

第II部門 京都盆地水系における表流水-地下水間の水・物質挙動の解析

京都大学工学部 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

京都盆地水系の地下水は古来より飲料用や産業用に利用され、その良好な水質は多くの名水・名井として保全・活用されてきた。高度経済成長期の過剰な揚水による地盤沈下問題は沈静化してきたが、その後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。今後、地下水利用の適正化を図り、持続可能な水資源の確保を行う上では、地下水位および水質観測に基づいて、揚水量や涵養量を含む流動特性と水質特性を評価できるモデルを作成し、将来予測や対策評価を行うことが重要である。本研究では、京都盆地における過去の地下水観測資料とともに盆地南部を対象とした独自地下水観測結果に基づく水質解析を行った。また、平面二次元飽和地下水流モデルと移流・拡散方程式の水質モデルを用いて、京都盆地水系における地下水の流動特性、水質特性の定量的な評価を試みた。

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^- , NO_3^- , Ca^{2+} である。また、データ回収時に井戸・河川での採水を行い、実験室で室内分析を行った。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(NH_3-N , NO_2-N , NO_3-N), Na^+ , Li^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} の陽イオン, $H_2PO_4^-$, F^- , Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- の陰イオン,および浮遊性粒子状物質[SS]である。

国土交通省が行っている地下水観測のデータ¹⁾と本研究の観測の採水分析結果を用いて、ヘキサダイアグラムによる解析を行った。平成4年～平成14年の期間で、イオン項目が分析されている各年8月のデータの期間

平均値に用いた。結果を図-1に示す。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、中間型に近い形のものが多く、水質特性が類似しているといえる。また、連続観測地点近傍に位置する国土交通省観測井戸のうち、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。

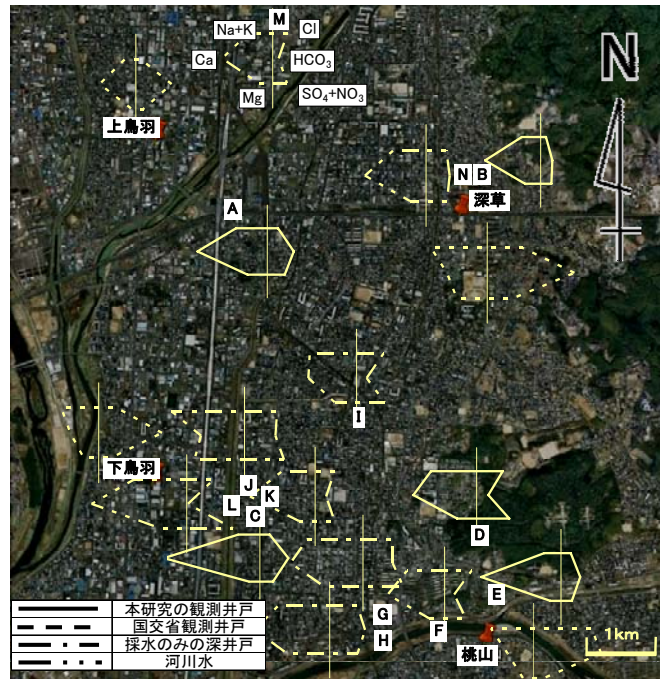


図-1 ヘキサダイアグラムによる解析 (地図は GoogleEarth より引用)

表-1 ヘキサダイアグラムによる地点別の水質類型

観測種別	地点	水質類型
自己観測	A	中間型
	B	中間型
	C	Ca-HCO ₃ 型
	D	Ca-SO ₄ 型
	E	Ca-HCO ₃ 型
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	上烏羽	中間型
	下烏羽	Na-HCO ₃ 型
	深草	Na-HCO ₃ 型
	桃山	Na-HCO ₃ 型

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

ただし、 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(m/s)、 x, y :空間座標、 t :時間とする。計算に用いる基礎データとして、100mメッシュの地表標高データを国土地理院から、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。

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

ここで、 q :河床浸透量(m/s)、 Δh :河川・地下水間水位差(m)、 Δa :難透水層厚(m)、 k :難透水層透水係数(m/s)である。 Δh 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)。

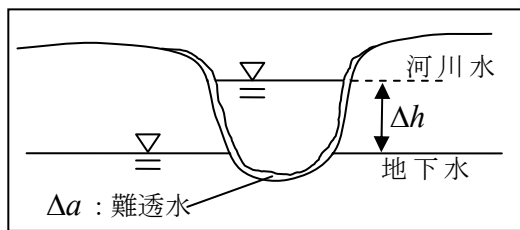


図-2 河川メッシュ上の鉛直浸透量算定

水質モデルは、物質の移流・拡散を基本として、流入および生成消滅を考慮した以下の基礎式を用いた。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - u \frac{\partial C}{\partial x} - v \frac{\partial C}{\partial y} \dots (3)$$

$$+ (Q_s C_s + Q_r C_r - Q_u C) / V + k_i C$$

ただし、 C :地下水中物質濃度、 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 :コントロールボリューム(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。

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アメダス 1 時間雨量データを用いて、1989 年から 1998 年までの 10 年間の計算を行った。地表面浸透および河床浸透に関わるモデルパラメータについての感度解析を実施するとともに、観測地点標高の確認と宇治川付近の断

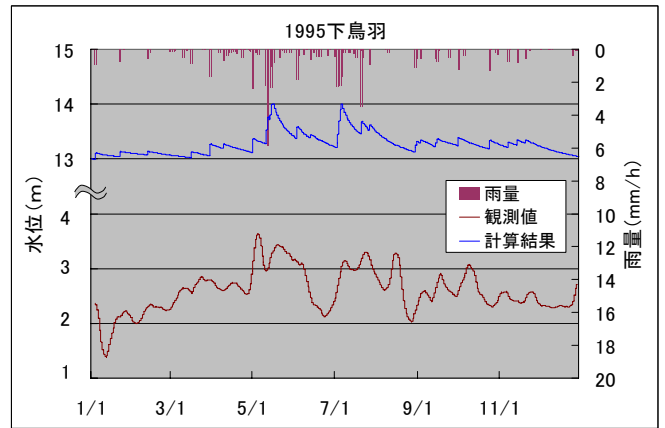


図-3 1995年下鳥羽地下水位

層構造の確認を行った。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が高く、かつ降水浸透などによる地下水位変動幅が小さくなること。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大きな差(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。水質計算は局所的な濃度数値が大きくなったので、十分なスピニング計算により移流拡散現象を安定化させた上で、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制限する必要がある。

5. 結論

観測データの解析から京都盆地南部の水質特性を概ね把握するとともに、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.