

GISを用いた中国の都市化と水環境の可視化

坪井 塑太郎

1. はじめに

世界経済が低迷する中においても、年平均7～9%台の成長率を維持し続ける中国は、「十一五」（第11次五カ年計画：2006年～2010年）においても、「人民の生活水準を高め、一般庶民に密接な問題を解決し、経済発展を図ること」を目的としてGDP（国内総生産）総額を26.1兆元、1人あたりGDP額を2400ドル超とする計画が発表されている。

しかし一方で、こうした高度の経済成長を阻害する要因として、「沿岸部と内陸部の経済格差（都市部と農村部の経済格差）問題」や「WTO（世界貿易機構）加盟の影響による国営企業の閉鎖・倒産に伴う大量の失業問題」さらに「エネルギー問題」や「水・大気・土壌汚染の環境問題」等が挙げられる。本研究では、これらのうちの環境問題に焦点を当て、特に近年、「量」「質」双方の確保が課題となっている水環境について検討する。

2003年3月に京都・滋賀・大阪で行われた第3回世界水フォーラムにおいて、開発途上国における水問題がクローズアップされ、その解決に向けた国際協力の推進が議論された。中国においても、河川流水の長期にわたる枯渇（断流）、度重なる洪水、水質悪化などの水問題が深刻化しつつあり、これらの解決に向けた「水資源・水環境」整備の重要性が再確認されている。このように、最近の

中国では、2008年の北京五輪、2010年の上海万博と国家的イベントを控えており、水環境の改善と整備は重要な政策課題として位置付けられている。2005年11月1日付けの英字新聞「CHINA DAIRY」紙によれば、中国建設省の次官、仇保興氏が公式会見として、現在の中国が世界最悪の水問題に直面しているとの認識を示したことを報じている。また、同紙によれば、中国の現在の1人当たり使用可能水量は世界平均の約4分の1程度であり、今後さらに減少することが予測されるとしている。

中国に関する既往の水環境研究は、巨大な人口を持つ国家の挙動がもたらす環境への人為的影響をはじめとする「マクロ視点」によるものと、居住者の視点・評価を考慮した「ミクロ視点」によるものの二種類に大別できる。前者では、人工衛星データを用いた、植生モニタリング、旱魃モニタリングに関する一連の研究成果（近藤2001, 2002, Chen, J. Y. 2002, Zhang, Y. 2002, Shen, Y. 2002）が公表されており、後者では上海市を事例とした居住者に対するヒアリング、アンケート調査による生活用水の利用行動や、ウォーターフロントの観光行動、水辺の環境意識と行動についての研究成果（坪井ほか2003a, 2003b, 2004）が発表されている。近年では、中国における公式な環境統計データの公開が進んでおり、Websiteにおいても容易に入手が可能になってい

る。しかし、大局的な地理・地域的傾向を読み解くためには、データの適切なハンドリングと結果の可視化が重要であり、本研究では、マクロ視点での中国の都市化と水環境の動向を、GIS(地理情報システム)を援用することにより、その特徴を考察することを目的とする。中国はとりわけ、短期間で劇的な変化を遂げてきており、その都市化と水環境の実態について入手できるデータをもとに的確にその事象を把握し、検証を蓄積しておくことは、今後、アジアをはじめ、他地域における水環境の改善整備事業に向けた情報を発信していく上でも重要な課題であると考えられる。

2. 研究方法

本研究では、GISソフト「地理情報分析支援システム」(MANDARA)を用いて省単位での都市化と水環境動向に関する可視化を行った。本GISソフトは、Microsoft Windows95/98/2000/XP上で作動し、インターネットを通じてダウンロードが可能であり、比較的容易なインターフェイス(図1)であることから既に多くの一般ユーザー、教育現場、地理研究者により利用されている。MANDARAでは、属性データベースに表計算ソフト(Microsoft Excel)、または専用のスプレッドシートの形状を持つ入力フォームを用いて入力作業を行い、その後、地図データベースと結合してベクター形式の位相構造化された地図(主題図)の作成を行う。本稿では主として中国が経済的に急成長を遂げた、1990年から2000年に至る10年間を対象とし、中国国家统计局より刊行されている「中国統計年鑑」「中国城市建设統計年報」「中国環境年鑑」等の各年版を参照

してデータの取得を行った。また、必要に応じて適宜、各省、地域単位の統計データ、Websiteを参照した。

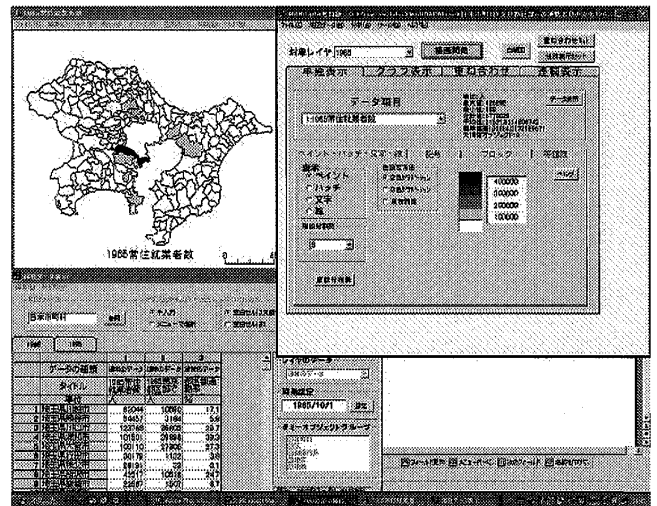


図1 MANDARAの主題図表示設定画面
注：地理情報分析支援システム(MANDARA)
HP <http://www5c.biglobe.ne.jp/~mandara/>

3. 都市化と人口・経済格差問題

本章では、まず中国における都市化を「人口」と「経済格差」の両側面から検討する。表1に1990年以降の10年間の人口変動を示す。本表より、当該期間において、114.53百万人の人口増加がみられるが、都市人口・農村人口比率では、近年、都市への人口流入の増加により、前者の人口比率が上昇していることが看取できる。また、「出生率 Birth Rate」から「死亡率 Death Rate」を減じた「自然増長率 Natural Growth Rate」では、全般に医療施設の整った市鎮(都市部)のほうが県(周縁部)より、その割合が低い状況がみられるが、最近の全国的な衛生環境の向上により、その格差は徐々に縮小しつつある。

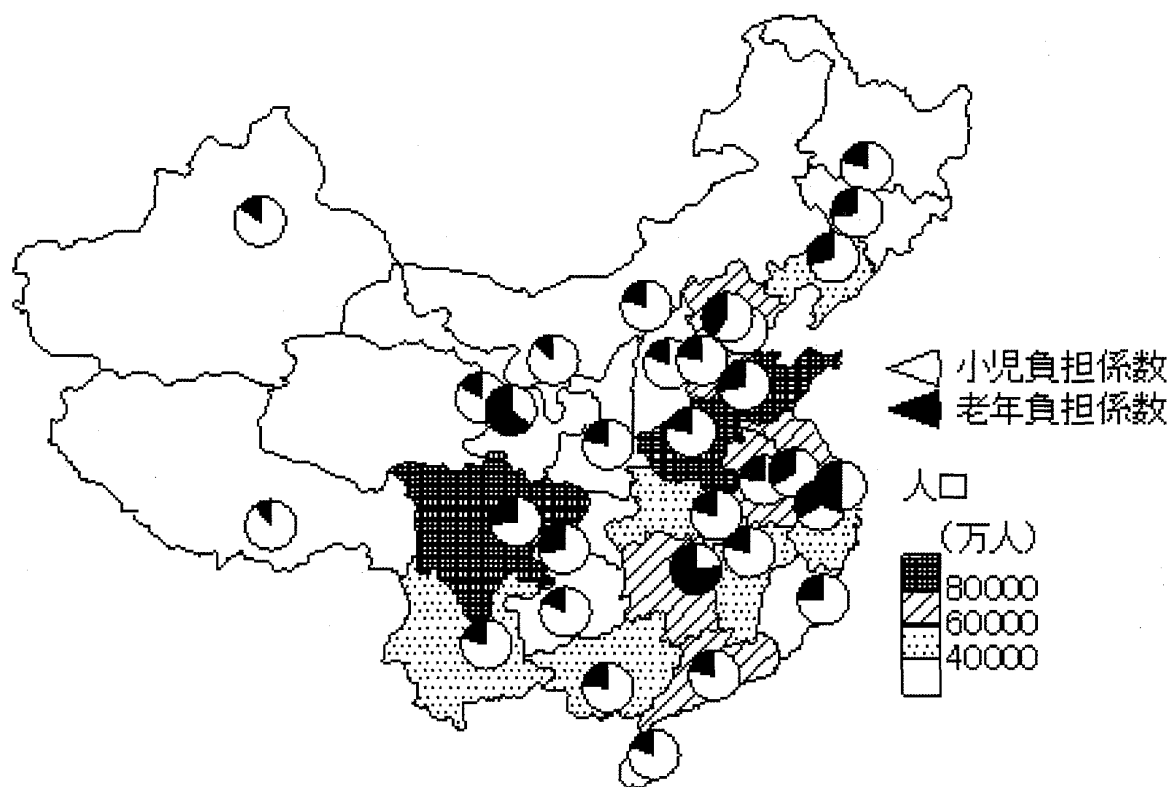
一方、年齢構成別では、1990年と2000年を比較すると、各々の年次において各年齢人口層が全

GISを用いた中国の都市化と水環境の可視化

表1 中国の人口推移（都市・農村別）と自然増長率推移（市鎮・県別）

	総人口	都市人口		農村人口		自然増長率		
		人数	比率	人数	比率	全国	市鎮	県
	百万人	百万人	%	百万人	%	(%)	(%)	(%)
1990年	1143.33	301.95	26.41	841.38	73.59	14.39	10.43	15.79
1991年	1158.23	312.03	26.94	846.20	73.06	12.98	9.99	14.04
1992年	1171.71	321.75	27.46	849.96	72.54	11.60	9.70	12.18
1993年	1185.17	331.73	27.99	853.44	72.01	11.45	9.38	12.17
1994年	1198.50	341.69	28.51	856.81	71.49	11.21	9.60	12.04
1995年	1211.21	351.74	29.04	859.47	70.96	10.55	9.23	11.09
1996年	1223.89	373.04	30.48	850.85	69.52	10.42	8.82	11.08
1997年	1236.26	394.49	31.91	841.77	68.09	10.06	8.94	10.53
1998年	1247.61	416.08	33.35	831.53	66.65	9.53	8.36	10.04
1999年	1257.86	437.48	34.78	820.38	65.22	8.77	7.67	9.25

出典：「中国統計年鑑」各年版をもとに筆者作成



体に占める割合は、0～14歳人口（27.69％・22.89％）、15～64歳人口（66.74％・70.15％）、65歳以上人口（5.57％・6.96％）であり、若年齢層（0～14歳）が4.80％減少したのに対し、高齢層（65歳以上）が1.39％増加しており、2000年時点では既にWHO（世界保健機関）が定義する、高齢化社会（Aging society、65歳以上人口割合7.0％以上）に近接していることが明らかになった。

図2は、2000年における省別人口数と小児・老年負担係数割合を示したものである。本図より、特に老年負担係数割合の高い地域の分布に着目してみると、沿岸部では一人っ子政策の推進による年齢別人口構成の歪により、相対的に高齢者の割合が高くなっている影響が、内陸部では、甘粛省、湖南省等において、出稼ぎによる労働人口の流出の影響によると考えられる高い負担係数がみられる。また、東部の沿岸都市部への資本集中により、内陸部との格差拡大に伴う失業率の増大が深刻化するなど地域間の社会問題が顕在化しているが、2000年3月の全国人民代表大会（全人代）において計画決定された格差是正と内陸西部地区を経済成長軌道に乗せるための開発施策（西部大開発）が、「西電東送」「南水北調」「西気東輸」「青藏鉄道」の4大プロジェクトを中心に事業が展開されている。このうち、水問題では現在、揚子江から黄河へ導水する大土木工事「南水北調」が進行中であり、2007年にはこの一部が完成予定である。

4. 都市化と水環境

4・1 上水道関連の動向

表2に中国の上水道の供水状況を示す。本表よ

り、都市基盤整備の一環として1990年以降には、急速に上水道管渠整備距離が延伸していることがわかる。しかし、年供水総量においては、用水人口の増大に対しても大きな増量変動はみられず、新たな水源確保が必ずしも充分に進んでいないことが推察される。また、用水量の内訳をみると、1990年には生活用水（27.8％）・工業用水（72.2％）と大きく工業用水に偏重していたが、10年後の1999年には生活用水（44.5％）・工業用水（55.5％）と両者の比率がほぼ均衡してきていることがわかる。これは、日生活用水使用量の増加にみられるように、都市生活において、水洗トイレの普及等、生活施設の高度化がその要因のひとつとして考えられる。

一方、2000年における供水の日総量と水源割合を省別に示したものが、図2である。本図より中南部地域においては地表水の依存度が高い反面、北部地域においては地下水の依存度が高いことがわかる。しかし、黄河の断流に象徴される地表水の枯渇化のほか、過剰な地下水開発・揚水に起因した深刻な地盤沈下問題も顕在化しつつあり、先述の「南水北調」の完成が急がれている。

4・2 下水道関連の動向

都市化による廃水排出量の急増により、下水道整備も1990年以降積極的に進められ、下水道管渠距離、汚水処理能力ともに急進が見られる。表3に下水道整備および排出量の推移を示す。データの取得が可能であった1997年以降における「廃水排出量」には大きな変動は見られないものの、その内訳では1999年には「生活」起因量が「工業」起因量を上回っていることがわかる。また、「COD（Chemical Oxygen Demand：化学

GISを用いた中国の都市化と水環境の可視化

表2 中国の上水道整備および供水量の推移

	都市上水道 延長距離	年供水総量					用水人口	日生活用水 使用量
			生活用水量	(割合)	工業用水量	(割合)		
	km	万立方m	万立方m	%	万立方m	%	万人	リットル
1990年	97,183	3,823,425	1,001,021	(27.8)	2,597,906	(72.2)	15,611	176
1991年	102,299	4,085,073	1,159,929	(30.0)	2,701,161	(70.0)	16,213	196
1992年	111,780	4,298,437	1,172,929	(29.1)	2,856,051	(70.9)	17,281	186
1993年	123,007	4,502,341	1,282,543	(30.6)	2,915,384	(69.4)	18,636	189
1994年	131,052	4,894,620	1,422,453	(31.2)	3,136,099	(68.8)	20,083	194
1995年	138,701	4,815,653	1,581,451	(36.6)	2,736,256	(63.4)	22,166	195
1996年	202,613	4,660,652	1,670,673	(39.0)	2,618,145	(61.0)	21,997	208
1997年	215,587	4,767,788	1,757,157	(40.6)	2,575,176	(59.4)	22,550	214
1998年	225,361	4,704,732	1,810,355	(42.0)	2,496,452	(58.0)	23,169	214
1999年	238,001	4,675,076	1,896,225	(44.5)	2,364,756	(55.5)	23,886	218

出典：「中国統計年鑑」各年版、「中国環境統計年鑑」各年版をもとに筆者作成

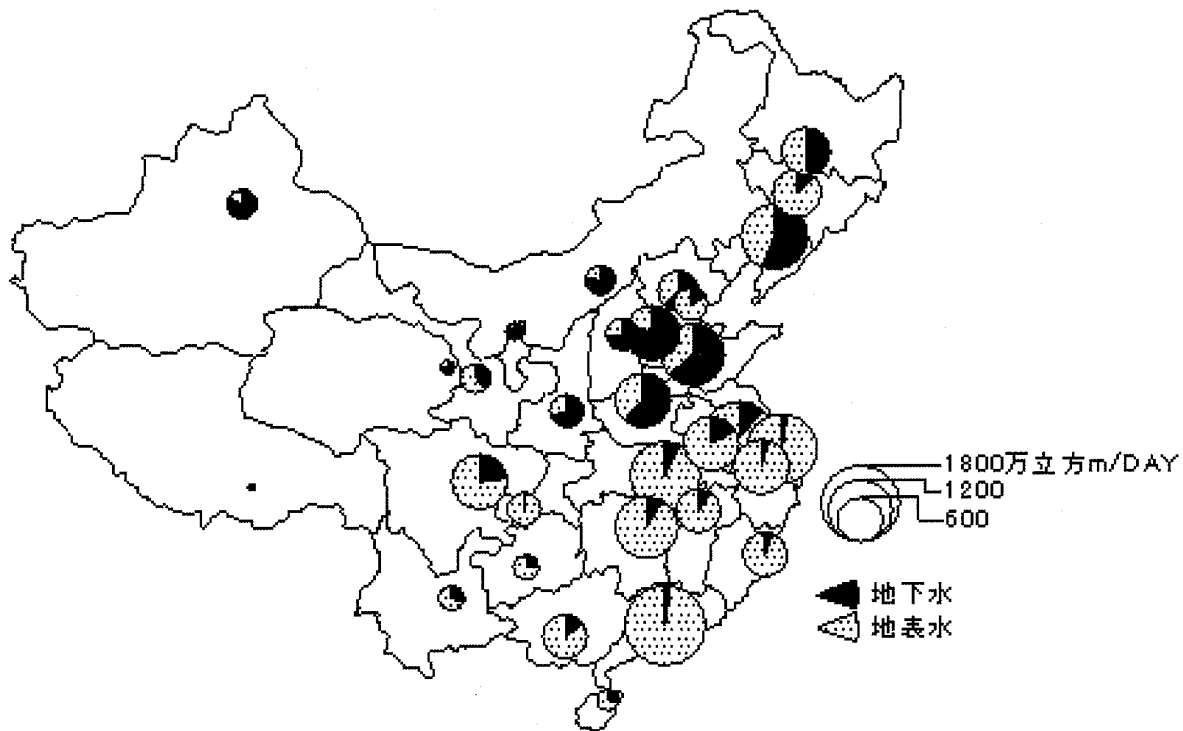


図3 2000年における日供水総量と水源割合（地下水・地表水）
出典：「中国環境統計年鑑」2001年版をもとに筆者作成

的酸素要求量) 排出量」においても同様の傾向が見られるが、「工業」起因量の減少は、政府による工場への排出規制や罰則規定の強化による廃水排出の対策が積極的に進められた結果であると考えられる。

上記の動向を、GISを用いて省別に示したものが、図4、図5である。両図に共通して北京経済圏、上海経済圏、広州経済圏において高い廃水排出量が見られる。こうした状況に対し、近年では国内借款、外資の導入などにより廃水処理に対する投資や施設の整備も積極的に進められているが、それらの資本は東部沿岸地域へ集中投下されており(図6)、その結果、内陸部の省においては依然高いCOD排出による河川水質汚濁等の環境問題が表出しているものと考えられる。

5. 水環境の管理

1979年に環境保護法が公布されて以降、公害の根源となる「三廃」(廃水、廃気、廃滓)に対する工場への完全処理が義務付けられ、各々の処理基準達成率が毎年公表されている。また、現在、中国で工場の新築、改装および増築などの工事を行う際には、その主体となる建設設備において三廃に対する浄化装置を同時に、設計・施行・操業をする「三同時」が制度化されており、その投資額が公表されるなど、政府の監視と監理が行われている。

上記のように水の「質」に関する保護政策は確実に進捗しつつあるが、「量」に関しては、南水北調に代表される大規模な土木工事による確保のほかに、近年では処理水の再生利用が進められつつある。図7に、2000年における廃水処理基準

達成率と処理水再利用量を示す。本図より、廃水処理基準達成率は東部沿岸地域において高く、内陸の中西部地域において低い傾向がみられる。また、処理水再利用量では、欠損地が多いため、必ずしもその状況を詳細に把握することは困難であるが、新疆回族自治区および黄河河口に位置する省において利用量が多いものの、全般には依然として十分に促進されていない傾向にあるといえる。しかし、2003年には、山東省において「中水利用計画の推進」が打ち出され、これに続き、2005年からは、北京市では新規の住宅団地に中水化プラントの設置義務化、景観用水等の中水使用の義務化施策が講じられるなど、最近では広くこの計画が推進されつつある。この「中水」の概念は、再生水や雨水の有効利用の観点から、近年日本から中国に伝わったもので、言葉自体も日本語の表記のまま使用されている。しかしながら、中水と一般上水の価格の差別化、中水利用拡大のためのインフラ整備、用途別の中水利用計画の策定が十分に講じられておらず、利用量拡大のためにはこれらの整備が不可欠である。

ところで、政府の水環境の管理施策に対する都市部の居住者の評価においては、近年良好な評価に推移してきている(前掲:坪井ほか2003a)ものの、沿岸の大都市近郊では水質汚濁に関する訴訟数が多くみられ(図8)。このことは、依然として水質改善が不十分な状況であることはもちろん、水環境に対する居住者の関心の高さを示すものといえる。

最近での最も大きな水質事故のひとつに、2005年11月に中国吉林省吉林市で発生した、中国石油吉林石化会社のベンゼン工場爆発事故による松花江への大量の化学物質の流入が挙げられ

GISを用いた中国の都市化と水環境の可視化

表3 中国の下水道整備および排出量の推移

	都市下水道 延長距離	都市污水 処理能力	廃水排出量			COD 排出量		
				生活	工業		生活	工業
	km	万立方m/DAY	億 t	億 t	億 t	万 t	万 t	万 t
1990年	57,785	1301.9	-	-	-	-	-	-
1991年	61,601	1724.4	-	-	-	-	-	-
1992年	67,672	1726.0	-	-	-	-	-	-
1993年	75,207	1791.9	-	-	-	-	-	-
1994年	83,647	1902.9	-	-	-	-	-	-
1995年	110,293	2463.3	-	-	-	-	-	-
1996年	112,812	2932.7	-	-	-	-	-	-
1997年	119,739	3276.5	415.8	189.1	226.7	1757.0	684.0	1073.0
1998年	125,943	3769.0	395.3	194.8	200.5	1495.6	695.0	800.6
1999年	134,486	4421.1	401.1	203.8	197.3	1388.9	697.2	691.7

出典：「中国統計年鑑」各年版，「中国環境統計年鑑」各年版をもとに筆者作成

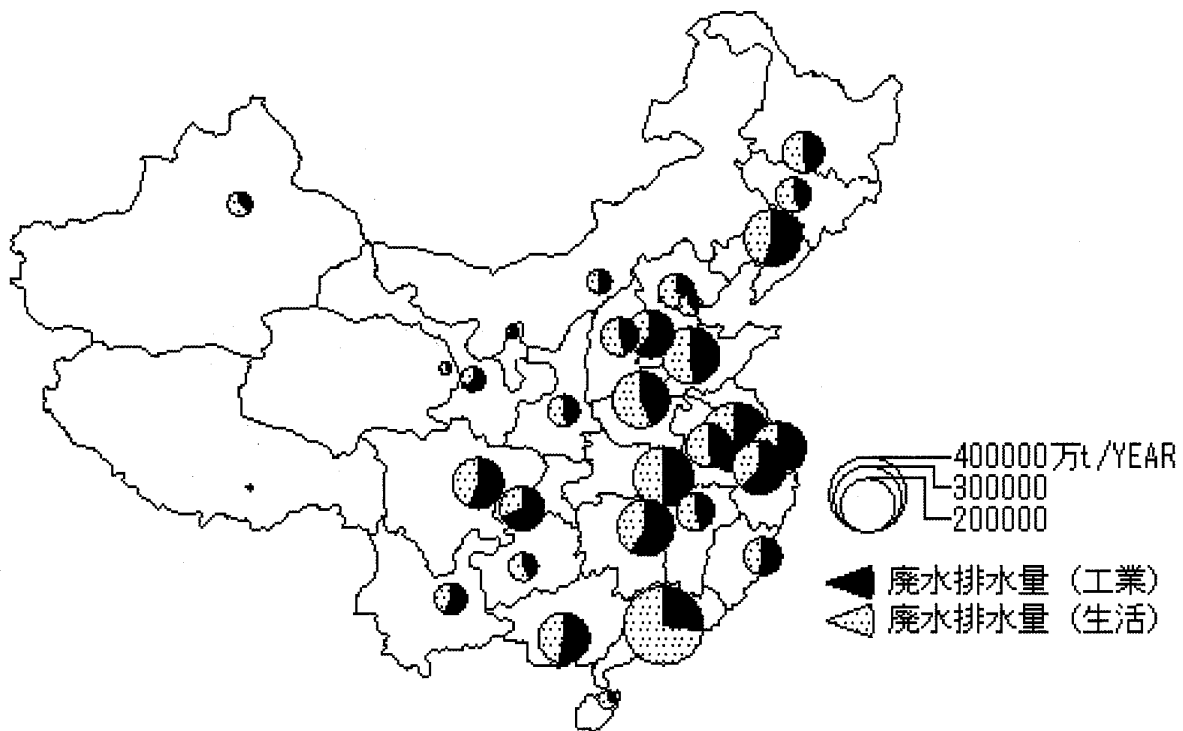


図4 2000年における年間廃水排出総量と割合（工業・生活）

出典：「中国環境統計年鑑」2001年版をもとに筆者作成

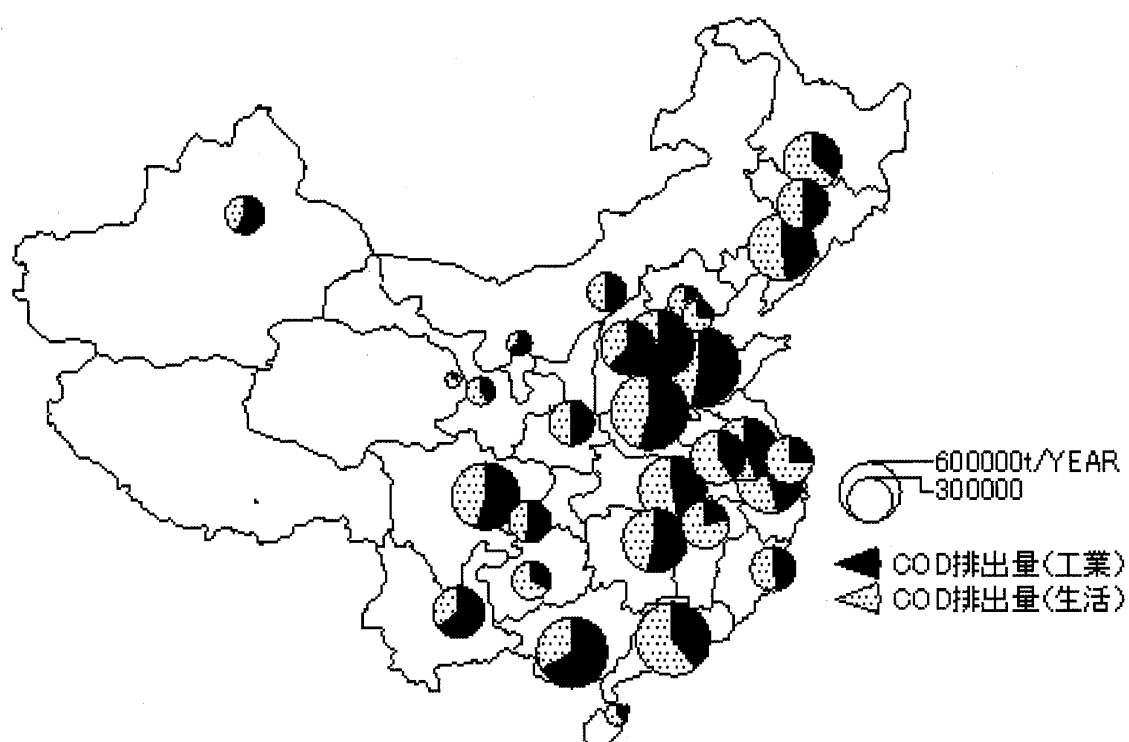


図5 2000年における年間COD排出総量と割合(工業・生活)
出典:「中国環境統計年鑑」2001年版をもとに筆者作成

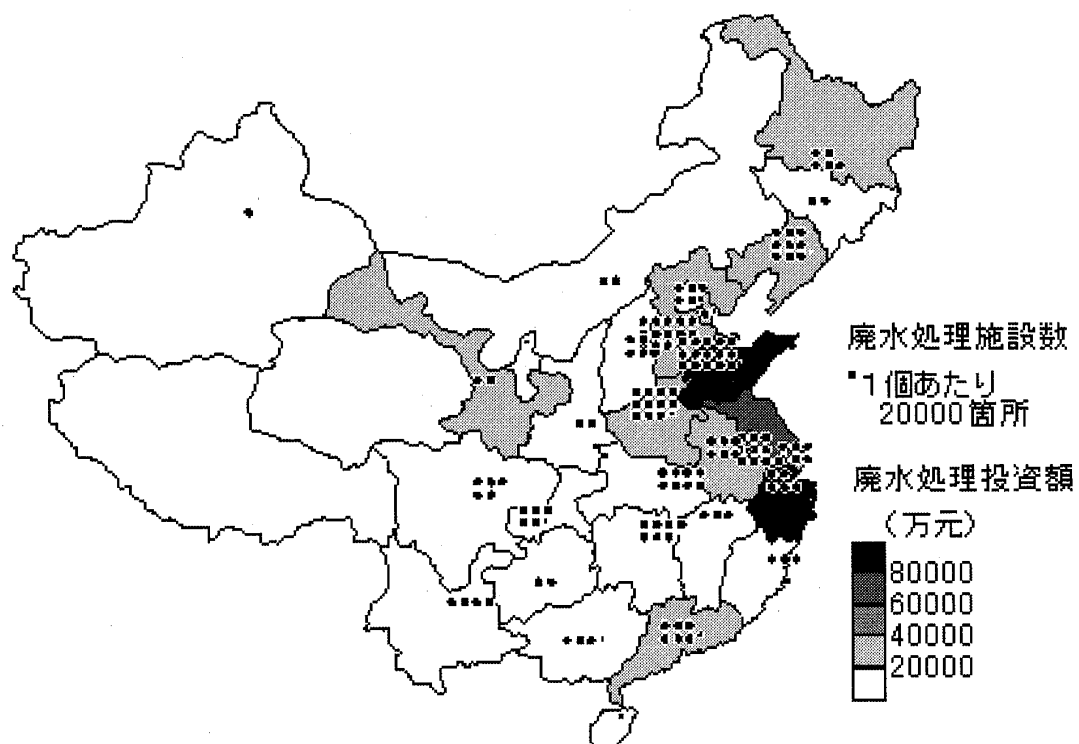


図6 2000年における廃水処理施設数と廃水処理投資額
出典:「中国環境統計年鑑」2001年版をもとに筆者作成

GISを用いた中国の都市化と水環境の可視化

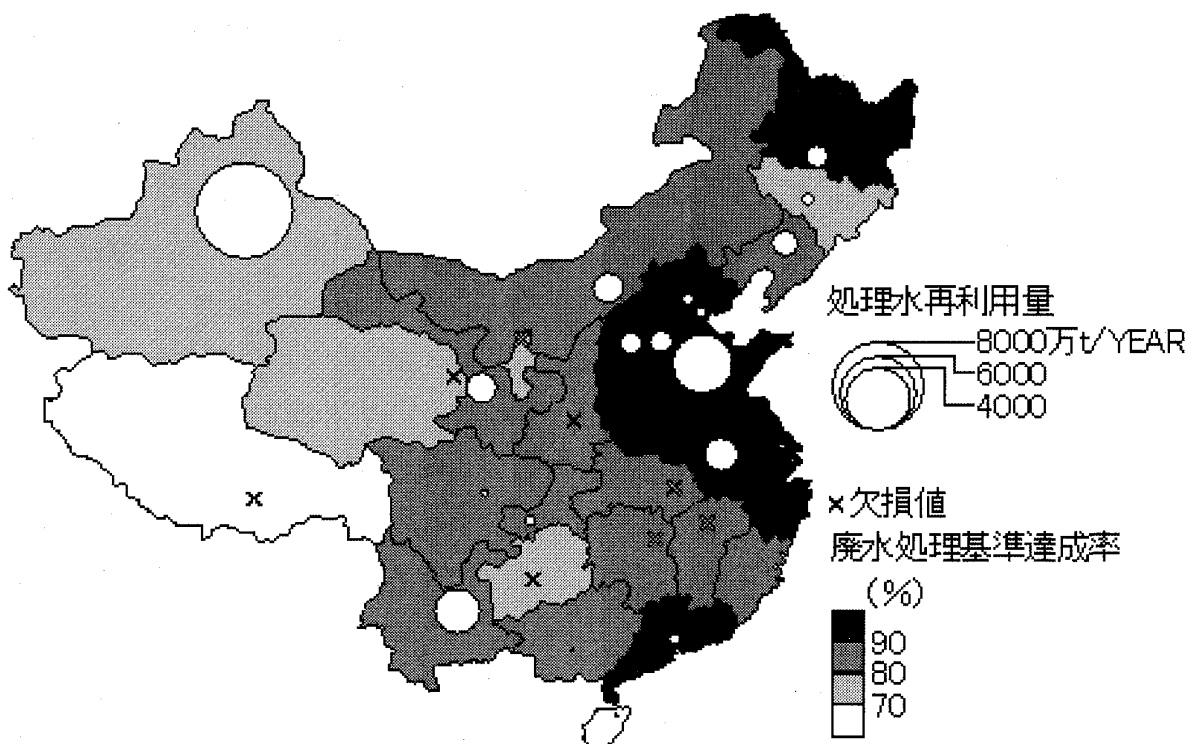


図7 2000年における廃水処理基準達成率と処理水再利用量
 出典：「中国環境統計年鑑」2001年版をもとに筆者作成

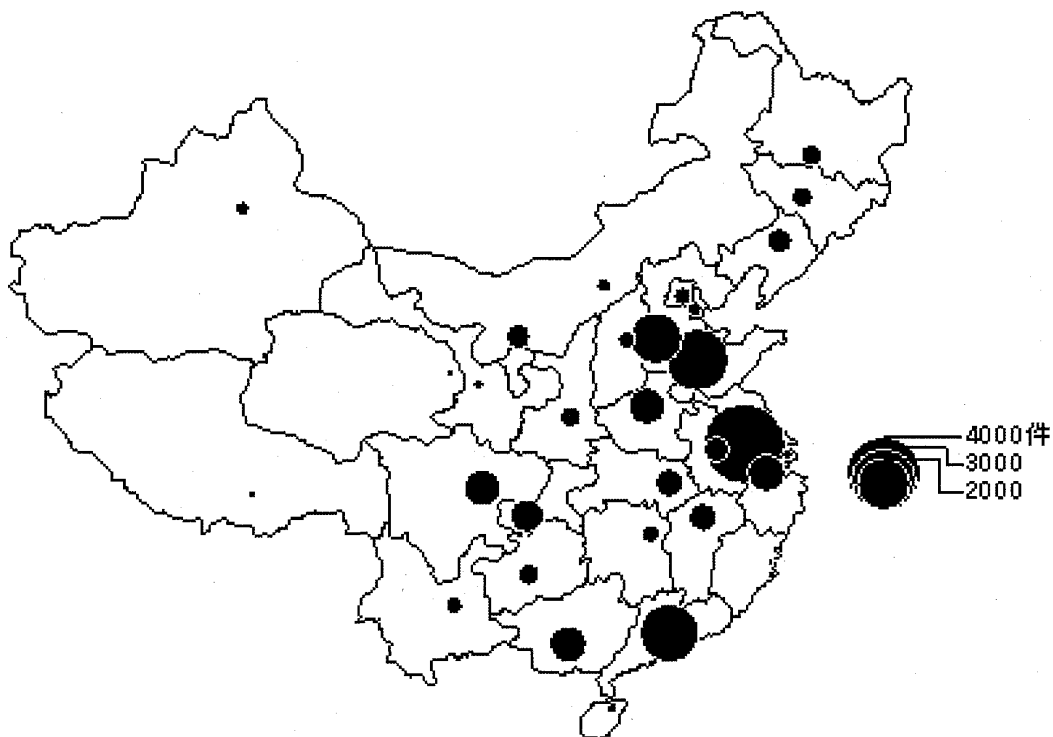


図8 2000年における水質汚濁関連の訴訟件数
 出典：「中国環境統計年鑑」2001年版をもとに筆者作成

る。この事故により、隣接する黒龍江省の省都ハルビン市およびその周辺では基準値の 10 倍以上のニトロベンゼンを検出したため、数百万人の市民の飲料水供給が一時中断するという未曾有の事態に陥った。また、隣国ロシアのアムール川に汚染水が流入し、ハバロフスクでも社会不安が起こるという衝撃的な事件は、日本国内の報道でも大きく取り上げられた。

しかし、現行では、行政・市民レベルでの水質事故に対する認識不足が深刻な被害を拡大させる危険性も高いと想定されることから、今後は、水環境の管理に対する「情報開示」と「リスクマネジメント」システムの一層の充実が求められる。

6. 結論と課題

本研究では、GIS（地理情報システム）を援用することにより、都市化と水環境に関する統計データ行列を地図上に可視化し、マクロレベルからその動向についての把握・検討を行った。明らかになった点は以下の通りである。

- ① 都市化過程における中国の地域格差は「東高西低」が顕在化している一方、人口の高齢化も急速に進んでいる。
- ② 上水道の動向は、近年、都市生活環境の向上により、生活用水に起因する水量割合が増大している。しかし、その水源は、北部地域においては地下水への依存度が高く、「南水北調」の完成が急がれている。
- ③ 下水道の動向は、工場への罰則規定の強化により減少傾向にあるが、生活起因の廃水量は依然として多く、また、廃水処理に対する投資や施設が東部沿岸地域に偏重していることから、

内陸地域における水質汚濁が問題化している。

- ④ 現在、政府により廃水処理を含む「三廃」については厳しい基準が設定されており、その達成率が公開されるなど水質の管理体制が整備されつつある。しかし一方で、水量の確保については、「中水利用」が近年、進められつつあるものの、利用のためのインフラの未整備や利用価格の問題などはまだ十分に整備されておらず、今後の課題である。
- ⑤ 大規模かつ広範囲な影響が懸念される水質事故の発生を教訓に、情報開示とリスクマネジメントシステム、また、水利用のリテラシー向上のための啓蒙による持続可能（Sustainable）な水利用を国家、市民レベルにおいて取り組んでいく必要がある。

本研究用いた GIS（地理情報分析支援ソフト：MANDARA）は汎用性が高く、極めて平易な操作によって作図が可能であり、マクロな領域における地理的動向を視覚的に把握する有効なツールであることが再確認された。

本研究で取り扱ったデータは、主として都市基盤施設を中心とする水関連のものであり、灌漑用水等において大量に水を消費する農業については考慮されていない。この点の考察については、今後の課題としたい。

参考文献

- 近藤昭彦・田中 正・唐常源・佐倉保夫・嶋田 純・芝野博文・劉昌明・張万軍・胡春勝・劉小京・陳建耀・沈彦俊（2001）：「中国華北平原の水問題」，水文・水資源学会誌 10，pp.187-192.

GISを用いた中国の都市化と水環境の可視化

近藤昭彦・唐常源・佐倉保夫・田中 正・嶋田純・新藤静夫・宋献方・陳建耀・沈彦俊
(2002) : 「中国河北平原における水循環の認識と水問題の理解」, 第6回水資源に関するシンポジウム論文集, pp.17-22.

Chen, J. Y., Tang, C. Y., Sakura, Y., Kondoh, A., and Shen, Y. J. (2002) : Groundwater flow and geochemistry in the lower reaches of the Yellow River: a case study in Shandong Province, China. *Hydrogeology Journal*, 10, pp.587-599.

Zhang, Y., Liu, C., Shen, Y., Kondoh, A., Tang, C., Tanaka, T., and Shimada, J. (2002) : Measurement of evapotranspiration in a winter wheat field. *Hydrological Processes*, 16, pp.2805-2817.

Shen, Y., Kondoh, A., Tang, C., Zhang, Y., Chen, J., Li, W., Sakura, Y. Liu, C., Tanaka, T.,

and Shimada, J. (2002) : Measurement and analysis of evapotranspiration and surface conductance of wheat canopy. *Hydrological Processes*, 16, pp.2173-2187.

坪井塑太郎・谷口智雅・宮岡邦任・朱元曾
(2003a) : 「中国上海市における河川環境事業の展開と居住者による評価に関する研究」, ランドスケープ研究 66-5, pp.585-590.

坪井塑太郎・谷口智雅・宮岡邦任・朱元曾
(2003b) : 「中国上海市の里弄住宅地における生活用水利用行動と評価に関する研究」, 環境情報科学論文集 18, pp.359-362.

坪井塑太郎・谷口智雅・宮岡邦任・朱元曾
(2004) : 「中国上海市の外灘地区におけるウォーターフロント景観と観光行動」, 水資源・環境研究 17, pp. 15-22.

ABSTRACT

A Visualization Study on the Urbanization and Water Environment by Using GIS in China

Sotaro TSUBOI

The purpose of this study is to examine the impact of urbanization on water environment, and visualize the result by using GIS.

The social concern with economic growth in CHINA has been growing for the last several years. And over past decades, a considerable number of studies have been conducted on the effect of global environment on Chinese growth. This paper discusses that the water environment change as a result of urbanization to visualize by using GIS. The following result were obtained:

1. There is an “east – high and west ?low” gap in an area.
2. It is lack of water resources in CHINA especially in northern district.
3. These days, it is regulating of wastewater by china government sternly.
4. It is effective to visualize and grasps of environment change by using GIS.