

下水処理水再利用による河川流量増強効果の 評価手法

白川直樹¹・楠原千佳子²・玉井信行³

¹正会員 工博 東京大学助手 大学院工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

²学生会員 東京大学大学院修士課程 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

³フェロー会員 工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科 (〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20)

河川の減水区間対策の水源として下水処理水に着目し、上水取水点まで導水・放流して河川流量を増強した場合の効果と費用を計算した。効果は水理量（水面幅・水位）、水質（BOD）、それに流況曲線を用いた順序統計学的手法により評価した。導水量を変化させて各ケースの費用対効果を算出したところ渇水基準と低水基準の間に差が生じた。事業規模を大きくして複数処理場を組み合わせると、水質影響はほぼ事業費用に比例したが流量影響には組み合わせによる優劣がみられ、代替案の比較や取捨選択に有効な結果が得られた。

Key Words: environmental flow, reuse of reclaimed water, evaluation of river flow, Tama river

1. はじめに

水需給が逼迫する都市域において、下水処理水は貴重な水資源となる。水質に厳しい条件が課されないかわりに安定した水量が望まれるような用途は少なくない。歴史的景観の保全や親水性の維持を目的とした人工水路への通水などはその性質に合致した供給先であり、利用価値が高い。さらに進んで、より一般的な都市河川における環境用水も処理水の再利用先として有力である。

多くの都市河川は、都市用水の取水によって流量が減少させられている。この水量負荷は取水点と排水点の間に限られるが、水使用量が増大するにしたがい取水点が清澄な水源を求めてより上流へ、排水点が汚濁を恐れてより下流へと移動していくと影響区間はどんどん長くなる。流量減少区間に汚水の流入があると希釈効果が小さいため悪臭や汚濁など局所的に激しい汚染が生じるし、景観の貧化や動植物への悪影響も懸念されるところである。下水処理水そのものが汚染の原因となつては元も子もないが、近年では処理技術も進んで排水の水質も向上し河川水に近づいている。下水処理水をうまく活用することによって、これらの問題点の多くを解決できるのではないだろうか。

本論文では、下水処理水導水による河川減水区間の流量改善策を立案し、流量増強の効果を算定する。効果の評価にあたっては、代替案の選択や合意形成・意思決定過程において有益な判断基準たりうることを目的とした。そのため、曖昧な根拠による総合化や単一指標化は行わず、明確な価値基準に基づき理解の容易な物理量で定量化する。

2. 対象区間と検討条件

(1) 対象地域

東京都の水道用水の約2割を供給する貴重な独自水源である多摩川は、河口から53.7km地点にある羽村堰で流量の大部分が取水され、これより下流が減水区間となっている。取水された水は利根川由来の水と混合しながら多摩地区を中心に使用され、43.8km地点の多摩川上流処理場を始めとする6つの流域下水道処理場などから多摩川に排水される（図-1）。縦断方向の流量は図-2のようになっている。羽村堰での減水と下水処理水流入による流量回復がみてとれる（東京都観測、平成7年度¹⁾）。本論文では、流量がほぼ羽村取水前の水準まで回復する

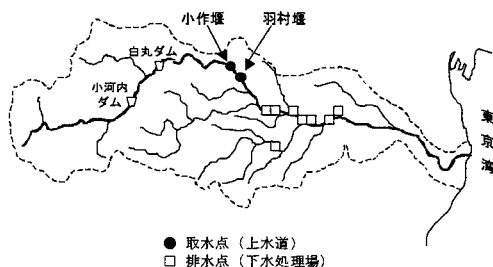


図-1 多摩川の取水点と排水点

北多摩一号処理場排水点 (29.2km) と羽村堰の間の区間を検討対象区間とする。

羽村堰の取水による減水は江戸時代の玉川上水掘削時より始まったが、当初は堰が透過構造だったため下流にも相当程度の水量が確保されていた。明治以降、東京の水道用水需要増大に伴って羽村堰も徐々に強化され、下流の減水状況は厳しさを増した。小丸内ダム築造時に下流との水利紛争という形で減水問題が顕在化し、1936年には5/20～9/20の期間だけ2m³/sの溢流をなすことになった²⁾。ただしこの放流には環境対策の意味はなく、純然たる水利調整策である。

羽村堰と平井川合流点の間にある都市下水路排水点では水質悪化が著しく底生動物の生物相変化地点として有名なほどであった²⁾し、地元から1982、86、89年とたてつづけに流況改善の要望書が出されるほど流水減少による環境悪化が強く意識されていた。これらの要望を受けて通年2m³/sの放流が実現したのは1992年からである。しかし本来あるべき自然流況に比べれば量も変動も微小なものにすぎない。この区間では土砂動態の変化ともあいまって高水敷の樹林化や魚類相の変化、河原依存植物の激減などがみられており、生物・工学両面からの河道修復実験も行われている³⁾。

(2) 流量改善策の検討

減水区間の流量改善には幾通りかの方法があるが、大別すると取水量削減および新規水源確保のどちらかに帰着する。取水量を減らすには水消費量の節減が一番本質的かつ効果的な対応だが、取水点の下流移動、他流域からの取水増加といった選択肢も考えられ得る。しかしいずれの方法にしても、消費量節減には産業構造や生活スタイルの転換、取水点移動には人々のリスク認識、他流域水源には水利調整等といった微妙な社会科学的問題が絡んでくるため実現性の検討は難しい。第二の方法として水をどこからか持ってくることを考える。流域外から

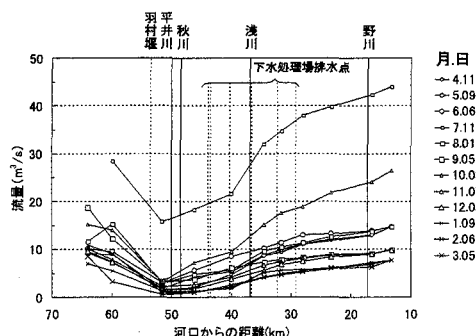


図-2 縦断方向の流量変化
(平成7年度、東京都¹⁾)

導水することも状況によっては可能だが、まずは自流域内での供給を目指すべきであろう。環境用水確保のため新規にダム等の利水施設を建設するという着想さえあるが、流域内で使える安定した水量資源として下水処理水に目が向くのは自然の成り行きといえる。

減水区間を量でなく距離の面から捉えたと、次のような考察もできる。河川の三大自然特性⁴⁾の一つ、「縦断方向の連続性」に着目すると、取水点と排水点の間に形成される減水区間は流量の連続性を妨げる空間と認識される。この空間を最小化するには、取水点と排水点はできるだけ近い方がよい。しかし取水点を下流に移動させることは水源水質に対して人々が抱くリスク感覚をいたすに刺激するおそれがある。排水点の上流移動にはこうした懸念は少ない(ただし事業コストは取水点移動に比べて不利になる)。多摩川では羽村より下流に取水点がほとんどないため羽村まで排水点を持っていっても他水利の支障とならないのは排水点移動案を支持する有利な条件である。

対象区間には、右岸側と左岸側にそれぞれ4つの下水処理場が存在する。このうち支流に流入する北野処理場(八王子市)、立川市単独処理場である錦町処理場を除く6つの処理場から出る排水を羽村堰まで導水し、減水改善を図ることとする。本川沿いに導水管を敷設し、揚水用のポンプ場を設ける。高度処理の有無も選択肢にする(現在多摩川上流処理場では玉川上水の清流復活用水にのみ高度処理を行っている)。

各処理場排水の水量および水質は下水道事業年報⁵⁾から得た。河川流量は、調布橋地点の流量を流量年表⁶⁾から、小丸内ダムの流入・放流量を貯水池管理年報⁷⁾から、小丸堰・羽村堰での取水量を水道局事業年報⁸⁾からそれぞれ得て計算に用いた。時間単位は日流量、対象基準年度は平成10年度である。

3. 流量増強の効果

(1) 減水による環境負荷の種類

流量の環境影響は図-3のようにまとめられる。流量が減少するとまず物理量が変化する。これは、水深・流速・水位・水面幅・水量といった水理量の減少として現れる。そしてその各々が二次的に河川環境の構成要素である河道内地形・河岸地形・水質・地下水位・景観（眺め）等を変質させる。さらにそれらが河畔植生や水生昆虫、魚類などの河川生物相に影響を及ぼす。時系列でみると流量変動の平滑化や激化、攪乱頻度の変化も環境インパクトとして大きな意味をもつが、ここでは省いている。

環境評価は経済評価のように単一指標で集計することができない。影響の多面性、自然環境の不可知性（複雑性）等から、複数指標を並列して総合評価に供するという間接的な経路をとらざるをえない。よって、どの指標を採用するかが重要な選択となる。指標群の望ましい性質は、測定や計算が容易かつ精度よくできること、その意味や価値が明確なこと、複数評価項目の混在による重複計算が起きないこと等である。

世界各国の環境流量設定法を分類した Tharme⁹⁾によれば、流量の評価法には①水文統計に基づく方法②水理量に基づく方法③生物生息場シミュレーションに基づく方法④全体包括的な方法、の4種がある。本論文では①と②を併用し、①については(5)節で検討する。②の水理量では潤辺をとることが多いが、本論文では水面幅と水位を採用する。潤辺は生物生息領域の代表性をもつが、水面幅はそれに加え景観にも影響する因子である。さらに水位をとることによって河畔の生息場も考慮することができる。

水理量は図-3における第一段階に当たり、測定・計算は容易だがそれ自体の意味（価値）が明確でない。意味の明確さでは第三段階の生物相が一番だが調査や定量化が困難である。本論文でとる方法は、水理量を使いつつもそれらの中間に位置する第二段階の環境構成要素を評価軸の基準に据えるアプローチである。環境構成要素は生物生息を支える物理基盤という意味をもつ。河道内地形、河岸地形、地下水位の3つを生物生息環境として一括し、水位・水深と水面幅で代表させる（本来はここに土砂輸送を加えるべきだが、対象区間では羽村堰により土砂供給がおさえられており、検討する流量範囲では大きな動きが起これないと判断して除外した）。水位と水深は後述するように同一視される。水質を(3)節で計算し、景観は生物生息環境とともに(4)節で検討する。

さて、評価にあたって評価関数（何を理想状態とするか）を定める必要がある。河川環境の改善は水質であれ生態系であれ究極には人間の効用水準向上に資するものでなければならない。ただしそれは目の快樂や経済利

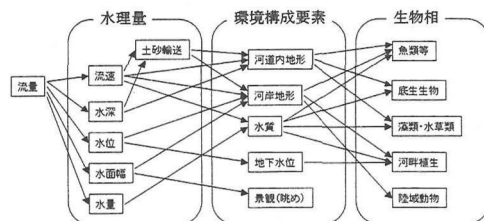


図-3 流量の環境影響

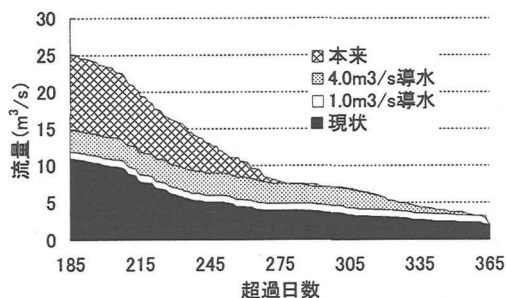


図-4 推定された流況曲線
(秋川合流点、平水以下の部分)

益を意味するのではなく、長期にわたる人間社会の持続可能性を基盤から支えることを意味する。環境要素や生物相が人間の持続可能性に果たす役割ははっきりしていないが、自然環境の変動の枠内で人類がここまで発展してきたことを考えると、あまりに大きな自然状態からの逸脱は人類の存続基盤を損なう結果を招く可能性が高いと判断できよう。そこでここでは不確定性をもつ自然攪乱を河川の自然特性とみなした上で、仮想的に人間活動の影響をできるだけ排除した潜在自然状態を環境面からみた理想状態と定め、現状をどれだけそこに近づけることができるかを評価関数にすることにした。この潜在自然状態に対応する流量は、対象区間でいうと小河内ダム・小作堰・羽村堰を取り除いた状態に相当する。

(2) 潜在的自然流量および改善後流量の推定

羽村堰直上流の流量は、流域からの自然流出に加え小河内ダムおよび小作堰での流量操作によって規定される。自然流出量の推定には小河内ダムへの流入量のほか、調布橋流量と小河内ダム放流量の差を用いた。前者は小河内ダム流域の自然流出、後者は残流域からの自然流出とみなせる。秋川や平井川の流量は後者を用いて推定した。小作堰・羽村堰での取水量は年報にある月間取水総量を日数で割って日取水量としたが、羽村堰では最低 $2\text{m}^3/\text{s}$ を下流に放流するという制約条件をつけた。潜在的自然流量の推定には、小河内ダムの調節量（流入量と放流量

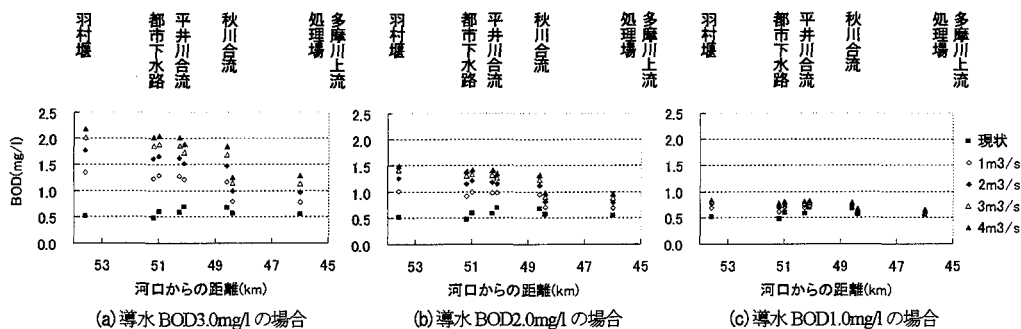


図-5 導水量による BOD の変化 (縦断方向)

の差)を調布橋地点の観測流量から差し引いて自然比流量を算出し、羽村堰地点の流域面積に適用する方法を採った。導水後流量は、導水量を現状推定流量に足し合わせた流量である。すなわち導水時の漏水は無いと仮定しており、また河道内での伏流や浸出も捨棄している。羽村堰下流では下水排水のほかには平井川・秋川以外の流入を計算していない。

こうして推定された流況曲線の平水(年間185番目日流量)以下の部分を図-4に示す(秋川合流点直下)。自然状態に戻すことを目標にするため、渇水期には導水量を加減して自然渇水を再現する。導水量は1.0m³/sと4.0m³/s(多摩川上流処理場の日平均処理量にほぼ等しい値)の二通りを示した。

(3) 水質の影響

まず、水質面の影響を見積もった。下水処理水を環境用水に利用する場合、親水活動に際する人体への影響、臭気や汚濁による近隣住民やレクリエーションへの影響、水中生物への影響などが懸念される。ここでは水中生物への影響を主にみるため有機物量(BOD濃度)を指標とし、Streeter-Phelpsの式を用いて計算した。羽村堰地点では2m³/s放流されている原水に下水処理水を混合することから現状よりも水質はやや悪化するが、下流の都市下水路排水流入点では希釈効果が期待できる。自浄係数は小泉・山崎の研究¹⁰⁾を参考に0.4とした。都市下水路と平井川・秋川の流入水質は東京都環境局の測定した月1回の測定値¹¹⁾の年平均をとった。秋川合流点の直下に昭和用水堰があるが、農業用水の取水は最大0.44m³/s²⁾、拝島原水補給が0.7m³/s程度⁸⁾と小さく、かつ日変動がはっきりしないので無視した。処理水のBODを3.0mg/l、2.0mg/l、1.0mg/lの3ケースに分けて計算した。3.0mg/lが現況、1.0mg/lが高度処理後を想定している。

多摩川上流下水処理場排水点までの計算結果が図-5である。現状は羽村堰地点のBODを0.5mg/lとして計算

しているが、これに比べるといずれも水質は悪くなる。羽村堰地点のBODは導水BOD濃度2.0mg/lでは1.0m³/sの導水量でも1.0mg/lに達し、環境省の環境基準でAA類型からA類型になる(この区間の設定はA類型)。導水BOD濃度3.0mg/lの場合、導水量が2.0m³/sを超えると秋川合流後もAA類型にならない。逆に導水BOD濃度が1.0mg/lの場合には導水量が4.0m³/sであっても全区間でAA類型に保たれることがわかる。

(4) 景観・生物生息環境への影響(水面幅および水位)

次に景観と生物生息環境への影響を検討する。

景観という言葉には、地形や植生を含んだ物理的存在をさす場合(生態学など)と視覚によって捉えられる心理現象をさす場合の二義がある。ここで使う景観とは後者、いわゆる「眺め」をさす。「景観は人間が河川を眺める時に生じる心理現象である」と定義しているのは正常流量検討の手引き(案)¹¹⁾であるが、そこでは水量感の心理実験から見かけの水面幅が見かけの河川幅の20%以上になることを良好な景観の目安に定めている。流量の大小がもたらす景観変化として、水面幅を指標とすることに異論はでないであろう。ただし、水面幅と景観価値の関係(水面幅が2倍になれば価値も2倍になるのか?)は定かでない。

一次元不等流計算によって水面幅の変化を算定した。平井川合流前(区間①)、秋川合流前(区間②)、秋川合流後(区間③)において橋梁近傍の地点をそれぞれ選び、平水流量時の水面幅を求めたのが図-6である。現状(導水なし)を0とし、潜在的な自然状態の値も示した。水面幅拡大量の潜在的な自然状態水面幅(と現状水面幅の差)に対する割合を潜在的な自然状態への接近度と定義し、図-7には流量増大に応じて接近度が大きくなる様子を表した。

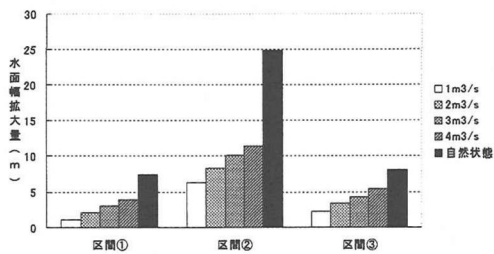


図-6 導水量と水面幅拡大量の関係

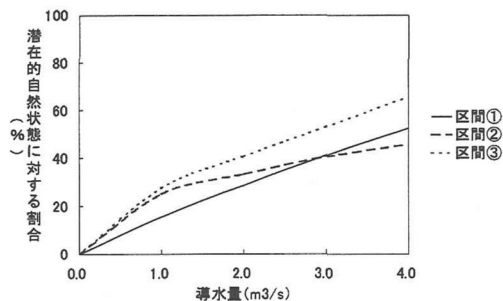


図-7 導水による水面幅の潜在的な自然状態への接近度

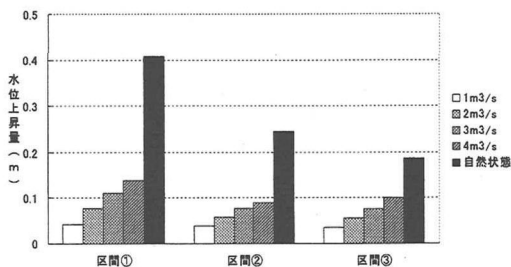


図-8 導水量と水位上昇量の関係

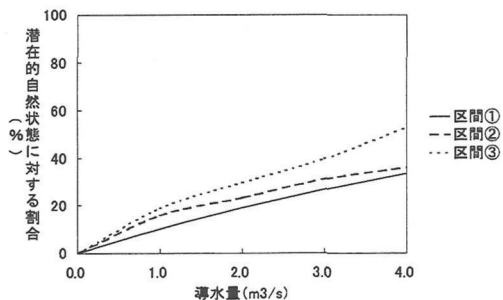


図-9 導水による水位の潜在的な自然状態への接近度

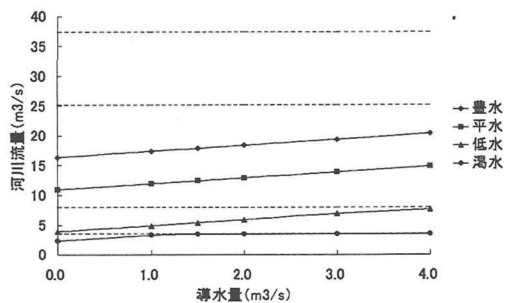


図-10 導水による豊水・平水・低水・渇水量の変化
(秋川合流点、以下同じ)
(図中の水平点線は潜在的な自然状態の各値を示す)

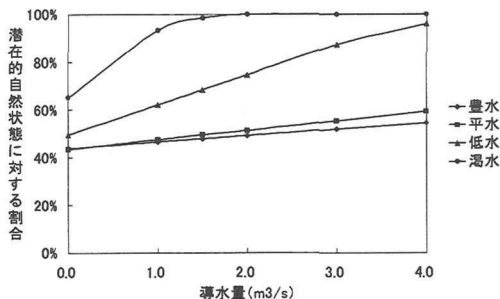


図-11 導水による流況の潜在的な自然状態への接近度

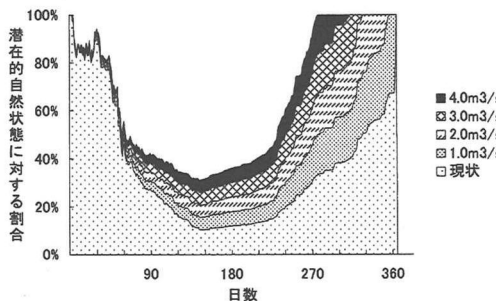


図-12 導水量による流況の潜在的な自然状態への接近度の変化

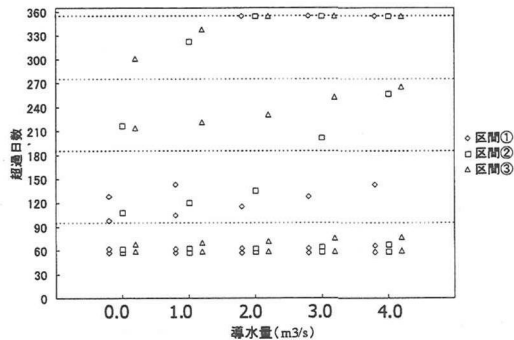


図-13 自然流況の超過日数による評価

生物生息環境には水面幅のほか水位や流速が関係するが、中でも水面幅は水域内の生息可能空間の量を直接左右するので重要である。一方で河畔の植生や小動物には冠水頻度、すなわち水位が重要な要素になるであろう。河川水位は地下水位にも影響を及ぼし、陸域の植物の生息条件を左右する。平水時水位からの高さ（比高）と植物種に有意な関係がみられた例も報告されている。河道内では水深が大きな意味をもつが、本検討では河床変化を無視しているため水深変化は水位変化と一致する。

水位の変化を水面幅と同様に図示したのが図-8 および図-9 である。取水減水によって自然状態より 20~40cm の水位低下が生じているが、 $4.0\text{m}^3/\text{s}$ 導水するとその 1/4 ~ 1/2 が回復することがわかる。自然状態に対する割合でみると、水面幅の方が水位よりも早く回復する（自然状態に近づく）。効果の伸びは断面形状に依存し、例えば区間②では導水量 $1.0\text{m}^3/\text{s}$ で浸水する部分が幅広断面なので水面幅が大きく拡大するがそれ以上は狭いのであまり拡大しない。

導水量の違いと効果の関係は定量化できたが、図-4~9 では最適導水量を判定するほど決定的な差はみえない。

(5) 流況

つづいて流況に基づいた順序統計学的な評価を試みる。

まず、秋川合流点における豊水・平水・低水・渇水にあたる流量の変化を調べると図-10 のようになる。これを潜在的な自然流量に対する割合でみたのが図-11 である。渇水時や低水時の改善効果が高いことがみてとれるが、渇水量を目標指標にとれば $2.0\text{m}^3/\text{s}$ の導水で目的が達せられるし低水量ならば $4.0\text{m}^3/\text{s}$ あまりで達成できそうである。逆に日数を横軸にとったものが図-12 であるが、平水付近の減水割合が最も大きいことがわかる。

時系列的要素を生物生息の立場から考えると、図-10 のように流況曲線を縦に眺めるより図-12 のように横に眺める方が重要である。ある流量を上回る（もしくは下回る）日数が何日あるか、という観点である。とくに低水時の環境用水増強では、縦にみると変化が過小評価されやすい。図-13 は、自然状態での豊水量等を上回る日数が何日あるかを示したものである（プロットの下から順に豊・平・低・渇）。現状の減水状態では年間のおよそ半分は自然状態の渇水量程度の水しかなく、年に 10 日間だけ耐えれば良かった減水環境にのべ半年ほど耐えなければ生き延びていけない状態におかれている。しかし $2.0\text{m}^3/\text{s}$ の導水により渇水日数は自然状態にまで回復させることができる。低水量についても同様に、年間の 3/4 は確保されていた環境を現状では年の 1/3 ほどしか享受できていないが、 $4.0\text{m}^3/\text{s}$ 導水により年の 1/2 程度は享受できるようになる。

4. 費用対効果の計算

前章では導水量と効果の関係を調べたが、導水量が大きくなっても景観や生物生息場を改善する効果が収束していく傾向はみられなかった。水質はやや悪くなるにしても高度処理等の対策によって環境基準内に収めることは可能であるから、これだけで最適事業規模を決定することはできない。そこで、事業コストを算出して費用対効果の面から評価を試みる。ただし、費用対効果では代替案の比較はできるが効果を便益換算しないことから事業実施の可否までは分析できない。

費用の大部分は、導水管建設費、ポンプ場の建設費と運転費、下水処理水の高度処理費から成る。導水管建設費は水力発電所の見積式¹²⁾、ポンプ場の建設費は下水道工事の積算式¹³⁾、高度処理施設建設費は土木研究所の資料を元にした小泉・山崎¹⁰⁾の値、高度処理にかかる電力料金は実績値を採用した。ポンプ運転費は効率を 0.7 として求めた。

建設費は地方債でまかなうこととし、返済年数を 30 年、利率を 3% として 1 年あたりに換算し、運転費と合算して費用を試算した。こうして求められた年費用を横軸にとり、前章で求めた効果をそれぞれ縦軸に取ると図-14 が得られる。ただしここでは導水元を多摩川上流処理場のみに限定しており、水質のみ高度処理の有無両ケースを示した（他図は全て高度処理あり）。水質は区間内の最高値と最低値、水面幅と水位は 3ヶ所の値、流況は区間内の平均値を表示している。

各効果を見比べると、水面幅や水位は導水量に関わらず費用対効果はほぼ一定になっており、優劣がつけられない。しかし流況に関しては、渇水量の復元を目的とするなら $2.0\text{m}^3/\text{s}$ 導水でよく、低水量まで改善しようとするなら $3.0\text{m}^3/\text{s}$ 以上の導水が必要、平水量まで対象とするなら $4.0\text{m}^3/\text{s}$ でもまだ足りない、という判断ができる。そして、高度処理の有無は水質悪化をどこまで許容するかで判断できよう。

なお、導水量が大きくなると固定費に対する運転費の割合が高くなり、年間費用との関係は比例に近づく。固定費が年間費用に占める割合は、 $1.0\text{m}^3/\text{s}$ 導水の場合で約半分、 $4.0\text{m}^3/\text{s}$ の場合では約 1/3 である。

5. 最適組み合わせの検討

前章で検討した $4.0\text{m}^3/\text{s}$ までの範囲では費用対効果に大きな差がみられなかった。そこでさらに導水範囲を広げ、6つの流域下水道処理場すべてを対象とし、各処理場からの排水を全量導水するとして、組み合わせによる費用対効果の差を検討した。多摩地区の流域下水道はま

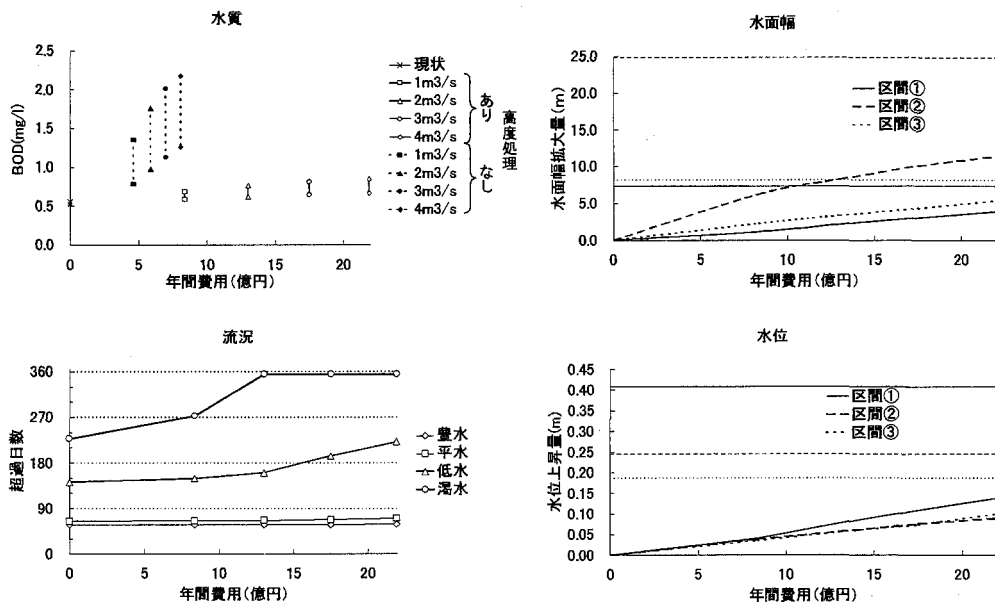


図-14 導水量に対する費用対効果
(水平線は潜在的な自然状態における各値を示す)

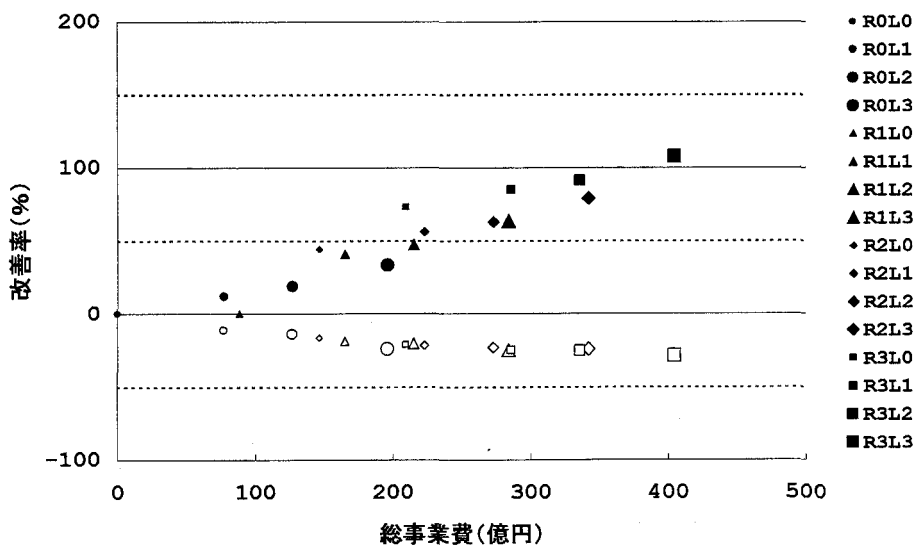


図-15 各ケースにおける事業費と効果の関係
(黒塗りは流量、白抜きは水質)

だ整備の進行段階にあり、下水排水量として実績値と計画値のどちらを用いるかによって結果がやや異なるが、ここでは計画値を用いた。組み合わせの表記は RIL2 等といった形にする。R は右岸側の処理場、L は左岸側の処理場を表し、数字は幾つの処理場を導水管で結ぶかを表している（例えば R2L1 であれば右岸側の処理場のうち上流から 2 つと左岸側の最上流にある処理場の合計 3 ヶ所から導水管を引く。前章の検討は ROL1 に相当する）。上流側の処理場を飛ばして下流から導水することはしない。また、下水排水は全量を導水にあてることとした。

効果として包括的指標である環境流量ポテンシャル消費量（減水量と区間長の積）¹⁴⁾を用い、水質影響を BOD 削減率に代表させて示したのが図-15 である。正值は改善、負値は悪化を意味する。この図から、水質影響は事業費にほぼ比例して大きく（悪く）なるが水量影響は組み合わせ次第で費用対効果に差が出ることがわかる。おおむね左岸側よりも右岸側の処理場から導水した方が効果が高い。例えば ROL1 よりも RIL0 が費用対効果に優れており、RIL2 よりも R2L1 が優れている。これは処理水の量の差を反映しているが、右岸側の処理場は右岸に比べ実績値と計画値の乖離が大きく、実績値ベースで計算を行うと逆の結果となる。

6. まとめ

本論文では、物理指標に基づいて下水処理水を活用した環境用水の環境改善効果を評価した。河川の減水は環境インパクトの一つとしてよく話題になるが、その解消手段たる環境用水の効果を定量化することは困難とされてきた。一挙に人間の効用や生物相の評価を行うのは確かに困難であろうが、本論文で提示したように物理指標を介在させることにより合意形成や広範囲の意思決定、具体的には基準値の設定に資することが期待できよう。

謝辞：不等流一次元計算にあたって、国土交通省京浜工事事務所の多摩川断面データを使わせていただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 東京都環境保全局：平成 7 年度公共用水域の水質測定結果、1996。
- 2) 新多摩川誌編集委員会：新多摩川誌、山海堂、2001。
- 3) 島谷幸宏、高野匡裕：多摩川永田地区における学術研究と河道修復（順応的管理の実践と課題）、河川技術論文集 Vol.7, pp.381-386, 2001。
- 4) 玉井信行、奥田重俊、中村俊六編：河川生態環境評価法、東京大学出版会、2000。
- 5) 東京都下水道局：事業年報平成 10 年度、1999。
- 6) 国土交通省河川局編：流量年表、日本河川協会。
- 7) 東京都水道局：小河内貯水池管理年報平成 10 年度、1999。
- 8) 東京都水道局：事業年報平成 10 年度、1999。
- 9) R. Tharme : An Overview of Environmental Flow Methodologies, with Particular Reference to South Africa, *Environmental Flow Assessments for Rivers: Manual for the Building Block Methodology*, JM King, RE Tharme and MS de Villiers eds., Water Research Commission, Pretoria, pp.15-40, 2000。
- 10) 小泉明、山崎公子：下水処理場放流水の汚濁負荷量と河川水質との関連分析—多摩川流域におけるケーススタディ、環境システム研究 Vol.26, pp.157-163, 1998。
- 11) 建設省河川局：正常流量検討の手引き（案）、1992。
- 12) 新エネルギー財団水力本部：中小水力発電ガイドブック、新訂 3 版、2000。
- 13) 建設物価調査会積算委員会：下水道工事積算の実際、改訂 10 版、建設物価調査会、2000。
- 14) 白川直樹、吉田昌平、玉井信行：東京都の経済活動による河川環境負荷の定量化とその軽減策の検討、環境システム研究論文発表会講演集 Vol.29, pp.111-116, 2001。

REUSING RECLAIMED WATER FOR ENVIRONMENTAL FLOW AND ITS EVALUATION METHOD

Naoki SHIRAKAWA, Chikako KUSUHARA and Nobuyuki TAMAI

Effect of environmental flow in an urban river is estimated. Reclaimed water from sewage treatment plant is pumped up to its original intake (weir) and released to the river. The effect is described as changes in several hydraulic components such as water level and water surface width, and also change in water quality (BOD) is estimated. Flow duration curve is also utilized to quantify the flow re-regulation impact. Implementation cost for the project is calculated to compare the alternatives, and the cost-impact relationship is obtained.