

流域の水資源循環と持続可能な発展モデルに関する研究 ケーススタディ：渭河流域（黄河支流）と西安市周辺

大西暁生，谷川寛樹，奥田隆明，井村秀文（名古屋大学）

1.0 はじめに

現在中国では，工業を中心とした急速な経済発展のもと，社会システムの変化，対外貿易の拡大など，中国国内だけではなくグローバルな範囲で変容を見せている．このような中国において，国民生活，食料，産業，経済などを支える水資源問題は世界の重要な関心事であると言えよう．本研究では，この位置づけのもと，黄河支流の渭河流域に位置する西安に着目し研究を行っている．

西安市は，人口 700 万人程の都市であり，隣接する都市と併せると 1500 万人以上になる．また，東部地域と西部地域を結ぶ重要な中継地点であり，交通，情報，金融などの経済都市としての機能を果たしている．現在，中国政府は中西部の発展に力を入れており，その中心地となっているのが西安である．政府の中西部発展政策の第一が，西安に新たな産業を育成することであり，内外からの企業投資も促進されている．このような西安市の産業を支えていくためにも水資源の確保は重要である．しかし，西安市の一人あたりの水資源量は約 387m³(黄河全流域約 500m³)と世界平均の約 20 分の 1 と非常に少ない．しかも，農業・工業生産量の増加，人口の増大・都市化の進行など，水資源の需要も増加しており，早急な対策が必要とされている．

水資源不足問題の研究課題は，現状を評価し，将来の予測を行い，問題解決のための糸口を見つけることである．本研究では，その第 1 段階として，現在入手可能なデータを利用して，今後の水資源需給量の動向の定量的な把握を目的とした．

2.0 モデルの概要

水資源需要将来予測モデルは県市レベルでの入手可能なデータを用いて，主に回帰分析によって構築したモデルである．このモデルは図-1 のように，経済社会マクロフレームと水資源需要モジュールに大別でき，水資源需要モジュールの中に農業用水，工業用水，生活用水の需給モジュールが組み込まれている．

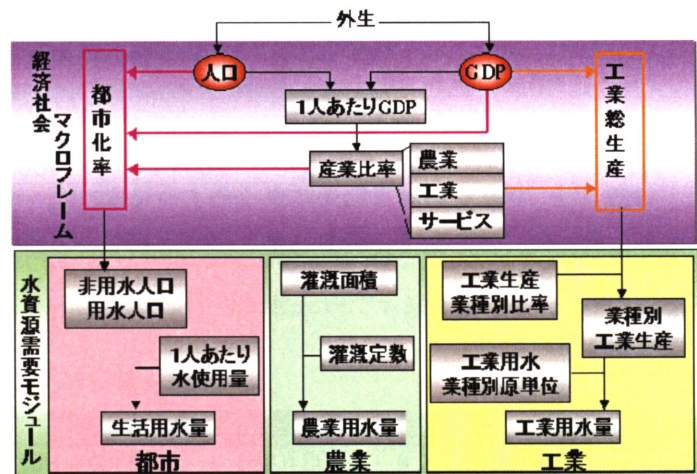


図-1 水資源需要将来予測モデル

3.0 水資源需要モデルと検証結果

3.1 農業用水

農業用水量は，灌漑定数と有効灌漑面積を乗じることによって得られるが，灌漑定数は地域，年によって大きな違いがある．現段階においては，式-(1)により，陝西省の灌漑定数を用いて用水量を推計した．

$$\text{農業用水量} = \text{有効灌漑面積} \times \text{灌漑定数} \quad (\text{面積あたりの用水量}) \quad (1)$$

3.2 工業用水

工業用水量は、単位工業生産（1 万元）当たり水使用量[m³/万元]（以下、工業用水原単位）に工業生産額[万元]を乗じることによって求められる。

本研究では、図-2 のフローに沿い、式-(2)をもとに西安市の各区・県の工業用水量を推計した。

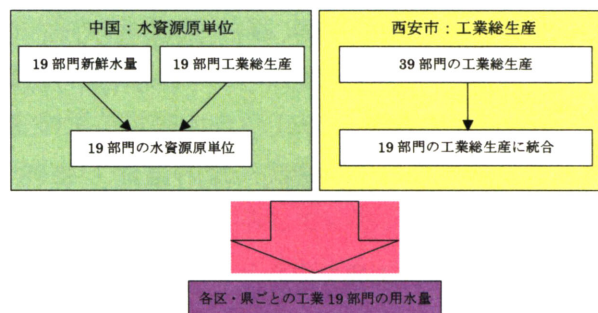


図-2 工業用水推計フロー

$$\text{工業用水量} = 19 \text{ 部門別の工業生産量} \times 19 \text{ 部門の工業用水原単位} \quad (2)$$

3.3 生活用水

生活用水量は、1 人あたり水使用量（リットル/日・人）に人口を乗じて求めることができる。しかし、都市の市街地部においては、経済発展とともに近代的な上水道が設置され、各戸、各ビルに水道水が給水されているのに対して、農村部や都市の郊外では上水道にアクセスできない人も多く、両者に同じ 1 人あたり水使用量を用いる事は出来ない。したがって、生活用水量の将来予測のためには、上水道にアクセスできる用水人口とアクセスできない非用水人口を把握する必要がある。

本研究では、以下の式-(3)を用いて生活用水量を算出した。

$$\begin{aligned} \text{生活用水量} = & \text{都市生活人口} \times \text{都市用水普及率} \times (\text{都市生活者}) 1 \text{ 人あたり水使用量} \\ & + \text{農村生活人口} \times \text{農村用水普及率} \times (\text{農村生活者}) 1 \text{ 人あたり水使用} \end{aligned} \quad (3)$$

3.4 検証結果

1999 年と 2000 年の計算結果は表-1 のようになった。この結果、農村生活で使用される生活用水以外の推計において、高い精度で計算結果と公表されている西安市の水資源公報の値が適合していることが分かった。

表-1 計算結果の検証

	工業	郷鎮工業	農業	城鎮生活	農村生活	合計
1999年	64037(85)		103326(95)	17033(121)	541(1407)	184937(98)
2000年	59899(89)		101800(95)	17552(120)	575(1330)	179827(99)

万m³, (%)内は西安市水資源公報/計算結果

4.0 将来予測

4.1 人口と GDP 将来推計

人口、GDP の推計には、『中国持続発展水資源戦略研究、研究第 2 巻』で予測されている成長率を用いている。陝西省の成長率は、2001 年～2010 年の成長率 0.66%，2010～2030 年 0.58%，2030 年～2050 年まで 0.58%であり、これを用い、陝西省に属する市区県ごとに過去のトレンドを基に重み付けし推測を行った。結果、図-3 のように 2010 年には全市で 819 万人、2030 年には 1161 万人、2050 年 1642 万人となる。

GDP の推計結果は、西安市全体では、2000 年比で 2010 年に GDP は 2.18 倍、2030 年に 8.03 倍、2050 年に 19.95 倍になる。

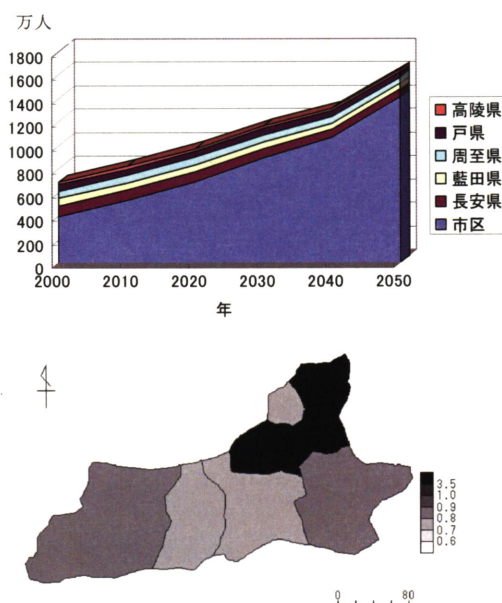


図-3 (上)各区・県ごとの人口変化
(下)2050 年人口/2000 年人口

4.2 農業用水量の将来推計

農業用水量の将来推計にあたり、2 つの仮定条件を設定した。まず 1 つ目が、西安市の有効灌漑面積が 1970 年からほぼ一定であることから、2000 年以降もこの傾向が続くということ。2 つ目が、灌漑定数の変化が表-2 のように節水型、自然体の 2 つのシナリオをもとに、2000 年を基準として変化するということである。節水型とは、農業への投資、品種改良等への投資が拡大し、農業の近代化が進み、灌漑定数は大きく低下するというものである。一方で、自然体とは、現状の原単位の変化をふまえて変化するというものである。

表-2 農業用水源単位の将来変化

	2010年	2030年	2050年
灌漑定数(節水型)	-19.00%	-25.00%	-30.00%
灌漑定数(自然体)	-8.00%	-15.00%	-20.00%

2000 年の陝西省の原単位をもとに推計を行なうと、表-3 のような結果となった。2000 年において 10.18 億 m³であったことから、農業用水量は節水型、自然体のどのシナリオにおいても減少することが考えられる。

表-3 農業用水量の将来推計結果

	灌漑定数(節水型)	灌漑定数(自然体)
2010年	8.25	9.37
2030年	7.63	8.65
2050年	7.13	8.14

億m³

4.3 工業用水量の将来推計

工業用水量の将来推計は、図-1 の水資源需要将来予測モデルに沿い、GDP と人口から一人当たり GDP を求め、回帰式を用いて、第 2 次産業つまり工業の産業比率を求めた。その求めた工業の産業比率から工業総生産量を推計した。

シナリオとしては、工業用水原単位が 2050 年時点において、1999

表-4 工業用水量の将来推計結果

	工業用水量
2000年	59899.48
2010年	94091.79
2030年	145907.88
2050年	182416.80

万m³

年の日本レベルになると仮定した。また年ごとの減少率は一定であるとした。同時に、19部門の工業生産比率も2000年と同様であると仮定した。最後に、原単位と19部門の工業生産を乗じることにより、工業用水量の推計を行った。

推計結果は、表-4のように、2050年には2000年比で3倍程度に増加し、水資源の確保、水資源のリサイクル、工業技術の向上等によって水使用量を抑えていく必要があることが分かった。

4.4 生活用水量の将来推計

まず、生活用水量を推計するためには、非農業人口と農業人口を算出する必要がある。そのために、市区県別の1991年及び2000年の総人口、非農業人口、所得格差データを用い、以下の回帰式-(4)を用いて非農業人口と農業人口を推計した。この回帰式の構造は、所得格差が大きいほど都市化が進むことを表したものである。

$$\ln \left(\frac{1}{\frac{\text{非農業人口}(t+1)}{\text{総人口}(t+1)} - 1} \right) = 5.52 \cdot \frac{\text{非農業人口}(t)}{\text{総人口}(t)} - 1.06 \cdot \text{所得格差} + 3.06 \quad (4)$$

R2 値=0.99 (t 値) (18.05) (-2.12) (11.89)

また、用水普及率については、2000年時点において既に97%の普及率をもつ都市非農業人口は、2010年に100%の普及率になると仮定し、一方で、都市農業人口は2050年に100%となることを仮定とした。それぞれの原単位においては、『中国持続発展水資源戦略研究、研究第2巻』に示された中国全体の原単位変化率を参考に西安市の原単位を推測した。以上より推計した結果は表-5のようになる。

表-5 生活用水量の将来推計結果

	2010年	2030年	2050年
市区	8.85	17.75	31.33
長安県	0.60	1.14	1.40
藍田県	0.41	0.79	1.03
周至県	0.41	0.78	1.04
戸県	0.41	0.79	0.95
高陵県	0.16	0.31	0.38
合計	10.83	21.56	36.14

億m³

2000年において、西安市水資源公報の生活用水量が2.87億m³であったことから考えると、多少過剰に推計されていることが予想されるが、生活用水の増加は将来の水資源問題の大きな問題であると考えられる。

5.0 今後の課題（議論をふまえて）

- 水資源量を推計するため、詳細な気象情報を入手し蒸発散量を推計する（水供給部門を把握する）。
- 実際には、水資源不足によって人口増大や経済成長を抑制する可能性があり、工業生産などの低下が考えられる。そのため、社会フレーム・需要フレームの中でフィードバックをかける必要がある。
- 生産関数分析等を用いて、生産要素ごとの変化を推測する。
- 市区・県ごとの原単位分解を行なう。
- リモートセンシング技術を用い、灌漑面積・作物別耕地面積等を把握する。
- 南水北調や西部大開発などの実際のシナリオを用いて、将来予測を行なう。