

宍道湖ヤマトシジミ統合モデルの構築

背景・目的

宍道湖では底生動物バイオマスの9割以上を二枚貝のヤマトシジミが占めており、塩分が変化した際にヤマトシジミの捕食、成長、死亡がどう変化するかを反映できなければ現実的なモデルにならないことが判明している。このような背景を受け、宍道湖における生態系モデルを完成させることを目指している。ここでは、「塩分変化に応答する植物プランクトン種の交代とヤマトシジミの代謝活性を考慮した生態系モデル」と「餌環境の変化に応答するヤマトシジミの成長を考慮した生態系モデル」をそれぞれ構築し、この二つの生態系モデルを統合することにより、「宍道湖ヤマトシジミ統合モデル」を構築することを目的とした。

研究成果

1. 塩分変化を再現する流動モデルの構築

本研究では島根県第6期湖沼水質保全計画における流動シミュレーションモデルを使用した。ただし、このモデルは宍道湖における塩分の再現性が十分でないという問題があったため、再現性を向上することを目的として、大橋川上流地点（松江）における塩分の連続観測データ（出雲河川工事事務所）をシミュレーション格子の同一地点に強制的に与えることと、宍道湖の鉛直座標において底面近傍の層数を増やす対応を行った。その結果、第6期湖沼水質保全計画時より宍道湖湖心における塩分濃度の上昇が見られた（以下、この検討ケースをCASE-2とする）。

さらに、2012年9月19日に観測された宍道湖西岸の青潮の再現を目的として、①大橋川上流地点における塩分の連続観測データが得られている計算格子を境界位置として、宍道湖のみを計算対象とし、②宍道湖の鉛直座標において層数を32層[CASE-2]から89層（0.1mピッチ）[CASE-3]に増やす変更を行った。

今回の検討(CASE-3)の計算領域を図1に、CASE-3とCASE-2の検討における鉛直座標の層分割を図2に示す。

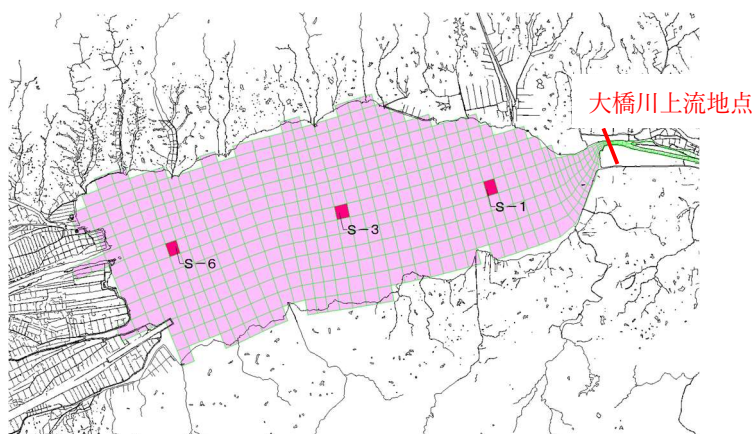


図1 CASE-3における計算領域

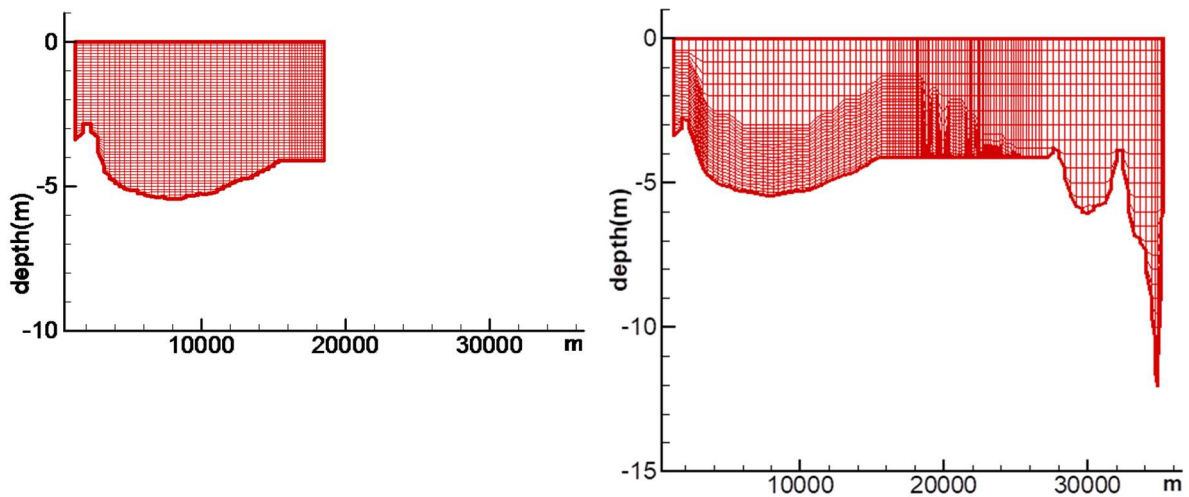


図2 CASE-3 (左) と CASE-2 (右) の検討における鉛直座標の層分割

計算条件を見直したところ、宍道湖湖心 (図1のS-3地点) で得られた水温・塩分の連続観測結果と計算結果との時系列比較では (図3,4), CASE-3の計算結果はCASE-2よりも観測値により近づいた。

また、連続観測結果と計算結果との整合性を示す客観指標値 (相関値 R) を比較したところ、下層塩分の相関値 R は、CASE-2の0.724からCASE-3の0.812へ上昇を示した。

さらに、図1のS-1,S-3,S-6地点の公共用水域水質測定の水温・塩分値について、計算値との比較を行ったところ、CASE-3の計算結果はCASE-2よりも観測値により近づくデータが多かった。

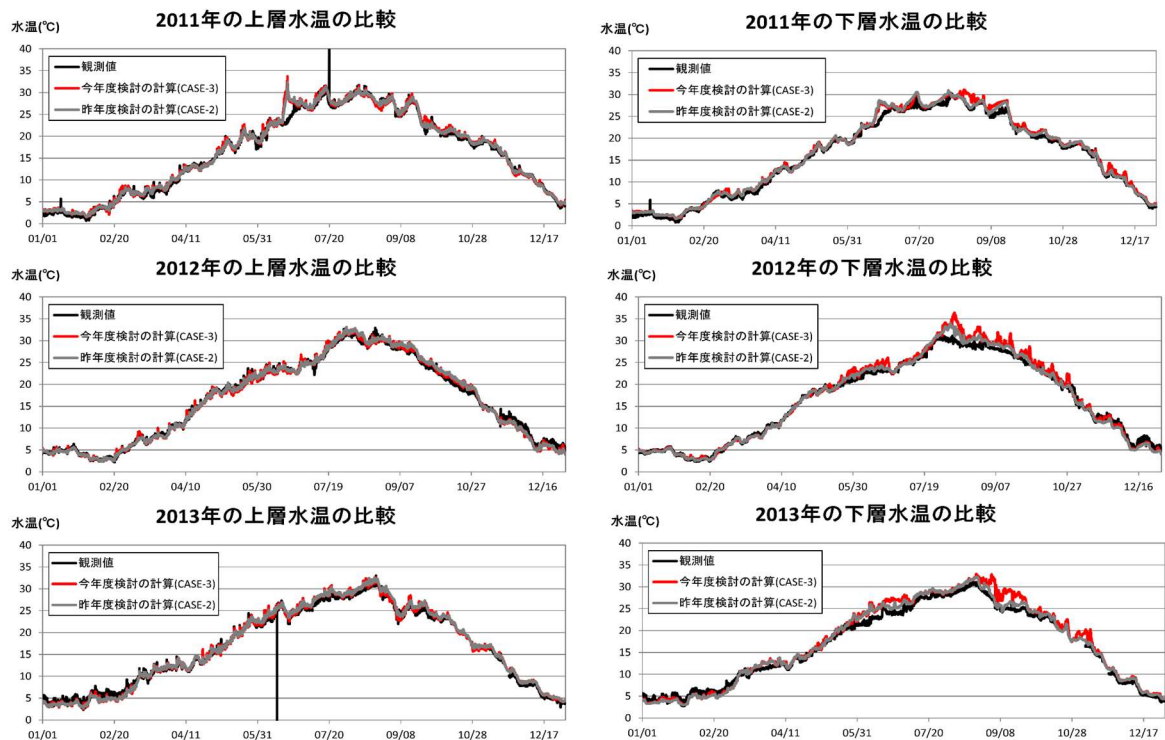


図3 観測値 (宍道湖湖心 (S-3) の連続計測) と計算結果の比較 (水温)

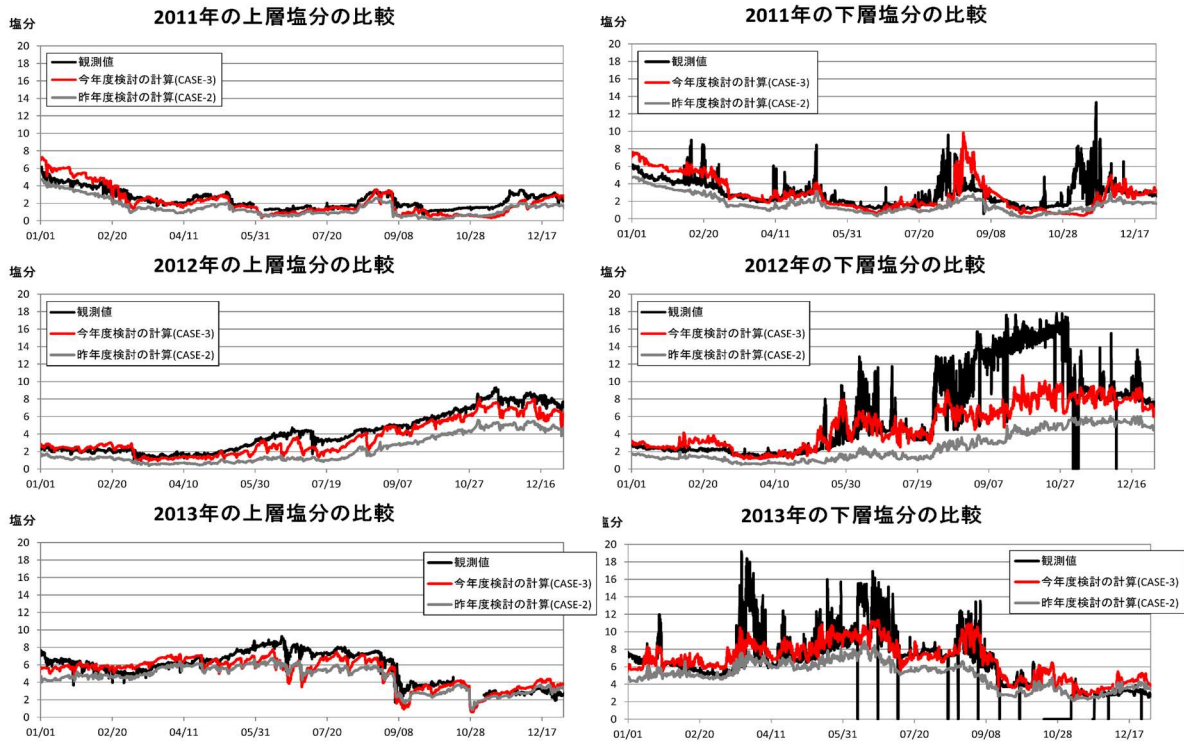


図4 観測値（宍道湖湖心（S-3）の連続計測）と計算結果の比較（塩分）

次に、宍道湖西岸沿岸域において2012年9月19日に観測された青潮の現象が本計算において再現されているか確認を行った。

底層の高塩分の層厚は夏季の貧酸素水塊の形成と関連深いと考えられることから、2012年9月における島根県水産技術センターの調査結果と計算結果との整合性を確認し、層厚は概ね整合していた。また、宍道湖西岸十四間川の青潮発生時の観測結果（増木ら；2013）と比較したところ、西岸への湧昇のタイミングが数時間早い傾向は見られるものの、この日に青潮が観測された要因と考えられる吹風流に起因する流動場と塩分分布、DO濃度分布については概ね再現されたと考えられた。

2. 塩分変化に応答するヤマトシジミの代謝活性を考慮した生態系モデルの構築

2012年と2013年のヤマトシジミ資源量の急激な変動の要因として、餌料源である植物プランクトン種の交代に着目し、その種の交代が塩分濃度の違いによって引き起こされたものではないかとの考察がある。

そのため、ここでは島根県の第6期湖沼水質保全計画において構築された水底質結合生態系モデル（以下「既存モデル」）を基本とし、塩分に起因する植物プランクトン種の交代と、植物プランクトン種交代の影響を受けたヤマトシジミの成長を考慮した生態系モデルを構築し、上記の流動モデルの結果を用いてテストランを行った。

1) 既存モデルの改変

植物プランクトンについて、既存モデルでは植物プランクトンは1種類のみであったが、本モデルではラン藻と珪藻の2種類とした。

宍道湖において、2012 年はアオコが発生しているのに対し、2013 年はアオコの発生は見られず、これは塩分の違い（2012 年は 4PSU、2013 年は 8PSU）によるものと考えられている。また、2012 年、2013 年の宍道湖の色素濃度の相対値についても 2012 年 9 月まではラン藻が優占し、その後は珪藻が優占種となっていること（本報告書第 1 章 2）、2013 年春季から秋季にかけてシジミ資源量が約 4 倍になっていること（本報告書第 2 章 4）から、以下の仮定に基づいてモデルの構築を行った。

なお、表 1 の光合成活性係数は、光、水温、栄養塩の関数と同じように光合成速度に乗じられる。

表 1 珪藻とラン藻の光合成活性の違いに関する仮定

植物プランクトン 1	植物プランクトン 2
珪藻	ラン藻
<ul style="list-style-type: none"> 塩分 4PSU 未満で光合成活性 1/2 塩分 4-8PSU で光合成活性 3/4 塩分 8 以上で光合成活性 1 	<ul style="list-style-type: none"> 塩分 8PSU 未満で光合成活性 1 塩分 8PSU 以上で光合成活性 1/2

さらに、既存のモデルではヤマトシジミの餌の選択性や餌による成長の違いはモデル化されていない。そこで、本モデルではヤマトシジミの餌の選択性は考慮せず、餌となる珪藻とラン藻でヤマトシジミの成長に差を設け、珪藻の場合は「高い成長」、藍藻の場合は「低い成長」としてモデル化を行った。

2) 生態系モデルのテストランに用いたヤマトシジミ資源量分布

生態系モデルのテストランに用いたヤマトシジミ資源量は、「ヤマトシジミの資源量分布データ整理業務報告書」にまとめられている 8 地区 4 水深帯のデータを用いた。流動計算格子に対応した地区分割は図 5 に示すとおりである。また、資源量推定時の 8 地区 4 水深帯の水域面積と計算格子上の 8 地区 4 水深帯の水域面積を表 2 にそれぞれ示す。湖沼計画時の計算格子はヤマトシジミ資源量が相対的に多い 2m 以浅の格子数が表 2 (1) と比べて少なかったため、計算格子の水深についても見直して流動計算を実施した。

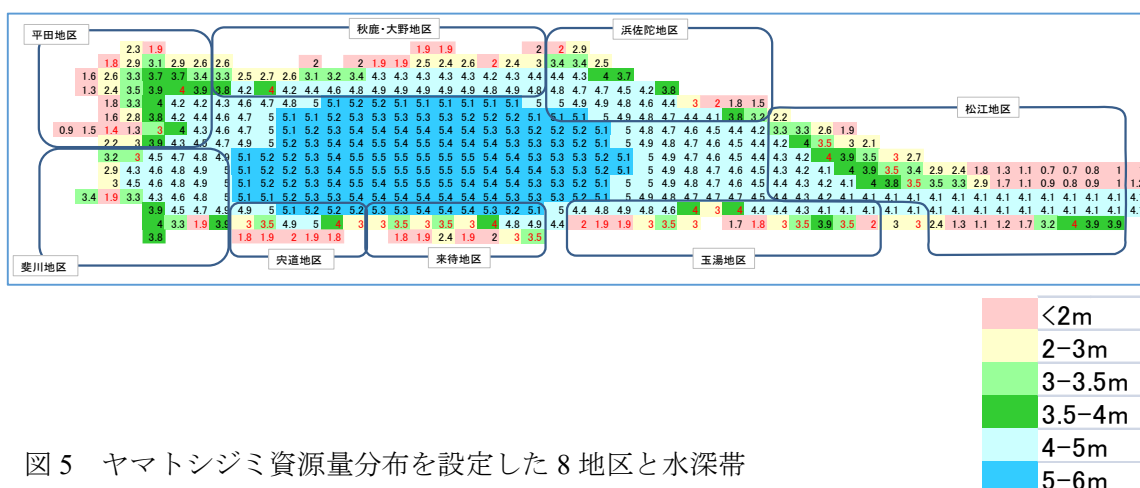


図 5 ヤマトシジミ資源量分布を設定した 8 地区と水深帯

表 2 (1) 資源量推定時における 8 地区 4 水深帯の面積

単位：km²

	松江	浜佐陀	秋鹿・大野	平田	斐川	宍道	来待	玉湯	Total
0.0-2.0m	1.47	0.63	1.26	1.59	0.33	0.78	0.6	1.03	7.69
2.1-3.0m	1.1	0.48	1.28	1.39	0.29	0.26	0.72	0.66	6.18
3.1-3.5m	1.19	0.37	0.38	0.93	0.77	0.14	0.45	0.53	4.76
3.6-4.0m	1.56	0.47	0.59	1.39	0.5	0.12	0.18	0.52	5.33
Total	5.32	1.95	3.51	5.3	1.89	1.3	1.95	2.74	23.96

表 2 (2) 計算格子上での 8 地区 4 水深帯の面積

単位：km²

	松江	浜佐陀	秋鹿・大野	平田	斐川	宍道	来待	玉湯	Total
0.0-2.0m	2.9	0.6	1.3	1.6	0.3	0.8	0.6	1.0	9.1
2.1-3.0m	1.9	0.5	1.4	1.4	0.3	0.3	0.8	0.6	7.4
3.1-3.5m	1.6	0.5	0.6	1.0	0.8	0.2	0.5	0.5	5.6
3.6-4.0m	1.6	0.6	0.3	1.4	0.6	0.2	0.2	0.5	5.4
Total	8.0	2.2	3.7	5.4	2.1	1.4	2.1	2.6	28.0

計算の初期値に用いた 2012 年春季（6 月）の 8 地区 4 水深帯のシジミ窒素現存量は以下の方法によって窒素現存量を算出した（図 6）。

$$\text{シジミの初期値（窒素）} = \text{殻付き湿重量} \times 0.195 \times 0.0147$$

$$C/N \text{比} = 5.0$$

3) 生態系モデルのテストラン

2012・2013 年の気象場・流動場・流入負荷・境界条件を用いて生態系モデルのテストランを行った。塩分濃度の違いによる植物プランクトン 2 種の出現応答とその出現比率の違いによるヤマトシジミの成長（資源量）応答を確認するため、植物プランクトンの初期比率は、両年とも 0.5 : 0.5 とし、ヤマトシジミの初期現存量も両年とも 2012 年春季の値を設定した。

植物プランクトンの出現比率計算結果を見ると、初期比率 0.5 : 0.5 で計算を開始した後、2012 年は 8 月まで珪藻の比率が減り藍藻の比率が増えているのに対し、2013 年は珪藻が緩やかに増加し続けている。この傾向は谷の報告（本報告書第 1 章 2）と同様であり、塩分濃度 4PSU と 8PSU を指標として光合成活性を段階的に変化させた単純なモデル式でよく追従している。この植物プランクトン出現比率を受けて、ヤマトシジミ現存量計算結果を見ると、2012 年と 2013 年でヤマトシジミの現存量の変化傾向が異なる結果となっている。2012 年は初期値に対して 8 地区 4 水深帯平均で約 9 倍、2013 年は約 22 倍に現存量が増加している。これは、本テストランでは漁獲と鳥による捕食を考慮していないためであるが、それらの減耗項を加味しないポテンシャルと考えることができる。本モデル構築では餌となる植物プランクトンの種類によって成長（同化効率）が変わるとしているだけであるため、この現存量の増加割合の差は両年の計算に用いた塩分濃度（流動計算）の差に起因するものであると言える。

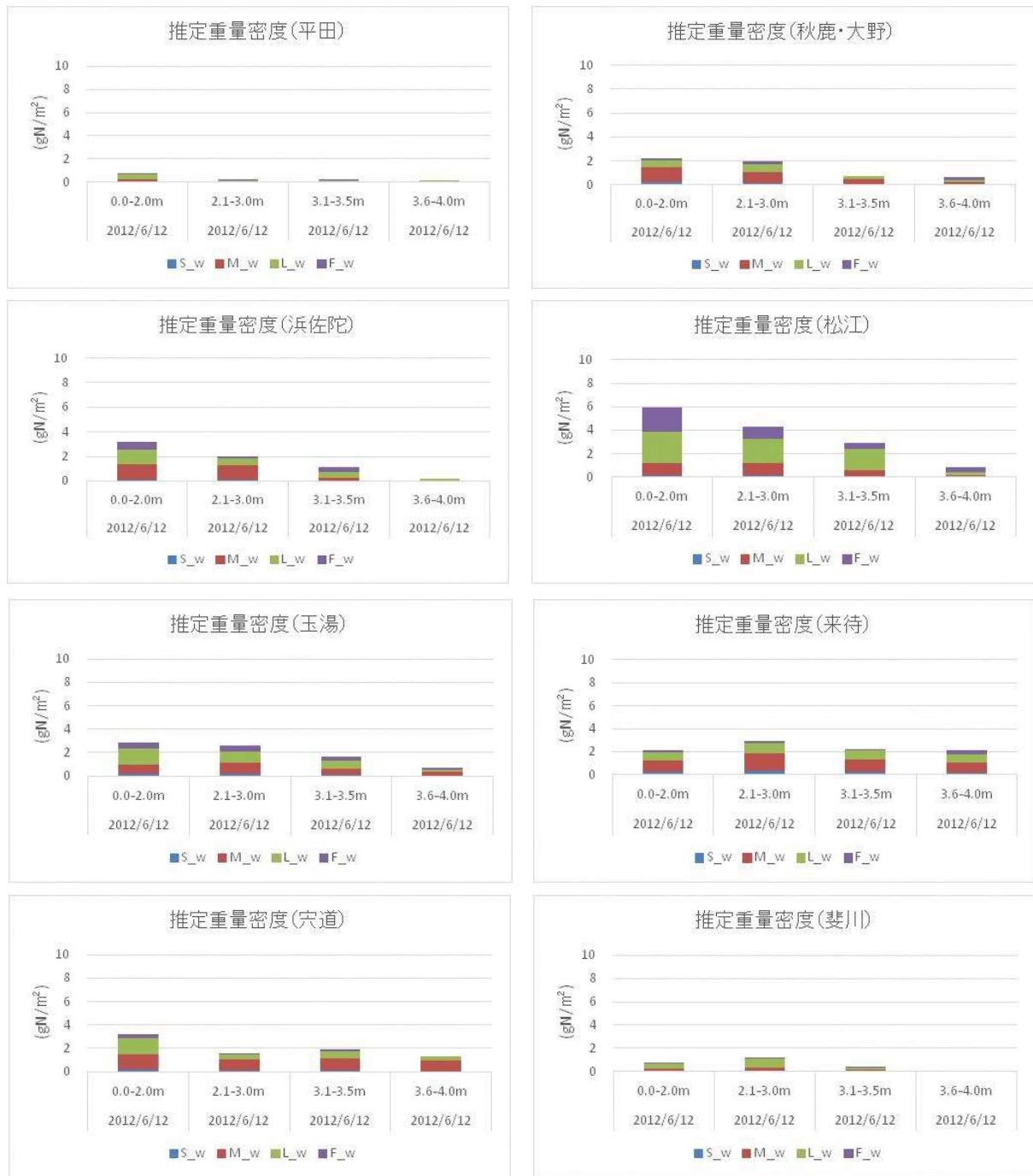


図6 2012年6月の推定窒素重量（計算初期値）

3. 餌環境の変化に応答するヤマトシジミの成長を考慮した生態系モデルの構築

従来の浮遊系-底生系結合生態系モデルでは生物は全て現存量（炭素量）として表し、大きさや個体数の区分はしていない。このため、対象とする生物の平均的な代謝速度を設定し、現存量の増減で再現および予測計算結果の評価を行っている。

ここでは、年による塩分の差に起因する植物プランクトン優占種の違いが宍道湖のヤマトシジミの成長、資源量、漁獲量に及ぼす影響について数値シミュレーションモデルを用いて再現することを目的としていることから、ヤマトシジミを殻長 1mm ごとの個体群として成長を考慮する

村山モデルの考え方を従来のモデルに組み込んだ新しい宍道湖生態系モデルを構築することとした。

1) 月初階級別殻幅組成 (2~33mm) と新規加入の個数の設定

計算に用いる資源量の初期値は、毎年秋 (10 月) に実施する資源量調査 (殻長ごとの個体数と重量) から得られる資源量を用いた。殻長 2mm サイズへの新規加入量については、着底稚貝調査結果の 6 月の値を参考に設定。産卵による疲弊は新規加入個数に依らず、5-6 月に 12mm 以上個体の体重の 20% を減耗させることとした。また、殻長と重量の関係式については、村山モデルで用いられている各年度の式から平成 23 年春の式を適用した。

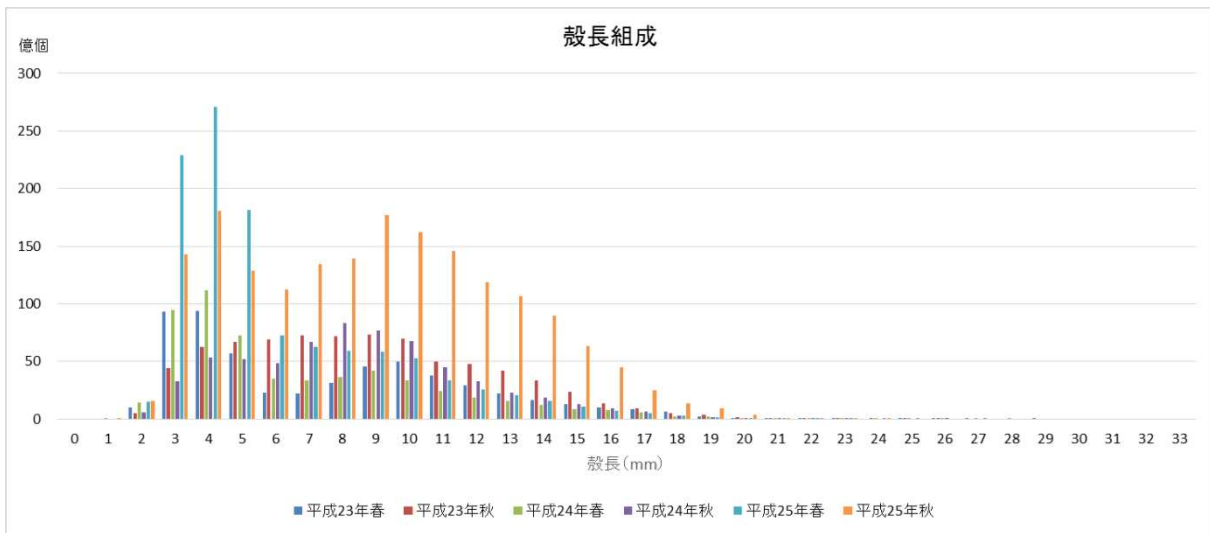


図 7 資源量調査から得られた殻長ごとの個体数

2) 階級別月間漁獲係数 (F), 水揚げされない漁獲死亡 (FG), 自然死亡係数 (M), 鳥類の捕食 (Mb) の設定

階級別月間漁獲係数 (F) は、月別資源量に対する月別漁獲量の比率とし、月別資源量については 6,10 月は資源量調査結果より、実測値のない他の月は内挿により求めた。

水揚げされない漁獲死亡係数 (FG) は、機械搔きで鋤簾の目から抜けた個体の死亡割合 13% (勢村 2014) を 5-7 月は漁獲死亡係数 F に上乘せすることとした。自然死亡係数 (M) については、向井 (2015) より殻幅 10mm 未満は 0.316, 殻幅 10mm 以上は 1.340 とした。また鳥類によ

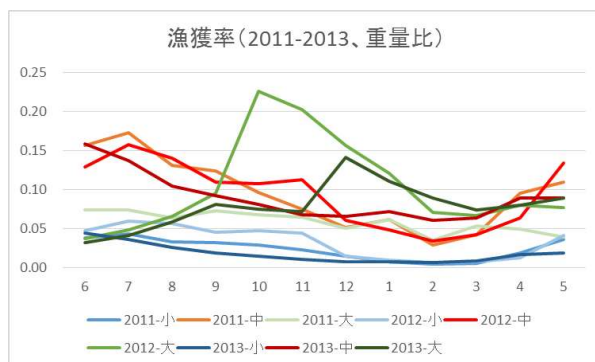


図 8 年別月別銘柄別の漁獲率の推移

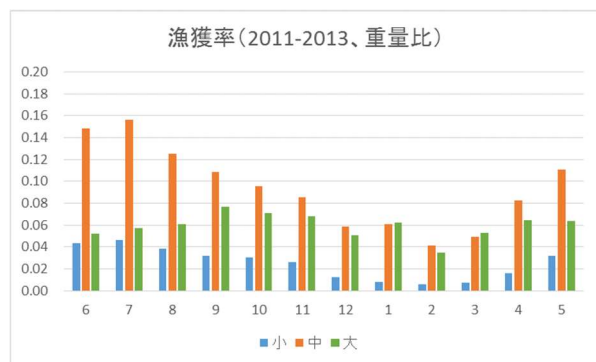


図 9 月別銘柄別の漁獲率の推移

る捕食 (Mb) は殻長 5~27mm のシジミがキンクロハジロ, スズガモにより被食されるとして, 以下の重量分を被食量として扱った (水産技術センター; 未発表) .

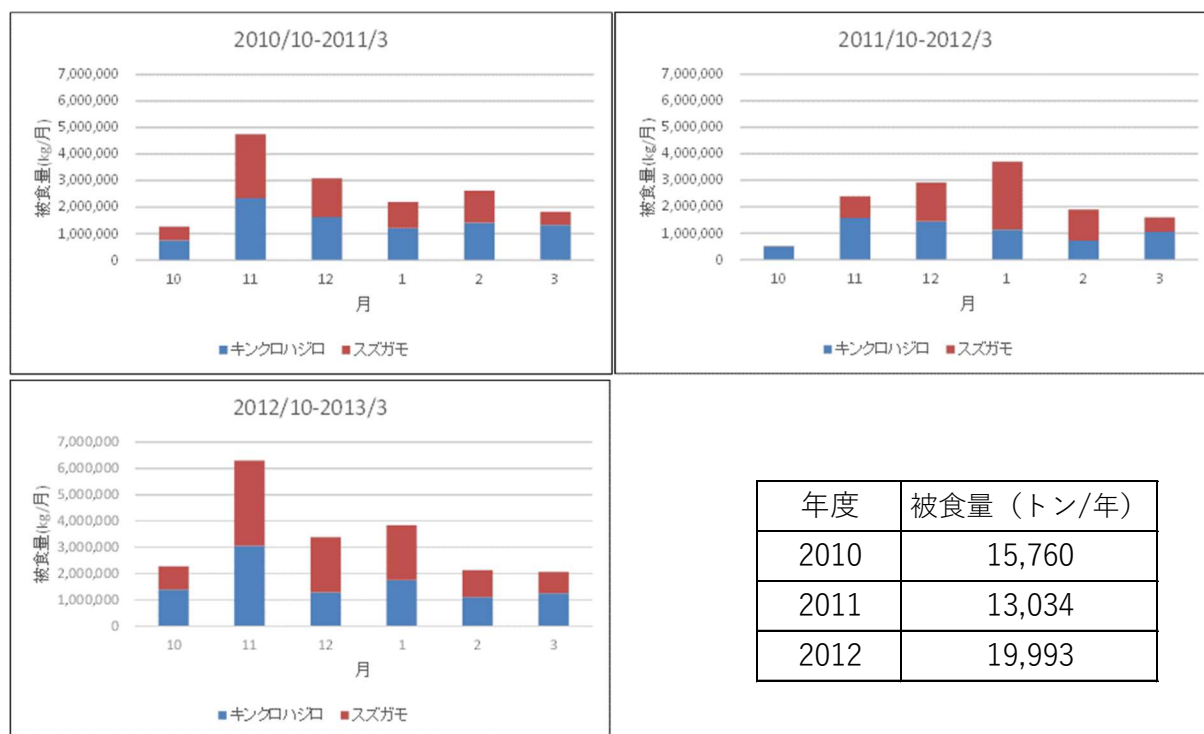


図 10 鳥類による被食量 (左上: 2010 年度、右上: 2011 年度、左下: 2012 年度)

3) 成長量

殻長毎の個体重量の変化については, 以下の式により求めた.

$$\text{殻長の個体窒素重量の変化} = \text{摂餌量} - \text{排糞} - \text{呼吸} \cdot \text{排泄}$$

摂餌量の算出には中村ほか (2001) の式を用いた. また, 排糞量は摂餌量×0.3, 排泄量は摂餌量×0.1+軟体部重量×0.03 とした (中村; 1998) .

4. 宍道湖ヤマトシジミ統合モデルの構築と適用

1) 宍道湖ヤマトシジミ統合モデルの構築と再現性試験

(1) 塩分による植物プランクトンの優占種の変化

本モデルにおいて, 宍道湖のヤマトシジミにとってアオコは成長に寄与しない無効餌料として いる. 有効餌料 (珪藻等) と無効餌料 (アオコ) は, 生産における水温の反応と塩分濃度に対する 反応が異なっている. 図 11 に示した有効餌料の存在比率は, 各年の初めに有効餌料と無効餌 料を 1:1 として計算を開始し, 1 年間計算した結果を示している. これによると, 2012 年の夏季 の上層は有効餌料の存在比率が低く, 2013 年夏季は存在比率が高い結果となっている. 宍道湖 北岸における色素濃度と相対値の季節変化 (本報告書第 1 章 2) によると, 2012 年の春は藍藻と 珪藻が半々であり, 夏季は藍藻が優占し, 2013 年の春から夏においては珪藻類が優占してい

た。2012 年秋季から冬季にかけての珪藻の回復が本計算では十分ではないが、2012 年と 2013 年の春から夏にかけての出現傾向は概ね再現されている。

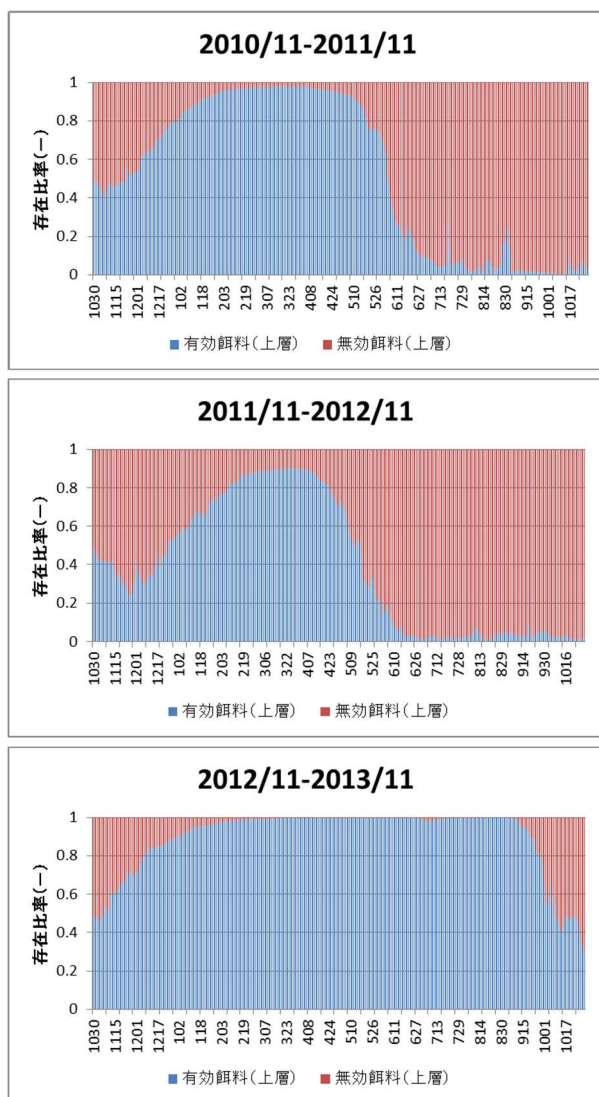


図 11 モデルにおけるヤマトシジミにとっての有効餌料存在比率（日平均値）

(2) ヤマトシジミ資源量，漁獲量の計算結果

宍道湖におけるヤマトシジミの漁獲については、主に資源保護の観点から一日あたりの上限値を設けており、計算期間中の上限値は箱 2 箱分（約 90kg）とされていた。実際の漁獲量を漁業者数を 250 人、月の漁業日数を 16 日として割り戻した時の一日当たりの漁獲量を図 12 に示す。感度解析として、この制限をなくした計算を資源が大きく回復した 2013 年ケースについて行った。その結果、漁獲個数は 6 倍弱となり、主に 20mm 以上のサイズの体重が増加することにより漁獲量は約 7 倍となった。資源量は漁獲サイズの個体数が減少し小さいサイズが増加したことにより個体数は増加するものの資源量は若干の減少となる予測結果となった。



図12 実漁獲量より推定した1日当たりシジミ漁獲量の推移

表3 感度解析結果

		実測値				
		2010/10	2011/10	2012/10	2013/10	
資源量	億個	954	767	641	1,815	2013年 感度解析結果
	トン	43,875	30,841	22,170	77,943	
漁獲量	トン		2,431	1,701	1,649	
被食量	トン		15,011	14,796	20,971	
		計算結果				
		2011/10	2012/10	2013/10		
資源量	億個	676	654	1,483	制限なし	
	トン	30,856	21,008	67,983	1,559	
漁獲個数	億個	10	10	6	54,601	
死亡個数	億個	275	241	299	35	
被食個数	億個	293	325	595	206	
漁獲量	トン	2,482	1,967	2,384	596	
被食量	トン	14,089	14,721	20,076	16,943	
					20,076	

まとめ

今回構築した宍道湖ヤマトシジミ統合モデルは、宍道湖における餌環境の変化やヤマトシジミの成長およびシジミ漁業による漁獲の取上げ、鳥類による被食、ヤマトシジミの自然死亡と新規加入を考慮した総合的な生態系モデルとなった。本モデルの運用により宍道湖の環境変化に応じたヤマトシジミ資源の将来予測が可能となったことから、本モデルでの将来予測を漁業者が実施する漁獲管理方策にどのように活用していくのか検討する必要がある。

今後、予測精度を高めるため、詳細な漁業情報の追加やモデルのチューニングは課題として残るが、宍道湖におけるヤマトシジミ資源を有効かつ持続的に利用し、漁業収入の向上を目指すため、どのような漁獲管理が可能か、漁業関係者と共に検討していきたい。

【研究責任者・連絡先】 勢村 均 ・ e-mail : suigi-naisuimen@pref.shimane.lg.jp

(共同研究者) 畑恭子 (いであ株式会社) ・ 内田 浩 (島根県水産技術センター)