

### 背景・目的

昭和40年代後半から60年代にかけて1万トンを誇った宍道湖のヤマトシジミ（以下、シジミ）漁獲量は平成に入って漁獲規制が次第に強化されたこともあり緩やかに減少を続けた。そして2006年の豪雨の影響によるシジミ大量斃死以降資源が変調を来し、宍道湖漁業協同組合による休漁日の増加や漁獲量規制の強化といった資源保護の取り組みにも拘らず、2012年春には資源量が過去最低水準の15,000tあまりとなり、漁獲量は過去最低の1,700tとなったが、2013年秋には一転して資源量が急増し約72,000tと調査開始以来最高値となった。

既存の宍道湖のシジミに関する調査研究では、このような資源の変動の説明が困難であり、加えて初期生活史についても不明な点が多かったことから、シジミの生活史および資源変動要因についてより一層の調査研究を行う必要が生じた。そのため、水産技術センターを中心とするグループではヤマトシジミの生活史と資源変動要因を解明するための調査研究を行った。

### 研究内容

#### 1) 2010年以降のシジミ資源の変動の推移とその要因

水産技術センターで毎年定期的実施しているシジミ資源量調査結果とシジミモニタリング調査結果から、2008年～2014年のシジミ資源の変動の推移を解析し、今までに得られた植物プランクトン、水鳥などの研究成果を基に、シジミ資源の変動要因を推定した。

#### 2) 各種植物プランクトンのシジミにとっての餌料価値

宍道湖に普通に出現する3種の植物プランクトン（藍藻 *Cyanobium* sp. と緑藻 *Pseudodictyosphaerium minusculum*, および珪藻 *Thalassiosira pseudonana*）を異なる成長段階のシジミに人為的に投与し、それぞれの植物プランクトンの餌料価値を推定した。また、2010年～2012年にアオコを形成した *Microcystis ichthyoblabe* (GS-1株) をシジミが摂取可能かどうか実験した。

#### 3) シジミ浮遊幼生の動態と母貝量・浮遊幼生量・着底稚貝量の関係

シジミの浮遊幼生について高塩分時（2013年）と通常塩分時（2016年）において産卵盛期の水平分布の推移から、発生・ふ化場所と移動分散の推定を行った。また、産卵誘発の機構を推定した。さらに調査で得られた母貝量、浮遊幼生出現量、着底稚貝量の関係を推定した。

#### 4) 雑種ツツイトモの塩分耐性（予備試験）

2014年以降宍道湖内で大幅に増加したツツイトモのシュート及び殖芽の塩分耐性を試験した。ちなみに宍道湖に繁茂するツツイトモは、人間環境大学 藤井伸二教授によって雑種と査定されたので、本報告では雑種ツツイトモと表記する。

## 研究成果

### 1. 2010年以降のシジミ資源の減少要因

#### 1) シジミ資源量の推移と新規加入および成長

図1に2008年～2014年の6月と10月の資源重量，資源個体数を示す。シジミ資源量は2008年から2009年には，春から秋に増加し，秋から翌年春には減少したものの，前年春に比べるとやや増加していた。しかし，2010年春は前年秋から22,000 t減少した上，春から秋にかけて変化がなく，資源の増加がほとんどなかった。

翌2011年春には2010年秋に比べて約21,000 t減少した。2011年は春から秋にかけて資源量が約13,000 t程度増加したが，前年秋からの減少分は回復できなかった。さらに翌2012年の春にかけて約18,000 t減少したため，春の資源量は調査開始以来最低の約15,000 tとなった。春から秋にかけては約8,000 t増加したものの，秋の資源量としてはやはり最低の約23,000 tとなった。2012年は重量に比べて個体数の増加が少ない傾向があった。しかし，2012年秋から2013年春にかけての減少量は約6,000 tと少なく，2013年春には資源個体数が前年秋の2倍近くの約1,100億個に増加した。さらに秋にかけて成長が早く重量が大幅に増加したため，秋の資源量は約72,000 tと調査開始以来最高値となった。

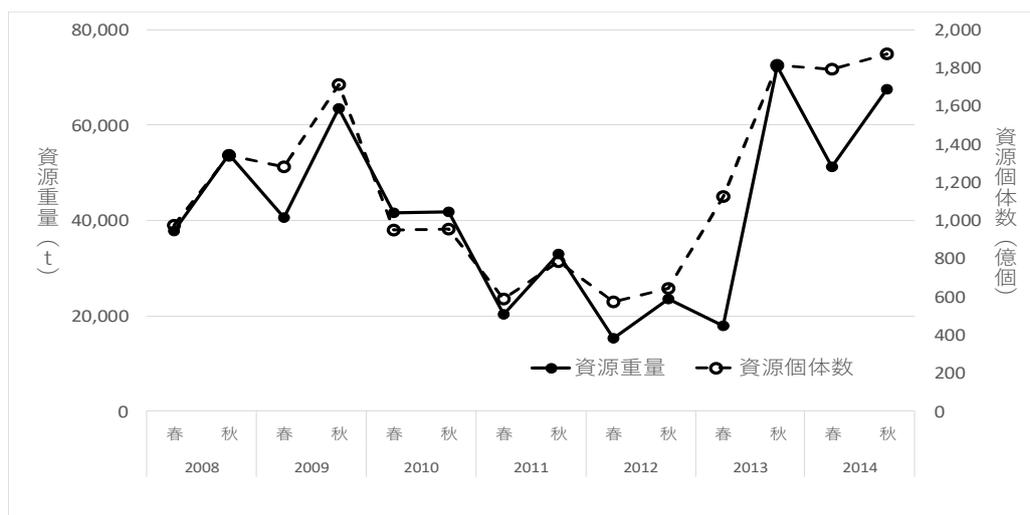


図1 2008～2014年の資源重量および資源個体数の推移

すなわち，2010年から2012年にかけてのシジミ資源の急減を稚貝の新規加入の成否と成長速度に着目してみると，例年，秋から翌年春にかけて起きる資源量の減少に加え，2010年には成長が鈍化し，さらに2010年から2012年にかけて新規加入が低調であったことが原因と推察された。また，2013年以降の資源の急増は，2012年秋から2013年春にかけて個体数がほぼ倍増したことで，個体の急激な成長に伴う重量の増加があったためと推定された。

#### 2) 資源変動を招いた環境要因

##### (1) 秋から翌年春にかけての減少

###### A. 湖底環境の悪化の可能性

湖底埋設カゴでシジミを飼育した実験によれば，通常冬季の湖底では環境悪化によるシジミの

斃死は見られない。しかし、資源が減少した 2010 年～2012 年のアオコ発生時には冬季湖底にダム状に不活性化したアオコの沈殿が観察されており、実験的に確認されてはいないがアオコが長期間大発生した場合にはシジミが沈殿物に埋まることで悪影響を及ぼす可能性があったと考えられる。

## B. 潜水ガモ類による捕食

宍道湖には冬季、多数の渡り鳥が飛来するが、その中には貝類を捕食するキンクロハジロやスズガモといった潜水ガモ類も 1 万羽以上飛来する（環境省）。そのため、秋から翌年春までのシジミ減少量のうち捕食の寄与が相当あると考えられる。しかし、カモ類は湖内でシジミを捕食する効率が一定以下に低下すると別な水域へ移動すると考えられることから、シジミ資源に壊滅的な影響を及ぼすことはないとされる。

冬季の減耗については、上記のような要因が考えられたが、過去にはその都度資源が回復しており、2010 年～2012 年に起こった、連続的な減少例は見当たらないことから、今回の減少要因としては以下に説明するシジミの新規加入と成長の不調が主と考えられる。

## （2）新規加入と成長の不調を引き起こすと推定される原因

### A. 植物プランクトン組成

#### a. 組成の推移と餌料価値

色素分析による植物プランクトンの季節変動（谷 2017）によれば、2009 年以降、2012 年までシジミの成長期にあたる 6～10 月には藍藻が卓越していた。さらに 2010 年 8 月から翌年 3 月までアオコが大発生し、続く 2011 年 8 月から 12 月、2012 年 9 月にもアオコの発生が見られた。さらに光合成色素の分析からアオコ形成藍藻は他種植物プランクトンの増殖を阻害している可能性が示唆された。

シジミへの植物プランクトン投与試験では、シジミは藍藻、緑藻、珪藻いずれも摂取・消化するが、藍藻の中でもアオコ形成藍藻種は摂取されなかった（本報告 2-3）-(2)参照。さらに藍藻は小型で摂取や消化に時間が掛るが珪藻は藍藻に比べて大型で消化が早かった（大谷 2017）。このことから、2009 年～2012 年の餌料条件がシジミの成長に影響を与えた一因と考えられた。

一方、2012 年 11 月から 2013 年にかけては、2013 年 8 月に一時的に藍藻が優占した他は珪藻を主体とした植物プランクトン組成が維持されており、湖内でしばしば優占する珪藻より大型で 1 細胞あたりの餌料価値が高いと考えられる中海由来の珪藻の *Skeletonema* 属や *Coscinodiscus* 属も出現した（野尻ほか 2014）。このことが 2013 年にシジミの成長が良かった原因と考えられる。

#### b. 植物プランクトンの種組成に影響を及ぼす環境要因

##### ・塩分

図 2 に 2009 年～2013 年の宍道湖湖心上層の水温と塩分の推移を示す。6 月から 10 月にかけての湖心の塩分は、2009 年から 2012 年 9 月までは低く、それ以降は高くなっている。谷 (2017) の結果と対比すると、塩分の低い年には藍藻が卓越し、高い年には珪藻が卓越する傾向がある。また、8 - 15PSU と宍道湖より塩分濃度の高い神西湖では、周年珪藻が卓越していること(谷 2017) から、塩分濃度が高い方が珪藻が卓越し易いと考えられる。

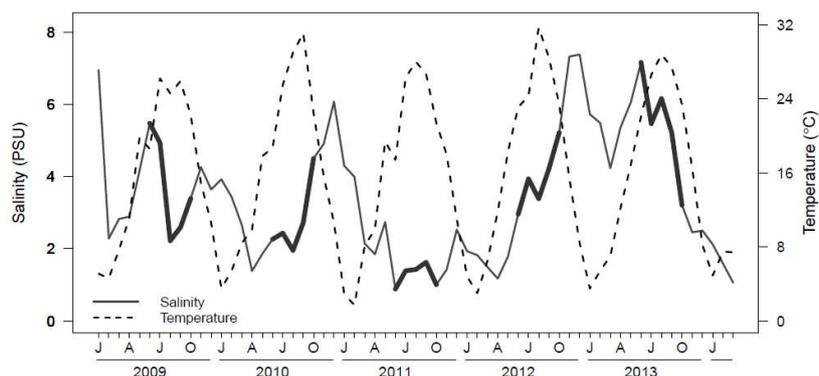


図2 宍道湖湖心上層の水温（点線）と塩分（実線）. 6～10月の塩分は太線で示した.  
石飛ほか（2016）より引用.

さらに宍道湖では湖水のTN：TP比の長期低下傾向により藍藻が卓越しやすくなっているが、2013年には5月～7月は風が強く、そのため湖水が攪拌され、底層の貧酸素化を防ぎ、湖底からのリンの溶出が減少したと考えられる（清家 2014）. これがTN：TP比に影響し、珪藻卓越の一因となった可能性がある.

#### B. 産卵期の塩分濃度

ヤマトシジミの正常な初期発生には最低で 3.5PSU の塩分が必要であるとされている（朝比奈 1941）が、2010年から2012年前半までは暖候期の塩分濃度が低かったことから、2010年前半や2011年の浮遊幼生発生量に悪影響を与えた可能性がある.

## 2. 各種植物プランクトンのシジミにとっての餌料価値

### 1) シジミ浮遊幼生および着底稚貝に対する餌料価値

表1に各種植物プランクトンを浮遊幼生に与えた場合の殻長成長速度、浮遊期間、着底率（浮遊幼生が着底して稚貝になる割合）、着底から実験終了までの稚貝の生残率をまとめ、それらから、総合的に着底の成否を判断した結果を示す.

緑藻区では着底率が他の区より劣ったものの、その他の項目では、珪藻区と緑藻区が藍藻区や無餌料区に比べて殻長成長速度は速く、浮遊期間は短く、生残率は高かった. 浮遊期間が短いと無効分散の確率が低くなり、着底後の生残率が高いことより多くの稚貝の加入が期待されることから、珪藻や緑藻は浮遊幼生や着底稚貝に対しては餌料価値が高いと考えられた.

表1 各種餌料を与えた場合の成長速度、浮遊期間、着底率、生残率

実験区	成長速度 ( $\mu\text{m}/\text{日}$ )	浮遊期間 (日)	着底率 (%)	43日目生 残率 (%)	評価
珪藻	6.51	7	54.1	78.8	成功
緑藻	6.99	8	30.7	82.5	ほぼ成功
藍藻	1.62	10	50.2	49.1	失敗
無餌料	1.25	14	67	33.2	失敗

## 2) シジミ成貝に対する餌料価値

笠井 (2016) との共同研究成果によれば、給餌期間中の肥満度は、藍藻給餌区では低下し、緑藻給餌区ではほぼ横ばい、珪藻給餌区では増加した。

また、餌料の同位体比を考慮すれば、ヤマトシジミは珪藻は十分同化できているものの、藍藻はあまり同化していないと推察され、珪藻が最適な餌料であると考えられるとの結果を得ている。

## 3) シジミ稚貝に藍藻を投与した場合

### (1) 藍藻 *Cyanobium* sp. を高密度でシジミ稚貝に投与した場合の餌料価値

殻長 5.5mm 前後のシジミ稚貝に藍藻 *Cyanobium* sp. を 700 万細胞/mL 給餌し飼育したところ、よく成長したことから、ヤマトシジミ稚貝にとって生食 (摂食・同化吸収) 可能な食物源であることが明らかになった。

しかし、前述の初期着底稚貝には 124 万細胞/ml、成貝には 88 万細胞/ml と、本実験に比べて少ない量を投与した場合には *Cyanobium* sp. は餌料として有効に利用されていない結果が得られていることから、*Cyanobium* sp. が餌料として有効に利用されるには細胞密度が非常に高い場合か、あるいはシジミが有効に利用できる成長段階がある可能性が考えられる。今後、シジミに対する餌料価値を正確に推定するためには、シジミの成長段階や餌料密度、飼育条件などを細かく設定して再実験を行うことが必要と考えられる。

### (2) シジミ稚貝に対するアオコ形成種 *Microcystis ichthyoblabe* (GS1 株) の餌料価値

殻長 6.4mm 前後のシジミ稚貝を対象にアオコ形成種を給餌して飼育したところ、無給餌の稚貝と同様、ほとんど成長しなかったことから、シジミ稚貝はアオコ形成種 *M.ichthyoblabe* を生食できないと考えられた。また、アオコ形成時には他種の植物プランクトンが排除されることが報告 (谷 2017) されていることから、2010 年～2012 年のアオコ発生時にはシジミが利用できる植物プランクトンがほとんどなかった可能性がある。

なお、1) 2) は元東京大学大学院新領域創成科学研究科南里敬弘博士の成果である。

## 3. シジミ浮遊幼生の水平分布と分散過程

### 1) ヤマトシジミ浮遊幼生の水平分布—通常塩分時と高塩分時の相違—

通常塩分時の例として、2016 年の浮遊幼生水平分布の推移、高塩分時の例として 2013 年の水平分布の推移を述べる。なお、出現した幼生は便宜上人工飼育試験結果から、初期幼生：ふ化後 1 日目で殻長 140 $\mu$ m 以下、中期幼生：ふ化後 2-4 日目で殻長 150~170 $\mu$ m、後期幼生：ふ化後 5 日目から着底時期までの殻長 180 $\mu$ m 以上、に区分して解析した。

図 3 に 2016 年 6 月～8 月下旬の幼生水平分布を示す。6 月下旬の産卵初期には幼生は大橋川や宍道湖東部でふ化、出現し、時期が移るにつれて湖内全域に出現する傾向があることが分かった。

また、大橋川接続部に設置した流向流速計のデータと幼生のステージ別分布状況から、幼生分布は流動に影響され、大橋川から宍道湖への水の流入があるときには幼生がそれに乗って西部へ輸送されると推定され、笠井 (2016) のシミュレーション結果を裏づけた。

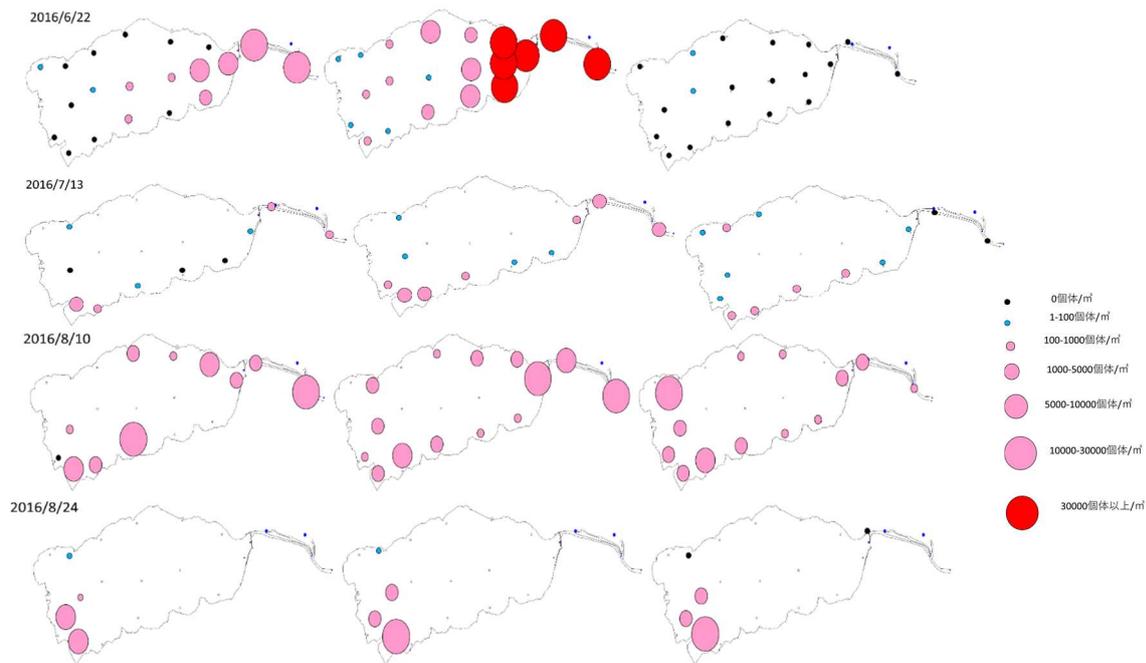


図3 通常塩分時（2016年）のシジミ浮遊幼生水平分布の推移  
（左から「初期」「中期」「後期」幼生の水平分布）

一方、塩分濃度の高かった2013年は図4に示すように産卵期前半に大橋川や宍道湖東部には浮遊幼生が出現せず、西部での産卵・ふ化が多かったと推定された。大橋川・東部での産卵・ふ化が多かったと推定されたのは7月中旬から8月であり、通常塩分の年と異なった。

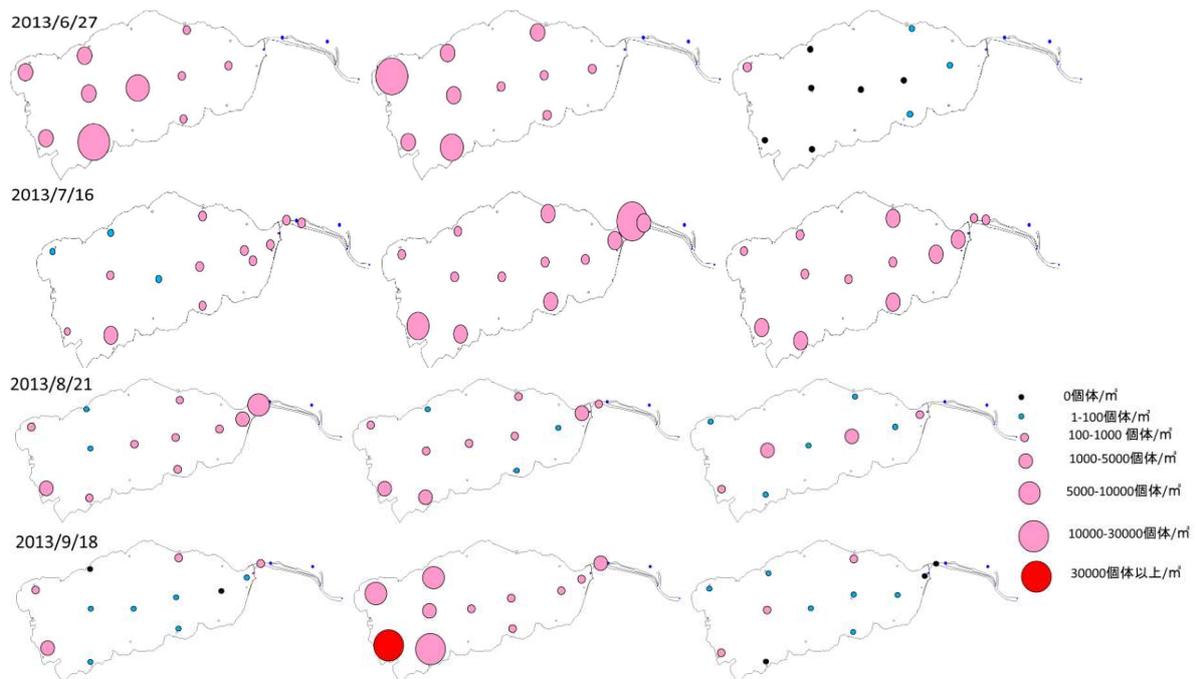


図4 高塩分時（2013年）のシジミ浮遊幼生水平分布の推移  
（左から「初期」「中期」「後期」幼生の水平分布）

### 3) 産卵誘発の機構

以上の通常塩分時と高塩分時の幼生分布の相違は、湖内の塩分分布の相違と関連すると考えられる。当センターの貧酸素調査結果によれば、図5に示すように、通常塩分時では6月から7月にかけて塩分濃度の高い水が大橋川から侵入し、東部底層の塩分が高くなり、さらに塩分変動することで東部・大橋川のシジミ母貝が産卵誘発され、母貝量も多いことから最初に大規模産卵が起こる。高塩分水は8月にかけてさらに湖内に流れ込み、8、9月には広く中央部に分布し、風の影響を受けて湖内浅所に這い上がり、産卵刺激となることから湖内各所で幼生がふ化し、出現すると考えられる。一方、高塩分時には早い時期から塩分が湖内全域に入り込み、その刺激により全域で産卵が誘発されやすくなったため、最初に湖内に幼生が出現したと考えられる。

従って、母貝は水温条件が整っていれば、流入した高塩分水の這い上がりにより産卵誘発され、浮遊幼生の分布パターンに影響すると考えられる。

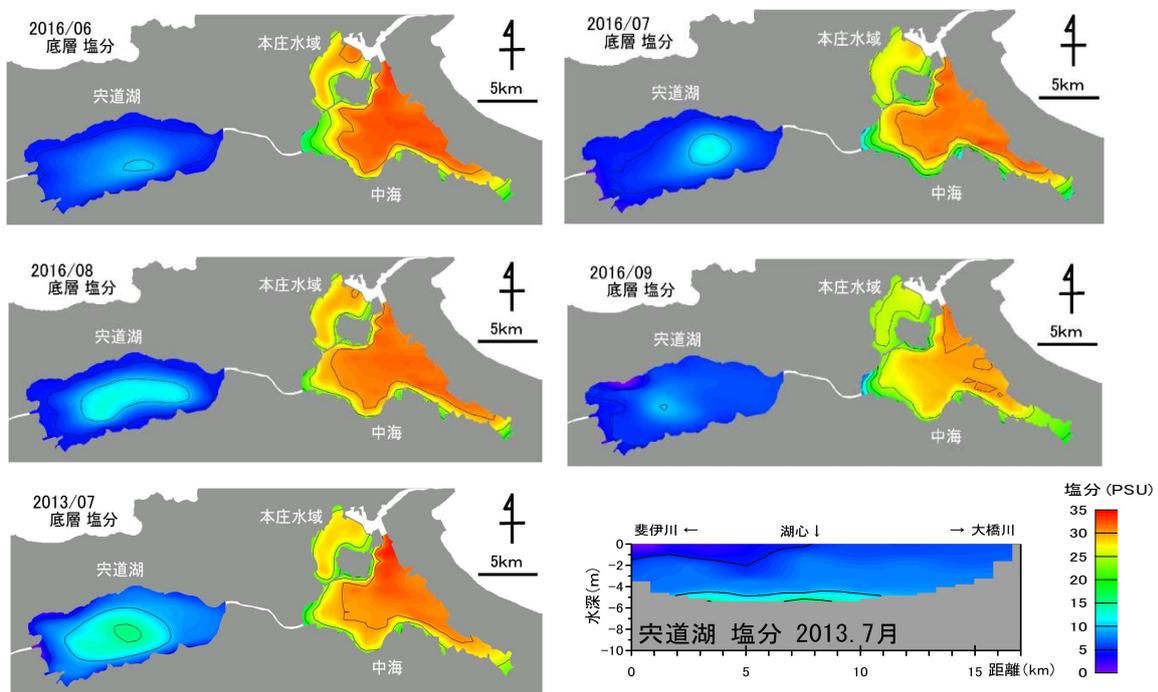


図5 通常塩分時（2016年）と高塩分時（2013年）の湖内塩分の分布（各月とも月始めに観測）

### 4) 母貝量・浮遊幼生出現量・着底稚貝量の関係

データの揃っている2012～2016年の母貝量、浮遊幼生量、着底稚貝量の関係を検討した。母貝量は6月の資源量調査から推定された殻長12mm以上のシジミ重量(t)とした。浮遊幼生量は突道湖漁協青年部による幼生調査において平均1個体/m<sup>3</sup>以上出現した期間の幼生数の平均値を用いた。ただし、2016年は青年部による採集回数が少なかったため、水産技術センターのデータも加えた。着底稚貝数は、毎月のシジミモニタリング調査時とその前後に得られた湖内東西南北の距岸2-5m、20-30m、水深2mおよび3mで採集された稚貝のうち、殻長400μm以下の稚貝の平均個数とした。

2012年～2016年の母貝量、幼生数、着底稚貝数を図6に示した。

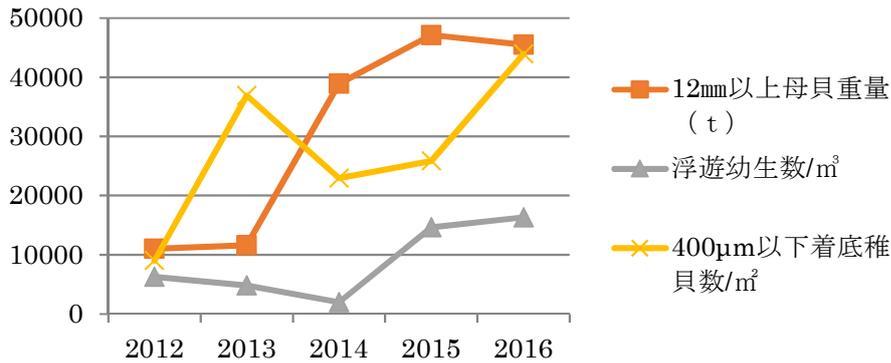


図6 2012年～2016年の母貝量，幼生数，着底稚貝数

殻長 12 mm以上の母貝量は，2012 年，2013 年は横ばいであったが，2014 年に急激に増加し，2015 年に最も多くなったが，その後若干減少した．浮遊幼生密度は，2012 年～2014 年には 10,000 個体/m<sup>3</sup>以下であり，2014 年に最も低かったが，2015 年 2016 年には 10,000 個体/m<sup>3</sup>を超えた．着底稚貝密度は 2013 年に急増し，2014 年，2015 年に一旦低下した後 2016 年に再び増加した．

12 mm以上母貝重量，浮遊幼生密度，着底稚貝密度のいずれの組み合わせでも相関は見られなかったが，着底稚貝密度と浮遊幼生密度が 3,000 個体/m<sup>3</sup>を超えた旬の数とは図 7 に示すように比較的関連が見られた．宍道湖などの汽水湖は環境変動が激しいため，汽水域を生活場所とするシジミは加入機会が多い方が繁殖に有利と考えられるので，このような傾向が見られた可能性がある．ただし，加入が成功するための要因は塩分，餌料，流動，着底場の性状，シジミ密度，などが考えられるが，どの要因が最も重要か現時点では明確ではない．

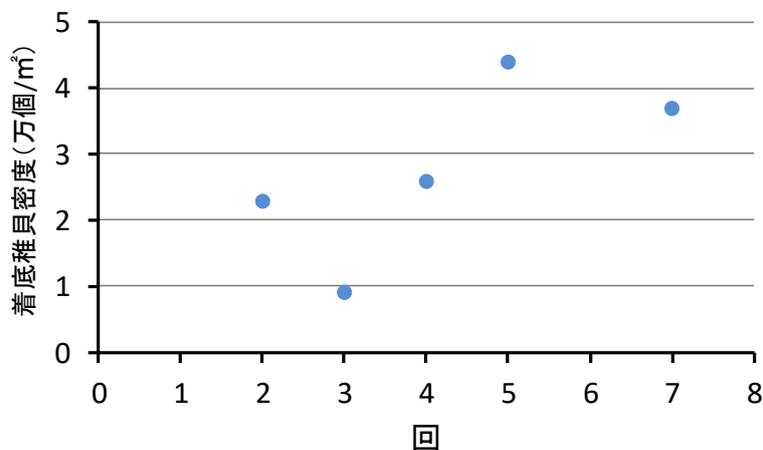


図7 着底稚貝密度と 3,000 個体/m<sup>3</sup>以上の浮遊幼生の出現旬数の関係

#### 4. 雑種ツツイトモの塩分耐性

塩分濃度 0, 2, 4, 6, 8, 10PSU の培養水に養分としてハイポネックスを添加し，草体は夏季に室温で，殖芽は 2018 年 2 月に採集して 20°C で培養し，草体は伸長度，殖芽は発芽開始日数と発芽率を観察した．

##### 1) シュートの塩分耐性

培養水温は，26.8°C～28.8°Cであった．図 8 に 2 回の各塩分濃度での平均シュート長の推移を

示す。おおむね 0～6PSU の低塩分側で良く伸張し、8, 10PSU の高塩分側で停滞ないし草体が溶けたようになって短縮する傾向があった。特に 10PSU ではほとんどの場合停滞ないし短縮となった。

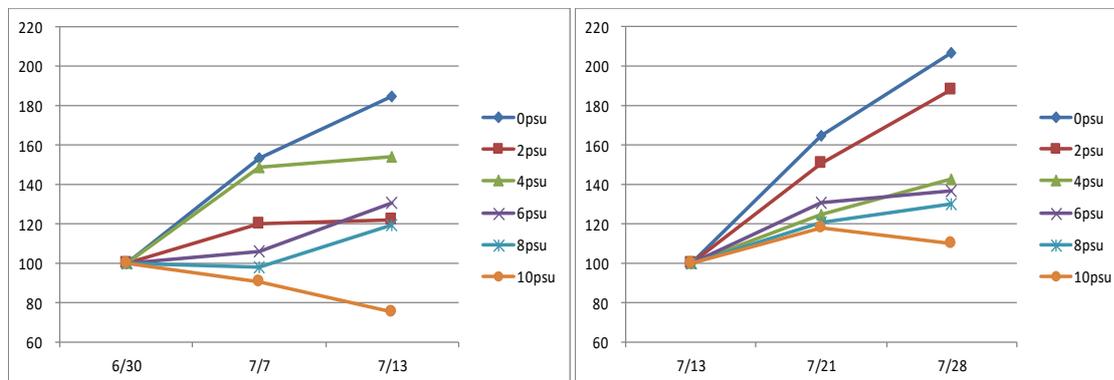


図 8 シュートの平均全長 (mm) の推移 (左 : 1 回目, 右 : 2 回目)

## 2) 殖芽の塩分耐性

図 9 に培養日数と殖芽の発芽本数の推移を示す。

発芽開始時期は塩分濃度が 0～4PSU では 2 日目, 6～8PSU で 3 日目, 10PSU で 4 日目と塩分濃度が高いほど遅かった。また, 発芽本数は, 塩分濃度が 0～6PSU では 38～40 本とほとんどの殖芽が発芽したが, 8PSU では 28 本, 10PSU では 18 本と発芽本数が少なくなった。しかし, 今回はシュートや殖芽の取り扱い方, 実験設定など改良すべき部分が多いと考えられたので, 結論を導くには今後実験回数を重ねる必要がある。

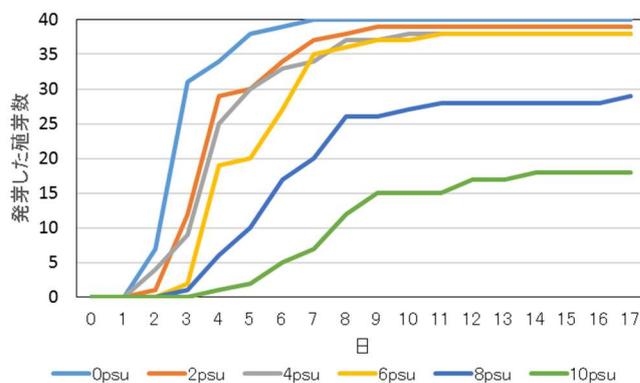


図 9 殖芽の発芽本数の推移 (縦軸本数, 横軸培養日数)

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

(共同研究者) 若林英人・向井哲也・福井克也・曾田一志・内田浩・石田健次・岡本満 (島根県水産技術センター)、南里敬弘 (東京大学大学院新領域創成科学研究科)