

長期水質変動特性からみた遠賀川の水問題分析

Water Problem Analysis of Onga River

森山克美*, 庄司智海**, 古賀憲一***

Katsumi MORIYAMA*, Tomomi SHOJI**, Kenichi KOGA***

ABSTRACT: Many water problems in a river area, such as the shortage of water, water pollution etc., are occasioned by the urbanization and the increase of water demand in addition to agricultural water use. To solve these water problems, an integrated water management in the watershed both in terms of water quality and quantity is needed. The final objective of this study is to develop the integrated water management system for the Onga area. Water problem analysis is a first important step for analyzing water policy and the integrated management system. As a first step of this study, the water problems of the Onga River are analyzed based on the observed data of the water quality of the river for the last twenty years. It is clearly shown that eutrophication in the estuary reservoir takes place in summer season, especially in the low flow rate period. The BOD concentrations in the reservoir increase with the concentration of algae. Finally, the necessity of establishing the alternative concepts for the integrated water management is pointed out through comparing the existing water management in terms of water quality and quantity.

KEYWORDS: Integrated water management, Water policy analysis, Eutrophication, Water problems, Estuary.

1. はじめに

都市およびその周辺部での今日の水利用形態と使用水量の増加は、時として、深刻な渇水をもたらしている。複数の都市が旧来の農村集落を母体として発達してきた河川流域においても、農水に加えて都市化に伴う水需要の増加が続いてきた。その結果、このような流域においては、取水により生じる著しい流況変動による景観の劣化、環境保全流量の低下、処理あるいは未処理にかかわらず生活系排水の流入による水質汚濁の顕在化等、渇水問題に加えて、河川の水環境問題が広域的かつ総合的問題となりつつある。

すなわち、このような河川では季節的流況変動に加え、農水、上工水の水取水堰が多数存在し、かつ、都市排水が流入している。このため、取水地点から排水（還元）地点までの縦断方向の流況が大きく変動し、魚類や水棲生物等の生態系保全のための必要流量と水質の確保、景観・親水性を考慮した環境用水の確保、水質に関する上下流問題などが当面の検討課題と言えよう。また、河川によっては、ダム以外にも堰や河口堰などでの貯水がなされるため、「流れる川」を想定した汚濁とは異なる水質問題も重要となりつつある。量的な利水安全度を貯水により向上させる一方で、河川によっては上流域での都市化や水利用形態が遠因となり、水質上の利水障害となるような水質汚濁につながることも予想される。このように河口堰による貯水は、広域的、総合的管理を必要とする水利用形態の一つと言える。

以上のように今日の河川の状況を考えると、治水・低水管理などの河川管理、流域全体における水利用形態、河川環境の改善・保全といった治水、利水、水質保全などの各事業と河川との関わり方については、いわゆる総合的観点からの流域管理が必要とされる。本研究では以上の観点から、遠賀川水系を対象として流域管理手

* 九州共立大学工学部 Faculty of Engineering, Kyushu Kyoritsu University

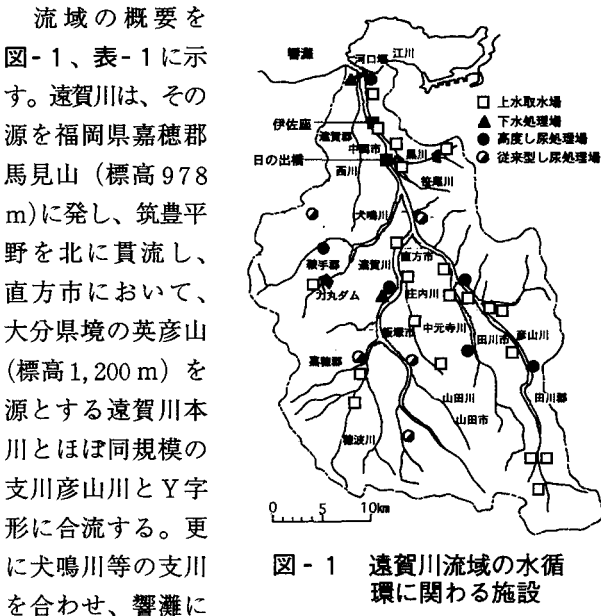
** (株)リタ総合企画 RITA Engineering Consultants Co., Ltd.

*** 佐賀大学理工学部 Faculty of Science and Engineering, Saga University

法を検討しようとするものである。流域管理は最終的には水量・水質に関する水政策に依存するので、水問題の分析と政策分析が研究の核となる。

本論文では、本研究の緒として、遠賀川河口堰（1980年以前は「伊佐座の堰」、1980年以降は「遠賀川河口堰」）による貯留水の過去20年間の水質変動特性の把握とその考察、ならびにその結果を踏まえた水問題の分析を行った。

2. 遠賀川流域の概要



注いでいる。流域面積1,030km²、幹川流路延長61kmに及ぶ北部九州有数の一級河川である。年平均降水量は1,990mm程度で梅雨時が年間降水量の60%を占める。

本川は、古くは1936年に伊佐座の堰（現在の遠賀川河口堰の運用後に撤去）、1980年には遠賀川河口堰が建設され、北九州市の都市用水源となっているのを始め、表-2に示す利水状況から分かるように流域市町村の主要な都市用水の水源である。これらの利水のための堰の設置数は、表-1に示すように総計71ヶ所にのぼる。

流域人口は昭和30年から平成2年にかけて減少したが、平成2年現在も6市25町1村で約63万人に達する。石炭産業が盛んな頃には洗炭排水による水質汚濁が著しい河川であったが、石炭産業の衰退により洗炭排水の影響は改善された。一方では、図-2に示すように、下水処理場は飯塚市（下水道普及率39.9%）、芦屋町（同93.1%、放流先は河口堰下流）にあるものの、流域の下水道普及率が5.6%（平成4年現在）と低く、し尿処理場が点在すると共に家庭雑排水の流入があるため、水質汚濁は解消されるには至っていない。対策の一つとして彦山川水系では、昭和60年3月に添田町外3ヶ町村し尿処理場、平成2年3月に乙女環境センター、平成4年3月下田川クリーンセンターが高度し尿処理施設として建設、または更新され、支川である彦山川の水質は改善されたことが報告されている（北九州市水道局、1990）。しかしながら、これより下流の本川や他の支川では、有効な対策が実施されるに至っていない。このため、最下流の遠賀川河口堰の貯留水や中流域の表流水を原水とした水道事業においては、種々の利水障害が生じる恐れがある。

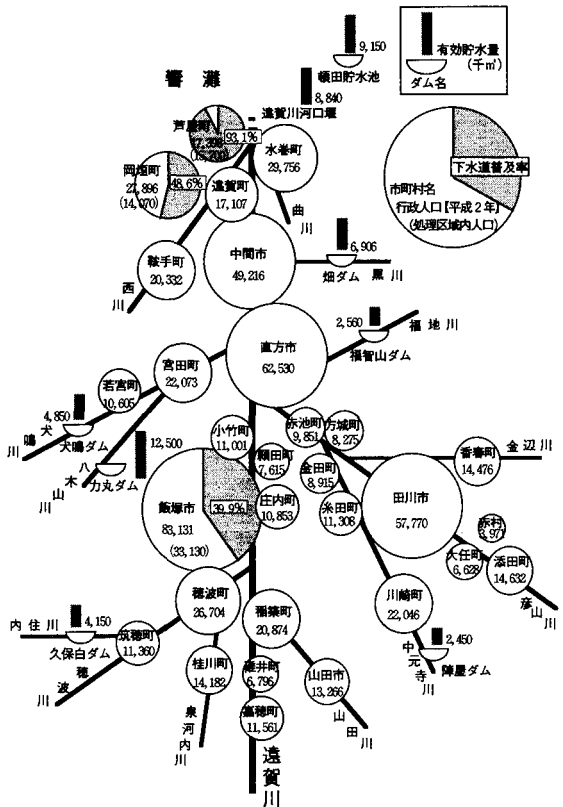


図-2 遠賀川流域の人口、下水道普及率、ダム施設

表-1 遠賀川流域の概要

流域面積	1,030 km ²	
幹川流路延長	61.0 km	
流域人口（平成2年現在）	約63 万人	
流域自治体数（同上）	6市25町1村	
流域の下水道普及率 （平成4年現在）	5.6 %	
水利権	件数	631 件
	総許可水量	57 m ³ /秒
取水堰総数	71	

表-2 遠賀川の利水状況

	件数	許可量 m ³ /秒
上水道用水	39	9.06
工業用水	17	7.97
農業用水	570	40.13
発電	0	0
その他	5	0.25
総計	631	57.41
日の出橋5カ年平均流量（昭和63年～平成4年）30.15m ³ /秒		

図-2に示すダム施設の中で支川の八木山川上流に位置する遠賀川で最大貯水量の力丸ダムは、洪水調節並びに北九州工業地帯の工業用水および北九州市、直方市の水道用水の確保を目的とする多目的ダムである。遠賀川河口堰はこの力丸ダム、頓田貯水池について、有効貯水量では3番目となっている。

3. 伊佐座における水質変動とその考察

河口堰貯留水水質の解析は、現在の遠賀川河口堰上流8km地点の伊佐座の過去20年間の水質データを対象として行なった。流量解析は、過去40年間の日流量表データを基に行なった。

3. 1 BODについて

図-3にBODの過去20年間の経年変化を示す。殆どの発生範囲は1～5mg/lである。その濃度は後述の窒素、リンと異なり経年的な減少傾向はみられない。遠賀川下流域の環境基準はB類型（水道3級、BOD値3mg/l以下）であり、頻度的には観測値のおよそ半分がこの値を超過していることが分かる。

図-4に上流の「日の出橋」（建設省流量基準地点）の流量と伊佐座のBODの関係を示す。流量がほぼ10m³/秒以上の時、水温20℃未満となり、BOD値は1～5mg/lとなる分布を示すことが分かる。流量が10m³/秒以下の場合、水温20℃以上のことが多く、このときBOD値が上昇することが分かる。これは、後述の図-11で示されるようにクロロフィルaの増加、すなわち藻類の増殖と関連している。河口堰内の藻類の増殖には、湖沼における藻類増殖に関して明らかになっている水温、栄養塩濃度など以外に、上流側流量（河口堰への流入水量）という河川特有の要因が関与していることが推察される。

図-5に日の出橋の過去40年間の日流量表から求めた低水流量のトーマスプロットを示す。10m³/秒という値は、2～3年確率の低水流量に相当する。また別に求めた過去40年間の低水流量の平均値は約11.6m³/秒であり、夏期にこれらの流量以下の流量が出現する場合には、20℃以上の水温となり、河口堰内のBOD値は、5mg/l以上となることが予想される。この上流側流量が河口堰内の藻類増殖に及ぼす影響の機構については、流量の経日的な変動履歴なども含めて、今後検討しなければならない。

3. 2 窒素について

図-6にアンモニア性窒素と全窒素の経年変化を示す。アンモニア性窒素は2、3月に1.5mg/l程度、夏期に0～0.2mg/l程度で季節的周期で変動している。全窒素についても冬期3.5mg/l、夏期1.0mg/lで季節的にも変動している。また、BODではみられなかったが、窒素においては経年的な濃度減少の傾向がみられる。

3. 3 リンについて

図-7にP₀₄-Pと全リンの経年変化を示す。P₀₄-Pも0～0.05mg/lで窒素と同様に季節的に変動しており、夏期にほぼ0mg/l（厳密には、図-9より0.003mg/l程度）になっている。これは後述のクロロフィルaの変化から分かるように、藻類の著

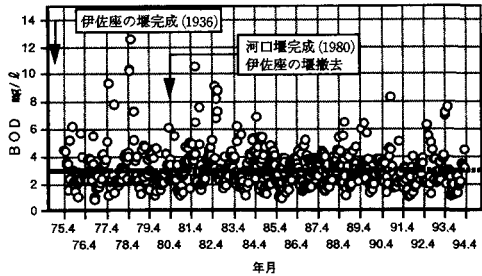


図-3 伊佐座のBOD

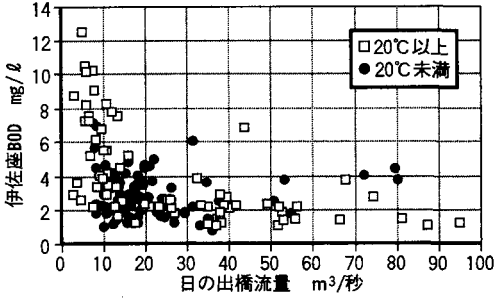


図-4 日の出橋地点の流量と伊佐座のBODの関係

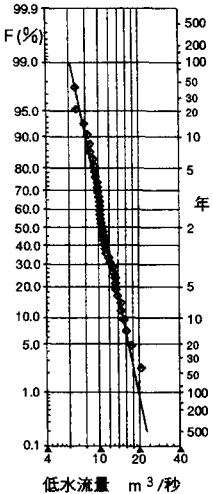


図-5 日の出橋地点の低水流量トーマスプロット

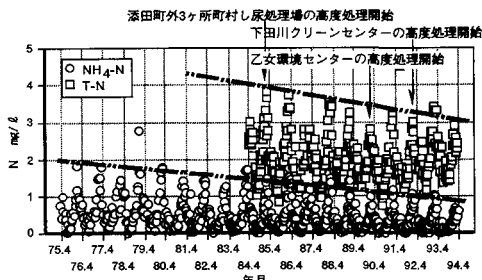


図-6 伊佐座のNH4-NとT-N

しい増殖が夏期に生じる結果と考えられる。全リンは、1981年以降から季節的に変動しつつその値は低下傾向にある。

以上の窒素、リンの低下傾向が、何を原因としているかについては、流域において高度処理を伴う排水処理施設の整備がなされていないことから、彦山川水系の高度し尿処理施設の導入による窒素、リンそれぞれの削減量、施肥を必要とする農耕地の減少など土地利用の変遷、畜産業の変遷、洗剤の無リン化の影響など、今後詳細に検討しなければならない。

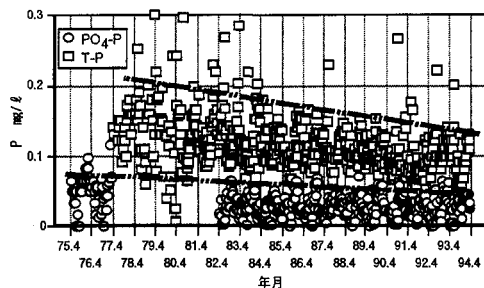


図-7 伊佐座のPO₄-PとT-P

3. 4 クロロフィルaについて

図-8にクロロフィルaの経年変化を示す。冬期でも3~20 $\mu\text{g/l}$ と低い値ではないが、夏期は50~170 $\mu\text{g/l}$ と更に高濃度になることが分かる。そこで、図-9に水温をパラメータとしてPO₄-Pとクロロフィルaの関係を求めた結果を示す。20~25℃の温度範囲でクロロフィルaが低濃度から高濃度へ遷移し、そのときPO₄-Pが減少することが明らかとなった。

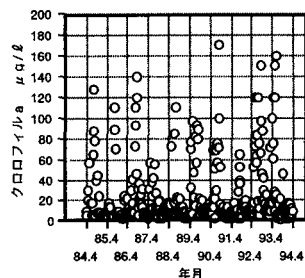


図-8 伊佐座のクロロフィルa

津野(1991)が報告している湖沼の全リンとクロロフィルaとの関係に伊佐座の結果(年平均PO₄-Pと年平均クロロフィルaの関係、10ヵ年分)を追加し図-10に示す。様々な富栄養化対策を実施している湖沼と同程度のクロロフィルaが年平均値として出現していることが理解できる。

図-9と同様に、アンモニア性窒素に着目し、水温をパラメータとしてクロロフィルaとの関係を求めた結果は、図-11である。PO₄-Pの場合と同様な結果となるが、高水温期には、硝化によるアンモニア性窒素の減少もあるため、クロロフィルaの増加との関係については、検討が必要なものと考えている。

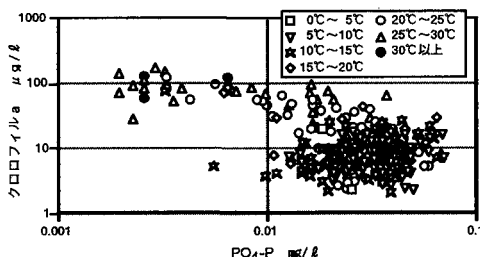


図-9 PO₄-Pとクロロフィルaの関係

次に、図-12にクロロフィルaとBODの関係を示す。約25mgBOD/クロロフィルa mgのBOD上昇が認められ、また、クロロフィルaの生成がなければ環境基準B類型がほぼ達成されることが分かる。図-6、7の窒素、リンが減少傾向を示すのに対して図-3のBODが減少せず、またその濃度が季節的周期で変動しているのはクロロフィルaの生成が一因であることが理解できる。

遠賀川における河口堰内水域では、「河川の湖沼化」ともいえる流況変化が、富栄養化した水質と相乗して水質汚濁を引き起こすことが明らかとなった。

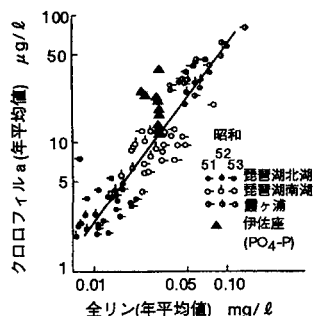


図-10 代表的湖沼と伊佐座の水質比較

3. 5 CODについて

河口堰内水域では、「湖沼化」に伴う富栄養化の現象が認められることから、河川ではあるが、湖沼の有機物指標となっているCODの経年変化についても検討した。結果を図-13に示す。夏場は8~10mg/l、冬場は3~5mg/l程度で季節的に振動しており、BODの場合と同様、経年的な減少傾向はみられず、その濃度変動がクロロフィルaの生成に因っていることが推察できる。伊佐座のCOD値を生活環

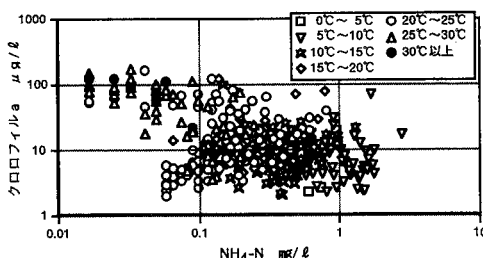


図-11 NH₄-Nとクロロフィルaの関係

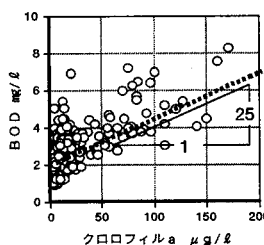


図-12 クロロフィルaとBODの関係

境の保全に関する環境基準-湖沼-A類型(水道2、3級、COD値3 mg/l以下)と比較するとCOD値は、ほとんど満足していないことになる。

3. 6 SSについて

図-14にSSの経年変化を示す。SSの変動には、先に示したBODやCODと異なり、変動の周期性が認められない。図-15に遠賀川河口堰の建設前と建設後に分けて、SSとBODの関係を示す。SS濃度に比例してBOD濃度が大きくなるグループAとSS濃度に関係なくBOD濃度が一定のグループBに大別できる。これまでの各水質項目の変動特性も勘案して考察すると、グループAは流量が低くクロロフィルaの増加が著しいときの藻類をSSとして測定していると考えられる。一方、グループBは貯留水域への流入量が大きく、藻類の増殖は著しくないが、無機性の泥、土砂の類がより多く流入している状態で、この泥、土砂をSS濃度として測定していると考えられる。

これらの状況は、それぞれ正に湖沼、河川での有機物指標と浮遊物質の関係を示しており、貯留水域の汚濁形態は、流入水量を主因として湖沼型と河川型の間を揺らいでいるといえる。

また、河口堰建設の前後で以上の関係に、さほど変化は見られない。図-3、6、7、13、14などでも河口堰建設前後で変化はない。これらのことは、河口堰が建設される以前には伊佐座の堰(1936年建設)が運用されており、当時よりすでにその堰内の水質変動特性は今日とさほど変わらなかったことを伺わせるものである。

4. 水問題に関する検討

流域全体を通した水問題の把握とこれに対処するために、各水利用形態、水質と水量などを考慮に入れた水管理の政策分析を行なうには、水利用者と水の機能、水利用者の利益と水の機能を満たすような必要条件、水質変動特性、水文解析、汚濁負荷解析などについて流域全般にわたる調査が必要となる。したがって、本論文では、河口堰内貯留水の水質変動の解析から得られた範囲の限定的な水問題の工学的側面について、考察を加えることとした。

これまでの水質変動特性解析の結果、河口堰による貯留水域の汚濁形態は、水域の富栄養化とあいまって、上流側の流量により湖沼型と河川型の間を揺らいでいることが明らかになった。この問題について水量管理と水質管理の視点から考察した。

4. 1 水量管理

高水温期に日の出橋地点の流量として約10m³/秒を境に、これより小さい流量の場合は藻類の増加が著しく、富栄養化した湖沼の汚濁形態を示し、大きい場合は、濁質濃度の大きい河川の水質となることが示された。上流側における水量管理が下流側水質を決定する重要な要素の一つとなることを示している。すなわち、水質管理が水量管理を包含することになる。

河川の正常流量を定める検討項目を表-3に示す。これら10項目の中で、現実的にはその地点で必要となる水利流量がこれらの中で最大となるケースが多く、これをその地点の

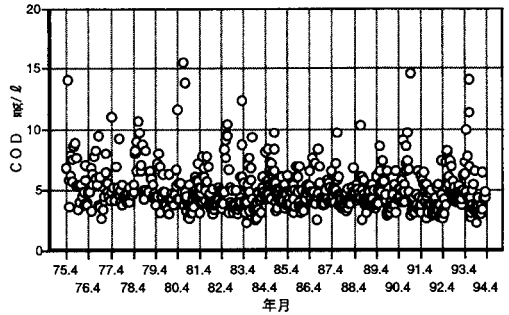


図-13 伊佐座のCOD

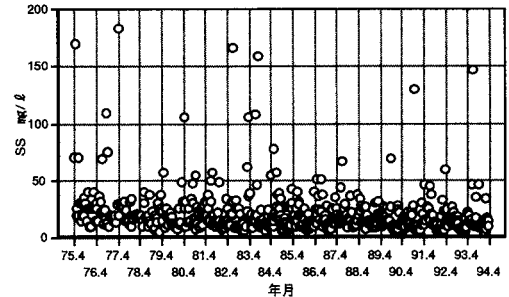


図-14 伊佐座のSS

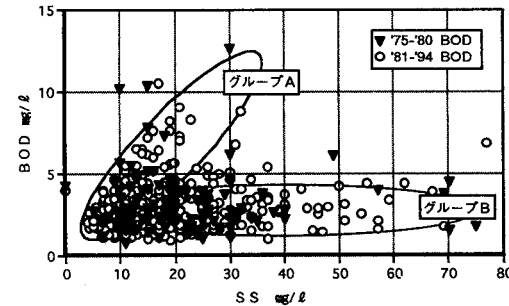


図-15 SSとBODの関係

表-3 正常流量を定める項目

1. 舟運
2. 漁業
3. 景観
4. 塩害の防止
5. 河口閉塞の防止
6. 河川管理の保持
7. 地下水位の維持
8. 動植物の保護
9. 流水の清潔
10. 水利流量

正常流量として採用することが一般的である。このように、下流側の流況変化によって生じる水質変化への上流側流量の影響が、その機構も含めて十分には考慮されていないことから、河口堰を有する河川の正常流量や上流側流量については、流域総合管理的考え方が必要と思われる。水資源確保と利用形態を適正に維持するための水管理に、複雑化した水質問題が含まれたものとなると、利水を主な対象とする水量管理手法のみでは、今後の水問題の解決は一般的には困難になると考えられる。

4. 2 水質管理

これまでの結果から分かるように、湖沼における富栄養化の下限値といわれている全窒素濃度 0.2mg/l 、全リン濃度 0.01mg/l を通年で超過しているのが、貯留水域の現状である。水温、日照などの条件が整えば、前述の上流側流量により藻類の発生とこれによる水道水の着臭という利水障害はいつでも生じ得る状況にある。また、アンモニア性窒素の濃度レベルや浄水処理によっては、トリハロメタン生成という障害も生じ得る。したがって、河川ではあるが「湖沼化」した流況、現状の汚濁形態、水道水としての利水などを考えると流域全体での窒素、リンの削減を図る必要性が遠賀川流域には認められる。しかし、一方では、負荷の削減対策のみで富栄養化防止が困難なことも栄養塩類の負荷解析で想定されることもあろう。このようなケースでは、前述のように流量管理で藻類発生とその利水障害を抑制、低減できる可能性もあることから、水質保全のための季節的な流量確保など、利水者による技術的対応だけではなく、広く政策オプションを考慮しておくべきである。このためにも流域における水循環に関わる基盤施設整備の長期的計画について、費用・便益比較や、場合によっては望ましい状態の設定変更なども含めて水質管理、流域管理の視点から評価しておく必要がある。

流域ごとに異なる流況下の水利用形態とそこで必要な水の条件、機能の保持を水環境の管理目標とすると、流域全体での施策を通じた水質管理のための政策分析が必要になるものと思われる。

5. おわりに

ダム貯水を含めたとしても河川表流水は、湖沼、地下水等に比較して、空間的、季節的な偏在が大きい水資源である。また、治水上の制約のため利水上の水量確保にしても、水質保全にしても制約が多い。したがって、乏しい資源は最も効率的に利用しなければならないという共通観念に基づいた利用者間の均衡ある水資源の配分を目的とした水量管理と同時に、必要な水の機能を満たすような水質管理のためには、より総合化された管理手法の開発が必要と考える。さらに、河口堰による貯水とダムによる貯水を比較すると、河口堰の場合、上流の水利用形態を原因とした利水障害が複雑で、なかなかその解決の糸口を見いだし得ないのが現状である。河口堰をもつ河川流域の水質管理には、ダムの場合よりかなりの困難さを伴い、また管理手法としても総合的観点からの流域管理手法が要求されるものと思われる。

このための工学的手段としては、存在するシステムとその問題点の客観的・科学的な分析、および想定される政策オプションの提示と評価までをおこなう政策分析が有効と考えられる。流域を対象とした政策オプションからの選択、すなわち政策決定は、当然ながら流域社会の意志に委ねられることとなる。

都市化は、水環境に対して次のようなインパクトを与えながら進んでいる。

- ・都市を支える水システムにおいて特に都市排水系の基盤施設の構築が後追いのになっている。
- ・旧来の農水需要に加えて、都市用水と産業用水の需要を増加させている。
- ・し尿が、肥料から廃物（都市排水）へと価値を変化させた。これは、たとえ処理されたとしても確実に水環境への負荷を増大させ、水質の劣化を招いている。

このような都市化の流れの中で、利水問題を解決するための水量管理では現状の様々な水問題の解決が困難になりつつあり、都市化以前には必要でなかった複合化した水問題を解決するための新たな水管理に関する概念形成の必要性が高まりつつあると思われる。

【参考文献】

- 津野 洋、1991：水問題における隣の話、月刊「水」、No.5
北九州市水道局、1990：平成2年度水質試験年次報告