

第II部門 人間活動が地下水の時空間変動に及ぼす影響について

京都大学大学院工学研究科	学生会員	○ 井上雄一郎
京都大学大学院工学研究科	正会員	市川 温
京都大学大学院工学研究科	正会員	椎葉充晴
京都大学大学院工学研究科	正会員	堀 智晴

1 はじめに ヒートアイランド現象や都市型洪水の多発など、都市域における水熱環境の悪化が顕著であることから、人間活動やそれに伴う土地利用の変化が水循環機構に及ぼす影響についての関心が高まっている。こうした近年の傾向から、特にその影響が目に見える形として表れている蒸発散(熱収支)や降雨流出、雨水浸透といった水文事象について多くの研究がなされている。しかし、都市の水文事象のひとつである地下水への影響に関する研究は非常に少ない。その理由として、地下構造の複雑さ・多様性や地盤データの空間代表性の低さ、地盤データ量の不足、地下水が目に見える形として表れていないこと等が挙げられる。

そこで本研究では、地下水の時空間変動の把握を目的とした地下水流動モデルを構築し、地下水の利用や土地利用の変化といった人間活動が地下水の分布にどのような影響を及ぼしているのか検討する。また、その結果を水資源的観点および土地利用的観点から評価する。

2 地下水流動モデルの構成

2.1 モデルの概要 本研究では、被圧地下水の涵養域である不圧地下水に注目し、不圧地下水の時空間変動を把握することを目的とした平面二次元地下水流動モデル(以下、地下水流動モデル)を構築する。地下水流動モデルは、地表面状態によって決定される雨水浸透量を地下水涵養量として飽和地下水流動モデルに直接与え、不飽和帯における浸透過程は一切考慮しないモデル構成とする(図1参照)。また、地表面状態は浸透面および不浸透面の二分類とする。

2.2 基礎式 飽和帯における水の挙動は、Dupuitの準一様流近似を用い、水平方向のみ考慮する。こ

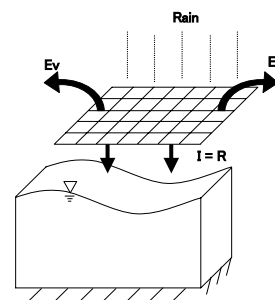


図1：平面二次元地下水流動モデルの概要

のとき、不圧地下水流の連続式は、

$$\rho S \frac{\partial h}{\partial t} = - \left\{ \frac{\partial(\rho u h)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v h)}{\partial y} - \rho R \right\} \quad (1)$$

運動量式は、

$$u = -k_x \frac{\partial H}{\partial x}, \quad v = -k_y \frac{\partial H}{\partial y} \quad (2)$$

ただし、 ρ :水密度[kg/m³]、 u, v : x, y 方向の流速[m/sec]、 H :全水頭[m]、 h :水深[m]、 R :地下水涵養強度[m/sec]、 S :有効空隙率[-]、 k_x, k_y : x, y 方向の飽和透水係数[m/sec]である。連続式に運動量式を代入すると、

$$S \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x h \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y h \frac{\partial H}{\partial y} \right) + R \quad (3)$$

となる。この式を、飽和地下水流モデルの基礎式とする。

不圧地下水は圧力水頭 $\psi = 0$ となるため、 $H = h + Z$ (Z :不透水基盤面高[m])となり、(3)式は h に対して非線形となる。したがって、ADI差分法^[1]を用いて数値解を求める。境界条件には、地下水位あるいは河川水位を与える。

3 人間活動が地下水の時空間変動に及ぼす影響

地下水流動モデルを桂川と鴨川に挟まれた京都市域を対象に適用し、人間活動が地下水の時空間変動に及ぼす影響について検討する。数値実験の対象期間は1996年1月1日～2000年12月31日までの5年間と

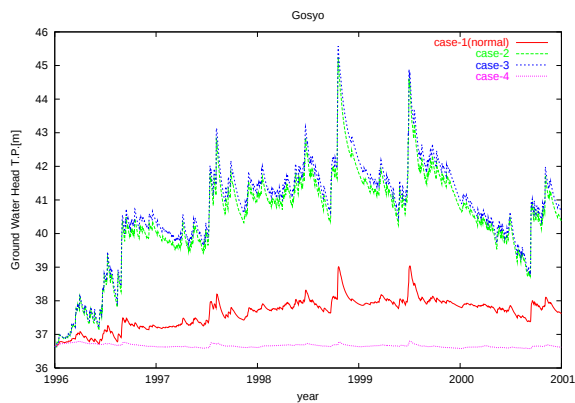


図2 数値実験1の計算結果(京都御所)

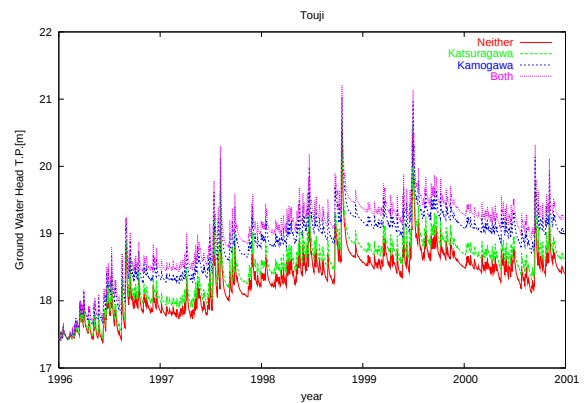


図3 数値実験2の計算結果(東寺)

する。ただし、不圧帯水層基盤高は、ボーリングデータ^{[2][3][4]}を元に作成したものを用いる。

3.1 数値実験1:土地利用における浸透域の割合の変化 再開発や都市緑化等により今後土地被覆状態が変化し浸透域の拡大あるいは減少が予想される。そこで、case 1:現在の土地利用(浸透域 27.6%)、case 2:建物用地の50%を浸透面(同 59.6%)、case 3:全ての土地を浸透面(同 100%)、case 4:全ての土地を不浸透面(同 0%)の4種のケースを想定し、数値実験を行った。

その結果、土地利用において浸透面を増やすことで地下水位が上昇するものの、case 2とcase 3の計算結果に余り差がないことから地下水位に影響を及ぼし得る浸透域の割合というものが存在すると考えられる(図2参照)。

3.2 数値実験2:河床の変化 治水事業の一環として、河床の掘り下げを行うことがある。ここでは、case 1:現在の河床高、case 2:桂川の河床が1[m]上がった場合、case 3:鴨川の河床が1[m]上がった場合、case 4:桂川および鴨川の河床が1[m]上がった場合、の4種の河川状況を想定した数値実験を行った。

その結果、比較的距離の近い鴨川の影響は大きく受け、比較的距離の遠い桂川の影響は小さくなることがわかった(図3参照)。また、河床高を1m上げた場合のその影響範囲はおよそ10km程度と推測された。

3.3 水資源的観点からの評価・考察 数値実験によって変動した流域の地下水量は、流域全土を浸透面とした場合に獲得される年間水資源量は580千[t]となった。これを京都市の水使用状況^[5]と比較すると、琵琶湖疎水からの日可能取水量の30%に満たないことが判る。

3.4 土地利用的観点からの評価・考察 浸透域を100降雨流出過程における緑地およびその他浸透面における雨水の貯留効果は、ポテンシャルとして流域平均約3m(ただし、有効空隙率は0.1)まで期待でき、流域全土において20[mm/hour]の降水が15時間継続しても貯留可能と言える。

4 まとめ 本研究では平面二次元地下水流動モデルを用いて、人間活動に伴う土地利用の変化が地下水の時空間的分布に及ぼす影響について検討した。その結果、地下水位に影響を及ぼし得る土地利用における浸透域の割合が存在すること、河川との位置関係によって地下水位の変動状況は大きく異なることが確認された。

また、地表面における浸透域の増大により増加する地下水を都市用水として活用することは難しいことが判った。しかし、浸透域の拡大による雨水貯留効果には期待できることも判った。

参考文献

- [1] 佐藤 邦明・岩佐 義朗：地下水理学，丸善，2002。
- [2] 関西地盤情報活用協議会地盤研究委員会 編：新関西地盤-京都盆地-，関西地盤情報活用協議会，2002。
- [3] 国土交通省 土地・水資源局国土調査課：平成12年度京都地下水マップ作成調査業務報告書，地下水マップ近畿地域(京都)，2001。
http://tochi.mlit.go.jp/tockok/tochimizu/F8/MAP/810099_2.pdf
- [4] 国土交通省 土地・水資源局国土調査課：全国地下水資料台帳 京都
<http://tochi.mlit.go.jp/tockok/tochimizu/F9/download.html>
- [5] 京都市上水道局：京都市水道施設の現状
<http://www.city.kyoto.jp/suido/suido-genjo.htm>