

# 茨戸川の水質改善に向けた導水効果の検証

Test on the Effects on Water Quality of Introducing Water into the Barato River

杉原幸樹<sup>1</sup>・中津川誠<sup>2</sup>・秋山泰祐<sup>3</sup>・坂井一治<sup>4</sup>・益塚芳雄<sup>5</sup>

Kouki SUGIHARA, Makoto NAKATSUGAWA, Yasuhiro AKIYAMA, Kazuhiro SAKAYI,  
Yoshio MASUZUKA

<sup>1</sup>正会員 理修 (株) 福田水文センター 環境水工部 環境課(〒001-0024 札幌市北区北24条西15丁目2-5)

<sup>2</sup>正会員 工博 室蘭工業大学 建設システム工学科(〒050-8585 室蘭市水元町27-1)

<sup>3</sup>北海道開発局 建設部 河川計画課(〒060-8511 札幌市北区北8条西2丁目 札幌第一合同庁舎16F)

<sup>4</sup>北海道開発局 石狩川開発建設部 計画課(〒060-8541 札幌市中央区北2条西19丁目)

<sup>5</sup>(株) 福田水文センター 環境水工部(〒001-0024 札幌市北区北24条西15丁目2-5)

To improve the water quality of the Barato River, there are plans to introduce water into that river from the Ishikari River. The plans were implemented on a trial basis at the Barato River in 2005, and BOD was found to decrease, confirming water quality improvement. Downstreamward flow of the introduced water predominated over backflow, and water quality improvement at the upper reaches of the Barato River was much greater than at the lower reaches of that river. Onsite observations, a water-quality prediction model and the water budget measurements indicated that dilution and runoff were the most significant factors for water quality improvement. It was also indicated that the introduction of water brought the greatest reduction in BOD when it was done at the uppermost reach of the Barato River and that the introduced water brought about the direct effects of dilution and runoff and the indirect effects of reduction in backflow load and in internal production.

**Key Words :** introducing water, Barato river, water quality, BOD

## 1. はじめに

本報告の対象流域である茨戸川は札幌市北部に位置し、石狩川のショートカットによって形成された延長約20km、平均幅200mの水域である。茨戸川の水理特性として2箇所の狭窄部（山口橋、観音橋）を有し、流動の障害が起きている。さらに下流部で志美運河を通じて石狩川と連結しており、石狩湾の潮位変動の影響を強く受けているために閉鎖性が高い。加えて周辺からの汚濁負荷が集中し、富栄養化現象が発現してきた。このような富栄養化現象を改善すべく国土交通省の事業である第二期水環境改善緊急行動計画（清流ルネッサンスⅡ）の対象（札幌市北部地区河川含む）となった。

清流ルネッサンスⅡの茨戸川における数値目標では環境基準点、補助基準点（基準点：図-1中8、10、11、補助基準点：図-1中2参照）でのBOD75%値が3mg/L以下と設定している。この目標を達成すべく浄化のために導水が計画され、平成17年に石狩川からの導水試験が行われた。浄化用水導入による水質浄化は手賀沼<sup>1)</sup>や印旛沼<sup>2)</sup>などの例があり直接的な希釈、回転率改善による内部生産の抑

制により浄化効果が現れると考察されている。本報告は茨戸川で行われた導水試験時の調査結果<sup>3)</sup>・<sup>4)</sup>および、生態系モデルに基づく導水による水質の予測・検討結果について報告する。

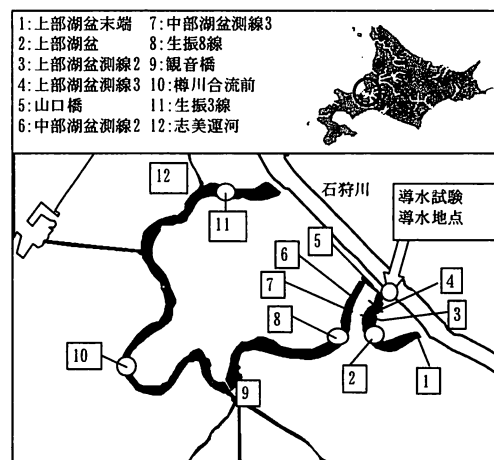


図-1 茨戸川位置図

## 2. 茨戸川の現状

図-2に茨戸川におけるBOD75%値の経年推移を示す。いず

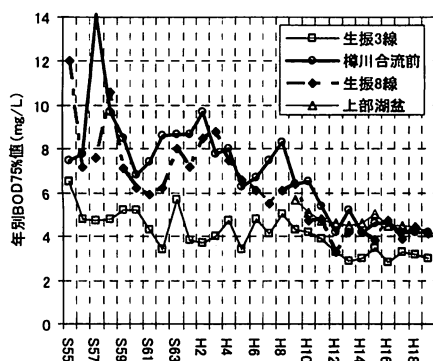


図-2 茨戸川におけるBOD75%値の推移

れの地点でもかつては高いレベルにあったが、S53～H11にかけて行われた底泥の浚渫や下水処理場の処理能力向上で漸減傾向にある。しかしH19現在でも生振8線下流部や樽川合流前周辺で頻度は減少したが、依然アオコが発生している。茨戸川は漁業権が設定されており、かつアオコ発生地点付近は親水区間として散策路等が整備され水面利用者が多いため、アオコ対策を含む水質改善が急務とされている。

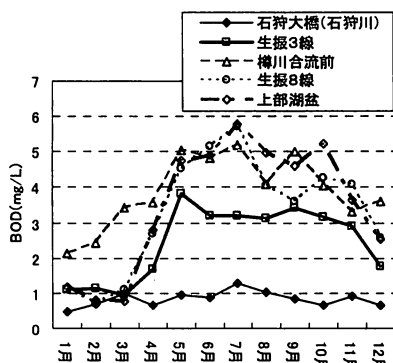


図-3 茨戸川におけるBOD各月平均の年変動

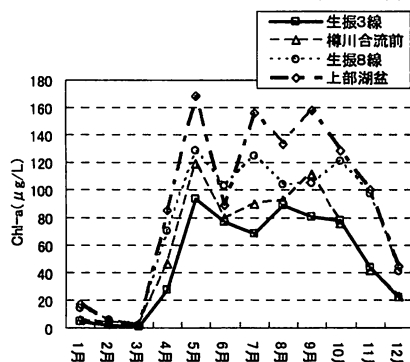


図-4 茨戸川におけるChl-a各月平均の年変動

次に図-3に2001年 (H13) から2005年 (H17) のBODの各月平均の年変動を示す。茨戸川内では1～4月、12月の結氷期にBOD濃度が低下し、解氷とともにBOD濃度が上昇している。樽川合流前地点においては他地点と異なり、結氷期においてもBODがやや高く推移している。

図-4に2001年から2005年のクロロフィルa (Chl-a) の各月平均の年変動を示す。BODと同様の挙動となり、茨戸川のBOD濃度はプランクトン増殖に影響を受けていると推察される。植物プランクトン分析の結果<sup>3)</sup>より5月、10月に珪藻が増殖、7月～9月に藍藻、緑藻が増殖することに

対応してBOD濃度が上昇するとみられる。

### 3. 導水試験

茨戸川の水質浄化のため石狩川からの導水が計画され、導水による影響評価をしたうえで、導水量や導水位置等を確定する予定となっていた。そのため導水による水質改善効果を検証する事を目的に実水域での導水試験を行った。図-5に導水試験の位置図を示す。山口橋上流部の石狩川に接続されたワンド部よりポンプ圧送による連続導水 (導水量 $1\text{m}^3/\text{s}$ ) を行った。導水期間は平成17年 (2005年) 8月1日～8月21日の20日間であった。

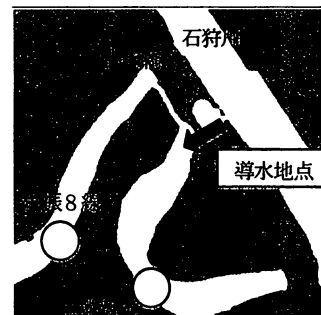


図-5 導水地点略図

### 4. 導水試験結果

実水域での導水試験による水質改善効果を確認するにあたって、導水による影響として水の流れの変化、水質の変化、濁りによる生物への影響が考えられる。そこでそれらの影響を確認することを目的として流動調査、水質調査、沈降物調査を行った。その結果を以下に示す。

#### (1) 流量観測結果

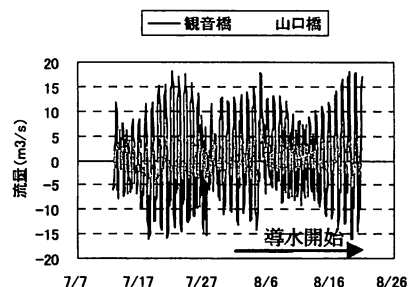


図-6 流量変化図

表-1 平均流量変化

|                 | 平均流量 (m³/s) |      |
|-----------------|-------------|------|
|                 | 山口橋         | 観音橋  |
| 導水前 (7/11-7/30) | 0.19        | 0.18 |
| 導水中 (8/1-8/21)  | 1.10        | 1.19 |
| 差               | 0.91        | 1.01 |

導水による流動変化を確認することを目的に2箇所の狭窄部 (山口橋:幅20m, 観音橋:幅5m) において自記流速計での流速の連続観測 (山口橋設置水深0.9m (調査断面の平均水深1.5m), 観音橋設置水深1.2m (調査断面の平均水深2m)) を行った。茨戸川は川幅が広く、左右岸で河床標高が異なるため、流量を把握しやすい狭窄部を選択した。得られた流速と断面積より流量に換算し、流量観測値

を用いて補正した。得られた流量を図-6に示す。流量が正のとき順流、負のとき逆流を表している。茨戸川は潮位の影響を受け順・逆流を繰り返しているが、導水によりその傾向が大きく変化していないことがわかる。しかし、このときの7月11～7月30日（導水前）の平均流量と8月1日～8月21日（導水中）の平均流量を比較すると表-1に示すように導水前後で約 $1\text{m}^3/\text{s}$ の差が生じ、導水量と一致しており、流量が上乘せされていることがわかる。

## (2) トレーサー調査結果

導入水の拡散状況を確認することを目的に、導入水に塩化リチウムを添加し、トレーサーとして追跡調査<sup>5)</sup>を行った。茨戸川におけるリチウム濃度は $0.007\text{mg/L}$ であり、事前の毒性試験などから $5\text{mg/L}$ 以下であれば生物環境に影響を与えないと考えられ、投入量や分析精度、流況など総合的に判断し、導入水中濃度が $0.1\text{mg/L}$ になるように導水原水に24時間連続添加した。（瞬間添加では感潮域においてトレーサーの移動状況が確認しづらいため）

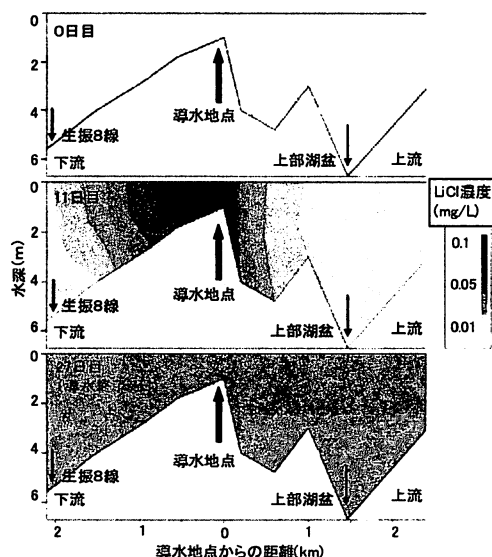


図-7 リチウム濃度分布図

図-7に導水前後のリチウム濃度の鉛直縦断分布図を示す。導水前の茨戸川内リチウム濃度は低濃度で均一に分布していた。導水開始より導水地点で $0.1\text{mg/L}$ となり上流、下流に向かい濃度が減少し、移動、拡散している様子が伺える。このとき上流よりも下流のほうがリチウムの到達距離が長く、下流に向かう流れが卓越することが確認された。また鉛直分布は上流側では表層、底層ほぼ均一に分布しており、下流側では若干表層の濃度が高い傾向であった。導水停止と同時にリチウム添加を止めると、順流、逆流を繰り返す流動状況により茨戸川内リチウム濃度が鉛直的、縦断的に均一な分布となっていた。

流量観測結果とあわせ流路途中より導水を行った場合、導入水は下流方向へ卓越して流れることが確認された。

その結果、導水地点より下流側では流出傾向が強く、上流側では滞留傾向が強くなることが示唆される。

## (3) 沈降物調査結果

導水による沈降物量変化および内部生産量変化を把握することを目的として、導水前（7/12～7/25）、導水中（8/10～8/23）、導水後（9/15～9/27）に上部湖盆測線3、中部湖盆測線3（図-1参照）両地点にセジメントトラップを設置し、捕集した沈降物についてChl-aを指標物質として自生性Chl-a量を推定した。福島<sup>6)</sup>は捕集された沈降物中の指標物質含有量と底泥中、セストン中の指標物質含有量の比より底泥由来か自生性由来かの区別を行っている。ここでは上記と同様の手法を適用した。結果を図-8に示す。

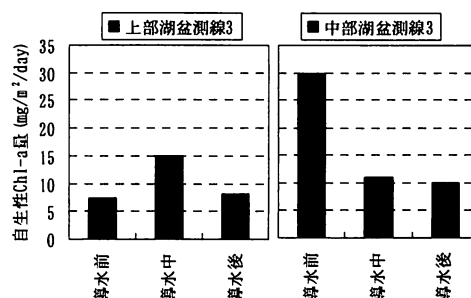


図-8 沈降物調査結果

図-8より上部湖盆測線3では導水中に自生性Chl-a量が増加し、導水終了後に減少しており、導水中に植物プランクトンの増殖が活発になったことを示唆している。一方、中部湖盆測線3では導水開始より自生性のChl-a量が減少し、植物プランクトンの増殖が抑制されていることを示唆している。既往調査報告<sup>10)</sup>より導水を行わない場合は7月～9月の各月平均自生性Chl-a量が生振8線（中部湖盆）で8月をピークとする変化を示す。このことから今回観測された自生性Chl-a量の変化は導水による影響と考えられる。

## (4) 水質調査結果

導水による水質への影響を確認するため、図-9に導水試験時のBOD時系列変化図を示す。導入水（石狩川河川水）は茨戸川に比べて低濃度であり、導水地点に最も近い山口橋においては導水により濃度の低下が顕著であった。また導水中は上部湖盆、生振8線においても濃度の低下傾向が見られた。また導水地点（KP17.6）からおおよそ等距離の上部湖盆側線2（KP18.0）と山口橋（KP17.2）におけるBODの変化より導水初期には導水地点より下流（山口橋）での濃度の低下幅が上流（上部湖盆側線2）よりも大きく、導水開始より15日ほどでほぼ同じ濃度推移を示していた。このことは導水中に順流、逆流を繰り返し、800mの区間で濃度が均一になるために15日を要することを示しており、導水地点下流の希釈が優先することを表している。

次に図-10に導水前後のBOD縦断変化図を示す。導水前は山口橋を極大とする分布状況であったが、導水により導水地点付近のBOD濃度が低下し、上下流に濃度の低下効果が見られるが、観音橋ではほとんど影響が見られな

かった。また最上流端では導水中のBOD濃度の上昇がみられた。その後、導水終了後は導水前と同様に山口橋を極大とするような分布に戻った。このとき観測期間を通して観音橋でのBOD濃度はほぼ一定であったことから導水影響範囲は上部湖盆、中部湖盆であり、BODの低い河川水を導水することにより希釈されていることが確認された。

図-10から導水により導水地点を中心に上下流へBOD濃度の低下がみられ水質改善効果が確認された。特に導水中は流況観測結果から下流への流れが卓越することから、図-9（山口橋と上部湖盆測線2の比較）のように導水地点の下流側で希釈、押出しの効果が卓越することが認められた。

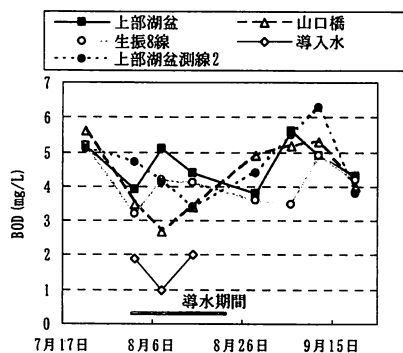


図-9 BOD時系列変化図

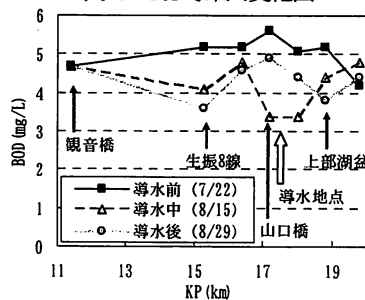


図-10 BOD縦断変化図

導水試験時のChl-a濃度時系列変化図を図-11に示す。BOD濃度と同様に導水開始から山口橋で濃度の低下が見られ、導水終了後に上昇していた。これは導水終了により流況が平常時にもどるために、順流、逆流を繰り返し混合され均一化されるためと考えられる。

上部湖盆では導水開始約1週間で急激な濃度低下が見られ、その後緩やかに増加している。一方、生振8線では導水中は濃度の低下傾向を示した。

Chl-a濃度の縦断変化図を図-12に示す。平常時の縦断分布は上流でChl-a濃度が高くなっている。導水により濃度の希釈がおこるが、導水地点より上流側では上流ほど濃度が高い分布形状となった。沈降物調査結果やトレーサー調査結果を考慮すると、導水地点より上流側では流下が阻害され停滞性が増し、植物プランクトンが増殖しやすくなると考えられる。一方、下流側では導水により生じる流れによる希釈、押出し効果もあり、Chl-a濃度の低下はより顕著になると考えられる。

## 5. モデル解析

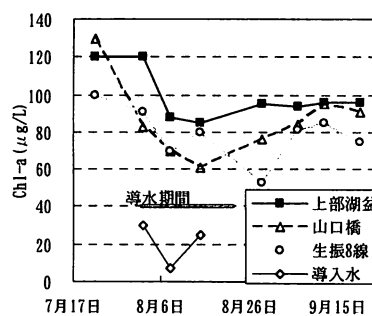


図-11 Chl-a時系列変化図

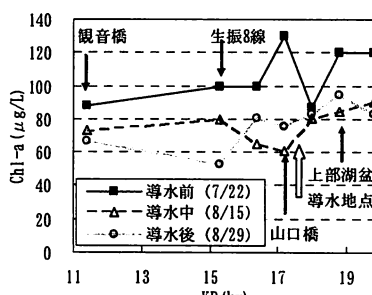


図-12 Chl-a縦断変化図

導水試験時の観測結果より、導水によって水質濃度の低下が確認された。また導水地点の上流と下流では流況要因の改善効果の差がみられた。これらの現象を加味して生態系モデルを構築し、最も効果的な導水位置、導水量について検討を行った。

水質モデルは建設省土木研究所で開発された貯水池鉛直二次元モデル<sup>7)</sup>を改良し、感潮域である茨戸川に適用し、植物プランクトンを中心とした生態系モデルを組み込み水質予測モデルを構築した。<sup>8)</sup> 運動方程式、連続式は以下の通りである。

$$x \text{ 方向 } \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{mx} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_{mz} \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$z \text{ 方向 } \frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g \text{ または } \int_z^{\infty} \rho g dz \quad (2)$$

ここで、 $\rho_0$ : 基準密度 ( $1,000 \text{ kg/m}^3$ )、 $P$ : 水圧 ( $\text{kg/ms}^2$ )、 $D_{mx}$ : 流下方向の運動量拡散係数 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )、 $D_{mz}$ : 鉛直方向の運動量拡散係数 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )、 $\rho$ : 流水密度 ( $\text{kg/m}^3$ )、 $g$ : 重力加速度 ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ) を表す。

次に、水温の基礎式は以下の通りである。

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{Tx} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_{Tz} \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \varphi \quad (3)$$

ここで、 $D_{Tx}$ : 流下方向の水温拡散係数 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )、 $D_{Tz}$ : 鉛直方向の水温拡散係数 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )、 $\varphi$ : 水面熱収支項を表す。

水質項目の基礎式は以下の通りである。

$$\frac{\partial X}{\partial t} + u \frac{\partial X}{\partial x} + (v + v_x) \frac{\partial X}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( A_x \frac{\partial X}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( A_z \frac{\partial X}{\partial z} \right) + S(X) \quad (4)$$

ここで $X$ : 水質濃度 (SS, DO, T-P, I-P, T-N, I-N, BOD, COD, プランクトン数, Chl-a)、 $A_x$ 、 $A_z$ : 水平方向、鉛直方向の拡散係数 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )、 $v_x$ : 懸濁態水質沈降速度 ( $\text{m/s}$ )、 $S(X)$ : 生産・消費項 (生物・化学的变化項) を表す。

このときの生態系モデルは図-13に示すように鉛直二次元メッシュ内に植物プランクトンを中心とした生態系

を想定し、矢印で示す作用を考慮している。また底泥と接触するメッシュには各水質項目の溶出・巻上げ項、水面ではDOの曝気供給項がそれぞれ加わる。一方BODは好気性微生物の酸素消費量を通して有機物量の指標とされている。しかし嫌気条件下では、生物は呼吸できずBODは低い。有機物は多いという不具合が生じる。実際に底層の一部分で嫌気条件が発生するため、BODは水深方向の平均値として算出することとした。BODの計算について、(4)式は水深方向を平均化した一次元モデルとして扱い、生産・消費項は(5)式のように設定した。またBOD成分で消費されるDOは水深方向の各メッシュで一律とした。

$$S(BOD) = \left[ \text{植物プランクトンによる生産} + \left[ \text{溶出} \right] + \left[ \text{巻上げ} \right] - \left[ \text{分解} \right] - \left[ \text{沈降} \right] \right] \quad (5)$$

ここで「」は水深方向の平均を表す。

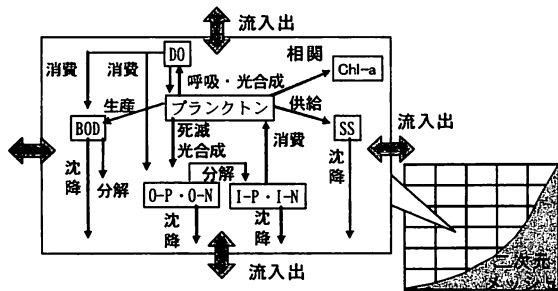


図-13 生態系モデル概略図

表-2 検討ケース一覧

| ケースNo. | 導水位置    | 導水量 (m³/s) | 備考        |
|--------|---------|------------|-----------|
| 0      | -       | -          | 2005年導水なし |
| A-1    | 上部湖盆上流端 | 1          | 導水1～3年目   |
| A-2    | 上部湖盆上流端 | 2          | 導水1～3年目   |
| B-1    | 上部湖盆下流端 | 1          | 導水1年目     |
| B-2    | 上部湖盆下流端 | 2          | 導水1年目     |
| C-1    | 中部湖盆上流端 | 1          | 導水1年目     |
| C-2    | 中部湖盆上流端 | 2          | 導水1年目     |

(1) 導水位置および導水量の違いによる効果

構築したモデルは2005年の導水試験状況をよく再現しており<sup>8)</sup>、これを用いて水質改善効果の高い導水地点を選定するために導水位置、導水量を変化させた場合のBOD75%値を算出した。現地観測結果から観音橋下流には導水効果がほとんどみられなかったことから観音橋から上流を計算対象とした。考慮した導水地点は上部湖盆上流端、上部湖盆下流端（導水試験時導水位置、山口橋上流）、中部湖盆上流端（山口橋下流）の3地点とし、2005年を対象年、導水期間、計算期間を5/1～11/30、導水量は1m³/s (86400m³/day)、2m³/s (172800m³/day) とした。検討したケースを表-2にまとめ、予測BODの75%値を図-14に示す。なお、ケース0は2005年において導水試験を行わなかった設定で計算した場合である。

上部湖盆上流端から導水した場合（ケースA-1、A-2の導水1年目）には上部湖盆、生振8線ともに導水なし（ケース0）と比べBODの濃度低下が確認され、導水量が多いほど効果が高いことがわかる。流路途中から導水した場合（ケースB-1、2とC-1、2）には、導入水が下流に卓

越して流れ、導水地点の上流（上部湖盆）ではプランクトン増殖が助長され水質が悪化、下流（生振8線）では希釈、押出しによって水質が改善される結果となり、導水量が多いほど上部湖盆での悪化傾向が強いことが示された。また中部湖盆上流端である狭窄部（山口橋）直下流から導水を行うほうが導水地点上流（上部湖盆）のBOD悪化が小さく、導水地点下流（生振8線）の改善効果が高い（ケースB、C比較）。以上から最上流部にあたる上部湖盆上流端より導水を行うことが水質改善には最も効果的であることが確認された。

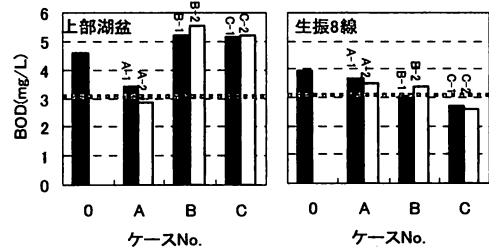


図-14 導水位置、導水量の違いによる効果

(2) 継続時間の違いによる効果

導水の数値目標としてBOD75%値の3mg/L以下が設定されている。実際の取水では、コストや生態系への影響などを総合的に判断して導水量は可能な限り減量する方針であるため、導水量を減量し継続導水した場合の効果を確認した。最上流端より導水し、導水を継続させた場合の予測BOD75%値（ケースA-1、2）を図-15に示す。この結果より導水を3年継続することにより観音橋から上流側で目標の達成が可能であることが示された。

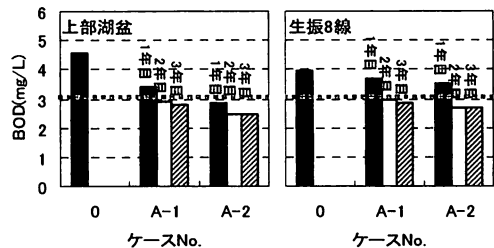


図-15 導水継続時間の違いによる効果

水質予測モデル結果を加味し、経済的にも最も効果的な導水は最上流端から導水量86400m³/dayであり、3年継続導水することにより目標の達成が可能であることが示された。

6. 水収支解析

現地試験結果、水質予測モデルより石狩川河川水を茨戸川に導入することにより、BODの改善効果が得られることが確認された。しかし、停滞性の高い水域であるため植物プランクトン増殖などの内部生産による水質への影響を無視することはできない。また茨戸川の現況の水質形成要因は上流端にほとんど流入がないことから、潮位による逆流、下流部での流入河川、下水処理場排水の流入が大きな役割を果たしている。

茨戸川を2箇所狭窄部である山口橋、観音橋（図-1参

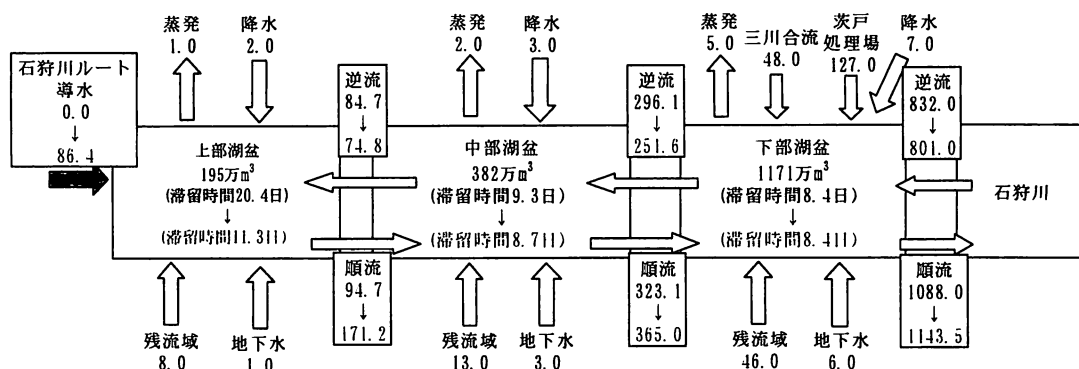


図-17 茨戸川の水収支総括図

\* 流量単位: 10³m³/day

照)で大きく上部湖盆、中部湖盆、下部湖盆と区分すると、上部・中部湖盆において主な流入負荷源は下部湖盆からの逆流によるものである。流量観測結果において導水により山口橋、観音橋で観測された流速の差は1cm/s程度であり流れが変化したことを視認するのは困難であった。

そこで導水による水質浄化の要因を明らかにするため、モデルによる各湖盆毎の水収支解析を行った。流量推定は導水なしの場合と最上流端より86400m³/dayを導水した場合で、残流域からの流入量や処理場排水量などの流入量は既往文献<sup>9)・10)</sup>と同じとして算出し、比較した。結果を図-17にまとめる、順流、逆流、導水量については上段が導水なし、下段が導水ありを示し、導水による流量の変化を表している。各湖盆の容量は上部195万m³、中部382万m³、下部1171万m³であり、滞留時間はそれぞれ20.4日、9.3日、8.4日である。導水を行うことにより滞留時間が11.3日、8.7日、8.4日といずれも短縮され、順流量が増加し、逆流量が減少する結果となった。特に上部湖盆で滞留時間の改善効果が高いことが確認された。

導水試験結果からも導水地点下流で順流傾向が卓越し、水質改善効果が高いこと、上部・中部湖盆において逆流による負荷供給が多いことを考慮すると、導水による水質改善効果は直接的要因として希釈、押出しによる効果が強く、間接的要因として逆流抑制による流入負荷の低減、滞留時間の短縮による内部生産の抑制効果によって水質が改善されることが示唆された。しかし、石狩川ルートのみ導水では下部湖盆に対してほとんど影響がないことが実測から、解析結果からも示唆されている。

今後はモデルによる感度分析を行い、主たる水質形成要因を特定し、現在予定されている他のルートに石狩川ルートを含めた全ルート導水における効果検証、導水方法の評価を行う予定である。

## 7. まとめ

石狩川から茨戸川へ導水する現地試験を実施した結果、BOD濃度などの低下(水質改善効果)が観測された。

停滞性水域において流路途中から導水を行った場合、下流に向かう流れが卓越した。

導水地点上流では流れが停滞することが示唆されたが、流速など直接的な証拠を得ることはできなかった。

水質予測結果より導水位置は最上流部、導水量は86400m³/day(1.0m³/s相当)でBOD3mg/L以下という目標が達成できるという結果が得られた。

また、導水による効果は希釈、押出しの効果が強く、石狩川ルートのみ導水では改善効果は上部、中部湖盆に限定され、下部湖盆に及ばないことがわかった。

## 参考文献

- 1) 山崎祐介, 二瓶泰雄, 西村司, 猪爪高見; 手賀沼の水質環境に及ぼす浄化用水量の影響, 土木学会年次学術講演会講演要旨集第二部, 58, pp. 427-428, 2003.
- 2) 天野邦彦, 中西哲; 富栄養化の進んだ湖沼における導水による水質改善に関する考察-印旛沼を事例にして-, 水工学論文集, 第52号, pp. 1267-1272, 2008.
- 3) 平成17年度茨戸川清流ルネッサンスⅡ水質調査資料整理業務報告書; 北海道開発局 石狩川開発建設部, 2006.
- 4) 平成17年度茨戸川水環境調査試験業務報告書; 独立行政法人 北海道開発土木研究所, 2006.
- 5) 荒川下流水質事故対応検討業務(荒川における有害物質流入拡散分布調査)報告書; 財団法人 河川環境管理財団, 2004.
- 6) 福島武彦, 相崎守弘, 村岡浩爾; 浅い湖における沈殿量の測定方法とその起源, 国立公害研究所報告, 51, pp. 73-87, 1984.
- 7) 森北佳昭, 畑孝治, 三浦進; 貯水池の冷濁水ならびに富栄養化現象の数値解析モデル(その2), 土木研究所資料, 第2443号, 1987.
- 8) 杉原幸樹, 益塚芳雄, 中津川誠; 茨戸川における導水に係る水質予測, 平成19年度 土木学会北海道支部論文報告集, 第64号, G-3, 2008.
- 9) 濱原能成, 加藤晃司, 中津川誠; 茨戸川の富栄養化に関する総合的解析 その1, 北海道開発土木研究所月報, No. 613, pp. 3-15, 2004.
- 10) 杉原幸樹, 濱原能成, 加藤晃司, 中津川誠; 茨戸川の富栄養化に関する総合的解析 その2, 北海道開発土木研究所月報, No. 615, pp. 10-24, 2004.

(2008. 4. 3受付)