森林河川の降雨時水質成分負荷流出特性

北海道大学大学院工学研究科 学生会員 山田俊郎
同上 正会員 橘 治国

1. はじめに 降雨による流量変動に伴って森林河川水質は変動し、降雨時の森林河川の負荷流出量は、一回の降雨により晴天時の年間負荷量に匹敵する量が排出されることもあり、また栄養塩成分も増水時には多量の懸濁物とともに高濃度で流出するため、降雨時における水質成分負荷流出の特徴を把握することが河川流域環境を考える上で重要である。本研究では、1997年の夏期の降雨時に行った森林河川の調査結果をもとに、出水時における森林からの栄養塩を中心とした水質成分の負荷流出特性を明らかにすることを目的とした。

2. 研究方法 北海道恵庭市西部の千歳川水系の漁川およびモイチャン川を調査対象河川とした。この2河川の集水域はすべて森林で、隣接している。1997年夏期の降雨時に1~2時間間隔で自動採水器による連続採水を計5回行った。採取した試料は栄養塩成分、一般成分など約30項目について分析を行った。調査地域の降雨量と河川流量は、北海道開発局漁川ダム管理所と千歳川放水路建設事務所の観測データによった。

3. 水質成分負荷流出特性値 比流量と比水質成分負荷流出量の経験式(LQ式)から、水質成分の流出特性について検討した。経験式は、 Q は比流量($m^3 \cdot km^{-2} \cdot s^{-1}$)、 L は水質成分比負荷流出量($g \cdot km^{-2} \cdot s^{-1}$)、 C と n を係数として $L = C \times Q^n$ で表される。ここで係数 n は水質成分発生負荷量の流量との対応を示し、どのように流出してくるかという流出の特性を示すパラメーターである。一方係数 C は、負荷量の絶対量を決めるパラメーターであり、流域ごと、また成分ごとの特徴を示すパラメーターと考えられる。河川間で C を比較するため、調査期間中における漁川、モイチャン川の最小比流量 Q_0 (漁川: $0.067 m^3 \cdot km^{-2} \cdot s^{-1}$ 、モイチャン川: $0.054 m^3 \cdot km^{-2} \cdot s^{-1}$)で比流量 Q を割ったものを単位比流量 Q' ($Q' = Q / Q_0$)とし、この単位比流量 Q' と比負荷流出量 L の関係を求めると、新たに係数 k を用いて $L = k \times Q'^n$ と表すことができる。この k 値は基底流量に対応する負荷量で、流域における水質成分の存在量、すなわち流域の特性を示している係数であるといえる。設定した最小比流量は2河川間で差が小さく、 k 値の大きさを河川間で比較することが可能であると考えられる。調査対象河川の漁川とモイチャン川における各水質成分の k 値を調査した5回の降雨毎に求め、その対数值($\log k$)の平均及び変化幅(最大値-最小値)を表1に示す。漁川、モイチャン川における懸濁態成分の $\log k$ の平均値は他の水質成分より小さいが、変化幅は1~2と他水質成分より大きい。すなわち懸濁成分の蓄積量は降雨時の土壌状態で1~2オーダーで変動する。大半の一般無機イオンにおける $\log k$ の変化幅は、両河川とも0.2以下であった。栄養塩成分の k 値の変動は、懸濁態成分と一般無機イオンの中間的な値であるが、河川による差異が明確で、流量変動の大きい漁川では流況の安定したモイチャン川より変化幅が大きい。硝酸態窒素の k 値の変動は、漁川で $\log k$ が約1.2、モイチャン川で約0.3と、河川間で大きな差があった。同一流域内で k 値が大きく変動することは、流域土壌中の蓄積量の変動が大きいといえる。その変動の要因としては、降雨による洗い出し、無降雨期間中の生産または消失などが主要な要因として考えられる。

4. 考察 k 値の変動が大きいSSと硝酸態窒素について、漁川とモイチャン川における各降雨時の k 値と、その時の気象条件との関係を検討した。検討の対象とした気象条件は総降雨量、最大降雨強度、降雨継続時間、晴天日数である。晴天日数は、漁川流域で流量の変化が現れる降雨量15 mm以下の期間とした。 k 値の変動が大きいため、漁川およびモイチャン川の $\log k$ に対する各気象条件の相関係数を求め、表2に示した。 $\log k$ は総じて晴天日数と相関がよく、他の気象条件とは相関が悪かった。漁

川およびモイチャン川の両河川において晴天日数は SS に対して正、硝酸態窒素に対して負の相関が見られた。特に漁川では SS の k 値の対数値は晴天日数と明確な正の相関があり、SS の k 値は以下のように表現できた。

$$k_{SS} = 0.39 \times \exp \{ 0.23 \times t \}$$

ここで、 k_{SS} : 漁川における SS の k 値(kg・km²・day⁻¹)、t: 晴天日数(降雨量 15 mm 以下の期間)(day)である。漁川では流域の乾燥化に伴い、降雨で洗い流されやすい SS 成分が生産され蓄積されるためと考えられる。k 値の増加が指数関数的である理由として、流域の乾燥化が流域に貯留されている水分量に比例して進行することなどが考えられるが、乾燥化と SS の生産に関するメカニズムについては未解明であり、この点については今後調査・実験が必要である。モイチャン川での SS の k 値は、晴天日数に関わらずほぼ一定(k = 15 kg・km²・day⁻¹)であった。蓄積量に変動がなく、モイチャン川では SS の供給源となる土壌表層が崩壊しにくく、表層土壌が常に湿潤であるためと考えられる。

硝酸態窒素の k 値は、SS の k 値と同様に漁川で晴天日数との相関があり、モイチャン川では変動が小さくほぼ一定(k = 0.5 kg・km²・day⁻¹)であった。漁川の硝酸態窒素の k 値は次式で表現できた。

$$k_{NO_3} = 0.69 \times \exp \{ -0.12 \times t \}$$

ここで、 k_{NO_3} : 漁川における硝酸態窒素の k 値(kg・km²・day⁻¹)、t: 晴天日数(降雨量 5 mm 以下の期間)(day)である。モイチャン川での硝酸態窒素の k 値が一定であるのは、モイチャン川流域が湿潤状態に保たれて、土壌中で窒素の硝化および不動態化(有機化)が同時に生じて状況が続き、見かけ上硝酸態窒素蓄積量が大きく変化しないためと考えられる。一方漁川流域は乾燥しやすい状況が生じて土壌で硝酸態窒素の不動態化が進行し、そのため漁川流域における硝酸態窒素蓄積量は指数関数的に減少すると考えられる。

これまで、都市域からの汚濁負荷モデルにおいて既に水質成分の蓄積量を晴天日数などで表現されているが¹⁾、森林河川においてもその森林の状況によっては、SS や硝酸態窒素の蓄積量に晴天日数が大きく影響することが示唆された。

<参考文献> 和田安彦, 三浦浩之: 分流式下水道の雨水流出に伴う汚濁負荷流出モデルとその適用、土木学会論文集、369、II-5、1986

表1 log(k)値の平均および変化幅

成分	漁川		モイチャン川	
	log(k)値 平均	log(k)値 最大-最小	log(k)値 平均	log(k)値 最大-最小
SS	-1.25	2.75	-1.19	2.51
PN	-3.10	1.29	-2.73	0.81
NO ₃ ⁻ -N	-2.46	1.18	-2.26	0.33
NH ₄ ⁺ -N	-3.34	0.70	-3.20	0.67
DON	-2.55	0.81	-2.52	0.54
PP	-4.33	2.00	-3.92	1.30
DP	-3.66	0.60	-3.11	0.15
4.3Bx	-1.55	0.03	-1.67	0.06
Cl ⁻	-0.59	0.11	-0.61	0.16
SO ₄ ²⁻	-0.01	0.04	-0.55	0.18
SiO ₂	0.18	0.46	0.18	0.21
Na ⁺	-0.41	0.09	-0.43	0.14
K ⁺	-1.16	0.11	-1.23	0.24
Ca ²⁺	-0.21	0.16	-0.65	0.15

表2 SSおよび硝酸態窒素のk値(log k)と、総降雨量・最大降雨強度・降雨継続時間・晴天日数との相関係数

	log k			
	SS		NO ₃ --N	
	漁川	モイチャン川	漁川	モイチャン川
総降雨量	0.20	0.12	0.30	-0.10
最大降雨強度	0.51	0.13	0.53	0.02
降雨継続時間	-0.51	-0.24	0.05	0.07
無降雨日数	0.91	0.57	-0.52	-0.33