

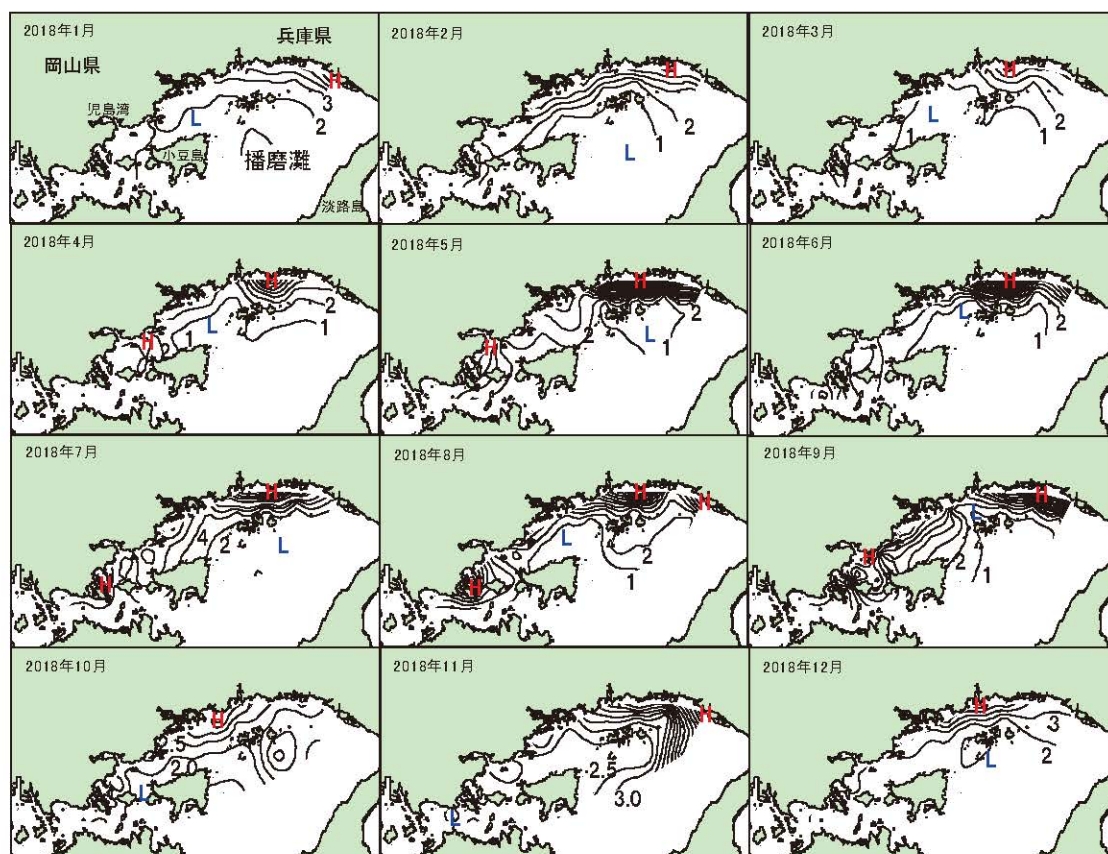


図5 播磨灘北西部の表層クロロフィル*a*濃度分布 (2018年、μg/L)

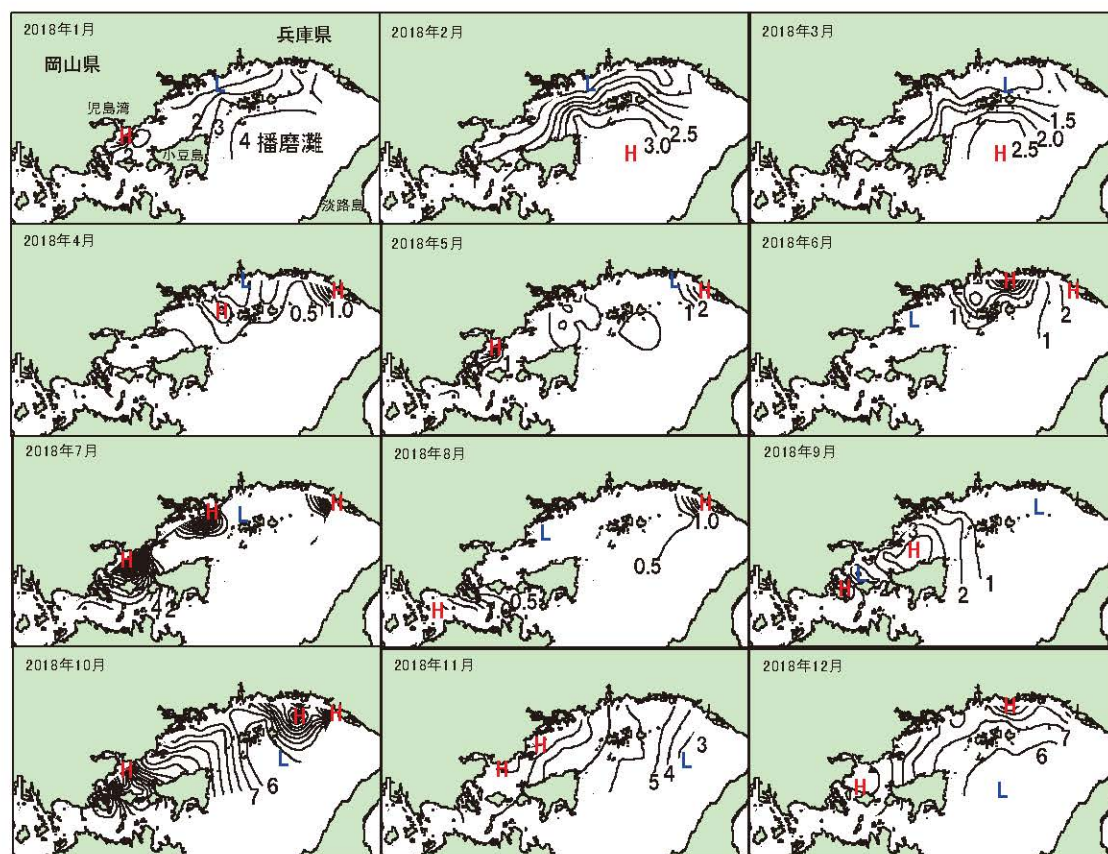


図6 播磨灘北西部の表層DIN濃度分布 (2018年、μM)

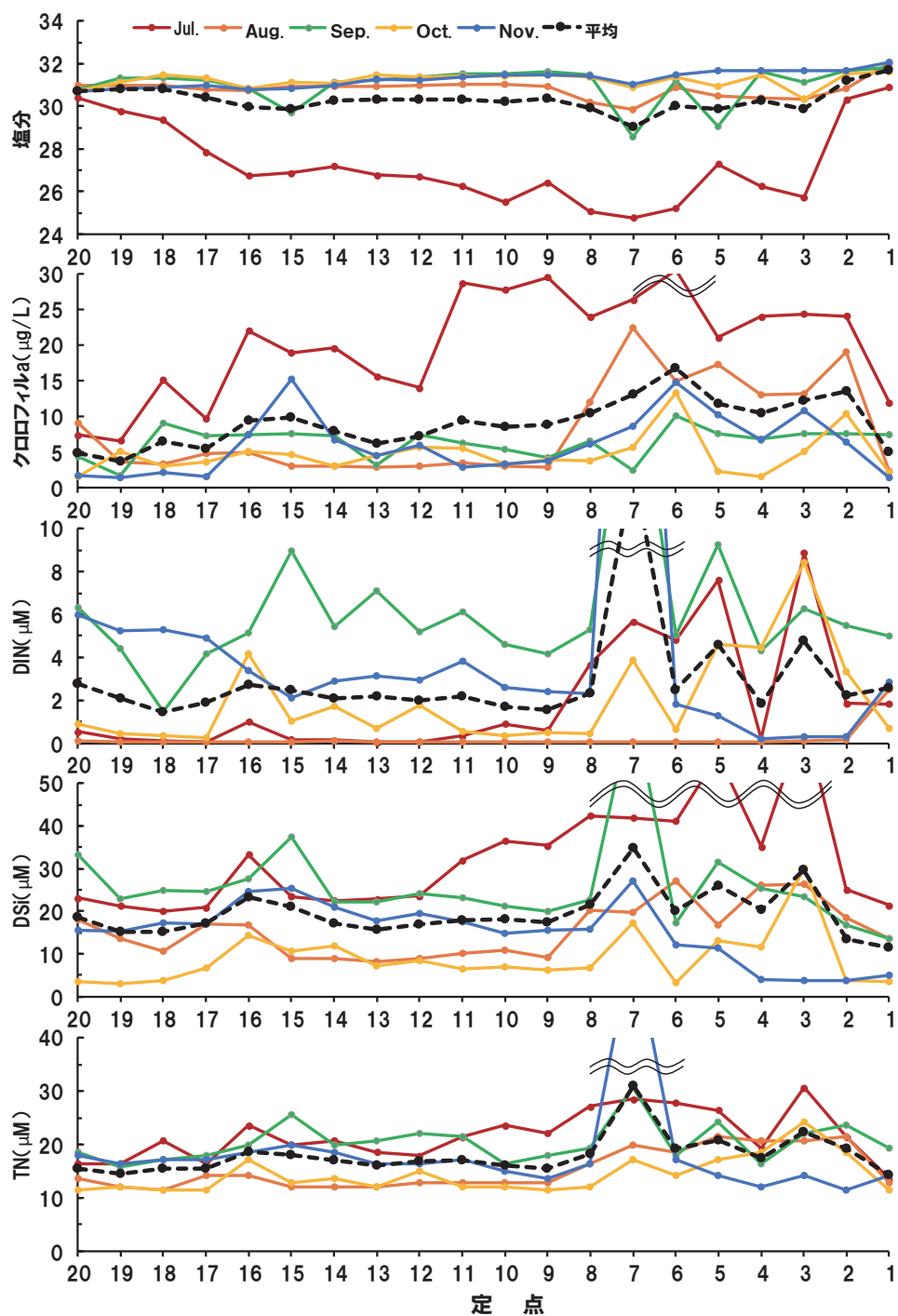


図 7 播磨灘北部沿岸水質調査結果 (2020 年)

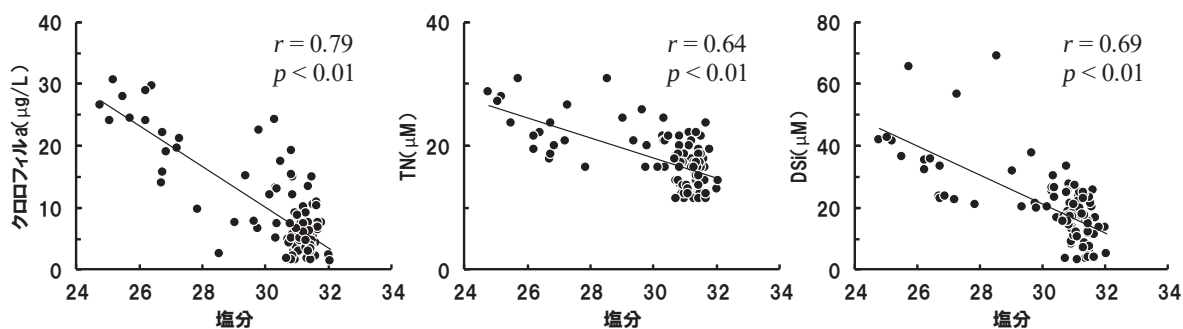


図 8 塩分と水質調査項目の関係

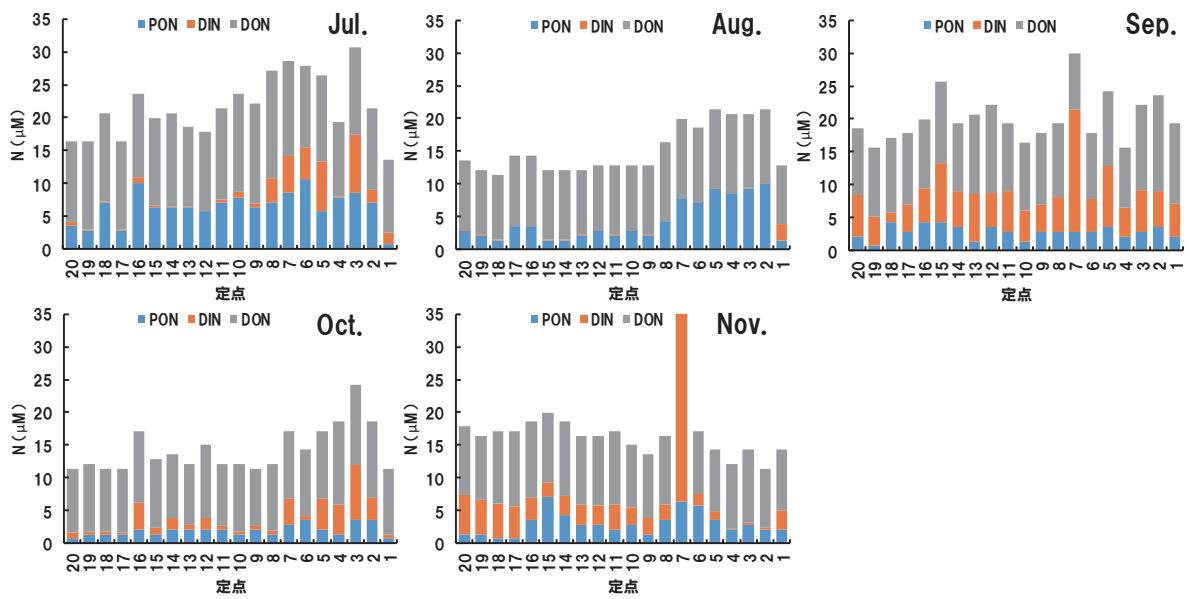


図9 各態窒素分析結果（2020年）

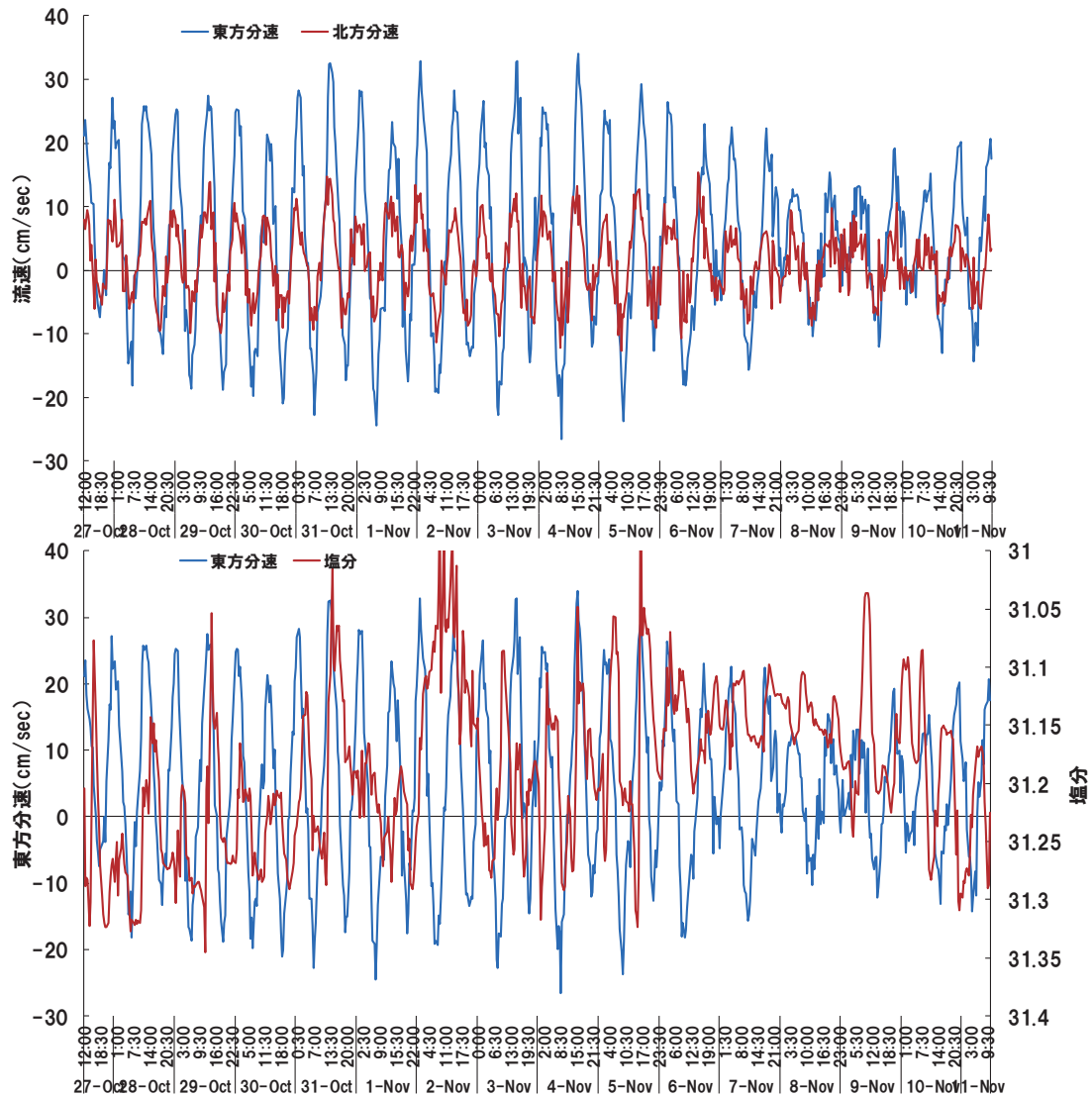


図10 赤穂市坂越沖（区第515号）における連続観測結果（2020年）

表1 カキ成長比較試験 回収率・生残率 (2020 年度)

| 試験区  | 回収年月日      | 回収率 (%)       | 生残率 (%)       |
|------|------------|---------------|---------------|
| 相生区  | 2020/12/16 | 100.0 (40/40) | 100.0 (40/40) |
|      | 2021/1/13  | 95.0 (38/40)  | 94.7 (36/38)  |
| 西島区  | 2020/12/11 | 100.0 (40/40) | 97.5 (39/40)  |
|      | 2021/1/13  | 100.0 (40/40) | 100.0 (40/40) |
| 南二見区 | 2020/12/11 | 100.0 (40/40) | 100.0 (40/40) |
|      | 2021/1/13  | 100.0 (40/40) | 100.0 (40/40) |

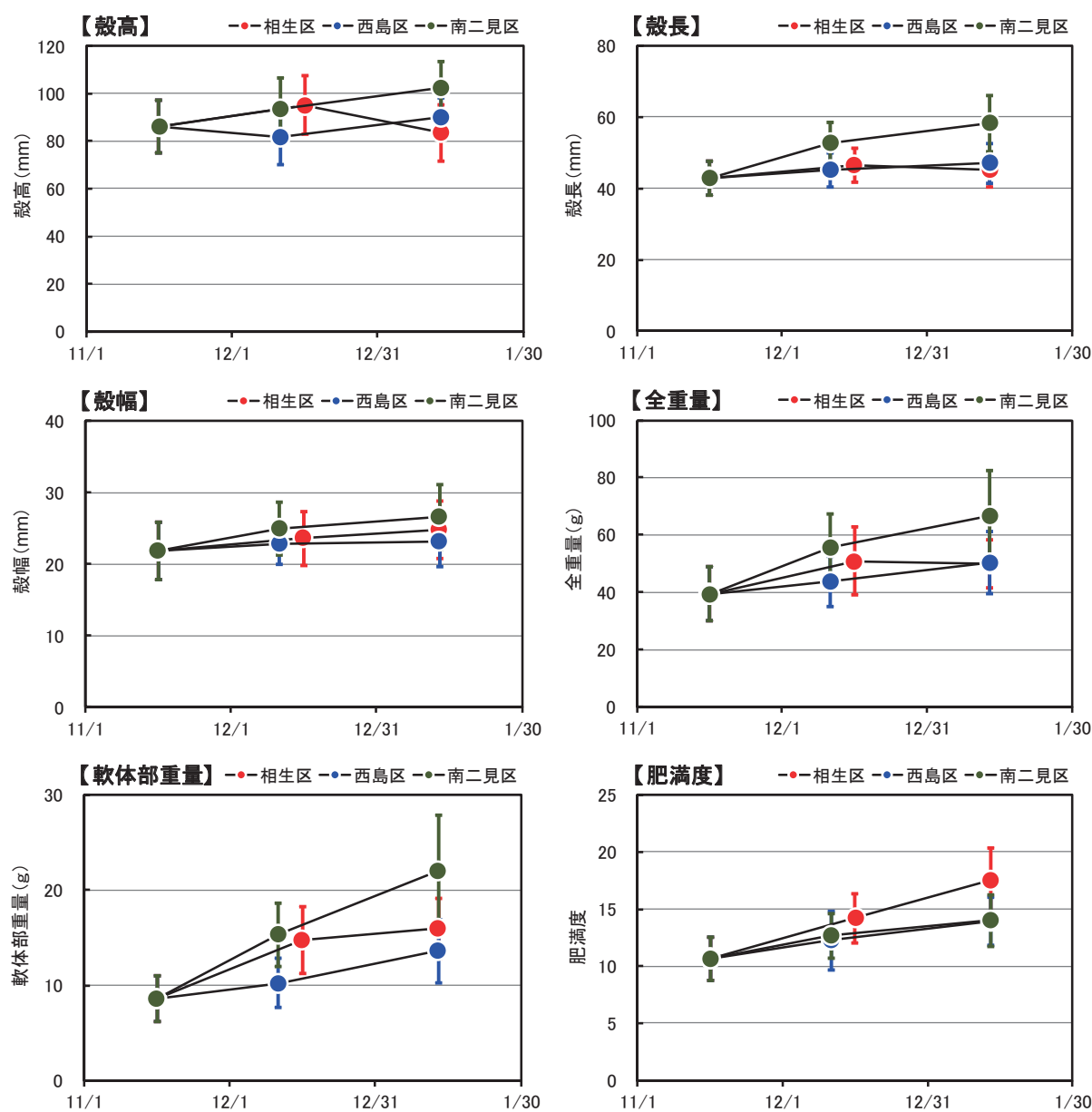


図11 マガキの成長状況 (2020 年度)

課題番号：1) -イ-②

課題名：紀伊水道の栄養塩環境が二枚貝生産に及ぼす影響解明

和歌山県水産試験場  
諏訪 剛，葦澤崇博，内田 廉

### 【背景・目的】

近年、瀬戸内海のアサリやハマグリ生産量は減少しているが、和歌山県の干潟域でも同様である。和歌山市の和歌浦干潟は、漁業のみならず、関西随一の潮干狩り場として観光等地域の活性化に大きく貢献していたが、アサリやハマグリ生産量が低下したため、現在は漁業や潮干狩りは中止されており、アサリやハマグリ資源の復活が切望されている。浜口（2011）は、瀬戸内海の浅海定線調査によって得られた 30 年以上の海洋観測データとアサリ・ハマグリ漁獲量を解析した結果、アサリ・ハマグリ生産性低下の原因のひとつとして、海域の栄養塩の低下や冬季水温の上昇など環境変化による影響を考察している。このため、アサリやハマグリにとって適切な栄養塩濃度の解明や、その適正管理手法の開発が望まれているが、実海域において、栄養塩環境と二枚貝生産について調査・研究した事例は少ない。

そこで、本課題では、二枚貝漁場周辺海域における栄養塩などの水質等環境調査を実施するとともに、アサリ等二枚貝を用いた飼育試験を実施し、海域の栄養塩動態や餌料環境、二枚貝の成長量等を把握し、海域の栄養塩環境が二枚貝の生産性に及ぼす影響を検討する。

### 【方法】

#### (1) 水質等環境調査

和歌山市和歌浦干潟（図 1）において、2020 年 5 月～2021 年 2 月の期間、多項目 CTD（RINKO-Profiler, JFE アドバンテック株式会社）による水温、塩分の測定を行った。また、2020 年 5 月～2021 年 1 月の期間、栄養塩環境およびアサリ等二枚貝の餌料環境を把握するため、採水・採泥サンプリングを実施（図 2）し、自動分析機器（SWAAT, BLTEC 株式会社）による栄養塩分析（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ （12～1 月は  $\text{NH}_4\text{-N}$  と  $\text{PO}_4\text{-P}$  を欠測））および蛍光分光光度計（FP-6500, 日本分光株式会社）による海水・干潟堆積物のクロロフィル *a* 分析（5～6 月は欠測）に供した。海水の採水は上げ潮時、水深 80cm に達した際の海底上約 1cm とした。干潟堆積物の採泥は表層 0～5mm で、既設の被覆網下の、アサリの飼育試験カゴ周辺から採取した。干潟堆積物のクロロフィル *a* 分析については、サンプルを 1.5g 秤量した後、滅菌海水を加え、上清と沈殿物に分けた。海水および干潟堆積物の上清は 0.2  $\mu\text{m}$ , 2  $\mu\text{m}$ , 10  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$  の濾紙で濾過し、その濾紙から NN-ジメチルホルムアミドを用いて抽出したクロロフィル *a* 量を 0.2～2  $\mu\text{m}$ , 2～10  $\mu\text{m}$ , 10～20  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$  以上の分画に分けて測定した。沈殿物についてはそのままクロロフィル *a* 量を測定した。

微細藻類分析（組成、細胞密度）は、上記の方法で採取した海水と干潟堆積物（上清）について実施した。海水は 2020 年 3, 8, 10, 12 月分を分析した。3 月の海水は、今年度と同じ方法で採取した底層水に加え、この底層水を 20  $\mu\text{m}$  のフィルターで濾した濾液、および表層水

の3種類を調べた。干潟堆積物（上清）は5～12月の毎月、分析した。微細藻類分析には水産技術研究所廿日市庁舎の協力を頂いた。

## （2）二枚貝飼育試験

和歌浦干潟の既設の被覆網下（図2）に、2020年5月に採苗したアサリ（以後、「1年目アサリ」と表記）の殻長・殻付重量測定用として、アサリ60個体を収容したカゴ（520×365×305mm）を4個設置した。また別途、1年目アサリの軟体部湿重量測定用として同内容のカゴを4個設置した。さらに、前年度の当該試験に供したアサリ（2019年4月採苗の稚貝を使用。以後、「2年目アサリ」と表記）についても同内容のカゴを4個設置したが、こちらは殻長・殻付重量測定用と軟体部湿重量測定用を兼ねた。カゴの上部には食害やアサリの流出防止のため上部網（目合い4mm）を被せ、カゴ内の基質には篩（目合い5mm）で夾雑物を除去した干潟の砂を使用した。

殻長・殻付重量は、各カゴからアサリ20個体、カゴ4個で合計80個体を無作為に抽出し、デジタルノギスで殻長、電子秤で殻付重量を測定した。測定したアサリは元のカゴへ戻した。軟体部湿重量は、各カゴからアサリ2～3個体、カゴ4個で合計10個体を無作為抽出により採取して和歌山県水産試験場へ持ち帰り、デジタルノギスで殻長、殻高、殻幅を測定した後、メスで切開して取り出した軟体部をペーパータオルで水分除去して電子秤で計測した。軟体部湿重量の測定に用いたアサリの各個体データから各月の肥満度[軟体部湿重量 g/（殻長×殻高×殻幅 cm）×100]を算出した。

調査は2020年5月～2021年2月の期間、実施した。2月には1年目アサリの殻長・殻付重量測定用カゴについて生残個体を計数し、生残率を求めた。

アサリの餌料推定に資するため、アサリ軟体部、海水、干潟堆積物の炭素・窒素安定同位体比分析を実施した。検体は2020年3、8、10、11、12月、2021年1月に採取した（1月はアサリ軟体部と干潟堆積物のみ）。アサリ軟体部は、軟体部湿重量の測定に供した1年目アサリの検体を用いた。ただし、3月については前年度の飼育試験で軟体部湿重量を測定した2年目アサリに加え、新たに殻長2mm未満のアサリ稚貝を採取し調べた。海水と干潟堆積物は水質等環境調査と同じ方法で採取した。海水は、あらかじめ450℃で3時間加熱処理したグラスファイバー濾紙（Whatman社製GF/Fフィルター）で濾過し、その濾紙を検体とした。濾過した海水量は12月のみ2L、その他は1Lである。

## 【結果および考察】

### （1）水質等環境調査

水温、塩分の調査結果を図3～4に示した。水温（図3）は10.3～29.3℃の範囲で推移した。塩分（図4）は27.0～33.6 PSUの範囲で変動し、7月には特に低い値が観測された。

栄養塩濃度（NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P）の調査結果を図5～8に示した。NO<sub>2</sub>-N（図5）は、比較的高い値として9月に0.4μM、12月に0.5μM、1月に0.9μMが測定された他は0.0～0.2μMの範囲で推移した。NO<sub>3</sub>-N（図6）は、比較的高い値として7月に3.5μM、9月に2.0μM、1月に2.6μMが測定された他は0.0～1.8μMの範囲で推移した。NH<sub>4</sub>-N（図7）は、比較的高い値として7月に2.3μMが測定された他は0.3～1.6μMの範囲で推移した。PO<sub>4</sub>-P（図8）は、比較的高い値として7月に0.6μM、9月に0.7μMが測定された他は0.1～0.4μMの範囲で推移した。

7月はNO<sub>3</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-Pで比較的高い値が観測されており、一方、同月は低塩分でもあ

った(図4)。北村他(2019)は、和歌浦干潟における降雨後の河川水流入による陸域からの栄養塩供給を考察しており、今回観測された7月の高栄養塩と低塩分は降雨の影響によるものと考えられる。また、北村他(2020)は和歌浦湾において降雨直後の一時的な栄養塩濃度上昇の他に、秋～冬季にも海水中の栄養塩が高くなる傾向を指摘している。 $\text{NO}_2\text{-N}$ で12月と1月、 $\text{NO}_3\text{-N}$ で12月に観測された高栄養塩は、秋～冬季の和歌浦湾の栄養塩濃度上昇に影響を受けた現象と推察される。

海水および干潟堆積物(上清+沈殿物)のクロロフィル *a* の調査結果を図9～10に示した。海水のクロロフィル *a* (図9)は、最高値が9月の $5.9\mu\text{g/L}$ 、次いで10月の $5.4\mu\text{g/L}$ で、他の月は $1.5\sim 3.4\mu\text{g/L}$ で推移した。一方、干潟堆積物(上清+沈殿物)のクロロフィル *a* (図10)は、7月の $12.7\mu\text{g/cm}^2$ から8月の最高値 $15.0\mu\text{g/cm}^2$ に達した。その後は次第に減少し $6.8\sim 9.6\mu\text{g/cm}^2$ で推移したが、12月に一時的に $11.8\mu\text{g/cm}^2$ まで増えた。

海水および干潟堆積物(上清)に含まれる浮遊性および底生性微細藻類の細胞密度と種組成を図11～14に示した。海水の微細藻類細胞密度(図11)は、ほとんどが浮遊性微細藻類で占められ、3月の表層水は $5,310\text{cells/mL}$ 、底層水は $5,500\text{cells/mL}$ 、底層水の $20\mu\text{m}$ 濾過は $2,360\text{cells/mL}$ 、8月は $10,080\text{cells/mL}$ 、10月は $7,550\text{cells/mL}$ 、12月は $14,000\text{cells/mL}$ であった。海水の微細藻類種組成(図12)は、3月は *Pseudo-nitzschia* 属、8月は *Chaetoceros* 属、12月は *Skeletonema* 属が主体であった。干潟堆積物(上清)の微細藻類細胞密度(図13)は、ほぼ底生性微細藻類で占められ、5～7月は $2,738\sim 3,163\text{cells/mL}$ で推移した後、8月には $6,113\text{cells/mL}$ まで増え、9月は $5,363\text{cells/mL}$ 、10月は $2,625\text{cells/mL}$ 、11月は $1,600\text{cells/mL}$ と次第に少なくなっていたが、12月に再び増加し $4,038\text{cells/mL}$ となった。干潟堆積物(上清)の微細藻類種組成(図14)は *Navicula* 属、*Nitzschia* 属、*Amphora* 属が主体となった。

海水および干潟堆積物(上清)の、分画別クロロフィル *a* とその組成率を図15～16に示した。海水(図15)は干潟堆積物(上清)(図16)に比べ、 $20\mu\text{m}$ 以上分画のクロロフィル *a* が目立った。一方、干潟堆積物(上清)は $2\sim 20\mu\text{m}$ 分画のクロロフィル *a* が主体となった。これらの結果は北村(2020)でも報告されている。

## (2) 二枚貝飼育試験

1年目および2年目アサリの各月の殻長、殻付湿重量、軟体部湿重量および肥満度の調査結果を図18～19に示した。試験開始時の殻長は1年目アサリが $9.6\text{mm}$ 、2年目アサリが $31.5\text{mm}$ 、軟体部湿重量は1年目アサリが $0.03\text{g}$ 、2年目アサリが $1.13\text{g}$ であった。一方、試験終了時の殻長は1年目アサリが $28.2\text{mm}$ 、2年目アサリが $34.7\text{mm}$ 、軟体部湿重量は1年目アサリが $1.20\text{g}$ 、2年目アサリが $1.56\text{g}$ であった。1年目アサリの成長は急激であったが、2年目アサリは穏やかであった。2月調査時点の1年目アサリ飼育試験区の平均生存率は $57.5\%$ であった。

炭素・窒素安定同位体比分析結果から $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ マップを作製し図17に示した。アサリ軟体部は、2020年3月に採取された殻長 $2\text{mm}$ 未満の稚貝が $\delta^{13}\text{C}:-25.6\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}:8.88\text{‰}$ で、その他は $\delta^{13}\text{C}:-18.3\sim -15.8\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}:8.54\sim 9.51\text{‰}$ であった。このことから、殻長 $2\text{mm}$ 未満のアサリ稚貝とそれ以外のアサリは異なる餌を利用している可能性が示唆された。干潟堆積物は $\delta^{13}\text{C}:-22.3\sim -20.7\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}:5.17\sim 7.26\text{‰}$ であった。海水は12月が $\delta^{13}\text{C}:-22.0\text{‰}$ 、 $\delta^{15}\text{N}:8.06\text{‰}$ であった。12月以外の海水は検体水量の不足により $\delta^{15}\text{N}$ が $11\text{‰}$ 以上の異常値を示したため、ここでは参考まで示すにとどめる。

### (3) アサリの餌料推定

金谷 (2020) によると、日本沿岸域で報告された海水中の marine POM の  $\delta^{13}\text{C}$  は  $-23.8 \sim -18.9\text{‰}$  の範囲にあり、今回調べた 12 月の海水の  $\delta^{13}\text{C}$  もこの範囲に入っている。同じく金谷 (2020) によると、日本近海で報告された底生微細藻類の  $\delta^{13}\text{C}$  は  $-20 \sim -11\text{‰}$  とされている。 $\delta^{13}\text{C}$  についてアサリの濃縮係数を  $0.6\text{‰}$  (石樋他 2017) とした場合、本調査での殻長 2mm 未満稚貝以外のアサリの、推定される餌料の  $\delta^{13}\text{C}$  は  $-18.9 \sim -16.4\text{‰}$  となる。この数値は、金谷 (2020) が報告する  $\delta^{13}\text{C}$  の底生微細藻類の範囲内に収まるが、marine POM の範囲からは概ね外れる。

一方、海水および干潟堆積物 (上清) の分画別クロロフィル *a* (月間平均) と、1 年目アサリの軟体部湿重量 (月間増加率) との関係を分析すると (図 20~21)、干潟堆積物 (上清) の  $0.2 \sim 2 \mu\text{m}$  分画および  $20 \mu\text{m}$  以上分画クロロフィル *a* で有意な相関 ( $P < 0.05$ ) が認められた。なお、干潟堆積物 (上清) に含まれる微細藻類細胞密度を調査した結果 (図 13) によると、ほとんどが底生性で占められていた。

以上のことから、カゴの中で飼育したアサリにとって、再懸濁された底生性微細藻類が餌料として重要な役割を果たしている可能性が示唆された。底生性微細藻類のアサリ餌料としての重要性については北村他 (2020) でも考察されている。食害防止用の被覆網とアサリ流失防止用の上部網で囲まれたカゴの中は、堆積物が堆積しやすく、網の表面が着生基質になるため底生性微細藻類が豊富となり、そこで飼われているアサリにとって主要な餌料になっているのではないかと推察される。

### 【参考文献】

- 浜口昌巳．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研究報告，独立行政法人水産総合研究センター，神奈川．2011，33-47．
- 北村章博，森康雅，竜田直樹．平成 30 年度漁場環境改善推進事業「栄養塩の水産資源に及ぼす影響の調査」報告書．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，2019，26-32．
- 北村章博，森康雅，竜田直樹．平成 31 年度漁場環境改善推進事業「栄養塩の水産資源に及ぼす影響の調査」報告書．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，2020，26-34．
- 金谷 弦．炭素・窒素安定同位体比測定法による大型底生度応物の餌資源推定—汽水域生態系への適用—．日本ベントス学会誌，2010，28-40．
- 石樋由香，松本才絵，渡部諭史，藤岡義三，長谷川夏樹，日向野純也．コンテナ垂下養殖アサリの成長と餌料源．水産技術，2017，141-145．



図1 調査地

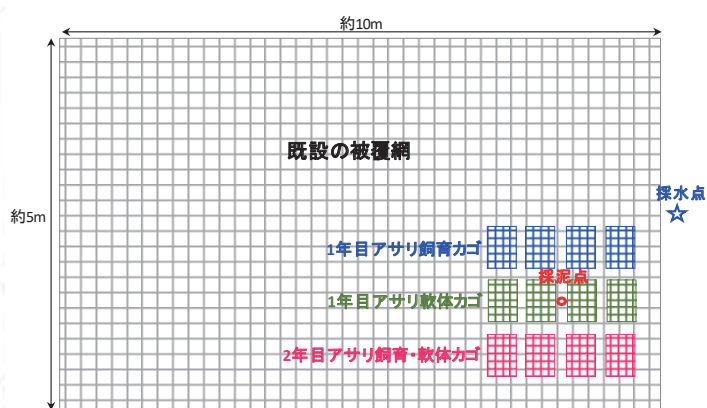


図2 採水点、採泥点、カゴの設置

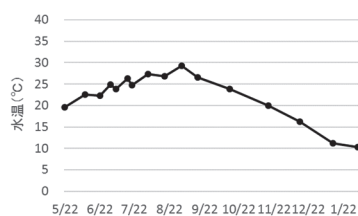


図3 水温の調査結果

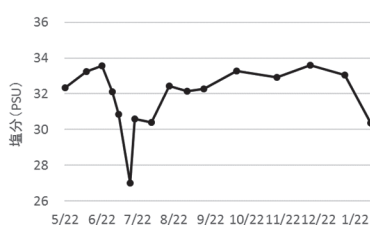


図4 塩分の調査結果

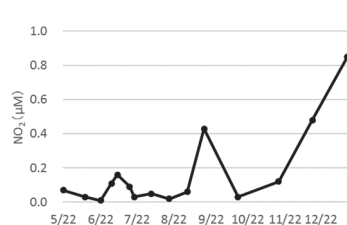


図5 NO<sub>2</sub>-N の調査結果

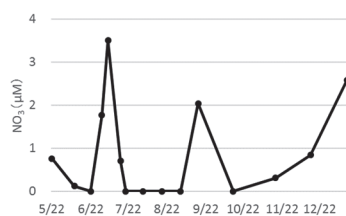


図6 NO<sub>3</sub>-N の調査結果

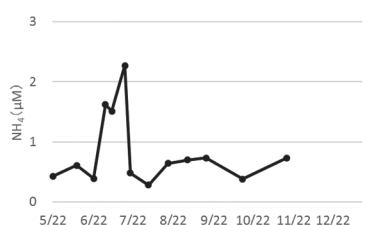


図7 NH<sub>4</sub>-N の調査結果

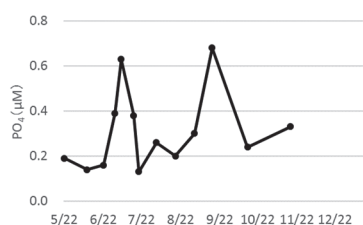


図8 PO<sub>4</sub>-P の調査結果

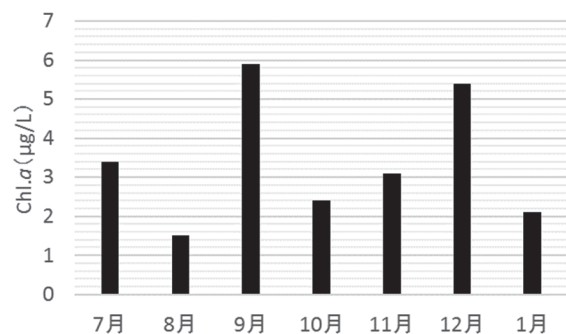


図9 海水のクロロフィル a 調査結果

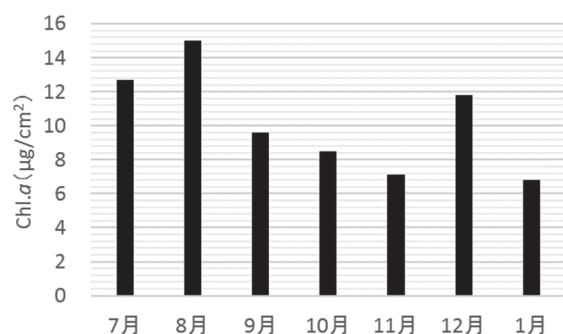


図10 干潟堆積物(上清+沈殿物)のクロロフィル a 調査結果

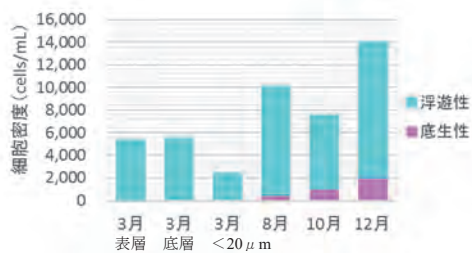


図 11 海水の浮遊・底生性微細藻類細胞密度

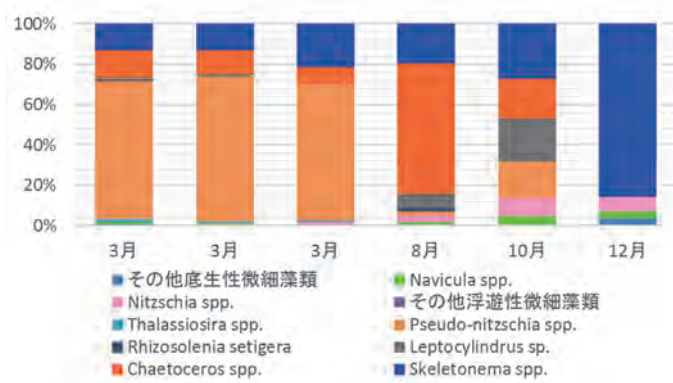


図 12 海水の微細藻類種組成

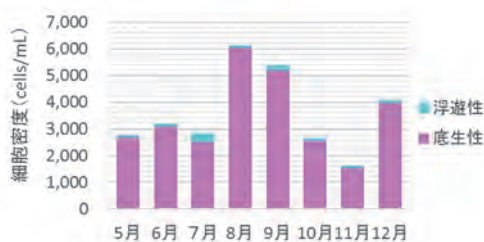


図 13 干潟堆積物（上清）の浮遊・底生性微細藻類細胞密度

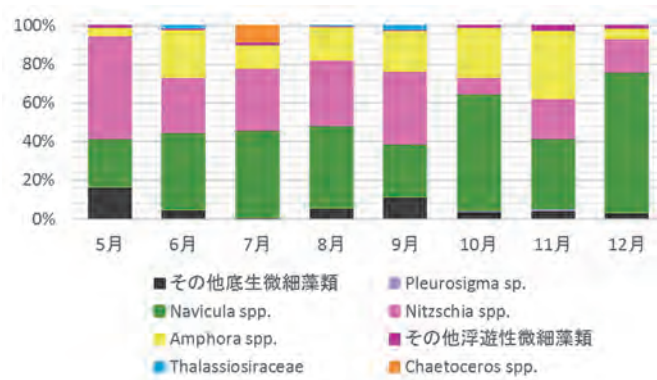


図 14 干潟堆積物（上清）の微細藻類種組成

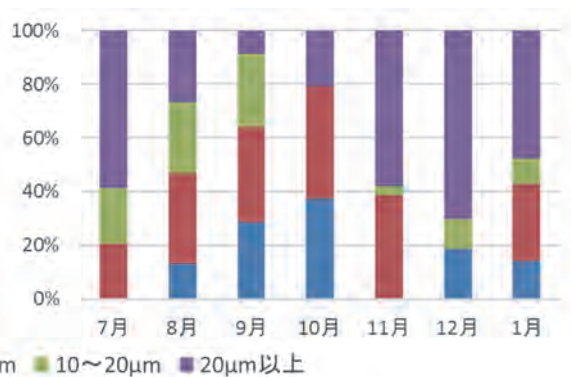
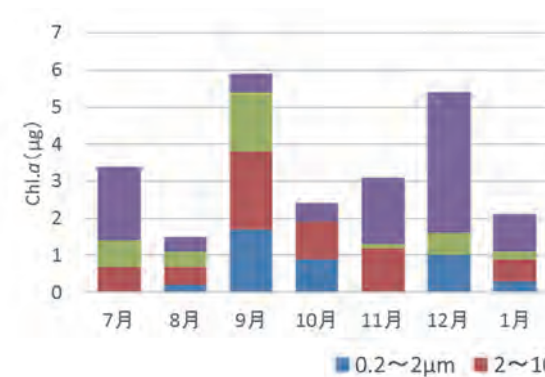


図 15 海水 1L 中の分画別クロロフィル *a* 量（左図）と組成率（右図）

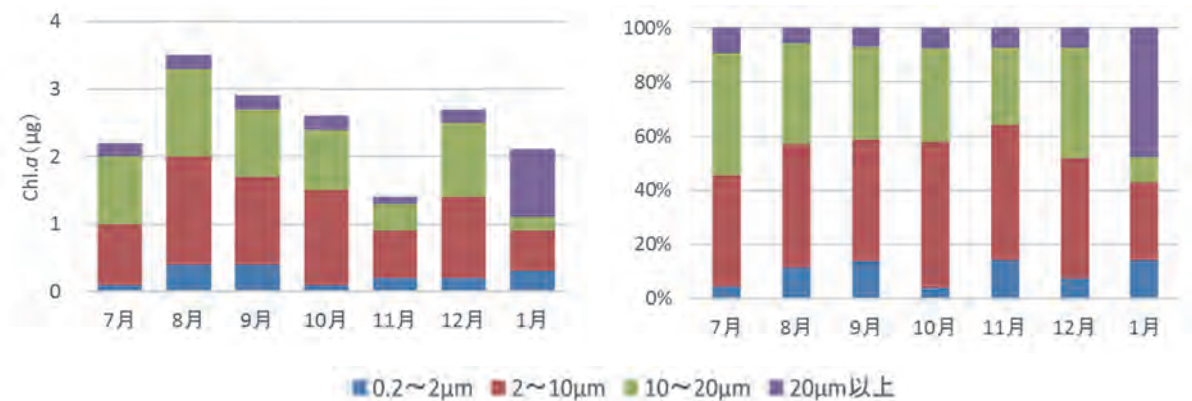


図 16 1cm<sup>2</sup> 当たり干潟堆積物（上清）中の分画別クロロフィル *a* 量（左図）と組成率（右図）

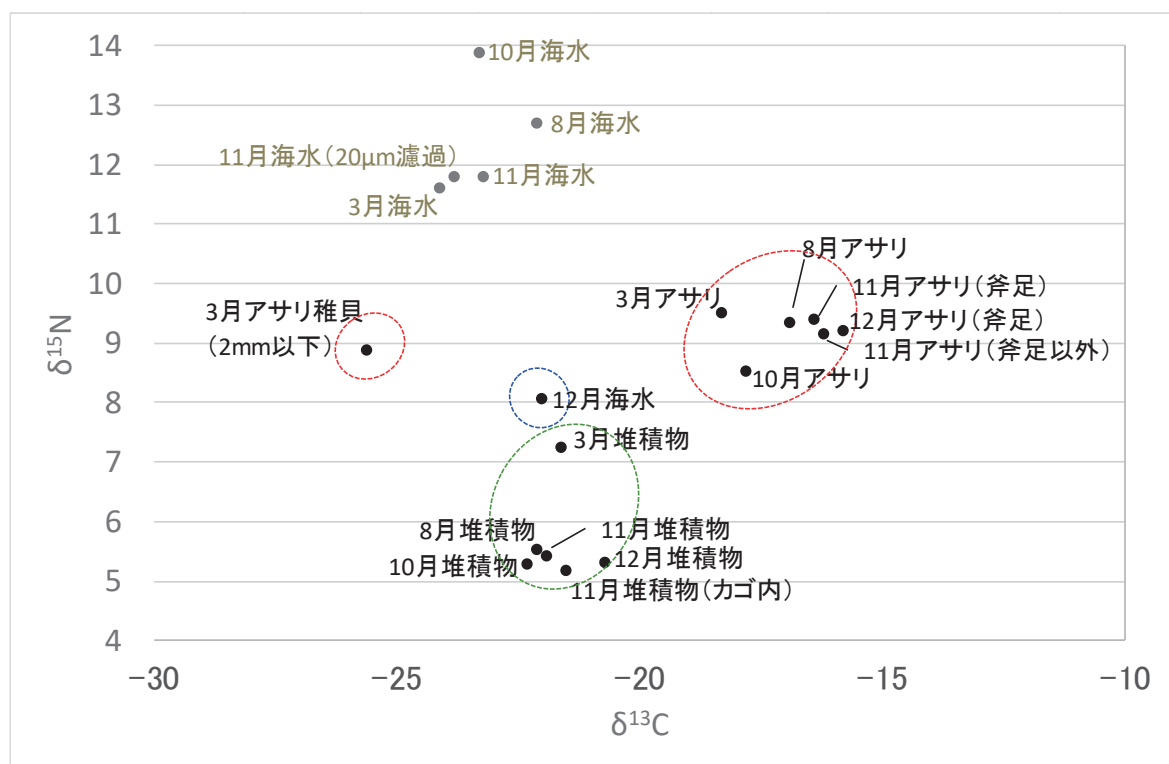


図 17 炭素・窒素安定同位体比分析結果