

II - 46

流域地理情報を用いた積雪寒冷地流域の水質成分流出負荷量の解析

(株) 福田水文センター 正員 ○山崎 晃裕
 開発土木研究所 環境研究室 正員 中津川 誠
 (株) 福田水文センター 相山 忠男

1. はじめに

河川・湖沼・海域の水環境を解析するには流域全体から流出する水量、水質を把握する事が必要である。本研究では、鶴川流域と石狩流域から流出する主要な水質成分（懸濁成分、有機成分、栄養塩成分）の全負荷量を推定した。また、これらの河川流域の水量、地質・地被状況を考慮した水質成分の原単位を推定し、積雪寒冷地の気候や北海道の地理的特性が水質に与える影響を明らかにした。とくに針葉樹・広葉樹といった森林の構成、堆積性・火山性といった地質の構成による原単位の特徴を明らかにした。

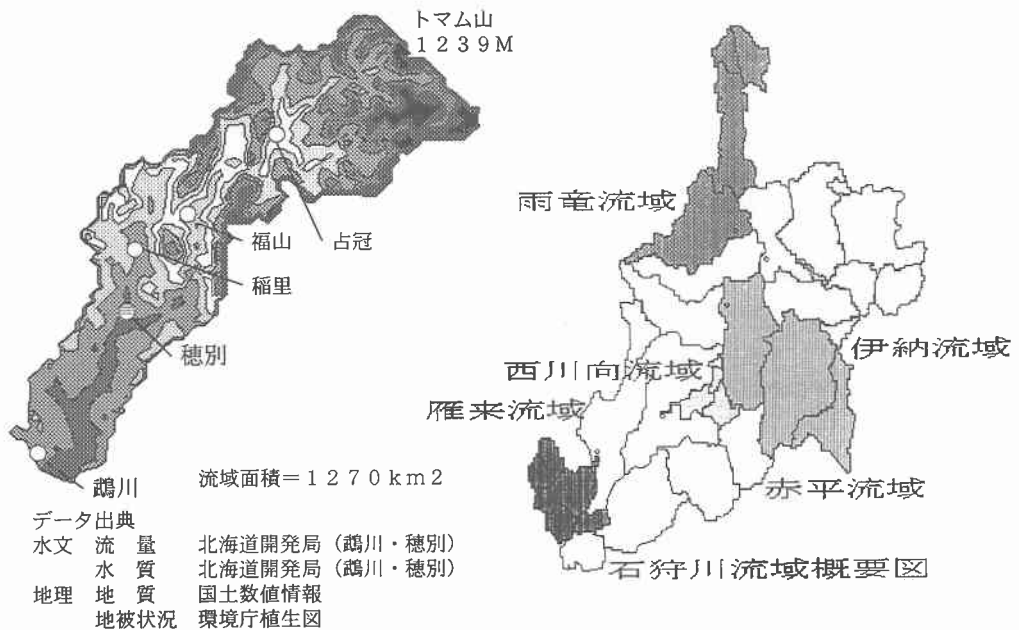


図1 鶴川流域・石狩川流域の概要図と観測地点

2. 研究方法

2-1 調査対象流域

鶴川流域は北海道南西部に位置し、流域面積 1,270km²の一級河川であり、石狩川流域は北海道北西部に位置し、流域面積 14,300km²の一級河川である。尚、石狩川流域では、34 に流域分割し、作成された「地形・地質・地被データベース」を基に石狩川流域のうち5つの支川流域を抽出している。両流域の流域界、流量・水質観測地点は、図1に示す。地被状況と地質の内訳は、表1に示す。

地被（森林）の特徴として、石狩川流域では、針葉樹と広葉樹が同程度の比率で、自然河川に近い鶴川流域では広葉樹の方が多く、森林流域の定山溪は針葉樹がほとんどである。地質の特徴として、石狩川流域では、堆積性地質と火山性地質が半々で、鶴川流域では堆積性地質、定山溪は火山性地質がほとんどを占めている。

表1 地被・地質状況の内訳

カテゴリ	分類	石狩川流域					定山溪	鶴川流域		
		伊能	雨音	赤平	西川向	雁来	5流域平均			
地被	針葉樹	48	18	43	25	70	41	80	38	%
	広葉樹	28	57	39	59	23	38	20	52	
	水田	9	16	5	3	0	8	0	5	
	畑地	13	7	12	7	1	10	0	3	
	市街地	3	0	2	5	6	2	0	1	
	計 (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	
地質	堆積物	37	58	53	100	16	47	1	81	%
	火成岩	56	31	27	0	81	42	89	2	
	深成岩	3	7	10	0	3	5	10	9	
	変成岩	5	4	11	0	0	6	0	7	
	計 (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	
流域	面積	3379	1718	2533	325	652	8607	104	1270	km ²

2-2 調査項目

水質項目は懸濁成分の指標であるSS、有機物による汚濁指標のCOD、富栄養化関連成分のT-N、T-Pとした。水質変化の傾向としては、流量の増加に伴って緩やかな増加または影響の少ないT-N、流量の増加に伴って著しく又は同様に増加するCOD、SS、T-Pというように分類できる。これは、通常の自然河川水中のT-Nは溶存態、SS、T-Pは懸濁態がそれぞれ主体となっていることによる。

II. 3 研究手法

流出負荷量*L*(g/s)は、負荷量-流量関係式(*L-Q*式)で推定することによって、鶴川、石狩川流域での負荷量を10年連続データ(1985~1994)、定山溪での負荷量を3年連続データ(1993~1995)から与えた。

流域の水質面源負荷量は降雨等を介して河川に流出するが、流域によって降水量、流出高も異なるために「単位面積当たりの流出負荷量(1/km²)」では他の地域と十分に比較を行えないと考え、求める原単位を「単位面積・単位流出高当たりの原単位(1/km²/mm)」とする。ところで、懸濁物等が流出する際には発生源から河道に至るまで、また河道内でも、沈降・堆積による変化があると考えられる。ただし、長期的に考えた場合、土砂・栄養塩等は、洪水時には貯留したものが流出すると考えられ、そのようなことを繰り返して発生した負荷は長期的には全て流出すると考えた。具体的な作業手順を以下に示す。

- 1) *L-Q*式により総流出負荷量を推定する。(鶴川流域、定山溪、石狩川流域の5支川流域)
- 2) 鶴川、石狩川流域で水田、畑、市街地に過去の文献値¹⁾を適用して、総流出負荷量から差引きで森林の原単位*M_F*を推定する。これは、次式から求められる。

$$M_F a_F q = L - \sum_{i=1}^{n-1} M_i a_i q \quad \dots\dots(1)$$

ここで、*L*は総流出負荷量(t)、*q*は流出高(mm)で流域内で一様と考える。*M_F*は森林の原単位(1/km²/mm)、*M_F*は水田、畑、市街地といった地被状態*i*の原単位(1/km²/mm)、*a_F*は森林の面積(km²)、*a_i*は水田、畑、市街地の面積(km²)である。ここで算出した結果を表2に示す。

- 3) 単一森林流域である定山溪の森林の原単位を総流出負荷量から推定する。結果を表2に示す。
- 4) 石狩川の5つの支川流域で成分回帰分析手法²⁾を行い、各地被毎の原単位*M*を算出する。これは、次式から求められる。

$$[A^T A]M = [A^T L] \quad \dots\dots(2)$$

$$L = \begin{pmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_j \end{pmatrix} \quad M = \begin{pmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_i \end{pmatrix} \quad A = \begin{pmatrix} a_{11}q_1 & a_{12}q_1 & \dots & a_{1n}q_1 \\ a_{21}q_2 & a_{22}q_2 & \dots & a_{2n}q_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{j1}q_j & \dots & \dots & a_{jn}q_j \end{pmatrix} \quad \dots\dots(3)$$

ここで、*L*は流域*j*の総流出負荷量ベクトル(t)、*M*は地被状況*i*の原単位ベクトル、*A*は地被状況*i*の面積と*j*番目の流域の流出高の積のマトリクスを表す。この際、原単位が負値になった場合は、そ

の結果を用いない。得られた結果を表3に示す。

- 5) 石狩川流域で成分回帰分析手法により推定された水田、畑、市街地の原単位を鶴川流域に適用して、(1)式で森林負荷量(=原単位)を推定する。結果は表2に示す。
- 6) 2)、3)、4)、5)の整合性を見て、最終的な原単位を選択する。最終的に用いた原単位は、表2と表3に網掛けで示す。

表2 水田、畑、市街地の原単位に既存値を用いて推定された地被状況毎の原単位

流域		推定法	水質	森林	水田	畑	市街地
鶴川	2)	COD	0.00937	0.03820	0.00072	0.02656	
		SS	0.27988	0.11180	0.01880	0.18885	
		T-N	0.00004	0.00052	0.00518	0.00458	
		T-P	0.00006	0.00026	0.00005	0.00056	
	5)	COD	0.00813	0.01591	0.01173	0.02220	
	T-N	0.00003	0.00019	0.00679	0.00502		
石狩川	2)	COD	0.00198	0.03820	0.00072	0.02656	
		SS	0.18800	0.11180	0.01880	0.18885	
		T-N	0.00025	0.00052	0.00518	0.00458	
		T-P	0.00013	0.00026	0.00005	0.00056	
定山溪	3)	COD	0.00371				
		SS	0.00422				
		T-N	0.00023				
		T-P	0.00001				

表3 成分回帰分析手法によって決定された石狩川流域の地被状況毎の原単位

流域		推定法	水質	森林	水田	畑	市街地
鶴川	4)	COD	0.00306	0.01591	0.01173	0.02220	
		SS	0.18800	-0.36993	-0.16596	-1.81158	
		T-N	0.00004	0.00019	0.00679	0.00502	
		T-P	0.00013	-0.00030	0.00023	-0.00131	

表4 成分回帰分析手法で決定された針葉樹と広葉樹の原単位

水質	針葉樹	広葉樹
COD	0.00274	0.00636
T-N	0.00005	0.00005
T-P	0.00004	0.00011

- 7) 森林、水田、畑、市街地の原単位から求めた流域全体のもつ負荷量(10年間総量)とL-Q式によって推定された総流出負荷量(10年間総量)の比較を図2に示す。これから推定した原単位が妥当性を持った値であることが検証できた。

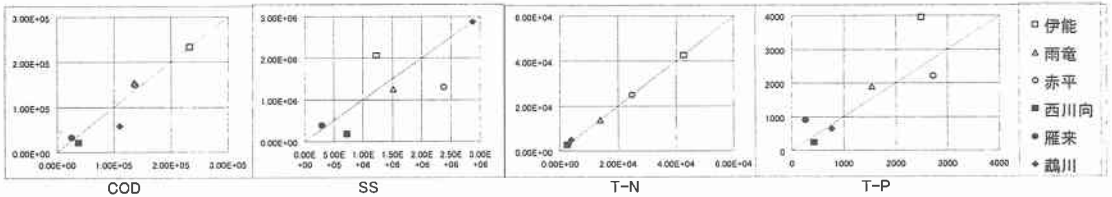


図2 L-Q式による実測値と原単位による推定値の比較

3. 検討

最初に森林からの水質負荷(原単位)と地被・地質状態との関連を考察する。

植生要因を考えるため、森林内の広葉樹林占有率と森林域の原単位を比較したものを図3に示す。また、地質要因を考えるため、流域内の堆積性地質占有率と森林の原単位を比較したものを図4に示す。さらに、石狩・鶴川流域で森林域を針葉樹と広葉樹に分けて、成分回帰分析手法を用いて両者の原単位を求めた結果も表4に示す。以上の結果から得られる見解は以下のとおりである。

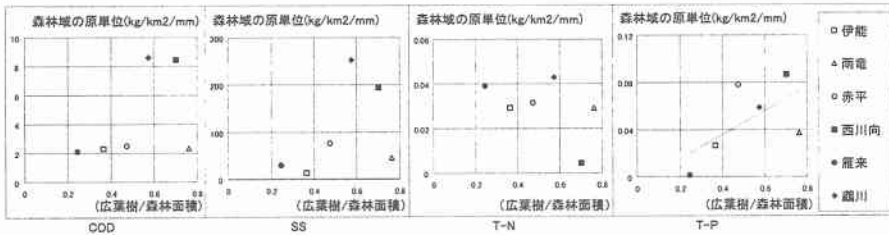


図3 植生要因からみた森林からの水質原単位

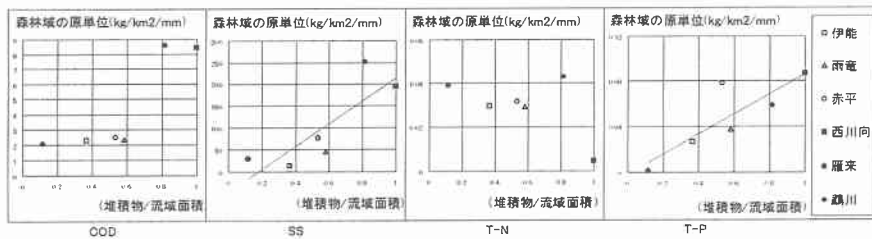


図4 地質要因からみた森林からの水質原単位

- 1) CODは、あまり明確ではないが、広葉樹林の支配面積が大きいと有機物の生産力が大きい³⁾ため、CODの流出負荷量は大きい。
- 2) SSは、堆積性の地質の支配面積が大きいと土砂流出の要因となる堆積物の割合が高い³⁾ため、SSの流出負荷量は大きいと考えられる。
- 3) T-Nは、広葉樹に比べ針葉樹は、窒素を捕捉する能力に劣るため³⁾、針葉樹の割合が大きいほど（つまり広葉樹の割合が小さいほど）、若干T-Nの流出負荷量は大きいと考えられる。
- 4) T-Pは、堆積性の地質の支配面積が大きいと土砂・粘土等に付着して流出するため、その流出負荷量は大きいと考えられる。また、広葉樹の支配面積が大きいとT-Pの流出負荷量は大きいと考えられる。

次に森林からの原単位で既往の文献値¹⁾と比較を行った結果、COD（森林、水田、畑）とT-N（畑）については既存文献値の範囲外となった。これらの水質成分について、その原因を以下のように考察した。

CODでは、森林の原単位が2～3倍ほど高い。これは、寒冷地のため分解速度が遅く、森林に落ち葉等の有機物が分解せず蓄積するため本州の原単位に比べ高くなると考えられる。北海道での原単位に関する研究は、網走川流域⁴⁾について行われており、その結果でも森林のCODは本州と比較して2倍程度高いことが確認されている。また、畑でのCOD原単位は、本州に比べてとくに高い、これは、石狩川流域の畑が泥炭性の土壌から構成され、多量の腐植質（フミン質）を含むために高いものと考えられる。

T-Nについての畑地の原単位では、本州に比べて2倍ほど高いが、これは、施肥による窒素が植物に吸収されにくい³⁾ため、高いものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、針葉樹・広葉樹といった森林の構成、堆積性・火山性といった地質の構成によって原単位の特徴を明らかにしたうえで、地被状況毎の原単位を決定した。これらの数値の妥当性はさらにデータを蓄積し検証が必要である。今後、流域全体での地被状況の変化に伴う負荷量変化の推定に本研究を役立てていきたい。

謝辞 本研究を行うに当たって、「寒地河川学研究会」の成果である流域データベースを活用させていただいた。ここに、謝意を表す。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所下水道部水質研究室：土木研究所資料 汚濁負荷の原単位に関する調査報告書(1), 1988. 3
- 2) 星 清：成分回帰分析法、土木試験所月報、No.397、pp.21-26、1986
- 3) 依田 恭二著：森林の生態学、築地書館、1971
- 4) 福山龍次、坂田康一、村田清安：湖沼における非特定汚染源からの汚濁機構の解明、北海道公害防止研究所報、17、1990

表5 本州の流域で推定された原単位との比較
単位: kg/ha/year

	森林	水田	畑	市街地
COD				
鶴川	71.28	139.49	102.82	194.67
定山溪	92.14			
石狩	35.61	185.06	136.41	258.26
文献値	0.3~31.5	10.2~96.5	9.45~12.2	34~1800
SS				
鶴川	2454	980	165	1656
定山溪	105			
石狩	523	1300	219	2197
文献値	3.1~4100		1.0~6909	2.22~2340
T-N				
鶴川	0.30	1.68	59.56	43.99
定山溪	5.68			
石狩	0.44	2.23	79.02	58.37
文献値	0.48~6.94	0.043~88.4	7.45~35.7	2~200
T-P				
鶴川	0.57	2.24	0.44	4.99
定山溪	0.28			
石狩	0.63	2.97	0.58	6.51
文献値	0.019~1.84	0.33~4.38	0.31~35.4	0.003~66