

特集 海生動物行動実験装置

垂直流を利用する水温・塩分反応行動水槽
- シキシマフクロアミ, チョウセンハマグリおよび
ヒラメが選好する水温・塩分について -

島 隆夫^{*1§}・恩地啓実^{*1}・横田瑞郎^{*1}

Multiple Vertical Parallel Flow Test Tank
- Temperature and Salinity Preference of *Alchaeomysis vulgaris*,
Meretrix lamarckii and *Paralichthys olivaceus* -

Takao Shima^{*1§}, Hiromitsu Onchi^{*1} and Mizurou Yokota^{*1}

要約: 水温, 塩分が異なる区画を水平に形成することができ, かつ試験槽内に生物の動きを妨げる障害が存在しない試験水槽の開発を行い, これを用いてシキシマフクロアミ, チョウセンハマグリおよびヒラメの水温・塩分に対する反応行動を検討した。シキシマフクロアミは26°C以上の水温を忌避するが, 低塩分に対しては明確な忌避行動を示さなかった。ヒラメは水温が29°Cを超えると低水温淡水域への選好性が強まることから, これらの生物の生息条件には塩分よりも水温の影響が大きいものと考えられた。チョウセンハマグリは14~26°Cの水温範囲では明確な反応行動を示さなかったが, 塩分が17になると移動距離が有意に増加したことから, チョウセンハマグリの生息条件には水温よりも塩分の影響が大きいものと考えられた。

キーワード: 水温・塩分反応行動水槽, 水温, 塩分, 忌避, シキシマフクロアミ, チョウセンハマグリ, ヒラメ

まえがき

底生生物の水温, 塩分に対する選好, 忌避等の反応行動を実験水槽を用いて検討する場合, 底生生物の2次元的な動きに対応し, 水槽内には水平に水温・塩分が異なる区画を設ける必要がある。しかし, 水温, 塩分が異なる水は比重差により成層化するため, このような設定は困難である。水平的に水温・塩分の異なる区画を設定できる既往の装置は, 水槽内に仕切り板を設けて比重差による水の移動が生じないようにするものがほとんどである (Fivizzani, 1978; Iwata *et al.*, 1986; 高橋, 1986)。しかし, 遊泳能力が乏しい, もしくは無

い生物にとっては, 仕切り板が移動を制限してしまう。そこで, 水温・塩分が異なる区画を水平に形成することができ, かつ実験槽内に生物の動きを妨げる障害が存在しないことを目標とし, 鉛直流または湧昇流を利用した2種類の水温・塩分反応行動実験水槽を開発した。鉛直流水温・塩分反応行動実験水槽は, 水温・塩分が異なる水を鉛直方向に流すことにより水平に水温・塩分の異なる区画を設定できる。湧昇流水温・塩分反応行動実験水槽は水槽底より砂の層を通して試験海水を流すことが可能であり, 砂中および砂面直上に生息する生物に対応している。本稿ではこれらの装置を用いて, シキシマフクロアミ *Alchaeomysis*

(2013年12月25日受付, 2014年2月17日受理)

*1 公益財団法人海洋生物環境研究所 中央研究所 (〒298-5105 千葉県夷隅郡御宿町岩和田300番地)

§ E-mail: shima@kaiseiken.or.jp

vulgaris とチョウセンハマグリ *Meretrix lamarckii* の水温・塩分反応行動および、ヒラメ *Paralichthys olivaceus* の高水温下での低水温淡水選好について検討した例について述べる。

各区画の多孔質チューブには定流量ポンプ (Master Flex, 7554) により海水が送られ、砂またはガラスビーズ (φ0.2mm, 深さ70mm) を経て砂面より湧出する。

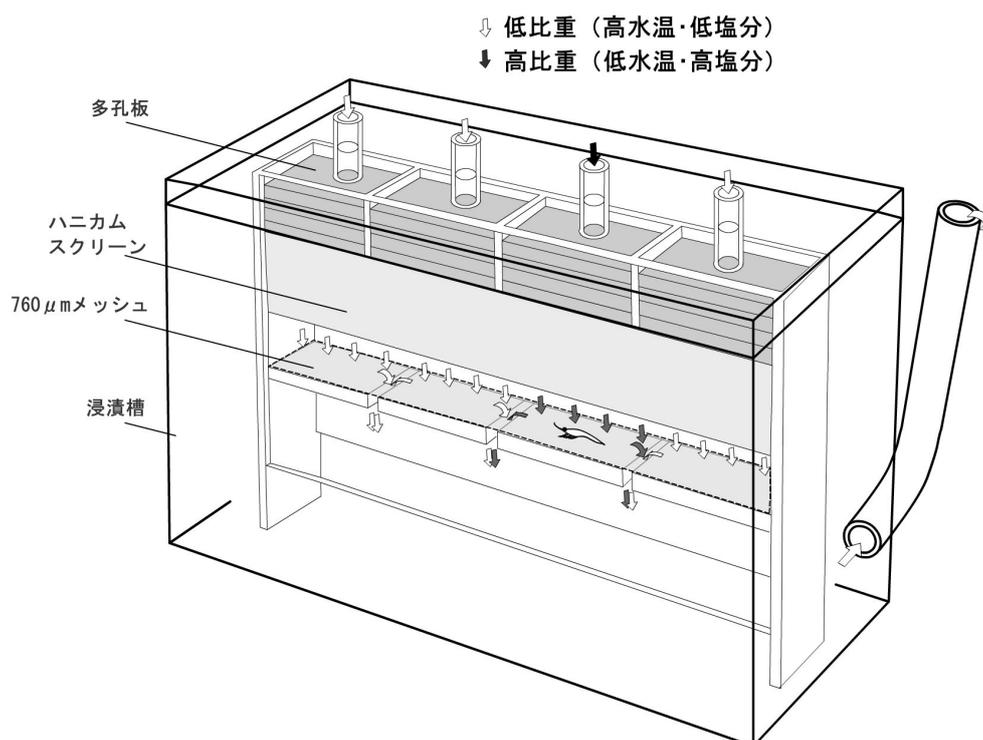
装置

方法

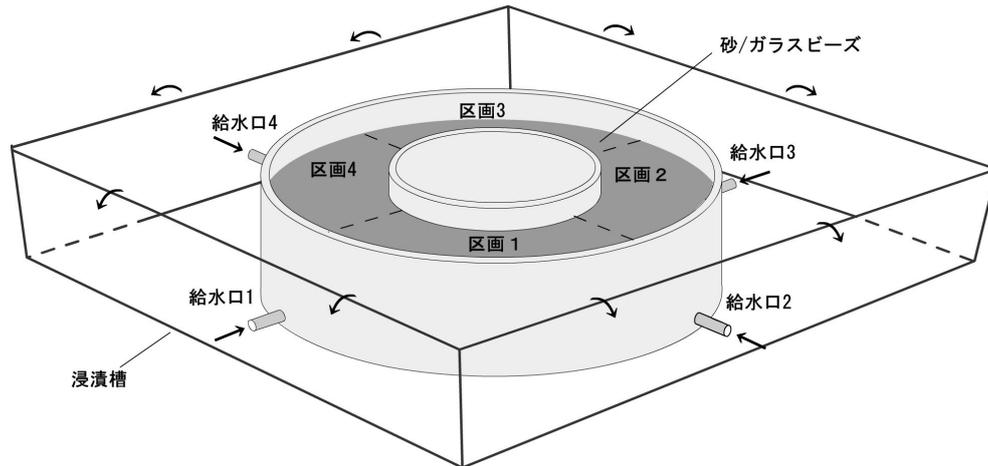
鉛直流水温・塩分反応行動実験水槽 実験水槽(アクリル製, 内寸150mm×200mm×10mm)は海水を満たした浸漬槽内に実験水槽上面に設けた4本の注水口のみが水面上に露出するように設置した(第1図)。それぞれの注水口より注入した水は3層の多孔板により幅3.5cmに拡散し、ハニカムスクリーンを経て試験チャンバー(150×10×10mm)内に流入する。流入した水は試験チャンバー底面の区画境界に設けたスリット(幅5mm)より浸漬槽内に排水される。これにより、試験チャンバー内には各注水口に対応した4区画が設定される。

鉛直流水温・塩分反応行動実験水槽 試験には千葉県いすみ市大原海水浴場において採取し、水温20℃, 塩分34の海水(以下, 基準海水)で飼育したシキシマフクロアミ(全長6.85±1.2mm)を用いた。4つの区画にそれぞれ基準海水を毎分0.1L注水した実験水槽に1個体を試験前日に収容した。試験は4つの区画が基準海水の状態から、連続した3区画を低塩分または高水温の海水に切り替え、端の1区画のみを基準海水となるようにし、その後は5分ごとに、基準海水の区画を隣に移動させ、他端の区画を基準海水にして5分経過した時点までの20分間を1セットの試験とした。この試験手順により、1セットの20分間は常に4区画中1区画が基準海水区で、他の3区画が低塩分または高水温区となるため、供試個体がまったく移動しない、またはランダムな遊泳をするなど、忌避行動が認められない場合に予想される飽和区出現頻度は25%である。塩分反応行動試験は塩分25.5,

湧昇流水温・塩分反応行動実験水槽 試験水槽は外径500mm, 内径300mm, 深さ150mmのドーナツ型であり、海水を満たした浸漬槽内に全体が水面下になるよう設置した(第2図)。試験水槽底面は高さ10mmの塩ビ板で4区画に区切られており、各区画の底面には多孔質チューブが敷設されてい



第1図 鉛直流水温・塩分反応行動実験水槽の概要。図中の矢印は流向を示す。



第2図 湧昇流水温・塩分反応行動実験水槽の概要。図中の矢印は流向を示す。

17.0, 8.5, 0の順に、水温反応行動試験では水温23, 26, 29, 32℃の順に行った。試験中の供試個体の動きは、実験水槽正面に設置したCCDカメラ（パナソニック、WV-GL920A）により撮影し、パーソナルコンピュータに動画ファイルとして記録した。行動解析は2次元動画像移動計測ソフトウェア（デジモ、Image Tracker PTV）により1/30秒毎に魚の物の位置座標を求め、1セット20分間の基準海水区滞在率を各水温・塩分段階で求めた。さらに、水温・塩分反応行動試験を行った水温・塩分段階における生残率もあわせて検討した。

湧昇流水温・塩分反応行動実験水槽

チョウセンハマグリの水温・塩分反応試験 試験には千葉県大網白里の砂浜で採取し、基準海水で飼育したチョウセンハマグリ（殻長37mm）を用いた。基準海水を各区画に毎分0.15L注水した実験水槽に、個体ナンバーを記した浮き標識を付けたチョウセンハマグリ20個体を4つの区画に5個体ずつ収容し、2日間馴致させた。試験1日目は向かい合う2つの区画を低塩分または水温が異なる海水に切り替え、24時間後に基準海水と低塩分または水温が異なる区画を入れ替えた。塩分反応行動試験は塩分25.5, 17.0, 8.5, 0, 水温反応行動試験は14, 17, 23, 26℃について検討した。

ヒラメの高水温下での低水温淡水選好 試験には（公財）海洋生物環境研究所中央研究所で採卵、育成されたヒラメ（全長55.8±4.0mm）を用いた。実験に先立ちヒラメは基準海水で飼育した。ヒラメは基準海水を各区画に毎分0.15L注水した実験

水槽に5尾収容し、1時間後に3区画を高水温海水区に、1区画を低水温淡水区（13℃、塩分0）とし、22時間観測を行った。高水温海水区は23, 26, 29, 32℃の場合についてそれぞれ5回の試験を行った。

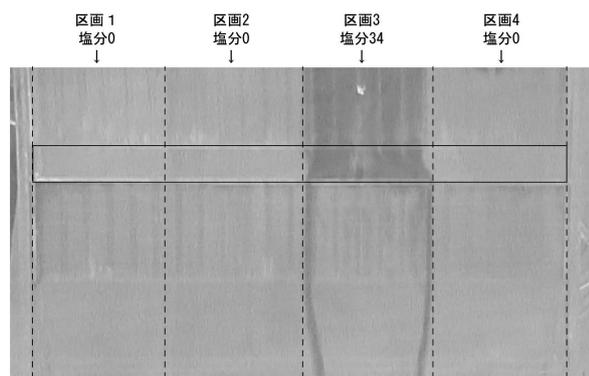
チョウセンハマグリおよびヒラメの行動はデジタルカメラ（キャノン、Eos Kiss X5）により5分ごとに間欠撮影を行い、2次元動画像移動計測ソフトウェア（デジモ、Image Tracker PTV）により得られた各個体の位置座標から低水温海水区滞在尾数を求めた。

結果

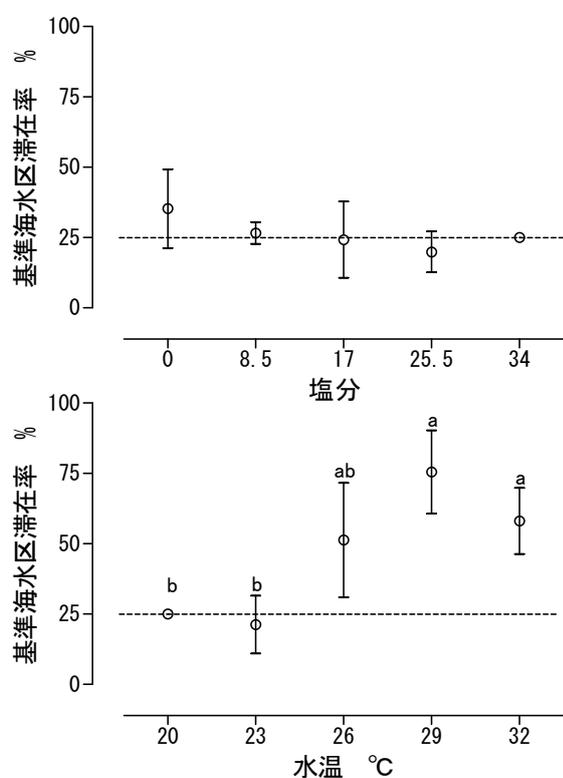
鉛直流水温・塩分反応行動実験水槽 実験水槽の3区画に淡水（塩分0）を、1区画に着色した基準海水（塩分34）をそれぞれ毎分0.1L注水した場合、鉛直方向に流れた基準海水は試験チャンバー底面に一旦溜まった後、区画両端のスリットより排水されており、隣り合う区画の水は境界で混じり合うことなく試験チャンバーを通過することが確認された（第3図）。

シキシマフクロアミは塩分25.5, 17.0, 8.5, 0の低塩分に対して明確な反応行動を示さなかったが、高水温に対しては26℃では基準海水区滞在率は増加する傾向があり、29, 32℃では20, 23℃の場合に比べ基準海水区滞在率は有意に高くなった（第4図）。シキシマフクロアミの生残率は高水温に対しては26℃以上で、低塩分に対しては塩分0で大きく低下した（第1表）。

湧昇流水温・塩分反応行動実験水槽 向かい合う



第3図 鉛直流水温・塩分反応行動実験水槽の水流。区画1, 2および4には淡水を、区画3にはインスタントコーヒーで着色した海水を流した。図中の矢印は流向を示す。破線は区画の境界を、実線で囲まれた範囲は試験チャンバーを示す。



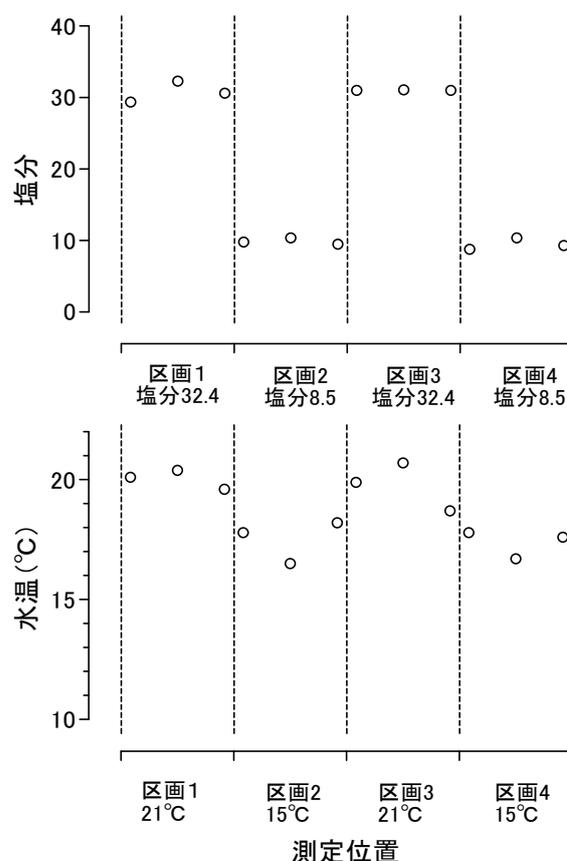
第4図 シキシマフクロアミの水温・塩分と基準海水区出現頻度の関係。平均±基準偏差 ($n=5$)。図中の破線は忌避行動が認められない場合に予想される水準(25%)。異なるアルファベットは統計的に有意な差があることを示す(一元配置分散分析, $P < 0.05$)。

2区画にそれぞれ、塩分が32.4および8.5の海水を1区画あたり毎分0.15L注水した場合、砂面における塩分は区画境界で明確に分離していたが、同様に、21°Cおよび15°Cの海水を注水した場合、区画境界付近では水温勾配が形成されていた(第5図)。

第1表 シキシマフクロアミの高水温、低塩分に対する生残率

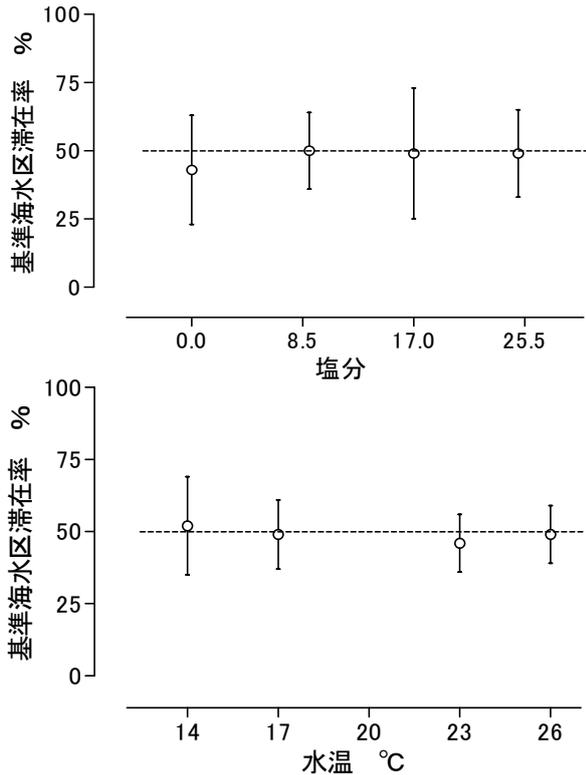
水温 (°C)	塩分	生残率 (%)		全長 (mm)
		12h	24h	
20	34	80	50	7.8±1.1
23	34	90	50	7.9±1.5
26	34	20	20	9.0±1.0
29	34	10	10	8.7±1.2
32	34	0	0	9.4±1.3
20	17		90	7.3±1.5
20	8.5		70	8.4±1.6
20	0		20	7.7±1.4

$n=10$

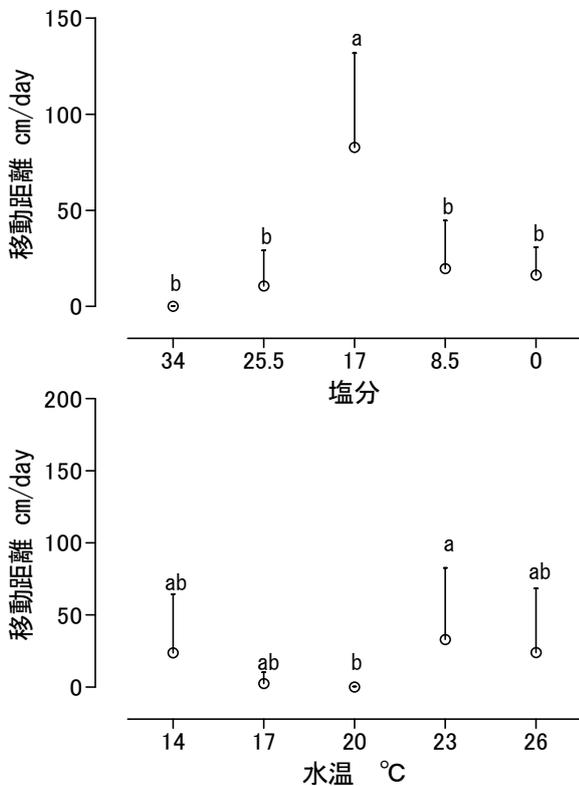


第5図 湧昇流水平水温・塩分反応行動実験水槽砂面直上における塩分および水温の分布。図中の破線は区画境界を示す。

チョウセンハマグリ水温・塩分反応試験 0~34の塩分および14~26°Cの水温におけるチョウセンハマグリの基準海水区滞在率は、いずれの水温・塩分においても供試個体が試験水槽内に均等に分布していた場合に予想される水準(50%)であった(第6図)。4区画とも基準海水(水温20°C, 塩分34)の場合、チョウセンハマグリはほとんど



第6図 チョウセンハマグリの水温・塩分と基準海水区出現頻度の関係。平均±基準偏差 ($n=5$)。図中の破線は忌避行動が認められない場合に予想される水準(50%)。



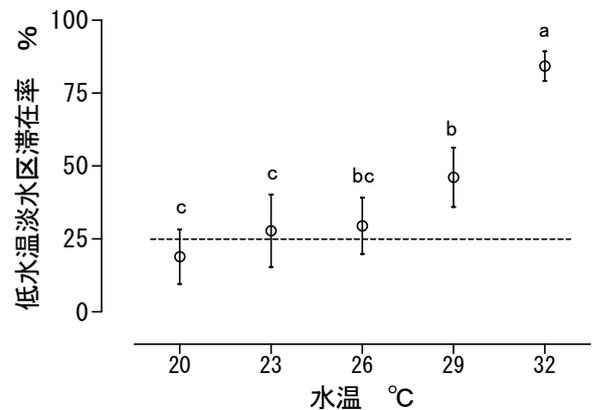
第7図 チョウセンハマグリの水温・塩分と移動距離の関係。平均±基準偏差 ($n=5$)。異なるアルファベットは統計的に有意な差があることを示す(一元配置分散分析, $P < 0.05$)。

移動しなかったが、塩分が17の試験における移動距離は他の濃度に比べ有意に高い値を示した(第7図)。

ヒラメの高水温下での低水温淡水選好 ヒラメの低水温淡水区滞在率は、海水温20~26°Cでは供試個体が実験水槽内に均等に分布していた場合に予想される水準(25%)程度であったが、29°C以上で低水温淡水区滞在率は上昇する傾向があり、32°Cではそれ以下の水温に比べ有意に高い値を示した(第8図)。

考 察

開発した鉛直流水温・塩分反応行動実験水槽は試験チャンバー内に水温・塩分の異なる物理的障壁の無い4つの区画を水平に設定できることが確認された。湧昇流水温・塩分反応行動実験水槽は、区画ごとに砂面における海水の塩分は明確に分離しており、海水は塩分が異なっても砂中で交じり合うことなく砂面まで達することが確認された。しかし、水温は区画境界付近では勾配が形成されており、これは、区画境界面では砂中を流れる水温の異なる海水間で熱伝導による熱交換がなされたためと考えられる。



第8図 ヒラメの水温と低水温海水区出現頻度の関係。平均±基準偏差 ($n=5$)。図中の破線は忌避行動が認められない場合に予想される水準(25%)。異なるアルファベットは統計的に有意な差があることを示す(一元配置分散分析, $P < 0.05$)。

本実験水槽を用いてシキシマフクロアミの水温・塩分反応試験を行った結果、26°C以上の水温を忌避しており、生残率が大きく低下する水温とよく一致している。これに対して、シキシマフクロアミは25.5~0の低塩分に明確な忌避行動を示さず、生残率は1/4海水（塩分8.5）まで大きく変動しなかった。これらのことから、シキシマフクロアミの生息条件には水温の影響が大きく、砂浜の破碎帯で起こりうる低塩分に対しては耐性を持つことが示唆された。ヒラメの場合も、水温が29°Cを超えると低水温淡水域への選好性が強まることから、シキシマフクロアミと同様に、生息条件には塩分よりも水温の影響が大きいものと考えられた。

近年海水温は上昇傾向にあり、中でも日本近海は上昇率の大きな地域の一つであり（IPCC, 2007）、沿岸生物への影響が懸念されている。一方、日本海砂浜では規模の大きい低水温の淡水湧昇が各所で確認されている（菅原, 2006）。本試験の結果はこうした海域に生息する低塩分耐性を持つ生物にとっては、淡水湧昇域が高水温環境からの逃避場として機能しうることを示唆している。

これに対して、チョウセンハマグリの場合では、低水温および高水温に対する明確な反応行動は認められなかったが、塩分が17になると移動距離は増大した。チョウセンハマグリは淡水の影響の強い河口域には生息せず（茂野, 1955）、生存限界塩分は7~15程度であることから（安永, 1980）、本種の塩分に対する移動距離の増加は好ましくない環境に対する反応行動と考えられる。本試験におけるチョウセンハマグリは移動する際に殻の一部、もしくは全体が砂上に露出することが観察された。開放性砂浜に住む二枚貝の分布には波浪による強制的な移動が強く関与しているとされている（日向野ら, 1993）。自力で移動する能力の低いチョウセンハマグリは環境が悪化した場合には、これを回避するために波浪による影響を受けやすい砂面近くへ移動し、受動的な移動を促進している可能性がある。

ここで紹介した2種類の水平水温・塩分反応行動実験水槽は、潜砂性の貝類や、底棲性魚類など、砂中や砂面直上に生息する生物を対象とした試験に有用であると考えられる。

謝 辞

本研究を実施するにあたり供試魚を飼育して頂いた（公財）海洋生物環境研究所中央研究所瀬戸熊卓見氏および吉野幸恵氏に感謝の意を表します。なお、本研究は水産庁より委託された平成21~23年度沿岸域環境診断手法開発事業として実施された成果の一部である。

引用文献

- Fivizzani, A.J. (1978). Modified Staaland device with automatic recording techniques for determining salinity preference in fish. *J. Fish. Res. Board Can.*, **35**, 910-912.
- 日向野純也・木元克則・安永義暢 (1993). 鹿島灘で観測された海底断面変化と砂浜性二枚貝の分布. 1. 1987年調査結果. *水工研技報*, **15**, 1-16.
- IPCC (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.* (eds. Solomon, S., Qin, D., Manning, M. Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor M., and Miller, H.L.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 1-996.
- Iwata, M., Ogura, H., Komatsu, S. and Suzuki, K. (1986). Loss of seawater preference in chum salmon (*Oncorhynchus keta*) fry retained in fresh water after migration season. *J. Exp. Zool.*, **240**, 369-376.
- 茂野邦彦 (1955). チョウセンハマグリの生態について. *日水誌*, **21**, 218-225.
- 菅原仁人 (2006). 秋田県象潟海岸域における地下水の湧出特性. *秋大地理*, **53**, 17-20.
- 高橋清孝 (1986). 各種濃度海水に対するシロサケ *Oncorhynchus keta* 稚魚の反応. *宮城水産研報*, **11**, 59-80.
- 安永義暢 (1980). 砂浜性二枚貝の移植時の減耗に関する基礎的考察. *日水研報告*, **No.31**, 73-85.