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 — *

日本海洋学会海洋環境問題委員会†

Environmental Assessment Methods – A Case of Reclamation Project of Honjo District in Lake Nakaumi –

Committee for Problems of the Marine Environment,
the Oceanographic Society of Japan ‡

1. はじめに

現代文明は地球規模の資源消費と環境破壊をもたらし、人類の存続そのものが危ぶまれる状態を作りだした。このような状況において、人類の生存の基盤となる資源と環境を「持続可能な発展」が望める状態で子孫に伝えることは、今日を生きる我々の責務と言える。

日本海洋学会は公害による海洋環境悪化に対して学会として取り組むことを決意し、1973年4月に「海洋環境問題に関する声明」を発表し、海洋環境問題委員会を設立した。以来、本委員会ではシンポジウムなどにおいて、沿岸の富栄養化とそれに伴う貧酸素水塊の形成や赤潮の発生を海洋環境に関する重要な問題と位置づけ、富栄養化した水域では流入負荷の削減と同時に、自然浄化能力の高い干潟などの浅海域生態系の保全が重要であることを指摘してきた。また海洋環境影響評価手法の現状と問題点についても学会の場を通じて議論し、わが国における海洋環境影響評価の問題点を指摘してきた。具体的な事例についても、千葉県による東京湾三番瀬埋立計画に関する影響評価手法に対して見解を発表し、基本的な調査課題を提案した（日本海洋学会海洋環境問題委員会、1993）。その後、千葉県は生態系の特性を理解するた

めの補足調査を1996年1月より実施しており、本委員会の提案が参考になっていると思われる。

このように沿岸の開発と影響評価のあり方が問題視されている状況の中で、「中海本庄工区干拓事業」は以下に述べるようにわが国を代表する汽水域生態系であり、その予定干拓規模が大きいことから社会的に高い関心が持たれており、十分な環境影響評価を行う必要があると考えられる。日本海洋学会環境問題委員会は干拓計画に先立ち、科学的に妥当な環境影響評価が実施されることを望む立場から、この見解を発表するに至った。

2. 中海本庄工区干拓問題の経緯

島根県には中海・宍道湖という塩分の異なる2つの汽水湖沼があり、両湖沼を合わせるとわが国最大面積の汽水域となる（Fig. 1）。この中海の5分の1に当たる1,689haを占める本庄工区を干拓する計画が再開されようとしている。

本庄工区の干拓は1963年に開始された「国営中海干拓事業」の一環として計画された。この事業の当初の内容は、米の増産を図るために中海を干拓し、同時に中海と宍道湖を淡水化して農業用水に充てるというものであった。1974年に中浦水門（Fig. 2）が完成、1981年には森山堤防が締め切られて本庄工区と中海の水理環境が現在の姿となり、1989年には本庄工区を除く全ての干拓・埋立地が完成した。

* 1996年8月12日受領；1996年8月16日受理

† とりまとめ 風呂田利夫 東邦大学理学部；〒274 船橋市三山2-2-1

‡ Compiled by Toshio Furota, Faculty of Science, Toho University; Miyama 2-2-1, Funabashi, Chiba, 274 Japan

Fig. 1. 対象水域の位置とおおよその地形断面. 数字は Table 3 の地点番号の位置を示す.

この頃になって淡水化による水質の悪化と、漁業資源種である二枚貝ヤマトシジミの全滅を懸念する住民によって淡水化反対運動が起こり、1988年5月、島根・鳥取両県の知事は事業主体の農林水産省に対して淡水化試行を当面の間延期すると回答、同年9月には農林水産省と島根・鳥取両県が淡水化延期に伴う中海干拓協定に調印した。これにより本庄工区の工事は1996年度末まで延期されることになった。

一方で中海・宍道湖では富栄養化が進行し、1989年には湖沼水質保全特別措置法(湖沼法)の指定を受け、水質浄化対策の実施が義務づけられるようになった。現時点では両湖沼ともに、環境基準を達成していない。

1995年8月、島根県は「宍道湖・中海に係わる水質予測事業」を行い、1: 現状のまま水面を維持する, 2: 本庄工区周辺の堤防の一部を開削して水面を維持する, 3: 全体を干拓する, の3ケースについて水質の将来予測を行ったが、どの選択を行っても水質はほとんど変わらないという結果になったと公表した。この水質予測の結果を踏まえて島根県議会は、本庄工区を全面干拓し農地として利用する案を可決した。これに対して環境庁は1996年3月18日に「宍道湖・中海に係わる水質予測事業」による環境影響評価が十分でないと指摘し、水質の適切な予測及び評価を行うよう、異例の要請を行った。しかしながら、島根県は1996年3月28日に農林水産省に対し

て工事再開を申し入れた。

3. 中海・宍道湖の生態系の特徴と機能

本庄工区を含む中海は宍道湖ならびに美保湾と連続した我が国最大の汽水域であり、淡水の流入や潮汐作用により水が交換し、その大きな環境勾配は水生生物に多様な生活環境を提供している。そこに生息する生物は、自らの能動的移動ならびに水の交換に伴う受動的移送により宍道湖や美保湾との間で交流し、独特の汽水域生態系を維持している。従って宍道湖・中海・日本海(美保湾)は連続した水系・環境であり、本庄工区の干拓は中海のみならず、宍道湖や日本海の環境にも影響を及ぼす可能性があることを念頭に置く必要がある。

特に漁業資源にとって汽水域は、海産魚が成長する上で重要な水域であることが指摘されている。また中海・宍道湖には汽水性の稀少種も生息する。

中海・宍道湖の環境は1963年以降の干拓事業に伴う工事や富栄養化によって約30年の間に閉鎖性が増し、比較的浅い水域が減り、貧酸素化しやすくなった。このため生物群集を含む環境も変化したと考えられる。このような視点から、ここでは本庄工区を含む中海・宍道湖の環境について、改変の影響が比較的少なかった1960年前後と現在とを比較して紹介する。

Fig. 2. 中海干拓事業一般平面図 (農林水産省中海干拓事務所 (1989) を改図).

3.1. 物理化学的特性

一級河川斐伊川の下流部に当たる中海・大橋川・宍道湖は、主に境水道から供給される海水によって、それぞれ固有の塩分範囲を示す汽水域を形成する (Table 1).

中海・宍道湖の工事による改変前の地形と現在とを比べると、宍道湖は大きくは変わらないが、中海の地形は干拓・埋立による地形改変が著しい (Figs. 2, 3). 主な改変は森山堤・馬渡堤・大海崎堤によって本庄工区が閉鎖性水域になったこと、中浦水門設置に伴い中海と日本海との水の交換口が狭くなったこと、そして中浦水門付近と米子湾付近が掘り下げられたことである。弓浜沿いの浅部は埋立や干拓によって大部分が消滅し、また埋立用の土砂採掘によって水深 6m より浅い部分が殆ど無くなった。一方、本庄工区は改変は受けたものの、水深 6m より浅い水域が多い状態で今日に至っている。

中海・宍道湖の水質や底質は、このような湖底地形を反映している。宮地 (1962) によると、中海の大根島より南の部分では晩春から初秋にかけて塩分成層が発達し、

水深 3~5m の躍層以深では溶存酸素が減少し、無酸素化することも多かった。これに対して現在の本庄工区に当たる大根島北側および西側の水域では夏でも底層の溶存酸素飽和度が 70% 以上で、周年生物生産が行われていた。現在の中海でも、水深 6m 以深の湖底が広がる本庄工区以外の部分で貧酸素化が生じるが、本庄工区は比較的好氣的である (Fig. 4). 宍道湖では 1960 ~ 61 年当時は夏季の湖心で塩分成層が発達しても溶存酸素飽和度が 25% 程度までしか低下しなかったが (宮地, 1962), 現在では水深 4m 以深の湖盆部の底層で高水温期に貧酸素化しやすく、堆積物は有機物と微細泥に富む (島根県水産試験場, 1984).

湖流は湖底地形と共に水質や底質を規定し、生物の生息や移動に影響を与える。1963 年以前の中海の湖流については江島周辺からの海水の流入は著しくないと記載があるだけだが (宮地, 1962), 農業土木学会 (1983) による模型水路を使った実験によると、改変以前の中海では主に現在の本庄工区に当たる大根島の北岸を通じて湖水

Fig. 3. 中海の湖底地形. (A) 国土地理院発行の湖沼図 (1962, 1963 年測量) より 4, 6, 8m の等水深線をトレースしたもの. (B) 新日本気象海洋株式会社 (1994) による 1992 年現在の地形図から 4, 6, 8, 10m の等水深線をトレースしたもの.

の交換が行われていたとされる。現在は中浦水門が中海と日本海をつなぐ唯一の水路になっている (Fig.2)。ここでの海水の流入の観測結果によると、潮位変化の小さい場合には二層流となり、表層と底層で流れの向きが逆になる。潮位変化が大きい場合には一層流となって、表層から底層まで同一方向に流れる (農業土木学会, 1983)。

現在の宍道湖では斐伊川からの日平均流入速度が $200 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ 未満の場合、中海の水位が高くなると大橋川を通じて中海の湖水が希釈されずに宍道湖に侵入する (Ishitobi *et al.*, 1989, 1993)。従って物理的な因子だけを考えても、中海の水質が悪化すると宍道湖の水質も悪化する可能性がある。

上記のような形式で高塩分水が流入する現在の中海・宍道湖では、比較的深いところに有機物が蓄積しやすく、かつ塩分成層が形成されやすい。成層状態にある底層水は高水温期には貧酸素化しやすく、その際に堆積物から無機態リンが溶出する。中海の場合は溶存酸素に富む海水の進入が宍道湖よりも頻繁に生じ、溶存酸素の最小値が必ずしも底層でない場合があるが、おおむね夏季には貧酸素化によって底層での無機態リン濃度が増加する (農業土木学会, 1983)。しかし、宍道湖では大橋川から供給される中海水が舌状に湖盆部まで進入して層厚 20cm の高塩分層を形成し、夏季にはその内部で貧酸素化が進行して堆積物から無機態リンが溶出する (山室ほか, 1995)。

窒素については、中海湖心部では底層水の溶存酸素が飽和値の 10~30% という低濃度の堆積物上で硝化反応が起こり、夏季には主に表層堆積物で脱窒素代謝が起こっているとの報告がある (清家ほか, 1986a,b)。しかし、比較的好気的な本庄工区や宍道湖での脱窒素代謝速度は測定されていない。

なお表層 0~5cm の堆積物中の有機窒素濃度は、宍道湖が乾重量 1g 当たり 3.2mg、中海が 3.6mg に対して本庄工区は 2.2mg、同様にリンはそれぞれ 0.42, 0.38, 0.33mg と本庄工区の方が小さく (新日本気象海洋株式会社, 1994)、窒素やリンからみても、この水域が閉鎖性水域であるにもかかわらず他の水域よりも良好な環境を維持していることが推察される。またこれらの値から窒素・リンの比を計算すると、宍道湖・中海・本庄工区の値はそれぞれ 7.7, 9.4, 6.7 で、本庄工区の値が最も小さい。本庄工区は他の水域よりも好気的である為に堆積物からのリンの溶出は少ないはずである。したがって本庄工区は他の水域より脱窒素量が大きい可能性が示唆される。

3.2. 生物群集と生態系の特徴

3.2.1. 一次生産者

一次生産者である植物プランクトンや大型植物は、塩分に応じて宍道湖から中海・美保湾にかけて固有の分布

Table 1. 中海・宍道湖の諸元

1994年現在

名 称	水面面積 (km ²)	湖岸延長 (km)	平均水深 (m)	最大水深 (m)	平均水位* (T.P. m)	塩素量* (mg Cl/l)
中海	86.8	169	5.4	17.1**	+0.20	7,000~18,000
宍道湖	79.2	48	4.5	6.0	+0.30	500~2,400

*島根県環境保全課(1990)より

**干拓事業に伴う改変以前は8.4m

を示す。このうち宍道湖では宮地(1962)の調査当時から大型植物が少なく、湖全体での植物現存量543tのうち525tを植物プランクトンが占め、大型植物は3tと報告されている。主な大型植物はササバモであった。植物プランクトンは春・冬は珪藻類が、夏はラン藻類が優占すると報告されているが、これは現在も同様である。

中海ではかつては大型植物の現存量が非常に大きかった。1962年の報告書では中海全体での植物現存量2,588tのうち1,034tを植物プランクトン、1,400tを大型植物が占めていた。主な大型植物はアマモ・コアマモ・オゴノリ・ツルシラモ・イソモク(ウミトラノオを指すと思われる)で、植物プランクトンの優占種は珪藻であった。しかし、農業土木学会(1983)に記載されている1980年から1981年にかけて行われた調査では、アオノリ類・アナアオサ・カヤモノリ・ウミトラノオなどがやや目につく程度で、量は少なく貧弱な個体だったと報告されている。このことは1960年代から1980年の間に、中海が大型植物の生息しにくい環境に変化したことを示す。また現在の植物プランクトンとしては鞭毛藻類 *Prorocentrum minimum* が2月から5月と11月から12月にかけて優占種として出現し、特に冬季もしくは夏季に珪藻類 *Skeletonema costatum* が米子湾で大発生したこともある(島根県環境保全課, 1990)。なお本庄工区の北部承水路と西部承水路には、レッドデータブックで「危急種」とされている大型植物のカワツルモが現在も分布する(建設省中国地方建設局出雲工事事務所, 1993)。

3.2.2. 動物プランクトン

動物プランクトンも宍道湖と中海で異なる種類が生息する。宮地(1962)によると、中海では橈脚類 *Acartia*

clausi・*Acartia erythraea*・*Oithona nana*, 繊毛虫類 *Favella taraikaensis* が優占種であった。また夏季には二枚貝や多毛類・フジツボ類・エビ類・カニ類の幼生が出現した。さらに漁業資源種であるニホンアミとイサザアミの混合群が記載されている。それによると大部分はニホンアミで、産卵は中海全域で3月頃行われ、初夏にはアマモ場に移動した。また当時、現在の本庄工区では泥場でもこれらのアミは大量に漁獲されていた。夏季には全体量が減少したが、9月には中海南岸で漁獲されるようになり、冬季には再び本庄工区に多く集まった。

現在の中海では、夏季に各種類の幼生が出現する状況は変わっていない。またニホンアミ・イサザアミ漁は、本庄工区や中海南岸で行われている。島根県環境保全課(1990)によると、優占種は橈脚類 *Oithona nana* や繊毛虫類 *Favella taraikaensis* などである。

宍道湖では橈脚類 *Pseudodiaptomus inopinus* と汽水性橈脚類 *Sinocalanus tenellus* が優占し、二枚貝ヤマトシジミの幼生もみられた(宮地, 1962)。現在の宍道湖もほぼ同様である(島根県環境保全課, 1990)。

3.2.3. 底生動物

中海では大型植物と同様に、この30年間に底生動物相も変化した。宮地(1962)によると、採泥器で捕獲される底生動物群集から中海は大きく3つの地域に分かれた。現在の本庄工区に当たる大根島北側および西側は二枚貝サルボウ・イヨスダレが優占し、弓浜半島の沿岸に二枚貝ホトトギスガイや巻貝カワグチツボが優占した。大根島南側の水深6m以深には二枚貝チヨノハナガイ・シズクガイと多毛類ヨツバナスピオが優占したが、これらは夏季には貧酸素化により死滅した。

Table 2. 中海・宍道湖での漁獲量

(単位: t)

	中海		宍道湖	
	1955年	1958年	1956年	1959年
シラウオ	22	18	65	33
ワカサギ	5	60	147	398
ウナギ	40	66	30	51
スズキ	77	64	162	76
カレイ	19	29		
ハゼ	117	311	83	48
ヒイラギ	59	81		
エイ	5	9		
フナ類	0	1	454	201
魚類全体	1,087	1,306	1,069	907
サルボウ	9,274	3,528		
カキ(天然)	1,394	389		
ヤマトシジミ	9	51	690	3,174
貝類全体	11,618	4,109	690	3,174
エビ類	108	124	56	34
カニ類	122	66		
その他の動物全体	381	206	56	34
オゴノリ	142	5,470		
大型植物全体	726	6,673		
漁獲量総計	13,811	12,293	1,815	4,115

宮地(1962)の実態統計より

現在の中海では最優占種であるホトトギスガイが本庄工区を含む中海全体に分布し、これ以外の二枚貝が減少している。また沿岸部ではカワグチツボが優占し、ヨツバナスピオやハナオカカギゴカイなどの多毛類が中海全体に分布する(沢村ほか, 1991)。

底生動物には基盤に固着したり、砂地の深い所などのように、採泥器による採集が困難な場所に生息する種類もある。特にアサリやカキなどの漁業資源種にそのようなものが含まれるが、漁業資源種については次節で紹介する。

宍道湖の底生動物は、1959~1960年の調査時点では二枚貝ヤマトシジミが優占種で、他にオオユスリカ幼虫・イトミミズ類・ウミナナフシの1種・イトゴカイ科多毛類などがみられ、汽水種と淡水種からなる動物相であった(宮地, 1962)。また採泥器では採集されないが、漁業資源種であるテナガエビが宍道湖全域から漁獲されると記されている。現在の宍道湖も優占種は二枚貝ヤマトシ

ジミで、その他の底生動物は季節変化・年変化が大きいものの、おおむね宮地(1962)と同様の動物相である(島根県水産試験場, 1984)。

3.2.4. 漁業資源

漁業資源種には貝やエビ・カニなどの底生動物と魚類とがある。中海の1960年頃の漁業資源種のうち底生動物の甲殻類にあたるものにタイワンガザミとイシガニがあった(宮地, 1962)。これらは中海全域で多量に取れ、一部は中海で越冬していた。またクルマエビは特に中海北側で大量に漁獲され、美保湾に生息するものも産卵時には中海に遡上した。ヨシエビは現在の本庄工区と弓浜半島沿岸で大量に漁獲され、中海で越冬したものが夏季に美保湾に移動した。二枚貝類では現在の本庄工区がサルボウの主な生息場所で、中海南部は当時からサルボウの生息には不適とされていた(宮地, 1962)。サルボウにつぐ量で天然・養殖マガキが漁獲されていたが(Table 2),

Table 3. 中海・宍道湖・美保湾における主な魚類の季節分布

	宍道湖					中海							美保湾		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
コノシロ				S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
マイワシ										S	S		Y	Y	Y
サッパ			S	S	S	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	W	W
カタチワシ						S	S	S	S	S		Y	Y	Y	Y
ワカサギ	Y	Y	Y	Y	W	W				W	W	W			
シラウオ	Y	Y	Y	Y	W	W				W					
コイ	Y	Y	Y	Y	S			Y	Y						
ギンナ	Y	Y	Y	Y	Y			Y	Y						
ワカサギ	Y	Y	Y	Y	S										
ウナギ	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
マアナゴ									S	Y	Y		Y	Y	Y
ダツ				S		S	S	S	S	S	S		S	S	Y
クルマサカ			S	S	S	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	W	W
トビウオ										S	S		S	S	Y
トウゴロウイシ												Y	Y	Y	Y
ボラ	S	S	S	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
マアサギ						S				Y	S	Y	Y	Y	Y
ブリ													Y		
ヒイラギ				S		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
スズキ	S	S	S	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
メジロ						S				S	S		Y	Y	Y
クロダイト				S	S	S	S			S	S		Y	Y	Y
マサキ						S	S			S	S		S	S	Y
シマサギ			S	S		S	S		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
ネズミ						S	Y	S	S	Y	Y	Y	Y	Y	Y
ギンナ	S	S	S	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
マアサギ					S	S	S			S	S		S	S	Y
ウミナガ										Y	Y	Y	Y	Y	Y
アミメ						S				Y	Y	Y	Y	Y	Y
クサフグ										Y	Y	Y	Y	Y	Y
メバエ										Y	S	Y	Y	Y	Y
タケノコ						Y				Y	S	Y	Y	Y	Y
アイナメ										S	S		S	S	Y
クジメ					S	S				S	S		S	S	Y
コウボ				S	S	S				Y	Y	Y	Y	Y	Y
ホウボ										S	S		S	S	Y
ヒシガレイ										S	S		Y	Y	Y
イシガレイ										Y	S	Y	Y	Y	Y

地域の番号はFig. 1の数字に対応する。Sは夏だけ、Wは冬だけ、Yは一年中その場所に存在していることを示す。川那部（1969）より。

特に天然マガキは本庄工区を含む大根島周辺で採取されていた。

植物や底生動物と異なり魚類は移動能力が大きいので、宍道湖・中海・日本海（美保湾）を移動する種類が多い。特に宍道湖に夏だけみられる魚類は水温の低下とともに中海に下るものが多く（Table 3）、宍道湖と中海は魚類にとっては切り放せない環境である。

このうち中海が産卵域と考えられるのがサッパ・クルマサカ・マハゼ・コノシロ・イシガレイ・ヒイラギ・ギンナで、特にイシガレイ・ヒイラギは主に現在の本庄工区で産卵した。またマアナゴやヒラメの主な漁場は現在の本庄工区であった（宮地，1962）。また中海における魚類以外の漁業資源種として、1950年代にはイカ・タコ・ナマコやオゴノリなどの藻類が統計に記されている（宮

地，1962）。1970年代にも現在の本庄工区には魚類の再生産や稚魚の生育に適した場所が残されており、またアサリやサルボウが漁獲されていた（大氏，1975）。

漁業資源種のうち宍道湖で産卵しているのはヤマトシジミ・テナガエビ・シラウオ・ワカサギ・コイ・フナであり（宮地，1962）、現在もこれらの種の産卵場所は維持されている。

このような中海・宍道湖の漁業資源は、質的にも量的にも、約30年間で大きく変化したと考えられる（Table 2）。1955～1959年の宍道湖・中海での漁業資源種をみると、中海ではスズキやハゼなどの宍道湖でも漁獲される魚類と同時に、カレイやエイなどの内湾に普通にみられる種類も漁獲されていたことと、全漁獲量は中海の方が宍道湖よりも大きかったことが分かる。現在の宍道湖ではヤ

底層水溶存酸素量 (ppm)

堆積物シルト・クレイ含量 (%)

堆積物全硫化物量 (‰)

Fig. 4. 夏季の地中海の底層水と堆積物の性状 (沢村ほか (1991) を改図).

マトシジミの漁獲量が 10,000t 前後に増えたために、全漁獲量は 30 年前より 2 倍以上大きくなった (島根県環境保全課, 1990). 現在の地中海での漁獲量を集計した統計は整えられていないが、島根県環境保全課 (1990) によれば、1986 年当時の地中海での全漁獲量は 1,221t で、30 年前の約 10 分の 1 に減少している。

3.2.5. 鳥類

環境庁によるガンカモ科鳥類生息調査によると、中海における冬季のガンカモ類の飛来数はここ数年、全国 1, 2 位を維持している。特に潜水して二枚貝を食べるハジログアモ属の飛来が多いのが特徴である。ハジログアモ属のカモのうち、キンクロハジロとホシハジロはヨーロッパにも生息するが、アジアのものとは別個の集団と考えられる。またスズガモの分布はアジア大陸東部付近に限られる。主に二枚貝を食べるこれら 3 種の日本における越冬地は沿岸域での湖沼や干潟の干拓によって年々減少しており、経済が急速に発展している東アジアから東南アジアの諸国でも同様の状況であると考えられる。一方、中海に飛来するハジログアモ属の数は年々増加している。大氏 (1975) は 1975 年冬季の中海の全水鳥の生息数を約 3 万羽と報告しているが、1980 年代にはハジログアモ属だけで約 3 万羽飛来するようになり、1990 年代にはハジログアモ属だけで約 6 万羽飛来するようになった。この事実は、中海がハジログアモ属のカモにとって、東アジアと東南アジアに残された数少ない良好な越冬地である可能性を示す。特にキンクロハジロやスズガモは、中海全体の 30% 以上が本庄工区で確認されている (建設省中国地方建設局出雲工事事務所, 記者発表資料)。また本庄工区を含む中海では、レッドデータブック記載「危急種」のカンムリカイツブリも毎年、多数飛来する (日本野鳥の会島根県支部, 私信)。

3.2.6. 本庄工区の特徴

中海干拓事業着手前の本庄工区は貧酸素化しにくいために生物生産が活発な場所で、漁業資源種である二枚貝サルボウやアミ類、ヒラメの主漁場であった (宮地, 1962). 中海における漁獲量の減少の一因はサルボウの減少であると考えられ (Table 2), 現在ではサルボウが生息しなくなったかわりにホトトギスガイが優占する (沢村ほか, 1991). サルボウの主漁場であった本庄工区は現在でも比較的好氣的である (Fig. 4).

以上の知見から、本庄工区は干拓事業に伴う堤防の設置によって日本海からの湖流が直接流入しなくなり (Fig. 2), それによる生物相への影響が認められるものの、他の中海より好氣的で生物生産に適した環境が維持されているものと推察される。

4. 中海本庄工区干拓事業に関わる環境影響評価の調査課題

中海本庄工区干拓事業に関わる環境影響評価は、上述したような中海・宍道湖の生態系の特徴と機能を考慮したものであることが求められる。

中海ではこれまでの開発で浅い水域が大きく減少し、生物の生息環境が大きく変化した。その中で本庄工区は比較的浅い部分が多い水域であり、生物の生息環境として比較的良好な環境が保たれている。またかつては宍道湖・中海のなかでは最も海よりの環境として多くの生物の重要な生活の場となっていた。

島根県が水質予測事業において、干拓による影響だけでなく本庄工区周辺の堤防の一部を開削した場合の水質の将来予測も行ない、人工構造物を過去に近い状態に戻すことで環境回復がどの程度可能かを検討したことは、これまでの環境影響評価にない新しい試みであった。しかしながらこのような環境影響評価を実施するにあたっては、干拓による水域の消失もしくは堤防の開削による環境復元が、生物の生息環境の変化を通じて宍道湖・中海全体の生態系にどのような影響を与えるのかを予測することが求められる。水質変化という環境要素のごく一部の変化予測では、生態系への影響を評価したとは言えない。また生態系の機能の一部として水域の浄化能力があり、これは以下に述べるように生物群集の代謝活動に深く関わっている。したがって生物活動の定量的評価の一面として生態系変化に伴う代謝活動の変化を予測するための努力を払わなければならない。

以下、このような目的に沿った基本的調査課題を提案する。

4.1. 水質に関わる物質収支と物質循環

開発行為が水質に与える影響を予測するためには、1) 該当水域と周辺の水質の現状の把握と評価、2) 現状の水質を規定している要因の把握、3) 開発行為による環境変化に伴う水質変化の予測、という手順が必要であり、特に 2) の解明が 3) の予測のために不可欠である。

4.1.1. 物質収支と物質循環の現状把握

水質を予測するためには、まず現在の水質（溶存酸素、栄養塩類、COD、懸濁物質、クロロフィル *a* など）の水

平および鉛直分布を季節毎に把握することが必要である。

さらに本庄工区が周辺水域の水質とどのように関わっているのかを明らかにするには、物質の収支と循環機構の把握が必要である。具体的には本庄工区への負荷量（河川經由や雨水など）と大海崎堤端の中海出入口（Fig. 2）からの流出から収支が求められる。このうち中海出入口からの収支は、例えば 2 時間毎の採水と流速観測によって求めることができる。

物質循環に関しては、(1) 植物プランクトンの現存量と光合成量、(2) 動物プランクトンの現存量と成長量、(3) 底生生物（植物および動物）の現存量と成長量、(4) 栄養塩の底質からの溶出、(5) 脱窒素量、(6) 底泥の堆積速度、(7) 大型植物への蓄積量、(8) 漁業などによる陸上への取り出し量、の季節毎の把握が必要である。(1)~(3) の項目は水域内の循環なので、系外との収支に直接関係するのは(4)~(8) であり、これらの総計 $((4)+(5)+(6)+(7)+(8))$ が水域から窒素やリンを除去する結果になれば、この水域が浄化機能を有することを示す。

これらの調査項目のうち脱窒素量に関しては、脱窒素代謝そのものは嫌気的条件下で起きるので、酸素の少ない水域で生じると誤解されやすい。東京湾では貧酸素水塊が発生する湾中央部では $5\sim 11\text{mgN/m}^2/\text{day}$ であるのに対して（Nishio *et al.*, 1982）、浅くて酸素が豊富な多摩川河口域では $48\sim 200\text{mgN/m}^2/\text{day}$ である（Nishio *et al.*, 1983）。この原因として、脱窒素代謝の基質である硝酸イオンが底泥の上層水から供給されるだけでなく、底泥中のアンモニアが酸素の多い状態を利用して硝酸イオンに硝化され、これが利用される可能性が指摘されている。なお脱窒素代謝速度の分析によく用いられるアセチレンブロック法は、この底泥中のアンモニアから硝酸イオンへの硝化反応も阻害するので、脱窒素量を過小評価する危険がある（Seitzinger, 1988）。

以上から、嫌気的な中海湖心部での脱窒素速度を本庄工区の脱窒素速度とすることはできない。実際 3-1 節で紹介されていたように、窒素・リン比から見て本庄工区では脱窒素反応が中海湖心部より活発に起きている可能性が高いので、脱窒素速度の測定が必要である。

堆積作用による栄養塩の除去については、本庄工区以外の中海での堆積速度が乾重量で $0.04\sim 0.08\text{g/cm}^2/\text{year}$ なので（後藤, 1987）、本庄工区でも同様と仮定し、3-1 節で紹介された本庄工区底泥表層の窒素含量である乾重量 1g 当

たり 2.22mg を用いると、 $0.9\sim 1.8\text{gN}/\text{m}^2/\text{year}$ となり、本庄工区の面積 16.89km^2 で計算すると、 $15\sim 30\text{tN}/\text{year}$ の堆積速度となる。本庄工区への負荷量は $13.4\text{tN}/\text{year}$ (新日本気象海洋株式会社, 1994) であるので、堆積量はこれを上回ることになる。このことは、本庄工区では水域に直接負荷されたものだけでなく、中海から流入した窒素も堆積していることを示唆している。さらに本庄工区で脱窒素代謝が生じているならば、中海から流入した窒素の本庄工区での浄化量はさらに大きくなる。このような観点から、より正確な堆積速度や脱窒素量と負荷量の調査などの結果に基づいて、本庄工区の水質浄化機能を季節毎に評価する必要がある。

大型植物や底生生物が夏季に成長などによって窒素・リンを取り込んで蓄積すると、水質の悪化する高水温期に窒素やリンを削減することになる。それらの生物がいずれ水域内で分解して窒素・リンが回帰するとしても、その回帰の時期が貧酸素化が生じにくい低水温期であれば、水質環境に及ぼす影響は軽減される。したがって栄養塩循環と生物成長との関係についても調査が必要である。

本庄工区を含む中海では漁業が行われており、島根県は漁業振興策も講じている。漁業資源種による窒素やリンの水域からの取り込みと漁獲による水域からの除去量は、水質浄化機能を評価する上でも重要な値である。したがって水質予測の基礎データを整えるためにも、漁獲量と漁業資源種の生活史調査は不可欠である。

4.1.2. 開発による水質変化の予測

干拓が行われても仮に水域の消滅がなければ、一般に水質の将来予測は負荷量の変化だけを検討すればよい。しかし実際には水域は必ず減少するので、干拓を行う場合は負荷量の変化に加えて、干拓で失われる水域の浄化機能分だけ残された水域に対する負荷量を実質的に増加する。従って干拓予定地の浄化機能の評価は不可欠である。

森山堤・大海崎堤 (Fig. 2) を開削する場合、美保湾や中海と本庄工区の水の交換が増加することが予想される。そのような状況で本庄工区の底層の溶存酸素がどうなるのか、本庄工区のもつ浄化機能がどうなるのかを推定することが必要である。この推定は流れの予測だけでなく、流れの変化に伴う浄化機能の変化の予測も伴うので困難

な面はあるが、この水域が堤防で仕切られていなかった時代のデータも活用して、必ず評価を行うべきである。

4.2. 生物の現況把握と影響予測

4.2.1. 水生生物

汽水域には淡水から海洋までの塩分変化にともなう環境勾配があり、勾配に沿って広い生物生息空間があることで独特の生物群集が維持される。現状の生物生息状況を知ることは、開発の生態系への影響を評価するための基礎である。現在の中海・宍道湖におけるプランクトン・底生生物 (大型植物を含む)・魚類ならびに鳥類の季節変化を含む生息状況を水質 (塩分・水温・栄養塩類・有機物・溶存酸素など) や底質 (粒度・含水量・有機物・硫化物など) とともに定量的に調査し、生態系の構造を解析する必要がある。

本庄工区が塩分の高い内湾環境であることは中海・宍道湖全体の生態系維持に深く関係している可能性がある。その消失により失われる大型植物を含む底生生物ならびに魚類各種の現存量と生産量、さらに生活史と周辺への影響について分析する。この際、現在の堤防設置がない時代との比較も行う。

汽水域生態系では塩分変化が生物の生息に大きく影響する。本庄工区干拓や開削に伴う宍道湖と中海の塩分変化予測を、平均だけでなく最高・最低値についても行ない、両水域でのプランクトン、底生生物 (大型植物を含む)、ならびに魚類分布に対する影響を分析する。特に宍道湖の主要漁業資源種であるヤマトシジミについては、現在の塩分が初期発生が正常に進行する最低値に近い (田中, 1984)、年平均値ではなく、繁殖期間中の最低値と低塩分持続期間の予測が必要である。

閉鎖水域においては底層水の貧酸素化や底質の還元化が生物の生息や栄養塩循環に極めて大きな影響を与える。また貧酸素水塊の発達には湧昇時に沿岸部の貧酸素化 (青潮) を引き起こし、浅海部の生物群集にも壊滅的な影響を与えることがある。したがって現状における貧酸素水塊の動態と生物や栄養塩類循環との関係を調査し、本庄工区干拓や開削にともなうそれらの変化を予測して、生物分布への影響を分析すべきである。

4.2.2. 漁業資源

漁業資源種の水域利用には生活史の全てに利用する定住型と、一部で利用する季節型がある。季節型でも産卵・成長・回遊通過・越冬など、水域利用様式は種類や水域内の環境特性により異なる。したがって、本庄工区を含む中海・宍道湖での漁業資源種ごとの生活史と水域の利用状況を明らかにし、干拓や開削が宍道湖や中海の漁業資源に与える影響を分析すべきである。

4.2.3. 鳥類

中海にはガンカモ類を中心とする水鳥が豊富に生息する。特に潜水性で二枚貝を主食とするハジロガモ類が多い。鳥類は地球規模で移動しながら個体群を維持しており、国際的な視野で開発が与える影響を評価しなければならない。したがって中海・宍道湖の鳥類生息状況とその食性、特に本庄工区での利用状況を調査し、干拓の影響を予測する必要がある。

4.2.4. レッドデータブック記載種

中海・宍道湖にはカワツルモやカンムリカイツブリなど複数のレッドデータブック記載動植物が確認されており、他の稀少種の探索も含めて、生息状況調査と影響の分析が望まれる。

5. 環境影響評価のあり方

環境影響評価は開発事業の可否あるいは修正を決めるための判断材料であることから、具体的かつ定量的であることが望ましい。また既成の開発行為の累積によって対象域がこれまでにどのような影響を受け、評価対象となる開発がさらにどのような影響を及ぼすのかについても評価すべきである。

開発や環境保全に関わる価値観は、開発による経済効果を優先するものから自然や伝統的景観を優先するものまで多岐にわたる。したがって環境影響評価は、環境を構成する要素と機能が開発によって被る影響を、できるだけ多面的に分析すべきである。

干拓予定地となっている中海本庄工区は中海・宍道湖の一連の汽水域の最も海よりの水域であり水深も比較的浅いことから、汽水域全体の生態系のなかで固有の役割

をになっている可能性が高い。したがってこの水域の干拓にあたっては、干拓が本庄工区のみならず中海・宍道湖の汽水生態系全体に与える影響を多面的に評価する必要がある。環境要素の一部に過ぎない水質のみにとどまらず、生物群集の組成と現存量、漁業資源生物の生産・再生産、稀少生物の有無、物質循環と水質浄化能力や、景観も含めた生活環境、観光地としての機能に至るまで、現況の解析と開発による影響の予測を中海・宍道湖との関わりも含めて、できるだけ多面的・定量的に行うことが求められる。

さらに、開発行為の影響を最も強く受けるのは地域住民であるから、影響評価の結果は可能な限り分かりやすく記載し、判断に必要なデータや手法の詳細は全て公開とすることが求められる。情報の公開は同時に、環境影響評価に関わる科学的知見の蓄積にとっても欠かせない条件である。

6. おわりに

本庄工区を含む中海・宍道湖の汽水域生態系の特徴と機能、さらに現代が求める環境影響評価のあり方に鑑みれば、水質のみに限定された島根県の環境影響評価事業は不十分である。千葉県の大湊湾三番瀬の例に倣って補足調査を実施し、十分な環境影響評価を行うことを期待したい。

巨大な開発事業が展開される現代にあつては、科学的な環境影響評価と、それに基づく国民の厳正な判断が求められる。そのためには科学の発展と普及が必要である。日本海洋学会海洋環境問題委員会はこのような確信に基づき、科学的な環境影響評価のあり方について引き続き具体的提案を行う決意である。関係各位の御理解をお願いしたい。

References

- 後藤慎二 (1987): 中海の堆積物と堆積速度. 昭和 61 年島根大学理学部地質学科卒業論文.
- Ishitobi, Y., H. Kamiya, K. Hayashi and M. Gomyoda (1989): The tidal exchange in Lake Shinji under low discharge conditions. *Jpn. J. Limnol.*, **50**, 105-113.
- Ishitobi, Y., H. Kamiya and H. Itogawa (1993): Tidal, meteorological and hydrological effects on the water level

- variation in a lagoon, Lake Shinji. *Jpn. J. Limnol.*, **54**, 69-79.
- 川那部浩哉 (1969): 川と湖の魚たち. 中央公論社, 196pp.
- 建設省中国地方建設局出雲工事事務所 (1993): 斐伊川水系の植物. 192pp.
- 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.
- 日本海洋学会海洋環境問題委員会 (1993): 閉鎖性水域の環境影響アセスメントに関する見解-東京湾三番瀬埋立を例として-. *海の研究*, **2**, 129-136.
- Nishio, T., I. Koike and A. Hattori (1982): Denitrification, nitrate reduction and oxygen consumption in coastal and estuarine sediments. *Appl. Environ. Microbiol.*, **43**, 648-653.
- Nishio, T., I. Koike and A. Hattori (1983): Estimation of the denitrification and nitrification in coastal and estuarine sediments. *Appl. Environ. Microbiol.*, **45**, 444-450.
- 農業土木学会宍道湖中海淡水湖化に伴う水管理及び生態変化に関する研究委員会 (1983): 宍道湖中海淡水湖化に関連する水理水質及び生態の挙動について中間報告. 642pp.
- 農林水産省中海干拓事務所 (1989): 中海干拓事業概要 (パンフレット).
- 大氏正巳 (1975): 主要魚類・貝類・鳥類の生息分布の推移に関する調査. 中海宍道湖の水質保全に関する調査報告書 (第1報), 55-67.
- 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, 201-211.
- 清家 泰・近藤邦男・伊達善夫・石田祐三郎 (1986a): 汽水湖・中海における窒素代謝 II-夏期における底泥表層部での脱窒特性-. *陸水学雑誌*, **47**, 133-141.
- 清家 泰・近藤邦男・伊達善夫・石田祐三郎 (1986b): 汽水湖・中海における窒素代謝 III-低酸素濃度下における硝化・脱窒-. *陸水学雑誌*, **47**, 269-278.
- Seitzinger, S. P. (1988): Denitrification in fresh water and coastal marine ecosystem: Ecological and geochemical significance. *Limnology and Oceanography*, **33**, 702-724.
- 島根県環境保全課 (1990): 宍道湖・中海 その環境と生物. 53pp.
- 島根県水産試験場 (1984): 昭和 58 年度赤潮対策技術開発試験報告書, 87pp.
- 新日本気象海洋株式会社 (1994): 宍道湖・中海水質予測事業 中間報告書 (本庄工区水質予測結果).
- 田中彌太郎 (1984): ヤマトシジミの塩分耐性について. *養殖研報* 6 号, 29-32.
- 山室真澄ほか 17 名 (1995): 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 6 年度国立機関公害防止等試験研究成果報告書, **50**, 1-15.