

黄河全流域地下水位数値シミュレーションに むけた地下水資源需要推計マップの試作

一ノ瀬 俊明¹・原田 一平²・イー モンシャン³・大坪 國順⁴

¹正会員 独立行政法人国立環境研究所主任研究員 社会環境システム研究領域

(〒 305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

E-mail:toshiaki@nies.go.jp

²千葉大学研究員(非) 環境リモートセンシング研究センター

(〒 263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33)

E-mail:ippei@restaff.chiba-u.jp

³筑波大学大学院博士課程 システム情報工学研究科

(〒 305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1)

⁴正会員 独立行政法人国立環境研究所企画部次長

(〒 305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

E-mail:kuninori@nies.go.jp

黄河流域における地下水位の挙動を数値シミュレーションで再現することを目的として、地下水需要の空間分布を高解像度のグリッドベースで把握するため、1996年時点における空間分布を推計した。農業用水については、大都市の近郊を中心に、華北平原の半分ほどの地域において30秒(約560m)四方に換算して年間約4万t以上を、工業用水・生活用水については華北平原の大都市や鄭州、洛陽、西安などにおいて1.5~3万tをくみ上げている。

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合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・人工変化に伴う、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(井村ら, 2005)。

この問題解決に資するべく著者らは、黄河流域(華北平原を含む)および地下水位低下の著しい都市域における浅層(自由)および深層(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の整備をめざしている。

具体的には、黄河流域における地下水位挙動の数値シミュレーションによる再現に必要な地下水需要の空間分布を、高解像度のグリッド(0.1度グリッド、都市域については2kmグリッド)ベースで把握するというものであり、そのための各種手法開発を行っている(一ノ瀬ら, 2004; 2005)。これは、最終的に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。

著者ら(2004)は既に、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。その結果、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、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（一ノ瀬ら，2005）。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。

しかしながらここまで試作された黄河全流域地下水資源需要推計マップでは、用水カテゴリーとして生活用水と工業用水を扱っているのみであり、資料上の制約から、自来水（上水道）における供水量を地下水需要量とみなしたものに過ぎなかった。これでは地下水需要の大半を占める農業用水の実態を反映していないため、さらなる調査で入手された新たな資料より、用水カテゴリー別のマッピングを行う必要がある。本報告では、農業・工業・生活の 3 大カテゴリーについて、1996 年時点におけるそれらの空間分布の推計結果を報告する。なおマッピングの対象としては、地下水位に直接関係する「取水量」という概念を採用する。

2. 農業用水のための地下水取水量のマッピング

耕地面積あたりの地下水取水量が一定という仮定のもとに、耕地面積の多寡で取水量をグリッド（実際は県級行政単位ごとのポリゴン：平均的には 20km² グリッドに相当するサイズ）へ配分する。具体的な方法は以下のとおりである。

①省級行政単位別耕地面積（中国統計年鑑：1994 年および 1996 年）より、省級行政単位別に耕地面積の変化率を求め、1994 年時点の県級行政単位別耕地面積（Geoinfo China Digital 400）より 1996 年の値を推定する。

②黄河流域の省級行政単位別農業地下水取水量（黄河水資源公報：1998 年～2004 年の平均値）および河北省、北京市、天津市における農業地下水供水量（海河流域水資源公報：1998 年～2003 年の平均値）を省級行政単位別耕地面積で除することにより、省級行政単位別の単位耕地面積あたり地下水取水量を求める。数値シミュレーション上人為的な入力条件の空間的ギャップを避けるため、上述の地域の外側においても同様の手法でデータを作成する。

③これに県級行政単位別耕地面積を乗じることにより、県級行政単位別地下水取水量を求める。

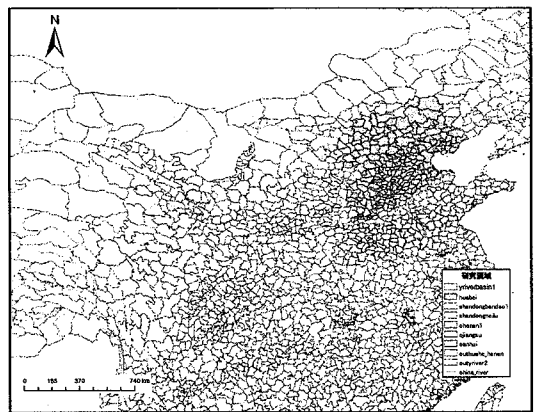


図-1 研究対象地域の流域区分

黄河流域には内流域（海洋に流出しない領域）を含めている。また研究対象地域ではないが、数値シミュレーション上人為的な入力条件の空間的ギャップを避けるため、同様の手法でデータを作成しているところもある。

大都市の近郊を中心に、華北平原の半分ほどの地域において 1km² あたり年間 12 万 t 以上をくみ上げている。これは 30 秒（約 560m）四方に換算して年間約 4 万 t 以上に相当する。また、黄河本流に沿った地域の上流～中流においては、地表水に依存できるため取水量は少ない。多いところでも、30 秒（約 560m）四方に換算して年間約 1～2 万 t 程度である。

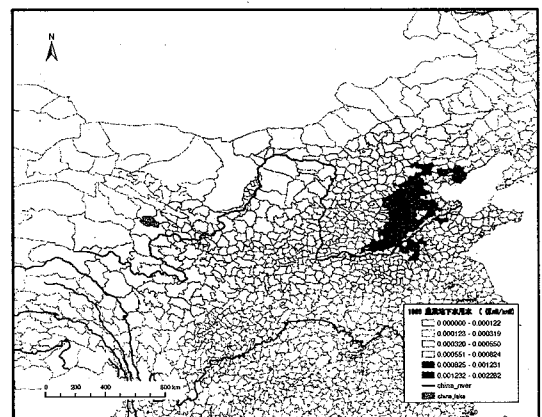


図-2 黄河流域および華北平原における農業用水としての地下水取水量分布

3. 工業用水のための地下水取水量のマッピング

DMSP/OLS の輝度値あたりの地下水取水量が一定という仮定のもとに、輝度値の多寡で取水量をグリッド（30 秒：平均的には 560m 四方）へ配分する。具体的な方法は以下のとおりである。

①黄河流域の省級行政単位別工業地下水取水量（黄河水資源公報：1998 年～2004 年の平均値）および河北省、北京市、天津市における工業地下水供水量（海河流域水資源公報：1998 年～2003 年の平均値）を省級行政単位別輝度値（合計値）で除することにより、省級行政単位別の

輝度値あたり地下水取水量を求める。数値シミュレーション上人為的な入力条件の空間的ギャップを避けるため、上述の地域の外側においても同様の手法でデータを作成する。

②これに輝度値を乗じることにより、グリッド別地下水取水量を求める。

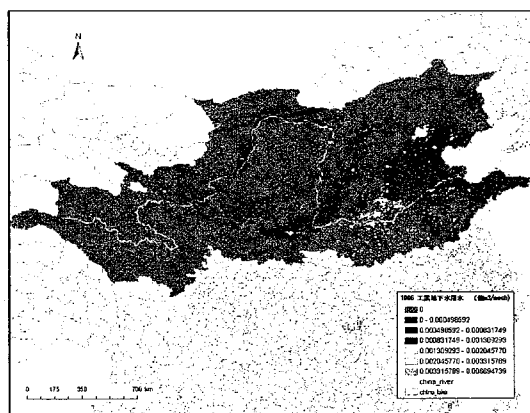


図-3 黄河流域および華北平原における工業用水としての地下水取水量分布 (30秒グリッド)

華北平原の大都市（北京、唐山、保定、石家庄、安陽周辺）や鄭州、洛陽、西安、銀川、蘭州、西寧などにおいてグリッド（約560m四方）あたり年間1.5～3万tをくみ上げている。山西省の汾河流域ではその数分の1程度の水準である。衛星画像上のノイズと思われるゾーン（内モンゴル地区や黄土高原付近など）もこの水準の値を示している。また、黄河本流に沿った地域の上流～中流においては、地表水に依存できるためか取水量は少ない。

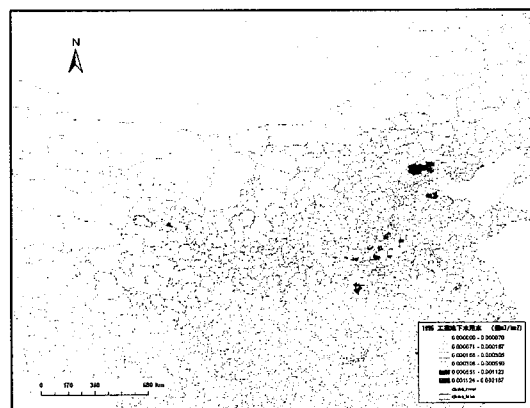


図-4 黄河流域および華北平原における工業用水としての地下水取水量分布
(県級行政単位ごとのポリゴンに集計したもの)

4. 生活用水のための地下水取水量のマッピング

DMSP/OLSの輝度値あたりの地下水取水量が一定という仮定のもとに、輝度値の多寡で取水量をグリッド(30秒：平均的には560m四方)へ配分する。具体的な方法

は以下のとおりである。

①黄河流域の省級行政単位別生活地下水取水量（黄河水資源公報：1998年～2004年の平均値）および河北省、北京市、天津市における生活地下水供水量（海河流域水資源公報：1998年～2003年の平均値）を省級行政単位別輝度値（合計値）で除することにより、省級行政単位別の輝度値あたり地下水取水量を求める。黄河水資源公報における生活用水の定義は、2002年までが都市生活用水＋農村人畜用水、2003年以降が都市公共用水＋居民生活用水＋生態環境用水（緑化灌漑など）となっている。数値シミュレーション上人為的な入力条件の空間的ギャップを避けるため、上述の地域の外側においても同様の手法でデータを作成する。

②これに輝度値を乗じることにより、グリッド別地下水取水量を求める。

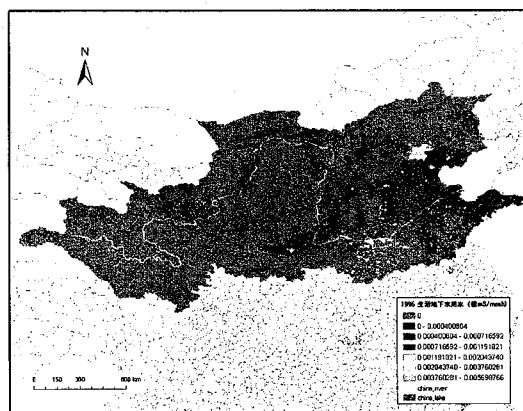


図-5 黄河流域および華北平原における生活用水としての地下水取水量分布 (30秒グリッド)

華北平原の大都市や鄭州、洛陽、西安などにおいてグリッド（約560m四方）あたり年間1.5～3.5万tをくみ上げている。山西省の汾河流域ではその数分の1程度の水準である。

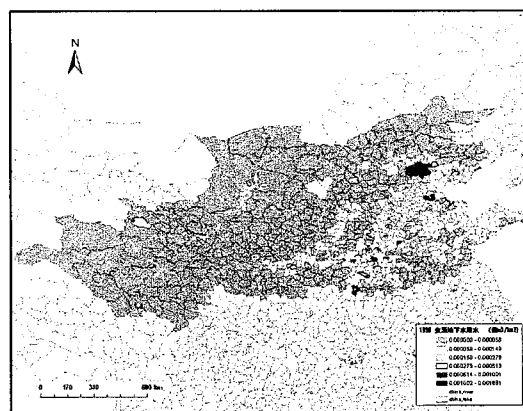


図-6 黄河流域および華北平原における生活用水としての地下水取水量分布
(県級行政単位ごとのポリゴンに集計したもの)

5. 考察

対象地域における地下水位の季節変動に関しては、今回作成された取水量分布に対し、合理的な季節変動（週単位）を与えての数値シミュレーションにより求められることになる。地下水位における週単位の変動は、降雨量と蒸発量の日変動に加え、生活用水利用や農業用水利用の季節変化によりもたらされると考えられる。また、耕地への作付け種類や農地の立地（気候・地質など）により、各季節（月あるいは週）への配分曲線が異なることに考慮すべきである。南京・河南大学におけるヒアリング調査（2006年1月）によれば、一般に渠井（地表水と地下水）両系統での灌漑システムが採用され、河川流量の状況に応じてシステムを切り替えて使っているケースが多い。

従前試作された推計マップ（一ノ瀬ら，2004）では、中国城市年鑑に収録されている地級行政単位別給水総量（上水道による工業用水および生活用水）を輝度値に比例するようマッピングしていたため、地級行政単位間の差異がある程度考慮されたものであった。今回は、黄河水資源公報に加え、複数の地域別の水資源関連報告書（秦ら編著，1998）などを参照し、一部の地級行政単位においては、年次こそ統一ではないが具体的な地下水取水量データが示されていることを確認している。その意味では、今回作成されたマップにも改善の余地が見出せる。総体的にみて、近年金子（1999）が別の手法で推計・提示してきた黄河流域の用水使用量分布（地表水を含んだ値）などとも整合的なマップが得られたものと考えている。

6. 結論

黄河流域における地下水位の挙動を数値シミュレーションで再現することを目的として、地下水需要の空間分布を高解像度のグリッドベースで把握するため、農業・工業・生活の3大カテゴリーについての1996年時点における空間分布を推計した。

農業用水については、大都市の近郊を中心に、華北平原の半分ほどの地域において1km²あたり年間12万t以上をくみ上げている。これは30秒（約560m）四方に換算して年間約4万t以上に相当する。また、黄河本流に沿った地域の upstream～中流においては、地表水に依存できるためか取水量は少ない。多いところでも、30秒（約560m）四方に換算して年間約1～2万t程度である。

工業用水については、華北平原の大都市（北京、唐山、保定、石家庄、安陽周辺）や鄭州、洛陽、西安、銀川、蘭州、西寧などにおいてグリッド（約560m四方）あたり年間1.5～3万tをくみ上げている。山西省の汾河流域ではその数分の1程度の水準である。また、黄河本流に沿った地域の upstream～中流においては、地表水に依存できるためか取水量は少ない。

生活用水については、華北平原の大都市や鄭州、洛陽、西安などにおいてグリッド（約560m四方）あたり年間1.5～3.5万tをくみ上げている。山西省の汾河流域ではその数分の1程度の水準である。

謝辞：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

- 一ノ瀬俊明・大坪國順・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
- 一ノ瀬俊明・大坪國順・王勤学・張祖陸（2005）：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，地球環境シンポジウム講演論文集，13，329-334
- 井村秀文・大西暁生・岡村実奈・方偉華（2005）：黄河流域の県市別データに基づく水資源需給空間構造の把握に関する研究，環境システム研究論文集，33，477-485
- 金子慎治（1999）：「東アジアの開発と環境長期将来予測のための手法開発とその適用に関する研究」，九州大学大学院工学研究科博士論文，162p
- 秦毅蘇・朱延華・曹樹林・余国光・李俊亭編著（1998）：「黄河流域地下水資源合理開発利用」，黄河水利出版社，114p

ESTIMATION MAP OF GROUNDWATER RESOURCE DEMAND IN THE YELLOW RIVER BASIN, CHINA: FOR NUMERICAL SIMULATION OF GROUNDWATER LEVEL

Toshiaki ICHINOSE, Ippei HARADA, Mongshan EE and Kuninori OTSUBO

For numerical simulation on behaviors of groundwater level in the Yellow River Basin, China, the authors estimated spatial distribution of groundwater resource demand (1996) in pixel base with high resolution. Annual agricultural use exceeded $40,000 \text{ t (30 sec)}^{-2}$ in half region of the Northchina Plain, especially surroundings of major cities, and both of annual industrial and annual domestic use reached $15,000 \text{ to } 30,000 \text{ t (30 sec)}^{-2}$ at major cities in the Northchina Plain, Zhengzhou, Luoyang, Xi'an etc.