

出水時を含む水質成分負荷量の推定と 流域の被覆状況との関係について

RELATIONSHIP BETWEEN ESTIMATION OF WATER QUALITY LOADS CONSIDERING FLOOD AND LAND CONDITION IN WATERSHED

太田 陽子¹・中津川 誠²・齋藤 大作³

Ota Yoko, Nakatsugawa Makoto and Saito Daisaku

¹正会員 北海道開発土木研究所 環境研究室 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)

²正会員 北海道開発土木研究所 環境研究室副室長 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)

³正会員 北海道開発局 石狩川開発建設部計画課 (〒060-0002 北海道札幌市中央区北2条西19丁目)

This paper addresses estimation of water quality loads, resulting from not only usual inflow but flood due to snowmelt and rainfall, flowing out from a watershed in snowy cold region. We also investigated a method for estimating water quality loads from runoff components, which consist of surface, interflow and groundwater runoff. Relationships between water quality loads and geographic condition, such as soil and land use, were also analyzed to clarify the causes of supplying water quality loads. As a result, it was found that the effect of water quality loads during flooding could not be ignored because the proportion of water quality loads in the floods to the total loads was large. Relationship between non-point source loads related to eutrophication and geographical condition in watershed was also clarified.

Key Words : *Water quality loads, geographic condition, separation of runoff component, flood, principal component analysis*

1. はじめに

水循環系の連続性への配慮に欠けたこれまでの社会システムでは一面的な利便性や快適性を求め、クローズドシステムとして量や質の管理を行うという発想はなかった。その結果、流域からの排水の受け皿である河川や湖沼では水質汚濁等の弊害が現れた。各種の対策により水質は改善されつつあるが、以前として森林や農地等の面源汚染源からの負荷の把握や対策は進んでいない。積雪寒冷地にある停滞水域でも、アオコの発生のような富栄養化現象やカビ臭など、水利用や環境上、問題になっている例がいくつか見られる。

そこで、本研究では、積雪寒冷地にある大河川で流域に都市域、農地、森林等が分布する石狩川を対象として流域から流出する水質成分負荷量について推定を行った。特に北海道のような積雪寒冷地では、夏期の降雨出水の他に、融雪出水を含め、出水時の負荷量調査を行うとともに、表面・中間流出、地下水流出といった流出成分の構成に応じた水質成分負荷量の推定方法を検討した。また、流出する水質成分負荷量の由来を明らかにするために、土地利用や土壌・地質といった被覆状況との関係について分析を

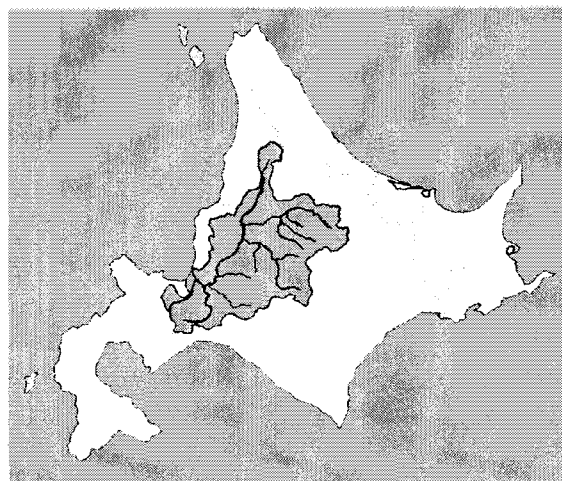


図1 石狩川流域概要

行った。

2. 石狩川の概要

図1に石狩川の概要を示す。石狩川は幹川流路延長268 km、流域面積14,330 km²を有し、北海道の中央部から西部に位置する国内でも屈指の大河川である。本研究では、石

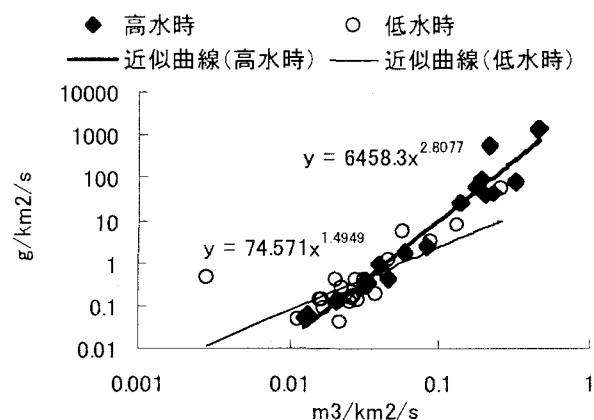


図2 比流量と比負荷量の関係 (赤平橋・SS)

狩川の本川3地点と支川である雨竜川, 空知川, 幾春別川, 夕張川, 千歳川, 豊平川の代表地点の合計 9 地点の総負荷量の推定を行った。また対象項目は, 懸濁成分の指標としての SS と富栄養化成分の指標としての T-N, T-P とした。

3. 水質成分総負荷量の推定方法

(1) 概要

河川流域から流出する水質成分負荷量は, 流量変化によって大きく変動する。すなわち, 水質成分負荷量の発生や排出は低水時と, 雨天時や融雪時の高水時とでは大きく異なる。したがって, 水質成分の総負荷量を的確に推定するには, 低水時と高水時を区別し, 合わせた量を総負荷量とする必要がある。そこで, 低水時と高水時の $L-Q$ 式を立て, それに代入する流量についても, 地下水流出と表面・中間流出に分離して, 各々負荷量を算出し, それらを合算した値を総負荷量とする方法を取ることにした。

(2) $L-Q$ 式 (流量-負荷量関係式) の作成

a) 低水時の $L-Q$ 式

水質定期観測は, 建設省河川砂防技術基準¹⁾により, 「降雨中および降雨後の増水期を避け, 原則として流量の比較的安定している低水流量時を選んで行うものとする。」と定められているため, 水質定期観測のデータは, おおむね低水時に得られたものである。よって, 水質定期観測のデータから低水時の $L-Q$ 式を作成する。各地点・各項目について X 軸を単位面積当たりの流量 (比流量), Y 軸に単位面積当たりの負荷量 (比負荷量) としてプロットして, 式(1)のような指数関数型の相関式を立てる。

$$L/A = a \times (Q/A)^b \quad (1)$$

ここで, L : 負荷量 (g/s), A : 流域面積 (km^2), Q : 流量 (m^3/s), a, b : 定数とする。

b) 高水時の $L-Q$ 式

高水時の $L-Q$ 式については, 北海道開発局石狩川開発建設部が平成 12 年 4 月から 11 月の出水時にかけて行った調査の結果から, a) と同様の方法で $L-Q$ 式を立てる。以上

表1 各地点の時定数

河川名	地点名	時定数(day)
雨竜川	雨竜橋	9.03
空知川	赤平橋	17.83
石狩川	奈井江大橋	10.04
石狩川	岩見沢大橋	5.53
幾春別川	西川向	19.31
夕張川	清幌橋	7.21
千歳川	裏の沢	16.43
石狩川	石狩大橋	13.77
豊平川	雁来	5.89

■ 地下水流出 □ 表面・中間流出

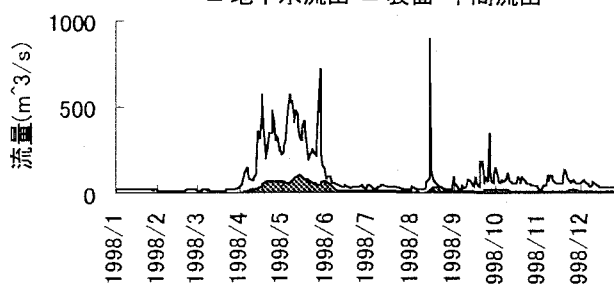


図3 数値フィルターによる流量の成分分離 (雨竜橋)

の方法によって立てた $L-Q$ 式の一部を図2に示す。

(3) 流量の成分分離

流出現象は, 降雨, 融雪等の浸透や貯留等の作用により, 流出の早い成分 (表面・中間流出) と遅い成分 (地下水流出) に分離することができる。ここでは流出成分の分離方法として数値フィルターを利用する。日野²⁾によると, 各成分は次のように表せる。

$$\begin{cases} q_s(t) = q(t) - q_g(t) & (q_s(t) \geq 0) \\ q_g(t) = \alpha \sum w(\tau) q(t - \tau) \end{cases} \quad (2)$$

$$w(\tau) = \begin{cases} c_0 \exp(-c_1 \tau / 2) \sinh(\sqrt{c_1^2 / 4 - c_0} \tau / \sqrt{c_1^2 / 4 - c_0}) & (\tau \geq 0) \\ 0 & (\tau < 0) \end{cases} \quad (3)$$

ここで, q_s は表面・中間流出流量 (m^3/s), q_g は地下水流出流量 (m^3/s), q は実測流量 (m^3/s), α は q_g を負にしないための重み係数 (≤ 1) である。また, 係数 c_0 及び c_1 は次のように示される。

$$c_0 = (\delta / T_c)^2 \quad (5)$$

$$c_1 = \delta^2 / T_c \quad (6)$$

ここで, δ は減衰係数, T_c は時定数 (day) である。 δ は非振動条件を勘案して 2.1 とした。また時定数 T_c はハイドログラフの逓減部の解析等から求める。各地点の時定数は, 1996 年から 1998 年の日流量データの逓減の結果を表1に示す。また数値フィルターによって分離した結果の1例を図3に示す。なお, 成分分離に用いたデータは, 雨竜橋, 岩見沢大橋は 1994 年, その他の地点については 1998 年の日流量データである。

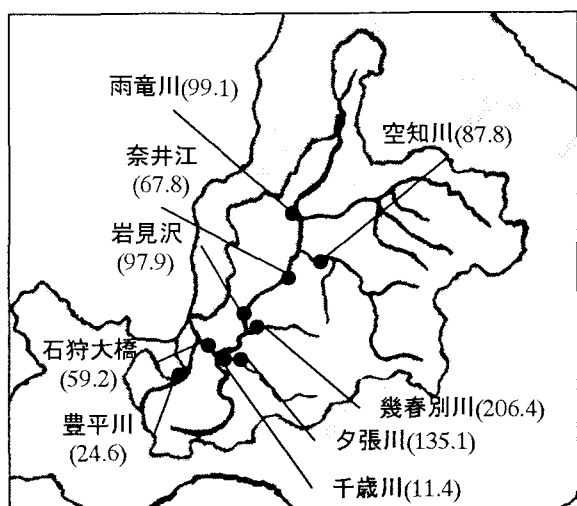


図4 単位面積当りのSS負荷量 (t/km²/year)

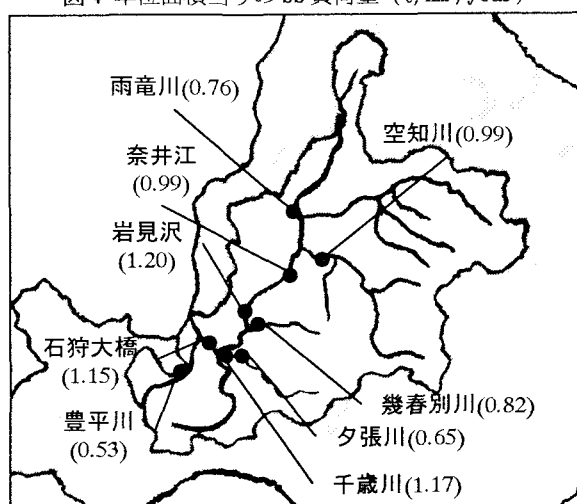


図5 単位面積当りのT-N負荷量 (t/km²/year)

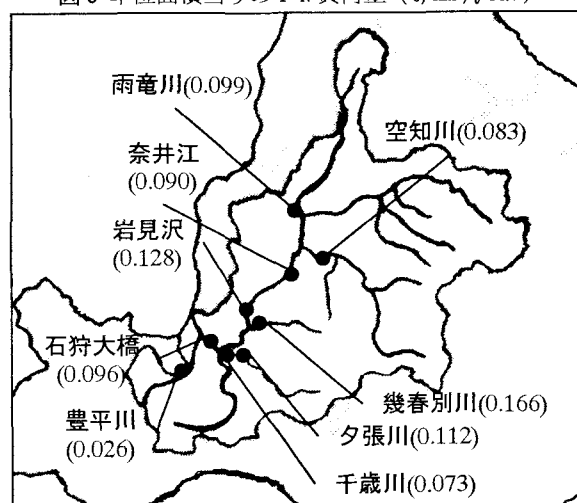


図6 単位面積当りのT-P負荷量 (t/km²/year)

(4) 総負荷量の算出

(2), (3)で各々求めた $L-Q$ 式と流量について、低水時の $L-Q$ 式には、地下水流出成分の流量を代入して、365日分を積算した値を低水時の負荷量とし、高水時の $L-Q$ 式には、表面・中間流出成分の流量を代入して同様に、高水時の負荷量を求める。そして、両方の値を合わせた値を年間総負

□ 高水時 ■ 低水時 (10³ t/year)

豊平川	15.45	0.57
石狩大橋	737.86	14.15
千歳川	13.25	0.71
夕張川	191.26	1.95
幾春別川	66.90	0.21
岩見沢大橋	795.03	125.93
奈井江大橋	566.11	40.48
空知川	216.42	5.97
雨竜川	153.35	11.36

0% 20% 40% 60% 80% 100%

図7 流出成分別の負荷量の割合(SS)

豊平川	0.23	0.12
石狩大橋	11.63	2.99
千歳川	0.91	0.52
夕張川	0.68	0.25
幾春別川	0.26	0.01
岩見沢大橋	6.73	4.64
奈井江大橋	6.39	2.49
空知川	1.93	0.60
雨竜川	1.03	0.24

0% 20% 40% 60% 80% 100%

図8 流出成分別の負荷量の割合(T-N)

荷量とする。以上の方法によって、算出した結果を図4～6に示す。その結果、SSでは、幾春別川や夕張川で高い値を示した。また、T-Nでは、本川中流部の岩見沢大橋、下流部にある支川の千歳川の値が大きかった。T-Pについては、岩見沢大橋、幾春別川で大きくSSの傾向と類似している。また、図7～8に、算出したSSとT-Nの総負荷量の低水時と高水時に占める割合を示す。この結果、高水時における負荷量の占める割合が圧倒的に大きいことから、出水時の水質成分負荷発生への影響を考慮した本研究の推定方法は有効であると考えられる。次に、このような水質成分負荷の発生由来を明らかにするために、土地利用や土壌・地質等の流域の被覆状況との関係について分析を行う。

4. 流出する水質成分負荷量と 流域の被覆状況との関係

(1) 概要

河川流域から発生する水質成分負荷量は、そのバックグラウンドである流域の土地利用や地質・土壌等の被覆状況と深く関わっていると考えられることから、主成分分析によって水質成分負荷量と流域の被覆状況との関係の把握を試みた。水質成分負荷量については、本研究で推定し

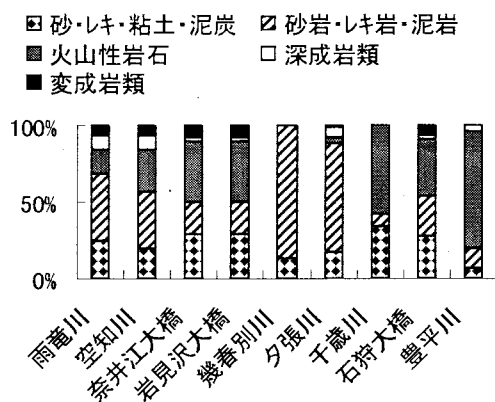


図9 地質分類

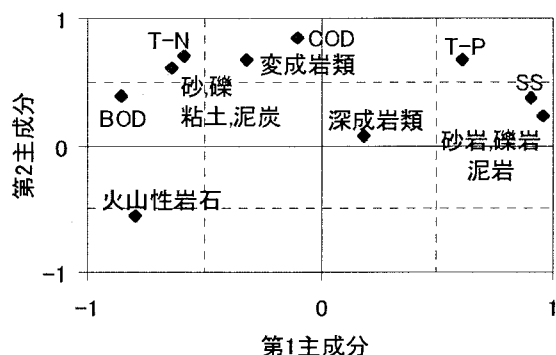


図10 因子負荷量の分布 (地質)

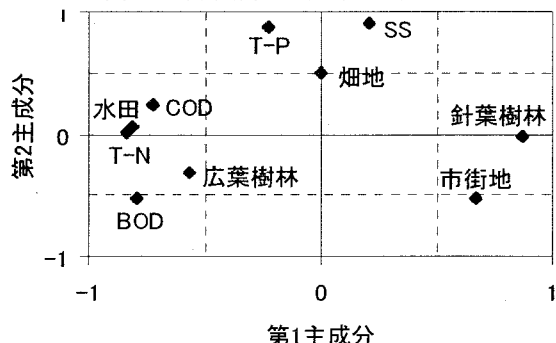


図11 因子負荷量の分布 (地被)

た3項目の他に、BODとCOD⁴⁾も加えて分析を行う。

(2) 被覆状況のデータ

被覆状況に関しては、石狩川流域ランドスケープ情報³⁾を活用した。これは、国土数値情報と現存植生図を基に3次メッシュ毎にデータを蓄積したものである。地質状況のデータについては大きく5区分に分類して使用した。流域別の内訳を図9に示す。また、地被状況のデータは、水質成分負荷量推定の対象流域13,348km²の内、自然植生を排除した40%の流域のデータについて考慮した。その結果、全体としては水田が45%、針葉樹林が35%を占める。各地点について見ると豊平川流域は35%が市街地であり、都市河川の特徴を表す。また、雨竜川流域と千歳川流域は水田と畑地で60%以上を占めており、空知川流域と幾春別川流域では針葉樹林が50%を占める点で各々似ている。本川3地点については、各地点とも水田が約50%、針葉樹林が約30%、市街地が約10%となり、類似した構成を示している。

(3) 分析結果

図10に地質と負荷量の分析結果を示す第1主成分はSSやT-Pが正に分布していることから、この主成分は流量の変動による負荷流出に関係しており、砂岩、礫岩や泥岩も影響を与えと考えられる。また、BODやT-Nの負荷流出には砂、礫、粘土、泥炭のような粒子の小さい地質の影響があるといえる。図11は地被と負荷量の分析結果である。第1主成分はBOD、CODが負の分布をしていることから、有機性の水質とそれ以外の性質をもつ水質の差を表しており、BOD、CODの負荷流出には分布が似ている水田、広葉樹林の影響やT-Nとの相関性も確認できる。第2主成分はSSやT-P、畑地が正に分布しており、流量変化の影響を受ける水質と、流量の他に影響を与える地被の関係を示すと考えられる。よって、負に分布しているBODは流量の変動の影響が小さく、広葉樹林の影響が大きいことが図11からわかる。

5. おわりに

本研究では、石狩川流域を対象として水質成分負荷量の流出状況を把握した。この際、出水時の流量変化が水質成分負荷の流出に与える影響が大きいと考えられることから、低水時と高水時に分離して水質成分負荷量の推定を行い、合わせた量を総負荷量とする方法を試みた。その結果、低水時と高水時に流出成分を分離して負荷量を各々推定することが有効であることを示した。また、河川流域から発生する水質成分負荷の由来を明らかにするために国土数値情報のメッシュデータの地被状況及び地質状況と推定した水質成分負荷量とを用いて主成分分析を行った。その結果から水質成分負荷の発生と地質や土地利用等の被覆状態との関連性が整理された。今後はこのような流域の被覆状況に基づく水質成分負荷発生量の推定を行っていきたい。

謝辞：本研究を進めるにあたり北海道開発局石狩川開発建設部で実施された調査の結果を使わせていただいた。ここに記して謝意を表す。

1)建設省河川局・改訂新版建設省河川防犯技術基準(案)同解説・調査編,pp.344,1997.

2)日野幹雄,長谷部正彦:水文流出解析,森北出版,pp.74-85,1985.

3)北海道開発局石狩川開発建設部計画課,(財)北海道河川防災研究センター-HRDPRC L.S.I 1997 石狩川ランドスケープ情報,1997.12.

4)太田陽子,中津川誠:石狩川流域における水質成分負荷量の流出特性と推定について,土木学会北海道支部論文報告集,第57号,2001.2.

(2001. 4. 16 受付)