

【報 文】

小川原湖の水質変動と物質循環

西 田 修 三*1・鈴 木 誠 二*2

Variability of Water Quality and Nutrients Cycle in Lake Ogawara

Shuzo NISHIDA*1 and Seiji SUZUKI*2

Abstract

Lake Ogawara, located in Northern Japan, is a brackish lake with the surface-area of 63km². The maximum depth is about 25m, and approximately 12psu of salt water exists in a lower layer under the depth of 20m throughout the year. Lots of *Corbicula Japonica* are living in the lake, and about 2500 tons are taken out as fishery product.

We develop an ecological model to consider the biochemical processes of the bivalve, that calculates water temperature, salinity, chlorophyll-a, inorganic nitrogen and phosphorous, organic nitrogen and phosphorous, COD and dissolved oxygen. We make one-dimensional calculations to clarify the seasonal variabilities in water qualities and nutrients cycle, and use a three-dimensional hydrodynamic model coupled with the ecological model to clarify the spatial distributions of water qualities.

It is found that an increase of nutrient supply from the lower layer, caused by the intense vertical mixing, makes phytoplankton blooming active, and that the spatial distribution of the phytoplankton greatly depends on the habitat distribution of *Corbicula Japonica*. The calculation results for the nutrients cycle show that the amount of phosphorous consumed at primary production is more dependent on the biochemical and physical processes occurred in the lake than the inflow load supply. About 20% of primary production is ingested by *Corbicula Japonica*, and its purifying function is about 30% for COD. Because *Corbicula Japonica* stores nitrogen internally, the concentration of total nitrogen in the lake water is restrained and decreases in October in spite of the time of the maximum primary production.

1. はじめに

本研究で対象とする小川原湖は、青森県の東岸、高瀬川水系の河口上流 6 km に位置する汽水湖である。湖面積 63km²、平均水深 11m、最大水深 25m を有し、約 20m 以下の底層部には一年を通して約 12psu の塩水が存在する。

ヤマトシジミやワカサギ等の内水面漁業が盛んで、宍道湖に次ぐ国内第 2 位の漁獲量を誇っている。シジミの漁獲量は年間約 2500 トンに上り、重要な水産資源であるとともに、植物プランクトンを含む水中懸濁物の捕食による高い水質浄化機能は小川原湖の水質保全に重要な役

割を果たしている。湖の回転率は約 1 と低く水交換が悪いため、近年、富栄養化が徐々に進行していることが指摘されている。

本研究では、観測データを基に小川原湖の水質の変動特性を明らかにするとともに、優占二枚貝を考慮した水質モデルを用いて、湖の水質と物質循環に及ぼすヤマトシジミの影響について解析を行う。

2. 水質変動特性

1) 河口改修の影響

小川原湖と太平洋を結ぶ高瀬川の河口は、かつて河口

2007年1月4日受付, 2007年1月10日受理

キーワード: ヤマトシジミ, 小川原湖, 物質循環, 生態系モデル, シミュレーション

Key Words: *Corbicula japonica*, Lake Ogawara, nutrients cycle, ecological model, simulation

*1 Graduate School of Engineering, Osaka University, Yamadaoka 2-1, Suita, Osaka 565-0871, Japan (大阪大学大学院工学研究科 〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

*2 Faculty of Engineering, Nagasaki University, Bunkyo 1-4, Nagasaki 852-8521, Japan (長崎大学工学部 〒852-8521 長崎市文教町1-4)

本論文は、平成18年度日本水産工学会秋季シンポジウム「物質循環を指標とした貝類漁場及び周辺環境の評価と管理」における講演内容を取り纏めたものである。

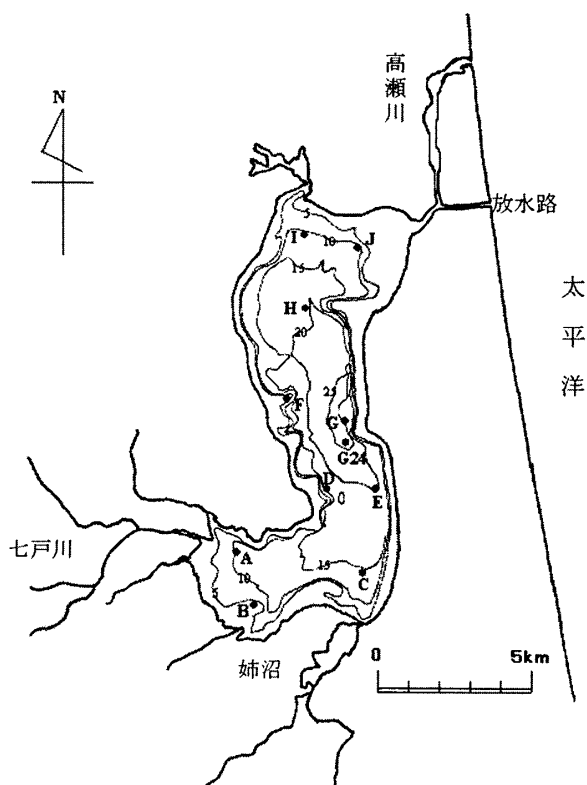


図-1 小川原湖の地形

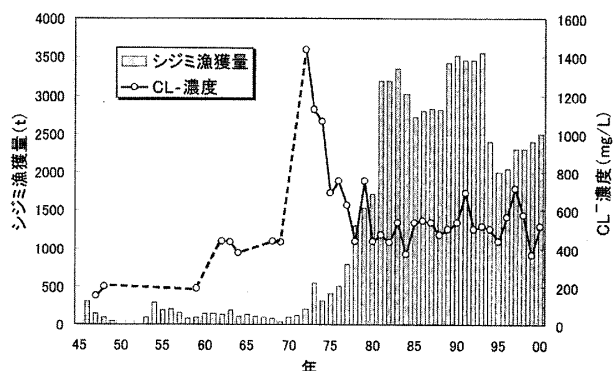


図-2 表層塩素イオン濃度とシジミ漁獲量

位置が大きく変動するとともに河口閉塞が生じ、度々冠水被害が起こっていた¹⁾。その対策として1964年に導流堤を兼ねた護岸が構築され、河口地形の安定化が図られた。その結果、海から川への海水の遡上も容易となり、図-2に示すように小川原湖の塩素イオン濃度は工事前

の2倍以上に上昇し、現在は500~600ppmの値に安定している。

図-2には、湖水の塩素イオン濃度の経年変化とともにシジミの漁獲量の推移も併せて示している。塩素イオン濃度の増加とシジミ漁業の振興が相俟って漁獲量は約20倍に急増し、河口地形の安定化処理という人為的行為が、塩分環境を急変させ、シジミの生息環境を大きく変えたことがわかる。現在では、このシジミが小川原湖において最も重要な漁業資源であるばかりではなく、湖の水質と生態系に大きな影響を及ぼす優占種となっている。

2) 水質の季節変動

小川原湖では、湖内5地点(最大3水深)と主要流入河川において月一回の水質観測が国土交通省により実施されている。1994年から2003年までの10年間の観測データを基に集計した湖の水質の季節変化を図-3に示す。湖内の観測データを、表層(水深0.5m)、中層(水深7.5~9.8m)、下層(14.0~18.5m)に分け、10年間の月別平均値で示している。

深層部の観測データを含んでいないために、10psuを超える塩水層の水質変動は示されていないが、5月から9月にかけての成層期に水温とともに各水質項目も水深方向に変化している。特に、夏季に溶存酸素は急激に低下し、下層では3mg/l以下の貧酸素状態になっている。また、成層期に下層のリン濃度が急激に上昇し、秋季には成層破壊とともに表層のリン濃度が上昇しており、リンの主たる供給源が底層にあることがわかる。また、クロロフィルa (Chl-a) が春季と秋季に極大を示しており、植物プランクトンの増殖の様子が顕著に見とれる。2月のChl-aが3月より高い値を示しているのは、2月は荒天や結氷により観測が実施できなかった年が多く、高濃度を記録した1997年の値が大きく反映されてしまったことによるもので、過去20年の平均値は3月と同程度の値を示した。

一方、年変動に注目すると年較差は大きく、例えば冬季の表層部の全窒素(T-P)では0.01~0.05mg/lの年変動を示し、その較差は0.04mg/lにも及んでいる。小川原湖の水質は、深大な汽水湖に見られる特徴的な季節変動

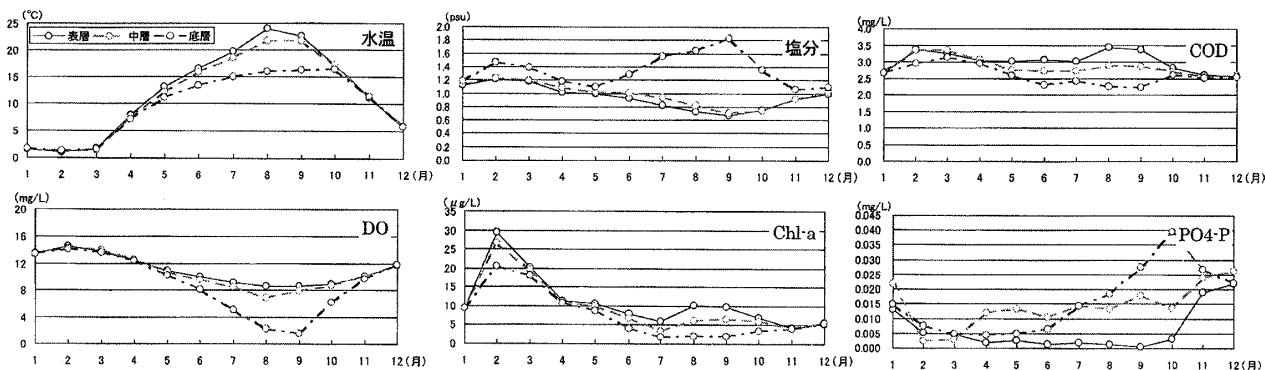


図-3 水質の季節変動 (1994年~2003年平均)

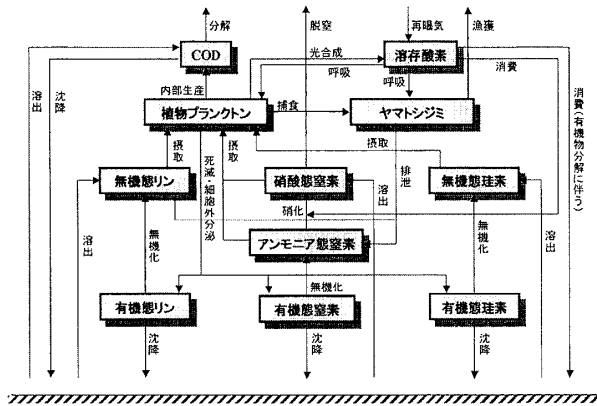


図-4 水質モデルの概要

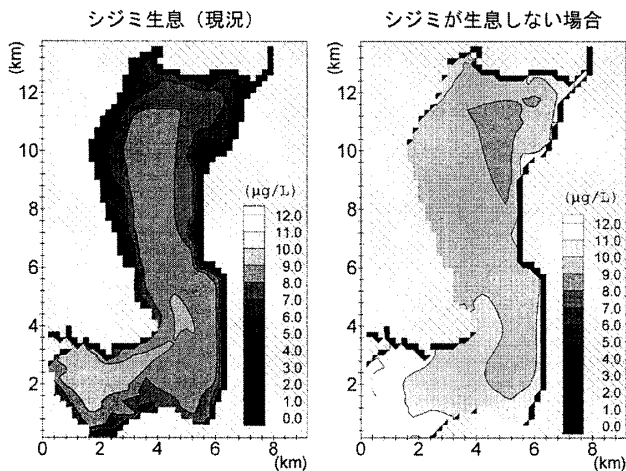


図-5 Chl-aの濃度分布

を示す一方で、気象変動等の外部擾乱により水質は生物化学的過程を経て大きく変化し、その影響は長期に及んでいる。

3. ヤマトシジミの影響解析

1) 水質モデル

水質モデルの概要を図-4に示す。窒素とリンの循環をモデル化し、さらに、ヤマトシジミによる懸濁物質の浄化機能²⁾をモデルに取り込んでいる。シジミの被害については、被害の報告もなく漁獲に比して無視できるものと考え、本モデルでは考慮していない。長期の水質変動解析には、この水質モデルを鉛直1次元拡散モデルに組み込み、解析を行った。シジミの個体数は、観測データを基に水深別に各層の個体数を与えた。また、渦動拡散係数には、風による混合効果と密度成層の安定効果を加味した。

水質変動の詳細な時空間構造の解析には、準3次元バロクリニック流動モデルにこの水質モデルを組み込んだ3次元モデルを適用した。

水面での熱収支、風、気温、主要6河川からの淡水流入、塩水の遡上流入を考慮し、気象の経時データを取り込みながら再現・予測計算を行った。モデルの詳細については参考文献^{3),4)}を参照されたい。

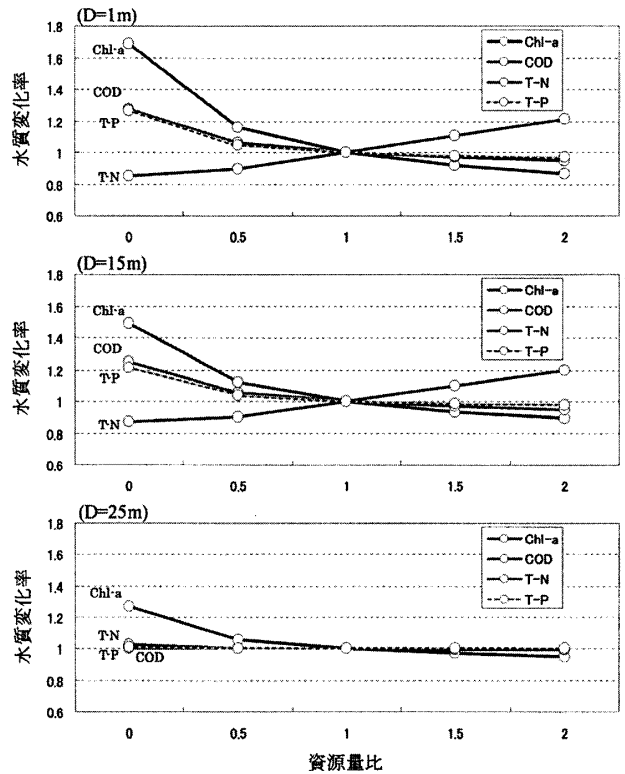


図-6 シジミ資源量と水質変化

2) 水質の時空間変動

一例として3次元モデルによるChl-aの計算結果を図-5に示す。ヤマトシジミの空間分布を考慮した結果を左図に、比較のためにヤマトシジミを考慮しなかった場合の結果を右図に示す。両図を比較すると、ヤマトシジミが多く生息する北東部、南西部、西岸においてヤマトシジミの捕食によるChl-aの減少が認められる。一方、湖央域では上記の水域ほどの濃度の減少は見られず流下方向に減少傾向を示し、Chl-a濃度がヤマトシジミの分布特性に大きく依存していることがわかる。

3) 個体数と水質

調査結果^{5),6)}を基に推定されたヤマトシジミの現存量を基準として、資源量を変化させた計算を行い、資源量と水質の関係を解析した。水深1m, 15m, 25mにおける水質の計算結果を図-6に示す。資源量比(=仮想資源量/現存資源量)が0で表されるヤマトシジミが存在しない場合には、表層(水深1m)でChl-aが1.7倍、CODが1.3倍、TPは1.3倍、TNは0.9倍の濃度を示し、現状より水質が悪化することがわかる。換言すれば、現存のヤマトシジミによる水質の改善効果はCODで約30%であると言える。塩水が滞留する底層を除いて、他の水深においても同様の傾向が見られた。

ヤマトシジミの個体数が増加するとCODやChl-aは低下し、水質は僅かに改善されるが、窒素に関しては悪化することがわかる。窒素が増加するのは、ヤマトシジミの排泄による影響であり、また、リンに関してはヤマトシジミの個体数に対して餌となる植物プランクトンが常

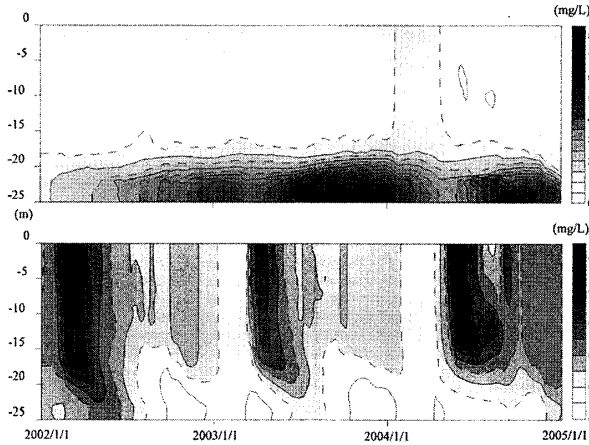


図-7 窒素の季節変動 (上: 無機態, 下: 有機態)

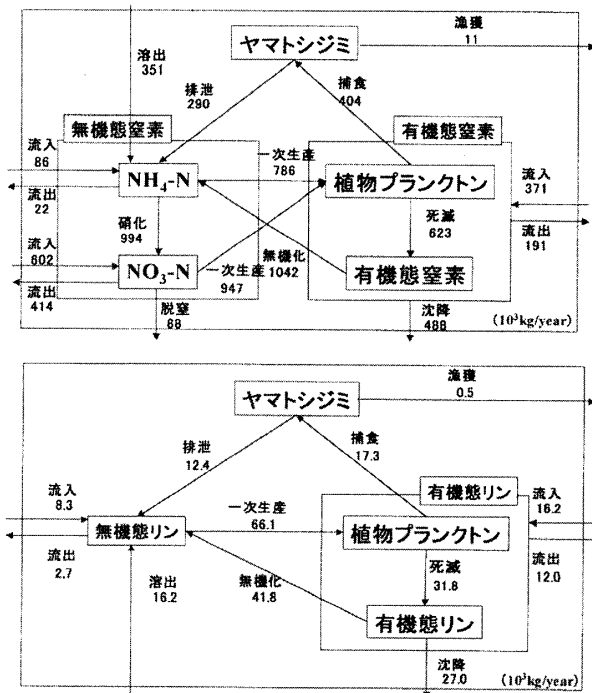


図-8 窒素・リン循環の年収支

に不足し、その絶対量が減少するために溶出するリンの植物プランクトンへの取り込みが少なくなるためと考えられる。

4) 物質収支

2002~2004年の無機態窒素と有機態窒素の季節変動についての計算結果を図-7に示す。小川原湖は水深約18~20mに強固な塩淡水境界が形成され、上層と底層では全く異なった水質構造を有する。そのため、無機態窒素は1年を通じ塩水層で常に高い値を示す。しかし、鉛直混合が強まる秋季から春季にかけては塩水層から淡水層への供給が増加し、塩水層での濃度低下、淡水層での濃度上昇が見られる。2003年12月から2004年4月にかけて強風が数度連吹した期間があった。これが原因で上層への混合拡散がより促進されたことがわかる。有機態窒素は上層から中層で2~3月にかけて増加している。その後

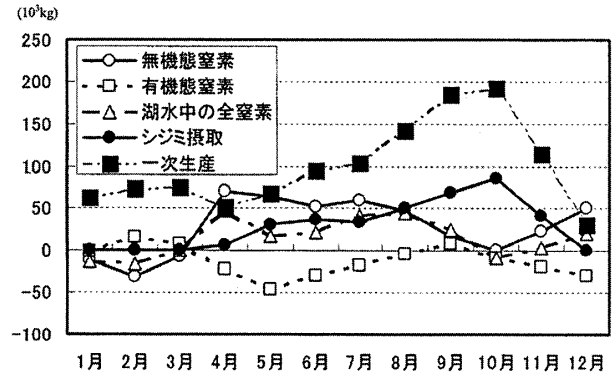


図-9 窒素の月別変化量

減少し、9~10月に再び少量ながら増加し冬季には減少するという季節変動特性を示している。小川原湖では例年春季と秋季の2度植物プランクトンの増殖が見られる。その影響で有機態窒素が増加しているものと考えられる。2004年の春季は2002、2003年と比べて有機態窒素濃度が高い。先に述べたように2004年春季は鉛直混合が強まり、塩水層からの栄養塩の供給が多く植物プランクトンの増殖が活発になったものと考えられる。

図-8に湖内の窒素循環およびリン循環の年収支を示す。窒素は、湖外からの総流入負荷量1059トンに対し、1828トンの一次生産が行われている。生物化学反応による物質循環の時間スケールが湖水交換スケールより小さいために活発な一次生産が生じていることがわかる。特にリンは、総流入量24トンに対し一次生産量が66トンと窒素に比べ [一次生産量/流入量] 比が大きい。一次生産時に消費されるリンは窒素と比べ湖外からの供給よりも、湖内循環に依存していることがわかる。また、一次生産量の約30%をヤマトシジミが捕食しており、湖水の水質に大きな影響を与えていることもわかる。底泥への沈降水量と溶出量が同程度であり、ほぼバランスした状態にある。

図-9に湖内の無機態窒素、有機態窒素、湖水中の全窒素の月別増減量、および、ヤマトシジミの窒素摂取量と一次生産量の季節変化を示す。小川原湖は停滞性が強いので、水温の低い1月から水温上昇期の5月にかけて毎月約70トンの活発な一次生産が行われている。藍藻類の増殖に適した水温となる7月から10月にかけて、より活発に一次生産が行われ、その後、減少するという季節変動特性を有している。しかし、有機態窒素の増加は2月、3月および9月にしか見られない。これは、一次生産による増加よりも、有機態窒素の無機化、沈降、湖外への流出、ヤマトシジミの摂取等による減少が勝っているためと考えられる。さらに、8~10月の一次生産の最盛とヤマトシジミの摂取の最盛が同時期であるため、有機態窒素の増加を抑制している。また、ヤマトシジミは体内に摂取した窒素を固定するため、湖水中の全窒素濃度の上昇を抑えていることがわかる。特に摂取量が最大とな

る10月は一次生産量が最大であるにもかかわらず、湖内中の窒素量は減少している。そのため、湖水中の窒素は、一次生産が活発であるがヤマトシジミの濾過量が少ない4月から8月にかけて増加する傾向にある。小川原湖では、秋季における植物プランクトンの増殖が過去20年間で5~30 $\mu\text{g/L}$ と年較差がかなり大きい。これは、気象の影響による底層からの栄養塩供給量の変化等の他に、ヤマトシジミの濾過能力の変化、ヤマトシジミの大量弊死等による個体数の急減などが引き起こしている可能性があると考えられる。

4. おわりに

観測データを基に小川原湖の水質変動特性を明らかにするとともに、二枚貝を考慮した水質モデルを用いて、湖の物質循環に及ぼすヤマトシジミの影響について定量的評価を行った。しかし、湖の水質は気象・海象の影響を受け大きく変動するため、得られた結果も大きな年較差を有することになる。その影響の定量的評価に向けて、気象変動に対する湖の水質応答性についても解析を行っている⁷⁾。

また、シジミの個体成長モデルと個体数変動モデルを組み合わせた資源量変動モデルを用いて、シジミの資源量の変動特性の解析を行うとともに、各種インパクトに対する資源量の変動解析も進めている⁸⁾。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、資料のご提供と現地調査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・佐野俊幸・中辻啓二：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) 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，pp.1236-1240，2001.
- 3) 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.
- 4) 鈴木誠二・西田修三・金城周平・中辻啓二：小川原湖の水質変動とヤマトシジミの生息環境，水工学論文集，第49巻，pp.1243-1248，2005.
- 5) 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.
- 6) 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，No.705/II-59，pp.175-187，2002.
- 7) 西田修三・鈴木誠二・中辻啓二：外部擾乱に対する小川原湖の水質応答特性，水工学論文集，第50巻，pp.1333-1338，2006.
- 8) 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.

質 疑 応 答

山本正昭 ((株)センク21)：食害をモデルに入れなくてよいのですか？ (図-4)。食害は、それほど大きな要素ではないと見てよいのか。

回 答：シジミの食害については被害の報告もなく、また、資料も見あたりません。漁獲に比して無視できると考えられるため、本モデルでは考慮しませんでした。