

(65) 博多湾におけるホトトギスガイコホートの加入過程に及ぼす影響因子の解析

山崎惟義^{1*}・渡辺亮一¹・北野義則²・熊谷博史³

¹ 福岡大学工学部 (〒814-0180 福岡市城南区七隈8-19-1)

² 関東学院大学工学部 (〒236-0032横浜市金沢区六浦町4834番地)

³ 福岡県保健環境研究所 (〒818-0135太宰府市大字向佐野39)

* E-mail:yama@fukuoka-u.ac.jp

ホトトギスガイ(MS)は博多湾に優先的に棲息し、指標生物となっているばかりでなく、高密度に棲息するため、底層における酸素消費への影響が非常に大きい。しかし、その加入については十分知られていない。本研究では、加入について場の特性として加入ポテンシャルを提案し、これが底泥の平均強熱減量、平均底泥表層AVSによって支配されることを示した。また、加入が加入時期の底層酸素濃度と底泥表面のAVSに支配されることを示した。

Key Words: larval recruitment *Musculista senhousia*, Hakata Bay, cohort density

1. はじめに

最近数十年においては、ホトトギスガイ(MS)は博多湾に優先的に発生し、指標生物として認識されている¹⁾。また、MSは高密度に発生するため、その呼吸による酸素消費は、底泥あるいは底生生物の中で最も大きな要因となっている²⁾。一方、博多湾底層においては夏季に貧酸素水塊が頻発しているが、これによるMSの多量斃死が報告されている³⁾。この斃死すなわち、MSの遺骸は斃死直後の数日における分解過程において呼吸速度の3倍程度の酸素を消費することが報告されている⁴⁾。

このことは底層における酸素濃度の低下あるいは狭い範囲の貧酸素水塊がMSの斃死をもたらす、その遺骸の分解がさらなる貧酸素化を促進し、酸素濃度の低下と貧酸素化の拡大をもたらす、それがMSははじめ底生生物の斃死を拡大させるというように、連鎖的に底生生物の生態系を破壊する可能性が指摘されている⁵⁾。

このような博多湾の状況を把握するため、著者らは生態系、特にMSの成長、死滅、酸素消費を組み込んだモデルを開発し、その有効性を示した²⁾。しかし、MSの加入過程は不明のままで、加入量は調査データを入力値として用いざるを得ず、本モデルではMSについて加入から死滅までを通じて計算することはできなかった²⁾。

一般に二枚貝はr-戦略をとる種が多いとされている。特に、MSは着底(1mm以下)後1ヶ月で速いものは殻長15mm以上に成長し、その成長速度は非常に大きい。MSの加入過程については、孵化後、浮遊幼生の分散・輸送、浮遊幼生の定着、底生個体群への加入の一連の過程が認識されている^{6,7)}。しかし、浮遊幼生密度と新規定着者密度との関係、新規定着者と加入者の密度との関係ならびにこれらの密度とコホートの成否の関係は明確にされていない。有明海⁸⁾や伊勢湾⁹⁾の河口干潟を対象地域とした研究では、ホトトギスガイの加入の成否は台風に伴う激しい降雨、夏の干潟における極端な高温、冬の干潟の低温、捕食者による捕食などの環境のかく乱に依存する可能性が示唆されている。木曾三川の感潮域における研究においても同様の報告がなされている⁸⁾。博多湾内は河口干潟や河川感潮域とは環境が異なり、捕食による要因を除き、上記のかく乱要因は考えにくい。底層の貧酸素などによる底生生物の棲息環境の悪化は大きく影響していると考えられる。いずれにしても、浮遊幼生の分散量は極めて多く、したがって、コホートの形成量は幼生の定着及びその後の生残率に大きく依存すると思われる。

博多湾でもMS個体数密度は、地点ごと、調査年度、調査時期により変動が大きいことが知られている⁹⁾。河

口干潟や河川感潮域における前述の場合と同様、その変動に影響する要因は環境要因や種間競争など、多くの事象が考えられる。MS に関する研究では、対照地点を除き、通常本来MS が棲息する地域を対象としていることが多く、環境要因や捕食など突発的な変動要因を強く意識しているものが多い^{9,10)}。本研究では、MS コホートの加入数とその変動要因を、①調査地点特有の（長期間をかけてトレンド的に変動する）因子、②季節変動や突発的に変動する（短期間に変動する）因子に分類し整理した。

その地点特有の要因としては、水深、底質の強熱減量、底質の粒度分布など、変動の小さい因子が考えられる。このような因子はその地点にMS が加入してくる可能性としての加入ポテンシャルと考えられる。このような考え方については既往の研究ではみられない。その可能性として、最大の加入固体密度をとり、これを加入ポテンシャルと考えれば妥当と考えた。本研究では全調査期間における最大個体密度をMS コホートの加入ポテンシャルとして用いることとした。

変動が大きいと考えられる底層環境の因子は AVS（酸揮発性硫化物量）、DO、ORP、温度などである。これらの因子は各コホートが経験する期間においても変動し、その期間に加入してくるMS コホートの加入に直接影響してくると思われる。そこで、各地点、各加入時期のこれらの因子がどのように加入に影響を与えるか検討した。

2. 調査領域

調査領域ならびに調査地点を図-1に示した。本領域は東にアイランドシティの埋立地があり、その周辺に海水の交換し難い海域があり、これらを代表する調査地点として H-1、M-6 がある。能古島と志賀島の間に向かって水深が深くなっている。水深の深い地点として、T-11 がある。アイランドシティの西に水深約4mの平坦な海域があり、この調査地点として、T-3、T-4、T-5、T-8 がある。一方、室見川河口沖には2つの窪地があり、この調査地点として C-13 があり、その近くの水深7mの平坦海域に C-9 がある。また、湾中央部にはアイランドシティに向かう東航路、中央埠頭に向かう中央航路があり、その交差点付近に T-7 がある。

3. 調査方法

調査方法については、前報⁹⁾に詳細に記した。調査は

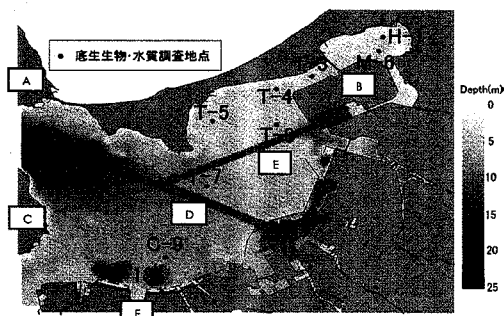


図-1 博多湾と調査地点

図中 A,B,C,D,E,F は志賀島、アイランドシティ、能古島中央航路、東航路、室見川

2001年9月より2006年10月まで、ほぼ1ヶ月に1回の頻度で計53回実施した。'06年6月、'07年7月、10月、'05年2月、6月、'06年1月、3月、4月、5月、8月の10回は欠測月である。

本研究では、図-1に示した、C-9（水深7m）、C-13（水深14m）、H-1（水深3m）、M-6（水深3m）、T-3（水深4m）、T-4（水深4m）、T-5（水深4m）、T-7（水深8m）、T-8（水深4m）、T-11（水深15m）の10地点のホトトギスガイ、表層より1cmまでの底泥表層のAVS（酸揮発性硫化物量）、温度、ORP、強熱減量、海底から10cm程度上の底層海水の溶存酸素濃度の調査結果について検討する。

4. 調査結果と考察

2001年9月から2006年10月までの調査結果を示し、考察することとした。

本領域では、夏季の底層において東部海域、窪地を中心に広範囲に貧酸素水塊が出現することが知られている⁹⁾。そこで、底質の貧酸素特性を検討するために、調査期間を通じた各地点における底質表層の強熱減量とAVS平均値との関係を図-2に示した。この図から分かるように、強熱減量の平均値が増加するにしたがってAVS平均値が増加する傾向があり、図中の直線で示した相関関係にあるグループと、少し外れるグループ（C-13、M-6、H-1）がある。C-13が最も外れているが、これは図-1に示す通り、この地点が窪地となっており、他の地点に比較し貧酸素状態が著しく¹⁰⁾ 同一強熱減量に対してAVS平均値が高くなったものと考えられる。M-6、H-1は湾奥で貧酸素傾向が他の地点に比較して高く⁹⁾、C-13と同様の傾向にあると思われる。

そこで、さらにAVSと低酸素との関係を検討するた

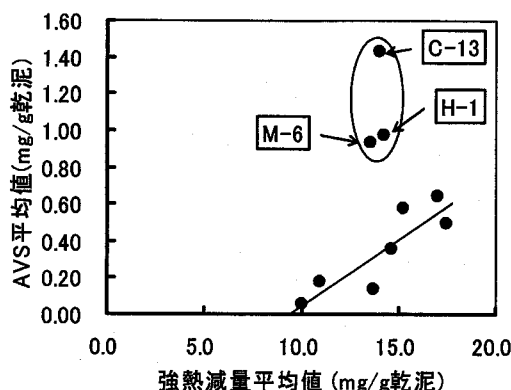


図2 強熱減量平均値と AVS 平均値との関係

めに、図-3に底泥表面の ORP と AVS の変化を C-13、M-6、T-3（博多湾におけるMS 加入と変動の最も代表的な例）、T-7（AVS が低い例）を例として示した。

これらの図で AVS と ORP の関係は右回りの履歴を示しており、一旦高くなった AVS は ORP が高くなってもすぐには回復しない遅れを示しているが、ORP が低いほど AVS は高くなる傾向にある。そのような状況の中で、C-13 では他の地点（T-3）と比較して ORP が全体的に低く、AVS は高いだけでなく、同一 ORP（酸化状態）に対しても AVS の値が高い。M-6 は若干 C-13 に似た傾向を示しているが、T-3 や T-7 との差はさほど大きくない。図には示していないが、H-1 は M-6 と地点的にも近接しており同様の傾向を示している。T-7 は AVS が低く、同一 ORP に対してどの地点より AVS が低い。これらは、C-13、M-6、H-1 地点は強熱減量が低い割には、他の地点に比較して、低酸素のため AVS が高くなっていることを示している。

次に、各調査地点における加入ポテンシャルに影響する因子を検討するため、まず、各地点の強熱減量平均値と調査期間中最大個体数密度との関係を図-4に示した。この図から分るように、最大個体数密度は強熱減量平均値が大きくなるにつれて大きくなる傾向にあり、図中の破線に沿っている点と少し離れた点がある。離れた地点 C-13、M-6、T-5、T-11 の内、T-11 は水深が深く塩分濃度が高い地点である。一般にMS は、浅く塩分濃度の低い海域に棲息するとされており¹⁰⁾、水深や塩分濃度の影響が考えられるが、現時点で明確にできていない。C-13、M-6 は強熱減量と AVS の関係でも述べたように貧酸素の傾向が強い地点であり、そのため、強熱減量が高い割に個体数密度が低かったと思われる。このことは、MS コホートの加入ポテンシャルは強熱減量の増加とともに増大するが、底層の酸素濃度や底質の AVS の影響を受ける可能性を示している。T-5 は強熱減量に対して最大個体数密度が他の地点と比較し、かなり高くなっている

がこれについても、明確にすることができていない。ただ、次の AVS 平均値との関係においても、他の地点と異なる傾向を示している。

そこで、最大個体数密度と AVS 平均値との関係を図-5に示した。この図から分るように、最大個体数密度は AVS 平均値が増大するとともに減少する傾向にあり、

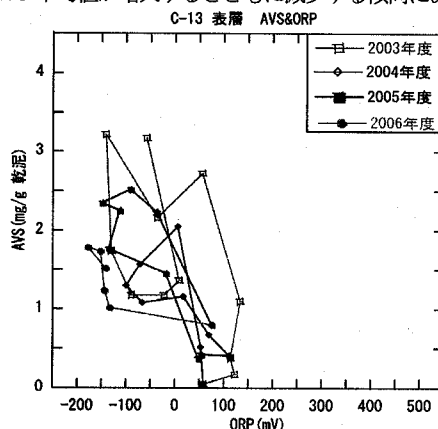


図-3a 底泥表面の ORP と AVS の経月変化

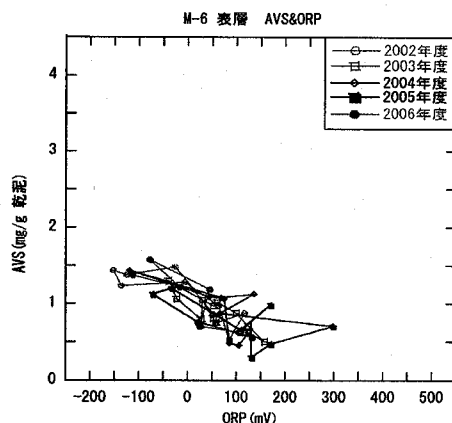


図-3b 底泥表面の ORP と AVS の経月変化

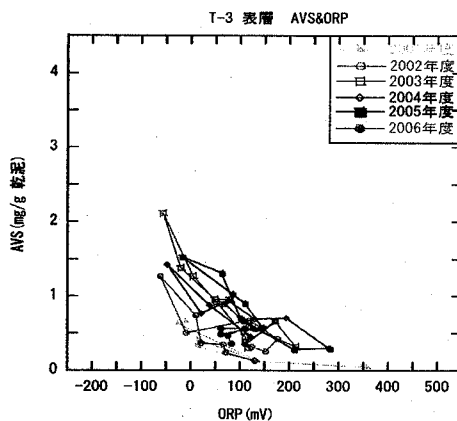


図-3c 底泥表面の ORP と AVS の経月変化

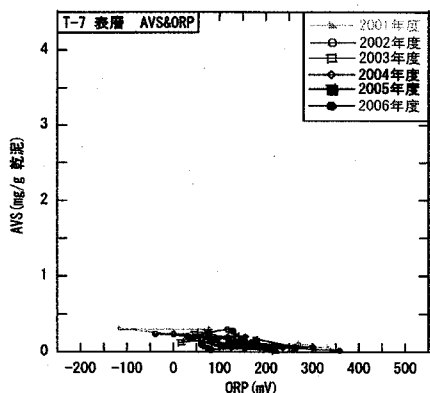


図3d 底泥表面の ORP と AVS の変化総数の経時変化

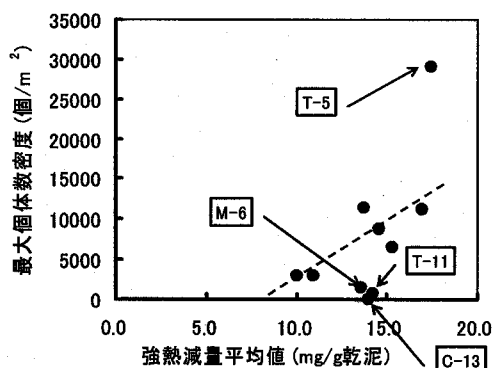


図4 強熱減量平均値と最大個体数密度の関係

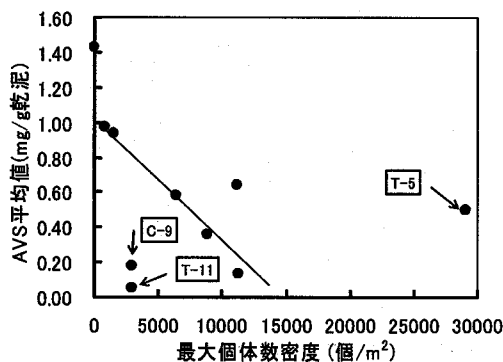


図5 最大個体数密度と AVS 平均値との関係

図中の直線に沿うものと少し離れるもの (C-9, T-11, T-5) がある。離れるグループの内、C-9, T-11 は AVS 平均値が低いにもかかわらず、最大個体数密度が少ない。

これは、強熱減量と個体数密度の関係で述べたように、強熱減量が低かったためと思われる。T-5 については、図中の直線で示した関数関係が妥当かどうかの議論が必要となると考えられる。

短期的に変動する因子が個体数密度やコホートの加入に与える影響を検討するために、まず、個体数密度の変動を図-6に示した。この図から、各地点ごと、各調査日ごとに大きく変動していることが分かる。この変動の内、突然の減少はコホートを形成するMSの死滅によること、それが底層 DO、温度、底泥表層の AVS に支配されることについては前報にて報告した⁹⁾。

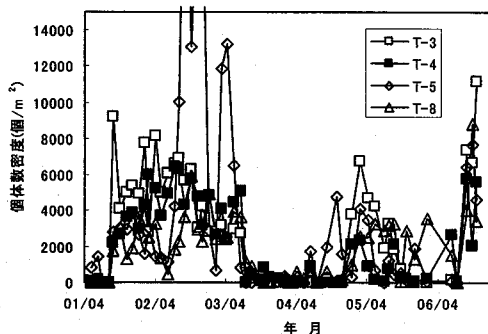


図6a 個体数密度の経時変化 ①

一方、増加 (加入) については、明らかにすることができていない。そこで、まず、コホートの加入と消滅のパターンを見るために、図-7に T-3 を例に同一時期に加入したコホートがどのように加入、成長、消滅するかを

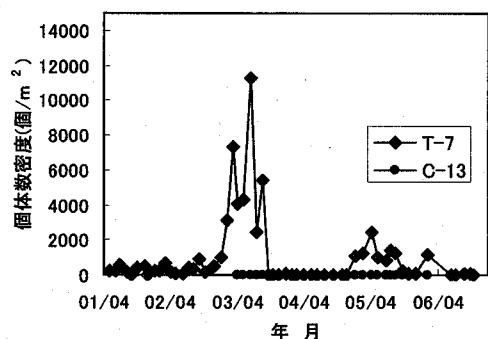


図6b 個体数密度の経月変化 ②

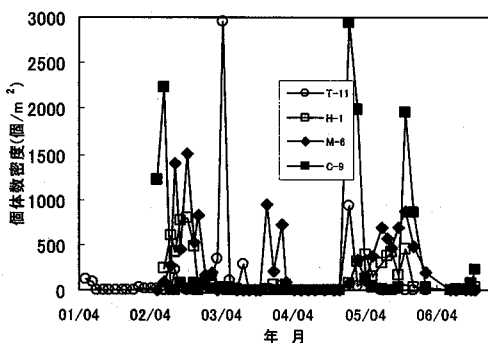


図6c 個体数密度の経月変化 ③

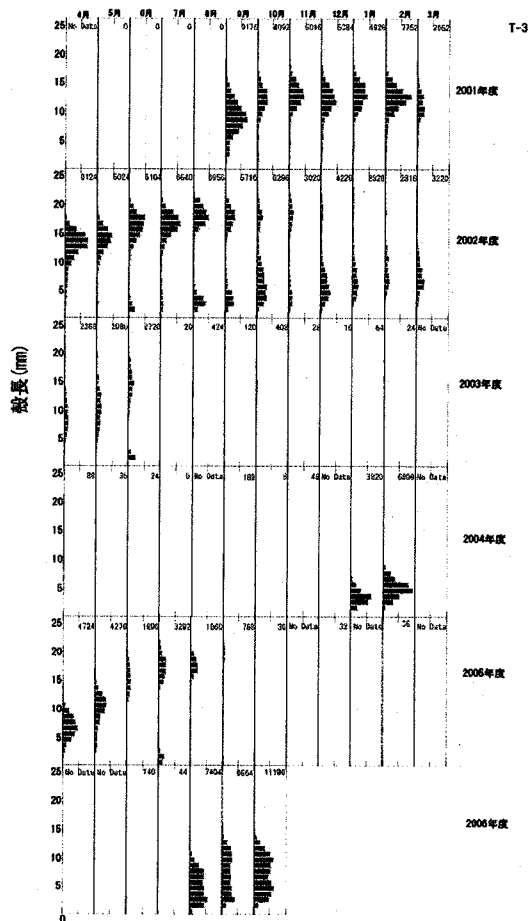


図7 T-3におけるホトトギスガイのコホートの経月変化
各ボックスには各殻長の貝の全体に占める割合を%で示した。1目盛りが10%を示す。各ボックス上部の数値は1m²当りの総数を示している。

示すために、それぞれの調査日のMS殻長分布を示した。各ボックスは各調査日の分布を総数に対する%表示で表示し、各ボックスには個体数密度(個/m²)を数値で示した。個体数密度の経月変化でもその変化が大きいことを示したが、このコホートの経時変化においても、コホートを確実にトレースできる時期やまったく加入がない時期があるなど、その変動の大きさが分かる。

このような加入の変動がどのような環境因子によるのかを検討するために、図8にT-3における環境データとMSの個体数密度、成長速度の経月変化を示した。この図から、コホートを追えない期間はコホートの追える期間に比べて貧酸素(DOが3mg/L以下)の状態が1ヶ月以上長期間続くこと、高いAVS値が存在することが特徴的であることがわかる。

そこで、これらとコホートの加入との関係を検討する

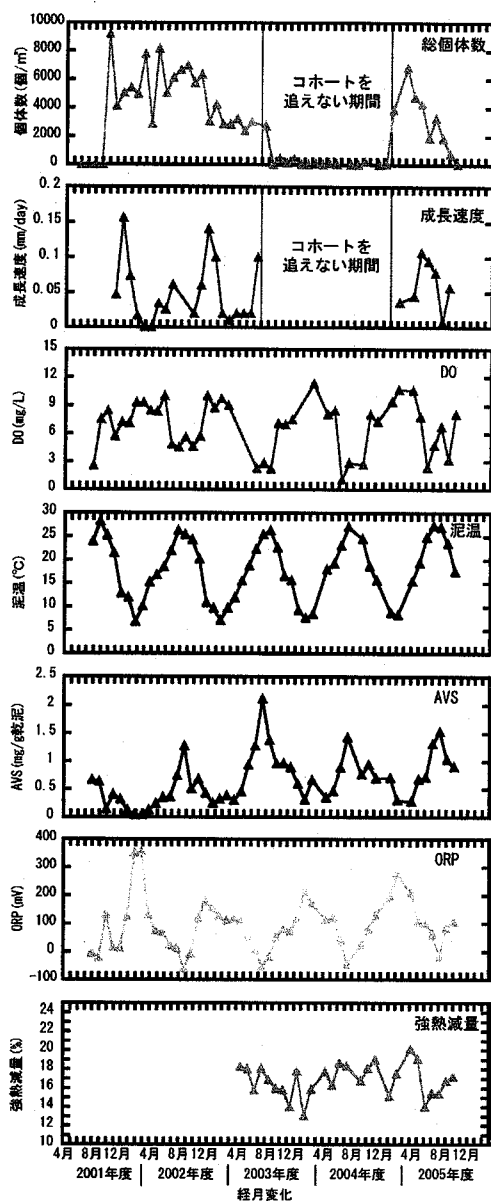


図8 T-3地点における環境データの経月変化

ため、まず、コホート加入を同一コホート内の個体数密度が1000個/m²に達するか否かを目安とした。すなわち、1000個/m²以上に発達したコホートについては加入があったとみなし、それまで発達しなかった場合、加入はなかったとした。このような取り扱いには異論もありえるが、ホトトギスガイはパッチ状に発生し森下指数も大きいことが示されており、コホートの個体数変動(実際には採取された個体数の変動)は非常に大きく、少数の加入をコホートの加入として取扱い難いことを解決するためである。

この加入判断指標に基づいて、底層DO(加入時期にお

ける最小値)と底質表層の ORP が加入に及ぼす影響を検討するため、図-9 に示した。この図のマーク「○」はコホート加入があるケース、「×」は加入が無いケースを表している。この図では各マークが入混じっていることから分かるように、底層 DO と底質表層の ORP とでは、加入の有無を判断し難いことがわかる。

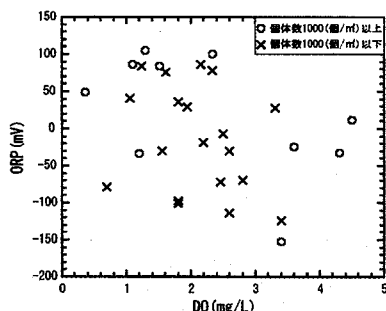


図-9 加入の有・無と加入時の DO と ORP の関係

同様の図を先の底層 DO と底質表層の AVS (加入時期における最大値) について図-10 に示した。この図では、図-9 に比較し、図中の破線を境に各マークがほぼ分離されていることが分かる。すなわち、「○」のマークは

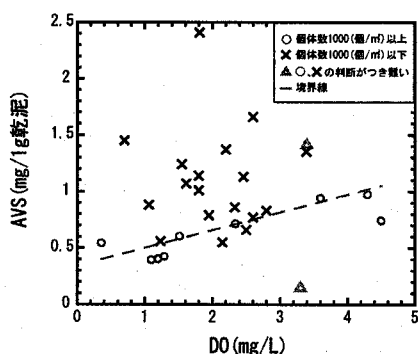


図-10 加入の有・無と加入時の DO と AVS の関係

破線上にも見受けられ、同様に「×」マークも破線近くにも見られ、破線より離れた位置ではそれぞれのマークが混在する様子は見られない。このことは、破線より上 (AVS が高く DO が低い) には加入が無いケースが多く分布し、下には加入があるケースがほぼ分布していることを示している。これは、コホートの加入が加入時期の底層 DO と底泥表層の AVS に支配される可能性が高いことを示している。

この理由として、一旦海底に着底した幼生が低酸素あるいは硫化水素のために死滅し成長できなかったためと思われる。一方、コホートが成立した後の死滅にはあまり AVS の影響は強くなく、底層の溶存酸素と温度によって決定されることが示されている⁹⁾。これらの事柄を考え合わせると、MS コホートの加入に対して以下の3つの要因が考えられる。すなわち、①幼生は親ガイに比

較して AVS 耐性が弱い可能性がある、②幼生も親ガイ程度の AVS 耐性はあるものの、幼生はそのサイズの小ささのため、底質表面の AVS 濃度境界層の中に入ってしまうか底泥に埋もれてしまうため、高濃度の AVS に暴露される可能性がある。そして③上記の両方が同時に生じている可能性がある。しかし、現時点ではこれらを区別する段階に至っていない。

5. 結論

博多湾におけるホトギスガイについて下記の結論を得た。

①地点特有の要因として

底質表層の平均強熱減量が大きいほど加入ポテンシャルが大きい傾向にある

底質平均の AVS が大きくなると加入ポテンシャルは小さくなる傾向にある

②季節的変動や突発的な要因として

地点、時期さらに経月ごとに個体数密度およびコホートの変動が大きい

各地点、各時期のコホートの加入は加入時の底質表層の AVS と底層 DO によって決定される

6. 課題

加入ポテンシャルは強熱減量と AVS の関数関係で示されることが示唆されたが、関数を明らかにする必要がある。また、加入が加入ポテンシャルと加入時期の AVS、DO によると考えられるが、加入量とそれらの環境因子との関数を明らかにする必要がある。

幼生の着底が AVS によって阻害される可能性は示したが、親ガイは AVS 耐性が高いことが知られており、AVS がどのように幼生の死滅に影響するか明らかにする必要がある。

謝辞：本研究を進めるに当たって、調査並びにデータ整理など福岡大学工学部水圏システム研究室 2005 年度卒論生の下山慎一君他 2006 年度卒論生の皆さんには大変お世話になり、また、文部科学省科学研究費補助金基盤 (C) 課題番号 16560487 および基盤 (B) 課題番号 18360254 の補助を受けた。ここに深謝する。

参考文献

- 1) 熊谷博史, 渡辺亮一, 山崎雅義, 藤田健一: 優占二枚貝ホトギスガイが博多湾湾奥の水・底質に与える影響, 水環境

- 学会誌, Vol.29, No.1, pp.21-28, 2006
- 2) 熊谷博史, 山崎惟義, 渡辺亮一, 藤田健一: 博多湾におけるホトトギスガイが貧酸素水塊に与える影響, 環境工学研究論文集, Vol.40, pp.595-606, 2003
- 3) 山崎惟義, 渡辺亮一, 熊谷博史, 藤田健一: 博多湾におけるホトトギスガイの消長死滅シミュレーション, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.58th, No.Disk 2, Page.VII-034, 2003
- 4) 山崎惟義, 渡辺亮一, 武尾宏大: ホトトギスガイの遺骸による貧酸素化の促進について, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.61st No.Disk 2 Page.ROMBUNNO.7-071, 2006
- 5) 木下進也, 山崎惟義, 渡辺亮一, 熊谷博史: ホトトギスガイの遺骸が貧酸素水塊に与える影響, 土木学会西部支部研究発表会, Vol.61st No.Disk 2 Page.ROMBUNNO.7-971, 2007
- 6) Miyawaki Dai, Hideo Sekiguchi: Long-Term Observation on Larval Recruitment Process of Bivalves Assemblage on Temperate Tidal Flats, Benthos Research Vol.55, No.1, pp.1-16(2000)
- 7) Ishii Ryo, Shinji Kawakami, Hideo Sekiguchi: Larval Recruitment of the Mytilid *Musculista senhousia* in Ariake Sound, Southern Japan, VENUS Vol.60 (1-2): 37-55, 2001
- 8) 南部亮元, 水野知巳, 川上貴史, 久保田薫, 関口秀夫: 木曾三川感潮域における二枚貝浮遊要請の着底場所および着底時期, 日本水産学会誌, Vol.72(4), 681-694, 2006
- 9) 山崎惟義, 渡辺亮一, 熊谷博史, 藤田健一, 北野義則: 博多湾の底層酸素濃度とホトトギス貝の分布に関する研究, 環境工学研究論文集, Vol.42, pp.503-512, 2005
- 10) 千葉健治: ホトトギスガイの生態について, 海洋科学, Vol.9, No.4, 230-233, 1977
- 11) 山元真弥, 山崎惟義, 渡辺亮一, 馬場崎正博: 百道浜・姪浜沖の2つの窪地に関する研究, 土木学会西部支部研究発表会, Vol.61st No.Disk 2 Page.ROMBUNNO.7-094, 2007

(2007.5.25 受付)

A study of Environmental effecters on larval recruitment of *Musculista senhousia* in Hakata Bay

Koreyoshi YAMASAKI¹, Ryouich WATANABE¹, Yoshinori KITANO², Hiroshi KUMAGAI³

¹Faculty of Engineering, Fukuoka University

²Faculty of Engineering, Kantou Gakuin University

³Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences

We studied the larval recruitment and the cohort density of *Musculista senhousia* (MS) which is abundant and highly consumes DO at the bottom of Hakata bay. We proposed the recruitment potential as the max population of MS appeared in study period, and found that the potential is affected by mean benthic oxygen loss and mean AVS throughout the period. We also show that each recruitment is affected by DO and AVS at each recruitment season..