

# 伊洛河盆地における地下水の流線網解析

趙 培\*

キーワード：伊洛河盆地、黄河流域、地下水、流線網解析

## I はじめに

21世紀に入り、アジア・太平洋地域を中心とする経済発展はますます拡大していくものと思われる。しかし、その発展の過程で、様々な環境破壊の問題が発生し、その影響が地球全体に及ぶことが危惧されている。

産業革命以後、農村から都市への人口の集中が起き、世界の人口の約1/3が都市とその周辺地域に居住するようになった。そのような都市地域の急激な人口増加と拡大は様々な都市問題を招き、都市を巡る自然環境を大きく変えてきた。そして今後も、環境に与える影響は拡大していくものと思われる。

特に、中国は世界最大の人口を抱え、年平均8～9%のスピードで経済発展をしており、世界の注目を浴びているが、その急速な成長は様々な弊害を生み出してきた。その1つが環境問題である。具体的には、中国国内で沙漠化、大気汚染、水質汚染、渇水など様々な環境問題が引き起こされてきている。このような中国の環境問題の中でも、特に地下水の汚染と枯渇など、地下水環境に関する諸問題は深刻で「ライフライン」に関わっており、早急に解決しなければならない問題となっている。(趙培 2005)

中国の地下水問題の多くは、次の2つに分類される。

地下水資源を、限度を超えて揚水、利用したため、地下水の涵養(供給)と揚水(需要)の間でアンバランスを生じせしめ、その結果、都市地域の地盤沈下や臨海部における塩水浸入を引き起こしている。

地下水の汚染は、経済の急速な発展と都市活動の活発化に伴う、生活污水や工業汚水の排出量の増加や、農業用の化学肥料の過剰な使用などにより発生している。

これらの問題の多くは、生活や生産などの人間活動によって引き起こされてきているものである。より良い地

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。

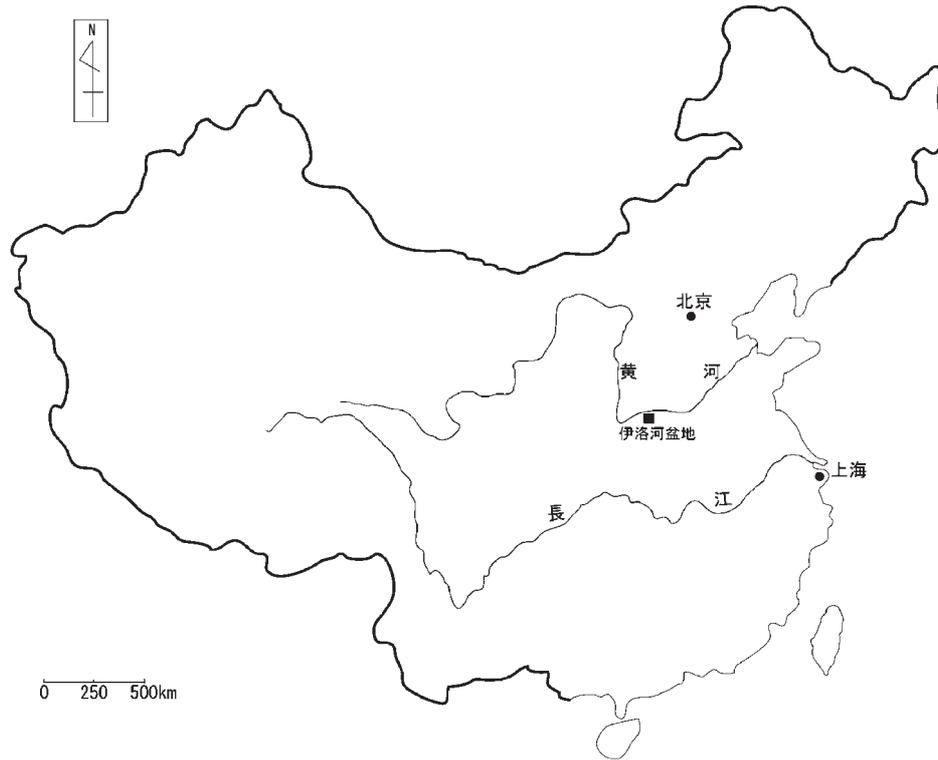
本研究では、近年都市化や工業化が急激に進んでいる中国の伊洛河盆地を研究対象地域として選んだ。伊洛河盆地内で最も大きくこの地域の中心都市である洛陽市の水資源および地下水について考察を行った研究はこれまでも数多く行われてきており、それらの多くは、洛陽市の水資源の持続可能な利用、水文地質と地下水資源について調査されたものである(王現国など 2005; 郭友琴など 2006など)。しかしながら、盆地全体の地下水を対象とした研究はほとんど見られない。本論文では、中小都市周辺で起きている地下水問題を考えるために、伊洛河盆地の流線網解析を実施して、明らかとなった地下水流動系の実態について報告する。

## II 伊洛河盆地の概要

### 1 位置と人口、産業

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、北京から南南西に約650km、上海から西北西に約1,000kmの位置にある。伊洛河盆地の規模はおよそ南北30km、東西70kmである(第1図)。その面積は2,528.3km<sup>2</sup>、盆地内の人口は約360万人である。盆地内には洛陽市、偃師市、鞏義市の三つの都市がある(第2図)。洛陽市は中国で最も古い都で、歴史のある都市である。また現在では工業都市及び商業都市として盆地内で最も大きい都市となっている。洛陽市の面積は466km<sup>2</sup>、人口は約200万人であり、このうち都市化された地域の面積は50km<sup>2</sup>で、そこに住む人口は150万人である。次に大きな都市は、偃師市で、その面積は883km<sup>2</sup>、人口は約82万人であり、その都市化地域の面積は17km<sup>2</sup>、人口は約16万人である。また、鞏義市の面積は

\* 立正大学大学院地球環境科学研究科学生



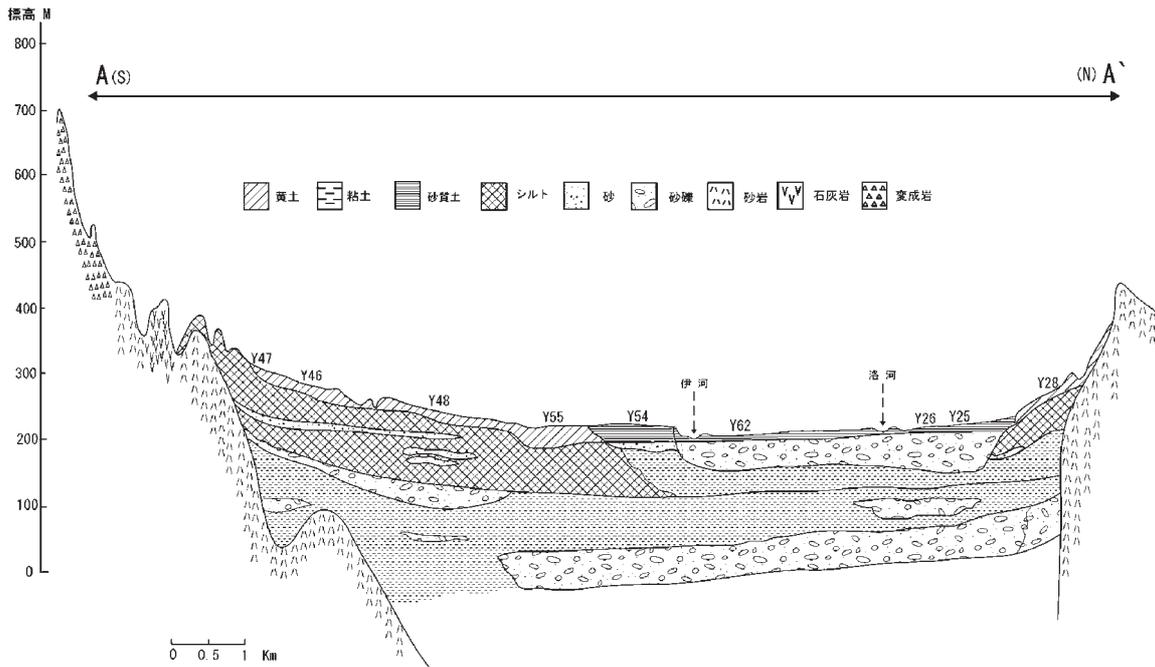
第1図 研究地域の位置



第2図 研究地域、調査地点と地質断面

800km<sup>2</sup>、人口は79万人であり、その都市化地域の面積は8 km<sup>2</sup>で、人口は約5万人である。全体として伊洛河盆地内の都市化された地域の面積は75km<sup>2</sup>で、人口は171万人であり、全人口の約47%が都市に集中している。農村地域の面積は2,453km<sup>2</sup>で、人口は190万人である。

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。小麦の生産量は年43.4万トンで、トウモロコシは年26.6万トン、綿花は年1,497トンである (洛陽市統計局 2007 ; 鄭州市統計局 2007)。工業活動としては、火力発電所



第3図 A ~ A'における地質の断面図

が偃師市に立地し、周辺の経済活動を支えている。また工業生産物としてはトラクター、板ガラスなどがある。トラクターは年間約4.4万台、板ガラスは年間約1879万換算箱を生産されている（洛陽市統計局 2008）。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。

#### 地形・地質と水文地質

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（第2図）。洛河の本流の長さは446.9kmであり、黄河中流で最も大きな支流であり、伊洛河盆地はその最下流部に位置している。伊洛河盆地は高山山地と黄土丘陵（邙山）に囲まれている。盆地南東部の高山の標高は約1,400mで北部の黄土丘陵の標高は約300mである。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と洛河などによる堆積物に覆われており、その標高は100m～160mとなっている。盆地底の沖積地は全体的に南西から北東に向かって緩やかに傾斜している。

盆地の中心部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、また黄土丘陵と高山北麓の台地には更新世中期と後期の砂、砂礫などの堆積物が堆積している。盆地の中央部の浅層地下水の帯水層は厚く、約40m～50mとなっている。また、高山北麓側の帯水層は比較的薄く約20m～30mであり、また丘陵側の帯水層は薄くなっている。第2図のA～A'に

沿った地質断面図を第3図に示した。

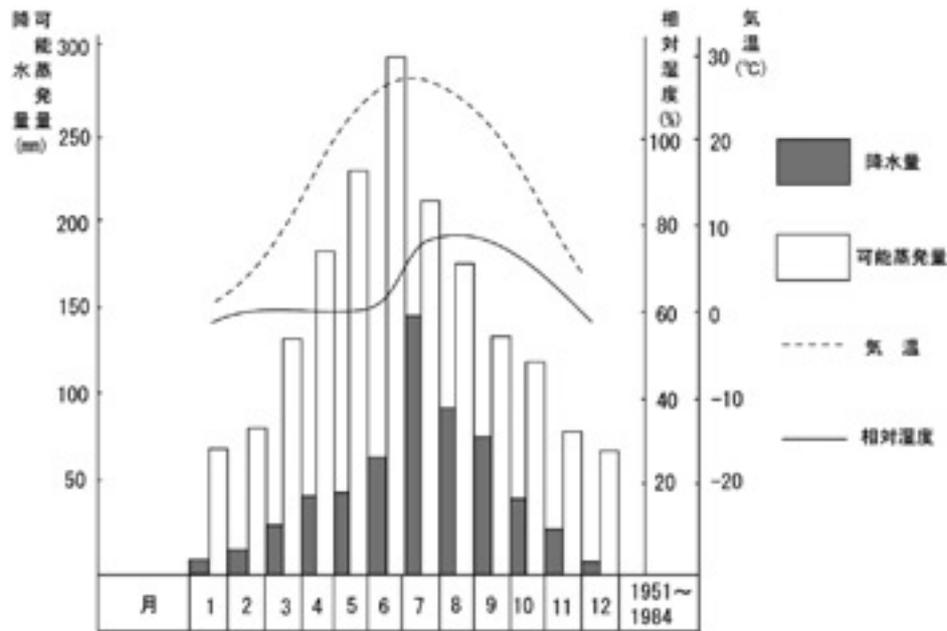
#### 気候、気象

本研究地域は温帯に位置し、四季がはっきりしている。夏は湿潤な南東の季節風、冬は乾燥した北西の季節風の影響で、一年は雨季と乾季に分かれている。夏は高温多湿で、冬は低温乾燥の気候環境となっている（第4図）。1951～1984年の気候資料（郭建民ほか 1994）によれば、洛陽の年平均降水量は608.9mmである。7～9月の3ヶ月間の平均降水量は381.9mmであり、年間降水量の63%を占めている。12～2月までの3ヶ月間の平均降水量は27.5mmであり、年間降水量の5%に過ぎない。また年平均蒸発量（可能蒸発量）は約1,800mmである。年平均気温は14.6であり、年間の最高気温は7月に現れ、7月の平均気温は27.4である。年間の最低気温は1月に現れ、1月の平均気温は0.4である。

#### 水利用

本研究地域では、多くの住民が居住し、農業や工業の活動が行われており、その活動に水は必要不可欠なものとなっている。流域内の水利用の現況について以下に簡単に述べる。

研究地域の河川水はあまり利用されていない（王現国ほか 2002）。また地下水は、都市の上水道水源として利用されており、それらの水源の数は合計15ヶ所である。その内訳は、洛陽市に10ヶ所、偃師市に4ヶ所、鞏義市に1ヶ所である。これらの水源は主に盆地の北部と中央部に分布しており、揚水量は合計約 $8.88 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ と報



第4図 研究地域の気候環境（1951年～1984年）

告されている。また、灌漑用水源として利用されている井戸は、主に盆地の中央部に分布している。その井戸の密度は10ヶ所/km<sup>2</sup>以上であり、揚水量の合計は約1.76 × 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/dである（陳峰ほか 2007）。

### III 研究方法

#### 資料の収集

研究地域の地形図は、アメリカの科学衛星「ランドサット（LANDSAT）」の画像データによってGlobal Mapper 7.0を用いて作成した。地質、気象、水文関係などのデータは洛陽市水文水資源局において資料収集したものを利用した。

#### 現地調査

本研究対象地域は洛陽市、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り、その地域内に分布する貯水池、河川、地下水から、位置や深度などを考慮して、地下水は82地点、貯水池は3地点、河川は16地点、合計101地点を選定した（第2図）。そして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日に採水を行った。採取したサンプルは、現地で水温、pH、電気伝導度およびアルカリ度（硫酸滴定法）を測定し、実験室に持ち帰った後、イオンクロマトグラフにより一般水質の分析を行った。一部のサンプルについては酸素と水素の安定同位体比の測定を実施した。また地下水面の形状を把握するため、井戸については地下水位の測定を実施した。

#### 流線網

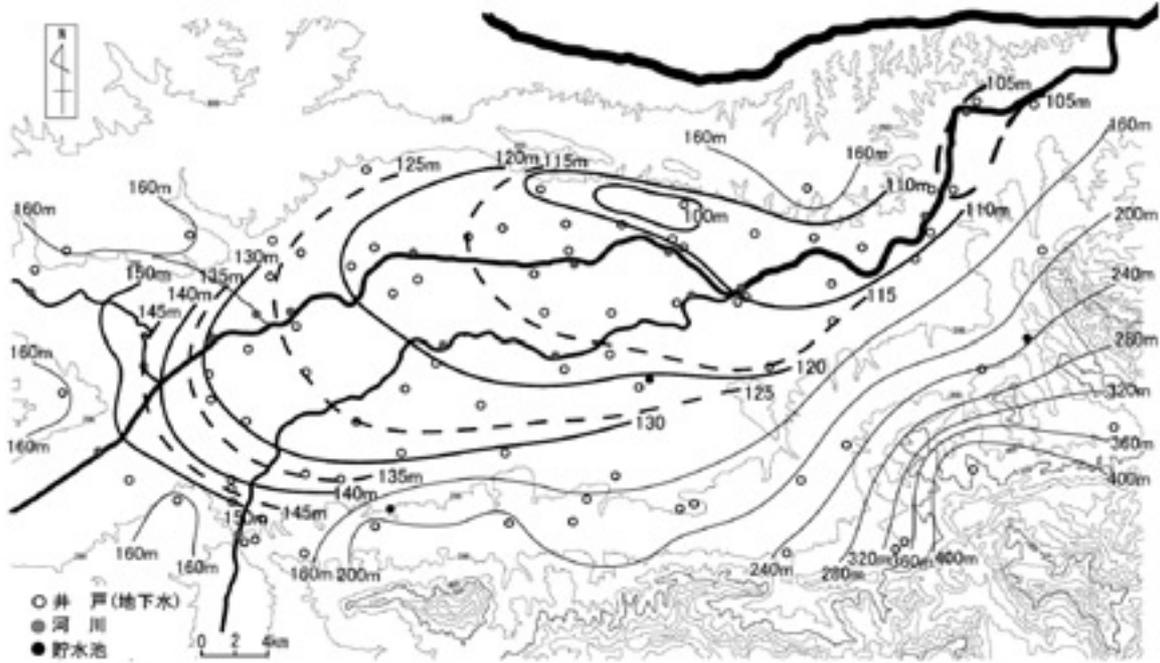
流線網の解析においては、まず等しい地下水面の標高を結んだ地下水面等高線図を作成、その等値線に直交する流線を描き、「流線網図」を作成する。その作成にあたっては、できるだけ地下水面の等高線と流線が正方形をなすように流線を描くこととした。

地下水の流線を用いた流線網法は、ベネット、ベネットとマイヤーによって始められ、主に定常流の解析に用いられている。流線網の図式解法を最初に開発したのは、フォルヒハイマーであるが、カサグランデやテイラーがこれを補足して完成している（山本 1983；水収支研究グループ 1993）。

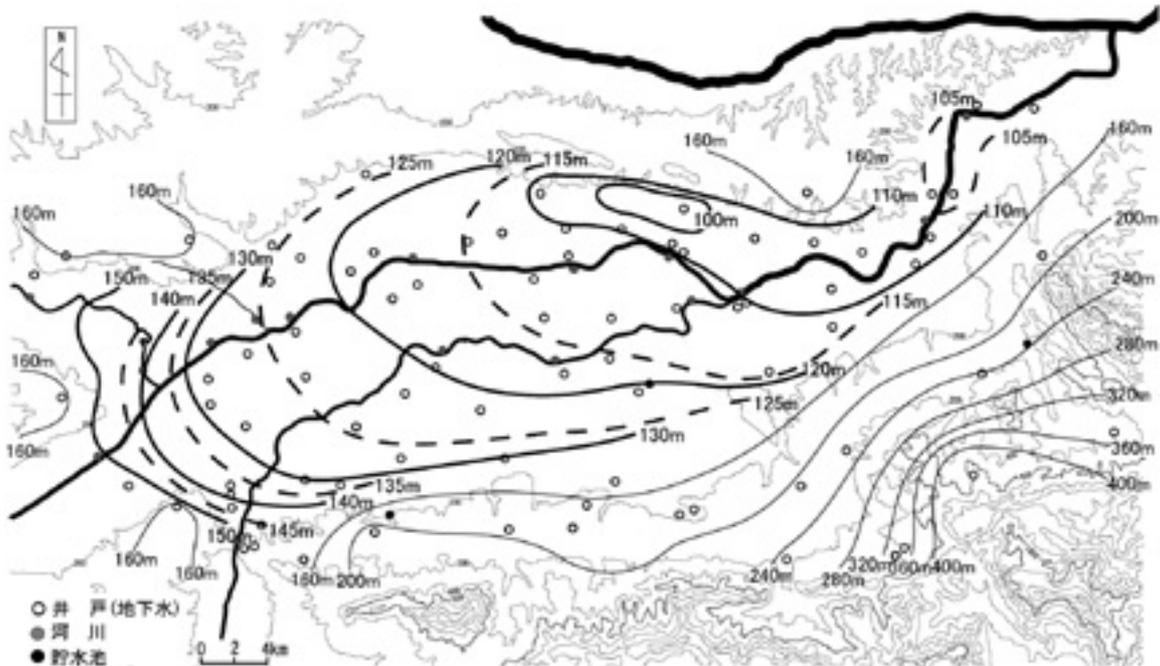
### IV 結果と考察

#### 1 地下水面等高線図の作成

地下水位の測定結果を用いて浅層地下水面図を作成した（第5図、第6図）。盆地内の地下水面はほぼ地形面の傾きに沿うかたちとなっている。すなわち、大まかな傾向としては本地域の地下水は、盆地周縁から中央部に向かい、北東部の伊洛河出口へと流下しており、最終的には黄河に流出しているものと推測することができる。また乾季と雨季の違いや変化をみるために、2006年8月（夏季、第5図）と2007年3月（冬の終わりから春にかけて、第6図）の地下水面等高線図を比較してみた。その結果、2006年8月（夏季）の地下水面等高線図に比べて、2007年3月（冬の終わりから春にかけて）のものは盆地の周辺山地部の地下水位は



第5図 浅層地下水等高線図 (2006年8月)



第6図 浅層地下水等高線図 (2007年3月)

大きく低下しているが、一方、盆地中央部の地下水位はほとんど変化してないことが明らかになった (第7図)。

## 2 流線網の解析

地下水面図をより精密に描き、地下水位の等高線に直交する流線を描いた (第8図)。その結果、伊洛河盆地の地下水の流動系は、上流側の ABCD の流域と下流側の DEFA の流域の2つに分かれていることが明らか

になった。ABCD の流域では周辺山地や上流から流れてきた地下水が盆地北部の都市などで揚水され、下流、すなわち黄河方向に流れ出ていないことが明らかになった。

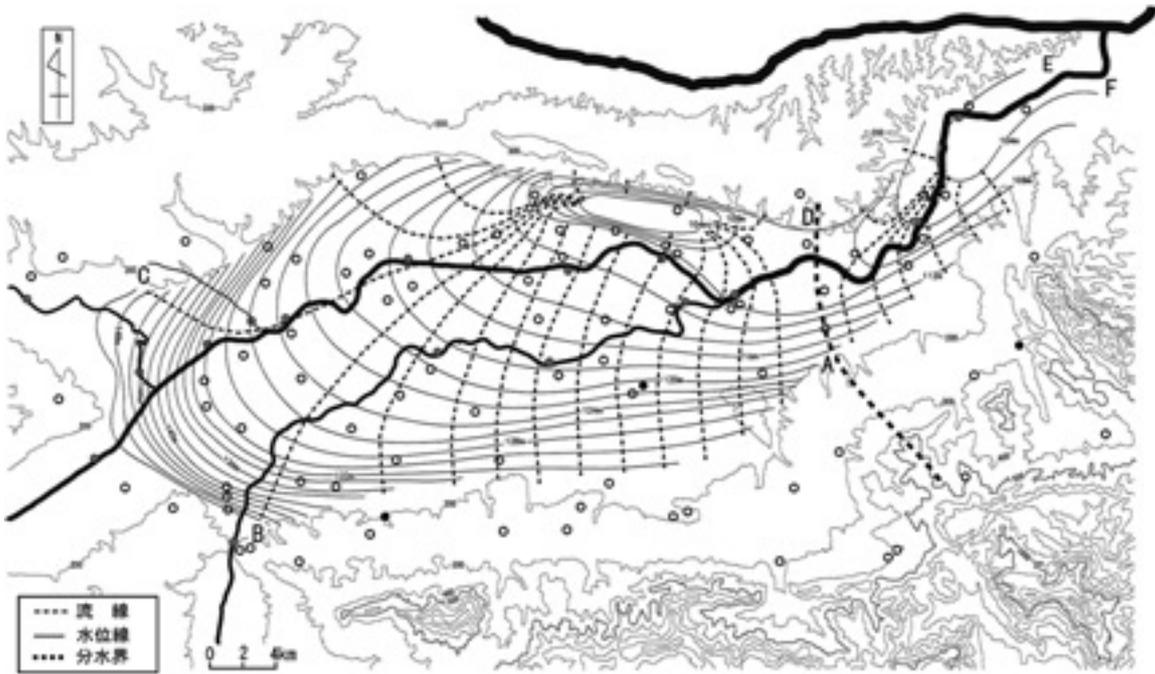
流線網解析では、一般に、

流線と流線の間隔 ( $\omega$ ) とその付近の帯水層の厚さ ( $b$ ) を掛けて地下水の流動断面積を求める。

$$b\omega \quad (1)$$



第7図 地下水位変化量等値線図



第8図 研究地域における流線網

その地点の透水係数 ( $k$ ) に地下水頭の勾配 ( $\Delta h / \Delta \ell$ ) を乗じて地下水の流速を求める。

$$k \frac{\Delta h}{\Delta \ell} \quad (2)$$

地下水の流動断面積に地下水の流速を掛けて、二つの流線の間を流れる流量を求める。すなわち、流線と流線の間を流れる地下水流量 ( $Q$ ) は、

$$Q = kbw \frac{\Delta h}{\Delta \ell} \quad (3)$$

として求めることができる。

このような流線網解析を行い、地下水の流量を求め、流域の周囲から中心部に流れる流量を積算してみた。その結果、以下のようなことが明らかになった。上流側の ABCD の流域では地下水は周辺山地から盆地の北部に向かい流れ、その流量は約  $94 \text{ m}^3/\text{s}$  (約  $814 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ ) と

推定された。また DEFA の流域では、地下水は盆地の東部山地から盆地の伊洛河流出口に向かって流れており、その流量は約 $35\text{m}^3/\text{s}$  (約 $302\text{万 m}^3/\text{d}$ ) と推定された。

## V 結論

現地における地下水面の測定結果をもとに流線網を作成した。2006年8月期における流線から、地下水の流動系は伊洛河上流側の ABCD の流域と下流側の DEFA の流域に分けられることが明らかになった。AD は分水界となっており、伊洛河上流からの地下水の流れは盆地北部の都市の地下水利用のために黄河に流れ出ていることが明らかになった。また、流線網解析の結果、ABCD の流域の地下水流動量は約 $814\text{万 m}^3/\text{d}$  となり、DEFA の流域から黄河方向に流れ出る地下水の量は約 $302\text{万 m}^3/\text{d}$  と推定された。

### 参考文献：

陳峰・楊利国 (2007)：洛陽盆地浅層地下水資源形勢分析 地

下水 Vol.29 NO.4 89 - 91

郭建民・鄭金亮編 (1994)：伊洛河志 中国科学技術出版社 321p.

郭友琴ほか (2006)：洛陽市水資源現状及地下水動態分析預測 人民黄河 Vol.28, No.7 63 - 65

洛陽市統計局 (2007)：洛陽市統計年鑑 中国統計出版社 195 - 205

洛陽市統計局 (2008)：洛陽市2007年国民経済与社会発展統計公報 5p.

水収支研究グループ (1993)：地下水資源・環境論 その理論と実践 共立出版株式会社 350p.

王現国ほか (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

王現国ほか (2005)：浅層地下水水質演化機理研究 黄河水利出版社 115p.

山本莊毅 (1983)：新版地下水調査法 古今書院 490p.

鄭州市統計局 (2007)：鄭州市統計年鑑 中国統計出版社 232 - 235

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.

## Flow Net Analysis of Groundwater in Yiluo River Basin, China

Pei ZHAO\*

\*Graduate Student of Geo-environmental Science, Risho University

### Abstract:

The field survey on groundwater was carried out in Yiluo River Basin, China, in August, 2006. The contour map was drawn and analyzed by the Flow net analysis method.

From the results of the analysis, flow regions in the basin are divided to two (Fig.8). One is the upper part of the basin, and is the main part of the basin. The most of the groundwater inflow to the basin, estimated to be  $8,140,000\text{m}^3/\text{d}$ , is pumped at the urban area of the northern part. The groundwater flow in the lower part of basin, to discharge to the Yellow river, is estimated to be  $3,020,000\text{m}^3/\text{d}$ .

Keywords: Yiluo River Basin, Yellow River, Groundwater, Flow net analysis