

# 中海生態系の長期変動と研究成果の活用方法に関する研究（第1報）

【水環境室】

宮本 康 奥田益算

## 1 はじめに

20世紀に入り、人間活動の活発化の下、世界中の湖沼で汚濁化が深刻化した<sup>1)</sup>。これを受けて、汚濁化した湖沼の再生に関する研究が進んだ。その結果、湖沼の再生方法は、対象とする湖沼が過去にどのように汚濁化したのか、その過程に応じた方法を用いなければならないことが明らかにされた<sup>1) 2) 3)</sup>。例えば、栄養塩の流入負荷が緩やかに増加していく中で汚濁化（植物プランクトンの増加）が徐々に進行した湖沼では（図1上）流入負荷の削減のみで再生が可能であるが、突発的に汚濁化した湖沼では（図1下）負荷削減に加えて、バイオマニピュレーションや水位操作等のショックを同時に与えないと、再生が不可能であることが、理論・実証研究の結果より示されている<sup>3) 4)</sup>。事実、この点を考慮しなかった古典的な浄化施策（流入負荷の削減のみによる湖沼再生の試み）は世界的に失敗例が多い<sup>1)</sup>。したがって、湖沼再生の第一歩は、対象とする湖沼の汚濁化の歴史を明らかにすることであると言える。

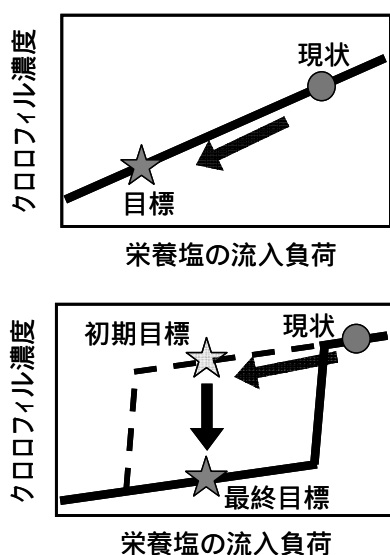


図1. 湖沼の汚濁化の過程（上：徐々に汚濁化、下：突発的に汚濁化）とそれに応じた再生方法を示した概念図。矢印と数字は再生の方向と順番を示す。

そこで本研究は、中海の環境に関する文献情報の整理と、堆積学的・古生物学的アプローチを併用して、人間活動が活発化した過去約100年間ににおける中海の汚濁化の過程を明らかにし、中海再生の礎を作ることを目的とした。この調査研究を実施中、湯梨浜町民より東郷池に関しても調査の要望があったため、文献資料の整理により過去50年間ににおける東郷池の汚濁化の過程を明らかにした。

なお、本研究の主な成果は学術誌に投稿中であるため、以下の内容（方法・結果・考察）は概要の紹介にとどめる。

## 2 方法

### 1) 中海

#### (1) 文献調査

過去90年間に行われた中海の水質・植物プランクトン・沿岸の藻場・湖底の二枚貝類を対象として行われた調査の報告書・学術論文等を収集し、それぞれがどの時代にどのように変化したのかを年表として整理した。

#### (2) 底質コア試料の分析

中海の2地点（湖心・本庄水域）において過去約100年分の底質コア試料を口径10cmの不攪乱コア採泥器を用いて採集した。得られたコア試料は1cm厚に分割し、年代測定を行った後、各分画の全窒素（TN）・全有機炭素（TOC）・窒素と炭素の安定同位体比（ $^{15}\text{N}$ ・ $^{13}\text{C}$ ）・珪藻の分析に供した。コア試料の採集と分析は島根大学汽水域研究センター、同生物資源科学部、および海洋研究開発機構と共同で行った。

### 2) 東郷池

東郷池に関しては文献調査のみを行った。過去50年間に行われた東郷池の水質・植物プランクトン・藻場・底生動物を対象として行われた調査の報告書・学術論文等を収集し、それぞれがどの時代にど

のように変化したのかを整理した。

### 3 結果及び考察


#### 1) 中海

湖心では1950年代に植物プランクトンの珪藻類が突発的に増加したことがコア試料の分析により明らかになった。これは、浮遊性の種が急激に増加したことが原因であった。こうした珪藻群集の変化が生じた直後（1960年代の初頭）に、TNとTOCが急激に増加した。これらの結果より、湖心では1950年代における浮遊性珪藻の突発的な増加が、有機物の湖内負荷を増加させたことが示唆された。

以上の結果は文献資料の整理結果とも符合した。1950年代には藻場の著しい衰退と貝類の減少が確認されている（表1）。これは、（1）珪藻の急増に基づく透明度の低下と、（2）有機物の湖内負荷の増大に基づく下層の貧酸素化を反映したものと考えられる。

表1. 中海の湖心付近に関する文献資料の整理結果とコア試料の分析結果の比較。

年代	文献資料	コア試料
1940～50年代		<b>種組成の変化</b> -浮遊種の増加 -藻場付着・底生種の減少
1950年代	夏季の湖底で無DO化 苦潮の発生頻度が増加 アマモ類が消失 サルボウ漁場が本庄へ	<b>珪藻全数の急激な増加</b>
1970年代	渦鞭毛藻による赤潮が発生	




本庄水域でも、珪藻が急激に増加したことがコア試料の分析により確認された。しかし、珪藻の組成と有機物負荷の変化パターンは湖心とは異なっていた。本庄水域では、1960～80年に浮遊性珪藻が徐々に増加し、珪藻の多様性が低下した。同時に、TNとTOCの堆積速度も徐々に増加した。珪藻全数の突発的な増加は、この一連の変化が生じた後の1990年以降に見られたが、その後のTNとTOCの急激な増加は確認されなかった。

このように、本庄水域では湖心に遅れて汚濁化が

生じたことが示されたが、この結果も文献資料の整理結果と符合する（表2）。湖心の汚濁化が生じた後の1960年代、湖心付近の底質は還元性であったのに対し、本庄水域の底質は酸化性であった。さらに、サルボウの衰退は、湖心付近で先に生じたことが文献資料に記載されている。

表2. 本庄水域に関する文献資料の整理結果とコア試料の分析結果の比較。

年代	文献資料	コア試料
1960～70年代		<b>種組成の変化</b> -浮遊種の増加 -藻場付着・底生種の減少
1970年代	サルボウ漁の終焉（後半）	
1980年代		TN・TOCの急激な増加
1990年代	夏季の湖底で無DO化	<b>珪藻全数の急激な増加</b>
2000年代	苦潮の発生（漁業者からの情報）	



なお、水域間での汚濁化のタイミングの違いは、流入海水の影響の違いを反映したものと考えられた。事実、海水の流入口に近い本庄の炭素同位体比（ $^{13}C$ ）は湖心に較べて常に高い値を示していた。この結果は、本庄水域に堆積した炭素の起源が、海洋由来のものが多いことを示している。

以上の結果より、中海は水域毎にタイミングは異なるものの、20世紀に突発的な汚濁化が生じ、これが浮遊性珪藻の突発的な増加に起因することが示唆された。

#### 2) 東郷池

本湖では1973年の7月に魚介類の大量死（約300トン、年間漁獲量の約7割）が生じ、その後、1990年代の初頭まで漁獲不振が続いたことが、漁獲統計を整理した結果明らかになった（図2）。そしてほぼ同時期に、水深3m以深の2地点にて夏季の貧酸素化が下層で度々観測され（図2）この貧酸素化と同調して下層のTN・TPに著しい増大傾向が認められた。これらの結果は、本湖が1970年代から1990年代の初頭にかけて汚濁化が深刻化したことを示している。

さらに、夏季の下層における貧酸素化は、塩分躍層の発達により促されることが示された。塩分躍層の発達は外的な環境要因（河川水の流入・潮汐・風）の影響下にあることが報告されているが<sup>5) 6)</sup>、入手可能な環境要因（降水量・日本海の海面・風力）と塩分躍層の関係を調べた結果、東郷池では海面の上昇と風力の低下が夏季の塩分躍層の発達を促していることが示された。

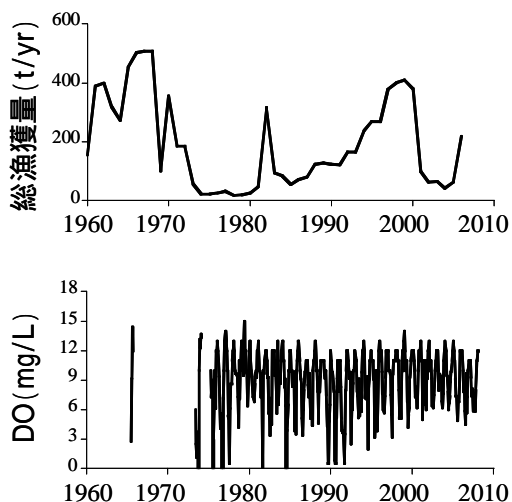


図2. 1960-2007年における東郷池の総漁獲量(上)と湖底の溶存酸素量(松崎地先)(下)の経時変化。1970年代から1990年代初頭にかけて漁獲が低迷し、湖底の貧酸素化が進行したことが分かる。

しかし、1990年代の中盤以降、夏季の貧酸素化が全ての観測点で記録されなくなり、漁獲量も1960年代のレベルまで回復した(図2)。これは貧酸素化の解消を反映しているのではなく、近年の貧酸素化が深い地点(水深3m以深)でのみ生じるようになったことを反映していることが明らかになった。この傾向は橋津川の樋門操作による海水の流入抑制が行われるようになった直後から生じた。したがって、近年の樋門操作が貧酸素化の抑制と漁業不振からの脱却を導いたと考えることができる。

以上の結果より、東郷池の水質と漁獲量は海水の流入と密接に関わっていること、そして、下流域における海水流入の管理が本湖の価値を高める上で重要であることが示唆された。

#### 4 まとめ

本調査研究のこれまでの成果を要約すると以下の通りである。

- (1) 中海は突発的に汚濁化が進んだこと、一方、東郷池は、突発性は定かではないが、1960年代後半から1970年代前半にかけて汚濁化が進んだことが明らかになった。
- (2) 両湖とも、湖沼の状態(水質や生物相)の変化に海水の流入が関与していることが示唆された。

これまで、両湖の浄化対策は主に上流側の対策(流入対策)に主眼が置かれていたが、本研究の結果は、汽水湖である両湖の場合、下流側の対策(海水流入の制御)も重要であることを示唆している。

なお、東郷池に関する成果の一部は「東郷湖物語」として日本海新聞に掲載されるとともに(平成19年11月20~29日:全4回)この物語で提唱した「モク肥料プロジェクト」が地元湯梨浜町の「東郷湖の水質浄化を進める会」で事業化される等、東郷池の自然再生活動に大きな影響を与えた。こうした波及効果は、本調査研究のアプローチが自然再生活動の大きなきっかけになり得ることを示唆するものである。

#### 5 謝辞

中海の調査研究は、島根大学汽水域研究センター、同大学生物資源科学部、および海洋研究開発機構と共同で行いました。さらに、本湖の文献資料を集める上で、鳥取県水産試験場と栽培漁業センターの協力を得ました。また、東郷池の調査研究を進める上で、鳥取県栽培漁業センターと東郷湖メダカの会の協力を得ました。以上の機関とスタッフの方々に厚く御礼申し上げます。

#### 6 参考文献

- 1) Carpenter SR (2003) Regime shifts in lake ecosystems: pattern and variation. Volume 15 in the Excellence of Ecology Series. Ecology Institute, Oldendorf/Luhe, Germany.
- 2) Scheffer M (1998) Ecology of Shallow lakes. Chapman and Hall, London, UK.
- 3) Carpenter SR, Ludwig D, Brock WA (1999) Management of eutrophication for lakes subject to potentially irreversible change. Ecological Application

9: 751-771.

- 4 )Scheffer M, Hosper SH, Meijer ML, Moss B, Jeppesen E (1993) Alternative equilibria in shallow lakes. Trends in Ecology and Evolution 8: 275-279.
- 5 ) Welsh BL, Eller FG (1991) Mechanisms controlling summertime oxygen depletion in western Long Island Sound. Estuaries 14: 264-278.
- 6 ) Stanley DW, Nixon SW (1992) Stratification and bottom-water hypoxia in the Pamlico river estuary. Estuaries 15: 270-281.