

(52) 利根川上流域湯檜曾川における窒素の流出と窒素飽和現象の検討

宮里 直樹^{1*}・青井 透¹・森 邦広²・羽鳥 潤³・寺西 知世⁴・川上 智規⁴

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

²登山愛好家 (〒371-1305 群馬県利根郡みなかみ町後閑29-6)

³北海道大学大学院工学研究科 環境創生工学専攻 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

⁴富山県立大学 短期大学部 (〒939-0398 富山県射水市黒河5180)

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

首都圏2700万人の水源である利根川水系の上流部は、清涼な溪流にもかかわらず群馬県内では窒素濃度が高いと報告されている。また群馬県内および首都圏の窒素降下量を比較した調査から、広範囲にわたる窒素飽和現象の発生の可能性も報告されている。窒素飽和現象を把握するためには、渓流水による窒素流出量と降雨による窒素降下量の関係について検討する必要がある。そこで本研究では、利根川最上流域に位置する湯檜曾川を対象として、降雨及び河川の水質分析を行った。また並行して湯檜曾川の水位を測定し、河川の流量算出を試みた。その結果、窒素降下量は約47t(12.5kg-N/ha)であり、窒素飽和が起こるとされている10kg/ha/yを超える高い値であった。また窒素流出量は約45t(12.1kg-N/ha)であり、窒素降下量とほぼ同量であった。群馬県内の利根川上流域では、窒素飽和の状態である可能性が示唆された。

Key Words : nitrogen saturation, eutrophication, nitrogen runoff, inorganic nitrogen, Tone river

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2700万人の水源の役割を担っている。しかし、群馬県内の利根川上流部は、清涼な溪流にもかかわらず窒素濃度が異例に高いと報告されている¹⁾。これまで本研究グループでは、利根川源流域の湯檜曾川について、数年継続的に水質調査を行ってきた。また利根川上流部の雨水に含まれる窒素成分($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ ($=\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$))の由来として、夏季に首都圏を通過した海風(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²⁾。例えば、1984年7月29日に行われた長野県衛生公害研究所(当時)の栗田らの観測から、夏季に首都圏からの大気汚染物質が海風(地上風)によって群馬上空から碓氷峠を通り軽井沢に移動するということがわかっている³⁾。また、青井らが群馬県内及び首都圏の窒素降下量の比較により、群馬県の広範囲にわたる窒素飽和現象が発生している可能性を報告している⁴⁾。

窒素飽和現象とは、大気から森林への窒素化合物の降

下量が、森林生態系において必要とされる窒素量を上回る状態と定義されている⁵⁾。窒素飽和状態が進行した状態では、森林から硝酸イオンが渓流水に流出し、陸水の富栄養化や酸性化を引き起こすと考えられている⁶⁾。このため窒素飽和現象について検討するためには、渓流水からの窒素流出量と降雨による窒素降下量(乾性降下量+湿性降下量)を調査する必要がある。

そこで本研究では、利根川最上流域に位置する湯檜曾川流域を対象として、河川水及び降雨を採取し水質分析を行った。また河川の水位を測定して流量算出を試み、窒素流出量を算出し、降下量と流出量を比較することによって利根川上流域における窒素飽和現象についての検討を行なった。

2. 調査方法

(1) 対象流域

今回、利根川最上流域に位置する湯檜曾川を調査の対

対象地域とした。対象流域を図-1に示す。この地域を対象とした理由として、利根川最上流端に位置する奥利根湖から群馬県の旧水上町と沼田市の間を流れる利根川には、多数のダムが存在していることが挙げられる。ダムによって河川の水質が変化する可能性が考えられ、旧水上町と奥利根湖の間で水質調査を実施しても実態の把握は困難であると考えられたためである。一方、湯檜曾川には、谷川岳ロープウェーや天神平スキー場を除き、人為活動による水質汚濁は認められず、ダムも存在しない。以上の理由から、湯檜曾川流域を調査対象地域とした。

なお、調査対象は図-2に示したB地点の湯檜曾川土合砂防堰堤より上流側となる湯檜曾川の流域であり、流域面積は約3746haである。国土交通省土地水資源局国土調査課の土地分類図(土壤図)によると、岩石地および湿性褐色森林土が大部分を占める地域となっている。



図-1 調査対象河川(群馬県県土整備部河川課 web サイト)



図-2 渓流水採取地点(A,B)および流量測定地点(B)

(2) 採取した試料、水質分析項目および方法

2007年通年にわたり、湯檜曾川土合砂防堰堤で渓流水を採取した。採水回数は87回である。図-2に湯檜曾川土合砂防堰堤の位置を示す。また湯檜曾川に流れ込む沢の一つである、一ノ倉沢の樹林帯(広葉樹林帯から流出している沢水)と岩石帯(広大な岩盤に堆積する雪渓の融雪水)から流れ出る渓流水も採取した。なお一ノ倉沢は谷川岳の岸壁部分に位置しており、沢より上流には人為的な施設は何も存在していない。一ノ倉沢の位置を図-2に、岩石帯と樹林帯を図-3に示す。

降雨については、常時開放型の雨水サンブラを湯檜曾川の川岸(右岸側)に常設し、降雨毎に降水量を測定するとともに、雨水をバレルとして採取した。

1~3月上旬の降雨量については積雪の影響により、雨水サンブラによる降雨回収は困難であった。そこで、湯檜曾川土合砂防堰堤より上流域に位置する八木沢ダム(直線距離で北東に8キロ、標高で約200m高い)の降雨量測定データを参考にした。降雪の観測されなかった5~10月の雨水サンブラの雨量を八木沢ダムの降雨量と比較したところ、およそ1.1倍であった。この結果から八木沢ダムの1~3月の降雨量データを1.1倍し、湯檜曾川土合砂防堰堤の雨量とした。雨水の回収回数は52回であった。

採取した渓流水試料(1月~3月上旬は除く)を、ただちに試料を研究室に持ち帰り、水温、電気伝導度(EC)およびpHの測定を行った(降雨も同様)。その後、各態窒素・リンをオートアナライザー(ACCS-II; ブランルーベ)を用いて分析した。さらに電位差滴定法の一つであるGran's plot法を用いて、Acid Neutralizing Capacity (ANC)を測定した⁹⁾。ANCは欧米で陸水の酸に対する緩衝能力を表す際に用いられており、アルカリ度と異なり、負の値もとることができる。そのため、酸性化が進行している渓流水を評価する上で有効な指標となる。

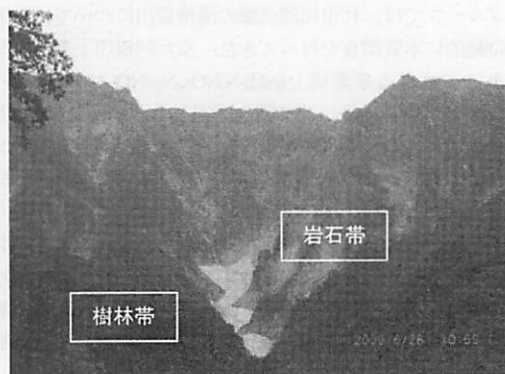


図-3 一ノ倉沢の岩石帯および樹林帯

(3) 窒素流出量の算出方法

窒素流出量を検討するためには、河川の流量と河川水の水質分析が必要になる。しかし、対象となる湯檜曽川では、国や県などの河川管理者による流量調査は行われていない。そのために、独自に設置した自動水位記録計により流量を求めた⁹⁾。データ回収時のアクセスの良さ、および流量を計算することを考慮し、降雨採取地点と同じ湯檜曽川土合砂防堰堤を流量測定点とした。堰であれば水深を求めることにより流量計算が容易に可能となる。

測定地点である湯檜曽川土合砂防堰堤は電源のない場所であるため、自動車用バッテリー(12V)をクーラーボックス内に設置し水圧式の水位センサー(PS015-13(株)測商技研)の電源として用いた。また、水位センサーより測定された水位(電位差)データを記録するため、1回/hに設定した記録計(ロガー:Onset社、HOB0 H8シリーズ)を使用しデータを記録させ、定期的に回収した。

流量を算出するために、まず土合砂防堰堤における実際の河川流量(以下、実流量)の測定を行った。実流量は平均流速(電磁流速計)と堰堤幅および水深(堰堤上の水位)の測定を行い、それぞれの積から求めた。また自動水位記録計のデータから河川流量を算出するためには、湯檜曽川土合砂防堰堤の越流水深を求め、堰堤を全幅堰とみなし、堰の流量算出公式を適用して、河川流量を求めた。それぞれの方法により算出した流量を比較し、堰の公式の適用が可能であることを確認をした。

3. 結果と考察

(1) 回収降雨の調査結果

湯檜曽川土合砂防堰堤で回収した雨水の量と各水質

表-1 測定点降雨の加重平均濃度と回収降水量(2007年)

測定場所	n	pH	EC mS/m	NH ₄ -N mg/l	NO _x -N mg/l	Inorg-N mg/l	NH /Nx	降水量 mm
湯檜曽川 土合砂防堰堤	52	5.2	1.39	0.37	0.47	0.84	0.78	1498

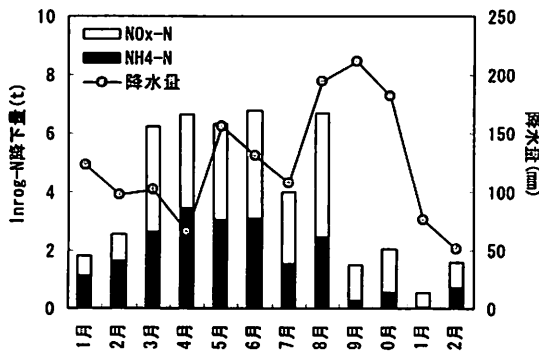


図-4 月ごとの各態窒素沈着量(2007年)

項目の年間平均濃度、および窒素降下量を表-1に示す。

ただし表中のNH/Nxとは、NH₄-NとNO_x-Nの降下量の比である。バルクによる窒素降下量は降水量と無機態窒素濃度(Inorg-N=NH₄-N+NO_x-N)の積から算出した。また無機態窒素濃度の平均値については、降下量からの加重平均を計算した。年間の無機態窒素濃度平均値は湯檜曽川土合砂防堰堤で0.84mg-N/lと高い値を示した。また、バルクによる窒素降下量は湯檜曽川土合砂防堰堤で12.5kg-N/haであった。

これまで、窒素降下量が10kg-N/haを超える窒素飽和が起こると報告されている⁽¹⁰⁾。またWakamatsuらは群馬県妙義山麓での湿性沈着による窒素降下量が、25 kg-N/haであった報告している⁽¹²⁾。さらに伊藤らは茨城県つくば市で年間の窒素降下量を観測したところ、10.6kg-N/haであったと報告している⁽¹³⁾。本調査の結果では、森林集水域であるにもかかわらず、大都市近郊の観測結果よりも高い値が得られた。以上の結果から湯檜曽川流域における窒素降下量は、非常に多いと考えられる。

図-4に各態窒素の月ごとの降下量を示した。この結果から3月から8月まで、ほぼ同量の窒素降下量が観測され、9月以降に低下したことがわかる。また各月のNH₄-NとNO_x-Nについては、4月から8月の窒素降下量が多い時期に、ほぼ1:1の比率で降下していることがわかる。

以上の結果から、夏季において窒素降下量が増加していることがわかった。本研究グループでは、谷川岳山頂では夏季に南風の影響が大きくなることを報告している¹⁾。また栗田らにより、首都地域を通る地上風の影響によって碓氷峠付近で光化学スモッグが移動すること³⁾、長谷川らにより群馬県地域を含む関東平野北西部が、夏季に首都地域からの大気移動を受けやすくなることが報告されている⁽⁴⁾。さらに土器屋らは、夏季の地上風が利根川に沿って北上することを報告している⁽⁵⁾。以上のことから、首都地域を通る夏季地上風により、窒素化合物が谷川岳付近にまで輸送されて降下する可能性が示唆された。

(2) 岩石帯および樹林帯溪流水の水質調査結果

一ノ倉沢の岩石帯および樹林帯から流出する溪流水の無機態窒素濃度の経年変化を図-5に、また2007年の経日変化を図-6に示す。一般的には森林が無機態窒素を吸収するため岩石帯溪流水に比べて、樹林帯溪流水の方が窒素濃度は低くなるとされている。しかし、樹林帯溪流水の無機態窒素濃度は岩石帯溪流水の無機態窒素濃度と比べ倍程度高い濃度であることがわかった。また両者とも上昇傾向が見られる。

2007年の岩石帯および樹林帯溪流水の無機態窒素濃度の経日変化から、樹林帯溪流水の無機態窒素濃度は年

間を通じてほぼ一定であったことがわかった。大類らは日本の森林地域で硝酸イオン濃度に季節変化が認められないのは、降雨に影響を受ける流出水量の季節変化や樹林帯の急峻な地形によるものであるとしている¹⁰⁾。しかしながら、一ノ倉沢では融雪時の水量が夏季に比較して大きく、むしろ欧米における流出パターンに近い。したがって、一ノ倉沢樹林帯において季節変化が見られないという点において、大類らの仮説は該当しない。一方、岩石帯渓流水の無機態窒素濃度は2~4月にかけて高く、5月以降は低下しており、さらに9月以降は、再上昇している。これは、岩石帯渓流水で融雪初期に溶脱(融雪時期に雪が溶けきる前に水溶性成分が流下、移動するこ

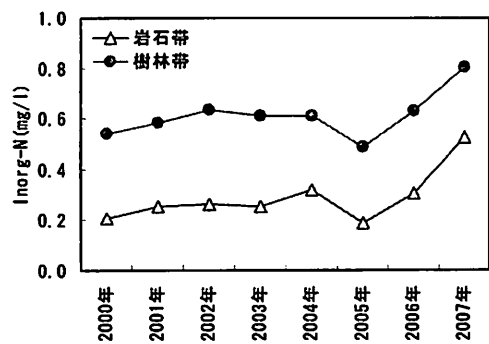


図5 一ノ倉沢岩石帯および樹林帯渓流水の無機態窒素濃度の経年変化

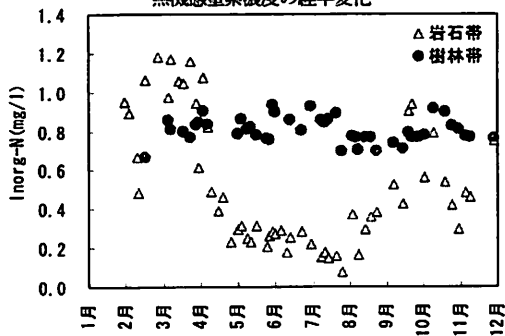


図6 一ノ倉沢岩石帯および樹林帯渓流水の無機態窒素濃度の経日変化(2007年)

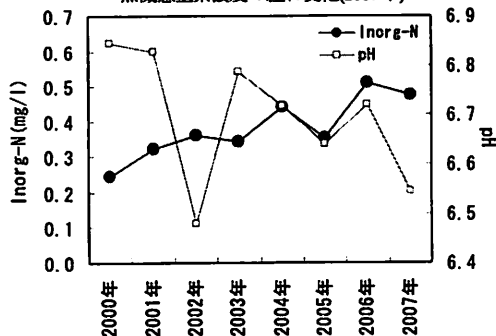


図7 湯檜曾川の無機態窒素濃度およびpHの経年変化

と)¹⁰⁾により無機態窒素の流出が顕著になるため高い濃度を示していると考えられる。またその後、無機態窒素は流下してしまい、融雪終期には融雪水の増加により濃度が低下していることが考えられた。

(3) 湯檜曾川河川水の水質調査結果

湯檜曾川の無機態窒素濃度とpHの経年変化を図-7に示す。無機態窒素濃度が上昇傾向であり、pHについては2002年が突出して低い値となっているが、経年的に低下傾向である。河川水に酸性化の兆候が現れていることが考えられた。

湯檜曾川土合砂防堰堤の流量計測点における各水質の年間平均濃度を表-2に示した。無機態窒素濃度の年間平均値は0.47mg-N/lであり、一般的にT-N濃度で富栄養を起こすとされる0.15mg-N/lを超える値であった。人為活動による水質汚濁が認められない地点であるにも関わらず、高い窒素濃度を示していることがわかった。

図-8に、湯檜曾川土合砂防堰堤における無機態窒素濃度年間変化と湯檜曾川の流量経時変化(2007年7月はバッテリー切れによりデータが欠損)を示す。また、図-9にANCの経日変化を示す。

表-2 湯檜曾川の水質算術平均濃度と流量(2007年)

測定場所	n	pH	EC mS/m	NH ₄ -N mg/l	NO _x -N mg/l	Inorg-N mg/l	流量 1000m ³ /日
湯檜曾川 土合砂防堰堤	87	6.6	2.4	0.03	0.44	0.47	274

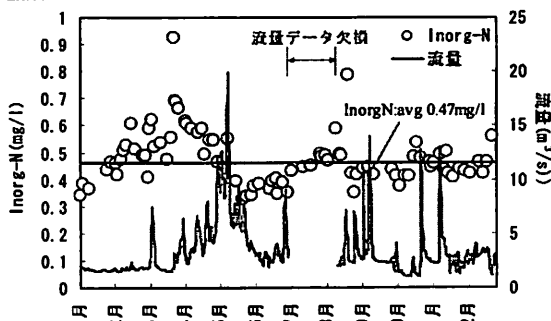


図8 経日変化(湯檜曾川土合砂防堰堤, 2007年)

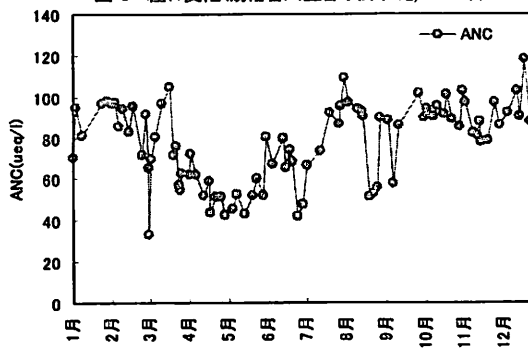


図9 ANCの経日変化(湯檜曾川土合砂防堰堤, 2007年)

無機態窒素濃度は3月上旬から徐々に上昇し、3月下旬に最大濃度(0.92mg/l, 2007年3月26日)を示した。その後、濃度は低下するが4月下旬まで0.60mg/l程度の濃度を示した。5月下旬に最低濃度(0.33mg/l, 2007年5月26日)となった後、緩やかな上昇を開始した。また酸に対する緩衝能力を表すANC⁹⁾は、無機態窒素濃度の最大値が確認できた3月から5月にかけて低下している。無機態窒素濃度の上昇している時期に、湯檜曾川渓流水で酸に対する緩衝能力が低下していたことが考えられた。

湯檜曾川の渓流水採取点は、谷川岳ロープウェイ関連施設の排水が合流する地点より上流側である。また、上流の一ノ倉沢には入山者用の無放流型公衆トイレ(汲み取り式)が設置されており、人為的な汚濁はほとんど無いと考えられる地点である。従って、窒素濃度の経日変化は、降雨・融雪と森林からの流出によるものとみなすことができる。融雪初期(3,4月)には溶脱による無機イオンの流出に伴い硝酸態窒素が流出するため、窒素濃度が上昇していることが考えられる。そのため、融雪終期の5月頃には積雪中の水溶性成分の減少により、無機イオンの溶脱による影響は小さくなっていることが考えられる。また窒素濃度をほとんど含まない融雪水が流入することによって河川の水量は最大となり、窒素濃度が低下すると考えられる。その後、融雪水が減少することにより森林からの流出が卓越するため、窒素濃度が上昇すると思われる。

以上の結果から、今回の連続的な調査・分析により、湯檜曾川で積雪中窒素成分の河川水への溶脱による影響

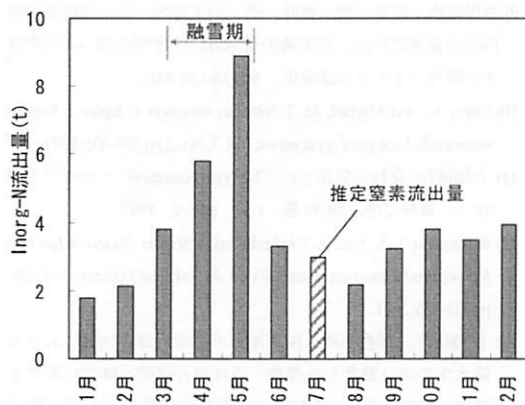


図-10 月ごとの無機態窒素流出量(2007年)

表-3 湯檜曾川流域(土合砂防堰堤上流域)の年間窒素流出量(2007年)とバルクによる窒素降下量の比較

	窒素降下量	窒素流出量
総量	47 (t)	45 (t)
ha当たり	12.5(kg-N/ha/y)	12.1(kg-N/ha/y)

を確認することができたと考えられる。

(4) 渓流水における窒素流出量の算出結果と考察

窒素流出量は各態窒素濃度と流量の積から算出をした。図-10に、2007年の湯檜曾川土合砂防堰堤における月ごとの無機態窒素流出量を示す。

窒素流出量については、流量と窒素濃度のピークは時期がずれるものの、4～5月に最も多いことが分かった。また融雪期以降は、融雪水の減少により窒素流出量が減少していると考えられる。7月は水量データが欠測していたが、融雪期(3～5月)を除いた河川流量の平均値(23.1万m³/日)と7月の無機態窒素濃度の平均値(0.42mg-N/l)を用い、7月の窒素流出量の推定値を算出し年間の窒素流出量を求めた。以上の結果から、土合砂防堰堤において、年間約45t(12.1kg/ha)程度の窒素流出が発生していると考えられた。

(5) 窒素飽和現象の検討

窒素飽和現象では、その段階が進行すると渓流水からの窒素流出量が窒素降下量を上回るようになるとされている¹⁰⁾。今回はバルクで採取した降雨による窒素の降下量と窒素流出量を比較し、湯檜曾川土合砂防堰堤における窒素飽和現象について検討を行なった。2007年の窒素の降下量と流出量について総量と、ha当たりの量で比較した結果を表-3に示す。

湯檜曾川流域の土壌は岩石地や湿性褐色森林土であること、また高低差もあることから、渓流水が地下に一時的に流下しても湯檜曾川土合堰堤付近では地表に現れ、河川水となり流下するものが大部分であると考えられ、地下への流下が窒素流出量に及ぼす影響はわずかであると考えられる。以上のように考えると、湯檜曾川土合砂防堰堤における窒素降下量及び窒素流出量は、ほぼ同量であった。バルクによる窒素降下量とは湿性降下量と乾性降下量の一部との2つで構成されるものである。バルクによる窒素降下量であることを考慮すると、湯檜曾川土合砂防堰堤では、窒素降下量と窒素流出量の差がさらに大きくなると考えられる。従って、湯檜曾川で窒素飽和が発生しているとは断定できないが、前に述べたように、バルクによる窒素降下量は12.5kg-N/ha/yであり、年間10kg-N/ha/yを越えると窒素飽和が起こるとされている降下量を上回っていた。さらに図-8に示したように、湯檜曾川渓流水の無機態窒素は年間を通して高い濃度で流出し、大きな季節変化は認められなかった。これらのことから湯檜曾川の窒素飽和は、AberやStoddardのステージ2に相当すると考えられる。また大類らが述べているように、湯檜曾川の窒素流出の要因の一つとして、多量の窒素降下量が考えられ、無機態窒素の高い濃度は窒素

飽和の発生を示唆すると考えられる¹¹⁾。加えて、本研究グループでは湯檜曾川の支流である一ノ倉沢の渓流水を、Aberらの定義した窒素飽和の進行の程度を表したステージ⁹⁾において、ステージ3として扱っている¹²⁾ことも報告している。以上のことから、湯檜曾川においても窒素飽和に近い状態である可能性が十分に考えられる。

4. まとめ

今回の研究から以下の結果が得られた。

- (1) 湯檜曾川土合砂防堰堤での窒素降下量は 12.5kg-N/ha/y と窒素飽和がおこるとされている 10kg-N/ha/y を超える値であった。また夏季において、窒素降下量が増加していることがわかった。
- (2) 一ノ倉沢の岩石帯と樹林帯からの渓流水(流出水)の無機態窒素濃度を比較したところ、樹林帯の方が倍程度の高い濃度であった。また一年を通じて樹林帯からの渓流水中の無機態窒素濃度は、ほとんど変化しなかった。一方、岩石帯からの渓流水中の無機態窒素濃度は融雪期に上昇しており、溶脱したことが考えられた。
- (3) 湯檜曾川河川水の水質分析を行ったところ、平均無機態窒素濃度は 0.46mg/l であり、富栄養化を起こすとされる 0.15mg/l を大きく超えていた。
- (4) 湯檜曾川の水位から堰の流量公式を利用することにより、通年に渡って河川の流量を求めることができた。この検討により、湯檜曾川土合砂防堰堤では、融雪期に窒素流出量が急激に増加することが確認できた。また、無機態窒素濃度は年間を通して高く、大きな季節変化も認められなかった。さらに、窒素流出量とバルクによる窒素降下量を比較するとほぼ同量の値であった。利根川源流域である湯檜曾川では、窒素飽和に近い状態である可能性が示唆された。

謝辞：本研究は、(財)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源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ものである。河川環境管理財団の酒井憲司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たため、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研究助成財団等の助成を頂いた。膨大な水質分析は、本研究室内の岸分析主任によるものである。現地調査では、本研究室内の5年生および専攻科学生、卒業生のご協力を頂いた。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: 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, pp.235-24, 2002.
- 2) 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, pp.97-104, 2004.
- 3) 栗田秀實, 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, pp.428-439, 1986.
- 4) 青井 透, 平野太郎, 鎌田泰之: 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 回日本水環境学会年会講演集, p.401, 2007.
- 5) Aber, J. D., K. J. Nadelhoffer, P. Steudler, and J. M. Melillo: Nitrogen Saturation in Northern Forest Ecosystems. *BioScience*, 39(6), pp.378-386, 1989.
- 6) Smith, V.H., Tilman, G.D. and Norkko, J.C.: Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environ. Pollut.* 100, pp.179-196, 1999.
- 7) Church, M. R. and Sickie, J. V.: Potential relative future effects of sulfur and nitrogen deposition on lake chemistry in the Adirondack Mountains, United States. *Water Resources Research*, 35(7), pp.2199-2211, 1999.
- 8) 落合志保, 宮北敦子, 川上智規: Gran's plot 法による陸水のANCの測定, 土木学会論文集, VII-20, No. 685, pp.157-164, 2001.
- 9) 富里直樹, 羽島 潤, 青井 透, 川上智規: 谷川連峰湯檜曾川の流量連続計測と窒素流出量試算, 土木学会第 44 回環境工学研究フォーラム講演集, pp.128-130, 2007.
- 10) Ohtsui, K., and Mitchell, M. J.: Nitrogen saturation in Japanese forested watersheds, *Ecological applications*, Vol. 7, No. 2, pp.391-401, 1997.
- 11) 大類清和: 森林生態系での "Nitrogen Saturation" - 日本での現状 -, 森林立地, 第 39 巻, 1 号, pp.1-9, 1997.
- 12) Wakamatsu, T., K. Sato, A. Takahashi and H. Shibata: Proton budget for a Japanese cedar forest ecosystem. *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol. 130, pp.721-726, 2001.
- 13) 伊藤優子, 加藤正樹: 関東地方の都市近郊平林における降水中の成分濃度と負荷量・森林総合研究所構内における降水の観測結果 -, 森林総合研究所研究報告, Vol. 2, No. 3, pp.149-155, 2003.
- 14) 長谷川香織, 小葉竹重機: 関東平野北西部における森林からの渓流水中の硝酸態窒素濃度の地域分布特性, 日本森林学会誌, Vol.88, No.6, pp.534-540, 2006.
- 15) 土器屋由紀子, 岩坂泰信, 長田和雄, 直江寛明: 山の大気環境科学, (株)養賢堂, 2001.
- 16) 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.

学研究論文集, Vol 44, pp.93-98, 2007.

- 17) 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

(2009.5.22 受付)

Elevated Nitrate Concentration by Preferential Elution and Nitrogen Saturation at the
Forested Stream of Yubiso River, one of the Tributaries of the Tone River
Naoki MIYAZATO¹, Toru AOI¹, Jun HATORI², Kunihiro MORI³,
Tomoyo TERANISHI⁴ and Tomonori KAWAKAMI⁴

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

² Dept. of Urban and Environmental Engineering, Graduate School of Engineering Hokkaido University
³ an expert climber

⁴Dept. of Environmental Systems Engineering, Toyama Prefectural University

The Tone River is one of the most important water sources in Japan, since Tone River supplies water to 27 million persons in the Metropolitan area. It has been reported that the nitrogen concentration at Tone River was more than 1mg/l even in the upper stream area with a Forested watershed. Therefore, the nitrogen concentrations of the streamwater at the Yubiso river, one of the tributaries of the Tone river, and rain fall on its watershed were analyzed to investigate the effect of preferential elution and nitrogen saturation on the nitrate concentration of the stream water. The nitrogen concentration of Yubiso river as high as 0.15mg-N/l regardless of less artificial pollution. The annual wet deposition of nitrogen to the Yubiso river watershed were estimated to be 12.1kg-N/ha/y. The annual nitrogen runoff of Yubiso river watershed were 12.5kg-N/ha/y. It was suggested that nitrogen saturation on the upper stream at Tone river watershed was on going.