

伊洛河盆地における地下水のシミュレーション解析

趙 培*

キーワード：伊洛河盆地、黄河流域、地下水、シミュレーション解析

I はじめに

中国においては経済の急速な成長とともに様々な環境問題が生じてきている。特に、地下水の汚染や涸渇などの地下水環境に関する諸問題はライフラインなどにも関わり、早急に解決しなければならない課題の一つである。地下水汚染や涸渇の問題は、生活や生産などの人間活動によって引き起こされてきたものである。より良い状態で地下水環境を保全するためには、まず地下水の実態を明らかにし、その上で、人間活動に伴う地下水環境への影響を最小限に抑える方法を考えていくことが重要である(趙 2005)。

本研究においては、近年、都市化や工業化が進行している中国黄河中流域の伊洛河(イロウカ)盆地を研究対象地域に選定した。伊洛河盆地内で最も大きい都市である洛陽市の水資源および地下水についての研究は、これまでも数多く行われてきているが、それらの多くは、人口が集中している洛陽市の水資源の持続可能な利用法に関するものや、水文地質と地下水資源の調査などについてのものである(王・王 2002; 郭ほか 2006)。しかしながら、盆地全体の地下水を対象とした研究は趙(2009-2010)によるもののみでほかには見られない状況にある。本論文では、伊洛河盆地全域の地下水の保全と適正利用を考えるために、伊洛河盆地の地下水のシミュレーション解析を実施した。

II 研究地域の概要

研究対象地域である伊洛河盆地は中華人民共和国河南省西部に位置している(第1図)。伊洛河盆地は嵩山(スウザン)山地と黄土丘陵(邙山(ポウサン))などに囲まれている、その規模はおよそ南北30km、東西70kmで、面積にして約2,100km²である。盆地内には洛陽市、

偃師市、鞏義市の三つの都市がある。伊河と洛河は盆地内の主要な河川であり、偃師市で合流して黄河に注いでいる。伊洛河盆地は伊河と洛河の最下流部に位置している。盆地底は伊洛河沖積平野とよばれ、周囲の山地から流入する伊河や洛河などによる堆積物で覆われている。盆地底の沖積平野は全体的に西南から東北に向かって緩やかに低くなっている。沖積平野には更新世後期から完新世までの砂、砂礫などの堆積物が厚く堆積しており、また黄土丘陵と嵩山北麓の台地の地層は更新世中期と後期の砂、砂礫などの堆積物から構成されている。

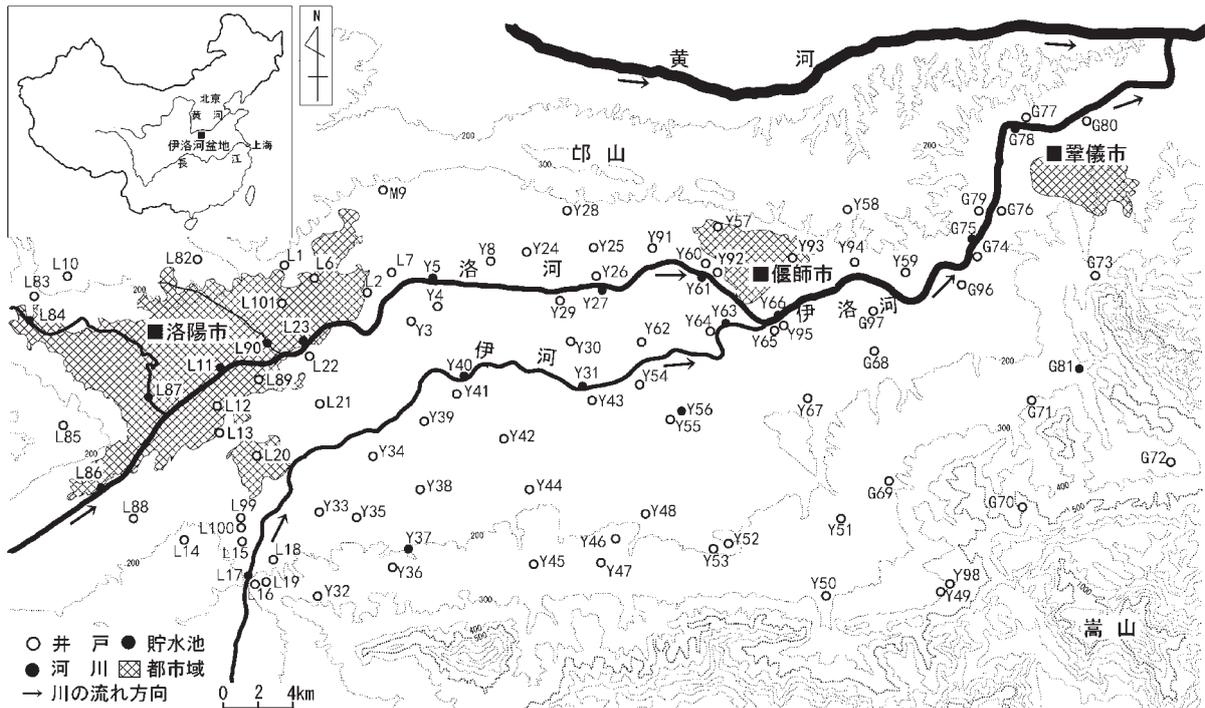
盆地内の主要な産業は農業と工業である。農業生産物は、主として小麦、とうもろこし、綿花などである。工業活動としては、火力発電所が偃師市に立地し、周辺の経済活動を支えている。これらのうち、火力発電所では水を大量に使用しており、また小麦やとうもろこしなども灌漑用水として大量の水を必要としている(趙 2009)。

III 地下水位の観測結果

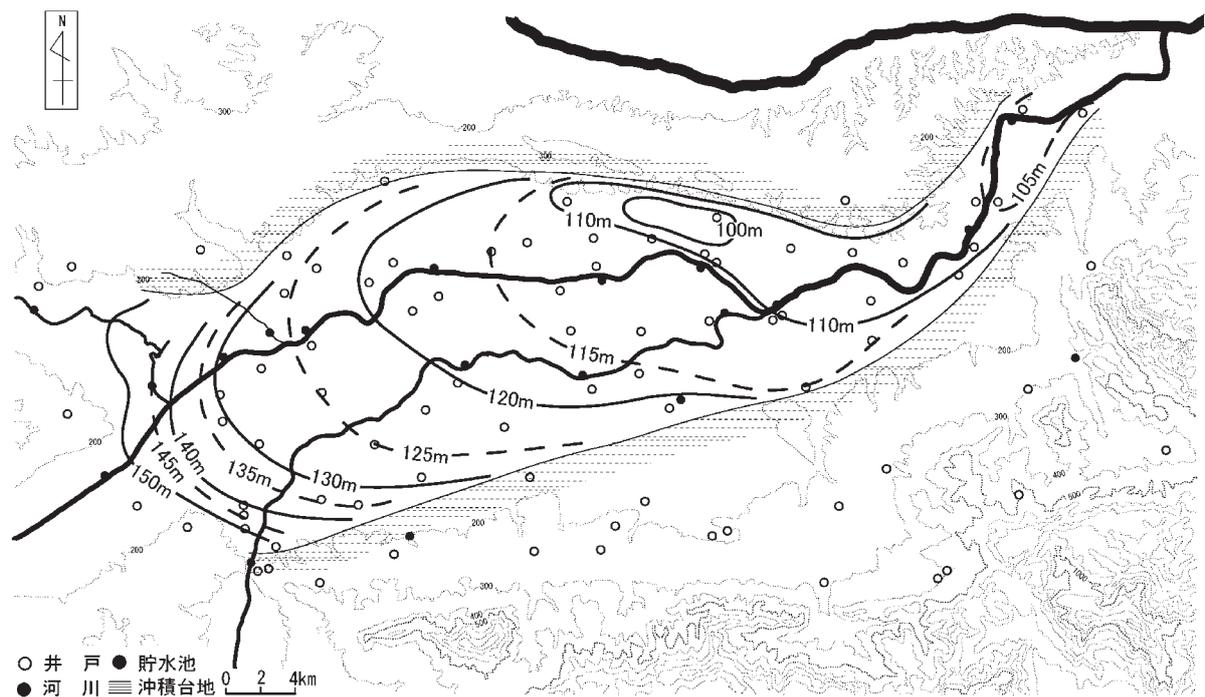
現地調査を実施した地域は、洛陽市、偃師市および鞏義市西部にまたがる伊洛河盆地の主要部をなす地域である。その調査地域内で、地下水位の測定地点、採水地点として、井戸合計82地点、貯水池合計3地点、河川合計16地点を、位置などを考慮しながら選定した。現地調査は2006年8月10日～9月20日、2007年2月25日～3月20日及び8月20日～9月20日の合計3回が実施した。

得られた地下水位の測定結果を用いて地下水面図を作成した(第2図)。図中の網かけ部分は盆地底の地下水とは帯水層の深さ、地形の勾配が盆地底とは異なる台地部を示し、網かけ部分に挟まれた沖積平野とその外側の台地部では、地層の堆積状況が異なり、帯水層が異なる可能性がある。そこで網かけ部分の外側の台地部では地下水面等高線を描くことを控えた。

* 立正大学大学院地球環境科学研究科研究生



第1図 研究地域と調査地点の位置



第2図 地下水面等高線図 (2006年8月)

盆地底の地下水面はほぼ地形面に対応しており、地下水は盆地周縁から盆地北部の揚水井に向かって流れ、その一部は北東部の伊洛河出口へと向かって流出していることがわかる。また偃師市の工業化が進む前は全体として地下水は黄河方向に流れていたものと推測される(趙 2010)。

IV シミュレーションモデルの作成

シミュレーション解析は、システム解析の一つの方法である、地下水流動の場は複雑で、また時によっては大規模な水文システムの一部を構成している。そしてこの地下水システム自体も、多数の階級に分かれた構成要素、

サブシステムからなっており、階級構造をつくっている。個々の要素は、密接な相互関連性をもっているため、個々の要素の性質や動きが理解されるだけでは、全体の動きを理解することが難しい。水文現象のシステムとして振舞いを理解するためには、システム全体の解析を行ってみる必要がある(山本 1983)。

計算に用いた基礎式と計算式

地下水の流動系を支配するのは、帯水層の形状とその透水性である。地下水の流速、流束を支配するダルシーの法則と連続の式などから、地下水の水頭を支配する次の式が導かれている。

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{T}{S} \left(\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

ここで、 H : 水頭、 T : 透水量係数、 S : 貯留係数である。ここでは定常状態を考えることにより、地下水に関する式(1)は、水頭 H に関する次の式、すなわちラプラス式となる。

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} = 0 \quad (2)$$

計算に用いる格子点の x 方向、 y 方向の間隔が同じとして(2)式を差分化すると、

$$H_{(i,j)} = \frac{H_{(i-1,j)} + H_{(i+1,j)} + H_{(i,j-1)} + H_{(i,j+1)}}{4} \quad (3)$$

となる。

境界条件の設定

本論文においては各種の境界条件の組み合わせによって具現されるシミュレーションの結果について考察する。

すなわち、地下水位や河川水位などの条件を変えて数値計算を行い、その結果として得られた地下水面の形状から地下水流動に大きな影響を与える要因について考察を行うこととする。

計算した範囲は第2図中の網かけ部分に挟まれた地域である。第2図の台地との境界付近の地下水位の年間の変動は実測によれば非常に小さかったこと明らかになっていることから、境界部の地下水の水位は盆地の周辺台地部との境界における地下水位の値として一定の値として設定した。河川の水位は地下水位と連続しているものと仮定した。盆地北部における偃師市の大量揚水井による地下水位の低下は揚水地点に隣接する井戸の水位を参考に設定した。

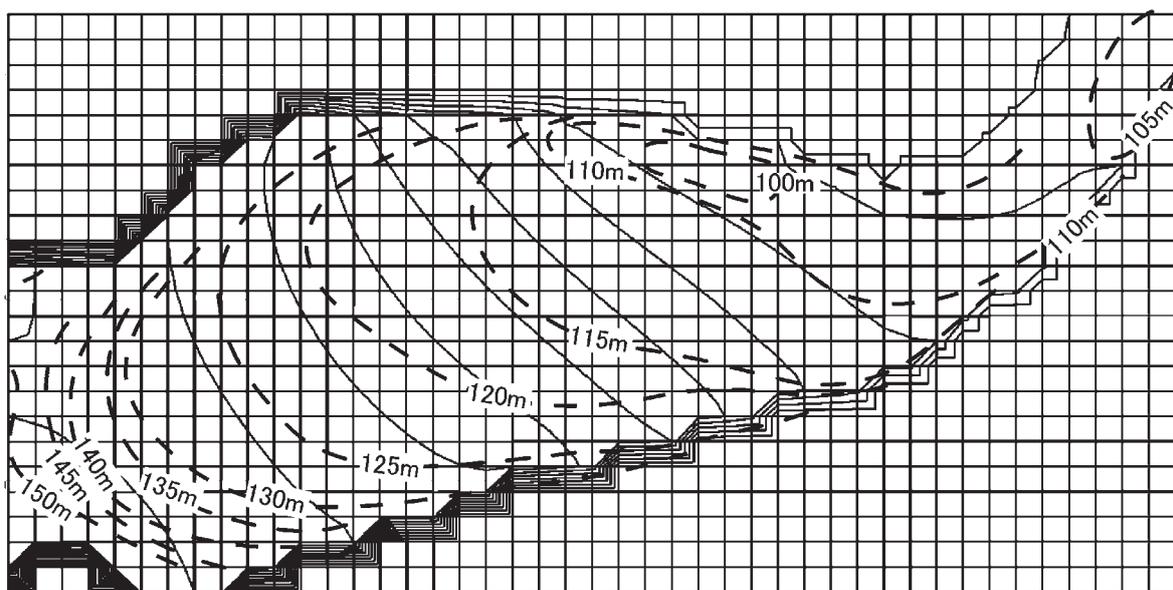
V シミュレーション解析の結果と考察

周辺台地境界部の地下水位のみを境界条件として与えた場合

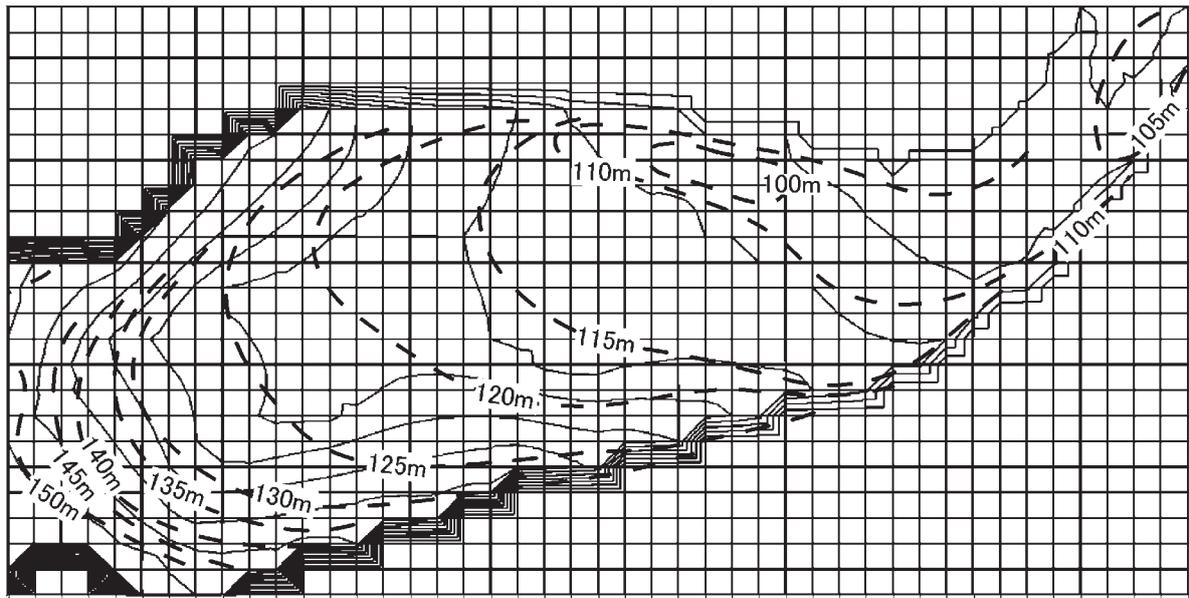
第3図は周辺台地部の地下水位を境界条件として与えてシミュレーションを行った結果である。この計算により再現した地下水面の形状は、実測した地下水面の形状と全体的に大きく異なる形態となった。

の条件に河川の水位を境界条件として加えた場合

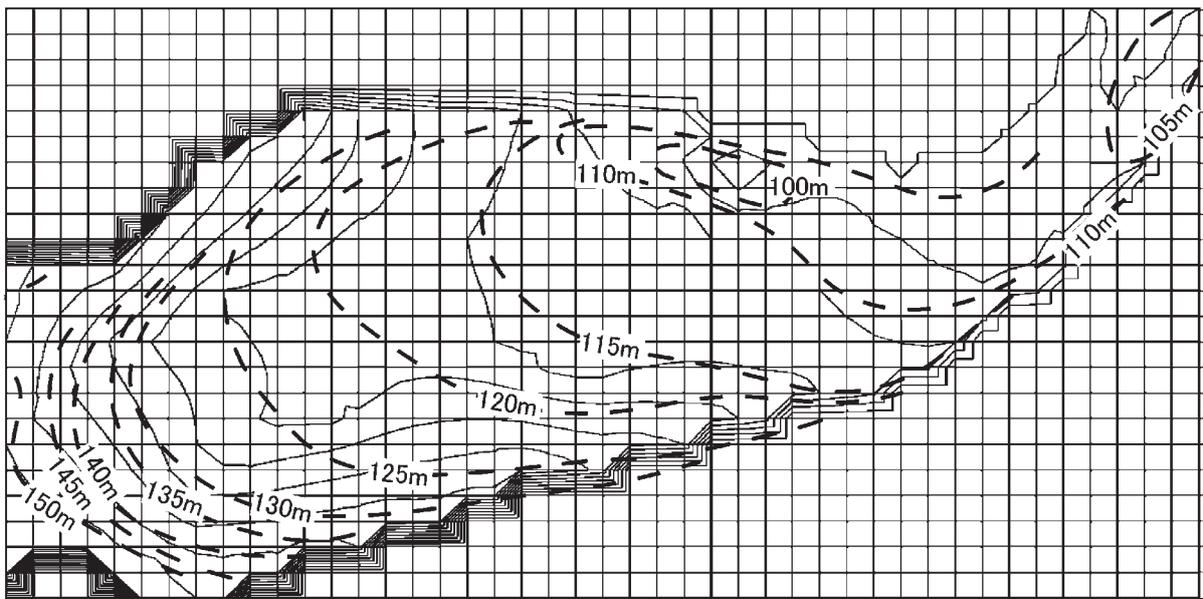
第4図は の条件に河川の水位を境界条件として加えて計算した場合の計算結果と観測結果を比較したものである。これによれば計算によって求められた盆地の上流側の地下水面形状と実測された地下水面形状は概ね同じ



第3図 周辺台地の周縁部の地下水位を境界条件として与えた場合の計算値と観測値
(実線: 計算値、破線: 観測値)



第4図 周辺台地の周縁部の地下水位、河川の水位を境界条件として与えた場合の計算値と観測値
(実線：計算値、破線：観測値)



第5図 周辺台地の周縁部の地下水位、河川の水位及び揚水井の水位を境界条件として与えた場合の計算値と観測値
(実線：計算値、破線：観測値)

形態となった。しかし、盆地の中流域と下流域における地下水の形状はやや異なる形状となった。このことから、河川水位は盆地の全体的な地下水に影響を与えていることが明らかになった。しかし、なお盆地の中流域と下流域の地下水位に影響を与えるほかの要因を考える必要があるものと考えられた。

の条件にさらに揚水井の水位を境界条件として加えた場合

第5図は周辺台地部の地下水位、河川水位及び揚水井の水位を境界条件として与えた場合の計算結果と観測結

果を比較したものである。この結果をみると、盆地の上流域と下流域における計算による地下水面の形状と実測された地下水面の形状は概ね同じ形態となった。盆地北部の揚水が盆地の下流域の地下水位に大きく影響を与えていることが明らかになった。

また盆地の中流域において再現した地下水位は実測した地下水位よりやや高い傾向が認められた。このことは盆地の中央部に多数分布している灌漑用井戸による揚水が盆地の中央部の地下水位にやや影響を与えている、すなわち水位を下げている可能性が高いことを示している

ものと考えられる。

VI おわりに

シミュレーションの結果によれば、河川からの涵養による地下水位の上昇と揚水による盆地内の地下水位の低下が、地下水面の形状に影響を与えていることが明らかになった。河川水からの地下水涵養は盆地の地下水面の形状全体に影響を与え、また盆地北部における偃師市の揚水井による水位低下は盆地の下流部の地下水に大きな影響を与えていることが明らかになった。また盆地の中央部に分布している灌漑用井戸の揚水は中央部の地下水位に影響を与えているものと推定された。

本研究においては、現場のデータが限られている状況の中で、その枠の中で利用可能な単純化したモデルを用いてシミュレーションを実施した。今後、より高度なシミュレーションの利用を行うためには、それに必要な様々なデータの収集が不可欠となる。地下水資源の保全を考えるためには様々なデータの収集を行い、より高度なシ

ミュレーション実施するとともに地下水のモニタリングを実施、適切な地下水資源の保全に向けた着実な努力が必要ではないかと考えるが、今後の課題としたいと考える。

参考文献：

- 郭友琴・強山峰・務宗偉・王現国 (2006)：洛陽市水資源現状及地下水動態分析予測 人民黄河 Vol.28, No.7 63 - 65
 王現国・王国章 (2002)：偃師市水資源開発利用潜力分析与可持續利用对策 地下水 Vol.24 NO.4 240 - 242
 山本莊毅 (1983)：新版地下水調査法 古今書院 490p
 趙培 (2005)：健全な都市の地下水循環系の構築～上海市を例として～ 立正大学大学院地球環境科学研究科環境システム学専攻修士論文 66p.
 趙培 (2009)：伊洛河盆地における地下水の流線網解析 地球環境研究 Vol. (2009) 81 - 87
 趙培 (2010)：黄河中流域伊洛河盆地における地下水の水質について 地域研究 (印刷中)

Simulation Analysis of Groundwater in the Yiluo River Basin, China

ZHAO Pei*

*Graduate student of Geo-environmental Science, Rishsho University.

Abstract:

The author has carried out the field observation and the numerical simulation of the groundwater table in Yiluo River Basin, China. He tried to simulation the groundwater table by means of the simplest simulation model, i.e. two dimensional steady state model, as there are not enough data available for precise simulation model.

From the results of the simulation of the groundwater table in the Yiluo River Basin, It is cleared that the groundwater table is affected by the recharge from the rivers, the Yi River and the Luo River, and the pumping in the basin, especially the well near the Yanshi city.

Keywords: Yiluo River Basin, Yellow River, Groundwater, Simulation analysis