

西安市の都市域拡大に伴うGDP及び水需要動向の解明と 都市の効果的な水資源配分手法の検討

九州大学工学部 学生会員 ○与賀田隆史 科学技術振興機構 正会員 東 修
九州大学大学院 学生会員 尾崎 心平 九州大学大学院 フェロー 楠田哲也

1.はじめに

中国西部の主要都市である西安市(図1参照)では、西部大開発の進展に伴い、都市域へ産業、人口が集積し、著しい経済成長が見られる。しかし、水供給及び水処理インフラの整備は未だ不十分であり、年間降水量も500mm程度と少ないことから、特に都市域において地下水過剰採取による地盤沈下、未処理排水の直接流入による河川水質悪化等の問題が深刻化している。これより、限られた水資源を生活、工業、農業の各セクターへ効率よく配分していくことが、今後の西安市の持続可能な成長を図る上で重要となる。そこで、本研究では、各種統計資料の整理、及び衛星画像解析を通じ、都市の拡大、経済成長、及び水需要動向の関連性を明らかにした上で、セクター別の水需要予測式を重回帰分析に基づき構築する。また、都市におけるいくつかの具体的な節水方策を示した上で将来の効果的な水資源配分手法について検討する。

2.西安市の都市域拡大傾向の把握

2.1 衛星画像解析を用いた都市域拡大状況の把握

西安市の土地利用状況の変遷を、LANDSAT-5/7により撮影された1987, 1990, 1994, 1997, 2001年の衛星画像に基づき解析した。解析にあたり、耕地面積を正確に把握するため、各年とも耕地に小麦等の植生を確認できる4～6月の衛星画像を利用した。また、西安市を170の行政界に区分し、郷鎮別の詳細な居住区面積の拡大、及び耕地面積の減少等を把握した。図2に2001年の衛星画像解析結果を示す。図より、西安市では市区部に居住区及び工業区が集中し、その周辺に耕地が広がっていることが分る。図3に1987年と2001年の居住区及び工業区の分布の比較を示す。居住区及び工業区の面積は1987年に24,000haであったものが、2001年に90,500haとなっている。図より、過去15年において、市区部を中心に都市が急速に拡大しており、これは図4に示す郷鎮別の都市域面積拡大速度の分布状況からも明らかである。なお、西安市では、第10次5ヵ年計画等を受け、小城镇化した郷村は現在に至るまで21ヶ所あるが、そのうち約7割が市区部周辺に位置することからこのことから、大都市周辺地域の都市化が著しいことが分る。

2.2 衛星画像解析精度の確認

図5に統計資料より得られた過去10年間の小麦作付面積の変動状況と衛星画像解析結果の比較を示す。図より、解析結果は実測値と比較的良好な関係にあり、解析による結果は妥当であると考えられる。なお、耕地面積は年々減少しており、その転用先として主に退耕還林等が挙げられる。

3.都市域拡大に伴うGDPの変化

図6に西安市における第二次産業(工業、建築業)GDP、第三次産業GDPと衛星画像解析から得られた都市域面積の推移を示す。第二次、及び第三次産業GDPは、それぞれ年率19%、23%と急速な伸びを示しており、都市域面積の拡大率も年率20%程度と、GDPの成長と同様の傾向を示している。これより、都市域の拡大がGDPの成長に大きく関わっていることが分る。

4.西安市の水需要予測式の開発

都市域の拡大、及びGDPの成長等の要因が、水需要の動向に及ぼす影響を把握するため、各種統計資料に基づき、セクター別の水需要原単位の予測式を構築する。

4.1 生活用水

生活用水量を大きく支配するのは、市民生活の豊かさである。豊かさとともに、水を多く消費するライフサイクル、例えば水洗トイレ等が普及することで水の消費は増大する。よって生活用水原単位の予測式を構築する際、統計資料に基づき、洗濯機、シャワー、水洗トイレの普及率、及び降水量、平均所得、第三次産業GDPを説明変数とした。ここで第三次産業GDPを説明変数に加える理由として、統計資料上の生活用水には、家庭生活における水消費に加え、飲食店や旅館・ホテル、



図 1. 西安市位置図

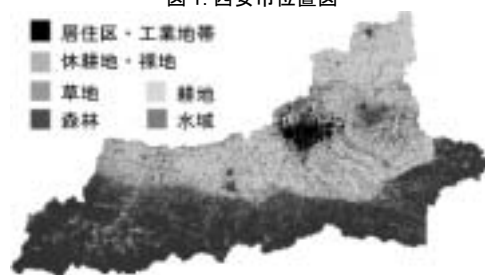


図 2. 衛星画像解析結果 (2001 年)



図 3. 1987(左)と2001(右)の都市域の状況

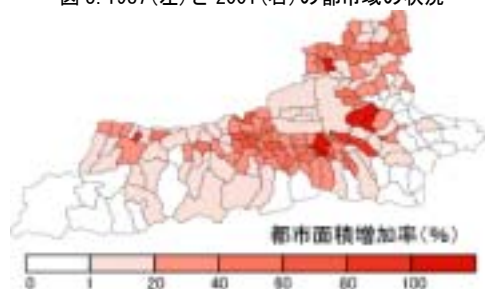


図 4. 都市拡大率 (%/年)



図 5. 小麦作付面積の変動状況

病院、商店および事務所等の事業用水量が含まれていることが挙げられる。

$$y_d = a_0 + a_1 x_{d1} + a_2 x_{d2} + a_3 x_{d3} + a_4 x_{d4} + a_5 x_{d5} + a_6 x_{d6} \dots (1)$$

ここに、 y_d :生活用水原単位(L/人/日)、説明変数 x_{d1} :洗濯機保有率(%), x_{d2} :シャワー普及率(%), x_{d3} :降水量(mm/日), x_{d4} :トイレ普及率(%), x_{d5} :1990年の所得に対する平均所得の割合(%), x_{d6} :1990年の第三次産業GDPに対する第三次産業GDPの割合(%)。なお、統計資料 h_{20} によると、洗濯機保有率、シャワー普及率、トイレ普及率は、対象地区で無作為に約1,500世帯を抽出し、得られた値である。図7に西安市都市部の解析結果を示す。偏回帰係数は、それぞれ、 $a_1=254$, $a_2=453$, $a_3=50.7$, $a_4=-15.2$, $a_5=90.6$, $a_6=107$, $a_7=90.3$ である。降水量が増加した場合、生活用水量が減少する結果が得られたが、本要因の妥当性について今後さらに検討していく。

4.2 工業用水 図6より第二次産業GDPは10年間で約10倍に増加しており、それに追従する形で工業用水量も増加している。しかし近年、工業用水の再利用化が進み、新規工業利用水は減少する傾向にあり工場設備等の節水型化が進展していることがうかがえる。そこで工業用水原単位の予測式では、工業用水の利用率、第二次産業GDP等を説明変数とした。

$$y_i = b_0 + b_1 x_{i1} + b_2 x_{i2} + b_3 x_{i3} + b_4 x_{i4} + b_5 x_{i5} + b_6 x_{i6} \dots (2)$$

ここに、 y_i :工業用水原単位(m³/万元)、説明変数 x_{i1} :第二次産業GDP(億元), x_{i2} :第二次産業労働者数(万人), x_{i3} :四大業種率(造纸、電力、石油化学、冶金), x_{i4} :生産用水供水量(万m³), x_{i5} :再利用率である。図8に西安市工業用水原単位の解析結果を示す。偏回帰係数は、それぞれ、 $b_1=0.506$, $b_2=8.00 \times 10^4$, $b_3=0.912$, $b_4=2.80 \times 10^3$, $b_5=-2.60 \times 10^4$, $b_6=572$ である。これより、再生利用率を増加させた場合、新規工業用水量は大きく削減可能であることがわかる。

4.3 農業用水 西安市では主に灌漑農業が行われているため、農業用水量を支配するのはポンプの台数やスプリンクラー等の節水設備である。そこで農業用水の原単位算定式では、統計資料 h_{20} に基づき、灌漑面積、節水設備等を説明変数とした。

$$y_a = c_0 + c_1 x_{a1} + c_2 x_{a2} + c_3 x_{a3} + c_4 x_{a4} + c_5 x_{a5} + c_6 x_{a6} + c_7 x_{a7} \dots (3)$$

ここに、 y_a :農業用水原単位(m³/ha/year)、説明変数 x_{a1} :単位面積産量(kg/ha), x_{a2} :穀物生産量(千t), x_{a3} :灌漑面積(百ha), x_{a4} :降水量(mm), x_{a5} :ポンプ台数(十台), x_{a6} :節水灌漑設備(スプリンクラー)(台), x_{a7} :第一次産業GDP(元/人)。図9に西安市農業用水原単位の解析結果を示す。偏回帰係数は、それぞれ、 $c_1=8.76 \times 10^3$, $c_2=-0.400$, $c_3=1.21$, $c_4=7.23$, $c_5=1.41$, $c_6=0.790$, $c_7=-1.76$, $c_8=3.93$ である。これより、第一次産業GDPが伸びることにより、節水灌漑設備が普及し、農業用水原単位を削減できることが分る。

5. 節水方策及びその効果

西安市をはじめとする半乾燥地域の渭河流域においてこれまでのような高経済成長を続けようとする場合、水資源が制約条件となることは間違いない。今後、経済成長を維持させるには更なる水源の開発が必要であるが、西安市では既に地下水等は過開発の状況にある。このように新たな水源が見込めない中、持続可能な社会を目指すためには流域内において節水を中心とした水源開発が重要となる。流域内において約7割、西安市でも全水利用量の約5割を占める農業用水においては、節水型農業が広まりつつあるが、(3)式からもわかるようにスプリンクラー等の節水設備をさらに普及させることによって農業用水原単位は減少する。この農業用水の余剰水源を、生活・工業用水へと転用することで経済成長を可能とするだろう。また、生活用水においては、節水方策として水洗トイレを減らし、乾式トイレを導入することが考えられる。(1)式において、例えば現在の水洗トイレの半分以上を乾式トイレに入れかえることによって生活用水原単位は約45(L/人/日)の減少が見込めることがわかる。また、工業用水においても(2)式において再利用率を大きくすることで原単位が小さくなることが分る。

6. 結論

本研究の結論を以下にとりまとめる。

- (1)衛星画像解析から西安市の都市拡大状況を把握し、都市拡大に伴う経済成長、水需要の関連性を明らかにした。
- (2)西安市において、将来の各セクターの水需要を予測する式を構築し、節水方策及びその効果について検討した。

【参考文献】

- 1)西安市統計局：西安統計年鑑，中国統計出版社，1993-2004
- 2)陝西省統計局：陝西省統計年鑑1993-2003，中国統計出版社
- 3)西北地区農業業可持續發展水戰略：農業業卷，科学出版社

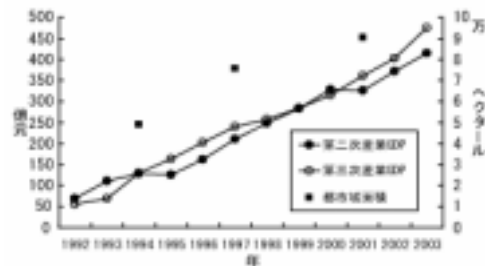


図 6. 第二、三次産業 GDP と都市域面積拡大の推移

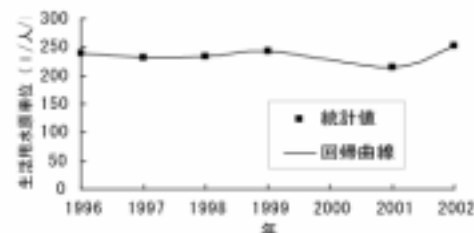


図 7. 西安市生活用水原単位

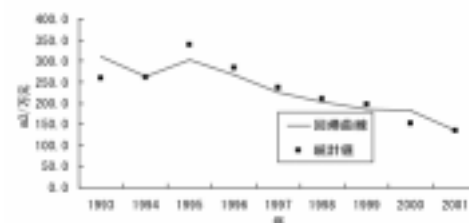


図 8. 西安市工業用水原単位

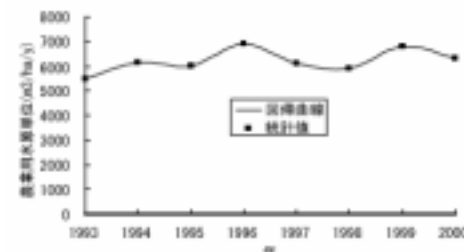


図 9. 西安市農業用水原単位