

地下水が農村河川の窒素汚染に及ぼす影響

東京理科大学大学院理工学部研究科土木工学専攻 学生員 ○原田 渉
 東京理科大学理工学部土木工学科 正会員 二瓶泰雄
 東京理科大学大学院理工学部研究科土木工学専攻 学生員 佐藤和博

1. 序論

農村地帯を流れる河川の流域では、畑地や水田における施肥の影響による地下水や河川水の窒素汚染が問題視されると共に、農村河川が流入する湖沼などにおける富栄養化問題の一因となっている。これらの農村河川流域では、畑地における浸透能が高いため、表面流出量よりも地下浸透量が卓越し流域から河川への流出メカニズムとしては地下水やそれが地表面に出た湧水の流動機構が支配的となる。地下水流れは、直接モニタリングし得る項目が限定されるため、「地下水がどの場所をどのくらいの滞留時間で流れるか」や「地下水中の水質汚染のソースが何か」を定量的に把握するのは容易ではなく、科学的知見は不十分である。そのため、畑地・水田～湧水・地下水～河川に至る水・物質循環機構を包括的にモニタリングする必要がある。さらに、農村河川の多くは三面コンクリート張りの河道整備がなされており地下水の河川への流入過程は不明である。本研究では、上記の問題を抱える印旛沼への流入農村河川であり、三面コンクリート張りの高崎川上流部¹⁾を対象として、河川への地下水の直接流入量や窒素・リン負荷量を現地計測し、三面コンクリート張り農村河川における地下水流入過程や水質への影響を明らかにする。ここでは、トレーサ試験など直接的な地下水流動調査を行わずに、ある縦断区間において、上下流端を含むいくつかの断面の河川流量・水質やその区間を横流入する排水の流量・水質を計測し、水収支の残差から地下水直接流入量や地下水濃度を算定する。

2. 研究方法

(1) 観測サイト：観測サイトである高崎川は、図1上側に示すように、印旛沼へ流入する河川のうち最も大きい鹿島川に合流する全長 6.1km、流域面積 85.3km²の河川である。流域の土地利用特性としては、山林 23%、水田 8%、畑 33%、市街地 34%、その他 2%である。高崎川における水質縦断調査を行ったところ(2010/8/12 実施、図1)、全窒素 T-N は多くの地点において 10mg/L を越えており、最大で 18mg/L と高い値が観測された。窒素レベルが高い上流部は、三面コンクリート張りで整備されているが、図2のように所々にコンクリート間の隙間や割れ目ができおり、それらから地下水が河川へ流入している可能性が高い。

(2) 観測・分析方法：高崎川上流部の Stn.1 から Stn.1' における 14km 区間を対象に、①幾つかの横断面の河川流量 Q_R と水質濃度 C_R の計測、②河川に流入する排水の流量 Q_S と水質濃度 C_S の計測、③地下水水質濃度 C_U に関する現地観測を 2010/9/13、11/19、2011/1/12 の 3 回にわたり実施した。地点数としては、予備観測の位置づけであった 9 月観測では河川断面 2、排水 7 のみであり、11 月及び 1 月観測では、河川断面 6、排水 31、地下水 9 である。流量計測には、河川ではポータブル式電磁流速計 (LP30, ケネック社製) を用い、排水地点ではバケツとストップウォッチを用いた。③の地下水を採取するために、コンクリートの割れ目部分に地下水採取器 (ミズツール, 大起理化工業(株)製) を地中約 30cm の深さまで差し込み、20ml 採水した。採取された河川や排水、地下水のサンプル水を実験室に持ち帰り、オートアナライザー (swAAt, BLTEC(株)製) を用いて窒素 N (T-N, D-N, NO₂+NO₃-N), リン P (T-P, D-P, PO₄-P) を分析した。また、硝酸イオンメーター (大起理化工業製) により、NO₃-N の現場計測も行った。

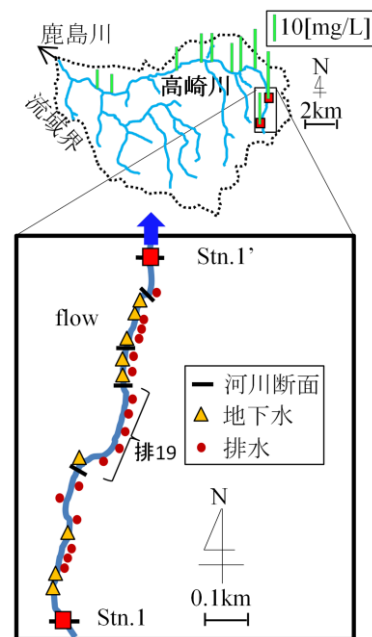


図1 高崎川における T-N の縦断方向変化及び観測地点マップ

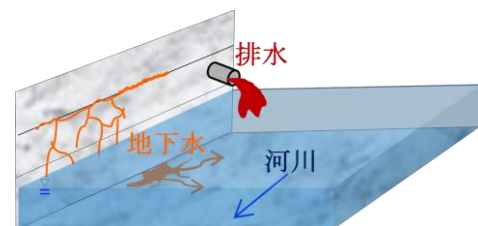


図2 河川への排水・地下水流入過程の模式図

キーワード：窒素汚染, 地下水, 農村河川, 印旛沼

連絡先 : 郵便番号 278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL : 04-7124-1501 (内線 4069) FAX : 04-7123-9766

3. 結果と考察

(1) **流量・水質濃度・負荷量の縦断変化**：高崎川上流部における流況及び水質環境の基本的特徴を把握するために、観測区間における流量と水質濃度及びその積である水質負荷量の縦断変化を図3に示す。ここでは、1月観測の結果を例としており、水質濃度としては、硝酸態窒素と亜硝酸態窒素濃度の和 $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ とリン酸態濃度 $\text{PO}_4\text{-P}$ について、河川水、地下水、排水に分けて表示する。また、流量や水質負荷量に関しては、河川横断面での流量 Q_R や水質負荷量 $Q_R C_R$ の起源を河川上流部 (Stn.1における Q_R と $Q_R C_R$) と排水、地下水に分けており、地下水成分は、河川断面での値から上流部、排水の合計値の差として算出されている。これより、まず、河川流量は縦断方向に緩やかに増加し、Stn.1 から 0.9km 地点を越えると急激に増加している様子が分かる。この流量増加には、排水よりも地下水が大きく寄与しており、観測区間下流端の Stn.1' では地下水が流量増加量の 76%に及んでいる。また、 $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ については、河川水は上流から下流にかけて緩やかに増加すると共に、濃度レベルとしては、地下水が最も高く、河川水の濃度増加に地下水が影響している。 $\text{PO}_4\text{-P}$ については、 $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ と異なり河川水の濃度は流下方向に減少し、濃度レベルも河川水>地下水>排水となっている。また、水質負荷量については、流量や水質濃度の結果を反映し、Stn.1 から 0.9km 地点を越えて急激に負荷量が増加し、それには地下水の寄与が大きいことが分かる。

(2) **河川流量・負荷量への地下水の寄与**：より詳細に河川流量や水質負荷量への地下水の影響を検討するために、観測区間下流端 (Stn.1') における流量や $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ 負荷量の結果を図4に示す。ここでも、河川上流部 (Stn.1での結果) と排水、地下水に分けて、全観測結果を表示している。これより、流量や負荷の増加量 (Stn.1' と Stn.1 での結果の差) に対する地下水の寄与は、それぞれ 75~83%, 86~92%となっており、排水よりも地下水の方が大きく影響していることが分かる。高崎川は三面コンクリート張りで覆われているが、その割れ目や隙間から地下水が大量にしみだし、窒素汚染のソースとなっていることが分かる。

(3) **地下水水質濃度の実測値と推定値の比較**：窒素汚染に多大な影響を与える地下水の $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ に関する実測値と推定値を比較したものを図5に示す。ここでの地下水の水質濃度の推定値は、河川の二つの横断面での負荷量差から排水の負荷量を引き、それを地下水起源の流量で除したものである。また、図中には、地下水観測を行った 11月と1月における平均値±標準偏差が表示されている。 $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ の実測値の平均値は 15~17mg/L となり、一般的な地下水の環境基準 (=10mg/L) を大きく上回る。それに対して $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ の推定値の平均 18~20mg/L となり、実測値よりも 2, 3mg/L 上回るものの、 $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ の標準偏差を考慮すると、実測値と推定値は概ね同程度となっていることが分かる。これより、本論文で行っている物質収支から地下水の水質濃度算定法の妥当性が示されたことや地下水中の $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ が極めて高いことが明らかとなった。

参考文献：

1) 赤松ら：河川技術論文集, Vol.16, pp311-316, 2010.

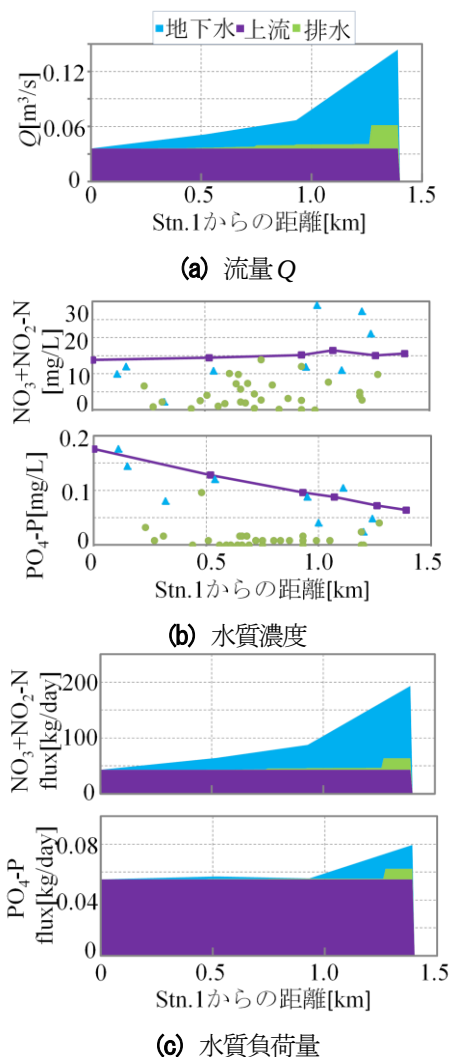


図3 高崎川上流部における流量・水質濃度・水質負荷量の縦断変化 (2010/1/12)

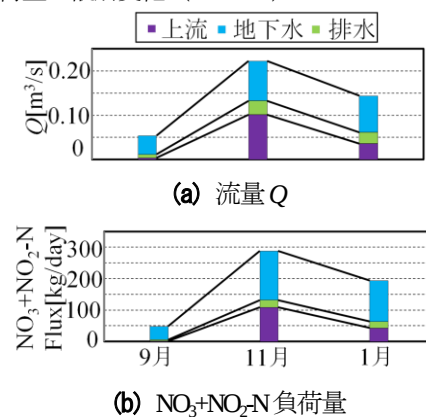


図4 河川 (Stn.1') の流量・負荷量への地下水・排水・河川上流部の寄与

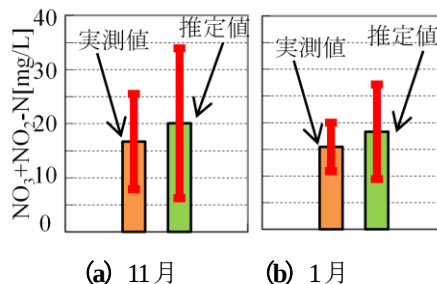


図5 地下水の $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ の実測値と推定値