

# 印旛沼流入河川における地下水流入負荷量の季節変化とその要因の検討

東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻  
 東京理科大学理工学部土木工学科  
 東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻

学生員 ○北川 正佳  
 正会員 二瓶 泰雄  
 学生員 原田 渉

## 1. 序論

千葉県印旛沼では、様々な流域・湖沼対策にも関わらず、水質環境の経年変化は横ばいか悪化傾向にある。この中でも、沼や流入河川の窒素汚染は深刻であり、これが今後の水質改善のキーとなっている。窒素汚染は、畑地起源の面源負荷に起因することが指摘されており、畑地では浸透能が高いため河川への輸送経路としては地下水が想定される<sup>1)</sup>。一方、印旛沼流域の地下水や湧水の T-N は近年減少傾向であり、上記の結果とは逆である<sup>2)</sup>。さらに、流入河川では、治水用にコンクリート護岸整備が進んでおり、地下水そのものが河川や沼に直接流入することが難しい。このため、「三面コンクリート護岸を有する河川に地下水はどのように流入するか？」や「河川流量・水質にどの程度地下水影響があるか？」という基本的な疑問を解決するために、著者らは、窒素汚染が進む支川(高崎川)上流部にて、河川の複数断面及び同区間に流入する全ての排水管における流量・水質計測を実施した結果、地下水はコンクリート護岸に数多く存在する隙間や破損箇所から河川に流入していることや、河川における流量や窒素負荷に対する地下水の寄与率が 75~83, 86~92%と極めて大きいことが明らかとなった<sup>3)</sup>。本研究では、この先行研究を発展させ、窒素汚染が進む河川における地下水流入負荷量の季節変化やその地下水の性質を総合的に検討する。そのため、上記と同じ観測を季節毎に1年間にわたり継続するとともに、河道脇に設けた観測井にて地下水位や水質(以下、井戸地下水と呼ぶ)を計測し、護岸隙間から湧出する地下水(以下、河床地下水と呼ぶ)の水質と比較する。

## 2. 研究方法

(1) **観測概要**: 図1に示す高崎川上流部(区間長 1.4km)にて、①河川・排水管・河床地下水に関する採水及び流量計測に基づく水・物質収支調査と、②河道脇の観測井(直径 10cm)における地下水位・水質観測、という2種類の調査を行った。対象区間では、集水域の多くが畑地であり、河道部は三面コンクリート張りであるが護岸の隙間から地下水が流入している。観測①では、原田ら<sup>3)</sup>と同様に、河川(6断面)と排水(最大 31地点)における流量計測及び採水を行った。流量計測では、河川では電磁流速計(LP-30, 株式会社ケネック製)を、排水ではバケツを各々用いた。これらの観測結果に基づく水・物質収支より、地下水からの流入水量・水質負荷量を求める。また河床地下水の採水には、図2のように、護岸割れ目に土壌水採取器(大起理化学工業株式会社製)を用いて行い、上記の収支と比べる。この観測を2010/11/19(秋季), 2011/1/12(冬季1), 5/25(春季), 8/1(夏季), 2012/1/13(冬季2)に行った。一方、観測②では、河道脇に掘られた観測井(図1中赤丸印)内及び河道内に自記式水位計(U20 Water Level Logger, Onset社製)を設置し、水位を連続計測する(2011/12/1~、図2)。また、この観測井を含む河川3断面の左右岸計6か所にて井戸地下水を採取し、同時に行われた観測①の結果と合わせて、井戸・河床地下水を比較する(2012/1/13に実施)。この井戸掘削時に採取された土壌の透水係数を変水位透水試験により算出した。

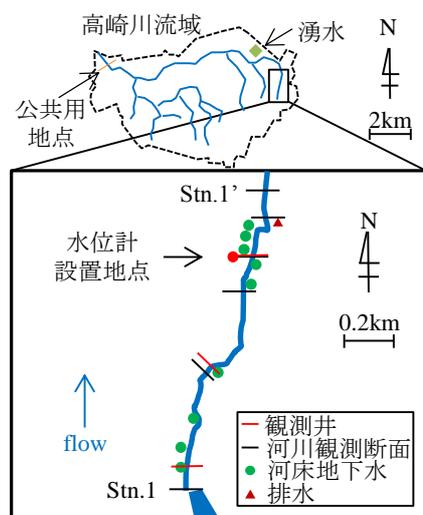


図1 高崎川上流部の観測地点マップ

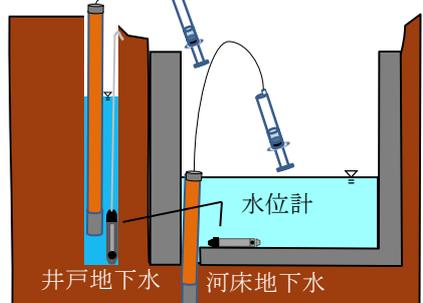


図2 地下水採取の模式図

(2) **水質分析方法**: 採水サンプルについて、オートアナライザー(swAAt, BLTEC株式会社製)により窒素(T-N, D-N, NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>-N)・リン(T-P, D-P, PO<sub>4</sub>-P)を、過マンガン酸カリウム法によりCODを分析した。硝酸イオンメーター(大起理化学工業製)とORPメーター(東亜DKK株式会社製)により、それぞれNO<sub>3</sub>-Nと酸化還元電位を現場計測した。

## 3. 結果と考察

(1) **流量・水質濃度・負荷量の季節変化**: 高崎川における河川水・地下

キーワード: 窒素汚染, 地下水, 水質負荷, 物質収支  
 連絡先 : 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL : 04-7124-1501 (内線 4072) FAX : 04-7123-9766

水の水量・水質の季節変化を把握するために、全観測区間における水質濃度 (NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>-N)、流量、水質負荷量を図3に示す。同図(a)には、水質濃度として、河川上流 (Stn.1) と下流 (Stn.1'), 共に平均値のみ)、地下水 (平均値、最大・最小値) の季節変化を示す。同図 (b), (c)には流量及びNO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>-N 負荷量の季節変化について、河川 (上流の値) と排水、地下水に分けて表示しており、地下水については河川上・下流間の水・物質収支より求めている。また、図中の数字は対象河川区間における流量・負荷量増加分 (=排水+地下水) に占める地下水の割合を示す。これより、水質濃度に着目すると、全ての季節においてNO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>-N では河川流下方向にて濃度上昇、PO<sub>4</sub>-P では逆の傾向となる (PO<sub>4</sub>-P の図面省略)。地下水濃度はこれと対応しており、対象河川では、地下水による窒素濃度増加・リン濃度減少影響が顕著である。地下水が占める流量やNO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>-N 負荷量の割合は、73~92%、81~95%となり、どの季節においても地下水の寄与が極めて大きい。季節別には、流量・負荷量全体は秋季や冬季に卓越し、高崎川全体の窒素負荷と同じ傾向である。

(2) 連続観測データに基づく河川・地下水流量の比較：高崎川上流部における地下水流入量の時間変動特性を調べるために、水位計設置断面における地下水流入量Q<sub>g</sub>と河川流量Q<sub>r</sub>、その比Q<sub>g</sub>/Q<sub>r</sub>の時間変化を図4に示す。ここで地下水流入量Q<sub>g</sub>としては、観測①対象区間の下流部320mを対象とし、井戸水位と河川水位の差から得られる動水勾配Iと透水係数k (=1×10<sup>-2</sup>cm/s) を用い以下のように与える。

$$Q_g = kIA \quad (1)$$

ここでAは対象区間における地下水が河川へ流入し得る面積であり、観測①の結果より与える。また河川流量Q<sub>r</sub>は断面形とマンニングの平均流速公式から求める。図中には観測期間のうち降雨が見られた5日間のみを示す。降雨に伴い河川流量Q<sub>r</sub>は素早く増加し、地下水流量Q<sub>g</sub>は遅れて増加する。そのためQ<sub>g</sub>/Q<sub>r</sub>は平常時では0.4程度と高いが、出水直後では0.9に達するなど大きく増加し、地下水流入が平常時や出水直後に顕在化している。

(3) 地下水・湧水の相関関係：河床・井戸地下水の起源を把握するために、両地下水のNO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>-Nと酸化還元電位ORPの相関図を図5に示す。ここでは、河川水と湧水の結果も表示する。これより、ORPは両地下水共に同程度であるが、NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>-Nは河床地下水の方が井戸地下水より高く、また、河床地下水は湧水と類似した水質である。これより、河川へ流入する地下水の採取方法は、井戸水ではなく、護岸隙間から採取する本観測法が妥当であること、また、その流入する地下水水質は湧水水質と類似していることが明らかとなった。この湧水のNO<sub>3</sub>-Nの経年変化パターンは図6に示すように改善傾向となっており、それと対応して高崎川 (竜灯橋) でも公共用水質データ (冬季) によると2004年から改善傾向となる。これらは、湧水の水質改善が高崎川に寄与しているためであり、今後の印旛沼流域の湧水環境改善の更なる推進が有効であることを示唆する。

参考文献：

- 1) 赤松ら：河川技術論文集, Vol.16, pp.311-316, 2010.
- 2) 二瓶ら：水工学論文集, Vol.54, pp.1351-1356, 2010.
- 3) 原田ら：土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.66, pp.179-180, 2011.

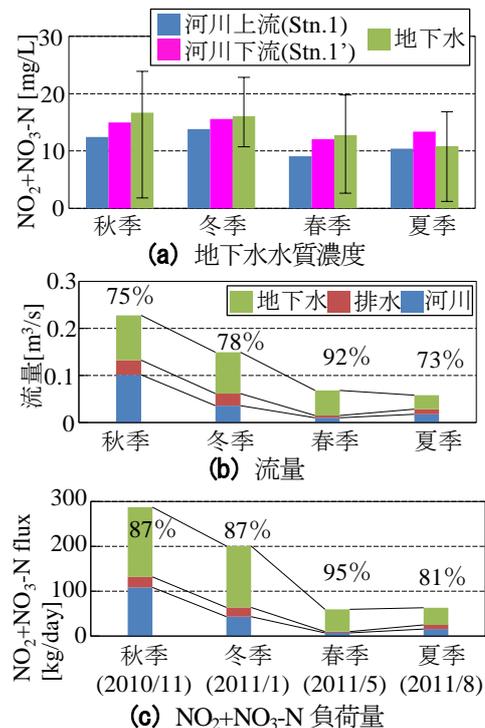


図3 高崎川上流部における水質濃度・流量・水質負荷量の季節変化

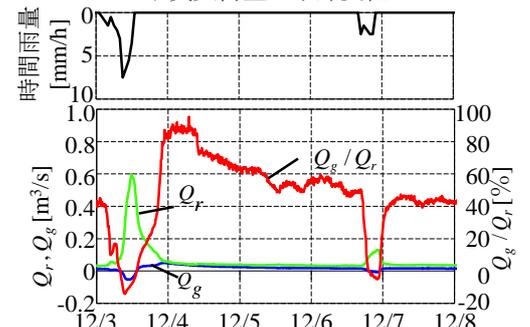


図4 河川流量Q<sub>r</sub>と地下水流量Q<sub>g</sub>の時間変化

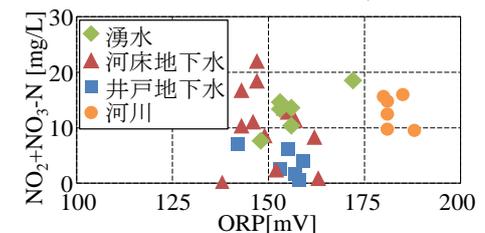


図5 河川水・両地下水・湧水の相関図

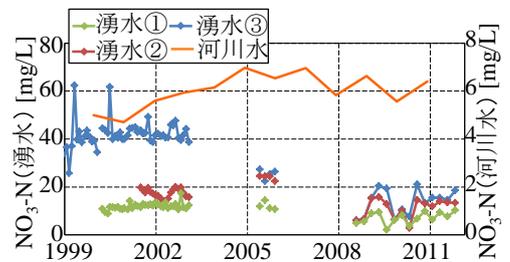


図6 湧水、河川水の硝酸態窒素の経年変化