

霞ヶ浦の水質保全について

Conservation of Water Quality in Lake Kasumigaura

研究第三部 主任研究員 山口 洋 毅

The water pollution in Lake Kasumigaura was caused by effluent partly from the watershed and partly from lake deposits. Although the dominant cause of pollution is effluent coming from the watershed, the survey reports that the COD, nitrogen and phosphorus come more from non-point sources than point sources while they come more from domestic waste water among point sources. Suggested methods for preserving water quality by reducing pollutants from the watershed include installing a sewage treatment system, advanced water treatment and treating tributaries, while those for reducing pollutants from the lake include ameliorating water quality of lake deposits, introducing water and treating water bloom (microcystis).

Keywords: Lake Kasumigaura, water environment, water pollution, pollution load, water conservation

1. はじめに

霞ヶ浦は、本邦第2位の湖面積を有し、貯水量も約8億 m^3 と大きく、水道水源、各種用水等の水利用、内水面漁業等の空間利用の面から、周辺市町村や首都圏に多大な恩恵を与えている湖である。

霞ヶ浦流域は、近年の急速な開発に伴い、流域から排出される負荷量の増大に伴って水質汚濁が進んでいる。水質改善の努力は続けられているものの、今後とも流域の開発が予想されることから、湖水質の飛躍的な改善を期待することは難しいと思われる。

一方、水環境への対応にあたっては、自然の循環系とともに、水の利用排水等人為的な循環系と併せて、流域全体を水循環系としてとらえる必要がある。このため、流域の水について個別に対応するのではなく、水循環系全体を視野に入れた対応が必要となってきた。

このような状況を踏まえ、霞ヶ浦とその流域における水循環の視点から、水質汚濁の機構とその現況を把握し、水質の保全についての検討を行った。

2. 霞ヶ浦流域の水環境の現況

2-1 霞ヶ浦の汚濁要因

霞ヶ浦の汚濁要因は、既往の知見をもとに図-1のように分類できる。

霞ヶ浦は流域面積が広く、浅い湖であることから、自然的富栄養化が進行する湖である。さらに、流域における生活・生産活動により、人為的富栄養化が急速に進行してきた。

霞ヶ浦の湖水の交換日数は200日程度と長く、流域から流入した栄養塩は植物プランクトンによって十分利用されることになり、湖内の富栄養化の要因となっている。また、水深が4m、最大7mと浅いことから、いったん湖底に沈降した汚濁物質が風浪によって舞い上がったり、湖底で分解・可溶化した栄養塩が湖水中に回帰し、再び植物プランクトンの増殖に利用される。特に夏季増殖期には、有機物の分解などで湖水中の酸素が消費され、底泥が嫌気化しやすくなり、霞ヶ浦における富栄養化の制限因子となっているリンが大量に溶出してくると思われる。

2-2 霞ヶ浦流域の汚濁源

既往の資料より霞ヶ浦流域の汚濁源（フレーム）の状況（表-1）をみると、次のような内容がうかがえる。

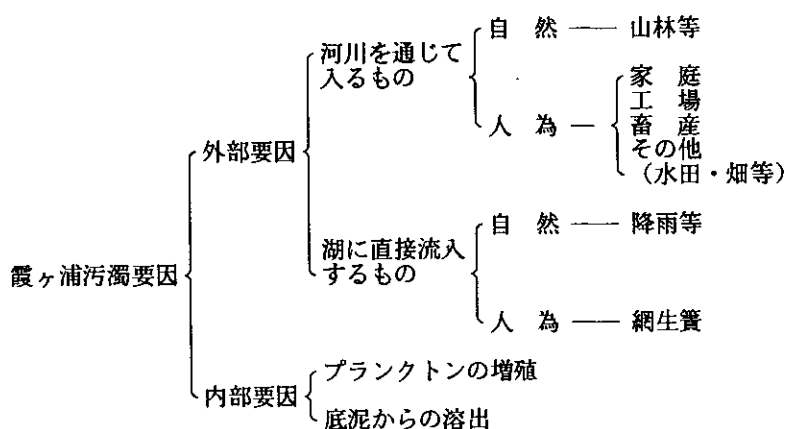


図-1 霞ヶ浦の汚濁要因¹⁾
Figure 1 Causes of Pollution at Lake Kasumigaura

表-1 フレームの経年変化 (霞ヶ浦流域)²⁾
Table 1 Annually Changes in the Frame (Lake Kasumigaura Area)

1 面源フレーム (土地利用面積) 流域 (指定地域) 面積: 2,135km²

項目\年度	S 5 5	6 0	6 2	H 元	3
湖 面 積 (km ²)	220	220	220	220	220
山 地 等 (km ²)	853	861	860	862	858
市 街 地 (km ²)	97	221	233	239	253
水 田 (km ²)	457	466	462	458	455
畑 地 (km ²)	542	367	361	356	349

2 点源フレーム

(1) 生活系 (人口) フレーム

項目\年度	S 5 5	6 0	6 2	H 元	3
合併処理浄化槽 (人)	—	34,100	36,200	39,900	69,700
単独処理浄化槽 (人)	107,000	114,600	140,800	145,800	206,000
農業集落排水 (人)	0	0	2,000	4,200	5,500
し尿処理場 (人)	552,800	470,500	429,100	437,700	387,600
下水道処理人口 (人)	85,200	146,400	189,800	229,400	284,700
指定地域内人口 (人)	782,500	848,500	868,200	890,800	915,700

(2) その他

項目\年度	S 5 5	6 0	6 2	H 元	3
工業出荷額 (t/年)	800	1,176	1,556	2,005	2,401
畜 産					
豚 (頭)	336,600	374,000	381,860	395,910	397,240
牛 (頭)	40,000	41,500	41,970	40,790	40,830
水産養殖 (t/年)	8,400	6,500	5,830	5,873	5,861

(1) 面 源

面積でみると、近年急速に市街化が進行している。山地等、水田には大きな変化がなく、畑地は減少傾向にある。

(2) 点 源

生活系について人口でみると、し尿処理場での処理人口が大きく減少し、下水道処理、単独浄化槽、合併浄化槽での処理人口が大幅に増加し、その伸び率は人口（指定地域内）の伸び率以上のものを示している。

点源のうち、生活系以外について推移をみると、工業出荷額が大幅増、豚飼育数、牛飼育数は微増であり、水産養殖は減少している。

2-3 外部汚濁要因と内部汚濁要因

(1) 外部汚濁要因

外部汚濁要因では、COD、窒素、リンともに生活系が4～5割程度を占めており、次いで降雨、山地、農地からの負荷が多い。

その中で特徴的なものは、約40万頭におよぶ養豚による畜舎排水、霞ヶ浦の沿岸に広がる約1,700haのハス田からの流出負荷および湖内における魚類養殖のための投餌による負荷があげられる。

(2) 内部汚濁要因

流域等から外部汚濁要因として霞ヶ浦に流入した窒素、リンなどの栄養塩は、一部は沈降して底泥を形成し、残りは湖水中にとどまる。い

ったん沈降した栄養塩の一部は、分解・可溶化し、拡散現象や風浪による巻き上げによって再び湖水中に回帰してくる。湖水中の栄養塩は、植物プランクトンの増殖に利用される。

3. 霞ヶ浦における汚濁負荷量の把握

3-1 霞ヶ浦の汚濁機構

図-2は、霞ヶ浦の水質（COD）の経年変化を示したものである。霞ヶ浦で泳げた頃（昭和40年代初頭頃まで）の水質は、汚濁の代表的な指標であるCODでみて、年間を通して3～4 mg/l程度であった。その後、汚濁の進行と平行して各年毎の変動も大きくなった。この変化は流域からの流入汚濁負荷量の増加とともに、湖内における植物プランクトンの異常増殖によるものである。

霞ヶ浦における汚濁機構は、図-3のように表すことができる。この図に示すように、流域から霞ヶ浦に流入した汚濁物質は、徐々に湖底に沈澱する。沈澱した汚濁物質は、底泥中で微生物活動等によって可溶化し、再び湖水中に溶出する。また、湖水中では、植物プランクトンの増殖により、栄養塩（窒素、リン）が吸収されて有機物となり、汚濁が進む（CODの増加となる）。

このことは、図-4に示す霞ヶ浦の流入河川水質（24河川面積重みづけ平均）と湖水質（環



図-2 霞ヶ浦（湖心地点）におけるCODの経年変化^{3), 4), 5), 6)}

Figure 2 Annually Changes in COD at Lake Kasumigaura (Lake Centerpoint)

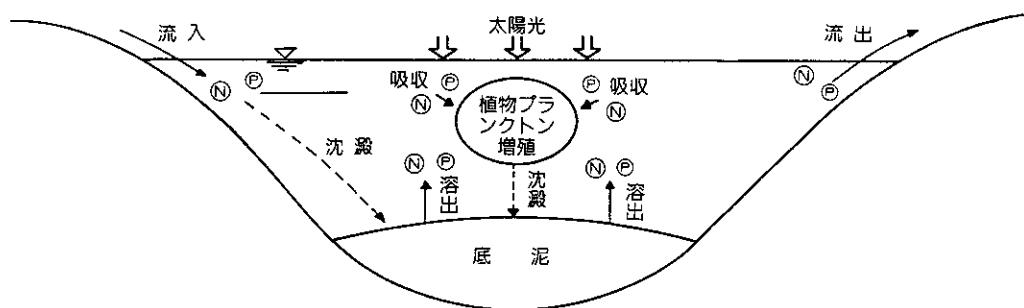


図-3 霞ヶ浦における汚濁機構模式¹⁾

Figure 3 Model of Pollution Mechanism at Lake Kasumigaura

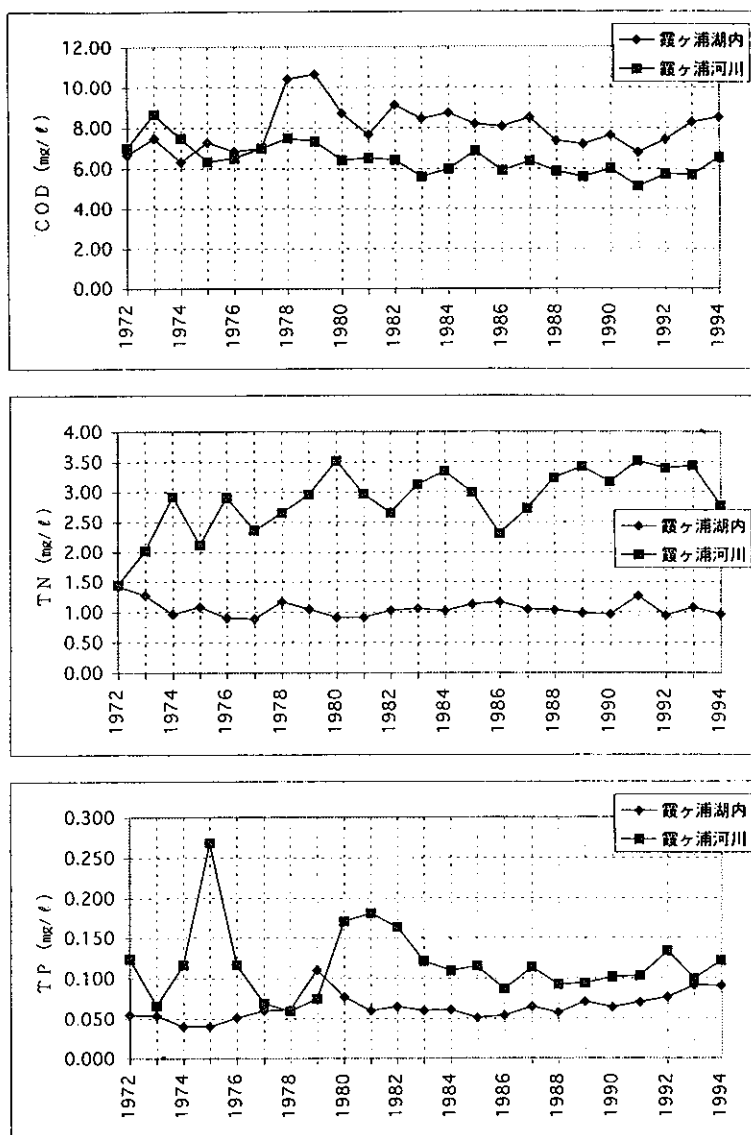


図-4 流入河川水質と湖水質の関係¹⁾

Figure 4 Relationship between the Water Quality of the Tributaries and the Water Quality of the Lake

境基準点8地点平均)の比較からも明らかである。即ち霞ヶ浦では、窒素(T-N)とリン(T-P)は、流入河川よりも湖内の濃度が低くなっており、霞ヶ浦は流域からの栄養塩負荷量を蓄え、浄化した水を下流利根川へ流下させていることがうかがえる。

一方、CODは、流入河川よりも湖内の濃度が高くなっており、霞ヶ浦は流域からの有機汚濁負荷量を蓄える役割と、湖内で有機汚濁負荷量を増加させ汚濁した水を下流利根川へ流下させる機構の、両面を持っていることがうかがえる。

3-2 流域からの負荷量

図-5は、霞ヶ浦流域全体の汚濁源別の負荷量を昭和40年代初頭と現況について推算したものである。現況の流入負荷量は、昭和40年代初頭に対して、COD 1.5倍、窒素(T-N) 1.8倍、リン(T-P) 2.1倍となっており、流入負荷量の増加が著しい。

(1) CODの負荷量

CODの負荷量は、昭和40年代初頭は、面源(湖面降雨、山地等、市街地、農地)からの負荷量が約1/2を占め、生活系18%、工場事業場系7%、畜産系10%となっていた。面源のうち4割強が農地からの負荷量であった。これに対し、現況では、面源からの負荷量が40%、生活系が37%、工場事業場系3%、畜産系と鯉養殖で20%となっている。

昭和40年代初頭と現況を比較すると、面源では市街地からの負荷量の増加が大きいほか、農

地の中のスス田からの負荷量が増加している。面源以外では生活系の負荷量の伸びが大きく、また、鯉養殖による負荷量が新たに加わっている。

(2) 窒素(T-N)の負荷量

窒素(T-N)の負荷量は、昭和40年代初頭は、面源からの負荷量が63%を占め、生活系17%、工場事業場系3%、畜産系17%となっていた。面源のうち7割弱が農地からの負荷量であった。これに対し、現況では、面源からの負荷量が37%、生活系が39%、工場事業場系4%、畜産系と鯉養殖で20%となっている。

昭和40年代初頭と現況を比較すると、面源では市街地からの負荷量が伸びているが、全体に占める割合は小さい。面源に占める割合の大きい農地からの負荷量はほとんど変わっていないが、その中でのスス田の伸びは大きい。面源以外では生活系の伸びが著しい。また、工場事業場系、畜産系も増加しており、新たに鯉養殖による負荷量が加わっている。

(3) リン(T-P)の負荷量

リン(T-P)の負荷量は、昭和40年代初頭は、面源からの負荷量が43%を占め、生活系36%、工場事業場系13%、畜産系8%となっていた。面源のうち5割弱が農地からの負荷量であった。これに対し、現況では、面源からの負荷量が22%、生活系が43%、工場事業場系9%、畜産系と鯉養殖で26%となっている。

昭和40年代初頭と現況を比較すると、面源では市街地からの負荷量が増加している。面源に占める

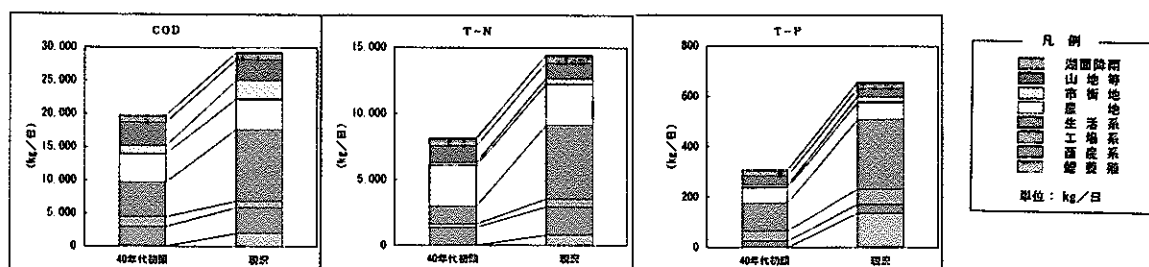


図-5 汚濁源別流入負荷量(霞ヶ浦全域)
Figure 5 Tributary Load Quantities from each Source of Pollution (Lake Kasumigaura Area)

割合の大きい農地からの負荷量はほとんど変わっていないが、その中でハス田の伸びは大きい。面源以外では生活系の伸びが著しい。また、新たに加わった鯉養殖の負荷量が大きな割合を占めるようになっている。

3-3 底泥からの溶出量

湖内において水循環系に負荷されるものとして、底泥からの溶出量がある。

霞ヶ浦の湖底に堆積している汚濁した底泥は、昭和40年代以降に貯まったと推定されているものが、150km²、約3,000万m³である。このなかの栄養塩の量を概算すると、窒素が27千ton程度、リンが7千ton程度である。即ち、現在まで30年間に平均して、毎年、窒素で900ton程度、リンで230ton程度が貯まり続けたことになる。

現況の流入負荷量は、窒素が年間5,300ton、リンが年間240tonと推算されており、蓄積量と比較すると、窒素は流入負荷量の2割程度、リンは流入負荷量のほぼ全量が底泥に蓄積されることになる。しかし、リンについては霞ヶ浦からの流出量が年間100ton程度あることから、過去に現況よりも流入負荷量の大きな時期があったと考えられ、現在は、当時蓄積されたものの影響を相当受けているものと推測される。

これら底泥からの溶出量の把握は難しいものであるが、CODが年間3,360～9,580ton（中央値6,470ton）、窒素が年間750～2,130ton（中央値1,440ton）、リンが年間70～190ton（中央

値130ton）程度と推算している⁷⁾。

また、昭和40年代初頭の溶出量は、流入負荷比で割り戻すと、現況に対してCODが67.5%、窒素が56.5%、リンが47.0%と推定される（図-6参照）。

4. 水質保全に対する目標の設定

人間そして広く生態系にとっての好ましい環境を将来に渡って持続させるためには、霞ヶ浦流域に付加される汚濁物質量を削減し、流域の持つ保水能力・浄化能力を維持・増進することにより、霞ヶ浦の水質を保全する必要がある。このことは、地域との連携の下に、それぞれの施策を着実に進めることにより達成されるものである。このため、水質保全対策を講じるにあたり、以下に示すテーマを設定した。

「泳げる霞ヶ浦」の達成

また、水環境保全に対する目標を以下のよう
に設定した。

・霞ヶ浦の水循環系に付加される負荷量を、他の諸施策とあいまって、泳げた頃（昭和40年代初頭）の状態まで削減する。

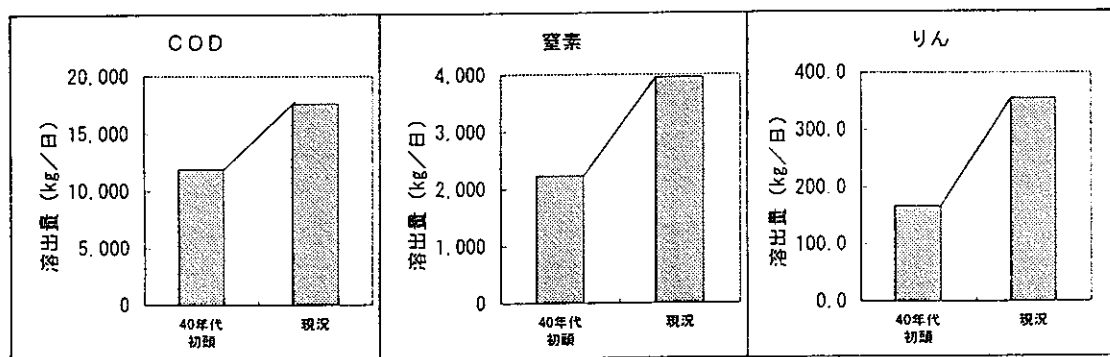


図-6 底泥からの溶出量（年間総量より1日あたりに換算）

Figure 6 Alluvial Quantities (Daily Estimate Calculated from Yearly Total)

5. 水質保全対策

5-1 目標達成の方策

「霞ヶ浦の水循環系に付加される負荷量を、他の諸施策とあわせて、泳げた頃の状態まで削減する」ために、下水道の整備・高度処理、流入河川対策による流域からの負荷量の削減、底泥浚渫による湖内負荷量の削減および導水による水量当たりの負荷量の削減を行うほか、総合浄化対策特定河川事業、流域貯留浸透事業等により、適正な水循環に配慮した総合的な水環境の改善を図る。

霞ヶ浦においては、水質保全のために、湖沼水質保全計画および富栄養化防止基本計画が策定されている。この中で、汚濁負荷量の伸び、割合ともに大きい生活系排水については、下水道、農業集落排水施設、合併処理浄化槽等の整備、汚濁負荷量の割合の大きい農地や畜産については施肥の改善や処理施設の整備等、汚濁負荷量の伸びの大きい鯉養殖については投餌の改善や魚種の転換、また工場事業場系排水については排水規制の徹底等が示されている。これら諸施策を着実に行うことで、以下に示す水質保全対策とあわせて目標が達成されるものと考えられる。

5-2 流域からの負荷量の削減

(1) 下水道の整備・高度処理

流域における主に生活系排水処理を行い、霞ヶ浦への流入負荷量を削減するために、下水道の整備を行うとともに、窒素、リンの除去を目的とした高度処理施設の整備を進める。なお、これらは、湖沼水質保全計画および富栄養化防止基本計画の中にも位置づけられており、富栄養化防止基本計画においては、霞ヶ浦流域の下水道処理人口を60万人としている。また、市街地における雨天時の汚濁負荷流出に対するノンポイント対策や一部の地域で行われている合流式下水道の改善を行う。

(2) 流入河川浄化

霞ヶ浦の湖内における植物プランクトンの異常増殖の原因となる栄養塩（窒素、リン）の湖

内への流入量を削減するために、植生帯等を利用した流入河川の浄化および流域や河床に堆積した汚濁物質の湖への流入抑制のための対策を行う。

植生浄化については、流入河川河口部にヨシ原を利用した植生浄化施設を山王川、清明川において実施しており、今後も流入河川の汚濁の著しい河川を対象に植生浄化施設を設置する。

また、河床堆積汚濁物質の負荷削減については、雨天時の流入負荷量が流入負荷量全体の約1/2を占めることから、雨天時の汚濁河川水を一時貯留池に滞留させ、河川水中の主にSS（浮遊物質）成分を沈澱により除去し、清澄な水を放流する方策を検討する。

(3) その他

○ 総合浄化対策特定河川事業

総合的な水環境改善を強力に推進するため、清流ルネサンス21等に基づき、特に著しい水質汚濁が生じている河川等について、流域での発生源対策、下水道整備に加えて、河川浄化事業と流域における浄化事業を併せて実施する総合浄化対策特定河川事業を推進する。

○ 流域貯留浸透事業

適正な水循環を再生するため、都市化の進展により都市型災害の多発、清流の枯渇、地下水の減少等の問題が生じている地域において、雨水の貯留や地下浸透の促進を行う流域貯留浸透事業を推進する。

○ 流域の健全な水循環系再生のための取り組み

市民生活と身近な水域である都市内河川・水路での水質浄化、流況改善、緑化等を図るため、既存の河川、都市下水路、農業用水路等を有機的に接続することによりネットワークを形成し、流水を相互に融通するとともに、自然豊かな水辺整備を行う。

また、耕地放棄地等未利用地を活用し、洪水時には洪水調節池として機能し、通常時は水質浄化とともに多様な生態系を育むウェットランド（流域遊水地）の整備を推進する。

5-3 湖内負荷量の削減等

(1) 底泥浚渫

霞ヶ浦における底泥からの年間の溶出量は、現況でCODが6,470ton、窒素（T-N）が1,440ton、リン（T-P）が130tonとなっている。

底泥からの溶出負荷量を削減するために 720 万 m^3 の浚渫を行う。

(2) 導水

霞ヶ浦への流入河川よりも相対的にきれいな

那珂川および利根川から年間6.0億 m^3 の水を導水することにより、霞ヶ浦の水量当たりの負荷量を削減する。

(3) アオコ対策

霞ヶ浦は富栄養化によって大量のアオコが発生し、これが腐敗することにより悪臭を放つ等周辺環境を著しく悪化させることから、専用船により湖面に浮遊するアオコの除去を行う。

なお、除去したアオコは、濃縮・脱水しアオコ有機肥料等として資源の有効利用を行う。

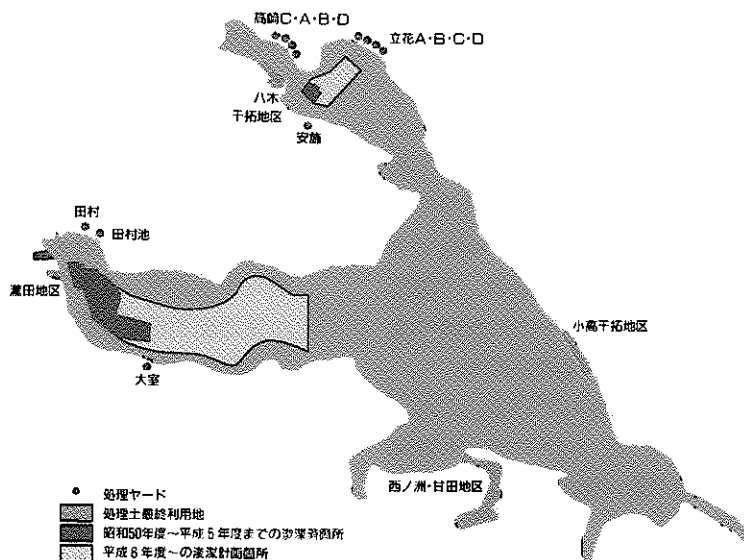


図-7 霞ヶ浦における底泥浚渫¹⁾
Figure 7 Dredging at Lake Kasumigaura

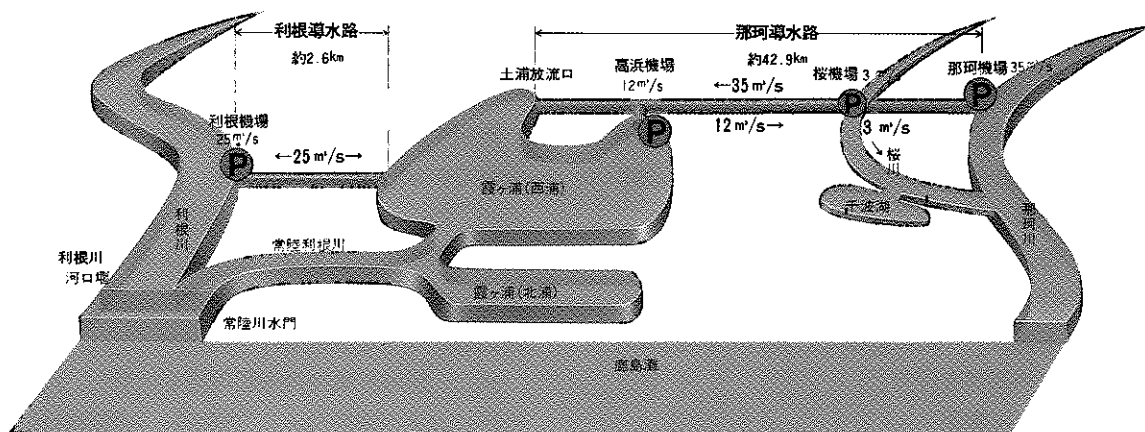


図-8 霞ヶ浦導水事業模式²⁾
Figure 8 Model of Aqueduct Projects at Lake Kasumigaura

6. おわりに

以上により、霞ヶ浦流域の水循環からみた水質保全に関する考察・検討を講じたが、霞ヶ浦の水質保全に対するより効果的な施策を今後とも進めていくために、以下に示す内容についてもさらに検討していくことが望まれる。

- ① 近年、北浦における流入河川の窒素の値が上昇している等流入河川の様相が変化している。このことから、流域における汚濁負荷の流出形態の変化や湖内における汚濁機構について、今後とも詳細な調査が望まれる。
- ② 出水時の流出負荷が霞ヶ浦の水質に及ぼす影響が大きいことから、今後とも出水時の負荷量調査を実施するとともに、既往の調査と併せて出水時の負荷流出量とその機構を把握し、対策についても検討していく。
- ③ 栄養塩である窒素、リンについてその形態別の変化の調査を実施していくことにより、河川、湖内、底泥およびプランクトン内での物質の挙動を把握する。これにより富栄養化のメカニズムを明らかにし、より効果のある対策についての検討を継続する。

<引用文献>

- 1)建設省関東地方建設局霞ヶ浦工事事務所；
霞ヶ浦パンフレット
- 2)茨城県生活環境部霞ヶ浦対策課；
霞ヶ浦関係資料集、平成6年2月
- 3)建設省関東地方建設局霞ヶ浦工事事務所；
霞ヶ浦水質既往資料集、昭和47年3月
- 4)建設省関東地方建設局霞ヶ浦工事事務所；
霞ヶ浦流域水質年表、昭和45年3月
- 5)建設省；水質年表
- 6)茨城県；茨城県公共用水域水質測定結果
- 7)建設省関東地方建設局、水資源開発公団；
霞ヶ浦人と自然の共存を求めて－霞ヶ浦の保全と利用について－（案）、平成7年10月
- 9)建設省関東地方建設局霞ヶ浦導水工事事務所；
霞ヶ浦導水事業パンフレット