

番匠川河口域における砂州地形と水温の アサリの生活史への影響

EFFECTS OF SAND BAR GEOMORPHOLOGY AND WATER TEMPERATURE ON LIFE HISTORY OF CLAM IN THE BANJO ESTUARY

清野聡子¹・東野誠²・高見徹²・平島英恵³・中茂義晶⁴・小松利光⁵
工藤勝宏⁶・渋谷吉之⁷・荒巻重則⁷・西川勝義⁷

Satoquo SEINO, Makoto HIGASHINO, Tohru TAKAMI, Hanae HIRASHIMA, Yoshiaki NAKASHIGE, Toshimitsu
KOMATSU, Kastuhiro KUDOU, Yoshiyuki SHIBUE, Shigenori ARAMAKI and Katsuyoshi NISHIKAWA

¹正会員 工博 東京大学大学院助手 総合文化研究科 (〒153-8902 東京都目黒区駒場 3-8-1)

²正会員 工博 大分工業高等専門学校助教授 土木工学科 (〒870-0152 大分市大字牧 1666)

³学生会員 九州大学大学院 工学府海洋システム工学専攻 (〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

⁴非会員 国土環境株式会社 名古屋支店 (〒455-0032 愛知県名古屋市中区入船 1-7-15)

⁵フェロー 工博 九州大学大学院教授 工学研究院環境都市部門 (〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

⁶非会員 (株) 西日本科学技術研究所 大分分室 (〒870-0851 大分市大石町 4-1-2)

⁷国土交通省九州地方整備局佐伯河川国道事務所 (〒876-0813 大分県佐伯市長島町 4-14-14)

In Banjo estuary, clam resources declined once, but recovery of the population is observed. To reveal potential of the fishery ground and major factors on clam life history, patterns of waves and currents around the river mouth sand bar and water temperature changes were analyzed. Patterns of wave directions and nearshore currents show the function of the sand bar as the barrier of waves to protect habitats of estuary organisms. Long-term measurements of the water temperature indicated its severe changes might effect the survival of clam pelagic larvae and larval clams. Conservation and management of the river mouth sand bars dedicate estuary ecosystems and fishery.

Key Words : estuary environment, clam, sand bar, fishery ground, Banjo River

1. はじめに

アサリは、代表的な河口域の生物である。古来から食用となってきたが、江戸時代以降、水産資源として大量に漁獲されてきた。日本全国の河口域に漁場が分布し、特に、内湾の広大な干潟は大規模な漁場として活用されてきたものの、その多くが埋立や干拓により物理的に消失した。1970 年代に、大都市近辺の漁場から崩壊しはじめ、代替の漁場として、国内の各地の河口域や浅海域のアサリ個体群が水産資源開発された。1990 年代に入り、全国的にアサリ資源の崩壊がみられるようになった。その原因として、累積的な河口域や内湾の開発の影響や、水質悪化や貧酸素などの物理環境の変化、農薬など化学物質の影響、水温上昇による生態系構造の変化、高い漁獲圧などが要因として挙げられている^{1,2)}。

一方、アサリは河口域の代表的な生物として、生活史や生息条件の研究が進み、干潟の浄化作用の議論でも本種の濾水能力が注目されてきた。近年、アサリ資源の回復や持続的利用、漁場の再生への社会的希求が大きくなり、水

産生物・水産海洋学や水産工学・海岸工学分野で多くの研究が行われている。本研究では、10 年前に資源崩壊が生じ、現在は回復傾向がみられる大分県番匠川河口域の漁場において、アサリの生息地環境のうち、河口砂州の地形特性と水温変動に着目し、生活史の観点から考察を行った。

2. アサリ資源と環境変動

アサリは漁業対象種であるために、個体群変動には漁獲や移入が影響する。番匠川河口での 1994 年のアサリ資源崩壊が生じ、近年は回復傾向が見られたものの、再度減少している大分県番匠川河口域の現在の流動・水質特性や環境変遷の調査から、アサリの資源変動と物理環境の関係性の研究を行なっている^{1,2,3,4)}。生物の個体群、とりわけ水産資源の変動には、複合的要素が関わり、個々を分離して考えるのは困難であるが、しかし主要な要素の検出や因果関係の推定は、現実の河川や沿岸の管理には重要な情報である。また、さらなる悪化を防止する予防にも

役立つ。

本論文では、アサリの生活史に影響すると考えられる物理環境要因のうち、河口域の砂州地形と水温の2要素を考察する。

生息地の地形は、場を規定する要件である。特に、河口砂州周辺の波・流れの特性を、アサリの浮遊幼生の輸送や着底稚貝の生息基盤の環境維持に関して考察し、砂州の存在自体が果たす機能を考察する。

また、水温は、水生生物の成長や生残に影響する最大の環境要素である。長期的な生物資源の個体群変動には、人為のほか、長期的・短期的な水温変動の影響を検出する必要がある。

番匠川河口域のアサリの漁獲状況を図-1 に示す。農林水産統計によれば、1993年から1995年にかけて河口域でのアサリの漁獲量が急減し、2000年以降は統計的には現れない量ではあるが、漁業者によれば最悪であった時期よりも徐々に回復がみられている^{1,2)}。番匠川河口砂州は、図-2 のように佐伯漁協と鶴見漁協で2分して利用している。佐伯漁協のエリアは航路掘削がなされているが、鶴見漁協のエリアは砂州の原形が保存されている²⁾。

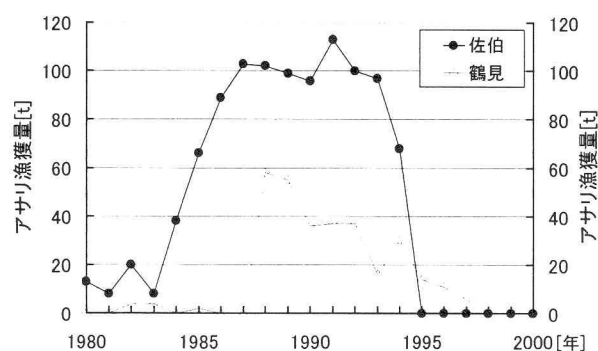


図-1 佐伯漁協、鶴見漁協のアサリの漁獲量経年変化

3. 番匠川河口域の特性

番匠川は、大分県南部に位置する幹線流路延長 38.1km、流域面積 464km² の一級河川である河口の干潟・砂州は 2.7ha の面積を有し、漁業のほか、野鳥の観察会が行われている。感潮区間は 6.6km である。河口部の佐伯市は、港湾として歴史的に発達してきたが、重要港湾が立地し現在も拡張が計画されている。港湾、セメントなどの鉱工業のほか、豊かな自然環境を活かした貝類漁業や養殖業、農業も基幹産業である。

河口砂州の地形と利用状況を図-2 に示す。左岸側端部は導流堤先端部の河心側であり、佐伯湾に向かって扇形に広がり緩斜面の外縁部を形成し、右岸側端部はリアス式海岸の岬のひとつである苦木の鼻に接している。河口の漁場は河道と河口砂州に広がっている。

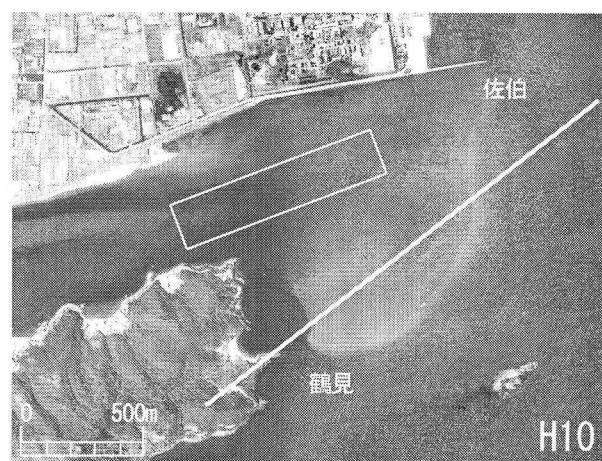


図-2 番匠川河口の地形と利用状況(直線は佐伯漁協と鶴見漁協の漁場の境界線。長方形はクルマエビ養殖場整備箇所。)

番匠川汽水域の河床と河口砂州の地形変動の特性は、ベントスであるアサリの生息地としての安定性の指標として把握すべき要因である。河川区域については、番匠川の管理者の国土交通省九州地方整備局佐伯河川国道事務所が所蔵する 200m ピッチの横断測量結果から河床地形を、港湾区域については佐伯港の港湾管理者の大分県が発行した資料の港湾深浅図から海底面の地形を求めた。

図-3 に、番匠川下流の河道の堆積状況を示す。1983年から1999年の 200m ピッチの横断測量結果をもとに、河道形状を求め、15 年分の差分を求めた。

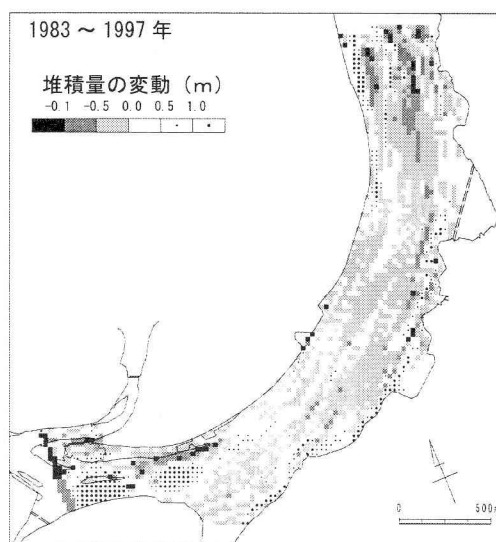


図-3 番匠川下流の河道の堆積量の変動(1983-1997 年)

河口近くの左岸内岸側、合流地点、右岸側の凹凸のある河岸の前面は堆積傾向であった。河口付近の河心部は侵食傾向であった。河口付近は、堆積・侵食傾向の双方があるエリアで、河川流や波浪による堆積や航路掘削により、河床地形の変動があり、長期間にわたり安定的な環境ではないと考えられる。一方、下流部の蛇行の左岸内岸側は、河床変動が少なく、安定的であると考えられる。

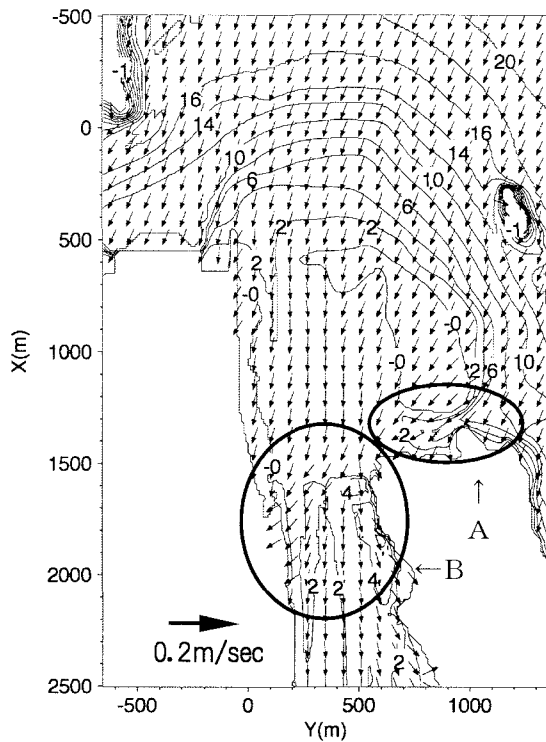


図-4 高潮位時の河口の海底地形と波向分布

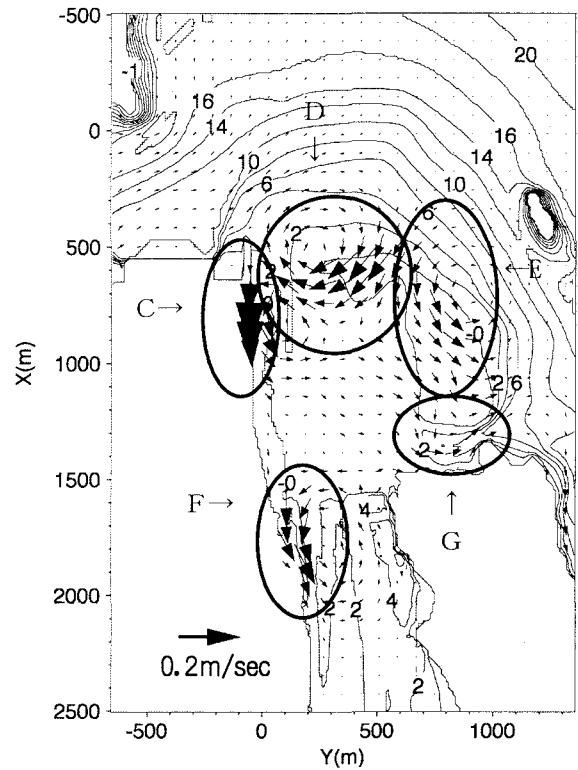


図-5 高潮位時の河口の海底地形と海浜流分布

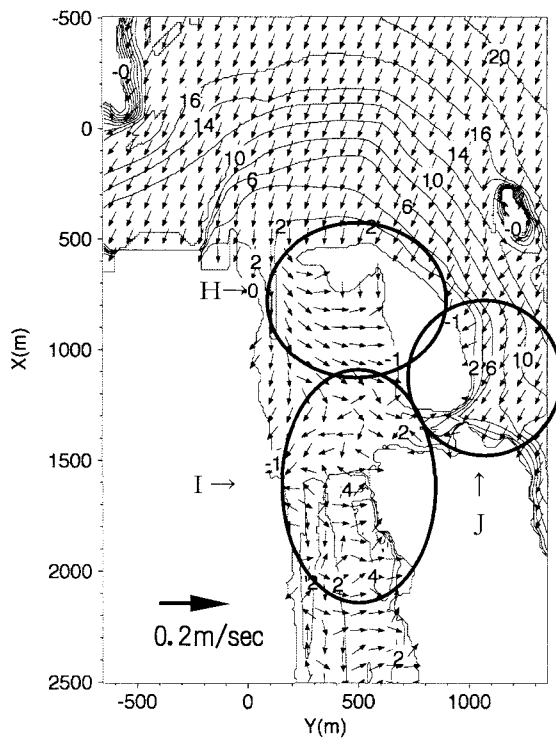


図-6 低潮位時の河口の海底地形と波向分布

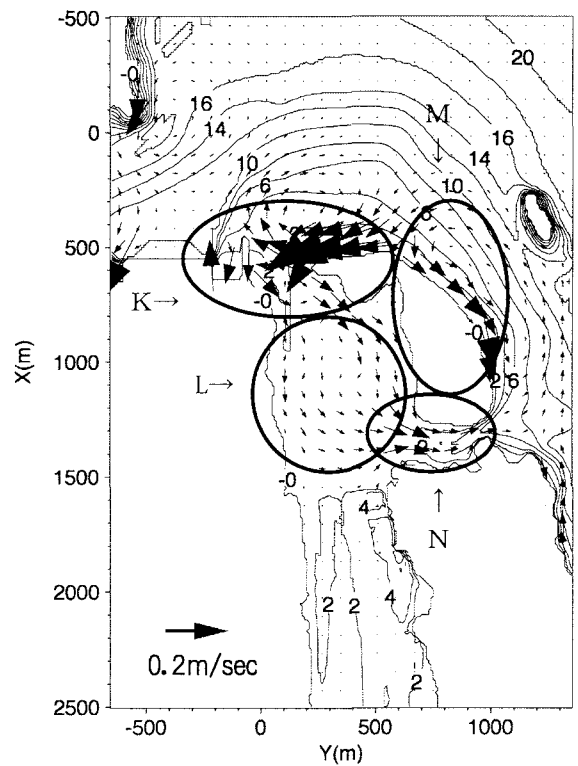


図-7 低潮位時の河口の海底地形と海浜流分布

4. アサリの生活史における河口砂州の地形の役割

番匠川河口域の漁場では、1994 年以降、アサリ資源の減少が問題になってきた。研究グループでは、物理・生物環境から、資源減少の解明を行ってきたが^{1,2,3,4)}、最終的には、河口域の生物であるアサリの生活史全体のプロ

セスを支える環境要素の保全・再生が目標である。アサリを指標種として、河口生態系全体が健全な状態にあることが、自然環境の保全の上に立脚した水産資源の持続的利用が可能な漁場のあり方としても重要である。

その際、河口域の環境を支える要素として、場を規定する地形がある。河口域や干潟の生物にとって、波・流れ環

境は重要である。特に、プランクトンの浮遊幼生に対しては、波向分布が、ベントスの着底稚貝には碎波エネルギーで物質輸送に寄与する海浜流の影響は無視できない⁵⁾。

番匠川河口域では、扇状の河口砂州が広がり、佐伯湾に面した前置斜面は急勾配となっている。また、砂州面の微地形としては、砂州の沖側と、番匠川右岸と砂州間の水路側には標高の高いバリア状の小砂州が形成されている。それら小砂州の河道側は平坦面となっている。小砂州は、外洋からの波浪を遮断して、内側の砂州の平坦面と河道内の水域を静穏に保つバリア機能を果たすと考えられたため、数値計算により検証を行なった。

5. 数値計算による河口砂州周辺の波・流れの特性

この砂州地形の機能を調べるため、周辺の波・流れ環境の数値計算を行なった。波浪変形・海浜流数値計算の手法と条件を表-1に示す。

表-1 波浪変形・海浜流数値計算の手法と条件

数値計算手法	波浪変形計算モデル：放物型波動方程式モデル、磯部（1986） 海浜流計算モデル：平面2次元の運動方程式と連続式、堀川（1985）
計算対象範囲	波浪変形計算：沿岸方向3,100m×岸沖方向3,600m 海浜流計算：沿岸方向2,000m×岸沖方向3,000m
入射波条件	ケース1,2：入射波高 $H_0=0.94m$ 、周期 $T=3.55sec$ 、波向 NE
潮位条件	ケース1：H.L.L. (T.P. +1.80m) ケース2：L.L.L. (T.P. ±0.00m)
波浪変形計算条件	・数値計算法：差分法（クランク・ニコルソン法） ・計算メッシュ：0.03波長（ケース1,2） ・不規則波の成分波への分割数：周波数5分割×波向9分割＝計45成分波 ・境界条件：開境界
海浜流計算条件	・数値計算法：差分法（リーブフロッグ法） ・計算メッシュ： $\Delta x=10m$ ・タイムステップ： $\Delta t=0.3sec$ （ケース1,2） ・ $\Delta t/\Delta x \geq 0.5$ ：5.000（ケース1,2） ・摩擦係数： $C_f=0.01$ ・水平拡散係数： $M=0.01$ ・境界条件：海域は開境界、陸域との境界は固定壁境界

波の入射方向は有効風送距離の最も長いNE方向とし、波高・周期は風速10m/sの風が吹いたとして、SMB法により求めた（有義波高 $H_0=0.94m$ 、周期 $T=3.55sec$ ）。

高潮位時（T.P. +1.80m）での波向分布（図-4）は、佐伯湾から入射する波が、ほぼ一様に河道内に侵入している。図のAでは、番匠川右岸側と沖合の砂州間の水路に回り込むような波がみられる。Bでは、河道内の河床地形に応じて、左岸側に寄せるような波向となっている。Bは、低潮位でも同様の波向であり、河口に面した右岸側の砂州の砂浜の法線はこれと対応した方向にある。

高潮位時の海浜流分布（図-5）は、Cの左岸側に開削された航路沿いに大きい。また、D、Eの砂州の外縁部から前置斜面にかけて、Fの河道内において渦をなしている。海底面での物質輸送に寄与する海浜流が、過流をなす場所では、物質が沈積しやすいと考えられる。Fの海浜流の強い部分には、砂浜が形成されている。一方、右岸側の水路では、海に向かう流れがみられ、河口砂州の土砂が流出する場所となっていると考えられる。

低潮位時（T.P. +0.00m）の特徴は、砂州の干出部がバリア

アとなっている点である。波向分布（図-6）をみると、左岸側の水路から波が入射し、河口砂州の河道側の平坦面に扇状に広がっていく様子がわかる。河道内のIでは、高潮位時に比べて、波向はさまざまであり、河道内の干潟や砂州に対しては、低潮位時には波浪の影響が及びにくいことを示している。

また、低潮位時の海浜流の分布（図-7）をみると、砂州の外縁部に沿って、KとMに右岸側と左岸側に分かれる2つの流れが見出せる。これは、高潮位時にもみられるが、低潮位時に強くなる。特に、砂州の外縁部の両端の河岸の近傍が強い。また、左岸側のKでは、水路に流れ込むような強い海浜流がみられる。また、Mの右岸の岬と河口砂州間の水路周辺Nでは、砂州外縁からの流れと、河道から海に向かう流れがともにある。

Lには左岸側から右岸側に向け、さらに波浪に対するバリアの背後となっている河口砂州の平坦部に広がるような流れがみられる。海浜流による海底面付近での物質輸送は、低潮位時にはこの流れに影響されると考えられる。これは、潮汐による物質輸送が行なわれ、砂州背後の平坦面は地形上は堆積環境となるが、海浜流によりゆるやかに左岸側から右岸側に流出すると考えられる。

6. 河口砂州の環境特性と土砂管理

土砂管理面では、砂州地形の保全の観点からは、過度の系外への持ち出しは、砂州の縮小や変形を引き起こすため、土砂の収支や移動を把握する必要がある。

番匠川河口砂州周辺では、主に漁船の航路の維持目的に掘削が行なわれている。

地形的に、番匠川河口左岸側は、潮位に寄らず卓越波の条件で、海浜流により土砂が運ばれ堆積する空間となっている。常にそこに掘削された航路は埋没するメカニズムであるため、維持浚渫が必要になっている。また、低潮位時には、さらにその傾向が強くなる。右岸側も同様である。よって、砂州周辺の2つの航路は地形上、埋没が避け得ない特性となっている。

また、砂州の外縁部や前置斜面は、砂州自体の地形の維持だけでなく、漁場環境上も重要である。鶴見漁協の漁業者によれば、河口砂州の前置斜面には砂が堆積しているが、イセエビが生息しており刺網により漁獲されるという。一般に、イセエビは外洋水が寄せる岩礁に生息するが、番匠川河口砂州の外縁部は、岩礁ではないものの、外洋水の影響を受ける海底面である。豊後水道からの外洋水が佐伯湾に流入することが知られており、番匠川からの流入水がエスチュアリー循環を起こして、河口砂州の前置斜面に沿って外洋水が海底から湧昇している可能性が示唆されている。

7. 河口・沿岸砂州地形の汽水域生態系保全での役割

河口砂州の存在が、汽水域生態系の保全、とりわけ、生息地の物理環境の安定化に果たす役割を考察する。

①海からの外力に対して：汽水域を静穏にする役割。海域からの波浪が直接入射しないようなバリアとして機能する。

②河川からの外力に対して：汽水域の生物の出水時の河川流による海域のフラッシュを防ぐ。

砂州周辺に小規模な渦流が形成され、浮遊幼生がトラップされる流れの構造をつくる。一方、その渦流は一定でなく、潮汐に応じて形成・消失するため、トラップされた物質や生物が過度に溜まり続けることがない。

河口域の生物のうち、アサリを事例に考える。アサリが産卵した場合、浮遊幼生が河口域で保持される必要がある。河口域での河川流が強すぎると、河口域に浮遊している幼生は、外洋にフラッシュされてしまう。一般に浮遊幼生は、海域の水塊中で成長を続けることが知られているが、着底に適したサイズに成長しても、外洋などでは着底の適地がないため、その幼生は結果的には死滅してしまう。そのため、着底が必要なアサリの浮遊幼生にとっては、着底までの成長期間中には河口域や浅海域にとどまることが必要不可欠な条件である。

仮に河口砂州が存在しなかったとすると、出水時の河川流はフラッシュ効果を強めるため、河床への掃流力も強くなる。その結果、平常時に汽水域に浮遊している幼生だけでなく、河口域の河床に着底したアサリの稚貝に対しても強い攪乱をもたらすことになる。

逆にいえば、河口砂州は、日本の河川管理では治水上は除去すべき対象とされてきた。砂州を無くして、洪水時のフラッシュ効果が高めてきたのだが、これは、河口域の生物にとっては全くの逆像であり、表裏一体であった。すなわち、河口砂州の除去は、生息環境への過度の攪乱と生息条件の不安定化、さらには海域へのフラッシュアウトというクリティカルな影響を与えたと考えられる。

上述のように、河口砂州は、治水上や航路維持上からは除去すべき対象であったが、河口域の変動が激しい環境に生息するこれらの生物にとっては、生息環境の“安全弁”ともいえる存在であるといえる。

8. 生息水塊の水温変動

水温は、水生生物の成長や生残に大きく影響する。生活史全体で考えると、低水温では幼生や稚貝の成長が遅れ、低水温や高水温では幼生の生残が悪化する。また、親貝の成熟や産卵の時期や速度も水温に依存している。

番匠川河口域の水塊は、佐伯湾の海水の影響を強く受ける。佐伯湾は、豊後水道から流入する外洋水の影響を強く受けており⁶⁾、河口域の温度環境は佐伯湾に支配されることが考えられる。

番匠川河口域の水温の連続的な長期観測は行なわれていない。河川管理上不必要であったためであろう。一方、水産研究では水温データは最重要であるため、河口近傍の佐伯湾内の上浦で、大分県海洋水産研究センター地先での、約 30 年間の連続データがとられてきた。本研究では、この大分県海洋水産研究センター（旧：大分県水産試験場、1996 年に改名）による貴重な 1990～2003 年のモニタリングデータをもとに、アサリ資源の急激な崩壊が生じた 1994 年とその前後の期間の特性を調べた。

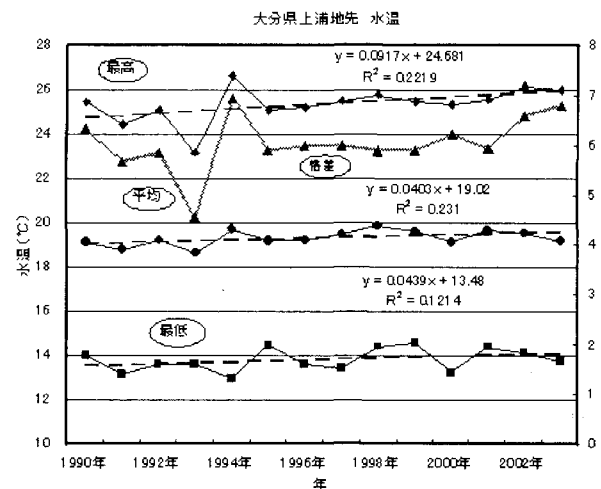


図-8 佐伯湾上浦地先水温（1990～2003 年）の最高・最低・平均値・較差の変動

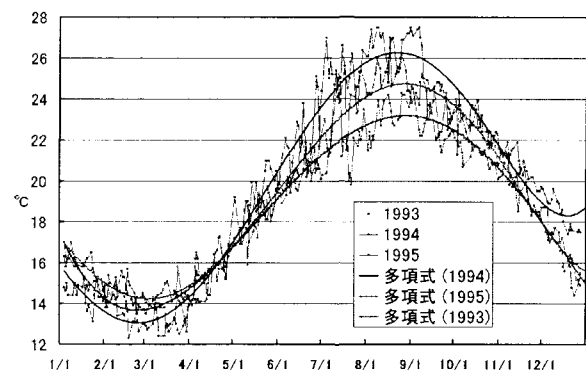


図-9 佐伯湾上浦地先水温（1993～1995 年）の年変動

図-8 に佐伯湾上浦地先水温（1990～2003 年）の最高・最低・平均値・較差の変動を示す。14 年間の観測期間のうち、1993 年は特異的に低水温であり、1994 年は特異的な高水温に転じた。最高と最低の較差では、1993 年は 4.4℃だが、1994 年には最高温度の高さが影響して 7.1℃であった。また、この期間に全体的な温度上昇がみられ、10 年で最高は約 1℃、平均と最低は 0.4℃上昇した計算になる。

図-9 に 1993～1995 年の年変動を示す。1995 年が平均的な年変動を示しているの、それと比較して 1993 年と 1994 年の温度の年変動の曲線をみた。1993 年は、夏季に低水温が生じ約 22℃である。1994 年は、最高が 8 月の高

温期間で約 26℃と高く、2月の前に最低が、2月後半から3月の約13℃である。1995年以降は概ね年変動と同じパターンで、1993、1994年の温度変化の急変が検出された。

9. 生息水塊の水温変動とアサリの生活史

番匠川河口のアサリの産卵期は、親貝サイズのコホート分析から、5-6月の春季と8-10月の秋季と考えられている。主な産卵群は秋季のようなので、親貝の成熟には夏季の温度条件が影響する。

上述のように、番匠川河口のアサリが激減した1994年とその前年は、水温変動が激しかったことが判った。1994年に漁獲サイズとして加入する個体群は、1993年の低水温の夏季が生活上の重要な時期であった。成貝であれば成熟し、幼生や稚貝は成長する時期である。低水温では、成熟が遅れ、その結果として産卵数が減少し、幼生や稚貝の加入自体が減少した可能性がある。また、初期生活史を送る秋季も低水温であり、幼生や稚貝の成長が悪化したと考えられる。また1993年の記録的な低水温により夏の段階での個体群の減少があり、さらに一転した1994年の高水温では、稚貝や成貝の成長や生残が悪化したと考えられる。

10. 結語

番匠川河口域のアサリ資源の崩壊の研究の端緒には、1993年に上流の石灰石採掘場が崩壊し、河道を1週間堰き止め、その後疎通したが、その影響が下流域に及んだのではないかとこの事件が原因との仮説が地元にある調査研究が進められた。1993年に、斜面崩壊が起きるような豪雨が多かったことは確かであるが、上流の事件に対する応答が、翌年に河口域の生物にただちに及ぶかの検証はかなり困難である。

調査開始が、問題の現象から約8年を経たからなので、過去の検証は大変困難であった。そのため、研究チームは、現況の番匠川河口の物理・生物環境の特性の観測や調査を開始し、環境特性を解明しつつある^{1,2,3,4)}。一方、過去を可能な限りで検証するためには、環境変遷²⁾の中長期の傾向のなかで、当時や現時点の位置づけを行なう必要がある。

本研究は、現在の特性と過去の長期間観測データの検証の双方からアプローチをおこなった。

水生生物の生息地の場を規定する要素として、地形と波・流れ環境がある。河口砂州は、河口域環境の調整を行なう機能をもっている。それを前提にして、河口域の生物の生活史が構築されているはずである。河口砂州は、波浪の減衰の効果を持つが、しかし決して完全な静穏域を形成して流動を停滞させることはない。日変動では潮汐に応じて、また出水時にはフラッシュして変形するためである。このような河口砂州は水循環の装置ともいえる存

在であるが、一方で、治水上には掘削され除去されるべき対象と考えられてきた。しかし、本研究のように、生物の視点から、河口砂州を評価しなおし、河口域の管理のあり方を見直すことが必要であろう。

また、水温の影響の検討については、水産試験場で長期間同じ方法で観測されたデータセットが見出されて初めて検討が可能となった。水産資源や生物個体群の変動の研究や環境影響の検討や予測には、このような長期モニタリングデータが不可欠である。1994年のアサリ資源崩壊の原因を特定はできないものの、本研究により水温の影響が看過できない点を指摘した。

謝辞：本研究は、土木学会水工委員会河川懇談会の共同研究計画「汽水域の環境特性に関する研究（番匠川）」の一環である。当委員会と国土交通省河川局には本研究の機会をいただいた。地域の水産情報の収集には、佐伯市役所林業水産課、鶴見町役場水産課にご協力をいただいた。多分野にわたる調査や資料収集には佐伯河川国道事務所小犬丸智明氏、時任勝宏氏ほか職員の皆様にご尽力いただいた。大分県海洋水産研究センターには、海水温定点調査結果をご提供いただいた。数値計算は千葉大学渡辺宗介氏にご協力いただいた。また、河口域環境検討手法の開発は、清野への文部科学省科学研究費および河川整備基金のご助成による。ここに記して感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 清野聡子・小松利光・安達貴浩・井上徹教・高見徹・中茂義晶・別府五男・郡山貞次：水産生物資源の変動に関する複合的要因の解明過程における課題—大分県番匠川河口干潟のアサリを例として—、第30回環境システム研究論文発表会講演集、pp. 71-78, 2002.
- 2) 清野聡子・高見徹・東野誠・中茂義晶・平島英恵・井芹寧・小松利光・渋谷吉之・荒巻重則・西川勝義：大分県番匠川における漁村の漁労・歴史性に応じた漁業者の経験知と情報にもとづく河口域環境の変遷、第32回環境システム研究論文発表会講演集、2004(印刷中)。
- 3) 高見徹、東野誠、井上徹教、中茂義晶、安達貴浩、清野聡子、別府五男、郡山貞次、小松利光：河口干潟の環境と水産生物資源の変動に関する現地観測、水工学論文集、第47巻、pp. 1081-1086, 2003.
- 4) 東野誠、高見徹、中茂義晶、平島英恵、井上徹教、清野聡子、高木章次、荒巻重則、小松利光：底質環境が河口干潟の生態系に及ぼす影響、水工学論文集、第48巻、pp. 1303-1308, 2004.
- 5) 清野聡子・宇多高明・芹沢真澄・三波俊郎・古池 鋼：干潟周辺域における海浜流系の発達と人工構造物建設による影響、水工学論文集、第47巻、pp. 1309-1314, 2004.
- 6) 高野英利：佐伯湾の平均的な環境と夏季低水温および高温域の出現について、大分県水産試験場調査研究報告、No. 15, pp. 32-45, 1993.

(2004. 9. 30 受付)