

河川水中の栄養塩量に対する地下水の影響に関する現地観測

東京工業大学大学院 学生会員 ○ 神田 太郎
 宇都宮大学大学院 正会員 大澤 和敏
 東京工業大学大学院 フェロー会員 池田 駿介

1. 背景, 目的

沖縄県では降雨時に大量の土砂が流出し、河川や海を赤く染める赤土問題が認識されてきた。赤土問題の河川、海域の生態系への影響を考える際には、土砂動態とともに栄養塩動態の理解が重要になる。

流出する栄養塩には、表流水によって輸送される成分と地下水によって輸送され、河床や海底から湧き出してくる成分がある。地下水による栄養塩の輸送は未知な部分が多く、定量的な議論が難しい。

本研究では、石垣島名蔵川流域で、河床下の土壌水とこの地点に隣接する水田土壌中の土壌水、および河川水を採取し、安定同位体比の測定を行った。その結果に基づき、河川水中の栄養塩量に占める地下水由来の成分を定量化することを目的とした。

安定同位体比の議論は、基準物質の安定同位体比に対する未知物質の安定同位体比の千分率偏差 δ を用いて行われる。 δ は式(1)で表される。

$$\delta_x = (R_x / R_{STD} - 1) \times 1000 \text{ [per-mil]} \quad (1)$$

ここで、 R は安定同位体比、添え字 X と STD はそれぞれ未知試料と基準物質を意味する。

2. 観測概要, 実験概要

現地観測を2007年12月28日から2008年1月3日にかけて石垣島名蔵川の下流域において行い、河床下およびここに近接し、標高が3~4[m]高い水田土壌で地表から15, 30, 60, 100, 130[cm]の深さの土壌水を採取した。また、河川中で表流水を採取した。

採取したサンプルの栄養塩濃度($\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$)と安定同位体比($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{15}\text{N-NH}_4$)を測定した。栄養塩濃度はTRAACS-2000(BRAN+LUEBBE)、安定同位体比は同位体比質量分析計(DELTA^{plus} Advantage, Finnigan TM)により測定した。

3. 結果

Fig.1に、(a)栄養塩濃度、(b) $\delta^{18}\text{O}$ 、(c) $\delta^{15}\text{N-NH}_4$ の鉛直分布、およびサンプルの採取地点を示す。

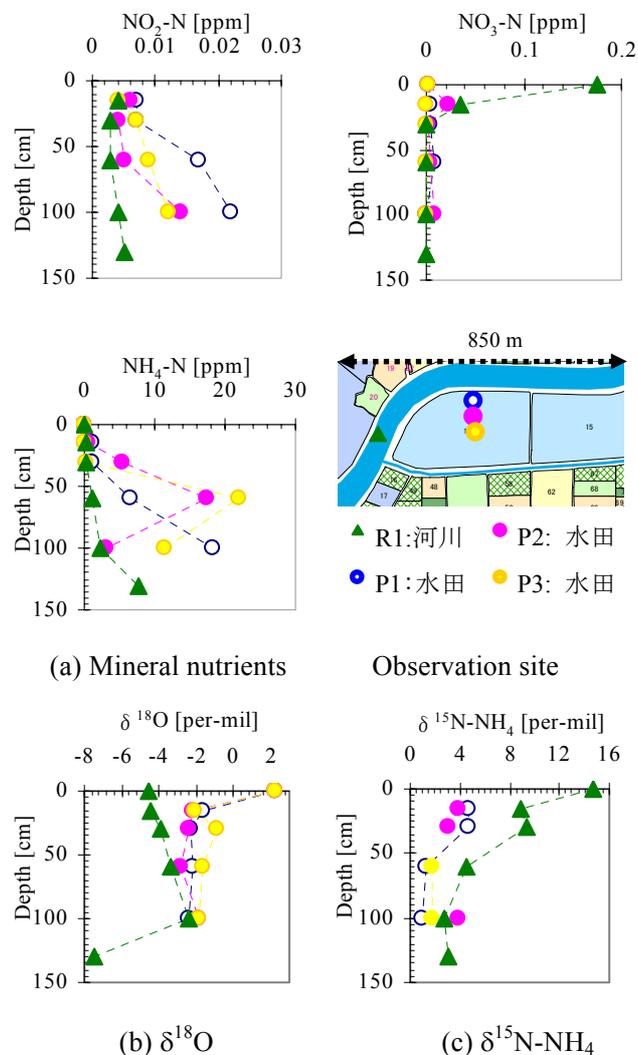


Fig.1 Vertical distributions of mineral nutrients, $\delta^{18}\text{O}$, and $\delta^{15}\text{N-NH}_4$

土壌水で $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は他の栄養塩濃度に比べて1オーダー以上高かった。水田土壌では、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は浅い土壌中で急激に増大し、60[cm]または100[cm]の深さで20[ppm]程度の最大値を示した。河床下では、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は深さとともに単調に増大した。

水の履歴を反映する $\delta^{18}\text{O}$ は、水田土壌水で鉛直方向に概ね一樣な分布を示した。河床下の $\delta^{18}\text{O}$ は、表流水の値も含めて深さ100[cm]の地点まで連続的に高くなり、100[cm]の深さで水田土壌水の値にほぼ一致したが、130[cm]の深さでは著しく低下した。

キーワード 揮発, 希釈, アンモニア態窒素, 安定同位体, 地下水輸送

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1 M1-1 518号室 TEL 03-5734-2597 kanda.t.ab@m.titech.ac.jp

$\delta^{15}\text{N-NH}_4$ は水田土壌水では深さとともにやや低下する傾向を示した。河床下の $\delta^{15}\text{N-NH}_4$ は浅い地点では水田土壌水中の $\delta^{15}\text{N-NH}_4$ に比べて高い値を示したが、深さとともに著しい低下を示し、100 [cm]の深さで、100 [cm]の深さの水田土壌水中の $\delta^{15}\text{N-NH}_4$ と同程度の値を示した。

4. 考察

(1) 表流水と地下水の分離

鉛直方向にほぼ一樣な水田土壌水の $\delta^{18}\text{O}$ と河床下100 [cm]の深さでの $\delta^{18}\text{O}$ が同程度の値を示したことから、水田土壌中を通して河床下に浸透する流れが考えられる。また、河床下における $\delta^{18}\text{O}$ の鉛直分布が、表流水の値も含めて深さ100 [cm]の地点まで連続的に変化することは、この深さ範囲での表流水と地下水の混合を示唆する。河床下130 [cm]の深さではこれらの流れとは異なる流れが生じていると考えられる。河床下の各深さでの表流水と地下水の混合率を式(2)により求め、結果をTable.1に示した。

$$\delta^{18}\text{O}_m = f_g \delta^{18}\text{O}_g + (1 - f_g) \delta^{18}\text{O}_r \quad (2)$$

ここで、 f_g は地下水の混合割合を表す。 $\delta^{18}\text{O}_m$: 各深さでの測定値、 $\delta^{18}\text{O}_g$: 100 [cm]の深さでの水田土壌水の平均値、 $\delta^{18}\text{O}_r$: 表流水の値を用いた。

Table.1 Mixing ratio of groundwater and surface water

Depth [cm]	15	30	60	100
f_g [%]	12.8	32.2	52.1	87.1
$f_r = 1 - f_g$ [%]	87.2	67.8	47.9	12.9

(2) 地下水由来の $\text{NH}_4\text{-N}$ 量の算出

Mariotti [1]は、脱窒(揮発)と希釈(混合)の2つの窒素浄化機構において、 $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の間に、それぞれ指数型と双曲線型の関係があることを示した。Fig.2は、この理論に基づき、地下水における $\text{NH}_4\text{-N}$ の揮発と他起源からの $\text{NH}_4\text{-N}$ の混合の程度を示している。

Fig.2(a)では水田土壌水中と河床下の土壌水中の両方で、 $\delta^{15}\text{N-NH}_4$ と $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の対数は概ね比例しており、これらの値の変化は揮発によって説明できる。河床下の土壌中では表流水と地下水の混合が生じていることが $\delta^{18}\text{O}$ の分布から示されたが、Fig.2(b)からは $\text{NH}_4\text{-N}$ に対する混合の影響はほとんど見られなかった。この原因として、水田土壌を通じて供給される地下水が表流水に比べて100倍程度の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を有していることが考えられる。

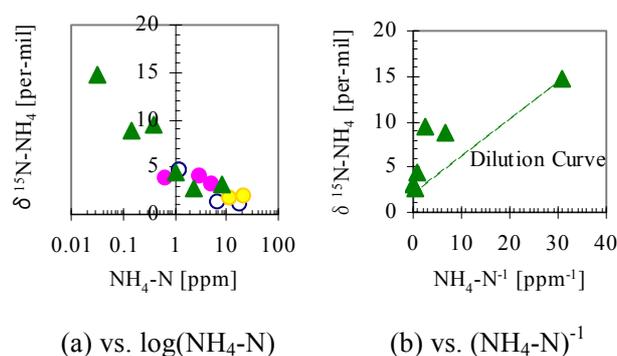


Fig.2 Relationship between $\delta^{15}\text{N-NH}_4$ and $\text{NH}_4\text{-N}$

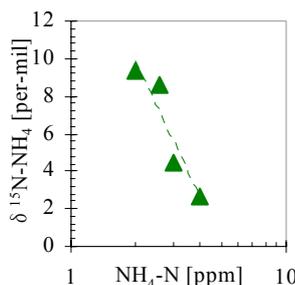


Fig.3 Volatilization Curve

Fig.2(a)の河床下のデータからTable.1に示した表流水の混合の影響を除去し、Fig.3を得た。最小二乗法により近似曲線を求め、

$$\delta = 2.24 - 10.44 \ln(C / 4.14)$$

を得た。ここで、 δ : 測定

値から混合の影響を除去した $\delta^{15}\text{N-NH}_4$ 、 C : 測定値から混合の影響を除去した $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度である。2.24 [per-mil]および4.14 [ppm]が揮発前の $\delta^{15}\text{N-NH}_4$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度(C_0)となる。この式から各深さにおいて揮発せずに表流水と混合した $\text{NH}_4\text{-N}$ 量を C_0 に対する比の形で求めた。結果をTable.2に示す。

Table.2 Residual ratio of $\text{NH}_4\text{-N}$ in water

Depth [cm]	15	30	60	100
C/C_0 [%]	28.1	28.9	48.8	62.7

Table.1, Table.2を用い、直線で補完した f_g と C/C_0 の鉛直分布の積を河床下0~100 [cm]の深さで積分して地下水由来の $\text{NH}_4\text{-N}$ 量を求めた。同様に表流水由来の $\text{NH}_4\text{-N}$ 量を求め、河床下の混合層における地下水由来の $\text{NH}_4\text{-N}$ の割合を求めると98 [%]となった。

5. 結論

石垣島の名蔵川流域内で現地観測を行い、河川水に含まれる栄養塩に占める地下水由来成分の割合の定量化を試みた。その結果、河床下には地下水と表流水が混合した層があり、ここに存在する $\text{NH}_4\text{-N}$ の98 [%]が地下水由来であることが分かった。

6. 参考文献

[1] Mariotti, A., Landreau, A. and Simon, B.: ^{15}N isotope biogeochemistry and natural denitrification process in groundwater: Application to the Chalk aquifer of northern France, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, pp1869-1878.