

霞ヶ浦臨湖実験施設研究発表会
講演報告集 — 4 —

Proceedings of Conference on Limnological Studies at the Kasumigaura
Water Research Station, NIES. Part 4

相崎 守弘 編
Edited by Morihiro Aizaki

THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

環境庁 国立公害研究所

序

霞ヶ浦臨湖実験施設では、施設を利用した研究の成果を発表する研究発表会を毎年1回開催している。本年も5月26日に第5回の研究発表会を行った。昨年は「アオコ」をテーマにしたシンポジウムを合わせて開催し、多数の参加者を得て有意義な意見交換が出来た。本年は施設の立地場所から常に興味をもって研究してきた霞ヶ浦を取り上げ、「霞ヶ浦はきれいになったか？」をテーマにしたシンポジウムを合わせて開催した。ここ数年、霞ヶ浦ではアオコの発生量が減少し、冬期の透明度が過去最高の値を記録するなど水質に変化がみられている。このような変化は、1982年に施行された霞ヶ浦富栄養化防止条例や各種負荷源対策の効果が現れ、ほんとうに霞ヶ浦がきれいになってきたことによるのか、それとも気象条件や湖沼遷移過程であられる一時的な現象なのか？

今回のシンポジウムでは国立公害研究所の研究者の他に茨城県の関係者の方々の参加をいただき、過去の霞ヶ浦開発と水質変化、流域における負荷削減の現状、湖内の水質や生態系の変化の現状及び漁業からみた霞ヶ浦の現状など多方面から発表していただき有意義な検討会を開催することが出来た。またこの発表会には、所外から5県27名の環境部局担当者や霞ヶ浦に関係する方々のご参加を得、貴重なご意見をいただいた。

本講演報告集はこの研究発表会とシンポジウムの予稿をもとに、若干修正を加え、さらに本施設で実験用水として取水している霞ヶ浦湖水の水質データを付け加えてまとめたものである。

水質土壌環境部

部長 須藤 隆一

(霞ヶ浦臨湖実験施設管理委員会委員長)

目 次

I. シンポジウム「霞ヶ浦はきれいになったか？」	
1. 霞ヶ浦開発と水質変化	1
原沢英夫	
2. 流域環境変化と河川水質	15
山本哲也	
3. 霞ヶ浦水質の長期的変動の最近の特徴について	31
河合崇欣・野尻幸宏・全域調査グループ	
4. 霞ヶ浦の水質変動とイサザアミ	39
春日清一	
5. 漁業から見た環境変化	49
浜田篤信	
II. 臨湖実験施設研究発表	
1. 東京湾における青潮に関する研究	55
田中秀之・相崎守弘	
2. 河川流下過程における農薬の変化	63
井上隆信	
3. 炭酸ガスの湖、ニオス湖の調査について	67
野尻幸宏	
4. アオコの優占培養に関する研究	73
相崎守弘	
5. 霞ヶ浦におけるコウホネ沈水葉の光合成特性と 現存量及び環境要因の季節変化	87
荒巻 稔・土谷岳令	
6. 霞ヶ浦の水位変動のハス群落への影響	101
野原精一・土谷岳令	
7. 臨湖実験施設における霞ヶ浦湖水の水質モニタリング結果	109
相崎守弘	
III. 資料	
1. 第5回霞ヶ浦臨湖実験施設研究発表会プログラム	123
2. 第5回霞ヶ浦臨湖実験施設研究発表会参加者一覧	124
3. 平成元年度施設利用計画	126
4. 施設を利用した研究成果の一覧	127

霞ヶ浦開発と水質変化

原沢英夫 (総合解析部)

1 はじめに

霞ヶ浦は、1963年に常陸川水門(逆水門)が建設されて以来、水資源開発を中心とした霞ヶ浦開発事業や流域内の大規模開発(研究学園都市や鹿島臨海工業地帯)が進展し、その結果湖の富栄養化が加速された。湖沼の富栄養化は先進国、発展途上国を問わず解決すべき重大な環境問題のひとつとなっている。特に途上国においては、急激な開発圧力、人口増による環境破壊が進行しており、環境保全の重要性が認識されてはいるものの開発と環境保全を調和させた持続可能な開発をすすめるのは実際上困難なことが多い。霞ヶ浦の開発と環境保全を現時点でふりかえっておくことは、今後の水質管理を考える上で貴重な知見になる。同時に、開発途上国に対して日本の経験や知見を提供する国際協力の一環としても意義があろう。

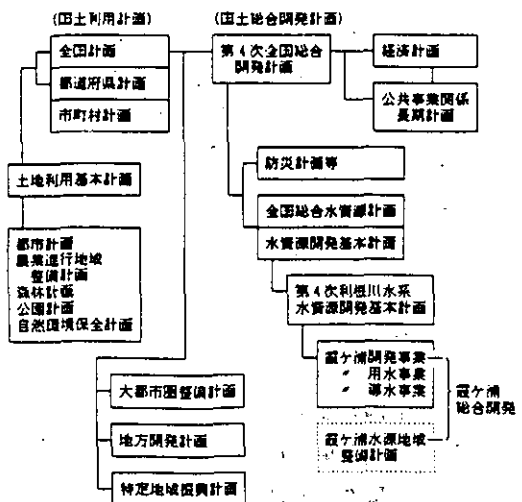
霞ヶ浦について、従来得られた知見や水質管理上の経験をまとめること、また分かりやすく情報提供していくことは、現在国連地域開発センター(UNCRD)、国際湖沼環境委員会(I LBC)、国連環境計画(UNEP)の国際的な共同プロジェクトの中で検討されている。国公研でも流域管理を中心としたグループが組織され、茨城県(霞ヶ浦対策課)の支援も得ながら活動を行ってきた。今年度は最終年度であり霞ヶ浦の経験や開発と環境保全の競合等について整理する予定である。本プロジェクトの概要については文献を参考にされたい¹⁾。

本報告においては、霞ヶ浦グループが調査研究の過程で収集した霞ヶ浦の湖・流域開発と環境保全についての情報をもとに、開発と環境変化、特に水質変化に焦点をあて整理してみる。

2 霞ヶ浦総合開発

霞ヶ浦総合開発は、治水事業と利水事業(水資源開発)を目的とした「霞ヶ浦開発事業」と開発事業の影響緩和と水質保全対策事業を柱とした「霞ヶ浦水源地域整備事業」からなるが、広義には霞ヶ浦導水事業や霞ヶ浦用水事業も含めることができよう。これらの諸事業については実施主体や事業費の分担等が錯綜しており、非常に分かりづらいものとなっている。霞ヶ浦開発事業は霞ヶ浦を中心とした水資源開発事業であり、その上位計画として利根川水系水資源計画(フルプラン)、国レベルの「全国総合水資源計画」、「全国総合開発計画」がある(図1)。

図1 国土に関する諸計画の体系(国土庁資料による)



2.1 霞ヶ浦の総合開発の経緯^{2), 3), 4)}

2.1.1 霞ヶ浦の治水

常陸川水門の出来る以前は、長い間洪水の被害を被っており、湖周辺の農地は非常に生産性が低く、また洪水により土浦市街が水没したこともあった。終戦直後（1948年）には、治水事業を推進するため、利根川下流開発委員会の設立を決定している。翌49年には、第1回の利根川下流開発委員会が開かれ、霞ヶ浦治水基本方針と霞ヶ浦放水路事業・湖岸堤建設の実施方針が決定されている。すなわち、当時最大の懸案事項は治水であった。

次に示す治水の基本方針は今日まで、開発事業や水管理の基本方針として受け継がれている。

一 霞ヶ浦の治水基本方針 一

(1)霞ヶ浦の最高水位をY.P.+2.85mに達せしめない。

(2)霞ヶ浦のY.P.+2.0m以上の洪水位を7日以上持続させない。

この治水方針は、1938年、1941年の洪水をもとに設定されたもので、堤防天端高Y.P.+3.00mの湖岸堤を建設し、常陸川水門（逆水門）とともに湖周辺地域を洪水の被害から守ろうとするものである。水門は治水（洪水防御）のための基本的な施設であると同時に周辺農地の塩害を防ぐための塩水侵入防止（淡水化）の役割も兼ねており、以後の水資源開発と環境保全に重大な影響を与えた。

2.1.2 広域水資源計画（利根川水系水資源開発基本計画）

1961年11月に水資源の開発と水利用の合理化を推進するための水二法（水資源開発促進法、水資源開発公団法）が制定され、霞ヶ浦を含む利根川水系が水資源開発促進法に基づく水資源開発水系に指定された（1962年）。これを受けて、利根川水系水資源開発基本計画（第一次フルプラン）が閣議決定され、霞ヶ浦開発計画の樹立方針が定められた。具体的な計画は、1967年建設省による霞ヶ浦開発構想のとりまとめの後、翌1968年から霞ヶ浦開発実施調査が始まっている。

霞ヶ浦開発事業の上位計画である利根川水資源開発基本計画（フルプラン）は1962年に策定後3回の改定を経て、四全総、全国総合水資源計画との整合をとって1988年2月に改定され第4次フルプランとなっている。フルプランの改定は、経済・社会の変化を反映して変更されるもので、利根川・荒川水系及び霞ヶ浦の位置づけが時代とともに変化してきたことを物語っている。

フルプランにおける霞ヶ浦開発事業の目的は、「既設の常陸川水門と合わせて、湖周辺の洪水を防除するとともに、茨城県石岡台地地区等の農地に対して、必要な農業用水を確保し、茨城県、千葉県及び東京都の都市用水を確保するものである。なお、この事業の実施にあたっては、水産業に及ぼす影響について充分配慮する」と記されている。

2.1.3 霞ヶ浦と鹿島臨海工業地帯との関係

霞ヶ浦開発事業は、基本的には水資源開発事業であり、増大する茨城県や首都圏の水需要と鹿島臨海工業地帯への工業用水供給に應えるため、1970年7月に閣議決定された「第二次フルプラン」に対応している。

鹿島工業地帯は、1961年2月に造成計画（マスタープラン）が策定され、1969年2月に

は国の工業整備特別区域に指定された鉄工業、重化学工業を中心としたコンビナートである。この地区を対象とした水利用としては、鹿島上水道と鹿島工業用水道がある。1969年には、第一期の鹿島工業用水の供給が開始されたが、特に鹿島工業用水道は霞ヶ浦の開発を考える上で重要である。

・鹿島工業用水道⁴⁾

現在霞ヶ浦水系から工業用水を取水しているのは、鹿島工業用水道だけである（他に計画中が2か所）。進出企業の水需要に対応する施設は、3期に分けて整備が進められた。第一期事業は、日量21万トン（うち1万トンは地下水）を供給する施設で、1966年から6ヶ年の計画で着工された。第二期事業は、1969年から8ヶ年計画で着工され、日量60万トンで、第一、二期ともに霞ヶ浦（一部地下水）を水源としている。合わせて45工場、3事業場に給水している。

第三期事業は、日量53.5万トン、1972年から9ヶ年の計画で着手されたが、その後の情勢の変化で、事業は日量30万トンに縮小、工期も1972年から1989年に延長された。第三期拡張工事の縮小は、オイルショック等の影響もあり、企業が節水型のプロセスへの変更や水の再利用など合理化努力を行った結果、当初計画した水量は必要無くなったものと考えられる。鹿島企業群の取水量は、1973年の調査では $3.14\text{m}^3/\text{s}$ （日量26.1万 m^3 ）、1985年には $4.14\text{m}^3/\text{s}$ （日量357,800 m^3 、工業用水統計による）と増加しているが、二期までの供給能力81万 $\text{m}^3/\text{日}$ のうち約半分であり、供給能力にはまだ余裕がある。

2.2 霞ヶ浦総合開発関連計画の内容^{5, 6, 7)}

1960年から1970年代にかけて、霞ヶ浦流域では、鹿島臨海工業地帯の造成や筑波研究学園都市建設事業が相次いで具体化した。並行して水資源開発事業が浮上し、1968年に霞ヶ浦開発事業が建設省直轄で着工した。主な事業の期間、主管、費用を表1に示した。

2.2.1 霞ヶ浦総合開発

前述のように霞ヶ浦開発事業と水源地域特別措置法に基づく水源地域整備事業を合わせて「霞ヶ浦総合開発」と称されている。また1973年に茨城県議会に設置された霞ヶ浦総合開発調査特別委員会の報告にもとづき、茨城県は「霞ヶ浦総合開発計画」を策定しているが、これは治水・利水面では基本的に国の策定した霞ヶ浦開発事業を踏襲し、さらに水質保全と地域開発を加味した総合的な計画であった。その後、1975年に開発事業による生産機能、生活環境等に及ぼす影響を緩和し、また水質の保全を図るための水源地域特別措置法ができ、霞ヶ浦もその対象水域となって以降、水源地域整備事業が実施されている。

(1) 霞ヶ浦開発事業の目的

- ・治水：天端高Y.P.+3.00mの湖岸堤を新築及び改築し、別途実施される河川改修事業と併せて、湖周辺の洪水を防除するものとする。
- ・利水（図2、表2）：特定かんがい用水については、この事業により、茨城県石岡台地神之池、小野川、霞ヶ浦用水の各地区の農地約32800 haに対し、かんがい用水として、かんがい期平均約 $18.13\text{m}^3/\text{s}$ 及び千葉県北総東部、東総の各地区の農地約8700haに対しかんがい用水の一部として、かんがい期平均 $1.43\text{m}^3/\text{s}$ を供給するものとする。

都市用水については、この事業により、茨城県、千葉県及び東京都に対して、都市用水

(水道用水+工業用水)として23.36 m³/sを供給する。

(2) 主な工事

常陸川水門改修工事, 湖岸堤防工事, 流入河川工事, 導水路工事, 管理設備工事, 内水・用水対策, 舟運対策

(3) 湖水位, 貯水容量配分—治水と利水

湖の洪水時の満水位Y.P. +2.85m, 常時満水位Y.P. +1.30m, 夏期制限水位Y.P. +1.20m, 最低水位Y.P. ± 0m と定め, 総貯水量12.53 億m³, 有効貯水量6.17億m³とする(図—3 参照)。容量配分は, 治水については, Y.P. +1.3mからY.P. +2.85m までの3.39億m³とし, 特定かんがい及び都市用水については, Y.P. ± 0m からY.P. +1.30mまでの2.78億m³とする。湖の使用基準としては,

・治水については, 夏期制限期間(6月1日から7月31日までの期間)においては, 洪水時を除き, 水位をY.P. +1.2m 以下に制限するものとし, 洪水貯留のため治水容量3.61億m³を確保するものとする。なお, 夏期制限期間以外の期間においてもY.P. +1.3m からY.P. +1.85mまでの容量3.39億m³を洪水貯留のために確保する。計画高水位をY.P. +2.85m以下にとどめることを基本条件としているため, 天端高Y.P. +3.00mの湖岸堤の築造や常陸利根川の改修を実施するとともに, 既設の常陸川水門により利根川の逆流防止を図るものとしている。

・利水については, 利用下限水位±0mから上限水位Y.P. +1.30m の間において, 特定かんがい容量1.056 億m³, 都市用水容量1.724 億m³を利用して用水の供給を可能とする。利水計画としては, 常陸川水門の操作により, 塩水の侵入を防止することによって, 水門上流を淡水化し, Y.P. ±0.0mよりY.P. +1.30mまでの調整容量2.78億m³を利用して新規に約43m³/s(上水道用水約5.56m³/s, 工業用水約17.8m³/s, 農業用水約19.56m³/s)の水を開発するものとしている。

水質保全対策上特に注目すべき点は, 利用下限水位が, Y.P. ±0.0mとなっていることである。Y.P. ±0.00m という事業計画の下限水位は未だかつて経験したことのない水位であり, この水位まで低下した時や, 水位が2mも変動した時に, 湖にどのような影響を与えるかなど影響面については, 当時アセスメント自体が未成熟であり, 制度もないために十分行われなかったようである。幸い工業用水などの取水量が当初計画より大幅に下回っているために, 水位は約+1.0m の平水位を大きく下回るような状況には至っていない, また降雨時を除いて, 水位変動も当初考えられた程, 大きなものとはなっていない。

(4) 費用

霞ヶ浦開発の工期並びに事業費用は, 当初は1968~1975年度約 315億円とされていた。しかし, 上位計画に当たる第2次フルプランが1976年4月に全面的に変更されて3次フルプランになったのに伴い, 工期は85年までに延ばされ, 事業費も約1300億円と大幅に拡大されている。さらに, 最近4次フルプランへ変更され, 工期は1992年まで, 事業費も約2,900億円と増大している。関連事業も含めると 1兆円にも及ぶビックプロジェクトとなっている。

2.2.2 水源地域整備事業

霞ヶ浦開発事業による生産機能, 生活環境等に及ぼす影響を緩和し, あわせて霞ヶ浦の

表3 水源地域整備計画の概要(茨城県分)

項目	事業費	事業量(事業主体)
水質保全対策事業	(%)	
(1)土地改良	5.58	141集落(市町村等)
農業集落排水施設整備		
(2)流入河川浄化事業	0.16	10河川浚せつ85,790m ³ (県)
(3)霞ヶ浦浄化事業	1.13	2箇所浚せつ1,200,000m ³ (国)
(4)下水道事業	69.84	流域3,公共31箇所518,600人(県,市町村)
(5)畜産汚水処理施設整備	2.37	80地区(農業開発事業団,市町村,農協)
(6)し尿処理施設整備事業	3.25	17地区(市町村,一部事務組合)
(7)ごみ処理施設整備事業	2.04	16地区(市町,一部事務組合)
影響緩和対策事業		
(1)土地改良ほ場整備	9.73	49地区5,088ha(県,市町村)
(2)河川改修事業	3.00	16河川40,065m(県)
(3)漁港整備事業	0.01	3港(県,市町村)
(4)水産資源保護培養事業	0.21	25箇所(県,漁連,漁協)
(5)水産物流通施設整備事業	0.003	2箇所(漁協)
(6)自然公園施設整備事業	0.09	4地区128,000m ² (県)
(7)簡易水道整備事業	2.59	15箇所57,526人(町,村)
合計	100.0	費用合計4,169億円

水質を保全を図るため水源地域対策特別措置法に基づく水源地域整備が実施されている。その事業内容は、影響緩和対策事業と、水質保全対策事業に分かれるが、その内容は極めて多彩である。予定工期は、霞ヶ浦開発事業に合わせて、1975～1983年度(2635億円)であったが、水質保全対策が強化拡充され、開発事業計画の延長に対応して、1990年度まで工期が延長され、費用も4169億円となっている。

表3は水源地域整備計画の概要を示したものである。特に下水道整備の比重が高く、2840億円(69.8%)となっている。下水道のほかには水質保全対策として、農業集落排水事業、流入河川浄化、畜産汚水処理、し尿処理施設、ごみ処理施設の7事業がある。

2.2.3 霞ヶ浦導水事業⁸⁾

導水事業は、霞ヶ浦流域の北に位置する那珂川下流部、霞ヶ浦および利根川下流部を連絡する延長約44kmに及ぶ多目的導水路を建設する事業である。年間約6.5億m³を導水路によって各水系相互に導水し、霞ヶ浦の水質浄化を図るとともに、渇水時に不足する既得用水に対しての用水補給や、増大する茨城県及び首都圏の水需要に対処するための新規都市用水の開発を行うものである(表4)。

2.2.4 霞ヶ浦用水事業⁹⁾

県南西部の29市町村に霞ヶ浦等を水源として水道用水、工業用水、農業用水を安定的に供給する総合用水事業である(表5)。

表4 霞ヶ浦導水事業の開発用水の使用先

(単位: m³/秒)

用途別	茨城県	千葉県	東京都	埼玉県	計
水道用水	6.60	1.26	1.40	0.94	10.20
工業用水	2.10	0.40	--	--	2.50
計	8.70	1.66	1.40	0.94	12.70

表5 霞ヶ浦用水事業の開発用水の使用先

(単位: m³/秒)

用途別	最大総水量	備考
水道用水	0.58	給水人口292,000人
工業用水	1.06	最大85,000m ³ /日
農業用水	17.76	灌漑面積約21,600ha
計	19.40	

2.3 水資源開発に係る問題

2.3.1 計画過程での関連機関の調整

国営事業として霞ヶ浦開発事業が策定されたのに伴い、茨城県は「霞ヶ浦総合開発基本計画」を策定した。国主導型の治水・利水を中核とした霞ヶ浦開発に対して、県側は環境面への配慮をも含めた総合的な開発の必要性を主張した点は、当時開発中心であった趨勢を考慮すると注目すべき事実と言えよう。しかし、治水、利水、水質保全、地域開発をセットにした「総合開発方式」は、理想的な計画であるが、事業相互の関連等が考慮されておらず、また環境アセスメントによりその複合的影響が評価されることがなかったこと、また、国主体の霞ヶ浦開発事業の主な目的は、鹿島地域への工業用水供給や東京都市圏への水供給が考えられていたことから、結局開発主導型の事業になっており、後追的に環境保全対策が実施されて今日に至っている。

2.3.2 水配分に関する競合の発生

霞ヶ浦開発事業で生み出す $43\text{m}^3/\text{s}$ は流域からの年間平均流出量約14億 m^3 （年間平均流出率49%）の大半、年間平均降水量（28.2億 m^3 ）の約半分を占める。事業の開発水量の配分については、特に霞ヶ浦を維持する水源県として茨城県では、行政上の重大関心事であったことは確かであろう。

霞ヶ浦開発が首都圏、特に東京都の水不足が霞ヶ浦開発の背後にあったこと、利根川上流部のダム群建設にも限界があり、約8億 m^3 の水をたたえる霞ヶ浦が首都圏の水資源として期待されるのも十分な根拠があった。茨城県としても、大規模開発（鹿島、研究学園都市）計画をもち、地域発展の核にしようとした時期でもあり、水量配分に関心が高かった。また費用面でも、同じ毎秒 $1\text{m}^3/\text{s}$ の水開発では、利根川のダム開発によるよりも、霞ヶ浦の方が $1/2 \sim 1/3$ と安かったともいわれている。水配分については、既に表2のように決定されているが、この配分量の根拠については資料が入手できないため不明である。

2.3.3 水需要予測に関する問題

霞ヶ浦開発事業は、前述したように茨城県（鹿島臨海工業地帯など）や首都圏への水供給を念頭において計画されている。鹿島の工業用水道は現在では、給水能力の半分程度で供給されている。当初の計画では、鹿島地区の工業用水が1980年には200万 m^3 /日までに増加し、そのうち140万 m^3 を霞ヶ浦で生み出すことになっていたが、第三次拡張はその後の社会情勢の変化により大幅に縮小された。

社会・経済の変化、特に重厚長大産業から、軽薄短小産業へと移行し、2回のオイルショックによる生産の縮小や、水利用の合理化技術の進歩などの影響によって、需要予測値と実績値が大きく食い違ってきたわけである。一度スタートした計画は、社会の実情に合わせて計画を変更するといったことは、一般に大変困難な場合が多い。特に行政計画として国営事業の場合は、その影響は大であることを考慮すると、計画当初の需要予測の重要性と比較的長期間にわたる水資源施設の建設途中での見直しなどフレキシブルな計画が必要であることが指摘できる。

2.3.4 水資源開発と環境問題

霞ヶ浦開発において、常陸川水門、湖岸堤防によって湖を貯水池にすることになった。

従来水深が浅いために自然状態でも富栄養化しやすい湖沼であったが、水門や湖岸堤防などによる貯水池化によって、水質悪化が進んだ。自然環境の改変や、既存施設への影響については、水源地域対策特別措置法によって整備計画を策定し対処する制度が確立している。こうした影響緩和、水質保全対策をも含めた治水・利水事業、いわゆる総合開発方式がとられているが、総合的な環境アセスメント（計画アセスメント）については、当時制度もなかったため実施されておらず、各個別事業について担当機関が自ら実施しているにすぎない。広域的、且つ有機的に関連する水資源施設の建設、運用時の環境影響を予測し、評価することは、環境面への配慮を計画へ反映させる最も重要な点であろう。

2.3.5 流域を越えた導水の問題点

浄化用水の導入は、霞ヶ浦の水質浄化を図るうえで効果的な方法と考えられており、実際の計画でもCODで約2 ppmの水質浄化効果がある予測されているが、一方問題もないわけではない。列挙すると、①建設コスト、運用コストと費用負担、②導水による霞ヶ浦の水理状況や生態系に与える影響、③沿線4市町を通過するが、各市町や県、国の地元水利権に対する要求が高まっていることなどが、指摘されている。

3 霞ヶ浦の水質変化⁹⁾

霞ヶ浦開発事業や流域内の大規模開発により流域内の人間活動が活発になるにつれ、湖水質も悪化していった。

3.1 淡水化の影響

常陸川水門や湖岸堤による湖の貯水池化は、本来汽水性湖沼であった霞ヶ浦を淡水化することになった。淡水化の影響を挙げれば、

①直接的な影響

- 魚種構成の変化 汽水性魚種の死滅、遡河性魚種の減少
- 水位変動 沿岸植物帯の減少、消失（魚の産卵・成育場所、干潟）
- 海水の出入り 湖水浄化（希釈）効果の減少
- 湖滞留時間の変化 植物プランクトンの増殖
- 景観の悪化 景観の遮断
- 砂浜の消失 自然浄化機能の低下、消失や湖岸堤防によるあし原等植物の消失
水泳適地の減少・廃止

②間接的な影響

- 富栄養化の促進
- 取水施設などの利用不可（再投資が必要）

これらの諸影響は複雑に関連しているが、概略整理してみたのが図4、5である。湖の淡水化は開発途上国における水資源確保の一つの手段として取り上げられており、環境アセスメントを行う際のチェックリストとして役立つであろう。

3.2 水質の経年変化の特徴

3.2.1 塩分濃度

図4 活動一湖環境変化マトリクス

原因(区) (影響度)		湖環境変化マトリクス																	
		湖内					湖辺			流域									
		淡水化	水位変動	海水の出入り	水理状況変化	滞留時間	湖面積	汚濁物流入	湖水浄化	砂浜の減少	湿地等の減少	景観の悪化	内水排除	森林減少	土壌侵食	汚濁物流入	非特定汚染源	自然浄化機能	河川水浄化
湖	水質汚染 ・運水門(常陸川水門)	○	○	○	○	○													
湖	・湖岸堤防		○			○	△			○	○	○							
	・取水(農業・工業・生活用水)		○		△	△													
湖	・導水(霞ヶ浦導水)				△	○			○			△							
	・川橋修復工事												△						○
湖	・川底しゃんせつ												△						○
	湖内養殖 ・コイ養殖				△		△	○											
流	工業開発 ・福島臨海工業地帯													○	△		△		
	・内陸工業団地													○	○	△	△		
	・工場排水								○										○
域	住宅、事業地区開発 ・筑波研究学園都市														○	△	△	○	○
	・ミニ住宅開発														○	○	△	○	○
	・下水道整備								○										
	農業開発 ・干拓・埋め立て							○			○	○	△	△					○
	・農地改良																○	○	○
	・かんがい用水システム								○										○
	・畜産																		○
	・はず田開発								○							△		○	○

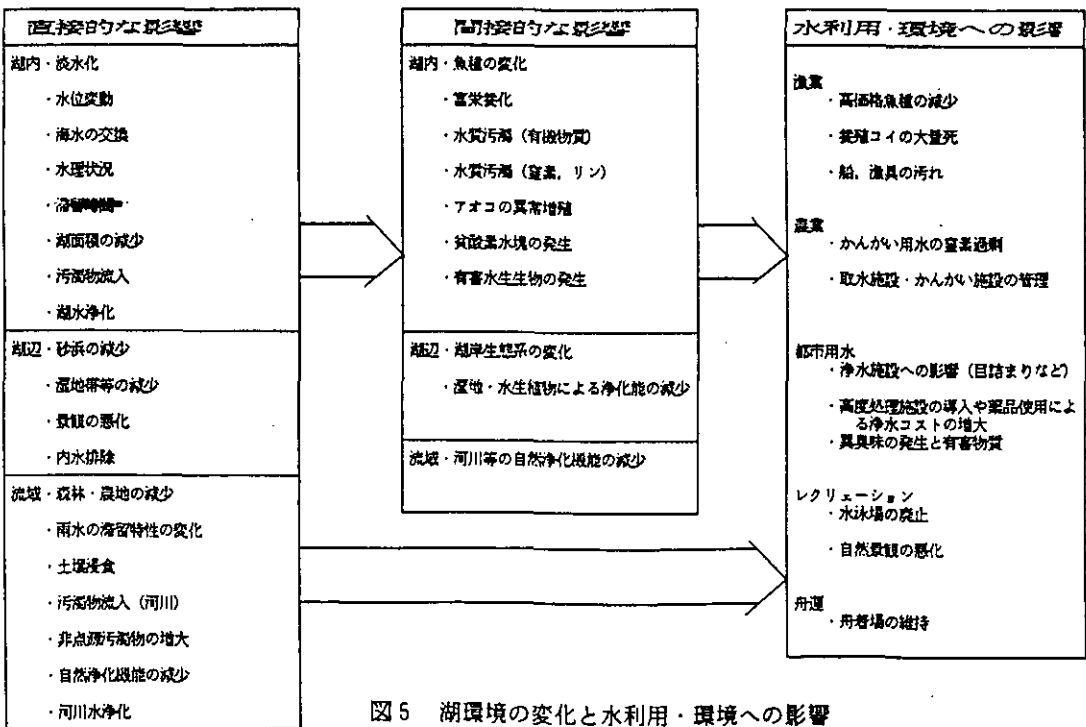


図5 湖環境の変化と水利用・環境への影響

図6は西浦（湖心部の木原）における塩分濃度の経年変化を示したものである。1974年までは50～100mg/lの範囲で変動している。1963年の水門完成後には水門で塩分調節をしているにもかかわらず、塩分の変動傾向は以前とかわっていない。この理由として、①利根川水系の水資源開発により利根川の流量が減少したことや、②利根川や常陸利根川の河川改修が進んだため、海水の逆流量が多くなり、結果的に塩分濃度が高くなったことが影響しているとされる。

水門が開放されていれば、海水の干満に応じて順流と逆流が交互に繰り返され、その結果湖水の塩分濃度は次第に増加する。1974年の大規模な塩害を契機に、操作ルールが見直しされたが、霞ヶ浦水資源開発計画の一環として、汽水性漁業に保証が行われ、塩水侵入を防ぐため淡水化が行われた。現在では、梅雨、台風期には、水位を平水位(Y.P.+1.0m)より10cm下げ、洪水に備えるとともに、降雨時など水位が高くなった時、潮位をみて開放する操作が行われている（順流開放）。年間で平均約130日は順流開放されているとのことである。逆水門の操作が、1974年以降順流開放になってから、1975年（平均154.2mg/l、最大234.6mg/l）、1976年（56.1、88.2）、1977年（41.0、50.6）と推移している。上水道の飲料用水基準が塩素濃度で200mg/l以下、工業用水道供給標準値80mg/l、農業用水の許容限界濃度350mg/l程度（水稻の場合）に比べても充分低い値であり、淡水化の目的は達成されている。

塩分濃度が急激に上昇すれば、水稻の被害をもたらす、また上水源ともなっているため、塩分濃度の上昇は問題である。一方、海水の逆流により汚濁物質の希釈効果を高めるといったプラス面もあることが指摘されており、水門開放要求の根拠となっている。

過去の塩害は、殆どが水門設置以前のことで、その原因は降水量と利根川流量の減少に帰着される。一方1974年に生じた塩害など、逆水門建設後に発生した塩害は、自然条件（異常渇水、湖の地形、降水量、潮汐、静振など）と人為的条件（農業用水・上水・工業用水の取水、水門の誤操作など）が重なって生じたものであり、多様かつ高度な水利用が行われている霞ヶ浦では、水門操作など水管理が大変難しいことを示している。

3.2.2 透明度

透明度は湖沼水質の総合的性格を判断する材料として重要な指標であり、測定が簡易であることもあり、古くから記録がある。湖心部における透明度（年最大、最小及び8月）の経年変化を図7に示した。古い資料によれば、明治末から1967年まで多少の低下はみられるものの、顕著な変動は示していない。しかし、1967年以降1973年にかけて、急激な低下がみられ、1973年には0.2mという値が記録されている。透明度は冬季に高い値を示し、9月～10月に最低値を記録することが多い。最近の傾向として、冬季の透明度は例えば湖心部で3mを越えるなど、やや増加の傾向にある。透明度の上昇を、富栄養化対策の効果が現れたとか、種々の推測がなされているが、気象・水象との関係もあり、まだ原因は充分糾明されていない。

3.2.3 COD

CODは有機物の指標として、排出規制基準や環境基準の重要な項目となっている。霞ヶ浦では、湖沼水を上水を含め、水資源として利用しているため、A類型3ppmに指定されて

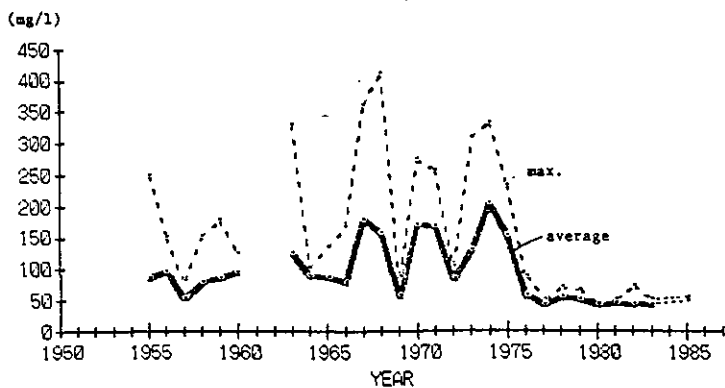


図6 塩分濃度の経年変化
(西浦湖心)

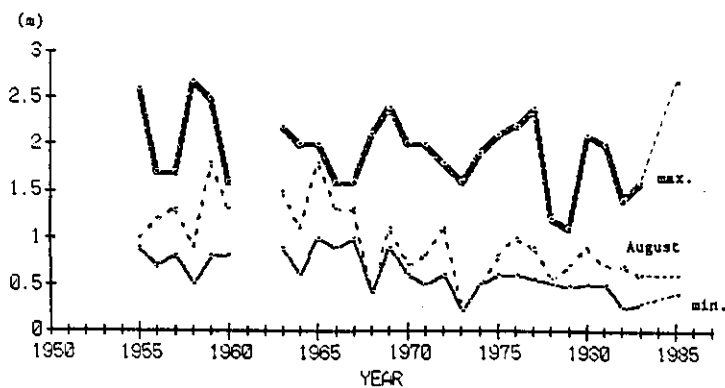


図7 透明度の経年変化
(西浦湖心)

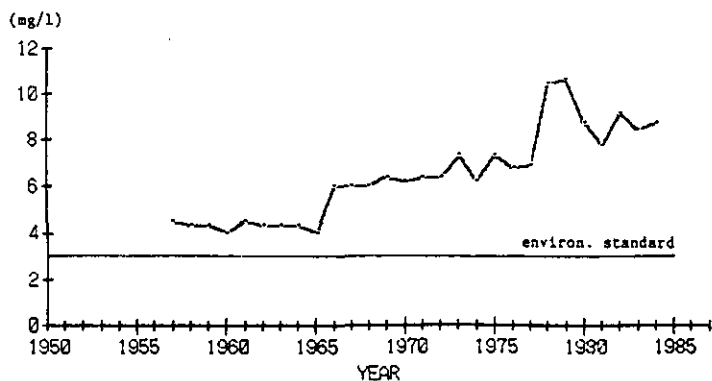


図8 CODの経年変化
(三湖平均)

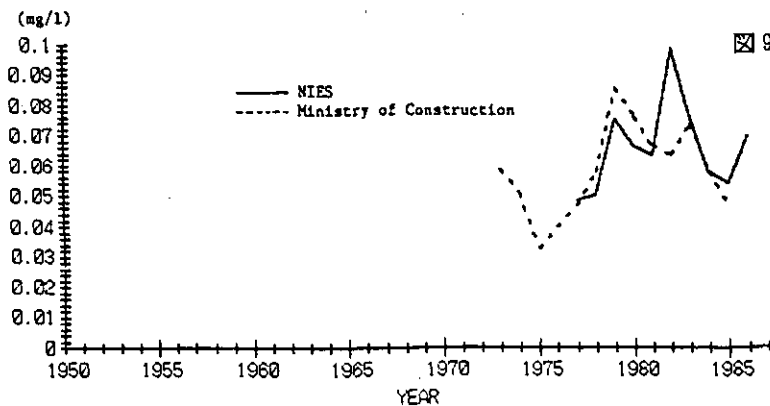


図9 T-Pの経年変化
(三湖平均)

いる。CODの経年変化を3湖の平均値で示すと図8のようになる。経年変化をみると、1965年以前ではほぼ4ppm、1966年以降上昇する傾向にあることが示されている。季節変化については夏期に高い値を示し、冬期に低い値を示すという透明度と同様なパターンを示しながら、年々最高値、最低値も徐々に上昇する傾向がみられる。

1963年の逆水門の建設と数年程遅れて、CODが上昇し、透明度の減少が見られる。これらの水質項目は、単に水門だけの影響ではなく、流域の人間活動との関係、さらに気象条件との関係もあり、塩素イオン濃度のように逆水門がすぐ水質に反映する性格のものではなく、若干の遅れをもって変化する傾向にあると言える。

3.2.4 T-PとT-N

1973年の湖心での全リンの年平均値は、0.07mg/lまで上昇したが、1976年には0.03mg/lまで下がり、その後1979年にピークをもつ複雑な経年変動を示している(図9)。1986年度には、0.05mg/lとなっており、ほぼ横這いで推移している。

全窒素については、1972年に1.6mg/lだったが、徐々に減少し、1mg/l程度と横這いであったが、1986年度には1.2mg/lを記録し僅かであるが上昇傾向にある。

以上から、西浦の水質の経年変化の特徴としては、

- ①1965年を境に水質項目(例えば、透明度、PH、DO、CODなど)の変動が大きくなっており、それまで緩やかに進行していた自然的な富栄養化が加速され、人為的富栄養化へ移行した。
- ②その後、水質は全般的に1980年頃まで上昇傾向、80年以降はほぼ横這い状態となって現在に至っているが、透明度でみると冬期では高い値を示す傾向があるなど、水質項目によっては改善傾向を示すものがある。
- ③こうした改善傾向を示す項目については、各種の富栄養化対策の効果が出始めたとも考えられるが、その他にも降雨、気温、風向・風速、日射量などの気象の影響も考えられるので、従来蓄積されてきた湖水質や生態系関連データと気象・水象データの関連性解析を進める必要がある。
- ④塩分、CODと流域活動の経年変化を概略比べた図10をみると、ちょうど水質悪化と流域活動の活発化とが一致していることがわかる。特に順流開放が行われるようになった1976年以降塩分濃度が低下し淡水化が達成されてから、CODでみると水質悪化が進んだことがわかる。

4 おわりに

霞ヶ浦の開発事業と湖水質の経年変化を簡単に整理してみたが、現段階で問題と思われることについて列挙すると以下のようなことになる。

(1) 水資源開発の必要性の再検討

霞ヶ浦の水資源開発は高度成長期に計画されたものである。現在これだけ大規模な開発が必要かどうか、再検討することが必要ではないかと思われる。湖環境については、工業用水等の利水量が当初の計画程伸びておらず、そのために当初危惧された水位変動による影響もそれほど顕著ではない。ただし、今後東京圏の水需要が伸びたり、濁水が続くよう

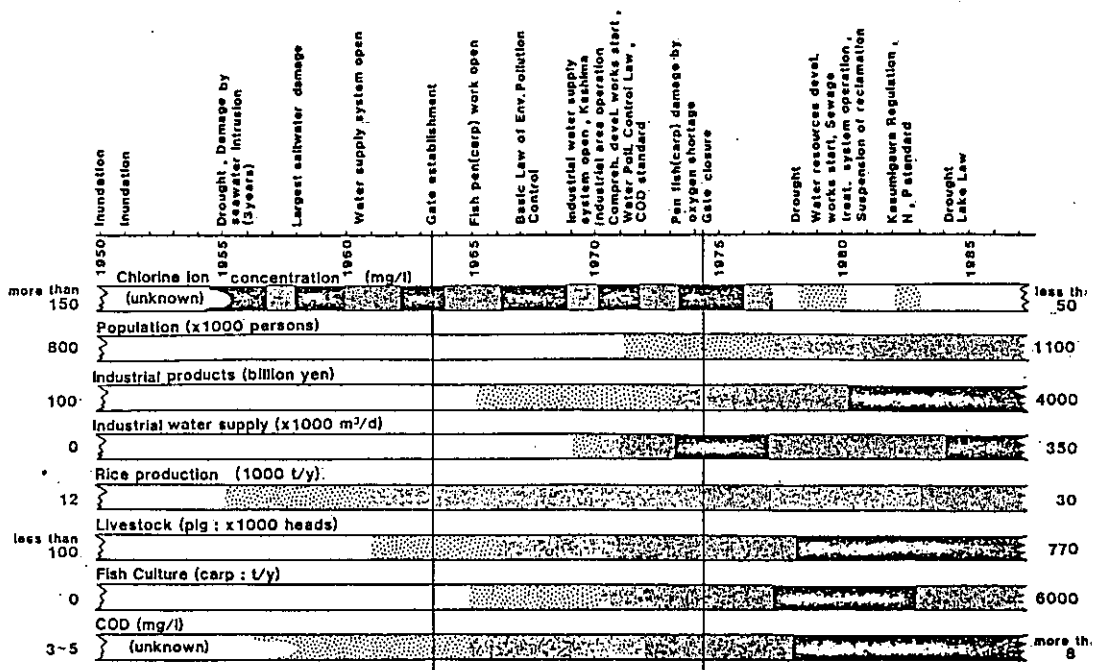


図10 霞ヶ浦の流域活動と湖水質¹²⁾

な事態が生じれば、霞ヶ浦の貯水池としての役割は増すことになり、その際湖環境への影響が懸念される。

(2) 湖水浄化対策の可否

先に示した表3は、現行の霞ヶ浦浄化対策を費用面で集約したものであるが、投資額が大きい下水道と工場排水規制が現行対策の中心である。その他に面的汚染源としての農業排水や家庭雑排水の規制など、行政指導や住民の啓発活動などの形でいろいろ実施されている。

最近の情勢として下水道の普及が伸び悩んでおり、また工場排水規制や行政指導による負荷量削減も限界があることから、発生源対策のみでは湖の水質改善は不十分であることが認識されるに及び、湖を直接浄化する対策が話題にあがっている。例えば、①逆水門の開放による浄化、②浄化用水導入、③底泥のしゅんせつによる浄化など、である。これらの対策は、淡水化の湖生態系への影響以上に、現在の湖沼状態を大きく変えることが予想される。また流域の人間活動は水源の大部分を霞ヶ浦に依存している現状を考慮すれば、直接的な対策の実施は慎重に行うべきであり、先ず対策自身のアセスメントが必要となろう。

(3) 総合的水質改善対策の可能性

湖沼法は、湖沼の水質改善が芳しくなく、対策を強化するために打ち出されたものである。従来、各行政主体が個々に実施してきた対策を、計画的・総合的に実施すべきことを主旨としている。各主体間の調整を行い、対策を上手く組合せていく方法や、対策効果の評価方法など、今後研究を進めていく必要がある。

(4) リゾート開発の圧力

水辺空間を重視したリゾート開発計画が霞ヶ浦でも立案され、実行に移されようとして

いる。この種の開発は、湖環境管理から考えると2面性をもっている。良い面としては、水質改善がリゾートとしての価値を高めることから、水質改善が進むであろうこと、また人々の水辺に対する意識も向上し、環境面への配慮が高まることなどが期待される。一方、悪い面としては、湖畔に大規模なレジャー施設や関連施設ができることにより湖生態系に影響を与えること、多くの観光客が入り込むことにより新たな水質汚濁やゴミ・空き缶等の廃棄物問題が懸念される。霞ヶ浦のリゾート開発については、単に湖水質だけでなく、湖辺の環境（例えば土地利用）も管理していくことを前提として、より良い水辺空間の創造のために秩序ある開発を環境面から誘導していくことが必要であろう。

(5) 湖沼管理の知見・経験の集大成

霞ヶ浦の開発と環境保全の歴史を振りかえると、湖沼管理が決して上手く行った湖とは言えない。なぜ上手く行かなかったか、どんな問題があったかは、開発途上国において湖沼管理を考える上での一つの情報となりえる。特に淡水化の諸影響については、生態系への影響や水利用を通じての人間活動へ影響という視点から整理して、経験として伝えていくことが必要であろう。

参考文献

- 1) 原沢英夫・青柳みどり・福島武彦・村岡浩爾(1988)河川・湖沼流域管理に関する国際プロジェクトについて、京都大学環境衛生工学研究会第10回シンポジウム講演論文集, pp.67-72.
- 2) 茨城県(1988)霞ヶ浦総合開発.
- 3) 茨城県(1988)清らかな水のために一霞ヶ浦一, 28p.
- 4) EX都市研究所(1979)霞ヶ浦水質保全総合対策解析調査報告書, 133p.
- 5) 霞ヶ浦研究会(1977)霞ヶ浦, 共立出版, 203p.
- 6) 茨城大学地域総合研究所(1974)霞ヶ浦一自然・歴史・社会一, 古今書院, 300p.
- 7) 茨城県(1988)茨城県の公営企業, 28p.
- 8) 建設省(1988)霞ヶ浦導水事業, 12p.
- 9) 茨城県・霞ヶ浦用水建設推進協議会(1977)霞ヶ浦用水事業概要図.
- 10) 茨城県(1987)霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画.
- 11) 服部明彦編(1988)湖沼汚染の診断と管理. 日刊工業新聞社, 271p.
- 12) Muraoka, K., T. Fukushima, H. Harasawa and M. Aoyagi(1988)Comprehensive Development of Lake Kasumigaura And Its Environmental Management. Expert Group Workshop on River/Lake Basin Management of Water Resources.