HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	西上州烏川・鏑川水系における著しく高い窒素濃度の現状
Author(s)	池田, 正芳; 阿部, 聡; 青井, 透
Description	第9回衛生工学シンポジウム（平成13年11月1日（木）-2日（金） 北海道大学学術交流会館） . 2 環境保全 . P2-6
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 9, 110-115
Issue Date	2001-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7154
Type	departmental bulletin paper
File Information	9-2-6_p110-115.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

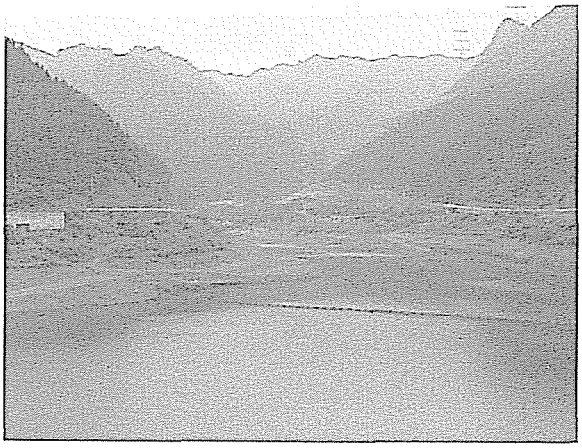
2－6

西上州烏川・鏑川水系における著しく高い窒素濃度の現状

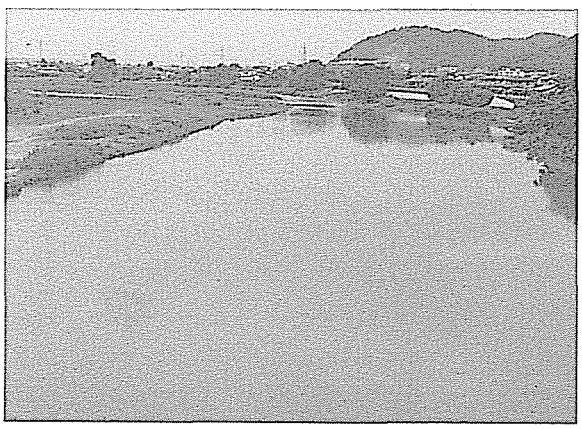
○池田正芳、阿部　聡、青井　透（群馬高専・専攻科環境工学専攻）

1　はじめに

群馬県は、利根川流域界と県境がほとんど重なる地形で首都圏の重要な水瓶であり、近年では首都圏の水道水源としての重要性が高まっている。また県面積の3分の2が森林であり、河川や湖沼、湿原等にも恵まれており、多くの動植物が生息しているが、数々のダム建設、各種開発、水質汚濁等により、自然景観や自然生態系に様々な影響を与えている。今年夏の渇水報道でわかるように首都圏の上水需要の8割以上が利根川上流域のダム群からの水に依存している（利用者人口は2700万人にも達するといわれている。）にも関わらず、利根川水系の水質汚濁は進んでいる。これらの原因の一つとして、群馬県内の下水道普及率は約36％と低く、特に上流域においては下水道などの生活排水処理施設が整っておらず、生活雑排水が直接河川に流入している事などがあげられる。利根川上中流域は、近畿地方の水瓶である滋賀県と異なり、湖沼法の適用を受けないので、下水終末処理施設では有効な窒素・リンの規制がなく、殆ど除去されていないので、河川中の栄養塩汚濁は進行中である。



写真－1　鏑川水系上流部　荒船湖



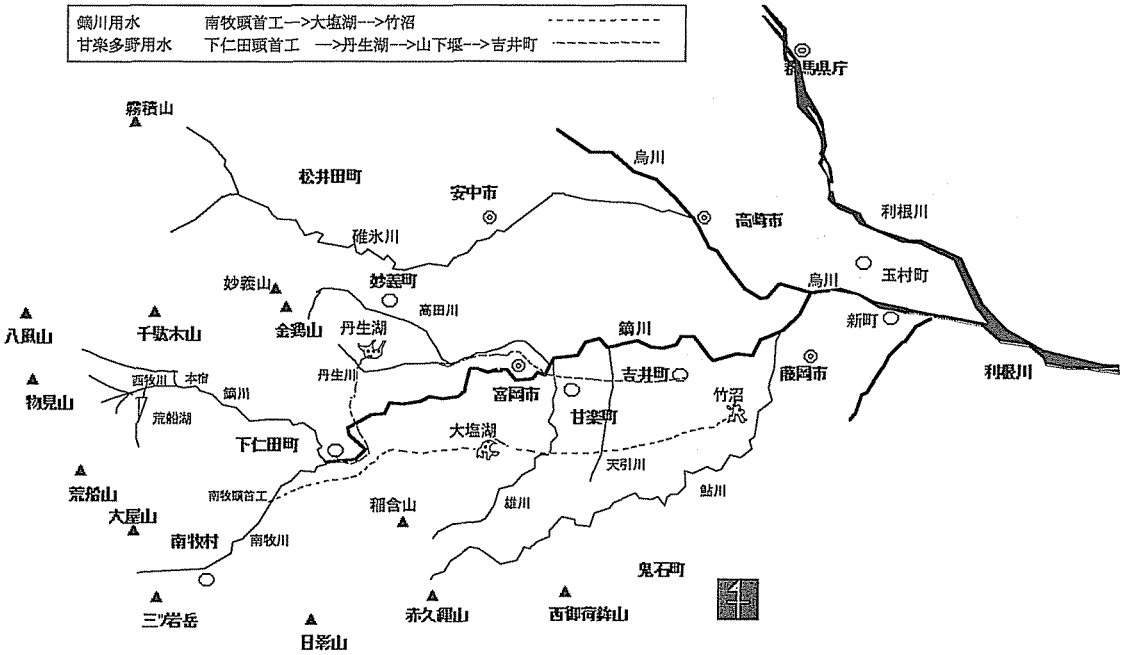
写真－2　鏑川最下流　鏑川橋

本研究では、比較的水が豊富と云われる利根川水系にあって、例外的に水不足に悩まされる鏑川水系に焦点をあてて水質調査をおこなった。鏑川流域は慢性的に降水量が少なく、特に冬期における水不足と水質悪化が心配されている。利根川水系の水質調査は建設省（現国土交通省）によって実施されているが、窒素・リンに対するデータはごくわずかであり、特に鏑川のような支川についてはデータがないに等しい。しかし、このような支川流域においては下水処理施設などが充分整備されておらず、雑排水等による水質悪化が進んでいる心配がある。そこで、今後の利根川の水利用を考える基礎資料として、鏑川流域の栄養塩の挙動を調べたので報告する。

2　調査内容

2－1　調査場所

今回調査した鏑川は利根川の支川であり、群馬県と長野県の県境にある内山峠から流れ出し、国道 254 号と平行して東へ流れ、高崎市南部で烏川に合流した後、さらに利根川に合流する流路延長 58.8km、流域面積 632km² の一級河川である。水量の豊富な利根川水系では例外的に常に水不足に直面してきた流域である。この鏑川流域においては、日本初の近代工場である富岡製糸場（絹糸）や、コンニャク、ネギの産地であることからわかるように、水不足から水田が発達できず畑作中心の農業が行われている。鏑川水系全体図を図－１に示した。本調査は鏑川流域の土地改良区の協力により実施したので、図－１には各土地改良区の農業用水路も示している。



図－１　鏑川水系全体図

2－2　調査方法及び調査項目

鏑川水系の上流から下流、鏑川が合流する烏川の合計 12 ケ所で採水を行い、表－１に示す 17 項目について分析を行った。水質分析に用いた検体は、バケツに紐を結び、橋の上から降ろし採水するという方法をとった。

なお、17 項目のうち、溶存酸素、電気伝導度、透視度については現場での測定とした。

また、生物化学的酸素要求量については、現場での採水と同時に採水し

表－１　分析項目一覧

項目	記号	単位	測定方法
水温	Tw	℃	DO計付属温度計
電気伝導度	EC	mS/m	導電率計
溶存酸素	DO	mg/l	携帯用DO計
水素イオン濃度	pH		ガラス電極
塩素イオン	Cl-	mg/l	イオンメーター
透視度		cm	100cm透視度計
濁度		度	分光光度計660nm透過光測定、5cmセル
色度		度	分光光度計370nm、5cmセル
浮遊物質	SS	mg/l	ガラス繊維濾紙法
生物化学的酸素要求量	BOD	mg/l	ウィンクラーアジ化ナトリウム滴定法
化学的酸素要求量	CODcr	mg/l	ニクロム酸カリ・ヒーティングブロック加熱法
アンモニア態窒素	NH4-N	mg/l	オートアナライザー(AACS-Ⅱ)インドフェノール
亜硝酸態窒素	NO2-N	mg/l	オートアナライザー(AACS-Ⅱ)N-エチレンジアミン
酸化態窒素	Nox-N	mg/l	オートアナライザー(AACS-Ⅱ)還元カラム
リン酸イオン態リン	PO4-P	mg/l	オートアナライザー(AACS-Ⅱ)モリブデン青
全窒素	T-N	mg/l	加熱分解後オートアナライザー(AACS-Ⅱ)
全リン	T-P	mg/l	加熱分解後オートアナライザー(AACS-Ⅱ)

準拠する方法；下水試験方法1997年版、Standard Methods 1992年

たフランビンに硫酸マンガン、アルカリ性ヨウ化カリウムを反応させる現場固定法で実施した。pH、Cl^-の測定には測定器の校正のバラツキをなくす為、持ち帰り後、実験室で同条件で測定している。調査は定期的に実施し、1 年間に各シーズンを含めて９回実施した。実施日と実施内容を表－２に示す。

表－２　鏑川水質調査実施日と内容(00～01年度:群馬高専)

No.	調査日	実施内容	備考
1	2000-7/8	鏑川本川予備調査	台風3号の影響で午前中まで降雨残る、甘楽町福含山で105mmの強い降雨
2	2000-7/15	本調査、各支川含む	二班に分けて採水、各支川・農業用水路・貯水池まで27箇所
3	2000-9/28	秋の本川調査	No.1とほぼ同じで荒船湖から鏑川橋まで
4	2000-11/11	鏑川橋経時変化	烏川の経時変化調査と一緒に実施
5	2000-12/23	荒船湖より源流調査	源流を極める
6	2000-12/29	冬の本川調査	No.1とほぼ同じで荒船湖から鏑川橋まで
7	2001-3/14	初春の本川調査	No.1とほぼ同じだが別途鏑川本流の上流部含む
8	2001-5/20	初夏の本川調査	約１ヶ月間降雨が無く、流量は少ない
9	2001-8/23	夏の本川調査	前日までの台風１１号の影響で流量多い

２－３　雨水調査

河川水質との関連性を調べるために、各市町村教育委員会と各中学校との協力を得て、西上州（群馬県西部）の 13 の中学校と、高専および青井自宅に雨水回収装置を設置し、降雨を回収して分析を行なっている。雨水回収のために新しく開発した雨水回収装置（群馬高専方式）を写真－３に示す。これは、110ml のスクリュー管ガラスビンを 4 本、直列に繋げたものであり、1 本目のビンがいっぱいになったら、オーバーフローして 2 本目へと流れ、そして 3 本目、4 本目へと雨水が溜っていき、合計 32mm までの降水量が測定できる。雨水のたまったスクリュー管はそのままキャップをつけて持ち帰り、次のスクリュー管を取り付けることで次の降雨に備える。雨水は降雨時間に従い順に溜っていく仕組みであるので、時系列的なデータを得ることができる。また、各ビン毎に水深を降水量に換算するゲージを作成し、降雨量が直読できるようになっている。

写真－３　群馬高専方式雨水回収装置

３　結果および考察

３－１　河川水質調査

鏑川水系の水質調査については、ほぼ 2 ヶ月に一度のペースで一年間同じ採水場所で調査を行なってきた。9 月 28 日の水質調査結果を１例として表３に示す。また図－2 には、各調査時の無機態窒素濃度の流下方向変化を示した。

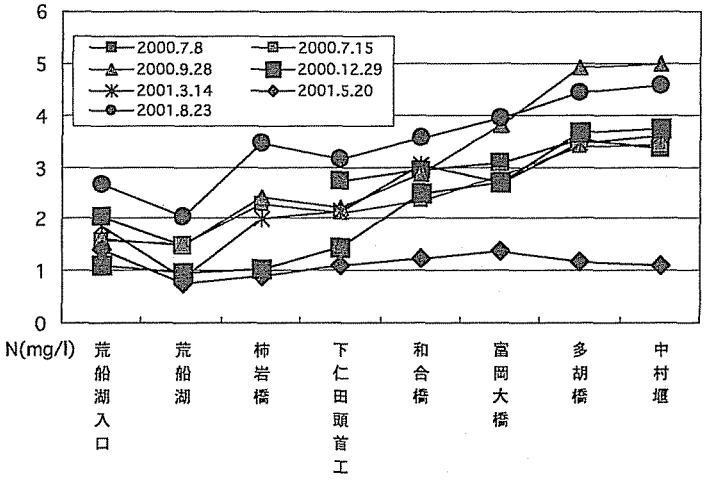
まず荒船湖入口の窒素濃度については、年間を通して無機態窒素濃度が 1～2mg/l、高い時には 3mg/l 近い濃度を示した。この値は、田畑や民家などのない森林地帯で人為的な汚濁を受けない流域の水としては、異常に高い値である。ちなみに谷川岳一ノ倉沢の無機態窒素の平均濃度は本研究室の実測で約 0.2mg/l であったので、これと比べると鏑川水系の上流部の水質は約 10 倍にもなり、アオコ等富栄養化で苦労している霞ヶ浦の窒素濃度が

表3　鏑川流下方向の水質変化の一例(00-9/28、調査は池田・阿部・中村による)

場所	Time	Tw	EC	DO	pH	Cl-	透視度	濁度	色度	SS	BOD	CODcr	NH4-N	NO2-N	NOX-N	無機態N	PO4-P	T-N	T-P
		℃	mS/m	mg/l		mg/l	cm	度	度	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
荒船湖入口	10:00	14.9	12.4	10.23	6.9	5	100up	0.7	6.7	7.4	2.4	2.5	0.013	0.001	1.632	1.65	0.010	2.83	0.008
荒船湖	10:20	18.2	20.5	11.22	7.0	5	68	5.5	7.3	4.8	2.1	2.1	0.004	0.005	1.492	1.50	0.007	1.67	0.011
柿岩橋/西牧川	11:50	17.7	24.7	10.44	7.21	11	100up	1.8	8.0	3.6	2.5	1.5	0.002	0.004	2.436	2.44	0.011	2.61	0.014
下仁田頭首工	12:15	18.1	22.0	11.25	7.32	12	100up	2.1	11.7	2.2	3.0	1.7	0.001	0.005	2.209	2.21	0.017	2.36	0.015
和合橋	12:50	18.8	23.0	10.75	7.6	13	86	4.6	13.3	4.8	2.1	2.6	0.000	0.025	2.87	2.87	0.056	3.38	0.047
富岡大橋	14:20	20.5	26.2	10.25	7.71	14	100up	2.1	16.0	3.2	2.5	3.2	0.000	0.031	3.81	3.81	0.047	4.62	0.047
多胡橋	14:55	20.8	30.3	9.25	7.74	16	97	2.2	20.0	3.0	3.0	4.5	0.000	0.038	4.91	4.91	0.050	5.59	0.058
中村堰	15:45	20.7	31.2	9.70	7.83	17	69	2.1	22.7	3.0	3.5	5.5	0.000	0.037	5.00	5.00	0.041	6.38	0.047

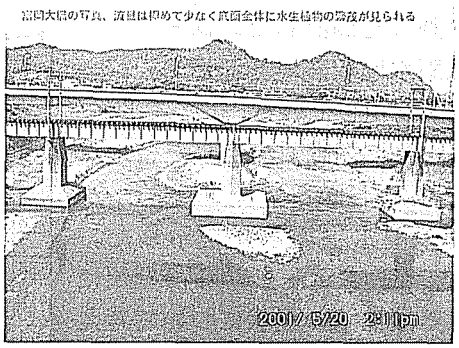
1mg/l 程度であることを考えると異例に高い濃度といえる。

鏑川最下流部の窒素濃度は年間を通して 3～5mg/l であった。鏑川最下流部の鏑川橋（中村堰）直後に烏川と合流するのであるが、鏑川の水質は烏川の水質よりも常に若干高濃度であり、合流先の利根川水質に対しては数倍高い濃度である。



図－2　鏑川水系の無機態窒素濃度変化

図－2 のグラフから、無機態窒素の濃度変化は季節による変動はあまりなく、どの季節においても、上流から下流へ流れるにしたがって濃度が上昇していくことがわかる。しかし、2001 年 5 月 20 日の調査結果は全く異なる傾向を示し、流下にともなう窒素濃度の上昇はみられず、上流端の無機態窒素 1.4mg/l が最高値となった。この調査前の約 1 ヶ月間、ほとんど降雨が無く、流量は非常に少なく底面全体に水草の繁茂が観察された（写真－4）。鏑川水系の高い窒素濃度の由来の一部が、降雨中の窒素であると仮定すれば、5 月 20 日の窒素濃度の特異的な挙動は、降雨が無いことによる窒素供給量の低減と水中植物の成長に伴う栄養塩除去が原因と説明できる。



写真－4　富岡大橋

また、1 年間の継続調査のうち、台風通過直後で、流量が過大の時に調査を二回実施したが（00 年 7 月 8 日、01 年 8 月 23）、いずれも流量が過大であるにもかかわらず、窒素濃度は高い値を示した。もしも、鏑川水系の窒素濃度が高い原因が生活雑排水によるものであるとしたら、流量過大時には希釈効果によって薄まり、濃度は低くなるはずであるが、逆の傾向を示したことより、本水系の高い窒素濃度の主な原因として、雨水による由来が考えられる。

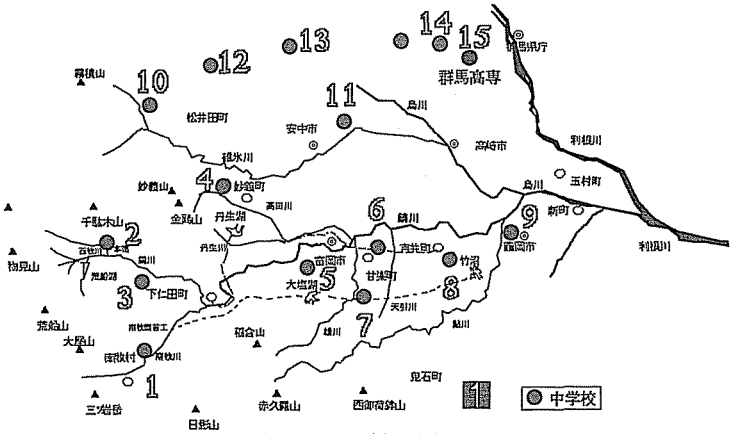
3－2　雨水回収装置縦方向混入実験

写真－3 に示す雨水回収装置を使い、装置の流下方向混合拡散試験を試みた。10％の NaCl

を用意し 1 本目のビンを満たし、その後は精製水を順次注いでいき、2 本目、3 本目、最後の 4 本目のビンが一杯になるまで続けた。全部のビンが一杯になった段階で各ビン試料電気伝導度を測り、1 本目の濃度と他のビンの濃度を比べ、装置の縦方向の混入率を確かめた。　測定結果は、1 本目＝1764mS/m、2 本目＝20.0mS/m、3 本目＝4.8mS/m、4 本目＝1.9mS/m となり、1本目の 1764 に対して、2本目は 20.0 なので、約１％程度の混入率となり、本装置では降雨順に雨水が採水できることを確認できた。

3－3　雨水調査

本研究室では、鏑川水系の水質調査を開始して一年間が経過した。調査の対象としている鏑川水系は、上流から下流まで年間を通して溶解性窒素成分が多いことがわかった。人為的汚濁による影響がないと考えられる上流部においても、窒素濃度が非常に高いので、原因は雨水にあると想定されたので、今年 4 月より雨水調査を開始した。図－3 は雨水回収装置を設置した場所を示している。



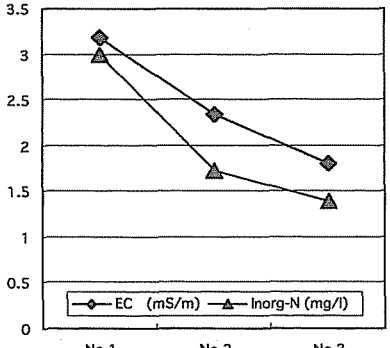
図－3　雨水回収場所一覧

表－4　西上州の雨水水質（6/20から7/20　一ヶ月間）

	場所	EC	pH	cl-	NH4-N	NO2-N	Nox-N	PO4-P	Inorg-N
		mS/m		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	南牧岩戸中	5.51	6.06	0.9	1.295	0.039	1.209	0.062	2.504
2	下仁田西中	2.69	5.80	0.0	1.610	0.130	0.910	0.330	2.517
3	下仁田東中	4.22	6.30	0.3	1.777	0.049	0.899	0.295	2.676
4	妙義中	4.17	6.09	0.8	1.510	0.040	1.400	0.040	2.910
5	富岡中	3.48	6.11	1.0	1.073	0.057	0.720	0.028	1.793
6	甘楽一中	2.66	5.60	1.5	1.820	0.016	0.880	0.120	2.695
7	甘楽二中	3.91	5.50	0.4	1.941	0.030	1.600	0.029	3.540
8	吉井中央中	3.89	5.12	0.7	5.650	0.030	2.640	0.520	8.280
9	藤岡西中	5.66	5.60	1.0	2.725	0.030	2.170	0.033	4.899
10	松井田西中	5.51	6.71	1.2	2.040	0.050	2.070	0.050	4.110
11	安中一中	2.54	6.06	1.0	1.300	0.050	1.580	0.020	2.880
12	倉淵中	7.49	5.50	0.5	1.710	0.030	1.620	0.020	3.320
13	榛名中	5.8	5.70	0.5	2.050	0.060	1.750	0.030	3.798
14	青井自宅	5.14	5.30	1.0	2.708	0.028	2.310	0.042	5.018
15	群馬高専	5.36	5.00	2.4	1.180	0.025	1.310	0.034	2.492
	全平均	4.53	5.76	0.9	2.026	0.044	1.538	0.110	3.562

表－4 に調査対象とした各地点の 6 月 20 日から 7 月 20 日、一ヶ月間の雨水平均水質を示した。まず、pH のデータから西上州における酸性雨の現状について考えてみる。一般に、pH が 5.6 以下のものが酸性雨とされているので、この基準を適合して考えていくと、サンプリングポイント計 15 ケ所中の 7 ケ所が、酸性雨が降っているという結果になった。ただし、各地点における雨水の pH は平均で、5 を下回っているものは無いのでそれほど強い酸性ではないことがわかる。

河川水の無機態窒素の構成は、そのほとんどが酸化態窒素であり、アンモニア態窒素はほとんど含まれていないのに対して、雨水においては酸化態窒素と等量あるいはそれ以上のアンモニア態窒素が含まれていた。降雨中の窒素成分中 1/2 はアンモニア態窒素であるというのは新しい知見であ



図－4　7/18 降雨（群馬高専）の降雨順序と濃度の間係

る。アンモニア態窒素の中和作用により、このような状況では硝酸態窒素が含まれていても、あまりpHが低くならないと考えられる。

次に、降雨の継続に伴う水質変化の一例を図－4に示した。図－4は群馬高専（7/18）で回収した雨水3本（スクリュー管）のECと無機態窒素の変化を示している。No.1が降り始めの降雨で、No.2が中間、No.3で降雨が終了。当日の総降雨量は23mmであったが、1本目は0～8.5mmまでの降雨、2本目は17mmまでの降雨の水質を示している。この結果から、降雨の水質は降り始めの濃度が高く、時間が経過していくにしたがって濃度が薄くなっていくことがわかる。

4　おわりに

鏑川水系の水質調査を始めて一年が経過し、この鏑川水系は、上流域にあるにも関わらず年間を通して常に窒素濃度が高いことがわかったので、昨年 12 月には鏑川水系の源流を調査した。しかしその源流でも無機態窒素濃度は 1mg/l 以上であった。これらより、鏑川水系の窒素は、人為的な要素以外に降雨由来が考えられたので、この春からは、通常の定期的な河川調査とともに、雨水を回収し分析を進めてきた。この雨水調査により雨水中のアンモニア態窒素と酸化態窒素は、ほぼ同じくらいの量を含んでいること、降雨が開始し時間の経過とともに窒素成分が次第に薄くなっていくこと、降っている雨の無機態窒素の濃度は鏑川水系の水質と同等のレベルにあること、などがわかった。

今後の方針としては、鏑川本川の水質と流量との関係、雨水の水質と回収場所の地理的条件などを考慮し調査を続け、栄養塩の発生源の区分を明確にしていきたい。

謝辞

鏑川本川の調査では各土地改良区に助力頂いた。富永調査事務所今井部長には、各市町村の教育委員会と土地改良区及び各市町村教育委員会との有効的なチーム作りに多大な貢献を頂いた。雨水調査では西上州13 中学校の先生方に雨水の採水を協力して頂いた。また鏑川の採水については著者以外の環境都市工学科5年学生にも参加してもらった。さらに、膨大な雨水サンプルのN、Pは岸分析主任に分析して頂いた。合わせて厚く感謝申し上げる。

参考文献

1）青井　透(1999)上・中流域における利根川の流れ－利根川はどこへ流れる？、環境施設、No.78,pp68-73

2）青井　透（2000）都市内河川が上・中流域で利根川水質におよぼす影響、環境施設、No.79,pp63-67

3）青井　透、森邦宏（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会講演集 p5

4）青井　透（2001）　西上州鏑川水系の水利用と水質の変化、環境施設、No.84、pp82-87