

海域の栄養塩環境が二枚貝生産に及ぼす影響調査

北村章博・森康雅・竜田直樹・浜口昌巳*¹・阿保勝之*¹・松原賢*¹

目 的

近年、瀬戸内海の他海域と同様に、和歌山県内の干潟域においてもアサリやハマグリ等の二枚貝の生産量が減少している。アサリ等二枚貝の生産性低下の原因のひとつとして、海域の栄養塩類の低下や冬季水温の上昇などの環境変化が関係していると考えられている¹⁾が、実海域で調査・研究した事例は少ない。

そこで、本調査では、海洋環境の異なる県内3海域で栄養塩類他の海洋環境調査を実施するとともに、アサリ等二枚貝をそれぞれの海域で飼育して生産量を調査し、海域の栄養塩環境がアサリ等二枚貝の生産に及ぼす影響を検討する。

なお、本調査は、平成29年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業のうち赤潮・貧酸素水塊対策推進事業（瀬戸内海等での有害赤潮発生機構解明と予察・被害防止等技術開発、水産庁委託）により実施した。

方 法

県内3海域（和歌浦湾、田辺湾、浦神湾、図1）において、海洋環境調査（表1）および飼育実験に供したアサリの測定調査を実施した。

1. 海洋環境調査

調査期間は、平成29年4月から平成30年1月までとした。水温および塩分は、多項目CTD（RINKO Profiler, JFEアドバンテック株式会社製）により測定した。透明度は、透明度板を使用して測定した。採水は、表層（0m）、二枚貝の垂下水深（和歌浦湾は2m、田辺湾および浦神湾は4m）、底層（B-1m）とした。

また、物理環境特性を明らかにするため、各海域に流速計（INFINITY-EM AEM-USB, JFEアドバンテック株式会社製）およびクロロフィル濁度計（INFINITY-CLW, COMPACT-CLW, JFEアドバンテック株式会社製）を設置した（表2）。機器の設置水深は、二枚貝の垂下水深と同様とした。

栄養塩濃度は、海水試料をメンブレンフィルター（孔径0.45μm）でろ過し、オートアナライザー（SWAAT, ピーエルテック株式会社製）で溶存態無機窒素（DIN）、リン酸態リン（PO₄-P）およびケイ酸態ケイ素（SiO₂-Si）を測定した。

海水中のクロロフィル*a*濃度は、海水試料をグラスファイバーフィルター（GF/C）でろ過したものをアセトン抽出し、分光光度計（U-2800A, 株式会社日立ハイテクノロジーズ製）で測定した。なお、欠測となった月は多項目CTDの測定値を用いた。

植物プランクトン（珪藻類）の計数は、海水試料1LをMFミリポアフィルター（孔径5.0μm）で自然ろ過により約100倍に濃縮し、グルタルアルデヒド（最終濃度1%）で固定した。固定試料は瀬戸内海区水産研究所に冷蔵送付し、試水100~1000μL中の細胞数を光学顕微鏡下で計数することにより、細胞密度を算出した。

2. アサリの飼育実験

飼育実験には、大分県産アサリを供した。飼育期間は、平成29年5月から平成30年1月までとした。県内3海域の筏に角コンテナ（469×369×154mm）を垂下した筏区と、干潟に角ザル（317×438×154mm）を埋めた干潟区の計6試験区を4重複ずつ設けた。また、同様に軟体部湿重量の測定用に計6試験区を2重複ずつ設定した。各試験区の角コンテナおよび角ザルには、アサリ稚貝を50個体ずつ収容し、食害やアサリの流出を防ぐために上部網（目合い4mm程度）を被せた。筏区のアサリの垂下水深は、和歌浦湾は2m、田辺湾および浦神湾は4mとした。飼育実験に供したアサリは、実験開始時5月および終了時1月に全個体、それ以外の各月は各容器から20

* 1 国立研究開発法人水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所

個体ずつ無作為に抽出し、殻長を測定した。また、生産量を把握するため、毎月、軟体部湿重量測定用の容器から10個程度を抽出し、メスで切開して軟体部湿重量を測定した。



図1 調査定点位置図

表1 海洋環境調査の測定項目

調査海域	和歌浦湾
	田辺湾
	浦神湾
調査水深	0, 垂下水深, B-1m
調査回数	各海域 1回/月
調査項目	水温
	塩分
	透明度
	DIN
	PO ₄ -P
	SiO ₂ -Si
	クロロフィル a 濃度 植物プランクトン (珪藻類)

表2 海洋観測機器の設置状況

設置海域	機器名	水深	測定間隔	設置期間
和歌浦湾	流速計、水温塩分計、 クロロフィル濃度計	2m	20分	平成29年9月7日～10月5日
田辺湾		4m		平成29年9月7日～10月10日
浦神湾		4m		平成29年9月8日～10月11日

結果および考察

1. 海洋環境調査

(1) 水温

各海域の水温の変動を図2に示した。垂下水深の水温は、和歌浦湾および田辺湾では8月、浦神湾では9月に最高水温を示した後、各海域とも1月にかけて低下した。

(2) 塩分

各海域の塩分の変動を図3に示した。田辺湾の8、9月および浦神湾の8、11月における表層では、降雨による塩分の顕著な低下が見られた。

(3) 透明度

各海域の透明度の変動を図4に示した。和歌浦湾および田辺湾において最低値を記録した8月は、台風の影響により透明度が低下したと考えられた。なお、各海域の4月から1月調査時の水深は、和歌浦湾が4.5～5.6m、田辺湾が8.0～12.3m、浦神湾が8.2～10.8mであった。

(4) 物理環境特性

各海域における流速の時系列データを図5に示した。各海域における調査期間中の平均流速は、和歌浦湾で約1.1cm/s、田辺湾で約2.1cm/s、浦神湾で約2.4cm/sであった。流速は、浦神湾で最も大きく、次いで田辺湾で大きく、和歌浦湾で最も小さかった。また、降雨後の9月17日には各海域とも強い流れが見られたが、浦神湾では特に強く流速は20cm/s以上に達した。

アサリ等二枚貝は流れてくる餌料生物を濾水して取り込むことから、二枚貝の成長には餌料フラックス（クロ

ロフィル *a* 濃度×流速) が影響すると考えられる。そこで、各海域の餌料環境を比較するため、各海域における餌料フラックスの時系列変化を図 6 に示した。餌料フラックスは、浦神湾が最も大きく、和歌浦湾で最も小さい値となった。

(5) 栄養塩

各海域の溶存態無機窒素 (DIN)、リン酸態リン ($PO_4\text{-P}$) およびケイ酸態ケイ素 ($SiO_2\text{-Si}$) 濃度の変動を図 7, 8, 9 にそれぞれ示した。各海域における 8 月の栄養塩濃度の上昇は、台風に伴う降雨の影響により河川水が流入したと考えられた。また、田辺湾における 10 月の表層の DIN, $PO_4\text{-P}$ 濃度は、降雨による河川水の流入が影響した可能性が考えられた。

(6) クロロフィル *a* 濃度

各海域における海水中のクロロフィル *a* 濃度の変動を図 10 に示した。和歌浦湾では 7 月に最高値 6.7~11.4 $\mu\text{g/L}$ を示し、11 月から 1 月にかけて 0.3~0.8 $\mu\text{g/L}$ まで減少した。田辺湾では 9 月の表層を除くその他の月は、0.1~2.5 $\mu\text{g/L}$ の範囲で変動し、他の 2 海域に比べて全体的に低い傾向を示した。浦神湾では 7, 8, 11 月に 2.5~4.5 $\mu\text{g/L}$ とやや高い値を示したが、その他の月は、0.1~2.7 $\mu\text{g/L}$ の範囲で変動した。

(7) 植物プランクトン (珪藻類)

各海域の水柱の珪藻類の合計細胞密度 (以下、珪藻類の合計細胞密度) の季節変化を図 11 に示した。和歌浦湾では 4 月から 7 月まで 635.5~1926.8 cells mL^{-1} と高い細胞密度が確認されたが、8 月以降は 3.0~11.1 cells mL^{-1} と 7 月までと比較して著しく低密度化した。また、田辺湾でも 4 月から 7 月まで 85.6~270.1 cells mL^{-1} と比較的高い細胞密度であったが、8 月になると 1.4 cells mL^{-1} と著しく低下し、10 月まで 20 cells mL^{-1} 未満の低密度であった。しかし、11 月には 813.6 cells mL^{-1} と一時的に大きく増加した。一方、浦神湾では 4 月および 7 月には 355.7 cells mL^{-1} および 1680.1 cells mL^{-1} と高い細胞密度が確認されたが 5 月および 6 月は 11.4 cells mL^{-1} および 19.6 cells mL^{-1} と低密度であった。また、他の海域と異なり、8 月にも 1474.5 cells mL^{-1} と高い細胞密度が確認された。11 月には田辺湾と同様に一時的な細胞の増加が確認された。

2. アサリの飼育実験

各海域におけるアサリの軟体部湿重量の推移を図 12 に示した。実験開始時 5 月のアサリは、殻長 10.3±1.5mm, 軟体部重量 0.007g であった。試験終了時 1 月の筏区の殻長, 軟体部重量および生残率は、和歌浦湾が 36.0±2.4mm, 1.1g, 75%, 田辺湾が 34.1±2.3mm, 0.8g, 89%, 浦神湾が 38.4±2.7mm, 1.1g, 79% であった。一方、干潟区では和歌浦湾が 32.8±2.8mm, 0.9g, 56%, 田辺湾が 29.4±2.0mm, 0.9g, 84%, 浦神湾が 28.2±1.7mm, 0.6g, 82% であった。試験終了時 1 月のアサリ軟体部湿重量は、筏区では和歌浦湾および浦神湾が同程度の成長を示し、田辺湾よりも高い値となった。また、干潟区では、和歌浦湾および田辺湾で同程度の成長を示し、浦神湾よりも高い値となった。各海域の筏区および干潟区において、軟体部重量が 9 月以降に大きく減少した月では、成熟状態のアサリの生殖腺が萎縮していたため、産卵による身痩せが起きたと考えられた。なお、和歌浦湾の干潟区では、飼育カゴ内に侵入した小型ツメタガイの食害により生残率が低下した。

3. 栄養塩環境と二枚貝生産の関係性

和歌浦湾では筏区の栄養塩濃度 (DIN, $PO_4\text{-P}$) と珪藻類の細胞密度との間にそれぞれ負の相関 (DIN, $PO_4\text{-P}$: $n = 9, p < 0.01$) が認められた (図 13)。また、和歌浦湾の筏区および干潟区において、珪藻類の細胞密度とアサリの軟体部湿重量 (月間増加率) との間にそれぞれ正の相関 (筏区 : $n = 8, p < 0.1$, 干潟区 : $n = 8, p < 0.01$) が認められた (図 14)。干潟区のアサリは、常に海水中に存在する筏区のアサリに比べて、潮の干満による影響によって摂餌可能な時間が制限されるため、より珪藻類の現存量の変化による影響を受けやすく、筏区よりも相関が高くなる傾向があると考えられた。

和歌浦湾の栄養塩は 4 月から 7 月にかけて低く推移し、10 月以降に上昇する傾向を示した。対照的に、珪藻類の細胞密度は 4 月から 7 月にかけて高く推移し、8 月以降に低下した。このことから、和歌浦湾では春から夏にかけて、珪藻類を主とする植物プランクトンが栄養塩を消費して増殖し、秋から冬にかけて減少することが明らかとなった。和歌浦湾は餌料フラックスが小さいものの、栄養塩や珪藻類の細胞密度、二枚貝の成長量が他の 2 海域に比べて全体的に高いことから、海域の生産性が 3 海域の中で最も高いと考えられた。一方、田辺湾では降雨などにより一時的に栄養塩濃度が上昇する場合を除いて、栄養塩濃度は低く推移した。また、クロロフィル *a*

濃度や珪藻類の細胞密度も総じて低い値を示していることから、筏区および干潟区ともに和歌浦湾よりも生産性は低いと考えられた。同様の理由によって、浦神湾の干潟区においてもアサリの成長量が低くなったと考えられた。一方、浦神湾の筏区については、水柱の珪藻類の細胞密度は低いものの、流動環境の調査結果から、餌料フラックスが他の2海域より高く、速い流速の影響で餌料となる珪藻類が効率的にアサリに供給されたことにより、和歌浦湾と同程度に成長したと考えられた。

以上のことから、海域の栄養塩環境と二枚貝生産の関係について、海域の栄養塩環境が珪藻類を主とする植物プランクトンの増殖に影響を及ぼし、珪藻類の挙動がアサリ等二枚貝の成長に影響を及ぼしていることが示唆された。加えて、流速などの物理環境もこれらの生産体系に影響を及ぼしていると考えられた。

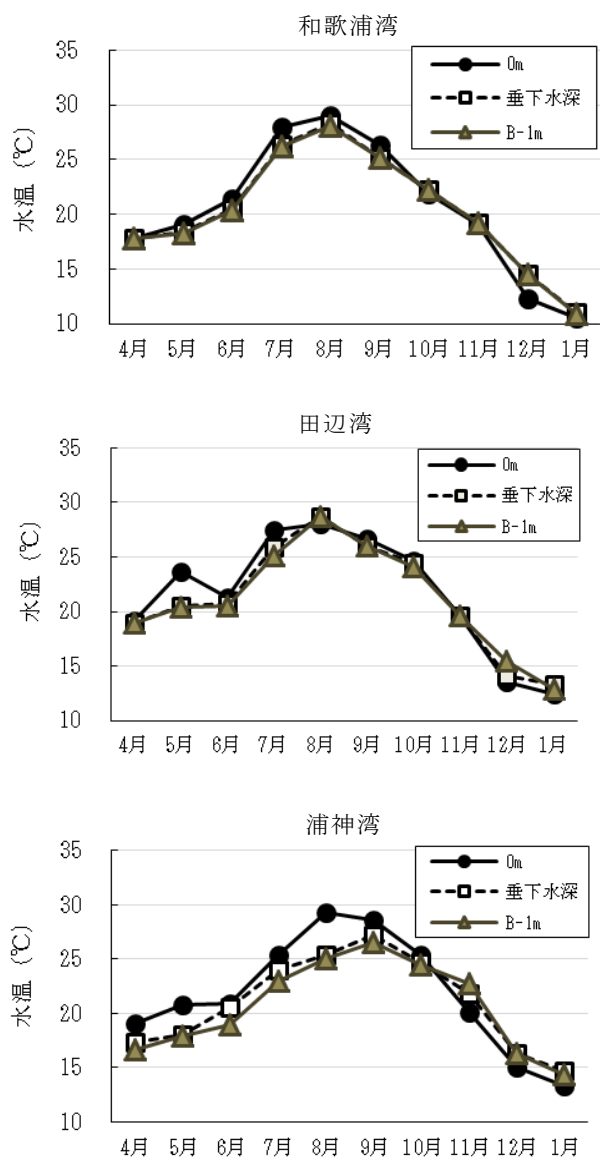


図2 和歌浦湾、田辺湾および浦神湾における水温の変動

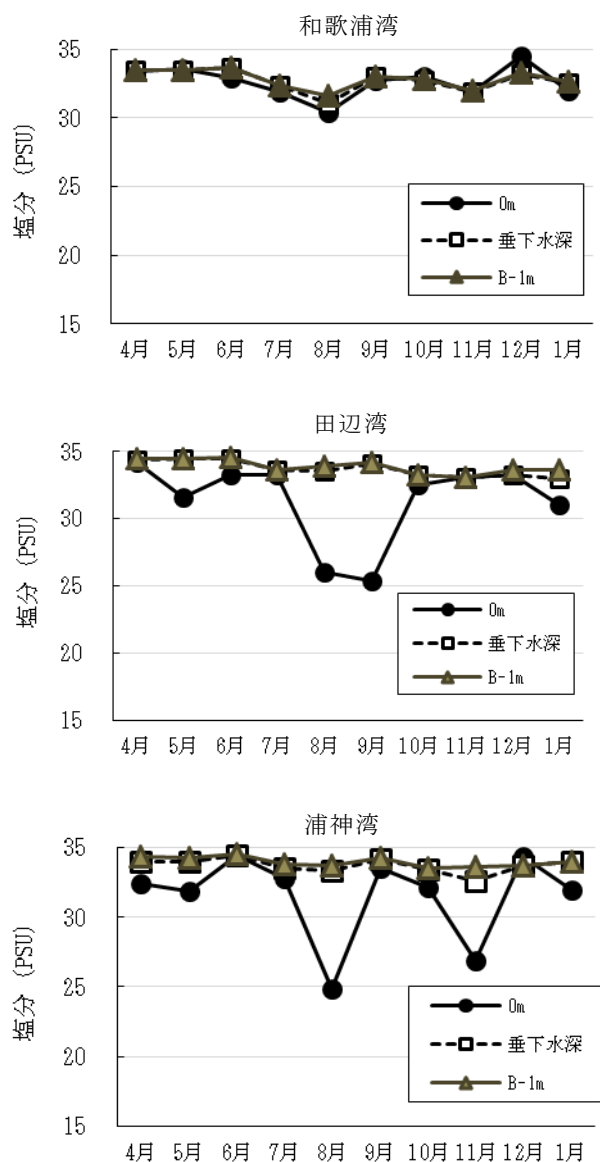


図3 和歌浦湾、田辺湾および浦神湾における塩分の変動

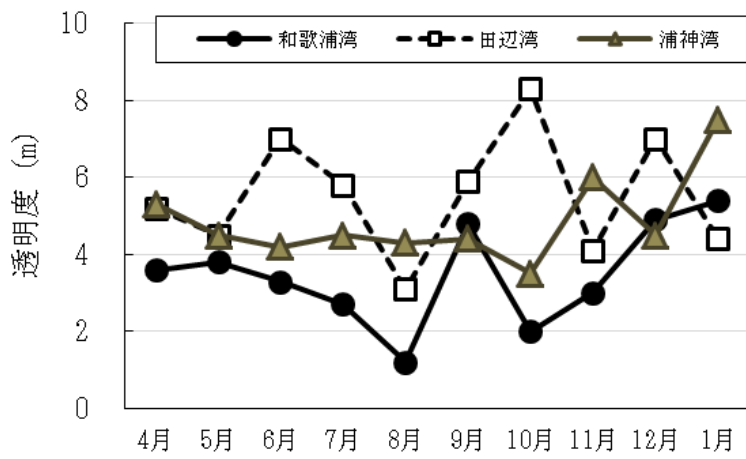


図4 和歌浦湾，田辺湾および浦神湾における透明度の変動

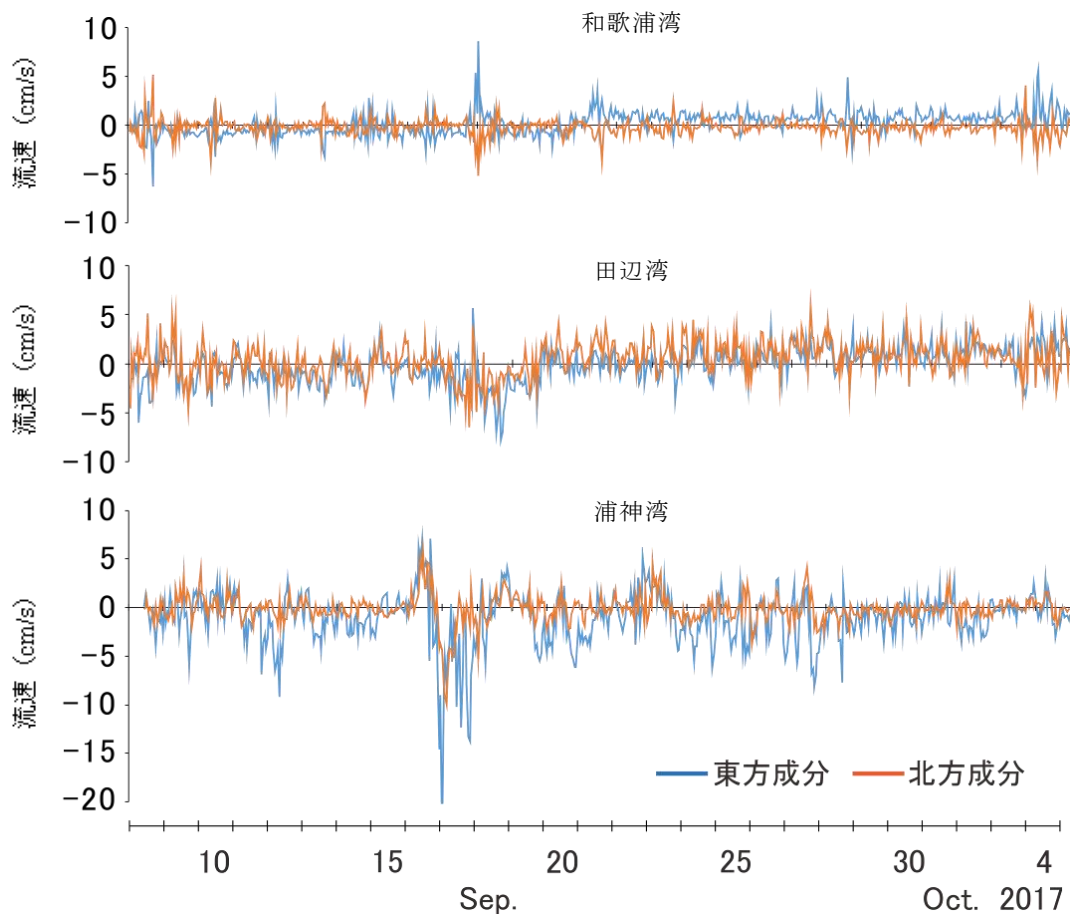


図5 和歌浦湾，田辺湾および浦神湾における流速

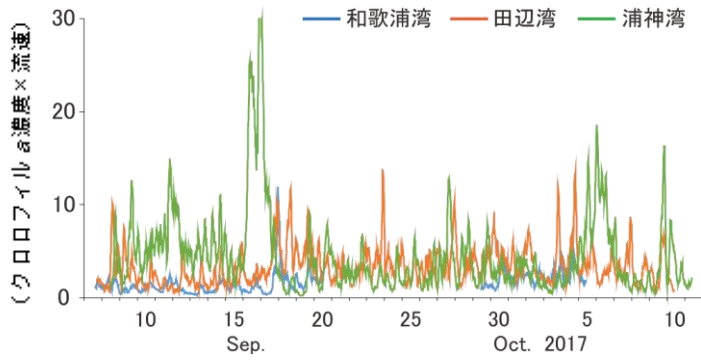


図6 和歌浦湾，田辺湾および浦神湾における餌料フラックス

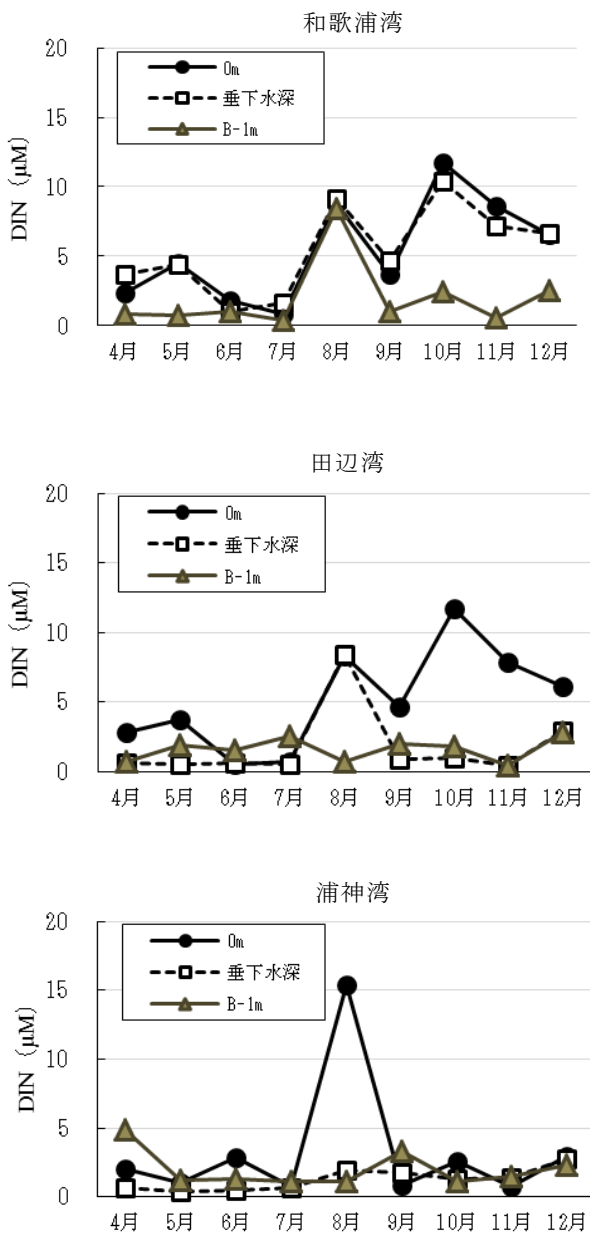


図7 和歌浦湾，田辺湾および浦神湾における DIN 濃度の変動

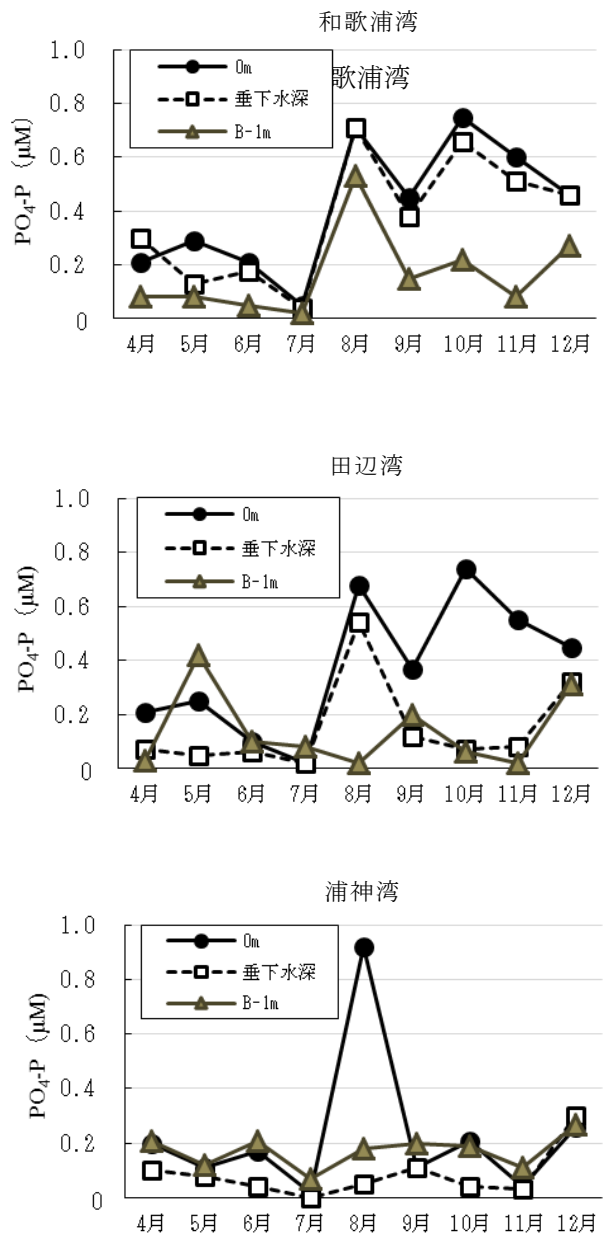


図8 和歌浦湾，田辺湾および浦神湾における PO₄-P 濃度の変動

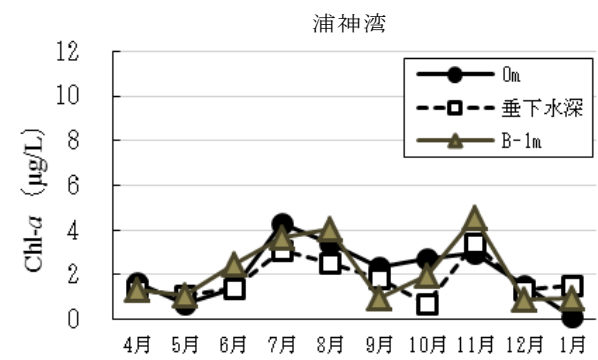
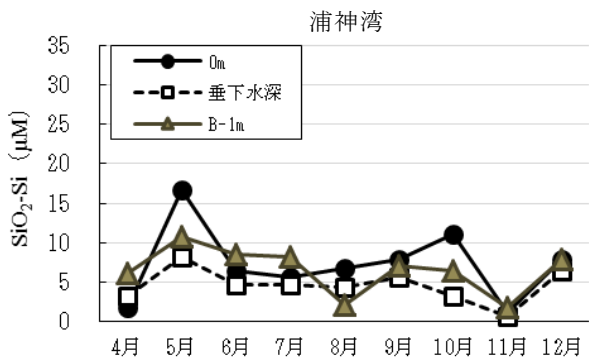
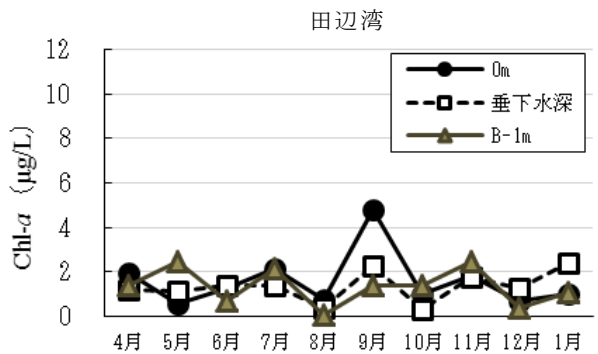
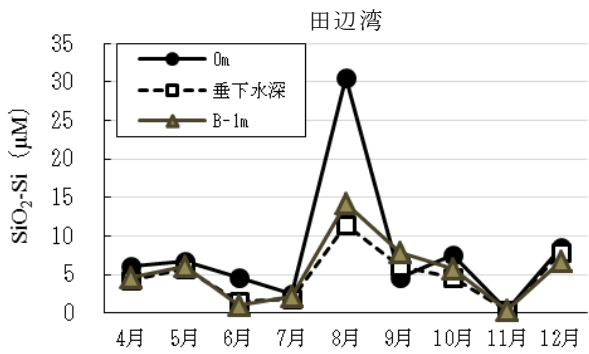
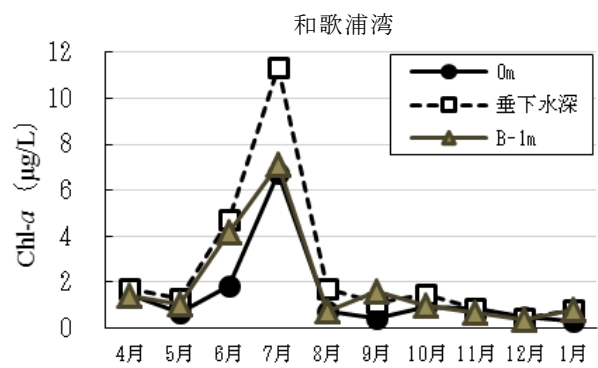
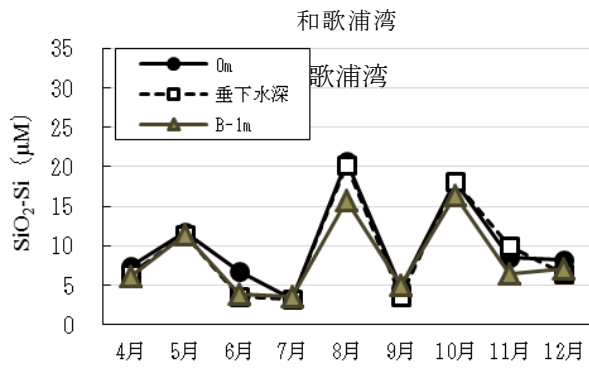


図9 和歌浦湾、田辺湾および浦神湾における SiO₂-Si 濃度の変動

図10 和歌浦湾、田辺湾および浦神湾における海水クロロフィル a 濃度の変動

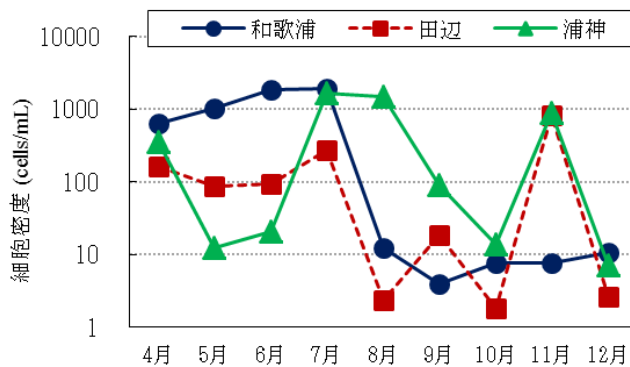


図11 和歌浦湾、田辺湾および浦神湾における珪藻類の合計細胞密度の季節変化

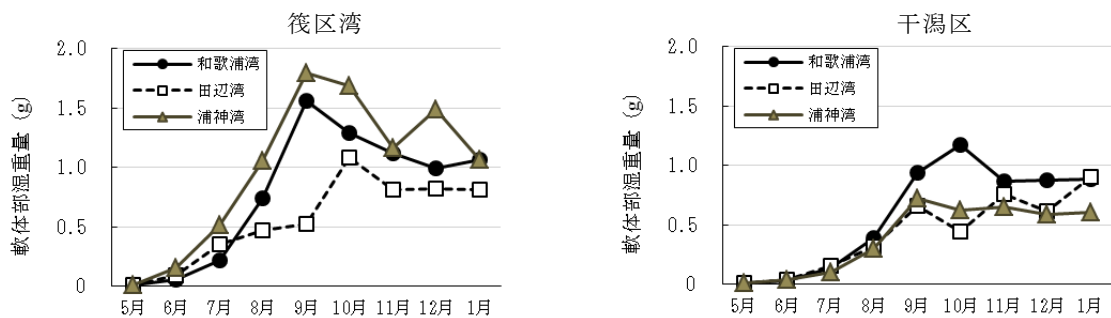


図 12 和歌浦湾、田辺湾および浦神湾におけるアサリの軟体部湿重量の推移

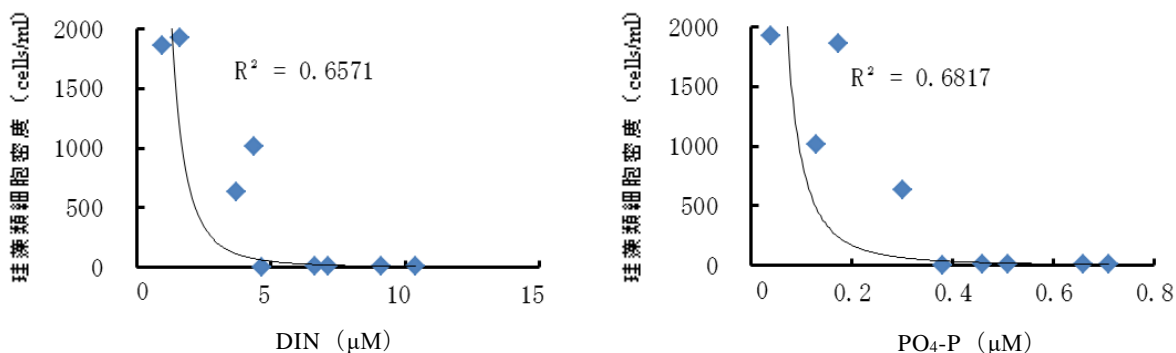


図 13 和歌浦湾の筏区における栄養塩濃度 (DIN, PO₄-P) と珪藻類の細胞密度 (垂下水深) との関係

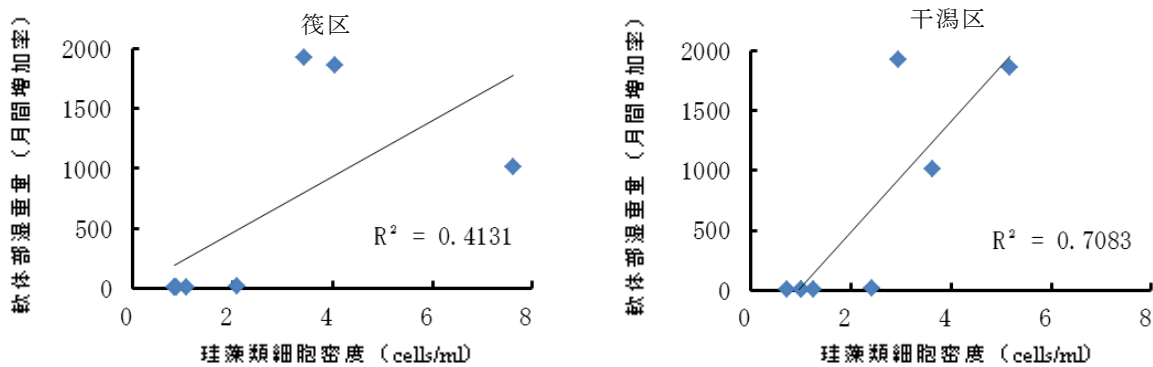


図 14 和歌浦湾の筏区および干潟区における珪藻類の細胞密度とアサリの軟体部湿重量 (月間増加率) との関係

謝 辞

本調査の実施にあたり、筏及び干潟における二枚貝の飼育場所の提供にご協力を頂いた和歌浦漁業協同組合、新庄漁業協同組合、和歌山東漁業協同組合浦神支所の方々に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 浜口昌巳 (2011) 一次生産の変化と有用種の関係 (二枚貝). 水産総合研究センター報告, **34**, 39-42.