

シジミの個体群動態を考慮した汽水域生態系モデルの構築 — 潟沼 (川) を事例にして —

明田定満*・中村義治**・奥出 壮***

潟沼 (川) におけるシジミ漁獲量の激減はシジミの乱獲に加え、淡水化の進行、貧酸素水塊の形成等が原因とされる。生物生産や水質浄化等の機能を定量評価し得る汽水域生態系モデルを用いて、潟沼 (川) における生物生産と水質環境の再現を試みた。シジミ漁業の再生と水質改善の両立を目的とする潟沼川作渚の影響を検討した結果、作渚により外海との海水交換が促進され、潟沼 (川) 全域で塩分濃度が上昇する反面、潟沼上流部では栄養塩濃度増加、溶存酸素量低下、潟沼下流部から潟沼川河道部では栄養塩濃度低下、溶存酸素量増加、さらに、潟沼内ではシジミ資源量増加、潟沼川河道内ではシジミ資源量減少が予測された。

1. 緒 言

潟沼は潟沼川、那珂川河口を通じて太平洋に接する湖水面積9.35 km²、平均水深2.1 m、周囲20 km の汽水湖であり、宍道湖、十三湖、小川原湖、網走湖等と同様に、汽水域の主要漁獲対象種であるヤマトシジミ (以下、シジミという) の国内有数の漁場となっている。

昭和40年代まで、那珂川河口から潟沼上流部まで広範囲に存在したシジミ漁場は、シジミの乱獲に加え、淡水化の進行、湖中央部における貧酸素水塊の形成、干拓や護岸工事による水草帯の減少等により、現在では潟沼下流部から潟沼川に至る約 8 km の水域に縮小している (中村, 2000)。そこで、潟沼 (川) におけるシジミ漁業生産の回復と水質底質の改善の両立を図る環境改善策として、シジミの産卵成長には塩水刺激が必要であることを考慮して、外海との海水交換を促進する潟沼川の作渚が提案されている。

桑原・斉藤 (2003) は、シジミ幼生は塩水遡上時に浮上、淡水流下時に沈降する等、塩分濃度に応じた選択的行動特性を持つことを示し、シジミ幼生の着底機構に及ぼす塩分刺激の重要性を指摘している。また、三村ら (2002, 2004)、信岡ら (2003) は、潟沼における貧酸素水塊の形成には密度成層の発達が関与しており、間欠的な塩水遡上の影響が大きいことを明らかにしている。さらに、シジミの産卵成長に寄与すると考えられる塩水遡上を促進する潟沼川作渚は、環境悪化に繋がる貧酸素水塊の形成を助長促進する危険性があることを指摘している。

本論では、汽水域生態系が有する生物生産や水質浄化等の機能を定量評価し得る汽水域生態系モデルを構築す

るとともに、潟沼～那珂川河口域に至る汽水域を対象にして、①潟沼 (川) における生物生産と水質環境の再現、②潟沼川作渚の影響について、汽水域生態系モデルを使った定量的な検討を実施したので、その概要を報告するものである。

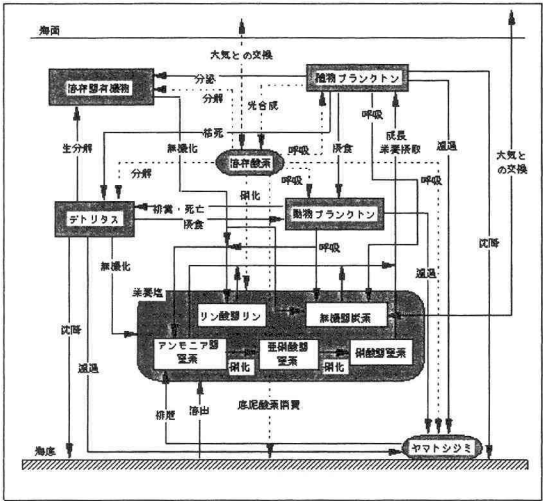


図-1 汽水域生態系モデルの概要

2. 個体群動態を考慮した汽水域生態系モデルの構築

動植物プランクトンや栄養塩等の水中浮遊物質の多くは力学的に受動的であり、分布は流れによる輸送や乱流混合の流体力学過程に支配されるため、浮遊物質の局所的な現存量変化を評価する場合、物理過程と生物化学過程の相互作用の取り扱いが必要となる。本論では、対象汽水域 (潟沼～那珂川河口域) の物質循環や生態系に影響を及ぼす生物種として、潟沼 (川) における生物生産の大半を占め、最盛時年間約6,000トンの漁獲量のあつ

* 正会員 (独法)水産総合研究センター水産工学研究所
** 水博 (独法)水産総合研究センター水産工学研究所
*** 理博 (株)中電 CTI

たシジミを取り上げ、シジミの代謝（濾水、摂餌、同化、呼吸、成長、産卵生殖等）を考慮した個体群動態モデルを組み込んだ汽水域生態系モデルを構築する（図-1）。なお、代謝パラメータは原則として潟沼における実測値、生物特性値を用いることとしたが、入手できない代謝パラメータは、宍道湖等で得られている既往文献値（例えば；中村，1998；中村ら，1983；中村ら，2001）を参照した。

（1）濾水速度

シジミの濾水速度 F (l/g-dry/hr) は、最大濾水速度 $F_{\max}$ 、水温 T (°C)、年間の最低水温と最高水温 $T_{\min}$ (°C)、 $T_{\max}$ (°C)、定数 θ として次式で表した。

$$F = 4 \times F_{\max} \times \theta (1 - \theta), \theta = \left(\frac{T - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \right)^{\beta} \quad (1)$$

Fuji (1979)、田中 (1984)、中村ら (1983) を参考に餌料濃度 C (mgC/m³)、餌料濃度の半飽和定数 K_F (mgC/m³)、濾水速度定数 F_0 (l/day)、シジミ身肉部の乾重量 W_f (g-dry/ind.)、身肉重指数 b とすると、最大濾水速度 $F_{\max}$ は個体サイズ（例えば殻長や個体重量）を考慮して次式で表した。

$$F_{\max} = \sqrt{\frac{K_F}{K_F + C}} \times F_0 \cdot W_f^b \quad (2)$$

（2）同化率

同化量 A は濾水速度 F 、同化率 r 、餌料濃度 C に比例するが、餌料濃度が高い場合、生理学的限界から、同化量は上限を持つと考えられる。そこで、同化率 r は最大同化率 $r_{\max}$ (%), 同化率の半飽和定数 K_C (mgC/m³) として次式で表した。

$$r = r_{\max} \sqrt{\frac{K_C}{K_C + C}} \quad (3)$$

（3）基礎代謝及び摂餌時呼吸

位田・浜田 (1975) は、茨城県利根川産のシジミの酸素消費実験（無摂餌時）から、呼吸速度 Q (ml/kg/hr) は、

$$Q = 4.68 \exp(0.0825 \times T) \quad (4)$$

を得ている。一方、柏崎ら (1998)、中村 (1998) は水温 5～25°C において、呼吸速度は指数関数的に増加するが、25°C を越す高水温時には呼吸速度が減少することを示している。静止呼吸速度定数 a_R 、身肉指数 b_R 、水温指数 β_R 、活動呼吸の割合 η として、呼吸速度が個体サイズ（身肉重）に依存するように次式で表した。

$$R = a_R \cdot W_f^{b_R} \times 4 \times \theta (1 - \theta) + \eta \times F, \theta = \left(\frac{T - T_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \right)^{\beta_R} \quad (5)$$

（4）殻長重量関係式（アロメトリ式）

シジミの殻長 L (mm) と個体重量（殻と身肉部） W (g-wet/ind.) 関係は実測値に基づき、 $\log W = 3.057 \times$

$\log L - 3.535$ で表した。また、Fuji (1979) を参考に、シジミの殻長 L (mm) と身肉部の乾重量 W_f (mg-dry/ind.) の関係は $\log W_f = 3.548 \times \log L - 5.78$ で表した。

（5）成熟と産卵

シジミの生物最小形は雌 10.5 mm、雄 14.3 mm とされるので（丸，1981）、殻長 12 mm 以上の個体のみ生殖巣を発達させるように設定した。また、潟沼ではシジミの産卵は夏季に行われるので産卵期を 8/1-31 と設定し、産卵に伴う身肉重（湿重）の減少は Fuji (1979) に従い、30.9% と仮定した。

（6）貧酸素耐性

シジミは貧酸素環境に強い耐性を持つことが知られているが、長期に渡って貧酸素状態に晒された場合、斃死に至る。貧酸素環境下の生残率（中村，2000）に従い、溶存酸素量 DO 濃度が 1.0 mg/L 以下の場合、シジミの死亡率が 20%/day 上昇すると設定した。

（7）死亡速度（減耗率）

茨城県内水面水産試験場によるシジミの分布調査結果に従い、死亡速度（減耗率） m を 0.5/year に設定するとともに、漁獲による死亡速度は漁業実態に合わせて、殻長別に設定した。

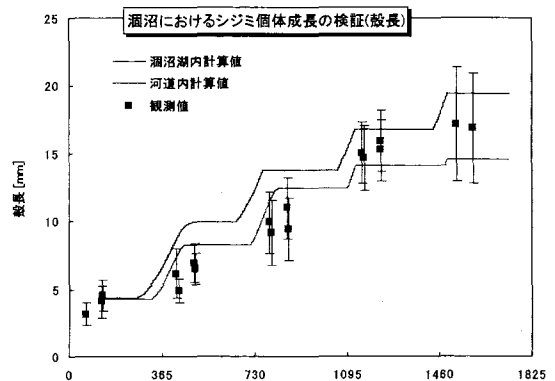


図-2 シジミ個体成長に関する解析値と観測値の比較

（8）個体成長モデルの検証

代謝を考慮した個体成長モデルの妥当性を検証するために、潟沼内と潟沼川河道内を対象に、個体（殻長）成長に関する解析を行った。シジミ個体成長に関する解析値と観測値の比較を図-2 に示す。代謝を考慮した個体成長モデルによる解析値は、春季から夏季にかけて、水温上昇に伴う餌料密度の増加により殻長の成長が促進され、秋季から冬季にかけて、水温低下や餌料密度減少により殆ど殻長の成長が見られない観測値を概ね再現することが出来た。また、潟沼内の餌料密度は年間を通じて潟沼川河道内より高いことから、潟沼内は潟沼川河道内

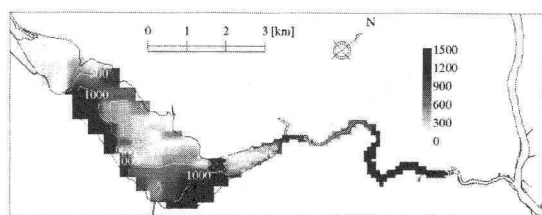


図-3 シジミ分布密度 (2002年5月)

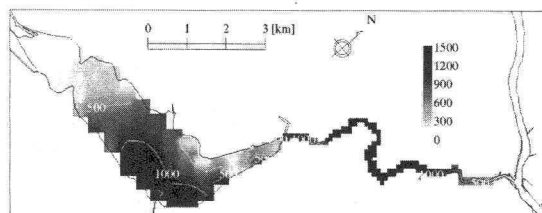


図-4 シジミ分布密度 (2002年10月)

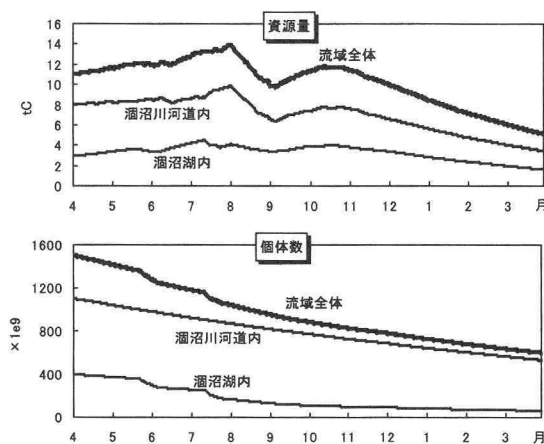


図-5 シジミ資源量の経時的変化 (解析結果)

より成長速度が高く算定される。

3. 汽水域生態系モデルによるシジミ資源の解析

個体群動態を考慮した汽水域生態系モデルの妥当性を検討するために、瀬沼 (川) のシジミ漁場に汽水域生態系モデルを適用して、平成14年度 (2002.4.1~2003.3.31) における水理・水質環境、生物環境の再現を試みた。汽水域生態系モデルによるシジミ資源動態の解析は、平成14年4月1日の現存量を初期値として、個体成長を加味した資源動態を解析したものであるため、夏季に産卵し着底加入した稚貝は考慮されていないことに留意する必要がある。なお、夏季に産卵し着底加入した稚貝は1年経過すると概ね殻長4 mm以上となることから、本論では殻長4 mm以上を成貝、殻長4 mm以下を稚貝と呼称する。

(1) シジミ成貝・稚貝の分布密度 (観測値)

汽水域生態系モデルの検証データとして、茨城県内水面水産試験場によるシジミの分布調査結果を用いる。調査結果を空間内挿したシジミ分布密度 (ind./m^2) を図-3、図-4に示す。春季 (5月)、前年度夏季に産卵し漁場に着底加入したシジミ稚貝の分布密度の高い地点は瀬沼内特に瀬沼南岸に広範囲に観測されるが、シジミ成貝の分布密度の高い地点は瀬沼川河道内に限定される。一方、秋季 (10月)、瀬沼内では瀬沼南岸の限られた地点を除いてシジミ成貝の分布密度が激減していることが分かる。瀬沼内のシジミ資源が激減する理由として、夏季、瀬沼の湖中央部から上流部にかけて発生する貧酸素水塊の形成が減耗要因の一つと考えられている。

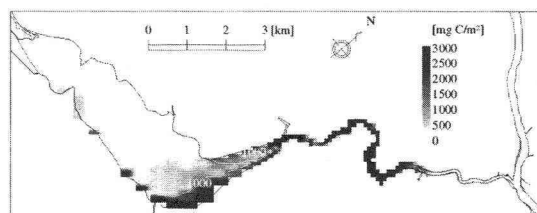


図-6 シジミ資源量分布 (2002年10月, 解析結果)

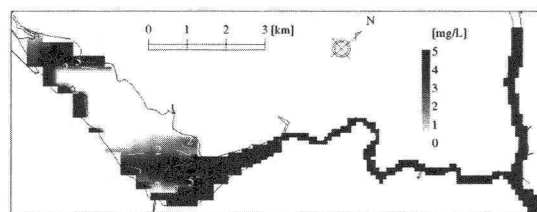
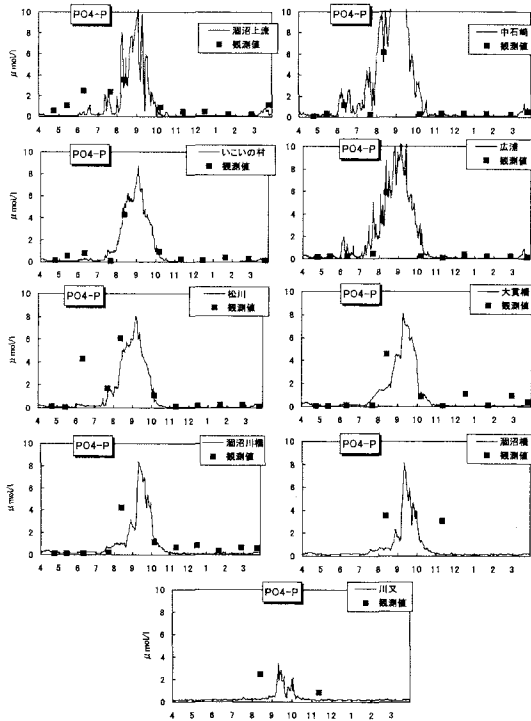


図-7 溶存酸素量の空間分布の例 (解析結果, 8/30)

(2) シジミ成貝の分布密度 (解析値)

汽水域生態系モデルによるシジミ資源量、個体数の経時的変化に関する解析結果を図-5に示す。なお、瀬沼内及び瀬沼川河道内のシジミ資源量は、身肉部の炭素量 (mgC/m^2) に漁場面積を乗じて求めた。

①春季から夏季にかけて、水温上昇に伴い餌料密度が増加するため、個体成長が促進され資源量が増加し、産卵期直前 (夏季) に最大となる。②夏季の資源量減少は、水温上昇による基礎代謝量の増加による身肉重量減少、産卵放精による身肉重量減少、瀬沼の上流部から湖中央部に発生する貧酸素水塊の形成による死亡増加等の要因による。③秋季、水温低下に伴い基礎代謝量が低下するとともに、瀬沼の上流部から湖中央部に形成された貧酸素水塊の消失等により、シジミ資源量は回復する。④冬季、水温低下、餌料密度の低下、自然死亡や漁獲死亡の増加により資源量が減少する等、瀬沼 (川) のシジミ資源動

図-8 PO₄-Pに関する解析値と観測値の比較

態を概ね再現することが出来た。

汽水域生態系モデルによるシジミ資源動態の解析結果のうち、秋季（10月）のシジミ資源量（mgC/m²）分布を図-6に示す。涸沼（川）におけるシジミ資源量は、涸沼河道内と涸沼南岸の一部に偏在することを概ね再現することが出来た。なお、秋季のシジミ資源量の空間分布は夏季に湖央部から上流部にかけて発生する貧酸素水塊（1.0 mg/L 以下）の空間分布（図-7）と類似しており、シジミ資源動態や空間分布に及ぼす貧酸素水塊形成の影響の大きさが示唆された。

（3）涸沼（川）の栄養塩、溶存酸素量の季節変化

汽水域生態系モデルを用いて、涸沼（川）における栄養塩（PO₄-P、NO₃-N、NH₄-N）、クロロフィル量、溶存酸素量 DO の経時変化を解析した。解析結果の一例として、PO₄-P の解析値と観測値の比較、溶存酸素量 DO に関する解析値と観測値の比較を図-8、図-9に示す。何れの解析値も概ね観測値の傾向を再現しており、夏季、涸沼上流部から湖央部に貧酸素水塊の形成、底泥からの栄養塩溶出等の現象を合理的に説明できることから、汽水域生態系モデルの再現性、妥当性を確認することができた。

4. 涸沼川作渚の影響

涸沼川のような蛇行する感潮河川は、蛇行部の前後に

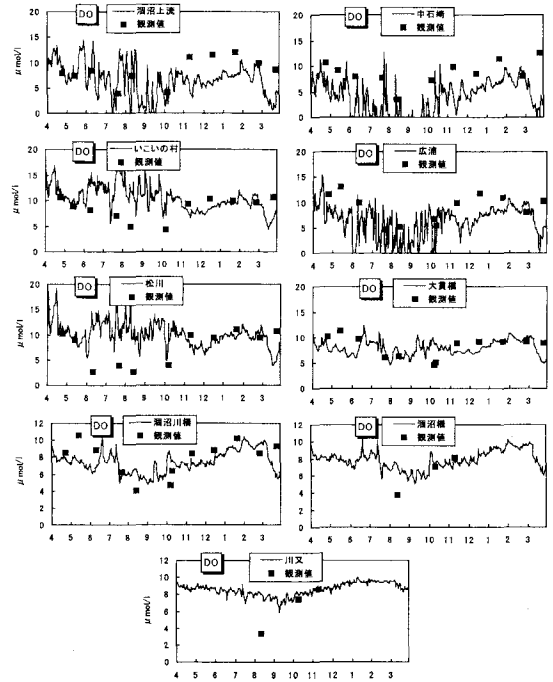


図-9 溶存酸素量 DO に関する解析値と観測値の比較

瀬と渚が見られ、起伏の大きな河床形状が形成される。桑原・斉藤（2003）は、シジミ幼生の塩分濃度に対応した選択的な行動と、起伏の大きな涸沼川の河床形状が相まって、涸沼川の蛇行部にある“渚”にシジミ幼生が着底集積し易いことを指摘している。

涸沼（川）におけるシジミ漁業生産の回復と水質底質の改善の両立を図る方策として、海水交換（塩水遡上）を促進する涸沼川作渚が提案されているが、三村ら（2002, 2004）、信岡ら（2003）が指摘しているように、涸沼川作渚の影響は海水交換が促進されるだけではなく、涸沼環境特に生態系に計り知れない影響を及ぼすことが考えられる。涸沼川作渚として、川幅拡張、湾曲部の直線化、河床掘削等が想定されるが、本論では涸沼川河道内に存在する水深 3 m 以下の“瀬”を水深 3 m まで河床掘削した場合の影響について定量的に検討した。

（1）水温・塩分分布に対する影響

涸沼川作渚により、涸沼川河道内は塩水遡上が促進されることから、作渚箇所の上流側で春季から夏季にかけて水温が低下し、秋季から冬季にかけて水温が上昇する。一方、涸沼は平均水深 2.1 m と非常に浅い湖沼であるため、水温変化は海象（潮汐）より気象に左右されることから、塩水遡上に伴う涸沼内の水温変化は顕著でない。

涸沼川作渚により、涸沼内において通年 0.5-1.0 psu、涸沼川河道内において 1-3 psu の塩分濃度の上昇が期待できる。特に涸沼内では夏季と冬季に塩分濃度が高まる。

産卵時期でもある夏季の塩分濃度の増大は、シジミ幼生の発生、着底、稚貝の成長にとり好適環境の創出と考えられる。シジミ成貝は低塩分条件下では濾水速度が著しく低下することから、低塩分環境の解消は濾水速度の改善に繋がり、成長促進が期待できる。

(2) 栄養塩分布に対する影響

三村ら(2002, 2004)が指摘するように、潟沼内の塩分濃度の上昇は、潟沼の湖央部から上流部に発生する貧酸素水塊の形成を促進助長する可能性が高いことから、潟沼上流部で栄養塩濃度の増加、溶存酸素量の減少、海水交換が促進される潟沼下流部、潟沼川河道内では栄養塩濃度の減少、溶存酸素量の増加が予測される。

(3) シジミ資源動態に対する影響

シジミ資源動態に及ぼす影響を図-10に示す。潟沼川作滞により、現在より高塩分環境に移行する潟沼川河道内では、溶存酸素量が増加することを反映して、シジミ個体数が増加するが、シジミ成貝の濾水速度が低下し、成長が鈍化するため、シジミ資源量が大幅に減少することが予測される。一方、潟沼内特に潟沼下流部では塩分上昇に伴い、低塩分環境が解消されるためシジミの個体数、資源量ともに改善することが期待される。

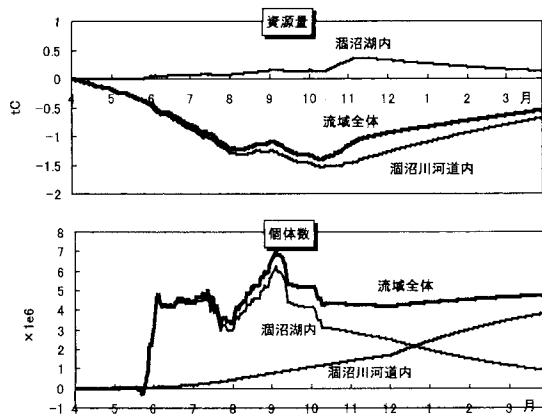


図-10 潟沼川作滞の影響

5. 結 語

シジミの個体群動態を考慮した汽水域生態系モデルを用いて、潟沼(川)におけるシジミ漁業生産の回復と、水質底質の改善の両立を図る潟沼川作滞(水深3mに河床掘削)の影響について検討した。①海水交換が促進される結果、潟沼(川)全域において塩分濃度が1-3

psu 上昇するため、潟沼内の低塩分環境が解消される。②潟沼上流部では栄養塩濃度が増加、溶存酸素量が低下するが、潟沼下流部、潟沼川河道部では栄養塩濃度が低下、溶存酸素量が増加する。③潟沼内ではシジミ資源量が増加、潟沼川河道内ではシジミ資源量が減少する、等の結果が得られた。なお、解析結果はシジミ代謝(特に濾水速度の塩分特性)特性値の精粗に依存しているため、解析結果の解釈に当たり代謝特性値の検討を十分行う必要がある。また、解析結果の精度向上には代謝特性値の蓄積整理が必要不可欠である。

謝辞: 本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「流域圏における水循環・農林水産生態系の自然共生型管理手法の開発(自然共生)」の実施課題の成果であることを付記して、農林水産技術会議事務局並びに関係機関、関係諸氏に感謝を表する。

参 考 文 献

- 位田俊臣・浜田篤信(1975): 酸素欠乏にともなうヤマトシジミの代謝変動について, 水産増殖, 23巻3号, pp. 111-114.
- 柏崎守弘・盛岡美津子・木幡邦夫(1998): ヤマトシジミを利用した汽水域の水質浄化に関する基礎的研究, 用水と排水, 第40巻第2号, pp. 34-39.
- 桑原久実・斉藤 肇(2003): 下流潟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.
- 田中彌太郎(1984): ヤマトシジミ稚仔期の形態及び生理的特性について, Bull. Natl. Res. Inst. Aquaculture No.6, pp. 23-27.
- 中村幹雄・山本孝二・須藤正志・後藤悦郎・大島展志(1983): 昭和58年度赤潮対策技術開発試験報告書(島根県), pp. 1-87.
- 中村幹雄(1998): 宍道湖におけるヤマトシジミ *Corbicula japonica* PRIME と環境との相互関係に関する生理生態学研究, 島根県水誌研報, 第9号, 192p.
- 中村幹雄編著(2000): 日本のシジミ漁業, たたら書房, 266p.
- 中村義治・寺澤知彦・中村幹雄・三村信男(2001): 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.
- 信岡尚道・三村信男・根本隆夫・布目彰一・斎川義則・大竹佑馬(2003): 汽水湖への塩分侵入の過程と条件-茨城県潟沼川・潟沼を対象にして-, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 401-405.
- 丸 邦義(1981): 網走産ヤマトシジミ *Corbicula japonica* PRIME の生殖周期, 北水試報, 23, pp. 83-95.
- 三村信男・信岡尚道・三門市圭史・布目彰一・横木裕宗・根本隆夫(2002): 水質改善に向けた感潮支川・潟沼の塩分動態の解析-潟沼川・潟沼を対象にして-, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 336-340.
- 三村信男・吉野哲平・信岡尚道・横木裕宗・荒井将人(2004): 潟沼における DO の挙動とその支配要因, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 941-945.
- Fuji A. (1979): Phosphorus Budget in Natural Population of *Corbicula japonica* Prime in Poikilohaline Lagoon, Zyusan-ko. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 30(1), pp. 34-49.