

## 〇ー1 アジアにおける水資源域の水質汚濁評価と有毒アオコ発生モニタリング手法の開発に関する研究

(1) アジアにおける水資源域の水質汚濁評価手法の開発に関する研究

② 食物連鎖の強化による湖沼等水資源域の水質改善手法に関する研究

独立行政法人港湾空港技術研究所

海洋・水工部 沿岸生態研究室

中村由行

独立行政法人産業技術総合研究所

山室真澄

島根県保健環境科学研究所

石飛 裕

平成13～15年度合計予算額 16,992 千円

(うち、平成15年度予算額 5,238 千円)

〔要旨〕食物連鎖の上位に位置する魚介類などの有用生物に着目し、その生産性を高め水産物として捕獲することによって窒素・リンの取り出しを図り、水質改善を達成する手法が注目されている。本研究では宍道湖・中海を対象として、二枚貝(ヤマトシジミ)や魚類、アマモなどの大型生物が水質浄化に及ぼす効果を検討した。

二枚貝の役割に関して、宍道湖において、ヤマトシジミの生息する沿岸部と、沖合部の物理的水塊交換機構と水塊構造の関連性を現地観測によって調べるとともに、表面熱交換によって誘導される流れの構造を数値解析によって調べた。熱収支に起因する流れが湖岸部のヤマトシジミと沖合植物プランクトン間の物質循環構造を物理的に担っていることが示唆された。

魚類の役割に関して、2年半に及ぶ長期間の漁獲調査を継続して行うことにより、汽水性魚種や沿岸性海産魚、汽水性年魚(ワカサギ・シラウオ)の移動形態を確認することができた。宍道湖では、ほぼ例年、夏季にコノシロの大量死が起きている。湖水の貧酸素化が原因ではないかと考えられていたが、本調査により大量死は貧酸素でないときにも起きていること、生殖腺湿重量の変化から判断してコノシロの大量死が産卵の終期におきており産卵を行う大型魚の斃死割合が高いことから、産卵による体力損耗が斃死に関係すると推察された。

資料解析により、昭和20年代までの中海には、水深3mまでの浅場約2千haの大部分でアマモが繁茂していると推定された。昭和20年代前半までアマモなどが周辺農地への肥料として使用されており、これが水域からの栄養塩取り出しを通じて水質の維持に大きな役割を果たしていたことが明らかになった。中海における海草アマモ場の衰退が堆積物に記録されている可能性を検討するために、柱状堆積物を採取して炭素・窒素・リン、および炭素・窒素安定同位体比を分析した。有機物の起源や有機物蓄積量の推定手法を検討した。

〔キーワード〕湖沼水質、食物連鎖、大型生物、物質循環、環境修復

### 1. はじめに

近年、世界各地で見られる水資源域の富栄養化は、経済発展に伴って水域へ排出される窒素・リンの急激な増加に由来する。これらの水域の富栄養化防止対策として流入栄養塩の削減対策が

進められているが、いずれの水域においても芳しい結果は得られていない。このため、栄養塩負荷の削減と並行して、水域からの栄養塩の取り出しを促進することにより水質改善を進めようとする試みがなされている。特に食物連鎖の上位に位置する魚介類などの有用生物に着目し、その生産性を高め水産物として捕獲することによって窒素・リンの取り出しを図り、水質改善を達成する手法が注目されている。これには、着目生物自体の賦存状況や動態の研究と共に、その水域における生態系と当該生物の関係を、栄養塩循環の観点から明らかにする研究が必要である。特にわが国最大の漁獲量を誇る宍道湖においては、同程度の栄養塩の面積負荷があるといわれる中海や霞ヶ浦と比べて、水質は比較的良好に保たれていると考えられており、魚介類が水質の維持に及ぼす効果が大きいと推察される。

宍道湖の漁獲量の大部分はヤマトシジミであるが、その資源量や栄養塩動態に及ぼす効果については、既に多くの知見がある。しかしながら、魚類については商品価値の高い魚種の漁獲量データ以外には知見が少なく、またこれらの魚種についても汽水域の動態調査はほとんどなされておらず、基本的な動態特性についても不明な点が多い。一方で、魚類については、近年魚種の交替やコノシロなどの大量死が報じられ、富栄養化の進行や地球温暖化との関連が推測されている。例えば、宍道湖では、1996年から2002年まで、夏季に5回のコノシロの大量死が起きている。大量死は魚類バイオマスの変動に大きな影響を与える為、注目されている。これまで、コノシロの大量死は湖水の貧酸素化に関係すると考えられていたが、大量死は貧酸素でないときにも起きていることから、別の要因があることが推察される。

最近、宍道湖・中海水域（特に中海）では昭和20年代前半まで海草や海藻などの一次生産物が周辺農地への肥料として使用されており、これが水域からの栄養塩取り出しに大きな役割を果たしていたことが徐々に明らかになってきた。干拓事業以前の昭和20年代までの中海は、聞き取り調査によると、海草の一種であるアマモが水深3m未満の砂泥底の浅場に繁茂していた<sup>1)</sup>。1948年（昭和23年）の鳥取県水産試験場の事業報告<sup>2)</sup>によると、中海の鳥取県側に限った量としての採集量は、湿重量で約5万6千トンであった。この莫大な量のアマモ採草を可能にするには、水深3mまでの浅場約2千haの大部分でアマモが繁茂していると考えるのが妥当である。一方、宮地<sup>3)</sup>によると、1961年時点のアマモ場の面積は89haであり、現時点でほとんど消滅している。従ってアマモの衰退は1950年代に急速に生じたと推定される。宍道湖・中海水域ではここ10年余に栄養塩削減の施策が講じられては来たものの、目立った水質改善の成果は現れていない。富栄養化が進行していない時代の栄養塩循環を明らかにし、現在の循環量と対比することにより、水質改善に至る栄養塩削減量を予測することが可能と考えられる。

堆積物に有機物を供給する一次生産者が海草であるか植物プランクトンであるかは、湖底堆積物の生元素比や炭素安定同位体比に影響すると考えられる。すなわち、維管束植物であるアマモが主な有機物供給者であれば、植物プランクトンよりも炭素に富む比を示すはずである。またアマモ場では草体が密集するので藻場内では流動が弱まることにより二酸化炭素が律速しやすく、光合成における炭素の同位体分別が、植物プランクトンよりも小さい可能性がある。もし柱状堆積物にこのような生元素や安定同位体比の違いが保存されるのであれば、アマモが繁茂していた頃と消滅以降で異なった分析値として検出されることで、アマモ場の消滅時期を特定できる可能性がある。本研究ではこのような可能性を検討するために、中海の数ヶ所で柱状堆積物を採取し、堆積物の化学分析を行った。

## 2. 研究目的

わが国最大の漁獲量を誇る宍道湖においては、同程度の栄養塩の面積負荷があるといわれる中海や霞ヶ浦と比べて、水質は比較的良好に保たれていると考えられている。そこで本研究では宍道湖を対象として、主要な漁業対象種である二枚貝(ヤマトシジミ)を中心とした物質循環機構を調べるとともに、魚種の動態に関する知見を整理して、漁獲による水質浄化効果を定量化し、さらに物質循環の健全化を図ることで水域の環境浄化手法の確立を目指すことを目標とする。

そのため、冬季および秋季に、宍道湖の水質構造の特性を把握し、物質循環におけるヤマトシジミの役割を調べるための観測を実施する。また、水質の構造に及ぼす外的因子として熱収支に着目し、数値解析によって水表面熱収支の影響を調べる。さらに、魚類の賦存状況と動態に関する長期間調査を3年度にわたって継続実施し、海域と汽水域を移動する魚類の動態を把握する。

アマモ場の生息範囲や消滅時期を特定するため、柱状堆積物における生元素や安定同位体比を指標として、アマモが繁茂していた頃と消滅以降で異なった分析値として検出されるかどうかを調べる事を目的とする。そのために、中海の数ヶ所で柱状堆積物を採取し、堆積物の化学分析を行う。これらの結果を活用すれば、富栄養化が進行していない時代の栄養塩循環を明らかにし、現在の循環量と対比することによって、水質改善に至る栄養塩削減量を予測することが可能と考えられる。

本サブサブテーマの役割分担を、図-9に示す。

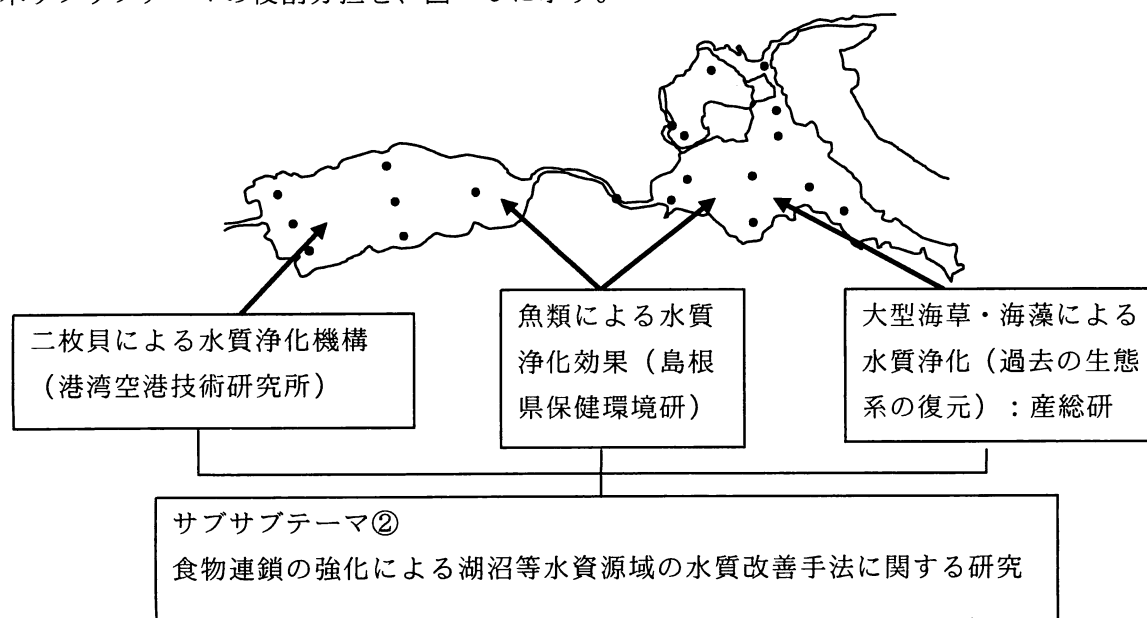


図-9. 宍道湖・中海水系と、本サブサブテーマの役割分担

## 3. 研究方法

(1) 宍道湖における水塊構造に関する現地観測ならびに数値解析—二枚貝による浄化機能の評価—

本研究の対象である宍道湖は、比較的単純な湖盆地形をしているが、水温構造には南北非対称性がみられ、物質循環にも影響を与えていることが示唆されている。本研究では、まず、過去に調べられていない冬季において、湖流と水塊構造に関する南北断面観測を実施した。宍道湖のほぼ中央に岸沖方向に南北の測線を設け、6つの測点で流速・濁度・クロロフィル・水温・塩分センサ

一を係留して、2001年12月4日－7日の4日間、連続観測を実施した。また、湖心ならびに北岸付近の定点において自動採水器を設置し、1時間おきに採水して栄養塩濃度を測定した。さらに船上からも、センサー計測ならびに採水を毎日4日間実施した。また、ほぼ同様の調査を2002年10月1日－16日の16日間、実施した。

数値解析においては、中山ら<sup>4)</sup>によって開発された三次元非静水圧流動モデルを用いた。流動の外力としては風及び水表面での熱収支を考慮した。夏期における観測値をもとに、日周期の風速変動ならびに熱収支を多項式で与えた。風速については、昼12時に最大風速4m、風向は常に西風となるように与えた。初期条件としては静止条件で、一様水温31℃を与えて計算を開始し、ほぼ周期的定常解が得られるまで計算を行った。

## (2) 魚類を通じた浄化機能の評価

現在、宍道湖では魚類の賦存状況と動態の調査は行われていない。また、宍道湖のような汽水域では、海域と汽水域を移動する魚類の動態が年次によって大きく異なる可能性がある。このため、出来るだけ長期間のデータを得ることが必要である。そこで本研究では、2001年11月から2004年3月にかけて、中海西部 (Sta.1)、中海本庄水域 (Sta.2)、宍道湖東部 (Sta.3) に設置された小型定置網「ます網」の漁獲物の全量測定を月1回行った。各月の測定は1地点に1日をあて、長くても10日以内に3地点全ての測定を終えた。網は原則として朝に設置し24時間後の翌朝、網に入った魚を魚種ごとに全湿重量を測定し、また、漁獲された魚のうち市場に出荷された魚種も記録した。Sta.1と2では月によって網数が増減するので、網数を記載した。優占魚種について、そのなかで群が分かれるものはそれぞれの群について、無作為に抽出した10個体、あるいは、10個体以下の場合は全個体の全長 (魚類)、体長または甲幅 (甲殻類) を測定した。

宍道湖では、1996年から2002年まで、夏季に5回のコノシロの大量死が起きている。魚類バイオマスの変動に大きな影響を与える大量死の原因を明らかにするために、2002年の3月から2003年の3月まで通常の魚類調査に加え、コノシロについて生殖腺湿重量測定などの調査を行った。たまたま、2003年6月中旬から7月中旬にかけてコノシロの大量死が起きたので、斃死体についても漁獲物と同様の測定を行い、また、斃死と水質の関係を探るため、大量死時の宍道湖の塩分、溶存酸素の測定を行った。

## (3) 大型海草・海藻による浄化機能の評価

島根・鳥取両県の明治から昭和20年代までの漁獲統計資料等から中海の肥料藻漁業に関する文献を探索し、明治年間の島根県農商工統計の中に10年間、販売に回された肥料藻生産量を探し出した。また、昭和20年代の初め鳥取県の水産試験場事業報告の中に、当時の中海の肥料藻採取量5万6千トン (湿重：アマモ) が記載されていた。さらに、採藻船の数、採藻の操業実態、自家消費の状況を聞き取り等によって調査した。

また、昭和29年発行の中海海図から水深3mより浅い部分の面積をプランニメーターで計測し、2割の岩礁部分を除いた砂泥部分の面積を1600haとした。現在のアマモ生産量を当てはめると年あたり15～30万トンの生産量となる。これらから年あたりの採藻量を推計した。

中海のアマモ場がかつて生育していたと推定された複数の場所において、柱状堆積物を2003年10月22日に、中海内4ヶ所で採取した。また中海に通じる境水道にある、現在も残っているアマ

モ場でも同様の柱状堆積物を採取した。堆積物は内径48mm、長さ1mの亚克力管を使用し、ダイバーが堆積物に差し込んで上側を密栓し、その状態で層が乱れないようにゆっくり引き上げた。アマモ消滅前後の状況を検討するために80 cm以上の採取を目指し、各地点とも1ヶ所につき3本ずつ採取した。堆積物を1cmごとに切り分けて冷凍した。ただし本庄地先については堆積速度が遅いと予測されたので<sup>5)</sup>、5mm毎に切断した。冷凍した堆積物は順次凍結乾燥にかけ、乾燥前後の重量を測定して乾湿比を求めた。乾燥した堆積物は肉眼で貝殻や植物片などの生物遺骸を除去し、除去した遺骸の重量を測った。一部の生物遺骸はさらに、植物片とそれ以外に分けてそれぞれの重量を測った。生物遺骸を除去した堆積物は瑪瑙の乳棒と乳鉢で粉碎して分析に供した。時間の制約上、各地点から柱状堆積物を1本ずつ抽出し、化学分析を行った。

全リンの分析は試料約10mgに分解液50ml（過硫酸カリウムの濃度 $6.7\text{g l}^{-1}$ ）を加えてオートクレーブ（ $121^{\circ}\text{C}$ 、3時間）で分解し、 $450^{\circ}\text{C}$ で3時間焼いたワットマンGF/Cグラスファイバー濾紙でろ過した濾液の正リン酸濃度を、ブランルーベ製AACS IIを用いてモリブデンブルー法で分析して定量した。ひとつの分解瓶の分解液について2回ずつ比色し、その平均値を分解瓶での値とした。その上で、1試料について2本の分解瓶を使用した。

残りの試料は希塩酸をかけたところほぼ全ての試料に発泡が認められたので、銀製のコンテナーに分取し、1N塩酸を発泡しなくなるまで滴下して約 $50^{\circ}\text{C}$ で乾燥後、錫箔製のコンテナーに包んで、燃焼法により有機炭素、全窒素、およびそれらの安定同位体比を測定した。1試料につき23回分析した。サンプルはFisons Instruments EA1108を用いて $1020^{\circ}\text{C}$ で燃焼し $650^{\circ}\text{C}$ で還元した。得られた二酸化炭素と窒素はFinnigan Delta Plus質量分析計に導入され、炭素・窒素濃度と安定同位体比を分析した。濃度と安定同位体比を計算する検量線は、L-a-alanine ( $\delta^{13}\text{C} = -20.93\%$ ,  $\delta^{15}\text{N} = 7.61\%$ )を用いて作成した。また分析値のドリフトをチェックするために、堆積物6サンプルごとにL-a-alanineを分析した。安定同位体比 ( $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$  および  $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$ ) は、標準表記に従い、下記式により計算し、%単位で示した。

$\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N} = \{R(\text{sample})/R(\text{standard})-1\} \times 1000$  (%) (ただし  $R = ^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  もしくは  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ )

各サンプルの分析結果の標準偏差の最大値は全リンで $0.022\text{mg g}^{-1}$ 、有機炭素で0.25%、窒素濃度で0.05%、炭素同位体比で0.58%、窒素同位体比で0.75%であった。

#### 4. 結果と考察

(1) 穴道湖における水塊構造に関する現地観測ならびに数値解析—二枚貝による浄化機能の評価—

2001年度の調査においては、12月4日・5日を除いて曇天の天候が続いたため、水温の日変化は小さめであった。しかしながら、最も岸よりの測点1においては、水温の日較差が最大であり、湖心で最小であった。水深の浅い沿岸部では熱容量が小さく、水面での熱収支の影響を受けやすいためであると考えられる。また、クロロフィル濃度は、観測期間中徐々に増加したが、最も岸よりの測点1においては、逆に7日に顕著に減少した。今回の調査は生物活性の低い冬季に実施したにもかかわらず、沿岸に低クロロフィル水塊が形成され、二枚貝の懸濁物除去作用が冬季にも有効であると考えられる。

2002年度の調査においては、調査期間中は、中間にあたる10月7日～10日に低気圧の通過に伴う寒冷化と湖沼水温の低下がみられたが、それらの前後においては、ほぼ晴天の天候が続いた。

表層水温の日較差は晴天時で約2℃、曇天時で1℃程度であった。水温の日較差は、最も岸よりの測点1において最大であり、湖心で最小であった。水深の浅い沿岸部では熱容量が小さく、水面での熱収支の影響を受けやすいためであると考えられる。また、濁度は、風波による短周期の変動を除き観測期間中に明確な変化傾向は見られなかった。岸沖方向の変化は、最も岸よりの測点1においては最小、湖心で最大であった。クロロフィルについては現在十分な解析が行えていないが、沿岸に低濁度・低クロロフィル水塊が観測期間中維持されており、二枚貝の懸濁物除去作用が秋季にも有効であると考えられる。

夏季の典型的な風と水表面熱フラックスを駆動力として与えた湖水流動に関する数値解析によって、過去に調査された現地水質構造が再現され、熱収支の重要性が明らかになった。計算開始後、5日後にはほぼ周期的な定常解が得られた。早朝には北岸側で低温、南岸では高温の水塊が維持され、水温分布の南北非対称性が顕著に現れていた。これは、北岸側が相対的に湖底が緩傾斜であるためである。比較的穏やかな風の条件では、湖沼内の水温差を解消する方向ではなく、むしろ強化する方向に働くことが示された。図-10に計算結果を、図-11に、観測値の例として中村ら<sup>6)</sup>が行った観測結果のうち、アンモニア態窒素の分布を示す。アンモニアの高濃度域はヤマトシジミの生息範囲とほぼ一致する。観測後半において、北岸側の高濃度域が水深方向によく混合しているのに対して、南岸側の高濃度域が深い部分に閉じこめられた形となっているが、これは、計算の水温構造と酷似している。このことから、水表面を通じた熱収支に起因する流れが、水塊の三次元的な構造を支配している事、さらにヤマトシジミを介した物質循環に大きく関わっている事がわかった。

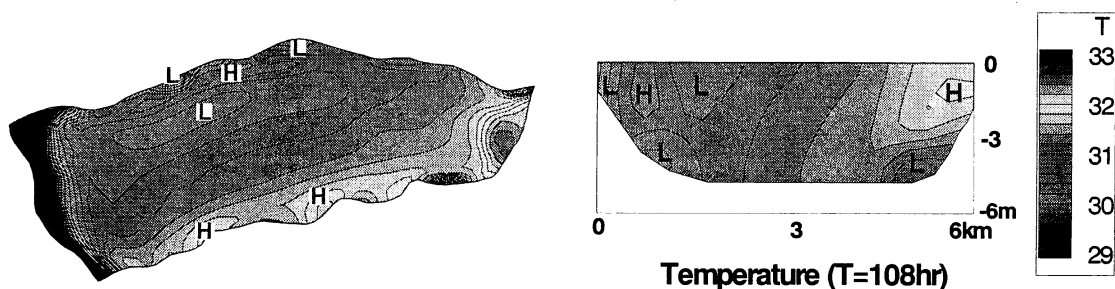


図-10. 水温の数値計算結果 (左: 表層水温、右: 南北断面の水温分布)

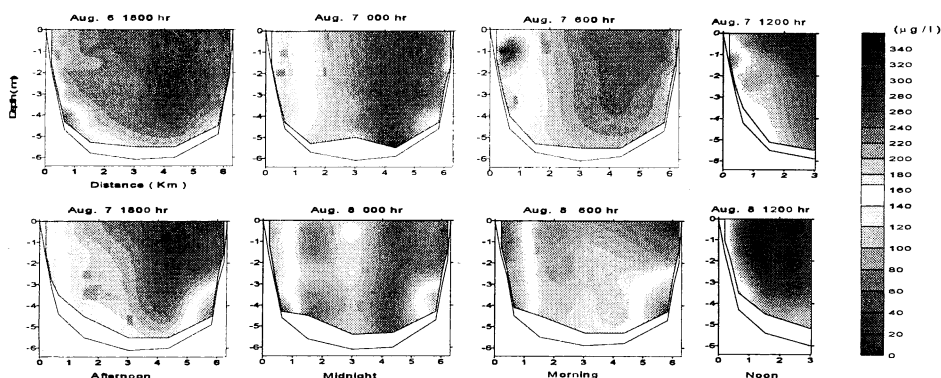


図-11. 計算断面 (図-10の右図) と同じ断面におけるアンモニア態窒素の観測分布

## (2) 魚類を通じた浄化機能の評価

一般に、サッパ・コノシロ・スズキ・マハゼ・ボラ類などの汽水性魚種や沿岸性海産魚は春季に宍道湖水域に侵入し、初冬に中海、境水道、美保湾に降下する一方で、汽水性年魚のワカサギ・シラウオは秋季に急速に成長し、侵入魚のいない冬季から春季にかけて産卵するといわれている。淡水性のフナ類は常在するが、市場性の高い冬季が漁獲時期である。ほぼ3年間の調査により、従来調査が行えなかった春期・夏期についても連続したデータを得ることができた。その結果、2001年10月から2004年3月までの漁獲状況を通観すれば、概ね上に記した魚種の移動に合致した。秋季には、サッパ・スズキ・マハゼの漁獲が大きかった。冬季にはこれらの漁獲が激減するので通年漁獲されるフナ類の漁獲が目立つようになった。また、2001年度においてはシラウオやウグイの漁獲も大きかった。

2001年度が例年と異なる特徴は、通常冬季には中海から境水道に降下し、宍道湖では漁獲されないスズキが1月を除いて漁獲されたことである。コノシロも12月下旬に漁獲された。宍道湖に侵入するサッパ・コノシロ・スズキなどの汽水性魚種や沿岸性海産魚の降下は、冬季の水温低下によると考えられている。平塚<sup>7)</sup>は、湖水温が8℃以下になるとコノシロやスズキは中海に降下するとしている。サッパはもう少し高い水温で降下するようである。2001年度の冬にコノシロとスズキが遅くまで宍道湖に残留した理由として、水温低下が小さかった可能性がある。宍道湖の水温は2002年2月初旬に約5℃、3月初旬には8℃近かった。

さらに、2001年度の異常な出来事として、冬季のコノシロ大量へい死があった。夏季におけるコノシロの大量斃死はほぼ例年継続しているが、冬季の大量斃死は記録がない。年末年始にかけて宍道湖周辺は初積雪をとまなう荒天となって急激な水温低下が生じた。それ以前は比較的暖かく、2001年12月下旬の定置網調査でもコノシロが漁獲されていた。例年よりも多く残留したコノシロが水温急低下により大量へい死に至った可能性が考えられる。

2002年度の宍道湖東部における漁獲状況の特徴は、近年漁獲が極端に減少しているワカサギが、わずかながらも漁獲されたことである。従来、諏訪湖などから購入した大量の発芽卵を孵化させ放流する努力が続けられていた。今季は、諏訪湖からの導入量を例年よりもかなり少な目に押さえた(1/3~1/10程度)にもかかわらず、ワカサギの漁獲が見られた。また、例年のように報告されているコノシロの大量斃死現象は、今季は見られなかった。

2003年度の宍道湖東部における漁獲状況の特徴は、近年漁獲が極端に低下しているワカサギの幼魚が、発眼卵を外部から全く導入しなかったにもかかわらず、6月と7月に大量に漁獲されたことである。近年、諏訪湖、網走湖、琵琶湖から購入した大量の発眼卵を孵化させて放流していたが、ワカサギの漁獲増加に至らなかった。このため、漁協は方針を変更し、2003年度は発眼卵導入を取りやめ、僅かに漁獲されるワカサギを頼りに保護区を設定し、そこでの産卵期の刺し網やシジミ掻き操業を禁止するなど対策を取った。外部から発眼卵の導入をしなくても、幼魚が増殖することが明らかとなった訳である。しかし、これらのワカサギ幼魚の多くは夏を越すことが出来なかった。宍道湖のワカサギは日本の南限個体群で、夏季水温が高くなると斃死することがある。2003年の夏季は冷夏で宍道湖水温は30℃を超していない。冷水魚のワカサギにとって、水温上むしろ好ましい生息環境であったにもかかわらず夏を越せなかった理由は不明であり、今後の研究課題である。

これまで、コノシロの大量死は湖水の貧酸素化に関係すると考えられていたが、大量死は貧酸

素でないときにも起きていることが分かった。通常個体や斃死個体の生殖腺重量指数を調べ、その変化から大量死は産卵の終期におきており、また、産卵を行う大型魚の斃死割合が高いことから、産卵による体力損耗が斃死に関係すると推察された。また、体長変化より宍道湖水域のコノシロ魚齢は3年と推定された。

### (3) 大型海草・海藻による浄化機能の評価

現在の中海にはアマモはほとんど生育していないので、2002年8月に厚岸湖からアマモを採取し、地上部と地下部に分けて窒素・リンの含有量を測定した。これを昭和20年代当時の中海のアマモ採取量56250トンに当てはめると、年間で窒素61トン、リン12.8トンがアマモ採藻漁業により中海から回収されていることが分かった。

予備的にアマモ場堆積物である外江沿岸、かつてアマモ場があったとされる本庄地先、およびその水深からアマモ場は無かったと考えられるNo.32地点から1本ずつ選んだ柱状堆積物について生物遺骸の量を調べた。

現生のアマモ場である外江-1試料と、黒色シルトで海草藻場がかつても無かったと考えられるNo.32-1試料を比べると、前者は乾湿比が高く、生物遺骸重量が大きかった。また、生物遺骸に占める植物組織の割合は小さかった。かつてアマモ場があったとされる本庄地先で採取した本庄-1は、両者の中間の値を示した。

No.32地点から西方向に水深2.5m付近に移動した地点で採取した堆積物と、さらに浅い水深1.8m付近で採取した堆積物を比較すると、全体的に水深2.5m地点の堆積物の方が、1.8m地点の堆積物よりも生物遺骸を多く含んでいた。また水深1.8m地点では表層近くに多く存在したが、水深2.5m地点では表層より数cm下部でより多く存在した。

アマモ場が現存する外江-1柱状堆積物試料は、鉛直方向の生元素濃度の変化が最も少なかった。濃度だけでなく、C:N:Pや安定同位体比も変化が少なかったこと、また少なくとも表層から6cmまではアサリ成体が生息していたことなどから、全長28cmのうちかなりの部分が生物攪乱によって均一化されていると考えられる。このことから外江-1柱状試料が示す値は、アマモ起源の有機物が細粒有機物として今回の分析対象となるまで分解する以前の最近の状態を示しており、50年前のアマモ起源有機物の指標とすることはできないと判断された。このことはC:N:Pについても、維管束植物の遺骸が蓄積すると考えられる外江-1試料で、他の堆積物よりC:NやC:Pが最小だったことから支持される。この場合、混入していた生物遺骸も混ぜて測定すれば、C:NやC:Pは高くなっていたと考えられる。例えば2003年7月にこのアマモ場で採取したアマモでは、地上部のC:N・C:Pはそれぞれ18・350、地下部は26・600と高い値を示した。

No.32-1試料の50cm付近では、炭素・窒素・リン濃度が高めになっていた。また窒素安定同位体比もこの深さで高めであった。中海では、1940年代まではアマモには強度な採集圧がかかっており、その後、畑作対象植物が塩分に弱いタバコに変わって採草されなくなった時期と、アマモを含む大型植物が枯死始める時期が重なっていた可能性が指摘されている (Yamamuro et al. submitted)。このことから、これらのピークは採草が衰退してアマモが堆積物への有機物源として大量に供給されたことを示している可能性があるが、先述のように外江-1柱状堆積物試料が示す値をアマモ起源有機物の値として適用できないため、これ以上の検討はできない。



## 5. 本研究により得られた成果

宍道湖における自然浄化は、ヤマトシジミを中心とした物質循環によって成り立っていると考えられているが、ヤマトシジミの生息する沿岸部と、その餌となる植物プランクトンが多い沖合い部の物理的水塊交換機構については不明である。本研究においては、まずこの物理的交換機構と水塊構造の関連性を、予備的に冬季現地観測によって調べるとともに、表面熱交換によって誘導される流れの構造を数値解析によって調べた。その結果、シジミの活性が低い冬季においても、沿岸に低クロロフィル濃度の水域が形成され、二枚貝の浄化効果が見られた。また、夏季の典型的な風と水表面熱フラックスを駆動力として与えた湖水流動に関する数値解析によって、過去に調査された現地水質構造が再現され、熱収支の重要性が明らかになった。

2001年度から継続して調査を行うことにより、2001年10月から2003年3月までの長期間の漁獲状況をまとめることができた。汽水性魚種や沿岸性海産魚は春季に宍道湖水域に侵入し、初冬に中海・境水道・美保湾に降下する一方、汽水性年魚のワカサギ・シラウオは秋季に急速に成長し、侵入漁のいない冬季から春季にかけて産卵する、という魚種の移動形態を確認することができた。2001年度は、水温環境の変化に伴い、スズキやコノシロが冬季にも漁獲される一方、冬季にはコノシロの大量斃死がみられた。

宍道湖では、ほぼ例年のように、夏季にコノシロの大量死が起きている。湖水の貧酸素化が原因ではないかと考えられていたが、本調査により大量死は貧酸素でないときにも起きていること、生殖腺湿重量の変化から判断してコノシロの大量死が産卵の終期におきており産卵を行う大型魚の斃死割合が高いことから、産卵による体力損耗が斃死に関係すると推察された。

資料解析により、昭和20年代までの中海には、水深3mまでの浅場約2千haの大部分でアマモが繁茂していると推定された。昭和20年代前半までアマモなどが周辺農地への肥料として使用されており、昭和20年代当時の中海のアマモ採取量は56,250トンであった。アマモの平均的な成分から推定すると、年間で窒素61トン、リン12.8トンがアマモ採藻漁業により中海から回収されていたことになる。この数値は、当時よりかなり多いと考えられる現在の中海への窒素・リン負荷と比べても、約1割前後に達するため、水域からの栄養塩取り出しを通じて水質の維持に大きな役割を果たしていたことが明らかになった。中海における海草アマモ場の衰退が堆積物に記録されている可能性を検討するために、柱状堆積物を採取して炭素・窒素・リン、および炭素・窒素安定同位体比を分析した。比較のために分析した現生アマモ場の堆積物では、分析に供した粒子自体にはアマモ生体の特徴的な生元素比は反映されていなかった。またアマモ場だけでなく他の地点でも肉眼で確認できる生物遺骸が含まれており、起源推定や有機物蓄積量を検討する上で、これらをどう扱うかが課題として残された。

## 6. 引用文献

- 1) 平塚純一・山室真澄・石飛裕 (2003) : アマモ場利用法の再発見から見直される沿岸海草藻場の機能と修復. 土木学会誌, 88(9), 79-88
- 2) 鳥取県水産試験場事業報告, 1948
- 3) 宮地伝三郎 (1962) : 中海干拓・淡水化事業に伴う魚続生態調査報告
- 4) 中山恵介・岡田知也・野村宗弘・日比野忠史・細川恭史・古川恵太 : 大潮・小潮における湾外水の影響, 海岸工学論文集, 47, 421-425(2000)

- 5) 金井豊・山室真澄・井内美郎・徳岡隆夫 (2002) : 島根・鳥取県中海における堆積速度と堆積環境. 地球化学, 36, 161-178
- 6) Nakamura, Y. and F. Kerciku (2000): Effects of filter-feeding bivalves on the distribution of water quality and nutrient cycling in a eutrophic coastal lagoon, J. Marine Systems, 26, 209-221.
- 7) 平塚純一 (1985) : 宍道湖の柵網で漁獲された魚類. 淡水魚, 11 : 15-19.

## 7. 国際共同研究等の状況

中国水生生物研究所の研究者等と情報交換し、魚介類による植物プランクトンの制御技術(バイオマニピュレーション)の現状、および湖沼水質に対する有効性に関する知見を得た。

## 8. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表 (学術誌・書籍)

<学術誌 (査読あり)>

- ① 中村由行、奥宮英治、中山恵介 : 海岸工学論文集, 48, 1051-1055, (2001)  
「湖沼の平面的な水塊分布構造に及ぼす水表面熱収支の影響」
- ② 中村由行、奥宮英治、中山恵介 : 海岸工学論文集, 49, 1031-1035, (2002)  
「二枚貝が優占する湖沼の水塊形成に関する数値解析」
- ③ 石飛裕, 平塚純一, 桑原弘道, 山室真澄, 中村由行, 森脇晋平 : (投稿中)  
「潟湖, 宍道湖におけるコノシロの成長・成熟と大量死」

<学術誌 (査読なし)>

- ① 中村由行 : 海洋と生物, 151, 168-176. 2004.  
「閉鎖性沿岸域の生態系と物質循環【10】富栄養化した汽水湖における栄養塩循環と水質分布に関わる懸濁物食性二枚貝の効果」

### (2) 口頭発表

なし

### (3) 出願特許

なし

### (4) 受賞等

なし

### (5) 一般への公表・報道等

なし

## 9. 成果の政策的な寄与・貢献について

サブテーマ代表者は、環境省湖沼水質保全総合レビュー調査における「宍道湖・中海」の解析グループに所属し、両湖沼における水質・生態系の評価手法や遷移過程に関する調査検討業務に参画している。本研究の成果は、同業務における過去の水環境対策の評価や今後の水質保全計画のありかたに対する提言に活かされる。

また、今後水産研究機関との連携を通して、成果の広報・普及に努める。