

ヤマトシジミの生息域として見た菊池川河口域 の環境変遷と修復の可能性評価

ESTIMATION OF THE SUCCESSION AND POSSIBILITY OF RESTORATION IN
RIVERINE ESTUARY OF THE KIKUCHI RIVER FROM THE VIEW OF THE
HABITAT OF *CORBICURA JAPONICA*

天野邦彦¹・遠藤希実²・大沼克弘³

Kunihiko AMANO, Maremi ENDOH and Katsuhiko ONUMA

¹正会員 博(工) 国土技術政策総合研究所 環境研究部 河川環境研究室 室長
(〒3050804 茨城県つくば市旭一番地)

²正会員 工修 国土技術政策総合研究所 環境研究部 河川環境研究室 研究官(同上)

³正会員 工修 国土技術政策総合研究所 環境研究部 河川環境研究室 主任研究官(同上)

Habitat value for benthic organisms has been deteriorated significantly in many riverine estuaries in Japan. One of the most responsible factors for this seems to be the change of river topography, which has been led by the bottom sediment excavation, dredging and other riverworks. Typical topographical change shows deepened river channel and such change has induced enhanced seawater intrusion upstream and shift of bed material to finer grain. Kikuchi River which flows into Ariake Bay has experienced riverbed degradation in recent 50years. This has caused a significant decrease of the yield of a bivalve species, *Corbicura japonica*. We have pursued numerical simulation, analyzing the salinity and juvenile distribution, to estimate the habitat value for them among different river channel topography. Present channel which has been deepened from the past was estimated to have lower value and restoration plan in which riverbed is raised by 1m was estimated to provide good functional restoration.

Key Words : Riverine estuary, habitat evaluation, *Corbicura japonica*, restoration, sediment

1. はじめに

河川汽水域は、海水と淡水が混じり合うことで常に時空間的に塩分濃度が変動する環境であり、河川と海洋の両方の特性により、その環境特性が規定されている^{1),2)}。

河口部に代表される河川汽水域は、人為的改変を大きく受けている場合が多い。砂利採取や河川改修による河床低下や低水路の拡幅は、海水の浸入を助長することで、汽水域の塩分濃度の分布や底質の状態を変化させる。塩分濃度や底質状態は、河川汽水域において、底生動物の生息に大きく影響する要因であるため、上記のような人為的改変は、底生動物の生息に少なからぬ影響を与えてきている。

河川汽水域を代表する底生動物の一つにヤマトシジミ(*Corbicura japonica*)がある。ヤマトシジミの生息として、淡水中では卵の受精ができないこと³⁾、22‰以上の塩分濃度では生息が困難になること^{4),5)}などが既往研究

から明らかになっている。本稿において検討の対象とした菊池川においても、ヤマトシジミの漁獲量が低下していることもあり、生息環境の保全や修復が望まれている。現地では、このような要望に応えるべく、河床低下した河道の一部に砂を投入することによる環境修復(自然再生)のための現地実験が実施されている。しかし、単純に河川を元の形状に戻すといった自然再生を行うことは、現実的に不可能であり、このような実験が成功し、有効な自然再生事業となるには、人間の河川利用や治水という社会的制約条件を満たしつつ、生息場として見た河川汽水域の機能を修復する必要がある。

そこで、本研究においては、人間の河川利用や治水という社会的制約条件を満たしつつ、生息場として見た河川汽水域の機能をどの程度修復することが可能か検討することを目的として、以下のような内容を実施した。まず、菊池川を対象として、現況河道におけるヤマトシジミの生息環境の評価を水質モデルにより評価する。また、このモデルを、河床低下前の河道状況に適用することで、

過去河道におけるヤマトシジミの生息環境評価を行い、河床低下に伴うヤマトシジミ生息環境変化の定量的評価を試みる。さらに、河床形状の修復により、ヤマトシジミの生息環境という視点から見た河川汽水域の環境機能の向上の定量的評価を行う。

2. 方法

形状が改変されたことによる河川環境の劣化に対する修復を検討する際に、河川形状を完全に元に戻すことが困難な場合でも、いくつかの環境機能を修復することは可能と考えられる。河川の自然再生事業を検討する場合、種々ある環境機能の中で、大きな改変が生じる前に河川が有していたその河川を特徴付ける典型的な生物の生息地としての機能の修復を目標にすると、総合的な環境修復の目標として妥当なものになると考えられる。

本稿では、河道掘削により汽水域環境が改変された菊池川の河口部を対象に、この箇所に生息する典型的な生物として、ヤマトシジミをとりあげ、この生息地として見た河川環境がどのように変化したのかを、数値計算により推定し、今後の修復の検討に役立てることを目指す。

(1) 検討対象河川の概要

本稿で対象とした菊池川は、熊本県阿蘇市深葉(標高1,041m)を源流とし、流域は熊本、大分の両県にまたがり、主要支川の大部分が、菊池盆地の山鹿周辺に集中して合流する流域面積996km²、幹川流路延長71kmを有する熊本最北端の一級河川である。菊池川河口は、平均河床勾配が1/3,000程度と緩勾配であり、流入する有明海の潮汐差が大きいことから、海洋の影響を強く受けている。

河口部の汽水域では、かつてヤマトシジミの漁獲が盛んであり、1980年頃までは毎年50t程度の漁獲があり、熊本県における全漁獲量の1/4程度を占めていた。1983年から菊池川以外の熊本県における漁獲量が激減し、1984年以降は、熊本県における漁獲のほとんどを菊池川でのそれが占めるようになっていく。しかし、菊池川においても、1987年以降漁獲量が大幅に減少し、回復の兆しが見えない状況である。

河口部周辺での人為的環境インパクトとして想定される最大のもは砂利採取である。大幅な河床低下が認められる1960年代から1980年頃にかけては、統計が残る分だけでも毎年10万m³程度の砂利採取が記録されている。1980年以降は河道からの砂利採取は大幅に減少し、1993年以降は2万m³以下になり、2001年以降は河道からの砂利採取はほとんど行われていない。しかし、1993年以降は、河口沖の海域に存在する干潟からの砂利採取が記録されており、多い年には10万m³以上の採取が認められる。1960～1980年代にも河口沖の干潟において砂利採取が行われていたと推測される記録が残っているが、採取量は

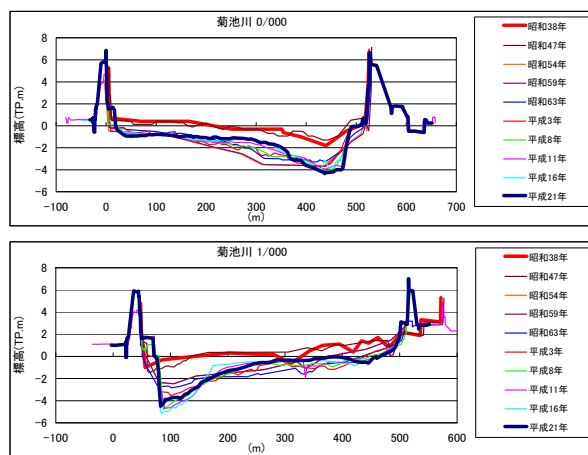


図-1 菊池川河口部の河道横断形状の変遷

不明である。図-1に河口部と河口から1km地点における河道横断形状の変遷を示す。最深部においては、2～4mの河床低下が見られる。このような砂利採取によるインパクトの結果と考えられるが、かつて河口から約2kmの大浜地区に広がっていた広大な砂浜が、遅くとも1981年には消滅した他、有明海から遡上したと考えられるシルトや粘土分からなる細粒土砂(通称ガタ土)の堆積が多く見られるようになった。

地域住民からは、ヤマトシジミの生息環境の修復、また大浜地区における砂浜の修復が、強く要望されている。ヤマトシジミは菊池川河口部の生態系を代表する生物種の一つと考えられるため、この生息環境を修復することは、自然再生事業として有効と考えられる上、ヤマトシジミの生息環境に適した底質は砂質であることから、河口部に砂を戻すことで、ヤマトシジミの生息環境と砂浜の修復を両立できる可能性がある。このため、これらの修復を目指した自然再生事業が計画されている。

(2) 数値計算モデルの概要

汽水域における流動は、河川流、潮汐流、吹送流、塩分に基づく密度流により駆動される。本稿で使用した数値計算モデルは、このような領域における流動を解析することが可能で、渡辺ら⁶⁾により東京湾における流動解析に使用されている準3次元モデルを基本としている(Blumberg and Goodrichモデル⁷⁾において採用されている連続式、運動量式、塩分収支式および乱流計算モデルは踏襲した上で、これらに水温モデルを加えて、全体モデルを構築している。このモデルを基本にして、河川汽水域において任意の水域における塩分と懸濁物の「経過時間」と「残留時間」の分布についても計算できるモデル⁸⁾⁹⁾を使用した。

a) 地形条件

菊池川における流動場は、有明海の潮汐の影響を大きく受ける。この潮汐を正確に再現するため、計算領域は、有明海および天草海域を含む海域と菊池川汽水域を対象としている。有明海の地形条件の作成には、海上保安庁

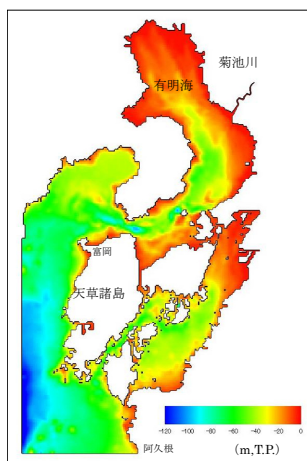


図-2 菊池川の位置と設定した地形条件

発行の海図 (W169, W206) を利用した。また、菊池川汽水域の地形条件は、菊池川河道の横断測量結果 (国土交通省菊池川河川事務所) をもとに作成した。図-2に、菊池川を含めて今回計算対象として設定した水域の地形条件を示す。

b) 格子条件

計算格子は、鉛直方向に5層 (σ 座標)、海域については基本的に、水平方向に500m×500mに区分し、菊池川河口部にかけては段階的に格子サイズを小さくし、最小50m×50m格子となる不等間隔格子とした。なお、菊池川河道内は50m×50mで区分した。

c) 河川流量条件

モデルで淡水供給源として設定した河川は、菊池川の他、矢部川、筑後川、嘉瀬川、六角川、本明川、球磨川、緑川、白川の9河川 (1級河川) と有明海に流入する2級河川である。1級河川については各河川流量に国土交通省が水文水質データベース (<http://www1.river.go.jp/>) で公開している値を設定し、2級河川については、近隣の1級河川との流域面積比を乗ずることで設定した。

d) 気象条件

モデルで設定した気象条件としては、気温、風向・風速、降水量については岱明観測所、湿度、全天日射量、雲量については熊本气象台において、2009年に毎時計測された観測結果を用いた。

e) 水温、塩分条件

有明海へ外海から流入する水温、塩分条件は、熊本県水産研究センターが毎月実施している浅海定線調査結果を用いて設定した。また、流入河川の水温条件は、1級水系の9河川については、毎月観測された水温と気温の関係より回帰式を求め、先の気温条件を用いて算定することで設定した。ここで回帰式設定に用いたデータは、計算対象期間 (2009年) までの5ヵ年間 (2005年~2009年) の観測結果とした。また、2級河川については、近隣の1級河川の値と同じとした。

f) 潮位条件

有明海の海水流動の主要な駆動力となる潮位条件は、

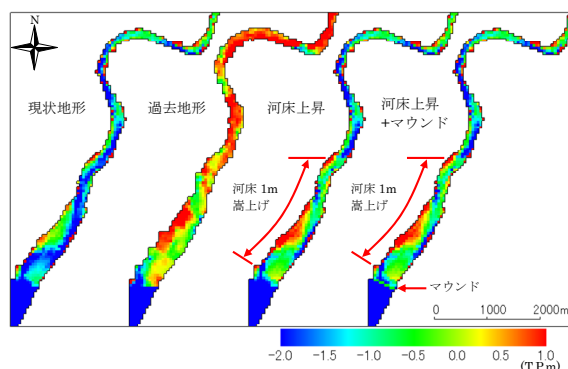


図-3 河口部において設定した河床標高分布 (4ケース)

海上保安庁により整理されている鹿児島県阿久根と熊本県高岡の潮汐調和定数 (K_2, M_2, S_2 : 半日周期成分, O_1, P_1, K_1 : 1日周期成分, SA: 年周期成分) を用いて設定した。

g) 検証計算

菊池川河川事務所により菊池川汽水域で塩分の連続観測が実施された2009年2月から3月にかけての約1ヶ月間を対象に、上記の諸条件に基づき、計算モデル自体の精度検証を行った。計算結果の検証は、塩分および水位変動に関する実測値と計算値との比較により行った。塩分については、河口から2, 4, 5kmの地点の底層で連続観測が実施されており、この結果と計算値を比較した。また、水位については、河口部付近の滑石水位観測所における水位連続観測結果と計算値とを比較した。

(3) 数値計算によるヤマトシジミ生息域評価

本稿におけるヤマトシジミ生息域評価の視点は、流動による幼生の拡散と塩分のみを対象としている。ヤマトシジミが持続的に生息するためには、これらの他に必要となる要素も当然存在するが、成員の生息や卵の受精のための必要条件として、その範囲が整理されている塩分と、着底するまでの浮遊幼生の拡散という、持続的生息のために最低限必要となる条件を評価することで、河道形状の変化がヤマトシジミの生息に与えたであろう影響を評価することを試みた。

a) 地形条件

(2) a)において述べた地形条件は、検証計算のための現状地形であるが、今回の検討では、河道地形として、①2009年の横断測量結果に基づく現状河道、②砂利採取等で河床が低下する以前の河道形状 (1963年測量結果)、③低下した河道に砂を供給することで河口付近の河床を全体的に1m上昇させた河道形状、さらに④河口部にマウンドを形成させた場合の河道形状を地形条件として採用し、生息域評価の比較を行った。③及び④の条件として、河口部河床の上昇を1mとしたのは、別途菊池川河川事務所において実施された治水能力の検討から求められた、河床全体の上昇が1mまでであれば治水に関する問題がないという結果を受けて、治水能力を損なわない

最大限の砂の供給をした場合の環境変化を予測するためである。また、上記の①～④の計算ケースにおいて設定した河口部地形の平面的な分布を図-3に示す。

b) 計算期間

生息域評価に関する計算期間は、ヤマトシジミの産卵が行われる7月を対象にすることとし、2009年7月1日から7月31日までの1ヶ月について、計算を行った。

c) ヤマトシジミの生息に適した塩分環境評価

ヤマトシジミの塩分に対する選好性については、既往文献^{4),5),10)}を参考に設定した。ここでは、中村の研究^{4),5)}を参考に、成貝に関しては、塩分が22psuを超えないことが生息に適した条件として、計算期間中にこの条件を満たす時間割合を算定して評価することとした。また、放出された卵子が受精するために最適な塩分は、丸¹⁰⁾によれば2～6psu、中村⁴⁾によれば5psuと報告されていることから、これら既往知見を参考に、4～6psuの塩分になる時間割合を算定することで、産卵から受精までの過程の妨げられにくさを評価することとした。

これらの評価のための算定では、計算期間中の各格子における1時間毎の塩分計算値を集計して、上記の条件を満たす時間の全計算時間に対する割合を求めた。

d) ヤマトシジミ浮遊幼生の移流拡散現象の評価

受精後の浮遊幼生は、3～10日間水中を浮遊した後に着底する¹¹⁾。ヤマトシジミ幼生の移流拡散に関する挙動について研究した事例として、中立浮遊粒子として沈降速度を持たない懸濁物として計算したもの¹¹⁾や、受精後20時間までは、中立浮遊粒子とし、それ以降は室内実験により得られた塩分に対する選択性に基づき、より好適な塩分条件に近づく方向で上下に移動するとしたもの¹²⁾がある。しかし菊池川は、潮汐に伴う流れが大きく、桑原・齊藤¹²⁾が二枚貝幼生の遊泳速度として総説的に示されているとして使用した 0.3mm s^{-1} 程度の速度による移動は、移流拡散量に影響を持つとは考えにくいと、浮遊幼生を中立浮力の仮想懸濁物として計算した。この仮想懸濁物をどこからどの程度発生させるかにより、仮想懸濁物濃度の計算結果は変わることになるが、発生量に対してどれほどの割合の仮想懸濁物が河口部に残留するかという視点で評価を行うことで、感度分析的に浮遊幼生の残留率を算定することが可能と考えた。

計算では、現場における調査から大型の成貝が多く分布することがわかっている河口から3～3.2kmの200mの範囲から、仮の値として、1日ごとに分画した仮想懸濁物を1日あたり $1,000\text{g m}^{-2}$ 発生させて、拡散状況を追跡計算することで、河川流によりフラッシュされることなく、着底する可能性がある幼生の割合を求めた。

3. 結果

まず検証計算結果に関して、菊池川河口の汽水域における水位および塩分の連続観測値との比較を示した後、

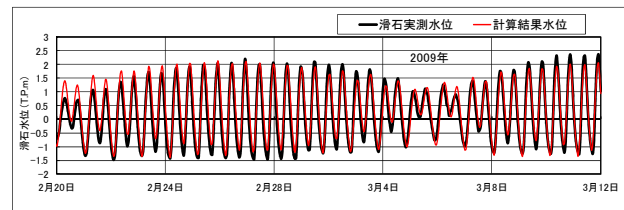


図-4 菊池川河口付近における水位変化の比較

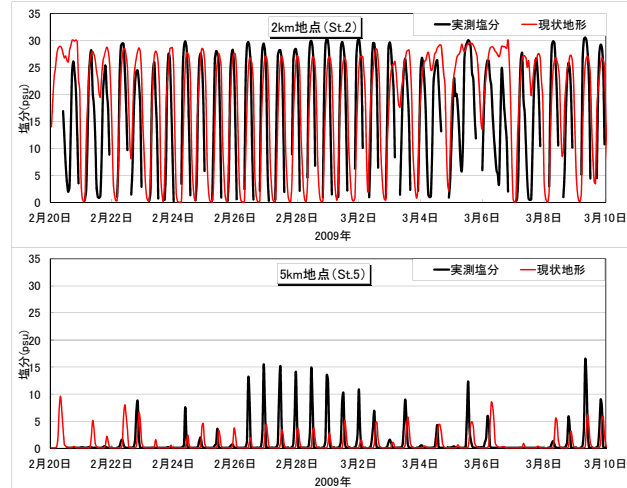


図-5 菊池川河口付近における底層塩分変化の比較

現況河道における塩分の計算結果と、ヤマトシジミへの生態的影響を勘案した塩分計算の集計結果を示し、さらに修復を想定した河道における同様の結果について示す。

(1) 検証計算結果

2009年2月に、菊池川河口付近の滑石水位観測所において観測された水位変化と計算結果を比較すると、計算における干潮時の水位低下が、観測値に比べて少ない傾向が見られるが、大潮、小潮時の潮汐差特性や潮汐による水位変動特性を良好に再現している(図-4)。大潮時には、一日の水位変動が最大で4m程度という潮汐差の大きい水域であるが、急激な変化特性を良好に再現する結果となっている。

塩分の変動に関して見ると、河口から2km地点(St. 2)においては、観測値に見られる様に、一潮汐に伴う塩分変化が約30psuという非常に大きな変動特性をもつ水域であるが、計算結果はこの特性を良好に再現している(図-5)。河口から5km地点(St. 5)における計算結果は、観測値に比べると低めの値となっている。現地における塩分観測は、水深の深い滞筋部において実施されているが、河道部における計算格子を水平方向に $50\text{m} \times 50\text{m}$ としているために、局所的に深くなっている滞筋部における塩分変化は再現できなかったが、塩水の侵入のタイミングは良好に再現しており、最深部以外を対象とすれば平均的な底部の塩分変動の再現性は十分と考えられる。

(2) ヤマトシジミ成貝の生息域評価

現状、過去、修復2パターン合計4ケースの河道形

状の下で行った数値解析による塩分の計算結果を、最も塩分が高くなる小潮期の満潮時における塩分により比較する。底層においてシジミの生態にストレスがかかるとされる22psu以上の塩分を示す範囲は、現状河道では河口より4km程度まで、過去河道で2.5km程度まで、1m河床上昇ケースおよび1m河床上昇+マウンドの2ケースでは3km程度までであった（図は割愛）。現状河道において、河口から2kmの地点においてヤマトシジミの成貝が多く確認されていることから、常に高濃度の塩分に曝されない限り、生息は可能と考えられる。

既往文献等⁴⁾⁵⁾より、ヤマトシジミが継続的に生息できる条件は、干出したり塩分が22psuを超える状態が6～8時間以上継続しないことと考えられる。菊池川河口における塩分の変化は、潮汐に伴うもので周期的であり、1日のうち塩分濃度が上昇する期間が2回あることから（図-5）、既往研究⁴⁾⁵⁾により生息に対するストレスが生じるとされる22psuを超える状態が8時間以上継続する条件が生じる場合には、1日当たり16時間以上22psuを超えると推定される。このため、塩分が22psuを超える時間割合が約67%（16時間/24時間）以上で生息に適さない環境になると考えた。この考えに基づき、塩分変動の計算結果を集計して、塩分が22psu以上になる時間割合の縦断分布を4つの河道ケースについて比較した（図-6）。現状河道では、河口から1.5km周辺までが生息に適さないと評価できる。過去（1963年）河道条件では、ほとんど河口付近まで生息可能であったと考えられる結果となった。修復を検討した2ケースについて見ると、生息に適さない範囲が、河口付近の河床を1m上昇させたケースでは、河口から0.8km程度まで、さらに河口にマウンドを形成させたケースでは、河口から0.5kmまでという評価結果となった。

(3) ヤマトシジミ卵の受精に関する適地の評価

ヤマトシジミが持続的に生息するためには、その生活史を通して、生息が可能となる環境が必要である。ヤマトシジミにより放卵された卵子が受精するのに最適と考えて設定した4～6psuの範囲の塩分をとる時間割合は、現状河道条件の河床部においては約2～5kmの範囲で比較的高く4～6%であった（図-7）。この範囲より下流側では塩分遡上が頻繁に起こり塩分が高いこと、上流側では塩分遡上が少なく塩分が低いことから、それぞれ4～6psuの範囲の塩分をとる時間割合が2%以下と低い結果になった。現地調査結果から、成貝は2～4kmの範囲で多く確認されているが、この範囲は、受精に適した塩分をとる時間が相対的に長い場所と評価された。

4～6psuの範囲の塩分をとる時間割合は過去（1963年）よりも現在の方が全体的に同等か若干高かったが、1.5kmより下流の河口部付近では、過去の方が高い値を示した。また、修復河道では、現状河道よりも全体的に割合が高くなる結果が得られた（図は割愛）。

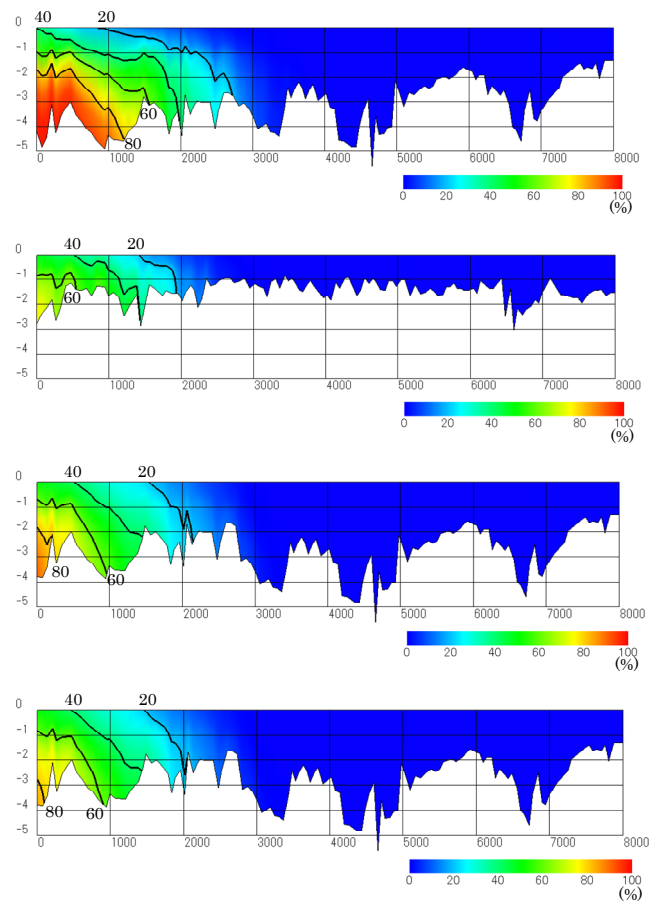


図-6 塩分が22psu以上となる時間割合の比較

上段から①現状河道、②過去（1963年）河道、

③河口周辺1m上昇河道、④河口周辺1m+マウンド河道

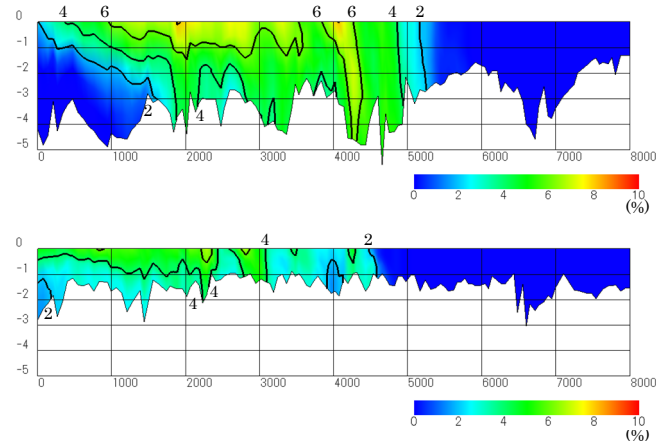


図-7 塩分が4～6psuとなる時間割合の比較

上段から①現状河道、②過去（1963年）河道

(4) ヤマトシジミ浮遊幼生の挙動

現在浮遊幼生が着底すると考えられている上流部（5～6km）での仮想懸濁物が放出されてからの平均経過時間は0.5日以下で、放出から着底に至るとされる時間に比べて短い結果だった。この結果は、浮遊幼生は潮汐に伴い上下流への移動をしながら、ほとんどが湾へと流出し、着底できる個体が少ないことを間接的に示すものである。また、大潮期に発生させた浮遊幼生のうちどれほ

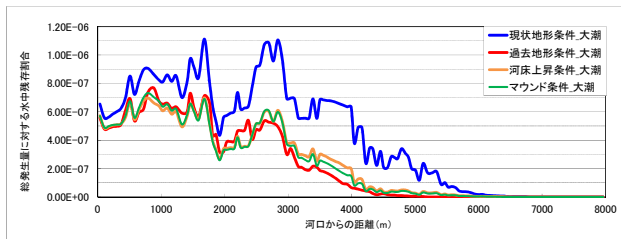


図-8 発生から9日後の浮遊幼生残存割合

どの割合のものが9日後に水中に存在するかを縦断的に示したものが図-8である。5km地点での残存割合は、現状河道地形において、 2×10^{-7} であった。

4. 考察

計算結果から見た現状河道におけるヤマトシジミの適性生息域は、河口から1.5～5.2km程度の範囲で、現在ヤマトシジミが生息する範囲とほぼ一致している。計算による成員の適性生息域評価は縦断的にみて良好であったと考えられる。過去（1963年）河道条件での再現計算結果は、当時の生息適正範囲が0.5～4.5kmの範囲であったことを示したが、この結果は、当時ヤマトシジミが河口付近に広く生息していた事実と符合した。これに対して、修復をした2ケースでは、過去の生息範囲とほぼ同様の範囲が生息に適するようになると評価された。また、受精の起こりやすさから見た場合には、過去よりも条件が良くなる可能性も示された。

菊池川河川事務所による2007年調査では、2～3km地点に設置された調査地点での殻長10mm以上の成熟した成員の生息密度は、夏季に100個体 m^2 程度であった。ヤマトシジミは一回に数十万個の卵を放出すると言われており、一回当たり仮に20万個の卵を放出し、全てが受精したとすると、成員の半数が雌だとして、およそ1000万個 m^2 の浮遊幼生が誕生することになる。上流部の1kmの範囲での9日後の残存率が 2×10^{-7} 程度だとすると、この範囲に9日後も浮遊している幼生は、2個体 m^2 程度という評価になる。これに対して、木村ら¹³⁾が2007年に行った調査では、上流部において着底稚貝の密度は10,000個体 m^2 となっており、大幅な差が見られる。オーダーとして4桁の相違が見られており、浮遊幼生の着底可能性についての評価は、定量的に見て満足のいく結果が得られなかった。この相違の原因としては、浮遊幼生の挙動として、中立浮力を仮定したことが想定されるが、現状では明確な理由は不明である。絶対値としての評価には問題が残るが、相対比較として見た場合、河道修復ケースの浮遊幼生残存率の縦断分布は、過去河道のものに近い。計算結果の妥当性が担保されていないため、説得力を欠くきらいはあるが、修復河道は、過去河道に近い機能を有する可能性がありそうである。

5. まとめ

水質モデルを用いた菊池川河口域における塩分変動特性と浮遊幼生の挙動の解析から、河口部河道の低下に伴いヤマトシジミ生息適地面積が大幅に減少したこと、河床を1m程度上昇させる修復により、生息地としての機能の修復が図られる可能性が十分あることが示された。

謝辞：河道に関する情報は、国土交通省菊池川河川事務所から、有明海へ流入する水温・塩分条件は、熊本県水産研究センターから提供いただいた。また、菊池川におけるヤマトシジミ生態については、熊本県立大学の堤裕昭教授の研究成果に負う。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 岸田弘之, 天野邦彦, 大沼克弘, 遠藤希実: 河川汽水域の環境管理技術確立のための全国一級水系の汽水域環境類型化, 水工学論文集, 第55巻, pp. 1273-1278, 2011.
- 2) 楠田哲也, 山本晃一 (監修), 河川環境管理財団 (編): 河川汽水域, 技報堂出版, 2008.
- 3) 朝比奈英三, 北海道に於ける蜆の生態学的研究, 日本水産学会誌, v.10, n.3, pp. 143-152.
- 4) 中村幹雄 (編著): 日本のシジミ漁業—その現状と問題点, たたら書房, 2000.
- 5) 中村幹雄, 安木茂, 高橋文子, 品川明, 中尾繁: ヤマトシジミの塩分耐性, 水産増殖, v. 44, n.1, pp. 31-35, 1996.
- 6) 渡辺正孝, 天野邦彦, 石川裕二, 木幡邦男: 秋期の東京湾奥部における風による成層破壊と底層の無酸素水塊の湧昇過程, 土木学会論文集第7部門, No.608, VII-9, pp.13-29, 1998.
- 7) Blumberg, A. F. and Goodrich, D. M.: Modeling of wind-induced destratification in Chesapeake Bay, Estuaries, 13, pp. 236-249, 1990.
- 8) 天野邦彦, 遠藤希実, 大沼克弘: 河口汽水域における塩水滞留時間の算定手法開発, 河川技術論文集, 第16巻, pp. 283-288, 2010.
- 9) 天野邦彦, 大沼克弘, 遠藤希実: 河川汽水域への海水浸入後経過時間および海水残留時間の数値解析による評価, 土木学会論文集G (環境), v. 67, n. 7, pp. III_367-374, 2011.
- 10) 丸邦義, 山崎真, 中井純子: ヤマトシジミの産卵好適塩分, 水産増殖, v.53, n. 3, pp. 251-255, 2005.
- 11) 鶴田泰士, 石川忠晴, 西田修三, 成田舞, 藤原広和: 小川原湖におけるヤマトシジミの繁殖環境について, 土木学会論文集, n. 705, II-59, pp. 175-187, 2002.
- 12) 桑原久美, 齊藤肇: 下流涸沼川におけるヤマトシジミ浮遊幼生の挙動特性, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 1106-1110, 2003.
- 13) 木村仁美, 長岡一成, 藤川保則, 宮崎浩三, 堤裕昭: 菊池川河口域におけるヤマトシジミ (*Corbicula japonica*) の個体群動態と底質環境の季節変動, 日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会要旨集, p. 46, 2008.

(2011. 9. 30受付)