

(26) 谷川岳を含む利根川最上流から利根大堰までの
栄養塩濃度の推移と流出源の検討

The transition of nutrient concentration and the runoff source of
nutrient on the Tone river basin

森 邦広*, 青井 透**, ○阿部 聡***, 池田正芳***
Kunihiro MORI*, Toru AOI**, Satoshi ABE***, Masayoshi IKEDA***

Abstract: At Mt. Tanigawa which was one of the source of Tone River basin, rainfall and snowfall of the summit were continually collected, and each nitrogen component was analyzed. The nitrogen concentration of mountain stream water which escaped from Mt. Tanigawa was also continually collected and analyzed. Then the research of river water quality was carried out for 5 times per year from mountain stream to Tone Oozeki Barrage located in most downstream edge of Gunma pref., and the transition of nitrogen concentration was observed. At the Tone Oozeki Barrage, the great bulk of water was taken as water supply resource of the Metropolitan area

The nitrogen concentration at the summit rainfall and snowfall agreed well with that of mountain stream water. The nitrogen concentration of Tone River was over 1mg/l from Numata city in the upstream area. At the Tone Oozeki Barrage, the nitrogen concentration was 2 to 3mg/l through the year. These values were rather high as the resource of water supply.

Keywords; Mt Tanigawa, Tone River, Tone Oozeki barrage, ammonia, nitrate, snowfall, rainfall

1.はじめに

利根川は、流域面積と給水人口において日本最大の河川であり、古くから板東太郎の名で親しまれている。平成13年夏、利根川は平成8年(平成6年は記録的な大渇水)以来5年ぶりの渇水で取水制限が実施され、奥利根湖(矢木沢ダム)の水位低下と干上がった湖底が連日のように報道されていた。その利根川上・中流部に位置する群馬県は、1つの県から唯一本の河川が流れ出ているという点で、関西の水瓶である滋賀県と並び特異的な場所を占めており、水に関していえば下流側の東京都と極めて密接な関係にあると言える。

現状における利根川の窒素濃度は、本研究室のデータ^{1)~7)}によれば、谷川岳一ノ倉沢や奥利根湖(矢木沢ダム)でも酸化態窒素($\text{NOx-N}=\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$)として0.15 mg/l程度検出されるが、この濃度は富栄養化を引き起こすとされる窒素濃度である。また上流域の前橋地点でも常に全窒素濃度1 mg/lを超えており、首都圏に分水される群馬県下流端の利根大堰ではさらに上昇し、夏季で2mg/l以上、冬季の渇水期には3mg/lを越える

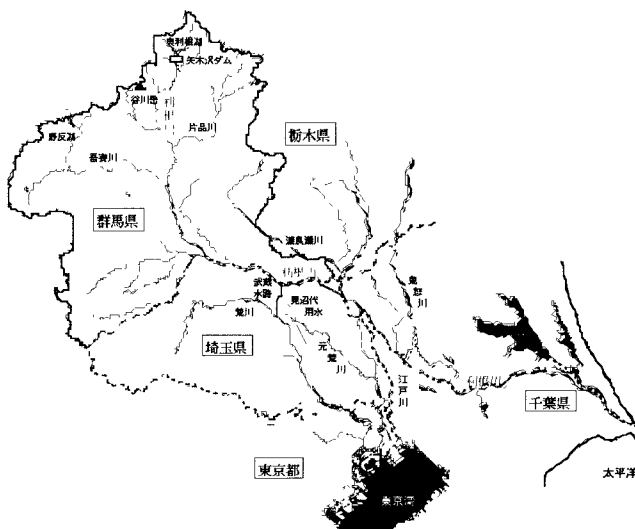


図1 利根川全流域図

*登山家(Naturalist)

**群馬工業高等専門学校環境都市工学科教授(Department of Civil Engineering, Gunma College of Tech.)

***群馬工業高等専門学校専攻科環境工学専攻(Advanced Environmental Engineering Course)

ことがある。利根川の下流では富栄養化が進行し（例えば渡良瀬貯水地、霞ヶ浦等）、首都圏2700万人の飲料水源としての利根に支障をきたしている。

利根川上・中流域の窒素・リン濃度は、国土交通省により利根川水質年鑑で報告されているが、十分なデータ量とはいえず、特に前橋より上流側の各点では、本川でもごくわずかのデータが報告されているにとどまり、支川についてはほとんど無いに等しい。

そこで本研究は、利根川源流の一つである谷川岳山頂の雨雪と、極めて清澄とされる一ノ倉沢・マチガ沢沢水を、ほぼ通年採水するとともに、群馬県最下流端で首都圏の取水口でもある利根大堰までの利根川上流域での各態窒素・リン濃度等の定期調査を行うことで、現状の水質汚濁を把握し、その発生源を解明することにより、今後の利根川利根に基礎的な資料を提供しようとする試みである。

すなわち本研究の目的は、利根川の源流部で観測される比較的高い窒素濃度の発生源の探求と、降雨降雪から供給される部分の定量化、及び首都圏への水が分配される利根大堰地点での、栄養塩濃度の実態調査とN,P流出量の把握である。従来、酸性雨に関連して山岳地帯で降雨・降雪・樹氷や霧を採取し、大気汚染との関係を調査している研究は多く報告されているが、大気中の窒素化合物(乾性および湿性降下物)と源流部河川水質の窒素濃度との関連⁸⁾に関しては、殆ど検討されていないのが現状である。

2.利根川上流部の栄養塩濃度に関する従来研究

群馬県の県庁所在地である前橋市のキャッチフレーズは、“水と緑と詩(萩原朔太郎)の町”であることからわかるように、群馬県内を流れる利根川の水は清澄とされ、前橋より上流の利根川では水質汚濁問題は、殆ど認識されておらず、その結果として利根川本川最上流部の栄養塩濃度(窒素・リン)は、僅かの例⁹⁾を除いて殆ど測定されていない。支川に至ってはさらにその傾向が強く水質データは皆無に近い。

利根川最下流の霞ヶ浦や手賀沼等では、常にカビ臭などの水質障害が報道され種々

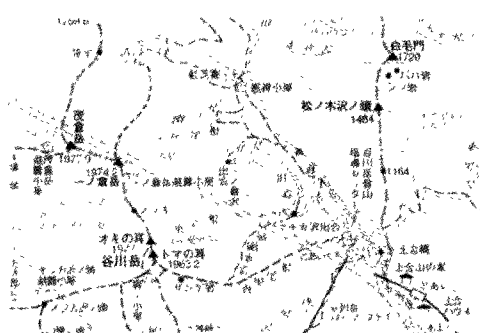


図3 谷川岳周辺地図

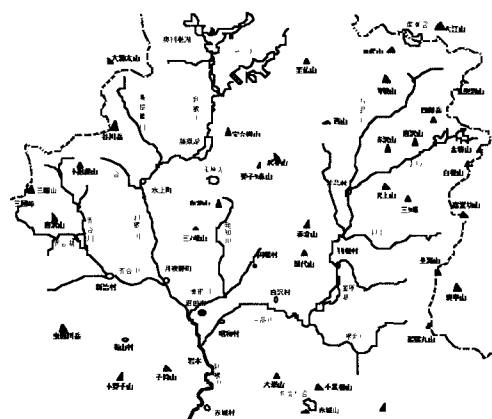


図2 利根川最上流部概要図



図4 利根川上流部の発電用水系統図

の対策が施されているので、関東平野へ流入した後の利根川(坂東大橋以降)の有機物や栄養塩の汚濁解析は、大久保等により国土交通省の水質データを用いて解析がなされており¹⁰⁾¹¹⁾、1982年以降刀水橋地点で急激な窒素濃度の上昇が報告されている。しかし源流部から坂東大橋までの栄養塩(特に窒素)の現状については、殆ど検討がなされていない。

また林学系研究者によって、北関東の森林では硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$) 1mg/l を越える高い窒素の流出が報告されており、森林で流出窒素が流入(降雨による)窒素を上回る状態をNitrogen Saturationというが、関東北部の森林はすでにこの状態にあるという指摘がなされている¹²⁾¹³⁾。さらに國松等¹⁴⁾は、荒川上流域の硝酸態窒素が高いことを指摘したうえで、河川水の硝酸態窒素濃度と地質の関係を検討し、堆積岩地帯で高い硝酸態窒素がみられると報告している。

3.調査方法

利根川全流域図を図1に示した。利根大堰と武蔵水路は昭和40年に完成した首都圏への導水施設であり夏季には、概ね $100\text{m}^3/\text{秒}$ (日量 800万m^3 を越える)の水が、利根川から荒川經由首都圏に流れている。また片品川合流までの利根川最上流部概要を図2に示した。群馬高専と森の共同研究は、2000年7月に開始したので、森はこれ以降一ノ倉沢、マチガ沢の沢水、水上町の利根川の水(水紀行館横)および山頂部での雨・雪・樹氷等を継続的に採水した。谷川岳周辺地図¹⁵⁾を図3に示した。山頂の降雨は、独自に設置している山頂の降雨計を利用した。マチガ沢は谷川岳登山ルートであるので、岩石帯・樹林帯の各点を定期的に採水した。一ノ倉沢・水上の水紀行館横(利根川)は、登山ルートではないが、逐次定期的に採水した。

利根川の上流端に位置する奥利根湖(写

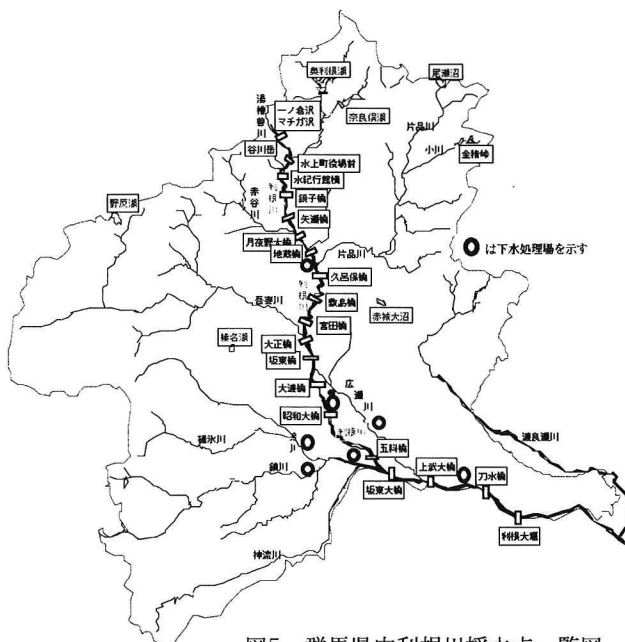


図5 群馬県内利根川採水点一覧図

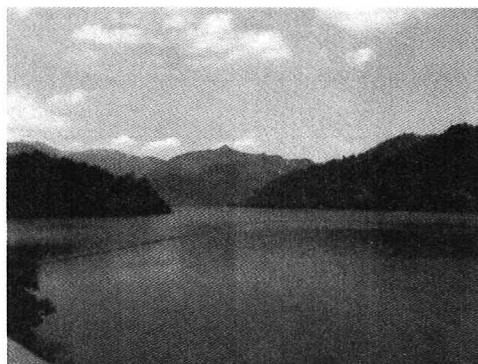
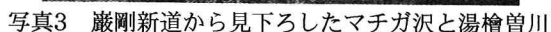
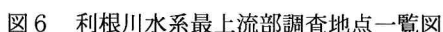


写真1 奥利根湖(利根川最上流部,H12/7/31)



写真2 谷川岳一ノ倉沢

年間に合計5回(2001年7/31,11/10,12/15,2002年3/15,4/20)の利根川調査を実施した。7月31日は、渇水の取水制限に入る直前にあたる(8/10から10%の取水制限が実施された)。また2001年度は異例な暖冬のため、谷川岳の雪解けが早かったので、3/15,4/20の二回融雪時期の調査を実施した。これら測定日の流量データは、国土交通省利根川ダム統合管理事務所・水資源開発公団利根導水路総合管理所・県河川課および各下水処理場に依頼して入手した。



4.調査結果

4-1 谷川岳山頂降雪雨水質の年間変動

山頂降雪雨の無機態窒素 ($\text{InorgN}=\text{NH}_4\text{-N}+\text{NOx-N}$) の年間濃度変化を、時系列で図8に示した。図8下段には、各降雪雨のアンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) と NOx-N の比率を示した。表1には降雪・雨・樹水の各水質項目平均値を示した。降雪雨中には NOx-N とほぼ同濃度の $\text{NH}_4\text{-N}$ が含まれていた。雪と雨では、雨に含まれる無機態窒素平均濃度は 0.78mg/l 、雪では 0.24mg/l であり、雪中より3.3倍ほど高かった。ただし雨の濃度は降雨量から計算した加重平均値であるが、雪中窒素濃度は降雪量を計測できないことから算術平均値であり、直接の比較はできない。谷川岳山頂降雪中無機態窒素濃度の算術平均値と加重平均値との比は 0.72 であったので、雨雪の条件が同一と仮定してこの値を用いると、雪中無機態窒素濃度加重平均値は 0.17mg/l となり、降雪中窒素濃度は降雪中窒素濃度より4.6倍高いことになる。山頂の降雨は2001年度の実測値で 1130mm であった。山頂の降雪量は測定不能であるが、水資源開発公団により矢木沢ダムの平均降雪量は 1150mm であると示されている¹⁷⁾。谷川岳と矢木沢ダムの降雪状況がほぼ同等と仮定すると、谷川岳の無機態窒素雨雪加重平均値は上記の数値から計算して 0.475mg/l となる。

4-2 一ノ倉沢沢水水質の年間変動

一ノ倉沢沢水の各窒素濃度2年間の経時変化を図9に示した。無機態窒素は7月から10月まで 0.15mg/l 程度で推移したが、10月中旬から 0.4mg/l に上昇し、雪解け時は初期に 0.5mg/l の高い濃度を

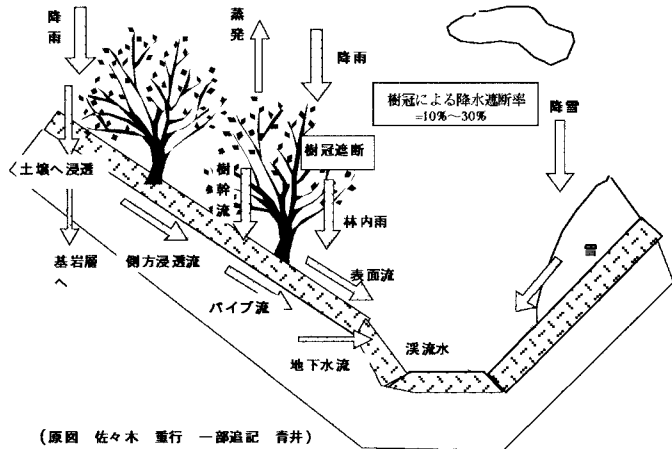


図7 降雨が渓流水となって流出するまでの経路

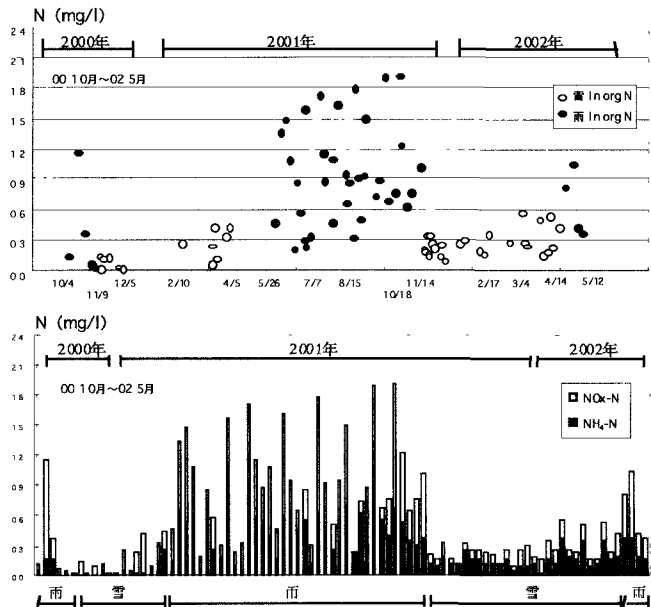


図8 谷川岳降雪雨の無機態窒素の年間変動

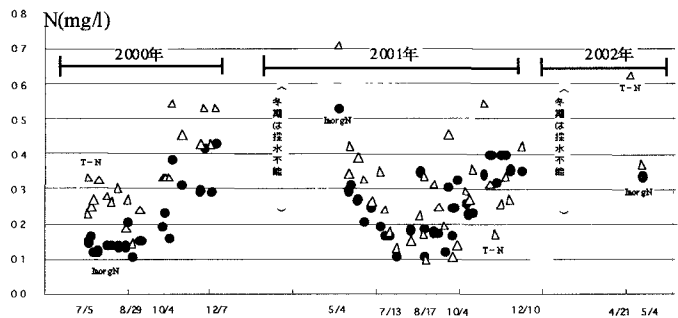


図9 谷川岳一ノ倉沢沢水の無機態窒素・T-N濃度の年間変動(2000.7～2002.5)

示し漸減して0.15mg/lまで低下した。この現象は図7のモデルで説明できる。一ノ倉沢は雪溪が主体であるが下部には一部樹林帯が含まれる。4-5に示すように、雪溪(岩石帯)と樹林帯では樹林帯の窒素濃度が高かったことより、雪溪の融解が10月で終了し、樹林帯からの窒素濃度が高い水が卓越して濃度が上昇したと考えられる。雪解け初期には流量が過大であるにもかかわらず窒素濃度も高いが、これは降雪中の無機塩(無機態窒素含む)が先に溶脱してくる現象¹⁷⁾によると考えられる。

4-3 マチガ沢岩石帯沢水水質の年間変動

マチガ沢は一ノ倉沢の一本下流側の沢であるが、写真3に示すように右岸は樹林帯、左岸は岩石帯と明確に別れており、浅い谷なので雪溪の融解も早い点が一ノ倉沢と異なっている。岩石帯で採水した各態窒素濃度二年間の経時変化を図10に示した。雪が少ないために一ノ倉沢のような雪解け期の溶脱現象はあまり観察されず、無機態窒素濃度が上昇を始める時期は7月末で一ノ倉沢より二ヶ月ほど早いことがわかる。

4-4 山頂降雪雨の窒素濃度と各沢水窒素濃度との関係

表1には、山頂降雪雨と一ノ倉沢・マチガ沢岩石帯沢水の平均水質を比較のために併記した。既に述べたように、それぞれの試料は季節的な変動があり、いろいろな要素が関連していると思われるが、とりあえず全体を把握するために若干無理はあるが、それぞれの平均値を比較すると、雨雪の無機態窒素平均値は0.51mg/l(仮定に基づく加重平均値は4-1より0.475mg/l)、それに対して一ノ倉沢・マチガ沢岩石帯ではそれぞれ0.24、0.37mg/lであった。各沢水の数値は流量の測定ができないために算術平均値を用いているが、融雪期に流量・窒素濃度とも上昇することがわかっているため、加重平均値は算術平均値を上回る傾向にあり、これらを考慮すると降雪雨の窒素濃度と、各沢水岩石帯から流出する窒素濃度は、ほぼ同一とみなせる。これらのことから、人為汚濁が全くなく森林の影響も少ない各岩石帯沢水の窒素濃度は、降雪雨の影響を大きく受けていることがわかる。

4-5 マチガ沢での樹林帯流出水と岩石帯流出水の水質の違い

写真3に示した樹林帯と岩石帯の間のマチガ沢は、毎回の登山道であるので、樹林帯からの沢水と岩石帯からの沢水を分離して採水できる。各沢水の平均水質をまとめた結果を表2に示した。図7で示したように、岩石帯では降雪雨が一時貯留後直接流出するのに対して、樹林帯では窒素の蓄積や根粒細菌などによる窒素固定が考えられるが、本調査でも樹林帯の窒素濃度は、岩石帯の沢水中窒素濃度の約2倍と高く、樹林帯が窒素を蓄積していることがわかる。

この観察から、一ノ倉沢の無機態窒素濃度が10月以降上昇する現象は、塩が溶脱して窒素濃度

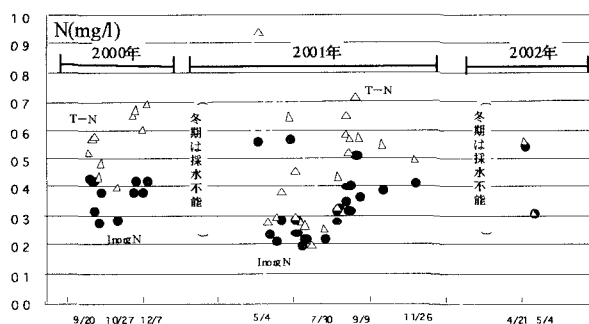


図10 谷川岳マチガ沢岩石帯沢水の無機態窒素・T-N濃度の年間変動(2000.9~2002.5)

表1 谷川岳山頂降雪雨及び一ノ倉沢・マチガ沢岩石帯の濃度平均値の比較

場所	n	pH	EC	Cl-	NH4-N	NO2-N	NOx-N	Inorg N	T-N	PO4-P	T-P	測定期間
谷川岳山頂雪	41	5.51	1.08	1.6	0.121	0.005	0.115	0.24	0.39	0.006	0.008	00-11/9 -> 02-4/14
谷川岳山頂雨	52	4.79	1.90	1.2	0.385	0.005	0.407	0.78	1.06	0.005	0.003	00-10/4 -> 01-5/12
谷川岳山頂樹水	38	4.83	5.50	7.8	0.869	0.013	0.930	1.80	2.09	0.029	0.031	00-11/9 -> 02-4/19
雨雪平均	-	5.15	1.49	1.41	0.253	0.005	0.261	0.51	0.72	0.006	0.006	-
一ノ倉沢岩石帯沢水	55	6.77	1.58	1.2	0.020	0.002	0.225	0.24	0.31	0.002	0.005	00-7/5 -> 02-5/4
マチガ沢岩石帯沢水	40	6.78	1.81	1.3	0.019	0.002	0.341	0.37	0.46	0.001	0.003	00-9/20 -> 02-5/4
水上(水紀行館後)	75	7.16	7.74	9.0	0.013	0.004	0.408	0.42	0.53	0.005	0.008	00-7/6 -> 02-5/4

単位はEC(mS/m), Tw(°C)その他はmg/l

表2 マチガ沢岩石帯と樹林帯から流出する沢水の濃度平均値の比較

場所	n	pH	EC	Cl-	NH4-N	NO2-N	NOx-N	Inorg N	T-N	PO4-P	T-P	測定期間
マチガ沢岩石帯沢水	40	6.78	1.81	1.3	0.019	0.002	0.341	0.37	0.46	0.001	0.003	00-9/20 -> 02-5/4
マチガ沢樹林帯沢水	46	6.96	2.42	1.6	0.020	0.002	0.555	0.57	0.66	0.002	0.003	00-9/20 -> 02-5/4

単位はEC(mS/m), Tw(°C)その他はmg/l

表3 利根川本川夏期の流下方向水質調査結果の一例

NO	採水点	TIME	Tw	pH	EC	Cl-	SS	濁度	色度	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO _x -N	InorgN	T-N	PO ₄ -P	T-P	BOD	CODcr	河川距離
1	一ノ倉沢	13:59	5.2	6.31	0.86	1				0.014	0.001	0.167	0.18	0.15	0.001	0.0058			0.00
2	マ子ガ沢	13:07		6.85	0.92	0				0.005	0.001	0.175	0.18	0.20	0.002	<0			0.88
3	水上町役場前	16:10	16.5	7.27	3.28	1	2.5	1.70	2	0.029	0.001	0.235	0.26	0.52	0.001	0.002	1.1	15.2	10.28
4	水配行橋前	16:40	17.9	7.41	4.35	2	3.5	1.59	2	0.026	0.001	0.235	0.32	0.35	0.001	0.001	2.5	19.8	12.45
5	熊子橋	10:01	16.8	7.15	4.65	2	10.5	1.70	3	0.135	0.002	0.414	0.55	1.00	0.005	0.021	4.2	16.1	14.09
6	矢通橋	10:25	15.9	7.01	3.48	1	3	2.35	4	0.141	0.002	0.260	0.40	1.49	0.002	0.007	2.9	14.0	20.92
7	月夜野大堰	11:25	18.2	7.35	5.53	2	2	2.01	2	0.034	0.003	0.455	0.49	0.85	0.002	0.002	3	12.1	25.27
8	地蔵橋	11:52	18.9	7.41	4.06	1	0.5	2.12	2	0.050	0.002	0.312	0.36	0.69	0.001	0.003	0.0	9.8	29.80
9	久呂保橋下	12:40	21.2	7.72	6.20	2	4	2.35	3	0.119	0.005	0.535	0.65	1.27	0.001	0.009	2.5	9.1	31.54
10	葛島橋	13:15	21.0	7.49	6.89	2	2	2.44	2	0.075	0.004	0.619	0.69	1.43	0.002	0.010	2.7	15.2	42.19
11	宮田橋	14:00	22.0	7.44	7.09	2	5	2.54	2	0.022	0.005	0.656	0.68	1.28	0.002	0.009	2.7	11.7	45.84
12	本正橋	14:35	23.8	8.00	8.48	3	3	2.01	2	0.058	0.006	0.734	0.79	1.37	0.006	0.017	1.8	12.4	50.42
13	坂東橋	14:55	24.8	7.73	8.62	3	3	3.71	2	0.035	0.009	0.797	0.83	1.70	0.002	0.013	2.9	12.7	54.79
14	大渡橋	15:25	27.2	7.94	12.37	5	3.5	2.86	2	0.049	0.012	0.943	0.99	1.57	0.013	0.021	2.5	11.4	61.92
15	昭和橋	16:00	23.0	7.39	12.88	5	5	4.03	2	0.120	0.017	0.882	1.00	1.47	0.008	0.016	2.9	11.2	70.13
16	五料橋	12:40	24.8	7.89	17.83	10	8	4.24	3	0.156	0.041	2.260	2.42	2.27	0.033	0.034	4.1	12.1	81.14
17	坂東大堰	12:15	24.4	7.50	17.83	9	6.5	5.20	2	0.084	0.026	1.240	1.32	1.62	0.014	0.018	2.4	7.5	85.34
18	上段大堰	11:30	27.5	7.37	22.40	9	6.5	4.35	3	0.241	0.041	1.940	2.18	2.29	0.023	0.031	1.7	7.5	93.04
19	刀水橋	10:20	26.2	7.35	25.30	10	6	4.03	3	0.340	0.104	2.650	2.99	2.70	0.052	0.045	4.4	3.7	103.29
20	利根大堰	9:30	26.2	7.10	24.10	8	6	6.15	2	0.285	0.029	1.420	1.71	1.91	0.006	0.030	2.9	10.6	114.69

単位はB(CS/dm) Tw(°C) 河川距離(km)その他はmg/L 調査日2001年7月31日 河川距離は一ノ倉沢を起点として順河下で独自に読み取ったものである。

の低い雪渓がほぼ融解を終了して流量が減少し、定常的に流出する樹林帯からの高い窒素濃度の影響が大きくなったことで説明できる。

4-6 谷川岳山頂降雪雨に含まれるアンモニア態窒素と硝酸態窒素の比率

表1で示したように、山頂の降雪・降雨には共にNO_x-N(NO₂-Nはごく僅かなので殆どはNO₃-N)とほぼ同一濃度のNH₄-Nが含まれている。一ノ倉沢流出水にはNH₄-Nは殆ど検出されないの、岩石帯で硝化を受けていることになる。谷川岳山頂の降雪雨のNH₄-NとNO₃-Nの配分を図8下図に棒グラフで示した。雨雪を比較すると、無機態窒素濃度は雨で高く、雪で低いことがわかる。本図で示す雨中窒素濃度は高く見えるが、降雨量から加重平均する(算術平均値の0.72倍)と表1に示すように無機態窒素濃度平均値は0.78mg/lとなる。

酸化態窒素は酸性雨の原因として理解されるが、ほぼ同じ濃度で常時検出されるNH₄-Nについては、存在は認められているが由来はあまり明確にされていないのが現状である19)。

4-7 上流から利根大堰までの利根川水質の変化

湯檜曾川を最上流として、群馬県最下流端である利根大堰までの無機態窒素濃度の変化を図11、図12に示した。横軸は流下距離(利根大堰は河口から154kmであり、利根川総延長は322kmとされているが、起点を湯檜曾川一ノ倉沢合流点にしているので流下距離は115kmである)であり各採水点を各距離に合わせて示した。夏季7/31は取水制限前であるので、降雨等の影響を受けない夏季の代表的な条件と思われる(表3に主要採水点の水質と一ノ倉沢からの流下距離を示す)。春季3/15、4/20は融雪期であり、今年は暖冬の影響で湯檜曾川では3/15前後が融雪の真っ最中であつたが、多くのダム群で高度な流量制御を受けている利根大堰では4/20の流量が調査中最大であつた(表5)。図12には合流する主要な支川および栄養塩の大きなポイントソー

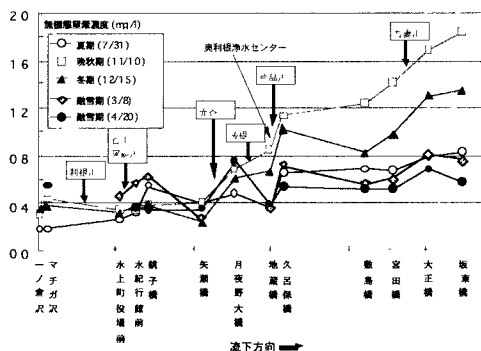


図11 前橋上流部利根川各期調査での無機態窒素濃度変化

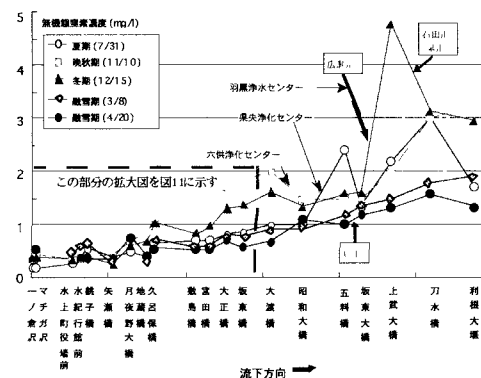


図12 県内全域の利根川各期調査での無機態窒素濃度変化

スと思われる下水処理水流入箇所を示した(図5)。12/15は冬季間であり、流量は5回の測定中最少であった。

流量の多い春季には無機態窒素濃度は、ほぼ直線的に上昇し利根大堰で2mg/lとなるが、流量の少ない冬季には、窒素濃度は支川や下水処理水の影響を受けて変動し、利根大堰での無機態窒素濃度は3mg/lに達した。大渡橋は前橋中心地の下流側、昭和大橋は前橋の下水処理水を受け入れる下流側に位置するが、前橋の中心地で広瀬川からの分流(図4参照、柳原放水路:約50t/s)を受け入れる²⁰⁾ので、むしろ希釈される形となっている。分流されない広瀬川の水は、伊勢崎の生活雑排水と下水処理水を受入れ汚濁濃度を高めた後に、上武大橋上流で利根川に合流するため渇水期にはこの地点で窒素濃度が急上昇している。利根川の水質は、関東平野に流入した前橋から下流で多くの人為的な影響を受けることがわかる。

4-8 利根川上流域(前橋まで)の流下方向水質の変化

図12に示した利根川上流域(前橋まで)部分のみを拡大して図11に示した。横軸は同じく流下距離であり、合流する主要な支川と下水処理水の位置を示した。水上町役場より上流部は、既に述べた理由で湯槍曾川を本川として扱ったが、役場より上流で利根川本川が合流する。しかし図4でわかるように、利根川本川の流量は発電用水として取水され、水上町下流部で戻するために流下方向水質は乱高下することになる。いずれの測定でも、沼田市下流で片品川合流後の久呂保橋では、既に無機態窒素は0.6mg/lを越えており、農業用水の基準とされるT-N<1mg/lは、この地点より下流では殆ど達成できないことになる。

4-9 利根川水系各源流部の窒素濃度の分布

利根川水系本川および各支川の源流部について、2年間にわたり逐次最上流点の採水を実施した。具体的な採水点は図6に、その結果を表4に示した。Aの神流川は、上野村の日航機墜落現場の下端に当たる部分で採水したものであり、標高は約1300mである。Lの三平峠は、大清水から尾瀬沼に向かう登山道であり、岩清水は有名な水場である。またO,P,Qは谷川岳の新潟県側沢水であり、日本海側へ流れている。

これらの窒素濃度を比較・検討すると、そのほとんどが群馬県の西側で高く、東側が低い結果となった。群馬県西側には、森林しかなく人為汚濁が考えられない場所でも、無機態窒素1mg/lに達する地点が複数あることは注目する必要がある。最も窒素濃度が低かったのは、片品川源流部である三平峠の岩清水で、無機態窒素濃度は0.026mg/lと群を抜いて低い濃度であった。岩清水の下流にあたる尾瀬登山基地の大清水は、融雪で濃度が上昇する可能性のある春季の採水にもかかわらず低い濃度(0.2mg/l)であった。また神流川源流も、無機態窒素は0.136mg/lと西上州では特異的に低かった。このケースでは源流部で低くても流下とともに窒素濃度は上昇しているので、標高が高く地表風や森

表4 利根川水系各源流部水質調査結果一覧

No	河川名	採水点	採水日	TIME	天候	Tw	pH	EC	Cl-	NH4-N	NO2-N	NOx-N	InorgN	T-N	PO4-P	T-P	備考
A	神流川	スゲノ沢源流	00-8/24	7:30	曇		7.81	7.25	1	0.001	0.001	0.135	0.14	0.18	0.007	0.007	◎
B	南牧川	通行可能農上流	01-6/4	13:40		15.4	6.36	10.53	1	0.023	0.000	1.100	1.12	1.90	0.003	0.026	○
C	鶴川	道平川源流	00-12/23	13:10	晴	7.9	7.47	9.91	1	0.001	0.006	1.069	1.07	1.18	0.005	0.005	◎
D	鮎川	会場橋	00-9/23	11:50	曇	13.5	7.56	6.54	2	0.002	0.002	0.803	0.81	0.99	0.013	0.006	○
E	碓氷川	碓氷川金湯館上	01-4/28	10:20		7.6	4.81	17.84	4	0.126	0.003	0.190	0.32	1.78	0.013	0.062	○
F	烏川	高梁橋	01-8/1	16:00		19.4	6.64	8.77	2	0.015	0.002	0.510	0.53	1.39	0.011	0.022	○
G	吾妻川	古永井橋	01-4/5	15:15		10.2	6.54	7.01	8	0.000	0.003	1.240	1.24	1.77	0.044	0.013	○
H	赤谷川	茂倉橋	00-9/15	15:55	晴	16.7	6.96	7.28	3	0.000	0.002	0.616	0.62	0.70	0.0003	0.002	○
I	湯槍曾川	一ノ倉沢	00-7/22	17:35	晴	5.4	6.4	1.65	2	0.008	0.002	0.083	0.09	0.68	0.005	0.013	○
J	利根川	奥利根湖	00-7/30	12:40	晴	23.7	8.04	4.56	2	0.003	0.003	0.103	0.11	0.76	0.007	0.020	△
K	発知川	道路分枝	00-7/29	17:40			7.88	7.43	2	0.003	0.003	0.313	0.32	0.34	0.014	0.019	○
L	三平峠	岩清水	01-5-7月平均			7.3	3.39	1.3	0.005	0.001	0.023	0.03	0.09	0.006	0.008		◎
M	片品川	大清水	02-5/4	11:05		6.9	5.98	2.88	2	0.000	0.002	0.205	0.21	0.28	0.002	0.008	○
N	片品川	小川/菅沼	00-8/17	11:50	晴	18.6	7.17	6.56	5	0.003	0.003	0.456	0.46	0.87	0.005	0.025	△
O	清津川	三國峠	01-11/29	15:45	曇	6.7	3.81	17.17	3	0.075	0.002	0.069	0.14	0.14	0.008	0.000	○
P	魚野川	毛渡沢源流	01-11/29	14:30	曇	5.4	5.66	1.87	1	0.025	0.0002	0.188	0.21	0.24	0.006	0.000	◎
Q	魚野川	関越トンネル付近	01-11/29	13:15	曇	6.5	6.63	2.54	2	0.038	0.0003	0.235	0.27	0.35	0.006	0.000	◎
平均値							6.65	7.25	2.49	0.02	0.00	0.39	0.45	0.80	0.01	0.017	

単位はEC(mS/m),Tw(℃)その他はmg/l, [備考 ◎は源流の付近, ○車でいける限度, △湖など], 岩清水の採水は長蔵小屋平野太郎氏による

林の影響が少ないことが、窒素濃度が低い原因と思われる。また西高東低の原因としては、降雨・降雪などの大気中窒素濃度の影響が考えられる。例えば谷川岳の新潟県側の沢水(O,P,Q)は、季節の違いはあるが群馬県側(H)と比較すると低い値を示した。

5. 考察

5-1 谷川岳山頂降雨と山頂風向の関係

谷川岳山頂の標高は、1977mであり2000m級の山であるが近くには高い山がないために、日本海側と太平洋側を分断する壁として立ちはだかっている。首都圏では活発な経済活動と定住人口が多いために、高濃度の窒素化合物が大気に放散しているが、日本海側では人為的な活動はあまり盛んではなく、上空の気流に乗って大陸から流れてくる窒素化合物の影響が懸念される。森は登頂のたびに山頂の風向を記録しているので、10年間のデータを夏冬に分けて風向の分布を検討し図13を得た。4-1で述べた山頂雨雪では、雨の窒素濃度が3.3倍高いことを示したが、夏期には南風が27%、冬期でも13%は南風であるので、この風によって首都圏からの窒素成分が飛来している可能性がある。また谷川岳の西側には関越トンネルの排気塔が2本設置されているので、この影響も考慮する必要がある。

5-2 利根川の窒素濃度に与える下水処理水の影響

群馬県の下水道普及率は40%を越えた程度であり、関東地方では最も普及率が低い。群馬県内のし尿処理施設は殆どが高負荷脱窒素処理方式であり、放流水全窒素濃度は<10mg/lとほぼ完ぺきな窒素除去が行われているため河川に対するポイントソースにならない。それに対して県内の下水処理施設は、窒素を除去対象としていないため脱窒素対策をとっておらず、下水普及率の上昇でし尿処理から切り替えた生活排水が流入してくると公共用水域へ排出される窒素量は増加する。

主要な下水処理場の位置を図5に示しているが、群馬県最大の流域下水

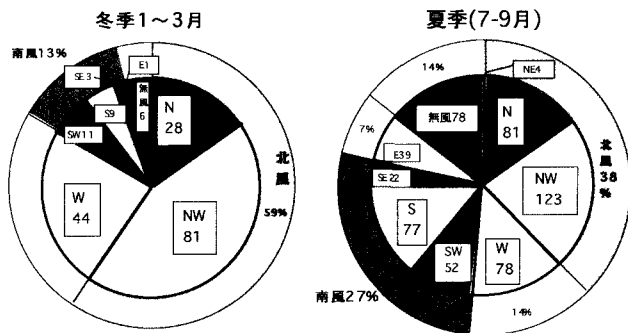


図13 谷川岳山頂10年間夏と冬の風向分布

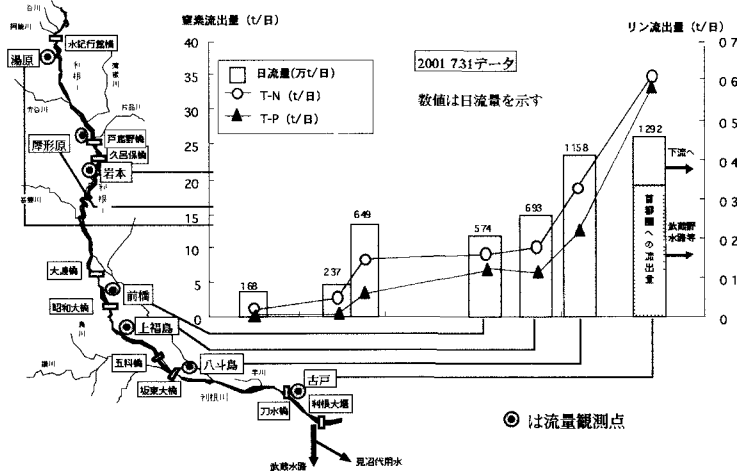


図14 夏期利根川流下方向の河川水量と栄養塩流出量

表5 各測定日の利根大堰流入流出水量と栄養塩流出量計算結果の一例

測定日	大堰流入量 (万t/日)	首都圏分岐量 (万t/日)	下流放流量 (万t/日)	InorgN (mg/l)	PO4-P (mg/l)	窒素流出量 (t/日)	リン流出量 (t/日)	N原単位 (g/人・日)	P原単位 (g/人・日)
7月31日	1080	807	233	1.71	0.006	18.4	0.1	9.21	0.03
11月10日	1290	359	931	3.25	0.201	41.9	2.6	20.95	1.30
12月15日	733	337	396	2.94	0.167	21.5	1.2	10.77	0.61
3月15日	1160	337	823	1.92	0.071	22.2	0.8	11.11	0.41
4月20日	1666	378	1264	1.32	0.017	22.0	0.3	11.00	0.14

道県央処理区浄化センター(計画処理量48万m³/D=5.5m³/s)でも、現在の処理水量は9万m³/Dであり、処理方式は標準活性汚泥法であるために下水普及率が上昇するにつれて、従来し尿処理場で処理されていたし尿が付加されることになり、利根川に流入する窒素量は増大し利根川の窒素濃度はさらに上昇することが予測される。放流地点の五料橋付近の最近10年間の低水流量は70m³/sであるが、県央浄化センターの放流水窒素濃度を仮に20mg/lとすると、利根川の窒素濃度は1mg/l以上上昇することになる。群馬県から流出する利根川の水が、首都圏の主要な水源であることを考えると、琵琶湖で実施しているように、群馬県内の下水処理場では栄養塩除去が必要と思われる。

5-3 利根川流域へのそのほかの窒素流出源

群馬県は日本でも有数の畜産県であり、乳牛・豚・産卵鶏の飼育頭数は全国5番の指に入る。これらの家畜糞尿は、窒素除去処理をしないかぎり、水路または地下水や表面流出により、相当な割合で利根川に戻るようになる。例えば畜産の盛んな赤城山南面では地下水の大半の硝酸態窒素濃度は

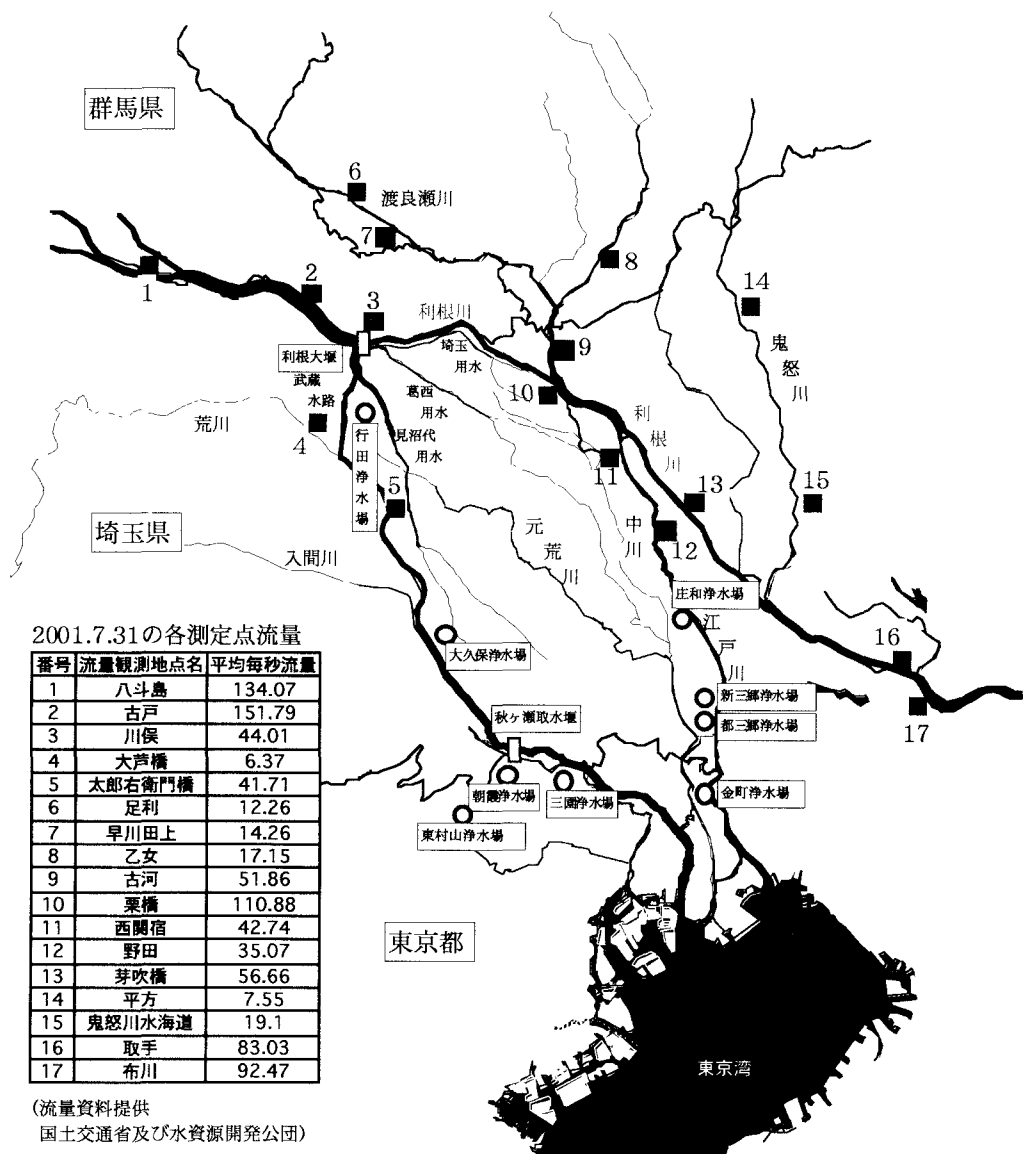


図15 夏季調査時の実測流量に基づく利根川水系河川図

10mg/lを越えている²¹⁾。またキャベツ・レタスや麦などの畑作が盛んであるが、これらの影響も図12に示す窒素濃度の上昇に寄与していると思われる。

5-4 利根大堰での水量の首都圏への配分と栄養塩流出量試算

国土交通省および水資源開発公団から受領した、利根川の流量データと本研究室の水質分析結果から、各測定日の利根大堰からの窒素・リン流出量を計算し、県民を200万人とした場合の一人当たりN,P原単位を算出して表5に示した。浄化槽の資料²²⁾からNP原単位はそれぞれ8.5gN/人日、1gP/人日と仮定すると、表5のデータのN原単位9～21g、P原単位0.03～1.3gは、人の排出する原単位を越えており(全く処理をしないで全て利根川に流したとしても)、生活排水由来以外の窒素・リンが、数倍以上利根川に流入していることがわかる。

夏季調査時(7/31)の利根川本川及び各支川の実測流量により、川幅を流量の大小に比例して変化させた利根川水系河川図を図15に示した。調査時は渇水による取水制限を受ける前であり、夏季は浄水場・農業用水とも最大量に近い水量を取水していると考えられるため、利根川の代表的な水利用状況を示していると思われる。図中には首都圏および埼玉県的主要な浄水場の位置も示した。番号のついた四角の点は流量観測点の位置であり、当日の平均毎秒流量も図中に表で示している。見沼代用水、埼玉用水等の農業用水は各許可水利権流量を川幅で表した。また表6には利根川から取水している東京都の全浄水場と埼玉県営全浄水場の施設能力を示した。東村山浄水場は朝霞浄水場と原水連絡管で接続しているが、利根川水系への依存率は1/4であるとのことなので、毎秒流量は利根川からの取水分のみ計上している。

図15より利根大堰でせき止められた水の大半(約100t/s)は、武蔵水路・荒川を經由して埼玉県及び東京都の主要な水道水源とその他水源(農業用水源及び新河岸川・隅田川の浄化用水)となり、東京湾に流れていることがわかる。利根大堰で本川を流下した水は渡良瀬川と合流後、かなりの部分は江戸川に入り同様な利用をされた後に東京湾に流れている。なかなか分かりにくいルートであるが、これが群馬県から流出した利根川の水のたどる基本ルートであり、利根川は東京に戻っているという由縁である。水質保全と流域管理の重要性はこのような状況から明らかである。

6.まとめ

利根川の窒素濃度を調べてゆくと、調査はだんだんと川を遡り源流に及ぶことになり、その次には空からの降雨降雪の調査と水質の関係について検討することとなった。群馬県内の利根川上流域における栄養塩濃度の調査は、従来ほとんど報告されていない。まして利根川本支川各源流部の水質や、谷川岳山頂や一ノ倉沢水質の通年観測は、従来報告されていない新しい知見である。

上流側の視点から水質の現状を把握し、日本最大の需要人口を有する利根川水系を概観することは、流域管理の面からも重要であると思われる。本研究から得られた結果を以下に示す。

- 1)利根川水系は、源流部においても高い窒素濃度を示し、もっとも清澄とされる一ノ倉沢でも無機態窒素の年間平均濃度は0.24mg/lであり、富栄養化を起こすとされる0.15mg/lを越えている。
- 2)一ノ倉沢水は、融雪初期に高い無機態窒素濃度(0.5mg/l)を示し、夏季は低い濃度(0.15mg/l)となるが晩秋には濃度が上昇して0.3mg/lに達した。
- 3)谷川岳山頂の降雨中無機態窒素の年間平均濃度は0.78mg/l、降雪では0.24mg/lであり、一ノ倉沢の窒素濃度は、主に山頂降雪雨に由来していると思われる。
- 4)マチガ沢の樹林帯と岩石帯の窒素濃度を比較すると、樹林帯の濃度が岩石帯の約2倍であり、樹林帯が窒素の供給源であることがわかった。
- 5)谷川岳山頂降雪雨の無機態窒素濃度の1/2はアンモニア態窒素であり、酸性雨を中和する方向に働

表6 主要浄水場と浄水施設能力

主要 浄水場	浄水施設能力	
	万t/日	t/秒
行田	50	5.79
大久保	130	15.05
庄和	35	4.05
新三郷	36.5	4.22
都三郷	110	12.73
朝霞	170	19.68
東村山	126	3.65
三園	30	3.47
金町	160	18.52
合計	847.5	87.16

(注) 東村山浄水場の利根川依存率は年間約1/4であるので、毎秒流量は利根川依存分のみ計上した。

いている。アンモニア態窒素の発生源を明確にする必要があると思われる。

6)利根川的全窒素濃度は、沼田市下流で1mg/lを越え利根大堰で2～3mg/lに達するが、この原因としては下水等の生活排水に加えて、畜産や畑地等の農業由来と雨水由来が考えられ、今後県内下水道普及率の上昇にともない、さらに濃度は上昇すると思われる。

7)大気と利根川水質の関係、農業由来の負荷については今後さらに検討を続ける必要がある。

謝辞

本研究に伴う利根川河川流量および下水処理場処理水流量は、国土交通省利根川ダム統合管理事務所・水資源開発公団利根導水総合管理所・県庁河川課および各下水処理場に協力頂いた。また上流部ダムのルートと取水量については東京電力群馬支店及び群馬県企業局発電課に協力頂いた。三平峠下岩清水の複数回の採水は、現長蔵小屋平野太郎社長の協力をいただいた。本研究の一部は、河川環境管理財団河川整備事業助成及び昭和シェル石油環境研究助成財団研究助成により実施した。利根川の採水には環境都市工学科5年生にも協力頂いた。試料の膨大な分析は本研究室岸主任によるものである。また森千恵子殿には、過酷な山岳環境下での採水に強力頂いた。協力いただいた方々に合わせて厚く感謝申し上げる。

参考文献

- 1)森 邦広、青井 透(2001)利根川源流部谷川岳沢水の各態窒素リン濃度の現状、第35回日本水環境学会年會講演集,p6
- 2)青井 透、森 邦広(2001)利根川最上流域本川及び各支川の各態窒素リン濃度の変化、第35回日本水環境学会年會講演集,p5
- 3)森 邦広、阿部 聡、池田正芳、青井 透(2001)谷川岳における降雪雨と流出沢水中の窒素濃度との関係、第9回北大衛生工学シンポジウム論文集、pp104-109
- 4)阿部 聡、池田正芳、青井 透、森 邦広(2001)利根川最上流部流域の各態窒素・リン濃度の現状、第9回北大衛生工学シンポジウム論文集、pp116-121
- 5)青井 透(2001)利根川上流域の降雪雨が河川中窒素濃度に及ぼす影響、東大工学系研究科付属水環境制御研究センター、第3回水環境制御研究センターシンポジウム「地下水・土壌汚染の現状と対策」予稿集,pp9-10
- 6)森 邦広、阿部 聡、池田正芳、青井 透(2002)谷川岳の降雪雨と各沢水中窒素濃度の関係、第36回日本水環境学会年會講演集、p108
- 7)阿部 聡、池田正芳、青井 透、森 邦広(2002)利根川上流部各流域の窒素・リン濃度調査、第36回日本水環境学会年會講演集,p101
- 8)青井 透(2001)群馬県と首都圏の窒素の循環を考える(利根川上流域の高い窒素濃度の原因と対策)、上州路、11月号pp14-21
- 9)齊藤叶吉、山内秀夫(1978)群馬の川、上毛新聞社出版局、pp70-71
- 10)大久保卓也、村上昭彦(1995)利根川における水質および流量の経年変化、用水と廃水、Vol.37,No.2,pp5-12
- 11)大久保卓也、村上昭彦(1995)利根川における水質経年変化と流域環境変化の関連分析、用水と廃水、Vol.37, No.3,pp16-25
- 12)徳地直子(1997)酸性降下物と森林生態系における窒素循環、環境技術、Vol.26,pp668-67
- 13)Ohnri Kiyokazu & Myron J.Mitchell(1997) Nitrogen saturation in Japanese forested watershed, Ecological Application 7, pp391-401
- 14)國松孝男、川地武(1999)林地流出水の窒素濃度と地質、第33回日本水環境学会年會講演集、p232
- 15)竹内真一(1997)谷川岳を歩く、山と溪谷社、p57より抜粋
- 16)佐々木重行(1997)山地渓流水に及ぼす降雨の影響、環境技術、Vol.26, No.10,pp37-42
- 17)www.water.go.jp/kanto/numata/yuki.html
- 18)土器屋由紀子、岩坂泰信、長田和雄、直江寛明(2001)山の大气環境科学、(株)養賢堂、p116
- 19)村野健太郎(1996)窒素化合物で汚染が憂慮される日本の土壌、資源環境対策、Vol.32,No.16,pp49-51)
- 20)青井 透(1999)上・中流域における利根川の流れー利根川はどこへ流れる?、環境施設、No.78,pp68-73
- 21)群馬県(2001)平成13年度版環境白書、pp89-90
- 22)河村清史(1995)浄化槽技術者の生活排水処理工学、財団法人日本環境整備教育センター、p22