

21

助成番号 0021

魚類種苗生産基地としての閉鎖性汽水域の高度水産的利用計画に関する研究

助成研究者：上 真一(広島大学 生物生産学部)

共同研究者：柏崎 守弘(島根大学 生物資源科学部)

宍道湖・中海水系は島根県、鳥取県にまたがる現存する本邦最大の汽水生態系である。中海の北西部に位置する本庄工区はその周囲を堤防により囲まれた閉鎖性水域で、千陸工事を待つばかりの状態になっていた。本研究計画を申請した時点では、本庄工区を千陸する、しないを巡って激しいやりとりが行なわれている最中で、その運命は明らかではなかった(結局 2000 年に至って、国は干拓事業を中止することを決定した)。本庄工区を水域として残すには、この水域にできるだけ高い経済的負荷価値を付け加えることが必要であり、その一方策として、水域の自然生産力を利用したマダイ、ヒラメ、アユなどの重要水産魚種の種苗生産基地として、本水域を高度に使用する計画を提案した。この計画の妥当性を魚類種苗の餌となる動物プランクトンの生産能力を推定することなどにより評価した。

1997年5月から1999年5月までの丸2年間にわたって、本庄工区内の7定点と隣接する中海の1定点でほぼ毎月1回観測、採集を継続し、環境要因並びに動物プランクトンの出現分類群、各分類群の個体密度、現存量、生産速度を測定した。

その結果、本庄工区内のネット動物プランクトン群集は顕著な季節変動を示すものの、期間中の平均個体密度($37.2 \times 10^4 \text{ indiv. m}^{-3}$)、現存量(71.0 mg Cm^{-3})、生産速度($17.6 \text{ mg Cm}^{-3} \text{ d}^{-1}$)は既報のどの値よりも高く、世界最高の動物プランクトン生産能力を備えている水域であることが明らかとなった。分類群別では魚類の餌として好適な甲殻類のカイアシ類が現存量基準で全体の83.4%を占めた。動物プランクトン平均生産量の10%(現存量の約2.5%に相当)を毎日間引いて餌として利用すると仮定すると、本庄工区は少なくとも580万尾のマダイあるいはヒラメ、さらには1450万尾のアユの種苗生産を支えることが可能であると計算された。隣接地に飼育水槽などの設備を持った種苗生産施設を建設し、さらにライトアップなどの動物プランクトンを効率的に集める装置が整備されれば、本庄工区は現在各県の事業場で生産されている尾数(マダイ、ヒラメ、アユはそれぞれ最高でも200万尾程度)よりはるかに多い魚類種苗の生産が可能である。しかも天然餌料を利用することにより、より健全な種苗の生産を行うことが可能となるなど一石二鳥の効果がある。その意味では、本計画は経済的にも考慮する余地が十分あると考えられる。

しかし、中海干拓事業の正式中止により本庄工区が水域として残ることが決定した現在、この計画にとらわれるべきではない。宍道湖・中海全体の総合的な環境管理、持続的な漁業生産を目指すためには、本庄工区を取り囲む干拓堤防を開削し、昔の姿に復元することがベターな選択肢であると思われる。

2 1

助成番号 0021

魚類種苗生産基地としての閉鎖性汽水域の高度水産的利用計画に関する研究

助成研究者：上 真一（広島大学 生物生産学部）

共同研究者：相崎 守弘（島根大学 生物資源科学部）

1. 研究目的

淡水と海水が入り混じった汽水域は地球上で最も生物生産能力の高い水域の一つである。その理由として、

- 1) 川や隣接する陸域からの栄養塩の供給量が多く、一次生産速度が高いこと、
- 2) 一般に水深が浅いことから生産された有機物が水底に滞ることなく、有機物から再生産された栄養塩が直ちに一次生産に貢献すること、
- 3) 水域に固有の生物種類が少なく多様性が低いことから、生物群集構造が単純であり、陸水域、海域に比較すると一次生産有機物がより効率的に高次栄養段階に転送されること、

などが上げられる。このような生物生産の特性を有するために、汽水域は古来より漁場として効率良く利用されてきた。

かつて本邦各地に点在していた汽水湖は淡水化や埋め立てにより多くが失われ、島根県、鳥取県にまたがる宍道湖・中海水系は現存する本邦最大の汽水生態系である。ここも古くから干拓、埋め立ての対象となってきた。1954年に国営中海干拓・淡水化事業が閣議了承され、農業振興のために中海周辺の湖岸の一部を埋め立て、中海・宍道湖全体を淡水化する計画がスタートした。その後、農地は余剰となり、一般市民の環境問題に対する関心の高まりなどの社会情勢の変化に伴い、この事業の継続は漁業者や市民の猛烈な反対を受けて、1991年に島根県は工事をしばらく凍結せざるを得なくなった。特に中海の北西部に位置する本庄工区はその周囲を堤防により囲まれた閉鎖性水域で、干陸工事を待つばかりになっていて、本事業のシンボリックな存在であった。結局2000年に至って、国は国営中海干拓事業を中止することを決定し、本庄工区は水域として残ることが決定した。

本研究計画を申請した時点では、本庄工区の利用方法を巡って激しいやりとりが行われている最中で、その運命は明らかではなかった。これまで埋め立て対象となってきた水域は、水域として残した場合の経済価値より陸域に改変した場合の経済価値が優るとの理由により、埋め立てられてきた経緯がある。本庄工区を水域として残すには、この水域にできるだけ高い経済的負荷価値を付け加えることが必要であった。その一方策として、水域の自然生産力を利用したマダイ、ヒラメ、アユなどの重要水産魚種の種苗生産基地として、本水域を高度に使用する計画を思い付いた。この計画の妥当性の評価のためには、本庄工区がどれほど魚類種苗生産を支える潜在能力を有するのか、すなわち餌としての動物プラ

ンクトンの生産能力がどれだけあるかを明らかにすることが必須である。

2. 研究方法

2-1. 本庄工区の説明

本庄工区は中海北西部に位置する比較的浅い水域であり、境水道から流入した海水はかつて主としてここを経由して中海全体に広がっていた。本水域の干拓のために、本土と大根島、江島を結ぶ干拓堤防の工事が 1980 年に完成した。このようにしてできた本庄工区の面積は 1700 ha、水深 5-6 m の比較的平坦な底が広がり、平均水深は 5.1 m、容積は $8.25 \times 10^7 \text{ m}^3$ である。本水域へは幾つかの小川があるのみで、淡水流入量は極めて少ない。ここをあふれた水は西部承水路を経て中海に流出するが、ほぼ閉鎖された隔離水域である (Fig. 1)。

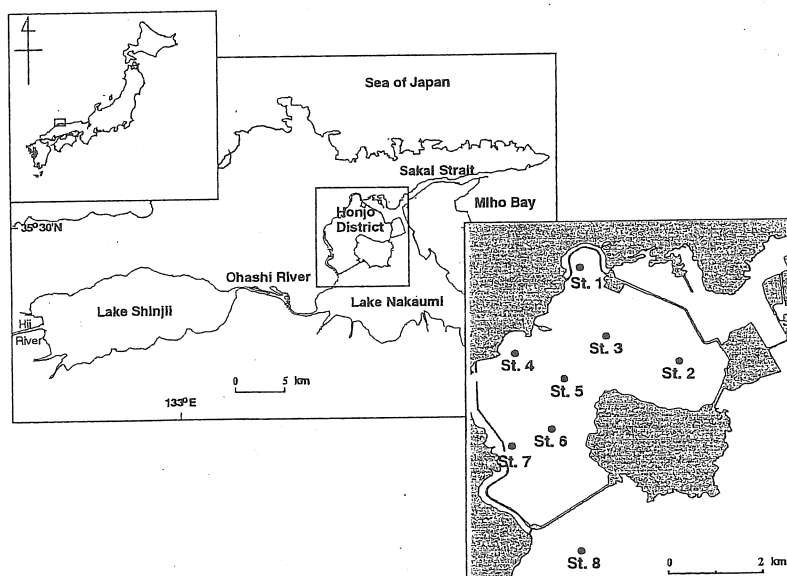


Fig. 1. Map showing the locations of sampling stations in Honjo District and Lake Nakaumi.

2-2. 環境要因の測定と動物プランクトンの採集、処理

1997年5月から1999年5月までの丸2年間にわたって、本庄工区内の7定点と隣接する中海の1定点でほぼ毎月1回観測、採集を行った (Fig. 1)。調査には島根大学所属の和船“ゴビウス”を使用した。各定点では、多項目水質計 (堀場、U-10) を用いて水温、塩分、溶存酸素濃度を 1 m 間隔で測定した。バンドン採水器を用いて水深 0.5、4.0、6.0 m から採水し、各試水 50 ml をグラスファイバー濾紙で濾した後、セストンに含まれるクロロフィル a 濃度を蛍光法により測定した。動物プランクトンの採集は、網口に濾水計を取り付けた北原式定量ネット (口径: 0.225 m、長さ: 1.0 m、網目合い: $100 \mu\text{m}$) を底付近から表層まで鉛直曳きすることにより行った。採集した動物プランクトンは直ちに 5% 濃度

のホルマリン液中に固定した。

後日、動物プランクトンは適宜 (1/2-1/128) 分割後、少なくとも 200 個体以上について実体顕微鏡下で査定、計数し、所定の部位の体長をビデオマイクロメーターで測定した。体長は既報の体長-炭素重量換算式 (Uye, 1982; Hirota, 1986) を用いて個体当たりの炭素量に変換した (詳しくは Uye and Shimazu, 1997 を参照)。各分類群の動物プランクトンの生産速度 (P , $\text{mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) は、上記のようにして求めた現存量 (B , mg C m^{-3}) と既報の成長速度 (g , d^{-1}) に基づき、下式から推定した。

$$P=B \times g$$

さらにそれらを総和して動物プランクトン全体の生産速度とした。なお、成長速度に関する詳しい説明は Uye and Shimazu (1997) の Table 1 を参照されたい。

2. 研究結果

2-1. 環境要因

本庄工区内 7 定点での環境要因は、毎調査時ほぼ同様なプロファイルを示したので、中央部に位置する St. 3 を代表点として表層 (0.5 m) と底層 (6.0 m) のそれらの季節変動を

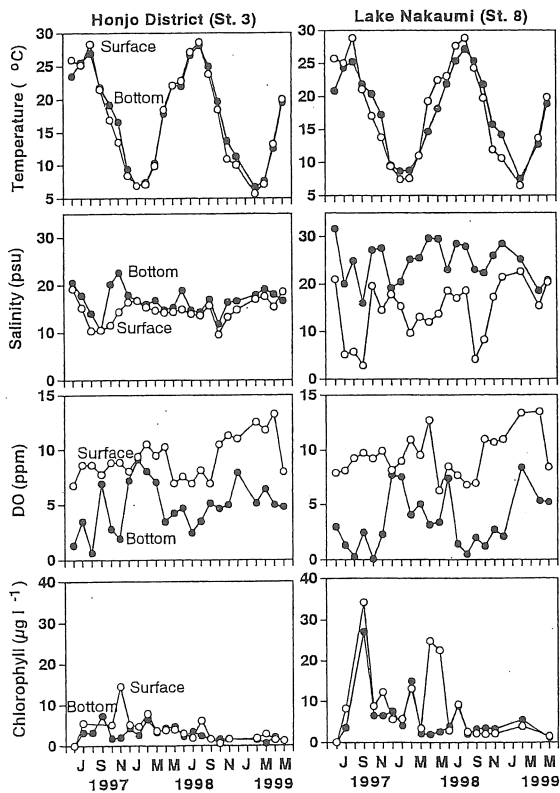


Fig. 2. Seasonal variations in temperature, salinity, dissolved oxygen concentration and chlorophyll a concentration at the surface and the bottom in Honjo District (St. 3) and Lake Nakaumi (St. 8).

示した (Fig. 2)。また、比較のために地中海の St. 8 での変動も同様に示した (Fig. 2)。両定点とも類似した水温変動幅 (6-29°C) を示したが、地中海での温度成層はより顕著であった。塩分の鉛直変化は本庄工区で小さく (表層平均塩分: 14.7、底層平均塩分: 16.7)、地中海で大きかった (表層: 14.3、底層: 24.6)。溶存酸素濃度は両定点の表層で通常飽和濃度より高かったが、底層の貧酸素化は特に夏季の地中海で顕著であった。クロロフィル *a* 濃度は季節的に大きく変動したが、表層、底層の平均濃度は本庄工区で低く (それぞれ 4.7、3.0 $\mu\text{g l}^{-1}$)、地中海で高かった (それぞれ 9.6、6.3 $\mu\text{g l}^{-1}$)。

2-2. 動物プランクトンの出現分類群と個体密度

本庄工区でのネット動物プランクトンの個体密度は、地中海より高くしかも季節変動が大きかった (Figs. 3 and 4)。本庄工区内 7 定点間の出現密度の変動係数は 50% 以内に収まっていたことから、工区内の動物プランクトンは比較的均一に分布していた。工区内の動物プランクトンは秋季の大きなピーク、初夏の小さなピークと年 2 峰性を示し (ただし後半は不明瞭)、2 年間の平均個体密度は 37.2×10^4 indiv. m^{-3} であった。一方、地中海では明瞭な周年性はなく、調査期間中の平均密度は 18.4×10^4 indiv. m^{-3} であった。

分類群の中では甲殻類のカイアシ類が優占し、本庄工区では平均 94.4%、地中海では 93.9% をそれぞれ占めた。一時性動物プランクトンの出現は主として夏季に限られ、本庄工区では二枚貝の幼生の出現が相対的に多かったが、地中海では多毛類の幼生がより顕著であった。

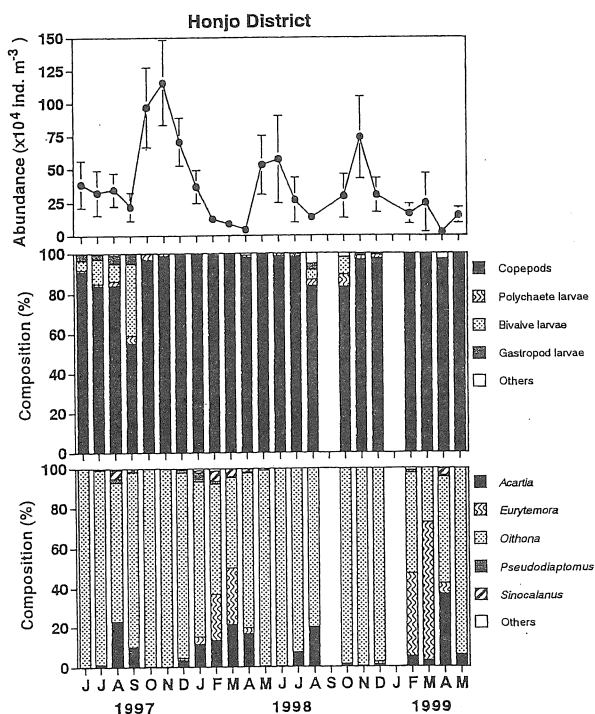


Fig.3. Seasonal variations in zooplankton abundance (top), higher taxonomic composition (middle) and copepod genus composition (bottom) in Honjo District.

カイアシ類の中では、小型サイクロポイダの *Oithona davisae* が冬季を除いて周年最優占し、カラノイダの *Eurytemora pacifica* と *Acartia hudsonica* は冬-春季に、*A. sinjiensis* は夏季に出現した。*Sinocalanus tenellus* と *Pseudodiaptomus inopinus* は不規則に出現したが、前者は中海でより多く出現した。

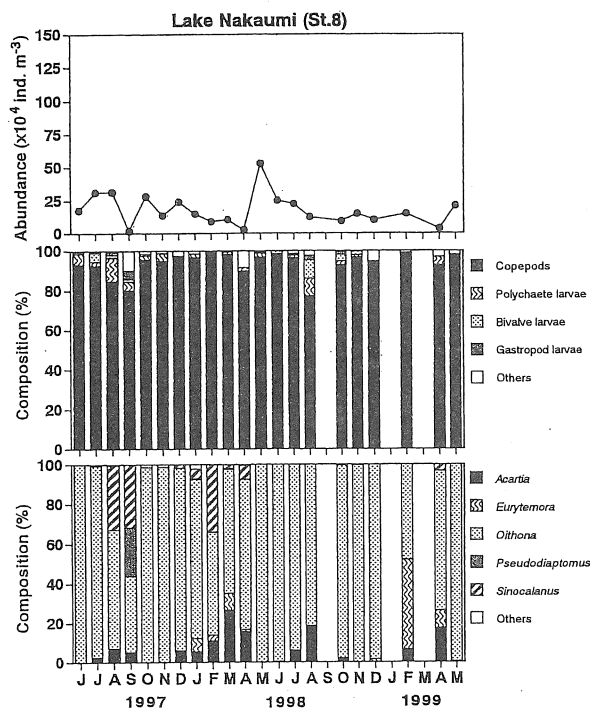


Fig.4. Seasonal variations in zooplankton abundance (top), higher taxonomic composition (middle) and copepod genus composition (bottom) in Lake Nakaumi.

2-3. 動物プランクトンの現存量と生産速度

動物プランクトンの現存量の季節変動は、個体密度の場合とは全く異なり、両水域とも共に冬季にピークとなった (Figs. 5 and 6)。これは、相対的に大型のカイアシ類がこの時期多く出現したためである。本庄工区での現存量は $9.9\text{-}373.2 \text{ mg C m}^{-3}$ の範囲で変動し、期間中の平均値は 71.0 mg C m^{-3} であった。一方、中海では $5.0\text{-}151.8 \text{ mg C m}^{-3}$ の範囲で変動し、平均値は 35.4 mg C m^{-3} と前者の 1/2 の低い値であった。カイアシ類は現存量においても最も重要であり、全動物プランクトン現存量に対する割合は、本庄工区、中海でそれぞれ 83.4、82.1% であった。しかし、夏季にはベントスの幼生などの一時性動物プランクトンの現存量がカイアシ類を凌駕することもあった。現存量の高い冬季には、カラノイダカイアシ類の *A. hudsonica* と *E. pacifica* の 2 種が全動物プランクトン現存量の 50% 以上を占め、特に 1999 年 3 月のピーク時には後者が 95% を占めた。

一般に動物プランクトンの成長速度は水温上昇につれて指数関数的に増加するので、生産速度の推定には水温の影響が大きく現れる。その結果、現存量が低いにもかかわらず生産速度は夏季に相対的に高くなった (Figs. 5 and 6)。本庄工区での動物プランクトンの生

産速度は $1.2\text{--}51.6 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ の範囲で変動し、期間中の平均値は $17.6 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ であった。また、中海での生産速度は $0.9\text{--}32.2 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ の範囲で変動し、平均 $9.1 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ と前者の約 1/2 の低い値であった。

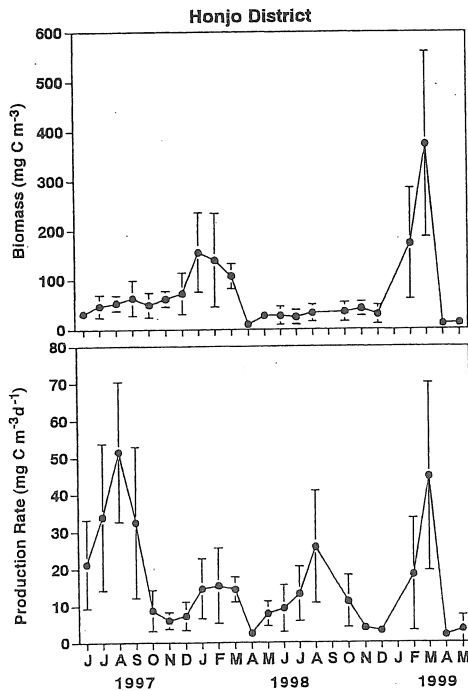


Fig. 5. Seasonal variations in biomass and production rate of zooplankton in Honjo District.

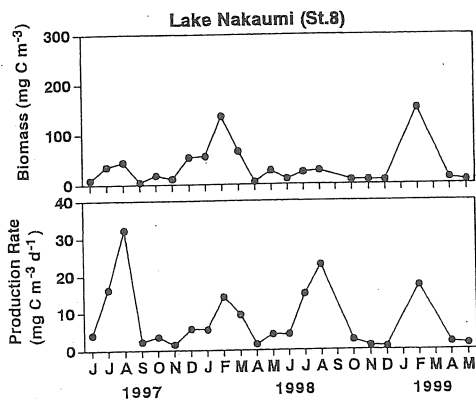


Fig. 6. Seasonal variations in biomass and production rate of zooplankton in Lake Nakaumi.

4. 考察

4-1. 本庄工区の動物プランクトンの特性

お互い隣接する汽水域でありながら、本庄工区は中海と比較すると次のような環境特性を有していた。すなわち、

- 1) 相対的に鉛直混合が盛ん、
- 2) 塩分の季節変動が小さい、
- 3) 底層の貧酸素化が顕著でない、
- 4) 植物プランクトン現存量が低い。

動物プランクトンの分類群組成は両水域間でほとんど違わなかったが、それらの現存量、生産速度は本庄工区の方が中海より約 2 倍も高かった。動物プランクトンの主要な餌である植物プランクトン現存量は本庄工区の方が低く、餌供給量の面では不利であるにもかかわらず、動物プランクトンの高い活性をもたらしたのは不思議である。ここでは底層が相対的に貧酸素化しないなどの好適条件が備わっていたので、底層に沈降した卵の孵化が阻害されることが少なく、動物プランクトンの再生産速度が高かった可能性が強い。また、動物プランクトンの捕食者である魚類が進入しにくい閉鎖水域であることから、本庄工区では食い残された動物プランクトンが相対的に多いことが原因しているのかも知れない。

これまで本邦沿岸域での動物プランクトンの現存量が調査されているが、その中でも比較的富栄養な瀬戸内海の年間平均現存量が 20.0 mg C m^{-3} であり (Uye and Shimazu, 1997)、そのうち特に富栄養化の進行した福山港での年間平均現存量は 39.1 mg C m^{-3} であった (Liang and Uye, 1998)。アメリカ合衆国東岸のナラガンセット湾、ロングアイランド湾での年間平均現存量は、それぞれ 28.0 、 33.2 mg C m^{-3} であった (Hulsizer, 1976; Turner et al., 1983)。今回、本庄工区で測定された動物プランクトン現存量 (平均: 71.0 mg C m^{-3}) は世界最高の値である。同様に生産速度 (平均: $17.6 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) も世界最高である。

4-2. 本庄工区はどれだけの魚類種苗生産を支えられるか

マダイ、ヒラメは関東以南の栽培漁業センターなどでは最も重要な種苗生産対象魚種である。多くの集約的な種苗生産事業場では、初期餌料としてシオミズツボワムシを与え、その後アルテミアノープリウスや配合餌料を組み合わせて与え、体長約 30 mm まで飼育している。天然条件下ではこれらの仔稚魚はカイアシ類などを摂餌しているので、より健全な種苗を生産するにはカイアシ類を投与することが望ましいが、実際これらの事業場でカイアシ類が与えられることは極めて稀である。現状ではカイアシ類の大量培養が困難で、配合餌料に依存しなければならない事情があるためである。本庄工区の動物プランクトンのみで、一体どれだけのマダイ、ヒラメの種苗生産が可能であろうか。

北島 (1979) によれば、体長 30 mm のマダイは 1 日当たり湿重量で 0.25 g の餌を要求する。これは炭素量に換算すると 25 mg C となる。今、仮に本庄工区の動物プランクトン生産量の 10% (現存量の約 2.5% に相当) を毎日間引いてマダイの餌として利用すると仮定しよう。本庄工区全体での年間平均生産速度の 10% は 1 日当たり $1.45 \times 10^5 \text{ g C}$ となり、これは体長 30 mm のマダイ 580 万尾の 1 日当たりの餌に相当する。実際には同一サイズのマダイを同時に飼育することはないから、この推定値は過小評価されている。同様の結果は

ヒラメの種苗生産にも当てはまる。以上のような概算に基づけば、本庄工区は少なくとも580万尾のマダイあるいはヒラメの種苗生産を支えることが可能である。

アユも各地の栽培漁業センターで集約的な種苗生産が行われている魚種である。アユの場合には体長約50mmまで集約的に飼育し、その後中間育成されて河川に放流される。隆島(1997)によれば、体長50mmのアユは1日当り湿重量で0.1gの餌を要求する。上記と同様な計算方法で推定すると、本庄工区は少なくとも1450万尾のアユの種苗生産を支えることが可能である。

4-3. 魚類種苗生産基地としての利用の可能性

本計画は、本庄工区に魚類仔稚魚を放流してそこで飼育するという粗放的な種苗生産方法ではなく、隣接する陸上施設で本庄工区の動物プランクトンを餌として利用して生産を行う集約的種苗生産方法である。そのためには、まず陸上に飼育水槽などの設備を持った種苗生産施設の建設が必要である。さらに動物プランクトンを効率的に集める装置の建設も必要である。採集方法として、光に集まる動物プランクトンの習性を利用したライトトラップが考えられる。ライトの下に蟻集した動物プランクトンをポンプにより吸い上げ、適当な目合いのケージ中で濃縮する装置である。これらの施設が整備されれば、現在各県の事業場で生産されている尾数（マダイ、ヒラメ、アユはそれぞれ最高でも200万尾程度）よりはるかに多い種苗の生産が可能である。しかもこれまでの人工餌料に替わって天然餌料を使用するので、人工餌料で飼育した種苗よりも健全な種苗の生産を行うことが本計画の大きなメリットである。その意味では本計画は経済的にも考慮する余地が十分ある。

5. 今後の課題

我々の観測が終了した後の2000年に、中海干拓事業の正式中止により本庄工区は水域として残ることが決定した。現在、水産振興のための対策について検討されている段階である。本水系を現状に近い状況で残すなら、ここに提案された種苗生産計画は依然として水産振興のための有力なオプションの一つである。

本水系は大都市圏から離れた地方に存在するにもかかわらず、周辺の間人活動により近年汚濁負荷による環境の悪影響が顕著になりつつある。同時に本水系が本来具備している典型的な汽水域の生物生産の特性が喪失しつつある。本水系を漁場として永続的に利用すると同時に、人間にとって親しみのあるアメニィ空間として残すためには、持続的な漁業生産を目標とする本水域とその集水域を含む地域全体の総合的な環境管理を行うことが必要である。漁業活動が営まれなくなった水域に対して人間はもはや愛着を持つことはなくなる。「健全な漁業が持続的に営まれること」、この視点は人間が本水域と将来にわたって共生してゆく上での基本姿勢であると思われる。

宍道湖・中海全体の持続的な漁業生産を目指すためには、本庄工区を取り囲む干拓堤防

を開削し、昔の姿に復元されるべきであろう。人為的有機汚濁などの影響が顕在化した今こそ、将来を見据えた本水域の総合的な環境管理の基本方針を提出しなければ、環境改善の機会は手遅れとなる可能性がある。

引用文献

- 弘田禮一郎 (1986) 動物プランクトン調査、ネットプランクトン、(日本海洋学会編) 沿岸環境調査マニュアル (低質・生物篇)、pp 177-191、恒星社厚生閣、東京。
- Hulsizer, E. E. (1976) Zooplankton of lower Narragansett Bay, 1972-1973. *Chesapeake Sci.*, 17: 260-270.
- 北島 力 (1979) 餌料効果、(餌料プランクトン大量培養研究連絡競技会編) 餌料用動物プランクトンの大量培養、pp. 113-128、日本水産資源保護協会、東京。
- Liang, D. and S. Uye (1998) Copepods attain high abundance, biomass and production in the absence of large predators but suffer cannibalistic loss. *J. Mar. Systems*, 15: 495-501.
- 隆島史夫 (1997) 水族育成論 (水産・海洋ライブラリ3)、成山堂書店、東京。
- Turner, J. T., S. F. Bruno, R. J. Larson, R. D. Staker, and G. M. Sharma (1983) Seasonality of plankton assemblages in a temperate estuary. *P.S.Z.N.I., Mar. Ecol.*, 4: 81-99.
- Uye, S. (1982) Length-weight relationships of important zooplankton from the Inland Sea of Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 38: 149-158.
- Uye, S. and T. Shimazu (1997) Geographical and seasonal variations in abundance, biomass and estimated production rates of meso- and macrozooplankton in the Inland Sea of Japan. *J. Oceanogr.*, 53: 529-538.

High biomass and production rate of mesozooplankton in Honjo District, an enclosed brackish-water body in Lake Nakaumi, Japan, with special reference to the potential use of them as food for fish seed production

Shin-ichi Uye¹ and Morihito Aizaki²

¹Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University

²Faculty of Bioresource Sciences, Shimane University

Summary

Coastal lagoons, Lake Shinji and Lake Nakaumi, are the largest brackish-water ecosystem remaining in Japan at present, although this area has been exploited for decades to produce new agricultural land. Honjo District, a northwestern corner of Lake Nakaumi, was enclosed with banks for future reclamation, but the actual reclamation was temporality suspended, because of strong civil movements against this project. In order to maintain Honjo District as a water body, the economic value that this area possesses should be added. One of the options for this purpose is proposed here, i.e. a plan to use of mesozooplankton in Honjo District as food for fish seed production.

The feasibility of this plan was assessed based on results from 2-year, monthly investigations to measure environmental conditions and zooplankton. Although zooplankton showed remarkable seasonal fluctuations, their overall mean abundance (37.2×10^4 indiv. m^{-3}), biomass (71.0 mg C m^{-3}) and production rate (17.6 mg C $m^{-3} d^{-1}$) were the world highest, to our knowledge, in Honjo District. In particular, copepods, suitable diet for fish larvae, were dominant constituents (mean: 83.4% of total biomass). Our conservative assumption, i.e. exploiting 10% of daily zooplankton production (or ca. 2.5% of biomass), show that Honjo District enables to produce seeds of 5.6 million red sea bream (*Pagrus major*) or Japanese flounder (*Paralichthys olvaceus*), and 15.4 million ayu (*Plecoglossus altivelis*) annually. Hence, we conclude that Honjo District provides a suitable site for our proposed plan to use zooplankton therein as food for fish seed production.