

水質の保全と「豊かな海」の両立に向けた社会実験の結果について(2023年度実施結果とまとめ)

2023年9月1日から2024年3月31日まで、矢作川浄化センター及び豊川浄化センターにおいて、下水道放流水中の窒素とリンの濃度を国の規制値上限まで緩和し、窒素とリンの濃度を増加させ、ノリやアサリへの効果を調査する、水質の保全と「豊かな海」の両立に向けた社会実験(2年目)を実施した。

1 運転実施状況

2年目の社会実験(2023年9月から2024年3月まで)における放流水中の窒素濃度平均値は、矢作川浄化センターで9.8mg/L、豊川浄化センターで11.9mg/Lであり、通常運転時の1.3~1.5倍程度の濃度であった(図1・図2、表1)。また、2年目の社会実験における放流水中のリン濃度平均値は、矢作川浄化センターで0.96mg/L、豊川浄化センターで1.05mg/Lであり、通常運転時の2.6倍程度の濃度であった(図3・図4、表2)。

なお、放流水中の窒素及びリンについては総量規制基準に適合していた。

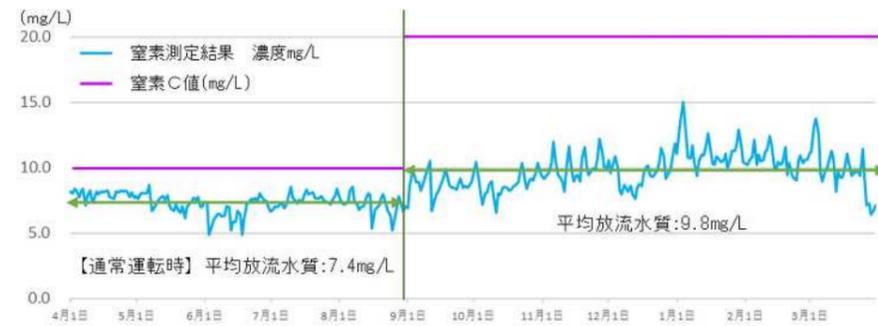


図1 矢作川浄化センターにおける社会実験(2023年9月から2024年3月まで)による放流水の窒素濃度

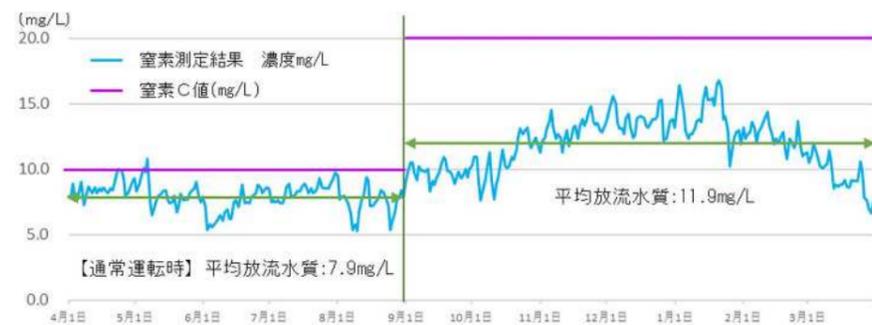


図2 豊川浄化センターにおける社会実験(2023年9月から2024年3月まで)による放流水の窒素濃度

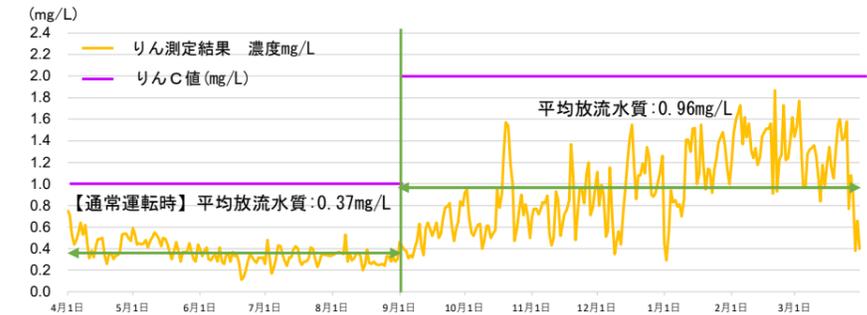


図3 矢作川浄化センターにおける社会実験(2023年9月から2024年3月まで)による放流水のリン濃度

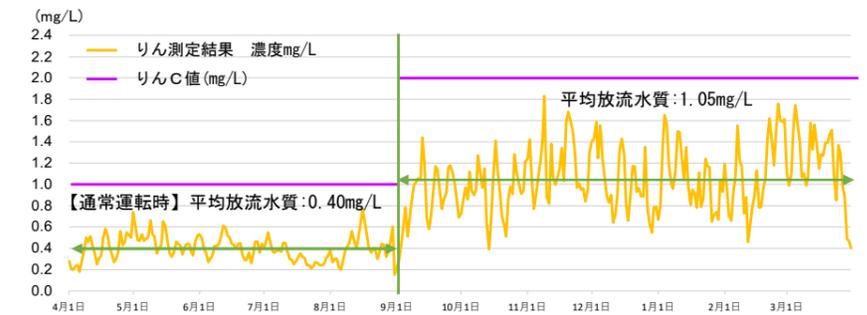


図4 豊川浄化センターにおける社会実験(2023年9月から2024年3月まで)による放流水のリン濃度

表1 放流水の平均濃度【窒素】

浄化センター名	2022年度		2023年度								
	4/1~10/31	11/1~3/31	4/1~8/31	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
	通常運転時	社会実験期間	通常運転時	社会実験期間							
矢作川浄化センター	6.6	10.5	7.4	8.7	8.8	10.0	9.5	11.3	10.6	9.8	
豊川浄化センター	7.0	11.3	7.9	9.7	10.7	13.0	13.7	14.0	12.5	9.5	
				9.8							
				11.9							

表2 放流水の平均濃度【リン】

浄化センター名	2022年度			2023年度							
	4/1~8/31	9/1~10/31	11/1~3/31	4/1~8/31	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
	通常運転時	増加運転期間	社会実験期間	通常運転時	社会実験期間						
矢作川浄化センター	0.33	0.73	1.28	0.37	0.55	0.77	0.80	0.95	1.07	1.41	1.18
豊川浄化センター	0.36	0.69	1.40	0.40	0.86	0.94	1.18	1.02	1.05	1.11	1.19
					0.96						
					1.05						

※2022年9月1日~10月31日までは、通常の基準(1mg/L)の範囲内で管理運転を実施。

＜社会実験前（過去5か年）及び通常運転期間との比較＞

社会実験期間の放流濃度は、窒素が社会実験前5か年の9～3月、2022年度及び2023年度の通常運転期間に対して1.3～1.5倍程度、リンが社会実験前5か年（リン増加運転年度）の9～3月に対して1.6～1.7倍程度、2022年度及び2023年度の通常運転期間に対して3.2倍程度であった（表3、表4）。

表3 放流水の平均濃度【窒素】(各年との比較)

浄化センター名	年度	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2022	2023	社会実験期間の倍率	
		社会実験前 (9/1～3/31)						通常運転		社会実験期間		2017-2021
矢作川浄化センター	mg/L	6.4	7.1	7.1	7.2	7.2	6.6	7.4	10.5	9.8	1.5倍	1.5倍
		平均 7.0						平均 7.0		平均 10.2		
豊川浄化センター	mg/L	9.3	9.7	8.4	8.1	7.7	7.0	7.9	11.3	11.9	1.3倍	1.5倍
		平均 8.6						平均 7.5		平均 11.6		

2022年度は11月～3月、2023年度は9月～3月で社会実験を実施。

表4 放流水の平均濃度【リン】(各年との比較)

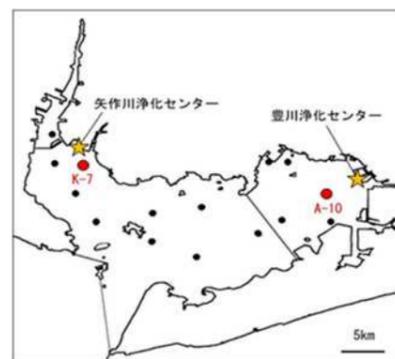
浄化センター名	年度	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2022	2023	社会実験期間の倍率	
		リン増加運転年度 (9/1～3/31)						通常運転		社会実験期間		2017-2021
矢作川浄化センター	mg/L	0.66	0.71	0.66	0.69	0.76	0.33	0.37	1.28	0.96	1.6倍	3.2倍
		平均 0.70						平均 0.35		平均 1.12		
豊川浄化センター	mg/L	0.70	0.73	0.59	0.78	0.73	0.36	0.40	1.40	1.05	1.7倍	3.2倍
		平均 0.71						平均 0.38		平均 1.23		

2017年度は11月～3月、2018・2019年度は10月～3月、2020・2021年度は9月～3月にリン増加運転を実施。

2022年度は11月～3月、2023年度は9月～3月で社会実験を実施。

2 環境への影響

環境への影響を把握するため、矢作川浄化センターでは公共用水域水質調査の測点 K-7 を、豊川浄化センターでは同測点 A-10 を調査地点として（図5）、全窒素・全リン・クロロフィル a 濃度等の水質や赤潮の発生状況を観測した（表5）。



	K-7	A-10
放流口からの距離	矢作川浄化センターから約 2.1 km	豊川浄化センターから約 3.7 km
平均水深	約 6 m	約 9 m
採水水深	0.5 m	0.5 m

図5 水質調査地点

(参考) 社会実験の中断条件

- ・公共用水域水質調査において全窒素・全リン濃度が2か月連続して各月の過去10年間（2012年～2021年）における最大値を超過し、原因が栄養塩管理運営による場合や他に原因がない場合。
- ・極度の赤潮が発生し、2か月以上継続することが予測され、原因が栄養塩管理運営による場合や他に原因がない場合。

表5 水質調査項目

		公共用水域水質調査	赤潮調査
調査頻度		月1回	月1回
調査項目	COD	○	—
	全窒素・全リン	○	—
	溶存態窒素・リン酸態リン	○	○
	クロロフィルa	○	○
	水温	○	○
	塩分	○	○
	溶存酸素	○	○

(1) 水質について

測点 K-7 と A-10 において、2023 年度の全窒素濃度及び全リン濃度は表4のとおりだった。いずれも過去10年間の期間平均値と大きな差はなかった。

表4 K-7、A-10の全窒素・全リン濃度の期間平均値(4～3月)

	全窒素濃度 (mg/L)			全リン濃度 (mg/L)		
	過去10年平均 (2012～2021 の4～3月)	2022年度 (4～3月)	2023年度 (4～3月)	過去10年平均 (2012～2021 の4～3月)	2022年度 (4～3月)	2023年度 (4～3月)
K-7	0.36	0.31	0.33	0.038	0.040	0.038
A-10	0.43	0.38	0.43	0.046	0.042	0.041

また、月別の濃度では、測点 K-7 において、2023 年度の社会実験期間中の10月に全窒素・全リンともに過去10年間（2012年度から2021年度）の月別最大値を上回った（図6、7）。当月の塩分を確認したところ、測点 K-7 で19と低かったことから、採水日前日から当日にかけての降雨により、矢作川の河川水の影響を強く受けたものと考えられた（同月の他の測点の塩分は29～31であった）。なお、11月の全窒素・全リン濃度は、過去10年間の最大値を超過せず、過去10年間の月別平均値よりも低か

った。その他の社会実験期間中において、過去 10 年間の月別最大値を超過した月はなかった。

測点 A-10 では、社会実験期間中において、過去 10 年間の月別最大値を超過した月はなかった。

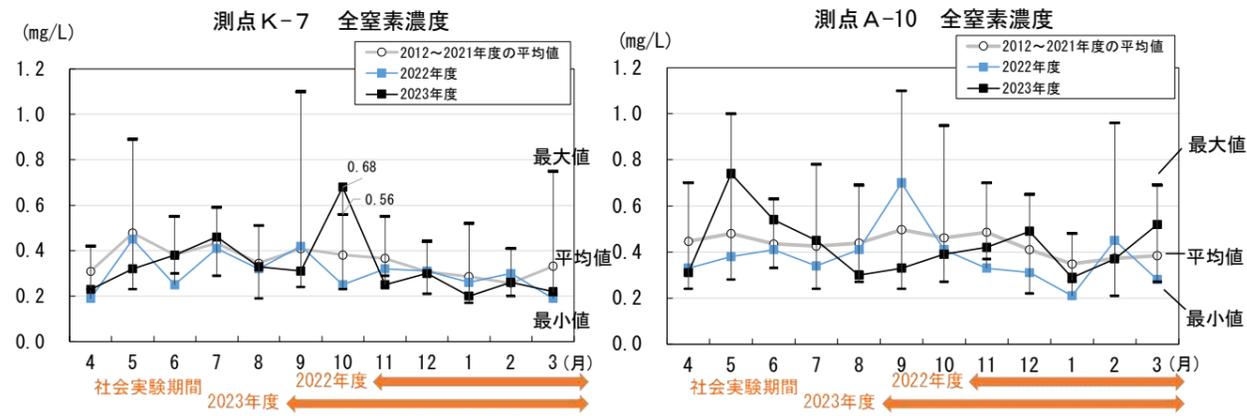


図6 2022、2023 年度の測点 K-7・A-10 の月別全窒素濃度及び過去 10 年間の平均値と最大値・最小値

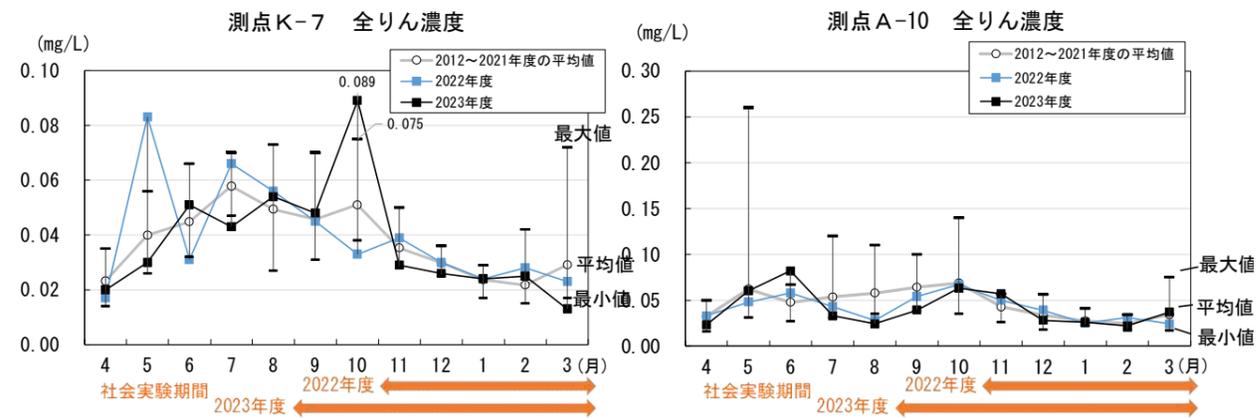


図7 2022、2023 年度の測点 K-7・A-10 の月別全リン濃度及び過去 10 年間の平均値と最大値・最小値

(2) 赤潮の発生状況について

2022 年及び 2023 年の社会実験期間中の測点 K-7、A-10 では、社会実験の中断に至る赤潮は発生しなかった。

3 漁業への効果

矢作川地区及び豊川地区（図 8）の窒素・リン・クロロフィル a の分布状況、ノリの色調やアサリの生残率等を調査した。

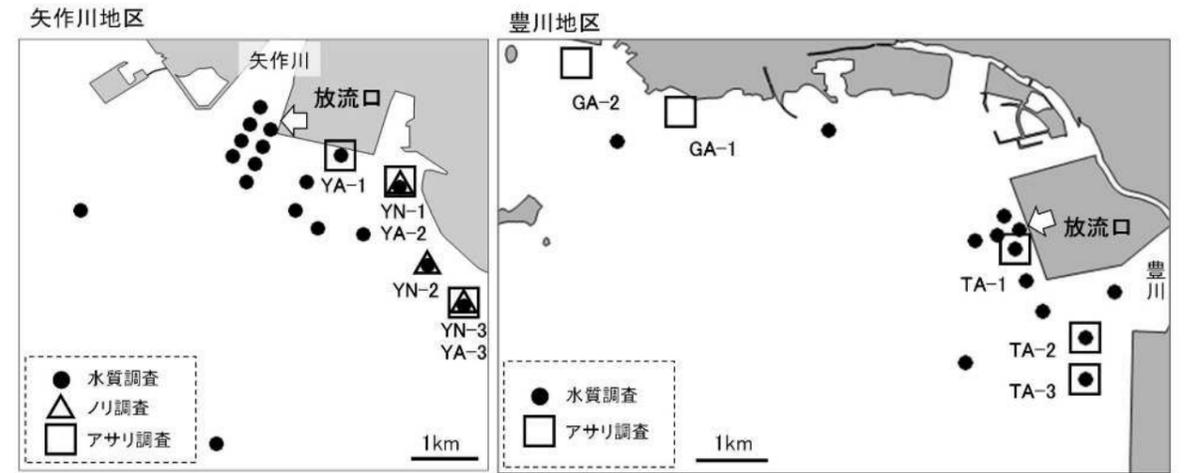


図8 漁業への効果調査地点(左図:矢作川地区ノリ・アサリ調査、右図:豊川地区アサリ調査)

表7 漁業への効果調査項目

矢作川地区			
	調査項目	調査期間	調査頻度
水質調査	全窒素,全リン,溶存態窒素,リン酸態リン,クロロフィルa,水温,塩分,溶存酸素	8~3月	月2回
ノリ調査	色調(L*値),黒み度	1~3月	月2回
アサリ調査	現存量,生残率,肥満度,群成熟度	8~3月	月1回
豊川地区			
	調査項目	調査期間	調査頻度
水質調査	全窒素,全リン,溶存態窒素,リン酸態リン,クロロフィルa,水温,塩分,溶存酸素	8~3月	月2回
アサリ調査	生残率,肥満度,群成熟度	8~3月	月1回

(1) 周辺海域への窒素・リンの分布

矢作川地区における 2023 年度の社会実験期間（9～3月）の全窒素の濃度分布を 2022 年度の結果及び同時期の社会実験前 5 年平均（2017～2021 年度）とともに図 9 に示した。社会実験期間、社会実験前ともどの月においても放流口付近で濃度が高かった。また、沖合においては 2 月と 3 月の濃度が低かった。2022 年度と 2023 年度を比較すると、9 月は 2023 年度の方が放流口付近において全窒素が高い傾向にあったが、10 月以降は両年で顕著な差はみられなかった。2022 年度及び 2023 年度の結果を社会実

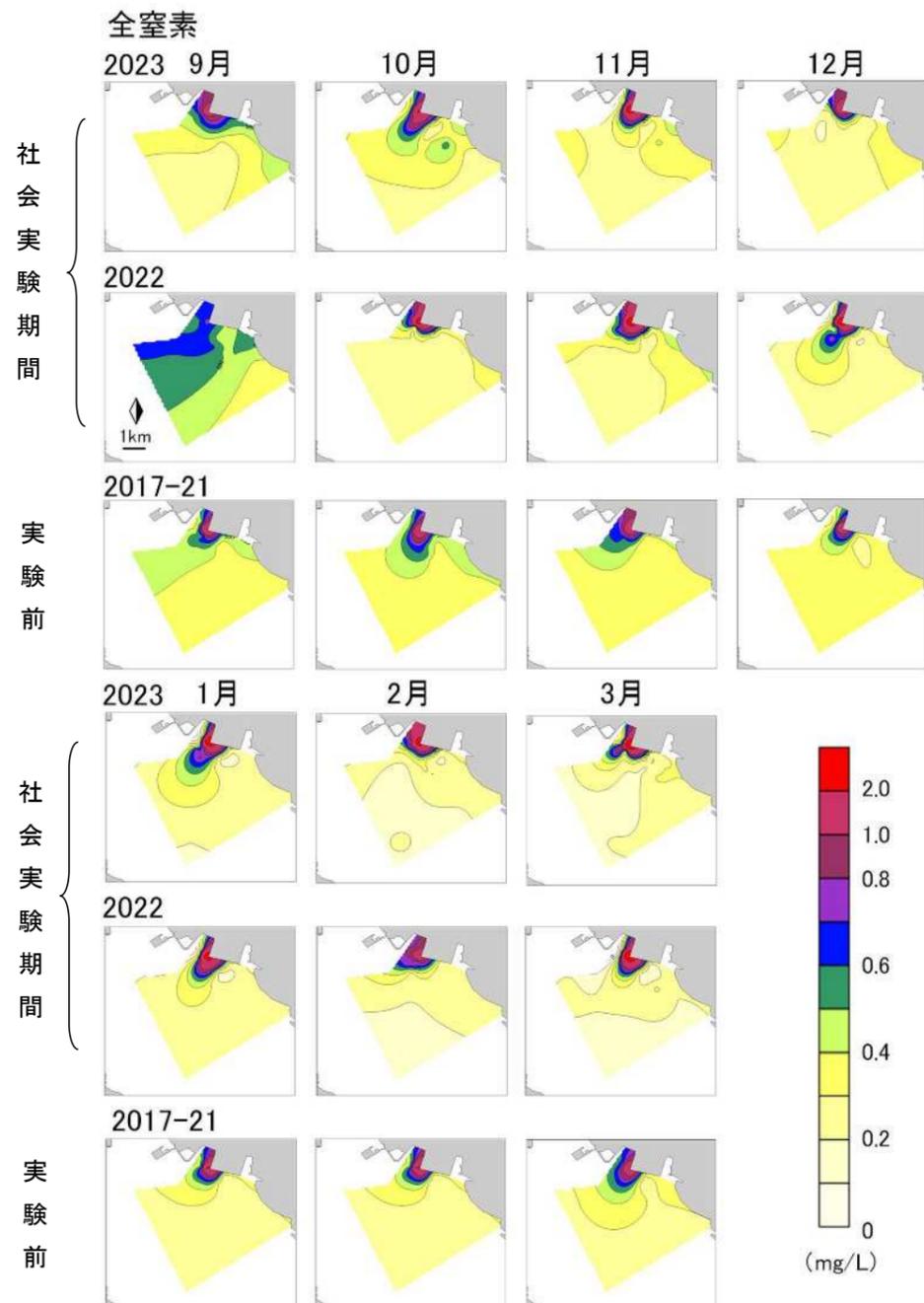


図9 2023 年度、2022 年度及び社会実験前の過去 5 年平均における矢作川地区の全窒素濃度分布

験前の過去 5 年平均と比較すると、濃度分布に顕著な差はみられなかった。

矢作川地区における 2023 年度の社会実験期間（9～3月）の全リンの濃度分布を 2022 年度の結果及び同時期の社会実験前 5 年平均（2017～2021 年度）とともに図 10 に示した。どの月においても放流口付近で濃度が高かったが、社会実験期間に特に高い濃度がみられた。また、沖合においては 2 月と 3 月の濃度が低かった。2022 年度及び 2023 年度の結果を社会実験前の過去 5 年平均と比較すると、濃度分布に顕著な差はみられなかった。

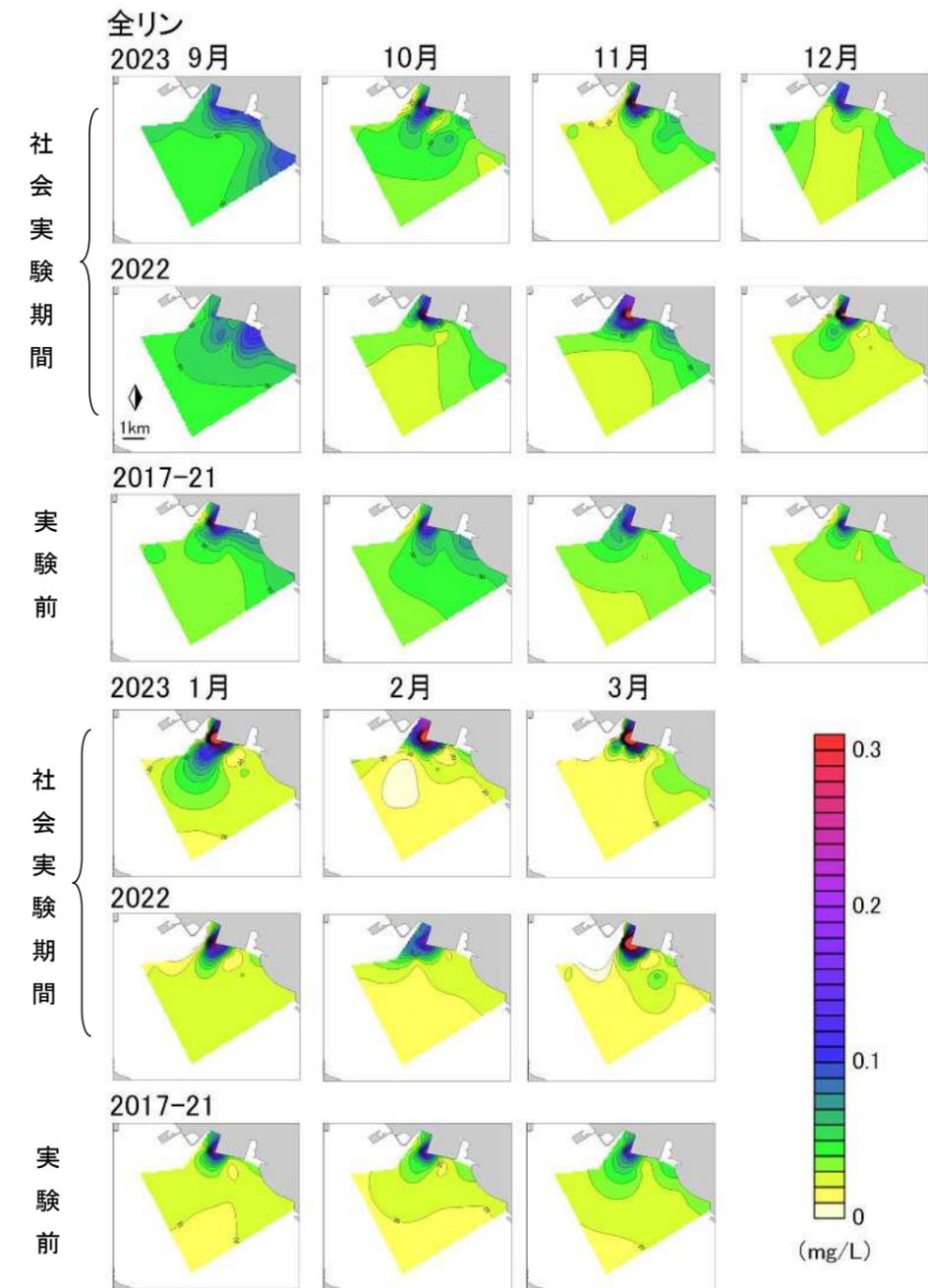


図 10 2023 年度、2022 年度及び社会実験前の過去 5 年平均における矢作川地区の全リン濃度分布

豊川地区における 2023 年度の社会実験期間（9～3月）の全窒素の濃度分布を 2022 年度の結果及び同時期の社会実験前5か年平均（2017～2021 年度）とともに図 11 に示した。社会実験期間、社会実験前ともにどの月においても放流口付近で濃度が高く、放流口の北西と南東側に高濃度域が広がる傾向がみられた。また、沖合では 12～2月を除いて社会実験期間において濃度がやや低い状況であった。

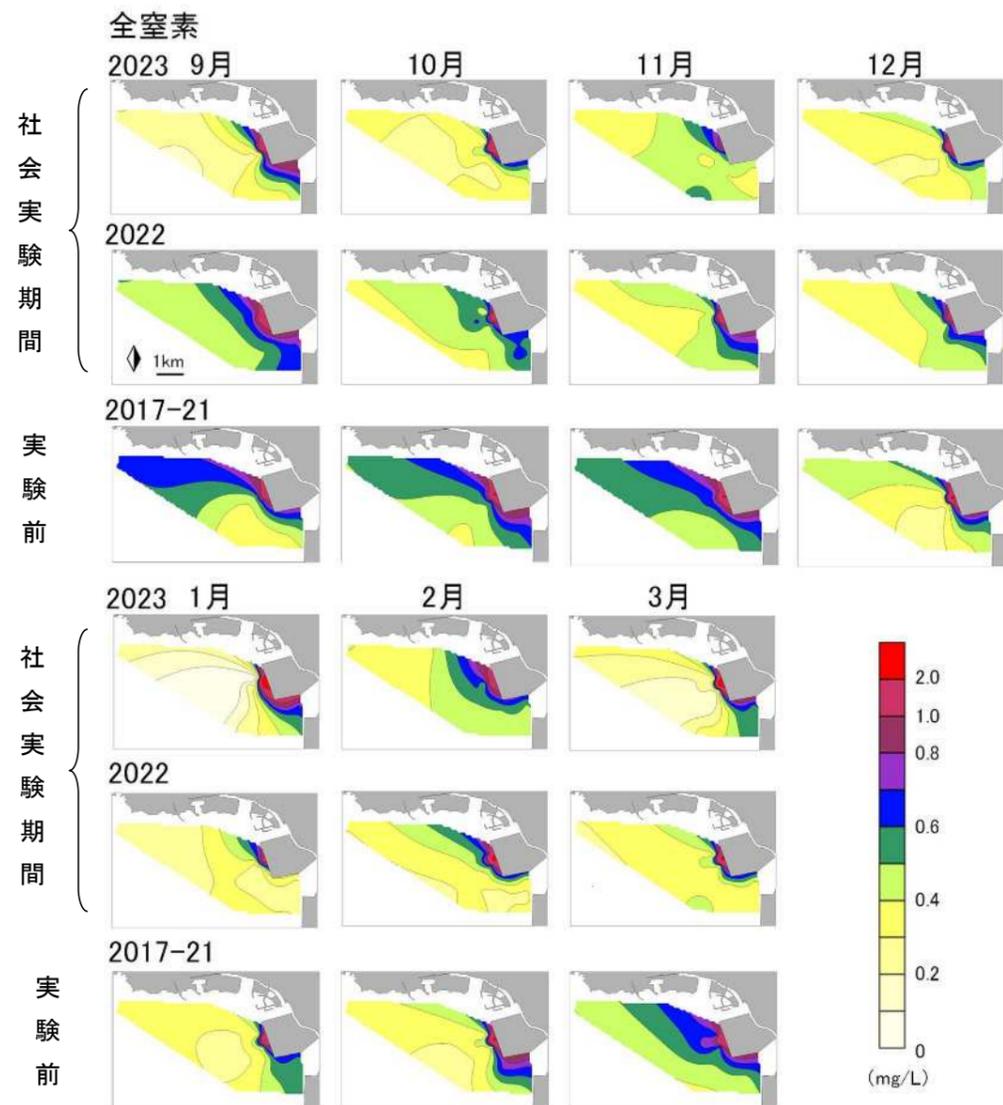


図 11 2023 年度、2022 年度及び社会実験前の過去 5 か年平均における豊川地区の全窒素濃度分布

豊川地区における 2023 年度の社会実験期間（9～3月）の全リンの濃度分布を 2022 年度の結果及び同時期の社会実験前5か年平均（2017～2021 年度）とともに図 12 に示した。全窒素と同様、社会実験期間、社会実験前ともにどの月においても放流口付近で濃度が高く、放流口の北西と南東側に高濃度域が広がる傾向がみられた。また、濃度分布の季節変化はみられず、沖合の濃度が 2023 年度の 1月と 3月に低いことを除いて、濃度分布に顕著な差はみられなかった。

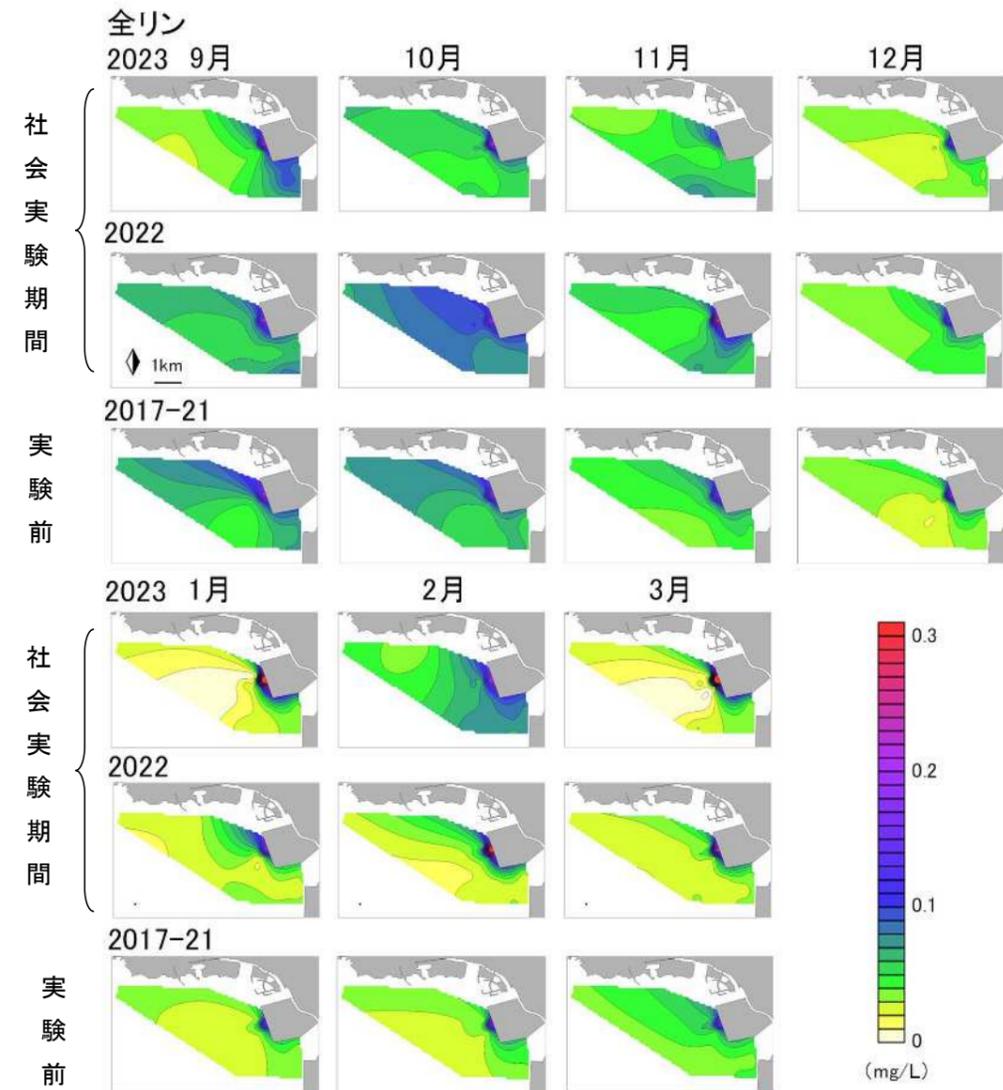


図 12 2023 年度、2022 年度及び社会実験前の過去 5 か年平均における豊川地区の全リン濃度分布

(2) ノリの効果確認結果

矢作川地区の調査点で採集したノリ葉体の L*値（数値が低いほど黒く品質の良いノリを示す）を測定し、2023 年度、2022 年度及び社会実験前5か年（2017～2021 年度）の全データの平均 L*値及び最大値と最小値を図 13 に示した。2022 年度のノリ葉体の平均 L*値は、YN-1、YN-2 において、社会実験前5か年平均よりも低く、色調が良好であった。一方、2023 年度のノリ葉体の平均 L*値は、YN-1、YN-2 で社会実験前5か年平均や 2022 年度よりも高かったが、養殖柵による地点間（YN-1、YN-2）比較では放流口に近い YN-1 で平均 L*値が低く、放流口に近いほど色調が良好であった。また、期間中の最大値を比較すると、全ての調査点において社会実験前5か年平均よりも 2022、2023 年度の方が低く、社会実験によってノリ葉体の色落ちが軽減されたと考えられた。

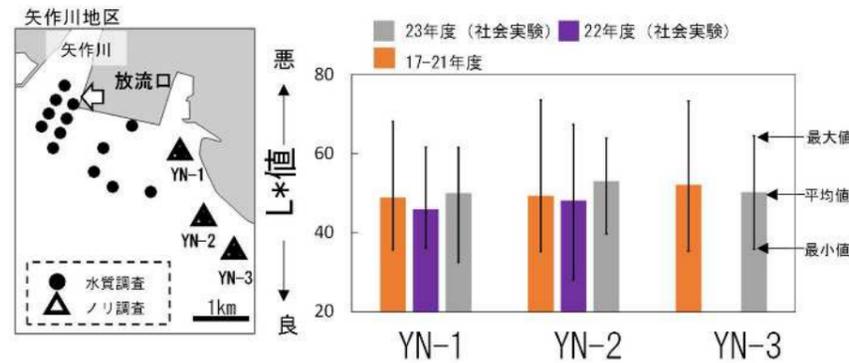


図 13 矢作川地区におけるノリ葉体の平均 L*値及び最大値と最小値

L*値：色彩色差計を用いて測定される明るさを表す値。値が大きいほど明るい色であることを示す。

図 14 に知多湾に漁場を持つ漁協が生産した 2023 年度の製品（乾ノリ）の黒み度（数値が高いほど黒く品質の良いノリを示す）の推移を 2022 年度の結果とともに示した。黒み度は両年ともに 2 月以降にやや低下したものの、1 月下旬までは全ての漁協において高い値で推移した。黒み度の低下幅は、矢作川浄化センターから遠い日間賀島や大井で大きかった。

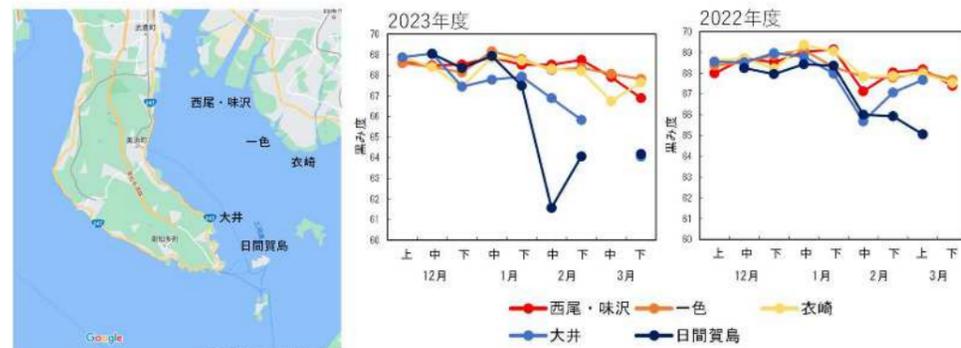


図 14 2023 年度及び 2022 年度の知多湾漁場における乾ノリの黒み度(数値が高いほど黒いノリとなる)

黒み度：色彩色差計を用いて L*値, a*値, b*値を測定し、測定値から計算式「 $100 - \sqrt{(L^* - a^* + b^*)^2}$ 」により求めた。(蒲原ら (2020))

(3) アサリの効果確認結果

(3-1) クロロフィル a の分布

矢作川地区における 2023 年度の社会実験期間（9～3 月）及び同時期の社会実験前 5 か年平均（2017～2021 年度）のクロロフィル a の濃度分布を 2022 年度の結果とともに図 15 に示した。社会実験期間、社会実験前ともにどの月においても放流口直近よりも沖合で濃度が高く、一色干潟のある東部では濃度が低い傾向があり、アサリ等底生生物による捕食の影響（水質浄化機能）が考えられた。月別では、11 月から 2 月にかけて濃度が低くなった。

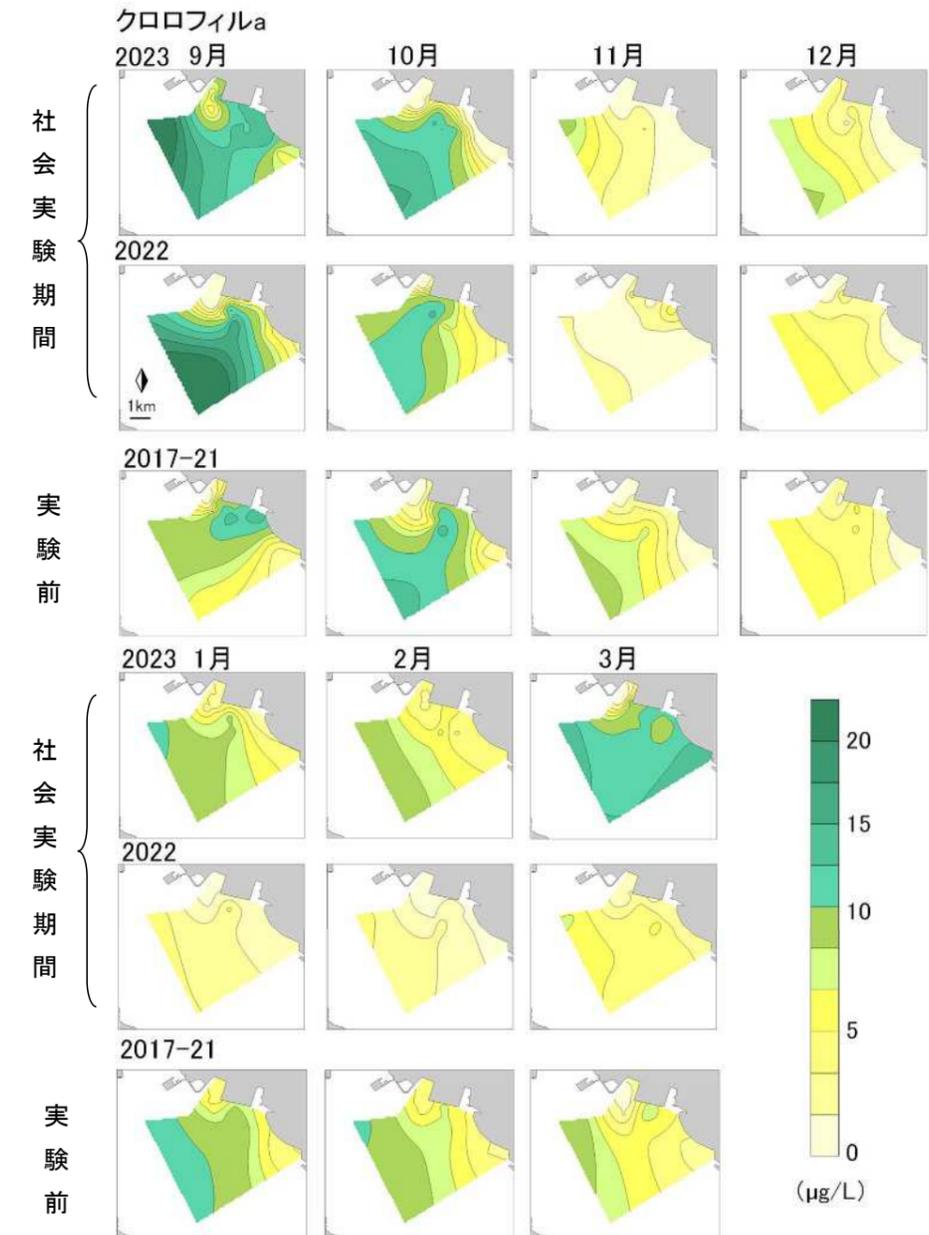


図 15 2023 年、2022 年及び社会実験前の過去 5 か年平均における矢作川地区のクロロフィル a 濃度分布

豊川地区における 2023 年度の社会実験期間（9～3月）及び同時期の社会実験前5か年平均（2017～2021 年度）のクロロフィル a の濃度分布を 2022 年度の結果とともに図 16 に示した。社会実験期間、社会実験前ともに放流口直近よりも北西部の沖合で濃度が高く、豊川河口域南部（六条潟）で低い傾向が見られた。また、アサリの多い豊川河口域南部で濃度が低い傾向はあるが、豪雨の影響によりアサリが少なかった 2023 年度の 9 月から 11 月にかけてこの傾向は弱まった。

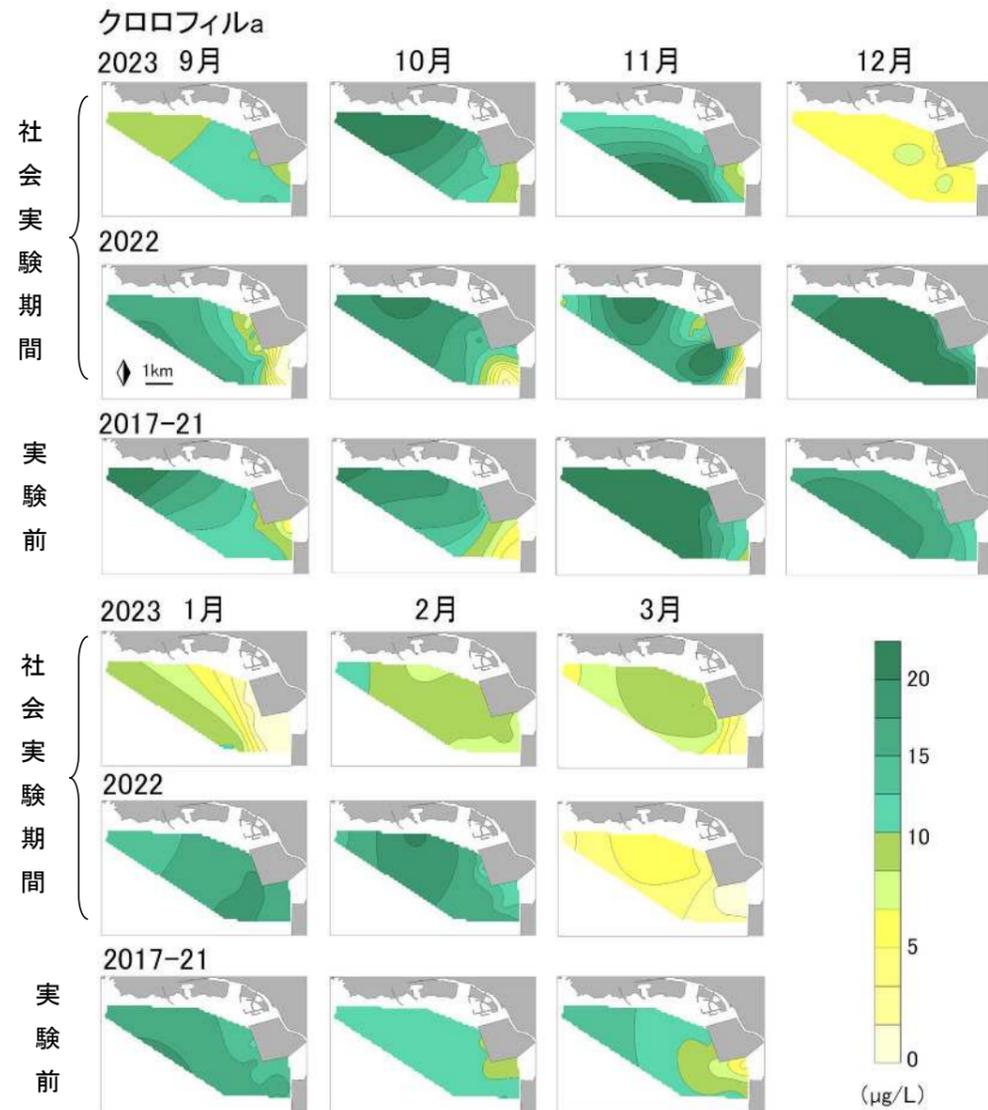


図 16 2023 年、2022 年及び社会実験前の過去 5 年平均における豊川地区のクロロフィル a 濃度分布

(3-2) 矢作川地区

矢作川地区（図 17）におけるアサリの現存量及び肥満度の推移を図 18 に示した。なお、6月の豪雨の影響で豊川河口域のアサリ稚貝は当初予定の 8 月には放流できず、10 月に個体数密度が約 1,000 個体/m² となるように各調査地点へ放流した。現存量は、各地点とも 2023 年のピーク（YA-1・YA-3：5月、YA-2：6月）からは減少したものの、2月時点で YA-1 では 1,000g/m²、YA-2 及び YA-3 では約 2,500g/m² と高い水準であった。3 月には YA-2 及び YA-3 では約 200g/m² に減少したが、放流口に最も近い YA-1 では、約 2,500g/m² と高い水準を維持した（図 18）。9 月からリン増加試験運転を開始した 2020 年以降、社会実験期間を通じ、不漁原因であった秋冬期の減耗が軽減され現存量が増加した。一方で現存量の増加に伴い、餌の競合により産卵等にも影響する春から夏の肥満度がそれ以前より低い水準になっており、天然資源の回復には現存量と肥満度が高い水準で維持されることが必要と考えられた。

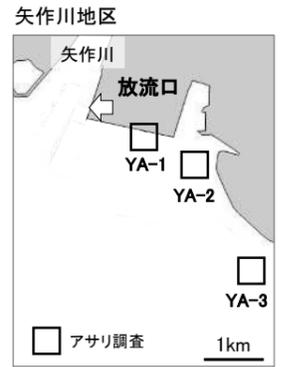


図 17 矢作川地区のアサリ調査地点図

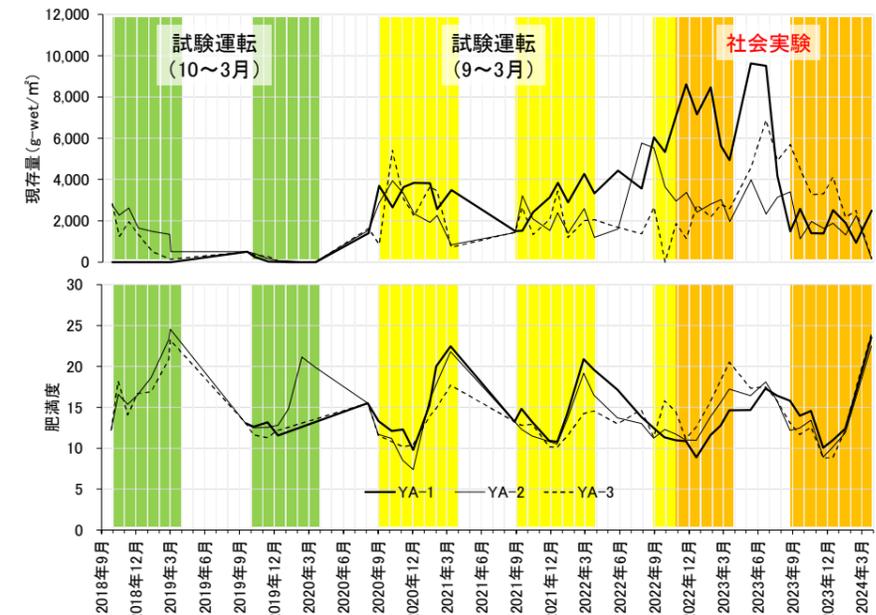


図 18 矢作川地区における現存量(上図)及び肥満度(下図)の推移

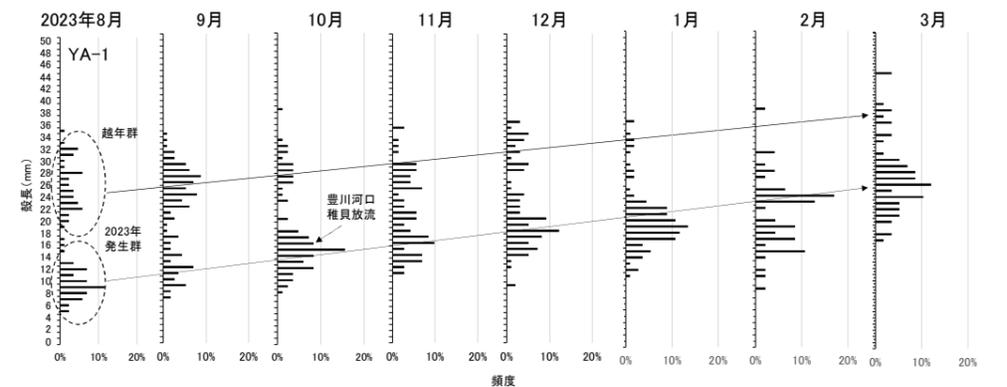


図 19 矢作川地区における殻長組成の推移(例として YA-1 のみ示す)

2023 年度調査では複数の年級群（コホート）が見られたため（図 19）、越年群と 2023 年発生群（天然発生＋放流稚貝）に大別したコホート毎に 2023 年度における現存量、個体数密度、殻長及び肥満度の推移を把握した（図 20）。

越年群の現存量及び個体数密度は、2 月まではやや減少または横ばい傾向であったが、3 月になって YA-1 を除いた地点で減少した。殻長には 12 月以降に成長がみられた。肥満度は、YA-2 及び YA-3 では 11 月に低下し 10 を下回ったが、12 月以降上昇に転じた。同等の現存量で推移した YA-1 と YA-2 を比較すると、放流口に近い YA-1 の肥満度が高く推移した。2023 年発生群（天然発生＋放流稚貝）の現存量、個体数密度及び肥満度についても、越年群と同様の傾向で推移した。殻長にも期間中成長が認められた。現存量は放流口に近い YA-1 と YA-2 で高くなった。

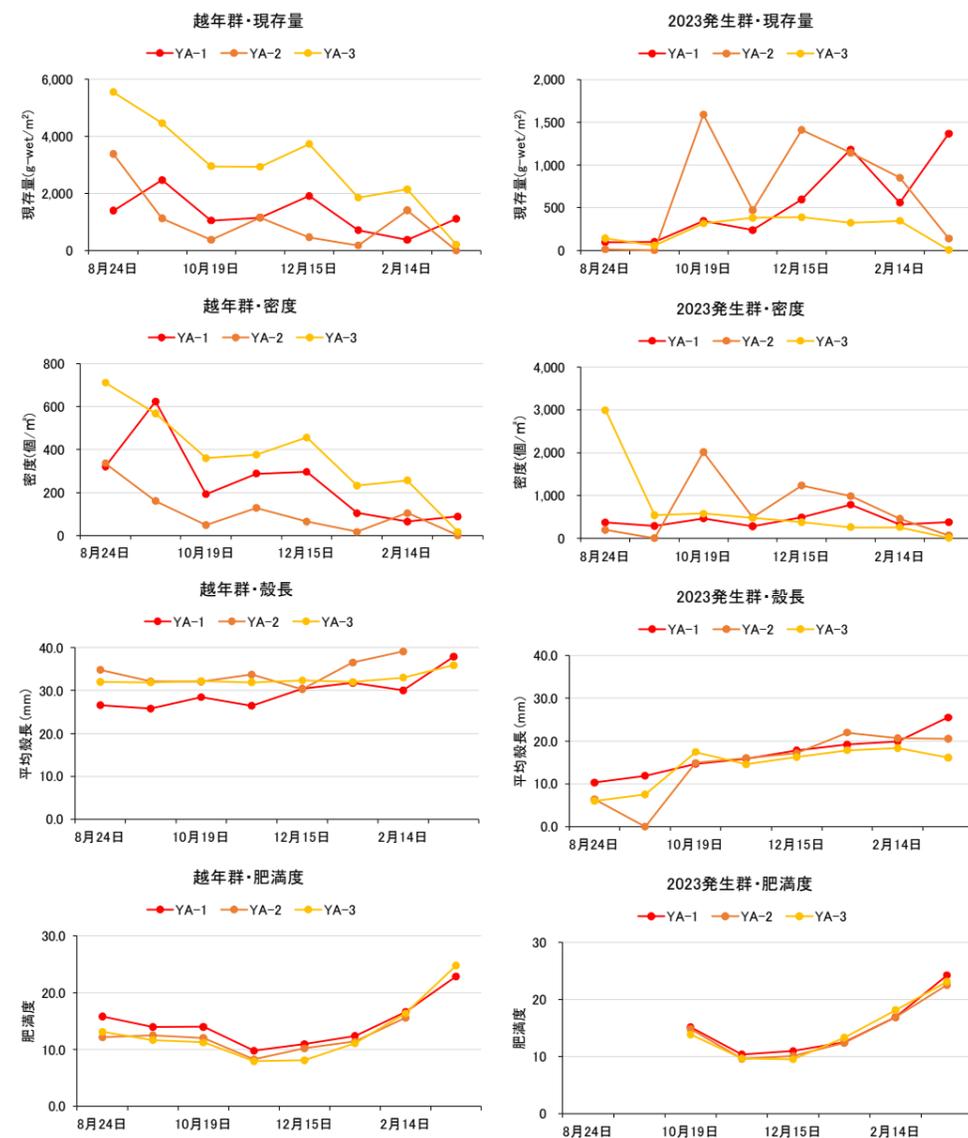


図 20 矢作川地区における越年群及び 2023 年発生群(天然発生＋放流稚貝)の個体数密度、現存量、殻長及び肥満度の推移

(3-3) 豊川地区

豊川地区での袋網試験では、アサリを入れた袋網を図 21 の 5 地点に設置した。2023 年度は豊川河口域の南側で放流口から離れた地点 (TA-3) を加えるとともに、蒲郡地区の 2 地点 (GA-1 (星越)、GA-2 (水神)) を加え、より広域の地点配置とした。図 22 には 10 月から開始した袋網試験の生残率、殻長及び肥満度の推移を示した。生残率は、浮泥堆積による死亡が見られた TA-1 を除き、3 月時点において 30～80% を維持した。肥満度は多くの地点で 11 月に低下したが、12 月に上昇し、18 以上と高かった。地点別にみると、放流口から遠い蒲郡地区では GA-2 でやや生残率が低く、その他の地点では地点間の差は小さかった。また、肥満度においても地点間の差は小さかった。

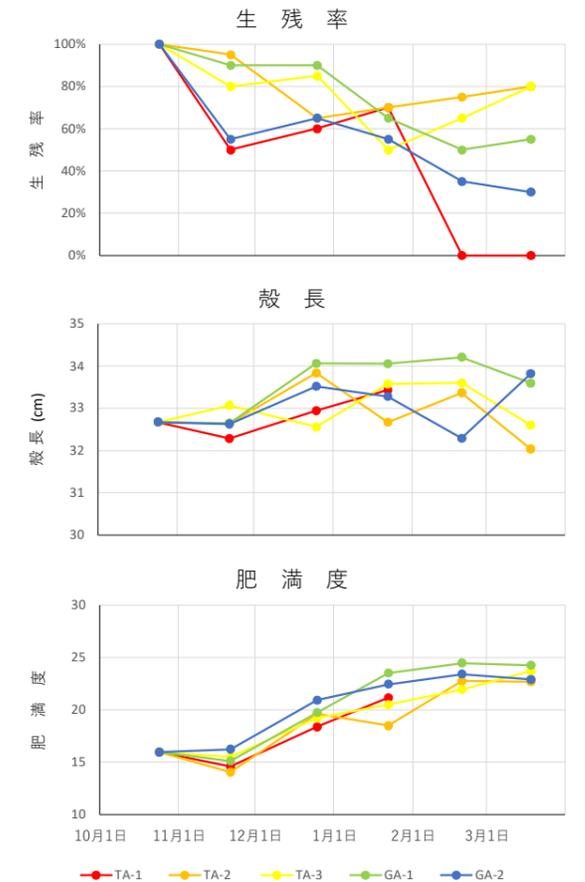


図 22 豊川地区の袋網試験における生残率、殻長及び肥満度の推移(10 月設置)

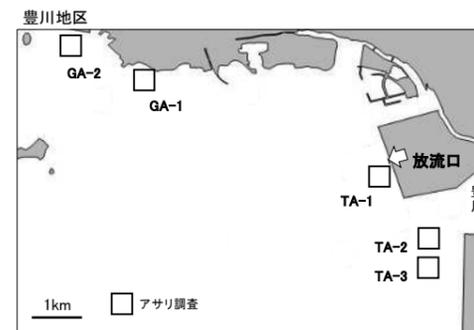


図 21 豊川地区のアサリ調査地点図

(3) 2023 年度の主な気象・海況

図 23 及び図 24 には矢作川地区（豊田市、K-7）及び豊川地区（新城市、A-10）それぞれにおける月平均気温・降水量及び水温・塩分の推移を示した。2023 年度の気温は期間を通じて高め、水温は 12 月と 3 月を除き高めで推移した。2023 年度の降水量は 2 月と 3 月に他の年よりも多かった。2023 年度の水温は、9 月と 10 月に若干高めであった。また、2023 年度の塩分は K-7 では 9 月を除いて社会実験前 5 か年平均より高めで推移し、A-10 では 3 月を除いて社会実験前 5 か年平均より高めで推移した。

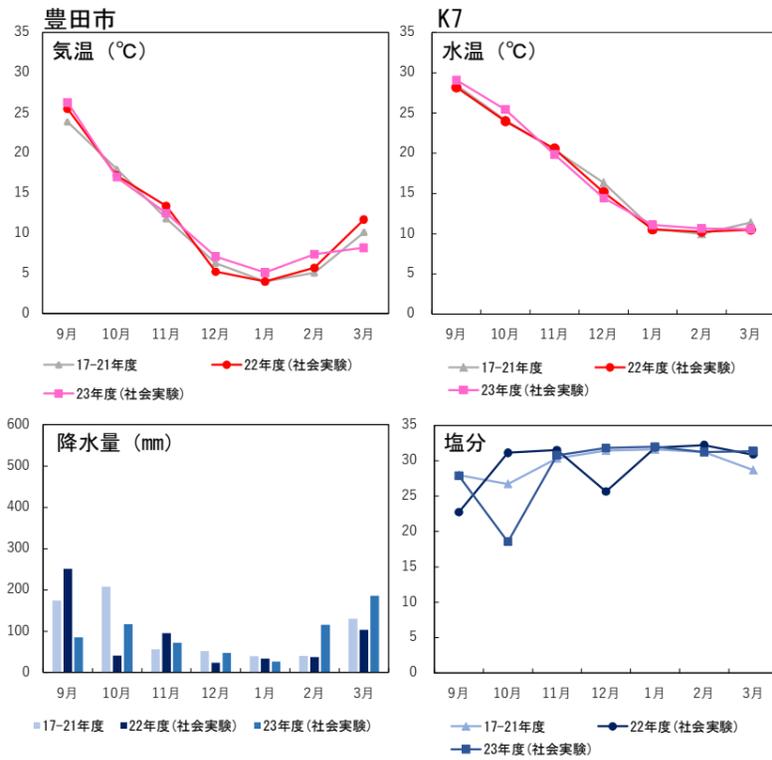


図 23 矢作川地区の月平均気温・降水量(豊田市)及び水温・塩分(K-7)の推移

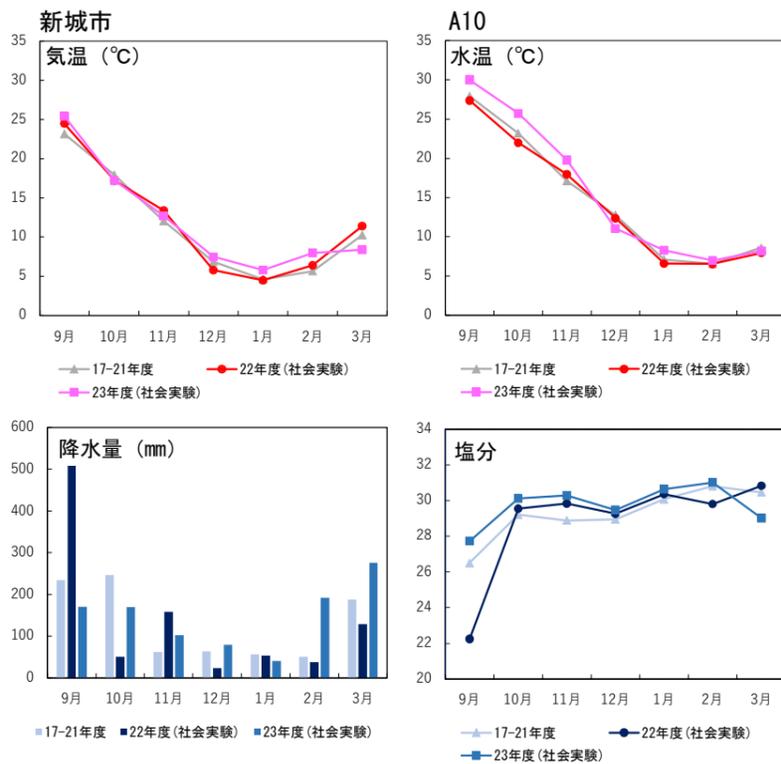


図 24 豊川地区の月平均気温・降水量(新城市)及び水温・塩分(A-10)の推移

図 25 には水産試験場自動観測ブイにおける表層の水温・塩分及び風速の推移を示した。1号ブイ、2号ブイともに、水温は7月上旬から10月上旬にかけて平年と比べて高かった。また、塩分は6月上旬の豪雨により両ブイで大きく低下し、降水量が多かった2月と3月にも平年より低かった。さらに、2023年度は平年や2022年度と比べ3月上旬～中旬に強風(風向は北～西)が続いており、風浪による底質攪乱等により、一部の地点(YA-2、YA-3)における3月のアサリ現存量の減少に影響した可能性がある。

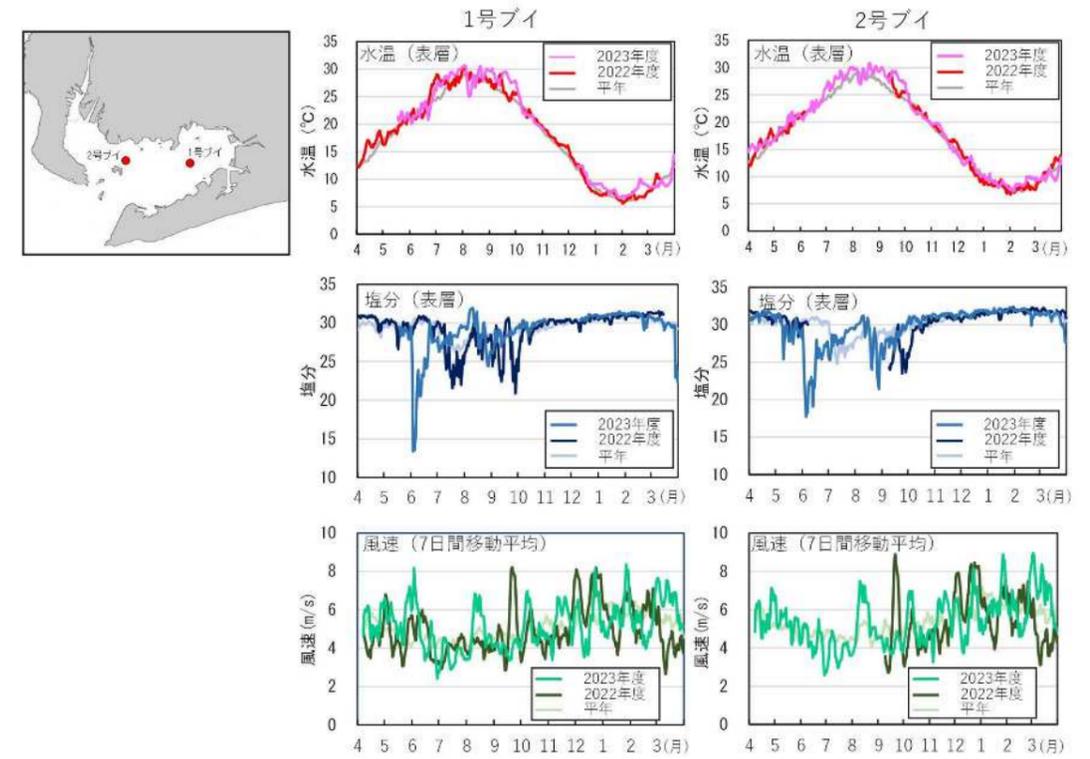


図 25 水産試験場1号ブイ及び2号ブイにおける表層水温・塩分・風速の推移(平年:2014-2021年平均)

4 まとめ

- 社会実験期間の放流水中の窒素及びリンについては総量規制基準に適合し、社会実験の中断に至る赤潮は見られず、環境への悪影響は認められなかった。
- 一方で、排水濃度の時間変動や他の水質規制項目の遵守が必要であるため栄養塩増加量に限界があった。また、浄化センターでの管理負担軽減のための規制基準の運用方法も課題となった。
- 全窒素、全リンは、両地区とも社会実験期間に放流口付近で濃度が高く、社会実験期間及び社会実験前の過去5か年平均間で分布には顕著な差はみられなかった。
- ノリについては、2022年度の葉体の色調が特に良好であり、2023年度も放流口に近い地点の色調が良好であった。社会実験によりノリ色落ちが軽減されたと考えられた。
- クロロフィル a については、両地区ともに放流口のやや沖側や周辺域で濃度が高くなる傾向が見られ、一方でアサリの現存量が多い岸側で低く、アサリ等底生生物の捕食の影響（水質浄化機能）と考えられた。
- アサリについては、矢作川地区では9月からリン増加試験運転を行った2020年度以降、社会実験期間を通じ、不漁原因であった稚貝の秋冬期の減耗が軽減され現存量は高い水準となった。一方、現存量の増加に伴い餌の競合による春から夏の肥満度の低下が認められ、さらなる餌料条件の改善によって現存量と肥満度が高い水準で維持されることが、天然資源の回復には必要であると考えられた。
- 数値シミュレーションによる解析の結果、栄養塩濃度やクロロフィル a 濃度の上昇や漁場への波及が確認され、ノリやアサリの効果に寄与したと考えられた。（資料4）

5 漁業の状況（参考）

（ノリの状況）

2023年度の西三河地区のノリ養殖については、経営体当たりの生産枚数が前年比115%、経営体当たりの生産金額が前年比176%だった。

知多湾にノリ漁場を持つ漁協における2023年度、2022年度と過去5か年平均における良質なノリ（ノリの平均単価10円/枚以上とした）が出荷された時期を示した（図26）。近年のノリ養殖における課題として、漁期後半の栄養塩不足による色落ちの発生、それに伴う早期の生産終了があげられるが、社会実験を実施した2022年度及び2023年度は過去5か年平均と比較して、いずれの漁協においても良質なノリが出荷された期間が長かった。特に矢作川浄化センターに近い西尾・味沢、一色、衣崎地区については4月中旬まで良質なノリが出荷された。

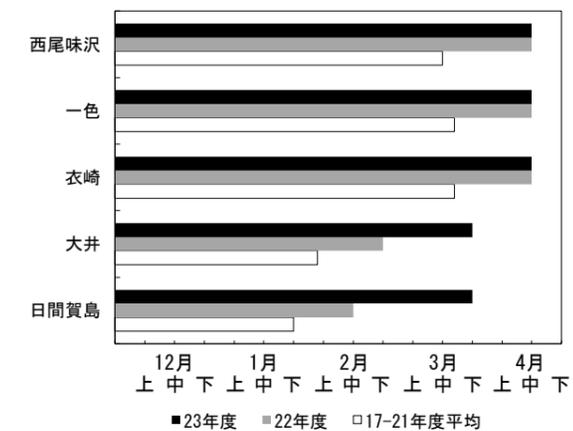


図26 知多湾漁場において良質なノリが出荷された時期

（アサリの状況）

図27には一色干潟におけるアサリ漁業の漁法別操業データから得られた漁獲量及び1日1隻当たりの漁獲量（CPUE：kg/隻日）の推移を示した。底びき網、腰まんがともに2021年以降に漁獲量、CPUEともに回復しており、2023年の漁獲量とCPUEは資源減少により休漁状態となった2017年以降で最高となった。

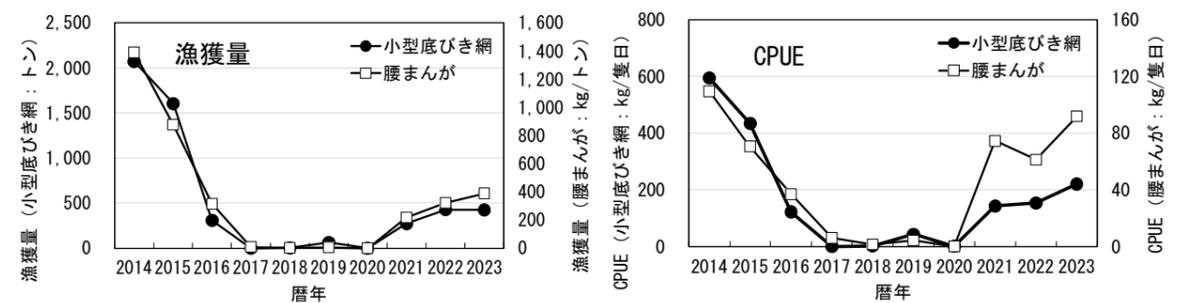


図27 一色干潟における底びき網及び腰まんがの漁獲量(左)及び1日1隻当たりアサリ漁獲量(CPUE)(右)の推移(2014年～2023年)