

秋田県由利地区スギ人工林における窒素・硫黄の流入・流出特性

秋田県立大学自然生態系科学研究室 ○梅津 善行、石川 祐一、日高 伸

1、はじめに

人間活動の発展に伴い窒素・硫黄の大気からの負荷量は増加しつつある^[1]。物質循環機能を持つ森林生態系での窒素・硫黄の挙動を把握することは、耕地や河川などの系外へ与える影響を考える上で重要であると考えられる。

森林生態系を巡る窒素の挙動については、欧州や南関東の多摩丘陵などを中心に様々な報告があるが^{[1][2][3]}、秋田県では報告事例は少ない。そこで、本研究では秋田県3大水系の1つで、流域面積は3大水系中では最小の子吉川流域に着目した。子吉川流域内の秋田県由利地区スギ人工林にて、森林生態系へ降水から流入した窒素・硫黄と沢水・湧水から流出した窒素・硫黄を比較して、降水量・地形・森林生態系が窒素・硫黄の流入・流出特性に与える影響を明らかにすることを目的とした。

2、研究方法

本研究の調査地旧由利町は、山地70%平野部30%で農山地を構成しており、子吉川が縦断している。気象庁矢島観測所の気象データより2008年の年間降水量は1753mm、年間平均気温は11.2℃であった。土地分類データ(国土交通省、国土数値情報ダウンロードサービス、昭和54年度作成)によると、大部分が黒ボク土が占め、一部に沖積土が点在している。調査地では、水田が多くみられ、一部が転換畑となっている。

本研究は沢水(渓流水)、湧水(井戸)が近接する2地点を対象とした。GISソフトウェア(TNTlite ver7.3)を用い、標高データから集水域を作成し、地形解析を行い傾斜角度を求めた。さらに、衛星画像(ALOS AVNIR-2)からNDVI(正規化植生指数)による解析を行い集水域内の樹種の判別を行った。

2008年3月25日~11月27日にかけて降水・沢水・湧水を月2回採水しNO₃-N、NO₂-N、NH₄-N、T-N、SO₄-S、 $\delta^{15}\text{N}$ を定法により測定した。窒素濃度比を流出水中窒素濃度/降水中窒素濃度として求めた。値が1に近ければ窒素濃度が降水に近い事を表す。また、各集水域内のスギ人工林にて深度0-15、15-30cmに位置する土壌を採取した。土壌試料は可給態窒素の速度論的解析法を用いて、森林土壌表層の窒素無機化量を推定した。地温は推定式を用いて日平均気温から求めた^[4]。土壌試料のT-Nを乾式燃焼法にて測定した。

各集水域の森林面積と降水量から森林への流入水量を算出し、降水のT-N、SO₄-S濃度と乗じて森林への流入量とした。沢水は集水域1では三角堰と水位計、集水域2では電磁流速計(VP1000)を用いてH-Q曲線から水量を測定した。湧水の水量は、降水量から蒸発散量^[5]と沢水の水量を差し引いたものとした。森林生態系から外部へ流出する窒素の形態はほぼ全てがNO₃-Nとされている^[1]。硫黄に関しては、排水の良い好氣的な森林土壌では硫化物は存在せず、硫酸イオンが主体をなしている^[6]、沢水、湧水のNO₃-N濃度、SO₄-S濃度と流出水量を用いて窒素と硫黄の流出量を算出した。また、採水期間中の流出率(%)を流出量/流入量×100として求めた。

3、結果

集水域 1 は 1.26km²、集水域 2 は 1.29km²と同程度の大きさであった。集水域 1 では約 7 割が針葉樹で流出経路の傾斜は約 12 度、集水域 2 では針葉樹と広葉樹の割合がほぼ等しく傾斜は約 40 度であった(表 1)。

平均窒素濃度は、集水域 1 では降水 1.25mg/L 沢水 0.344mg/L 湧水 0.345mg/L、集水域 2 では降水 1.04mg/L 沢水 0.370mg/L 湧水 0.242mg/L となり、流出水濃度が降水に比べ低くなった(図 1)。集水域 2 では、降水量が多い期間に流出水窒素濃度が高くなる傾向があった。集水域 1 では降水量と湧水窒素濃度比の間に、集水域 2 では降水量と沢水・湧水窒素濃度比の間に有意な正の相関があり、集水域 2 の回帰式の傾きは集水域 1 に比べ大きくなった(図 2)。流出水中 $\delta^{15}\text{N}$ は -4.94~2.32‰ の範囲となり、降水が流出水に比べ低い傾向があり、湧水よりも沢水が高い傾向となった(図 3)。沢水に関しては 8 月までは 0‰ 未満だったが、9 月から 11 月にかけては 2‰ 付近へと上昇した。地下水に関しても、9 月から 11 月の期間は 0‰ を超える値が見られた。また、硫黄に関しては採水期間を通じて一定して流出水中濃度は降水中濃度よりも高い濃度を示した(図 4)。流出水中硫黄濃度は、降水中濃度や降水量等との間に有意な関係はなかった。

窒素流出率は共に 24%程度となった。採水期間中の窒素無機化量は、土壌表層(0-15cm)が下層(15-30cm)の約 3 倍となった(表 2)。また、森林土壌中の全窒素量が高い程、窒素無機化量が高くなっていた。森林土壌(0-30cm)の窒素無機化量は約 16,400kg/km² となり、降水による流入量約 1,100kg/km² より多量の窒素が供給されていた。硫黄流出率は共に 300%程度と森林生態系からの流出が顕著であった(表 3)。

4、考察

沢水・湧水中窒素濃度は、降水中窒素濃度よりも常に低いことから、森林生態系での緩衝作用が働いていると考えられる。傾斜の急な集水域 2 では、降水量が増加すると森林生態系内を流れる時間が短くなり、森林生態系の緩衝作用が弱まることで、流出水窒素濃度比が高くなったと考えられる。

$\delta^{15}\text{N}$ 値により窒素供給源をある程度推定でき、降水・生物窒素固定由来 -8~2‰、化学肥料 -7.4~6.8‰、下水処理水 8~15‰、家畜糞尿 10~20‰ [7][8][9][10] とされる。本研究の流出水の $\delta^{15}\text{N}$ 値と採水地点よりも標高が高い位置に水田や畑地が見られないことを考えると、集水域 1 と集水域 2 の窒素供給源は降水・生物窒素固定由来の可能性が高いと考えられた。土壌表層(0-15cm)での窒素無機化量は下層(15-30cm)の約 3 倍であったことから、湧水よりも表面流去水の影響を受けやすい沢水が窒素無機化の影響を強く受け $\delta^{15}\text{N}$ が高い傾向となったと考えられる。また、 $\delta^{15}\text{N}$ は、脱窒が起きた場合には上昇する [11]。流出水の $\delta^{15}\text{N}$ が 9 月から 11 月にかけて上昇しているのは、リターの分解、無機化、脱窒が促進された可能性が考えられる。9 月、11 月は、樹木からのリターの供給が行われる。リターによって、炭素、有機態窒素の供給やリターの集積によってより嫌気的な環境下となり、微生物の活性が高まり、分解、無機化、脱窒が促進されたため、 $\delta^{15}\text{N}$ が上昇したのではないかと考えられる。しかし、本研究では土壌内での $\delta^{15}\text{N}$ の挙動が不明瞭なため、森林土壌の流出水に与える脱窒や無機化の影響などの可能性を考えていく上で、土壌間隙水を採取し、測定していく必要があると考えられた。

本研究を行なった森林生態系の窒素流出率は欧州や南関東地方に比べ低く(図5)[1][2][3]、降水からの流入量よりも土壤中の窒素無機化量が15倍程度高いことから、森林生態系では系内の循環が流入に比べて大きいと思われる。一方、硫黄に関しては流出水中濃度が一定して高く、流出率が約300%と高くなったのは、岩石の風化や土壌からの溶脱による影響が考えられる。日本の褐色森林土の全硫黄現存量(0-1m)は約200t/km²、そのうちの無機態硫黄は30%程度と報告されている[12]。この土壌に多量に蓄積されている硫黄が流出水に溶脱していると考えられる。また、流出濃度は傾斜による影響はみられなかった。

窒素・硫黄は、流出率に関しては共に降水からの流入量の影響は少なかったが、流出濃度に関しては傾斜による影響に違いがみられた。本研究では、冬季の採水を行っていない。積雪時や融雪時の森林生態系からの窒素・硫黄の流出特性を明らかにするため、通年を通じてのモニタリングが必要と考えられる。また、傾斜や樹種による影響をより明確にしていくために、採水地点を増やして長期的なモニタリングが必要と思われる。

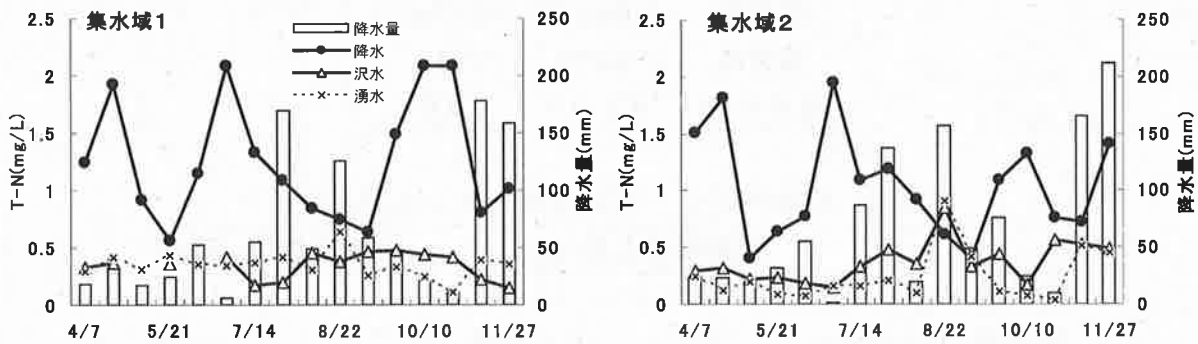


図1 各集水域での窒素濃度(mg/L)の変動

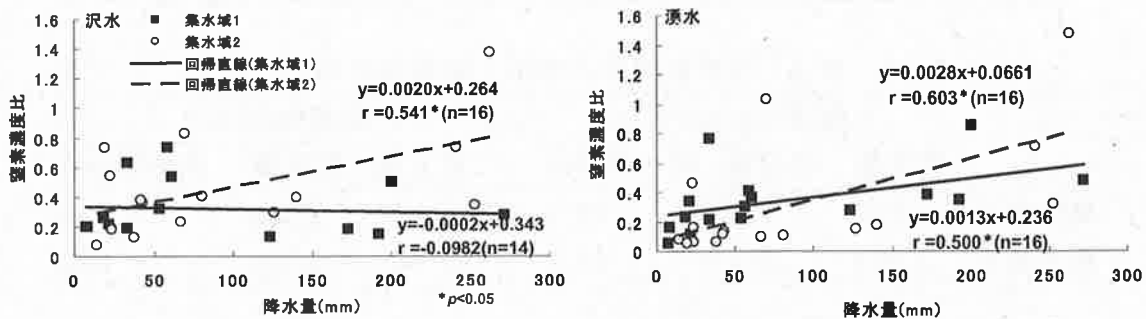


図2 runoff・streamflowと降水の窒素濃度比と降水量の関係

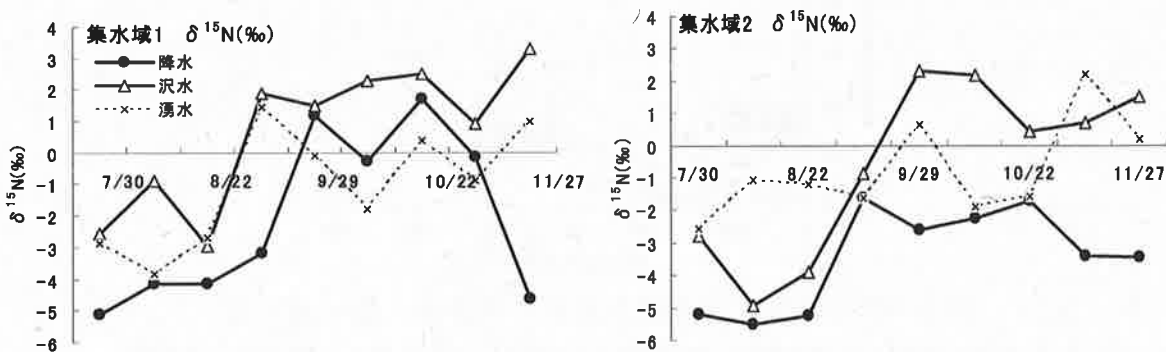


図3 降水・ runoff・streamflowのδ¹⁵N(‰)

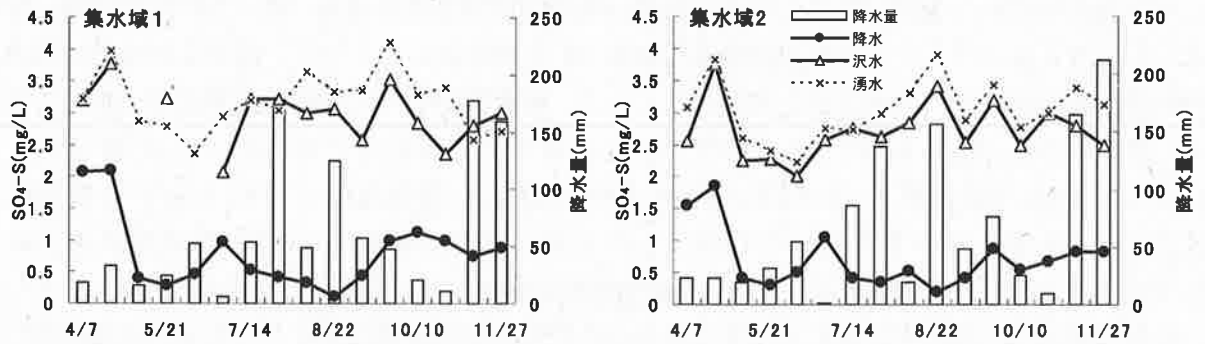


図4 各集水域での硫黄濃度(mg/L)の変動

表1 森林面積(km²)

	集水域1	集水域2
針葉樹	0.393	0.414
広葉樹	0.0637	0.474
混交林	0.0928	0.240
森林合計	0.549	1.13

表2 採水期間中の窒素無機化量と全窒素量

	窒素無機化量(kg/km ²)	全窒素量(kg/km ²)
集水域1(0-15cm)	11,300	928
集水域1(15-30cm)	5,390	416
集水域2(0-15cm)	12,500	1,020
集水域2(15-30cm)	3,590	369

表3 採水期間中の窒素・硫黄流出率

	窒素(kg/km ²)			硫黄(kg/km ²)		
	流入量	流出量	流出率(%)	流入量	流出量	流出率(%)
集水域1	1,180	275	23.3	761	2,240	295
集水域2	1,010	245	24.2	800	2,350	293

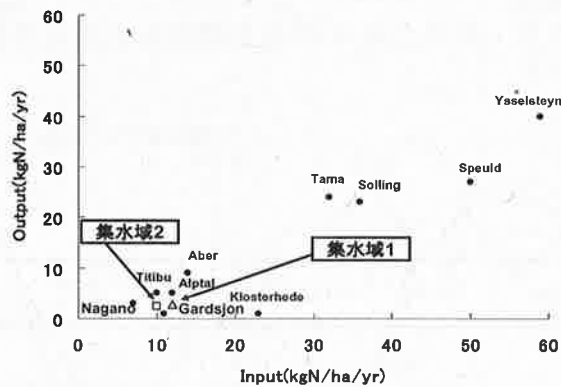


図5 欧州や日本の森林生態系の窒素流入量・流出量

* B.A. Emmettら(1998)、楊宗興ら(2004)、豊川泰ら(1990)から作図

引用文献

- [1]楊宗興・木平英一・武重祐史・杉山浩史・三宅義則(2004)、溪流水の NO_3^- 濃度と森林の窒素飽和、地球環境 vol.9 No1 : pp29-40
- [2]B.A.Emmett・D.Boxman・M.Bredemeier・P.Gundersen・O.J.Kjonaas・F.Moldan、P.Schleppi・A.Tietema・R.F.Wright(1998)、Predicting the Effects of Atmospheric Nitrogen Deposition in Conifer Stands:Evidence from the NITREX Ecosystem-Scale Experiments、Ecosystems vol.1 : pp352-360
- [3]豊川泰・荒井好郎・古畠修一(1990)、森林域における水収支と窒素、リンの収支、土肥要旨集 vol.36 : pp168
- [4]清水貴範・石塚成宏(2003)、気温データによる地中 5cm の地温データの補完方法の検討、九州森林研究 vol.56 : pp237-238
- [5]近藤純正・中園信・渡辺力・桑形恒男(1992)、日本の水文気象(3)ー森林における蒸発散量ー、水文水資源学会誌 vol.5 No.4 : pp8-18
- [6]谷川東子・高橋正通・今矢明宏(2004)、森林生態系における硫黄の循環と土壌の硫黄集積機構の意義ー土壌の硫黄集積とその理化学性ー、地球環境 Vol.9 No.1 : pp19-28
- [7]山本洋司・朴光来・中西康博・加藤茂・熊澤喜久雄(1995)、宮古島の地下水中の硝酸態窒素濃度と $\delta^{15}\text{N}$ 値、土肥誌 vol.66 No1 : pp18-25
- [8]石塚成宏・小野寺真一(1997)、 $\delta^{15}\text{N}$ 値による平地林浅層地下水における脱窒の検証：茨城県南西部常総台地の例、土肥誌 vol.68 No1 : pp1-7
- [9]熊澤喜久雄・山本洋司・朴光来・田村幸美(2000)、多摩川流域河川における硝酸態窒素濃度および $\delta^{15}\text{N}$ 値について、土肥誌 vol.71 No2 : pp216-224
- [10]木庭啓介・徳地直子・岩坪五郎・和田英太郎(1994)、森林生態系における安定同位体比を用いた脱窒過程の検討、日林論 vol.105 : pp227-228
- [11]木庭啓介・徳地直子・岩坪五郎・和田英太郎(1994)、森林生態系における安定同位体比を用いた脱窒過程の検討、日林論 vol.105 : pp227-228
- [12]楊宗興・谷川東子・高橋正通・吉永秀一郎・大浦典子・藤田俊忠・苗村晶彦・佐藤里恵(2004)、流域における窒素、イオウの循環プロセスの解明、C-6 流域の物質循環調査に基づいた酸性雨による生態系の酸性化および富栄養化の評価手法に関する研究 : pp41-62