食物連鎖を利用した水質浄化機能の定量化

山 室 真 澄*

Quantification of Nutrients Removed through Food Web Management in Eutrophic Waters

Masumi YAMAMURO*

* Geological Survey of Japan Marine Geology Department 1-1-3 Higashi, Tsukuba, Ibaraki, 305-8567 Japan

Abstract

The target of this study is to quantify the amount of nitrogen and phosphorus removed from enclosed eutrophic water through the food web participated by filter-feeding bivalves, aquatic birds, and macrophytes. In an estuarine lagoon, Lake Nakaumi, dredge of the sludge removed 13 tons nitrogen and 6.7 tons phosphorus per year. On the other hand, present amount of nitrogen and phosphorus removed through food web is estimated to be 9.1 tons and 2.9 tons, respectively. It is suggested that the potential amount of nitrogen and phosphorus removed through food web in L. Nakaumi is 35 tons and 8.6 tons, respectively.

Key words: dredge, food web, filter-feeding bivalve, fisheries, macrophyte

1. はじめに

湖沼や内湾などの閉鎖性水域が富栄養化すると、植物プランクトンの異常増殖によって様々な弊害が生じる。例えばアオコや赤潮はそれ自体が景観の悪化や異臭をもたらす。また異常増殖に伴って生じた貧酸素化によって魚介類が死滅することもある。

湖沼や内湾などの閉鎖性水域がひとたび富栄養化すると、窒素やリンなどの栄養物質の流入負荷を削減しても内部負荷（主に堆積物からの溶出）の寄与が大きく、その効果が現れにくい。従って水域から何らかの方法で栄養物質を除去する必要がある。その為の方法としては最も効果的であるとして、我が国では広く底泥の浚渫が行われている¹⁾。

近年、生態系を通じた栄養物質の除去システムが重要であると指摘されるようになった²⁾。しかしその効果を個々の水域における栄養物質の除去量や経費などで定量化した研究は少ない³⁾。ここでは島根県・鳥取県に位置する汽水性富栄養化湖沼の中海を対象に、浚渫による除去量と生態系における食物連鎖を通じた除去量とを大まかに見積もることで、生態系の浄化機能の定量的な評価を試みた。

2. 調査水域と方法

2.1 調査水域

中海は境水道を通じて海水が流入する、面積86.8km²、平均水深5.4mの汽水湖である（Fig. 1）。かつては広く

北側全体が境水道に面していたが、1981年に堤防が完成して以来、中浦水門からのみ海水が流入するようになった⁴⁾。北西側1689haを囲む堤防は1963年から始まり、2000年に中止になった干拓事業によって構築された。堤防の内側は本庄工区と呼ばれる、中海本体とは異なった挙動を示す水塊となっている⁵⁾。

中海表層水における全窒素・全リン濃度は、年間でそれぞれ400~600 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 、40~60 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ の間を変動する（昭和59年度から平成6年度の11年間における月毎の平均値⁶⁾）。クロロフィルa濃度は10~30 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ の間を変動し⁶⁾、*Prorocentrum minimum*による赤潮が毎年発生する⁷⁾。このため全窒素・全リンの削減を目的として、建設省による中海浄化浚渫事業が行われた。建設省出雲工事

Fig. 1 Study site and sampling stations

* 地質調査所海洋地質部 〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-3

事務所のパンフレットによると、第1期工事として昭和54年度より米子湾の湖岸堤の改修と底泥処理地の確保を兼ねた湖岸堤工事に着手し、昭和60年度より底浚渫工事にとりかかり、約40万 m^3 の底泥を浚渫して平成5年度に完了した。

2.2 除去量の見積もり

2.2.1 底泥浚渫による窒素・リンの除去量

中海で浚渫されたのは米子湾の堆積物表層約50cmの部分である¹⁾。そこで米子湾(Fig. 1, St. A, 水深9.9m)で改良型簡易軽量採泥器⁹⁾を用いて全長50cmの不攪乱堆積物を採取し、全窒素濃度・全リン濃度・含水率を分析した。また比較の為に中海湖心部(Fig. 1, St. B, 水深7.4m)でも堆積物を採取した。堆積物は採取後数時間以内に冷凍し、実験室に輸送した。実験室で2cm毎に切断後秤量し、真空凍結乾燥後、再度秤量して含水率を計算した。乾燥した堆積物は貝殻や木片などを除去してから珽の乳鉢で粉碎して分析に供した。堆積物の全窒素濃度は柳本製CHNコーダーMT5型を用いて分析した。また全リン濃度は大槻の簡易法⁹⁾を用いて分析した。

2.2.2 食物連鎖を通じた現在の除去量

現在の中海において生態系を通じて除去されている量として、魚介類の漁獲と、中海の底生動物の中で最も現存量の大きい¹⁰⁾、二枚貝ホトギスガイ(*Musculista senhousia*)の貝殻として固定される窒素とリンの量を計算した。

中海の漁獲対象主要魚種を含む6種の魚類の窒素・リン含有率を、中海に隣接する宍道湖の東部(Fig. 1 St. C)で1994年10月～1996年9月に定置網を用いて毎月採取し、分析した。採取された試料は漁獲直後に湿重量を測って冷凍し、真空凍結乾燥後に秤量してからブレンダーでホモジナイズした。魚全体での濃度を見積もることを目的としたため、原則として個体全体を均一にした。ただし、一部の大型魚については部位に分けてホモジナイズし、その部位の重量と濃度を用いて1個体の平均濃度を算出した。このような魚種については、部位による濃度差も検討した。窒素・リン濃度は堆積物と同じ方法で分析した。

ホトギスガイの殻に固定されて除去される窒素・リンの量は既報^{11,12)}の値を用いて計算した。

2.2.3 食物連鎖を通じた除去量の潜在能力

既報^{13,14)}によれば、中海では網に掛かった魚が全て出荷されるのではなく、相当量が湖内に残されていた。そこで2.2.2節の方法で得られた結果を用いて、出荷に値しない魚に含まれる窒素・リン量を算出した。

化学肥料の使用が普及する以前は、各地で水草・海草・海藻が肥料として用いられていた。例えば琵琶湖ではクロモ・コウガイモなどが、加工せずにそのまま根元に敷く形で肥料として用いられており、夏季には比較的速やかに分解して肥効が顕著、かつ分解するまでは雑草の防止や土壌の乾燥を抑制する効果があったと報告されている¹⁵⁾。戦前の中海でも水中の大型植物は肥料用に漁獲されていた。中海に面する旧波入村の勸業統計によれば、明治35年に肥料用に水揚げされた大型植物は7300tであった。現在の中海では海藻のウミトラノオが湖岸で普通に繁茂している⁷⁾。これを肥料や除草効果に用いて、無農薬有機農法としての付加価値をつけた野菜などを栽培

すれば、資源としての回収も可能になると考えられる。

1960年前後の中海では、ウミトラノオは水深2m以浅の岩石地に被度約5%で分布しており、このような条件でのウミトラノオの年間生産量(湿重量)は中海全体で $24 \times 10^5 \text{kg}$ であった¹⁶⁾。中海の海藻類は1960年代よりも現在の方が分布域が増加傾向にあり⁷⁾、ウミトラノオは夏季を除いて優占種となっている¹⁷⁾。このことから、現在もウミトラノオは1960年当時程度は繁茂していると仮定し、年間生産量の13%を採藻しても再生産は十分可能である¹⁸⁾として、既報¹⁸⁾の窒素・リン濃度(3.2%及び0.34%)を用いて窒素・リンの潜在除去量を計算した。

1960年頃の中海では紅藻類のオゴノリが寒天の材料として大量に出荷されていた¹⁸⁾。その後、寒天の材料の主流がテングサになるにつれてサラダや刺身のつまなどとして少量出荷されるようになったが、選別作業にかかる人件費が採算に合わなくなり、現在ではほとんど漁獲されていない。オゴノリも1960年代よりも分布域が増加傾向にあり⁷⁾、生息場所を競合していたアマモが減少していることから¹⁸⁾、オゴノリについても1960年当時の年間出荷量(湿重量で4,339t)程度は採集されると仮定できる。そのようにして見積もられた除去量を既報¹⁸⁾から引用した。

現在の中海では、ホトギスガイの分布は好気的な浅い湖底に限られている。何らかの方法で湖盆部の貧酸素状態を改善した場合に、ホトギスガイの殻に固定される窒素・リンの量がどれくらい増加するのかを既報¹²⁾から引用した。

3. 結 果

3.1 底泥浚渫による窒素・リンの除去量

米子湾(Fig. 1, St. A)と中海湖心(Fig. 1, St. B)で採取した堆積物の含水率・全窒素濃度・全リン濃度を比較すると(Fig. 2)、表層部以外は米子湾で採取した堆積物の方が中海湖心よりも低い含水率であった。米子湾の東側の弓ヶ浜半島は砂州であるため、米子湾で採取した堆積物も表層以外は砂混じりで、25cmより下の層ではサルボウの貝殻が両殻揃った状態で混入していた。このことから米子湾で採取した堆積物は、かつては好気的な環境で堆積したと考えられる。これに対して中海湖心で採取した堆積物は含水率は常に60%以上で、砂等の粗粒堆積物は混入していなかった。

乾燥した堆積物の窒素・リン濃度を比較すると、表層を除いて中海湖心で採取した堆積物の方が米子湾で採取した堆積物よりも高い濃度を示した。これは中海湖心で採取した堆積物が細粒の、いわゆるヘドロと呼ばれる堆積物で構成されているためと考えられる。

各コアの容積と水の重量、及び堆積物の重量から表層50cmにおける1 m^3 あたりの重量を計算すると、米子湾で採取した堆積物では全湿重量1596kg中、堆積物が931kg、中海湖心で採取した堆積物では全湿重量1063kg中、堆積物が312kgとなった。また深さごとに堆積物の全窒素濃度と全リン濃度を乗じて計算すると、1 m^3 の底泥に含まれる全窒素と全リンは米子湾で採取した堆積物では0.49kg及び0.25kg、中海湖心で採取した堆積物では0.81kgおよび0.18kgであった。従って約40万 m^3 の底泥の浚渫によって米子湾から除去された窒素とリンはそれ

Fig. 2 Vertical profiles of water, nitrogen and phosphorus contents (wt %) of the core sediments collected at Yonago Bay (●) and the center of Lake Nakaumi.

ぞれ195t および100t となる。この浚渫には9年を要しているの、浚渫による窒素とリンの年間除去量は22t および11t になる。しかし工事期間全体の15年で考えれば、年間除去量は13t および6.7t である。仮に米子湾の堆積物が、表層部以深も中海湖心の堆積物のようなヘドロ状であれば、窒素の除去量が1.7倍増え、リンの除去量は3割減る。

3.2 食物連鎖を通じた現在の除去量

魚の窒素・リン濃度は同じ種類でもばらつきが大きかった (Fig. 3)。また分散分析を行った結果、窒素・リンともに魚種による差異が認められた。リンについてはカワチブナ (*Carassius auratus*) の中央値がシラウオ (*Salangichthys microdon*) の倍であった。窒素についてはカワチブナの中央値がシラウオの3分の2と、リンよりは差が小さかった。

窒素については、シラウオ・マハゼ (*Acanthogobius flavimanus*)・ワカサギ (*Hypomesus nipponensis*) など、甘露煮等で骨ごと食べることができる魚種で濃度が高く、逆にカワチブナやウグイ (*Tribolodon hakonensis*) などの骨っぽい魚で低い傾向が見られた。そこで魚の部位による窒素・リン濃度の違いをスズキ (*Lateolabrax japonicus*) を用いて検討した。

窒素濃度が高いのは Table 1 (1) の個体では頭の身や皮、Table 1 (2) の個体では体筋と皮だった。一方、リンについては Table 1 (1) の個体では頭の骨と鰓、Table 1 (2) の個体では頭と鰭の濃度が高かった。このことからシラウオよりもカワチブナのリン濃度が高かったのは、カワチブナの方が骨の割合が多い為であると推測された。窒素については逆に、骨よりも相対的に身が多い魚で濃度が高かった。

中海における魚類の漁獲量は、平成7年が460t、平成8年が415t であった (農林水産省統計情報部「漁業・養殖業・漁獲統計年報」より計算)。中海本体¹³⁾及び本庄工区¹⁴⁾における2～3年にわたる定置網調査によると、マハ

Fig. 3 Box-and-whisker plots of nitrogen and phosphorus contents (wt %) of fishes. Bars from bottom to top show 10, 25, 50, 75 and 90 percentiles, and the circles show outliers.

ゼ・コノシロ (*Konosirus punctatus*)・サッパ (*Sardinella zunasi*)・スズキの4種で出荷された魚の総重量の82%及

Table 1 Nitrogen and phosphorus contents of various part of fishes
(1) *Lateolabrax japonicus* collected in November 1994
(Total wet weight=1 kg)

	Nitrogen (%)			Phosphorus (%)		
	Mean	SD	n	Mean	SD	n
Guts	4.60	0.19	3	0.52	0.02	2
Skin	10.01	0.90	3	2.42	0.01	2
Tail	6.28	0.09	3	3.49	0.28	2
Gill	6.49	0.05	3	5.07	0.18	2
Meat of the head	14.01	0.08	3	0.22	0.11	2
Bone of the head	3.99	0.05	3	5.49	0.27	2

(2) *Lateolabrax japonicus* collected in November 1995
(Total wet weight=608 g)

	Nitrogen (%)			Phosphorus (%)		
	Mean	SD	n	Mean	SD	n
Guts	6.63	0.12	2	0.64	0.03	2
Gill	7.68	0.03	2	3.18	0.19	2
Skin	11.08	0.19	2	0.80	0.01	2
Meat around gill	9.73	0.40	2	3.46	0.16	2
Fin	5.42	0.03	2	4.28	0.11	2
Head	6.46	0.10	2	4.72	0.00	2
Ovary	11.05	0.14	2	1.85	0.08	2
Muscle	12.45	0.84	2	0.99	0.00	2
Scale	10.40	1.03	3	3.16	0.13	2

Table 2 Dry/Total (weight %), nitrogen (%) and phosphorus (%) of chief commercial fishes at Lake Nakaumi

Species	Dry/Total (wt%)	Nitrogen (%)	Phosphorus (%)
<i>Konosirus punctatus</i>	25.2	9.87	2.3
<i>Sardinella zunasi</i>	23.7	10.4	2.5
<i>Lateolabrax japonicus</i>	27.0	9.98	2.6
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	22.3	11.0	2.3
Average	24.6	10.3	2.4

び80%を占めていた。そこでこれら4種の乾湿率、及び窒素・リン濃度 (Table 2) の平均値に、中海における魚類の漁獲量を年間400tとして乗じると、漁獲によって除去された窒素は10.1t、リンは2.4tとなった (Table 3)。

二枚貝ホトトギスガイの殻には埋没後約1000年を経ても窒素とリンがそれぞれ0.039%及び0.028%の濃度で固定されている¹²⁾。また現在の中海で冬季(10月から3月)に飛来する、ホトトギスを専食する鴨類の数は1986~1995年の平均で約5万羽であり、その鴨類によって補食されるホトトギスガイは1カ月当たり 3.6×10^9 ~ 1.1×10^{10} 個体である¹¹⁾。既報¹¹⁾によるホトトギスガイの月毎の1個体当たり平均湿重量、殻の重量比、中海全体での鴨による捕食個体数の値に、上述の1000年後も殻に固定されている窒素・リン濃度を乗じて計算した結果、

毎年鴨に捕食されて糞の形で湖底に排出されるホトトギスガイの殻には1.48tの窒素と1.07tのリンが含まれていることが分かった。

3.3 食物連鎖を通じた除去量の潜在能力

中海本体では出荷される魚の22%に当たる重量の魚が¹³⁾、本庄工区では25%が¹⁴⁾、網にかかりながら水揚げされなかった。このような、人間の食材としては市場価値の低い魚を家畜用のフィッシュミールなどに加工すれば、大消費地への流通も見込まれる。その場合、中海の漁獲量とした400tに対して23%が新たに利用可能になるとすれば、Table 2の平均値を用いて計算すると窒素・リンの除去量が2.3tおよび0.54t増加する。

再生産可能なウミトラノオ採藻量は312tと見積もられ、これに含まれる窒素は1.3t、リンは0.14tと計算され

Table 3 Nitrogen and phosphorus removed through dredging and food chain management

	Nitrogen (t /yr)	Phosphorus (t /yr)
Dredging	13	6.7
Fisheries yield of commercial fishes	10.1	2.4
Fixing into <i>M. senhousia</i> shells	1.5	1.1
Present removal ... (A)	11.6	3.5
Utilisation of discarded fishes	2.3	0.5
Fisheries of edible algae	17	1.2
Use of macrophyte as fertiliser	1.3	0.1
Fixed N & P in the increased shell production of <i>M. senhousia</i>	5.6	4.0
Potential removal ... (B)	26	5.8
Total...(A)+(B)	38	9.3

た。また既報¹⁸⁾ではオゴノリが1960年当時の年間出荷量と同量採集されると窒素が17t、リンが1.2t 除去されると見積もっている。これらを合わせると、海藻の採藻によって年間18.3t の窒素と1.34t のリンが除去可能である。

中海のホトトギスガイは好气的環境では水深-5 m まで定着しており、冬季の鴨類の飛来まで貧酸素化しなければ、現在常に好气的である水深-1 m 地点と同等の増殖が、水深-5 m 域まで見込まれる¹²⁾。その場合のホトトギスガイの殻に固定される窒素・リンの量は、年間7.1t 及び5.1t と見積もられている¹²⁾。3.2節でホトトギスガイの殻の埋積によって除去される窒素とリンは、現状では年間1.48t 及び1.07t と見積もられた。従って湖盆部が好气的になることによる貝殻による固定の増加量は、年間で窒素が5.6t、リンが4.0t となる。

以上を除去量の潜在能力とすれば、年間当たり、窒素で26t、リンで5.8t の除去量の増加が、最大値として見込まれる。

4. 考 察

沿岸漁業のみが行われ、食料の輸入や化学肥料の投与がない江戸時代までは、人間はほぼ自然に近い窒素循環の中に位置づけられた。しかし沖合い漁業や輸入食料・輸入肥料・輸入飼料によって維持される多量の動物性蛋白質の摂取により窒素循環は大きく改変され、国外から導入された栄養分が湖沼や内湾の富栄養化の遠因となった¹⁹⁾。リンについても同様であろう。だからと言って現在の食料生産システムを江戸時代のような方法に一気に戻すことは困難である。むしろ富栄養化した湖沼や内湾での沿岸漁業を復活させ、水産物に新たな付加価値をつけて流通に乗せることで、可能な限り栄養塩の回収を行うことを可能にする技術が、望ましい富栄養化対策技術であろう。

食物連鎖を通じた窒素・リン除去量を浚渫と比較すると (Table 3)、現状の食物連鎖を通じた窒素・リン除去量は、窒素で浚渫の89%、リンで52%である。しかし網

にかかりながら水揚げされない魚や海藻の利用、貧酸素化を改善することにより増加するホトトギスガイによる固定などによって、窒素は浚渫の最大2.9倍、リンは最大1.4倍除去されると推測される。

さらに、漁獲や大型動物による捕食などの生態系を通じた除去は、ひとたび機能するようになれば除去のための経費がかからないという長所がある。浚渫は工事が終われば除去作用は消滅する。また下水処理場も運転と維持に費用がかかる。これに対し3.3節で検討したようなフィッシュミールやオゴノリの加工などを通じた除去は、ひとたび施設を建設して流通するようになれば、以後の漁獲や採藻には経費を使う必要はない。またホトトギスガイによる固定は、好气的な環境さえ維持されれば、窒素やリンの除去に費用はかからない。

現状では利用されていない水棲生物や、かつて利用されていたがコストの面から廃れたものも、社会情勢の変化や意識的な取り組みによっては利用可能になる。例えば中海に隣接する宍道湖はヤマトシジミの漁獲によって、湖沼としては日本一の漁獲量を維持し、国内産としてはほぼ独占的に流通している。しかしこのような流通が可能になったのは八郎潟等の他の産地が無くなり、保冷車による輸送手段が発達した昭和40年代半ば以降であった。それ以前は、例えば大正時代はシジミの身より石灰の原料としての貝殻だけが出荷されていた²⁰⁾。

一方、近年になって沿岸海域や平野部の河川・湖沼の魚介類から、内分泌攪乱物質などの有害な化学物質が検出されて問題になっている。特に日本では魚介類が、食品から摂取するダイオキシンの6割を占めることが分かっている²¹⁾。このような社会情勢を積極的に捉え、国内の内湾や湖沼の集水域について住民自らが利用のあり方を考え、管理することにより、汚染の恐れのない地元の魚介類を供給するシステムを構築するきっかけにすることも可能である。価格面からは市民にとって有利な輸入水産物であるが、内分泌攪乱作用が疑われる化学物質を広く検査することは現状では不可能であることから、安全面に不安を残す。一方、流域の保全に住民自らが関与

して自身の食物の安全性を守るとは、安全面の効果だけでなく、抽象的に環境保全を考えるよりも積極的な保全効果が期待される。

除去対策によっては、別の除去対策を阻害する場合もあり得る。その場合は極力その可能性を排除し、どうしても両立しない場合は可能な限り定量化して効果の比較を行い、対策を講じるべきである。例えば採草・藻による除去は魚類の産卵場所や初期成長の場としての藻場を破壊することになるため、漁獲による除去を阻害することになる。このためかつての琵琶湖では採藻税を課し、徴税の廃止後は6月1日から7月31日までの採藻を禁止していた¹⁵⁾。

生態系の除去機能が有効に作用するのは主に好気的な浅い水域である⁴⁾。大型植物は補償深度で浅いのに繁茂し、多くの動物は浅いところを産卵や初期成長の場とする。また二枚貝などの底生動物は浅くないと貧酸素化で死滅しやすい。従って浚渫に伴う湖岸の改変など、浅い水域の改変を伴う水質浄化対策は、その負の影響について事前に定量的に検討してから実施すべきであろう。

5. ま と め

島根県・鳥取県に位置する汽水性富栄養化湖沼の中海を対象に、浚渫による除去量と生態系における食物連鎖を通じた除去量とを大まかに見積もることで、生態系の浄化機能の定量的な評価を試みた。食物連鎖を通じた窒素・リン除去量を浚渫と比較すると、現状の食物連鎖を通じた窒素・リン除去量は、窒素で浚渫の89%、リンで52%であった。しかし網にかかりながら水揚げされない魚や海藻の利用や、貧酸素化を改善することにより増加する二枚貝ホトトギスガイによる固定などによって、窒素で浚渫の最大2.9倍、リンで最大1.4倍に除去量を増加することが可能であると推測された。

(原稿受付 2000年6月6日)

(原稿受理 2000年10月16日)

参 考 文 献

- 1) 池田省三(1997)最近の底泥浚渫技術, 用水と廃水, **39**, 517-521.
- 2) Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neil, R., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., van Belt, M. (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, **387**, 253-260.
- 3) 佐々木克之(1998)干潟・浅場の浄化機能の経済的評価, 海洋と生物, **20**, 132-137.
- 4) 日本海洋学会環境問題委員会(1996)閉鎖性水域の環境影響評価に関する見解—中海本庄工区干拓事業の場合—, 海の研究, **5**, 333-344.
- 5) 相崎守弘, 今吉篤子(1999)本庄工区への負荷量算定と水質浄化機能の評価, *LAGUNA* (汽水域研究), **6**, 49-55.
- 6) 嘉藤健二, 佐川竜也, 神門利之, 神谷宏, 芦矢亮, 呉鶯音, 石飛裕(1996)宍道湖・中海水質調査結果(平成7年度), 島根県衛生公害研究所報, **37**, 90-93.
- 7) 宍道湖・中海の藻類研究会(1996)宍道湖・中海水系の藻類, 129pp., 高浜印刷所, 松江.
- 8) 山室真澄, 井内美郎, 西村清和, 安田總, 渡辺和明, 吉川秀樹, 山口英利, 松永恒雄, 寺島滋, 金井豊, 横田節哉, 石飛裕, 神谷宏, 中村由行, 岡奈理子(1996)富栄養化湖沼における食物連鎖を利用した水質浄化技術に関する研究, 平成7年度国立機関公害防止等試験研究成果報告書, 47-1~11.
- 9) 大槻晃(1982)底質「湖沼環境調査指針」(社団法人日本水質汚濁研究協会編), pp.147-151, 公害対策技術同友会, 東京.
- 10) 沢村貴史, 中村幹雄, 中尾繁, 山根恭道(1991)中海・宍道湖等水産資源管理対策事業「中海の環境群と生物群集」, 島根県水産試験場事業報告平成3年度, pp.201-211, 島根県水産試験場, 松江.
- 11) Yamamuro, M., Oka, N. and Hiratsuka, J. (1998) Predation by diving ducks on biofouling mussel *Musculista senhousia* in a eutrophic estuarine lagoon, *Marine Ecology Progress Series*, **174**, 101-106.
- 12) Yamamuro, M., Hiratsuka, J., Ishitobi, Y. (2000) Seasonal change in a filter-feeding bivalve *Musculista senhousia* population of a eutrophic estuarine lagoon, *Journal of Marine Systems*, **26**, 117-126.
- 13) 石飛裕, 平塚純一, 桑原弘道, 山室真澄(2000)中海・宍道湖における魚類および甲殻類相の変動, 陸水学雑誌, **61**, 129-146.
- 14) 平塚純一, 桑原弘道(2000)中海本庄水域の魚類相とその特性, 陸水学雑誌, **61**, 109-118.
- 15) 長谷川精作(1939)琵琶湖沿岸に於ける水藻の利用とその肥効, 滋賀県立農事試験場, 30pp.
- 16) 宮地伝三郎(1962)中海干拓・淡水化事業に伴う魚族生態調査報告, 226pp.
- 17) 大賀学(1995)宍道湖・中海における底生藻類の種類組成およびその季節変化, 島根大学教育学部小学校教員養成過程平成6年度卒業論文, 70pp.
- 18) 山室真澄(1997)中海におけるオゴノリ漁による窒素・リン除去量の見積もり, 陸水学雑誌, **58**, 317-322.
- 19) 川島博之(1996)我が国における食糧供給と窒素循環, 環境科学会誌, **9**, 27-33.
- 20) 川上誠一(1992)宍道湖物語, 246pp, 藤原書店.
- 21) 益永茂樹(1999)第3章ダイオキシン類の発生と人による摂取「ダイオキシンと環境」(竹内正雄, 益永茂樹, 今川隆, 山下信義, 多賀光彦共著), pp.40-66, 三共出版, 東京.