

(8) 碓氷川支流裏妙義中木川流域の通年調査による窒素飽和現象の確認

青井 透^{1*}, 宮里 直樹¹, 鎌田 素之², 川上 智規³

¹群馬工業高等専門学校 環境都市工学科(〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町580)

²関東学院大学 工学部社会環境システム学科(〒236-8501 横浜市中区金沢区六浦東1-50-1)

³富山県立大学 環境工学科(〒939-0398 富山県射水市黒川5180)

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

群馬県南西部の碓氷川支流中木川に2箇所の降雨採水点, 2箇所の渓流水採水点を設けて2006年から2008年にわたり, 雨水と渓流水を定期的に測定するとともに, 河川流量と降雨量から窒素降下量・窒素流出量を算出し, 窒素飽和現象について検討した. その結果, 人為的な汚濁がなく広葉樹を主とする森林地帯で清澄な渓流水にも係らず通年で窒素濃度が高く, 渓流水の無機態窒素濃度は1.5mg/l~4mg/lの高い濃度を示すと共に窒素降下量は18.7~25.3kgN/ha/Yに達することがわかった. この状況は窒素飽和現象を示すStoddardの区分ではStage-3に該当すると思われる. さらにこの原因について首都圏から飛来する地上風がもたらす窒素降下物との関連を検討した.

Key words: Nitrogen saturation, nitrogen runoff, air-pollutants, Usui river

1. はじめに

碓氷川は, 名の示すように長野県との県境である碓氷峠から群馬県南西部を東流して鳥川に注ぎ, 利根川に合流する主要支川の一つである. この碓氷川は, 夏季首都圏から長野県に向けて流れる南東地上風(海風)ルートに位置しているが, このルー

トにあたる群馬県南西部の河川(鏡川, 鳥川, 碓氷川等)では, 生活排水などの人為的な汚濁が殆ど無い場所でも, 森林流出水の窒素濃度が異例に高いことは既に報告している^{1)~6)}. この現象の原因として, 夏季首都圏から飛来する地上風が輸送してくる窒素系大気汚染物質の降下と考えられたので, これ



図1 調査対象地域と群馬県河川図



図2 裏妙義碓氷川・中木川流域地図と各採水点 (地図は国土地理院地図閲覧サービスによる)

ら河川の流域にある各中学校で降雨を1年間連続的に採水し、窒素降水量が多いことを確認した⁵⁾。この結果より、河川水の高い窒素濃度と夏季の南東地上風には、強い相関があることを推論した。しかし得られた知見は定性的なものであり、より広い検討が必要とされたので、利根川源流部に近い湯絵曾川で、通年の窒素降水量と流出量の測定を開始する⁷⁾とともに、碓氷川の支川である中木川(裏妙義を流域とする)で、降雨と河川水の定期採水を2006年7月から開始し、窒素飽和現象との関連性についても検討を開始した。

窒素飽和現象とは、樹木の生長にとって一般的に供給律速になっている窒素が、大気からの窒素供給量の増加により、生態系に過剰に供給された状態と定義づけられている⁸⁾。窒素飽和現象は、欧米の研究者により提案されたものであり、Aber *et al.* (1989)⁹⁾及びStoddard (1994)¹⁰⁾の定義が一般的に用いられている。StoddardはAber *et al.*の定義したStageに、森林流出水の硝酸イオン濃度の季節変化パターンを反映して説明した⁸⁾が、その区分概要を表1に示した。

わが国における窒素飽和現象の発現については、殆ど報告されていないが、例えば大類等は群馬県渡良瀬川流域の東京農工大学草木演習林等で長期間の調査を行い、窒素飽和現象の発現が示唆されると報告している¹¹⁾。その他にも森林の小流域での窒素飽和現象の報告はなされているが、広域的な地域で窒素飽和現象が確認された事例は報告されていない。

群馬県南西部河川の高い窒素濃度は、広域的な窒素飽和現象に伴って観察される事例とも考えられる

表1 Stoddardの窒素飽和現象の区分

Stage-0	冬季にNO _x -Nが高いときがあるが、ピークでもその濃度は降雨レベル
Stage-1	夏季にNO _x -N濃度は低下するが、0近くなる期間は短い、冬季にピーク濃度上昇
Stage-2	NO _x -N濃度に季節変化が見られない
Stage-3	NO _x -N濃度に季節変化が見られない上、濃度が降雨のレベルを上回る、その結果流出量が増える

ので、この流域が窒素飽和に達しているかどうかを確認するために、碓氷川右岸の支流である中木川を調査対象流域として、3年間にわたり河川水の窒素濃度ならびに集水域への窒素沈着量を測定し、河川水の窒素濃度や集水域の窒素収支について検討した。

2. 調査方法

(1) 対象流域と採水点

本研究で調査対象に選定した地域を図1に示した。妙義山は日本三大奇勝にあげられる岩山であり、輝石安山岩溶岩で構成される。森林は杉の植林を除けば広葉樹が多く針葉樹の占める割合は3割程度である。

表2 裏妙義中木川および碓氷川の各測定点
各測定日無機態窒素濃度

No.	河川名	場所	2006 7/1	2007 4/7	2007 5/3	2008 4/12	2009 8/15	標高m
I	中木川	1.8km上流	1.38					530
II		宿舎入口橋	1.42	2.23	2.17			430
III		流量計測点	1.43	2.14	2.20	2.21	1.18	410
IV		碓氷川合流前		1.58	1.52	2.00	1.30	320
V	桶木沢	道路橋	2.39	3.15	3.28	3.96	1.88	405
VI	碓氷川	合流前		1.45	1.39	1.71	1.27	320

注記:単位は無機態窒素(mg/l)

表妙義と裏妙義の山塊により馬蹄形に囲まれた中木川(妙義湖は昭和33年に竣工した群馬県最古の水道用ダム湖)流域であり、安中市の水道水源であるため、流量が常時観測されており、上流部には国民宿舎があるので、人家や人為的活動が他に無いことから、窒素飽和現象の観測に適した場所である。中木川の河川延長は7.9kmであり、国民宿舎は下流から2.8kmの位置にある。採水点I～VIを図2に示した。2006年7月から、中木川流量計測点IIIと、右岸支流の主要な沢である桶木沢Vで定期的な採水を実施している。

流量計測点IIIは、堰堤の水位を安中市上下水道部が常時測定している。桶木沢Vの沢水はダム管理事

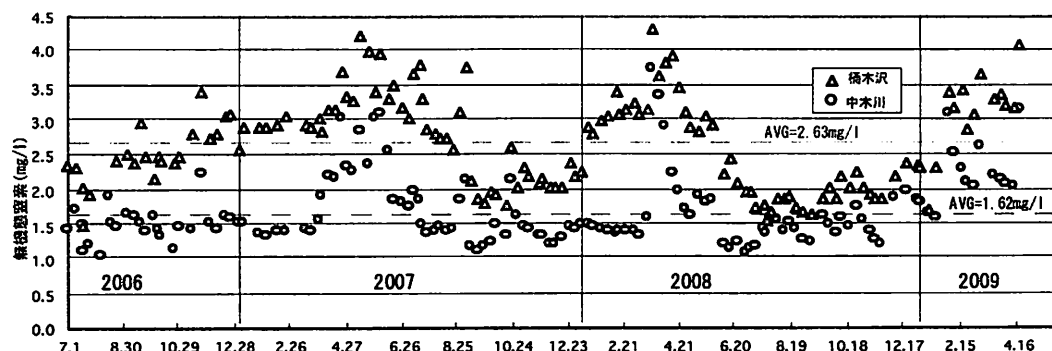


図3 2006～2009年裏妙義中木川流量計測点と桶木沢測定点無機態窒素濃度の経日変化

務所の水源に用いているので、事務所の蛇口から採水した。

(2) 降雨の採取方法

降雨については、図2のA、B両地点に1mm目の金網を設けたロートによる採水器を設置し、基本的に週1回

回収を行い、同時に渓流水を採取した。両地点の水平距離は1.55kmであった。

降雨の採水には、常時開放型の採水器を用いたの、バルク降雨を回収したことになる。

週1回の降雨回収では、降雨に含まれるアンモニア態窒素(NH₄-N)が貯留中に硝化されて硝酸態窒素(NO₃-N)に変化することが危惧されるが、本論文が目的とする窒素収支には影響しない。

(3) 水質測定の方法

回収した降雨および渓流水は、実験室に持ち帰ってpH、電気伝導度(EC)を測定し、各態窒素はオートアナライザーACCS II (ブランルーベ社)により分析した。NH₄-Nについてはインドフェノール法、NO₃-Nについては、Cd・Cu還元カラムでNO₂-Nに還元後ナフチルエチレンジアミン法で測定した。またT-Nについてはペルオキシ二硫酸カリウム分解後NO_x-N測定法で分析した。

ここに無機態窒素(Inorg-N)とは、アンモニア態窒素(NH₄-N)と酸化態窒素(NO_x-N)の和を示し、酸化態窒素とは亜硝酸態窒素(NO₂-N)と硝酸態窒素(NO₃-N)の和のことである。また本論文で用いる窒素降下量(降雨)及び窒素流出量(渓流水)とは、全て無機態窒素での表示である。

表3 裏妙義中木川各測定点各水質の年間平均濃度の相違

測定点	年	n	pH	EC mS/m	NH ₄ -N mg/l	NO _x -N mg/l	Inorg-N mg/l	T-N mg/l
Ⅲ. 中木川流量計測点	2006	25	7.46	10.3	0.02	1.49	1.50	1.59
	2007	49	7.39	10.3	0.03	1.70	1.73	1.84
	2008	49	7.26	10.3	0.02	1.60	1.62	1.97
	平均値		7.37	10.3	0.02	1.60	1.62	1.80
Ⅴ. 桶木沢 (中木川右岸支流)	2006	25	7.39	7.4	0.01	2.52	2.54	2.99
	2007	49	7.39	7.8	0.02	2.83	2.84	3.36
	2008	49	7.36	7.3	0.01	2.50	2.51	2.96
	平均値		7.38	7.5	0.01	2.62	2.63	3.10

注記：2006年は両測定点とも7月1日から測定開始した。NO_x-N=NO₃-N+NO₂-N。Inorg-N=NH₄-N+NO_x-N

3. 結果及び考察

(1) 中木川の流下方向水質変化と合流先碓氷川水質との関係

図2に示した各測定点の水質を比較して、表2に示した。流量計測点Ⅲから1.8km上流まで窒素濃度は1.4mg/lで変化しなかった。次に合流先の碓氷川との水質を検討すると、流量計測点Ⅲの窒素濃度は春季には碓氷川より高く、夏季にはやや低めであった。

流量計測点Ⅲと桶木沢Ⅴの無機態窒素濃度を、時系列的に図3に示した。中木川は、3月から4月にかけて濃度が上昇し、5月以降は一定の値を示す傾向が見られるが、表2に示した流量計測点Ⅲと最下流の碓氷川合流前Ⅳの濃度の相違は、このような季節による窒素濃度の変化とダムによる滞留時間の影響を受けていると思われる。合流点での中木川と碓氷川の窒素濃度はほぼ等しかった。

(2) 流量計測点と桶木沢の窒素濃度の相違

流量計測点Ⅲと桶木沢Ⅴにおける、各年の平均水

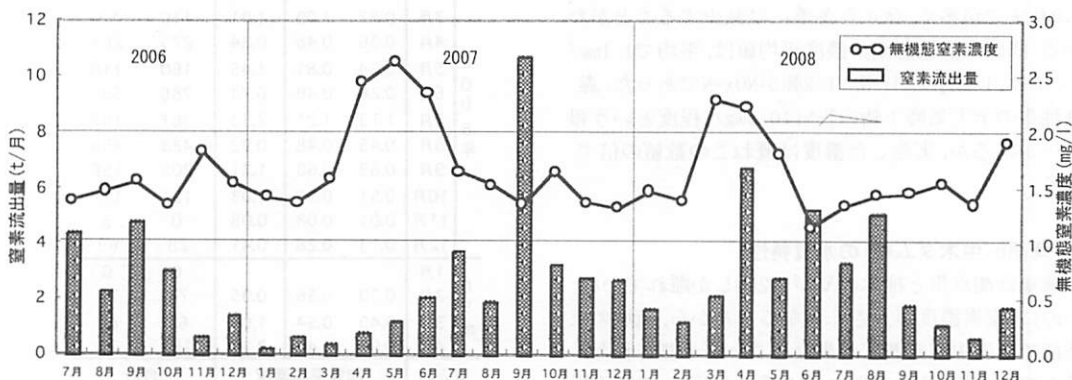


図4 中木川流量計測点における2006年から2008年各月平均無機態窒素濃度と窒素流出量

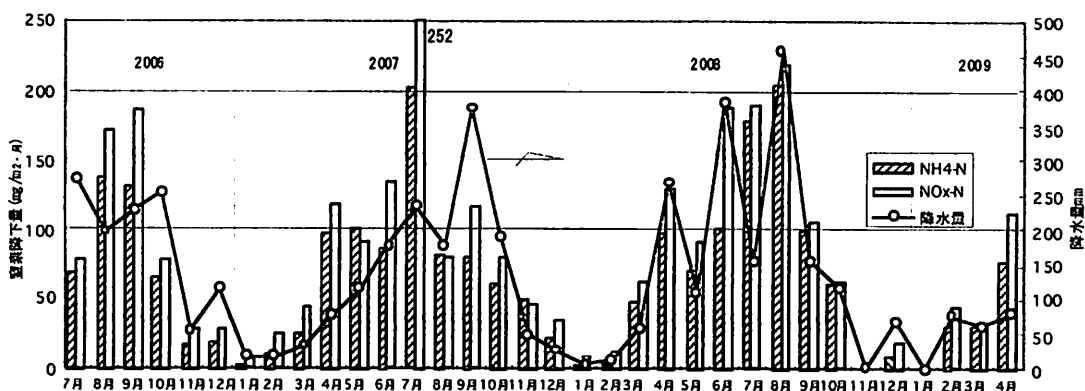


図5 2006年-2009年裏妙義国民宿舎降雨中各態窒素月別降下量と月別降水量の変化

質を表3及び図3に示したが、流量計測点Ⅲの平均無機態窒素濃度は1.62mg/l、また桶木沢Vでは2.63mg/lであり、常に桶木沢の窒素濃度が高かった。これらの濃度は、人為汚濁がない森林流出渓流水としては、異例に高い濃度と思われる(例えば富良野の東大演習林では、集水域が森林だけの溪流ではT-N<0.3mg/lでNO3-Nは一箇所以外は不検出¹²⁾)、春から夏にかけての樹木成長時期でも常に1.0mg/l以上の高い値であった。河川流量から窒素流出量を算出し、流量計測点Ⅲの無機態窒素濃度とあわせて図4に示した。

この地域は太平洋側の気候で、夏には必ず南東の地上風が卓越し、降雨量は4月から9月までが多いため、窒素流出量が大きくなっている。

(3) 降雨A(国民宿舎)の水質特性と窒素降下量

降雨Aの各月加重平均濃度と降水量及び無機態窒素降下量を表4に示し、降雨中窒素をアンモニア態窒素と酸化態窒素(殆どが硝酸態なので以降硝酸態窒素と述べる)に区分した濃度と降水量の関係を図5に示した。窒素降下量は毎年同じパターンを示し4月から9月までが多く、秋から冬季には減少することがわかる。降雨中無機態窒素濃度平均値は、平均で1.1mg/lであり、1/2弱がNH4-N、1/2強がNOx-Nであった。森林地帯の全大気降下物のT-Nは0.5mg/l程度という報告¹²⁾があるが、実測した濃度は概ねこの数値の倍である。

(4) 降雨B(中木ダム横)の水質特性

流量計測点Ⅲと桶木沢Vが1.2kmしか離れていないのに、窒素濃度が大きく異なることから、流域の上下流で降雨中窒素濃度が異なることが予測された。そこで2008年5月から中木ダム横にも、同一の降雨採水器を設置して測定を開始した。

表4 裏妙義国民宿舎降雨水質と無機態窒素降下量まとめ(2006-2009)

年	月	降雨水質			各降下量	
		NH4-N mg/l	NOx-N mg/l	無機態N mg/l	無機態N mg/m ²	降水量 (mm)
2006年	7月	0.25	0.29	0.53	147	275
	8月	0.69	0.87	1.56	310	198
	9月	0.58	0.81	1.39	317	229
	10月	0.25	0.31	0.56	143	253
	11月	0.31	0.50	0.81	46	57
	12月	0.16	0.24	0.40	47	115
2007年	1月	0.16	0.40	0.56	9	16
	2月	0.61	1.51	2.11	35	17
	3月	0.74	1.24	1.98	67	34
	4月	1.28	1.57	2.85	214	75
	5月	0.86	0.79	1.65	190	115
	6月	0.49	0.76	1.25	221	177
	7月	0.86	1.07	1.93	453	235
	8月	0.46	0.44	0.90	161	179
	9月	0.21	0.31	0.52	197	377
	10月	0.32	0.42	0.74	140	191
	11月	1.04	0.97	2.01	96	48
	12月	0.80	1.26	2.07	56	27
2008年	1月	0.31	1.09	1.39	11	8
	2月	0.40	0.88	1.28	16	13
	3月	0.82	1.09	1.91	110	58
	4月	0.36	0.48	0.84	225	267
	5月	0.64	0.81	1.45	160	110
	6月	0.26	0.49	0.74	286	385
	7月	1.13	1.21	2.33	367	157
	8月	0.45	0.48	0.92	423	458
	9月	0.63	0.68	1.31	205	156
	10月	0.51	0.52	1.03	121	117
	11月	0.01	0.08	0.08	0	3
	12月	0.13	0.28	0.41	28	69
2009年	1月				0	0
	2月	0.39	0.56	0.95	72	75
	3月	0.49	0.54	1.04	62	60
	4月	0.97	1.42	2.39	188	79
まとめ		加重平均濃度			合計	
		0.49	0.62	1.11	5121	4630

表5 中木川流域内二つの降雨測定点の毎月降雨水質と無機態窒素降下量一覧

測定点		国民宿舎降雨(裏妙義、本館山手の駐車場に設置)						ダム横降雨(中木ダム: 量式、堤高41m)					
項目		EC	pH	NH4N	NOxN	InorgN	降水量	EC	pH	NH4N	NOxN	InorgN	降水量
年	月	mS/m		mg/l	←	←	mm	mS/m		mg/l	←	←	mm
2007	5	1.72	6.19	0.60	0.75	1.35	61	3.64	7.21	0.99	1.36	2.35	72
	6	1.07	6.28	0.26	0.49	0.74	385	1.78	7.08	0.43	0.63	1.06	409
	7	3.04	5.96	1.13	1.21	2.33	157	3.06	6.92	1.15	1.42	2.58	215
	8	1.14	5.59	0.45	0.48	0.92	458	1.69	7.03	0.41	0.49	0.90	504
	9	1.96	5.86	0.63	0.68	1.31	156	2.24	6.69	0.58	0.65	1.23	179
	10	1.70	5.32	0.51	0.52	1.03	117	2.41	6.81	0.78	0.72	1.51	129
	11	3.73	5.92	0.01	0.08	0.08	3	8.22	6.68	1.89	0.99	2.88	3
	12	0.98	6.46	0.13	0.28	0.41	69	3.10	6.75	0.19	0.36	0.55	75
2008	1						0						0
	2	2.12	5.96	0.39	0.56	0.95	75	5.82	6.59	0.41	0.76	1.17	97
	3	1.71	6.41	0.49	0.54	1.04	60	4.83	6.83	0.30	0.59	0.89	55
	4	3.02	5.41	0.97	1.42	2.39	79	4.80	6.82	1.11	2.01	3.12	79
	5	0.98	6.29	0.14	0.30	0.44	80	1.85	7.23	0.24	0.42	0.66	71
平均/合計		1.58	5.92	0.49	0.61	1.10	1699	2.55	6.95	0.58	0.76	1.34	1888

注記: 降雨測定データは、新規に設置したダム横降雨測定器の開始時期に合わせて2008-5/18~2009-5/16までの1年とした

両雨水採水点の各月水質加重平均濃度と降水量、窒素降下量を比較して表5に示し、両測定点毎月の窒素降下量を図6に示した。降水量は概ね同一であるが、窒素濃度は必ずダム横測定点のほうが高く、窒素降下量は1.36倍高かった。また表3より流量計測点Ⅲに比べて桶木沢Vの渓流水無機態窒素濃度は1.5倍(2008年)高く、同様な傾向を示した。

(5) 窒素流出量と窒素降下量の相違と原因

中木川流域渓流水の無機態窒素濃度は、桶木沢Vに示される下流部で高いことがわかったのので、中木川流域を図2に示すように、上流側の流域Aと下流側の流域Bに区分(尾根筋を境界とした)し、それぞれの流域面積を計算した。

流域Bの河川流量は計測点流量Ⅲを面積で比例配分して算出し、桶木沢Vの各年平均濃度(表3)を掛けて窒素流出量を計算した。流域Bのha当り年間窒素降下量は、流域Aの2007年、2008年実測値を1.36

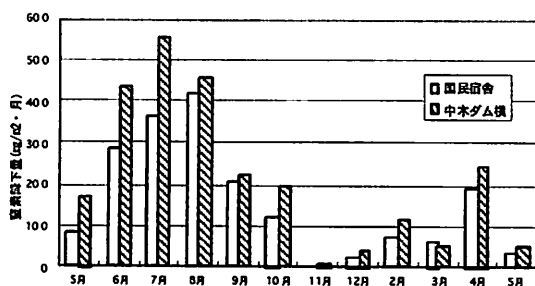


図6 2008-09年各月国民宿舎と中木ダム横の降雨に含まれる無機態窒素降下量月変化

倍して求め、各年の窒素降下量を計算して、それらの結果を表6に示した。

碓氷川下流側(中木ダム下流4.3km)地点から西側に位置する妙義山をながめた写真を写真1に示したが、夏季の海風である南東地上風は、写真左側(流域A)では表妙義にぶつかった風が窒素降下物を一部降下させた後に裏妙義に達するのと比較して、写真右側(流域B)ではこの地上風が直接裏妙義にぶつかって窒素降下物を降下させると推論すると、流域Bの桶木沢Vの窒素濃度が必ず流量計測点Ⅲより高く、窒素降下量は降雨Bが降雨Aより高いことの説明ができる。この現象の確認のために2009年6~8月表妙義の小竹川(写真1に位置を示す)に採水点を設

表6 裏妙義・中木川流域の2007、2008年年間窒素降下量と窒素流出量比較

2007年				
項目	単位	上流部	下流部	合計
窒素降下量	kg/年	20640	6459	27099
窒素流出量	kg/年	30469	11508	41978
流域面積	ha	1117	257	1374
ha当り年間窒素降下量	kg/ha/年	18.5	25.1	
ha当り年間窒素流出量	kg/ha/年	22	45	
平均降雨窒素濃度	mg/l	1.24	-----	流出/降下比
平均河川窒素濃度	mg/l	1.73	2.84	1.55
2008年				
項目	単位	上流部	下流部	合計
窒素降下量	kg/年	21793	6819	28612
窒素流出量	kg/年	33691	10862	44553
流域面積	ha	1117	257	1374
ha当り年間窒素降下量	kg/ha/年	19.5	26.5	
ha当り年間窒素流出量	kg/ha/年	30	42	
平均降雨窒素濃度	mg/l	1.08	1.31	流出/降下比
平均河川窒素濃度	mg/l	1.62	2.51	1.56

注記: ここで検討した窒素は無機態窒素である



写真1 碓氷川の中木ダム4.3km下流から眺めた表妙義山と裏妙義山

け、無機態窒素濃度を測定したところ、平均2.86 mg/l (n=14)であり、同じ時期の桶木沢V平均濃度2.49mg/l (n=16)よりも高い値であった。

一般に窒素飽和現象が生じる年間窒素降下量として10kg/ha/Y¹³⁾が判断の目安とされている。中木川での測定では两年で窒素降下量・流出量は殆ど変化せず、ha・年間窒素降下量は流域Aで平均19kg/ha/Y、流域Bで平均25.8kg/ha/Yと人為汚濁のない森林域としては、高い値を示している。窒素降下量に対する流出量の比(健全な森林は成長のために窒素を吸収するために低い値を示す)は、两年で殆ど変化なく1.55程度であった。

前橋市の群馬高専・榛名山南麓の高崎市箕郷町でも、本研究室で同時に同様なパルク窒素降下量測定しているが、2006年2007年の平均降下量は前橋市27.6kg/ha/Y、箕郷町では31.0kg/ha/Yであり¹⁴⁾¹⁵⁾、中木川流域Bの25.3kg/ha/Yは市街地(隣は関越自動車道路前橋IC)に位置する群馬高専での降下量にほぼ近く、森林域としては相当に高い数値と考えられる。

(6) 窒素飽和現象の検討

窒素飽和現象を把握するために、既に述べたように窒素降下量が目安となる。

一般に10kg/ha/Y以上では、窒素飽和現象がおこる可能性が高いとされ、20kg/ha/Yは窒素飽和現象の段階と見なされる¹¹⁾ことが多い。この観点からみると、裏妙義中木川流域は窒素飽和に近い状態と推測される。

次に表1に示したStoddard¹⁰⁾の区分が検討の判断に用いられている。Stoddardの区分が、わが国で適用できるか否かについては議論のあるところである¹³⁾が、そのまま当てはめて考察してみる。まず夏季のNO_x-Nについては、特に低下は認められず(図3)、常に1.0mg/l以上の高い濃度を維持していることからStage-2であると見なせる。また表6に示すように、溪

大気汚染学会誌 第21巻 第5号 (1986)

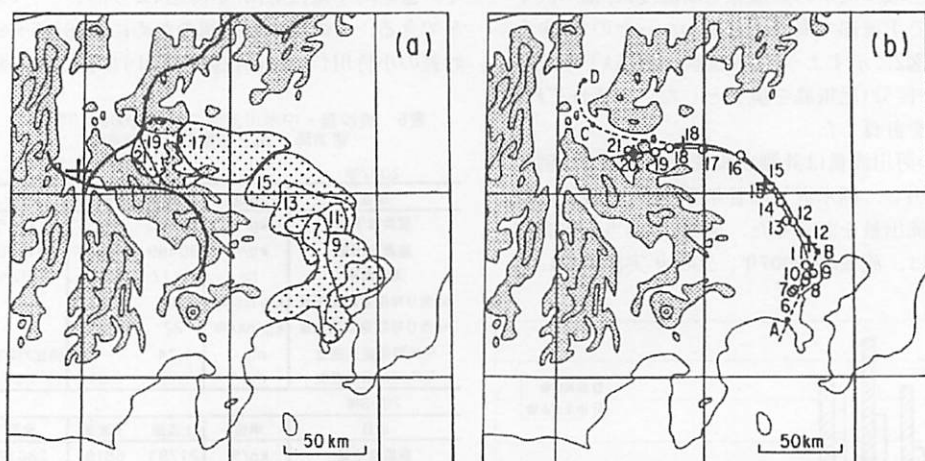
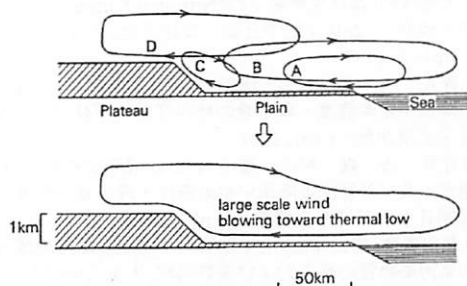


Fig. 2. Trajectory of the polluted air mass on 29 July 1983. Numbers denotes time(JST). (a) Movement of high concentration zone of O₃+NO_x (the area of zone is about 1600 km²). (b) Path of the center of O₃+NO_x high concentration zone (—○—) and air trajectory at the altitude of 100 m starting at Tokyo at 1200 JST (---). A, Kamakura; B, Tokyo; C, Ueda; D, Nagano.

図7 首都圏で発生した光化学スモッグが群馬を経由して長野に達する広域移動を示した研究の一例¹⁶⁾

弱い傾度風下での大気汚染の長距離輸送の気象学的構造



第10図 局地風の空間的な融合と熱的低気圧に吹き込む大規模風の形成。
A, B, C, Dは第1表と同じ。

図8 首都圏で発生した光化学スモッグが群馬上空で夕方となり山風に押し戻されて群馬上空に留まることを示した研究の一例¹⁷⁾

流水の窒素濃度が降雨の窒素濃度を上回っていること、窒素流出量が降水量を1.5倍上回っていることは、Stage-3に達していることになる。

従来わが国では、Stage-3の地点はないと云われているが、裏妙義中木川では、既にこのStageに到達しているものと考えられる。

(7) 窒素飽和現象発生原因の推測

栗田ら(1986年)は、首都圏の光化学スモッグが、埼玉・群馬の利根川筋を南東地上風(海風)にのって飛来し、碓氷川筋から碓氷峠(県境で最も低い場所)を経由して軽井沢に達する(図7)ことを示している¹⁶⁾。また碓氷峠に飛来した首都圏の汚染大気は、夜間にさしかかるために山風に押し戻されて、長野県側に侵入できず群馬県に戻って滞留する(図8)ことも述べている¹⁷⁾。本調査対象の中木川流域は、碓氷峠直下にあるために、これらの大気移送現象により首都圏からもたらされる大気から窒素化合物が降下し、沢水の窒素汚濁の原因になっていると推測される。

今回の調査は、中木川流域の延長2kmの範囲に、2箇所の降雨測定点、2箇所の渓流水採水点と、フィールド調査としては高密度の観測点を設置したが、降雨・渓流水ともに下流部の窒素濃度・降水量が確実に高く(下流部ほど平地に近く地上風の影響を受ける)有意の差がある結果となったことは、首都圏から夏季に飛来する南東地上風(海風)が、大量の窒素化合物をこの地域まで輸送し、これらの降下物が森林地帯に過剰の窒素を降下させ、その結果が主となりStage-3の窒素飽和現象が観察されたと推測される。

4. 結論

碓氷川支流中木川流域では、人為汚濁がないにも係らず、年間を通して渓流水中窒素濃度が高く、1~4mg/lの範囲にあった。また降雨の通年調査から、降雨に含まれる窒素濃度も高く、加重平均窒素濃度は1.1~1.3mg/l、窒素降水量は18.7~25.3kg/ha/Yに達していた。

流域内の窒素流出量は、窒素降水量を上回っており、流出/流入比は1.55倍であった。これらの知見から、この流域では窒素飽和現象が顕在化していると推測され、この現状はStoddardの区分ではStage-3に相当すると思われる。

中木川流域は、夏季首都圏から碓氷峠を経由して長野県に流れる南東地上風の直下に位置することから、流域内に降下する大気由来窒素化合物が、過剰な窒素供給の主な原因と推測される。

謝辞

中木川の流量データは、安中市上下水道部より適宜受領した。雨水サンプリングの設置では国民宿舎裏妙義に協力頂いた。本研究は河川環境管理財団の企画テーマ「大気由来の窒素に着目した流域の窒素収支に関する研究」及び日本学術振興会科学研究費「首都圏から輸送される大気汚染物質が利根川流域の窒素飽和現象に及ぼす影響調査」(H19-H21)の一部として実施した。河川環境管理財団の酒井技術参与を初めとする多くの方々にお世話になった。またこのテーマは長期にわたり実施してきたので、その間にクリタ水・環境科学振興財団、昭和シェル石油環境環境研究助成財団等の助成を頂いた。さらに膨大な試料の分析や作業は、本研究室岸分析主任、羽鳥潤君を初めとする多くの研究室学生に協力頂いた。各位に厚くお礼申しあげる。

参考文献

- 1) 青井 透, 宮里直樹: 川上智規・妙義山裏妙義地域での通年調査による窒素飽和現象の確認, 第43回日本水環境学会年会講演集, p9, 2009.
- 2) 宮里直樹, 羽鳥潤, 森 邦広, 川上智規, 青井 透: 妙義山中木川流域で顕在化している窒素飽和現象の確認, 土木学会第45回環境工学研究フォーラム講演集, pp103-105, 2008.
- 3) 羽鳥 潤, 宮里直樹, 青井 透, 川上智規: 妙義山中木川流域での窒素飽和現象の検討, 土木学会第44回環境工学研究フォーラム講演集, Vol. 44, pp125-127, 2007.
- 4) 青井 透, 森 邦広, 平野太郎: 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, 2004.
- 5) 青井 透: 利根川上流域の高い窒素濃度と首都圏より飛来する大気汚染物質との関係1, 月刊「水」6月号, pp26-33, 2003.
- 6) 森 邦広, 青井 透, 阿部聡, 池田正芳: 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, 2002.
- 7) 宮里直樹, 冨井 透, 森 邦広, 羽鳥 潤, 寺西友世, 川上智規: 利根川上流域湯谷川における窒素の流出と窒素飽和現象の検討, 土木学会環境工学研究論文集, Vol. 46, 2009 (投稿中)
- 8) 川上智規, 能登勇二, 冨井 透, 宮里直樹, 森 邦広: 主成分分析を用いた窒素飽和状態の溪流の検出, 土木学会環境工学研究論文集, Vol. 44, pp93-98, 2007.
- 9) Aber, J.D., *et al.*: Nitrogen saturation in northern forest ecosystem. *BioScience* 39: pp.378-387, 1989.
- 10) Stoddard, L. J.: 'Long-Term Changes in Watershed Retention of Nitrogen', in L. A. Baker (ed.), *Environmental Chemistry of Lake and Reservoirs*, Adv. Chem. Ser., 237, pp. 223-284, 1994.
- 11) Ohrui, K., Mitchell, M. J.: Nitrogen saturation in Japanese forested watersheds, *Ecological Applications*, 7(2), pp391-401, 1997.
- 12) 田淵俊雄: 湖の水質保全を考える-霞ヶ浦からの発信, 技報堂出版, p69, 2005.
- 13) 大類清和: 森林生態系での "Nitrogen Saturation"-日本での現状-, 森林立地学会誌 森林立地, Vol. 39, No. 1, pp1-7, 1997.
- 14) 冨井 透, 平野太郎, 鎌田素之: 群馬県内及び首都圏の降雨中窒素濃度・降下量の経年変化, 第41回日本水環境学会講演集, p401, 2007.
- 15) 冨井 透, 森 邦広, 鎌田素之: 2007年度群馬県内各測定点及び首都圏の降雨中窒素濃度・降下量の相違, 第42回日本水環境学会講演集, p327, 2008.
- 16) 栗田秀賢, 植田洋匡: 沿岸地域から内陸の山岳地域への大気汚染物質の輸送および変質過程, 大気汚染学会誌, Vol. 21, pp428-439, 1986.
- 17) 栗田秀賢, 植田洋匡, 光本茂記: 弱い傾度風下での大気汚染の長距離輸送の気象学的構造, 天気, Vol. 35, No. 1, pp72-84, 1988.
- (2009. 5. 22 受付)

Evaluation of nitrogen saturation of the Ura-myogi mountainous region, Gunma, Japan, through a whole year investigation on nitrogen concentration of the streams and nitrogen budget of the watershed

Toru AOI¹, Naoki MIYAZATO¹, Motoyuki KAMATA²
and Tomonori KAWAKAMI³

¹Dept. of Civil Engineering, Gunma National College of Technology

²Dept. of Environmental System, Kanto Gakuin University

³Dept. of Environmental System Engineering, Toyama Prefectural University

The Usui River is one of the main streams of the Tone River and has a high nitrate concentration. The Nakagi tributary of the Usui river, which also has a high nitrate concentration, was selected for the study on nitrogen saturation of this mountainous region. Through 2006-2008, stream water and rainfall were collected at 2 sampling points to evaluate nitrogen saturation of the watershed.

Nitrate concentration of the river water ranged from 1.5 to 4 mg/l, and nitrogen deposition was calculated as 19 to 25.8 kgN/ha/Y. This high nitrogen deposition could cause a nitrogen saturation leading to high nitrate concentration of the stream water.

The nitrogen budget of the watershed showed an excessive loss of nitrogen from the watershed than the nitrogen deposition on the watershed. The watershed was thought to be Stage-3 of nitrogen saturation according to the Stoddard's definition.