

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：12102  
 研究種目：研究活動スタート支援  
 研究期間：2011～2012  
 課題番号：23810002  
 研究課題名（和文） 東京都における地下水の有効かつ合理的利用による経済的効果の総合評価  
 研究課題名（英文） Comprehensive Evaluation of Economical Influence by Reasonable and Effective Use of Ground Water in Tokyo  
 研究代表者  
 徐 峰 (XU FENG)  
 筑波大学・生命環境系・特任助教  
 研究者番号：70602811

研究成果の概要（和文）：本研究では社会経済モデル、最適揚水計画策定モデルおよび水循環モデル等三つのサブモデルを構築し、さらにこれらサブモデルをリンクさせた地下水総合評価モデルを構築した。他に、本研究方法を用いて、中国における再生水利用政策の総合評価及び低炭素社会構築ためのエネルギー政策に関する研究等新しい分野で研究成果を出した。

研究成果の概要（英文）：In our research, we constructed a comprehensive new model which includes groundwater optimal exploitation model, water cycle model and social-economic model. Running this integrated simulation model, this article can provide the maximized economic value achieved by groundwater utilization and the specific groundwater developing plan.

### 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 23 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
平成 24 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：持続環境学

科研費の分科・細目：環境影響評価・環境政策

キーワード：総合評価、最適化シミュレーション、基本モデル、地下水、経済的効果、水循環

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 本では1960年以降の高度経済成長期を機に大規模な地下水の開発を行い、それとともに地下水の過剰採取に起因する地盤沈下の問題が発生した。その後、1970年代から工業用水法、ビル用水法といった法律や条例による揚水規制を強力に推し進めてきた結果、地盤沈下は終息した。その後も地下水利用に

伴う地盤沈下発生の懸念が残るために、現在でも揚水規制は続けられている。特に東京都23区では厳しい揚水規制がしかれ、地下水の揚水は実質的に禁止されている。その結果、かつて低下していた地下水水位は上昇(回復)し、この地下水の上昇に伴う浮力の増大により、地下構造物の浮き上がりといった影響が生じている。そのため、東京駅や上野駅では

地下構造物の浮上防止などの対策を講じる必要性があるなど影響が顕在化している。

(2) このような状況から、現在も講じられている東京都内などの厳格な地下水の揚水規制について、その見直しに関する検討の必要性があがってきている。すなわち、地盤沈下といった環境への影響を生じさせないよう適切な地下水利用をはかることで、より積極的に地下水を活用する機運が高まっている。地下水は水質も良好で、年間を通じて一定の温度を保つといった特徴を有し、適切な利用方法をとることで、より大きな社会的便益をもたらすと考えられる。しかしながら、これまで我が国では、地下水については、飲料用が主であり、その他の活用方法については融雪利用などに限定されていた。一方で、近年、地中熱利用などの新エネルギーへの活用といった新たな地下水資源の活用法が注目されるなど、地下水の有する価値について見直されている。そのため、今後、地下水の有効かつ合理的な利用方法を明らかにし、またそれによる経済的効果について評価を行うことで、より広範囲な地下水の活用法が明らかになる必要がある。

(3) 地盤沈下を引き起こす原因は、地下水の過剰な汲み上げである。広域的な地盤沈下や地下水位低下などの深刻な社会問題に触発されて発達し、地下水流動や地盤沈下など予測モデルが多く研究開発され、実用化されている。例えば適正地下水揚水量の検討に関する研究や持続的な地下水開発可能量の評価に関する研究等があげられる。これらの研究では地下水シミュレーション手法を用いて地盤沈下を引き起こさずに、地域ごとの地下水の最適揚水量を算出したり、将来の揚水計画の提案を行っている。そして適切に利用することで、雑用水や環境用水および散水用水等として地下水を有効に活用することが

できるという提言は行っている。しかし、具体的にどの利用目的で、どのぐらい利用したらどのような経済的効果があるかどうかという点に着目して地下水の有効な利用方法を明らかにした研究は見当たらない。

## 2. 研究の目的

本研究は、地下水の持つ高い資源的価値に着目し、その持続的活用の重要性を明らかにすることを目的として、地下水の「最適揚水計画策定モデル」、「水循環モデル」、「社会経済モデル」を融合させた新しいタイプのモデルを開発するとともに、本モデルを用いた最適化シミュレーションを行い、経済的価値を最も発揮する地下水利用方法を明らかにする。

## 3. 研究の方法

(1) 最適揚水計画策定モデル、水循環モデル、社会経済モデルをそれぞれリンクさせた地下水経済効果モデルの構築に必要なデータ収集・整理・分析を行う。

### モデルの構築

(2) モデルの構成は以下の通りである。まず複数の帯水層システム下の地下水流動をシミュレートする3次元地下水流動式と線形/非線形計画法をカップリングした最適揚水計画策定モデルを構築する。

## 4. 研究成果

(1) 最適揚水計画策定モデル、水循環モデル、社会経済モデルをそれぞれリンクさせた地下水経済効果モデルの構築に必要なデータ収集・整理・分析を行った。

I. 地下水解析に関する既存資料の収集・整理を行った。地下水環境の検討および地下水解析の実施に先立ち、必要または参考となる情報を収集・整理した。ここで、収集対象と

なる情報の主な項目は次の通りである。

1. 水理地質関連資料-----地質調査結果、文献など
2. 水文観測・調査結果-----地下水位、水質、水文気象など
3. 地下水利用に関する資料-----井戸位置、揚水量など
4. 地盤沈下関連資料
5. 土地利用、人口、水系などの基礎国土データ
6. その他

## II. 東京都における社会経済活動・水需要量等のデータの収集

- ① 産業連関表
- ② 工業用水
- ③ 農業用水
- ④ 生活用水
- ⑤ その他

## III. 制約条件の検討

- ① 地下水位低下の許容量
- ② 地盤変位の許容量
- ③ 許容地盤変位量の地域差
- ④ 用水量に対する制約
- ⑤ その他

(2) 研究成果(1)である地下水解析に関する既存資料(水理地質関連資料、水文推測、地下水利用関連資料、地盤沈下関連資料等含む)、東京都における社会経済活動・水需要量等のデータ(産業連関表、工業用水、農業用水、生活用水等含む)、制約条件の条件(地下水位低下の許容量、地盤変位の許容量、許容地盤変位量の地域差等含む)に対するデータの収集・整理・分析に基づいて、本研究の基本モデルを構築した。基本モデルは最適揚水計画策定モデル、水循環モデル及び社会経済モデル等三つのサブモデルから構成される。

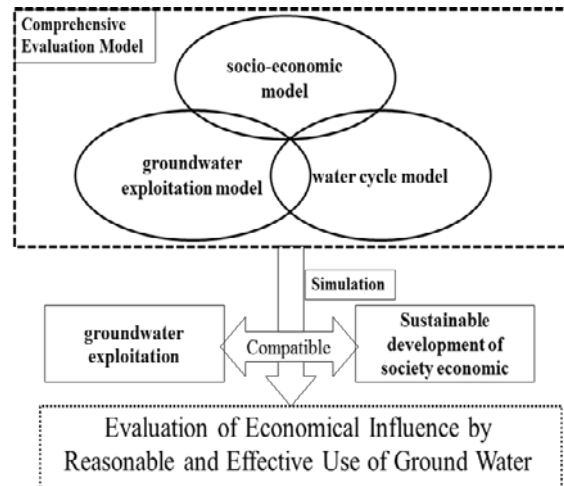


Fig.2 Simulation model framework

最適揚水計画策定モデルは複数の帯水層システム下の地下水流動をシミュレートする3次元地下水流動式と線形/非線形計画法をカップリングしたものである。

続いて、社会経済モデルは東京都内において経済活動を行う主体として、いくつかに類された産業部門、民間消費部門、行政部門を設定した。また水循環モデルはそれぞれの部門の水資源需要に応じて供給されていると設定し、こういった水収支を均衡式で表現した。

## (3) 地下水総合評価モデル式の開発

### 1. 目的関数

$$\text{Max} \sum_{t=1}^T \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^{t-1} \text{GDP}(t)$$

### 2. 水循環モデル

$$\text{TWS}(t) = \text{TW}_p(t) + \text{TW}_f(t) + \text{TW}_r(t) + \text{TW}_g(t)$$

$$\text{TWD}(t) = \text{TH}(t) + \text{TA}(t) + \text{TI}(t) + \text{TT}(t)$$

$$\text{TWD}(t) \leq \text{TWS}(t)$$

$\text{TWS}(t)$ : 水供給総量(内);

$\text{TWD}(t)$ : 水需要総量(内);

$TW_p(t)$ : 公共水提供量 (内);

$TH(t)$ : 家庭用水量 (内);

$TW_f(t)$ : その他の水源提供量 (内);

$TA(t)$ : 農業用水需要量 (内);

$TW_r(t)$ : 再生水供給量 (内);

$TI(t)$ : 工業用水需要量 (内);

$TW_g(t)$ : 地下水供給量 (内);

$TT(t)$ : 第3産業用水需要量 (内);

### 3. 最適揚水計画策定モデル

$$TW_g(t) = Q(t) = \sum_{i=1}^n Q_i$$

$$Q_i = S_i \frac{\partial h_i}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} (T_i \frac{\partial h_i}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y} (T_i \frac{\partial h_i}{\partial y}) - (\frac{k'}{b'})_i (h_{i-1} - h_i)$$

$$h_i \geq h_{pi}$$

$Q(t)$ : 地下水揚水量 (内);

$T_i$ : 地下水浸透率 (外);

$S_i$ : 地下水貯蓄率 (外);

$h_{pi}$ : 地下水揚水臨界高 (外);

本研究では地下水総合評価モデルの構築に必要であるデータ収集・整理・分析を行い、そのデータに基づいて最適揚水計画策定モデル、水循環モデル、社会経済モデルの開発を行い、さらにそれらをリンクさせ本研究の総合評価モデルを構築した。

(3) 当該研究方法を用いて、中国における再生水利用政策の総合評価及び低炭素社会構築のためのエネルギー政策に関する研究等新しい分野でも研究成果を出した。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

1. Feng Xu, Nan Xiang, Yoshiro Higano, Comprehensive Evaluation of Environmental Policies for Sustainable Development in Jiaxing City, China, Environmental Engineering and Management Journal (In press, indexed by SCI)

2. Feng Xu, Nan Xiang, Peter Nijkamp, Yoshiro Higano, Dynamic Simulation of China's Carbon Intensity and Energy Intensity Evaluation Focusing on Industry and Energy Structure Adjustments by 2020, Environmental Engineering and Management Journal, (In press, indexed by SCI)

3. Shanshan WANG, Feng Xu, Nan Xiang, Ruiqin Zhang, Takeshi Mizunoya, Helmut Yabar, Yoshiro Higano, Assessment of Biomass Energy Potential in China with Dynamic Input-output Model, Journal of Sustainable Development, Vol. 6, No. 1, pp.19-31, 2013

4. Feng Xu, Nan Xiang, Ataru Nakamura, Takeshi Mizunoya, Susumu Uchida, Yoshiro Higano, Simulation Model Construction of Comprehensive Evaluation of Groundwater Reasonable and Effectively Utilization in Tokyo, Japan, Advanced Materials Research, Vol.518-523, pp4241-4246, 2012

5. Nan Xiang, Feng Xu, Jinghua Sha, Helmut Yabar, Yoshiro Higano, Comprehensive Evaluation of Effectively Utilizing Reclaimed Water to Accomplish Sustainable Development in Tianjin, China, Advanced Materials Research, Vol.524-527, pp3040-3045, 2012

6. 中村 中, 水野谷 剛, 徐 峰, 氷鮑揚四郎, 日本淡水魚にみる生物多様性評価の有意犠牲と課題, 環境共生, Vol.20, pp63-71, 2012
7. Yang Li, Shixiang Zou, Feng Xu, Yabar Helmut, Yoshiro Higano, The Impact of Introducing Recycling Taxes on China's Environmental Policy: Case Study on E-waste Recycling, Journal of Sustainable Development, Vol. 5, No. 4, pp.83-98, 2012
8. 徐 峰, 水野谷 剛, 氷鮑揚四郎, 中国嘉興市における水質汚濁物質削減のためのバイオマスプラント導入政策の最適化シミュレーションによる評価, 環境共生, Vol.18, pp74-82, 2011
9. 内田晋, 渋澤博幸, 櫻井一宏, 水野谷剛 徐峰, 氷鮑揚四郎, 消費活動を通じた東日本大震災の被災地支援効果に関する産業連関分析, 環境情報科学論文集, 25, pp49-54, 2011
10. Hong Li, Feng Xu, Takeshi Mizunoya, Jianchao Luo, Helmut Yabar, Yoshiro Higano, Comprehensive watershed management policies in the Dian Chi Lake China with a focus on non-point source pollution, Studies in Regional Science, Vol.41, pp467-476, 2011

[学会発表] (計 11 件)

1. Feng Xu, Nan Xiang, Yoshiro Higano, Comprehensive Evaluation of Environmental Policy for Water Pollutants Reduction in Jiaxing City, China, Proceeding of the 52st European Congress of the Regional Science Association International, Bratislava, Slovakia, USB Memory, 2012. 8. 23
2. Nan Xiang, Feng Xu, Yoshiro Higano,

- Comprehensive evaluation of effectively utilizing reclaimed water to accomplish sustainable development in Tianjin, China, Proceeding of the 52st European Congress of the Regional Science Association International, Bratislava, Slovakia, USB Memory, 2012. 8. 23
3. Guofeng Zhang, Feng Xu, Jinghua Sha, Nan Xiang, Jingjing Yan, Yoshiro Higano, Comprehensive evaluation of the environmental and socio-economic impacts of adopting advanced technologies for treatment of sewage sludge, Beijing, The 12th Conference for the Pacific Regional Science Conference Organization (PRSCO) Summer Institute and the 4th International Conference of RSAI on Regional Science and Sustainable Regional Development, Beijing, China, Proceedings, pp268-277, 2012. 7. 5
  4. Feng Xu, Nan Xiang, Yoshiro Higano, Comprehensive Evaluation of Economical Influence by Reasonable and Effective Use of Ground Water in Tokyo, Japan, International Conference on Sustainable Development and Policy Decision of Mineral Regions & the 3rd Annual Meeting of the Regional Science Association International, Beijing, China, Proceedings, pp97-101, 2012. 4. 1
  5. Nan Xiang, Feng Xu, Yoshiro Higano, Simulation Model Construction of Comprehensive Environmental Policies Evaluation with Emphasis on Effective Utilization of Reclaimed Water for Sustainable Development in Tianjin, China, International Conference on Sustainable Development and Policy Decision of Mineral Regions & the 3rd Annual Meeting of the

Regional Science Association  
International, Beijing, China,  
Proceedings, pp249-255, 2012. 4. 1

6. Guofeng Zhang, Feng Xu, Nan Xiang,  
Yoshiro Higano, The Synthetic Evaluation  
of Effective Sewage Resource Utilization  
in Urban Areas Beijing, International  
Conference on Sustainable Development and  
Policy Decision of Mineral Regions & the  
3rd Annual Meeting of the Regional Science  
Association International, Beijing, China,  
Proceedings, pp102-111, 2012. 4. 1

7. Shanshan Wang, Feng Xu, Nan Xiang, Yang  
Li, Yoshiro Higano, Policy Analysis of  
Greenhouse Gas Mitigation by Using Biomass  
Waste in China, International Conference  
on Sustainable Development and Policy  
Decision of Mineral Regions & the 3rd  
Annual Meeting of the Regional Science  
Association International, Beijing, China,  
Proceedings, pp508-512, 2012. 4. 1

8. Yu Zou, Feng Xu, Yoshiro Higano,  
Research on Evaluation of Policy Measures  
of Municipal Biomass Waste Resource  
Utilization in Beijing, China,  
International Conference on Sustainable  
Development and Policy Decision of Mineral  
Regions & the 3rd Annual Meeting of the  
Regional Science Association  
International, Beijing, China,  
Proceedings, pp501, 2012. 4. 1

9. Yang Li, Shanshan Wang, Nan Xiang, Feng  
Xu, Yabar Helmut, Yoshiro Higano, Research  
on After-Environmental tax E-waste  
Recovery Processing in China,  
International Conference on Sustainable  
Development and Policy Decision of Mineral  
Regions & the 3rd Annual Meeting of the

Regional Science Association  
International, Beijing, China,  
Proceedings, pp534-547, 2012. 4. 1

10. Jingjing yan, Chu Xiao, Jinghua Sha,  
Feng Xu, Yoshiro Higano, Endogenous  
Derivation of Optimal Environmental  
policies for Proper Treatment of  
Stockbreeding Wastes in the Upstream  
Region of Miyun Reservoir, Beijing,  
International Conference on Sustainable  
Development and Policy Decision of Mineral  
Regions & the 3rd Annual Meeting of the  
Regional Science Association  
International, Beijing, China,  
Proceedings, pp139-150, 2012. 4. 1

11. Yabar Helmut, Yoshiro Higano, Feng Xu,  
The Application of LCA in Integrated Solid  
Waste Management Systems: Case Study in  
Japan, Proceeding of the ISWA World  
Congress 2011, EXCO, Daegu, South Korea,  
pp. 1010-1019, 2011. 10. 18

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

徐 峰 (XU FENG)

筑波大学・生命環境系・特任助教

研究者番号：70602811