

足尾地域における渓流水窒素濃度に関する基礎的調査

池田 裕一¹・大野 達也²・合田 圭一³・岡本 隆明⁴

¹正会員 宇都宮大学大学院 工学研究科 学際先端システム学専攻 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)

E-mail: ikeda@cc.utsnomiya-u.ac.jp

²学生会員 宇都宮大学大学院 工学研究科 学際先端システム学専攻 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)

E-mail: mt106617@cc.utsnomiya-u.ac.jp

³日光市 教育委員会事務局 (〒321-1292 日光市今市本町1番地)

E-mail: the_t1me_t0_act_1s_n0w@docomo.ne.jp

⁴正会員 京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 (〒615-8530 京都市西京区京都大学桂)

E-mail: okamoto.takaaki.8x@kyoto-u.ac.jp

近年、渓流地域における窒素飽和現象が注目されており、特に群馬県などの源流部で高濃度の硝酸の流出が確認されている。足尾地域は栃木県ながら群馬県と隣接しており、同様な窒素飽和の可能性もある。またこの地域は、過去の銅山開発で消失した森林が回復しつつあり、それが窒素動態に与える影響についても興味深い。そこで本研究では、足尾砂防堰堤より上流の松木川、仁田元川、久蔵川の3流域において2010年9月～11月の3カ月間に渡り水質観測を実施した。その結果、足尾地域の渓流水の窒素濃度が高いことが判明した。まず、降水の窒素降下量が15kg/haであり、窒素飽和の目安10kg/haを越えていた。次に渓流水の無機態窒素が3河川の単純平均で0.97mg/l、群馬県の平均0.76 mg/lを超えていた。また、松木川と仁田元川に比べて久蔵川の窒素濃度が高い結果となった。

Key Words :Ashio, mountain stream, water quality survey, nitrogen concentration, nitrogen saturation

1. はじめに

近年、渓流地域における窒素飽和現象が問題視されている¹⁾。その原因としては、森林作用の変化や降水中の窒素化合物含有量の変化などが考えられる。またその結果として、水源ダムの富栄養化や下流域の生態系の回廊的变化が危惧されている。渓流域からの過剰な窒素の流出は、わが国では埼玉県、東京都、群馬県などの関東地方の渓流で確認されており、特に群馬県内では降水と渓流水の双方から高濃度の窒素が確認されている。

足尾地域は渡良瀬川の源流に当たる。この地域は栃木県の西部に位置し、群馬県と隣接しているため、群馬県と同様な窒素飽和の可能性が考えられる。

またこの地域では、長年におわたる銅山開発により山林や土壌が失われてしまったが、現在、治山事業が本格化して50年の節目が過ぎ、植生の回復が進みつつある²⁾。この地域の最上流部の足尾砂防堰堤より上流側は、3つの小流域に分けられ、各流域で植生の回復状況が著しく異なっている。これら小流域ごとに窒素流出の状況に相

違が見られるか、興味のあるところである。

そこで本研究では、足尾地域における窒素動態の基礎的な知見を得ることを目的として、この地域での水質調査を行った。

2. 調査地点および調査方法

(1) 足尾地域の概要

足尾地域は栃木県の西部、群馬県との県境の地域である(図-1参照)。地形は庚申山、皇海山、赤倉山、中倉山、備前楯山など2000m前後の高い山々に囲まれた山岳地帯である。庚申山から仁田元川、皇海山からは松木川、社山・半月山からは久蔵川の三川が流れ出ている。この三川は足尾砂防堰堤の上流で合流し松木川となる。その後、神子内川と合流し渡良瀬川となる。

地質は頁岩を主とする古生層(砂岩・粘板岩・チャート等)を基盤とし、これらに火山活動が加わり、花崗岩類および石英斑岩等の各種半深成岩の貫入が行われ、



図-1 足尾地域の位置

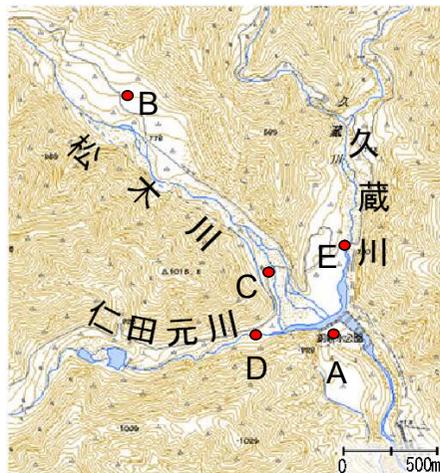


図-2 調査地点



写真-1 雨水採取装置 (B地点)

表-1 調査実施日

No.	年月日
1	2010.09.02
2	2010.09.17
3	2010.10.07
4	2010.10.15
5	2010.11.11
6	2010.11.16

これらの基岩類を覆って、流紋岩・安山岩類または火山砕屑類がみられる。足尾地域の荒廃地のほとんどは表土が流出し、基岩がむき出しになっている。

(2) 調査地点および調査方法

図-2に今回の調査地点を示す。地点AとBはそれぞれ、足尾砂防堰堤の手前の親水公園にある環境学習センターの裏手、松木川の脇の草原である。ここには、降水の水質を調べるため、簡易な雨水採取装置を設置した(写真-1)。この装置は、地上からの跳ね返りや虫の混入を防ぐために高さのある台に取り付けた。また異物の混入を防ぐために、雨水を集めるルートにはネット(目の細かいふるい)をかぶせた。

地点C, D, Eでは、それぞれ松木川、仁田元川、久蔵川の水を採取するとともに、水温と溶存酸素、水深と流速を測定した。水温と溶存酸素は、溶存酸素計を用いて計測した。水深はアルミスタッフを用いて、左岸、右岸、中央の2点で測定し、同じ場所で流速を電磁流速計により測定した。

各地点で採水したサンプルは研究室に持ち帰り、主として窒素に関する定量分析を行った。アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素はイオンクロマトグラフ法で濃度を測定した。有機態窒素と全窒素の分析については外部委託した。

表-1に調査の実施日と作業内容を示す。9月から11月にかけて、計6回の調査を実施した。第1回調査では、雨水採取装置を初めて設置したので、雨水は採取していない。またその設置作業に時間がとられて、流量観測ができなかった。

3. 調査結果および考察

(1) 観測結果の概要

図-3に降水量の観測データを示す。10月初旬までは降雨の機会が多いことがわかる。調査はその合間を縫うように実施してきたといえる。10月に入ると、降水は減少傾向となる。このことは、流量に直接的に影響する。図-4は流量の観測結果を示したもので、9月をピークに減少していることがわかる。3つの河川を比べると大きい順に、松木川、久蔵川、仁田元川となる。これはおおむね、流域面積の大小と一致しているようである。

図-5に水温の観測結果を示す。9月から11月へと単純に6℃ほど大きく低下している。図-6は溶存酸素の観測結果である。9月から11月へと単純に上昇する傾向が見られる。これは、夏の終わりから冬に向かって、酸素を必要とする生化学的な活動や反応が弱まってきたためと考えられる。

(2) 水質分析結果の概要

本研究で水質分析をした項目のうち、亜硝酸性窒素は、多くの場合、ほとんど検出されなかった。そこで、アンモニア性窒素、硝酸性窒素、無機態窒素、全窒素の分析結果を図-7～図-10に示す。

これらの図から、雨水の水質に関しては、環境学習セ

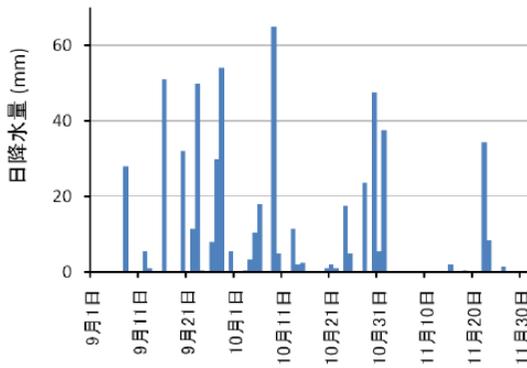


図-3 降水量の観測データ(足尾観測所)

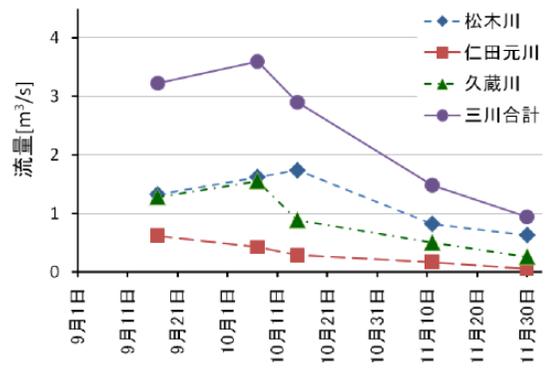


図-4 流量の観測結果

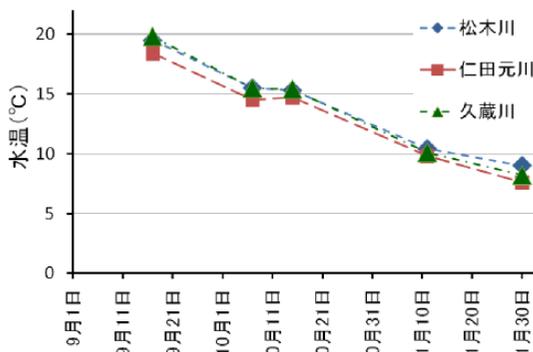


図-5 水温の観測結果

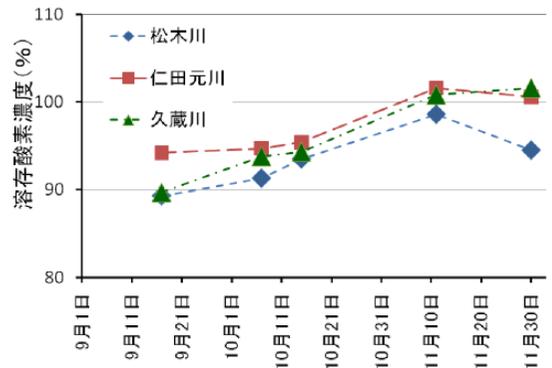


図-6 溶存酸素濃度の観測結果

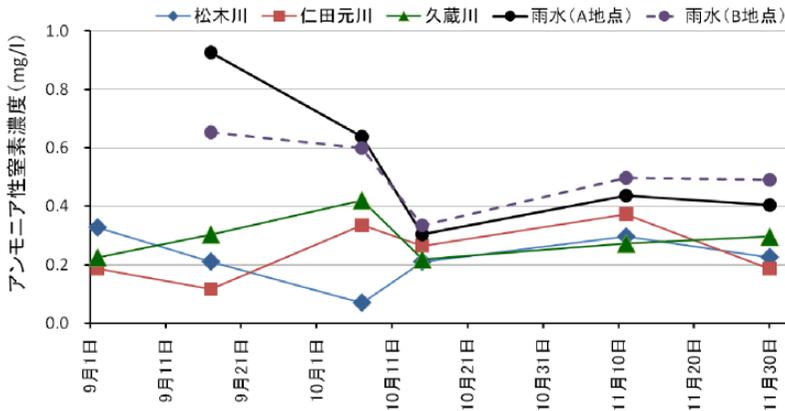


図-7 アンモニア性窒素の分析結果

ンター（地点A）と松木川流域（地点B）ではそれほど相違がないことがわかる。今後の観測に際しては、アクセスのしやすい環境学習センターの1か所に雨水採取装置を設置すればよい。

また図-7と図-8を見ると、アンモニア態窒素については、雨水のほうが河川水より大きいのに対し、硝酸態窒

素では大小が逆になっている。ここに、降水から河川に流出するまでの変質作用がうかがわれる。これらを合わせた無機態窒素（図-9）は、雨水と河川水はほぼ等しい濃度になっている。ただし、濃度だけを比較するのではなく、降水量や流量を考慮した物質質量全体を考慮する必要がある。今後の課題としたい。

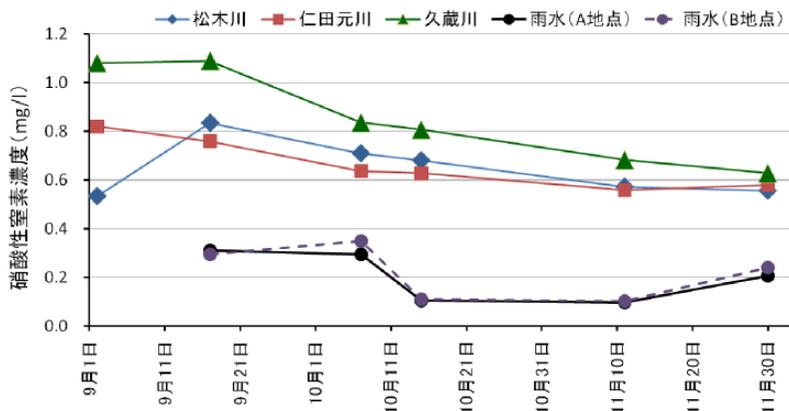


図-8 硝酸性窒素の分析結果

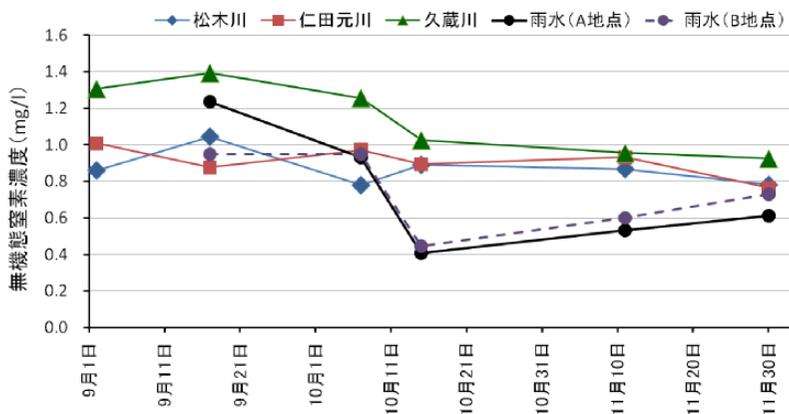


図-9 無機態窒素の分析結果

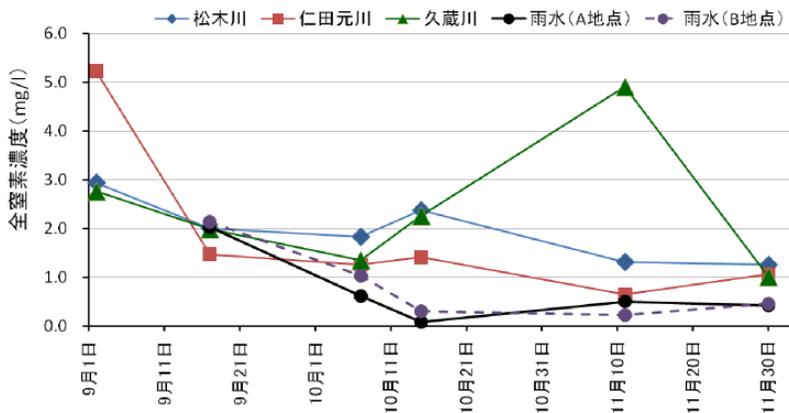


図-10 全窒素の分析結果

図-10では、異常に大きな値を見せる部分があるが、それを除けば、おおよそ同じ濃度になっている。ただし微妙なところではあるが、久蔵川と仁田元川に比べて、松木川の濃度が若干高いように見受けられる。

(3) 植生量の相違による窒素濃度の変化

足尾砂防堰堤より上流側の松木川、久蔵川、仁田元川について、流域の特徴を比較したものを表-2に示す。ここで、植生面積は流域面積から裸地面積（2000年の航空写真を判読³⁾）を差し引いたものである。流量は、観測

表-2 3河川の流域の特徴

河川名	流域面積 (km ²)	植生面積 (km ²)	植生面積率 (%)	比流量 (m ³ /s/km ²)
松木川	31.2	21.6	69.2	0.0394
久蔵川	17.8	17.3	97.2	0.0504
仁田元川	7.3	6.6	90.4	0.0425

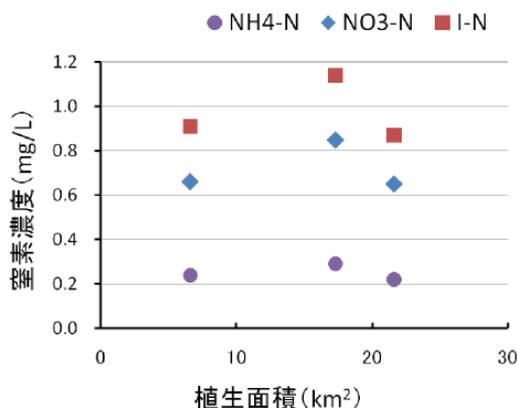


図-11 植生面積と窒素濃度

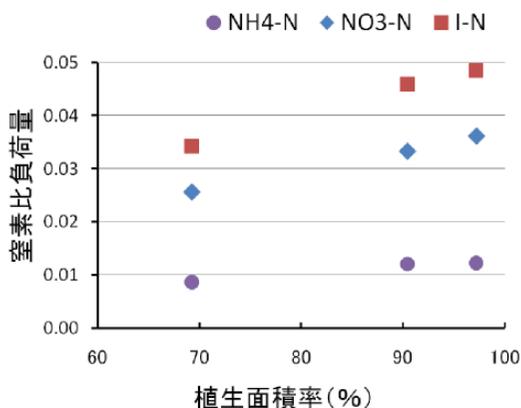


図-12 植生面積率と窒素比負荷量

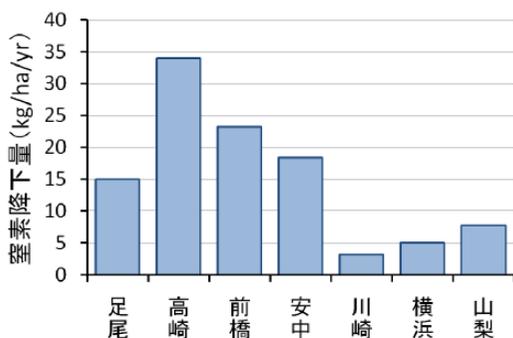


図-13 降水による窒素降水量の比較

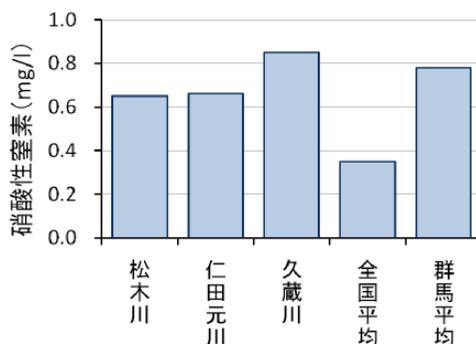


図-14 河川水の硝酸性窒素濃度の比較

結果を単純に算術平均した。この表を見ると、流域面積が大きいほど、流量も大きい。ただし、植生の回復率が流域で異なるので、厳密にはその影響も考慮する必要がある。そこで、流量を流域面積で除した比流量で比較する。まず、植生面積率がほぼ同じ久蔵川と仁田元川を比較すると、流域面積の大きい久蔵川のほうが比流量が大きい。流域面積の効果が非線形的に現れている。つぎに久蔵川と松木川を比べると、松木川のほうが流域面積の割には流量が小さい結果になる。これは、平水時には植生面積率の大きいほうが保水力を発揮して流量を保っているものと思われる。

図-11は、3河川の平均窒素濃度を比較したものである。これを見ると、植生面積では明確な傾向は見られないよ

うである。ただし、これを植生面積率で見直せば、植生面積率が小さい松木川は他の2河川よりも窒素濃度レベルが低く、植生面積率の大きい仁田元川と久蔵川で比較すると、流域面積の大きい久蔵川の窒素濃度レベルが高くなっている。また窒素濃度に比流量を乗じた比負荷量でみると、図-12のように植生面積率に対して右上がりの傾向を示す。しかし植生により窒素が吸収されるという仕組みを考えると、植生の少ない松木川の窒素濃度レベルが最も高くなるべきで、今後検討すべき課題である。

(4) 他地域との窒素濃度の比較

図-13は、今回観測した降水の9月～11月における平均無機態窒素濃度と年降水量から算出した窒素降水量

(kg/ha/yr)を他地域のものと比較したものである。これを見ると、群馬県内の降水量が関東の他の地域に比べて極めて多く、足尾地域の値もそれに準ずるものになっていることがわかる。特に、窒素飽和が起こるとされる一つの判断基準が窒素降水量10kg/ha/yrといわれており、足尾地域でも窒素飽和現象が発生している可能性が十分に考えられる。

つぎに河川水の硝酸性窒素濃度を比較したものが、図-14である。これより、足尾砂防堰堤上流の3河川では、硝酸態窒素の濃度レベルが全国平均の2倍かそれ以上になっており、群馬県平均と同レベルであることがわかる。

以上より、足尾地域の降水および渓流水の窒素濃度は、他地域と比べると明らかに高く、高濃度といわれる群馬県の値に匹敵するほどであるといえる。

4. おわりに

本研究では、渡良瀬川源流の足尾砂防堰堤上流域において、降水と3河川(松木川、久蔵川、仁田元川)の窒素濃度を調査した。その結果、降水による窒素降水量と河川水の窒素濃度ともに、全国平均を大きく上回る値となった。関東地方で高濃度といわれる群馬県での平均値にも匹敵する値であり、足尾地域で窒素飽和現象が生じている可能性を十分に示唆している。

ただし、今回の観測は9月～11月の限られた期間のものであり、今後はより長い期間で観測を継続していく必要がある。また河川水における窒素濃度だけではなく、河川の流量も考慮して、窒素がトータルでどれだけ流出しているのか検討す

る必要がある。

今回の観測では、松木川、久蔵川、仁田元川の3河川について窒素の濃度の相違が認められた。窒素濃度に比流量を乗じた比負荷量が植生面積率とともに増加する傾向がみられた。しかしそれが植生量の相違に起因するものかどうか明確な説明ができなかった。水質観測だけでなく、既存資料の分析や窒素循環モデルの構築など、多面的な検討が必要である。

謝辞：本研究を実施するに当たり、群馬工業高等専門学校 青井 透 教授にはご助言と雨水採取装置をいただきました。そして現地観測の実施に当たっては、日光市教育委員会事務局生涯学習課世界遺産登録推進室の高橋敏明 副主幹には大変お世話になりました。また(財)河川環境管理財団の河川整備基金助成事業(平成22年度)の助成をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 古米 弘明・青井 透・阿部 徹：大気由来窒素に着目した流域の窒素収支に関する研究，河川環境管理財団，2009。
- 2) 秋山智英：森よ、よみがえれ—足尾銅山の教訓と緑化作戦，第一プランニングセンター，1990。
- 3) 戸館 光・池田 裕一・田中 洋・大田 為倫・岡本 隆明：MODIS データと空中写真を利用した足尾地域の植生判読に関する研究，第 39 回環境システム研究論文発表会講演集，2011(印刷中)。

(2011.8.8 受付)

PRIMARY WATER QUALITY SURVEY ON NITROGEN CONCENTRATION OF MOUNTAIN STREAM IN ASHIO BASIN

Hirokazu IKEDA, Tatsuya OHNO, Kei-ichi AIDA, Taka-aki OKAMOTO

Recently, nitrogen saturation in mountain rivers has become a very important issue. Especially, discharge with high concentration of nitrogen has been reported in Gunma Prefecture. Ashio Basin is located in the west part of Tochigi Prefecture and borders on Gunma Prefecture. Therefore, Ashio Basin seems to suffer from nitrogen saturation. And the forests in this area was once almost lost by copper mine development and forest fire. The forests were now being recovered, which may have some influences on nitrogen circulation in this area. The present study performed water quality survey on three streams above Ashio debris dam, Matsuki River, Nitamoto River, and Kyuzou River for three month. It is clarified that nitrogen concentration in Ashio mountain streams is as high as that in Gunma Prefecture. And it was shown that the nitrogen concentration of Kyuzou River, with rich vegetation, was higher than that of Matsuki River, with poor vegetation, which suggests an effect of vegetation on the nitrogen saturation in Ashio Basin.