

横浜・野島海岸における積算平均流速の 簡易計測と二枚貝類の分布

SIMPLE MEASUREMENT OF CUMULATIVE-AVERAGED WATER VELOCITY
AND DISTRIBUTION OF BIVALVES IN NOJIMA BEACH, YOKOHAMA.

越川義功¹・田中昌宏²・柵瀬信夫³

Yoshinori KOSHIKAWA, Masahiro TANAKA and Nobuo SAKURAI

¹正会員 水博 鹿島技術研究所地球環境・バイオグループ 主任研究員 (〒240-0111 神奈川県三浦郡葉山町一色2400)

²正会員 工博 鹿島技術研究所地球環境・バイオグループ 上席研究員 (〒182-0036 東京都調布市飛田給二丁目19-1)

³正会員 農博 鹿島建設(株)環境本部地域計画グループ 担当部長 (〒163-1029 東京都新宿区西新宿3-7-1)

To measure spatial distribution of water flow in tidal flat, a simple method using gypsum body was developed. Gypsum body dissolution rate in steady water flow was proportional to the velocity. The investigation about water flow with gypsum body and bivalves distribution was carried out in Nojima beach, Yokohama. Relationship was confirmed between velocity with flowmetry and calculated velocity with gypsum body. As a result, the method is applicable to measurement of cumulative-averaged velocity. The bivalves distribution in Nojima beach showed lower distribution at the north off shore, where is corresponded to high water flow area. It was implied that high water flow is one of restricted habitat factors of the bivalves in Nojima beach.

Key Words: Gypsum body, Bivalves, Manila clam, Cumulative-averaged water velocity, Tidal flat

1. はじめに

干潟に生息している多くの底生生物のうち、アサリをはじめとした二枚貝類は多くの働きをしており海域の生物生産にとって干潟生態系における重要な生物である。なかでもアサリの漁獲は、この数年で大きく減少しており、その回復のためには現存している漁場の保全・再生は当然のことながら、減耗要因の解明が重要である。

アサリをはじめとした海産二枚貝類は、その生活史初期に浮遊幼生期を過ごす。分布を決定する多くの環境要因のうち、『流れ』は摂餌、生息場所への餌供給、基盤の底質粒径、さらには卵の拡散や浮遊幼生の供給にかかわる最も重要なものであり、アサリなどの生息場の形成はこれに関わっているといっても過言ではない。

これまでに著者らは神奈川県金沢八景海域においてアサリを中心にした現地調査を行い、干潟の底質、水質、干出時間、波浪などの生息環境因子別にSIモデルを作成し、HSIモデルを構築した。その結果、波浪に関するSIモデルを組み込むことで精度は大きく向上しており、波の底面流速が重要であることを示している^{1,2)}。しかし、この波の底面流速の評価

は数値シミュレーションによっており、モデルの高精度化のためには、波の底面流速のみならず、海浜流、吹送流、潮流などの様々な流れを実測し、アサリの生息量との関係を詳細に検討する必要がある。

干潟などの浅海域における流れ分布を把握するには、メモリー流速計の設置や数値シミュレーションなどを用いるのが一般的である。しかし、メモリー流速計は正確であるが高価で紛失の危険性があること、数値計算は技術が必要であり時間がかかるなど、いずれも簡易かつ多面的に測定するには課題があり、現時点で簡易な流動調査方法として普及しているのは、石膏を利用した手法である。石膏の溶解速度は流速と共に増加する。この特性を利用して、従来、石膏塊を多点同時に設置して、その減少量から流動の相対的な強さを調べるが行われてきた^{3,4)}。また、流速と溶解速度との定量化に関する研究^{5,6)}も行われており石膏により流速の積算値または絶対流速の時間平均を測定できる可能性が出てきた。しかし、これらに使用される石膏塊の形状は多様であり、なるべく大量生産され汎用性のある測定体での計測が望ましい。

そこで、本研究では干潟域における汎用性のある石膏体を利用した簡易な積算平均流速計測法の開発

を行うとともに、干潟域における流れと二枚貝類との分布に着目して、アサリの再生産が円滑に行われている横浜野島海岸における平面的な二枚貝の生息分布と流れを中心とした環境条件との関係を明らかにすることを目的とした。

2. 石膏柱による積算平均流速の検定

(1) 材料及び方法

石膏柱による積算流速流速の検定は図-1に示した小型定流実験装置を用いて実施した。実験装置にはろ過海水（PFフィルター（1 μ m））を注入し、水中ポンプによって装置内の水路に所定の流速になるように常時海水を還流し、定常流を発生させた。流速は電磁流速計（ACM-200；アレック電子製）によって計測し、試験水槽の水温はあらかじめ温度調整をおこなった海水（31～33psu）を常時供給することによって維持・調整した。

検定に使用した石膏柱は運動競技用ラインチョーク（日本白墨工業製）（以下石膏柱）である。石膏柱は実験前にあらかじめ湿重量計測（ W_{p0w} ）を行った後、実験水槽内の流速が安定している水路部分に2～3本設置した。なお、実験に用いる石膏柱の数本を無作為に抽出し乾燥処理し含水率（ M （%））を算出した。これによって使用する石膏柱の乾燥重量（ W_{p0d} ）を推定することが出来る（式（1））。なお、小松ら⁵⁾の方法では湿重量ベースで測定を行っているが、石膏柱表面の水分の吸い取り方によって誤差を生じやすかったため、乾燥重量による計測に改良した。

水槽内の石膏柱は流れの向きによる偏りを減じるために8～10時間後に180度回転させ、24時間後に水槽から回収した。回収した石膏柱はドライオーブンで乾燥処理し（110℃，24時間），乾燥重量（ W_{pd} ）を計測した。

石膏柱の減耗率 D_p は以下の式より算出した。

$$W_{p0d} = W_{p0w} \times \{(100 - M) / 100\} \quad (1)$$

$$D_p(\%) = (W_{p0d} - W_{pd}) / W_{p0d} \times 100 \quad (2)$$

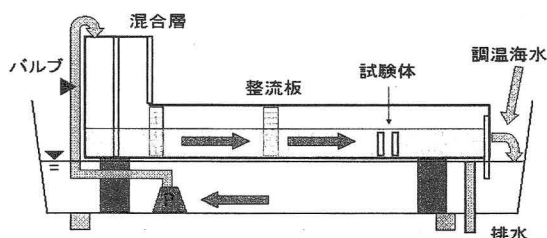


図-1 積算平均流速の検定に使用した実験水槽

(2) 結果

図-2に実験開始前後の石膏柱を示した。実験水槽水路内に設置した石膏柱は、時間の経過に伴って定常流によって溶解し、徐々にその体積が減少していった。また、同時に設置した複数の石膏柱の形状はほぼ均一であり、使用した石膏柱の品質的なバラツキの小ささを示している。

図-3に石膏柱の減耗率と平均流速値との関係を示した。石膏柱の減耗率は流速に比例して増加し、極めて良好な線形関係を示した。また、流速を一定にし、水温を変動させた場合、その減耗率は変動するものの、水温との間にも一定の関係を示した。石膏柱の溶解度は、海水温や塩分などによって大きく異なるとされている。しかし、塩分、流速、水温と石膏の減耗率との関係を予め把握し、現地での調査時に水温・塩分を計測していれば、実用上、石膏柱でも積算平均流速の推算が可能であることを示唆している。また、石膏の溶解速度は流れの質（振動流と定常流、乱れの有無）によっても異なるので、現地での流速検定が不可欠であることが指摘されているが⁷⁾、これらについての補正方法は見当らず、積算平均流速の絶対値を得るためには補正は避けられない。しかし、流れの場を全体像（相対値）を実測によって把握するには有効な手法であると言える。

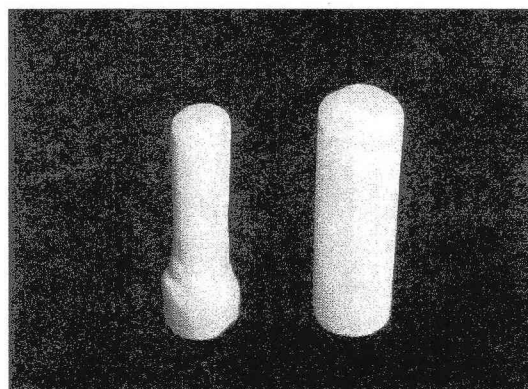


図-2 定常流によって減耗した石膏柱

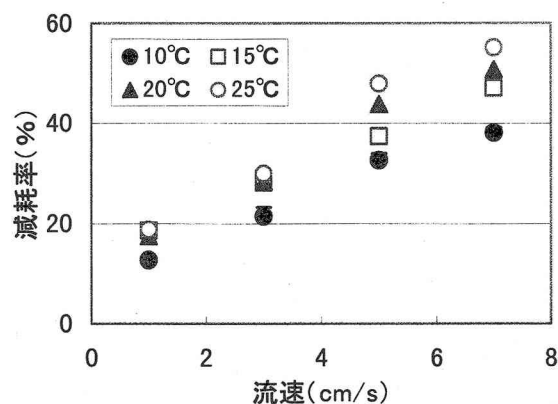


図-3 定常流による石膏柱の減耗率と流速との関係

3. 二枚貝類の生息に関する現地調査

(1) 調査方法

現地調査は横浜市野島海岸を対象に（図-4）、2000年12月～2001年2月の大潮の干潮時に実施した。

野島海岸は東京湾の西側に位置する金沢湾の奥部にある横浜市に残る唯一の自然海岸である。金沢湾には、野島海岸、人工海浜である海の公園の2つの砂浜があるが、アサリをはじめとした多くの生物が生息している。両海岸ともに春から秋にかけての休日には、多くの一般市民が集まる潮干狩り場となっているが、この海域ではアサリなどの放流は実施しておらず、再生産のみで貝類資源が維持されている注目すべき海域でもある^{8,9)}。

調査地点は干潟上に格子状に合計12地点を設け、各調査地点において底質特性、二枚貝を中心とした底生生物の定量採集、石膏柱による積算平均流速測定を行った。

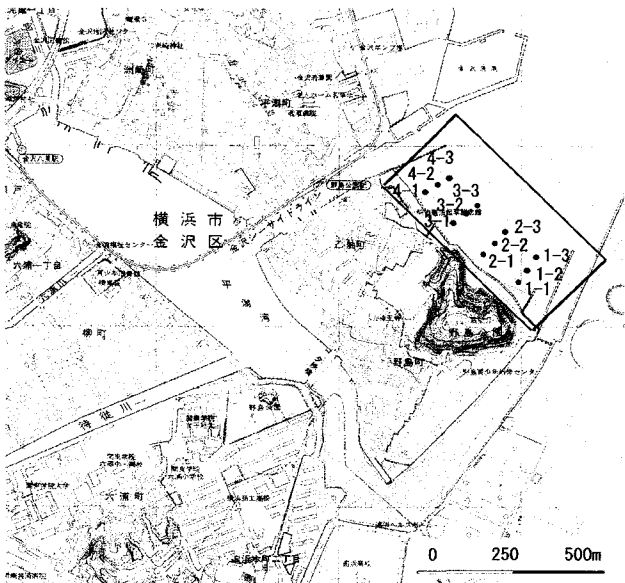


図-4 横浜・野島海岸における調査地点

底質特性を把握するために、最終調査時の2001年2月に酸化還元電位、強熱減量、中央粒径、シルト（74 μm 以下）含有率を測定した。酸化還元電位はポータブル型酸化還元電位計（TOA-HM50）を用いて電極を差し込むことによって表面付近、10cm下付近の2ヶ所を簡易的に測定した。底泥は表面から10cm前後をショベルによって採集し、実験室に持ち帰った。強熱減量は底泥試料を110℃で乾燥処理後に秤量し、その後、電気炉で550℃2時間強熱処理、放冷後に秤量し算出した。中央粒径、シルト含有率は底泥試料を乾燥処理後、篩い分け法により分析し、算出した。

底生生物の定量採集は、干潟表面に25cm四方の方形枠をおき、深さ15cmまでの枠内の底泥を採集し1mmメッシュでふるった。この操作を2回繰り返し、古い上に残った試料を10%ホルマリンで固定後、種の同定、個体数の計測および湿重量を測定した。なお、調査期間中は昼間の潮位が高く、砂浜内に立ち入ることができないため、底生生物の生息量に対する潮干狩りなどの人為的な影響を排除することができる。

石膏柱による積算平均流速測定は、前述の手法どおり、予め湿重量を計測しておいた石膏柱を各調査地点の砂中に下部を固定、設置した。24時間後に石膏柱を各調査地点より回収し、実験室に持ち帰った。その後、所定の処理を行い、石膏柱の減耗率から積算平均流速を換算した。また、同時にメモリー式電磁流速計（アレック電子製 COMPACT-EM）を同所に設置し、流速検定の結果から、積算平均流速の絶対値算出に必要な補正係数を求めた。そして、これと積算平均流速（換算値）の積により、積算平均流速（絶対値）を求めた。

(2) 調査結果

表-1に各調査地点の底質環境を示した。底質の還元状態を示す酸化還元電位は、北側の調査地点より南側の調査地点で低い傾向にあったが、いずれの地点でも+150mV以上の高い値を記録しており、ほぼ全域が好気状態であった。また、各調査地点の中央

表-1 各調査地点における底質環境

調査地点	酸化還元電位 (mV)		D ₅₀ (μm)	74 μm 以下 (%)	強熱減量 (%)
	表面直下	10cm下			
1-1	161	147	153	2.3	1.5
1-2	152	156	173	1.0	1.3
1-3	187	173	187	0.3	1.2
2-1	204	194	135	2.4	1.5
2-2	213	204	173	0.5	1.1
2-3	182	206	149	2.0	1.4
3-1	182	193	182	0.3	1.6
3-2	253	145	192	0.1	1.3
3-3	215	214	184	0.2	1.6
4-1	202	188	142	1.4	1.6
4-2	213	198	182	0.4	1.7
4-3	247	218	190	0.2	1.7

粒径 (D_{50}) は142~190 μm の範囲, シルト含有量は2.3%以下であった. 強熱減量は1.1~1.7%と全般的に低く, 底質環境としては概ね二枚貝の生息に支障をきたす条件ではなかった.

調査期間中, 横浜野島海岸において確認された二枚貝類は, アサリ *Ruditapes philippinarum*, シオフキ *Macra veneriformis*, バカガイ *Macra chinensis*, カガミガイ *Dosinia japonica*, マテガイ *Solen strictus*の5種であった. 特にアサリ, シオフキは調査期間における両種の平均現存量はそれぞれ46.0g/0.125 m^2 , 17.3g/0.125 m^2 を記録し, 他種よりも安定した生息量を示した (図-5). 図-6, 図-7に野島海岸におけるアサリとシオフキの平均現存量の平面分布をした. アサリ, シオフキともにほぼ潮間帯全域に生息していた. アサリは潮間帯中部から下部にかけて多く生息し, 現存量は海岸の南側で高い傾向にあった (最高値128g/0.125 m^2). これに対して, シオフキは潮間帯上部から中部にかけて多く生息していたが, 現存量は海岸中央部の汀線付近で大きい傾向にあった (最高値41g/0.125 m^2). また, 北側の潮間帯下部にあたる地点では, 両種をはじめとした二枚貝類は全く採集されなかった. 両種は砂浜において普遍的に見られる種類であるが, 平面的な分布を比較してみると分布状態は異なっている.

図-8に積算平均流速の換算値と実測値の比較, を示した. 換算値は実測値 (流速絶対値) に比べて低いものの強い相関性を有しており, 石膏柱の減耗率から積算平均流速を換算できることを示している. なお, 本図より換算のための補正係数は『2.856』と見積ることができる. 換算値が相対的に小さくなる理由として, 石膏柱による流速換算値が定常流によって算出されており, 実海域では発生している細かな底面軌道流速振幅や乱流状態, 流向の変化までを再現していないためで, これらを考慮した流速換算今後の課題である.

これらの結果をもとに, 図-9に調査期間中における野島海岸における積算平均流速 (絶対値の期間平均) の平面分布を示した. 積算平均流速は調査区域の中でも大きく変動し, およそ3倍の格差があった (最高17.4cm/s (調査地点4-3), 最低6.0cm/s

(調査地点1-2)). 平面分布は北側の潮間帯下部で大きく, 突堤のある南側で低い傾向を示しており, 波浪や海浜流による影響を北側ほど受けやすいことを示している.

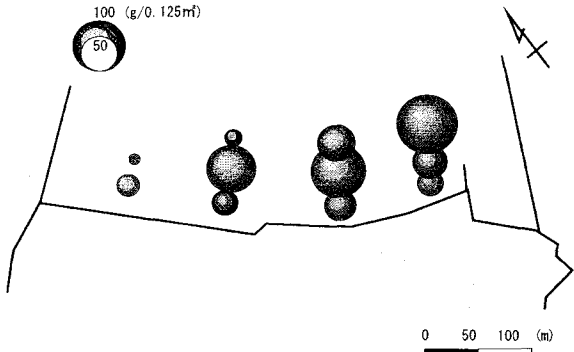


図-6 調査区域内におけるアサリ現存量の平面分布 (調査期間の平均値)

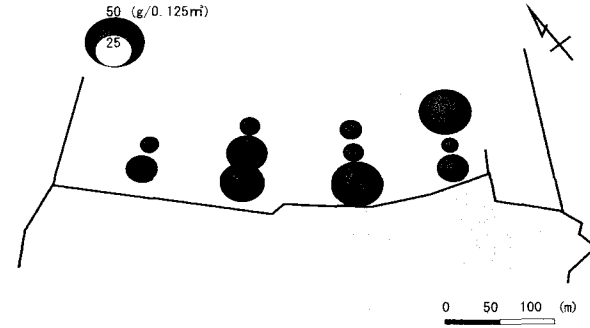


図-7 調査区域内におけるシオフキ現存量の平面分布 (調査期間の平均値)

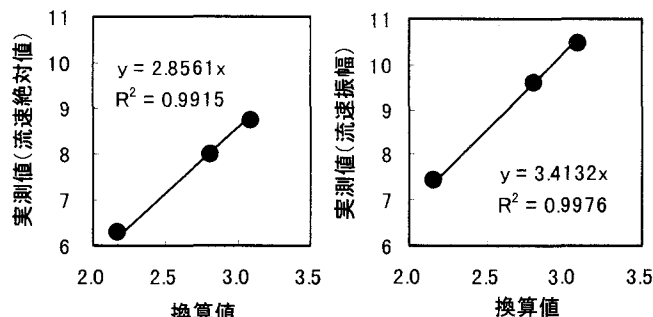


図-8 積算平均流速の換算値と実測値 (流速絶対値、流速振幅) との相関性

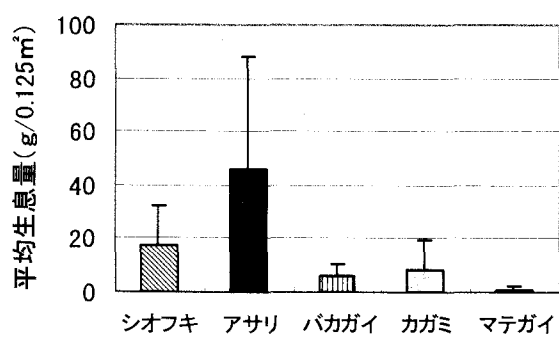


図-5 調査期間における二枚貝類の平均現存量 (全地点平均)

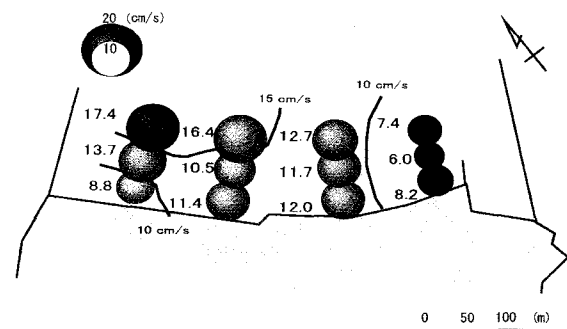


図-9 調査期間中における野島海岸における積算平均流速の平面分布 (平均値)

4. 数値解析による流れの場の推定

(1) 目的及び計算方法

対象海域のような浅海域では、波浪、海浜流、吹送流、潮流など様々な流れが存在している。そこで、上記の結果に表れた流れの強さが、主にどの流れに対応しているのかを明らかにするために、数値解析を行った。

数値モデルは、これらの流れを全て解析可能な DELFT3D(Flow及びWAVE)を使用した。金沢湾の波浪は、同湾内及び東京湾で生じた波浪が支配的であり、また稲垣ら¹⁰⁾の観測結果に見られるように吹送流が卓越している。そこで観測日の風向・風速データを整理し、卓越風であった北東風(風速:9.8m/s)の条件で、波浪及び吹送流の計算を行った。海浜流は、波浪解析の結果を用いて行い、さらに潮汐(湾口での潮位差1.8m)を加えた計算も行った。

(2) 計算結果及び考察

図-10に波浪解析から得られた干潮時の波の底面軌道流速振幅を示す。干潟の北側で流速振幅が大きく、最大0.2m/s程度となっている。これは実測された流速変動の二乗平均値に対応しており、空間分布及び流速絶対値もよく対応している。

一方、実測の積算平均流速に対応する流れの成分としては、海浜流、吹送流、潮流が考えられる。まず潮流については、計算結果からも干潟両側の水路で大きくなるが、干潟域では小さくなっていた。海浜流と吹送流については、海浜流の方が若干流速の絶対値が大きく最大で0.1m/s程度であった。図-11に干潮時の海浜流の計算結果を示す。計算結果は実測の空間分布及び流速平均値とよく対応している。吹送流については、その絶対値は0.1m/s以下程度で、沿岸方向には大きな変化はなかった。以上から、実測の積算平均流速に対応する流れは、海浜流と吹送流であり、特に空間分布特性は海浜流が影響していたものと考えられる。

以上から、石膏柱の減耗は、波浪による往復流と海浜流及び吹送流による平均流の両方によっていると考えられる。

5. 考察

今回、調査を実施した横浜・野島海岸では、アサリ、シオフキをはじめとした二枚貝生息が確認されたが、調査地点によってその生息量は異なった。表-2に示したように、各調査区地点における底質環境(泥分率・酸化還元電位)はほぼ均一であり、現存量との間に明確な関係はなく、底質が制限因子になるとは考えにくい。そこで、積算平均流速との関連を検討するために、平均流速とアサリおよびシオフキの生息密度との関係(図-12)を示した。両者の現存量は積算平均流速に対応し、アサリは6~13cm/s、シオフキは9~12cm/sに多く分布していた

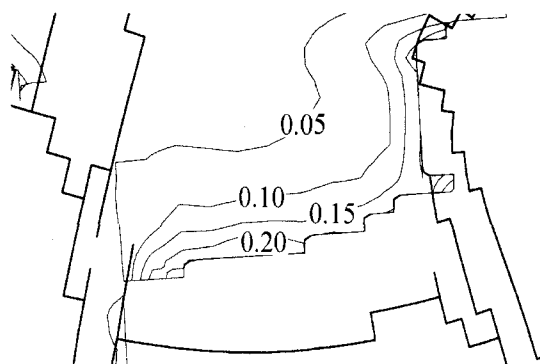


図-10 波の底面軌道流速振幅(干潮時)

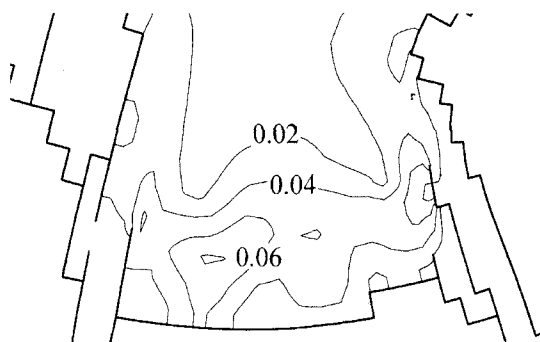


図-11 海浜流の流速絶対値(干潮時)

が、積算平均流速の大きい地点で低下し、流速値の最高18cm/sを示した地点では全く見られなかった。

図-10,11に示したように、二枚貝現存量が著しく低かった左側沖合地点は、沖合からの波浪による影響を受けやすい。今回得られた積算平均流速は、海浜流(波浪)、潮流などの多様な流れの積分値と考えられ、積算平均流速の大きい地点は常に海水流動が発生し、二枚貝の生息に欠かせない浮遊幼生の集積や着底、さらには底質の攪乱などにより二枚貝の生息が困難な環境にあることを示している。これに対して、海岸南側の調査地点では現存量が大きくなっており、以前の調査結果と一致していた¹⁾。これは突堤の影響を受け渦が発生することにより、アサリ浮遊幼生が集積しやすいことが現存量の大きさ

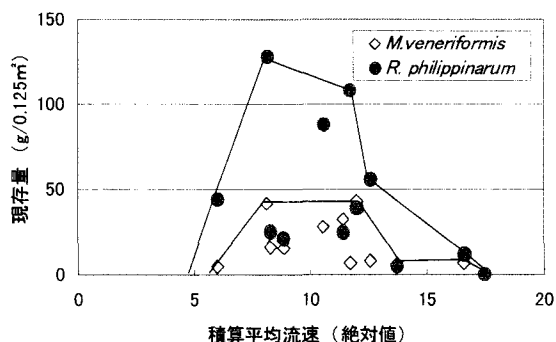


図-12 二枚貝2種(アサリ・シオフキ)現存量と積算平均流速(絶対値)との関係

につながっていると指摘している。さらに、石膏の減耗率は海浜変化と関連しているともされ¹⁰⁾、今回の調査によって流れによる著しい地形変化が発生しにくい地点であることも明らかになった。今回の調査において採集されたアサリの殻長は最小11mm、最大31mmであり、最も卓越していたのは20~30mmサイズ群であった。現存量の多い地点では10~20mmサイズ群も多く採集されており、浮遊幼生の着底はもとより餌の集積も起こるため稚貝が成長する条件も備えた良好な場所であることが示唆されている。これらの結果から、底質基盤の安定と浮遊幼生の集積といった二つの観点から南側調査地点の現存量の高さを説明することができる。

図-13に酸化還元電位と積算平均流速（換算値）の相関性を示した。積算平均流速（換算値）と酸化還元電位には正の相関が見られ、海浜流をはじめとした局所的な流れの状況が底質の状態に影響を及ぼしていると考えられる。調査が行われた野島海岸および平潟湾周辺におけるアサリの分布は底質の酸化還元電位によってその下限が規定されていることが明らかになっているが⁹⁾、逆に高い値を示した場合は波浪による攪乱を間接的にあらわしているとも考えられる。

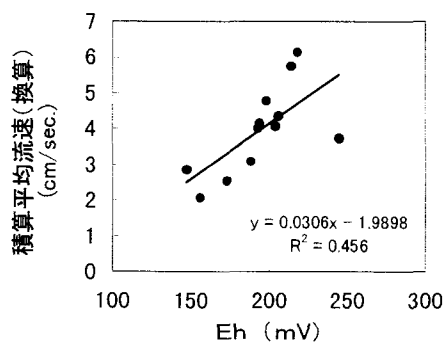


図-13 酸化還元電位と積算平均流速の相関性

今回の調査ではアサリのほかに数種の二枚貝類が確認され（図-5）、なかでもシオフキの現存量はアサリの約1/3あった。三番瀬や葛西臨海公園など東京湾奥部の干潟でもシオフキの現存量は多く、二枚貝全体の現存量、果たしている役割から見てもその存在は無視できない。しかし、アサリについてはその生理、生態に関する多くの知見が多く得られているが、シオフキについての知見は非常に少ない^{12,13,14)}。餌をめぐる競合種との観点から、流れと生息量との関連を見ても、両種とも13cm/s付近からその生息量が低下しており（図-12）、積算平均流速に対する反応は違いがないと判断できる。しかし、現存量で比較すれば、アサリが生態的に優位な位置にあるともいえる。その理由は未だ不明であるが、近年のアサリ漁獲減少の観点から見ても、生息して

いる場が競合しているシオフキとの関連については今後詳細な検討をしておく必要があるだろう。

この海域では干潟の微地形が形成され、冬季にはノリ養殖支柱柵が設置されるなど多様な流れの場がもたらされている。これらの複雑な流れによって、生物多様性や二枚貝の持続的な発生が確保されているとも考えられ、石膏柱による積算平均流速の計測は局所的な流れの評価に有効なツールとなりうるであろう。

参考文献

- 1) 新保裕美, 田中昌宏, 越川義功, 柵瀬信夫, 池谷毅: 現地調査によるアサリの生息量と環境要因との関係の検討—神奈川県金沢湾・平潟湾を対象として—, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.1216-1220, 1999.
- 2) 新保裕美, 田中昌宏, 池谷毅, 越川義功: アサリを対象とした生物生息地適性評価モデル, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.1111-1115, 2000.
- 3) Muus B. J.: A field method for measuring exposure by means of plaster balls. *Sarsia*, 34, pp.61-68, 1968.
- 4) Doty M. S.: Measurement of water movement in reference to benthic algal growth. *Botanica Marina*, 14, pp.32-35, 1971.
- 5) Komatsu, T. and Kawai, H.: Measurements of time-averaged intensity of water motion with plaster ball, *Journal of Oceanography*, 48, pp.353-365, 1992.
- 6) 川俣茂: 生物の生息環境としての流動とその調査方法, 月刊海洋, 第24巻, pp.492-497, 1992
- 7) Porter E. T., Sanford L. P., and Suttles S. E.: Gypsum dissolution is not a universal integrator of 'water motion'. *Limnol. Oceanography*, 45, pp.145-158, 2000.
- 8) 越川義功, 柵瀬信夫, 大槻晃: 横浜平潟湾における遮水壁撤去後のアサリの生息回復とその特性, 水産増殖, 47(4), pp.481-488, 1999.
- 9) 越川義功, 大槻晃, 萩原清司, 柵瀬信夫: 横浜平潟湾における遮水壁撤去による塩分、底質環境と底生生物相の変化, 環境科学会誌, 第13巻, pp.357-267, 2000.
- 10) 稲垣聡, 田中昌宏, 秋山真吾, 柵瀬信夫, 林文慶: 閉鎖性海域の流動・密度構造に関する現地観測—神奈川県金沢八景海域を対象として—, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.376-380, 1997.
- 11) 上月康則, 村上仁士, 伊藤禎彦, 米田耕造, 花房英明: 離岸堤背部に生じる海浜変化に伴うベントス群衆の変化特性, 海岸工学論文集, 第43巻, pp.1256-1260, 1996.
- 12) 田中彌太郎: 二枚貝類幼生の同定14, 海洋と生物, 3, pp.310-313, 1981.
- 13) Kasai, A. Horie, H and Sakamoto, W: Selection of food sources by *Ruditapes philippinarum* and *Macra veneriformis* (Bivalvia:Mollusca) determined from stable isotope analysis, *Fish.Sci.*, 70, pp11-20, 2004.
- 14) 環境庁国立環境研究所: 海域保全のための浅海域における物質循環と水質浄化に関する研究—平成8~10年度, 国立環境研究所特別研究報告, pp.1-47, 2000.