

## 森林流域における硝酸の年間流出量に及ぼす出水時の影響

—茨城県城里町のスギ人工林流域における 2010 年の解析結果—

篠宮佳樹, 小林政広, 坪山良夫 (森林総研)

**要旨:** 森林流域を単位として年間の窒素収支を見積もる際、溪流からの窒素流出量に出水時の影響が加味されないと窒素流出量は過小評価になると指摘されている。茨城県のスギ人工林を主とする2流域(流域面積 59.9ha, 2.3ha)において硝酸の年間流出量に及ぼす出水時の影響を定量評価し、その影響について考察した。出水時の影響は週1回の頻度で定期採水されたデータから作成した LQ 式(流量と硝酸流出量との回帰式)を使って求めた年間の硝酸流出量と定期採水に出水時のデータも加えて作成した LQ 式より求めた硝酸流出量とを比較することで評価した。出水時を加味した場合の硝酸流出量は、しなかった場合の 1.9 倍及び 1.0 倍で、既往の報告の範囲内にあったが、2つの流域で出水時の影響程度に違いがみられた。前者の流域に比較して後者の流域は出水時の直接流出が少なく、出水時の硝酸濃度も前者の流域ほど高くない傾向であった。後者の流域は出水の影響が表れにくい特徴があると考えられた。森林流域における硝酸の年間流出量に及ぼす出水時の影響の程度に関して、流域の流出特性が関与することを示した。

**キーワード:** 森林, 硝酸, 流出量, 出水時

### I はじめに

森林生態系における物質循環や近年では窒素飽和現象の解明の一貫として、集水域を単位として窒素収支が求められてきた。出水時に流量増加とともに硝酸イオン濃度も上昇するため(7), 出水時の窒素流出量は多くなる。しかし、水質調査は毎週ないしは隔週に1回程度で行われることが多いため、年間の窒素流出量は過小評価になると指摘されている(1,3など)。既往の報告(3,4,5,9)によると、出水時を考慮した(硝酸態)窒素の年間流出量は考慮しない場合の1~2倍増えるとされ、その影響にはばらつきがみられる。影響要因に関する知見を得ておけば、出水時の調査を実施せずに出水時の影響程度を推定することができ有用である。ただし、既往の報告はそれぞれ立地条件、算出方法などが異なるため、影響要因に関して比較検討することが難しい。そこで、比較的条件的同じ2つの流域で出水時の影響を定量評価し、その影響要因について考察した。本報では、その初期解析として 2010 年における解析結果について報告する。

### II 研究方法

調査は、茨城県城里町の北山国有林に位置する、桂谷

津谷流域(KL), その上流に設定された桂試験流域(KU)で行った。年雨量は 1483mm, 平均気温 13.7°Cである(8)。いずれも地質は堆積岩で、その上に火山灰が覆っている。植生は主としてスギ人工林(約 40 年生)で、斜面上部はコナラにアカマツなどが混じる落葉広葉樹林である。ただし、流域面積(KL 流域 59.9ha, KU流域 2.3ha), 起伏比(それぞれ 0.11, 0.39)は異なっている。KL 流域内の開けた 2 地点で雨量を測定し、補正して使用した。三角堰と水位計を流域末端に設置して流量を観測した。流量堰の直上に自動採水装置(ISCO 製 model6700 など)を設置し、1時間間隔(流量逓減時は適宜間隔を調整した)で水質分析用試料水を採集した。硝酸濃度は 0.45 $\mu$ m のフィルターでろ過後、イオンクロマトグラフ法(DIONEX 製 DX320)で測定した。出水時の影響の検討は、週1回の定期採水データから作成した LQ 式を使った硝酸の年間流出量と定期採水に出水時のデータを加えて作成した LQ 式を使った硝酸の年間流出量を比較することにより行った。2010 年の年雨量は 1703mm, KL 流域, KU 流域の年流量はそれぞれ 850mm, 771mm であった。出水時のサンプリングは 2010 年 6 月から 12 月までの 13 イベント(総雨量 15~74 mm)で実施した。

Yoshiki SHINOMIYA, Masahiro KOBAYASHI, Yoshio TSUBOYAMA ( For. and For. Prod. Res. Inst., Matsunosato 1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687, Japan ), The influence of flood event to annual output of nitrate in a forested watershed—A case study in a artificial forested watershed in Ibaraki, Japan in 2010—

### III 結果及び考察

1. 出水時の影響評価 KL流域について出水時を考慮しなかった場合、及び出水時を考慮した場合の硝酸の年間流出量はそれぞれ  $1.8\text{kg-N ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ 、 $3.5\text{kg-N ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ であった。KU流域はどちらの場合も  $2.1\text{kg-N ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$ であった。その結果、出水時を考慮した場合の硝酸の年間流出量は考慮しなかった場合の1.9倍(KL流域)、1.0倍(KU流域)に相当した。値そのものは既往の報告とほぼ同じような値であったが、2つの流域で出水時の影響程度に違いがあった。

2. 出水時の流量、硝酸濃度の変動特性 KL流域に比較してKU流域は最大流量が小さく、かつ直接流出率も低かった。硝酸濃度もKL流域ほど上昇しなかった(図-1)。このことは他の出水時でも繰り返し観察された(表-1)。

3. 出水時の影響要因 出水時の影響程度に違いが認められた要因は2流域の流出特性が異なるためと考えられる。KL流域に比較してKU流域では流出が遅れる傾向にあり、出水時に流量は増えにくく、硝酸濃度も上昇しにくい。その結果、出水時を含む場合と定期採水のみの場合の流量-硝酸濃度(流出量)の関係の変動が小さかった。なお、KU流域で流出が遅れる要因としては、火山灰の堆積による厚い土層の影響、及び基岩中の割れ目を通じた水移動の2つの影響が考えられる(6)。また、流域面積が大きくなると流出特性が均質化されること、流域全体に対する河道やライパリアンゾーンの比率が高くなること指摘されており、KL流域は流出の平準化の影響か、河道やライパリアン等の流出に寄与しやすいとみられる場所の比率がKU流域より高いことにより直接流出が多い可能性が考えられる。

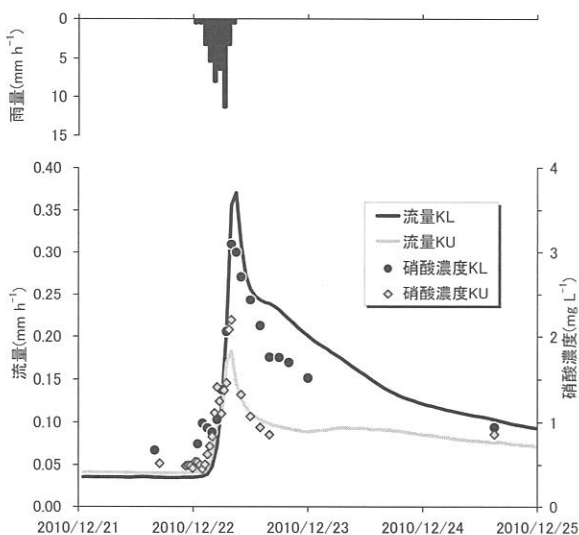


図-1. 2010年12月の出水時(総雨量39mm)における雨量、流量及び硝酸濃度の変化

表-1. 2流域の出水時の流出特性の比較

	総雨量 (mm)	直接流出率(%)*		出水中の硝酸濃度最大値(mg L <sup>-1</sup> )	
		KU	KL	KU	KL
6/30	25.3	13	31	0.9	1.8
7/7	73.8	42	50	3.0	3.6
10/28	28.6	6	21	1.0	2.4
12/22	39.3	7	21	2.2	3.1

\*流量増加開始時から(2)の基底流出の上昇率( $0.55\text{ L s}^{-1}\text{ km}^2\text{ h}^{-1}$ )を加算した流量と実際の流量が一致するまでの期間の積算流量を直接流出とし、その直接流出量の当該降雨の総雨量に対する比率

### IV 謝辞

本研究では、茨城森林管理署管内北山国有林を試験地として借用させていただいた。本研究の一部は環境省公害防止等試験研究費「大都市圏の森林における窒素飽和による硝酸態窒素流出に関する研究」によって行われた。ここに謝意を表す。

### V 引用文献

- (1) Ahearn DS, Sheibley RW, Dahlgren RA, Keller, KE. (2004) Temporal dynamics of stream water chemistry in the last free-flowing river draining the western Sierra Nevada, California, *Journal of Hydrology*, 295: pp.47-63.
- (2) Hewlett JD, Hibbert AR. (1967) Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. *International Symposium on Forest Hydrology*: pp.275-290.
- (3) 國松孝男・須戸幹(1997)林地からの汚濁負荷とその評価, *水環境学会誌*, 20: pp. 810-815.
- (4) 國松孝男・駒井幸雄(2004)農林地の水質化学研究の新展開, *環境技術*, 33: pp. 364-370.
- (5) 黒田久雄・田淵俊雄・菊池英樹・鈴木正道(1991)森林小集水域における流出水の濃度と流出負荷, *農業土木学会論文集*, 154: pp. 25-35.
- (6) 恩田裕一・小松陽介(2001)ハイドログラフの比較による遅れた流出ピークと山体地下水の関連, *水文科学会誌*, 31: pp. 49-58.
- (7) 篠宮佳樹・山田毅・稲垣善之・鳥居厚志(2006)四万十川源流部の森林における降雨時の硝酸態窒素流出特性, *水環境学会誌*, 29: pp. 723-729.
- (8) 釣田竜也・吉永秀一郎・阿部俊夫(2009)Buckingham-Darcy 式を適用した森林土壌下層部の鉛直水フラックス推定, *日林誌*, 91: pp. 151-158.
- (9) 釣田達也・大貫靖浩・清水貴範(2010)北部九州の森林小流域における降雨イベント時の渓流水質の変動特性, *九州森林研究*, 63: pp. 121-123.