

森林小流域における窒素の動態に及ぼす諸要因の影響

前橋工科大学大学院 工学研究科 学生員 ○小菅香苗
前橋工科大学工学部 建設工学科 正会員 土屋十閑
前橋工科大学大学院 工学研究科 学生員 縄田孝彦

1. はじめに

流域水環境を評価する上で、源流部にあたる山地森林流域からの物質流出機構を解明することが不可欠である。従来から、森林流域には水質浄化機能があるといわれているが、それに関する科学的実証はなされていない。また、昨今では主に関東山地の一部の森林流域において、長期的に窒素の流出量が収入量を上回る窒素飽和現象が報告されており¹⁾、森林流域における窒素の流出機構の解明が早急に求められている。

そこで本研究では、未だ林分が未閉鎖である幼齢林、スギの壮齢林、およびコナラ壮齢林の3つの森林域を対象として、降雨から流出までの水移動に伴う窒素の動態を把握し、さらにそれに及ぼす諸要因の影響を解明することを目的とし、調査・検討を行った。

2. 調査概要

対象とした流域は、利根川源流部である群馬県川場村内の幼齢林試験地と、これに近接する針葉樹壮齢林（以下、スギ林）試験地、および広葉樹壮齢林（以下、コナラ林）試験地である。

幼齢林試験地の標高は800~920mという山地流域であり、流域面積は9.5haである。畑地であった地域にナラ、クヌギ等が植林され、2~7年が経過している。

スギ林試験地は50年生前後のスギに覆われており、定期的の間伐が行われている。樹林地の面積は0.384ha、樹高は平均17m程度である。

コナラ林試験地は50年生前後のコナラを主としており、数本のアカマツが混在している。樹林地の面積は約0.5haで、人為的管理は行われておらず林床には倒木が目立つ。

これら3流域において林内外雨、土壤水、および渓流水についてそれぞれ水質の調査を行った。ただし、渓流水については河川流出のある幼齢林試験地のみで行った。採水は2003年3月から2004年11月までの月1、2回、計16回の一連の降雨イベント終了後に行った。また、土壤水については融雪期にも採水した。降水は各流域2カ所ずつに、ロート型の採水装置を設置し採取した。土壤水は土壤層20~100cmの3、4箇所にてポーラスカップ吸引法により採取した。測定項目はT-N（熱分解法）、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- （イオンクロマトグラフィー）とした。

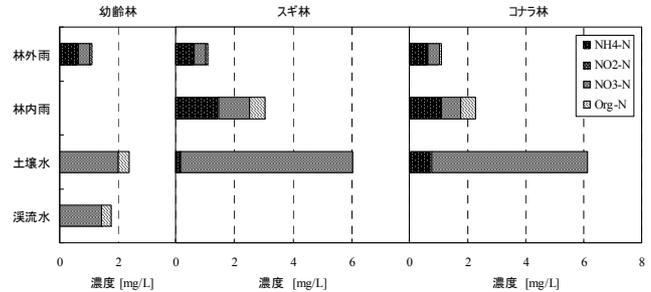


図-1 各試験地における窒素濃度

3. 幼齢林流域と壮齢林流域の窒素の動態

調査期間中の各試験地における窒素濃度を、全調査結果の平均値として図-1に示す。スギ林およびコナラ林では樹冠通過により $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が上昇し、その上昇率はコナラ林よりもスギ林で高かった。これは、スギは針葉樹であるため葉の比表面積が大きく、樹体の乾性沈着量や溶脱量が多いためであると推察される。また、土壤水のT-N濃度は幼齢林に比べスギ林およびコナラ林ではるかに高く、それらの濃度は幼齢林土壤水の約2.5倍、林外雨の約5.5倍という結果であった。幼齢林の土壤においても主に $\text{NO}_3\text{-N}$ の濃度が増加するが、T-N濃度は林外雨の2倍程度であった。しかしながら、幼齢林における渓流水の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は、平均値で1.42mg/Lと文献値²⁾に比べ高いことがわかった。

また、スギ林およびコナラ林試験地では、土壤中に存在する窒素のほとんどが植物に吸収されやすい $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ の形であるのに対し、幼齢林試験地では、Org-N（有機態窒素）が土壤水中に存在しており、渓流水としてもほぼ同じ濃度で流出していることがわかった。これらのことから、幼齢林の土壤内に窒素の固定や無機化を行う微生物が十分に存在していないか、あるいはその活動が活発でなく、窒素のスムーズな循環経路が成り立っていないものと考えられる。

4. 降水の窒素濃度と無降雨時間との関係

群馬県における河川水中の NO_3^- 濃度は他地域より著しく高いことがすでに報告されている³⁾。この周辺地域では、降雨における NH_4^+ または NO_3^- 濃度が高いことが報告されており、このことが森林域からの高濃度の NO_3^- 流出に反映しているものと考えられている⁴⁾。

本研究においても全国的にみて高濃度の NO_3^- 流出が認

キーワード：森林小流域、幼齢林、壮齢林、窒素飽和現象、重回帰分析

連絡先：〒371-0816 前橋市上佐鳥町460-1 Tel. 027-265-7355 Fax. 027-265-7355

められたため、降雨の窒素濃度に及ぼす諸要因の影響を解明する必要があると考え、林外雨と林内雨についてNH₄⁺およびNO₃⁻濃度と、対象とした降雨前の無降雨時間との関係について検討を行った。ただし、より高い精度の結果を得るため、一連の降雨イベント直後に採水できた場合のみのデータを用いた。

結果を図-2に示す。林外雨、林内雨ともに無降雨期間が長いほどNH₄⁺、NO₃⁻濃度が高いことがわかり、濃度の上昇は特にスギ林内雨において無効雨時間の影響を受けやすいことが明らかとなった。このことは、降雨に含まれる窒素は大気に由来する物質が多く、特に乾性沈着の洗脱によって森林へ降下するものの割合が高いことを示している。

5. 重回帰分析による壮齢林土壌水の窒素濃度の予測

各試験地における土壌水の T-N 濃度の調査結果から、幼齢林試験地においては年間を通して2mg/L 前後でありほとんど変化がみられないのに対し、スギ林試験地においてはおよそ4~9mg/L とばらつきがあることがわかった。しかしながら、それらは必ずしも直近の降雨量や林外雨の濃度に支配されるとは限らず、さまざまな要因の影響を受けるものと考えられた。

壮齢林土壌の T-N 濃度を支配する要因として、直近の降雨量(mm)、先行降雨量(mm)、先行降雨から直近の降雨開始までの時間(h)、林内雨 T-N 濃度(mg/L)、さらには季節変動という5つ要素が考えられる。ここで、スギ林土壌水の T-N 濃度を目的変数、4つの量的要因を説明変数、季節変動という質的変数をダミー変数として扱い、重回帰式による検討を行った。用いた各変数を表-1に示す。解析の結果、壮齢林土壌水の T-N 濃度(y)を求める式は(1)式ようになった。

$$y = 0.0231x_1 - 0.00962x_2 + 0.00945x_3 + 0.757x_4 + 1.55z_1 - 0.883z_2 + 1.70 \quad (1)$$

ここで、x₁:総降雨量、x₂:先行降雨量、x₃:無降雨時間、x₄:林内雨 T-N 濃度、z₁:季節変数(夏)、z₂:季節変数(冬)を示す。寄与率r²=0.884、重み付相関係数としてr²=0.784を得、壮齢林土壌水の T-N 濃度と、5つの諸要因に高い相関関係が示された。このことから、壮齢林土壌水の T-N 濃度は、直近の総降雨量、先行降雨量、無降雨時間、および林内雨の T-N 濃度に支配され、これらのデータを用いることで推定することが可能であるものと考えられる。

6. まとめ

森林小流域における窒素の動態を把握し、それに影響する諸要因の解明を行うために、幼齢林試験地と2つの壮齢林試験地において調査・検討を行った。その結果、幼齢林試験地においてNO₃⁻の流出が他地域より多く、下流域への影響が懸念されることが明らかとなった。このことには、

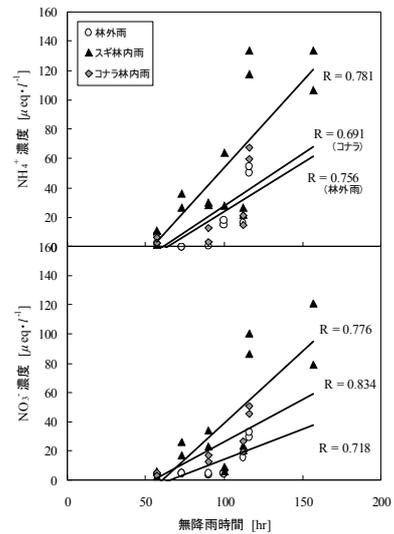


図-2 降雨の無機態窒素濃度と無降雨期間との関係

表-1 重回帰分析に用いた各パラメータ

総降雨量 x ₁	先行降雨量 x ₂	無降雨時間 x ₃	林内雨 T-N 濃度 x ₄	季節変数 (ダミー) 夏 z ₁	季節変数 (ダミー) 冬 z ₂	T-N濃度 y	採水日
16.5	11.5	120	3.11	1	0	6.53	2003/7/25
11.5	6.5	104	4.47	1	0	6.59	2003/8/8
51.5	2.0	73	1.04	1	0	5.90	2003/8/10
8.0	2.0	136	3.72	0	0	5.49	2003/9/3
88.0	8.5	170	1.44	0	0	6.08	2003/9/22
44.0	3.0	298	2.53	0	1	6.48	2003/11/14
41.5	39.5	100	0.70	0	1	4.02	2003/12/2
72.5	34.0	53	1.46	0	0	5.08	2004/5/21
23.0	2.5	33	2.97	0	0	5.54	2004/6/17
7.0	1.0	210	4.10	1	0	9.26	2004/8/2
21.0	17.0	116	3.70	1	0	8.39	2004/8/16
104.0	100.5	57	0.35	0	0	3.40	2004/10/11
8.0	84.0	112	0.98	0	1	1.95	2004/10/29
21.0	8.0	90	0.85	0	1	1.64	2004/11/2

大気中の窒素酸化物に由来する窒素降下量が多いことや、土壌内の微生物と植物を介する窒素の循環経路が未だ確立されていないことが起因しているものと考えられた。また、重回帰分析による検討の結果、スギ壮齢林土壌水の T-N 濃度には降雨のパターンや林内雨の T-N 濃度が影響していることが明らかとなり、各説明変数と目的変数との寄与率から、夏期、無降雨状態が続いたときには土壌水の T-N 濃度が上昇することが予測された。このような場合には森林流域への窒素供給が過大になり、循環系外への流出が懸念される。以上のことから、特に本研究の対象試験地とした幼齢林では、窒素のスムーズな循環経路が確立されるような適切な森林管理が行われるべきであるものと考えられる。

参考文献

- 1) 大手信人ら：森林流域からのNO₃流出,水利科学, No.268, pp.41-53, 2002.
- 2) 國松孝男,村岡浩爾：河川汚濁のモデル解析, 技報堂出版,1989.
- 3) 柴田英昭：プロトン収支から森林河川の水質を考える, 日本水環境学会誌, Vol.27, No.9, pp.579-583, 2004.
- 4) 戸田浩人ら：全国大学演習林における渓流水質, 日林誌, No.82 Vol.3, pp.308-312, 2000.