

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

一ノ瀬俊明¹・大坪国順²・王 勤学³・張 祖陸⁴・衣笠聡史⁵

¹正会員 工博 独立行政法人国立環境研究所主任研究員 地球環境研究センター
(〒305-8506茨城県つくば市小野川16-2)

²正会員 工博 独立行政法人国立環境研究所上席研究官 水圏環境研究領域
(〒305-8506茨城県つくば市小野川16-2)

³農博 独立行政法人国立環境研究所主任研究員 流域環境管理研究プロジェクト
(〒305-8506茨城県つくば市小野川16-2)

⁴山東師範大学教授 人口・資源と環境学院
(〒250014中華人民共和国山東省済南市文化東路88)

⁵学博 東京外国語大学研究員(非) アジア・アフリカ言語文化研究所
(〒183-8534東京都府中市朝日町3-11-1)

黄河流域における地下水需要の現状把握と将来予測を目的として、当該需要を10kmメッシュで把握すべく、各種の手法開発を行った。米国軍事気象衛星による地上夜間光画像データDMSP/OLSの輝度値を用いた解析の結果、給水総量が増加すると輝度値も増す傾向が見られた。また、黄河下流の済南市における水資源需要マップの描画(解像度250m)を、市政府所有の空間情報基盤を用いて行った。DMSP/OLSは解像度30秒で中国全土をカバーしており、特定の事例解析都市で水資源需要量と夜間光強度との関係をピクセルベースで見出せるならば、黄河流域についてシームレスに水資源需要分布を与えることが可能となる。

Key Words: ground water, water demand, urban area, China, Yellow River

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、下流域での水不足、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。

2. 研究方法及び研究対象地域

(1) 研究方法

前述の問題を解決するため、本研究では黄河流域(河北平原を含む)及び地下水位低下の著しい都市域の浅層(自由)及び深層(被圧)地下水変動の再現と将来予測に不可欠な両層地下水資源の揚水量(消費量)の現状マップと将来予測マップを整備する。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。その手始めとして、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ことが必要である。

よって、まず各種社会経済統計データより、地下水資源需要推計のための原単位を作成し、米国軍事気象衛星による地上夜間光画像データDMSP/OLS(Defensive Meteorological Satellite Program / Operational Linescan System)をベースとした黄河全流域地下水資源需要推計マップの試作を行った。

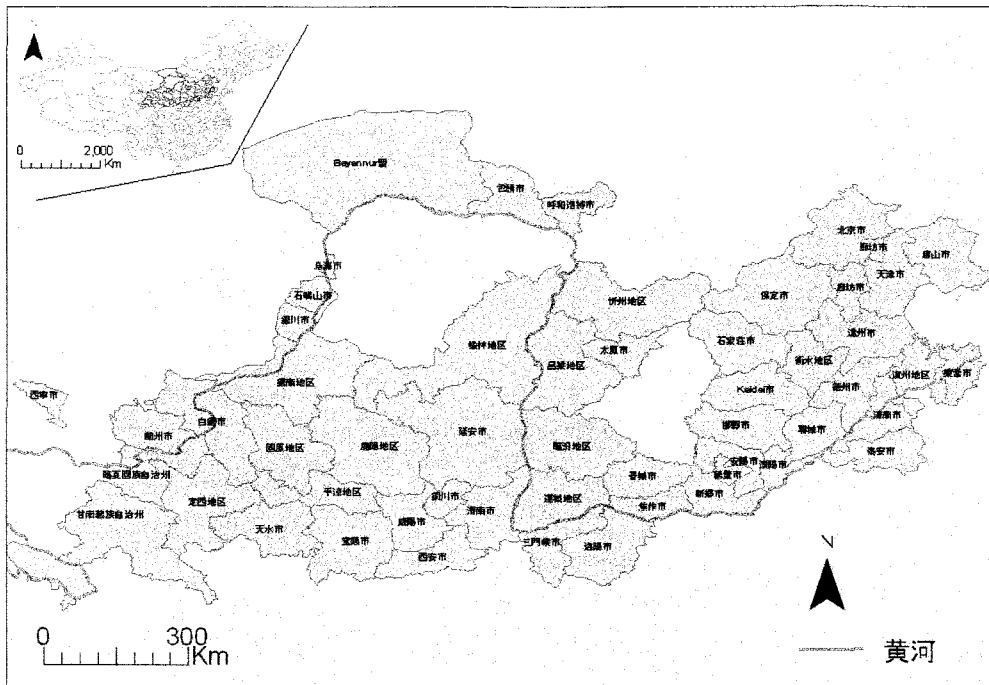


図-1 黄河流域及び河北平原における解析対象地級行政単位（データの存在する範囲）

また、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、航空機画像（1998年度）に建築物ポリゴンデータ（2000年度調査）を貼り付けた画像をベースマップとして使用し、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。

(2) 研究対象地域

現在、研究対象地域（約50地級行政単位）における利用可能な各種社会経済統計データとしては、中国城市統計年鑑等により、以下の項目が存在する。水資源利用に直接関係すると思われる項目としては、人口指標（総人口、就業総人口、第3次産業就業人口、従業者総数）、面積指標（総面積、都市区域面積、都市建物総面積）、エネルギー指標（電力消費量、生活用電力消費量）、経済指標（国内総生産、1人当たり国内総生産、工業生産総額、第3次産業生産額、労働者賃金総額、労働者平均賃金）がある。また、水資源利用指標としては、給水総量、生活用給水量の2つがある。

研究対象地域のうち、以上に挙げた各種統計データを利用することができた52の地級行政単位を分析対象地域とした（図-1）。上述の指標を用いて、地級行政単位毎の水資源利用状況が説明できるならば、データの存在しない地域における水資源利用状況を推定し、黄河流域をカバーする情報の整備に有益である。

3. 分析結果と考察

(1) 給水総量と各種社会経済統計指標との相関

まず、前述の各種統計データ（1996年）のそれぞれと給水総量との相関関係を明らかにした。回帰直線で近似した場合、給水総量に対して最も決定係数の高くなる説明変数は、電力消費量（図-2）と従業者総数（図-3）であった。

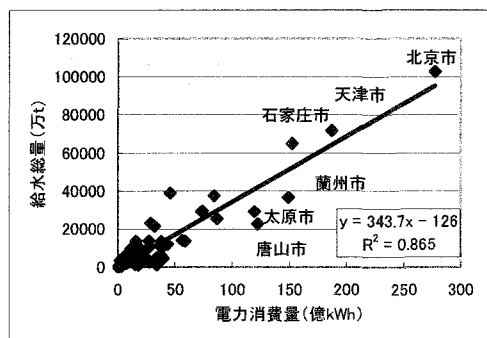


図-2 解析対象地級行政単位別電力消費量と給水総量の関係の解析事例

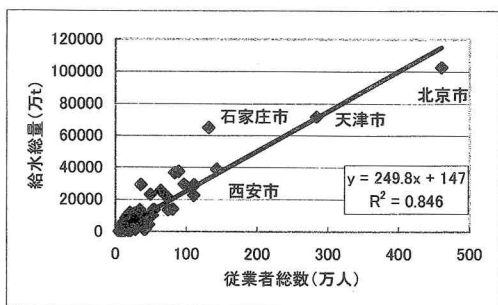


図-3 解析対象地級行政単位別従業員総数と給水総量の関係の解析事例

(2) DMSP/OLS 輝度値を利用した地下水資源需要推計マップの試作

しかし、こうした関係を用いたとしても、地級行政単位よりも小さな空間単位での情報が与えられなければ水資源利用状況の空間分布を把握することは困難であり、本研究が目標として掲げる 10km メッシュでのマッピングは到底不可能である。一方、米国軍事気象衛星による地上夜間光画像データ DMSP/OLS の輝度値 (Ichinose *et al.* (2002) 及び一瀬ら (2002) による 1996 年の値) は解像度 30 秒 (約 560m) で中国全土をカバーしており、あらかじめ

地級行政単位別に集計された輝度値で上述の給水総量データが説明できるのであれば、地級行政単位別に水資源需要推計のための原単位を作成し、黄河全流域水資源需要推計マップを作成することが可能となる。

図-4 は地下水資源需要推計マップのイメージ (解像度 60 秒: 約 1120m) として試作された北京周辺における 1996 年の DMSP/OLS 輝度値マップである。残念ながら統計データとして入手できる水資源利用状況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る。

図-5 に面積当たりの給水総量と輝度値の関係を示す。給水総量が増加すると輝度値も増す傾向が見られるほか、地域の水資源状況 (気候条件、都市化の度合いなど) を反映するためか、類似の性格を示すと考えられる地域が似たような場所にプロットされている。一方、ここでは輝度値と給水総量に直線関係を仮定したものの、系統的な残差も見出せる。残差をマッピングしたところ、明瞭な地域性の存在が伺われた。これらは水資源の逼迫度や降水量など、自然条件との関係性が深いと思われる。

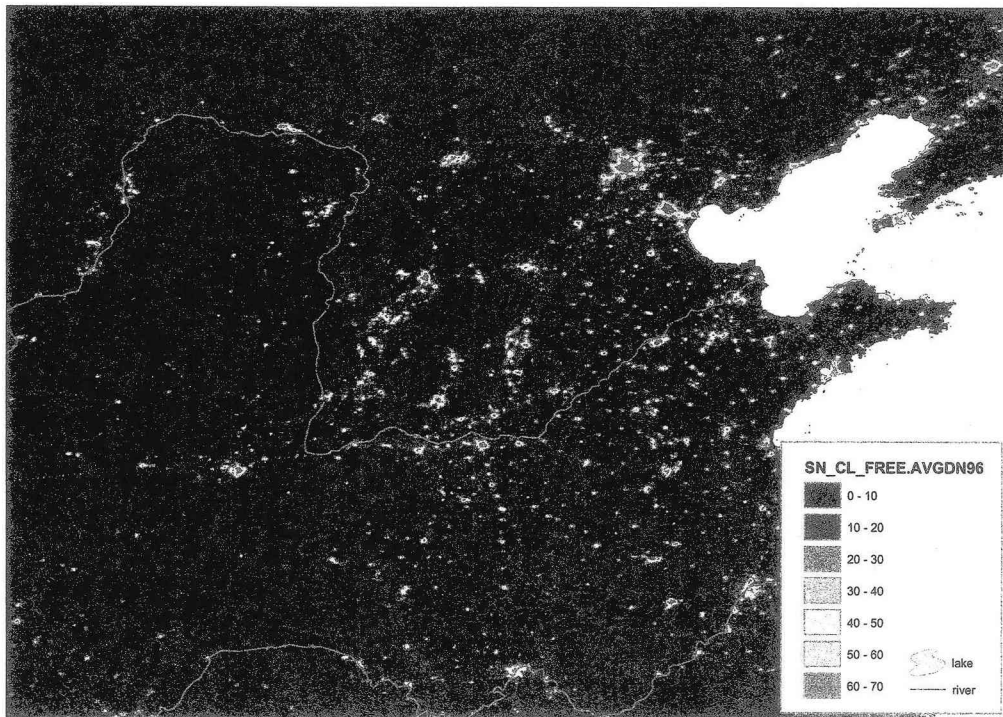


図-4 地下水資源需要推計マップのイメージ (解像度 60 秒: 約 1120m)
北京周辺における 1996 年の DMSP/OLS 輝度値

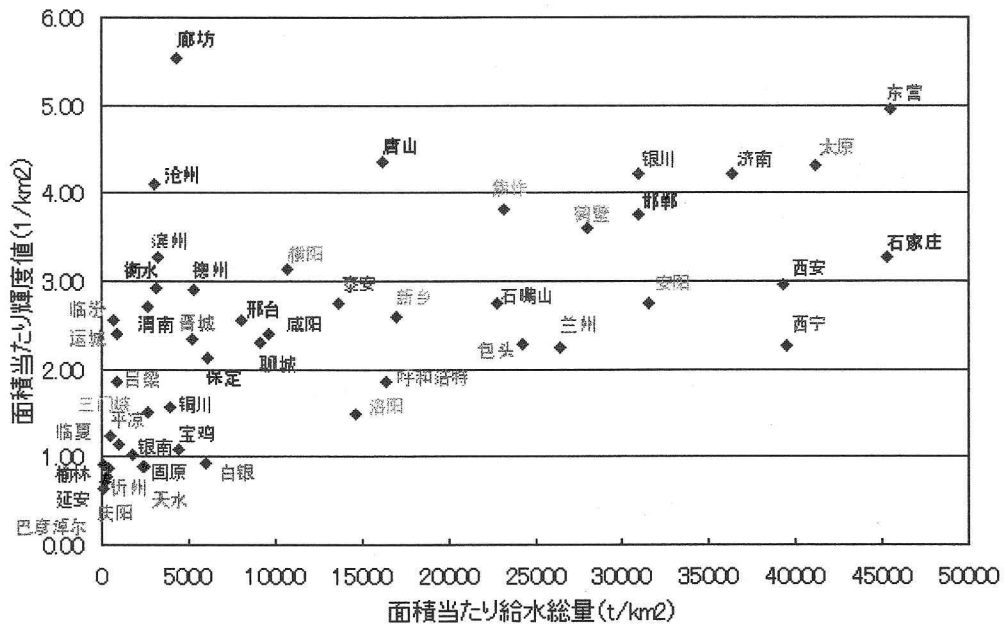


図-5 面積当たり給水総量と面積当たり DMSP/OLS 輝度値の関係
北京、天津、烏海を外し、省級行政単位別に分けたもの。

(3) 黄河支流渭河流域における地下水資源認識調査

黄河支流の渭水（鄭州～西安～蘭州）に沿って、一定規模の都市周辺地域における水資源の状況を概観すべく、2004 年 3 月中旬に、現地にて一般人民よりヒアリングを行い、地下水資源に対する認識を調査した。都市用水（生活用水・工業用水）の主な水源としては、済南～鄭州では黄河の河川水、洛陽では黄河支流の河川水（ダム）、三門峡では豊富な泉水（浅層地下水）、西安では渭水支流の河川水（ダム）と地下水、宝鶏では渭水の河川水（ダム：水資源は不足気味）、天水では豊富な泉水ということであった。また、相対的に給水総量の多い西安では夏の渇水がしばしば問題になるということであった。洛陽付近では降水量に依存した農業が一般的であるのに対し、蘭州に近くにつれ水路や井戸など、河川水や地下水を灌漑に用いるための設備が目立つようになる（図-6、図-7）。このように、黄河流域における水源構成は多様なものと考えられ、既存の社会経済統計指標などから地下水資源需要を推定するにあたっては、事例解析都市における詳細な検証が不可欠であると考えられる。

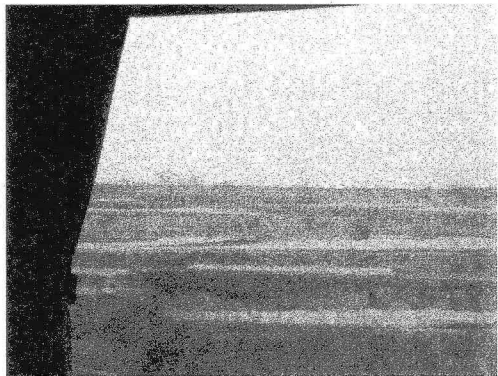


図-6 黄河支流渭水（鄭州～西安～蘭州）に沿った農業景観の変化：鄭州～洛陽



図-7 黄河支流渭水（鄭州～西安～蘭州）に沿った農業景観の変化：天水～蘭州

4. 特定事例解析都市における高解像度水資源需要マップの作成

以上より、特定的事例解析都市において水資源需要量と夜間光強度との関係（ピクセルベース）を見出せば、図-5 に示される原単位（原点と各プロットを結ぶ直線の傾きに相当）を用い、黄河流域についてシームレスに水資源需要分布を与えることが可能となる。そこで、黄河下流の山東省済南市（図-8）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（図-9）。ここでは、市政府所有の空間情報基盤（済南市政府遥感総合調査）を使用した。ここでの分類体系は、居住、工業、娯楽・ホテル、オフィス、緑地、医療衛生、教育、その他となっている。また市水利局の供水区別配水量データ（2000 年）を利用し、原単位法で描かれた水需要分布とこの配水量が一致するよう調整を行っている。この高精度のマッピングにあたっては、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、統計では $3.504 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{年}$ とされている用水量の値が、実際には $3.103 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{年}$ に過ぎないことも明らかとなった。図-5 における当該地域の輝度との関係性が一定見出せるのであれば、DMSP/OLS の輝度値を用いる手法の合理性が担保されるであろう。なお 2004 年 2 月現在、地下水保護を目的として、済南市における地下水利用は一切禁止されており、現在では黄河の河川水を水源としている。図-9 は再び黄河の断流が生じた際の地下水資源需要マップと考えるとよい。土地利用別の水資源需要の内訳は、居住 26%、工業 55%、娯楽・ホテル 9%、オフィス 2%、緑地 3%、医療衛生 1%、教育 4%となっていた。

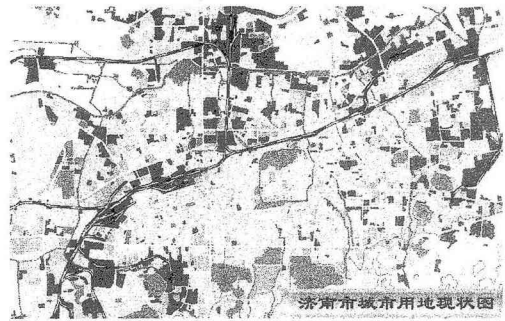


図 例

- | | | |
|------|------|---------|
| 居住用地 | 工業用地 | 水域用地 |
| 商業用地 | 倉庫用地 | 其他用地 |
| 文体娱乐 | 道路用地 | 城区道路 |
| 教育用地 | 其他交通 | — 建城区范围 |
| 医疗卫生 | 市政公用 | |
| 科研设计 | 旅游绿化 | |
| 机关宣传 | 特殊用地 | |

図-8 済南市の建成区における用途地区区分

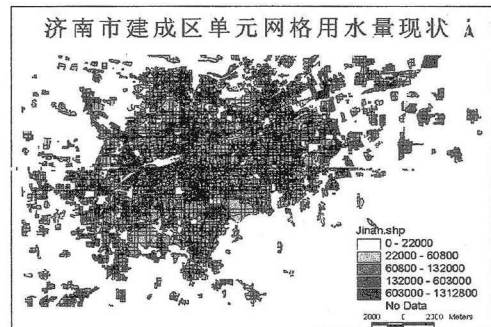


図-9 済南市の建成区における用水量分布（250mメッシュ）

5. まとめ

黄河流域における地下水需要の現状把握と将来予測を目的として、当該需要を 10km メッシュで把握すべく、各種の手法開発を行った。米国軍事気象衛星による地上夜間光画像データ DMSP/OLS の輝度値は解像度 30 秒で中国全土をカバーしており、あらかじめ地級行政単位別に集計された輝度値で、出版統計に記載されている給水総量等の水資源需要データが説明できるのであれば、地級行政単位別に水資源需要推計のための原単位を作成し、黄河全流域水資源需要推計マップを作成することが可能となる。解析の結果、給水総量が増加すると輝度値も増す傾向が見られたほか、地域の水資源状況を反映するためか、類似の性格を示すと考えられる地域が似たような場所にプロットされた。一方、ここでは輝度値と給水総量に直線関係を仮定したものの、系統的な残差も見い

る。また残差をマッピングしたところ、明瞭な地域性の存在が伺われた。これらは水資源の逼迫度や降水量など、自然条件との関係性が深いと思われる。

以上より、特定の事例解析都市において水資源需要量と夜間光強度との関係をピクセルベースで見出せれば、原単位を用い、黄河流域についてシームレスに水資源需要分布を与えることが可能となる。そこで、黄河下流の済南市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。

さらにこの高精度のマッピングにあたっては、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、統計では $3.504 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{年}$ とされている用水量の値が、実際には $3.103 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{年}$ に過ぎないことも明らかとなった。当該地域の輝度との関係性が一定見出せるのであれば、DMSP/OLS の輝度値を用いる手法の合理性が担保されるであろう。

謝辞：本研究における作図作業を手伝っていただいた筑波大学人文学類学生（当時）の和田晃君、寺尾周祐君ならびに山東師範大学地理学系の学生諸兄に感謝いたします。本研究は、文部科学省人・自然・地球共生プロジェクト「アジアモンスーン地域における人工・自然改変に伴う水資源変動予測モデルの開発」（代表・竹内邦良）の一部である。

引用文献

Ichinose, T., K. Matsumura, T. Nakaya, Y. Nakano, C. Elvidge, M. Imhoff : Estimation on regional intensity of economic activity in Asia: An application of nocturnal light image by DMSP/OLS, *2nd Workshop of the EARSeL Special Interest Group on Remote Sensing for Developing Countries*, Bonn, 2002; (*Proceedings*)
一ノ瀬俊明編：夜間光衛星画像データ DMSP によるアジアの地域別経済活動強度推定，平成 12 年度～平成 13 年度科学研究費補助金研究成果報告書，2002

GROUND WATER USE AND ITS FUTURE PREDICTION IN YELLOW RIVER, CHINA

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

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. As a result of analyzing the Digital Number (DN) of nocturnal light intensity on the satellite image of DMSP/OLS (the Defensive Meteorological Satellite Program / Operational Linescan System), it was founded that nocturnal light intensity increased in proportion to water supply. 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. DMSP/OLS covers the whole China with resolution of 30 seconds and it is available to provide a seamless image of water resource demand in the catchments of the Yellow River if some relationships between water resource demand and nocturnal light intensity are founded in cities for a case study by pixel-level analysis.