

茨戸川における総合的な水質解析

(株) シン技術コンサル 正会員 ○加藤 晃司
 (独) 北海道開発土木研究所 正会員 中津川 誠

1. はじめに

札幌市の北部に位置する茨戸川は、昭和初期の石狩川のショートカットによって形成された水域である。茨戸川は閉鎖性が高く、流れが停滞することや周辺からの汚濁負荷の流入などにより富栄養化現象が発現してきた。このような富栄養化傾向を改善するためには、水質の空間構造や形成要因を把握する必要がある。

そこで本研究では、地形的・水理的な特徴により区分されている上部湖盆、中部湖盆、下部湖盆ごとに水収支（流動）、熱収支を推算した。また、算出結果から湖盆別の水質形成に関わる特徴を把握し、水質シミュレーションを通してクロロフィルaの挙動を推定した。これらの結果を水質浄化・水環境保全の基礎資料として利用することを目的とする。

2. 水収支と水の流動

茨戸川は、図-1に示すように上部湖盆、中部湖盆、下部湖盆に分類され、主要河川である創成川、伏籠川、発寒川が下部湖盆に注いでいる。流出は、平常時に志美運河を通しての石狩川への流出と洪水時に石狩放水路を通しての海への流出がある。このほかにも、下水処理水の流入や志美運河を通して石狩川からの逆流および湖盆間の交換があり、それを全て包括し、流入と流出に分けて整理している。とくに流入についての結果を図-2に示す。図-2の結果より、閉鎖性の強い上部湖盆、中部湖盆においては、湖盆間の交換量が支配的であり、下部湖盆は周辺流域からの流入が卓越している。また、上部湖盆は、滞留時間が30日と著しく長いことがわかる。なお、下水道整備が行き届いているので、残流域からの未処理水（晴天時）の流入量はきわめて少ないことがわかる。

また、生態系モデルを考えるうえで流れや水位が時間とともに変化していく現象を不定流計算で考慮している。不定流を解析するための運動方程式 (1)、連続式 (2) を Leap Frog 法を用いて差分化して実際に計算を行っている。

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{Q}{gA^2} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{Q}{gA^2} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{Q^2}{gA^3} \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{Q}{gA^2} q - i + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{n^2 |Q| Q}{A^2 R^{4/3}} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (2)$$

ここで、 Q ；流量 (m^3/s)、 A ；流水断面積 (m^2)、 h ；水深 (m)、 R ；径深 (m)、 n ；マニングの粗度係数、 q ；横流入量 (m^3/s)、 i ；河床勾配、 t ；時間(sec)、 x ；距離(m)である。

3. 熱収支

熱収支の推算においては、時間単位の流入量、流出量と、それに対応した熱フラックスを基本とした。

流入する熱フラックスには、①茨戸川に注ぐ主要河川である創成川、伏籠川、発寒川（3河川）からの流入水温、②茨戸処理場からの放流水温、③3河川以外残流域（晴天時・雨



図-1 茨戸川位置図

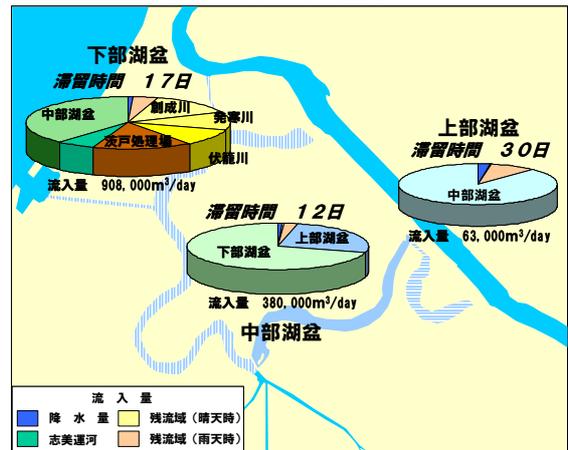


図-2 水収支算出結果（流入）

天時）からの流入水温、④志美運河を通して石狩川からの逆流時の水温、⑤水面への熱フラックスが考えられる。水面への熱フラックス ϕ は、下式 (4) から求め、得られた結果をもとに、下式 (3) より湖盆毎の水温を推算する。

$$\frac{d(TV)}{dt} = T_{in}Q_{in} - TQ_{out} + \phi \quad (3)$$

$$\phi = \frac{A_w}{\rho C_w} \left\{ (1 - \alpha) S \downarrow + L \downarrow - \epsilon \sigma T^4 - H - IE \right\} \quad (4)$$

ここで、 T ；湖盆の水温(K)、 Q ；流量(m^3/s)、 V ；容積(m^3)、 $S \downarrow$ ；日射量(W/m^2)、 $L \downarrow$ ；下向き長波放射量(W/m^2)、 A_w ；水面積(m^2)、 ρ ；水の密度($1,000kg/m^3$)、 C_w ；水の比熱($4,180J/deg/kg$)、 α ；水面のアルベド(0.06)、 ϵ ；放射率(1.00)、 σ ；Stefan-Boltzmann 係数($5.67 \times 10^{-8}W/m^2/K^4$)を表す。この際、 Q および V は、不定流計算で与える。

キーワード 都市域汚濁負荷、閉鎖性水域、富栄養化、生態系モデル、巻上

連絡先 〒003-0021 北海道札幌市白石区栄通2丁目8-30 (株)シン技術コンサル TEL 011-859-2609

以上より、中部湖盆の水温を推算した結果を図-3に示す。図-3より、中部湖盆の水温について精度良く再現されていることがわかる。

4. 水質シミュレーション

生態系モデルでクロロフィルaを再現するために、珪藻、緑藻、藍藻に分類し植物プランクトンの再現を行う。また、クロロフィルaに関連して DO、SS、有機物 (BOD、COD)、栄養塩 (I-N、O-N、I-P、O-P) についても計算対象としている。なお、沈降、巻上げによる底泥との交換量を把握するためにセジメントトップを用いた沈降物量調査を行っており、得られた結果より、底質からの巻上げおよび巻上げられた物質と自生性物質の沈降を考慮したモデルとする。

$$\frac{d(CV)}{dt} = C_{in}Q_{in} - CQ_{out} + V\psi \quad (5)$$

ここで、C; 各種水質濃度 (mg/L)、Q; 流量(m³/s)、V; 容積(m³)、φ; 生成、消滅項 (mg/L/s) である。なお、下式 (6) は、クロロフィルaの生成、消滅項を表す。

$$\psi(C_{PP}) = \sum_{i=1,3} \{(G_{Pi} - D_{Pi})P_i - V_{Pi}P_i\} \quad (6)$$

ここで、C_{PP}; クロロフィルa濃度 (μg/L)、i; 植生 (1; 珪藻、2; 緑藻、3; 藍藻)、G_{Pi}; 植物プランクトンの増殖率 (1/s)、D_{Pi}; 植物プランクトンの死滅率 (1/s)、V_{Pi}; 植物プランクトンの沈降率 (1/s)、この際、QおよびVは、不定流計算で与える。

以上により得られたクロロフィルa濃度からフェオフィチンを除いた実測値および植生の割合を図-4に示す。図中には、クロロフィルaとフェオフィチンを分離測定できる単波長法による結果とフェオフィチンを含むクロロフィルaを表す三波長法による結果をもちいている。なお、三波長法によるクロロフィルaに対するフェオフィチンの割合は、観測結果より約2割であることが明らかとなっていることから実測値に0.8を掛けた値を示してある。図-4より、推定結果は融雪後の5月から6月にかけては再現されているものの、7月以降のピークが再現されていないことがわかる。これは、植物プランクトンの増殖に必要なI-Pが涸渇していることが原因と考えられる。このことから、橋ら¹⁾が指摘する懸濁態リンの利用を考慮すべきかもしれない。また、植物プランクトンについては、珪藻が春期と秋季に増殖し、通年で植物プランクトンの多くを占める一方、夏期に緑藻、藍藻が増殖することは、図-5に示すプランクトンの種別調査からも実証されている。

次に、推定した結果より得られた茨戸川のクロロフィルa濃度分布を図-6に示す。図-6より、外部負荷の多い下部湖盆での植物プランクトンの増殖が顕著となっている。ただし、巻上げといった内部負荷の影響も大きいと考えられるため、実測に比べ過小評価ぎみの上部、中部湖盆の再現性については今後の課題としたい。

5. おわりに

本研究で得られた知見を以下に示す。

- ・水収支・熱収支を湖盆毎に定量化した。
- ・茨戸川において、生態系モデルを考えるうえで、懸濁態リンの利用について考慮する必要がある。

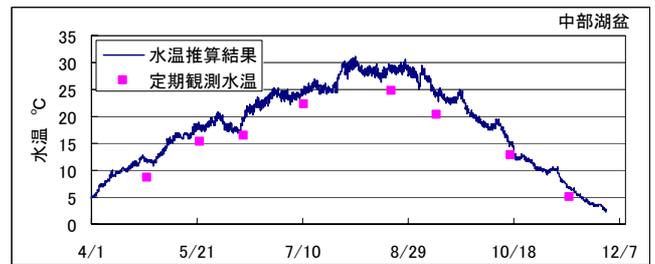


図-3 生振8線における水温推定結果

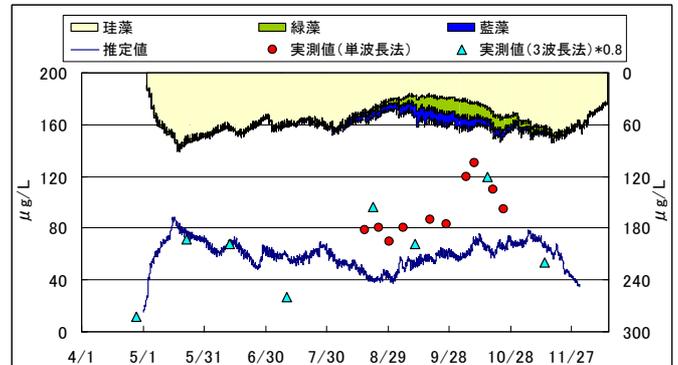


図-4 生振8線におけるクロロフィルaの推定結果および植物プランクトンの割合 (2000年)

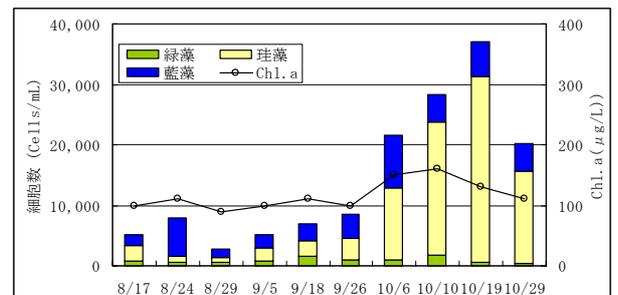


図-5 生振8線における植物プランクトンの現存量変化

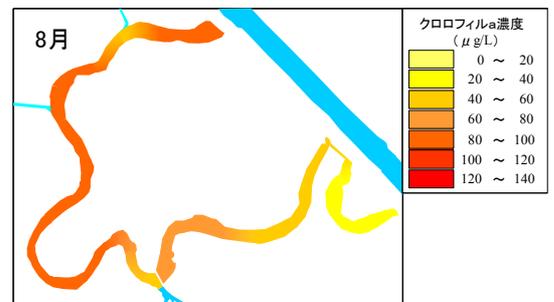


図-6 茨戸川のクロロフィルa濃度分布

・巻上げや沈降の変動を考慮する必要がある。
以上より、とくに今回対象としたような水域の生態系モデルを考えるうえでは、底質の状態や巻上げが重要なポイントになると考えられる。

謝辞: 本研究の一部は、北海道開発局受託研究費の補助をうけて実施された。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 橋治国; 藻類増殖能力に関する一考察, 衛生工学研究論文集, 20, pp. 53~60, 1984.
- 2) 加藤ら; 都市集水域にある閉鎖性水域の富栄養化について, 水工学論文集, 47, pp. 1201-1206, 2003.
- 3) 加藤ら; 茨戸川における水収支と熱収支, 土木学会北海道支部論文報告集, 59, pp. 400-403, 2003.