茨戸川における導水に係る水質予測

Simulation of water quality by water conveyance to the Barato river

(株) 福田水文センター

正 員 ○杉原 幸樹 (Kouki Sugihara)

室蘭工業大学 建設システム工学科 正 員

益塚 芳雄 (Yoshio Masuzuka)

中津川 誠 (Makoto Nakatsugawa)

1. まえがき

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。茨戸川は閉鎖性が高く、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(図-1参照)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河川事業と して浄化のために導水が計画され、これまで種々の調 査、試験^{1)、2)}が行われてきた。

本研究では平成17年度に行われた現地導水試験^{1)、} による茨戸川の水質観測結果を踏まえ、生態系モデル の構築による導水の予測・検討結果について報告する。



2. 水質計算について

著者らはこれまでに一次元不定流生態系モデルを構 築し、茨戸川水質の予測について報告^{3)、4)}してきた。 しかし導水試験にあたり導入水と茨戸川の水温差によ り導入水が底層に潜り込み、湖内底層の嫌気層の改善 が期待できると同時に底質の巻上げが助長され水質の 悪化が懸念されたため(図-2参照)、鉛直二次元モデ ルに拡張する必要があると考えた。そこで本研究では、 建設省土木研究所 5)で開発された貯水池鉛直二次元モ デルを改良し、感潮域である茨戸川に適用した。この モデルは貯水池内を鉛直・流下方向に分割し、その分



図-2 導水試験想定図

割したボックス内の水理・濁質等水質を計算するもの であり、茨戸川が停滞性が強い特性を有するために適 用した。運動方程式、連続式は以下の通りである。

$$x \, \overleftarrow{p} \, \overleftarrow{p} \, \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{mx} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{mz} \frac{\partial u}{\partial z} \right) \tag{1}$$

$$z$$
方向 $\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g$ または $\int_{-\rho}^{s} \rho g dz$ (2)

ここで、 ρ₀:基準密度(1,000kg/m³)、 P:水圧(kg/ms²)、 D_{mr} :流下方向の運動量拡散係数 (m^2/s) 、 D_{mr} :鉛直方向の 運動量拡散係数 (m^2/s) 、 ρ :流水密度 (kg/m^3) 、g:重力加 速度(9.8m/s²)。

次に、水温の式は以下の通りである。

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

ここで、*D_{Tx}*:流下方向の水温拡散係数(m²/s)、*D_{Tz}*:鉛直 方向の水温拡散係数(m²/s)、φ:水面熱収支項。 水質項目の基礎式は以下の通りである。

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

ここで X: 水質項目濃度 (SS、DO、T-P、I-P、T-N、I-N、 BOD、Ch1-a)、A_x、A_z:水平方向、鉛直方向の拡散係数 (m³/s)、 v_x:懸濁態水質沈降速度 (m/s)、S(X):生産・ 消費項(生物・化学的変化項)を表す。

このときの水質モデルは図-3に示すように、プラン クトンを中心とした生態系を表現し、BOD を直接算出 する仕様とした。その生産消費項は(5)式のように設 定した。また BOD は諸変量を用いて、鉛直方向平均値 を算出するようにしている (BOD は x 方向の一次元モ デルとなっている)。



3. 導水試験結果

平成17年(2005年)8/1~8/22までの期間、現地に おいて石狩川の河川水をポンプにより茨戸川へ導水を 行った。導水地点は山口橋上流(図-1参照)で取水は 直近の地点から行った。このとき導水量は1m³/sで24 時間連続導水を行なっている。

図-4に導水前後の COD 濃度変化図を示す。導入水の COD は茨戸川内に比べ小さく山口橋(流入点直近)で は導水開始とともに濃度低下が顕著であり、導水期間 (22 日間)で上流側は上部湖盆(導水点から1.5km)、 下流側は生振8線(導水点から2.0km)までは濃度低 下の影響が確認された。しかし、最上流部の上部湖盆 末端では濃度の増加が観測され、生振8線より下流部 では濃度変化の傾向は不明瞭となっていた。導水終了 後は山口橋において急激に濃度が上がり、上流側の濃 度が高くなったものが流下してくるためと考えられる。 COD の濃度変化については季節変動、順・逆流の影響 が含まれるため、導水の効果は複雑に現れているが、 定性的に減少しており、導水の効果が認められた。



図-4 導水試験時(2005年)の COD 濃度変化図

次に BOD の変化図を図-5 に示す。COD に比べ、BOD は生物活動の影響が現れやすいために日周変動があり、 明瞭な変動は確認しにくいものの、COD と同様に導水 により定性的に濃度低下の影響が確認できる。

また他の水質項目においても上流側では導水により 濃度が上昇した後、低下する傾向を示し、下流側でも 導水期間中の水質濃度は減少する傾向を示した。

このとき導入水の流れを追跡するため塩化リチウム を導入水に添加し、導入水の拡散状況を確認した結果、 図-6 に示すように、導水地点より下流側に塩化リチウムの拡散が偏り、かつこのときは水温差がほぼなかったことから鉛直方向にはほぼ均一に分布する結果が得られた。



図-5 導水試験時(2005年)の BOD 濃度変化図



図-6 塩化リチウム濃度分布図(導水11日後)

さらに上部湖盆測線 3 (図-1 上部湖盆と上部湖盆 測線 2 の中間)、中部湖盆測線 3 (図-1 生振 8 線と中 部湖盆測線 2 の中間)において沈降物調査を行い、福 島ら⁴⁾の手法に基づき、沈降物を巻上げ由来と自生性 由来に分離した。プランクトンの増殖に関係する自生 性のクロロフィル a 量の推移を図-7 に示す。



図-7 自生性クロロフィル a 推移図

この結果から導水地点の上流では内部生産が増加、 下流側では内部生産の減少が確認された。

これらの観測結果より石狩川河川水を茨戸川に導水 することにより、導水地点上流側では水質が悪化し、 下流側では水質が浄化される結果を得た。

これは導入水が下流方向へ卓越して流れることから、 下流側では希釈・流出により水質改善されるのに対し て、上流側では導水しない場合に比べ、上部湖盆の停 滞性が実質的に増して内部生産が強化されるため水質 が悪化すると考えられる。

4. 水質再現計算

鉛直2次元モデルによる再現計算結果を以下に示す が、現地導水試験結果から、樽川合流前においては水 質の変動がほとんど確認されなかったため、計算対象 流域を観音橋より上流(上部湖盆と中部湖盆)に限定 して行った。計算対象年は2005年とし、入力条件の 水質、導水流量、観音橋水位などは2005年の観測値 をもとに与えた。計算期間は結氷影響が不明であるた め、5/1~11/30とした。

各水質項目の時系列再現結果を図-8、図-9、図-10 に示す。なお、計算値、実測値いずれも表層(水深 0.5 m)の値を示している。ただし、BOD についてのみ、 計算値は鉛直方向で平均化したものを示し、実測値は 表層の値を示している。上部湖盆、生振 8 線ともにお およそよく再現されているといえる。





図-10 T-N 時系列再現結果(2005 年表層)

また図-11~図-14 に鉛直方向再現結果を示す。図 -12より上部湖盆ではD0躍層がはっきり算出されてい るが、実測値ではそれほど嫌気化が進行していない。 これは計算上、底質の酸素消費速度を上部湖盆、中部 湖盆とも同一で与えているが、現地では底質性状が異 なることや上部湖盆の平均水深が 2.2mと浅いことか ら鉛直混合による酸素供給の見積もりが不足してい ることが考えられる。しかし、生振8線も含め躍層の 位置および傾向はおおむね再現できているといえる。 また水温、T-P、T-Nもおおよそ現状を再現できており、 水温躍層よりも D0 躍層に影響を受けた鉛直分布を再 現できているといえる。

以上の結果より、時系列、鉛直分布ともにおおむね 現状を再現できるモデルを構築できたといえる。



図-14 T-N 鉛直分布再現結果 (2005/8/15)

5. 導水位置検討

構築したモデルを用いて、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。対象とした導水地点は、 石狩川と距離の近い3地点 (上部湖盆上流端、山口橋 上流(導水試験時導水地点)、 中部湖盆上流端(図-15 参 照))とし、導水量は 1m³/s(86,400m³/day) 2m³/s(172,800m³/day)とし た。検討したケースを表-1 にまとめる。



図-15 導水検討位置

表-1 検討ケース一覧

ケースNo.	導水位置	導水量(m3/s)	備考
0	-	-	2005年再現
1-1	上部湖盆上流端	1	導水1~3年目
1-2	上部湖盆上流端	2	導水1~3年目
2-1	山口橋上流	1	導水1年目
2-2	山口橋上流	2	導水1年目
3-1	中部湖盆上流端	1	導水1年目
3-2	中部湖盆上流端	2	導水1年目



図-16 導水位置及び導水量効果

図-16 に結果を示す。上部湖盆上流端より導水した 場合(ケース1-1、1-2)には導水量の増加にともない 上部湖盆、生振8線(中部湖盆)ともに浄化効果が高 くなり、下流へと押し出されていることが示唆される。 山口橋上流より導水した場合(ケース2-1、2-2)に は導水地点直下に狭窄部が存在するために流下が抑制 されることで、内部生産が増強され、上部湖盆で水質 の悪化が起る結果となった。中部湖盆上流端から導水 した場合(ケース3-1、3-2)には上部湖盆では内部生 産が促進され、下流側では流下が促進され(図-6参照) 浄化が進行する結果となった。しかし、いずれの場合 も単年の導水では事業目標である BOD≦3mg/L を達成 することができない結果となった。

6. 導水継続効果検討

単年で目標達成できない結果を得たことから、導水 を継続した場合の水質予測を行った。本モデルは結氷 期の水質を再現できないため、次年度への水質繰越条 件として 10/30 の計算出力値を初期条件水質として設 定した。導水位置検討結果より上部湖盆、中部湖盆と もに浄化効果が期待できる上部湖盆上流端を導水地点 とし、導水量はコスト及び魚類等への生物影響を最小 にすることを考慮して 1m³/s、2m³/s とした。計算結果 を図-17 に示す。導水量が増し、継続年数が長いほど 浄化効果が高い結果が得られた。導水量が 1m³/s では 導水開始から3年経過後に基準点において BOD≦3mg/L を達成でき、2m³/s では導水開始2年経過で目標達成 可能という結果を得た。



図-17 導水継続効果

7.まとめ

平成17年(2005年)に茨戸川で行われた、導水試 験時の観測結果から、停滞性の強い流域に流路途中か ら導水を行った場合、導水地点より下流方向に流れが 偏り、下流側では希釈、流出効果が高く、上流側では 実質的に停滞性が強くなり内部生産が助長される結果 を得た。

また清流ルネッサンスⅡにかかる茨戸川浄化対策に おいて水質予測を行うため鉛直2次元生態系モデルを 構築した。構築したモデルはBODを直接算出するモデ ルとし、時系列、鉛直分布ともに再現性のあるモデル となった。

構築したモデルにより浄化対策(導水)の効果を分析し、上部湖盆末端から1m³/s(86,400 m³/day)導水を3年継続することにより、事業目標が達成できる結果を得た。

本研究は北海道開発局石狩川開発建設部、及び財団 法人河川環境管理財団北海道事務所から貴重なデー タ・資料を提供して頂いた。ここに併せて記し謝意を 表す。

参考文献

- 1)北海道開発局 石狩川開発建設部;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,2006.
- 2)独立行政法人 北海道開発土木研究所;平成17年度 茨戸川水環境調査試験業務報告書,2006.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 建設省土木研究所ダム部水資源開発研究室: 貯水池 の冷濁水ならびに富栄養化現象の数値モデル(その 2), 土木研究所資料No. 443, 1987.