

B-33 妙義山中木川流域での窒素飽和現象の検討

○羽鳥 潤^{1*}・宮里直樹¹・青井 透¹・川上智規²

¹群馬工業高等専門学校・専攻科環境工学専攻(〒371-0845 群馬県前橋市鳥羽町580)

²富山県立大学・短期大学部・環境システム工学科(〒939-0398 富山県射水市黒河5180)

* E-mail: aoi@cvt.gunma-ct.ac.jp

1. はじめに

利根川水系は日本最大の流域面積と流域人口を持ち首都圏2700万人の水源地の役割を担っているが、群馬県内の利根川上流部は、清澄な溪流にも係わらず窒素濃度が異例に高いと報告されている¹⁾。さらに、利根川源流部の湯檜曽川調査から、渓流水の窒素濃度は雨雪由来の窒素が基底濃度を構成することが明らかになってきた²⁾。また、利根川上流部の雨水に含まれる窒素成分($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_x\text{-N}$)の由来として、夏期首都圏から飛来する海風(地上風)により輸送される大気汚染物質が山間部で降下することが報告されている³⁾。

また、青井ら⁴⁾が群馬県内及び首都圏の窒素降下量の比較により、群馬県西部において渓流水からの窒素流出量が窒素沈着量を上回るという窒素飽和現象が生じている可能性があるということを報告している。そこで、本研究では人為的な汚染が少ないと考えられる妙義山中木川流域を対象として、降雨及び河川の水質を把握をし、利根川上流域における窒素飽和現象について検討を行なった。

2. 調査方法

中木川流域と各測定点の位置関係を図1に示す。中木川の流量計測点(図2/測定点2)で、河川水の採水(47回/2006年-2007年)を実施した。また、国民

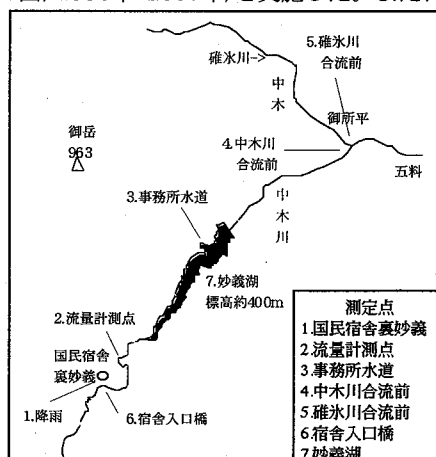


図1 中木川採水地点

宿舎裏妙義に設置した雨水サンプリング(図3)を用い、降雨の採水(43回/2006年8月-2007年7月)を行なった。さらに、降雨量、水質及び中木川流域面積(1057ha)から窒素降下量を算出した。中木川流域面積を算出するために、まず、群馬県土地地図のコピーを切りだして重量を測定した。同様に標準となる1km²の重量を測定することで、流域面積の算出を行なった。河川水については、流量と水質より窒素流出量を算出した。ただし、流量データは安中市上下水道部上水道課より提供して頂いた。



図2 流量計測点

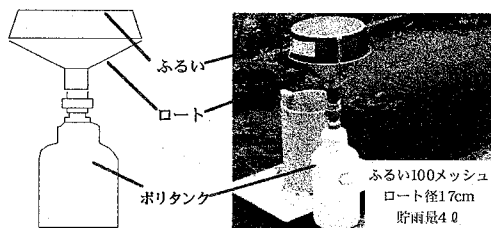


図3 雨水サンプリング

3. 妙義山回収降雨の調査結果と考察

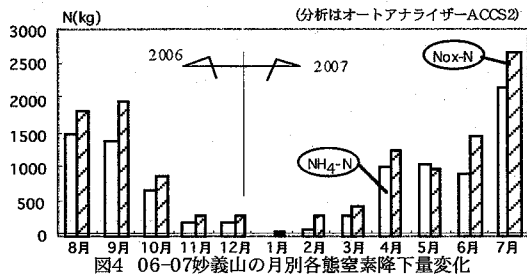
表1に妙義山回収降雨の各水質平均濃度及び回収降水量、湿性窒素降下量を示す。平均値については、降雨量から加重平均を計算した。年間の無機態窒素濃度($\text{InorgN}=\text{NH}_4\text{-N}+\text{NO}_x\text{-N}$)平均値は1.35mg/lであり、非常に高い値を示した。

表1 各月における降雨の加重平均濃度、累積回収降水量

年	月	n	pH	EC mS/cm	$\text{NH}_4\text{-N}$ mg/l	$\text{NO}_x\text{-N}$ mg/l	InorgN mg/l	降水量 (mm)	Inorg-N 降下量 kg/ha
2006	8月	4	6.05	2.05	0.694	0.867	1.561	198	3
	9月	5	6.51	2.05	0.575	0.810	1.386	229	3
	10月	3	7.22	1.40	0.254	0.311	0.565	253	1
	11月	2	7.40	2.08	0.305	0.505	0.810	57	0
	12月	4	6.34	2.20	0.165	0.240	0.405	115	0
2007	1月	2	6.71	6.24	0.159	0.404	0.563	16	0
	2月	3	6.70	10.29	0.608	1.507	2.115	17	0
	3月	3	7.79	6.16	0.738	1.245	1.983	34	1
	4月	4	7.02	5.67	1.280	1.572	2.852	75	2
	5月	3	6.85	2.89	0.884	0.787	1.651	115	2
	6月	4	6.94	2.96	0.489	0.759	1.248	177	2
	7月	6	6.58	2.13	0.859	1.073	1.931	235	5
平均値及び合計		43	6.73	2.54	0.586	0.763	1.349	1521	21

ただし、n、降水量および降下量は合計とする。その他は加重平均値

各態窒素月別降下量(図4)において、6月～9月に降下量が多い山形の分布を示した。各月 Nox-N は $\text{NH}_4\text{-N}$ を2007年5月を除き全ての月で上回っており、降下量が多い時期についてはほぼ1:1の比率で降下していることがわかる。これらは、夏季地上風により首都圏の大気が群馬に輸送されて降下するためだと推定される。窒素降下量が年間 10kg/ha を越えたと窒素飽和が起るとされているが、表1より妙義山中木川流域では 21kg/ha/y に達しており、妙義山中木川流域において窒素飽和の発生が示唆される。



4. 妙義山中木川流域河川水の調査結果と考察

(1) 国民宿舎合併浄化槽の影響

窒素流出量の検討を行なう流量計測点(測定点2)の上流では、国民宿舎の合併浄化槽放流水が中木川に混入している。そこで、国民宿舎横橋(測定点6)を採水点に加え、流量計測点との水質比較を試みた。測定結果(表2)からInorgN、T-N共に国民宿舎横橋のほうが、流量計測点よりも高いことがわかる。流量計測点水質は国民宿舎よりも下流の沢水によって窒素濃度が低下していると考えられる。このことから、浄化槽処理水の影響は無視できると思われる。

表2 流量計測点と国民宿舎横橋の水質比較

採水日	採水点	EC	pH	$\text{NH}_4\text{-N}$	NOx-N	InorgN	T-N
2007年	流量計測点	12.07	7.37	0.033	1.89	1.93	2.07
3月31日	国民宿舎横橋	11.97	7.57	0.079	2.08	2.15	2.39
2007年	流量計測点	12.08	7.32	0.075	2.14	2.22	2.33
4月7日	国民宿舎横橋	12.17	7.41	0.079	2.23	2.31	2.71

単位はECは mS/m 、その他は mg/l

(2) 妙義湖における水質

流量計測点と中木川最下流碓氷川に合流する中木川合流前(測定点4)の両者の水質調査を行なった。測定結果(表3)から流量計測点よりも中木川合流前の方が、各態窒素濃度が低いということがわかる。中木川下流に至るまでにはキノコ工場や農家等がある

表3 流量計測点と中木川合流前の水質比較

採水日	採水点	EC	pH	$\text{NH}_4\text{-N}$	NOx-N	InorgN	$\text{PO}_4\text{-P}$	T-N
2007年	流量計測点	12.08	7.32	0.075	2.14	2.22	0.001	2.33
4月7日	中木川合流前	12.03	7.53	0.011	1.58	1.59	0.003	1.61

単位はECは mS/m 、その他は mg/l

ため、若干の人為的な汚染の影響を受けていることが考えられる。しかし、窒素濃度が減少しているという結果が得られたことから、妙義湖による調整効果または下流域支流からの影響のどちらかが考えられる。

そこで、妙義湖湖水(測定点7)の垂直分布の測定を行なった。妙義湖の水深は 18m 程度であるので、水表面から 3m ずつ水深 15m まで、ハイロート採水瓶を用いて採水を行なった。そして、中木川合流前、妙義湖橋(妙義湖からの放流水)の採水を行なった。測定結果を表4に示す。水深が深くなるにつれて窒素濃度が低くなっていることから、妙義湖内で脱窒の可能性が示唆される。また、妙義湖橋のデータから妙義湖からの放流水は水深 12m の地点から放流しているということがわかる。中木川合流前は、リンやECなどの値も上昇しているため、若干であるが人為的な汚染を受けているということが示唆さ

表4 各採水点における水質比較

採水日	採水点	EC	pH	$\text{NH}_4\text{-N}$	NOx-N	InorgN	$\text{PO}_4\text{-P}$
2007年	妙義湖橋	11.44	7.65	0.112	1.388	1.500	0.003
5月3日	妙義湖水表面	10.58	7.65	0.075	1.734	1.810	0.002
	妙義湖水深3m	13.17	8.05	0.036	1.711	1.750	0.002
	妙義湖水深6m	10.8	7.66	0.035	1.686	1.720	0.002
	妙義湖水深9m	12.9	7.82	0.053	1.739	1.790	0.002
	妙義湖水深12m	10.55	7.63	0.078	1.348	1.430	0.001
	妙義湖水深15m	10.5	7.38	0.102	1.250	1.350	0.002
	中木川最下流	14.25	8.07	0.024	1.518	1.540	0.028

単位はECは mS/m 、その他は mg/l

れる。

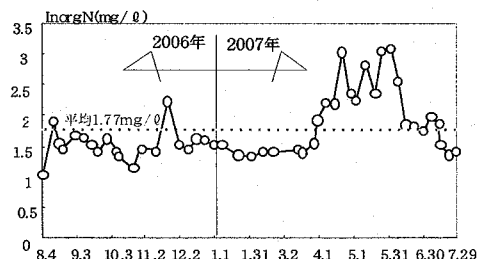
(3) 流量計測点における水質について

流量計測点における各月水質平均濃度を表5に示す。年間の流量計測点における無機態窒素濃度平均値は 1.77mg/l であり、渓流水として非常に高い値を示した。流量計測点における無機態窒素濃度の経時変化を図5に示した。最大窒素濃度は 3.1mg/l

表5 流量計測点における各月水質平均濃度

年	月	n	EC mS/m	pH	$\text{NH}_4\text{-N}$ mg/l	$\text{NO}_2\text{-N}$ mg/l	NOx-N mg/l	Inorg-N mg/l	流量 $1000\text{m}^3/\text{日}$
2006	8月	4	9.8	7.46	0.014	0.002	1.477	1.491	50.2
	9月	5	10.2	7.40	0.027	0.002	1.550	1.577	89.9
	10月	4	9.7	7.46	0.004	0.001	1.340	1.344	70.2
	11月	2	10.4	7.71	0.012	0.003	1.817	1.829	16.7
	12月	5	10.3	7.39	0.020	0.009	1.529	1.549	22.9
2007	1月	2	10.1	7.23	0.011	0.003	1.428	1.439	8.8
	2月	3	11.2	7.53	0.020	0.008	1.366	1.386	16.1
	3月	4	12.2	7.52	0.019	0.005	1.562	1.581	7.2
	4月	4	11.4	7.49	0.041	0.003	2.410	2.451	11.4
	5月	4	11.4	7.46	0.130	0.006	2.501	2.631	15.9
	6月	4	9.4	7.38	0.019	0.002	2.322	2.341	31.7
	7月	6	9.1	7.32	0.036	0.002	1.612	1.648	82.7
平均		47	10.4	7.44	0.029	0.004	1.743	1.772	42.4

ただし、n、流量は合計とする。その他は算術平均値



(2007年6月2日)で、最小窒素濃度は1.0mg/ℓ (2006年8月5日)であり、人為的な汚染の殆ど無いところであるにも関わらず、年間を通して富栄養化が起るとされている窒素濃度の10倍程度高い値が検出されている。

(4) 流量計測点について

2.(1)より合併浄化槽への影響は無視できることがわかった。2.(2)より妙義湖により脱窒の可能性が示唆され、森林からの窒素流出量の検討を行なうためには妙義湖よりも上流の地点で検討を行なうことが必要である。2.(3)より人為的な汚染は無視できるにも関わらず、窒素濃度が非常に高いということがわかった。以上のことから、流量計測点は窒素流出量について検討を行なうのに適した場所であると思われる。

(5) 流量測定点における窒素流出量試算

窒素流出量は、水質データと流量データの積として試算した。NH₄-N、NO_x-N、無機態窒素について試算を行なった。無機態窒素月毎流出量(図6)も、図4の降水量とほぼ同様に6月から10月に流出量が多くなる山形の分布になる。表6に試算した各月窒素流出量を示した。年間の流出量は約21tと算出された。

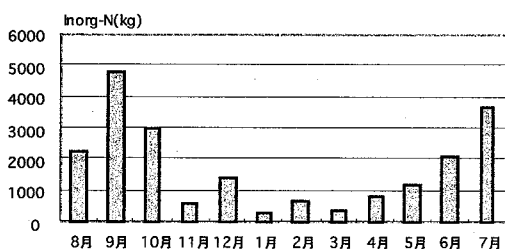


図6 06-07流量計測点窒素流出量

表6 流量計測点における各月窒素流出量

年	月	n	NH ₄ -N kg	NO _x -N kg	Inorg-N kg
2006	8月	4	22	2232	2254
	9月	5	88	4733	4821
	10月	4	11	3010	3021
	11月	2	4	604	608
	12月	5	27	1393	1419
2007	1月	2	2	278	280
	2月	3	16	637	653
	3月	4	4	423	426
	4月	4	11	815	827
	5月	4	79	1102	1181
	6月	4	23	2050	2073
	7月	6	69	3635	3704
合計		47	355	20912	21267

5. 窒素飽和についての結果と考察

窒素飽和現象は渓流水からの窒素流出量が窒素沈着量を上回る現象をいうが、今回は湿性沈着量(降水量)と窒素流出量を比較をし、中木川流域における窒素飽和現象について検討を行なった。

表7 窒素流出量と湿性沈着量の比較

kg	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO _x -N	Inorg-N
窒素流出量	485	41	25179	21267
湿性沈着量	10189	340	12960	21746

比較結果(表7)から、湿性沈着量及び流出量はほぼ同量であることがわかる。沈着量は湿性沈着量と乾性沈着量の2つで構成されるが、ここに示した湿性沈着量に乾性沈着量を加わることを考えると、沈着量が流出量を上回るので、定義からは中木川流域において窒素飽和現象が発生しているとは断定できない。しかし、2.で記述したように、湿性沈着量は21kg/haで年間10kg/haを越えると窒素飽和が起るとされている量を超えており、窒素飽和現象が発生するための条件は満たしていると考えられる。

6. まとめ

妙義山中木川流域の窒素降水量は21kg/ha/yで、窒素飽和が起るとされている10kg/ha/yを超えていることが確認できた。国民宿舎合併浄化槽の放流水は中木川へ混入しているが、合併浄化槽による汚染の影響は無視できると考えられる。妙義湖では、脱窒現象が示唆された。窒素流出量と湿性窒素沈着量を比較するとほぼ同量の値であった。引き続き検討を続ける予定である。

謝辞

国民宿舎裏妙義には、降雨採水地として使用させて頂いた。安中市上下水道部水道課には、流量計測点における流量データを提供して頂いた。また膨大な水質分析は、本研究室岸分析主任によるものである。お世話になった全ての方々に厚くお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 森邦広、青井透、阿部聡、池田正芳(2002)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、土木学会環境工学研究論文集、Vol.39, pp235-246
- 2) 森邦広、森千恵子、青井透(2007)谷川岳周辺積雪温度と融雪期湯陰川水質との関係、第41回日本水環境学会講演集 p400
- 3) 青井透、森邦広、平野太郎(2004)首都圏から飛来する大気汚染物質(窒素化合物)と越後山脈周辺の雨水及び沢水中窒素濃度との関係、土木学会環境工学研究論文集、Vol.41, pp97-104
- 4) 青井透、平野太郎、鎌田素之(2007)群馬県内及び首都圏の降雨中窒素濃度・降水量の経年変化、第41回日本水環境学会講演 p401