

第Ⅶ部門 昆陽池の窒素起源の推定に関する研究

関西大学工学部 学生員 ○加藤 謙吾
 関西大学大学院・工学部 フェロー会員 和田 安彦
 関西大学工学部 正会員 尾崎 平

1. はじめに

伊丹市に位置する昆陽池は、古くから農業用水の確保のために利用・管理されてきた。現在、親水公園として整備され多くの人々に親しまれているが、閉鎖性水域であるため富栄養化により水質悪化が進行している。富栄養化原因の一つである窒素は、水量維持のために流入させている地下水に大きく由来している。そのため本研究では昆陽池の水質改善を目的に、調査地域の井戸データから地下水状況を把握し、昆陽池流入地下水中の窒素起源を原単位法による窒素負荷量の算定、GISを用いた地下水成分分布図、トリリニアダイアグラム・ヘキサダイアグラムによる地下水水質分類から推定した。

2. 対象地域の概要

昆陽池は伊丹台地上にある。その伊丹台地は北から南に向けて緩く傾斜しており、地下水も北から南へ流れていると考えられる。そのため、昆陽池流入地下水に影響を与える宝塚市、伊丹市（昆陽池以北）、川西市を調査地域と選定した。調査地域は神戸市と大阪府の中間に位置し、住宅地として発展しており、窒素発生の基本フレームである農地、畜産は減少、生活排水は増加している状況である。

3. 結果と考察

1) 原単位法による窒素負荷量¹⁾

宝塚市、伊丹市（昆陽池以北）、川西市の窒素負荷量経年変化を表-1に示す。宝塚市では最小で39,737kg/y、最大で60,796kg/yとなった。伊丹市（昆陽池以北）では最小で16,179kg/y、最大で22,921kg/yとなった。川西市では最小で35,744kg/y、最大で55,898kg/yとなった。項目別には各市とも生活排水が最も大きくなった。窒素負荷量は大きい順に生活排水、自然由来、施肥、畜産排泄物となった。調査地域の生活排水、施肥、畜産排泄物の窒素負荷量の合計は1980年以降大きく変わらない事、調査地域の農業用地は宅地に転用されてきたことから、施肥による窒素負荷量が減少すると生活排水による窒素負荷量が増加する関係が読み取れる。

2) GISを用いた地下水成分分布図

窒素負荷源の影響を見るために、GISを用いて調査地域の井戸データ²⁾から自然地下水等高線、硝酸性窒素・塩化物イオン分布図を作成した(図-1)。自然地下水等高線は、地下水の位置水頭が等しい場所を結び作成した。この図より、川西市の地下水は猪名川沿いに南へ流れ、宝塚市の地下水は南東方向へ流れていると推測される。

表-1 発生負荷量及び地下水への供給量(算定式・算定結果)^{注1)}

①施肥	②生活排水	③畜産排泄物	④自然由来
$N_{cs} = F_n \cdot P_a \cdot 10^{-1}$ $N_{ss} = N_{cs} \cdot D_p \cdot 10^{-2}$	$N_{ch} = T_{sj} \cdot P_{ud} + Z_d \cdot P_{ud}$ $N_{sh} = N_{ch} \cdot D_p \cdot 10^{-2}$	$N_{ct} = E_u \cdot N_u \cdot U_{pd} \cdot 10^{-2}$ $N_{st} = N_{ct} \cdot D_p \cdot 10^{-2}$	$N_s = N_d \cdot P_o \cdot R_a \cdot P_p \cdot 10^{-2}$
N_{cs} : 発生負荷量 (kg/y) F_n : 施肥窒素量 (kg-N/10a/y) P_a : 作付面積 (a) N_{cs} : 地下水への供給量 (kg/y) D_p : 溶脱率 (%)	N_{ch} : 発生負荷量 (kg/y) T_{sj} : 単独処理浄化槽の原単位 (kg/人/y) P_{ud} : 地下浸透処理人口 (人) Z_d : 雑排水の原単位 (kg/人/y) N_{sh} : 地下水への供給量 (kg/y) D_p : 溶脱率 (%)	N_{ct} : 発生負荷量 (kg/y) E_u : 畜産排泄物の各原単位 (kg/(頭・羽)/y) N_u : 各頭・羽数 (頭・羽) U_{pd} : 家畜排泄物の不適正処理率 (%) N_{st} : 地下水への供給量 (kg/y) D_p : 溶脱率 (%)	N_s : 発生負荷量 (kg/y) N_d : 自然地下水の硝酸性窒素濃度 (mg/L) P_o : 降水量 (mm/y) R_a : 調査範囲面積 (km ²) P_p : 降水浸透率 (%)

注1) 調査地域は1950年代から地下水規制が厳しく、工場排水処理も市の環境基準等で規制されているため、工場排水による影響は無視した。

このことから、昆陽池流入地下水は宝塚方面から流れていると推測される。硝酸性窒素・塩化物イオンの分布は、特に武庫川沿いの生瀬，川面間で集中する箇所が見られた。塩化物イオンは生活排水の影響により濃度が変化することから，生活排水が地下水に影響を与えていることが推測される。

3) 地下水水質分類

図-2，図-3 に宝塚市浄水場へ汲み上げている地下水データから作成したトリリニアダイアグラム，ヘキサダイアグラムを示す。ここでは以下のような違いが見られた。水質検査結果を表-2 に示す。

○生瀬井戸水とその他の井戸水のプロットされた場所が異なる。

一般的に地下水は，滞留時間が長くなるにつれて水質が変化する。陰イオンは HCO_3^- に置換され，陽イオンは陽イオン交換反応によって二価から一価の陽イオンの置換にされると言われている。地下水は生瀬から，川面方向へ流れていると推測されることから，生瀬井戸水とその他の井戸水の地下水成分の溶存割合変化を生瀬→その他井戸と見てみると， $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ は減少， $\text{Cl}^-+\text{SO}_4^{2-}$ は減少， Na^++K^+ は増加， HCO_3^- は増加している。地下水の流れから，川面井戸水や小浜井戸水の方が生瀬井戸水より滞留時間が長いと考えられる。そのため， $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ が減少し Na^++K^+ が増加した。また， $\text{SO}_4^{2-}+\text{Cl}^-$ が減少し HCO_3^- が増加したと考えられる。

○生瀬井戸と他の井戸で濃度が変わらない項目がある。

川面井戸や小浜井戸のカチオンの溶存割合を見ると， $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ より Na^++K^+ の割合が若干高くなっている。施肥には Na^+ ， K^+ 成分は含まれていない。施肥が影響しているなら $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ の溶存割合は生瀬井戸水と比べ変化しない，若しくは増加すると考えられるが溶存割合は低下している。そのため，施肥の影響は無いと考えられる。次に川面井戸や小浜井戸のアニオンの溶存割合を見ると， $\text{Cl}^-+\text{SO}_4^{2-}$ の割合が下がっている。これはイオン交換により HCO_3^- に変化していると考えられる。仮に，生瀬井戸周辺には Cl^- ， SO_4^{2-} に影響を与える窒素負荷源があり，他の井戸周辺にはそれがないとすると， Cl^- ， SO_4^{2-} の溶存割合は減少しなければならない。しかし， SO_4^{2-} の濃度は変化しているが Cl^- は変化が無い。このことは，生瀬井戸と川面・小浜井戸間に Cl^- に影響を与えるが SO_4^{2-} に影響を与えない生活排水の影響が地下水に表れていると考えられる。

4. まとめ

本研究は昆陽池の窒素起源の推定を行い，以下の知見が得られた。

- 1) 昆陽池流入地下水は宝塚方面から来ており，昆陽池の水質には宝塚市の生瀬，川面間の窒素負荷源の影響が出ている。
- 2) 調査地域の窒素負荷源は大きい順に生活排水，自然由来，施肥，畜産排泄物である。

今後，昆陽池流入地下水中の窒素負荷削減対策として，生活排水と関連のある要素，例えば老朽化下水道の更新，生活排水の未処理人口の削減等の対策が有効であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 環境省水環境部地下水・地盤環境室：硝酸性窒素による地下水汚染対策の手引き
- 2) 国土交通省，国土調査課：全国井戸台帳，近畿編・井戸データ

表-2 宝塚市浄水場井戸水質検査結果

	生瀬 浅井戸	高松 浅井戸	川面 浅井戸	小浜 浅井戸	小林 浅井戸
一般細菌 (個/mL)	251	4	1	2	1
大腸菌群 (個/mL)	2	0	0	0	1
Na^+ (mg/L)	33	44	37	34	32
K^+ (mg/L)	4.8	6.8	6.5	6.4	5.9
Ca^{2+} (mg/L)	48	34	23	23	29
Mg^{2+} (mg/L)	3	2.7	1.7	1.7	2.1
Cl^- (mg/L)	43	42	36	34	36
SO_4^{2-} (mg/L)	82	31	31	24	33
HCO_3^- (mg/L)	59	96	61	65	60
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素 (mg/L)	0.56	1.45	1.35	0.69	1.67
アンモニア性窒素 (mg/L)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
電気伝導率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	430	400	320	300	330

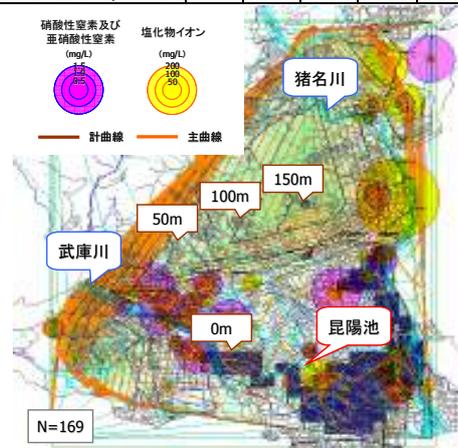


図-1 自然地下水等高線，硝酸性窒素，塩化物イオン分布

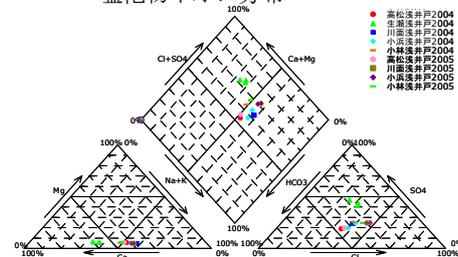


図-2 トリリニアダイアグラム

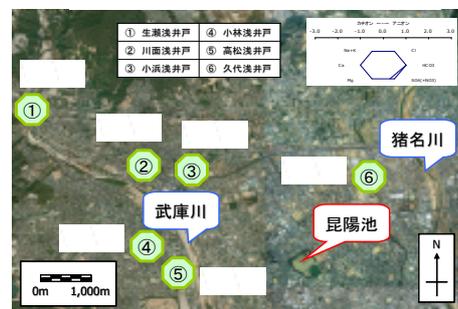


図-3 ヘキサダイアグラム