

小川原湖の水質変動とヤマトシジミの生息環境

Water Quality variation and habitat environment for *Corbicula japonica*
in Lake Ogawara

鈴木誠二¹・西田修三²・金城周平³・中辻啓二⁴

Seiji SUZUKI, Shuzo NISHIDA, Shuhei KANESHIRO and Keiji NAKATSUJI

¹学生会員 工修 大阪大学大学院 土木工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

²正会員 工博 大阪大学大学院助教授 土木工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

³学生会員 大阪大学大学院 土木工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

⁴正会員 工博 大阪大学大学院教授 土木工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

In a blackish lake, rich organic matters and nutrients are supplied from a river, and salinity is provided from a sea. There exists a balanced ecosystem, and its stability greatly depends on the nutrient cycle. On the other hands, the matter cycle depends on the ecosystem. Therefore, it is important to understand the characteristics of the water qualities considering the ecosystem to manage and preserve the water environment in a blackish lake.

In this study, we evaluate the habitat environment for *Corbicula japonica* using its growth model. And, we analyze the seasonal and annual variations of water qualities, using a hydrodynamic model coupled with an ecological model to clarify the relation between the water qualities and the amount of *Corbicula Japonica*.

Key Words : ecosystem, *Corbicula japonica*, Water Quality, DO, habitat

1. はじめに

汽水湖は、上流から豊富な栄養塩が供給されるとともに、下流からは塩分が供給され空間的に異なる水質環境が形成されている。また、停滞性が強い一次生産が盛んに行われ、生態系の多様性も高い。汽水域の水環境は系外からの負荷量、気象、そして、生態系の活動に大きく依存する。一方で、生態系自身も気象や水質に大きく依存している。したがって、汽水域における水環境の管理と保全を行うためには生態系や気象を考慮した水質変動特性を把握する必要があるとともに、気象や水質の変動が生態系自身に及ぼす影響についても把握する必要がある。

本研究の対象とする小川原湖は、高瀬川水系の河口部感潮域に位置する汽水湖である。小川原湖の塩分循環は、湖と太平洋の水位の逆転に伴う河道部の塩水遡上、湖口への流入拡散、湖心への流下と底層貯留、鉛直混合、河道への流下と海域への流出という各素過程より決定され、

長期的にはほぼ安定した環境を保っている¹⁾。窒素、リンなどの栄養塩は、周辺6河川からの流入と底泥からの溶出により供給される。湖内では一次生産が活発に生じ、死滅、沈降、分解などを繰り返しながら、様々な状態に変化して物質循環が行われている。また、小川原湖の優占二枚貝であるヤマトシジミは高い浄化能力を有し、植物プランクトンを含む水中懸濁物を濾過しながら捕食する。小川原湖には約3万トンのヤマトシジミが生息している。その水質浄化効果はCODで約20%に及ぶ²⁾。そのヤマトシジミの生息量、生息分布は、気象や水質の影響を受け変動する。その繁殖特性について、流動拡散モデルを用いた解析もなされている³⁾。

本研究では個体成長モデルを用いて小川原湖水域別のヤマトシジミの成長特性を明らかにするとともに、幼生の粒子追跡シミュレーションにより、ヤマトシジミの生息分布特性について解析を行う。また、観測データと水質モデルを用いて小川原湖の水質変動特性を解明するとともに、ヤマトシジミの個体数の変動と水質の関係についても数値解析の結果を基に考察をおこなう。

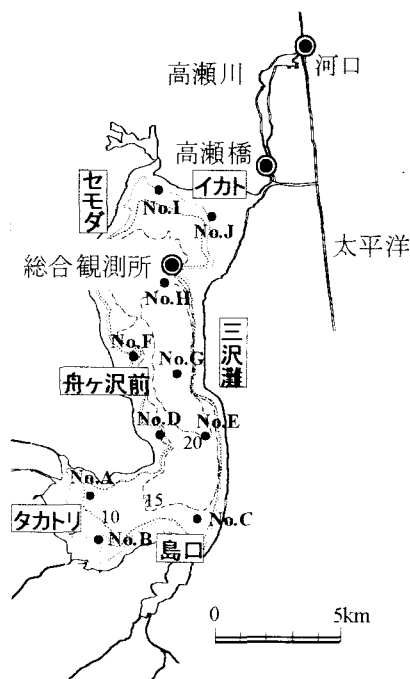


図-1 小川原湖と高瀬川

2. ヤマトシジミの成長速度

個体成長モデルはウバガイに適用されたもの⁴⁾を参考にし、軟体部の成長速度を

$$\frac{dDW_c}{dt} = F \times AE - R - G \quad (1)$$

で表わす。 DW_c は軟体部の炭素重量(mgC)、 F は摂餌速度(mgC/day)、 AE は同化効率、 R は呼吸速度(mgC/day)、 G は産卵(mgC/day)である。ヤマトシジミの摂餌速度については、中村ら⁵⁾による実験結果を参考に水温依存性を考慮し、25°Cで最大濾過能力8L/g・hを有し、5°C以下では冬眠状態となり濾過しないものとした。また、酸素消費については位田・浜田⁶⁾の提案式を用いた。産卵量に関しては水温に依存させた。殻長は軟体部の成長にともない増加するという条件の下、殻長の増加量 l (mm)と軟体部重量の増加量 W (mg)の関係式

$$W = 1.0 \times l^{2.945} \quad (2)$$

を用いて算出した。湖内10地点(図-1, No. A~No. J)で観測された水温とChl-aの平均値を用いて算出した成長曲線を図-2に示す。鶴田ら⁷⁾の輪紋により観測された成長曲線にほぼ一致している。冬期には水温低下により冬眠するため成長せず階段状の成長が確認された。湖内7地点でのChl-aの観測値と成長曲線を図-3と図-4に示す。夏期植物プランクトンの増殖が生じている小川原湖南西部から南東部にかけて成長速度が早く、春期に増殖が生

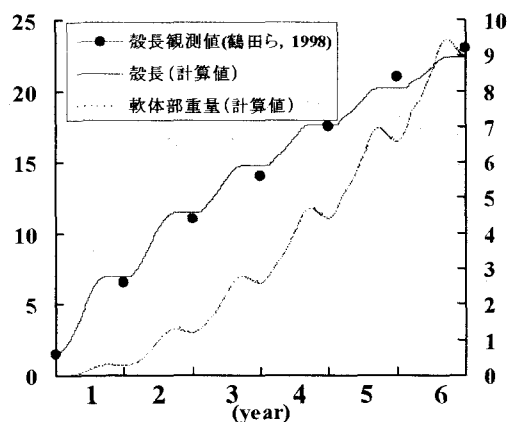


図-2 ヤマトシジミの成長曲線

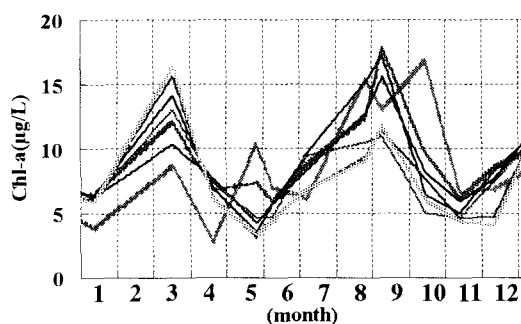


図-3 Chl-aの季節変動 (凡例は図-4)

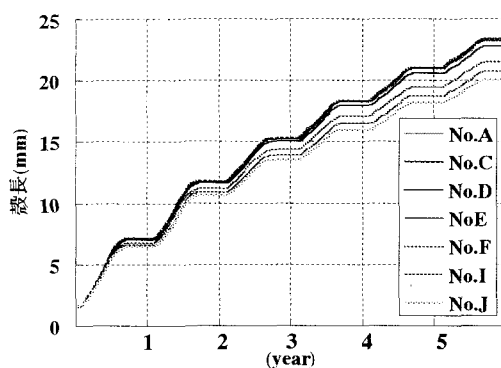


図-4 水域別成長曲線



図-5 湖口における塩水遡上

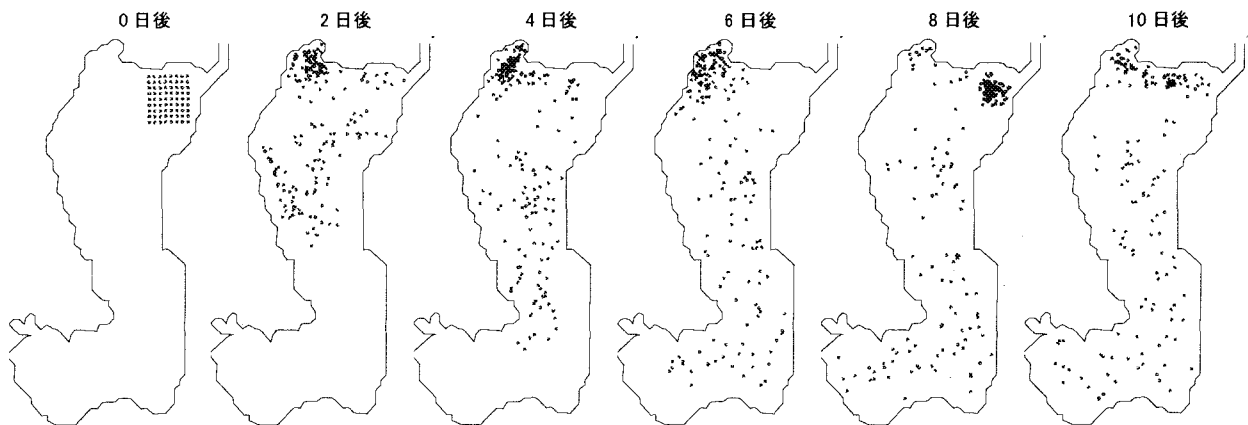


図-6 粒子追跡による幼生の浮遊

じている北東部が最も遅く、殻長にして最大10%の差異が生じている。これは、小川原湖南西部に流入する七戸川と南東部に位置する姉沼から、最もヤマトシジミが成長する夏期に、豊富な栄養塩が流入することにより、一次生産が活発に行われるためと考えられる。また、小川原湖北東部で成長が遅いのは、この水域ではヤマトシジミが高密度で生息し、餌となる植物プランクトンが慢性的に不足しているためと考えられる。

3. ヤマトシジミの生息分布

一般にヤマトシジミの成貝は、淡水に近い低濃度から海水に近い高濃度まで広い塩分環境で生息することができ、小川原湖全域で生息は可能である。しかし、産卵時に塩分が3~28psuの範囲になければ孵化しない。小川原湖の表層での塩分は一年を通じ約1psu前後である。

図-5に湖口における塩水遡上時の塩分分布を示す。産卵に適した塩分環境が形成されるのは、鶴田ら³⁾が指摘しているように、図のような塩水遡上時で、流入塩水が滞留する湖口周辺に限定されることが予想され、その結果、ヤマトシジミの生息分布が北部に偏っているものと考えられる。一方で人為的な稚貝の放流等により僅かではあるが湖南部、南西部にも生息している。そこで、湖口で産卵した浮遊幼生の移流を明らかにするために3次元流動モデルと粒子追跡モデルを用いて解析を行った。拡散方程式を用いた同様の解析が鶴田ら³⁾によって行われてもいる。本研究では幼生の濃度ではなく、移流過程の解析に重点を置いたため、河川流入、塩水遡上、気象、潮位変動を考慮し、幼生を粒子として取り扱った。産卵期である1994年の夏場の流動を再現し、粒子追跡を行った結果が図-6である。ただし、ここでは幼生の遊泳は考慮していない。一般に幼生は受精後3日~10日ほど浮遊し着底する。計算結果によると受精から2日後、幼生の多くは湖口より高瀬川へ流出し、また北東部から北西部にかけて浮遊するが、一部西岸にそって南下する。4日

後には南部に到着し南西部、南東部に広がっていく。8日後にはほぼ湖内全域に幼生が広がるのが可能である。しかし、南部に到達するのは全幼生の5%未満であり、また、移流過程における着底を考えると、湖南西部に到達できる幼生は極めて少ないと考えられる。

前節で述べたように、小川原湖においてヤマトシジミは、栄養塩の豊富な南西部から南東部にかけての水域が最も生息に適している。しかし、産卵環境が不適なため、その水域では増殖は望めない。このように汽水域に生息する生態は、その地形、流動、水質によって生息環境が大きく制限されている。

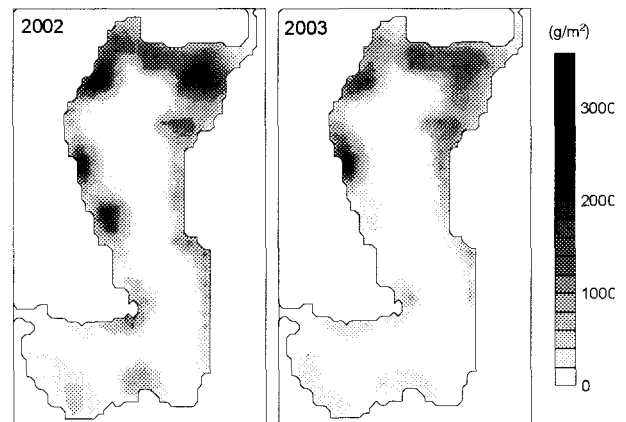


図-7 ヤマトシジミの現存量

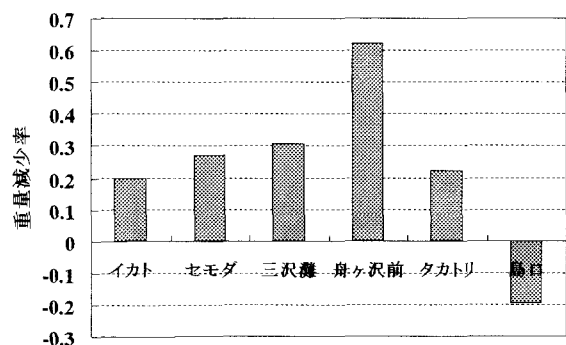


図-8 重量減少率

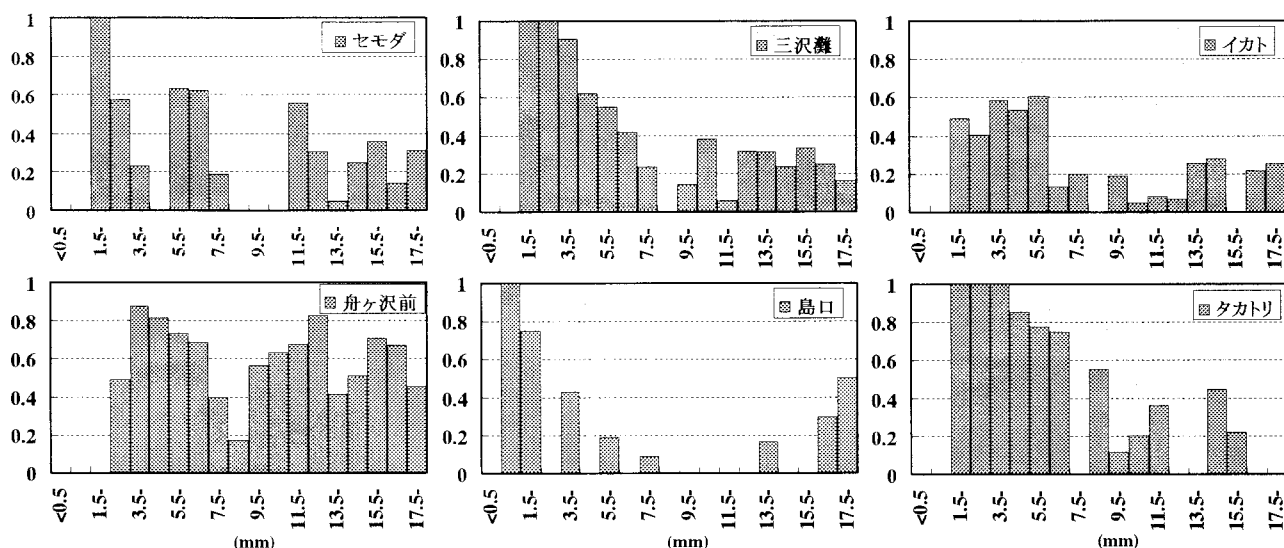


図-9 殻長別減少率

4. 現存量に及ぼす気象と水質の影響

(1) ヤマトシジミの資源量変動

2002年8月27日～28日，2003年8月22，25日に3機関（青森県水産総合センター内水面研究所，小川原湖漁業協同組合，三戸地方農林水産事務所）によってシジミの現存量調査が行われた．シジミが生息する10m以浅を調査対象水域とし，湖内89点の調査地点が設けられた．その調査によると2002年8月の湖内全体の現存量は，商品サイズに達しない殻長18.5mm未満のものが約1万4千トン，18.5mm以上の商品サイズのものが約1万6千トン，合計約3万トンと見積もられた⁸⁾．また，2003年の湖内全体の現存量は，殻長18.5mm未満のものが約1万1千トン，18.5mm以上のものが約1万1千トン，合計約2万2千トンと見積もられたことが報告されている⁹⁾．この観測結果を基に2002年，2003年のヤマトシジミの生息分布を図示したのが図-7である．2002年，2003年ともに，小川原湖北部に高密度に生息しており，南部，南西部の生息量はごく僅かである．この分布傾向は1989年の調査結果¹⁰⁾とも一致している．湖内全体の現存量は2002年から2003年の1年間で総量が約8千トン減少している．この値の精度については議論の余地はあるが，この1年間にヤマトシジミの生息に適さない状況が生じたことが予想される．

小川原湖では18.5mm以上の成貝を年間約3千トン出荷しており個体数には人為的要素が入るため，以下では殻長18.5mm以下のシジミについて議論を行う．図-8は，上述の3機関による現存量調査を基に地区別の重量減少率を算出したものである．小川原湖北部のイカト，セモダ，三沢灘，北西部の舟ヶ沢前で減少の割合が高く，南部，南西部ではあまり減少していない．特に，舟ヶ沢前の減少率が卓越している．各水域の殻長別減少率を図-9に示

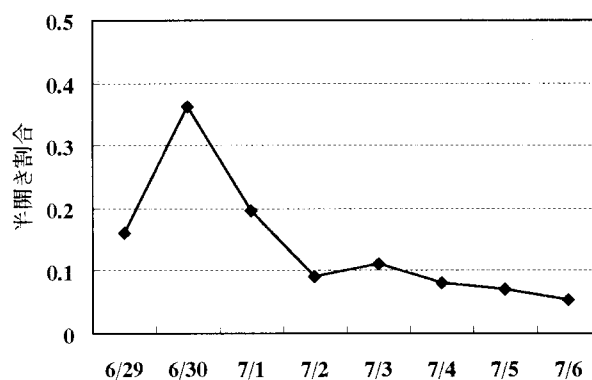


図-10 半開き個体数の割合

す．全水域で殻長5.5mm以下の減少率が高いことがわかる．つまり1歳以下の貝が減少している．これは，この1年間にシジミの産卵条件があまり満たされず産卵が抑制された可能性，もしくは気象や水質の影響を受けやすい小さな貝だけが死滅した可能性が考えられる．殻長5.5mm以上の貝についても湖南部の島口以外では減少傾向にあるが，殻長5.5mm以下ほどの大きな減少率ではない．しかし，湖西岸の舟ヶ沢前では，殻長5.5mm以上の貝も高い減少率を示している．湖西岸でヤマトシジミの生息を脅かす特異な水質環境が生じたと推測される．

(2) 短期的に生じるヤマトシジミの衰弱

2004年6月29日～7月7日に前述の現存量調査を実施している3機関によってシジミの半開き個体数調査が行われている．湖内35地点の観測値を平均した半開き個体数（衰弱個体数）の割合を図-10に示す．6月30日には約35%貝が衰弱している．水域別に見ると湖北において最大約75%の貝が衰弱していた．7月に入り半開き状態は急激に回復している．このようにヤマトシジミの生息状況は，短期的にも大きく変動していることがわかる．

(3) 2002～2004年の気象・水質

小川原湖では現在5地点で月1回の水質観測が、また、湖心部の小川原湖総合観測所では毎時の風速・風向、水温・塩分(2mピッチ)の観測が行われている。しかし、水質観測については、月1回、3水深の観測にとどまり、水質変動の特性を十分に捉えることはできない。そこで、湖盆形状を考慮した以下の鉛直一次元モデルを用いて、水質の季節変動特性の解析を行った。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{A(z)} \frac{\partial}{\partial z} \left(A(z) K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + \sum S(C) \quad (3)$$

渦動拡散係数については、尹ら¹¹⁾の提案したものを採用し、風と密度成層の効果を取り込んでいる。水質モデ

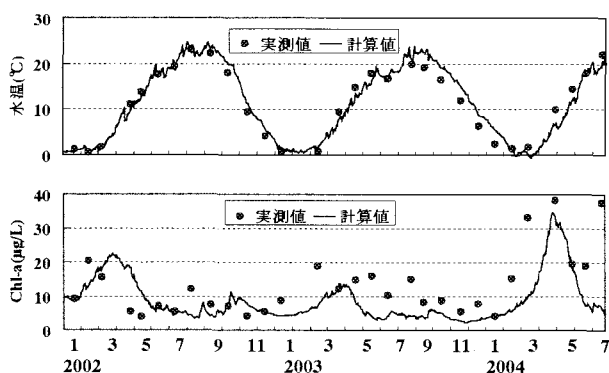


図-11 実測値と計算値の比較

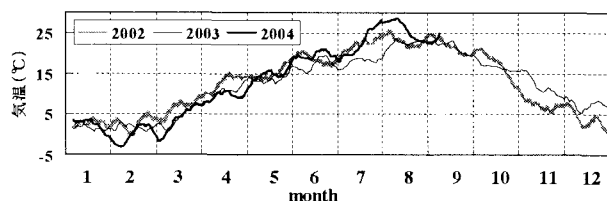


図-12 気温の季節変動

ルについては、西田ら²⁾が提案したヤマトシジミの浄化効果、排泄効果を考慮した水質モデルを使用した。

図-11は、鉛直一次元モデルで得られた表層における水温とChl-aの計算値と観測値との比較である。季節変動を十分に捉えており、再現性が高い。また、他の水質項目についても解析に十分な再現性が認められた。

小川原湖総合観測所で計測されている気温の10日間移動平均を図-12に示す。1月から5月までは2002年に比べ2003年、2004年は1～3℃ほど低い。特に2004年は、5℃以上も低い時期がみられる。2003年夏期はやませの影響により気温の大きな上昇がみられない。しかし、2004年は逆に猛暑となり急激に気温が上昇し最高で約29℃を記録した。水温、塩分、Chl-a、DO、T-N、T-Pの2002年1月1日から2004年7月31日までの計算結果を図-13に示す。小川原湖の水温構造の特徴は気温の上昇にともない5月初旬から徐々に成層化が始まり、8月に最も強くなり水温躍層が水深10～15m付近に現れる。その後、気温の低下により、成層が破壊され冬期に鉛直混合が強まるという季節変動をしている。水温構造を比較すると2002年は冬から春にかけて鉛直混合が弱くなっていることがわかる。これは、例年に比べ風が弱かったことによるものである。一方、2004年はこの時期、日平均風速が10mを越す日が例年に比べ多く、混合がかなり促進された。

小川原湖では一年を通じ水深約20m以深に塩水層が存在し、強い塩淡水境界を有するため、高濃度の栄養塩が底層に貯留されている。強い鉛直混合が生じる2、3月に底層から栄養塩が上層に供給されることにより、一次生産が活発になり、春の増殖が生じる。2003年の春は鉛直混合が弱かったため底層からの供給が少なく、春の増殖の規模が小さくなったものと考えられる。また、夏期にも春期ほどではないが植物プランクトンの増殖がみられる。過去の水質観測結果にも春期に増殖が低い年は、夏期に

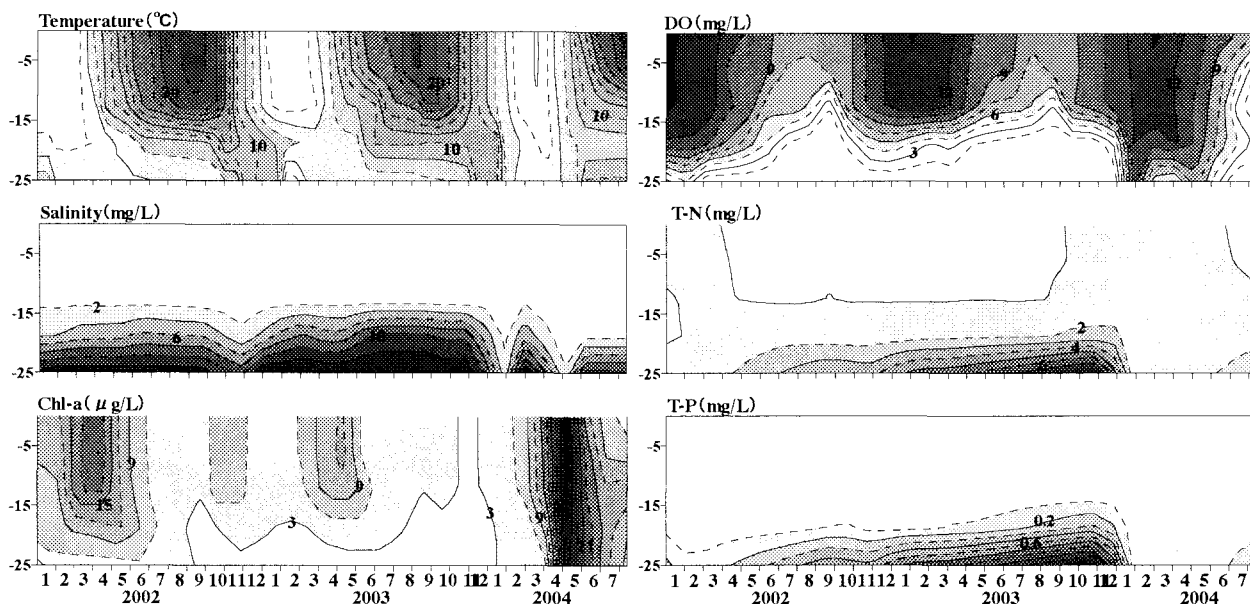


図-13 水質の季節変動

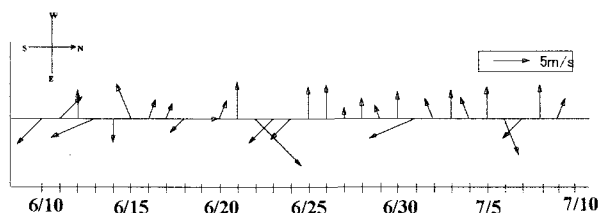


図-14 風速・風向

増殖する傾向がみられた。一方、2004年春は、底層の塩分が急激に低下するほど鉛直混合が強く、大量の栄養塩が上層に供給されている。そのためChl-aが約 $35\mu\text{g/L}$ まで上昇し、大規模な増殖が生じている。

DOに関しては、成層が強まる7、8月に生物の生息条件としては過酷な 3mg/L 以下の貧酸素状態が水深10～15m以深で続く。このため、小川原湖のヤマトシジミは水深10m以深ではほとんど生息できない環境にある。2004年には、6月初旬から急激に成層が強まったため 3mg/L 以下の貧酸素状態が水深約6m付近まで上昇している。猛暑渇水でヤマトシジミが大量死した1994年の夏期の水質状態¹⁰⁾に酷似しており、ヤマトシジミが大量死する可能性が高いと考えられる。

(3) 資源量と気象・水質の関係

前述のように、2002年夏から2003年夏にかけてヤマトシジミが約8千トン減少した。例年に比べ平均水温が低いが、それが直接減少の要因になったとは考えにくい。また、水質の再現計算によれば、 3mg/L の貧酸素状態は水深15m以深にとどまっておりヤマトシジミの生息水深に達していないため、1994年とは別の要因で減少したものと考えられる。1つの可能性として、春期に鉛直混合が弱く春の植物プランクトンの増殖が抑えられ、例年とは異なる水質環境になり、捕食環境が変化したことが考えられる。また西岸で成貝の死滅率が高かったのは地形的な要因が影響していると考えられる。

図-13に2004年6月10日から7月20日までの風向風速を示す。6月23日から30日まで、約1週間東よりの風が連続して吹き続けている。一次元解析の結果には水温、DOともに急激な変化は見られないが、下層水の湧昇など水質の急変によりヤマトシジミの生息環境に影響を及ぼした可能性が示唆される。

しかし、明確な因果関係は未だ不明であり、今後、ヤマトシジミの生理的特性を考慮するとともに、時空間変動の詳細を把握するために、3次元的な解析を行っていく必要があると考えている。

5. おわりに

本研究により得られた主たる結果を以下に示す。

- (1) 小川原湖においてヤマトシジミは、北部に比べ栄養塩の豊富な南部の方が大きな成長速度を有する。
- (2) 湖口で発生した幼生は、北西部を通過し、西岸に沿って南下し湖全体に広がるという浮遊経路をたどることがわかった。
- (3) 2003年冬期は例年に比べ風が弱かったため、鉛直混合が弱く底層からの栄養塩の供給が抑制され春の増殖の規模が小さくなった。逆に2004年は、風が強かったために鉛直混合が促進され、大規模な春の増殖が生じている。これらの水質変動がヤマトシジミの生息環境に大きく影響を及ぼしていると考えられる。
- (4) 2004年6月30日におけるヤマトシジミの衰弱個体数の急激な増加は、1週間連続して東風が吹き続けたために生じた短期的な水質変化による可能性がある。

謝辞：資料提供にご高配いただいた国土交通省高瀬川河川事務所、青森県水産総合研究センター内水面研究所、小川原湖漁業協同組合、三戸地方農林水産事務所八戸水産事務所に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 西田修三ら：汽水湖における流動構造と物質循環過程，海岸工学論文集，第48巻，pp.1116-1120，2001.
- 2) 西田修三・鈴木誠二：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.
- 3) 鶴田泰士ら：小川原湖におけるヤマトシジミの繁殖について，土木学会論文集，No.705/II-5，pp175-187，2003.
- 4) 中村義治ら：生活史に沿った二枚貝個体群の生態起用評価，海岸工学論文集，第48巻，1230-1235，2001.
- 5) 中村義治ら：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，1236-1240，2001.
- 6) 位田ら：貧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，23，111-114，1978.
- 7) 鶴田泰士ら：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，571-576，1998.
- 8) 小川原湖漁業協同組合・三戸地方農林水産事業八戸水産事務所・青森県内水面水産試験場：平成14年度シジミ一斉調査報告書，2003.
- 9) 小川原湖漁業協同組合・三戸地方農林水産事業八戸水産事務所・青森県内水面水産試験場：平成15年度シジミ一斉調査報告書，2004.
- 10) 富士昭：小川原湖の環境とヤマトシジミの生態，小川原湖漁業調査報告書，東北地方建設局高瀬川工事事務所，1990.
- 11) 尹 鐘星ら：閉鎖性水域における鉛直一次元水温成層モデルに関する一考察，水工学論文集，第37巻，pp.325-330，1977.

(2004. 9. 30 受付)