

陸域由来栄養塩の河川水質への影響に関する研究

琉球大学 正会員 ○赤松良久

国土交通省 正会員 神田太朗

東京工業大学大学院 フェロー会員 池田駿介

1. はじめに

陸域において投入された物質は河川や地下水の流れによって輸送されことから、陸域における栄養塩等の負荷の増大は河川や沿岸域の生態系に大きな影響を及ぼしている。沖縄県においても、土地利用の転換を背景として出水時に大量の陸域由来の土壌や栄養塩が沿岸域へ流出し、サンゴ礁を初めとする貴重な生態系の衰退を招いている。これまで、出水時の土砂・栄養塩流出に関する研究は盛んに行われてきたものの、地下水の影響が強いと考えられる平水時における研究例は少ない。そこで、本研究では、現地観測で平水時に採水した河川表層水と地下水の水質を報告し、これらの関連について議論するとともに、河川表層水の溶存無機態窒素濃度に対する地下水の影響を定量化することを目的とする。

2. 研究手法

2008年9月に石垣島名蔵川流域において現地観測を実施した(図-1)。陸域において代表的な土地利用の土壌水を採取し、河川において縦断方向に16地点から地下水と表層水を採水した。採水地点を図-1に示す。採水したサンプルに対して、硝酸態窒素 $\text{NO}_3\text{-N}$ とアンモニア態窒素 $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度と酸素安定同位体比 $\delta^{18}\text{O}$ を分析した。

これらの分析項目を用いることで、図-2に示す単純なモデルに基づき、河川表層水の水質に対する地下水の影響を定量化する。支配方程式は、流量、溶存無機態窒素流出量、酸素安定同位体比に関する保存式で、それぞれ以下のように書ける。

$$Q_{i+1} = \sum Q_i + q_{g,i} L_i + Q_*$$

$$Q_{i+1} C_{i+1} = \sum Q_i C_i + q_{g,i} L_i C_{g,i} + Q_* C_* \quad (1)$$

$$Q_{i+1} \delta^{18}\text{O}_{i+1} = \sum Q_i \delta^{18}\text{O}_i + q_{g,i} L_i \delta^{18}\text{O}_{g,i} + Q_* \delta^{18}\text{O}_*$$

ここで、 Q : 河川流量、 q : 単位流下距離当たりの地下水浸透量、 L : 隣り合う断面間の距離、 $\delta^{18}\text{O}$: 酸素安定同位体比、 C : 溶存無機態窒素濃度であり、添え字 i , $*$ は、それぞれ、採水地点を示す番号 ($i=A, B, \dots, P$)、支流からの合流成分を表す。これらの

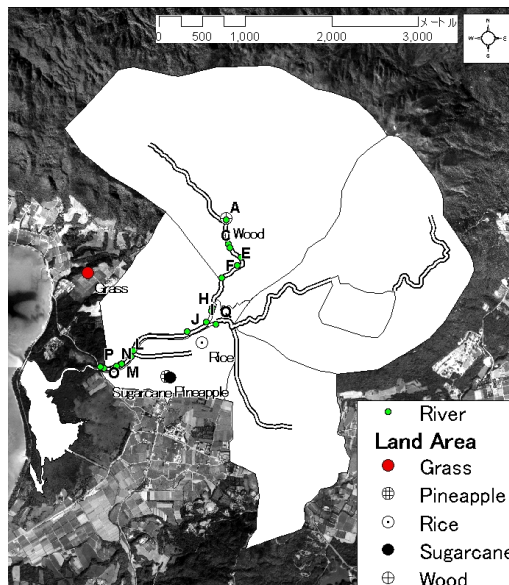
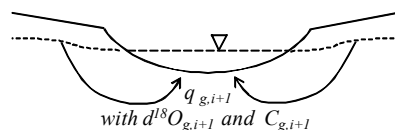


図-1 観測地

(a) Cross sectional view



(b) Horizontal view

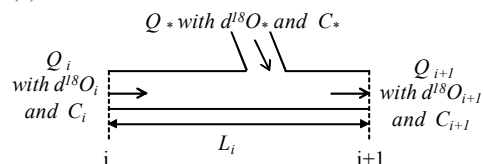


図-2 地下水の影響の考え方と計算式の変数

式を図-2に示す Q_i , Q_* , $q_{g,i}L_i$ について解くことで以下の式を得る。

$$\frac{Q_i}{Q_{i+1}} = \frac{(C_{i+1} - C_*) \delta^{18}\text{O}_{g,i} + (C_* - C_{g,i}) \delta^{18}\text{O}_{i+1} + (C_{g,i} - C_{i+1}) \delta^{18}\text{O}_*}{(C_i - C_*) \delta^{18}\text{O}_{g,i} + (C_* - C_{g,i}) \delta^{18}\text{O}_i + (C_{g,i} - C_i) \delta^{18}\text{O}_*}$$

$$\frac{Q_*}{Q_{i+1}} = \frac{(C_i - C_{i+1}) \delta^{18}\text{O}_{g,i} + (C_{i+1} - C_{g,i}) \delta^{18}\text{O}_i + (C_{g,i} - C_i) \delta^{18}\text{O}_{i+1}}{(C_i - C_*) \delta^{18}\text{O}_{g,i} + (C_* - C_{g,i}) \delta^{18}\text{O}_i + (C_{g,i} - C_i) \delta^{18}\text{O}_*}$$

$$\frac{q_{g,i} L_i}{Q_{i+1}} = 1 - \frac{Q_i + Q_*}{Q_{i+1}} \quad (2)$$

これらの解に最下流で計測した流量を代入し、順次上流側へ計算を行うことで任意の採水地点における流量を3成分に分離することが可能となる。

キーワード: 栄養塩, 安定同位体比, 地下水

連絡先: 〒902-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1 琉球大学工学部環境建設工学科 Tel (098)895-8667

3. 結果と考察

河川における溶存無機態窒素および酸素安定同位体比の観測結果を図-3に示す。 $\delta^{18}\text{O}$ の等値線は、地下水中における水の混合を無視できる場合には、流線に平行であると考えられ、図-3(c)は上流域の深い地点から下流域の河川表層への地下水の流れを示している。また、図-3(d)において、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は上流の森林域においては0.1mg/L程度の値をであり、支流が合流するSt.I-J間を除いて、流下方向に漸減する傾向を示した。一方で、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は流下方向にほぼ一様に漸増する傾向を示した。図-3(e), (f)に示す河川地下水中の濃度分布から、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は表層水中の濃度(図-3(d))に比べて高いが、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は表層水中の値に比べて希薄であることがわかる。これらの結果から、河川地下水と河川表層水の間で溶存無機態窒素の交換が生じていると推察される。また、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度分布は、 $\delta^{18}\text{O}$ の分布と明らかに異なっていることから、アンモニア態窒素の輸送には地下浸透流よりも分子拡散が強く寄与していると考えられる。

各採水地点における集水域に占める水田・森林の割合と河川地下水中(河床から1mの地点)の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度および $\delta^{18}\text{O}$ の関係を図-4に示す。なお、森林、水田土壌水中の鉛直方向の平均的な $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度および $\delta^{18}\text{O}$ の値を黒線で示している。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度図-4(a), (c)から、河川地下水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は、採水地点の集水域に占める水田や森林の面積比率と相関を持ち、これらの面積比率に対してほぼ線形に変化することが分かる。また、森林や水田が最大の面積比率を占めるサイトにおいては、地下水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は森林、水田土壌水中の鉛直方向の平均的な $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度と近い値を示した。この結果から、河川地下水中の栄養塩濃度は周辺の土地利用と密接な関連を持つと考えられる。図-4(b), (d)に示した $\delta^{18}\text{O}$ に関する結果についても、感潮域のサイトに関するデータを除いて、河川地下水中における $\delta^{18}\text{O}$ の値は、各サイトの土地利用に占める森林、水田の面積比率の増加に伴い、陸域において観測された値へ収束していく傾向を示している。

式(1)に基づいて算出したSt.Pを通過する $\text{NH}_4\text{-N}$ フラックスに占める地下水由来成分(St.A-J間での浸透量)の寄与を表-1に示す。地下水浸透フラックスの算出に当たっては、St.Pにおける河川流量を $1\text{m}^3/\text{s}$ とした。地下水由来成分の割合は、河川流量に関しては5%にも満たないが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ フラックスに関し

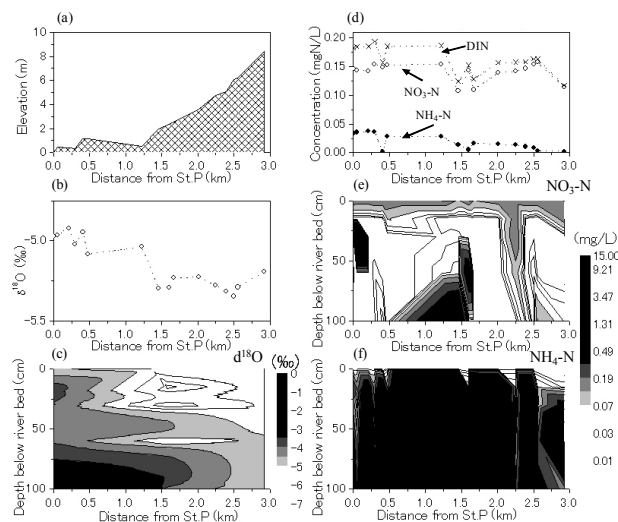


図-3 溶存無機態窒素および酸素安定同位体比の観測結果

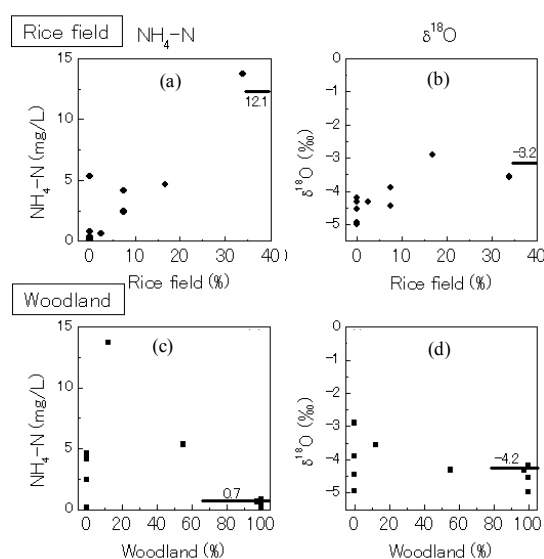


図-4 河川地下水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度および $\delta^{18}\text{O}$ と周辺土地利用の関係

表-1 地下水由来成分の影響

	流量(m^3/s)	$\text{NH}_4\text{-N}(\text{g/s})$
地下水由来成分(St.A-J)	0.033	0.020
全量(St.P)	1	0.033

ては全量の60%近くを占める結果となった。

4. 結論

本研究では沖縄県石垣島名蔵川を対象として、地下水を通した陸域由来栄養塩の河川水質への影響について検討を行った。その結果、地下水由来成分の割合は、河川流量に関しては5%にも満たないが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ フラックスに関しては全量の60%近くを占めており、地下水を通した陸域からの栄養塩の流入が顕著であることが明らかになった。