

|  |   |    |                               |
|--|---|----|-------------------------------|
| 京都大学   | 博士（工 学）   | 氏名 | Elezabawy Ahmed Kamal Elsayed |
| 論文題目   | Numerical modeling of groundwater system in the Nile Delta and its application to climate change impact assessment (ナイルデルタにおける地下水システムの数値モデル構築と気候変動影響評価への適用) |    |                               |
| <p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、ナイルデルタの統合水資源管理の観点から特に地下水システムに着目して、ナイル川本流から導水された灌漑用水系統、本流・用水からの地下水涵養、さらに地下水からのポンプ揚水に至る一連の数値モデルを構築するとともに、気候変動に伴う水需要増加に対する影響評価と実現可能な適応策について検討し、その成果をとりまとめたものである。論文は全体6章で構成されている。</p> <p>第1章は序論であり、本研究の背景と目的および既往の研究を踏まえた本研究の位置づけを行っている。</p> <p>第2章では、本研究に関連する既往の研究をレビューしている。ここでは、ナイルデルタの地下水モデルに必要な河道網、かんがい水路網、地下の地質構造、特に帯水層とそれを覆う粘土層の分布、および既往の地下水観測データについて、本研究の目的との関連について整理を行っている。</p> <p>第3章では、本研究で検討の中心となる不圧／被圧地下水モデルについて、平面二次元の地下水流動の基礎理論、そこに井戸からの揚水や上層からの地下水涵養を考慮した場合の表現、不圧地下水面と基盤岩とが接する縁辺部のモデル化など、数値モデリング方法について検討している。特に、上流の非貯留域にも適用可能な流域スケールの平面地下水モデルを基にして、不圧地下水面と基盤岩とが接する縁辺部が移動境界となって、時間変化する地下水貯留域が計算出来るシステムを用いたことにより、ナイル川流域の任意地点で地下水の計算が可能となっている。なお、その水みち特性から粘土層を通過してくる浸透特性を捉えることが難しい中、水収支から月量的に推定された涵養量を日量的に補間分解し、地下水解析に利用する独自手法を確立している。</p> <p>第4章では、ナイル川本流の季節的な流況変動に基づいた地下水変動の再現性に関して、現在のアスワンハイダム建設後の流況変動を与えて、現状の地下水頭観測データを用いて、透水係数や有効間隙率などのパラメータ分布を同定し、近年の状態に対する地下水モデルの再現性を検討している。さらに、大きな季節変動を有していたアスワンハイダム建設前の流況変動を本モデルに与えて、アスワンハイダムに伴うナイル川の流況変化が地下水の涵養条件に与えた影響について検討を行っている。</p> <p>第5章では、気候変動に伴う水需要変化、特に、農作物からの水需要増大値を求め、これを水需要増加の最低値と見なし、その増分を地下水揚水の増量で対処する適応策に関して検討を行っている。具体的には、ナイルデルタでは上水の90%以上が地下水から準備利用</p> |   |    |                               |

|   |          |    |                               |
|---|----------|----|-------------------------------|
| 京都大学  | 博士 (工 学) | 氏名 | Elezabawy Ahmed Kamal Elsayed |
| <p>           されているため、気候変動の影響として、農作物の水需要量増加に伴う揚水量増加が将来深刻な要因となることに注目し、デルタの 100 年後の気象量再現値から蒸発散量や気温変動を考慮して、農作物の水需要量を推定した。これを満足させるためには、現状の揚水量 (<math>2.4\text{km}^3/\text{year}</math> 程度) を大幅に増加 (<math>3.4\text{km}^3/\text{year}</math>(現状の約 1.4 倍)) させる必要があり、この増加量 (<math>1.0\text{km}^3/\text{year}</math> 程度) を既存の揚水井ごとに一律に増大させると一部の揚水井の水位が長期的に低下することが明らかとなった。そこで、持続可能な揚水を維持するためには揚水量分布の空間的な効率化が不可欠であり、その方策として、地下水揚水の定常基礎式を変形して、モデルで得られる地下水位分布や透水係数・帯水層厚を用いて現状から物理的な可能限界までを示した指標を定義し、揚水井毎の地下水揚水可能ポテンシャルをその指標で数値化し、月毎に同指標を変化させながら揚水量の空間効率化を行って、水需要増分を賄う適応策について検討を行った。その指標には同時に塩水くさび位置も考慮されており、塩水が存在する可能性の条件を満たす地点が発生すると揚水がゼロとなるようになっており、その停止した揚水量が他の揚水井に負担されるように定義されている。なお、気候変動の影響としては、海面上昇に伴う塩水くさびの増大の影響も同時に検討しなければならないが、淡水地下水の貯留量に変動はなく、また、今回の検討で対象とした揚水井は、中流域から上流域の塩水くさびの存在域外に設定しているため、議論の一般性は失われていない。         </p> <p>           第 6 章では、本論文の主要な結論をまとめ、今後の課題について記述している。         </p> |          |    |                               |

氏名

Elezabawy Ahmed  
Kamal Elsayed

(論文審査の結果の要旨)

本研究では、ナイルデルタの統合水資源管理の観点から特に地下水システムに着目して、ナイル川本流から導水された灌漑用水系統、本流・用水路からの地下水涵養、さらに地下水からのポンプ揚水に至る一連の数値モデルを構築し、さらに、気候変動に伴う水需要増加に対する影響評価と実現可能な適応策について検討している。それらから以下のような成果が得られている。

(1) 流域スケール平面地下水モデルのナイルデルタへの適用

上流の非貯留域にも適用可能な流域スケールの平面地下水モデルを基にして、不圧地下水面と基盤岩とが接する縁辺部が移動境界となって、時間変化する地下水貯留域が計算出来るシステムを構築した。また、河床・用水路床から、レンズ状粘土が折り重なって薄平な隙間を所々に持つ粘土層を通過した浸透水で帯水層が涵養されるシステムをモデル化した。さらに計算格子毎に自動的に不圧・被圧を判断してどちらのモデルでも計算できる基本システムを構築した。

(2) アスワンハイダム建造前後での地下水流況変動の推定

構築した地下水システムを利用し、ナイル川の流況制御を行うアスワンハイダム建造前のナイルデルタ地下水の挙動特性を推定し、季節ごとに大きく水頭が変動する結果を得た。これは地表の流量が大きく変動することで地下水涵養量も大きく変動することを示している。

(3) 気候変動に伴う地下水への将来影響評価

デルタの100年後の気象量再現値から蒸発散量や気温変動を考慮して、農作物の水需要量を推定した結果、 $1.0\text{km}^3/\text{year}$ 程度の増加量(現状の0.4倍分増加)が予想され、これを持続可能な形で既存の地下水揚水量の増加で賄うために、揚水量分布の空間的な効率化を検討した。その結果、地下水位分布や透水係数・帯水層厚を用いて井戸ごとの現状から物理的な可能限界までを示した指標(地下水揚水ポテンシャル)を定義して数値化し、同指標関数を用いて水需要増分を賄うことで、現状の1.6倍( $3.8\text{km}^3/\text{year}$ )まで揚水量を増加させることが可能であることを示した。

以上に示されるように、本論文では、特殊性の多い地質条件を持ったナイルデルタの帯水層を対象に地下水シミュレーションが可能となる計算システムを構築し、本論文で定義した指標を使って揚水可能量の空間評価を行い、偏りを無くしながらポンプ揚水を行えば、持続可能な地下水利用ができることを示すことに成功している。

これらの成果は、学術上、実務上寄与するところが少なくないと考えられる。よって本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成25年8月28日に、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。