

氏 名	AZHAR KHOLIQ AFFANDI
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学 位 記 号 番 号	博理工甲第 673 号
学位授与年月日	平成 20 年 3 月 24 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学 位 論 文 題 目	ESTIMATION OF GROUNDWATER LEVEL FLUCTUATION USING SOFT COMPUTING TECHNIQUES (種々のソフト計算法による地下水位変動解析)
論 文 審 査 委 員	委員長 教 授 渡辺 邦夫 委 員 教 授 桑野 二郎 委 員 教 授 風間 秀彦 委 員 准教授 小口 千明

論文の内容の要旨

The application of the soft computing techniques has attracted considerable research interest in hydrology and water resources over past decade. The major objective of this study is to develop a reliable groundwater level fluctuation (GLF) analysis system by means of GLF prediction in order to investigate whether or not the GLF prediction using soft computing techniques can be used for groundwater monitoring and management system. In this study, three types of soft computing techniques namely ANN, GA and ANFIS are used.

First, a robust artificial neural network (ANN) and linear combination enhanced by genetic algorithms (LC-GA) technique for analyzing GLF in a plain area of the Saitama Prefecture, Japan. A standard back-propagation algorithm is used in ANN model. The input sets were selected by employing an analytical technique, the cross-correlation of monthly GLF. In general, the LC-GA model gives better prediction in testing period than the ANN model even though it has out range from training data. It was found that by inserting one time lag gives better prediction results for ANN and LC-GA models.

Another work is reconstructing GLF to investigate the structure of the GLF pattern at an arbitrary point. The calculation model is based on genetic algorithms (GA) and an artificial neural network (ANN) approach. The weights of linear combinations were optimized with genetic algorithms (LC-GA), and the back-propagation (BP) and the radial basis function (RBF) algorithms are used in ANN. The study used a monthly GLF data measured over eight years at seven locations of 20 observation wells in Saitama prefecture in which five observation wells were as an input and the other 15 observation wells were examined. The aquifer system in the area of study may not be clearly defined. The screen position is not only in the aquifer unit but also in aquiclude and groundwater is pumped up mostly from the multilayer aquifer. It was found that LC-GA can clarify the GLF structure if the relation between input and output desired has a high correlation. Moreover, the ANN model performed better in reconstructing and estimating GLF base on distant and depth of well. The results obtained suggest that the GLF reconstructing can be used for GLF monitoring.

Third, The five back propagation (BP) neural networks algorithms namely Gradient descent with momentum (GDM), Gradient descent with adaptive learning rate and momentum (GDX), The Fletcher-Reeves Conjugate gradient (CGF), Quasi-Newton (BGF) and Levenberg-Marquardt (LM), and a radial basis function (RBF) architecture are examined and compared for estimating the GLF. Five-daily measurements of GLF on an observation well of Jakarta – Indonesia are used for analyzing the model. An input model using six time lags to estimate actual GLF and 10 hidden nodes gave an optimum result. In general, the work showed that an ANN could be used to estimate GLF even with relatively few data samples. The Levenberg-Marquardt (LM) algorithm was not only the best algorithm in the BP class but also delivered better results than RBF.

Fourth, the application system (ANFIS) and two algorithms of ANN models, namely Levenberg-Marquardt (LM) and radial basis function (RBF) are used to forecast daily GLF of Saitama City, Japan. The first step was to investigate the effect of the number time lags as inputs for one-day-ahead prediction using the ANFIS algorithm. It was found that three input nodes containing three time-lag of well studied gave good prediction results. The second experiment was to predict the GLF one to seven steps ahead using the three input nodes. In this experiment, the three soft computing techniques were applied. The results indicate that the performances were decreasing by increasing the time step ahead, and in general there was no significant difference between the three techniques used. The best accuracy was for one-day-ahead prediction. The results obtained in this study suggest that GLF monitoring can be conducted by a forecasting model with considering time-lag as inputs.

In conclusion, the soft computing techniques give very encouraging result and have potential for further studies. On the basis of the obtained results of GLF prediction, the groundwater management system will be proposed for controlling pumping operation of Jakarta to maintain groundwater sustainability, groundwater level fluctuation, and to prevent salt water intrusion and severe land subsidence.

論文の審査結果の要旨

平野部の地下水位変動を精度良く予測する事は、局所的な過剰揚水による水位低下や地盤沈下被害を軽減し、地下水資源の有効活用を図る上で重要である。本論文は、とくに局所的な過剰揚水の影響を定量評価し、地下水揚水を管理する事を目的として、対象地点の周辺及び過去のデータから任意地点の地下水位を予測する方法を研究した結果を取りまとめたものである。予測方法としては、遺伝的アルゴリズム (GA)、ニューラルネットワーク (ANN)、ファジー理論と ANN の統合モデル (ANFIS) とした。

また、研究対象地域として、埼玉県及びインドネシア、ジャカルタ市を選んだ。埼玉県では1月平均データを用い、少数のデータを用いた場合の予測精度を検討した。ジャカルタ市では精度の高い地下水位データが得られておらず、観測精度の解析に与える影響を調べることを目的とした。本論文では研究成果を下記の9章に分けて記述している。

第一章では本研究の目的と必要性について述べている。その中で、地下水資源開発が世界的に進み、資源の管理の必要性が大きくなっている事を指摘し、地下水位の正確な予測が大事である事を論述している。その中で、統計解析による所謂ブラックボックス・モデルで予測を行った場合の精度と実用性検討が重要である事を強調している。

第二章では、遺伝的アルゴリズム (GA)、ニューラルネットワーク (ANN)、ファジー理論と ANN との統合モデル (ANFIS) を用いた地下水位解析の従来の研究を整理している。その中で ANN や ANFIS の解析精度を研究した事例が極めて少ない事を指摘している。

第三章は、GA、ANN、ANFIS の理論を記述している。ANN ではパラメーター同定を、異なる6つの方法で行いそれらの精度に与える影響を評価する事を述べている。

第四章では、研究対象地域として選んだ埼玉県とジャカルタ市の水理地質条件と地下水観測システムについて述べている。

第五章では、埼玉県で1997年から2004年の期間67カ所の観測井で得られた月平均データを用い、GA及びANNを用いて地下水位予測を行い、解析精度を検証している。検討には、越谷、浦和、所沢、鷺宮のデータを、それらと相関の高い5ヶ所の井戸水位を用いて解析し、相関の高い井戸データを用いれば、高い精度で予測が可能である事を述べている。

第六章では、同様に埼玉県を対象として、1地点（鷺宮・幸手地域）の深度の異なる5つの地下水位データを用いた場合の、その地点から距離の異なる、行田、川島、春日部、浦和、所沢の地下水位の予測精度と観測深度の影響に関する解析を行っている。結果として、地下水変動には深度依存性がかなり見られる事、かなり距離が隔たった場合でも高い精度で予測しうる井戸水位がある事が定量的に明らかとなった。また、ANNでは、パラメーターを決定する学習期間と予測期間の水位変動幅の違いの影響が大きく、GAの方が全体的に良い予測精度を示すことが明らかとなった。つまり、予測を行なう場合、地下水位がほぼ一定幅で変動しているかが解析手法を選定する大きな要因である事を示した。

第七章では、ジャカルタ市内5地点で得られた5日毎のデータを用いて、観測データ相互の予測をANNで解析した。用いたデータの質は高くなく、その解析に与える影響を研究した。解析では、6種類の異なった方法でパラメーター推定を行ない、それらの比較を行なった。解析結果、いずれのパラメーター推定法も高い予測精度を示した。このことから、データの質が良くなくとも、学習期間と予測期間の水位変動幅が同程度であれば、ANNによって良い水位予測ができる事を明らかにした。

第八章では、埼玉県浦和観測井戸で2003年から2005年にかけて得られた日変動データを用いて、過去のデータから1日から1週間後までの予測を行なった。用いた解析手法は、2種類のANNとANFISである。結果として、これらの手法でかなり良く予測できるものの、予測日が遅くなるほど精度が低下する事を示した。

第九章では、研究の成果を取りまとめている。とくに、どのモデルが、どのような観測精度と変動トレンドを持つ地位か水位変動の解析と予測に最適かを整理している。また、地下水位管理に必要な観測データの質について整理している。

本研究は、多くのブラックボックス・モデルを用いて、地下水変動予測の精度について丹念な検討を行い、最適な地下水位変動解析モデルについて取りまとめたものである。各モデルの適用性や、実際の地下水位変動の深度依存性および地域性に関して新しい知見も得た。また、地下水位データの数や質と解析手法との関係を整理するなど、実用性も大きい。これらを考慮して、博士学位論文として十分と判定した。