底生介類	ベントス食型
かに類	その他のかに類	底生介類	ベントス食型
貝類	あわび類	底生介類	藻食型
貝類	さざえ	底生介類	藻食型
貝類	はまぐり類	底生介類	プランクトン食型
貝類	あさり類	底生介類	プランクトン食型
貝類	さるぼう（もがい）	底生介類	プランクトン食型
貝類	その他の貝類	底生介類	プランクトン食型
いか類	こういか類	底生介類	ベントス食型
たこ類	たこ類	底生介類	ベントス食型
なまこ類	なまこ類	底生介類	ベントス食型

出典）政府統計の総合窓口(e-Stat)「漁業・養殖業生産統計年報 海面漁業魚種別漁獲量累年統計（都道府県別）」を基に作成
 注）魚種別漁獲量については、内湾漁業では漁獲される機会が少ない まぐろ類、かじき類、かつお類、さめ類、さけ・

¹ 漁獲量のデータは、資源量とは同義ではないものの、各指定水域の特性や魚種の特性を考慮の上、参考情報として整理した。

ます類、にしん、いわし類、あじ類、さば類、さんま、ぶり類、ひらめ・かれい類、たら類、ほっけ、めぬけ類、きちじ、はたはた、にぎす類、にべ・ぐち類、はも、しいら類、とびうお類、いかなご類、その他の魚類、いせえび、たらばがに、ずわいがに、べにずわいがに、おきあみ類、ほたてがい、うばがい（ほっき）、するめいか、あかいか、その他のいか、うに類、海産ほ乳類、その他の水産動物類、海藻類は除いた。



出典) 政府統計の総合窓口(e-Stat)「漁業・養殖業生産統計年報 海面漁業魚種別漁獲量累年統計 (都道府県別)」を基に作成

注 1) 漁獲量は、東京湾内だけではなく、太平洋における漁獲を含む値である。

注 2) 魚種別漁獲量については、内湾漁業では漁獲される機会が少ない まぐろ類、かじき類、かつお類、さめ類、さけ・ます類、にしん、いわし類、あじ類、さば類、さんま、ぶり類、ひらめ・かれい類、たら類、ほっけ、めぬけ類、きちじ、はたはた、にぎす類、にべ・ぐち類、はも、しいら類、とびうお類、いかなご類、その他の魚類、いせえび、たらばがに、ずわいがに、べにずわいがに、おきあみ類、ほたてがい、うばがい（ほっき）、するめいか、あかいか、その他のいか、うに類、海産ほ乳類、その他の水産動物類、海藻類は除いた。

図 11 東京湾で漁獲される種の漁獲量の推移

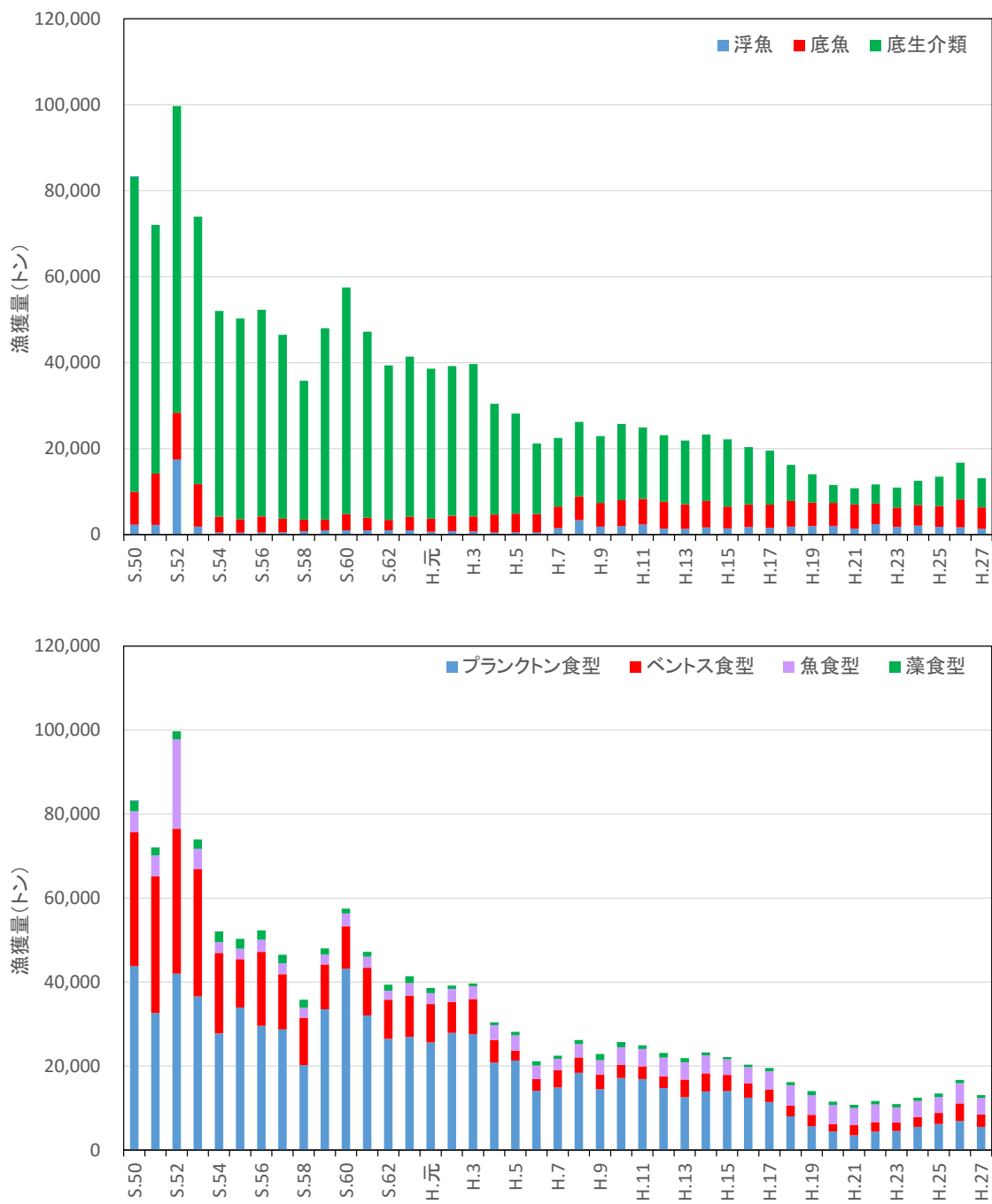


図 12 東京湾における漁獲量の生息層別、食性型別の推移

また、東京湾における主要漁業対象種 27 種の資源・生産の状況を整理したところ、取り上げた 27 種のうち、ナマコ、スズキ、コウイカ、ホンビノス、タチウオ、コノシロ、アユなどを除き多くの種で近年の漁獲は低迷していた（表 22）。東京湾において近年漁獲量の増減が顕著な魚種の漁獲量について、以下のとおり個別に整理した（図 13～16）。

表 22 東京湾における主要漁業対象種の資源・生産の状況

魚種	深刻度	漁獲量（資源量）の増減傾向
アユ	A	汚濁が著しかった 1960 年頃は湾奥に注ぐ河川で稚アユの遡上がみられなくなった。多摩川では 1975 年頃に遡上の兆しがみられ、2006 年から 100 万尾を上回り、現在では数百万尾に達している。
コノシロ	C	まき網、底びき網により漁獲される。千葉県による東京湾の漁獲量は 1970 年代後半～2000 年頃までは 1,500 トン前後、以降も 1,000 トン前後で推移している。
スズキ	C	1970 年代後半に漁獲が多かったが、1980 年代に急速に減少した。1996 年頃再び増加し、まき網、底びき網の重要な漁獲対象魚種になっている。1993、1994 年級群の加入が増加し、以降資源的に高水準が続いている。
マアナゴ	A	筒漁業・底びき網の重要な対象魚種である。漁獲量は 1990 年代前半の 1,200 トン超をピークに漸減し、2000 年代は 500 トンを割り込んでいる。
マコガレイ	A	カレイ類は、1960 年代は 300～1,000 トンの漁獲があったが、無酸素水割合が拡大した数年後に 100～200 トンに激減した。その後、1973 年以降回復し、400～1,500 トンで経過したが、1999 年以降減少し、200 トン台で推移している（千葉県）。このうち、マコガレイ漁獲は 1980 年代以降となる。
マハゼ	A	東京都の漁獲量は 1962 年以前に 100～600 トンみられたが、その後減少していき 100 トンを上回ったのは 1966 年の一度だけであった。そして 2003 年以降は 10 トンを切り、現在は操業を控えている。
イシガレイ	A	カレイ類は、1960 年代は 300～1,000 トンの漁獲があったが、無酸素水割合が拡大した数年後に 100～200 トンに激減した。その後、1973 年以降回復し、400～1,500 トンで経過したが、1999 年以降減少し、200 トン台で推移している（千葉県）。このうち、1970 年代まではイシガレイが主体であり、近年は著しく低迷している。北部でマコガレイの 1／5 程度。
サヨリ	B	東京湾の漁獲量は 1976 年に 1,000 トンの漁獲があったが、2005 年の神奈川県のある東京湾ではわずか 2 トンである。
タチウオ	B	神奈川県のある東京内湾では 1967～1981 年にかけてはほとんど漁獲が見られない。その後漁獲量は 50～150 トンの間で変動を繰り返している。
ウナギ	A	東京湾の漁獲量は 1941 年に 400 トンを超えた。1950 年から 1960 年まで 50 トン前後で推移していたが 1970 年以降年々減少した。現在は中川河口域で 1 ケ統のみが残り、漁獲量は 200～300 キロ程度と推定される。
アオギズ	C	絶滅したものと考えられる。
シラウオ	C	絶滅したものと考えられる。
アサリ	A	東京湾のアサリ漁獲量のほとんどを占めている千葉県では、1960 年～1970 年代の埋立による漁場喪失により 1966 年の約 8 万トンから 1979 年には 2 万トンを割り込んだ。さらにその後も減少傾向であり、1994 年には 1 万トンを割り込み、さらに 2008 年以降は 1,000 トンを割り込んでいる深刻な状況である。
トリガイ	B	1982 年以降の漁獲データがあり、1988 年までは変動が大きいものの 300～4,000 トンの漁獲があったが、以降ほとんど漁獲がみられなくなった。1996 年以降再び漁獲されるようになり、変動が大きい、6～200 トンの漁獲で推移している。
ハマグリ	A	1960 年前後には東京湾で約 3,000～8,000 トンの漁獲があった。しかし、1965 年を境に漁獲量は減少し、1968 年には 1,000 トンを下回り、1975 年以降は漁獲がほとんど見られていない。
クルマエビ	A	千葉県における東京湾の漁獲量は、1960 年代前半までは 100 トン以上の漁獲がみられたが、その後著しく減少し、1970 年代は 40 トン前後、1980 年代～1990 年代前半は 20 トン前後となり、その後さらに減少し、10 トン以下となった。
シャコ	A	神奈川県のある底びき網の最重要種である。神奈川県のある漁獲量は 1989 年の 1,080 トンをピークに 2005 年の 57 トンまで激減している。2005 年以降、禁漁しているが本格的な資源回復傾向はみられない。

コウイカ	C	1959年には240トン漁獲されていたが、その後減少し、1970年代～1990年代前半は漁獲が低迷した。2000年前後から南部で増加しており、新たな重要魚種のひとつとなった。
ナマコ	B	近年、漁業資源としての重要性がにわかに関心が高まっている。神奈川県の大磯湾の漁獲量は、2000年に10トン未満であったが、2006年には約120トンへと急増している。
ノリ	A	ノリ養殖の経営体数は1960年代以降長期的に継続して減少している。これに対し、生産枚数は2000年代前半まではほぼ年間4～7億枚を維持していた。すなわちこの間養殖技術の改良によって、1経営体当たりの生産枚数は3倍以上に増加した。しかし、2000年代半ば以降、1経営体当たりの生産枚数が減少するとともに、のり単価が低下している。
ホンビノス	C	1990年代に東京湾で発見された外来種である。近年、東京湾の湾奥部を中心に生息を広げ、アサリ漁獲量の減少とともに漁獲量は増加しており、2011年には千葉県の北部域では約700トンの漁獲がある。
ミルクイ	B	潜水器の対象種。近年は漁獲量が減少している。
シバエビ・サルエビ	A	底びき網の対象種。近年は、漁獲は減少傾向。
マダコ	B	神奈川県の大磯湾における漁獲量は年変動が見られるが、1991年の317トンをピークとして減少し、2003年～2005年は年間50トンを割り込んでいる。
アカガイ	A	1969年以降のデータしかないが、1969年に5,000トン漁獲された後、減少し続け、1980年以降では10トンを下回るようになった。1990年代に数年間10トンの漁獲がみられたが、その後も低迷している。（千葉県）
タイラギ	A	潜水器の対象種。トリガイ同様数年おきに稚貝の発生がみられるが、漁獲サイズまで複数年かかるため、漁獲対象にならない。
ガザミ類	A	（神奈川県）大磯湾では、1973年～1986年にかけては年間3.5～13トンの漁獲がみられたが、その後減少し、1990年以降は年間漁獲量が2トンを下回る年が多くなっている。 （千葉県）1963年までは50～140トンの漁獲がみられたが、1964年～1972年は10トン未満の漁獲が続いた。1973～1986年に再び漁獲がみられ、15～200トンで推移したが、1987年以降はほぼ10トン以下で推移している。

出典)「江戸前の復活！東京湾の再生をめざして」平成25年3月中央ブロック水産業関係研究開発推進会議東京湾研究会資料を基に作成

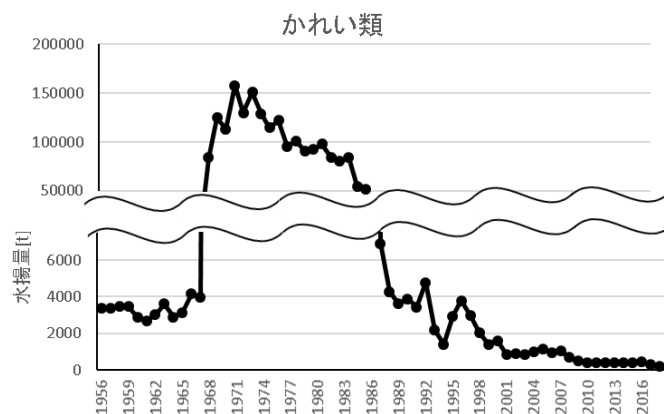
注) 深刻度は、A>B>Cの順で、資源状態・生活史破壊の程度が深刻であることを示す。



注) 漁獲量は、東京湾だけでなく太平洋における漁獲を含む値である。

出典) 農林水産統計より作成

図 13 東京湾で漁獲される魚種別漁獲量の推移（あなご類）



注) 漁獲量は、東京湾内だけでなく太平洋における漁獲を含む値である。
出典) 農林水産統計より作成

図 14 東京湾で漁獲される魚種別漁獲量の推移（かれい類）



注) 漁獲量は、東京湾内だけでなく太平洋における漁獲を含む値である。
出典) 農林水産統計より作成

図 15 東京湾で漁獲される魚種別漁獲量の推移（スズキ）



注) 漁獲量は、東京湾内だけでなく太平洋における漁獲を含む値である。
出典) 農林水産統計より作成

図 16 東京湾で漁獲される魚種別漁獲量の推移（タチウオ）

1-6-2. 伊勢湾

伊勢湾における漁獲量は、漁業・養殖業生産統計年報から集計した。漁獲量は、愛知県、三重県の県合計漁獲量から、内湾漁業では漁獲機会が少ない種を除き湾内で主に漁獲されている主な種を抽出し整理した（図 17）。また、魚種によって生活史や食性が異なり、伊勢湾の水環境との関係性も異なると考えられることから、生息層を踏まえて魚種を分類し、それぞれの漁獲量の変化状況を整理した（図 18）。伊勢湾における生息層・食性の分類を表 23 に示す。

伊勢湾の漁獲量の推移をみると、1980 年に約 220t のピークとなり、増減を繰り返しながら緩やかに減少した後、1994 年に大きく減少した。1994 年以降 2016 年までは増減を繰り返しながら緩やかに増加している。伊勢湾における生息層別、食性型別の漁獲量の推移をみると、浮き魚およびプランクトン食型が優先しており、漁獲量は、これらの条件を満たす、まいわし、うるめいわし、かたくちいわし、しらすといったイワシの仲間の漁獲量によって増減している。

表 23 伊勢湾における生息層・食性の類型区分

分類	魚種	生息層類型	食性類型
魚類	まいわし	浮魚	プランクトン食型
魚類	うるめいわし	浮魚	プランクトン食型
魚類	かたくちいわし	浮魚	プランクトン食型
魚類	しらす	浮魚	プランクトン食型
魚類	ひらめ	底魚	魚食型
魚類	かれい類	底魚	ベントス食型
魚類	いかなご類	浮魚	プランクトン食型
かに類	がざみ類	底生介類	ベントス食型
かに類	その他のかに類	底生介類	ベントス食型
貝類	あわび類	底生介類	藻食型
貝類	さざえ	底生介類	藻食型
貝類	はまぐり類	底生介類	プランクトン食型
貝類	あさり類	底生介類	プランクトン食型
貝類	さるぼう（もがい）	底生介類	プランクトン食型
貝類	その他の貝類	底生介類	プランクトン食型
たこ類	たこ類	底生介類	ベントス食型

出典) 政府統計の総合窓口(e-Stat)「漁業・養殖業生産統計年報 海面漁業魚種別漁獲量累年統計(都道府県別)」を基に作成
 注) 魚種別漁獲量については、内湾漁業では漁獲される機会が少ない種や湾の外側の方が漁獲量が多いと考えられる種である、まぐろ類、かじき類、かつお類、さめ類、あじ類、さば類、さんま、ぶり類、にぎす類、たちうお、たい類、いさき、さわら類、すずき類、あまだい類、ふぐ類、いせえび、するめいか、うに類、その他の水産動物類、海藻類は除いた。

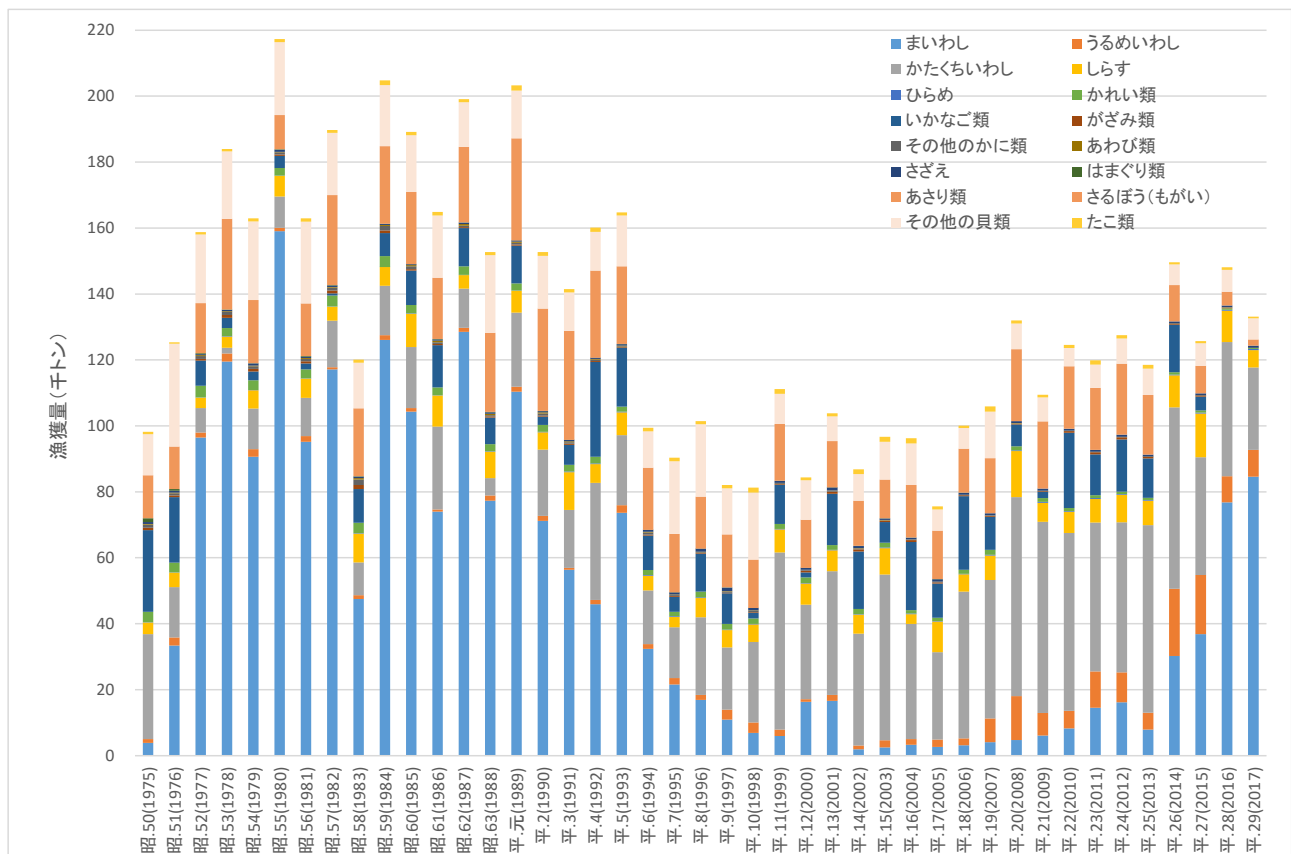


図 17 伊勢湾で漁獲される種の漁獲量の推移

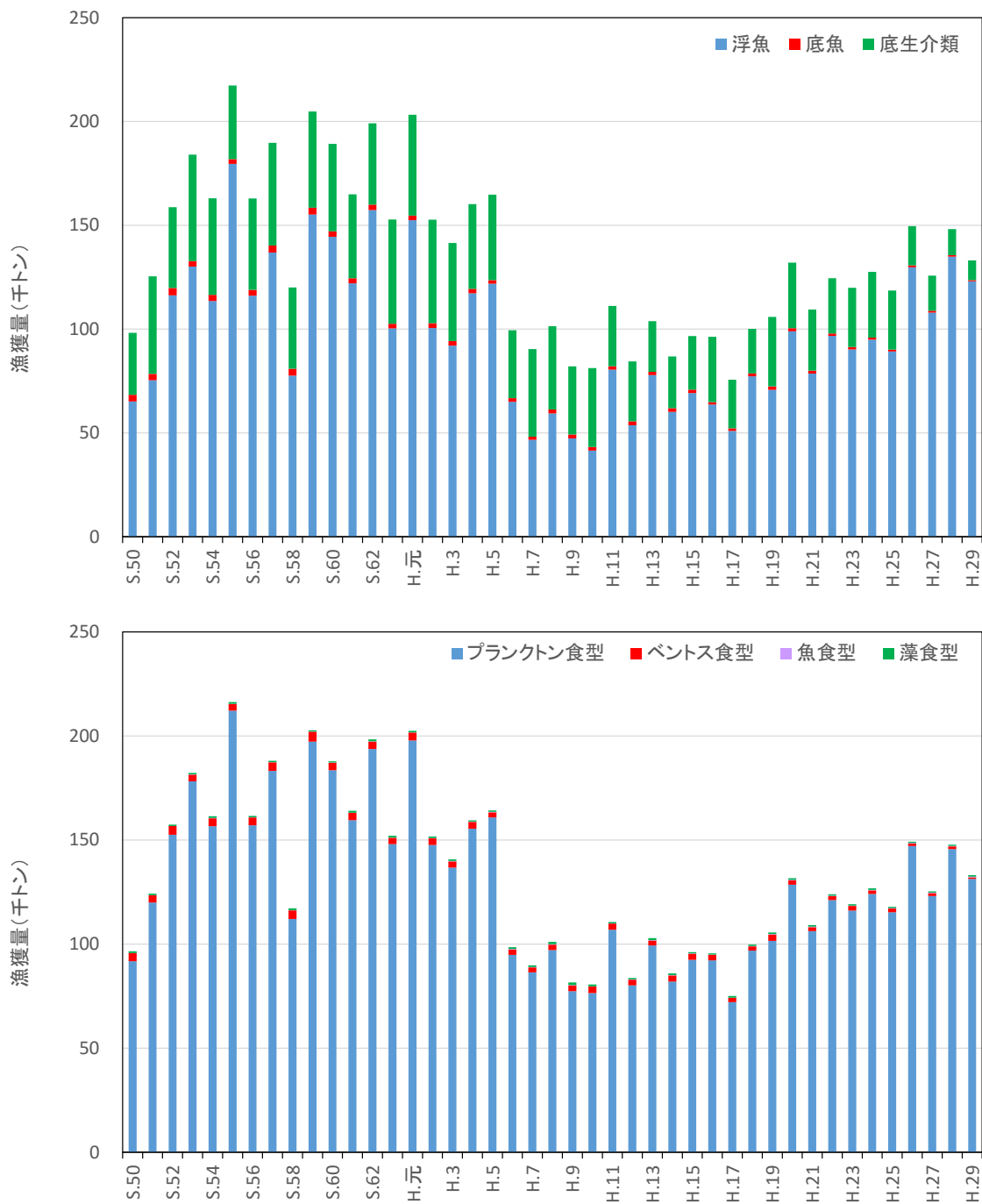
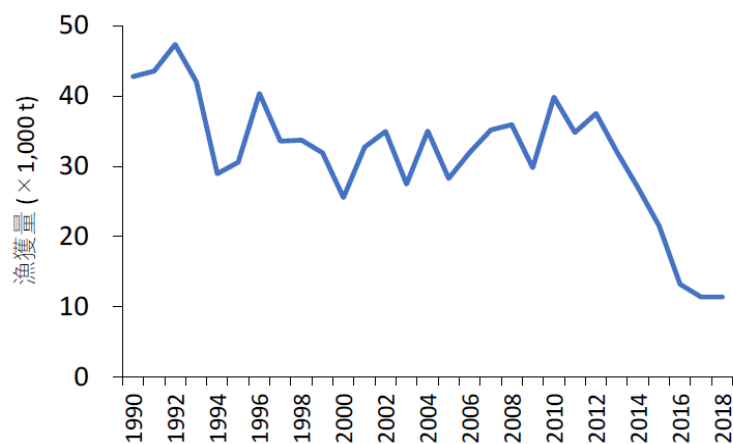


図 18 伊勢湾における漁獲量の生息層別、食性型別の推移

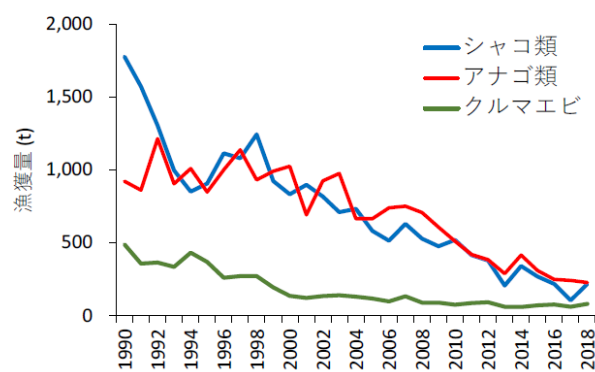
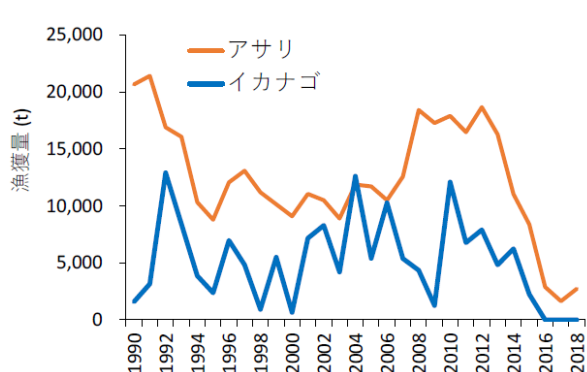
また、伊勢湾において近年漁獲量の増減が顕著な魚種の漁獲量について、以下のとおり個別に整理した（図 19～23）。



魚種：ヒラメ、カレイ類、タチウオ、マダイ、クロダイ、サワラ類、ボラ類、スズキ、イカナゴ、トラフグ、コノシロ、アイナメ、アナゴ類、サヨリ、キス、コチ、イボダイ、クルマエビ、ヨシエビ、アカエビ、ガザミ類、コウイカ、タコ類、ナマコ類、シャコ類、アサリ類、ハマグリ、アワビ、サザエ、アカガイ、バカガイ、トリガイ、ナミガイ、その他貝類
（来遊性が強く、資源変動の大きいイワシ類、アジ類、サバ類を除く）

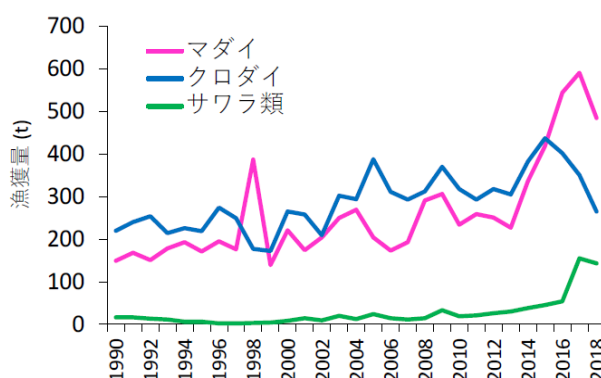
出典）農林水産統計、愛知県水産試験場調べ

図 19 愛知県における生活史が内湾と関係のある魚種の総漁獲量



出典）農林水産統計、愛知県水産試験場調べ

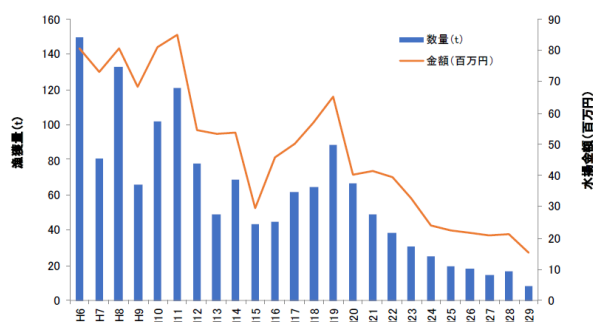
図 20 愛知県における近年漁獲量が減少している魚種の漁獲量の推移



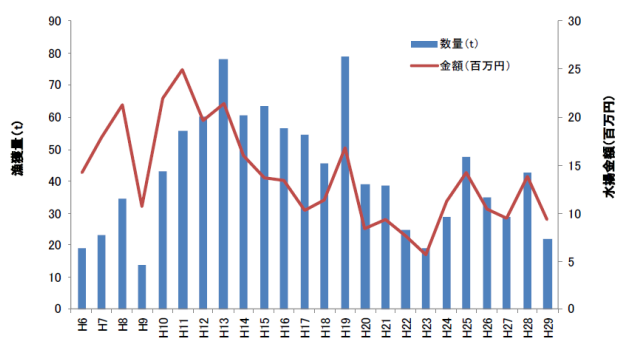
出典）農林水産統計、愛知県水産試験場調べ

図 21 愛知県における近年漁獲量が増加している魚種の漁獲量の推移

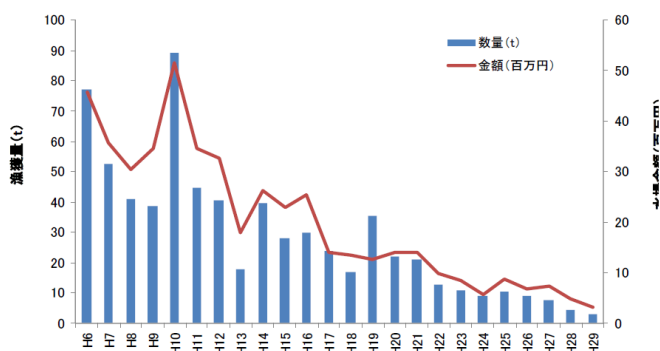
マアナゴの漁獲量と金額の推移



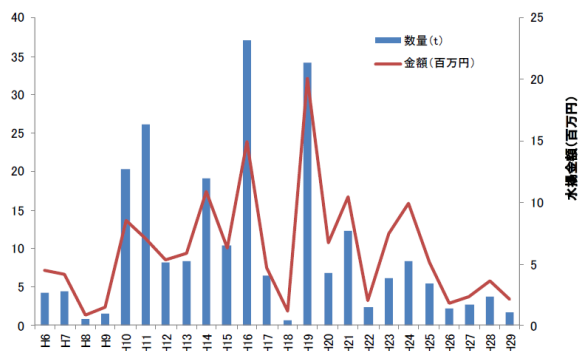
スズキの漁獲量と金額の推移



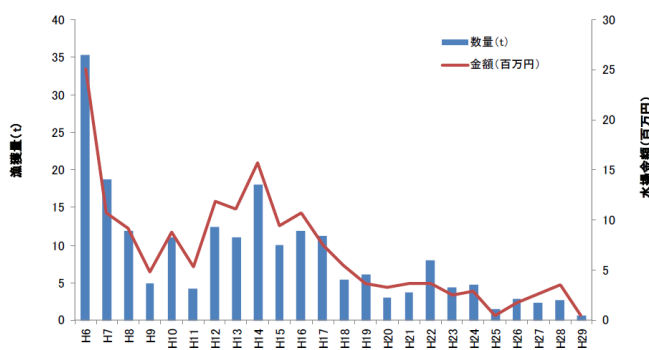
サルエビの漁獲量と金額の推移



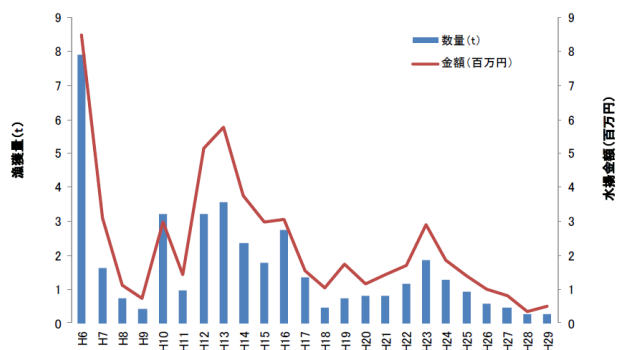
マダコの漁獲量と金額の推移



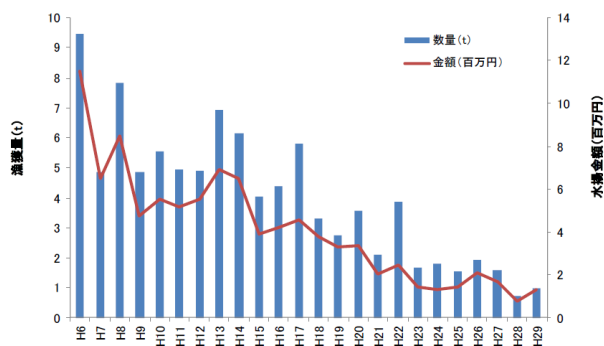
シャコの漁獲量と金額の推移



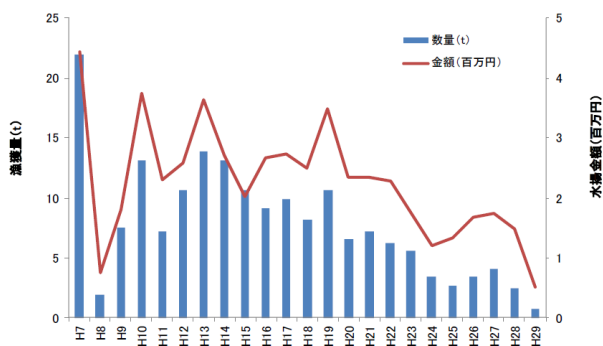
ガザミの漁獲量と金額の推移



カレイの漁獲量と金額の推移



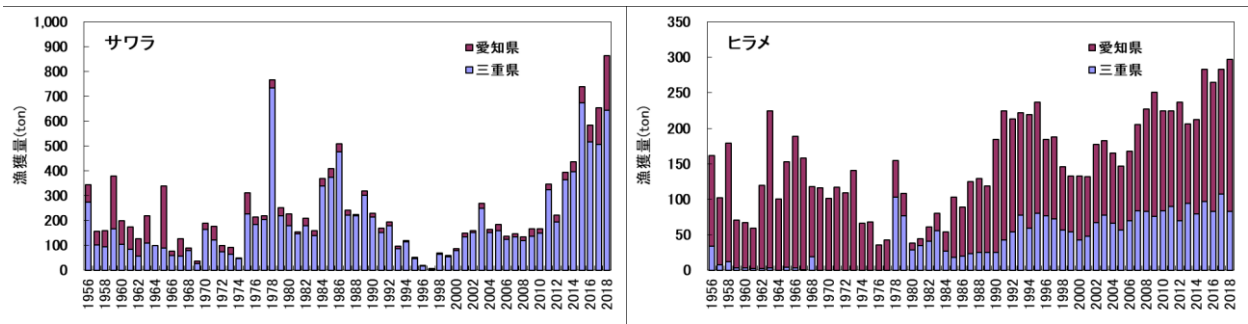
シロギスの漁獲量と金額の推移



出典) 三重県水産研究所資料

注) A 漁協は、伊勢湾の三重県側で最大の底引き網漁の拠点である。

図 22 伊勢湾内の A 漁協における漁獲量と水揚金額の推移



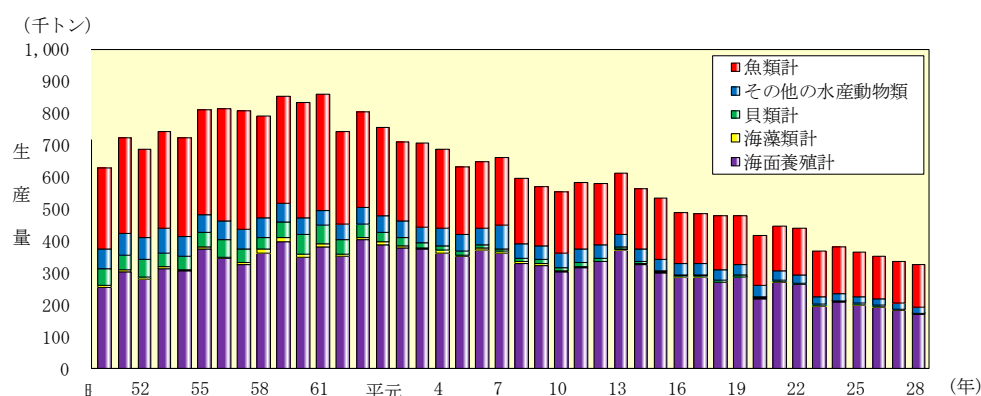
出典) 農林水産統計

図 23 伊勢湾における近年漁獲量が増加している魚種の漁獲量の推移

1-6-3. 瀬戸内海

瀬戸内海における昭和 50 年（1975 年）からの漁業生産量及び魚種別生産量の推移を図 24 及び図 25 に示す。

瀬戸内海における漁業生産量及び海面漁業生産量は、昭和 60 年（1985 年）頃に最大となり、その後減少する傾向にある。魚種別には「まいわし」、「かたくちいわし」、「いかなご」、「あさり類」の生産量が昭和 60 年代（1985～1995 年）から急減している。海面養殖業生産量は昭和 63 年（1988 年）頃までは増加傾向にあり、近年では、概ね横ばいに推移している。



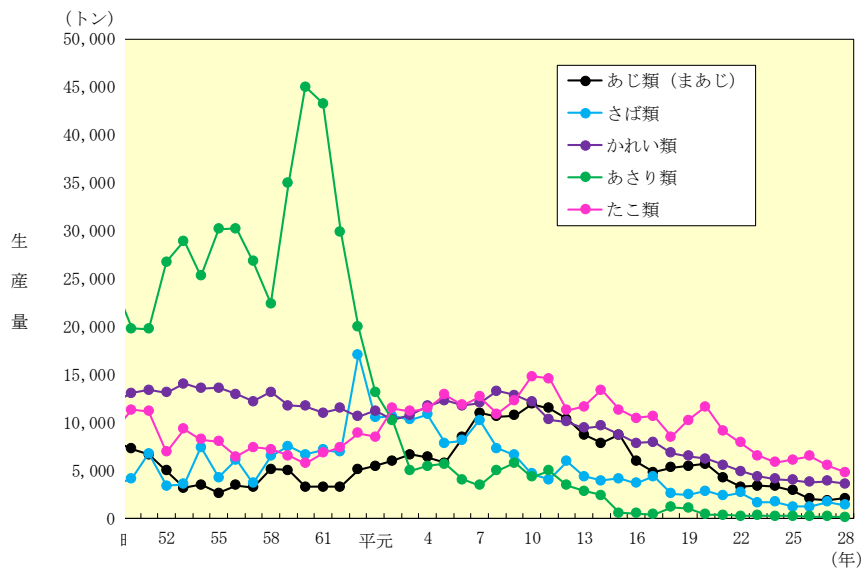
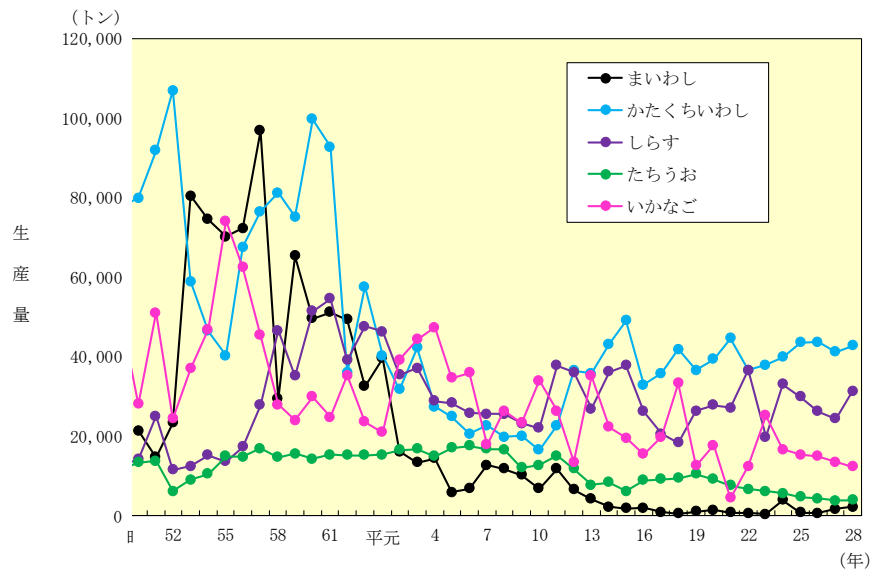
出典) 平成17年以前：「瀬戸内海区及び太平洋南区における漁業動向」（農林水産省中国四国農政局統計部）
 平成18年、19年：農林水産省近畿農政局統計部資料
 農林水産省中国四国農政局統計部資料
 農林水産省九州農政局統計部資料
 平成20年以降：農林水産省資料

注1) 平成23、24、26～28年の「海面養殖計」は兵庫県の秘匿措置分を含まない値である。

注2) 平成25年の「海面養殖計」は兵庫県と和歌山県の秘匿措置分を含まない値である。

図 24 瀬戸内海における漁業生産量の推移²

² 公益社団法人瀬戸内海環境保全協会(2020): 令和元年度瀬戸内海の環境保全 資料集。



出典) 平成17年以前:「瀬戸内海区及び太平洋南区における漁業動向」(農林水産省中国四国農政局統計部)

平成18年、19年:農林水産省近畿農政局統計部資料

農林水産省中国四国農政局統計部資料

農林水産省九州農政局統計部資料

平成20年以降:農林水産省資料

注1)「あじ類(まあじ)」は、昭和52年までは「あじ類」、昭和53年以降は「まあじ」となっている。

注2)平成20年の「まいわし」は、広島県の秘匿措置分を含まない値である。

注3)平成21年の「まいわし」、「かたくちいわし」は、岡山県の秘匿措置分を含まない値である。

注4)平成24年の「あじ類(まあじ)」、「さば類」は、岡山県の秘匿措置分を含まない値である。

注5)平成25年の「さば類」は、岡山県の秘匿措置分を含まない値である。

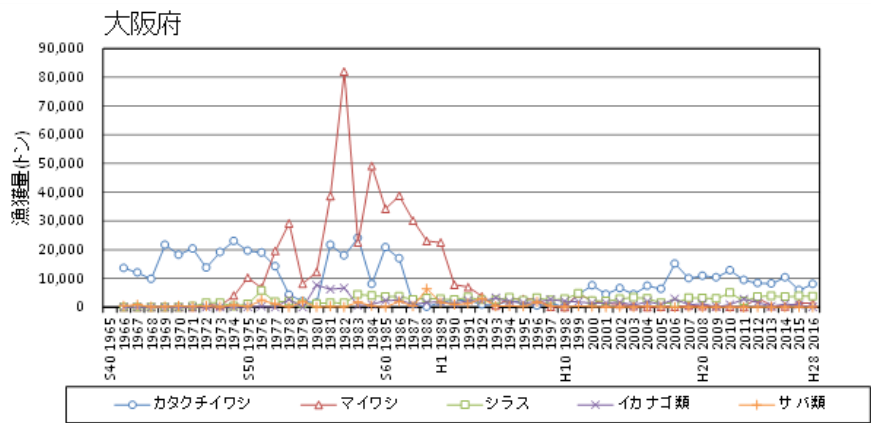
注6)平成27年の「しらす」は、徳島県の秘匿措置分を含まない値である。

注7)平成28年の「しらす」は、徳島県及び香川県の秘匿措置分を含まない値である。

図25 瀬戸内海における魚種別生産量の推移³

³ 公益社団法人瀬戸内海環境保全協会(2020):令和元年度瀬戸内海の環境保全 資料集。

また、大阪湾における主要な魚種として、以下のとおり漁獲量の推移を整理したところ、交流型のカタクチイワシ・シラス、マイワシの漁獲が多く、漁獲量の変動はこれらの影響が大きかった（図 26）。



出典)「瀬戸内海における今後の環境保全の方策の在り方について(答申)」令和2年3月中央環境審議会

図 26 大阪湾における漁獲量合計上位 5 種の漁獲量の推移

1-7. 気候変動による水質影響

中央環境審議会地球環境部会気候変動影響評価等小委員会では、気候変動による影響をとりまとめた「気候変動影響評価報告書」を作成中である。

現時点でまとめられた「気候変動影響評価報告書（総説）（案）」及び「気候変動影響評価報告書（詳細）（案）」（令和2年9月9日中央環境審議会地球環境部会気候変動影響評価等小委員会（第21回）資料、環境省）より主に水質に係る気候変動として、降水量、海水温、台風及び自然生態系の現状や影響について、以下に抜粋する。

「気候変動影響評価報告書（総説）（案）」

第2章. 日本における気候変動の概要

2.2 気候変動の観測結果と将来予測

（4）降水量

2）極端現象 降水量

i）観測結果

- ・ 気象庁の全国 51 観測地点⁴で1901～2019年の期間に観測された降水量のデータを用いて計算した日降水量100mm以上及び200mm以上の大雨の日数は、いずれも増加している（信頼度水準 99%で統計的に有意）（図 27）。1地点あたりの年間日数の増加率は、それぞれ100年あたり0.29日、0.05日である。

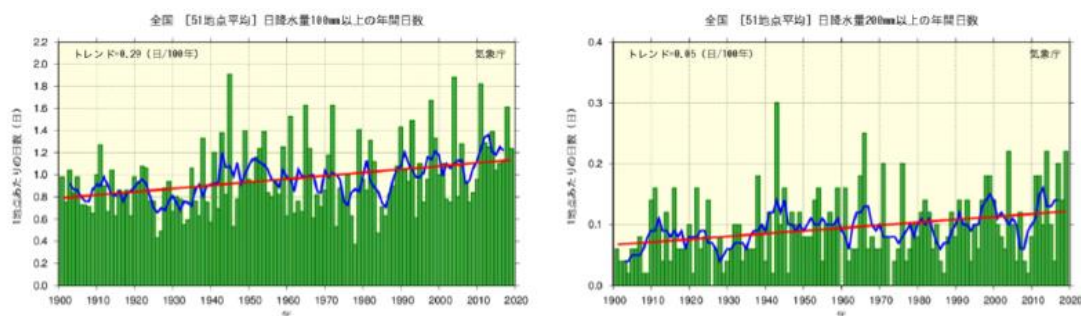


図 27 日降水量 100 mm 以上(左図)及び 200 mm 以上(右図)の年間日数の経年変化
(1901～2019 年)

棒グラフ（緑）は各年の年間日数の合計を有効地点数の合計で割った値（1地点あたりの年間日数）を示す。太線（青）は5年移動平均値、直線（赤）は長期変化傾向（この期間の平均的な変化傾向）を示す。

- ・ 気象庁の全国約1,300地点のアメダス観測地点で1976～2019年の期間で観測された降水量のデータを用いて計算した1時間降水量50mm以上及び80mm以上の短時間強雨⁵の年間発生回数は、いずれも増加している（信頼度水準 99%で統

⁴ 気象庁の観測地点のうち、観測データの均質性が長期間継続している以下の51地点:旭川、網走、札幌、帯広、根室、寿都、秋田、宮古、山形、石巻、福島、伏木、長野、宇都宮、福井、高山、松本、前橋、熊谷、水戸、敦賀、岐阜、名古屋、飯田、甲府、津、浜松、東京、横浜、境、浜田、京都、彦根、下関、呉、神戸、大阪、和歌山、福岡、大分、長崎、熊本、鹿児島、宮崎、松山、多度津、高知、徳島、名瀬、石垣島、那覇

⁵ 1時間降水量50mm以上の雨は「非常に激しい雨(滝のように降る)」、同じく80mm以上の雨は「猛烈な雨(息苦しくなるような圧迫感がある。恐怖を感じる)」と表現される。いずれも、傘は全く役に立たず、水しぶきであたり一面が白っぽくなり、視界

計的に有意) (図 28)。1,300 地点あたりの年間発生回数の増加率は、それぞれ 10 年あたり 28.9 回、2.7 回である。また、日降水量 200mm 以上の大雨の年間日数は増加しているとみられ (信頼度水準 90%で統計的に有意)、日降水量 400mm 以上の大雨の年間日数には増加傾向が現れている (信頼度水準 95%で統計的に有意) (図 29)。

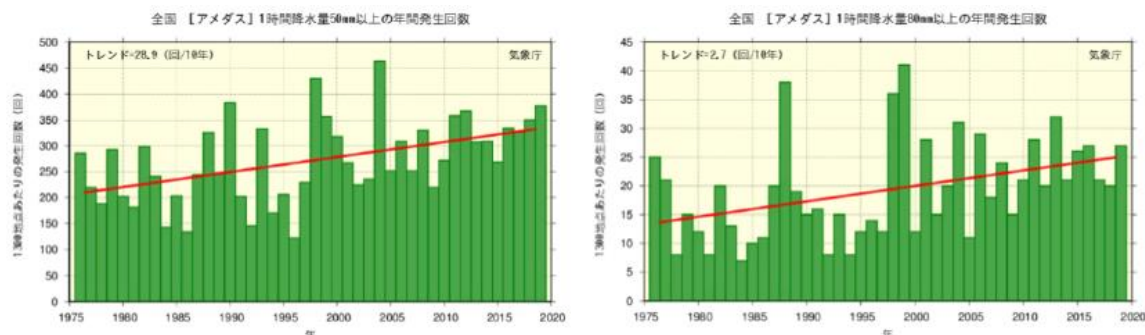


図 28 時間降水量 50 mm 以上(左図)及び 80 mm 以上(右図)の年間発生回数の経年変化 (1976～2019 年)

棒グラフ (緑) は各年の年間発生回数を示す (全国のアメダスによる観測値を 1,300 地点あたりに換算した値)、直線 (赤) は長期変化傾向 (この期間の平均的な変化傾向) を示す。

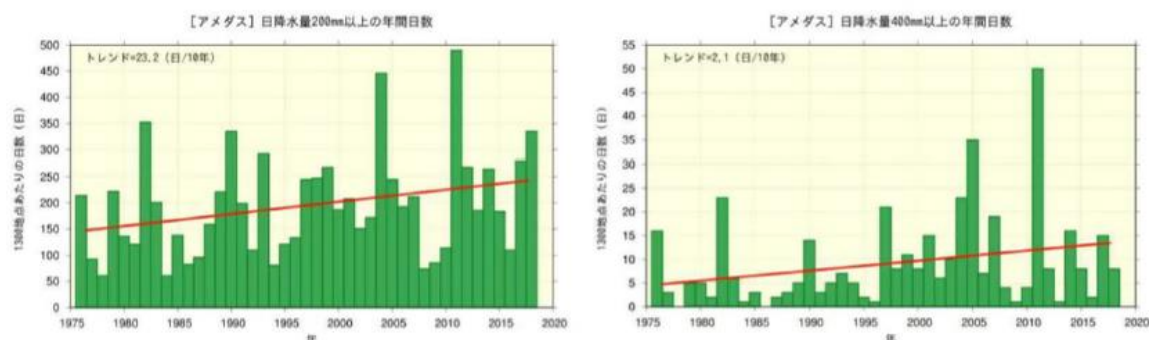


図 29 日降水量 200 mm 以上(左図)及び 400 mm 以上(右図)の年間日数の経年変化 (1976～2018 年)

棒グラフ (緑) は各年の年間日数を示す (全国のアメダスによる観測値を 1,300 地点あたりに換算した値)、直線 (赤) は長期変化傾向 (この期間の平均的な変化傾向) を示す。

- ・ 全国のアメダス地点のうち 1976～2019 年の期間で観測が継続している地点 (640 地点) における年最大日降水量の基準値との比には、増加傾向が現れている (信頼度水準 95%で統計的に有意) (図 30)。増加率は 10 年あたり 3.9%である。

が悪くなるような雨の降り方である。

(出典: 気象庁 HP「雨の強さと降り方」https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/amehyo.html)



図 30 全国の年最大日降水量の基準値との比の経年変化(1976～2019 年)

棒グラフは全国のアメダス地点のうち 1976～2019 年の期間で観測が継続している地点（640 地点）の基準値との比（％）を平均した各年の値を示す。直線（赤）は長期変化傾向（この期間の平均的な変化傾向）を示す。基準値は 1981～2010 年の平均値。

- ・ 気象庁の全国 51 観測地点で 1901～2019 年の期間に観測された降水量のデータによると、1.0mm 以上の降水が観測される日数は減少している（信頼度水準 99% で統計的に有意）。減少率は 100 年あたり 9.5 日である（図 31）。

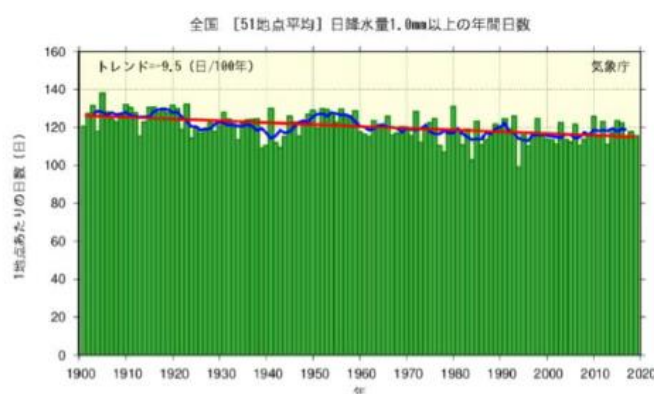


図 31 日降水量 1.0 mm 以上の年間日数の経年変化(1901～2019 年)

ii) 将来予測

- ・ 大雨（日降水量 100mm 以上、200mm 以上）の発生頻度は、RCP8.5 シナリオ、RCP2.6 シナリオいずれの下でも、21 世紀末（2076～2095 年平均）には、20 世紀末（1980～1999 年平均）に対して、全国平均では有意に増加すると予測される（確信度が高い）。
- ・ 全国平均の発生日数は、RCP8.5 シナリオで日降水量 100mm 以上の大雨では 1.4 倍以上、日降水量 200mm 以上の大雨では 2 倍以上となる。
- ・ RCP2.6 シナリオでは、日降水量 100mm 以上の大雨では 1.1 倍以上、日降水量 200mm 以上の大雨では 1.5 倍以上に増加する。
- ・ その一方で、地域単位の予測は不確実性が大きい。

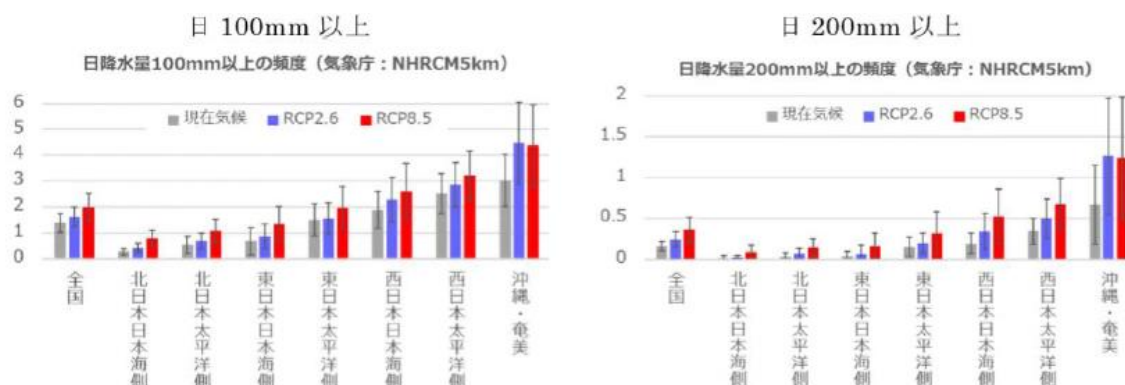


図 32 気象庁の予測による全国及び地域別の日降水量 100 mm 以上(左)、
日降水量 200 mm 以上(右)の発生日数(1地点あたり。単位: 日/年)

グラフはそれぞれの大雨の発生回数を棒グラフ、年々変動の幅を細い縦線で示したもの。棒グラフの色は灰色が現在気候、赤が RCP8.5 シナリオ、青が RCP2.6 シナリオの将来気候に対応する。ただし、現在気候にはバイアス補正を加えているものの完全にバイアスが除去されている訳ではなく、観測値とは値が異なることに注意。

日降水量 100mm 以上				日降水量 200mm 以上			
地域	現在気候	RCP2.6	RCP8.5	地域	現在気候	RCP2.6	RCP8.5
全国	1.4±0.4	1.6±0.4	2.0±0.5	全国	0.2±0.1	0.2±0.1	0.4±0.2
北日本日本海側	0.3±0.1	0.4±0.2	0.8±0.3	北日本日本海側	0.0±0.0	0.0±0.0	0.1±0.1
北日本太平洋側	0.5±0.3	0.7±0.3	1.1±0.5	北日本太平洋側	0.0±0.0	0.1±0.1	0.1±0.1
東日本日本海側	0.7±0.5	0.9±0.5	1.4±0.7	東日本日本海側	0.0±0.1	0.1±0.1	0.2±0.2
東日本太平洋側	1.5±0.6	1.6±0.6	2.0±0.8	東日本太平洋側	0.2±0.1	0.2±0.1	0.3±0.3
西日本日本海側	1.9±0.7	2.3±0.9	2.6±1.1	西日本日本海側	0.2±0.1	0.3±0.2	0.5±0.3
西日本太平洋側	2.5±0.8	2.9±0.9	3.2±1.0	西日本太平洋側	0.3±0.2	0.5±0.2	0.7±0.3
沖縄・奄美	3.0±1.0	4.5±1.6	4.4±1.6	沖縄・奄美	0.7±0.5	1.3±0.7	1.2±0.7

表 24 気象庁の予測による全国及び地域別の日降水量 100 mm 以上(左)、
日降水量 200 mm 以上(右)の発生日数(平均値及び年々変動の幅)

現在気候、将来気候(RCP2.6 シナリオ、RCP8.5 シナリオ)のそれぞれについて「発生頻度±年々変動の幅」の形で示し、現在気候と将来気候の差が信頼度水準 90%で有意に増加(減少)する場合は青字(赤字)としている。数値は小数点以下第 2 位を四捨五入しているため、0.05 未満の値は「0.0」と表示されている。

- 地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース(d4PDF)の結果(図 33、表 25)と比較すると、全国平均の増加率はほぼ整合しているものの、地域ごとに見ると増加率に大きな違いがみられることも多い。例えば、沖縄・奄美においては両シナリオで同程度の変化が予測されているが、d4PDF では全ての地域で昇温量が大きいほど大雨の増加率も大きくなる予測となっており、地域レベルの予測は境界条件として与える海面水温の分布によって大きく異なっている。

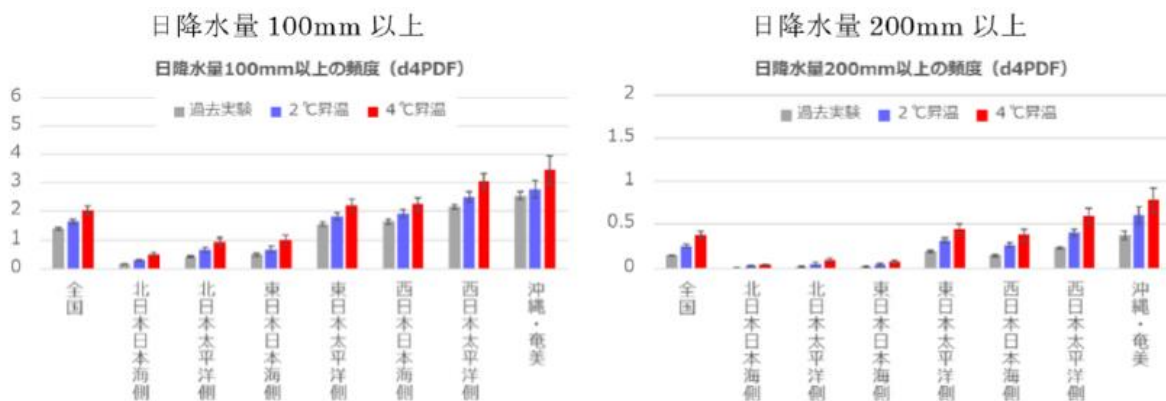


図 33 d4PDF による全国及び地域別の日降水量 100 mm 以上(左)、
日降水量 200 mm 以上(右)の年間発生日数(単位: 日/年)

図の見方は図 32 と同様。灰色のグラフは過去再現実験を示す。

日降水量 100mm 以上				日降水量 200mm 以上			
地域	過去実験	2℃昇温	4℃昇温	地域	過去実験	2℃昇温	4℃昇温
全国	1.36±0.04	1.62±0.09	2.01±0.15	全国	0.15±0.01	0.26±0.02	0.37±0.04
北日本日本海側	1.16±0.02	0.31±0.04	0.51±0.08	北日本日本海側	0.00±0.00	0.02±0.01	0.04±0.01
北日本太平洋側	0.43±0.03	0.67±0.08	0.94±0.14	北日本太平洋側	0.02±0.01	0.05±0.02	0.10±0.02
東日本日本海側	0.50±0.15	0.69±0.11	1.01±0.13	東日本日本海側	0.01±0.01	0.04±0.02	0.08±0.02
東日本太平洋側	1.54±0.07	1.81±0.12	2.19±0.22	東日本太平洋側	0.20±0.01	0.32±0.02	0.44±0.06
西日本日本海側	1.62±0.09	1.90±0.14	2.23±0.23	西日本日本海側	0.15±0.01	0.27±0.03	0.38±0.06
西日本太平洋側	2.14±0.08	2.49±0.19	3.04±0.28	西日本太平洋側	0.24±0.01	0.40±0.04	0.59±0.09
沖縄・奄美	2.53±0.15	2.76±0.31	3.45±0.50	沖縄・奄美	0.37±0.04	0.50±0.10	0.78±0.14

表 25 d4PDF による全国及び地域別の日降水量 100 mm 以上(左)、日降水量 200 mm 以上
(右)の年間発生日数(平均値及び年々変動の幅)

表の見方は表 24 と同様。数値は小数点以下第 3 位を四捨五入している。

- ・ 短時間強雨（1 時間降水量 30mm 以上⁶、50mm 以上）の発生頻度は、RCP8.5 シナリオ、RCP2.6 シナリオいずれの下でも、21 世紀末（2076～2095 年平均）には、20 世紀末（1980～1999 年平均）に対して、全国平均では有意に増加すると予測される（確信度が高い）。
- ・ 全国平均の発生日数は、RCP8.5 シナリオで 1 時間降水量 30mm 以上の短時間強雨では 1.6 倍以上、1 時間降水量 50mm 以上の短時間強雨では 2 倍以上となる。
- ・ RCP2.6 シナリオでは、1 時間降水量 30mm 以上の短時間強雨では 1.2 倍以上、1 時間降水量 50mm 以上の短時間強雨では 1.5 倍以上に増加する。
- ・ 大雨と同様に、短時間強雨についても特に地域単位での増加率の予測は不確実性が大きいと考えられる。

⁶ 1 時間降水量 30mm 以上の雨は「激しい雨(バケツをひっくり返したように降る)」と表現される。傘をさしていてもぬれ、道路が川のような雨である。

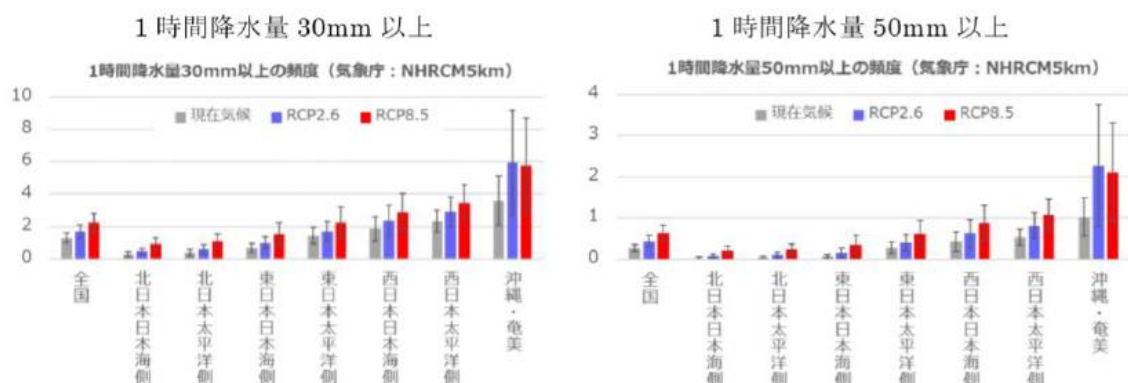


図 34 気象庁の予測による全国及び地域別の1地点あたりの1時間降水量 30 mm 以上(左)、1時間降水量 50 mm 以上(右)の年間発生回数の変化(単位:回/年)

表 26 気象庁の予測による全国及び地域別の1地点あたりの1時間降水量 30 mm 以上(左)、1時間降水量 50 mm 以上(右)の年間発生回数の変化(平均値及び年々変動の幅)

1 時間降水量 30mm 以上				1 時間降水量 50mm 以上			
地域	現在気候	RCP2.6	RCP8.5	地域	現在気候	RCP2.6	RCP8.5
全国	1.3±0.3	1.7±0.4	2.2±0.6	全国	0.3±0.1	0.4±0.1	0.6±0.2
北日本日本海側	0.3±0.2	0.5±0.2	0.9±0.4	北日本日本海側	0.0±0.0	0.1±0.1	0.2±0.1
北日本太平洋側	0.4±0.2	0.6±0.3	1.1±0.4	北日本太平洋側	0.0±0.0	0.1±0.1	0.2±0.1
東日本日本海側	0.7±0.3	1.0±0.4	1.5±0.7	東日本日本海側	0.1±0.0	0.2±0.1	0.4±0.2
東日本太平洋側	1.4±0.5	1.7±0.6	2.2±1.0	東日本太平洋側	0.3±0.1	0.4±0.2	0.6±0.3
西日本日本海側	1.9±0.8	2.4±1.0	2.9±1.2	西日本日本海側	0.4±0.2	0.6±0.3	0.9±0.4
西日本太平洋側	2.3±0.7	2.9±0.9	3.5±1.1	西日本太平洋側	0.5±0.2	0.8±0.3	1.1±0.4
沖縄・奄美	3.6±1.5	6.0±3.2	5.8±2.9	沖縄・奄美	1.0±0.5	2.3±1.5	2.1±1.2

- ・ 年最大日降水量は、RCP8.5 シナリオ、RCP2.6 シナリオいずれの下でも、21 世紀末（2076～2095 年平均）には、20 世紀末（1980～1999 年平均）に対して、ほぼ全国的に有意に増加すると予測される（確信度が高い）。
- ・ 無降水日（日降水量が 1.0mm 未満の日）は、RCP8.5 シナリオの下では、21 世紀末（2076～2095 年平均）には、20 世紀末（1980～1999 年平均）に対して、ほぼ全国的に有意に増加すると予測される一方、RCP2.6 シナリオの下の予測では、有意な変化が予測されていない。
- ・ 現在西日本で主に発生する梅雨豪雨が、将来は東・北へと拡大することを示している（Osakada and Nakakita (2018)⁷）。

（6）海洋

1）海水温

i）観測結果

- ・ 世界全体の年平均海面水温 18 は長期的に上昇しており、1891～2019 年における

⁷ Osakada et al. “Future change of occurrence frequency of Baiu heavy rainfall and its linked atmospheric patterns by multiscale analysis” SOLA, 14, 2018, p.79-85

上昇率は 100 年あたり $+0.55^{\circ}\text{C}$ である（信頼度水準 99% で統計的に有意）。2000m の深さまでを世界全体で平均した内部の水温も長期的に上昇している。

- 日本近海における年平均海面水温の 2019 年までのおよそ 100 年間にわたる上昇率は、 $+1.14^{\circ}\text{C}/100$ 年となっており（信頼度水準 99% で統計的に有意）、北太平洋全体で平均した海面水温の上昇率（ $+0.53^{\circ}\text{C}/100$ 年）よりも大きく、日本の気温の上昇率（ $+1.24^{\circ}\text{C}/100$ 年）と同程度の値となっている（確信度が高い）。長期的な昇温に加え十年規模の変動が顕著に認められる（図 35）。

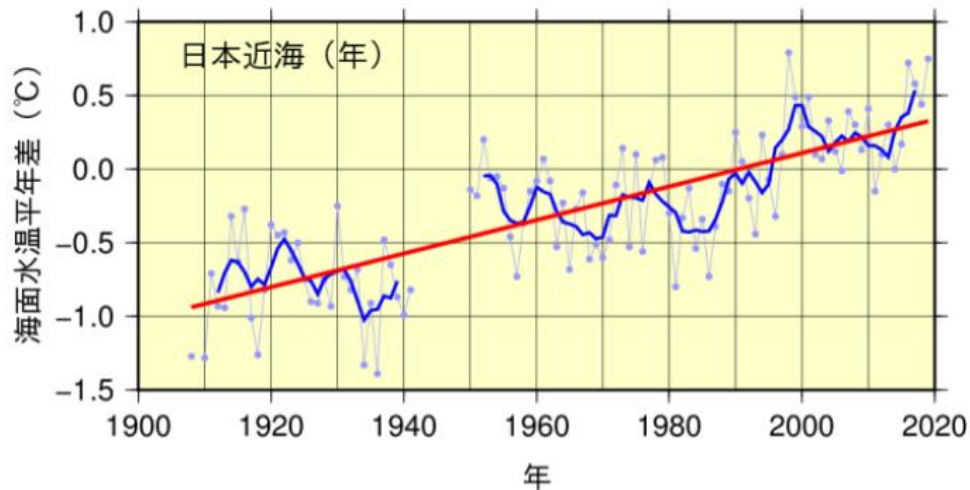
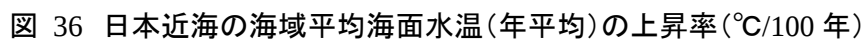


図 35 日本近海の全海域平均海面水温(年平均)の平年差の推移

図の青丸は各年の平年差を、青の太い実線は 5 年移動平均値を、さらに赤の太い実線は長期変化傾向を表す。平年値は 1981 年～2010 年の 30 年間の平均値。

- 各海域で一様に上昇しているのではなく、黄海、東シナ海、日本海南西部、四国・東海沖、釧路沖の海域平均海面水温の上昇率は日本の気温の上昇率と同程度となっており、三陸沖、関東の東、関東の南、沖縄の東および先島諸島周辺では日本の気温の上昇率よりも小さく、日本海中部では日本の気温の上昇率よりも大きくなっている（確信度が高い）（図 36）。季節的には一般的に冬の昇温率が大きい。



ii) 将来予測

- 47

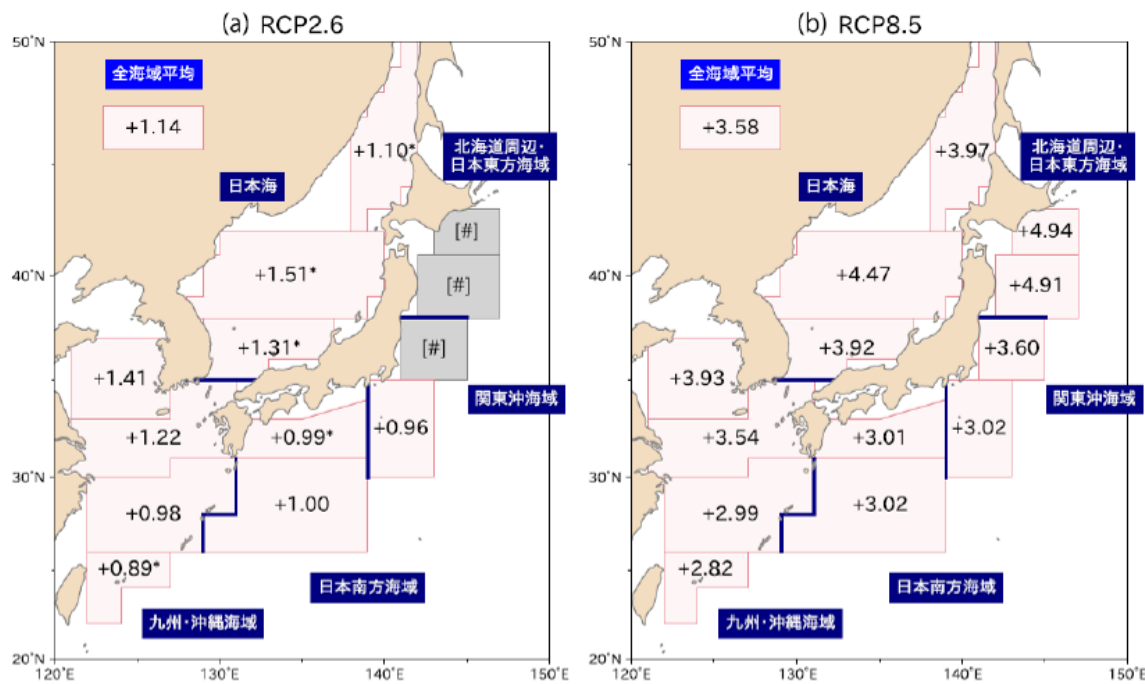


図 37 SI-CAT モデルデータに基づく、21 世紀末における日本近海の海域平均海面水温の 20 世紀末からの上昇幅(°C)

(a) RCP2.6 シナリオ、(b) RCP 8.5 シナリオに基づく見積り。図中の無印の値は信頼度水準 99%以上で統計的に有意な値を、「*」を付加した値は 95%以上で有意な値を示している。上昇率が[#]とあるものは、統計的に有意な長期変化傾向が見出せないことを示している。

(7) 台風

i) 観測結果

- ・ 台風の発生数は、1960 年代中頃、1990 年代初め、2010 年代中頃に増加が見られ、1990 年代後半から 2010 年代初めにかけては平年より少ない年が多かった。1951～2018 年の期間全体では、数十年スケールの変動や年々の変動が卓越する一方、長期的な変化傾向は見られない(図 38)。2018 年の日本への台風の接近は 16 個(平均 11.4 個)、上陸数は 5 個(平均値 2.7 個)で、ともに平年より多かった。
- ・ 日本への接近数は、発生数に似た傾向の変動を示し、発生数と同様に長期変化傾向は見られない。日本への上陸数においても、長期的な変化傾向は見られない(図 38)。

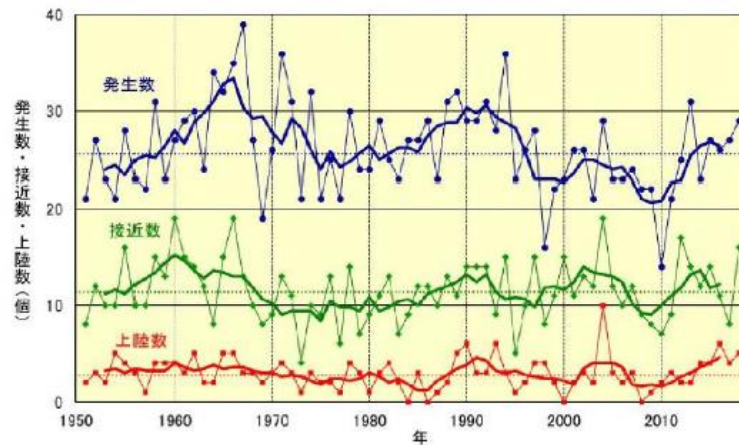


図 38 台風の発生数・接近数・上陸数

細実線は年々の数、太線は 5 年移動平均、細い葉選は平均値（1981~2010 平均）を示す。

- ・ 台風の発生から消滅までの間で「強い⁸」以上に分類された台風は、年間 10~20 個程度発生することが多く、発生数、割合ともに、1980 年代後半~1990 年代初めや 2000 年代中頃にやや増加し、1990 年代後半や 2010 年代初めにはやや減少している。また、年々の変動も大きい。その一方で、長期的な変化傾向は見られない。

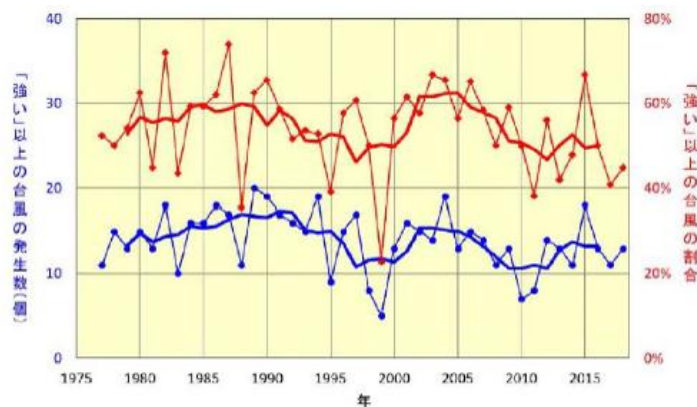


図 39 「強い」以上の台風の発生数・割合

青細線は「強い」以上の台風の発生数、赤細線は台風の年間発生数に対する「強い」以上の台風の割合。
太線は 5 年移動平均

- ・ 台風の強度が生涯最大となる緯度が、低緯度帯においてやや極方向へ変化する傾向は、北西太平洋域において比較的明瞭であり (Kossin et al. 2016)⁹、その長期変化傾向の確信度は低~中程度である (IPCC 2019, Knutson et al. 2019)^{10,11}。

⁸ 気象庁では、1977 年以降の台風について、10 分間平均風速の最大値が 33m/s 以上を「強い」、44m/s 以上を「非常に強い」、54m/s 以上を「猛烈な」台風と 以上を「猛烈な」台風と区分している。

⁹ Kossin et al. “Past and projected changes in western north Pacific tropical cyclone exposure” Journal of Climate, 29(16), 2016, p.5725-5739

¹⁰ IPCC “Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate”, 2019

¹¹ Knutson et al. “Tropical cyclones and climate change assessment: Part I: detection and attribution” Bulletin of the American Meteorological Society, 100(10), 2019, p.1987-2007

ii) 将来予測

- 地球温暖化シナリオ実験及び擬似温暖化実験の結果によると、将来、日本付近の台風の強度が強まることが予測されている（確信度が中程度）。Tsuboki et al. (2015)¹²の SRES A1B シナリオを用いた実験によると、スーパー台風¹³と呼ばれる階級の台風の最大強度が 21 世紀末においては増大し、スーパー台風の強度で日本にまで達することが予測されている。
- 個別の台風事例を対象に擬似温暖化実験を行うことで、台風に対する地球温暖化の影響を調べた研究もあり、日本付近では台風の強度が強まる結果となったものが多い。以下に挙げる研究では、RCP8.5 シナリオにおける 21 世紀末の海面水温、気温を上乗せした擬似温暖化実験を行っている。
 - Kanada et al.(2017)¹⁴では、昭和 34 年台風第 15 号（1959 年の伊勢湾台風）を対象として、4 種類の 5km 格子間隔の地域気候モデルを用いた比較実験が実施された。その結果、全てのモデルにおいて、温暖化時における伊勢湾台風の強度が増大するという確度の高い結果が得られた。強度増大の原因としては、地球温暖化による対流圏下層の水蒸気量の増加が壁雲内側での顕著な上昇流ひいては潜熱放出をもたらすことが挙げられている。
 - Takemi et al. (2016)¹⁵では平成 3 年台風第 19 号（1991 年の台風 Mireille）、Ito et al. (2016)¹⁶では平成 16 年台風第 18 号（2004 年の台風 Songda）を対象とした擬似温暖化実験が実施され、温暖化条件下においては成熟期に台風が強化されるという結果を得た。
- 台風に伴う降水については、将来個々の台風の雨量が増加する（確信度が中程度）。但し、年間を通して考えた場合の台風全体の降水量に変化はない。Watanabe et al. (2019)¹⁷によると、日本に接近する台風は減少するものの、個々の台風の降水強度が増大する。これらの効果が相殺するため、台風に伴う降水の年間総量には有意な変化がない。また、台風に伴う非常に激しい降水の頻度が増加する。これは台風接近数の減少と比べて、個々の台風の降水強度増大の影響をより強く受けるためである。

¹² Tsuboki K. et al. “Future increase of supertyphoon intensity associated with climate change” Geophysical Research Letters, 42(2), 2015, p.646-652

¹³ スーパー台風とは米国の合同警報センタ(JTWC)が設定する最大強度階級であり、1 分平均の最大地上風速が 130 ノット(約 67m/s)以上に相当する。

¹⁴ Kanada S. et al. “A Multimodel Intercomparison of an Intense Typhoon in Future, Warmer Climates by Four 5-km-Mesh Models” Journal of Climate, 30, 2017, p.6017-6036

¹⁵ Takemi T. et al. “Effects of global warming on the impacts of Typhoon Mireille (1991) in the Kyushu and Tohoku regions” Hydrological Research Letters, 10(3), 2016, p.81-87

¹⁶ Ito R. et al. “A Possible Reduction in the Severity of Typhoon Wind in the Northern Part of Japan under Global Warming: A Case Study” SOLA, 12, 2016, p.100-105

¹⁷ Watanabe, S. I. et al. “Future projection of tropical cyclone precipitation over Japan with a high-resolution regional climate model” J. Meteor. Soc. Japan, 97, 2019, 805-820

第3章. 日本における気候変動による影響の概要

3.3 各分野における気候変動による影響の概要

3.3.3 自然生態系

自然生態系分野における気候変動による影響の概略は、図 40 に示すとおりである。

気候変動は、分布適域の変化や生物季節の変化、およびこれらの相互作用の変化を通し、生態系の構造やプロセスに影響を及ぼす。加えて、自然生態系分野における気候変動影響は、生態系から人間が得ている恵み、すなわち生態系サービス¹⁸を通して、農業・林業・水産業分野や国民生活、産業経済分野へも影響が波及することが特徴である。人間社会は食料や原材料、極端な気候現象による被害の緩和、水質や大気質の向上、文化的・美的価値等の生態系が提供する様々な生態系サービスに依存している。気候変動等の影響によりこれらを提供する生態系が効果的に機能しなくなると、提供される生態系サービスが劣化したり、喪失したりする恐れがある。

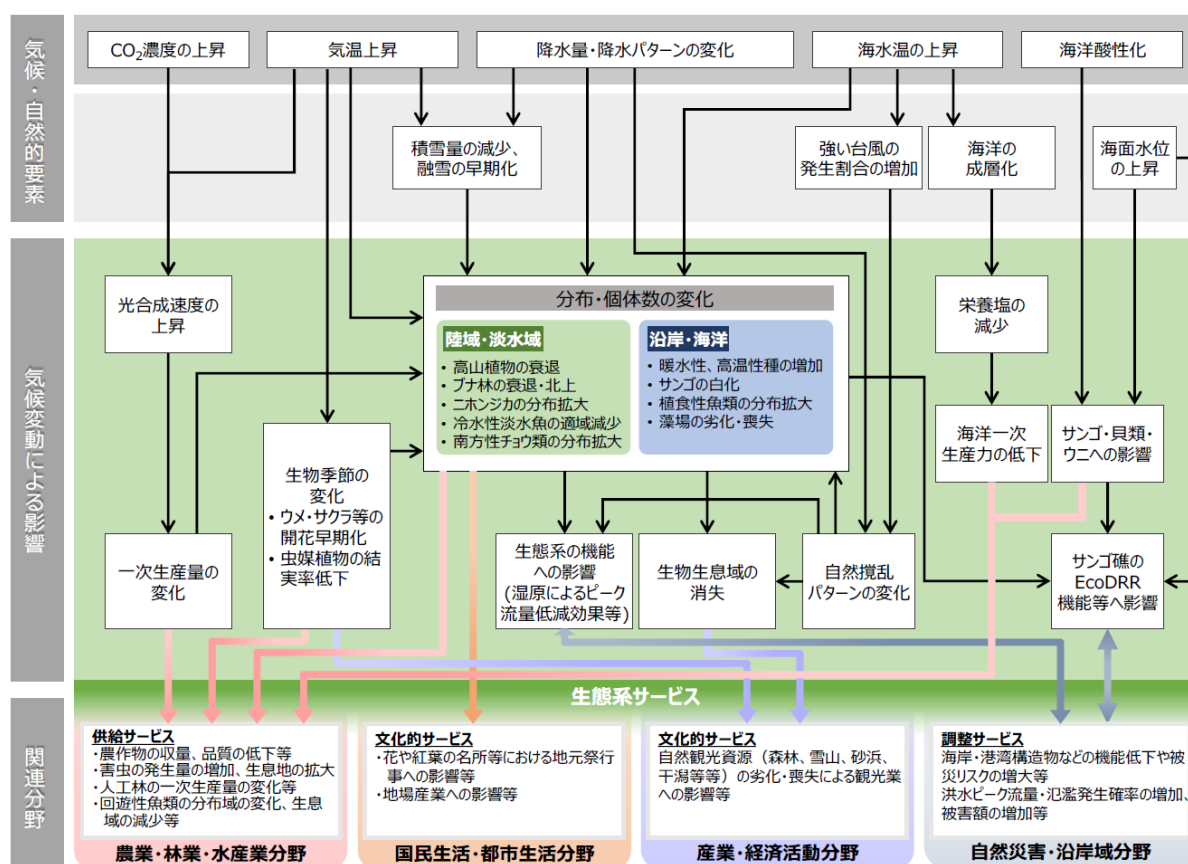


図 40 気候変動により想定される影響の概略図(自然生態系分野)

● 気候変動による影響の概要

既に高山帯および植生移行帯付近の森林における種構成の長期的な変化、植物の開

¹⁸ 生態系サービス:食料や水、気候の安定など、多様な生物が関わりあう生態系から、人間が得ることのできる恵み。「国連の主導で行われたミレニアム生態系評価(2005年)」では、食料や水、木材、繊維、医薬品の開発等の資源を提供する「供給サービス」、水質浄化や気候の調節、自然災害の防止や被害の軽減、天敵の存在による病害虫の抑制などの「調整サービス」、精神的・宗教的な価値や自然景観などの審美的な価値、レクリエーションの場の提供などの「文化的サービス」、栄養塩の循環、土壌形成、光合成による酸素の供給などの「基盤サービス」の4つに分類している。

花期と送粉者との季節的なミスマッチの発生、ニホンジカの生息適地の全国的な増加、河川や沿岸生態系における南方性生物種の分布北上等の影響が国内各所で生じていることが報告されている。また、新たに顕在化してきた影響として、モウソウチクやマダケの分布北限付近における拡大、沿岸域における藻場生態系の衰退とサンゴ礁群集への移行、海洋酸性化および貧酸素化の進行等が挙げられる。

将来においては、高山性のライチョウや、冷水性魚類であるイワナ等の生息適域の減少および地域的な消失、森林構成樹種の分布や成長量の変化、ニホンジカやタケ類の高緯度・高標高への分布拡大、亜熱帯域におけるサンゴ礁の分布適域の減少や消失、温帯域における藻場生態系からサンゴ礁への移行、海洋酸性化の進行によるサンゴやウニ、貝類の生息適域の減少等の影響が予測されている。加えて、「自然林・二次林」「亜熱帯（沿岸生態系）」などで RCP2.6、RCP8.5 シナリオを用いた将来予測に関する知見が新たに報告されている。

また、これらの変化に加えて、流域の栄養塩・混濁物質の保持機能の低下や、沿岸域の藻場生態系の劣化・消失による水産資源の供給量の減少、サンゴ礁の劣化・消失による Eco-DRR 機能の低下、自然生態系と関連するレクリエーション機能の低下等、生態系サービスの負の影響を通じた、社会経済への影響の波及も予測されている。

● 重大性・緊急性・確信度評価の概要

自然生態系分野では、影響は早期に発見される場合が多いものの、適応策としてできることが限られており、気候変動そのものを抑止する（緩和）しか方策がないという場合もある。そのような場合、緊急性の評価における「適応の着手・重要な意思決定の必要な時期」の観点で評価を行うことは難しく、「影響の発現時期」の観点のみで評価を行っている。

自然生態系はその変化を通して重要な種やハビタットに大きな影響を与えることに加え、生態系サービスを通して地域社会の文化や経済への影響の波及も考えられることから、影響の重大性は「特に重大な影響が認められる」と評価される傾向が強い。

しかしながら、自然生態系は気候変動以外にも、開発行為や人口減少に伴う管理放棄など、他の要因による脅威にさらされてきたことに加え、気象条件等の変化と生物との相互作用が複雑であることから、気候変動による直接的な影響を検出することが難しく、確信度は他分野と比較して低く評価される傾向にあった。中でも、今回収集された文献に基づき「野生鳥獣による影響」および「亜熱帯（沿岸生態系）」の2つの小項目については、確信度が上方修正された。また、「自然林・二次林」「里地・里山生態系」「人工林」の3つの小項目については、現在既に生じている影響が確認されたこと等から、緊急性評価が上方修正となった。

今回の影響評価より新たに評価を実施した生態系サービスについては、気候変動による直接的な影響を論じた文献こそ限られるものの、サンゴ礁や藻場生態系の劣化や、サクラやカエデの生物季節の変化等、生態系サービスの基盤である各生態系の構成要素への影響については一定程度の文献が収集されたことから、これらの生態系に関連が深いサービスについては、細目として個別に評価を行っている。その結果、細目評価の対象とした「流域の栄養塩・懸濁物質の保持機能等」、「沿岸域の藻場生態系による水産資源の供給機能等」、「サンゴ礁による Eco-DRR 機能等」、及び「自然生態系

と関連するレクリエーション機能等」の4つの細目に置いて、影響の重大性について「特に重大な影響が認められる」と評価された。

気候シナリオに応じた重大性評価を実施した「自然林・二次林」「亜熱帯（沿岸生態系）」の結果から、気温の上昇を2℃上昇程度に抑えることは、「自然林・二次林」の影響の低減に貢献するものの、サンゴ礁等を対象とする「亜熱帯(沿岸生態系)」は2℃上昇相当であっても重大な影響が生じることが予測された。このことから、特に「亜熱帯(沿岸生態系)」においては適応策のみで影響を低減させることには限界があり、緩和策との連携の重要性が示唆される。

「気候変動影響評価報告書（詳細）（案）」

3 日本における気候変動による影響および評価結果

3.2 水環境・水資源

【水環境】

(3) 沿岸域及び閉鎖性海沿岸域

(将来予測される影響)

瀬戸内海の物理・熱環境の将来変化予測を行った研究においては、RCP8.5 シナリオを前提として年平均（現在気候を 1996～2005 年、将来気候を 2084～2093 年と定義し、それぞれ 10 年間の年平均を求め、将来気候と現在気候の差を将来変化と見なした）1.6 度の海面温度が上昇することが分かった（CMIP5 に登録されている全 61 種類の GCM による気候予測情報を使用）。また、季節別では冬季より夏季の方の昇温が大きく、将来変化は 8 月が最も顕著であった¹⁹。瀬戸内海における水質への影響については、RCP8.5 シナリオを前提とした将来予測では、水温の上昇により、夏季での表層 Chl-a 濃度の低下がみられ、それに伴い栄養塩類の消費が減少し、表層の栄養塩類濃度が上昇する傾向がみられた。一方、冬季の将来気候は現在気候よりも水温が高く、表層 Chl-a 濃度の上昇がみられ、栄養塩類濃度が低下する傾向がみられた。大阪湾の底層 DO については、表層 Chl-a 濃度の低下によって増加傾向がみられ、夏～秋の貧酸素化が弱まる傾向がみられたが、貧酸素水塊の発生期間は長期化する可能性がみられた（RCP 8.5 シナリオを前提とした MRI-NHRCM20 による気候予測情報を使用）²⁰。

伊勢湾全体の将来（100 年後）の水温について予測した研究では、将来 2℃以上上昇し、特に沿岸部での上昇が顕著であることが分かった。水深の浅い沿岸部では、気温上昇や日射による水温上昇が効果的に行われることに起因するものと考えられている（A1B シナリオ前提とした CMIP3 に登録されている 15 種類の GCM による気候予測情報を使用）²¹。

なお、日本近海の平均海面水温は、21 世紀末(2081-2100 年平均)には、20 世紀末(1986-2005 年平均)と比べて、RCP2.6 シナリオでは $1.1 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ 上昇し、RCP8.5 シナリオでは $3.6 \pm 1.3^{\circ}\text{C}$ 上昇すると推定される（SI-CAT 海洋モデルによる予測）。

また、東京湾を対象とした研究では、2046～2065 年における強風（AMeDAS 観測値における南西の風速 10 m/s 以上）の継続時間は減少する可能性が示唆されており、DO 濃度の回復が困難となる恐れもあることが予測されている（A1B シナリオを前提とした CMIP3 より提供された気候予測モデルの情報を使用）²²。

さらに、海面上昇に伴い、沿岸域の塩水遡上域の拡大も想定される²³。

¹⁹ 森信人ほか「CMIP5 にもとづく瀬戸内海の長期物理環境場の将来変化予測」『土木学会論文集 B2(海岸工学)』, 70(2), 2014, p.L1271-L1275

²⁰ 「平成 30 年度閉鎖性海域における気候変動による影響把握等検討業務」環境省水・大気環境局水環境課閉鎖性海域対策室, 2019

²¹ 鈴木靖ほか「マルチモデルアンサンブルによる伊勢湾水温の将来変化予測と気候変化外力の影響分析」『土木学会論文集 B2(海岸工学)』, 69(2), 2013, p.L1286-L1290

²² 丸谷靖幸ほか「東京湾における貧酸素水塊の解消要因である強風の将来予測に向けて」『土木学会論文集 B2(海岸工学)』, 67(2), 2011, p.L921-L925

²³ 「水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について(答申)」国土交通省 社会資本整備審議

3.3 自然生態系

【沿岸生態系】

(1) 亜熱帯

(将来予測される影響)

IPCC 第5次評価報告書では、海洋酸性化が、植物プランクトンから動物までの個々の種の生理学的、行動学的及び個体数変動学的な影響に伴い、中～高排出シナリオ（RCP4.5、6.0 及び 8.5）において、特に極域の生態系やサンゴ礁といった海洋生態系に相当のリスクをもたらすことが指摘されている²⁴。また、1.5℃特別報告書によれば、暖水性のサンゴは 2℃上昇で 99%が、1.5℃14 上昇でも 70～90%が消滅のリスクに晒されるとしている²⁵。

造礁サンゴの生育に至適と考えられる海域について、白化を招く水温および造礁サンゴにとっての最適二酸化炭素濃度条件を設定する予測モデルを用いた研究（SRESA2 シナリオを前提とした IPSL-CM4-LOOP model、MPIM、NCAR CSM1.4、NCAR CCSM3 の各気候モデルによる気候予測情報を使用）では、SRESA2 シナリオ下における熱帯・亜熱帯性サンゴの生育適域は、海洋酸性化に伴う低アラゴナイト飽和度域の低緯度側への拡大と、高水温による白化域の高緯度側への拡大に挟まれ、日本近海から適域が消滅することが予測されている。SRESB2 シナリオにおいては、海洋酸性化に伴うアラゴナイト飽和度の低緯度側への拡大が予測される一方、高水温による白化域の高緯度側への拡大はほぼ確認されず、サンゴの分布は海洋酸性化のみに影響を受けることが予測された。また、B2 シナリオ下では、SRESA2 シナリオと同様経年的にアラゴナイト飽和度が低下するものの、2090 年代においてもサンゴの生育下限とされるアラゴナイト飽和度 2.3 を上回る海域が残存し、熱帯・亜熱帯性サンゴの生育適域が残存すると予測している^{26,27}。

至適海域から外れた海域では、白化等のストレスの増加や、石灰化量の低下が発生する事が予測されているが²⁸、その結果至適海域から外れた既存のサンゴ礁が完全に消失するか否かについては予測がなされていない。

また、石垣島の白保サンゴ礁域を対象に、海面上昇と海洋酸性化がサンゴ礁の石灰化率に与える影響を生態系モデルにより予測した研究によれば、今世紀後半においては海面上昇による石灰化率への正の影響を考慮したとしても、海洋酸性化による負の影響により、正味での石灰化率は減少する傾向にあることが予測されている（RCP4.0、RCP6.0、RCP8.0 の各シナリオにおいて、2100 年次点では石灰化率が現状の 96.9%、

会, 2008

²⁴ 環境省訳「気候変動 2014 影響、適応及び脆弱性 政策決定者向け要約」,2014

²⁵ IPCC “SPECIAL REPORT Global Warming of 1.5 °C Summary for Policymakers”,2018

²⁶ Yara et al.” Ocean Acidification limits temperature-induced poleward expansion of coral habitats around Japan.”, Biogeosciences 9, 2012, 4955-4968.

²⁷ Yara et al.” Potential future coral habitats around Japan depend strongly on anthropogenic CO2 emissions”, Aquatic Biodiversity Conservation and Ecosystem Services, 2016, pp41-56.

²⁸ Yara et al.” Projected coral bleaching in response to future sea surface temperature rises and the uncertainties among climate models.”, Hydrobiologia 733(1), 2014, 19-29.

91.1%、80.7%に減少)²⁹。

一方で、造礁サンゴの CO₂ 分圧増加に対する反応について、生息環境による違いを指摘する報告もある。沿岸域に近く環境条件の変動を受けやすい場所で採集した造礁サンゴ(コユビミドリイシ)集団と、より安定的な環境で採集した集団について、CO₂ 分圧の上昇に伴う石灰化率の変化を実験的に検証した研究によれば、CO₂ 分圧の上昇に伴う石灰化率の減少傾向は、より安定的な環境で採集した集団にのみ確認され、その原因として集団間の遺伝子発現の違いを指摘している³⁰。

また、マングローブ生態系・藻場生態系・サンゴ礁生態系の底質環境に対する、温度および CO₂ 分圧の上昇による影響を実験的に検証した研究から、温度上昇と CO₂ 濃度上昇の複合作用による生態系機能の変化(総一次生産量の増加・底質の Chl.a 量の増加)が確認されている。(現状+4℃及び、高 CO₂ 環境として CO₂ 濃度 936ppm を仮定)³¹

マングローブの分布規定要因を全球的に解析した研究からは、東アジア地域におけるマングローブの分布は年最低気温に大きく規定されていることが明らかになっており、冬季の平均気温の上昇により極方向へ分布域が拡大する可能性が示唆されている³²。また、マングローブを構成する樹種の一つであるヤエヤマヒルギの実生について、生育状況の温度環境による違いを実験室において比較した研究によれば、中程度(平均気温 30℃)の温暖化環境においては、生理特性の温度順化のために生育阻害は確認されず、生育に正の影響を及ぼすことが示唆されている³³。一方、夜間でも 35℃を下回らないような環境において、ヤエヤマヒルギやオヒルギが枯死する可能性についての指摘もある³⁴。

海面上昇による砂浜の侵食が予測されている³⁵が、その生物への影響について予測した文献は確認できていない。

(2) 温帯・亜寒帯

(将来予測される影響)

IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書によると、温帯域における温暖化に伴う藻場の減少は今後も継続し、地域的な絶滅のリスクを上昇させると予測されており、この傾向は特に海洋熱波の強化が予測される地域において顕著であるとしている(RCP8.5 シナリオ)¹⁰。

国内の温帯域においても、水温の上昇や植食性魚類の北上に伴う藻場生態系の劣化

²⁹ Nakamura et al.” Reef-scale modeling of coral calcification responses to ocean acidification and sea-level rise.”, Coral Reefs,37 (1), 2017, pp.37-53.

³⁰ Kurihara et al.” Intraspecific variation in the response of the scleractinian coral *Acropora digitifera* to ocean acidification.”, Marine Biology,165 (2), 2018, pp.431-11

³¹ Sultana et al.” Response of Subtropical Coastal Sediment Systems of Okinawa, Japan, to Experimental Warming and High pCO₂”, Frontiers in Marine Science, 3, 2016, 100

³² Osland et al.” Climatic controls on the global distribution, abundance, and species richness of mangrove forests.”, Ecological Monographs, 87(2), 2017, 341-359.

³³ Akaji et al.” Photosynthesis, respiration, and growth patterns of *Rhizophora stylosa* seedlings in relation to growth temperature”, Trees, 2019, 1-9.

³⁴ 井上 智美 ” 熱帯の海の森と気候変動”, 国立環境研究所ニュース,vol.37(5), 2018

³⁵ 有働ら ” 最新の海面水位予測データを用いた海面上昇による全国砂浜侵食量の将来予測”, 土木学会論文集 G(環境), Vol. 69, No.5, 2013

や熱帯性のサンゴ礁生態系への移行がいくつかの研究から予測されている。海面水温を閾値として将来気候条件下におけるアカモクの分布適域の変化を予測した研究からは、2100年には東シナ海・本州中部の沿岸はアカモクの適域から外れ、本種の流れ藻を生育場として利用するブリの生態に影響をもたらすことが示唆されている（SRESA2 シナリオを仮定した BCCR-BCM2.0 等の CMIP3 の 12 の気候モデルによる予測情報の平均値を使用）³⁶。カジメについては、水温の上昇による生理的影響と、植食性魚類の摂食活動の増大による種間的影響により、RCP8.5 シナリオ下においては日本近海の生育適地が消失すると予測されている。一方、RCP2.6 シナリオ下においては、水温上昇による生理的影響は受けないものの、植食性魚類の摂食活動による影響が増大すると予測されている（BCC-CSM1-1 等の CMIP5 の 17 の気候モデルによる予測情報の平均値を使用）³⁷。北日本沿岸域の主要コンブ 11 種について、分布予測モデルを用いて 2040 年代、2090 年代の分布を予測した研究によれば、海水温の上昇によりすべての種で分布域が大幅に北上する、もしくは生育適地が消失する可能性があるとして予測されている。RCP8.5 シナリオでは全種を合わせた分布域が 2090 年代では 1980 年代の 0～25%に縮小し、RCP4.5 シナリオでも 11 種中 4 種のコンブが日本海域から消失する可能性があるとして予測されている。（MIROC-ESM モデルによる気候予測情報を使用）³⁸。

同様に、海水温の上昇と海流輸送による海藻・造礁サンゴの分布変化速度のモデリングにより、温帯における海藻藻場からサンゴ群集への移行のメカニズムを検証した研究から、食性魚類の北上に伴う食害の増加や、サンゴの北上による競争の発生等により、現在から近い将来(2009-2035)、海草藻場がサンゴ礁群集へ移行する可能性が現状よりも増加することが示されている（RCP4.5 シナリオを仮定した MIROC4h による予測情報を使用）³⁹。

最寒月水温の年々変動とサンゴの斃死水温を考慮し、造礁サンゴ 2 種（スギノキミドリイシ・エンタクミドリイシ）の分布変化について予測した研究によれば、予測期間である 1950～2029 年の 80 年間で、東シナ海においては分布北限がそれぞれ 84km（スギノキミドリイシ）・42km（エンタクミドリイシ）北上し、太平洋においては 42km（スギノキミドリイシ）・63km（エンタクミドリイシ）北上し、北限が温帯域へ拡大することが予測されている（RCP4.5 シナリオを仮定した MIROC4h による気候予測情報を使用）⁴⁰。

足摺宇和海国立公園において、気候モデルによる将来の月平均海水温から、将来気候下におけるアイゴの採食・コンブ類の高温生存・オニヒトデの繁殖・サンゴの高温生存について予測した研究によれば、RCP2.6 シナリオの将来水温を仮定した場合で

³⁶ Komatsu et al. "Possible change in distribution of seaweed, *Sargassum horneri*, in northeast Asia under A2 scenario of global warming and consequent effect on some fish", *Marine Pollution Bulletin*, 85, 2014, p.317-324

³⁷ Takao et al. "Projecting the impacts of rising seawater temperatures on the distribution of seaweeds around Japan under multiple climate change scenarios", *Ecology and Evolution*, 5(1), 2015, pp213-223.

³⁸ Sudo et al. "Predictions of kelp distribution shifts along the northern coast of Japan.", *Ecological Research*, 35(1), 2020, 47-60.

³⁹ Kumagai et al. "Ocean currents and herbivory drive macroalgae-to-coral community shift under climate warming.", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(36), 2018, 8990-8995.

⁴⁰ Takao et al. "An improved estimation of the poleward expansion of coral habitats based on the inter-annual variation of sea surface temperatures", *Coral Reefs*, 34(4), 2015, pp1125-1137.

も、アイゴの採食目安及びオニヒトデの生存可能域が約 50km 北上して瀬戸内海へ到達すること、さらにコンブ類の生存南限とオニヒトデ繁殖目安の限度は約 70 km 北上する可能性があるとしている。さらに、RCP8.5 の将来水温のもとでは、足摺宇和海国立公園の全開域がアイゴの採食目安及びオニヒトデの生存可能域、オニヒトデの繁殖可能域となり、さらには同国立公園の全海域がサンゴの白化域となる予測が得られている⁴¹。

アサリやウニ等の水産資源の生産力の変化については限られた海域での仮想的条件下でのモデル予測があるのみである^{42,43}。

海洋酸性化による影響については、中～高位の二酸化炭素排出シナリオ(RCP4.5、6.0 及び 8.5 シナリオ) の場合、特に極域の生態系やサンゴ礁といった脆弱性の高い海洋生態系に相当のリスクをもたらすと考えられる⁴⁴。炭酸カルシウム骨格・殻を有する軟体動物、棘皮動物、造礁サンゴに影響を受けやすい種が多く^{45,46,47,48,49,50}、その結果として水産資源となる種に悪影響がおよぶ可能性がある。また、水温上昇や低酸素化のような同時に起こる要因と相互に作用するために複雑であるが^{50,51}、我が国の水産種に対する複合影響の研究例は少ない。

ただし、沿岸域の酸性化環境の将来予測は二酸化炭素排出シナリオ以外の様々な海域開発選択によっても大きく変化することに留意する必要がある。例えば東京湾では、陸域からの栄養塩負荷量を現在の半分から 2 倍まで変動させる事で、湾内海水のアラゴナイト飽和度が 1 を下回るまでにかかる年数が±30 年程度変化するという試算がなされている⁵²。

また、海岸域に分布する塩性湿地などは、海水面の上昇に伴い破壊される恐れもある⁵³。

41 みずほ情報総研株式会社 “国立公園等の生態系及び生態系サービスへの気候変動影響に関する調査及び適応策の検討”, 平成 31 年度地域適応コンソーシアム全国運営・調査事業委託業務報告書, 2020

42 Yoon et al. “Responses of Manila clam growth and its food sources to global warming in a subarctic lagoon in Japan”, Progress in Oceanography 119, 2013, 48-53.

43 干川裕 “北海道日本海沿岸における水温変動とウニ類稚仔の発生状況”, 月刊海洋 38(3),2006, 205-209.

44 環境省訳「気候変動 2014 影響、適応及び脆弱性 政策決定者向け要約」,2014

45 Kurihara H. , “Effects of CO₂-driven ocean acidification on the early developmental stages of invertebrates.”, Marine Ecology Progress Series 373,2008, 275-284.

46 Kimura et al. “Effects of elevated pCO₂ on the early development of the commercially important gastropod, Ezo abalone *Haliotis discus hannai*”, Fisheries Oceanography 20(5), 2011, 357-366.

47 Onitsuka et al. “Effects of ocean acidification on the early developmental stages of the horned turban, *Turbo cornutus*.”, Marine Biology 161(5), 2014, 1127-1138.

48 Nishida et al. “Effects of elevated CO₂ on shell 13C and 18O content and growth rates in the clam *Scapharca broughtonii*.”, Geochimica et Cosmochimica Acta 235, 2018, 246-261.

49 Onizuka et al. “Effects of ocean acidification with pCO₂ diurnal fluctuations on survival and larval shell formation of Ezo abalone, *Haliotis discus hannai*.”, Marine Environmental Research 134, 2018, 28-36.

50 Elizabeth et al. “Vulnerability of early life stage Northwest Atlantic forage fish to ocean acidification and low oxygen”, MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES 523, 2015, 145-156.

51 Christopher et al. “Hypoxia and acidification in ocean ecosystems: coupled dynamics and effects on marine life”, Biol. Lett. 12:20150976., 2016

52 Yamamoto-Kawai et al. “Calcium carbonate saturation and ocean acidification in Tokyo Bay, Japan”, Journal of Oceanography 71, 2015, 427-439.

53 Burkett et al. “Climate Change, Potential Impacts and Interactions in Wetlands of the United States.”, Journal of American Water Resources Association 36(2), 2000, 313-315.

海面上昇による砂浜と干潟の侵食が予測されている^{54,55}が、その生物への影響について予測した研究は確認されていない。

【海洋生態系】

(1) 海洋生態系

(将来予測される影響)

IPCC 第5次評価報告書では、海洋酸性化が、植物プランクトンから動物までの個々の種の生理学的、行動学的及び個体数変動学的な影響に伴い、中～高排出シナリオ（RCP4.5、6.0 及び 8.5）において、特に極域の生態系やサンゴ礁といった海洋生態系に相当のリスクをもたらすことが指摘されている⁴⁴。

IPCC の海洋・雪氷圏に関する特別レポートでは、海洋の貧酸素化も将来にわたり進行する事が予測されているが、その各海域における進行速度の予測精度は未だ信頼性が低いため、日本周辺海域に関する貧酸素化とその生物影響の将来予測は現時点では困難である。

気候変動により予測される海洋の温暖化と海洋一次生産の変化は、海洋生態系のバイオマス量、生産力、群集構造を変化させる。これにより、RCP8.5 シナリオ下の今世紀末においては、1986-2005 年時点比較して海洋生物の食物網全体のバイオマス量が $15 \pm 5.9\%$ 減少し、潜在的な漁獲量の最大値が $20.5\text{--}24.1\%$ 減少するとしている。加えて、この変化は、RCP8.5 シナリオにおいて RCP2.6 の 3～4 倍になると予測されている⁵⁶。

気候変動に伴い、植物現存量と一次生産力に変動が生じる可能性がある^{57,58,59,60,61}。植物現存量と一次生産力は、全球でみれば熱帯・亜熱帯海域で低下し、亜寒帯海域では増加するという予測で多くのモデルが一致するので^{58,59,60,61}、一定程度の確信度があるとされる。しかし、亜寒帯と亜熱帯の境界に位置する日本周辺海域の変化予測はモデル間の一致度が低い。また、これに伴い植物種組成や生物季節性にも変化が生じる可能性も指摘されているが^{57,59,61}、海域毎の変化予測は現状困難である。動物プランクトンの予測は、これら植物プランクトンと一次生産力の予測結果を用いるものであるので、日本周辺海域の予測の信頼性が高いとはいえない。

東シナ海では、2100 年時点において、水温の上昇と富栄養化により、現状優占し

⁵⁴ 有働ら. “最新の海面水位予測データを用いた海面上昇による全国砂浜侵食量の将来予測”, 土木学会論文集 G(環境), Vol. 69 No.5, 2013

⁵⁵ 有働ら. “日本の干潟における過去の長期面積変化特性と海面上昇による将来の浸食予測”, 土木学会論文集 G(環境), Vol. 68, No.5, 2012

⁵⁶ IPCC “The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate Summary for Policy Makers”, 2019

⁵⁷ Hashioka et al. “Potential impact of global warming on spring bloom projected by an eddy-permitting 3-D ecosystem mode.”, Geophysical Research Letters 36, L20604., 2009

⁵⁸ Bopp et al. “Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: projections with CMIP5 models.”, Biogeosciences 10, 2013, 6225–6245.

⁵⁹ Steinnacher et al. “Projected 21st century decrease in marine productivity: a multi-model analysis.”, Biogeosciences 7, 2010, 979–1005.

⁶⁰ Manizza et al. “Sensitivity of global ocean biogeochemical dynamics to ecosystem structure in a future climate.”, Geophysical Research Letters 37(13), L13607., 2010

⁶¹ Roy et al. “Projected impacts of climate change and ocean acidification on the global biogeography of planktonic foraminifera.”, Biogeosciences Discuss 11, 2014, 10083–10121.

ている珪藻類のバイオマス量が約 60%減少し、渦鞭毛藻が現状の約 70%増加するとの予測がある。この変化により、生物ポンプの効率低下等、海洋生態系の機能へも影響が生じる可能性が指摘されている（東シナ海における 2°C の水温上昇を仮定）⁶²。

日本周辺の海洋保護区について、将来気候条件下における安定性や連結性の変化について評価を行った研究によれば、日本近海の 88%が 2035 年までに予測される気候変化が、これまで経験されてきた変化の幅以上の変化にさらされることが予測されている。これにより、海洋保護区（MPA）についても、将来においてもこれまでの気候の変動幅に収まる領域は 4.1～13.9%に留まることが予測され、海洋保護区の気候変動に対する脆弱性が示唆されている。（RCP4.5 シナリオを仮定した MIROC4h による気候予測情報を使用）⁶³

⁶² Xiao et al. “Warming and eutrophication combine to restructure diatoms and dinoflagellates.”, Water research, 128, 2018, 206–216.

⁶³ García et al. “Improving the interpretability of climate landscape metrics: An ecological risk analysis of Japan’s Marine Protected”, Global change biology, 23(10), 2017, pp4440–4452

2. 第2回委員会における指摘事項

2-1. 合流式下水道の越流水による負荷について

出水時の負荷量の変動特性として、既存知見等をもとに出水時負荷量の概況を整理するとともに、東京湾、大阪湾における発生負荷量に対する合流式下水道越流水（CSO：Combined sewer overflow）の寄与率を推算した。

2-1-1. 出水時負荷量の概況

既往文献⁶⁴によると東京湾に流入する江戸川、荒川、多摩川、中川の平水時・出水時の負荷量(COD、T-N、T-P)は、図 41 に示すとおりである。負荷量全体に対する出水時負荷の寄与率は、COD は 36-60%、T-N は 25-44%、T-P は 34-61%であり、COD や T-P に比べて T-N の出水時負荷の寄与率が低いことが示されている。また、4 河川の中では、荒川が最も出水時の負荷の寄与率が高く、また、出水時負荷量に対して懸濁態成分の寄与が大きいとされている。

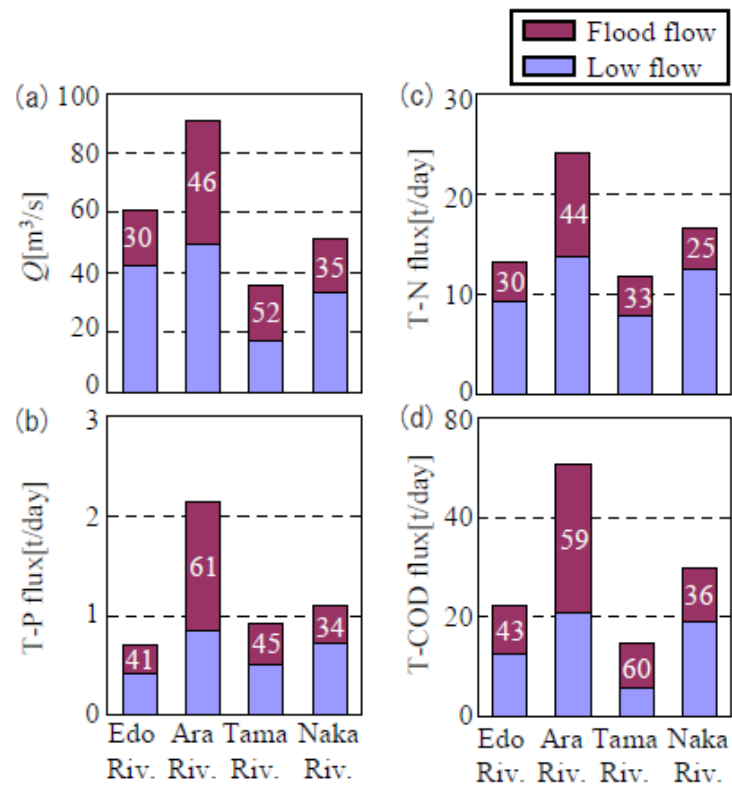
また、既往文献⁶⁵による大阪湾に流入する河川別の出水負荷の寄与は図 42 に示すとおりであり、河川によって出水時の負荷比率は異なっていることが示されている。また、出水時負荷と平水時負荷の経年変化を図 43 に示す。これによると、平水負荷は経年的に微減傾向である一方で、出水負荷は年により大きく変動していることが分かる。T-N、T-P の年間負荷量はそれぞれ約±10%、±20%の変動幅を有しており、出水負荷が年間負荷量に占める割合はそれぞれ 7～23%、14～42%である。なお、当該文献における負荷算定では、CSO は考慮されていないことから、CSO を考慮した場合の実際の出水負荷量は、より大きくなると考えられる。

さらに、大規模出水による負荷量に関しては、既往文献⁶⁶において総雨量 700 mmを超える出水時における森林地帯からの流出特性がまとめられている。これによると大規模出水時の T-N、D-N は、1 回の出水で通常 1 年分相当の T-N が流出しており、その形態は懸濁態が圧倒的に多くなることが示されている。よって、今後、極端な降雨の発生頻度が増えることにより、栄養塩の流出の動態が変化する可能性が示唆される。

⁶⁴ 「江戸川・荒川・多摩川・中川における出水時栄養塩・COD負荷特性」(坂井、二瓶ら、水工学論文集,第 52 巻,2008 年)

⁶⁵ 「大阪湾に流入する陸域負荷の実態・変遷と海域環境の変化」(中谷・川住・西田、土木学会論文集 B2(海岸工学),第 67 巻第 2 巻,2011 年)

⁶⁶ 「極端に大きな出水時の森林流域からの栄養塩流出:2011 年 7 月の高知県西部四万十川下流域における事例」(篠宮、水環境学会誌,第 42 巻第 5 号,2019 年)

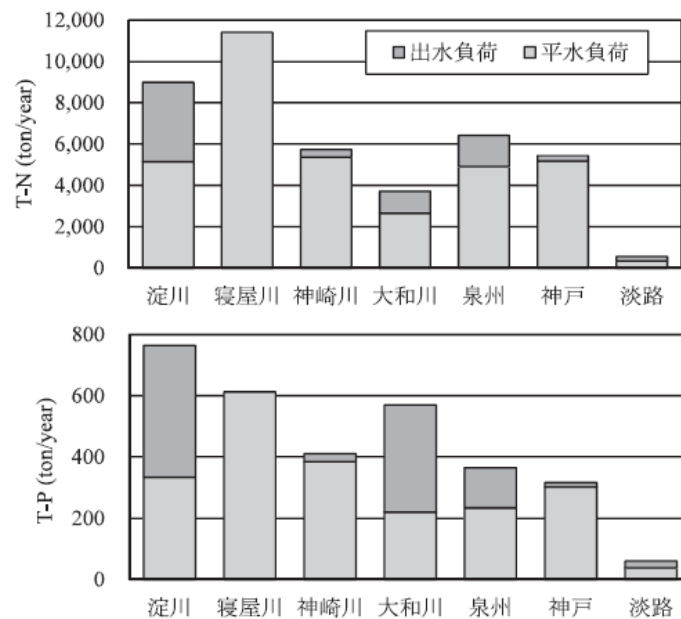


注) 1. 2001 年～2005 年における平均値を示す。

2. 白抜き文字は、全体に対する出水時の寄与率を示す。

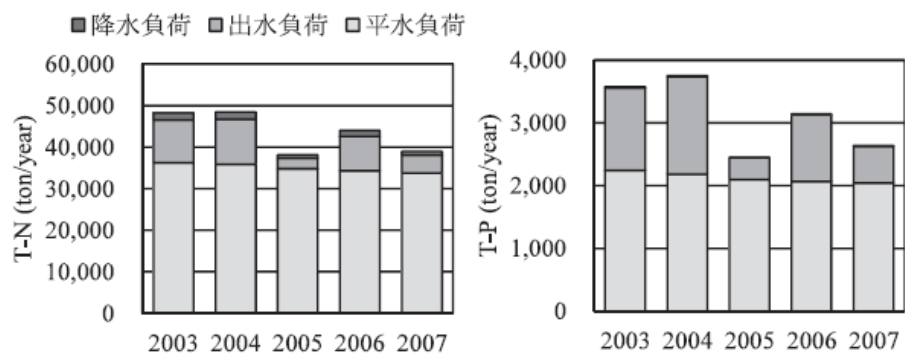
出典)「江戸川・荒川・多摩川・中川における出水時栄養塩・COD 負荷特性」(坂井、二瓶ら、水工学論文集, 第 52 巻, 2008 年)

図 41 流量、COD、T-N、T-P の年間平均値と出水時の寄与率



出典)「大阪湾に流入する陸域負荷の実態・変遷と海域環境の変化」(中谷・川住・西田、土木学会論文集 B2(海岸工学), 第 67 巻第 2 巻, 2011 年)

図 42 大阪湾に流入する各流域からの T-N、T-P の年間負荷量



出典)「大阪湾に流入する陸域負荷の実態・変遷と海域環境の変化」(中谷・川住・西田、土木学会論文集 B2(海岸工学),第67巻第2巻,2011年)

図 43 陸域負荷と降水負荷の大阪湾における年変動

なお、無機態の栄養塩類については、東京湾への流入河川である神田川における雨天時負荷量は、晴天時に比べて $\text{NH}_4\text{-N}$ が 20-35 倍、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は 2-7 倍であったとの報告がある⁶⁷。

⁶⁷ 「雨天時水質調査結果について(1)」(安藤ら、東京都環境科学研究所年報 2010)

2-1-2. 出水時の CSO の寄与

東京湾及び大阪湾における CSO 負荷量について、既存資料等の原単位を用いて推計した。

1) 原単位の整理(既存資料^{68、69}より)

東京湾流域総合計画策定時に見積もられた合流式下水道からの越流負荷量を表 27 に示す。この負荷量について、合流式下水処理区域の面積 63,352ha と越流負荷算定時(2004 年 7～9 月)の降雨実績から、単位降水量あたりの負荷量(原単位)を求め表 28 に示す。

表 27 合流式下水道からの越流負荷量(東京湾)

項目	合流式下水道からの 越流負荷量	簡易処理	備考
COD	27,616 kg/day	14,063kg/day	2004 年 7～9 月の実績
T-N	9,649 kg/day	6,153.8kg/day	〃
T-P	1,317.7 kg/day	896.5kg/day	〃

注)東京湾再生推進会議(陸域分科会)では、陸域負荷対策検討のためのシミュレーションを実施しており、このときに合流式下水道からの雨水吐き、簡易処理水の汚濁負荷量を算定しており、平成 16 年夏季(7～9 月)を対象に算定されたもの

出典)平成 29 年度 閉鎖性海域水環境改善対策調査検討業務報告書(別冊) 平成 30 年 3 月 環境省
平成 30 年度 閉鎖性海域水環境改善対策調査検討業務報告書 平成 31 年 3 月 環境省

表 28 単位降水量あたりの負荷量(原単位)

項目	単位降水量あたりの負荷量
COD	3,776.3kg/mm
T-N	1,431.8kg/mm
T-P	200.6kg/mm

出典)平成 29 年度 閉鎖性海域水環境改善対策調査検討業務報告書(別冊) 平成 30 年 3 月 環境省
平成 30 年度 閉鎖性海域水環境改善対策調査検討業務報告書 平成 31 年 3 月 環境省

⁶⁸ 平成 29 年度 閉鎖性海域水環境改善対策調査検討業務報告書(別冊) 平成 30 年 3 月 環境省

⁶⁹ 平成 30 年度 閉鎖性海域水環境改善対策調査検討業務報告書 平成 31 年 3 月 環境省

2) 東京湾及び大阪湾における CSO 負荷量の値の推計

●東京湾

前述の単位降水量あたりの負荷量及び降水量を用いて、平成 26 年度における東京湾の CSO 負荷量を推計した結果及び排出負荷量全体における CSO の割合を表 29 に示す。なお、平成 26 年度の東京の降水量は 1,808mm/年(気象庁データ)とした。

表 29 東京湾における CSO の算定結果(平成 26 年度)

項目	CSO 負荷量	負荷量全体に対する割合
COD	18.7 トン/日	11.4%
T-N	7.1 トン/日	4.2%
T-P	0.99 トン/日	8.1%

注)負荷量原単位として過去の一時期の実績値から推計した試算結果の値である。また、推計には、本資料3-3に示した東京湾における合流式下水道への対策による効果は考慮されていない。

●大阪湾

東京湾と同様に、平成 26 年度における大阪湾の CSO 負荷量を推計した結果及び排出負荷量全体における CSO の割合を表 30 に示す。なお、平成 26 年度の大阪の降水量は 1,278mm/年(気象庁データ)、大阪府の合流処理区面積は約 38,000ha(大阪府下水道統計 (H27 末))とした。

表 30 大阪湾における CSO の算定結果(平成 26 年度)

項目	CSO	負荷量全体に対する割合
COD	7.9 トン/日	8.7%
T-N	3.0 トン/日	3.4%
T-P	0.42 トン/日	7.3%

注)負荷量原単位として東京湾における過去の一時期の実績値から推計した試算結果の値である。

3) その他文献における CSO の知見

その他の文献⁷⁰では、実際の寝屋川流域下水道(合流面積:約 4,000ha)でのデータをもとに、T-N および T-P の CSO の定量的評価を行っている。

ある 1 日の降雨(2011/11/19)についての算定結果は表 31 に示すとおりである。

表 31 寝屋川流域下水道における CSO 算定値(2011/11/19)

項目	CSO 算定値
T-N	約 8,000kg/日
T-P	約 1,500kg/日

出典)西田修三(2012)大阪湾流域における栄養塩負荷の変遷と現況調査.土木学会論文集,Vol.68.No. 7,III_751-III_760.

⁷⁰ 西田修三・川住亮太・中谷祐介・村上雄大(2012)大阪湾流域における栄養塩負荷の変遷と現況調査.土木学会論文集,Vol.68.No. 7,III_751-III_760.

この値を基に、当日の降水量（大阪：79 mm）から算出した単位降水量あたりの負荷量を表 32 に示す。

表 32 寝屋川流域下水道の実測値を基に算出した単位降水量あたりの負荷量（原単位）

項目	単位降水量あたりの負荷量
T-N	約 101.2kg/mm
T-P	約 19.0kg/mm

先の大阪湾の推計例と同様に、H26 の年間降水量、大阪府の同流処理区面積から、H26 の負荷量を推計した結果を表 33 に示す。

表 33 寝屋川流域下水道の実測値を基にした大阪湾における CSO の推計結果（平成 26 年度）

項目	CSO	負荷量全体に対する割合
T-N	3.4 トン/日	3.9%
T-P	0.63 トン/日	10.9%

以上より、東京湾及び大阪湾を対象に、東京湾流域総合計画策定時の越流負荷量や寝屋川流域下水道の実測値を基に CSO の値を求め、発生負荷量に対する割合を算出した結果、いずれもおおむね 3～11%程度と見積もることができた。

2-1-3. 合流式下水道の排出汚濁負荷（BOD）

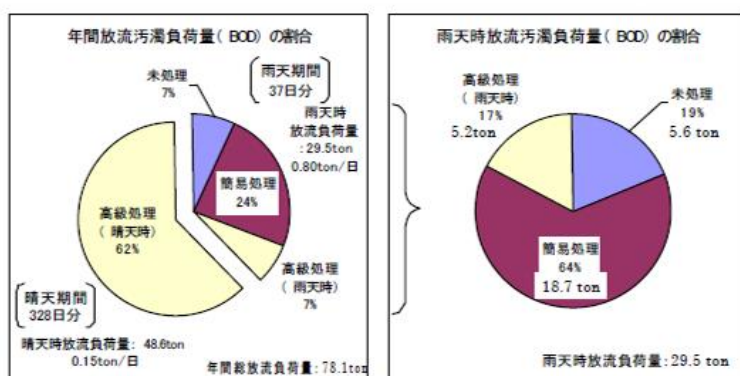
BOD について、「年間放流汚濁負荷量」に占める「雨天時放流負荷量」の割合は、38%、55%の事例がみられる。

遮集雨水量が多いほど、簡易処理が行われる雨水量が多くなるため未処理放流される雨水が下がり、結果的に雨天時放流負荷量が減少している。

3. 2 下水道の排出汚濁負荷について

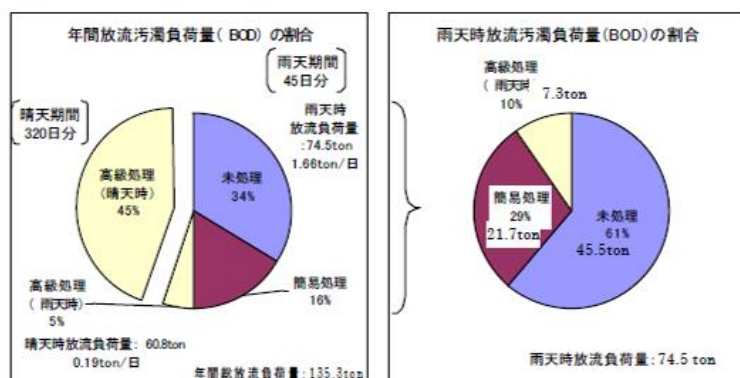
(1) 排出汚濁負荷の実態（計画遮集雨水量の異なる2つのモデル地区のシミュレーション結果による）

年間放流汚濁負荷量に占める雨天時放流負荷量の割合は、雨天期間の長さによっても変動するが、遮集雨水量が0.4mm/hrのC市では、雨天時負荷量が全体の55%となるが、遮集雨水量1.3mm/hrのA市では、全体の4割弱となっており、遮集雨水量の向上による効果が大きいことがわかる。また、C市の場合には、雨天時の未処理放流負荷量が6割を占めているが、A市のように遮集雨水量が多い場合には未処理放流負荷量を約2割まで削減することができる。



注)モデル排水区域 A:面積約 100ha, 3Q(1.3mm/hr)遮集の解析結果

図 2-1 汚濁負荷量の割合 (A市における解析事例) (財) 下水道新技術推進機構調べ



注)モデル排水区域 B:面積約 330ha, 3Q(0.4mm/hr)遮集の解析結果

図 2-2 汚濁負荷量の割合 (C市における解析事例) 日本下水道事業団調べ

出典)合流式下水道改善対策検討委員会(第1回)資料3-2 下水道の排出汚濁負荷について(国土交通省都市・地域整備局下水道部,平成 13 年)

簡易シミュレーションによると、1年間における合流式下水道へ流入する全国のBOD総流入負荷量は、809千tであり、処理等により公共用水域には95千tが流出する。

雨水時の未処理下水による負荷量は、95千tのうち40千tとされている。

(4) 流出負荷量の推定

簡易シミュレーションによると、晴天や雨天を含めた1年間で一般家庭等の点源や市街地面源から合流式下水道へ流入する全国のBOD総流入負荷量は約809千トン、下水道施設から公共用水域に排出されるBOD総流出負荷量は約95千トン、年間を通した除去率は約88%である。

しかしながら、雨天時に限れば、全国のBOD総流入負荷量は約145千トンにもかかわらず下水道施設から公共用水域に排出されるBOD総流出負荷量は約70千トン、年間を通した除去率は約52%に過ぎない。BOD総流出負荷量は晴天時に比較して約45千トンも多い。

これは、雨天時において、合流式下水道からの未処理下水の放流や簡易処理水の放流に原因があり、放流先の水質汚濁への影響が懸念される。

表4—4 年間BOD総流入負荷量及び流出負荷量

単位:千t/年

項目	晴天時	雨天時			年間
流 入	晴天時汚水起因	雨天時汚水起因	雨水起因		負荷量合計
	664	99	46		809
流 出	晴天時高級処理	雨天時高級処理	簡易処理	未処理	負荷量合計
	25	4	26	40	95

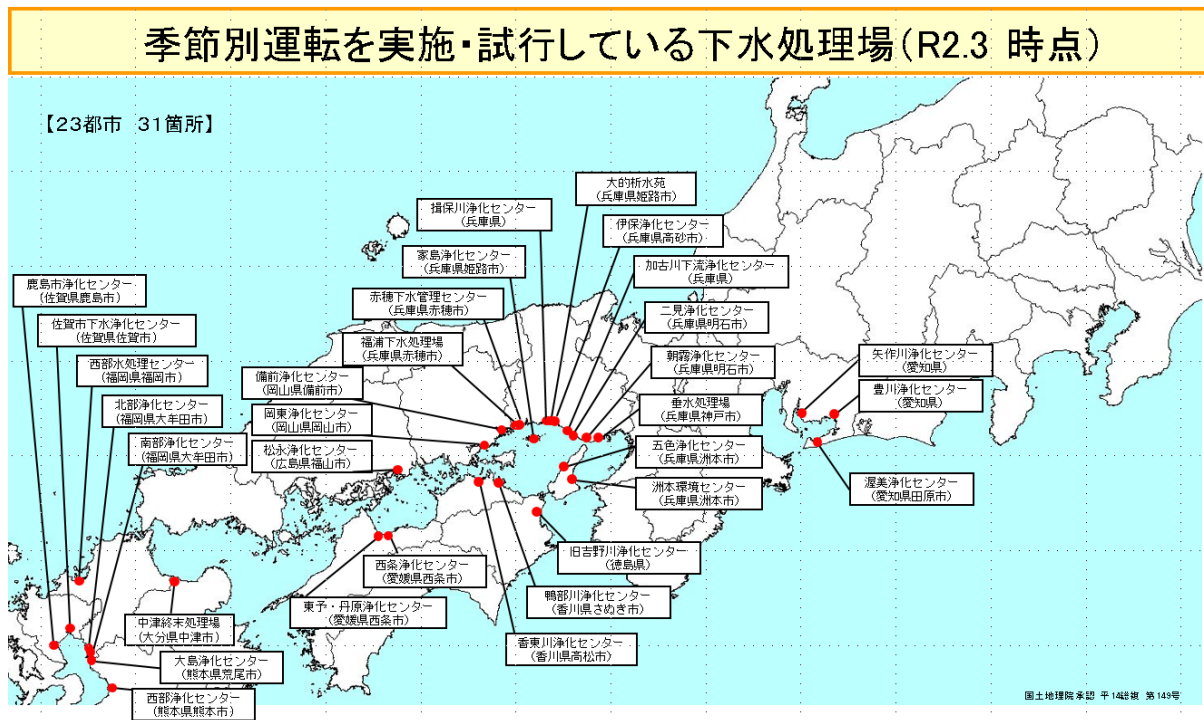
出典)合流式下水道の改善対策に関する調査報告書(国土交通省都市・地域整備局下水道部,平成14年)

2-2. 下水処理場の季節別管理運転の実施状況について

下水処理場における季節別管理運転の実施状況について、以下のとおり事例を整理した。

2-2-1. 季節別管理運転を実施している下水処理場

令和2年3月時点で、23都市31箇所の下水処理場において季節別管理運転が実施・試行されている（図44）。



出典)国土交通省提供資料

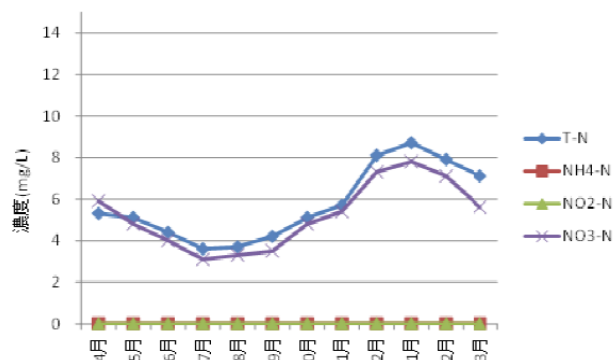
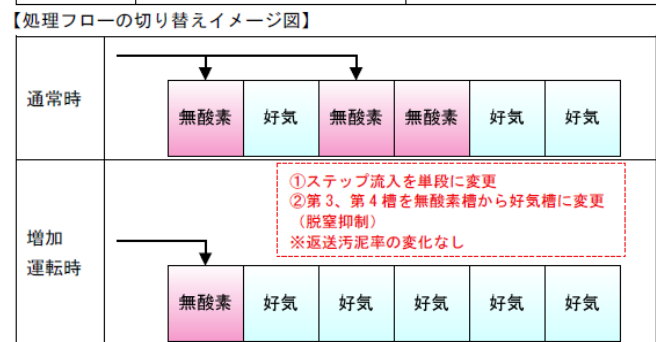
図 44 季節別運転を実施・試行している処理場(令和2年3月)

2-2-2. 栄養塩類の能動的管理（窒素除去抑制）の運転方法の例

栄養塩類の能動的管理による具体的な処理フローの変更例は、図 45 及び図 46 に示すとおりに挙げられる。放流水質を確認すると、脱窒抑制運転では、排水中の窒素は、硝酸態窒素が多くなる。また、硝化抑制運転では、排水中の窒素は、アンモニア態窒素が多くなる。

【管理目標値】 ※表中、括弧内の数値は増加運転前の同時期の管理目標値

項目	通常時	増加運転時
DO (mg/L)	好気槽：0.5～1.0、嫌気槽：0.0 最終槽：2.5 以上	好気槽：0.5～1.0、嫌気槽：0.0 (好気槽：0.5～1.0、嫌気槽：0.0) 最終槽：2.5 以上 (2.5 以上)
MLSS (mg/L)	1,800～2,400	2,000～2,200 (1,800～2,400)
ORP (mV)	好気槽：200 以上、 嫌気槽：-100 以下	好気槽：200 以上 (200 以上) 嫌気槽：-100 未満 (-100 以下)
BOD-SS 負荷 (kg/日)	最終槽：0.09～0.11	最終槽：0.09～0.11 (0.09～0.11)
返送汚泥率	40～60%	30～50%
送風倍率	6.3 倍	9.0 倍 (10.7 倍)



出典)「下水放流水に含まれる栄養塩類の能動的管理のための運転方法に係る手順書(案)」平成 27 年9月、
国土交通省水管理・国土保全局下水道部

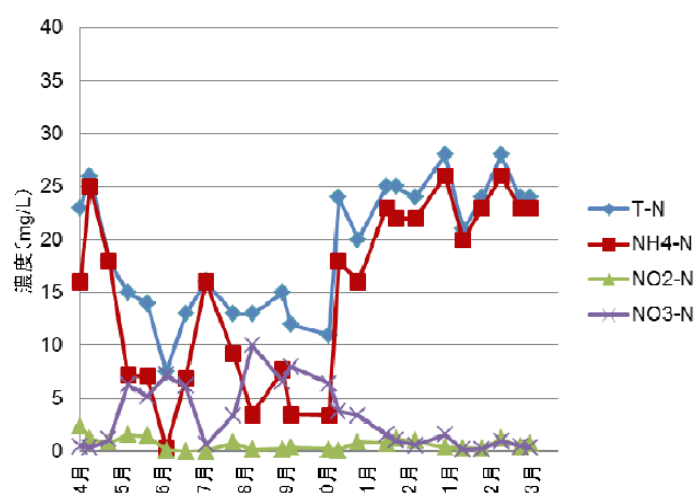
図 45 脱窒抑制運転の管理目標値及び処理フローの変化（上図）と放流水質（下図）

【管理目標値】 ※表中、括弧内の数値は増加運転前の同時期の管理目標値

項目	通常時	増加運転時
DO (mg/L)	最終槽：1.2	最終槽：1.2 (1.2)
MLSS (mg/L)	最終槽：1,100	最終槽：1,000 (1,000)
pH (-)	6.6～6.8	6.9 (6.6～6.8)
BOD-SS 負荷 (kg/日)	0.2～0.4	0.2～0.4 (0.2～0.4)
返送汚泥率	50%	50%
送風倍率	4 倍	3 倍 (4 倍)

【処理フローの切り替えイメージ図】

通常時	嫌気	嫌気	好気	好気	好気	好気	好気	好気
増加運転時	嫌気	嫌気	2 段嫌気から 4 段嫌気に変更 ※返送汚泥率の変化なし			好気	好気	好気



出典)「下水放流水に含まれる栄養塩類の能動的管理のための運転方法に係る手順書(案)」平成 27 年9月、国土交通省水管理・国土保全局下水道部

図 46 硝化抑制運転の管理目標値及び処理フローの変化（上図）と放流水質（下図）

2-2-3. 下水処理場における季節別管理運転の効果の例

下水処理場の季節別管理運転の効果について、ノリの収穫期である冬季を中心に季節別運転を実施している、兵庫県の加古川下流浄化センター及び明石市二見浄化センターの例を示す。

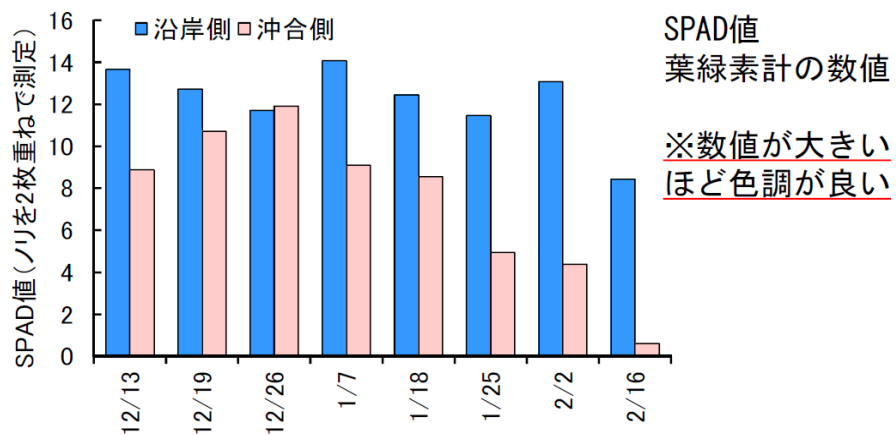
兵庫県加古川市にある加古川下流浄化センターでは、放流水中の窒素排出量の増加が確認され、近隣のノリ養殖場に到達していると考えられた。また、ノリが迅速に栄養塩を取り込んでいることが確認されている。また、室内実験において間欠的な栄養塩の供給であっても、ノリ葉体の色調が回復することが示されている。放流先である播磨灘の周辺海域においては、BOD、COD、SS、T-Pのうち、COD以外の項目は年間を通じて環境基準を満たしており、また底層DOも5 mg/Lであり、水質について負の影響は報告されていない（図 47）。

また、明石市二見浄化センター付近における漁場での測定では、栄養塩供給を強く受ける沿岸側でノリの色調も良好とされている（図 48）。

	結果のまとめ
・ 運転管理の実施による窒素排出量の増加	運転管理の実施による、 <u>窒素排出量の増加が確認された。</u>
・ 海域（ノリ養殖場）への栄養塩類供給の状況	加古川下流浄化センターからの <u>栄養塩類は、ノリ養殖場へ到達していると考えられる。</u>
・ ノリの栄養塩類吸収 1) 間欠的な栄養塩類供給による色落ちノリの色調回復（室内実験）	<u>間欠的な栄養塩供給でノリ葉体の色調は回復することが、室内実験において観察された。</u>
2) ノリが吸収する栄養塩類の由来	ノリが吸収する栄養塩類の由来について、 $\delta^{15}\text{N}$ を調査することで、 <u>河川からの栄養塩類の供給に占める割合が高いこと、間欠的に届く河川由来の栄養塩類を取り込んでいること、栄養塩類の取り込みは色調の変化が起こるよりも迅速に行われることが確認された。</u>
・ 放流先周辺海域の水環境への影響	従来の継続的なモニタリングが実施されており、水質については負の影響は報告されていない

出典)「栄養塩類の管理に係る順応的な取組の検討」中央環境審議会水環境部会瀬戸内海環境保全小委員会(第10回)資料(平成30年3月)

図 47 下水処理場における栄養塩類の能動的管理の効果等の整理状況



ノリの色調は陸域からの栄養塩供給を強く受ける沿岸側で良好。 ※12/26以外は沿岸側と沖合側の色調に有意差あり

出典)「栄養塩管理運転に伴う下水処理水中の窒素がノリ漁場に与える効果の実証」(平成 29 年 10 月、兵庫県立農林水産技術総合センター水産環境部)

図 48 ノリ漁場区のノリの色調

2-3. 下水処理場の高度処理化による負荷量の削減効果について

第2回専門委員会において指摘のあった下水処理場における高度処理の導入による負荷量削減の効果について、負荷量算定のための水量・水質のデータが処理場の吐口において計測されていることが一般的であるため、高度処理が導入された系列のみを対象として負荷量を算定することができない等の理由により定量的に把握することが困難である。

代わりうるものとして、参考に高度処理法による N、P の除去率を以下のとおり示す(表 34)。

表 34 単位処理プロセスを組み合わせた高度処理方法とその処理効率

原 水	処理方法	BOD	SS	COD	T-N	T-P
二次処理水	急速ろ過法	6~9 約 40	4~6 約 60	10~16 約 20	18~25 10~15	1.3~2.5 10~20
	凝集沈殿法+急速ろ過法	5~7 50~60	4~5 60~70	7~10 40~60	16~25 約 20	0.2~0.5 60~90
	凝集沈殿法+急速ろ過法+活性炭吸着法	3~4 70~80	2~3 約 80	4~5 65~75	15~20 約 30	0.2~0.5 60~90
	急速ろ過法+活性炭吸着法	4~5 60~70	2~3 約 80	4~6 65~70	15~20 約 30	1.2~2.2 20~25
一次処理水	凝集剤添加活性汚泥法	10~12 92~93	6~12 92~95	10~16 80~85	18~25 25~30	0.4~0.7 約 90
	凝集剤添加活性汚泥法+急速砂ろ過法	5~8 94~96	4~6 95~97	8~12 85~90	18~25 25~30	0.2~0.5 約 95
	循環式硝化脱窒法	8~12 92~94	7~15 90~95	10~16 80~85	8~10 65~70	1.5~3.0 40~50
	嫌気好気活性汚泥法	6~13 90~95	6~12 90~95	17~29 75~85	18~20 25~30	1.0 以下 80
	嫌気無酸素好気法	10 92	8 93	11~14 80~85	8~10 60~70	0.8~1.2 70~80
	凝集剤併用型循環式硝化脱窒法	7~10 93~95	6~12 92~95	9~15 約 85	8~10 65~70	0.4~0.7 約 90
	ステップ流入式多段硝化脱窒法	8~12 92~94	7~15 90~95	10~16 80~85	5, 7, 9 83, 78, 67	1.5~3.0 40~50
	凝集剤併用型ステップ流入式多段硝化脱窒法	7~10 93~95	6~12 92~95	9~15 約 85	5, 7, 9 83, 78, 67	0.4~0.7 約 90
	硝化-内生脱窒法	11 94	13 93	14~18 80~85	3~9 70~90	2.5~3.0 40~50
	凝集剤併用型硝化-内生脱窒法	11 94	13 93	14 約 85	3~9 70~90	1.0~1.5 70~80
流入汚水	高度処理オキシデーションディッチ法	8~12 93~96	7~15 92~96	10~16 82~90	4~6 約 85	1.5~3.0 40~70
	循環式硝化脱窒型膜分離活性汚泥法	3 以下 98.5	1 以下 99.5	7~8 92~93	10 以下 約 70	約 0.5 約 90

上段：処理水質 (mg/L)

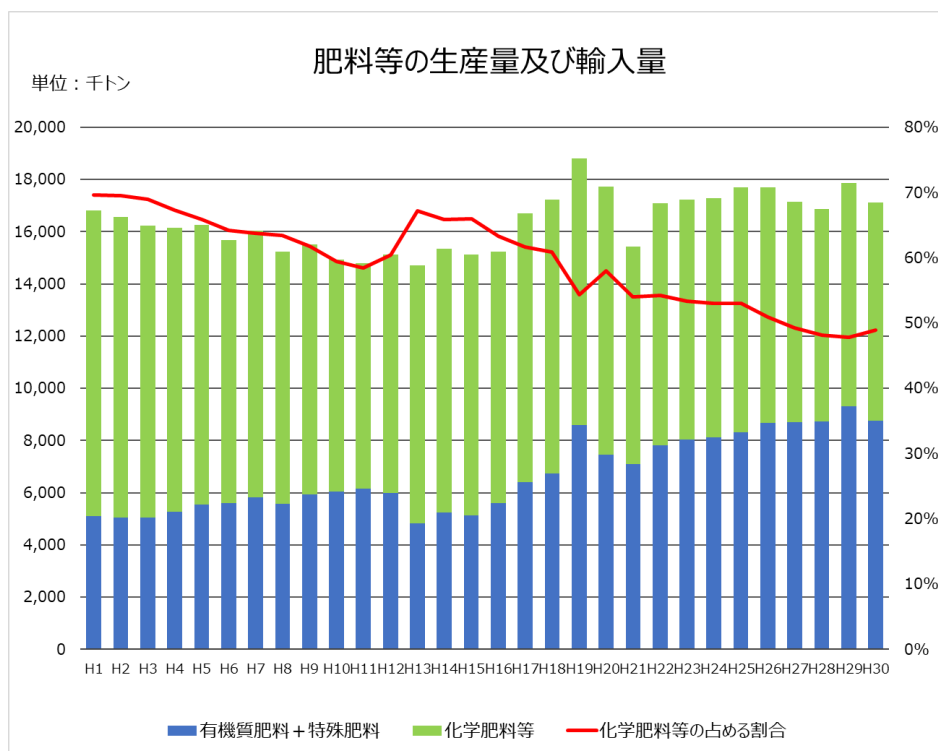
下段：除去率 (%)

出典)「流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説(H27.1)」

2-4. 肥料の使用実態について

農地からの環境への負荷に影響する要因として、肥料の使用実態に関連するデータとして、肥料の使用そのものに係るデータは存在しないため、生産及び輸入量について以下のとおり整理した。

肥料の生産量及び輸入量の合計は、ほぼ横ばいで推移しているものの、有機質肥料や堆肥などの特殊肥料に比べて、窒素・リン酸など有効成分の含有量が高く、速効性の環境に負荷を与えやすい化学肥料等は 30 年前に比べ 7 割に減少しており、全体における割合も 7 割から 5 割以下に減少している。一方、化学肥料等に比べ緩効性で農地からの窒素・リン酸等の流出負荷が低減される有機質肥料及び堆肥などの特殊肥料の生産及び輸入量は、30 年前に比べ 1.7 倍に増加している（図 49）。



資料：農林水産省調べ

注1) 肥料取締法に基づき普通肥料(大臣登録)の種類別に報告された生産量及び輸入量を合計したものに、都道府県から報告のあった普通肥料(知事登録)及び特殊肥料の生産量及び輸入量を合計したもの。他の肥料の原料用に用いられるものを含むため、実際の肥料の使用量とは異なる。

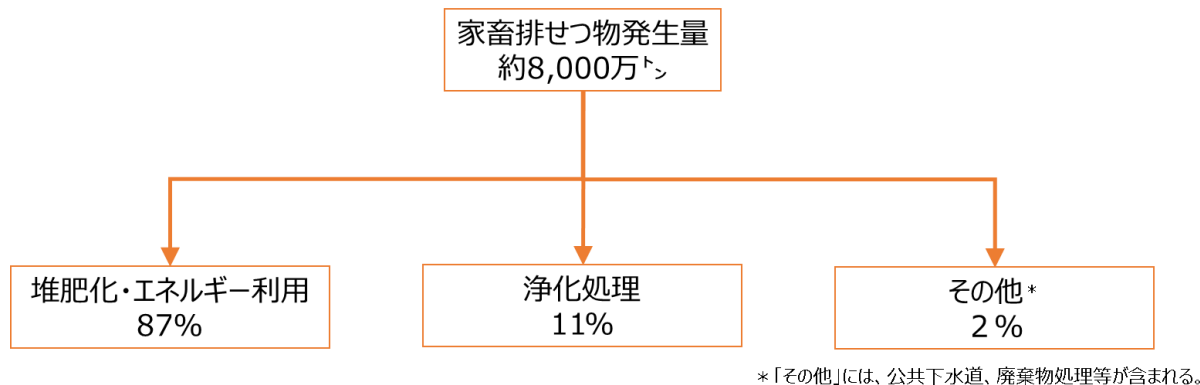
注2)「化学肥料等」: 窒素質肥料、リン酸質肥料、加里質肥料、複合肥料等

注3)「有機質肥料＋特殊肥料」: なたね油かす、わたみ油かす、堆肥等

図 49 肥料の生産量・輸入量合計の推移

2-5. 家畜排せつ物の利用状況について

家畜排せつ物の処理状況を整理したところ、以下のとおり年間約 8,000 万トンの家畜排せつ物のうち、約 9 割が堆肥化・エネルギー利用されていることがわかった（図 50）。



注1) 畜産統計（令和2年2月時点）、食鳥流通統計（令和2年5月時点）、家畜排せつ物処理状況等調査結果（平成21年）を基に畜産振興課で推計。

注2) 家畜排せつ物の発生量は、乳用牛・肉用牛・豚・採卵鶏・ブロイラーの合計である。畜種ごとに以下の通り計算し、全畜種を合算している。

畜種ごとの1頭当たりの家畜排せつ物の重量（（一財）畜産環境整備機構調べ）×畜種ごとの飼養頭羽数（畜産統計等）

注3) 家畜排せつ物の仕向先割合は、仕向先別の全畜種の家畜排せつ物の合計量／家畜排せつ物の発生量であり、仕向先別の畜種ごとの家畜排せつ物量は、以下の通り計算している。

（畜種ごとの1頭当たりの家畜排せつ物の重量（（一財）畜産環境整備機構調べ）×畜種ごとの飼養頭羽数（畜産統計等）
×畜種ごとの飼養頭羽数ベースの仕向割合（家畜排せつ物処理状況等調査**）

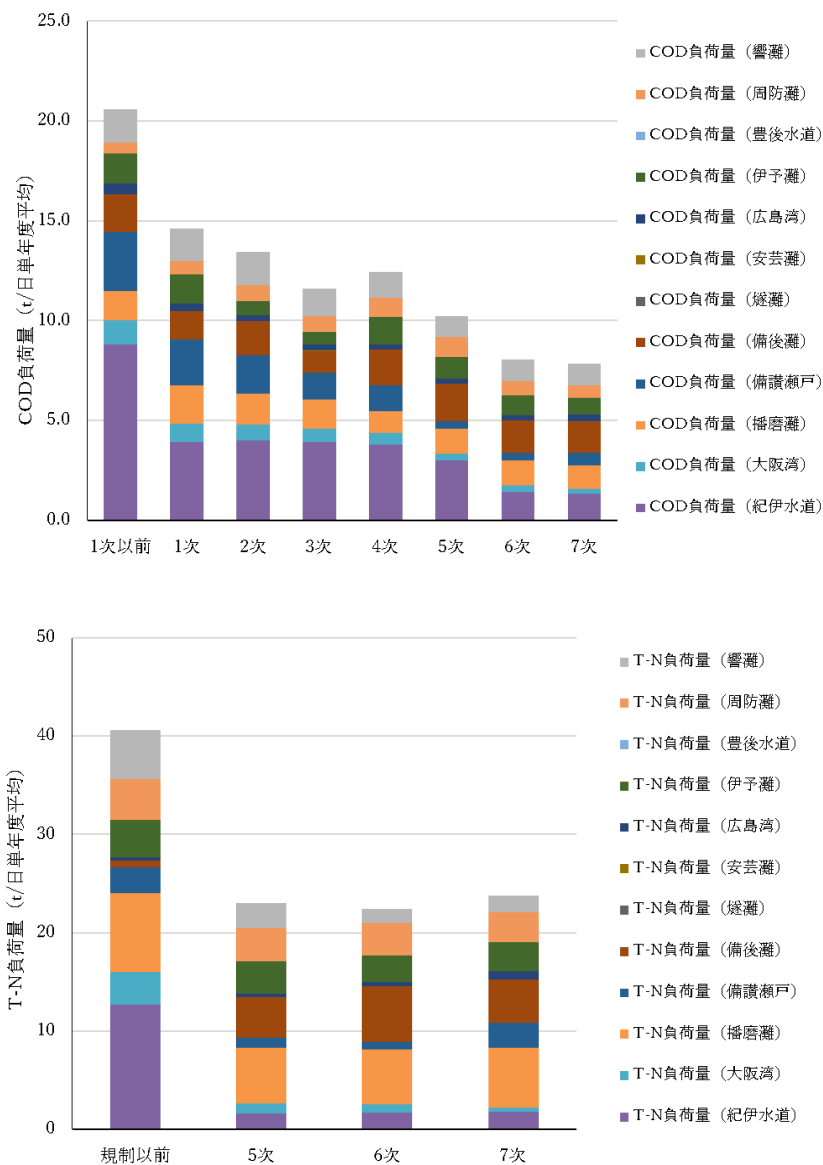
** 家畜の飼養者のうち飼養頭羽数が家畜排せつ物法に基づく管理基準の適用規模以上の者を対象とした調査。

（管理基準の適用規模は、牛：10頭以上、豚：100頭以上、鶏：2,000羽以上）

図 50 家畜排せつ物の処理状況フロー

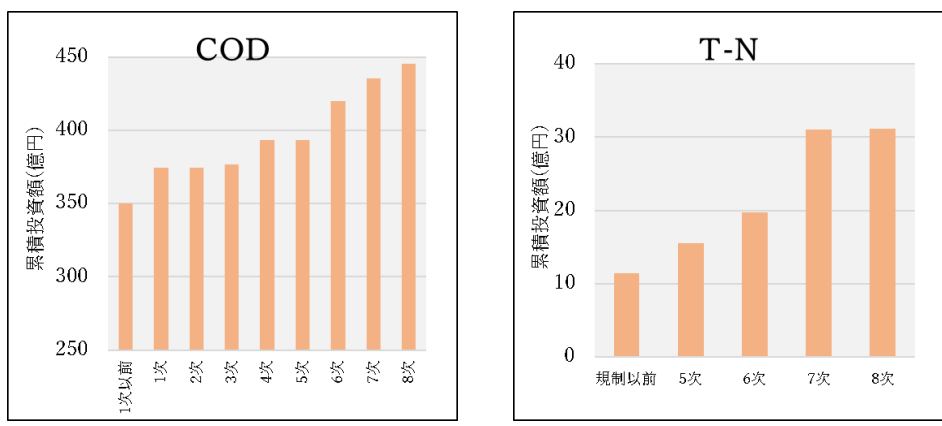
2-6. 鉄鋼業界における投資額と負荷量について（瀬戸内海）

鉄鋼業界における負荷量及び排水処理対策のための投資額について、瀬戸内海における実績を湾灘ごとに整理した（図 51、52）。



出典) 発生負荷量等算定調査

図 51 瀬戸内海における鉄鋼業の湾灘ごとの COD（上）及び窒素（下）負荷量



注)投資額は、日本鉄鋼連盟会員企業に対し「特定事業場の排水処理対策投資」として調査を行い、協力を得られた企業の回答を集計したもの。第8次の投資額は、16社45事業所より回答を得た。

図 52 瀬戸内海における鉄鋼業の COD（左）及び窒素（右）の排水処理対策のための投資額

3. 第3回委員会における指摘事項

3-1. 製紙業界における排水中の浮遊物質質量及び水の回収率について

製紙業界における排水中の浮遊物質質量及び取水・排水比率について、以下のとおり主な事業場におけるデータを示す（表 35）。

表 35 製紙業界の3事業場における排水等の状況について(2019 年度)

	排水中の浮遊物質質量	取水・排水比率	
		取水	排水
A 工場（東京湾）	0.08 t/日	—	—
B 工場（伊勢湾）	1.5 t/日	16.0 万 t/日	15.7 万 t/日
C 工場（瀬戸内海）	4.3 t/日	28.8 万 t/日	29.3 万 t/日

注) 排水は雨水等の影響を受ける。

出典) 日本製紙連合会調査結果

3-2. 水産資源と栄養塩類の関係性について

中央環境審議会水環境部会瀬戸内海環境保全小委員会において、栄養塩類と水産資源に係る調査・研究の状況の収集・整理や、関係団体及び有識者へのヒアリング等を実施し、水環境及び水産資源等に係る主な課題が整理された。

【水産資源と栄養塩類の関係に係る主なヒアリング】

○ 瀬戸内海環境保全小委員会（第 11 回）（平成 30 年 8 月 22 日）

大阪府、兵庫県、香川県、瀬戸内海関係漁連・漁協連絡会議、兵庫県漁業協同組合連合会、香川県漁業協同組合連合会、水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所（当時） 阿保氏

○ 瀬戸内海環境保全小委員会（第 12 回）（平成 31 年 1 月 10 日）

広島県、愛媛県、大分県、山口県漁業協同組合、愛媛県漁業協同組合連合会、大分県漁業協同組合

○ 瀬戸内海環境保全小委員会（第 18 回）（令和元年 10 月 18 日）

国立環境研究所 金谷氏、水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所（当時）阿保氏・吉田氏 等

これらを踏まえ、「瀬戸内海における今後の環境保全の方策の在り方について（答申）」において以下のとおり取りまとめられた。

「瀬戸内海における今後の環境保全の方策の在り方について（答申）」 （令和 2 年 3 月、中央環境審議会）（抄）

2. 各課題と今後の方策の在り方について

（1）栄養塩類の管理等による生物の多様性及び生産性の確保

① 課題

（略）

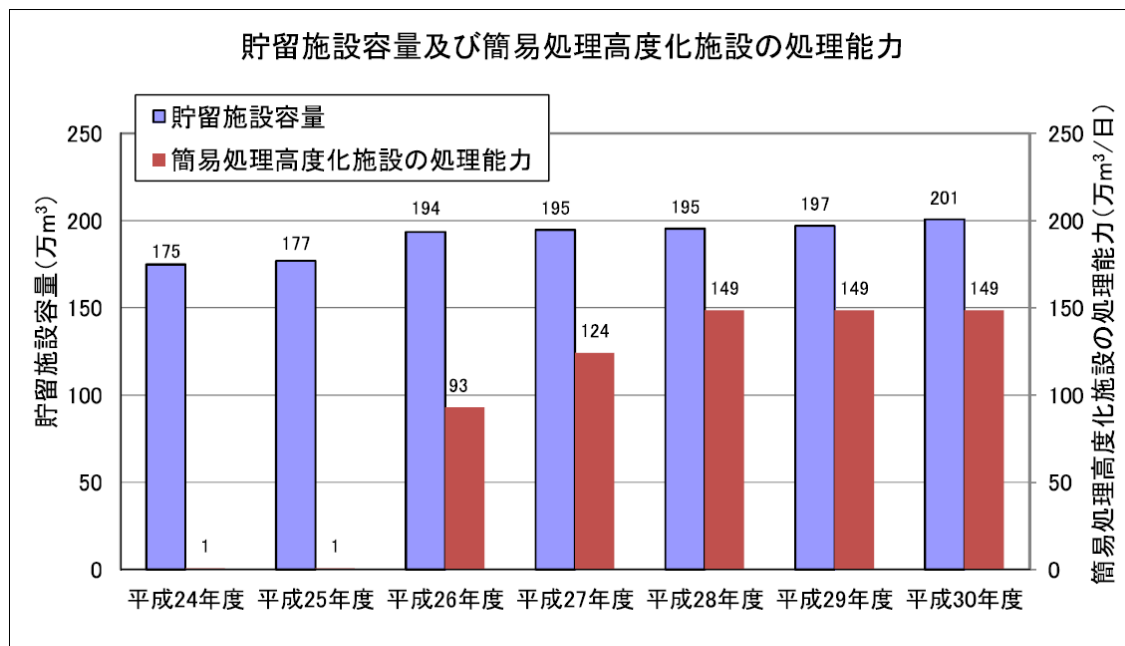
播磨灘、備讃瀬戸等においては、栄養塩類濃度の低下及び水温の上昇等による植物プランクトンの種組成の変化により、冬季に大型珪藻（Eucampia 属/ユーカンピア属）が優占するようになり、栄養塩類を巡る競合が起こり、養殖ノリ等の色落ち被害が発生している。また、播磨灘では、これまでの研究成果や検討等から、栄養塩類濃度が大きく減少している播磨灘東部におけるイカナゴ資源に対して、栄養塩類、植物プランクトン、動物プランクトン等の餌環境といった低次生態系の変化が影響を与えている可能性があることが示唆されたところである。広島湾や周防灘南部等におけるカキやアサリといった水産資源の変動をもたらす環境要因としては、水温、海流、餌環境等があり、栄養塩類が植物プランクトンの生成を通じて魚介類等の水産資源に与える影響の可能性も指摘されている。

（以下略）

3-3. 東京湾における合流式下水道への対策による効果について

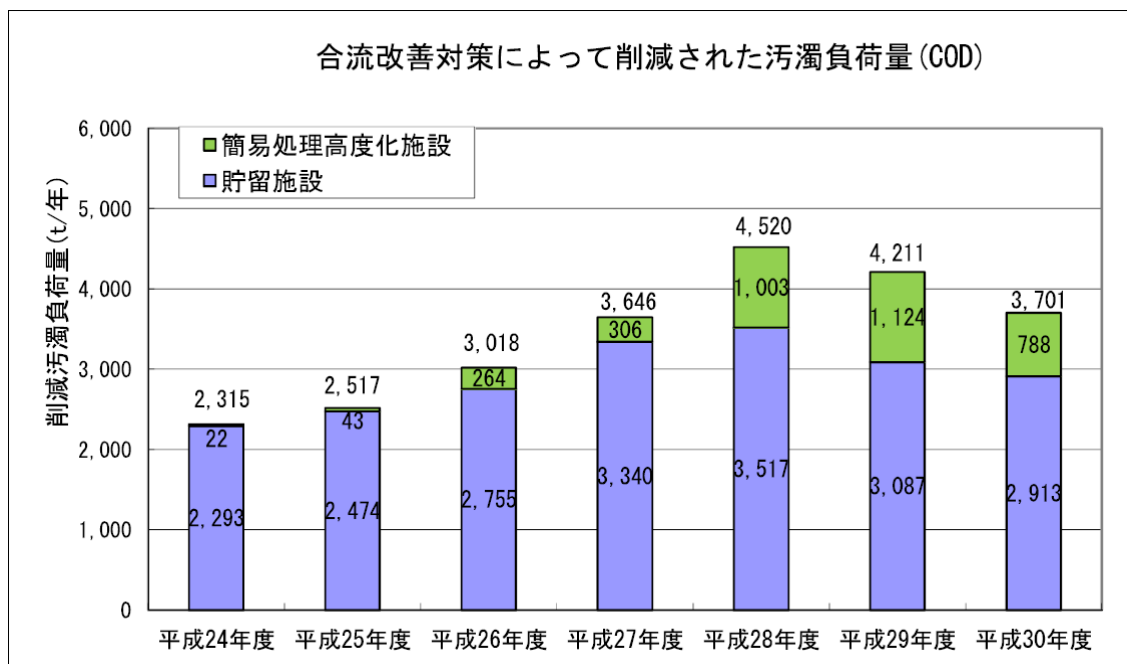
下水道の合流改善による汚濁負荷量の削減効果について、東京湾における算出結果を以下に示す。

合流式下水道の改善対策の実施に伴って対策施設（貯留施設及び簡易処理高度化施設）の容量、処理能力は増大し（図 53）、削減汚濁負荷量は平成 24 年度から平成 28 年度にかけて着実に増加した（図 54）。なお、平成 29 年度、平成 30 年度においては平成 28 年度に比べ年間降水量が少なかったため、削減汚濁負荷量が減少した。



出典)「東京湾再生のための行動計画(第二期)第2回中間評価報告書 付録 指標に関する中間評価」令和2年7月、東京湾再生推進会議

図 53 貯留施設容量及び簡易処理高度化施設処理能力の推移



【削減負荷量の算定方法】

①貯留施設、②簡易処理高度化施設で削減された汚濁負荷量の合計値を、合流改善対策施設により削減された汚濁負荷量とした。

① 貯留施設

削減汚濁負荷量＝流入負荷量－放流負荷量

＝貯留量×（流入水質－下水処理施設の処理水質）

※ 貯留量は実績値、流入水質及び下水処理施設の処理水質は実測値または推測値とした。

② 簡易処理高度化施設

削減汚濁負荷量＝流入負荷量－放流負荷量

＝流入量×（流入水質－簡易処理高度化施設の処理水質）

※ 流入量は実測値、流入水質及び簡易処理高度化施設の処理水質は実測値または推測値とした。

出典)「東京湾再生のための行動計画(第二期)第2回中間評価報告書 付録 指標に関する中間評価」令和2年7月、東京湾再生推進会議

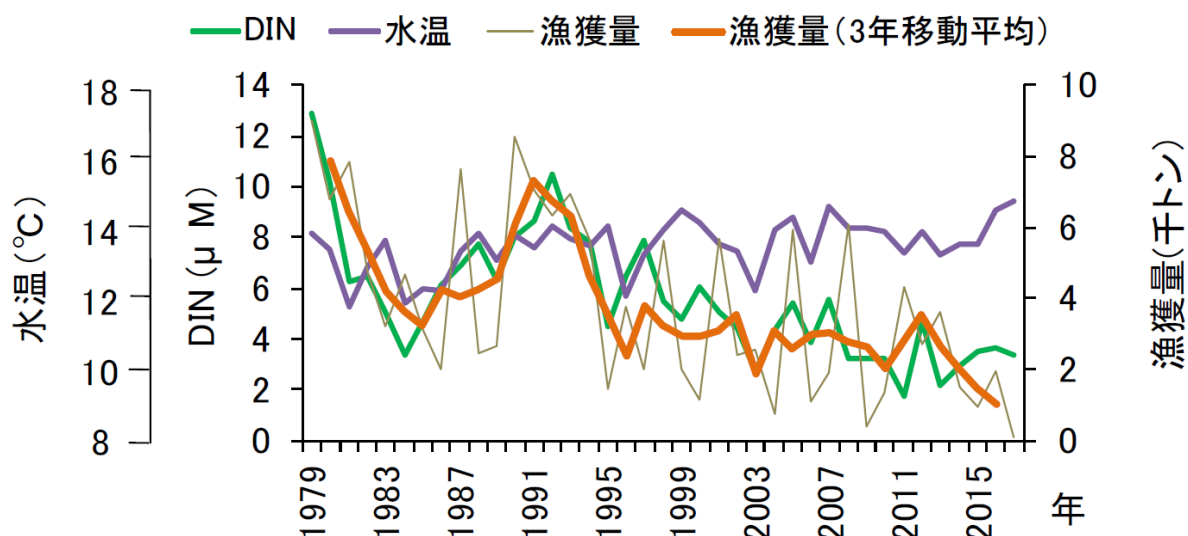
図 54 削減汚濁負荷量の推移

3-4. 兵庫県におけるイカナゴ資源の減少要因に関する研究について

兵庫県で行われたイカナゴ資源の長期的な減少の要因に関する研究について、第3回専門委員会における指摘への兵庫県回答を以下のとおり示す。

3-4-1. 水温とイカナゴ漁獲量の関係

冬季水温が低いほど漁獲量が多い傾向が見られたが、統計的に有意ではなかった（図55）。



※ 水温と DIN は 11-3 月、播磨灘 15 地点の表層、10m 層平均値

出典)「豊かな瀬戸内海の再生を目指して～豊かな瀬戸内海再生調査事業の成果～」兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター

図 55 播磨灘で操業する主要漁協のしんこ漁獲量と水温および DIN の経年変化

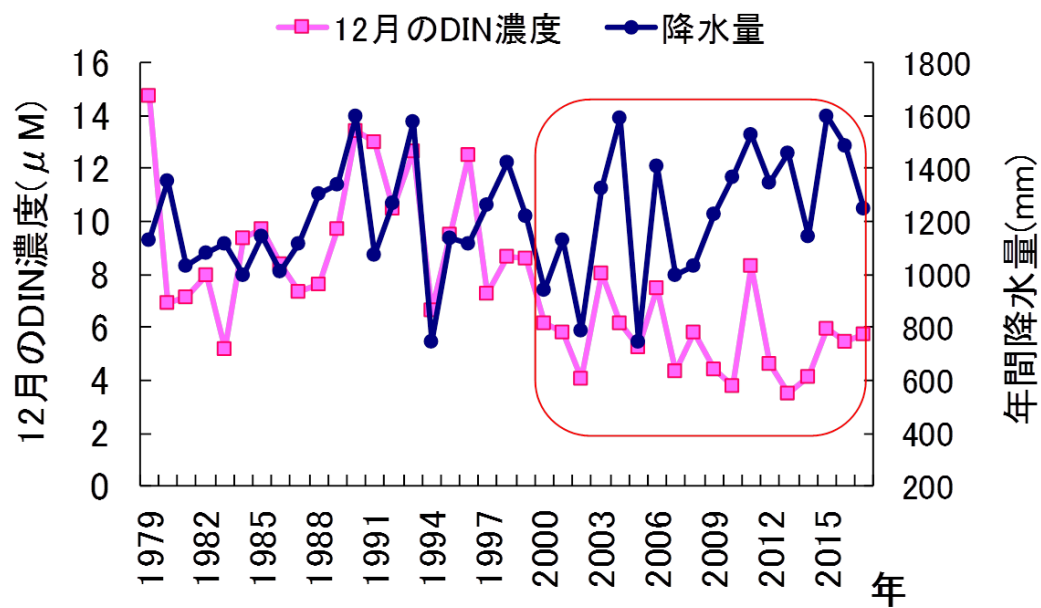
3-4-2. 水温に関するシミュレーションの結果

1990 年代半ばの水温環境（現況－1℃）を想定し、シミュレーションしたところ、漁獲量は現況の 0.9 倍と試算され、現況からの変化は僅かであった。

（詳細は、別添「豊かな瀬戸内海の再生を目指して」のとおり。）

3-4-3. 年毎の DIN の変動理由

播磨灘の DIN 濃度は概ね全室素と同様に減少傾向にあるが、年による変動は降雨による陸水からの供給、外海水の流入等が複雑に関連している。このため、明確な解析はなされていないが、同海域の DIN 濃度（12 月）と近隣地域の降水量は同調して変動する傾向がある（図 56）。



※ 近年は降水量が増加した場合でも海域の DIN 濃度が以前と比較して上昇していない傾向が見られる（赤ライン部）。

出典)「海と湖の貧栄養化問題 水清ければ魚棲まず(地人書館)」より改変

図 56 播磨灘の DIN(12 月)と近隣地域(姫路ほか2地点)の降水量の経年変化

豊かな瀬戸内海の再生を目指して

●豊かな瀬戸内海再生調査事業の成果●

■はじめに

兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センターは、2015～2019年度（5カ年）に「豊かな瀬戸内海再生調査事業」を実施しました。この調査ではイカナゴ漁場の現地調査と既往情報の詳細な分析を行うとともに、大阪湾・播磨灘イカナゴ生活史モデルを開発し、過去の環境（栄養塩、水温）を想定したシミュレーションを行いました。それらの結果から、海域の貧栄養化が、イカナゴ資源の長期的減少の要因と考えられました。本冊子では結論に至る主な調査結果を紹介します。



■豊かな瀬戸内海再生調査事業検討会

海洋生物学、生態系モデル、水産学の専門家6名で構成される検討会を設置し、検討会の意見を踏まえて調査の実施と成果の取りまとめを行いました。



■事業目的

瀬戸内海の水質は大幅に改善されましたが、養殖ノリの色落ちや漁船漁業の漁獲量の減少が続くなど、海の豊かさが失われています。その原因として生物生産に必要な栄養塩の減少（貧栄養化）が危惧されています。そこで本事業では、兵庫県の代表的魚種であるイカナゴを対象に、栄養塩と漁獲量の関係を明らかにすることを目的に調査研究を行いました。



■事業期間

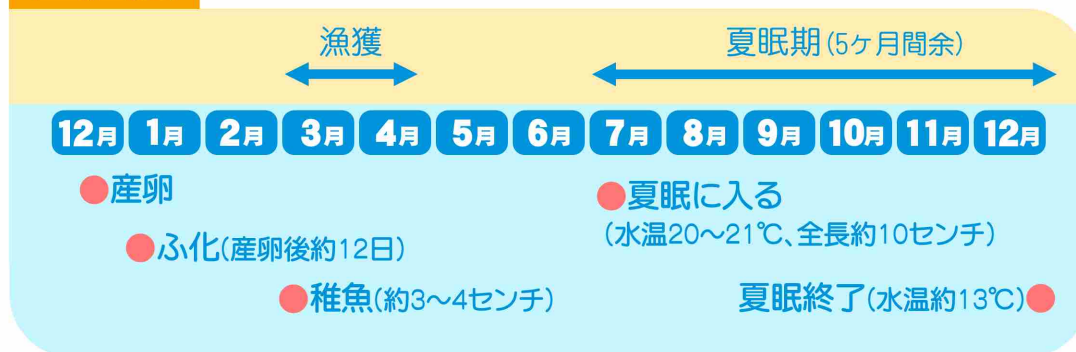
2015～2019年度（5カ年）

■調査対象魚種

イカナゴ
（稚魚～幼魚“しんご”、満1歳魚以上“ふるせ”）

イカナゴの生態

生活史



産卵

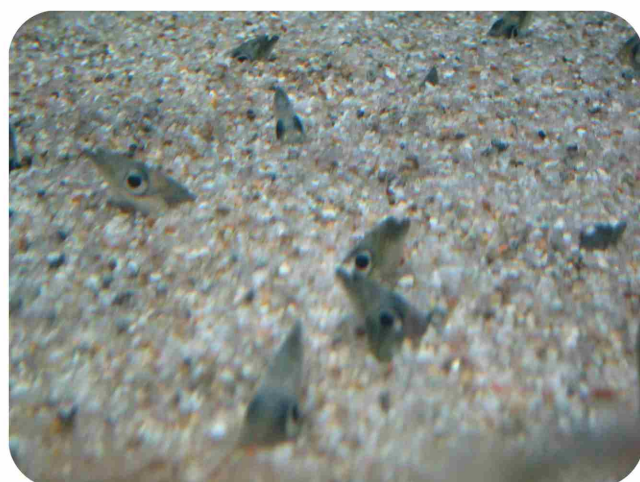
大阪湾・播磨灘のイカナゴは12月後半から1月上旬に、明石海峡に近い鹿ノ瀬、室津ノ瀬、須磨ノ瀬、沖ノ瀬など、潮通しの良い海底の砂に卵を産みつけます。卵は約12日でふ化し、仔魚は海中を漂いながら成長します。全長が3~4cmを超える2月下旬~3月上旬から“しんこ”漁が始まり、4月頃まで続きます。その後“しんこ”は夏眠を経て12月に満1歳となり成熟・産卵します。



●明石海峡周辺の産卵・夏眠場所(橙色部分)●

夏眠

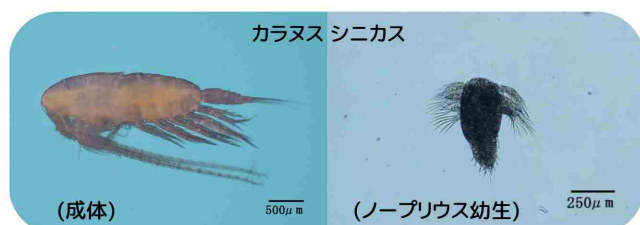
イカナゴの生態の大きな特徴は海水温が高くなる夏は砂に潜って夏眠することです。全長10cm前後に成長し、海水温が20℃を超える6月下旬から7月上旬に夏眠に入ります。夏眠場所は産卵場と同じです。夏眠終了は水温が13℃付近まで低下する12月です。夏眠期間は5ヵ月間を超えますが、その間は餌を食べません。また、夏眠期間中に卵巣や精巣が発達し、夏眠終了後は速やかに産卵します。子孫を残すためには、夏眠に入る前に餌を十分食べて、体にエネルギーを蓄えることが重要です。



●砂に潜るイカナゴ●

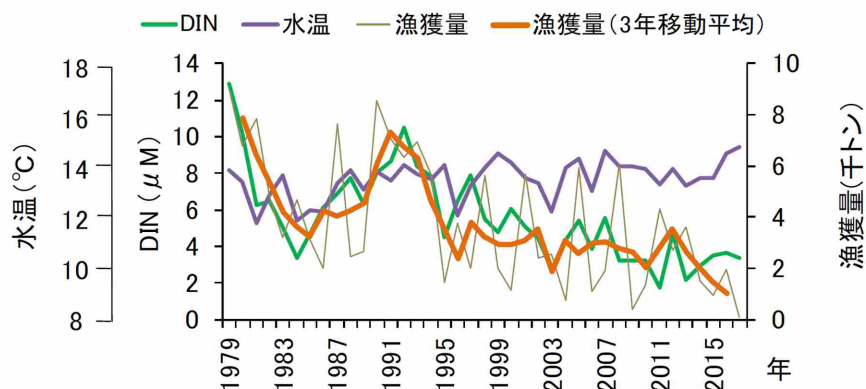
食性

イカナゴの主な餌は動物プランクトン(かいあし類)です。成長につれて餌のサイズも大きくなります。大型種のカラヌス シニカスが餌生物として特に重要です。



●動物プランクトン(かいあし類)●

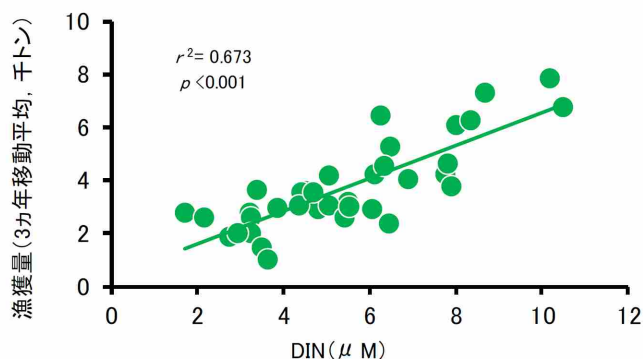
漁獲量の減少



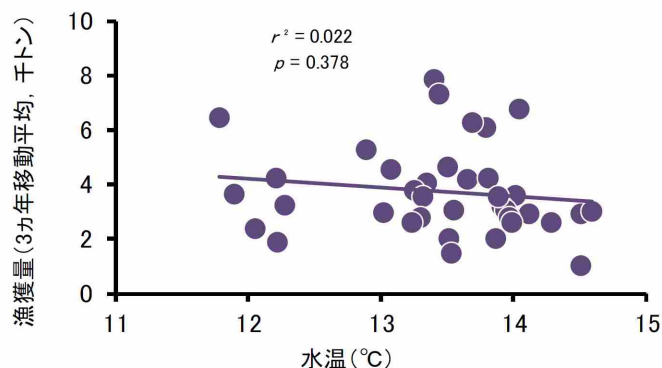
播磨灘の“しんこ”漁獲量(主要漁協)とDIN・水温(11-3月平均)の経年変化

播磨灘の主要漁協の“しんこ”漁獲量は減少傾向が続いています。漁獲量と播磨灘の冬季(11～3月)栄養塩濃度(※DIN)には明瞭な同調性が見られ、両者の関係は統計的に有意でした($r^2=0.67$ 、 $p < 0.001$)。一方、冬季水温は低いほど漁獲量が多い傾向が見られましたが、統計的に有意ではありませんでした($r^2=0.02$ 、 $p > 0.1$)。この結果から“しんこ”漁獲量とDINの関連が示唆されました。

※DINとは溶存態無機窒素のことです。植物プランクトンが育つために必須の栄養塩です。
リンも必須の栄養塩ですが、瀬戸内海は一般的に窒素不足とされています。



栄養塩(DIN)と漁獲量の関係



水温と漁獲量の関係

釜揚げ“しんこ”の赤腹と青すじ

餌の動物プランクトン(かいあし類)をたくさん食べている“しんこ”は、茹でると腹部が赤くなります。これを赤腹と呼びます。餌をあまり食べていない場合は赤くならず青すじと呼びます。漁業者への聞き取り調査から、赤腹が少なくなっていることがわかりました。餌が少なくなっているためと考えられました。



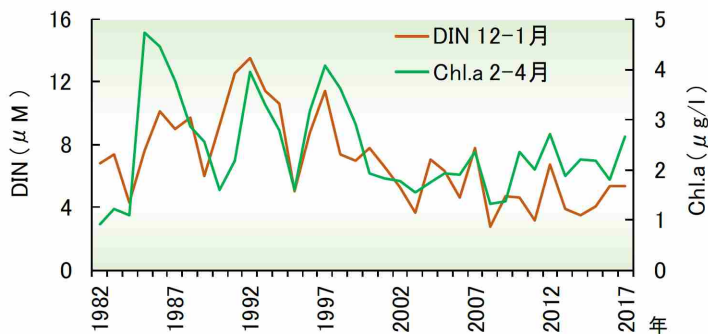
■赤腹



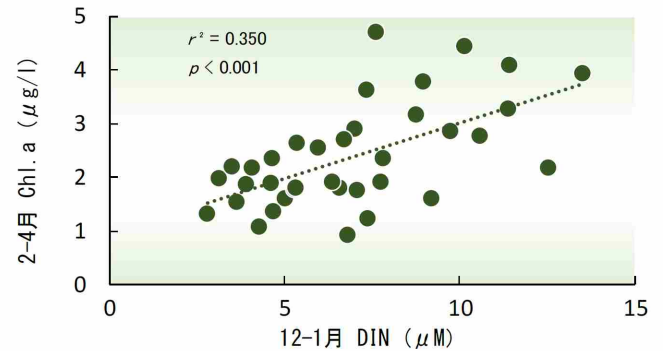
■青すじ

クロロフィルの低下と栄養塩

海水中のクロロフィル (Chl. a) 量は植物プランクトン量の指標です。冬季 (12-1月) の栄養塩濃度 (DIN) が高い年は“しんこ”の成長期である2-4月の植物プランクトン量も多い傾向がみられました ($r^2=0.35$, $p<0.001$)。動物プランクトンにとって、その餌となる植物プランクトンは重要です。クロロフィル量が長期的に低下していることから、イカナゴの餌が減ってきている可能性が考えられました。



栄養塩 (DIN) とクロロフィル量 (Chl. a) の推移

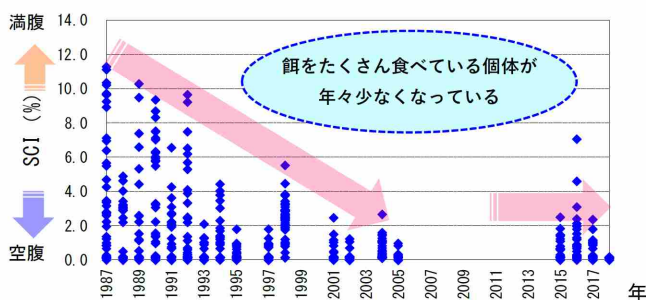


栄養塩 (DIN) とクロロフィル量 (Chl. a) の関係

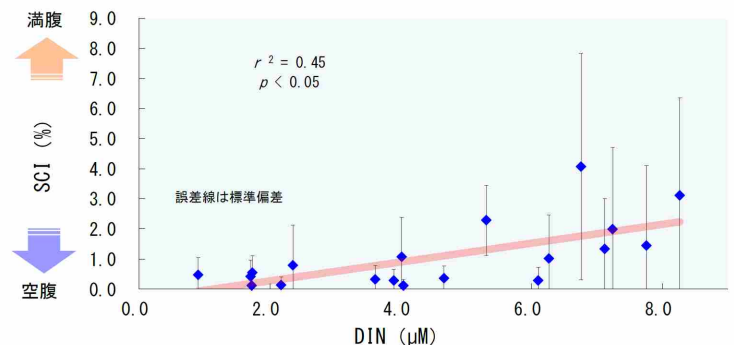
胃内容物重量指数 (SCI) の低下

餌不足が生じているかどうかを確認するため、実際にイカナゴが食べていた餌の量を調べました。体重に対する胃内容物重量 (食べている餌の重さ) の割合 (%) を胃内容物重量指数 (*SCI) と言います。餌をたくさん食べていた個体の SCI は高くなります。調査の結果、“しんこ”の SCI は年を追うごとに低下していることがわかりました。餌となる動物プランクトンが減っているためと考えられました。また DIN が高い年ほど SCI が高いことから ($r^2=0.45$, $p<0.05$)、栄養塩濃度が餌の量に影響していると推察されました。

※SCI (%) = 胃内容物重量 / (体重 - 胃内容物重量) × 100



イカナゴの胃内容物重量指数 (SCI) の経年変化

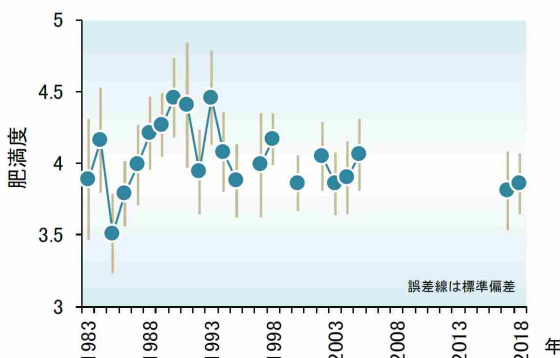


イカナゴの胃内容物重量指数 (SCI) と栄養塩 (DIN) の関係

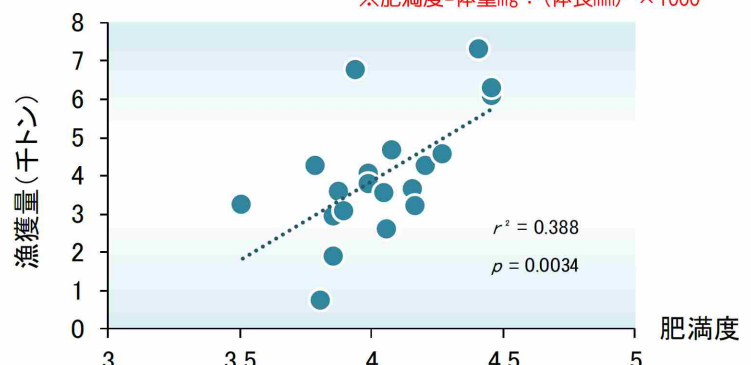
“しんこ”の肥満度低下

“しんこ”の *肥満度の長期的な変化を調べました。その結果、1990年代後半から肥満度が低下し、痩せてきていることが明らかになりました。これは赤腹が見られなくなったことや SCI の低下と符合します。また、DIN が高い年ほど肥満度が高く ($r^2=0.25$, $p<0.02$)、肥満度が高い年ほど漁獲量が多い傾向 ($r^2=0.39$, $p<0.005$) がみられたことから、DIN 低下 → 餌生物の不足 → SCI 低下 → 肥満度低下 → 漁獲量減少のつながりが推察されました。

※肥満度 = 体重 mg ÷ (体長 mm)³ × 1000



“しんこ (全长 50mm)” 肥満度の推移

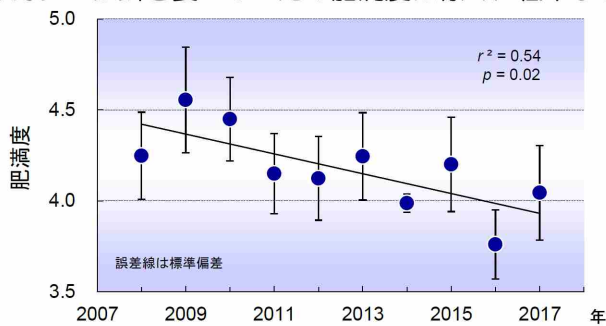


“しんこ (全长 50mm)” の肥満度と漁獲量 (主要漁協) の関係

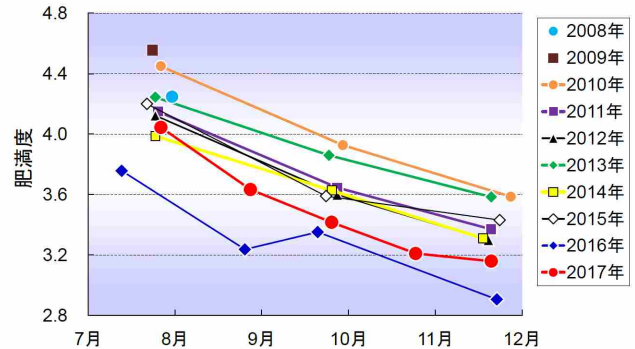
夏眠開始期(7月)の肥満度の低下

夏眠開始期の肥満度と夏眠中の肥満度の変化

全長10cm程度に成長したイカナゴは6月下旬～7月上旬から砂に潜って夏眠に入ります。夏眠開始期の7月に文鎮こぎという漁具でイカナゴを採集し肥満度を調べました。その結果、肥満度は年々低下していることがわかりました($r^2=0.54$, $p<0.02$)。“しんご”時期の肥満度の低下は夏眠開始期まで影響していると考えられました。夏眠中のイカナゴは餌を食べないため肥満度は徐々に低下します。



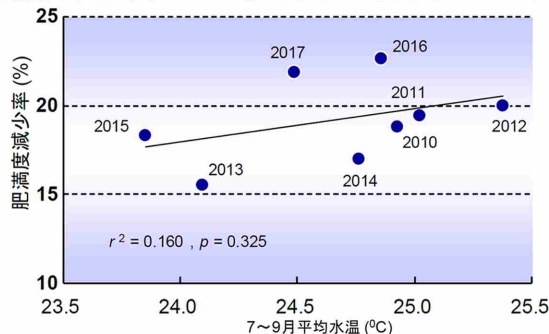
イカナゴ肥満度(7月)の経年変化(鹿ノ瀬)



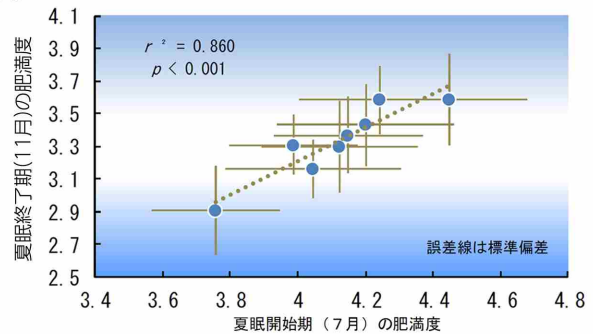
イカナゴ夏眠期肥満度の月変化(鹿ノ瀬)

夏眠中の肥満度低下と水温の関係

夏眠中の肥満度の低下は水温が高い程大きい傾向がみられましたが、統計的に有意ではありませんでした($r^2=0.16$, $p>0.1$)。また、夏眠開始期と終了期の肥満度の関係から、現在の環境下では、夏眠終了時の肥満度は、夏眠開始時の肥満度でほぼ決まると考えられました($r^2=0.86$, $p<0.001$)。



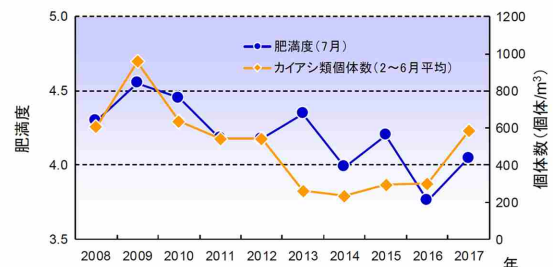
夏眠中の肥満度低下と夏眠場水温の関係



夏眠開始期と夏眠終了期のイカナゴ肥満度の関係

夏眠開始時の肥満度と餌の関係

イカナゴの餌である2～6月のかいあし類個体数と7月の肥満度の間には有意な正の相関がありました($r^2=0.41$, $p<0.05$)。この結果から夏眠前の餌環境が肥満度に影響を与えていることがわかりました。



かいあし類個体数とイカナゴ肥満度の経年変化

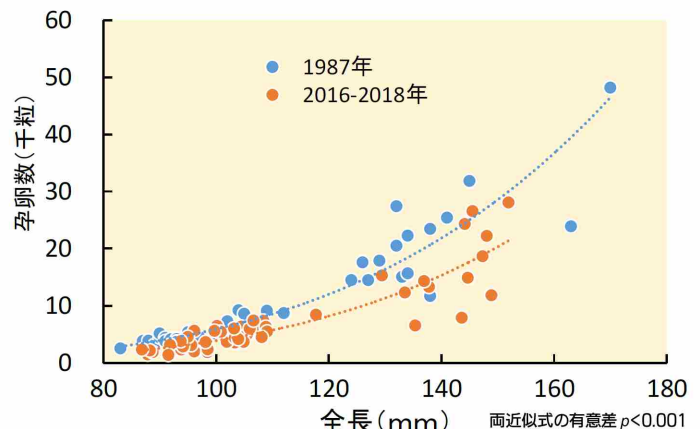
産卵数の減少

肥満度と産卵数

イカナゴは夏眠に入る前に活発に餌を食べ、体に十分なエネルギーを蓄えてから夏眠に入ります。エネルギーの蓄積が不十分なまま夏眠に入った場合は、産卵数が減少したり成熟できないことが知られています。夏眠開始時に十分な肥満度を確保することはイカナゴの再生産にとって非常に重要です。

産卵数の減少

夏眠開始時の肥満度が低下していることから、1987年と2016～2018年の産卵数(ようらんすう、産卵数とほぼ同じ)を調べました。その結果、全長が同じであっても、近年の親魚の1尾あたりの産卵数は30年前に比べて約3割少ないことが明らかになりました。

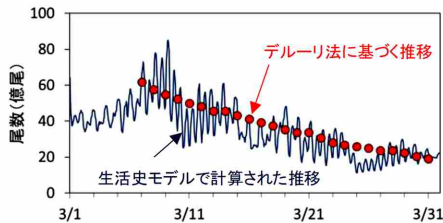
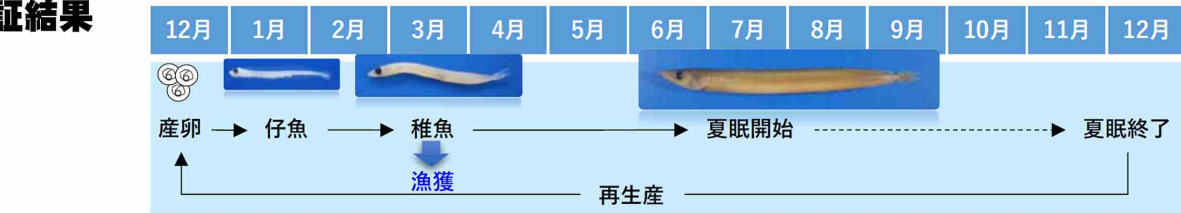


イカナゴ産卵親魚の全長と1尾あたり産卵数の関係

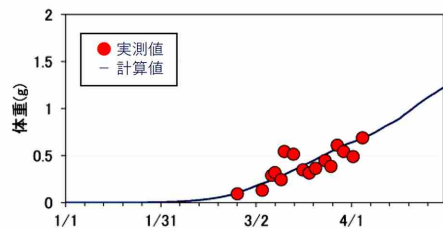
大阪湾・播磨灘イカナゴ生活史モデルの開発

大阪湾・播磨灘イカナゴ生活史モデルとは、栄養塩類や動植物プランクトンを中心とした低次生態系における物質のやり取りを計算する数値モデルと、イカナゴの生活史を模擬した粒子の動きを同時に計算し、イカナゴを取り巻く環境の変化に応じたイカナゴの動態を予測できる数値モデルです。このモデルは、国際的に評価の高いモデルをベースにし、それをさらに発展させました。豊かな瀬戸内海再生調査事業で得られた多くの観測情報を基に、モデルの再現性を確認することで大阪湾・播磨灘イカナゴ生活史モデルは構築されました。以下に示す検証①～④はその一例です。

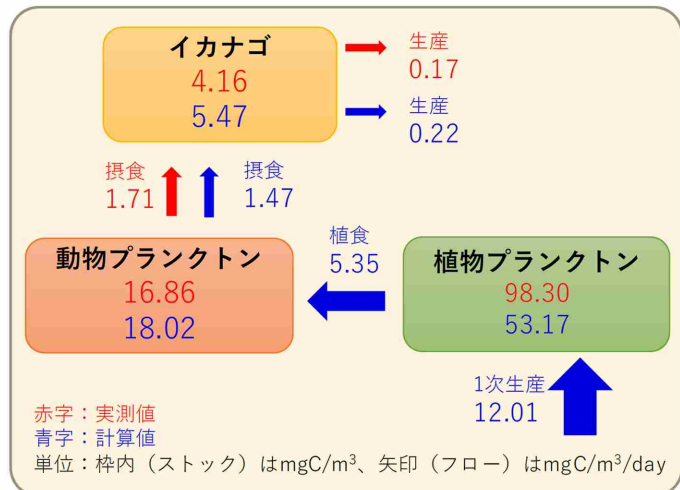
検証結果



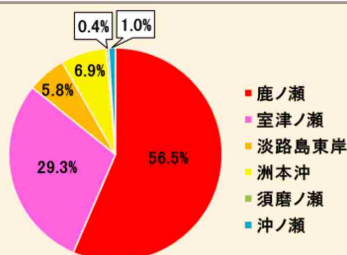
検証①：漁期における資源量の推移（明石海峡漁場）



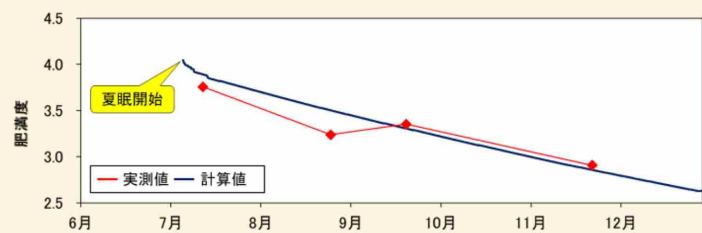
検証③：成長（1月～4月における魚体重）



検証②：漁期（3月）におけるストックとフロー（明石海峡漁場）



夏眠尾数の各夏眠場における割合



夏眠個体の肥満度の推移

検証④：夏眠場所と夏眠時の肥満度の推移

シミュレーションの計算ケース

計算ケース

栄養塩類や水温に関する過去の環境を再現し、2016年の環境下（以下、「現況」と言います）におけるイカナゴ資源と比較検討しました。現況および各ケースとも3年間の連続計算を行い、3カ年の平均値を基準に評価しました。現況環境下での平均漁獲量水準は約3,000トンでした。

● Case-1: 1990年代半ばの栄養塩環境

イカナゴの漁獲量水準が高かった年代

● Case-2: 2000年代前半の栄養塩環境

Case-1の2分の1程度の漁獲量を維持していた年代

● Case-3: 現在より海水温が1℃低い環境

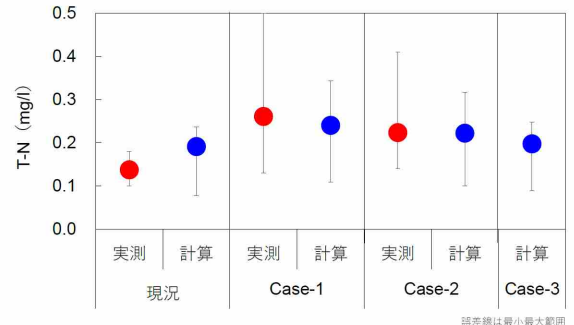
1990年代半ばの水温環境を想定、栄養塩環境は2016年（現況）

シミュレーション結果

大阪湾・播磨灘イカナゴ生活史モデルを用いて、1990年代半ば (Case-1) および2000年代前半 (Case-2) の栄養塩環境を想定したシミュレーションを行いました。その結果、現況より栄養塩濃度が高い条件下において、イカナゴ漁獲量が増加する計算結果が得られました。また、水温を1℃低くした条件下 (Case-3、1990年代半ばの水温) では漁獲量の変化はほとんどありませんでした。

全窒素(T-N)

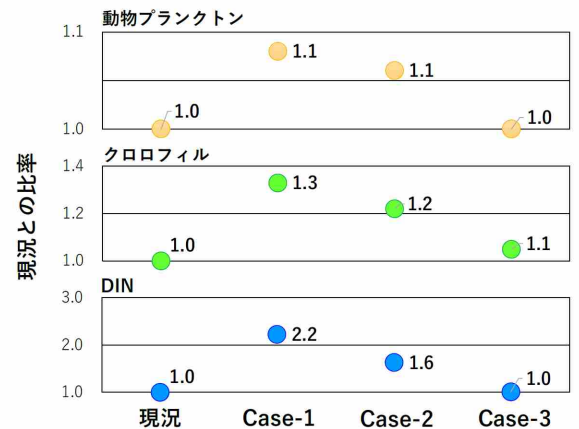
Case-1 (1990年代半ば) およびCase-2 (2000年代前半) の条件下での明石海峡周辺の全窒素 (T-N) 濃度の計算値は、それぞれ各年代の当時の実測値と概ね一致しました。



全窒素 (T-N) の計算値と実測値 (明石海峡漁場)

DIN、クロロフィル、動物プランクトン

基礎生産の基盤となるDINは、Case-1 (1990年代半ば) で現況の2.2倍、Case-2 (2000年代前半) では1.6倍、クロロフィル濃度はそれぞれ1.3倍、1.2倍と計算されました。これらの値は各Caseで想定した年代の観測値と概ね一致しました。イカナゴの餌となる動物プランクトンは、Case-1、Case-2ともに現況の1.1倍と計算されました。現況と栄養塩環境が同じであるCase-3 (現況水温から-1℃) では、いずれの項目とも現況との差は僅かでした。



DIN、クロロフィルおよび動物プランクトンの計算値の現況と比率 (明石海峡漁場)

イカナゴ

■Case-1:1990年代半ばの栄養塩環境

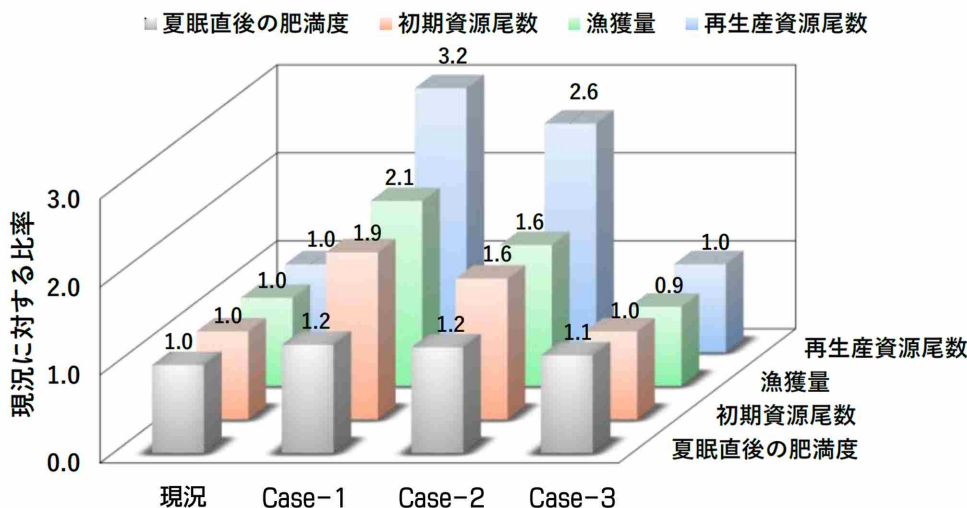
餌環境の改善に伴い再生産力が回復し、初期資源尾数は現況水準の1.9倍になると試算されました。また夏眠直後のイカナゴの肥満度は現況の4.0から4.9に上昇し (約1.2倍)、漁獲量水準は大きく増加する (2.1倍) と試算されました。

■Case-2:2000年代前半の栄養塩環境

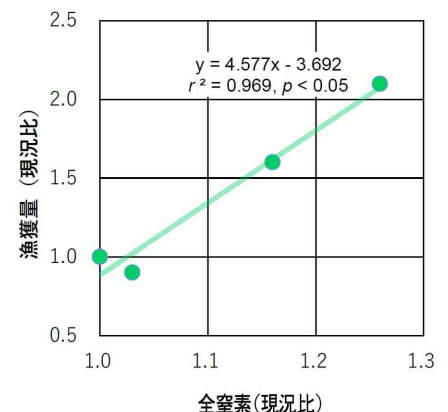
餌環境の改善に伴い、夏眠直後のイカナゴ肥満度は現況の4.0から4.8に上昇しました (約1.2倍)。また、再生産資源が回復することで、漁獲量は現況の1.6倍になると試算されました。

■Case-3:1990年代半ばの水温環境 (現況-1℃)

漁獲量は現況の0.9倍と試算され、現況からの変化は僅かでした。



各項目の現況に対する変化率

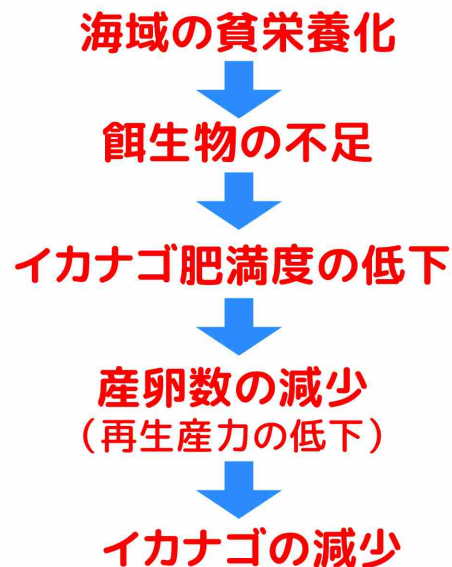


計算結果から得られた全窒素 (現況比) と漁獲量 (現況比) の関係

イカナゴ減少のシナリオ

イカナゴ減少のシナリオ

海域の貧栄養化(DINの低下)による餌環境の悪化によって、イカナゴは長期的に餌不足の状態にあると推察されました。また、餌不足は肥満度を低下させ、それによる産卵数の減少(再生産力の低下)が、長期的な漁獲量の減少につながっていると考えられました。さらに、開発した大阪湾・播磨灘イカナゴ生活史モデルを用いて、1990年代の栄養塩環境を想定したシミュレーションを行った結果、漁獲量は現状から大きく回復する結果が得られました。一方、水温上昇はイカナゴの再生産にマイナスの影響を与えると考えられますが、調査データの分析結果および過去の水温条件で行ったシミュレーションにおいても、漁獲量の増加がみられなかったことから、1990年代半ば以降の環境下においては、貧栄養化がイカナゴ資源の長期的減少に大きな影響を与えていると考えられました。



豊かな瀬戸内海の再生に向けて

栄養塩環境の改善

兵庫県では、イカナゴ漁獲量の減少のほか、養殖ノリの色落ちや小型底びき網の漁獲量減少など、貧栄養化の影響と考えられる事象が生じています。イカナゴは漁獲対象であるだけでなく、他の様々な海洋生物の重要な餌となっています。したがって、イカナゴ資源の回復は豊かな瀬戸内海の再生と同義と言って良いでしょう。本調査により、海域の貧栄養化がイカナゴ資源の減少要因であると考えられました。この結果を踏まえて、栄養塩環境の改善対策の早急な実施が必要です。

モニタリングの必要性和順応的管理

海洋生態系は複雑であり施策実施による生態系の変化には不確実性があります。このため施策と並行して、海域環境と生物のモニタリングと解析を実施し、順応的な考え方に基づく検証を行いながら対策を進める必要があります。また、そのための体制づくりも重要です。

資源管理の必要性

水産資源は環境要因のほか漁業などの社会的要因の影響を受けます。イカナゴ漁業は高いレベルの資源管理を実践しています。今後も資源水準に応じた迅速で的確な取り組みを行っていくことが必要です。

終わりに

「イカナゴ漁獲量と栄養塩環境の関係を明らかにする」という本調査事業の目的は、「イカナゴ減少のシナリオ」を提示することで、その大筋を示すことができました。このシナリオは現時点の情報に基づいており、項目を結ぶ矢印の確実性には強弱があります。このため今後も引き続き「豊かな海の実現」を目指して調査研究を進めていきます。

謝辞

中田喜三郎 名城大学特任教授(検討会座長)、上田拓史 高知大学名誉教授、鈴木輝明 名城大学特任教授、相馬明郎 大阪市立大学教授、多田邦尚 香川大学教授、藤原建紀 京都大学名誉教授には「豊かな瀬戸内海再生調査事業検討会」の検討委員として多くのご指導を賜りました。また、上真一 広島大学名誉教授、日下部敬之 大阪府立環境農林水産総合研究所理事には貴重なご助言を賜りました。大阪府、岡山県、香川県、徳島県、和歌山県、愛媛県からは海洋観測データをご提供頂きました。皆様にはこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

