

中国・済南市における高解像度水資源需要マップ作成の試み

一ノ瀬俊明^{*1}・大坪国順^{*2}・王勤学^{*3}・張祖陸^{*4}

[目次]

1. はじめに
2. 調査地域と手法
3. 結果と考察
4. まとめ

*1 (独)国立環境研究所

*2 (独)国立環境研究所

*3 (独)国立環境研究所

*4 山東師範大学

1. はじめに

アジアモンスーン地域は、特有の気象、地質構造の上に特徴的な水文、地形、土壌条件を形成し、人間の生存もその自然条件に適した様式で維持されている。この地域性を重視し、当該地域に特有な水文循環過程をモデル化することにより、自然・人工改変に伴う、当該地域特有の水資源変化を予測し、その対応策を検討することは重要である。当該地域のうち半乾燥地域の代表である黄河流域は、著しい人口増、西部地域の大開発などに伴い、上下流の水配分問題が顕在化し、上流域での非効率灌漑、下流部での水不足、断流、土砂の堆積、地下水位低下など深刻な事態に直面している。

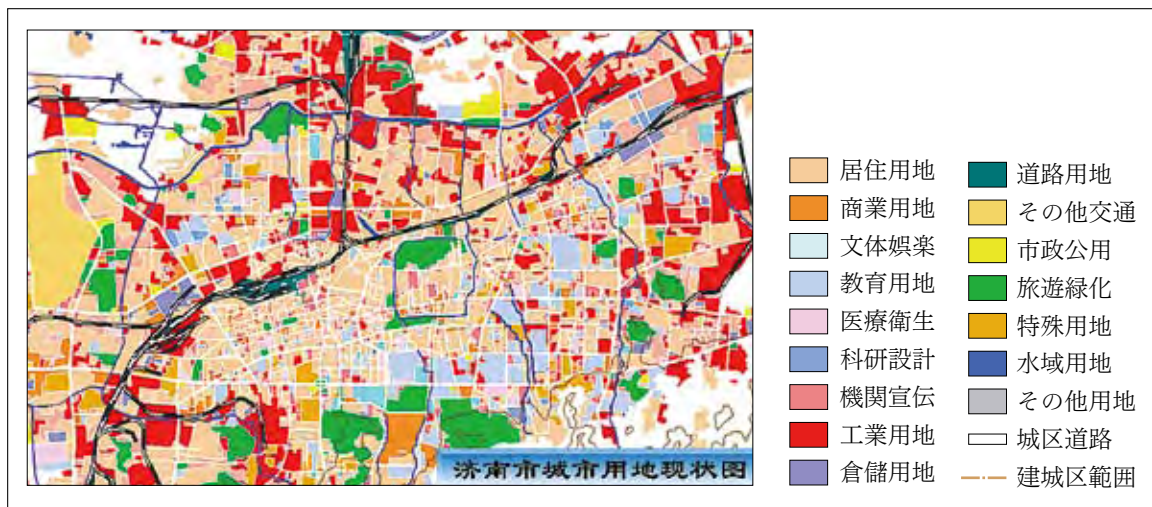
本研究では黄河流域（河北平原を含む）全体における地下水資源需要分布を0.1度グリッドで把握し、さらに都市域については2kmグリッドで把握する。また現状での分布に加え、2020年頃の将来予測を行う。そのため流域の土地利用／被覆、人口分布、都市域分布、及び産業構造等、各種社会経済統計データ（地下水資源需要関連）を収集し、0.1度グリッドの現況マップを整備する。これは黄河流域全体の地下水資源変動予測シミュレーションに資するものである。浅層地下水につ

いては週変動を、深層地下水については季節変動の再現・予測を目標とする。一方、都市域における需要分布の推計手法開発のため、事例解析都市として黄河下流域の山東省済南市（東西30km・南北17km）を対象に、原単位法による地下水資源需要マップの描画作業（解像度250m）を行う。

本報では済南市を対象に、原単位法による地下水資源需要マップの描画作業（解像度250m）を行った結果について、また詳細な都市内水需要空間構造の解析を進めた結果について述べる。

2. 調査地域と手法

黄河下流の済南市（図1）における水資源需要マップの描画作業（解像度250m）を行った。本研究では、済南市の建成区を包含する地域を対象とし、天橋区、槐蔭区、市中区、歴下区の全体と、歴城区のうち市街化の進んだ地域に加え、郊外の高技術開発区をも含めている。済南市は温帯半湿潤の大陸性気候に属する地域にある。年降水量は600～700mm程度であり、その6割が6月から9月に集中する。市の南部は古生代の石灰岩よりなる丘陵地帯であり、かつては市内のあちこちに泉が湧き出るほど地下水量は豊富であった。しかし2004年2月現在、地下水保護を目的として、



【図1】 済南市の建成区における用途地域区分

済南市における地下水利用は厳しく制限されており、現在では黄河の河川水を主たる水源としている。本研究では、再び黄河の断流が生じた際の地下水資源需要マップを描くことになる。

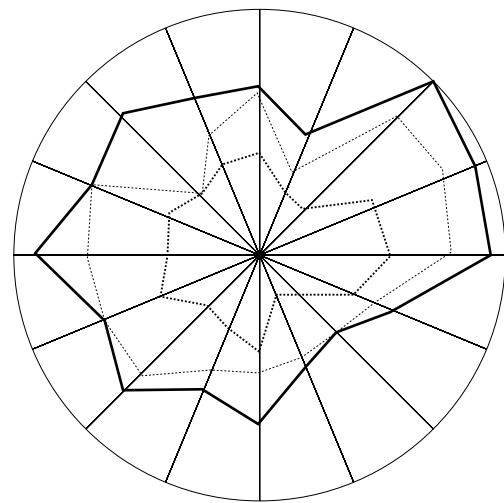
またこの高精度のマッピングにあたっては、用水量の原単位作成のため、居住者や事業者への広範なヒアリング、アンケートを実施している。その結果、5つの調査対象地域（区）で土地利用や用水量の原単位に顕著なばらつきが見られた。

まず、幾何補正後の航空写真をベースにして土地利用分類を行っている。区分は類似の用水特性を示すと考えられるカテゴリーをまとめ、居住用地（11）、工業用地（31）、商業娯楽宿泊用地（22）、機関用地（23）、緑地（71）、医療衛生用地（25）、教育用地（24）、その他用地（100）の8区分（括弧内はコード番号）としている。航空写真の判読にあたっては、地物の色、形状、陰影、配列などを手がかりに、目視を主体として膨大なデータの判別を行っている。また、多数の地点において現場での目視による確認を行っている。

GISでの作業にあたっては5つの区のそれぞれで、その他用地を除く7種類の土地利用種毎の用水量シェイプファイルを作成している。

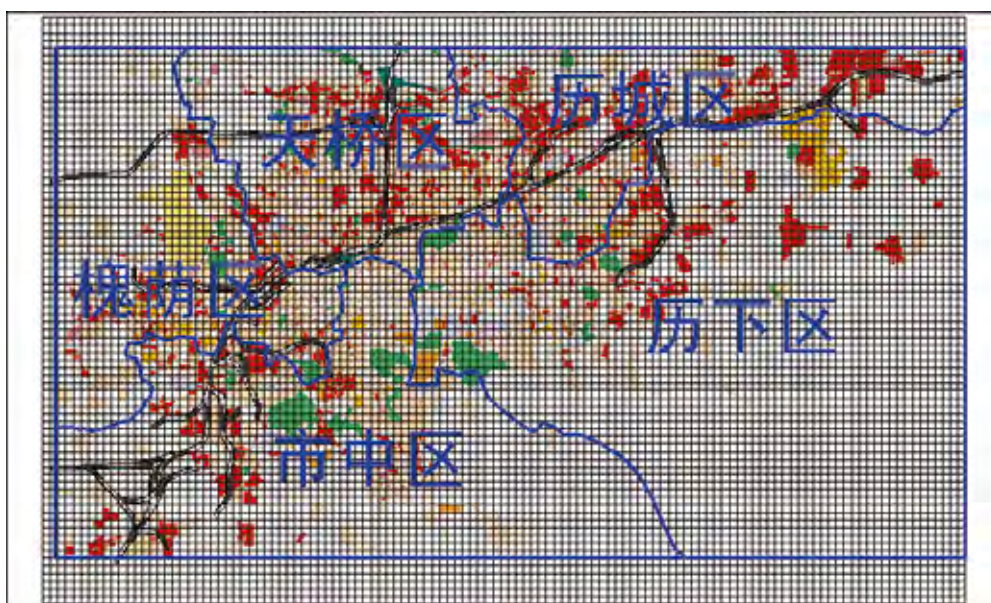
3. 結果と考察

近年における済南市の水平規模の拡大発展は急速であり、本研究では1976年及び1986年と2002年の3時点における都市域の拡大動向も分析している（図2）。1976～1986年には東北に向かって市域が拡充し、1986～2002年には東西方向に拡充が起きているほか、南方、東北、西北への展開も見られる。市の北部には以前低平な耕作地が



（由内向外依次为1976年、1986年、2000年）

【図2】済南市のステージ別水平拡大動向



【図3】済南市の解析対象地域区分

広がっていたが、最近では徐々に工業用地や居住用地へと転換している。

用水特性、インフラの整備状況及び発展の速度などを考慮して設定した本研究における済南市の解析対象地域区分を図3に示す。250mのグリッドをはめてある。

ここで、槐蔭区を例にデータの基本構造を示す。図4は槐蔭区における用水量分布である。また図



【図4】槐蔭区における用水量分布

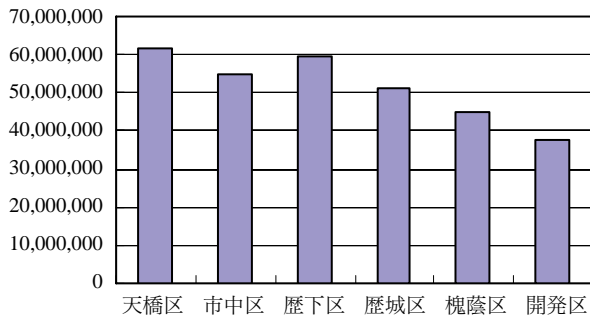
5にシェイプファイルの構造を示す。グリッド毎の土地利用種別面積が表示されている。

済南市の6地区のうち、最も用水量が多かったのは天橋区であり、 $0.62 \times 10^8 \text{m}^3/\text{年}$ に達している(図6)。ここには古い工場が多い。高新技术開発区のある東の郊外やその周辺の農村地域では、農業用水を考えなければ用水量は最も小さい値を示している。高新技术開発区はグリッドにして232個に及び、総用水量は $0.38 \times 10^8 \text{m}^3/\text{年}$ である。これはこの地域を含めた済南市の用水量の11.7%を占める。ここには大量に水を必要とする大型重工業(大型製鉄所、発電所など)も分布している。高新技术開発区のうち、工業用水を用いているのは177グリッドに及ぶ。量としては $0.34 \times 10^8 \text{m}^3/\text{年}$ である。

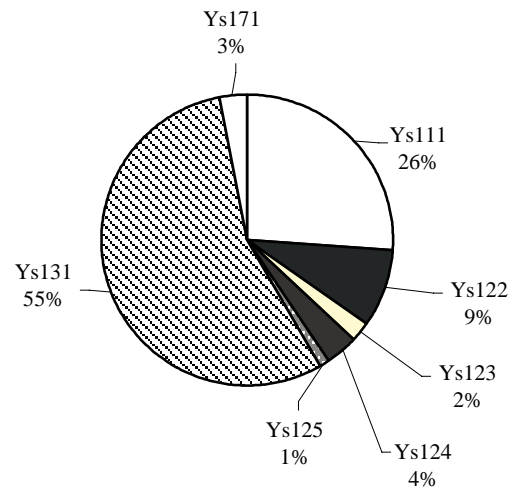
図7によれば、済南市の城区(解析対象地域)で最も用水量に占める割合の大きい用途類型は工業用水である。特に重工業やビール工場、発電所などの寄与が大きいものと思われる。工業用地のグリッドは2010個に及び、全体の49%を占める。また2003年の総用水量は $1.69 \times 10^8 \text{m}^3/\text{年}$ に達し、済南市区の55%に及ぶ。つまり、済南市は依然典型的な工業都市といえる。用水量が比較的多

Shape	Area	Distrip	Ys01	Ys02	Ys03	Ys04	Ys05	Ys06	Ys07
Polygon	62500.00000	BA25	135.01800	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	146672.04400	1169734354999620+03
Polygon	62500.00000	BA26	143.05900	742.95080	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	72886.01000	1169763750005940+03
Polygon	62500.00000	BA27	441.14400	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	23441.14400	11637930149996300+03
Polygon	62500.00000	BA28	723.55600	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	7052.05240	1169822549999510+03
Polygon	62500.00000	BA29	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	3925.92510	1169951945003490+03
Polygon	62500.00000	BA30	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	3924.15710	1169981339999900+03
Polygon	62500.00000	BA31	830.93130	133.95560	4967.22160	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	9706.57400	1169910744999490+03
Polygon	62500.00000	BA32	837.89480	301.60350	2196.62720	2959.84690	0.00000	0.00000	0.00000	70895.97200	1169940149003940+03
Polygon	62500.00000	BA33	0.00000	0.00000	29239.23760	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	29239.23760	1169969540001390+03
Polygon	62500.00000	BA34	502.98950	775.91210	10027.19360	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	62306.09500	116998844999940+03
Polygon	62500.00000	BA35	890.42080	979.53700	6999.78080	7663.32290	0.00000	0.00000	0.00000	1462.06030	1170028344999500+03
Polygon	62500.00000	BA36	508.98450	999.24700	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0247.37190	1170057740000780+03
Polygon	62500.00000	BA37	607.10420	121.92940	1419.16960	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	69148.20100	1170007149000190+02
Polygon	62500.00000	BA38	442.12170	0.00000	11813.22400	4643.70260	282.74080	0.00000	0.00000	51181.78900	1170116545004840+03
Polygon	62500.00000	BA39	041.81500	246.42000	950.42000	0.00000	566.30220	5967.81290	0.00000	83673.37000	1170145940001180+03
Polygon	62500.00000	BA40	632.03600	318.42260	5330.83440	1795.75330	0.00000	6153.42230	0.00000	111290.46800	1170175340001310+03
Polygon	62500.00000	BA41	096.81100	894.54670	525.91520	0.00000	0.00000	50054.66160	0.00000	150571.93600	1170204739999630+03
Polygon	62500.00000	BA42	0.00000	0.00000	6513.29600	12023.13960	0.00000	3879.97050	2418.29540	34834.61700	1170234140001580+03
Polygon	62500.00000	BA43	0.00000	117.24410	0.00000	8112.19440	0.00000	4129.80910	2649.77470	82009.02200	117026353999620+03
Polygon	62500.00000	BA44	0.00000	711.24420	0.00000	0.00000	0.00000	28963.39730	7190.77190	119885.41400	1170292940000030+03
Polygon	62500.00000	BA45	0.00000	287.04800	10211.65360	13008.88960	0.00000	62730.25160	0.00000	117237.84400	1170322335004140+03
Polygon	62500.00000	BA46	0.00000	992.76340	21094.05600	40327.91900	0.00000	0.00000	0.00000	63014.73600	1170351734999260+03
Polygon	62500.00000	BA47	480.60050	0.00000	0.00000	37650.76400	0.00000	0.00000	0.00000	66141.36500	1170381140000430+03
Polygon	62500.00000	BA48	395.14970	0.00000	0.00000	5328.16360	0.00000	0.00000	0.00000	67323.31400	1170419535004590+03
Polygon	62500.00000	BA49	354.76000	0.00000	0.00000	9795.62340	0.00000	0.00000	0.00000	86140.38400	1170439929996010+03
Polygon	62500.00000	BA50	804.93480	0.00000	0.00000	25142.51890	0.00000	0.00000	0.00000	46847.45400	1170469336000510+03
Polygon	62500.00000	BA51	041.49590	0.00000	0.00000	48875.47960	0.00000	0.00000	0.00000	54916.97400	1170498739000110+03
Polygon	62500.00000	BA52	0.00000	0.00000	0.00000	45055.05710	0.00000	0.00000	0.00000	45055.05710	1170526125999410+03
Polygon	62500.00000	BA53	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1170557526005470+03
Polygon	62500.00000	BA54	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1170586325000600+03
Polygon	62500.00000	BA55	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	1170616330001700+02

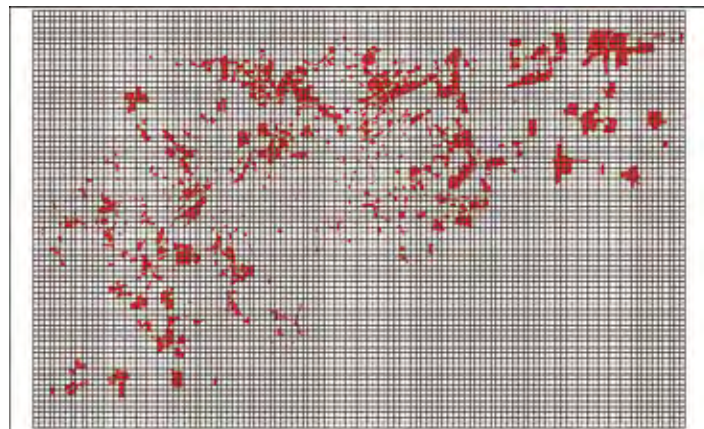
【図5】槐蔭区のシェイプファイル



【図6】 済南市の6地区における用水量 (m³/年)



【図7】 済南市における土地利用種別用水量の割合 (用地コード番号を参照のこと)



【図8】 済南市における工業用水量分布図

いのは建成区の北部、西部及び東部である。

図8によれば、済南市では工業の郊外への移転が順調に行われたと考えてよい。そしてその跡地が居住用地や商業用地へと転用されている。

済南市城区の居住用地における用水量は $0.80 \times 10^8 \text{m}^3/\text{年}$ である。これは城区全体の26%を占める。その水源の内訳は、70%が地表水であり、30%が地下水である。娯楽施設・ホテルにおける用水量は $0.26 \times 10^8 \text{m}^3/\text{年}$ である。当該グリッドは701個に及び、城区全体の用水量の9%を占めるが、ここ数年では大きな変化を示していない。

機関用地は741グリッドを占め、総用水量は $0.06 \times 10^8 \text{m}^3/\text{年}$ である。これは城区全体の2.4%に

過ぎない。また業種による用水特性の違いは大きくない。

教育用地は659グリッドを占め、総用水量は $0.11 \times 10^8 \text{m}^3/\text{年}$ である。これは城区全体の4.0%に過ぎない。但しグリッドの数では16.7%に達しており、校庭の敷地を含むことにも関係しているが、一般に小中学校などで用水量は少なく、大学では比較的多く、市内でも大口の需要家に類する。

医療衛生用地は比較的少なく、189グリッドに過ぎない。総用水量は $0.03 \times 10^8 \text{m}^3/\text{年}$ である。これは城区全体の0.8%であり、長期的に安定している。

広場や緑地は522グリッドを占め、城区全体の

14.0%である。これはつまり、済南市の緑化の度合いを示しており、2000年段階での12.1%よりも増加している。主に、居住地区での小規模緑地公園や公共の緑地が増加している。総用水量は $0.09 \times 10^8 \text{m}^3/\text{年}$ であり、城区全体の5.8%を占める。この用水量は降水量など天候の影響を強く受ける。

4. まとめ

済南市を対象に、原単位法による地下水資源需要マップの描画作業（解像度250m）を行った結果について、詳細な都市内水需要空間構造の解析を進めた。当該地域の輝度との関係性が一定見出せるのであれば、広域における水資源需要分布の推計にDMSP/OLSの輝度値を用いる手法（一ノ瀬ら，2004）の合理性が担保されるであろう。

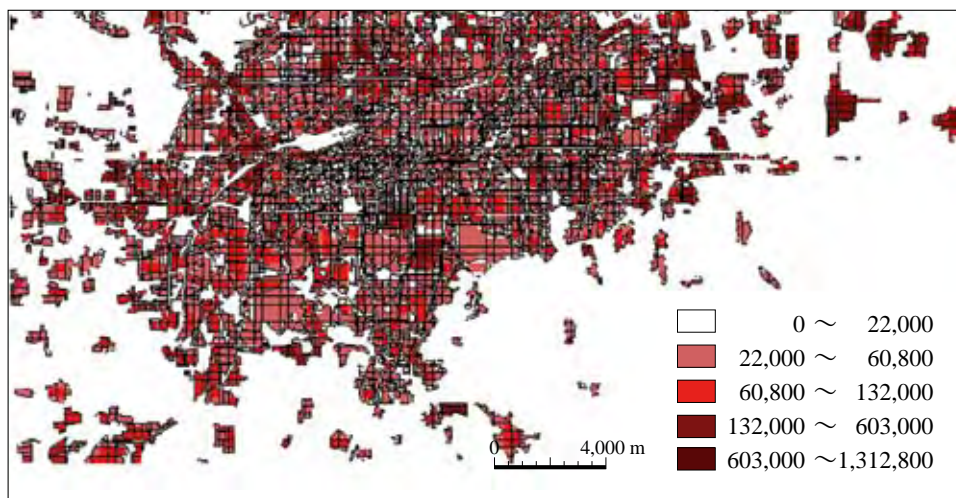
また、済南市における高解像度浅層・深層地下水揚水量分布現状マップの整備を行うほか、黄河全流域各種社会経済統計データ（地下水資源需要関連）の収集を行った。その過程において、井村秀文名古屋大学教授を代表とする関連研究課題グループ（CREST）との間で、相互の手法や結果の類似点と相違点についての議論を行い、結果の質の向上を目指した。井村教授のグループは、産

業連関表にもとづく経済学的手法から地域（西安市など地級行政単位）の水需要構造を推定しており、本研究とは異なるアプローチを用いている。昨年度までに入手した水資源利用状況に関する統計データには、水源構成に関する情報が含まれていないため、給水総量から地下水に依存する量だけを分離する方法の検討が必要であり、井村グループの手法は参考となりうる。本研究で得られた情報を統合し、用水量を5段階で表示したのが図9である。この結果、次の3点が明らかとなった。

済南市の建成区を250mグリッドで区切ると8040のグリッドに分割され、うち4082グリッドに用水が存在する。

今回の積算では全市で $3.09 \times 10^8 \text{m}^3/\text{年}$ の用水量となったが、政府の公式統計では $3.50 \times 10^8 \text{m}^3/\text{年}$ （済南市自来水公司）である。今回の積算に個別に開削された井戸の寄与が含まれていないこととも関係しよう。

本研究では工業用水の寄与が5割を超えているが、実際は居住用地における用水の寄与が6割と考えられてきた。本研究では市の東部の開発区における工業用水を計上していることとも関係しよう。



【図9】 済南市の建成区における用水量分布（250mグリッド）

参考文献

- 一ノ瀬俊明・大坪国順・王勤学・張祖陸・衣笠聡史（2004）：黄河流域における地下水利用の現状把握と将来予測手法の開発，環境システム研究論文発表会講演集，32，551-556

High Resolution Map of Water Resource Demand in Jinan, China

Toshiaki ICHINOSE, Kuninori OTSUBO, Qinxue WANG, and Zulu ZHANG

To evaluate current ground water use in the catchments of the Yellow River and its future at 10 km-cells base, several methods were attempted. Based on the GIS data base of the municipality for urban planning, in Jinan located in the downstream of the Yellow River, mapping of water use with resolution of 250m was attempted.

Key Words : water resource, urban area, China