

京都盆地水系における表流水—地下水間の流動と水質特性の解析

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○栗津 進吾
 京都大学防災研究所 正会員 城戸 由能
 京都大学防災研究所 正会員 中北 英一

1. はじめに

古来より飲料用や産業用として地下水が利用されてきた京都盆地水系では、高度経済成長期の過剰な揚水により引き起こされた盆地南部域での地盤沈下問題がその後の規制により沈静化しているが、近年も湧水の消失や散布肥料・工場排水等による水質汚染などの問題がみられる。本研究では、今後の地下水利用の適正化を図り、持続可能な水資源としての利用を進めるために、表流水と地下水間の水・物質挙動の解析が重要であると考え、京都盆地における地下水と表流水の既存の水量・水質観測データの解析、独自の観測調査およびモデル解析を行った。

2. 観測および水質データ解析

京都盆地南部域の5箇所(上鳥羽、下鳥羽、深草、桃山)の井戸に自記水位計・自動水質計を設置し、連続的な地下水観測を2009年12月より開始した。計測間隔は水位計が10分、水質計は20分である。自動水質計計測データはpH, 電気伝導率[COND], 濁度[TURB], 溶存酸素[DO], 水温, 水深, 全溶存固形物量[TDS], 酸化還元電位[ORP], Cl⁻, NO₃⁻, Ca²⁺である。また、データ回収時に井戸および周辺河川での採水を行い、室内水質分析を行った。分析項目は全有機態炭素(TOC, POC(懸濁態), DOC(溶存態)), 総窒素(T-N, P-N(懸濁態), D-N(溶存態)), 各態別窒素(NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N), Na⁺, Li⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺の陽イオン, H₂PO₄⁻, F⁻, Cl⁻, Br⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻の陰イオン, および浮遊性粒子状物質[SS]である。

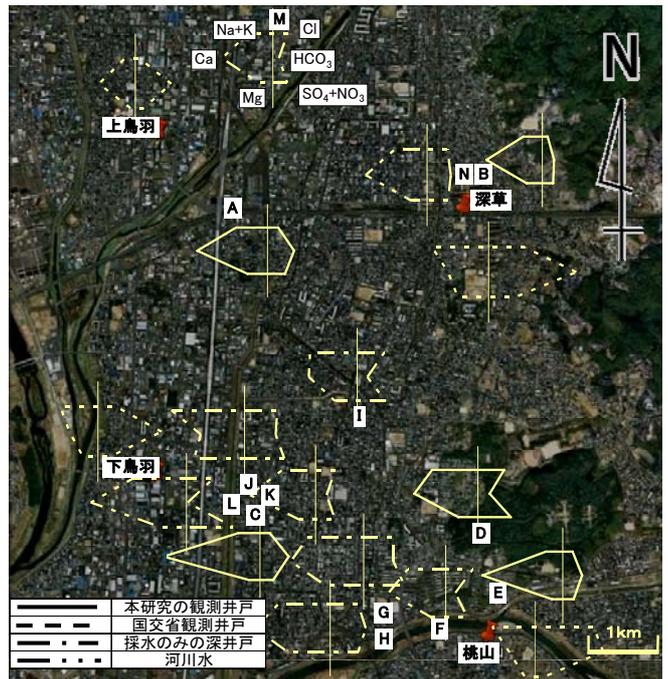


図-1 ヘキサダイアグラムによる解析 (背景地図は GoogleEarth より引用)

国土交通省が行っている地下水観測のデータ¹⁾のうち各年8月のデータの1992~2002年の期間平均値と本研究の観測結果を用いて、ヘキサダイアグラムによる解析を行った(図-1)。河川水(二点鎖線)と連続観測井戸の地下水(実線)は、Ca-Cl, Ca-SO₄型、中間型に分類されるものが多く、水質特性が類似している。また、国土交通省観測井戸のうち、連続観測地点近傍に位置する深草地点や桃山地点のダイアグラム(破線)は本研究の観測井戸のものとは異なり、水質特性に差異がある。

3. モデル解析手法

地下水流モデルの基礎式を以下に示す。

$$\lambda \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ k(h-s) \frac{\partial h}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ k(h-s) \frac{\partial h}{\partial y} \right\} + \varepsilon \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで、λ:有効間隙率, h:水位(m), k:透水係数(m/s), s:基盤標高(m), ε:涵養量, x, y:空間座標, t:時間とする。計算に用いる基礎データは100mメッシュの地表標高を国土地理院データベースに、透水係数・有効間隙率・基盤高を2006年度版関西圏地盤情報データベース²⁾から抽出

表-1 ヘキサダイアグラムによる地点別の水質類型

観測地点記号	類型	
自己観測井戸	A	中間型
	B	中間型
	C	Ca-HCO ₃ 型
	D	Ca-SO ₄ 型
	E	Ca-HCO ₃ 型
採水地下水	G	Ca-SO ₄ 型
	H	中間型
	I	Na-SO ₄ 型
	J	Na-SO ₄ 型
河川水	F	Ca-Cl, Ca-SO ₄ 型
	K	Ca-Cl, Ca-SO ₄ 型
	L	Ca-SO ₄ 型
	M	Ca-Cl, Ca-SO ₄ 型
	N	中間型
国交省観測井戸	上鳥羽	中間型
	下鳥羽	Na-HCO ₃ 型
	深草	Na-HCO ₃ 型
	桃山	Na-HCO ₃ 型

したボーリングデータに基づいて設定した。また、土地利用ごとの浸透能をHorton式から計算し、降雨による地表涵養量を設定した。さらに、河床浸透量については、以下の式から求めた。

$$q = k \frac{\partial h}{\partial a} \dots\dots\dots(2)$$

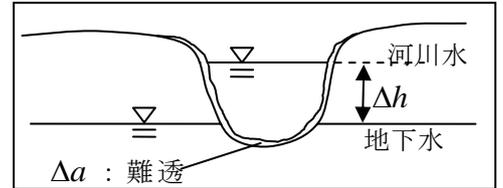


図-2 河川メッシュ上の鉛直浸透量算定

ここで、 q :河床浸透量(m/s), ∂h :河川・地下水間水位差(m), ∂a :難透水層厚(m), k :難透水層透水係数(m/s)である。 ∂h の正負に従い、河川から地下水への涵養および地下水から河川への湧出の両者(交流現象)を表現することができる(図-2)。水質モデルは、物質の移流・拡散を基本として、流出入および生成消滅を考慮した以下の基礎式を用いた。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - u \frac{\partial C}{\partial x} - v \frac{\partial C}{\partial y} + (Q_s C_s + Q_r C_r - Q_u C) / V + k_i C \dots\dots(3)$$

ここで、 C :地下水水中物質濃度, D_x, D_y : x, y 方向拡散係数, u, v : x, y 方向流速(実質流速), Q_s :地表面浸透水量, Q_r :河床浸透水量, Q_u :揚水量(工業用,農業用,上水道用), C_s :表面浸透水中物質濃度, C_r :河川水中物質濃度, V :メッシュ内水塊体積, k_i :生成消滅係数($i=1$:吸着係数, $i=2$:脱着係数, $i=3$:分解係数)である。

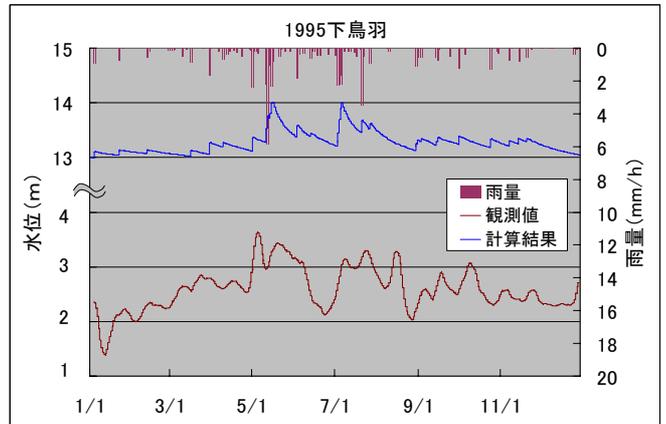


図-3 1995年下鳥羽地下水位

4. 計算結果と考察

今回のモデル計算では、気象庁京都地点の1989~1998年までの10年間のアメダス1時間雨量データを用い、スピナップ計算を行った後、本計算を行った。文献資料に基づいて設定した地表面浸透および河床浸透、河床標高に関して感度解析を実施した。その結果、河床標高を変化させることで周辺地下水の水位標高は大きく変化するとともに降水浸透などによる地下水位変動幅が小さくなり、交流現象の表現が対象領域の地下水位を評価する上で重要であること。また、初期損失を調整することで降水浸透に伴う地下水位変動が再現できることが確認された。感度解析の結果を踏まえて設定した各パラメータの元で計算した1995年の下鳥羽地点における水位を図-3に示す。地表面浸透と河川・地下水間の流出入を導入したことにより、計算結果は観測値と比べて絶対値としての差異(バイアス)が存在するが、強降雨時の地下水位上昇とその後の水位低下の再現性が先行研究³⁾より高くなった。また、対象領域南部の宇治川河道周辺では河川からの涵養が主であると想定していたが、帯水層基盤構造に基づき宇治川断層を境として北からは地下水から河川水への湧出、南へは河川から地下水への涵養が存在することが明らかとなり、モデル解析に反映させた。水質計算においては局所的な濃度数値が大きくなったので、十分なスピナップ計算により移流拡散現象を安定させた上で、地表および河川水浸透により供給される汚濁物質を与えて、地下水質の空間分布特性を再現する必要がある。

5. 結論

観測データの解析から京都盆地南部の表流水と地下水の水質特性の類似性を解析するとともに、地下水流動・水質モデル計算と感度解析を実施して地下水位の再現性を観測データに基づき評価した。現在実施中の連続観測で得られる時空間的に密な水位・水質データに基づいて、水収支および汚濁物質収支を算定評価して地下水流動・水質モデルの再現性を確認し、最終的に京都盆地全体の地下水動態を定量的に評価する。

謝辞: 本研究のため、こころよく所有井戸での観測を了解いただいた関係者の方々に深く謝意を表します。

参考文献

- 1)国土交通省河川局:地下水水位年表, 1992~2002. 2)関西圏地盤情報データベース, 2006年度版, KG-NET・関西圏地盤情報協議会, 2007. 3)田中幸夫 他:京都盆地水系を対象とした地下水流動および水質解析, 京都大学防災研究所年報, 第52号, pp.607-624, 2009.