

地形の変化による二枚貝類の生存影響調査

長崎大学水産学部・玉置昭夫
熊本大学大学院自然科学研究科・山田文彦
社団法人・マリノフォーラム 21

調査実施年度：平成 17-19 年度

1. 緒言

有明海の砂質干潟ではアサリの漁獲量が 1970 年代に著しく増えた。これには、緑川河口干潟、白川河口干潟、菊池川河口干潟、荒尾干潟など熊本県下の主要な砂質干潟からの寄与が最も大きく、1977 年には年間の最大産出量 6.5 万トンを記録した。これは当時、日本全体のなかで群を抜いて 1 位であった。しかしその後は減少に転じ、特に 1980 年代に入ってから減り方が著しい。それには、最大産地であった緑川～白川の河口干潟での減産が最も響いている。その一方、バカガイ科の二枚貝シオフキ个体群は増大し、現在は優占種の一つとなっている。これら二枚貝 2 種の対照的な个体群消長の原因はまだ解明されていない。その一つとして、干潟の地形変動の影響が想定されているが、その実態は十分には把握されてこなかったし、干潟全体にわたる二枚貝个体群の綿密な調査もほとんど実施されてこなかった。干潟の地形変動は潮汐・波浪・河川流入によって決まるので、これらを総合的に扱う必要がある。また、アサリの増産対策として覆砂や貝殻散布等が有効であることが経験的に知られてきたが、その根拠はあまり明らかにされておらず、特に微地形の変動との関係は全く検討されてこなかった。本調査は、ベントス生態学と海岸工学を専門とする者（それぞれ玉置・横山と山田）が学際的な共同調査を行うことにより、中期的な物理的環境変動に対する干潟地形と二枚貝个体群の応答を検出し、地形変動場のなかでの二枚貝資源の保全と持続的利用に向けて基礎的知見を得ることを目指して開始された。いま有明海の砂質干潟では、アサリ漁獲量を増やすために経験的に有効と考えられている様々な保護・増殖事業が行われている。しかし、河川からの土砂供給・漂砂や干潟の地形変化の実態を調べずに物理的構造物を無秩序に設置すると、長期的には二枚貝の生息域を失ったり劣化させたりする危険性もある。本調査の結果により、地形変動の観点に立って二枚貝資源を持続的に維持することに向けて、覆砂や貝殻散布等の対策工の有効性を物理的・生物的視点から定量的に検証するための基礎が確立されることが期待される。

2. 調査海域と調査の背景

調査場所は有明海中央部に位置する熊本県の白川河口干潟である（図 1）。岸側には堤防（天端高 +6m T.P.）が設置されており、堤防前面に干潟が発達している。大潮干潮時には堤防から沖側に最大 2.5 km まで、全体で 4.15 km²干出する。干潟は坪井川寄りに設置された岸

沖方向の堤防により、北側の泥質部と南側 (3.39 km²) の砂質部に分けられる。本調査の対象区域は南側部分とした。1970 年代には干潟全体にわたってアサリが高密度で生息していた。例えば、1979 年における漁獲量は 3,830 トンであった (西海区水産研究所, 未発表データ; 小島漁協・松尾漁協, 私信)。その後長期にわたって低落し、1994-1996 年度はゼロであった。1997 年より少しずつ回復しだし、最近数年間は年間数百トンレベルで推移している (2004 年: 538 トン, 2005 年: 467 トン, 2006 年: 310 トン)。現在、干潟ベントス群集の大型優占種はアサリ・シオフキのほか、地下深い巣穴に棲む十脚甲殻類のアナジャコ (地下 2 m まで)・ニホンスナモグリ (地下 1 m まで) から構成されている (玉置ら 2007¹⁾; Tamaki et al. 2008²⁾)。2004 年には、これら 4 種は干潟の 1/4 ずつの空間を隙間なく占めていた [アサリ: 覆砂域とその周辺部を中心とする低潮帯 (図 1), シオフキ: 白川側の中潮帯, アナジャコ: 坪井川側の中潮帯, ニホンスナモグリ: 高潮帯]。アサリ以外の 3 種は 1980 年代の初め以降、急速に個体群サイズを増大させたことが報告されている。また炭素・窒素安定同位体比分析の結果、これら 4 種の食物源は水柱の植物 (ケイ藻) プランクトンに限られることが明らかになった (Yokoyama et al. 2005a,b³⁾,⁴⁾)。これらのことから、植物プランクトン摂食ギルドに属するこれら 4 種は生息空間および食物をめぐる競争関係にあることが示唆された。地理情報システムソフトウェア [ArcGIS 9.2 Spatial Analyst (ESRI Japan 2007⁵⁾)] により 4 種の現存量を推定したところ、アサリ 234 トン, シオフキ 378 トン, アナジャコ 111 トン, ニホンスナモグリ 304 トンとなった (図 2)。上述したように、本干潟における 1979 年と 2004 年の年間アサリ漁獲量には 8 倍の開きがある。アサリの漁獲量と現存量の比より、1979 年における現存量は 1,659 トンと推定された。これは平均殻長 28 mm のアサリが平均密度 500 m⁻² で干潟全体に生息していることに相当する量である。仮に 1979 年のアサリ現存量を 2,000 トンとみなすと、2004 年における 4 種合計現存量 (1,027 トン) は 1/2 であり、アサリ生息面積の縮小率 (1/4) を掛け合わせると 1/8 となり、漁獲量の縮小率が説明できる。このことより、植物プランクトンの供給量によって規定される干潟の環境収容力が現在ではかつての半分程度に留まっていることが示唆された。また、アナジャコ類は基質の固化作用により、スナモグリ類は流動化作用によって、二枚貝の新規加入を阻害することがすでに知られている (Tamaki et al. 2008²⁾)。したがって、地形変動に伴うこれら十脚甲殻類個体群の消長と二枚貝 2 種の個体成長に伴う生残状況の関係に着目していく必要が出てきた。一方、アサリとシオフキとの間で生息空間をめぐる干渉的競争が存在する可能性は低い。むしろ、2 種それぞれが安定した (=動きにくい) 基質と不安定な (=動きやすい) 基質に適応しているため、地形変動に対する応答の種間差が現在の空間分布に反映されていると想定された。以上の背景を念頭に置いて当初の調査計画を立て、年度ごとの干潟現場の状況変化に応じて計画を順応的に修正していった。

3. 二枚貝の個体群特性把握のための基本調査

3.1. 二枚貝の個体群動態

3.1.1. 二枚貝の採集

本調査は 2004 年 7 月 30 日から 2006 年 3 月 30 日まで、大潮干潮時に計 21 回、岸から低

潮線に向かって設置した代表トランセクト上で行なった(図1のトランセクトB)。トランセクト上に28定点を設け、定点0を岸に置き、定点1を岸から49mの地点とした。また、それ以降の定点間の距離は80mである。以後、岸からXmの距離の定点をXm地点とよぶ。トランセクト上では2,049m-2,129m地点でアサリ増産用の覆砂が散布されている。トランセクト上の各定点で、25cm四方の方形枠を用いて二枚貝の生息深度限界である深さ7cmまでの底質を最大4個別々に採取し、1mm目の篩に残ったものを試料とした。試料は10%中性ホルマリン海水で固定した。試料から二枚貝を同定・選別した後、殻長を計測した。解析には、2004年7月30日、9月14日、および2005年4月7日については4個分の方形枠試料、2005年6月7日、7月20日については3個分、2004年8月31日については1個分、それ以外の調査日については2個分をそれぞれ用いた。

3.1.2. コホート解析

二枚貝2種それぞれの個体群特性(成長・生残・分布)を明らかにするためにコホート解析を行い、各コホートの個体数密度、平均殻長と標準偏差を求めた。得られた殻長データから、階級幅1mmで殻長頻度分布図を作成し、相澤・滝口(1999)⁶⁾の手法に基づいて、MS-Excel上で正規分布の当てはめを行った。なお本調査では、新規加入の途上にあるか、または個体数がわずかであるコホート、および個体数の減少により明らかな正規分布が適用できないコホートには正規曲線の当てはめを行わなかった。これらのコホートには、実測値を結んだ折れ線を当てはめることにより計算から除外した。また、折れ線を当てはめた範囲のコホートについては平均値の代わりに中央値を用いて、便宜的に正規分布コホートの平均値と同じように扱った。同じ殻長階級上で複数のコホートが重複していた場合、各コホートの個体数は実測値を正規分布値で比例配分することにより求めた。

3.2. 干潟の環境特性

干潟環境特性として以下の項目を調査した。(1)干潟直上水の水温・塩分:トランセクト上の700m地点、1,000m地点、1,400m地点、1,800m地点に自記記録式水温塩分計(Compact-CT, Alec Electronics)を干潟表面から30cmの高さにそれぞれ1台ずつ設置した。測定は10分間隔で行った。(2)表層に堆積した泥の厚さ:調査期間中、計14回、干潟表面に堆積した泥の厚さの測定を行なった。(3)堆積物の粒度組成:調査期間中、計21回、トランセクト上の各定点で表層3cmの底質を採取した。採取した試料について、島津レーザー回折式粒度分布測定装置(SALD-3100)を用いて粒径を測定し、中央粒径値(μm)、泥分率(%)を求めた。この際、63 μm 以上2mm未満の画分を砂、63 μm 未満の画分を泥とした。また、覆砂域の試料には粒径が2mm以上の粒子が含まれ、上記測定装置ではその大きさを直接測定できない。これらの試料については、篩い分け法とふるい振とう機(AS200 コントロール, Retsch Inc., Germany)を併用し、泥分率を求めた。(4)底質中の貝殻は、底質の安定性の増大およびアサリ定着基盤の提供などの重要な役割を果たしていることが推測される。2006年11月4日、トランセクト上の1,040m地点(シオフキ優占地点)、1,520m地点(アサリ優占地点)で断面積100 cm^2 の亚克力製円筒を用い、10cmの深さまで8サンプルずつ採取し、これを31.5、

16, 8, 4, 2 mm目の篩を用いて 5 画分 (31.5 mm以上, 16–31.5 mm, 8–16 mm, 4–8 mm, 2–4 mm画分) に分けた. 各地点におけるそれぞれの篩の目に残った貝殻の 1,000 cm³あたりの平均重量 (± 標準偏差) を算出した. (5) 干潟表層の底質中クロロフィル *a* 含量: 調査期間中, 計 9 回, トランセクト上の定点で干潟表層堆積物を 10 × 10 × 0.5 cm の方形枠を用いて採取した. 採取した堆積物は遮光性ポリエステル製袋に入れ, 保冷して持ち帰った. 計量した堆積物に濾過海水を加え, 500 ml にメスアップしたものを試水とした. 先端に円盤をつけた棒で試水全体を十分に攪拌した. 試水 500 ml のうち 10 ml を GF/F フィルター (Whatman) 上に捕集した. また, クロロフィル *a* の抽出には *N,N*-ジメチルフォルムアミド 7 ml を用いた. クロロフィル *a* 量の測定には蛍光光度計 (TD-700 Fluorometer, Turner Designs Inc., USA) を用いた. (6) 酸揮発性硫化物態硫黄含量 (AVS-S 含量): 堆積物中の硫黄含量をヘドロテック検知管 (GASTEC Inc.) を用いて検知管法により測定した. 調査期間中, 計 7 回, トランセクト上の定点で干潟底質の 0–1 cm 層と 4–5 cm 層の堆積物をそれぞれ 1 個ずつアクリル製のコア (内径 43.2 mm) を用いて採取した. 試料は遮光・保冷して持ち帰り, その日のうちに測定に供した. 試料のうち約 1 mg を測定に供し, 含水率の補正計算を行なうために残りの試料を 60 °C で乾燥させた. 乾燥, 計量後, 含水率の補正計算をした値を測定結果として用いた. (7) 全有機炭素量・窒素量 (TOC・TN): 全有機炭素量・窒素量は 調査期間中, 計 7 回, トランセクト上の定点で AVS-S 含量用の試料として採取したもののうち, 各定点の 0–1 cm 層の試料を用いて測定を行った. AVS-S 含量用試料の補正計算用に 60 °C で乾燥した後, –30 °C で保存した. 解凍後, 乳鉢で粉末状になるまですり潰し, 1N 塩酸数滴を滴下して炭酸塩を除いた後, 分析に用いた. 試料測定は元素分析装置 (Perkin Elmer 2400, Perkin Elmer Inc., USA) により行なった.

3.3. 結果

3.3.1. 干潟の環境特性

3.3.1.1. 水温

2004 年には, 8 月 14 日に平均水温の最高 31.7°C を記録した. また, 12 月末から急激に下がりはじめ, 2005 年 2 月 3 日に最低 6.5°C を記録した. 2005 年から 2006 年 3 月までにおいては, 2005 年 8 月 15 日に最高 31.2°C を記録し, 同年 12 月 22 日に 最低 6.8°C を記録した.

3.3.1.2. 塩分

2004 年には, 9 月 6, 7 日に 33.5 mm d⁻¹, 54.5 mm d⁻¹ の大雨が降った. その時の淡水流入の影響で, 9 月 8 日には 700 m および 1,000 m 地点でそれぞれ 19.0, 21.1, 9 日には 17.5, 13.4 の低塩分値が観測された. しかし, 10 日には再び上昇し, 低塩分状態は継続しなかった. また同年 12 月 4 日にも 85 mm d⁻¹ の大雨が降り, 700 m および 1,000 m 地点で塩分はそれぞれ 14.8, 19.6 まで低下したが, 5 日には再び上昇した. 2005 年には, 7 月 9, 10 日にそれぞれ 80 mm d⁻¹, 40 mm d⁻¹ の大雨が降り, 700 m, 1,000 m および 1,400 m 地点で 16.4, 17.2 および 18.8 まで低下した. この低塩分状態は 7 月 19 日まで長期的に継続した. 8 月にはまとまった降水が

なく、9月6日に76 mm d¹ の大雨が降った。塩分には、少し遅れて12日から低下が見られ、700 m, 1,000 mおよび1,400 m地点で、それぞれ16.9, 18.7および18.7まで低下した。その後9月14日まで低値が継続した後、すぐに上昇した。

3.3.1.3. 泥の厚さ

2004年7月30日に1,329 m地点で40 mmの堆積がみられた。その後、泥の厚さは薄くなり、2005年1-2月にはほぼ消失していた。2005年7月20日にはトランセクト全体で0 mm-30 mmの堆積がみられ、8月には1,729 m地点で90 mm堆積していた。9月には769 m-1,329 m地点で0 mm、それ以外の定点では2 mm-50 mm堆積していた。

3.3.1.4. 底質の粒度組成

干潟底質の中央粒径値は全21回を通してトランセクト全体で、17 μm-602.3 μmの範囲にあった。干潟表層の底質は、泥の堆積の影響がなければ、200 μm-600 μmの細粒砂-粗粒砂であると判断された。また、試料に500 μm以上の粗粒砂が含まれていたのは覆砂域の定点(2,049 mおよび2,129 m地点)のみであった。干潟底質の泥分率の経月変化を図3に示す。泥分率は、全21回を通してトランセクト全体で0-88.1%の範囲にあった。2004年8月、2005年7-9月には、849 m-1,969 m地点で急激な泥分率の増加がみられた。泥分率は2004年8月31日に1,409 m地点で最大であり(83.7%)、2005年7月20日には849 m地点で88.1%、同年8月21日には1,729 m地点で57.1%、同年9月18日には1,649 m地点で69.5%であった。2004年8月31日の高泥分率は9月14日には0.6%まで低下していた。その後は、泥分率に大きな変化はなかった。2005年7-9月については、7月20日にみられた849 m地点の高泥分率が9月14日には5.8%まで減少した。7月20日に1,489-1,969 m地点で増加した泥分率は9月18日まで高いままで推移した。10月以降は値が低下し、トランセクト全体で低値であった。調査期間中には、夏に泥分率が増加する傾向があったが、急激な増加は局所的であった。1,649 m地点より沖側では、泥が堆積し滞留する傾向がみられた。同地点より岸側では、常に泥分率が低いもしくは、短期的な増加にとどまっていた。

3.3.1.5. 底質の貝殻組成

2-4 mm画分の貝殻平均重量(±標準偏差)は、シオフキ優占地点で $1.84 \pm 0.68 \text{ g } 1000 \text{ cm}^{-3}$ 、アサリ優占地点で $3.80 \pm 2.17 \text{ g } 1000 \text{ cm}^{-3}$ であった。4-8 mm画分の貝殻平均重量(±標準偏差)は、シオフキ優占地点で $4.37 \pm 1.71 \text{ g } 1000 \text{ cm}^{-3}$ 、アサリ優占地点で $8.64 \pm 4.28 \text{ g } 1000 \text{ cm}^{-3}$ 、8-16 mm画分の貝殻の平均重量(±標準偏差)は、シオフキ優占地点で $9.49 \pm 3.66 \text{ g } 1000 \text{ cm}^{-3}$ 、アサリ優占地点で $19.66 \pm 8.75 \text{ g } 1000 \text{ cm}^{-3}$ であった。16 mm以上画分の貝殻の平均重量(±標準偏差)は、シオフキ優占地点で $16.94 \pm 9.8 \text{ g } 1000 \text{ cm}^{-3}$ 、アサリ優占地点で $19.75 \pm 18.86 \text{ g } 1000 \text{ cm}^{-3}$ であった。31.5 mm以上画分の貝殻の平均重量(±標準偏差)は、シオフキ優占地点では確認されなかったが、アサリ優占地点で $0.61 \pm 1.72 \text{ g } 1000 \text{ cm}^{-3}$ であった。

3.3.1.6. 底質クロロフィル *a* 含量

干潟表層底質中のクロロフィル *a* 含量の経月変化を図 4 に示す。全 10 回を通してクロロフィル *a* 含量はトランセクト全体で $0.24\text{--}31.8\text{ mg m}^{-2}$ の範囲にあった。2005 年 12 月 13 日から 2006 年 3 月 30 日までの冬期には、 10 mg m^{-2} 以下の低い値を示した。2005 年 7 月 20 日から 11 月 13 日までは、1,489 m 地点より沖側で継続的に高い値を示し、最高 31.8 mg m^{-2} であった。一方、同時期に 769 m–1,409 m 地点では低い値で推移し、最高 12.0 mg m^{-2} にとどまっていた。

3.3.1.7. AVS-S 含量

堆積物中の AVS-S 含量の変化を図 5 に示す。全 7 回を通して AVS-S 含量はトランセクト全体で、0–1 cm 層については検出限界以下 0.35 mg g^{-1} 乾重、4–5 cm 層については検出限界以下 3.58 mg g^{-1} 乾重の範囲にあった。2005 年 9 月 18 日から 2006 年 3 月 30 日までの調査期間では、4–5 cm 層については、769 m–1,409 m 地点で平均 (\pm SD) $0.02 (\pm 0.06)\text{ mg g}^{-1}$ であった。1,409 m 地点より沖側では平均 (\pm SD) $0.24 (\pm 0.64)\text{ mg g}^{-1}$ であった。

3.3.1.8. TOC, TN

TOC, TN の経月変化を図 6 に示す。全 7 回を通して TOC はトランセクト全体で $0.29\text{--}31.8\text{ mg g}^{-1}$ 乾重の範囲にあった。TN は同じく検出限界以下 2.37 mg g^{-1} 乾重の範囲にあった。TN については、3 月 1 日に 0 m 地点を除いて、また、3 月 30 日にはすべての定点で検出限界以下であった。TOC, TN ともに 2005 年 9 月から 12 月にかけて徐々に減少し、その後は 3 月まで再び増加傾向にあった。2005 年 9 月 18 日–2006 年 3 月 30 日には、769 m–1,409 m 地点で TOC については平均 (\pm SD) $0.82 (\pm 0.49)\text{ mg g}^{-1}$ 乾重、TN については $0.09 (\pm 0.08)\text{ mg g}^{-1}$ 乾重であった。1,489 m 地点から沖側では、TOC については平均 (\pm SD) $4.5 (\pm 5.2)\text{ mg g}^{-1}$ 、TN については $0.47 (\pm 0.54)\text{ mg g}^{-1}$ であった。

3.3.2. 二枚貝の加入、個体成長、生残、分布

3.3.2.1. アサリ

2004 年 4 月から 2006 年 3 月までの、トランセクト上の全定点から得られたアサリの殻長頻度分布を図 7 に示す。階級幅は 1 mm とした。調査期間における全コホートの平均殻長を追跡して得られた成長曲線を図 8 に示す。また、全コホートの個体数密度の経時変化を表した生残曲線を図 9 に示す。2004 年 7 月には、2003 年とそれ以前に加入した低個体数密度群および 2003 年 10 月後半から 2004 年 6 月までの間に離散的に加入した 4 つの高密度群 (合計平均個体数密度 $1,742\text{ m}^{-2}$) が存在していた。その後 7 個の新規加入群が認められたが、いずれも密度は低かった。2005 年夏以後の被漁獲主体は初回にみられた高密度群であった。しかしこれらは、2006 年の梅雨時、白川からの氾濫水に含まれていた泥に被覆されてほぼ全滅した (第 4 節)。最も安定した個体成長と生残過程を示した、2004 年 5 月末–6 月の加入群を例にとると、以下の特性が見いだされた。(1) 成長：2004 年・2005 年とも、各年は 4 月から 11–12 月までの高成長率期 (殻長 $0.06\text{--}0.08\text{ mm d}^{-1}$) とそれ以外の低成長率期 (0.02 mm d^{-1}) に分けられた。被漁獲最小殻長 30 mm に達するのに 17 ヶ月を要し、最終的に 2 年間で平均殻長 35 mm

に達した；(2) 生残：個体数密度は初回の 443 m^{-2} から 1 年後までに $1/10$ 程度までに減少したが、その後全滅するまでは安定した値 (平均 \pm SD = $40 \pm 19 \text{ m}^{-2}$) を保っていた。調査期間中、トランセクトでの成貝、稚貝の密度変化を追跡した結果、成貝は低潮帯で安定して生息していたのに対し、稚貝は低潮帯から高潮帯までの広範囲に出現することがあるものの、低潮帯でしか生き残らないことが明らかになった (図 10)。

3.3.2.2. シオフキ

2004 年・2005 年とも、各年 6-8 月に 5 回、9-12 月に 1 回、個体群への新規加入のピークがみられた (図 11)。6-8 月加入群は 6-11 月の高水温期に平均 (\pm SD) $0.14 (\pm 0.08) \text{ mm d}^{-1}$ の速度で成長し、低水温期の 11-3 月における成長率は $0.03 (\pm 0.04) \text{ mm d}^{-1}$ であった (図 12)。9-12 月加入群での成長率は加入直後から 0.03 mm d^{-1} 以下で停滞していた。また、6-8 月加入群は $194 (\pm 45) \text{ 個体 m}^{-2}$ の高密度で加入した後、1 ヶ月間に $81.7 (\pm 4.1) \%$ の減少率を示したが、その後は安定してコホートを維持していた (図 13)。9-12 月加入群は平均 19 個体 m^{-2} の低密度で加入後、翌年の 6 月までには消滅した。6-8 月加入群の寿命は 1 年半～2 年であった。分布に関しては、成貝による新規加入への阻害作用があることが示唆された (図 14)。図 14 の左図は、2005 年 6 月における成貝 (成長した 2004 年夏加入群) と新規加入個体の密度分布の関係を示す。新規加入の分布中心は成貝が分布していない空白地にあることが注目される。右図は、2005 年 7 月における 2004 年夏加入の成貝と 2005 年 7 月後半の新規加入個体の密度分布の関係を示す。2005 年 6 月と同様、成貝が分布していない地点に新規加入の分布中心があった。中潮帯下部で成貝の密度が減少し、新規加入個体の分布域が拡大していた。

4. 河川氾濫が二枚貝の生残に及ぼす影響調査

4.1. 調査の背景

二枚貝のへい死や資源の減少と関係する要因の一つとして、塩分の低下や泥分の堆積が挙げられている。第 3 節の調査期間中には大量の降雨はなかった。本調査では 2006 年夏期の河川氾濫時の干潟環境特性を明らかにした上で、二枚貝へい死率を定量的に把握することを目的とした。

4.2. 二枚貝の採集

トランセクト上で 2006 年 4 月から 10 月までの大潮干潮時に計 8 回採集を行った。採集方法とその後の処理は第 3 節と同様である。各定点で底質を 3 個採取した (2 個しか試料を採集できなかった定点もあった)。

4.3. 環境特性

降水量は気象庁のホームページ (<http://www.data.kishou.go.jp/etrn/index.html>) より、2006 年 4 月 1 日から 10 月 5 日までの熊本市における毎時観測の降水量データを引用した。白川の河川

流量は山田(未発表)から引用した。2006年4月から10月までの毎月の大潮干潮時にトランセクト上で計9回、各定点において、干潟表面に堆積した厚さを測定し、粒度分析用の底質試料を採取した。また、第3節におけるのと同じ地点に、干潟表面から30 cmの高さに水温・塩分計を設置し、10分間隔で測定を行った。

4.4. 結果

4.4.1. 降水量, 河川流量, 塩分

2006年4月から10月までの調査期間中、大雨によって白川は3回氾濫した。最初の氾濫は6月26日に起こった。熊本市の1日の雨量は6月24日に114.5 mm, 25日に87 mm, 26日に195 mmで、いずれも2006年6月の平均日雨量の21.4 mmに比べて高い値を示した。また、白川の河川日流量についても24日に $1946 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, 25日に $7552 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, 26日に $11162 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ で、いずれも2006年6月の月平均河川日流量の $950 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ に比べて高い値を示した。河川流量が $600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ を超えるような高い値を示したのは8:00 ($660 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) から14:00 ($657 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) までの間であり、最も高い値を示したのは10:00 ($1001 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) であった。このとき干潟上への出水が6時間以上継続した。2度目の氾濫は7月5日に起こった。当日の熊本市の日雨量は61 mmで、2006年7月の平均日雨量の25.5 mmに比べて高い値を示した。白川の河川日流量についても $12331 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ で、2006年7月の月平均河川日流量の $2310 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ に比べて高い値を示した。河川流量が $600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ を超えるような高い値を示したのは4:00 ($856 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) から13:00 ($673 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) までの間であり、最も高い値を示したのは5:00 ($998 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) であった。干潟上への出水は9時間以上継続した。3度目の氾濫は7月21日に起こった。熊本市の日雨量は7月20日に119.5 mm, 21日に196 mmで、いずれも2007年6月の平均日雨量の25.5 mmに比べて高い値を示した。また、白川の河川日流量についても25日に $9478 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, 26日に $14944 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ で、いずれも2006年6月の月平均河川日流量の $2310 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ に比べて高い値を示した。河川流量が $600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ を超えるような高い値を示したのは7:00 ($651 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) から17:00 ($623 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) までの間であり、最も高い値を示したのは11:00 ($1276 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) であった。翌日以降に流量は減少したが、7月24日に再び降水があり、当日の河川日流量は $4672 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ であった。干潟上への出水は10時間以上継続した。

4.4.2. 底質の粒度組成と干潟表面に堆積した泥の厚さ

トランセクトにおける泥分率と堆積した泥の厚さの経月変化を図15に示す。泥分率は4-6月は10%以下の低い値を示す地点が多く、高い値を記録したのは0mと1500-2000m地点であった。7月前半は全24地点のうち17地点で20%以上、トランセクト全体の平均(\pm SD)が43(\pm 29.5)%と高い値を示した。特に1400-2000m地点において最大で88.7%と高い値を示した。一方で300-500m, 1000m付近と2049m地点では20%以下と他の定点と比べて低かった。7月後半は全24地点のうち13地点で20%以上、トランセクト全体の平均(\pm SD)が31.4(\pm 30.3)%と高い値を維持していた。特に岸から1500m以上の地点においては最大で83.8%と高い値を示したが、岸から300-500mと800-1200m付近の地点では15%以下と低い値を示した。8-

10月には1500m地点を境目に沖側において最大で77.6%と高い値を示したのに対し、岸側では1%以下の低い値を示す地点が多かった。4-6月前半の間は干潟の各定点において薄く泥を被る状態はあったが、泥の堆積はほとんどみられなかった。6月後半に1-60mmの泥の堆積があり、それらは堆積し続け、7月前半には11.5-105mmとなり、7月後半には21-167mmの泥が干潟上に堆積していた。その後、8-9月は1400m地点付近を境目に岸側では0-5mmと泥が無くなったのに対し、沖側では0-150mmと泥が残り続けている地点があった。10月は1500-2000m地点で干潟底質表面は砂に覆われていたが、その下に泥質層があり、泥は残り続けていた。

4.4.3. 白川氾濫期における二枚貝の減少

二枚貝2種について白川氾濫時の6-7月に着目して、へい死の実態を定量的に解析した。解析は、6-7月にコホート解析で追跡できた加入群で行った。アサリでは2004年春から2005年春加入群および2005年10月加入群を対象としたが、シオフキでは6月に加入群全体が1mmまで成長していなかったため、アサリと同様の解析を行うことができなかった。そのため、殻長15mmを境に個体数を分別し、解析を行った。

4.4.3.1. アサリの減少率

河川氾濫があった6月から7月末までの減少率は2004年春から2005年春までの加入群では90.9%であった。これらの個体群は8月に消滅した。2005年10月加入群では72.7%であった。6月から7月末までの期間を2つに区分すると、2004年春から2005年春までの加入群で6月13日から7月11日までが13.2%であったのに対し、7月11日から7月25日までが89.6%であった。2005年10月加入群では6月13日から7月11日までが21.4%であったのに対し、7月11日から7月25日までが65.3%であった。地点別にみると、河川氾濫があった期間の7月11日から7月25日の間に1500m地点より沖側の定点で減少率が高かった。

4.4.3.2. シオフキの減少率

河川氾濫があった6月から7月末までの減少率は大型個体群で71.7%であった。そこでは個体数が激減したが、消滅はしなかった。小型加入群では68.1%であった。6月から7月末までの期間を2つに区分すると、大型個体群の減少率は6月13日から7月11日までが42.6%で、7月11日から7月25日までは42.9%であった。小型個体群では6月13日から7月11日までが-15.1%で(すなわち増加)、7月11日から7月25日までは75.4%であった。地点別にみると、1200-1400m地点での減少率が高かった。

4.4.3.3. 二枚貝減少率の2005年・2006年間の比較

今回の調査では2006年の河川氾濫時の二枚貝個体群における減少率を算出した。また、第3節のデータから2005年における二枚貝個体群における減少率を算出した。そのうち、アサリの加入群別個体数とシオフキガイの殻長別個体数から算出した生残率の2005年と2006年の減少率の差について検定を行った。その際、連続性を補正した統計量 Z_c は次の通りである。

$$Z_c = \{|p_i - p_j| - 1/2(1/n_i + 1/n_j)\} \{p_{ij}(1 - p_{ij})/n_i + p_{ij}(1 - p_{ij})/n_j\}^{-1/2}$$

ここで i と j は比較される 2 群 (2005 年、2006 年) を表す。 n_i と n_j は 2005 年 6 月と 2006 年 6 月にトランセクトで採集された比較対象個体群の個体数を表す。 p_i と p_j は 2005 年 7 月と 2006 年 7 月にトランセクトで採集された比較対象個体群の個体数を表す。 p_{ij} は比較される 2 群を足し合わせた全標本の中で 7 月に採集された比較対象個体群の個体数を表す。 また、 $|p_i - p_j| - 1/2(1/n_i + 1/n_j) \leq 0$ のとき、 $Z_c = 0$ とする。

アサリ大型個体群の減少率は 2005 年が 16% で、 2006 年では 91% であり、 有意差が認められた ($p < 0.05$)。 アサリ小型個体群では 2005 年が 68% で、 2006 年では 78% であり、 有意差は認められなかった。 シオフキ大型個体群の減少率は 2005 年が 51% で、 2006 年では 72% であり、 有意差が認められた ($p < 0.05$)。 シオフキ小型個体群では 2005 年は -277% となり個体数が増加したが、 2006 年では 78% であった。

5. ニホンスナモグリ・アナジャコ個体群縮小に伴う二枚貝の個体群消長

5.1. 調査の背景

2004 年 9 月 6-7 日に台風 18 号が来襲し、 巣穴の中からアナジャコがたたき出され、 個体群サイズが大きく減少した。 また、 ニホンスナモグリ個体群の分布域も毎年縮小し続けてきた。 ニホンスナモグリ帯にはアカエイによる摂餌痕が多数見られ、 その摂食活動によってニホンスナモグリの密度が減少した可能性がある。 従前より、 ニホンスナモグリ、 アナジャコは基質攪拌作用によって二枚貝の加入を阻害している可能性があることが指摘されていたが (Tamaki et al. 2008²⁾)、 これらの現象はそれを確かめる好機を与えると期待された。 また、 2006 年夏期における二枚貝の大量へい死後、 大型十脚甲殻類が消失した跡地に定着して個体群を確立するのはアサリ・シオフキのどちらなのかを、 地形変動特性と関連づけて検討する機会にもなる。 これまでの調査結果より、 本干潟ではアサリとシオフキの成貝はそれぞれ低潮帯と中潮帯に分かれて優占しているのに対し、 稚貝は成貝よりも広く分布していることが明らかになっている。 このことは成長に伴う生残率に空間変異があることを示している。 特に、 干潟微地形の安定性と底質の内部構造の違いが二枚貝 2 種の成長に伴う生残過程と分布域の変化に影響を及ぼしている可能性が強く示唆された。 これを踏まえ、 干潟の代表トランセクト上での二枚貝個体数密度の時空間変化を 1 年間にわたり追跡するとともに、 アサリ優占域と非優占域 (= シオフキ優占域) における砂漣の安定性と底質の内部構造を非破壊的方法で把握することにより、 二枚貝個体群の消長と底質の物理的性状の対応関係について検討することを目的とした。

5.2. 調査方法

十脚甲殻類の個体数密度の調査は 2004 年–2007 年の毎年 4–6 月に 2 本のトランセクトの全定点で行なった。 このうち 1 本のトランセクトは二枚貝調査を行ったものと同一である (図 1 のトランセクト B)。 もう 1 本のトランセクトはその北側 300 m に設けた (図 1 のトランセクト A)。 アナジャコの巣穴は 1 個体で平均 2.27 個の開口部を持ち、 巣穴開口部は真円で巣穴

の内側が泥で硬く裏打ちされている。ニホンスナモグリの巣穴は、1 個体で 1 つの開口部を持ち、巣穴開口部は不規則形をしている。以上のような特徴に基づき、各定点において 25 × 25 cm の方形枠を用いて縦横 4 個ずつ合計 1 m² のマス目を作り、その中のアナジャコおよびニホンスナモグリの巣穴開口部の計数を行い、1 m² 当たりの個体数密度を求めた。また、2006 年 10 月から 2007 年 10 月まで毎月 1 回、第 3 節で記した各定点で方形枠採集を行った (25 cm × 25 cm × 7 cm 深の砂を 1 mm 目篩に通す)。殻長頻度分布に対してコホート分解を施し、新規加入群の生残率の場所差と成員の分布域との関係を検討した。砂漣の安定性と底質内部構造の非破壊的方法による把握の方法・結果については第 10 節に述べられている。

5.3. 結果

アナジャコは二枚貝調査用のトランセクト (トランセクト B) では調査期間を通してほとんど生息していなかった (図 16 下)。もう 1 本のトランセクト (トランセクト A) では、2004 年に中潮帯を中心として平均 (± SD) = 8.7 (± 5.2) 個体 m² の密度で生息していた。しかし、2005 年以降ほぼ壊滅状態で推移していた。ニホンスナモグリは 2004 年に高潮帯を中心として平均 (± SD) = 296.7 (± 95.1) 個体 m² の密度で生息していた (図 16 上)。しかし 2005–2006 年には毎年 80 m の幅ずつ、また 2007 年には一挙に 300 m 幅ほど生息域が縮小した。アサリ・シオフキの稚貝・成貝を分ける殻長をそれぞれ 10 mm・15 mm と定義すると、つぎのような成長に伴う分布域の時空間変動がみられた (図 17)。まず、1 年を通してアサリ・シオフキの成貝はそれぞれ低潮帯と中潮帯に分かれて分布していた。2006 年秋におけるアサリ新規加入群は成貝と同じ場所に現れ、その後、成長とともに成貝群に加わっていった。2007 年 3 月に出現したアサリ新規加入群は、5 月末まで中潮帯上部から高潮帯下部にかけて最高約 500 個体 m² の密度で生息していたが、6 月中旬までには消失した。次のアサリ新規加入群は 2007 年 10 月下旬、成貝分布域に出現した。シオフキの 2006 年秋の新規加入群は 12 月初旬まで中潮帯に広く分布していたが、2007 年 2 月までにはほぼ消滅した。2007 年 4 月中旬から 6 月中旬まで出現した新規加入群は中潮帯から高潮帯まで広い範囲にわたって最高約 7,000 個体 m² の密度で生息していたが、入梅とともに河川氾濫と浮泥堆積の影響を被り、7 月末までにはほぼ消滅した。なお、この高死亡率には 7 月 14 日に来襲した台風 4 号による高波浪の影響もあるかもしれない。7 月末から 8 月末にかけて出現した新規加入群は中潮帯に分布し、その後順調に生き残り、9 月中旬から 10 月下旬にかけて成貝群へと移行していった。

6. 考察

2005 年から 2006 年の梅雨期までアサリ個体群は低潮帯で安定して存続していた。その主体になっていたのは、2003 年 10 月後半から 2004 年 6 月までの間に離散的に加入した 4 つの高密度群 (合計平均個体数密度 1,742 m²) であった。これらが 2004 年から 2006 年にかけての安定したアサリ漁獲量を支えていたと考えられる。アサリの初期成長期における減耗率は成貝個体群の大きさを決定する。この観点に立って白川河口干潟の地形変動特性に着目すると、興味深い特徴が見られた (図 18 ; 第 9 節)。山田らによる 2000 年 12 月から約 7 年間の

観測結果から、平均干潟地形岸沖断面は上に凸な形状を示しており、勾配は約 1/700~1/1200 と非常に緩やかである。干潟断面上の底質輸送特性は波と流れの相互作用によって特徴づけられ、波浪が卓越する干潟岸沖断面は下に凸な形状を有し、長期的に浸食される傾向にあるのに対し、潮流が卓越する干潟岸沖断面は上に凸な形状を有し、長期的に堆積する傾向にあると分類されている。白川河口干潟は 2000 年から 2004 年半ばまでは堆積する傾向を示している (Yamada and Kobayashi 2004)⁷⁾。Yamada and Kobayashi (2004)⁷⁾、山田ら (2007a)⁸⁾によれば、干潟断面の堆積・浸食傾向を表現するために、山田ら (2003)⁹⁾が提案した鉛直変位パラメータを用いて干潟岸沖断面の時間変化を求めた結果、時系列の特徴として、季節的な周期変動および数年周期の変動 (1 年間の移動平均として算出) がみられる。鉛直変位パラメータとは、全観測結果より求まる平均断面を基準として各観測結果の偏差を岸沖方向に積分して得られる平均地盤高を表す量であり、堆積傾向を示すならば正值、浸食ならば負値となる。Yamada and Kobayashi (2004)⁷⁾、山田ら (2007a)⁸⁾は、季節的な周期変動は±5 cm 程度の大きさであり、河川出水や夏場の平均潮位の上昇 (約 40 cm) と密接に関係し、タイムラグを無視した場合は、平均潮位の変動との相関性が最も高い (相関係数約 0.7) ことを示した。数年周期での堆積・浸食傾向については、その主要な外力要因については未解明である。本干潟上での地形変動に対する波浪の影響は明らかではないが、干潟地形の浸食に関する過去の研究例では、その主要な要因として波浪が挙げられている。山田ら (2007a)⁸⁾は、数年周期の平均地盤高の日変化量を求め、熊本新港で観測された高波浪 (有義波高 40 cm 以上) の月間出現頻度と比較し、高波浪が高頻度に出現した期間には浸食傾向が顕著であり、両者には明確な相関性 (相関係数で約 0.6 程度) が存在し、逆に、2002~2004 年の期間は低波浪状態にあり、潮汐が卓越したことから、全体に堆積傾向となることを示した。このことは、2003 年秋から 2004 年までの期間、アサリの生残率が高水準で維持されていたことと並行している。一方、高波浪が頻発する 2005 年から 2006 年の前半では負値を示し、地形は浸食傾向を示している。この時期にはアサリの加入密度は低かった一方、成貝の生残率は高かった。このことは、個体サイズがある閾値を超えると浸食に対する抵抗性が生じることを示唆している。本干潟では、梅雨期における大規模な河川氾濫とそれに伴うアサリ成貝の大量へい死は 2003 年と 2006 年に起こった。したがって、2003 年秋から 2006 年夏までの 3 年弱の期間はアサリ個体群の増大・維持にとって好適な条件を備えていたと結論される。

本調査期間では一貫して、アサリとシオフキの稚貝は成貝よりも広範囲に分布していたのに、成長に伴ってそれぞれ低潮帯と中潮帯に分かれて優占していた。低潮帯の表面は比較的平坦であるのに対し、中潮帯は砂漣が卓越している。このことは低潮帯の干潟微地形がより安定していることを示唆している。また、低潮帯は中潮帯に比べ、底質の貝殻含量、泥分率、クロロフィル a 含量、AVS-S含量、TOC・TN含量のいずれも高かった。このことも低潮帯の底質がより安定していることと関連づけられる。干潟表面に乱流層が発達すると、低比重の稚貝が巻き上げられたり、着底が妨げられたりする可能性がある。一般に砂漣が顕著にみられる干潟では、冠水時の海底直上に乱流が発達していると考えられる。干潟の砂面変動に伴って稚貝が表面にたたき出されたときの再潜砂速度は明らかにシオフキのほうが高く、このことが二枚貝 2 種の成長に伴う生残過程と分布域の変化に影響を及ぼしている可能性が強く示

唆された。また、アサリが優占する低潮帯では底質内部の間隙の割合が高いことが予測され、このことが稚貝の定位を助けていると考えられた。砂漣の安定性と底質の内部構造の精査結果は第 10 節にまとめてある（山田ら 2007b¹⁰）。

7. 摘要

(1) 一般に、河口干潟の二枚貝個体群は低出水期と低波浪期に最も安定すると考えられる。白川河口干潟では、2003 年秋から 2006 年入梅前までが低出水期であり、成貝は河川氾濫に伴う浮泥堆積の影響をほとんど被らなかつた。また、2002 年から 2004 年までが低波浪期であり、稚貝は干潟表面に発達する乱流の影響から免れやすかつたと考えられる。このような好条件下でアサリの新規加入が 2003 年 10 月後半から 2004 年 6 月まで大量に起こったことにより、2004 年から 2006 年まで、近年では比較的高いレベルのアサリ漁獲量（年間数百トン）がもたらされたと考えられる。

(2) 地下深い巢穴に棲む十脚甲殻類のアナジャコ・ニホンスナモグリは、基質攪拌作用により二枚貝の加入を阻害する。これら十脚甲殻類の個体群サイズは調査期間中に著しく縮小したが、その跡地を占有したのはシオフキであつた。

(3) 低出水期には、アサリ成貝は低潮帯の覆砂域とその周辺部に、またシオフキ成貝は中潮帯にそれぞれ安定して存続していた。一方、両種とも稚貝は成貝よりも広く分布していた。このことは成長に伴う生残率に空間変異があることを示している。特に、干潟微地形の安定性と底質の内部構造の違いが二枚貝 2 種の成長に伴う生残過程と分布域の変化に影響を及ぼしている可能性が強く示唆された。

(4) 貝殻の小片を多く含むアサリ優占域（覆砂域とその周辺部）の底質では、海底の粗度が改変されたため、砂漣の発達が抑えられたことが示唆された。また、間隙水が保持されている基質内部には貝殻の小片が多く混ざっており、これが底質と適度に混じることで間隙水を保持する空間を形成していることが明らかになった。一方、シオフキ優占域では表面に砂漣が発達し、底質間隙水も保持され難かつた。これらの知見により、覆砂や貝殻散布等の対策工の有効性を物理的・生物的視点から定量的に検証できる可能性が示された。

(5) 初期稚貝にとっては波浪などによる巻き上げは常態であり、生残の脅威にはならないとの説がある。干潟微地形の安定性と底質の内部間隙率の高さが、稚貝のどの発育段階で生残率の向上に寄与するのか、今後検討する必要がある。

(6) 有明海でアサリ個体群が最も増大した 1970 年代には覆砂等は全く行われていなかったにもかかわらず、干潟全域に高密度（成貝が 500 個体 m^2 ）で生息していた。このことは、高密度状態にあるアサリが自らの生息に適した場（生貝・貝殻片が底質に入り混じった状態）を形成することにより、稚貝の高生残率を保証する正のフィードバック機構が働いていたことを示唆している。その後の乱獲はアサリの密度を低くし、これが 1980 年代の急速な個体群崩壊をもたらしたと考えられる。この仮説の検証も今後の課題である。

8. 引用文献

- 1) 玉置昭夫・中岡 歩・前川英樹・山田文彦. 2007. 有明海の砂質干潟における植物プランクトン食ギルドのなかの二枚貝資源—環境収容力制限仮説の提示. 日本ベントス学会誌 62: 73-81.
- 2) Tamaki, A., A. Nakaoka, H. Maekawa and F. Yamada. 2008. Spatial partitioning between species of the phytoplankton-feeding guild on an estuarine intertidal sand flat and its implication on habitat carrying capacity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (in press).
- 3) Yokoyama, H., A. Tamaki, K. Harada, K. Shimoda, K. Koyama and Y. Ishihi. 2005a. Variability of diet-tissue isotopic fractionation in estuarine macrobenthos. *Marine Ecology Progress Series* 296: 115-128.
- 4) Yokoyama, H., A. Tamaki, K. Koyama, Y. Ishihi, K. Shimoda and K. Harada. 2005b. Isotopic evidence for phytoplankton as a major food source for macrobenthos on an intertidal sandflat in Ariake Sound, Japan. *Marine Ecology Progress Series* 304: 101-116.
- 5) ESRI Japan. 2007. ArcGIS 3D Analyst ユーザーズ・ガイド. ESRI ジャパン株式会社, 東京, 379 pp.
- 6) 相澤 康・滝口直之. 1999. Ms-Excel を用いたサイズ度数分布から年齢組成を推定する方法の検討. *水産海洋研究* 63: 205-214.
- 7) Yamada, F. and N. Kobayashi. 2004. Annual tide level and mudflat profile. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, American Society of Civil Engineering* 130: 119-126.
- 8) 山田文彦・坂西由弘・山口龍太・蒲原さやか・穴井広和・小林信久・玉置昭夫・多田彰秀. 2007a. 潮汐位相平均を用いた潮間帯上の底質輸送フラックスの時空間変動特性. *海岸工学論文集* 54: 626-630.
- 9) 山田文彦・小林信久・柿木哲哉. 2003. 地形パラメータを用いた干潟断面の季節変動の要因分析. *海岸工学論文集* 50: 551-555.
- 10) 山田文彦・柴田康晴・原田翔太・外村隆臣・玉置昭夫・尾原祐三. 2007b. 潮間帯干潟の土砂動態と底質環境調査への地上型 3 次元スキャナーと X 線 CT の適用. *海岸工学論文集* 54: 1146-1150.

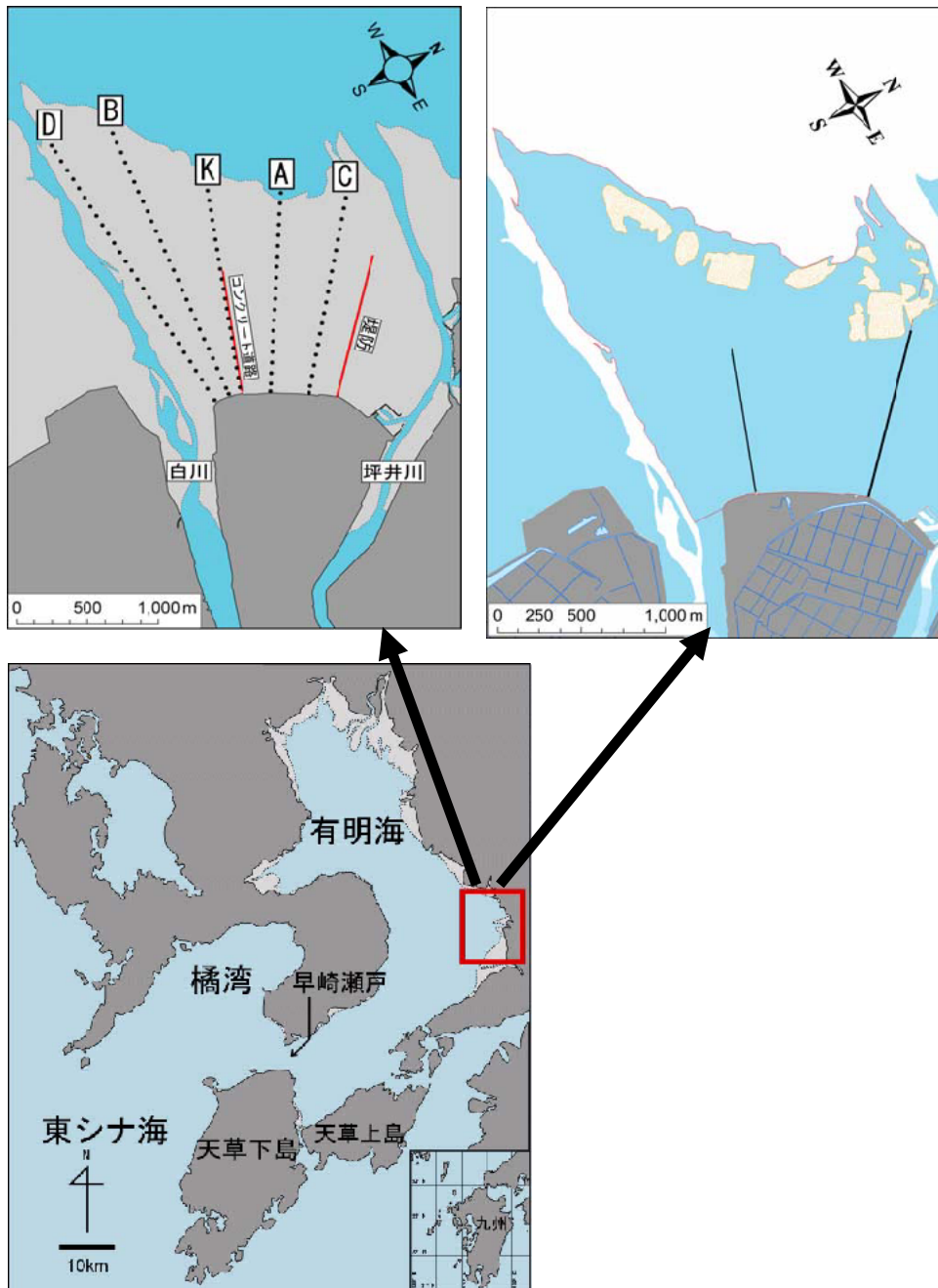


図 1. (左上) 白川河口干潟における二枚貝個体群と環境特性の調査トランセクト (A, B, C, D, K). 本調査では主にトランセクト B を使用した. トランセクト A はアナジャコ・ニホンスナモグリの分布調査で使用した (第 5 節). トランセクト上の各点が採集地点を表す. (右上) 白川河口干潟の低潮帯における覆砂域の配置 (点刻した部分).

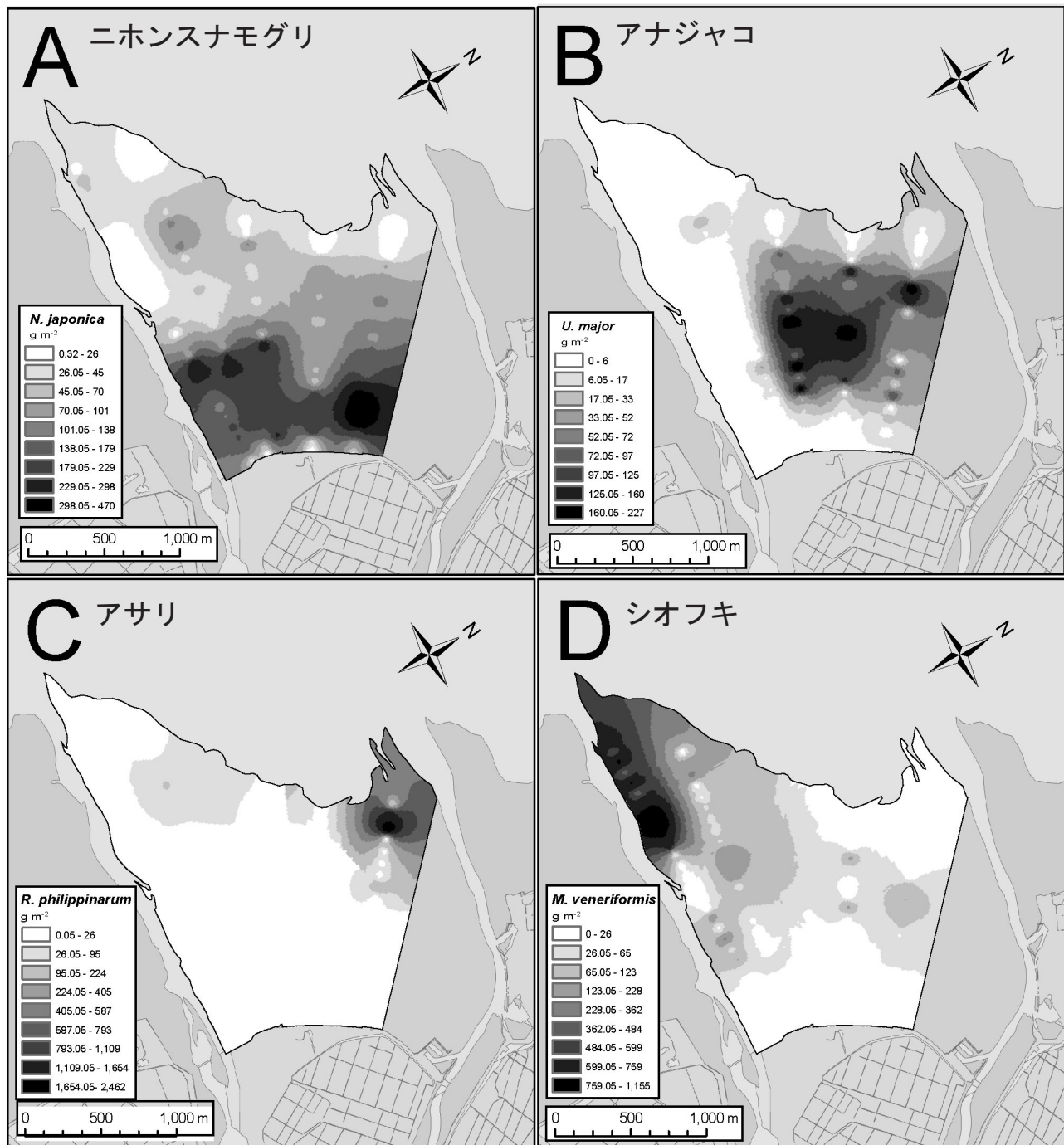


図 2. 2004年におけるニホンスナモグリ・アナジャコ・アサリ・シオフキの湿重量密度の分布. 二枚貝の湿重量は貝殻除去後の軟体部重量.

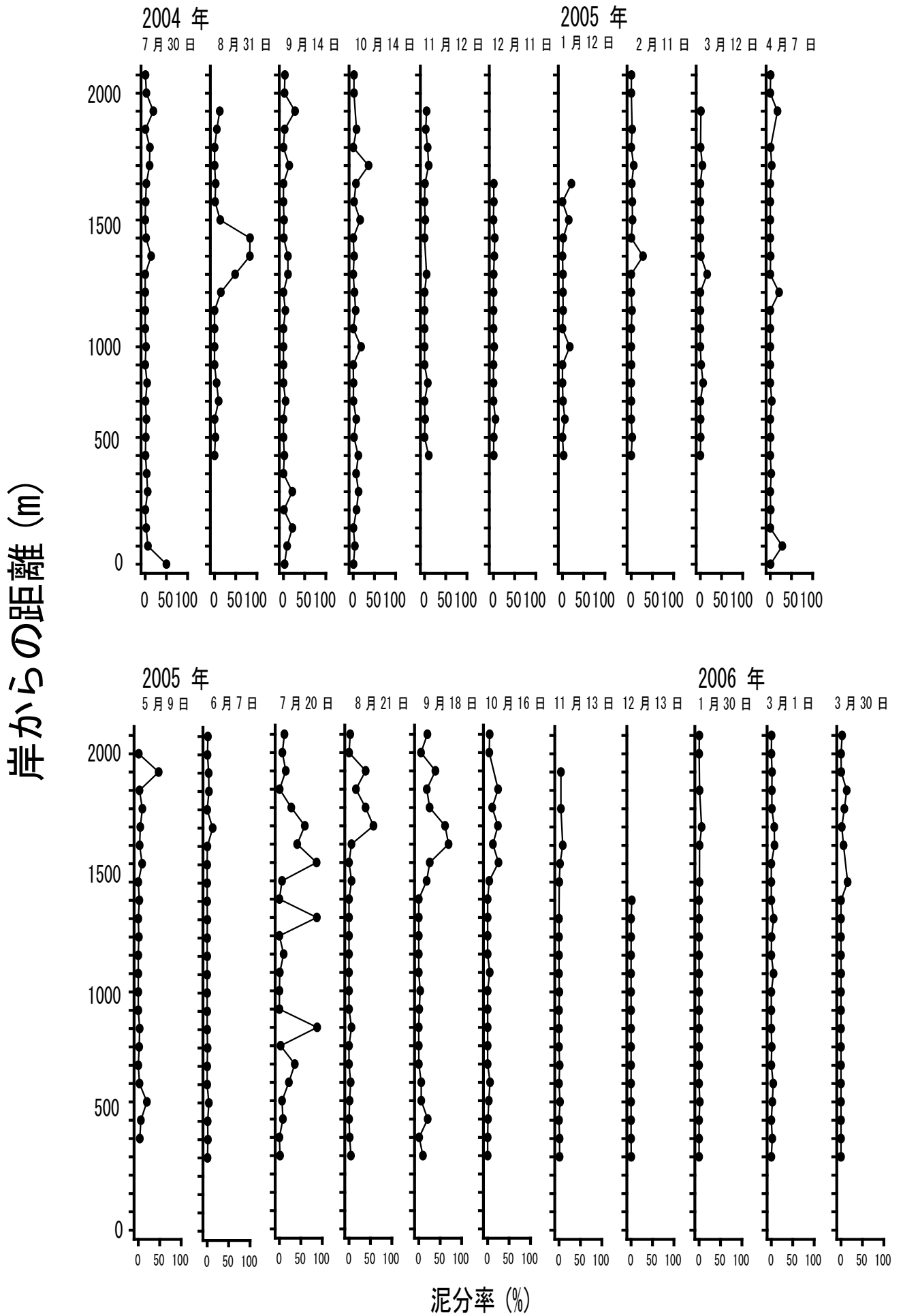


図 3. 調査トランセクトにおける底質泥分率の経月変化
(2004年7月—2006年3月)

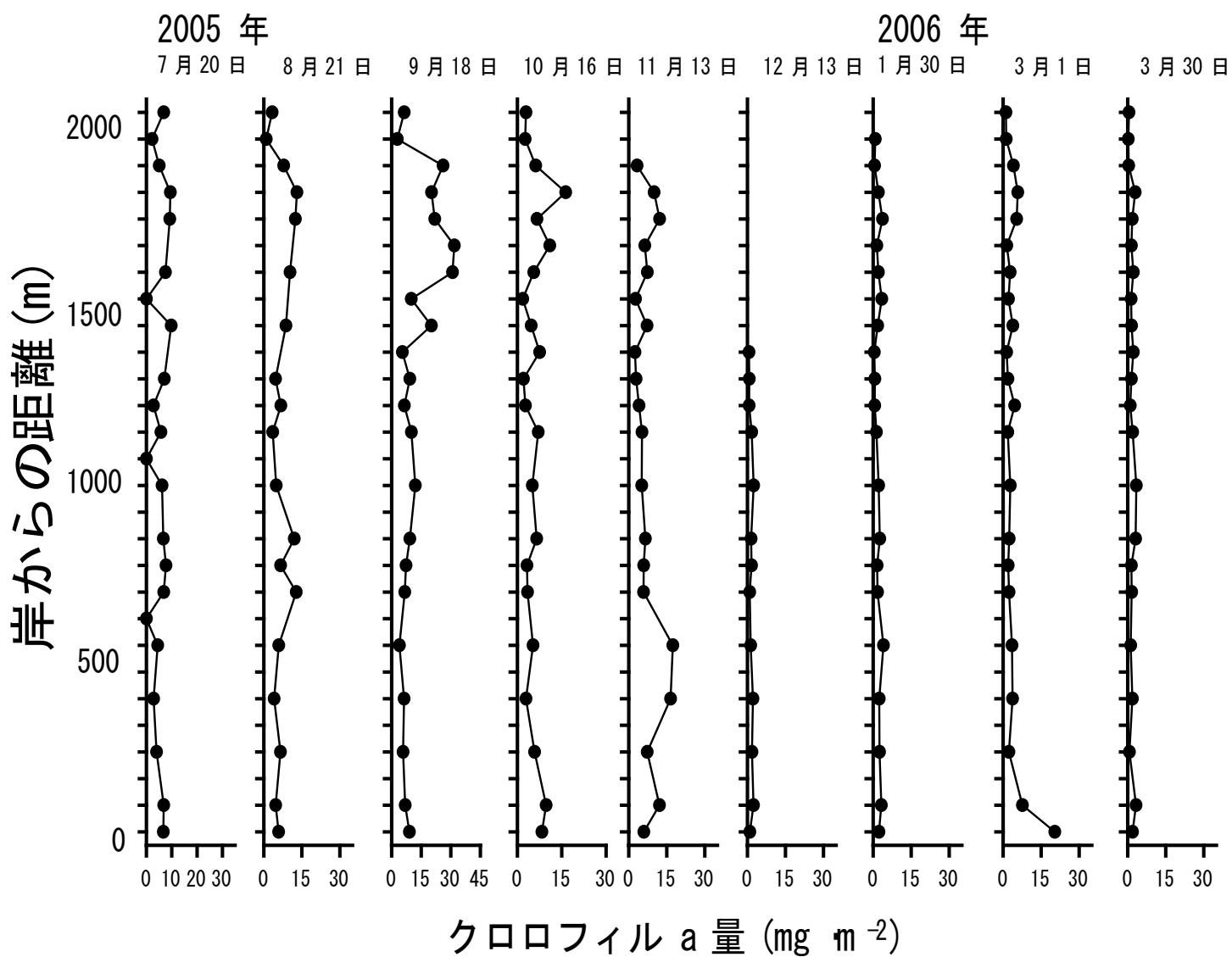


図 4. 調査トランセクトにおける底質中クロロフィルa含量の経月変化 (2005年7月ー2006年3月)

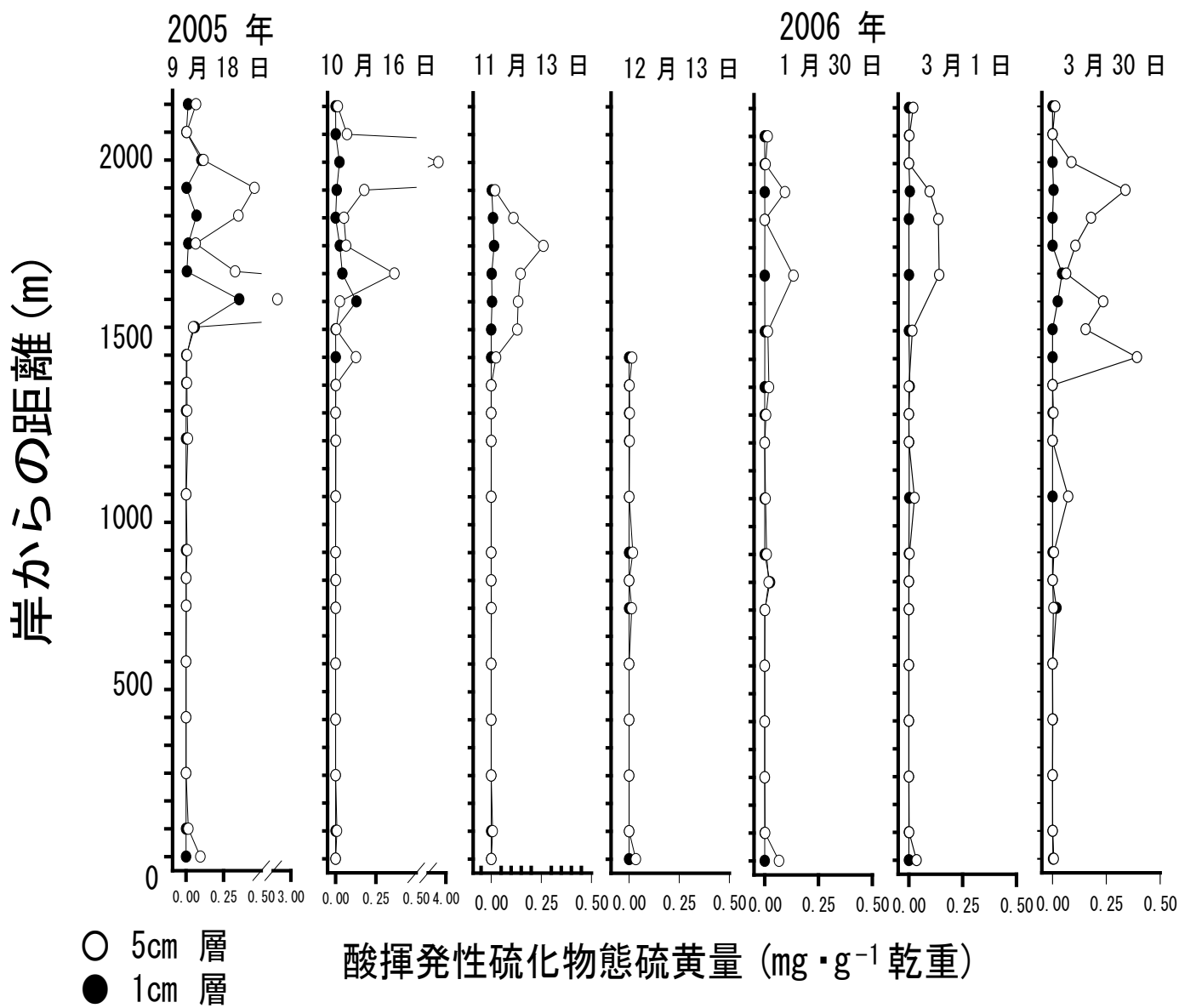


図 5. 調査トランセクトにおける底質（表面下1 cm, 5 cm）の酸揮発性硫化物態硫黄（AVS - S）含量の経月変化（2005年9月－2006年3月）

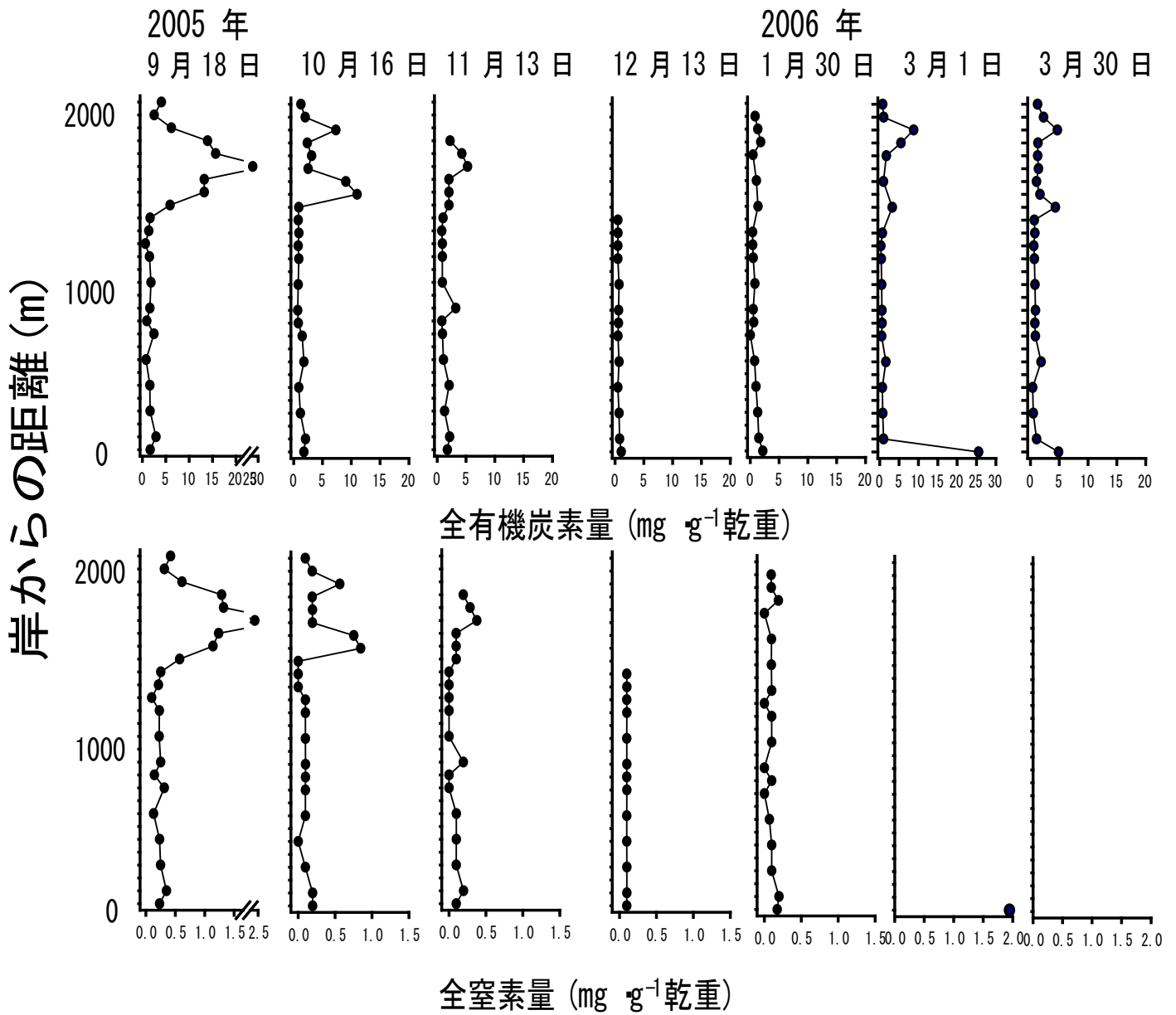


図 6. 調査トランセクトにおける底質中の全有機炭素量 (TOC)
・全窒素量 (TN) の経月変化 (2005年9月—2006年3月)

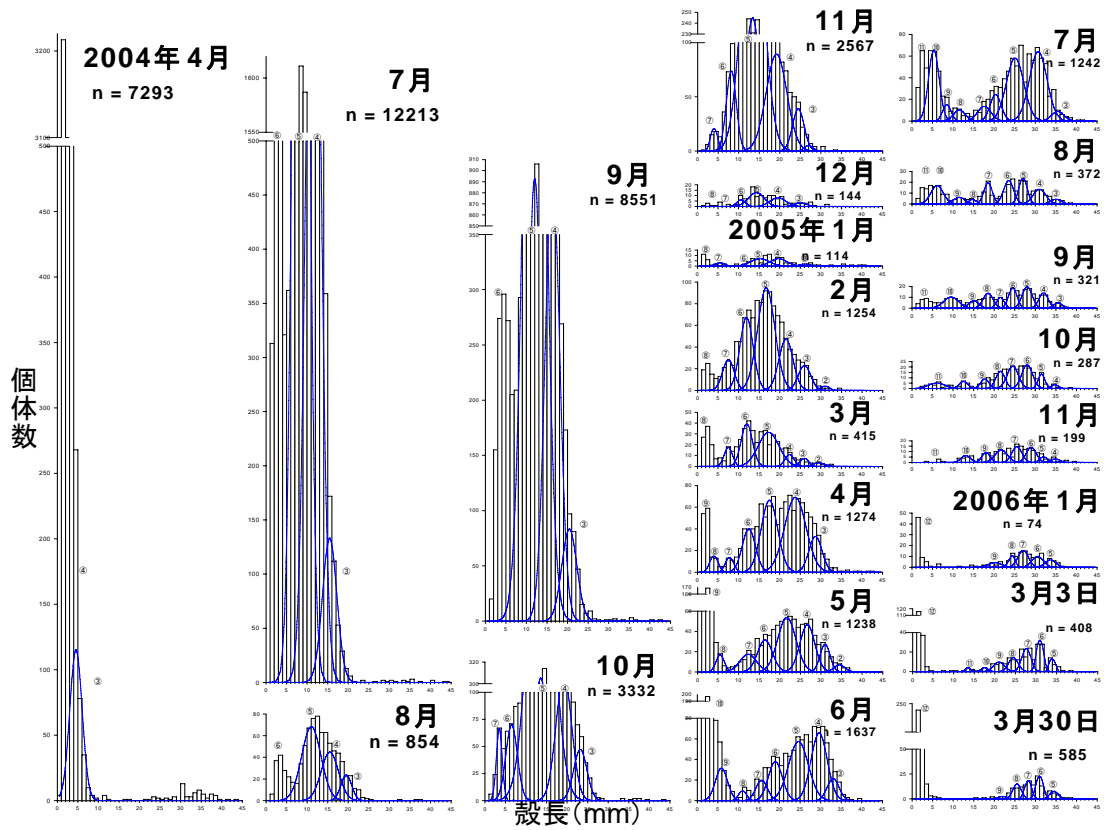


図 7. アサリの殻長頻度分布とコホート解析の結果 (2006年4月19日から2006年3月30日まで)。殻長頻度分布の作成には全定点の個体を用いた。②から⑫はコホートの番号を表す。

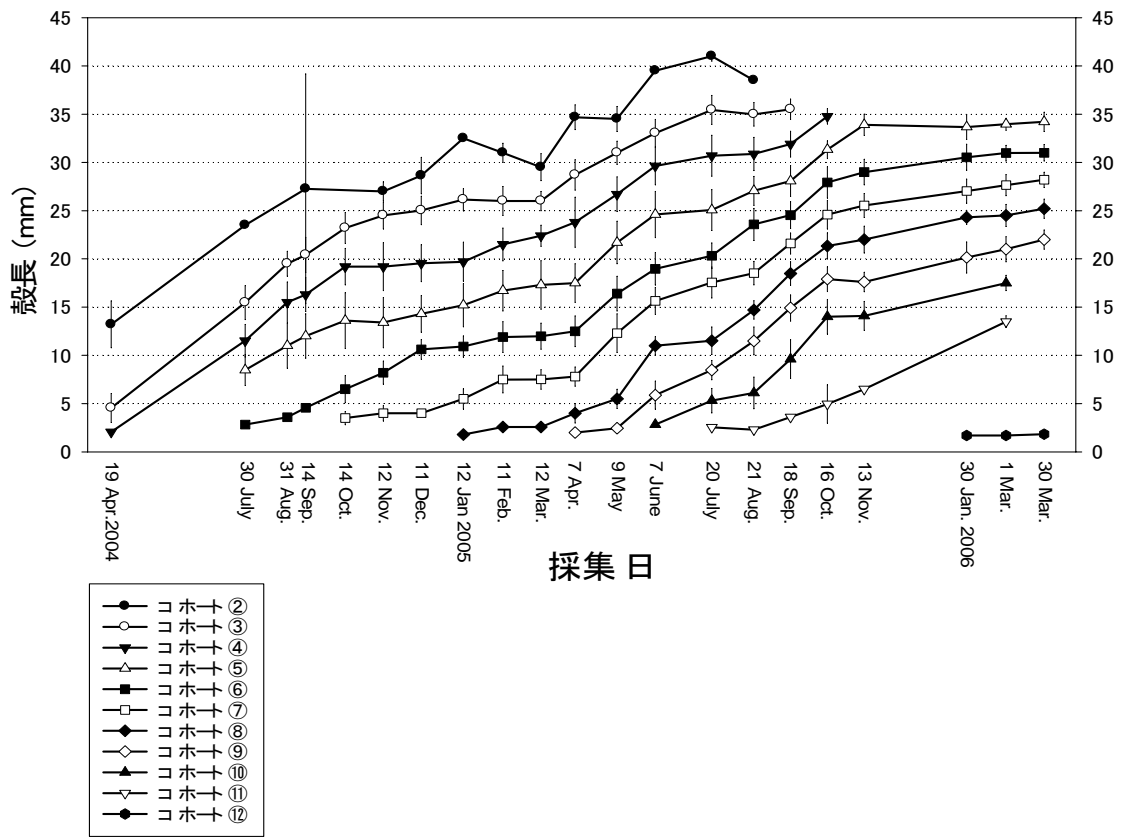


図 8. アサリの成長曲線. コホート 2 から 12 まで (図 7) の平均殻長 (±標準偏差) を追跡した.

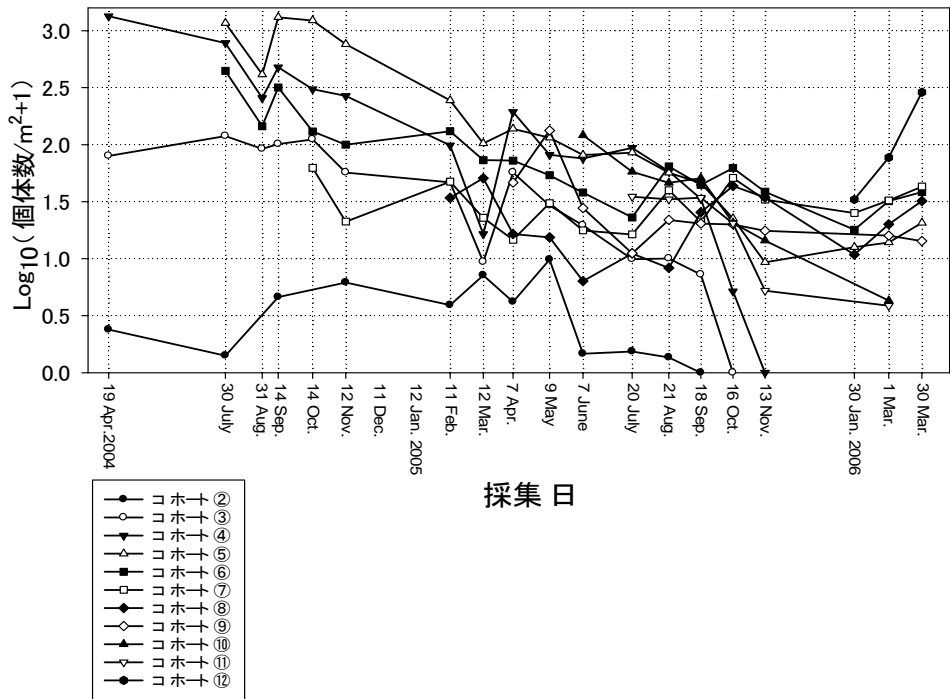


図 9. アサリの生残曲線. コホート 2 から 12 まで(図 7).

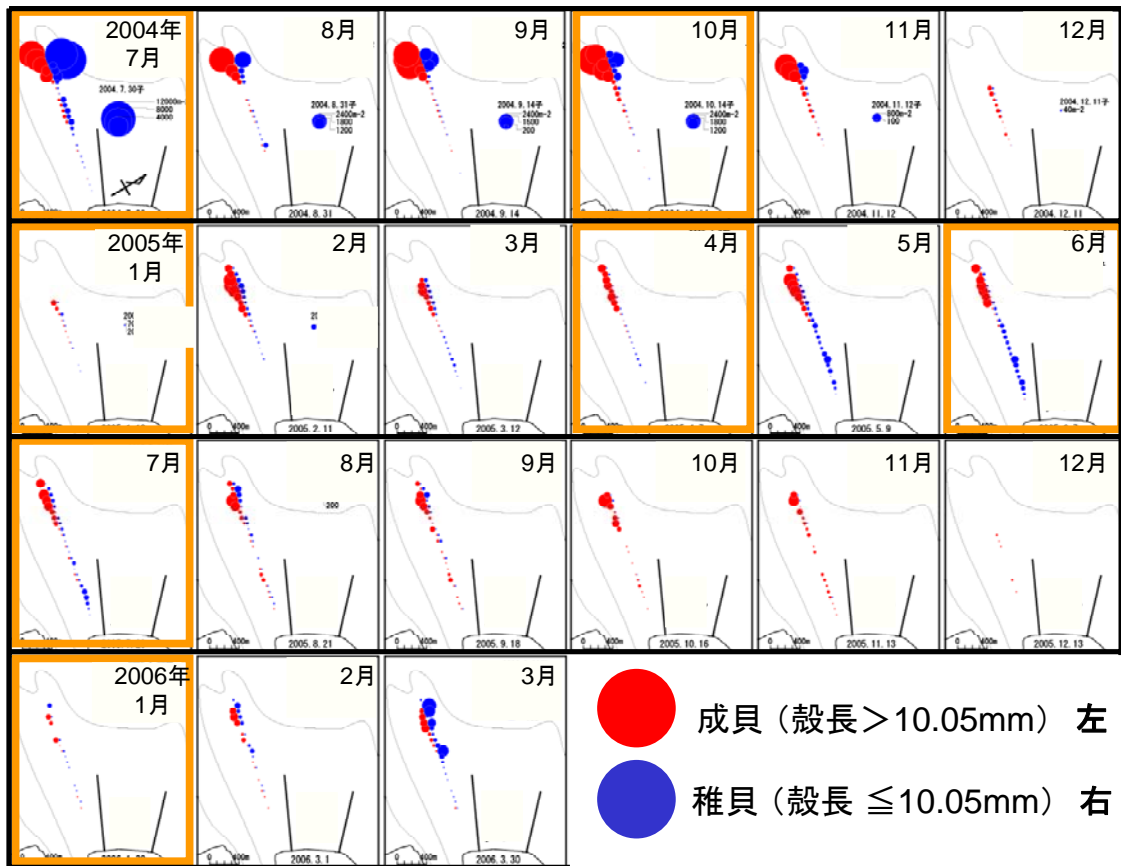


図 10. 調査トランセクトにおけるアサリ個体数密度分布の経月変化 (2004 年 7 月—2006 年 3 月). 成貝 (殻長 > 10.05mm) を左側に, 稚貝 (殻長 ≤ 10.05mm) を右側に示す.

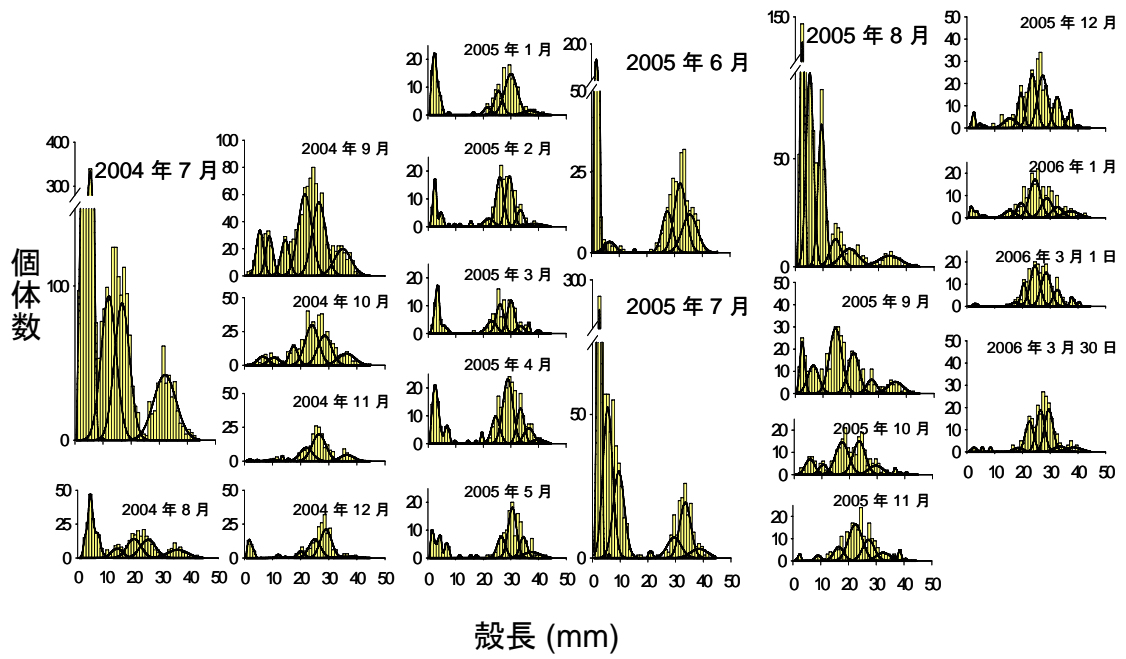


図 11. シオブキの殻長頻度分布とコホート解析の結果(2004年7月30日から2006年3月30日まで). 殻長頻度分布の作成には全定点の個体を用いた.

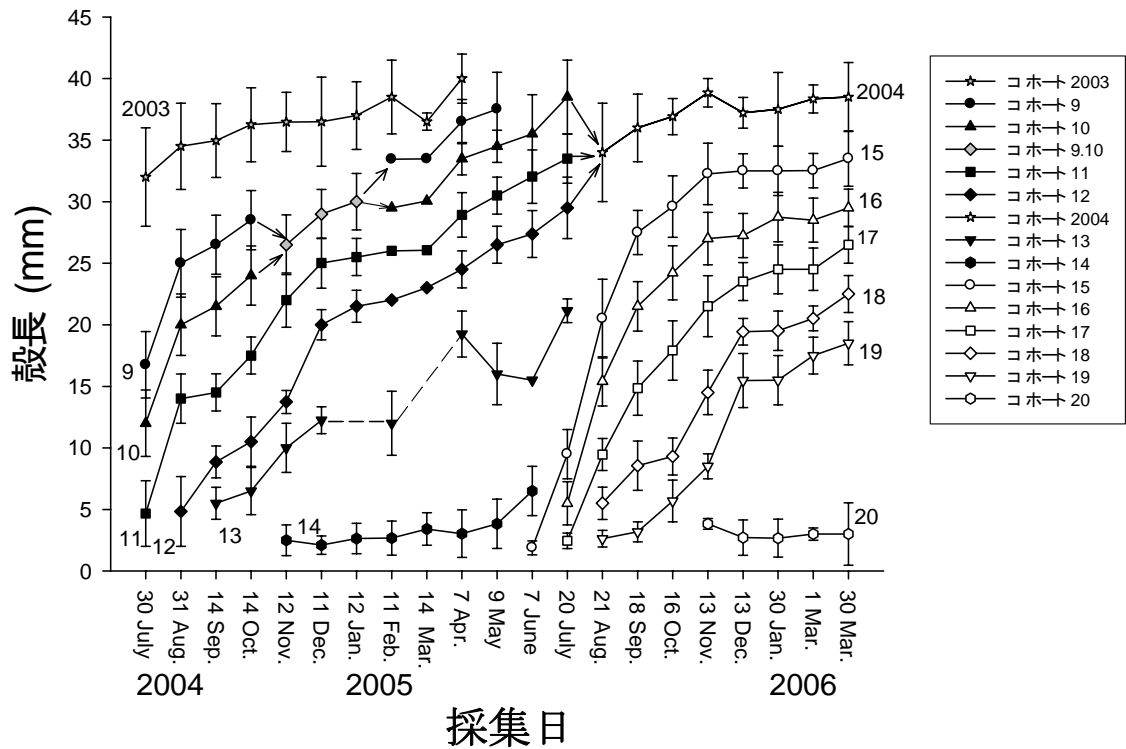


図 12. 2004 年 7 月 30 日—2006 年 3 月 30 日におけるシオフキの各コホートの平均殻長（±標準偏差）の経月変化. 各シンボルに添えられた数字はコホート番号を表す. コホート 2003, 2004 はそれぞれ 2003 年夏加入の複数コホート, 2004 年夏加入の複数コホートが融合したものを表す. 矢印はコホートの融合と分離（再び別々のコホートとして扱う）を表し, 破線は個体が採集されなかった調査日を挟んで便宜的に結んだものである.

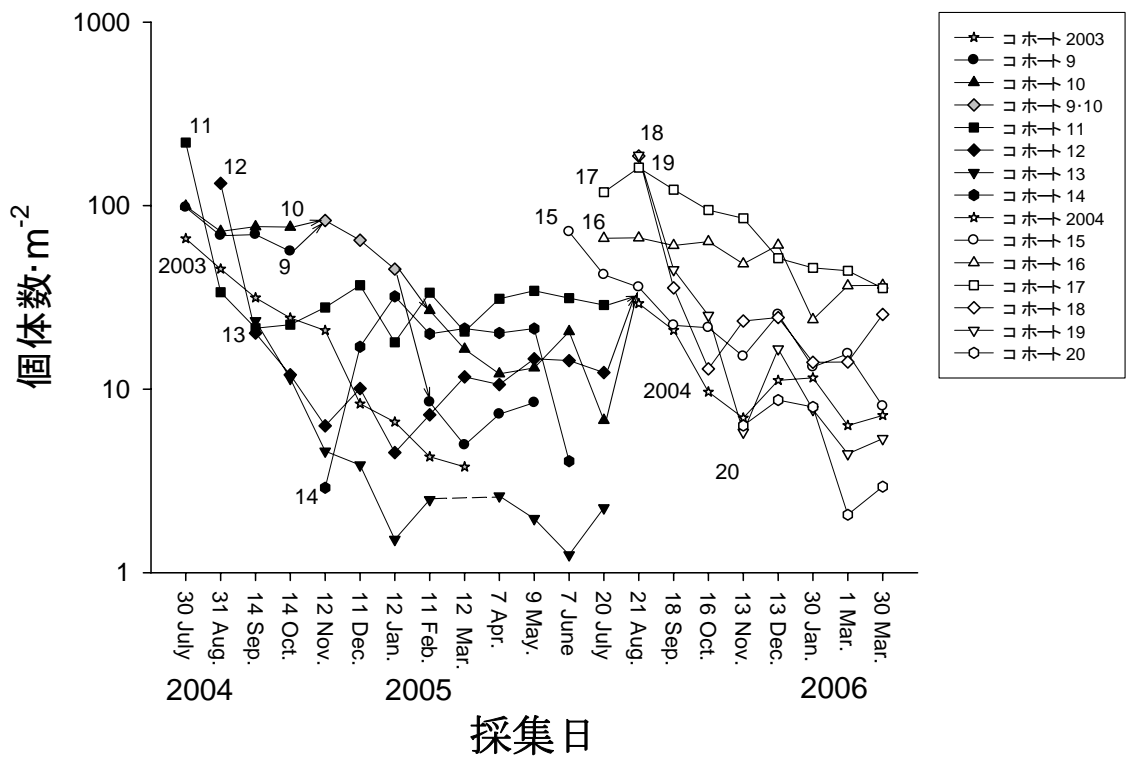


図 13. 2004 年 7 月 30 日—2006 年 3 月 30 日におけるシオフキの各コホートの平方メートルあたりの個体数密度の経月変化. 密度 X を対数に変換し, $\log_{10}(X+1)$ で表した. 各シンボルに添えられた数字はコホート番号を示す. 矢印はコホートの融合と分離 (再び別々のコホートとして扱う) を表す. 破線は個体が採集されなかった調査日を挟んで便宜的に結んだものである.

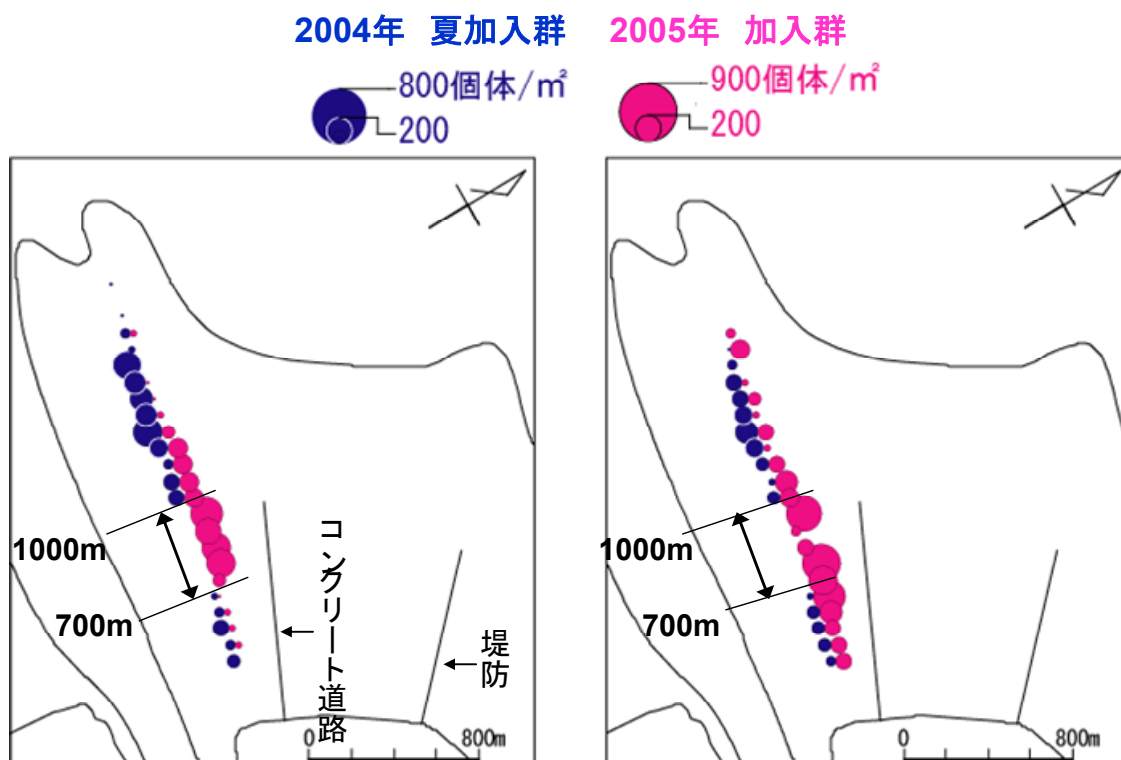


図 14. 2005年6月・7月における調査トランセクト上での成員(2004年夏加入群)と新規加入個体の密度分布

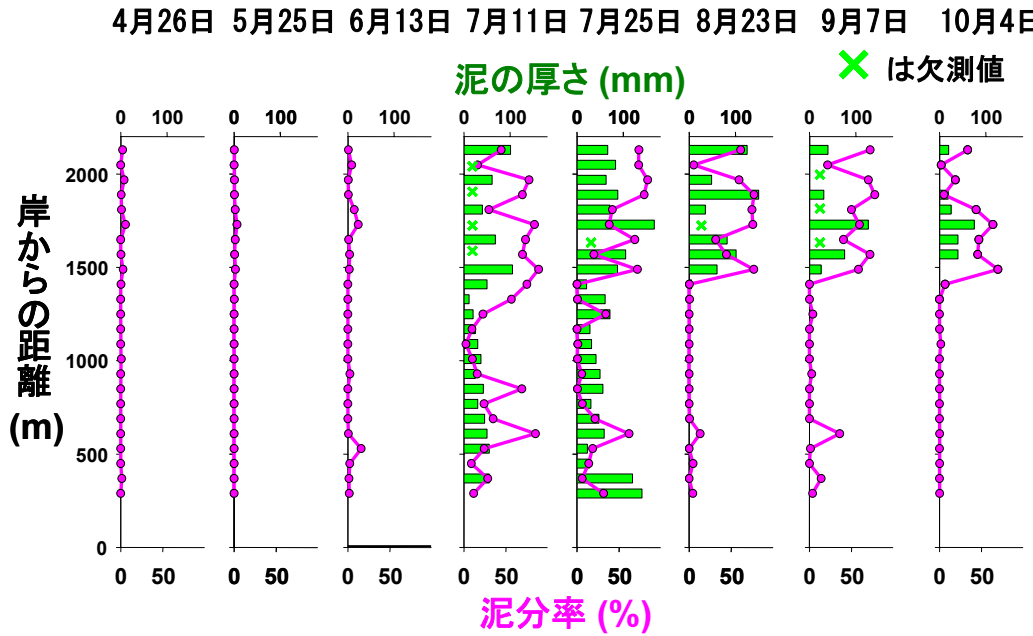


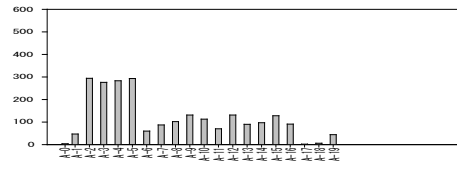
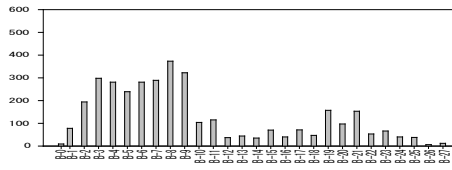
図 15. 2006 年における調査トランセクト上での堆積浮泥の厚さ（棒）および底質泥分率（折れ線）の経月変化

ニホンスナモグリ

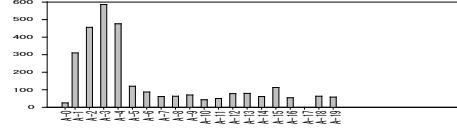
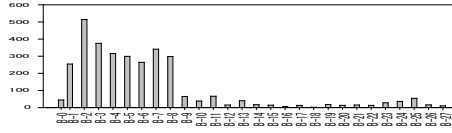
2004年 トランセクトB

トランセクトA

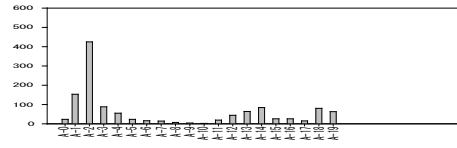
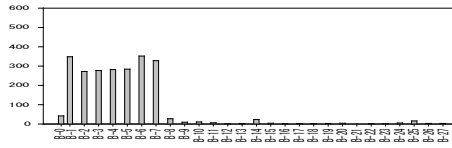
個体数 m^{-2}



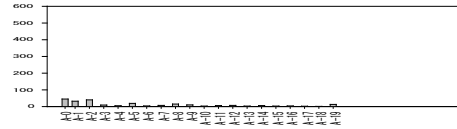
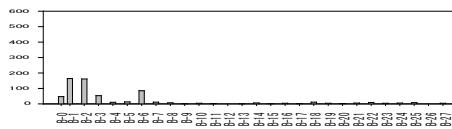
2005年



2006年



2007年

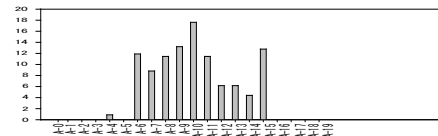
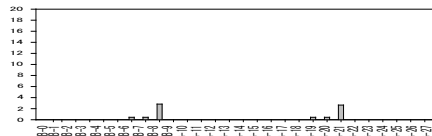


アナジャコ

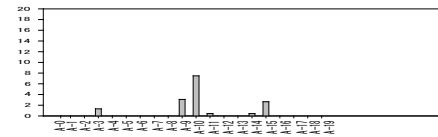
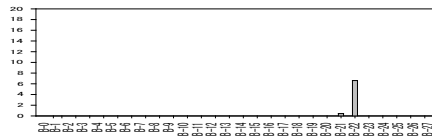
2004年 トランセクトB

トランセクトA

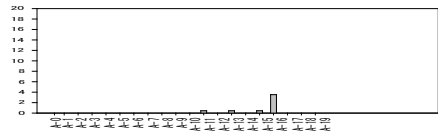
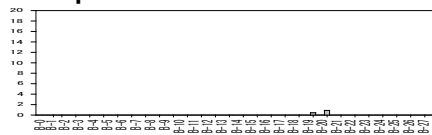
個体数 m^{-2}



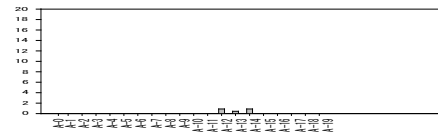
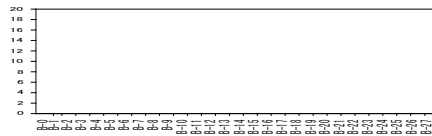
2005年



2006年



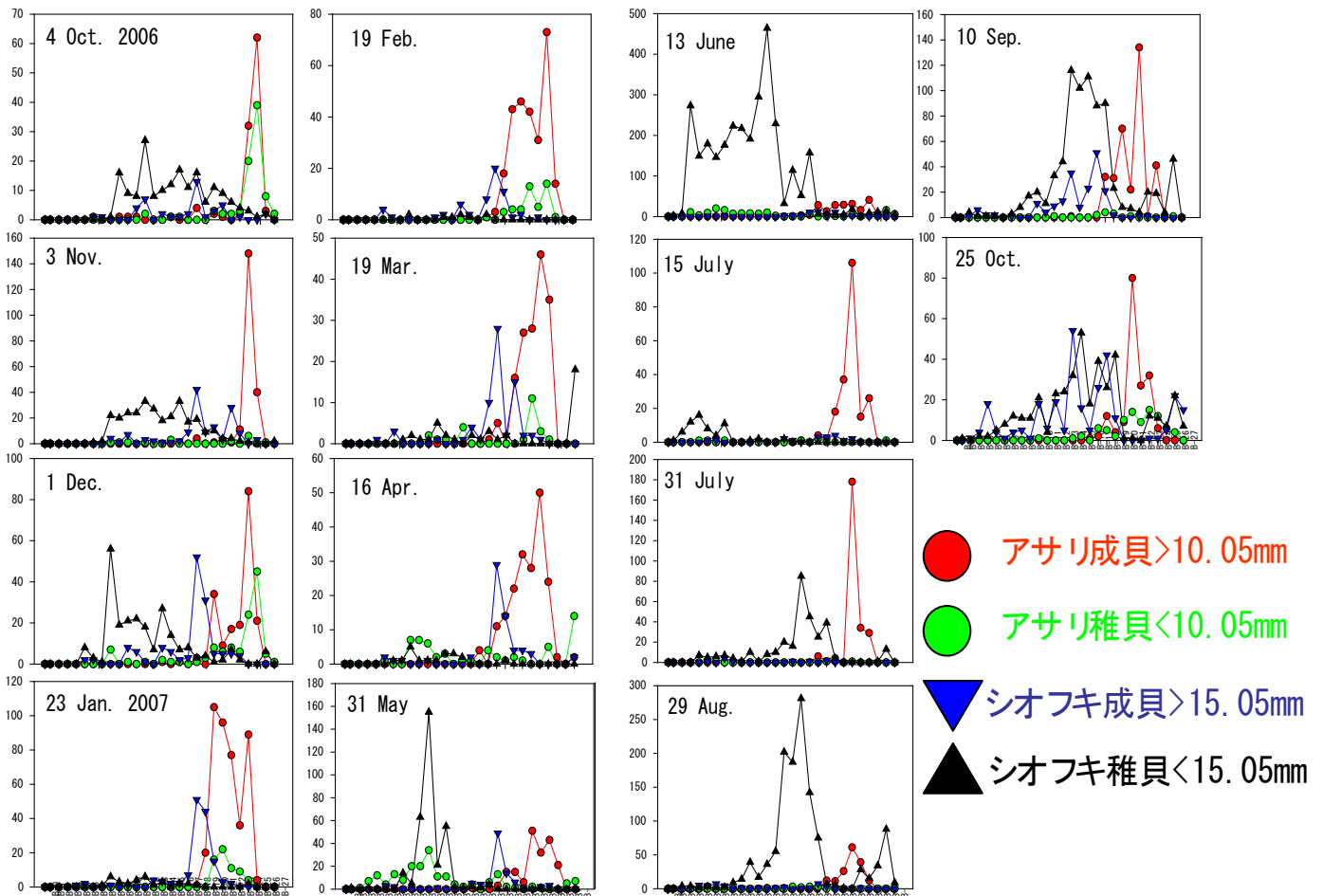
2007年



岸←調査定点→沖

図 16. トランセクトA, B (図1)におけるアナジャコ・ニホンスナモグリ個体数密度の経年変化

個体数・625cm²



岸←採集定点→沖

図 17. 2006年10月—2007年10月における干潟トランセクト上でのアサリ・シオフキの成貝・稚貝個体数密度の経月変化

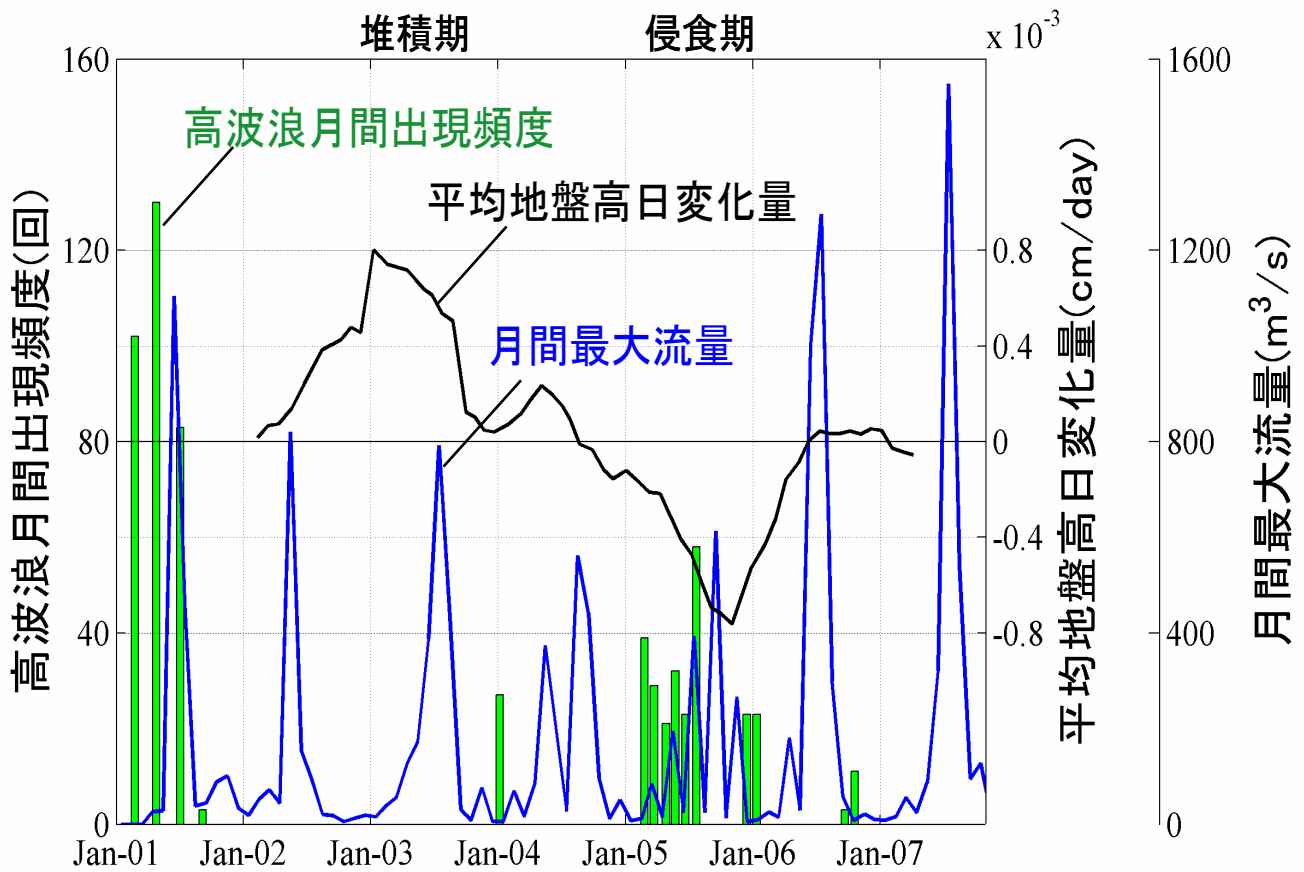


図 18. 白川河口干潟における高波浪の月間出現頻度, 地盤高日変化量および白川月間最大流量の時系列 (2001年—2007年)