

## 谷戸地形谷底部渓畔林における $\text{NO}_3^-$ 濃度の変化

### Variation of $\text{NO}_3^-$ concentration of groundwater at riparian forest

永長沙織<sup>\*1</sup>・大塚雄太<sup>\*1</sup>・荻野隆介<sup>\*1</sup>・塩部兵太<sup>\*1</sup>・瀧澤英紀<sup>\*1</sup>

Saori NAGAOSA<sup>\*1</sup>, Yuta OTSUKA<sup>\*1</sup>, Ryusuke OGINO<sup>\*1</sup>, Hyota SHIOBE<sup>\*1</sup> and Hideki TAKIZAWA<sup>\*1</sup>

\* 1 日本大学生物資源科学部

Coll.Biroresource Sci,Nihon Univ., Fujisawa 252-0880

**要旨：**日本大学藤沢演習林では谷戸地形内に溪流が流れおり渓畔林を流下する。この溪流は高い  $\text{NO}_3^-$  濃度の湧水点が谷頭に存在する。本研究では、湧水 2 点、溪流水 7 点、渓畔林内井戸 16 点の浅層地下水を毎週採水して、2 年間の  $\text{NO}_3^-$  濃度変動を明らかにした。2 年間平均  $\text{NO}_3^-$  濃度は、湧水点が 151ppm と最も高く、渓流最下流部が 75ppm であり、全井戸平均の浅層地下水が 32ppm あり、湧水から渓流、地下水になることで大幅に低下した。湧水 2 点と渓畔林上流の渓流水では 3・4 月～8 月にかけて緩やかに  $\text{NO}_3^-$  濃度が上昇したが、渓畔林の浅層地下水では季節的に変化しなかった。 $\text{NO}_3^-$  濃度は降雨によっても変動し、降雨イベント前 3 週間積算降雨量が 100 mm 以上であると降雨で希釈され  $\text{NO}_3^-$  濃度が低下し、それ以下では  $\text{NO}_3^-$  濃度が上昇する傾向にあった。

**キーワード：** $\text{NO}_3^-$  濃度、谷戸地形、渓畔林

**Abstract :** There is a spring water point of high  $\text{NO}_3^-$  concentration at the valley head in this study site. The stream flows down through the riparian forest. We clarify the changes of  $\text{NO}_3^-$  concentration of spring water, stream water and groundwater for last two years. The mean of  $\text{NO}_3^-$  concentration of spring water was the most high as 151 ppm. The mean of  $\text{NO}_3^-$  concentration of stream water at the most downstream in this study was 75 ppm. The mean of  $\text{NO}_3^-$  concentration of ground water of 16 samplings points at the riparian forest was 32 ppm. The  $\text{NO}_3^-$  concentration was significantly reduced in the flow process. There were seasonal change of the  $\text{NO}_3^-$  concentration of spring water during summer. But the  $\text{NO}_3^-$  concentration of groundwater did not have seasonal change. The  $\text{NO}_3^-$  concentrations were changed by each rainfall events. When the amount of accumulative rainfall for 3 weeks before the event was greater than 100 mm, the  $\text{NO}_3^-$  concentration of all sampling water were reduced by dilution. When the amount of accumulative rainfall for 3 weeks before the event was less than 100 mm, the  $\text{NO}_3^-$  concentration of all sampling water were increased.

**Keywords :**  $\text{NO}_3^-$  concentration, yato, riparian forest

#### I はじめに

森林生態系への主な窒素の供給は、窒素固定菌による大気からの窒素固定と降雨過程で溶けて供給される湿性沈着と、エアロゾルなどとして供給される乾性沈着がある（3）。降雨の際には林外雨、樹幹流、林内雨により湿性および乾性沈着が森林土壤に供給される。これらはとても微量であり、植物にとって必須元素である窒素はほとんど吸収され、多くの森林渓流水において窒素成分の流出は微量である（7）。しかし、近年都市近郊では人間活動により大気中の窒素が増加し、供給過多で窒素飽和となつている森林が問題となっている（5, 1, 7）。特に茨城県筑波山は 4 年間平均で 7.19 ppm の窒素濃度の渓流水が流出しており、窒素飽和している森林として知られている（8）。窒素飽和の状態では、林地から渓流や地下水へ窒素が流亡し、下流域において赤潮や青潮、アオコといった水環境の

悪化を引き起こす。

日本大学藤沢演習林では周囲に農地が多く存在し、演習林を流れる渓流の湧水点において約 140 ppm という高濃度の  $\text{NO}_3^-$  が検出される（6）。これは、農地で施肥に使用されている窒素成分が地下水に流亡していることが原因であると推察される。この演習林内には谷戸地形が存在し、渓床勾配が緩やかで幅広な谷底部とその両側の斜面部、斜面上部の平らな部位から成り、これは船底地形とも呼ばれる。この土砂が厚く堆積した谷底部内では常時地下水位が高い渓畔林が存在している。森林に水質浄化機能があることは広く知られており（4）、高濃度窒素の渓流水が流入する渓畔林近傍において水質変化は興味深い。本研究は、谷戸地形谷底部の地下水位の高い渓畔林を対象とし、渓畔林内地下水の  $\text{NO}_3^-$  濃度変化の特性を明らかにすることを目的とする。

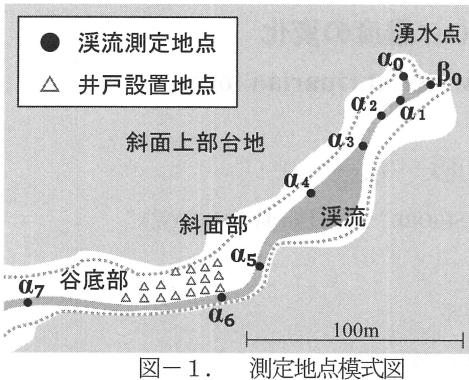


図-1. 測定地点模式図

Fig.1 Illustration of measurement points

●: sampling point at stream; △: sampling at ground water.

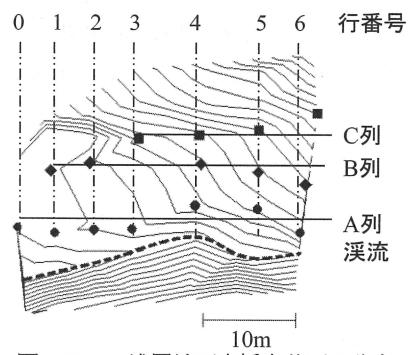


図-2. 浅層地下水採水井戸の分布

Fig.2 Locations of wells for measurement of groundwater

A・B・C column was placed parallel to the stream, 1-6 lines were installed from the upstream in the order.

表-1. 溪流採水ポイントの  $\text{NO}_3^-$  濃度の 2 年間平均値

Table 1 Means of  $\text{NO}_3^-$  concentration of stream water for last two years along the stream

Sampling point	$\beta_0$	$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	$\alpha_6$	$\alpha_7$
Means	151	107	117	121	114	92	93	96	75
Maximum	250	180	230	200	220	150	140	130	120
Minimum	66	35	47	66	58	36	44	59	34

(単位 : ppm)

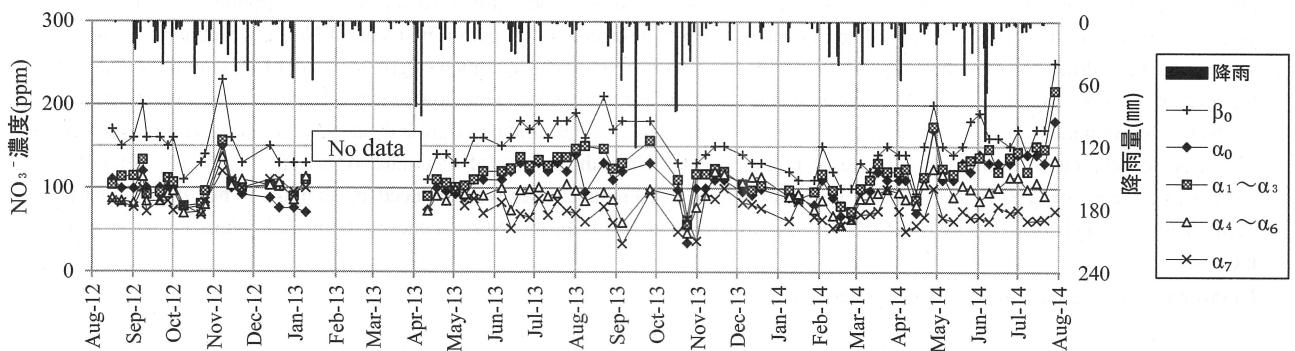


図-3. 溪流の  $\text{NO}_3^-$  濃度変化

Fig.3 Variations of the average of  $\text{NO}_3^-$  concentration of stream water that had similar change

## II 方法

### 1. 調査地

調査地は、神奈川県藤沢市にある日本大学生物資源科学部付属藤沢演習林内を流れる溪流及び林内に存在する溪畔林である。溪流の測定地点を図-1に示す。溪流の湧水2点をそれぞれ  $\alpha_0$ ,  $\beta_0$  とし、溪流の測定地点は上流から順に  $\alpha_1 \sim \alpha_7$  とする。湧水点から最下流の  $\alpha_7$  までの距離は約220mである。湧水点上部には一面の農地が広がっており、斜面上部の台地には畜舎と住宅地が存在している。キャンパスに連続するこの溪畔林は樹種もシラカシ、ミズキ、アオキやスギなど多様である。溪畔林内の浅層地下水を測定

するため溪流と平行に井戸を3列16ヶ所設置した(図-2)。最も溪流に近い列をA列、中央をB列、谷戸地形斜面側をC列とする。また、各列の井戸に上流から順に6~0まで番号を付け名称を分けた。

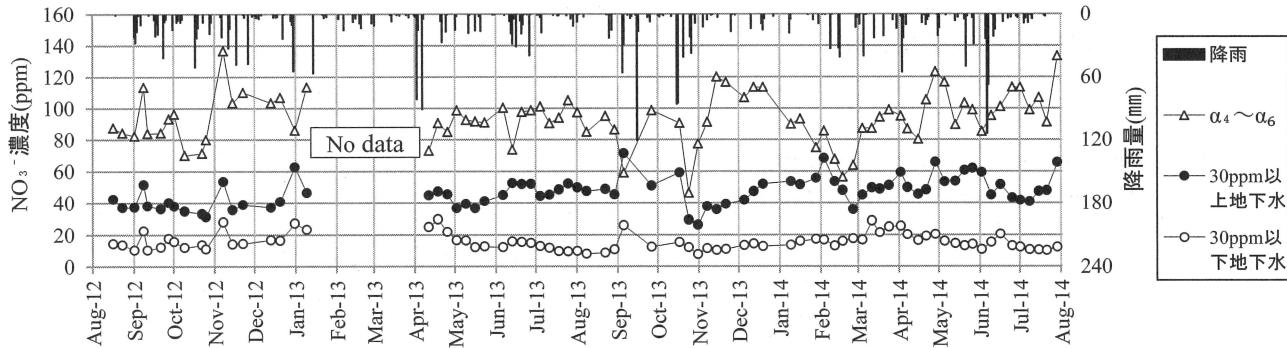
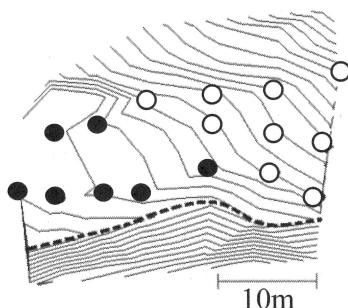
### 2. 調査項目

本研究は2012/8/16~2014/7/29にかけて行った。2013/1/9~2013/4/11はデータの欠測期間である。調査項目は、湧水・溪流水・地下水の  $\text{NO}_3^-$  濃度と降雨量である。 $\text{NO}_3^-$  濃度の測定には HORIBA 製のコンパクト硝酸イオンメータ B-342 を使用し、週1回測定を行った。降雨量は測定地から最も近い6km離れた気象庁アメダス(辻堂)の日雨量データを使用した。

表-2. 地下水の平均  $\text{NO}_3^-$  濃度Table 2 Means of  $\text{NO}_3^-$  concentration of groundwater for last two years at the riparian zone

Sampling point	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
Means	21	11	16	10	20	48	54	17	18	36	42	55	35	48	51	44
Maximum	63	45	38	25	48	91	83	45	51	67	98	97	93	95	81	76
Minimum	8	4	4	3	7	17	28	5	6	11	12	30	8	26	27	8

(単位: ppm)

図-4. 地下水の  $\text{NO}_3^-$  濃度変化Fig.4 Variations of the average of  $\text{NO}_3^-$  concentration of the groundwater that had similar change図-5. 平均  $\text{NO}_3^-$  濃度の高い井戸の位置関係

○: 30ppm 以上の地下水 ●: 30ppm 以下の地下水  
Fig.5 Distribution of high  $\text{NO}_3^-$  concentration of groundwater  
○:  $\text{NO}_3^-$  concentration above 30ppm; ●:  $\text{NO}_3^-$  concentration below 30ppm.

### III 結果と考察

#### 1. 溪流の $\text{NO}_3^-$ 濃度変化

表-1に溪流の平均  $\text{NO}_3^-$  濃度の値を示す。欠測期間があるため、冬期におけるデータが少ないが、湧水点  $\beta_0$  が最も高く 151ppm あった。最も低かったのは  $\alpha_7$  で 75ppm あり、平均値・最大値・最小値とともに  $\alpha_7$  は  $\beta_0$  の 1/2 程度の値であった。 $\beta_0$ ,  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  の 3 点に着目すると、 $\beta_0 > \alpha_1 > \alpha_0$  の順に濃度が低くなっている。すなわち、湧水  $\beta_0$  が  $\text{NO}_3^-$  濃度の低い湧水  $\alpha_0$  と混ざり希釈され、 $\alpha_1$  の値まで値が低下していると考えられる。溪流では  $\alpha_1 \sim \alpha_7$  と流下することで平均値が低下した。図-3に溪流の  $\text{NO}_3^-$  濃度変化を示す。 $\alpha_1 \sim \alpha_6$  の地点は平均値が 100ppm 以上の地点と以下の地点とで分

け平均したものを見ている。湧水 2 点と  $\alpha_1 \sim \alpha_3$  では、2013 年 3 ～ 8 月、2014 年 4 ～ 8 月にかけて  $\text{NO}_3^-$  濃度が上昇する季節変化が見られるが、 $\alpha_4 \sim \alpha_6$ ,  $\alpha_7$  では同様の季節変化はみられなかった。

#### 2. 地下水の硝酸イオン濃度変化

表-2に渓谷林地下水の平均  $\text{NO}_3^-$  濃度の値を示す。図-4に表-2における平均値が 30ppm 以上の地点(A<sub>5</sub>, A<sub>6</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, C<sub>5</sub>, C<sub>6</sub>)と以下の地点(A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>)に分けて平均した値の濃度変化を示す。渓谷林と比較の為、図-3における  $\alpha_4 \sim \alpha_6$  の値を図中に加えた。図-5に表-2における平均値が 30ppm 以上と以下の地点の井戸を色分けしたものを示す。図-5から、上流側かつ谷戸地形斜面側に平均値が 30ppm 以上、下流側かつ渓流に近い場所に 30ppm 以下の地下水が分布している。上流側 9 地点の平均値は 46ppm、下流側 7 地点は 16ppm であり、 $\alpha_4 \sim \alpha_6 >$  上流側  $>$  下流側の順に平均値は低下していた。これは、周辺から低  $\text{NO}_3^-$  濃度地下水が渓谷林に流入して希釈されたことと、渓谷林の嫌気的環境で脱窒が起きたことが考えられる(2)。湧水と  $\alpha_1 \sim \alpha_2$  で顕著に見られた 3 ～ 4 月～8 月にかけての  $\text{NO}_3^-$  濃度上昇の季節変化は渓谷林地下水では確認できなかった(図-4)。

#### 3. 降雨イベント前後の $\text{NO}_3^-$ 濃度変化と積算降雨量

図-3と図-4の渓谷林と地下水の  $\text{NO}_3^-$  濃度変化をみると、2012/9/8, 10/9, 11/7, 12/31, 2013/9/5, 10/24, 2014/2/3, 2/25, 4/15, 4/28 では、前週に比べ急激な濃度低下または上昇が起こった。これらの測定日では、2014/2/25 と 2014/4/15 以外は測定前の一週間に降雨があり、 $\text{NO}_3^-$  濃度

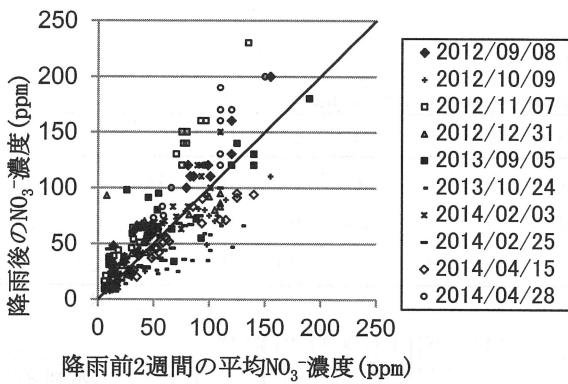


図-6. 降雨前2週間平均NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度と降雨後のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の関係

Fig.6 Relationship between the value of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentration after rainfall and the averages of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentration of just before the two times.

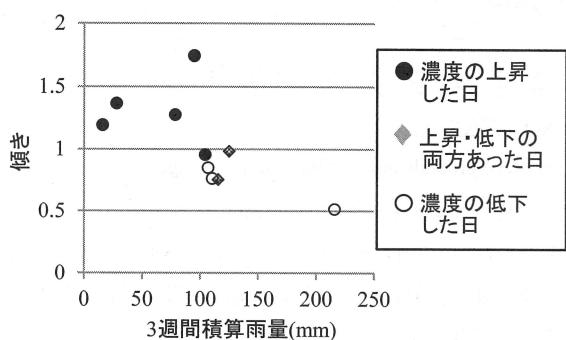


図-7. 図-6における測定日毎の近似直線の傾きと降雨前3週間積算雨量の関係

Fig.7 Relationships between the gradient of the linear approximations in the figure 6 and the accumulative rainfall for 3 weeks before rainfall event  
●:clear increasing trend of the concentrations; ○:clear decreasing trend; ◇:not clear trend.

変化に降雨が影響していると予想される。そこで、図-6に上記10回の測定日におけるNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の値と測定前二回(二週間前まで)の平均NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度との関係を示す。溪流と地下水のすべての濃度が上昇したイベントと、すべての濃度が低下したイベントと両者が混在するイベントの3タイプが存在することがわかる。図-6においてそれぞれの測定日毎に原点を通る直線により近似して傾きを求め、各測定日の一、二、三、四週間前からの積算雨量との関係をそれぞれ調べたところ、図-7の様に三週間前からの積算雨量と直線の傾きの関係に積算降雨量が大きいと傾きが小さくなる傾向があった。図-7の曲線では、前三週間積算雨量が100 mm程度で1となる。測定された湧水から地下水にかけてのNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度変化と降雨の関係について、前三週間積算雨量が100 mm以上であると降雨により湧水、溪流水、地下水は希釈され濃度の低下が起り、100 mm以下であると畑や台地、斜面部あるいは谷底部溪畔林の土壤中

に蓄積したNO<sub>3</sub><sup>-</sup>を降水が押し出すことで湧水、溪流水、地下水の濃度が上昇したと考えられる。

#### IV まとめ

本研究は、湧水、溪流水、溪畔林内の浅層地下水を毎週採水して、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度変動を明らかにした。2年間の平均NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度では、湧水点が151ppmと最も高く、溪流最下流部が75ppmであり、全井戸平均の浅層地下水が32ppmあり、湧水から溪流、地下水になることで大幅に低下した。湧水2点と溪畔林上流の溪流水では3・4月～8月にかけて緩やかにNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が上昇したが、溪畔林の浅層地下水では季節的に変化しなかった。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度は降雨によっても変動し、降雨イベント前3週間積算降雨量が100 mm以上であると降雨で希釈されNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が低下し、それ以下ではNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が上昇する傾向にあった。

#### 引用文献

- (1) 伊藤優子・三浦覚・加藤正樹・吉永秀一郎 (2004) 関東・中部地方の森林流域における溪流水中のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の分布. 日林誌 86 : 275-278
- (2) 木平英一・楊宗興・戸田任重・八木一行・窪田順平・塚本良則(1997)森林流域谷底部土壤の脱窒作用—NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 窒素安定同位体比による解析—. 日林誌 79(2) : 83-88
- (3) 森田剛史・相原敬次・石綿進一(2004)森林における窒素成分の動態および森林管理と溪流水質. 神奈川県環境科学センター研究報告 27 : 47-51
- (4) 中尾登志雄(1996) 森は水をきれいにしているのか：森林の水質浄化機能. 森林科学 18 : 37-41
- (5) OHRUI, K. and MITCHELL, M. J. (1997) Nitrogen saturation in Japanese forested watersheds. Ecol, Appl. 7:391-401
- (6) 笹田勝寛・河野英一・島田正文・森本恭行(2003)都市近郊河川における谷戸流域の水環境について. 環境情報科学. 別冊, 環境情報科学論文集 17 : 353-358
- (7) SHIBATA, H., KURAJI, K., TODA, H. and SASA, K. (2001) Regional comparison of nitrogen export to Japanese forest streams. The Scientific World 1: 572-580
- (8) 渡邊未来・越川昌美・林誠二・越川海・村田智吉・山村茂樹・高松武次郎(2007)茨城県筑波山における森林地の窒素飽和の現状評価. 日本陸水学会 72 : 72-72