

固定床水路を用いたイシガイ科二枚貝の 移動限界流速測定実験

MOVEMENT LIMIT TACHOMETRY EXPERIMENT BETWEEN MUSSELS ON FIXED BED CHANNEL

辻本陽琢¹・林博徳²・島谷幸宏³・池松伸也⁴

Youtaku TSUJIMOTO, Hironori HAYASHI, Yukihiro SHIMATANI and Shinya IKEMATSU

¹学生会員 九州大学大学院工学府 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

²学生会員 工修 九州大学大学院工学府 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

³フェロー会員 工博 九州大学大学院工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

⁴正会員 九州大学大学院工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地)

From the sampling and survey work in Azamenose area, we found that there are three kinds of fresh water mussels. It was believed that, these mussels was transfer or brought by floods into this area. However, this presumption content be proved as the water flow, water fluctuation was not measured. In order to clarify the assumption of this process we performed a movement limit tachometry experiment for these mussels. From this experiment, the result showed that the *Anodonta* sp. can be transfer by a slow current velocity. The same result also exhibit by two other mussels *Unio douglasiae nipponensis* and *Lanceolaria grayana*. In addition *Anodonta* sp. showed a significant correlation between shell length and movement velocity limits. As a conclusion, we conclude that, the main factor that control the movement velocity are the form of the mussel.

Key Words: floodplain, nature restoration, fresh water mussels, movement limit tachometry experiment

1. 背景および目的

河川における氾濫原や湿地環境は多くの生物の生息・産卵場所となり、多様な生態系構成に多大に寄与している¹⁾。しかし、戦後の河川改修等の影響により、氾濫原環境は多くの地域で消失しているのが現状である。そのような中、1997年に河川法が改正、2001年には自然再生推進法が制定され、自然再生事業が全国で広く取り組み始めている。しかし、それらの事業は始まったばかりであり、今後、自然再生手法を科学的に検証する事が必要と考えられる。佐賀県松浦川中流域(図-1)に、国土交通省の自然再生事業によって、氾濫原、「アザメの瀬」(図-2)が再生されている。このアザメの瀬は河川の氾濫原湿地の自然再生と人と生物のふれあいの再生を目的とした約6haにおよぶ再生氾濫原湿地となっている²⁾。

再生が行われる前は水田として利用されていたが、松浦川本川との水理的連続性は確保されていなかった。しかし施工時に地盤を約5m掘削することにより、出水時には下流側からバックフローによって(図-3)、大量の氾濫流が流れ込む仕組みになっている。通常時は湿地内のクリークのみが松浦川本川と繋がっているが、洪水時には土砂や様々な生物を伴って湿地全体に氾濫流が流れ込み、多様な生態系を構成している³⁾。

アザメの瀬には淡水性二枚貝である、ドブガイ属の単一種もしくは複数種(*Anodonta* sp. or spp.) (図-4)、イシガイ(*Unio douglasiae nipponensis*) (図-5)、トンガリササノハガイ(*Lanceolaria grayana*) (図-6)が2200個体以上(うち98%がドブガイ類)生息していることが確認されている⁴⁾。ドブガイ属の単一種もしくは複数種についてマルドブガイ(*Anodonta calipygos*)とヌマガ

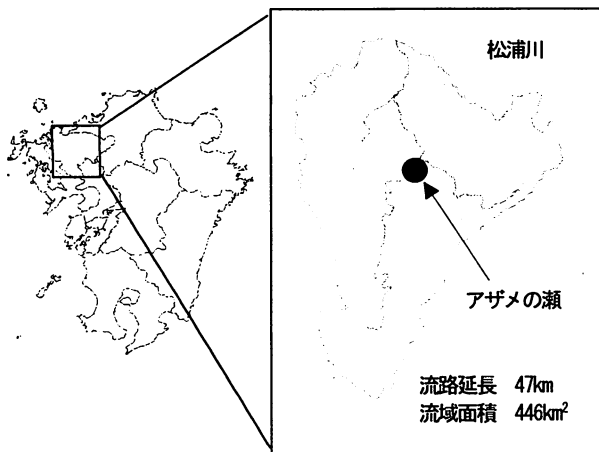


図-1 アザメの瀬位置



図-2 アザメの瀬全景

イ (*Anodonta lauta*) との分類が困難な個体が多数見られた。そのため、本論では固有の種名は使用せずに、ドブガイ類として報告する。

これらの淡水性二枚貝は、近年絶滅が危惧されているタナゴ亜科などの魚類の産卵基質となる^{9,10}ことや、優れた水質浄化能力を有している⁷ことから、河川やため池などの淡水水環境において非常に重要な種群とされている。しかしながら、河川に生息する淡水性二枚貝の大部分は、これまでの河川改修等に伴う生息場の消失により、生息数の減少が指摘されており⁸、淡水生態系の悪化が懸念されている。さらに、このような背景を受け、氾濫原環境の保全・再生の取り組みが全国で広くなされてきたものの、生物が定着することが出来ず、再生に失敗した事例も多い。この現状に対し、根岸ら⁹は淡水性二枚貝や魚類の生息環境の保全を考えた場合、淡水性二枚貝の好適生息環境条件や生態的機能等を明らかにすることが必要であると指摘している。また、アザメの瀬のような人工的に再生された氾濫原に、遊泳力を持たない淡水性二枚貝が侵入・定着するメカニズムに関しては既往の研究がな

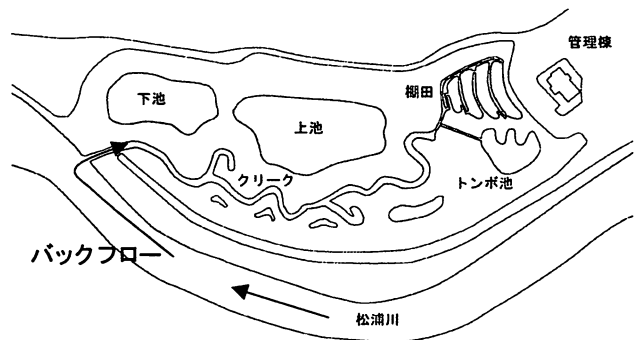


図-3 アザメの瀬平面図

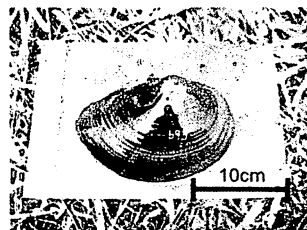


図-4 ドブガイ

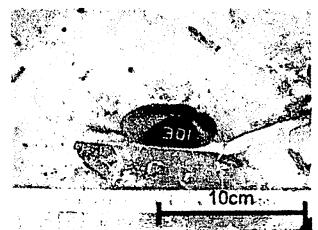


図-5 イシガイ

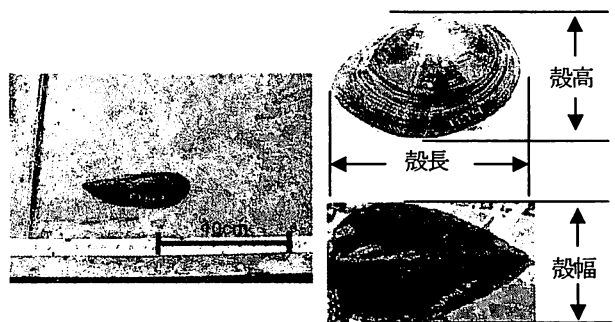


図-6 トンガリササノハガイ 図-7 サンプルの測定部位

く、それらを明らかにすることは今後の氾濫減再生事業を推進するにあたり、有用な情報になると考えられる。アザメの瀬で生息が確認されている二枚貝は、既往の研究により、成貝が流水によって松浦川本川から流入してきた可能性が示唆されている¹⁰が、その流水中における二枚貝の挙動については全く明らかになっていない。

一方で海水産の二枚貝を対象とした、流水状況下の挙動に関する研究は過去に広く取り組まれている。例えば山下ら¹¹は海水産二枚貝の振動流場における挙動を調べ、二枚貝の形状と貝の移動開始後の挙動について明らかにしている。さらに辻本ら¹²は移動限界シールズ数と球状率から、振動流場での二枚貝の挙動に差異が生じることを実験的に明らかにしている。

しかし、既往の研究で対象とされている二枚貝は本研究で対象としている二枚貝と比較すると、小型の種に限られており、また本研究で対象とする二枚貝が生息するような単一方向流れ場における研究は見られない。

単一方向流れ場における、二枚貝の移動挙動に関しては、大きく分けて静止位置からの流れ出し、流れに伴う浮遊、流速の低下に伴う着底が考えられる。本研究ではその中でも、最初の現象である流れ出しに着目した。本研究は、単一方向流れ場における移動限界流速測定実験を実施し、流れ出し時の挙動について明らかにすることを目的とする。

2. 実験装置および方法

(1) 研究対象とした種

研究対象とした二枚貝は、アザメの瀬で生息が確認されたドブガイ類、イシガイ、トンガリササノハガイの三種とした。実験で使用するサンプルは各種 20 個体ずつアザメの瀬および松浦川本川において採集した。また、この際殻長サイズに偏りが生じないように配慮した。

採集したサンプルは、ノギスを用いて殻長、殻高、殻幅(図-7)を 0.01cm まで測定後、電子はかりを用いて湿重量を測定し、メスシリンダーによって体積の計測を行った。その結果を表-1 に示す。なお、実験終了後はサンプルを速やかに元の生息場所に戻した。

(2) 実験方法

a) 設置方向の決定

実験に用いた三種の二枚貝は、殻形態が左右上下方向に均一ではないため、実験の初期設置方向が異なると、流れ出し時の挙動も異なることが予想される。そのため、初期設置方向を決定するための仮実験を行った。

設置方向は、A: 二枚貝の開口部を下流側に向けた場合、B: 開口部を上流側に向けた場合、C: 後縁を上流側に向けた場合、D: 後縁を下流側に向けた場合の 4 パターンが考えられた(図-8)。これらの 4 パターンを対象に、移動限界流速をそれぞれ求め、移動限界流速が最も大きかった設置方向をその種における初期設置方向とした。その結果、ドブガイ類は A の設置方向で、イシガイおよびトンガリササノハガイは D の設置方向で移動限界流速測定を行うこととなった。

b) 移動限界流速測定方法

実験は、高さ 30cm、幅 30cm、長さ 10m の長方形断面水路を用いて行った(図-9)。水路の両壁は亚克力板によって固定し、水路底には全面にベニヤ板を設置した。測定はサンプル 1 個体ずつ行った。サンプルの設置位置は水路の流心部とし、設置方向は a) で定めた方向に従った。

測定は、サンプル全体が水中に浸かるまで水深を上昇させ、流れを定常状態にしてから行った。その後流速を徐々に増加させ、サンプルが移動を開始した時点の流速を移動限界流速として測定した。

表-1 サンプルの体調測定結果(平均値)

	ドブガイ	イシガイ	トンガリ ササノハガイ
殻長(cm)	13.31	4.00	8.05
殻高(cm)	8.58	1.95	2.43
殻幅(cm)	5.73	1.37	1.45
湿重量(g)	246.30	6.80	20.55
体積(cm ³)	218.75	4.59	13.01
比重	1.15	1.52	1.58

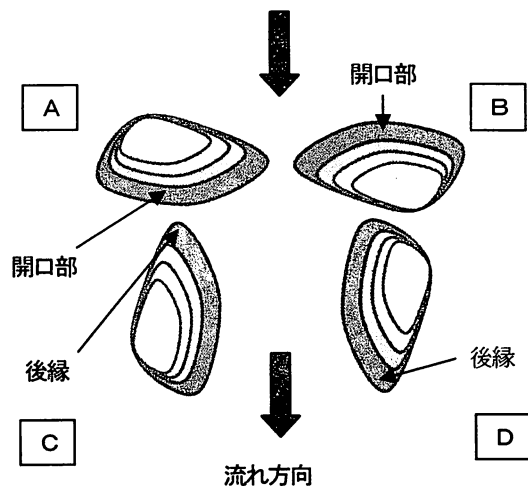


図-8 仮実験における設置方向

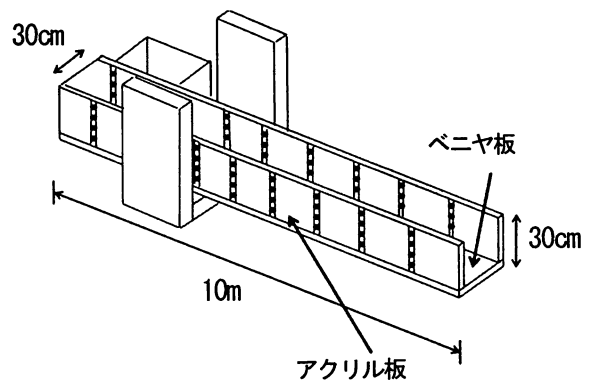


図-9 装置の概念図

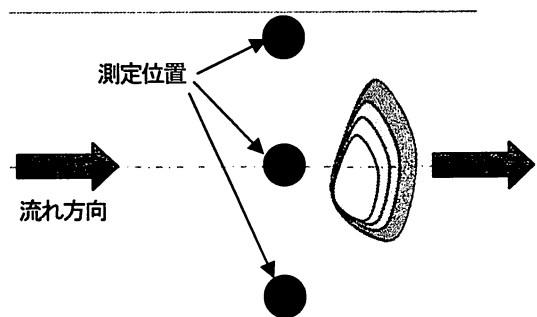


図-10 流速測定位置

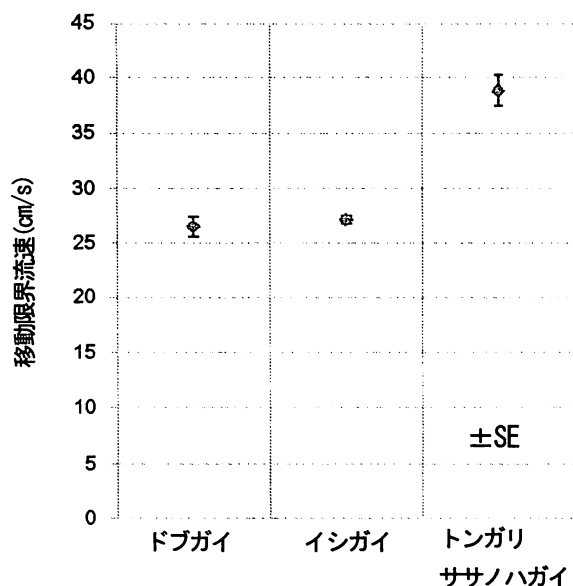


図-11 種類別移動限界流速の比較

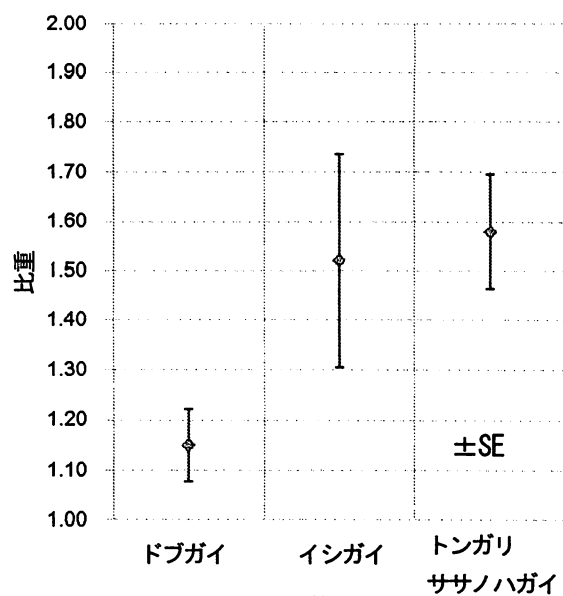


図-12 種類別比重の比較

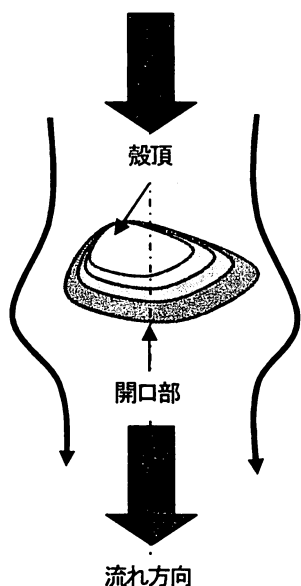


図-13 ドブガイの設置方向

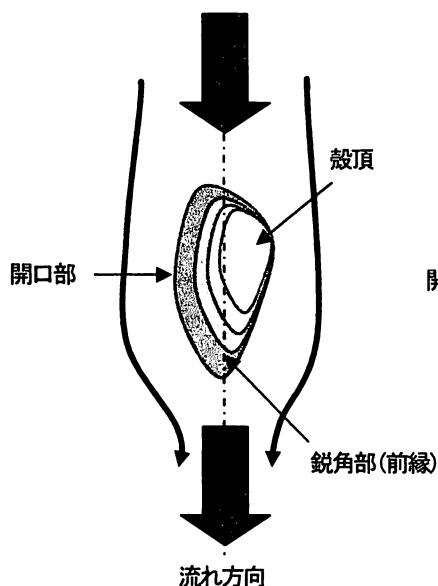


図-14 イシガイの設置方向

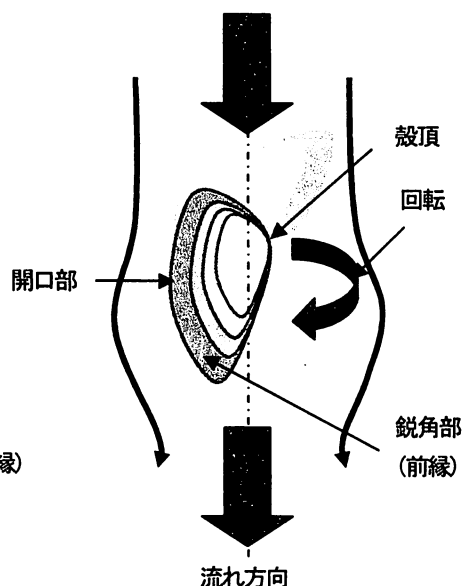


図-15 トンガリササノハガイの挙動の様子

流速測定器具は、超小型プロペラ流速計 SV-3 (篠塚製作所) を用いた。流速測定地点は二枚貝設置個所の直上流とした。本実験は種間や同一種内の個体サイズの大小による移動限界流速の測定を行うことを目的としているので、実験におけるその他の諸条件を統一する必要があった。そこで、移動限界流速の鉛直方向の測定位置は六割水深で統一した。なお、本装置では流速は水面に対して鉛直方向に大きな差は見られなかった。横断方向については 3 地点 (流心、右岸、左岸) で測定し、これら 3 地点の平均流速をその個体の移動限界流速とした (図-10)。実験の結果より、種類別の移動限界速度の比較および同一種間における個体間の比較を行った。また、移動開始時の貝の挙動についても、各サンプルで確認した。

3. 実験結果および考察

(1) 異種間の比較

a) 移動限界流速

図-11 に実験の結果を示す。ドブガイ類の平均移動限界流速が最も小さく 26.48 cm/s、次いでイシガイの平均移動限界流速が 27.13cm/s、トンガリササノハガイの平均移動限界流速が 38.85cm/s という結果となった。イシガイ-トンガリササノハガイ間 (t 検定, $p < 0.001$) とドブガイ-トンガリササノハガイ間 (t 検定, $p < 0.001$) に有意な差が認められた。またドブガイ-イシガイ間については有意な差は認められなかった。この結果よりドブガイ類やイシガイ類に比べて、トンガリササノハガイは流れの影響を受けにくいと考えられる。

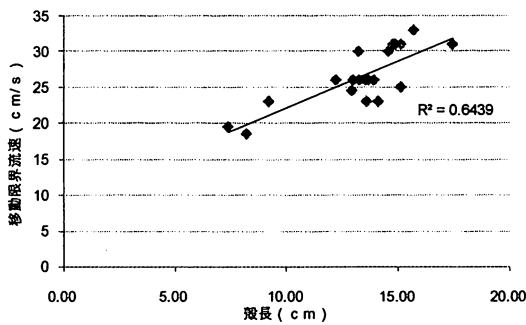


図-16 殻長—移動限界流速関係

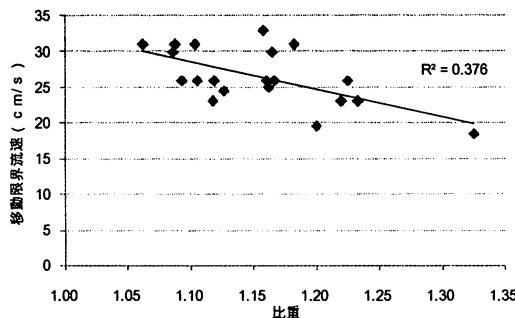


図-17 比重—移動限界流速関係

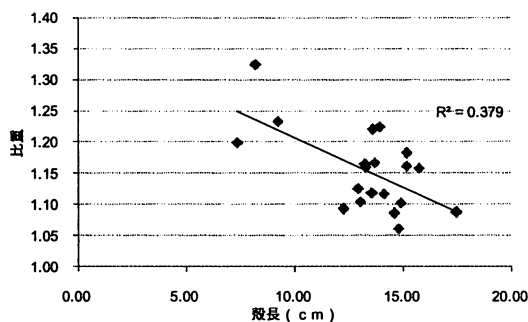


図-18 殻長—比重関係

図-12 は 3 種の二枚貝の種類別の比重を示したグラフである。比重の大小関係は、移動限界流速と同様にドブガイ<イシガイ<トンガリササノハガイとなった。またドブガイ・イシガイ間 (t 検定, $p<0.001$) とドブガイ・トンガリササノハガイ間 (t 検定, $p<0.001$) に優位な差が認められた。イシガイ・トンガリササノハガイ間には有意な差は認められなかった。

b) 流れ出し時の挙動

実験時におけるサンプルの挙動開始の様子は、ドブガイ類では開口部を下流側に向けた状態 (図-13)、イシガイは貝殻の後縁 (鋭角部) を下流側に向けた状態 (図-14) が最も安定し、移動開始時も設置方向の状態のまま移動した。これに対し、トンガリササノハガイは初期の設置方向に関係なく、全ての個体が流れを受けると即座に回転し、必ず後縁を下流側に向け、流れに対して安定を保った (図-15)。流れがある状況下でこのような挙動を示す要因として、殻の形状に加えて比重が大きいため、トンガリササノハガイは移動限界流速が大きくなっていると考

えられる。小川や用水路など、比較的流れのある環境に生息することが知られている¹³⁾同種は、流れのある環境に適した生態を有していると考えられる。

(2) 同種間の比較

3 種の二枚貝の比較において、最も遅い流速で流れたドブガイ類に着目し、その殻長—移動限界流速関係を図-16 に示す。図-16 より殻長が大きな個体ほど、移動限界流速が大きく、殻長の小さな個体ほど移動限界流速が小さくなっていることが見て取れる。実験に用いたサンプルの中では、最も小さい殻長 7.3cm の個体が 19.5cm/s、最も大きい殻長 17.46cm の個体が 31cm/s であった。また、殻長—移動限界流速間の関係には有意な相関が見られた ($P<0.0001$, $R^2=0.6439$)。これに対し、図-17 に示したドブガイ類の比重—移動限界流速の関係は比重が大きくなるほど、移動限界流速が小さくなっていることが読み取れる。比重—移動限界流速関係は相関関係があるものの、殻長—移動限界流速関係と比較すると弱い (P 値 <0.01 , $R^2=0.376$)。

図-18 はドブガイ類の殻長—比重関係を示している。この図より、殻長が大きな個体ほど比重が小さくなる傾向が読み取れる。この殻長—比重関係は相関があるが、弱い結果となった (P 値 <0.01 , $R^2=0.379$)。

以上の結果より、ドブガイ類における移動限界流速は比重よりも形状による影響が大きい。また、殻長が大きくなるほど、移動限界流速も大きくなるということが明らかとなった。

(3) ドブガイ類のシールズ数

シールズ数 ϕ は以下のように求める¹⁰⁾。シールズ数 ϕ の定義は二枚貝を押し流そうとする力 F_e とそれに対する抵抗抗力 F_f の比であり、以下の式 (1) で示される。

$$\phi = F_e / F_f \quad (1)$$

物体に作用する外力 F_e およびそれに抵抗する力 F_f は以下の式 (2) (3) で示される。

$$F_e = \frac{1}{2} C_D \rho_w A u^2 + (1 + C_M) m \frac{du}{dt} \quad (2)$$

$$F_f = (\rho_s - 1) \rho_w g V \quad (3)$$

ここに、

m : 貝が排除した流体の質量

A : 貝の体積を球に換算した時のその投影面積

ρ_w : 水の単位体積重量

C_D : 抗力係数

C_M : 付加質量係数

u : 水粒子速度

ρ_s : 貝の密度

V : 貝の体積
を表す。

ここで、山下ら¹⁴⁾は投影面積 A を貝の体積を球に換算した時の投影面積としていることから、本論でもこれを引用した。また、式 (2) における du/dt の項に関しては、水路の流速を変化させた後、十分に時間が経過し、定常状態になったことを確認したのちに移動限界流速を測定したため、時間的な流速変化はないものとみなし、 $du/dt \approx 0$ とした。抗力係数 C_D は山下ら¹⁴⁾が振動場における二枚貝の抗力係数 C_D は $C_D \approx 1.0$ で近似できることを明らかにしている。これらより求められるドブガイ類の平均シールズ数 ϕ は $\phi = 0.58$ となる。すなわち式 (1) より、ドブガイ類は固定床上では、個体の水中重量力の約 58% の外力が作用することにより、移動を開始するということが判断された。山下ら¹⁴⁾は海水産二枚貝の移動限界シールズ数として、ウバガイ 0.46, アサリ 0.34, を算出している。本研究の実験結果と比較すると、ドブガイ類は $\phi = 0.58$ であることから、振動流場に生息する海水産二枚貝に比べ、単一方向流れに生息するドブガイ類の方が移動しにくいということが明らかとなった。

4. 結論

本研究では、再生氾濫原であるアザメの瀬に生息が確認されている淡水二枚貝 3 種を対象に、単一方向流れ場における移動限界流速測定実験を実施し、その流れ出し時の挙動について明らかにした。本研究により得られた知見は以下のとおりである。

- ・ 移動限界流速は、ドブガイ類が最も小さく (26.5 cm/s)、次いでイシガイ (27.1cm/s) となり、トンガリササノハガイがもっとも大きかった (38.9cm/s)。
- ・ 本稿で比較した淡水二枚貝 3 種のなかでは、ドブガイが最も流れの影響を受けやすく、トンガリササノハガイが最も流れの影響を受けにくい。
- ・ トンガリササノハガイは流れの影響下では、常に後縁 (鋭角部) を下流側に向け安定保つという特性を有している。
- ・ ドブガイ類の殻長と移動限界流速には有意な相関があり、殻長が大きくなるほど移動限界流速は大きくなる (流されにくくなる)。
- ・ ドブガイ類の移動限界流速に対する影響は比重よりも殻形状が大きい。

本研究により、河川に生息する淡水性二枚貝の移動開始時における挙動の一部が明らかとなった。河川における氾濫原再生事業を展開するにあたり、生物が定着・侵入しやすい生息環境を保全するためには、その一つの条件として、河川内における淡水性二枚貝の挙動を明らかにすることが必要である。本研究は得られた結果に加え、水理モデル等を用いることによって、二枚貝の挙動を捉

えることにより、今後の氾濫原再生に有意な知見になると考えられる。

謝辞：本研究は (財) クリタ水・環境科学振興財団の助成を得て実施しています。

また、大阪教育大学の近藤高貴先生には、イシガイ類二枚貝について生態や同定の方法など多大なご指導を賜りました。ここに改めて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 例えば, HALYK L. C. & BALON E. K : Structure and ecological production of fish taxocene of small floodplain system: Canadian Journal of Zoology 61(11) pp2446-2464, 1983
- 2) 島谷幸宏：河川の自然再生～松浦川アザメの瀬を対象に～, 2003
- 3) 例えば, 西廣淳：アザメの瀬における植生復元への土壌シードバンク利用可能性の評価：東京大学農学生命科学研究科, アザメの瀬研究報告会, 2005
- 4) 辻本陽琢, 林博徳, 島谷幸宏, 河口洋一：再生氾濫原における二枚貝の生息状況に関する研究：土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp253-254, 2008
- 5) 近藤高貴：日本産イシガイ類図鑑改訂版：大阪教育大学, 2007
- 6) 増田修, 内山りゅう：日本産淡水海類図鑑 (2) 汽水域を含む全国の淡水貝類, 株式会社ピーシーズ, pp180-183, 2004
- 7) 千葉信夫, 西村修, 土田茂：淡水二枚貝のろ水速度について：土木学会第 56 回年次学術講演会講演集, pp114-115, 2001
- 8) Kondo T : Freshwater mollusks in peril : Venus 53, 156-158, 1994
- 9) 根岸淳二郎, 萱場祐一, 塚原幸治, 三輪芳明：イシガイ目二枚貝の生態学的研究：現状と今後の課題：日本生態学会誌, 58, pp37-50, 2008
- 10) 林博徳, 辻本陽琢, 島谷幸宏, 河口洋一：再生氾濫原におけるドブガイ属の生態と侵入システムに関する事例研究：水工学論文集, 第 53 巻, pp1141-1146, 2009
- 11) 山下俊彦, 山本明, 和田彰, 明田定満, 谷野賢二：振動流場での固定床上の二枚貝の移動機構：海岸工学論文集, 第 43 巻, pp1071-1075, 1996
- 12) 辻本剛三, 時譲太：二枚貝の岸沖分布と移動限界に関する実験的検討：日本水産工学会 学術講演会, pp11-14, 1997
- 13) 近藤高貴：日本産イシガイ目貝類図譜：日本貝類学会特別出版物第 3 号, pp27-28, 2008
- 14) 山下俊彦, 和田彰, 松岡学, 谷野賢二, 明田定満：振動流場での二枚貝の挙動に関する実験的研究：海岸工学論文集, 第 42 巻, pp506-510, 1995

(2009. 4. 9 受付)