

木曾川感潮域における汽水性二枚貝による生態系サービスの定量評価

ESTIMATION OF ECOSYSTEM SERVICE BY BRACKISH BIVALVE IN THE KISO RIVER TIDAL REACH

古畑寿¹・大野好範²・田代喬³・椿涼太⁴・辻本哲郎⁵

Hisashi FURUHATA, Yoshinori, OHNO, Takashi TASHIRO, Ryota TSUBAKI
and Tetsuro TSUJIMOTO

¹学生会員 修(工) 名古屋大学大学院博士後期課程 工学研究科社会基盤工学専攻
(〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

²非会員 学(工) 東京建物株式会社 都市開発事業本部商業施設事業部
(〒103-0028 東京都中央区八重洲一丁目9番9号)

³正会員 博(工) 名古屋大学大学院助教 工学研究科社会基盤工学専攻

⁴正会員 博(工) 名古屋大学大学院研究員 工学研究科社会基盤工学専攻

⁵フェロー 工博 名古屋大学大学院教授 工学研究科社会基盤工学専攻

The purpose of this study is to evaluate ecosystem service by brackish bivalve in the Kiso river tidal reach. The ecosystem service is provided by water purification with filter feeding behavior of the brackish bivalve (*Corbicula japonica*). Field observations were performed to clarify the habitat condition of bivalves in each embayment of the Kiso river tidal reach. We built the numerical growth model of *Corbicula japonica* with these results, and the growth rate by calculation using the growth model conformed with the growth rate which we analyzed the annual ring of bivalves. We estimated the ecosystem service using the growth model. In the result, it was indicated that the ecosystem service due to feeding behavior of the brackish bivalve reduce the annual nitrogen load from river upstream by 10.7 %.

Key Words : ecosystem service, *Corbicula japonica*, Kiso river, tidal river, growth model

1. はじめに

河川感潮域は潮汐の影響により周期的な水位変動が生じる場であり、河口付近では淡水と海水が混合する。このような汽水域といわれる海水の影響を受ける領域にはこの環境に適応した汽水性の生物が生息している。汽水性の生物の中でもわが国の汽水域(河口域や汽水湖)の底質中に優占的に生息しているものとして汽水性二枚貝のヤマトシジミ(*Corbicula japonica*)が挙げられる。このヤマトシジミは重要な水産資源であるとともに、懸濁有機物をろ過摂食するという水質浄化能を有することが認識されており、また、それらを漁獲することがシジミにストックされた栄養塩を系外へ除去することになる¹⁾。例えばヤマトシジミの産地として知られる宍道湖や小川原湖ではヤマトシジミが物質循環に対して影響を与えていることが明らかとなっている^{3), 4)}。本研究ではこ

のようなヤマトシジミによる水質浄化能を河川感潮域の水質調節・浄化という生態系サービス⁵⁾として、定量評価することを目的とする。河川感潮域は河口・沿岸域に近く陸域からの負荷が集まるほか、上流での取水や河川改修の影響を受けることもあり、それらの影響を評価する上でもヤマトシジミという代表的な汽水性二枚貝の河川生態系に対して果たしている役割を評価することは重要である。

研究対象地はヤマトシジミの代表的な産地である木曾川の感潮域とした。感潮区間は河口から26km地点の木曾川大堰までで、塩水遡上の影響を受けるのは20km付近までである。ここには明治期に治水・利水のために河口から12~25km区間に大規模な水制群(図-1)がつくられ、現在そこに土砂が堆積することで入り江状の止水域(ワンド)、干潟のように冠水と干出を繰り返す砂州といった多様な水辺環境が発達している⁶⁾。これらに加えて常時冠水している主流路(滞筋)といった場により河道内

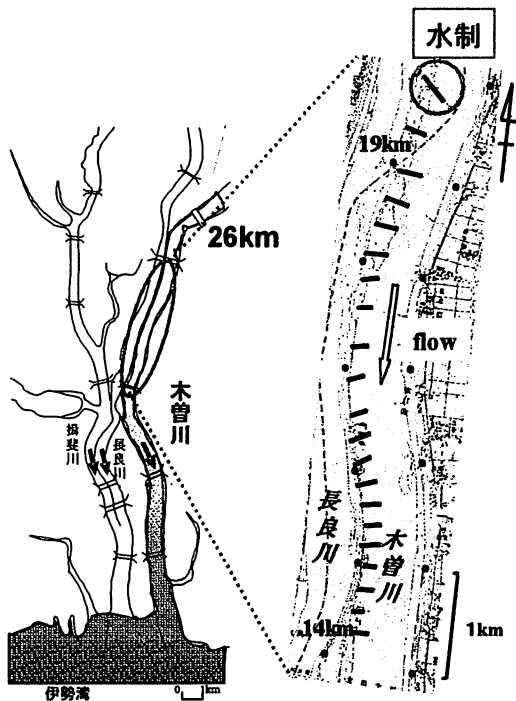


図-1 木曾川感潮域

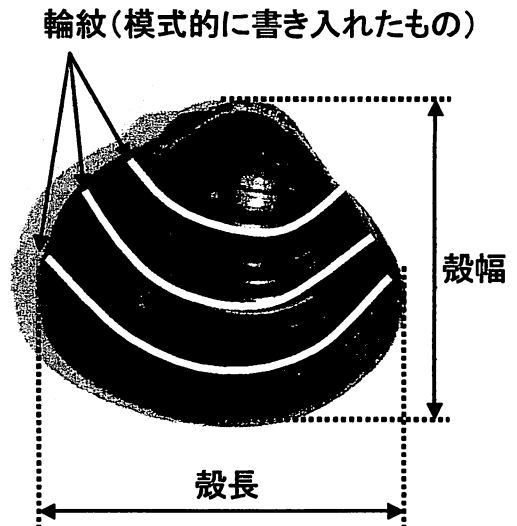


図-2 ヤマトシジミ

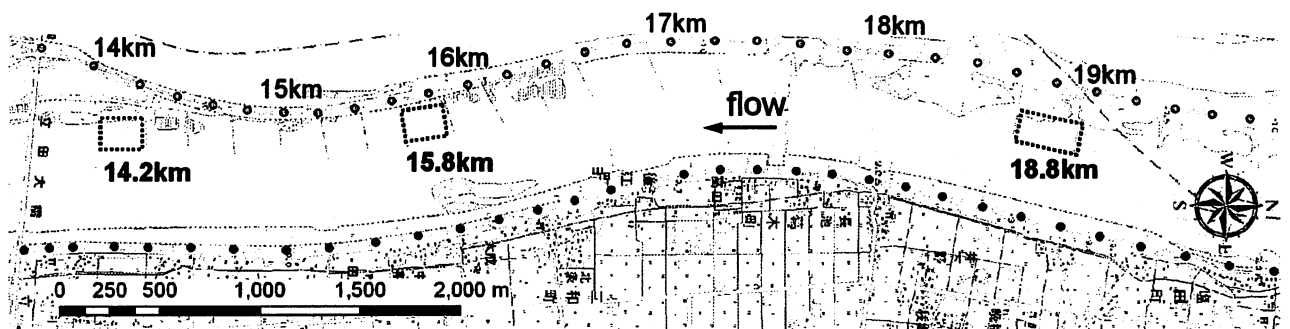


図-3 木曾川感潮域の水制群と調査場所

は構成されている。このうち、滞筋におけるヤマトシジミの生息分布^{7), 8)}、代表一断面におけるワンド内の砂州と河岸砂州における横断的な生息分布⁹⁾については知見が得られているが、縦断方向に多様な景観を呈するワンド群における分布特性については不明である。そこで本研究では、生態系サービス評価の基礎情報となる生息分布について、縦断方向の複数のワンドにおけるヤマトシジミの生息分布を現地調査により明らかにする。そしてそこに生息するヤマトシジミの個体群構成を調べ、成長速度を推定する。最後にその結果を参照しながら成長モデルを構築し、水質浄化能を計算することで生態系サービスの定量評価を行う。

2. 現地調査

研究対象としている木曾川水制群区間におけるヤマトシジミ (図-2) の生息分布を把握するため、2007年12月4日、12月19日、2008年1月11日において現地調査を行った。調査地点は図-3に示した3箇所のワンド (河口から

14.2km, 15.8km, 18.8km地点) である。

現地調査では、干出しにくい河床高が低い場所を選び、14.2km地点で20箇所、15.8km地点で20箇所、18.8km地点で24箇所の調査点をGPSによりメッシュ状に定め、ゴムボート上からエクマンバージ採泥器 (採泥面積: 15cm×15cm=225cm²、深さ3cm程度) を用いて底質を採取した。持ち帰った底質サンプルは、まず1mmの標準ふるい通過分を除いて、ベントスを採取した。その中から貝類を選別し、13段階 (1.0, 1.7, 2.8, 4.0, 5.6, 6.7, 8.0, 9.5, 11.2, 13.2, 16.0, 19.0, 22.4mm) の標準ふるいによりサイズ分類を行った。ふるいの径から殻長への変換はふるい目が正方形であることから各ふるい目間の中央値に $\sqrt{2}$ を掛け、その値がふるい目を通じたシジミの殻幅に等しいものとして、これに殻長/殻幅比を乗じることで殻長とした。また、ふるいごとにシジミの個体数を計数して湿重量の計測を行った。残された堆積物については粒度試験 (JIS A 1204)、約750°Cで熱して強熱減量試験 (JIS A 1226) を行った。

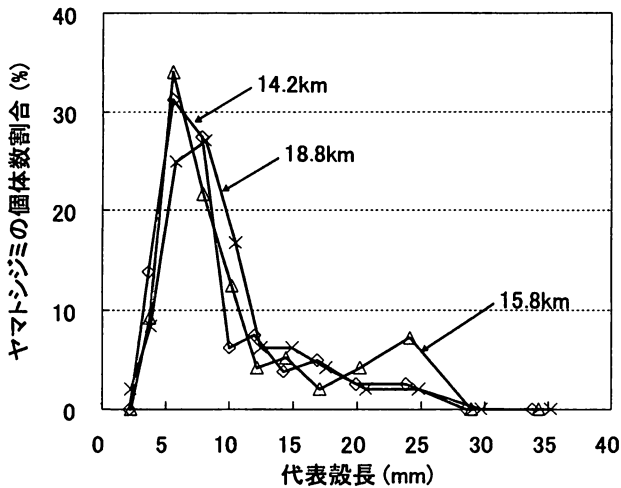


図-4 各ワンドのヤマトシジミの全個体数に対する割合

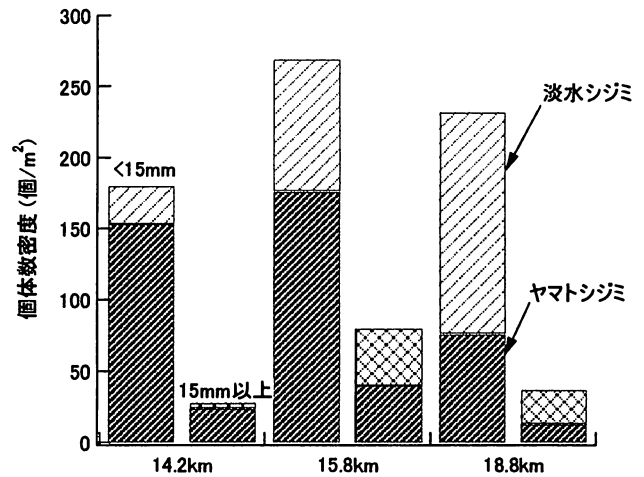


図-5 各ワンドのシジミ類の個体数密度

3. ヤマトシジミの生息分布

各ワンドのヤマトシジミの個体群構成を把握するために全個体数に対する割合を図-4に示す。この図をみると殻長25mm程度の比較的大型の個体数割合が15.8kmのワンドで多いことを除けば、殻長が6mm付近の個体数割合が高いという傾向がどのワンドでも認められ、14.2kmから18.8kmという4.6kmという縦断方向の位置の違いにより個体群構成に大きな違いは生じていないものと考えられる。しかし、実際に採取した貝には殻の色が茶褐色および黒色を呈しているヤマトシジミ以外に黄色を呈した淡水性のマシジミ (*Corbicula leana*) と思われる貝が採取された。また、近年各地の河川ではこのマシジミと見た目がよく似ており、区別が難しい外来種であるタイワンシジミ (*Corbicula fluminea*) の生息が確認されている¹⁰⁾。木曾川においてもこの2種のシジミが混在している可能性があるため、ここではこれらを合わせて淡水シジミと呼ぶことにし、汽水性のヤマトシジミと区別する。

ヤマトシジミとともに淡水シジミの個体数密度を図-5に示す。ここでは殻長については比較しやすくするため、成熟個体とみなしうる殻長15mm^{11), 12)}で分けて示した。この図より上流側のワンドほど淡水シジミの個体数が多くなっていることがわかり、特に18.8kmではヤマトシジミより淡水シジミの個体数が多くなっている。このような分布の違いは河川感潮域におけるヤマトシジミの生息場の保全を考える上で重要であり、塩水遡上の影響の違いによりこのような分布の違いが生じていることが示唆される。

4. ヤマトシジミの成長モデル

(1) 輪紋の分析による成長速度の推定

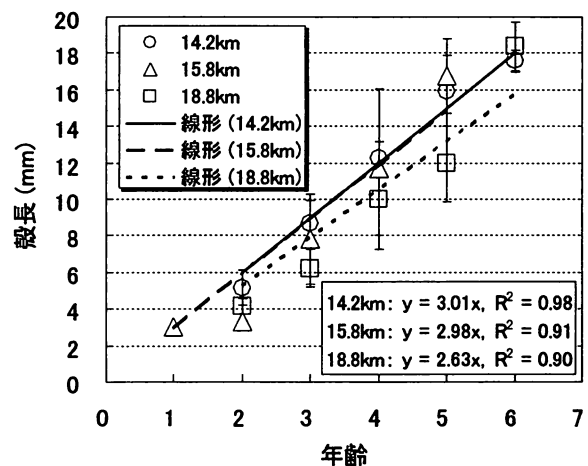


図-6 各ワンドのヤマトシジミの成長速度

ヤマトシジミによる水質浄化量は、成長に伴って変化する採餌量に依存しているため、成長速度の評価は重要である。しかし、成長に伴い採餌量は変化するため、成長モデルによる成長の解析が必要となる。そこで、その基礎資料となる成長速度を実測するために輪紋に着目した。輪紋とは水温が低下する冬季に形成される段差上の輪である^{12), 13)} (図-2)。輪紋の見やすさは個体によって異なるという問題点はあるが、その本数から各個体の年齢を推定することができる^{13), 14)}。

輪紋の分析は各ワンドにおいて輪紋が見やすいサンプルを10個以上選んで行った。分析は川島らの方法¹³⁾を参考に、まず輪紋を見やすくするために各個体を水酸化ナトリウム水溶液(蒸留水500mlと水酸化ナトリウム30gを混合)に3日間浸し、殻皮を取り除いた。その後、顕微鏡と光ファイバー照明装置を使用して輪紋の本数の計数と殻長、殻幅、湿重量の計測を行った。

輪紋の分析結果を図-6に示す。各ワンドとも線形回帰したところ大きな違いはみられず、回帰式の傾きを成長速度とすると1年で3mm程度成長することがわかる。図-4

表-1 成長モデルのパラメータ (L: 殻長 (mm), fdw: fresh dry weight)

項目	記号	単位	設定値	文献
湿重量	W	g	$0.0004 \times L^{2.9}$	本研究
軟体部乾燥重量/湿重量比	-	-	0.035	中村 ¹⁸⁾
軟体部炭素含有量	-	(乾重比)	0.109	窒素含有量×C/Nで算出
軟体部窒素含有量	-	(乾重比)	0.0145	島根県水産試験場 ¹⁹⁾
軟体部C/N比	-	-	7.5	中村ら ¹⁵⁾
排泄物のC/N比	-	-	0.7	中村 ¹⁸⁾
最大濾水速度	f_{max}	l/fdw-g/h	6.0	実験値 ¹⁾ を参考に仮定
同化率	A	-	0.0143	実験値 ²⁰⁾ より算出
代謝の最小水温	T_{min}	°C	0	実験値 ¹⁾ を参考に仮定
代謝の最大水温	T_{max}	°C	40	実験値 ¹⁾ を参考に仮定
温度の影響関数の指数	b	-	1.5	実験値 ¹⁾ を参考に仮定
植物プランクトンのC/Chl.a比	-	-	34.5	中田 ²¹⁾
植物プランクトンのN/Chl.a比	-	-	5.3	中田 ²¹⁾

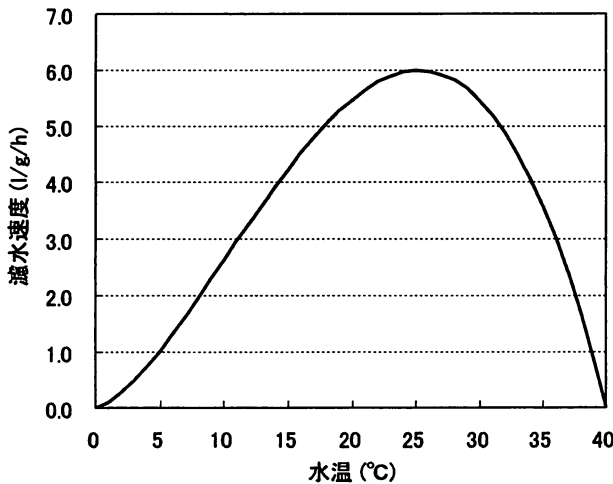


図-7 濾水速度

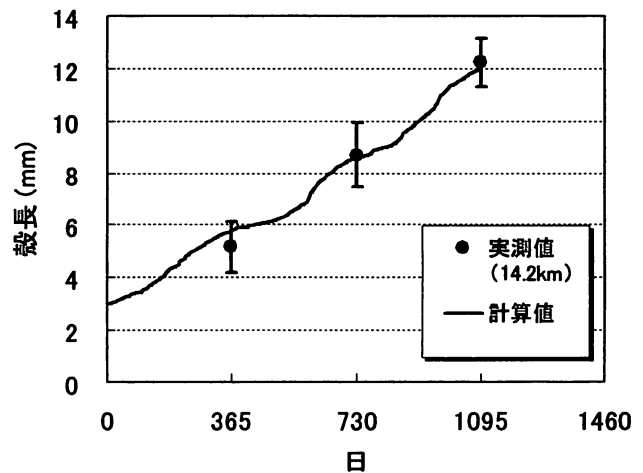


図-8 成長曲線

に示した個体群構成にワンド間の違いが生じていないことから示唆されるように成長速度にも明確な違いはみられなかった。しかし、上流に向かうほどわずかに成長速度が小さくなっていること、上流側ほど淡水シジミの個体数が多いことから、上流の18.8kmのワンドでは、汽水性のシジミと淡水性のシジミで生息場が競合していることが推察される。

(2) 成長モデルの構築

ヤマトシジミによる水質浄化能という生態系サービスを定量化するにあたり、成長過程を考慮することで精度の向上が望める。そこで、ここでは成長モデルを構築する。これまでヤマトシジミの成長モデルを用いた解析は行われているが^{15), 16), 17)}、濾水速度に比べて呼吸や排泄

に関するパラメータにはいまだ不明な点が多い。そこで、本研究では濾水速度については中村ら¹⁵⁾と同様に水温応答を考慮したモデル化を行うことにし、それに同化率を乗じることで成長を表現する簡単なモデルを構築することにする。本モデルで計算される濾水速度の例を図-7に示す。以下に採餌速度、成長速度を表す式を示す。

$$F = f_{max} \cdot \theta \cdot 4(1 - \theta) \cdot C_p \cdot B \quad (1)$$

$$\theta = \left(\frac{T - T_{min}}{T_{max} - T_{min}} \right)^b \quad (2)$$

$$\frac{dB}{dt} = A \cdot F \quad (3)$$

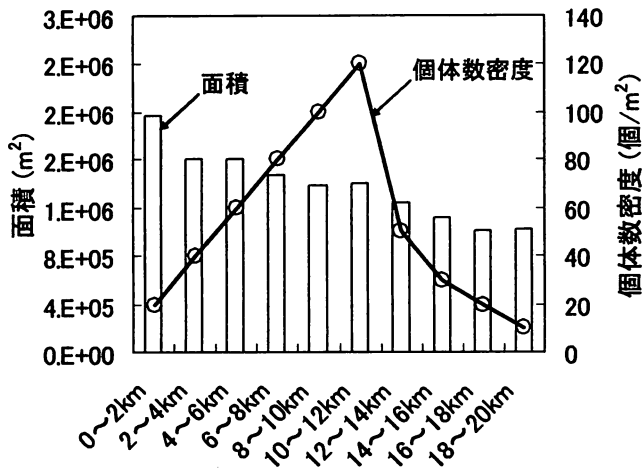


図-9 各領域の面積と殻長20mmのヤマトシジミの個体数密度

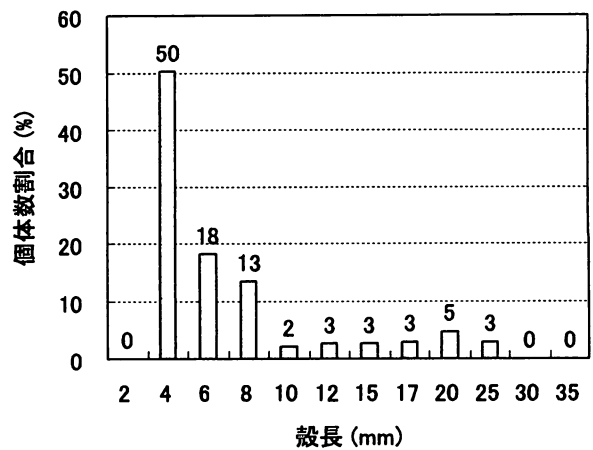


図-10 計算で与えたヤマトシジミの個体群構成

ここに、 F :採餌速度 (mgC/day), B :ヤマトシジミの軟体部乾燥重量 (mgC), C_p :植物プランクトン濃度 ($\mu\text{g/l}$), θ :水温応答を表す関数, T :水温 ($^{\circ}\text{C}$)である。上記以外のパラメータを表-1に示す。実際の計算では単位はmg, l, dayに変換し, シジミの成長については炭素収支で表し, 水質浄化能は植物プランクトン中の窒素の取り込み量として定量化している。

次にモデルの妥当性を確認するために前述の輪紋解析の結果との整合性について検討する。計算は殻長3mmのシジミを対象として3年間成長解析を行う。水温と植物プランクトン濃度は河口から8.7km地点の弥富水質観測所の2005年1月から2007年12月までの観測値を用いる。計算結果を図-8に示す。この結果をみると成長が春から夏にかけて進み, 冬季は停滞するという特徴があらわれており, この結果は宇藤¹²⁾が網走湖産のヤマトシジミの成長特性について輪紋を元に検討し, 成長は主に春から夏になされ, 冬期間は停滞するという結果に一致することから本モデルは妥当であると考えられる。

5. 生態系サービスの定量評価

ここでは上流からの負荷に対するヤマトシジミによる窒素の減少量を定量化することにより生態系サービスの定量評価を行う。対象領域は河口から20kmまでとし, 2kmごとに10個の領域に分ける。各領域の面積および計算で与える殻長20mmのヤマトシジミの個体数密度を図-9に示す。この20mmの個体数密度を図-10に示すヤマトシジミの個体群構成に当てはめ, 各領域のヤマトシジミの現存量とした。なお, これらのヤマトシジミの個体数密度および個体群構成は今回の現地調査および既往の調査結果^{7), 8), 9)}を参考に与えている。水温と植物プランクトン濃度は前述の弥富における2004年の観測値を与える。計算期間は一年とする。

計算のフローと結果を図-11に示す。なお, ヤマトシ

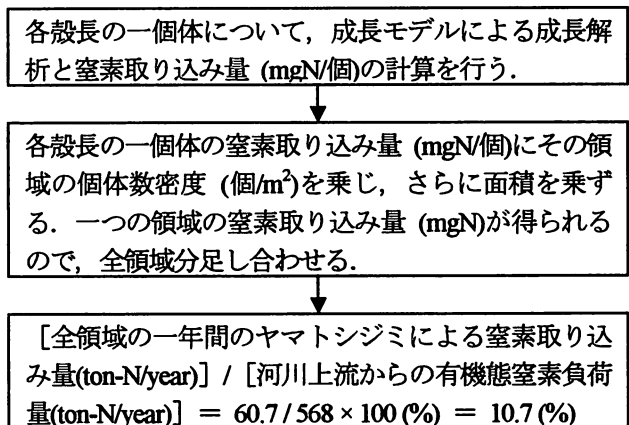


図-11 計算のフローと結果

ジミによる窒素の取り込み量という生態系サービスを評価するにあたり, 河川上流からの一年間分の負荷:流量 $120(\text{m}^3/\text{s}) \times$ 有機態窒素濃度 $0.15(\text{mgN/l})$ に対する比で表した。ここで, 流量は出水時を除いた木曾川下流の年平均流量を想定し, 有機態窒素を懸濁有機物中の窒素とみなした。計算の結果, 河口から20kmの区間に生息するヤマトシジミにより, 一年間に上流からの窒素負荷量の10.7%が取り込まれていることがわかり, 河川感潮域の水質に対してヤマトシジミによる生態系サービスが与える影響は無視しえないことがわかった。

6. まとめ

本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 縦断方向に位置の異なる3箇所のワンドにおいて, ヤマトシジミの生息分布を調査したところ, 個体群構成には違いがみられなかったが, 上流に向かうほど淡水シジミが多くみられ, 汽水性のヤマトシジミの生息場と競合していることが示唆された。

- 2) ヤマトシジミの成長に伴う水質浄化能という生態系サービスを把握する上で基礎資料となる成長速度を輪紋の分析により調べたところ、各ワンドでは違いがみられず、1年間で3mm程度の成長速度を有することがわかった。
- 3) ヤマトシジミの成長モデルを構築し、輪紋解析の結果と比較したところ本モデルにより成長特性を表現できていることが確認された。
- 4) ヤマトシジミによる生態系サービスとしてのヤマトシジミの採餌による窒素の取り込み量は一年間の平均的な窒素負荷量の10.7%となることが推定された。

7. おわりに

本研究では簡易な成長モデルを用いてヤマトシジミによる水質浄化という生態系サービスの評価を試みたが、まだ不確定な要素が多くパラメータについては今後も整備が必要である。また、感潮域では淡水と海水の交換があるため、それも考慮した生態系サービスの評価を今後行っていく予定である。

謝辞：本研究は平成18年度科学技術振興調整費「伊勢湾流域圏の自然共生型環境管理技術開発」（研究代表者：辻本哲郎）の一環として行われたものである。また、木曾川に関する資料を提供していただいた国土交通省木曾川下流河川事務所関係諸氏、ならびに調査に協力いただいた赤須賀漁業共同組合の関係諸氏に謝意を表す。

参考文献

- 1) Nakamura, M., Yamamuro, M., Ishikawa, M. and Nishimura, H.: Role of the bivalve *Corbicula japonica* in the nitrogen cycle in a mesohaline lagoon, *Marine Biology*, Vol.99, pp.369-374, 1988.
- 2) 中村幹雄, 森 忠洋: シジミ漁による宍道湖の浄化, 用水と廃水, Vol.40, No.5, pp.427-429, 1998.
- 3) 中村由行, Fatos Kerciku, 井上徹教, 二家本晃造: 汽水湖沼におけるヤマトシジミの水質浄化機能に関するボックスモデル解析, 用水と廃水, Vol.40, No.12, pp.1060-1068, 1998.
- 4) 西田修三, 鈴木誠二, 山中亮一, 金城周平, 中辻啓二: 優占二枚貝を考慮した汽水湖の水質変動解析, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.1016-1020, 2003.
- 5) 環境省編: 環境・循環型社会白書 平成19年度版, ぎょうせい, 2007.
- 6) 篠田 孝, 水谷直樹, 松山康忠, 辻本哲郎: ケレップ水制周辺の地形履歴から見たワンド形成過程と水辺環境の特性に関する考察, 河川技術論文集, Vol.7, pp.333-338, 2001.
- 7) 水野知巳, 南部亮元, 関口秀夫: 木曾三川感潮域のヤマトシジミの漁場形成と個体群動態, 日本水産学会誌, 71 (2), pp.151-160, 2005.
- 8) 古畑 寿, 塩之谷仁大, 椿 涼太, 辻本哲郎: 木曾川感潮域水制群区間における塩水遡上特性, 河川技術論文集, Vol.13, pp.1-6, 2007.
- 9) 古畑 寿, 河野周平, 田代 喬, 辻本哲郎: 木曾川感潮域の砂州におけるヤマトシジミ *Corbicula japonica* の生息場特性, 河川技術論文集, Vol.13, pp.171-176, 2007.
- 10) 林 紀男, 松島 眸, 古丸 明, 稲森悠平: 外来二枚貝タイワンシジミ生息域拡大の要因, 用水と廃水, Vol.46, No.1, pp.69-75, 2004.
- 11) 丸 邦義: 網走湖産ヤマトシジミ *Corbicula japonica* PRIME の生殖周期, 北海道立水産試験場研究報告, 23, pp.83-95, 1981.
- 12) 宇藤 均: 網走湖産ヤマトシジミ *Corbicula japonica* PRIME の生長, 北海道立水産試験場研究報告, 23, pp.65-81, 1981.
- 13) 鶴田泰士, 石川忠晴: 殻脈を利用した小川原湖のヤマトシジミの成長速度推定, 水工学論文集, 第42巻, pp.571-576, 1998.
- 14) 川島隆寿, 山根恭道, 山本孝二: 神戸川産ヤマトシジミの成長と宍道湖産ヤマトシジミとの形態の相違, 島根県水産試験場研究報告, 第5号, pp.94-102, 1988.
- 15) 中村義治, 寺澤知彦, 中村幹雄, 三村信男: 宍道湖ヤマトシジミ個体群の水質浄化機能の評価解析, 海岸工学論文集, 第48巻, pp.1236-1240, 2001.
- 16) 鈴木誠二, 西田修三, 金城周平, 小野雅史, 中辻啓二: 小川原湖におけるヤマトシジミの資源量変動と物質循環, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.1041-1045, 2005.
- 17) 明田定満, 中村義治, 奥出 壮: シジミの個体群を考慮した汽水域生態系モデルの構築—溜沼(川)を事例にして—, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.1046-1050, 2005.
- 18) 中村幹雄: 宍道湖におけるヤマトシジミ *Coebicula japonica* PRIME と環境との相互関係に関する生理生態学的研究, 島根県水産技術研究センター研究報告, 第9号, 1998.
- 19) 島根県水産試験場: 昭和58年度 赤潮対策技術開発試験報告書, 1984.
- 20) 長谷川茂, 久保添恭之, 富士 昭, 山下和則, 中舘史行: ヤマトシジミによる水質浄化能力基礎試験 ~網走湖産ヤマトシジミによる実験~, 河川環境総合研究所報告, 第6号, pp.27-35, 2000.
- 21) 中田喜三郎: 生態系モデル-定式化と未知のパラメータの推定法-, *J.Adv.Mar.Tec.Conf.*, Vol.8, pp.99-138, 1993.

(2008. 4. 3受付)