自己組織化ニューラルネットワークを用いた地盤特性値の空間分布推定手法に関する研究

氏　　　名	伊　藤　則　夫
生 年 月 日	
本　　　籍	鳥取県
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	博乙第222号
学位授与の日付	平成12年9月29日
学位授与の要件	論文博士（学位規則第4条第2項）
学位授与の題目	自己組織化ニューラルネットワークを用いた地盤特性値の空間分布推定手法に関する研究
論文審査委員(主査)	尾田　十八（工学部・教授）
論文審査委員(副査)	梶川　康男（自然科学研究科・教授）山崎　光悦（工学部・教授） 白木　　渡（香川大学工学部・教授） 近田　康夫（自然科学研究科・助教授）

学位論文要旨

Abstract

For design and construction of structures, it is required to get various geotechnical data on foundation. Generally, investigations using boring are done, and geotechnical characterizations of foundation are obtained at boring spots. As the number of boring is restricted for reasons cost and time, it is very hard to estimate the spatial distribution of geotechnical characterizations using such a few of boring data.

There are two characteristics in information obtained by boring investigations. The first one is that the distribution of information is extremely biased. In the depth direction, information are obtained at intervals of several meters. But the intervals among boring spot are several ten meters. The second one is that various information are obtained at the boring spots, but same information are not obtained in the another spots. Various spatial estimation techniques have been developed and examined. However, no efficient and convenient one has been developed by reason of two characteristics mentioned above.

In this study, an efficient and convenient spatial estimation method using a new algorithm improved the self-organizing feature map(SOM) developed by Kohonen is proposed. The efficiency of proposed method is shown by such examples as estimation ob spatial distribution of Lugeon value and grade of rock at expected dam construction site.

学位論文要旨

土木構造物を設計し、建設するにあたっては、まずその構造物の基礎となる地盤の状態を正しく推定することが必要となる。そして、地盤の情報を得るためには、一般的にはボーリング調査が実施される。ボーリング調査によって、その調査地点においてはさまざまな情報が得られるが、これでは広い建設用地全体から見るといくつかの点における情報が得られたに過ぎず、点の情報をもとに建設用地全体における地盤特性値の分布を正確に推定することは容易ではない。これまで、地質専門家の経験に頼り、建設用地全体にわたる地盤特性値の分布推定が行われてきた。

ボーリング調査により我々が入手することができる地盤の情報には量的・質的な特徴が2つある。まず、第1の特徴は地盤情報の分布の極端な偏りである。調査が行われた地点では深さ方向に数 m ごとに情報を取り出せるが、別の調査は通常数十 m 離れた位置で実施されるため、水平方向と鉛直方向でのデータ密度が大きく異なることになる。そして、第2の特徴はボーリング調査を行った位置では土の色や岩盤の固さ等の多くの情報が得

られるが、評価を必要とする未調査地点においてはこれらの情報は全く得られないことである。

地盤特性値の空間分布推定問題は、既知点の情報を用いて未知点の地盤性状を補間により求める問題、すなわち曲面近似・曲面補間問題として捉えることができる。

曲面補間問題に適した既存のアルゴリズムの中で、スプライン補間は図形処理の分野では最も一般的に用いられている。この手法を地盤特性値の分布推定問題に適用する場合、先に述べた第１の特徴のため、補間のパラメータが結果に及ぼす影響が大きく、パラメータの変化によってかなり様相の異なる曲面が生成されることがある。また、地質・鉱山学でよく用いられるクリッギングでは、多くの場合エルゴード性の仮定が成り立つことが必要であり、複雑に入り組んだ地盤への適用は困難である。

近年、新しい情報処理手法を利用して地盤特性値の分布を推定しようとする研究が増えてきている。その１つにニューラルネットワーク（以下、NN と呼ぶ）を用いた研究がある。これらの研究の大半では誤差逆伝播法（ＢＰ法）を用いているが、ＢＰ法をこの問題に適用するには先に述べた２番目の特徴が障害になる。ＢＰ法では推定対象地点においても学習に用いたデータと同じ質のデータが必要とされるため、ボーリング調査で得られた多くの情報を有効に利用することができない。特性値が既知である地点と推定対象地点の両方で共通して得られる情報は双方の位置関係、すなわち座標値のみであるが、座標値だけではＢＰ法の学習は充分に行えない。

NN 手法の中には他にも曲面近似・曲面補間問題に有効と思われるアルゴリズムがいくつかある。

自己組織化特徴マップ（以下ＳＯＭと呼ぶ)は、パターン分類・パターン認識が得意と考えられている手法であり、多次元空間に分布する情報の相互関係を可視化する能力に優れている。近年ではＳＯＭが高い関数近似能力を持っていることがわかり、この能力を利用するための研究も行われている。

また、カウンタープロパゲーションネットワーク(以下、ＣＰＮと呼ぶ)はもともと関数近似を目的として考案されたアルゴリズムである。ＣＰＮでは与えられた学習パターンを分類して記憶する。そして、未知のパターンが示されると、記憶しているパターンの中から類似したものをいくつか選び出し、それらを類似した度合いに応じて合成した新しいパターンを出力する。

本研究では、新しい情報処理手法を用いて、地盤特性値の空間分布をより合理的に推定する手法の提案を目的としている。本論文は７章より構成されており、各章の内容は表１のようになっている。

以下に、第３章以後の内容および得られた知見をもう少し詳しく述べる。

第３章においてはＢＰ法を用いて岩盤の透水性および岩級区分の分布推定を行った。

この例では弾性波探査および電気探査が実施されており、その情報からジオトモグラフィー解析により岩盤中の弾性波速度分布および比抵抗分布が計算されていた。これらをＢＰ法の学習データに加えることで、透水性および岩級区分に対して十分に信頼できる推定が行えた。

しかし、弾性波探査・電気探査等の調査はコストの面から、まだ一般的に行われるものではない。そこで、このような特別なデータは得られていないものとして学習データを座標値のみに制限したところ、満足できる推定結果を得ることはできなかった

第４章ではＢＰ法、ＳＯＭおよびＣＰＮにより既知の多項式の補間を行い、それぞれのアルゴリズムによる補間性能の比較を行った。その結果、以下のような問題点が明らかになった。

ＢＰ法では、学習に最も長時間を要し、補間誤差は３つのアルゴリズムの中で最も大きかった。また、曲率が大きい位置での補間誤差が増加することがわかった。

ＳＯＭを用いた場合には非常に高精度の補間が行われたが、ＳＯＭを関数近似問題に適用する場合、任意点の補間値を直接求められないという問題点がある。

ＣＰＮでは、学習データが均等に分布している場合に

表１　本論文の構成

章	表題および内容	アルゴリズム
第１章	序論　本研究の背景および目的	
第２章	ニューラルネットワークの基礎理論 本研究で使用する既存のNN手法のアルゴリズムを解説した。	ＢＰ法 ＳＯＭ,ＣＰＮ
第３章	バックプロパゲーション法を用いた地質構造の推定　弾性波探査・電気探査で得られた情報を用いた岩盤の透水性および岩級区分の空間分布推定を行った。	ＢＰ法
第４章	関数近似問題へのニューラルネットワーク手法の応用　既存のNNアルゴリズムにより既知曲面の補間を行った。各アルゴリズムの得失を明らかにした。	ＢＰ法 ＳＯＭ,ＣＰＮ
第５章	関数近似問題に着目した拡張ＳＯＭの提案　ＳＯＭとＣＰＮを結合した新しいアルゴリズム（拡張ＳＯＭ）を提案し、既知曲面の補間によりその関数補間能力を示した。	拡張ＳＯＭ
第６章	拡張ＳＯＭを用いた地盤特性値の空間分布推定 拡張ＳＯＭを実際に地盤特性値の空間分布推定問題に適用し、その有効性を示した。	ＢＰ法 拡張ＳＯＭ
第７章	結論　本研究で得られた成果を要約するとともに、今後の課題について述べた。	

は補間誤差が非常に小さいが、ボーリングデータのように学習データの分布に偏りがある場合、補間精度が非常に低下することがわかった。

以上のことから、ＳＯＭで任意点での補間値の直接的な算出が可能となれば、これが地盤特性値の分布推定問題に最も適したアルゴリズムとなることを指摘した。

第５章では、ＳＯＭの学習アルゴリズムとＣＰＮの補間アルゴリズムを結合した新しいアルゴリズムである拡張ＳＯＭを提案した。そして、既知の多項式の補間問題により、拡張ＳＯＭのいくつかの学習パラメータの最適値を調べるとともに、その優れた関数補間能力を示した。

第６章では拡張ＳＯＭを実際に地盤特性値の空間分布推定問題に適用し、その有効性を示した。適用例としてはダム建設予定地の岩盤の透水性および岩級区分の空間分布推定問題、ならびにフィルダムのコア材賦存量評価問題を取り扱った。

図１、図２は適用例の１つを示したものであり、ダム建設予定地におけるルジオン値の分布推定を行っている。なお、ルジオン値とは地盤の透水性を示す指標である。

図１は地質専門家が作成したルジオン値の分布推定図であり、図２は拡張ＳＯＭを用いて作成した分布推定図である。専門家はボーリングコアの状態などの他の情報を関連付けて測定されたルジオン値を整理し、加工した上で推定図を作成している。それに対して、拡張ＳＯＭでは測定されたルジオン値をそのまま学習して推定図を作成している。そのため異なった推定をしている部分もあるが、地表付近および深部の高ルジオン値領域などよく捉えている。

そして、第７章では本研究で得られた成果を要約した。今後の課題としては非数値で示される特性をどのように数値化して解析を行うかということがある。本研究でも岩級区分の分布推定など非数値特性の分布推定を行い満足できる結果を得た。しかし、これには専門家がその知識に基づいて特性をうまく順列化していたことによる効果も無視できない。一般に非数値特性を解析の目的に適するように数値化することは容易ではなく、この問題は今後の課題となる。

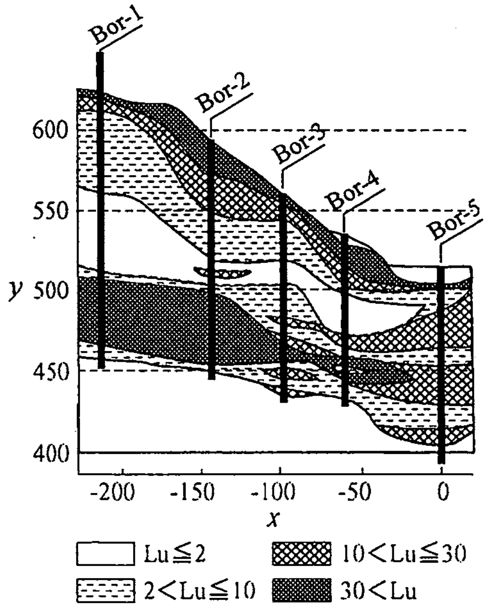

図１　専門家によるルジオン値の分布推定図

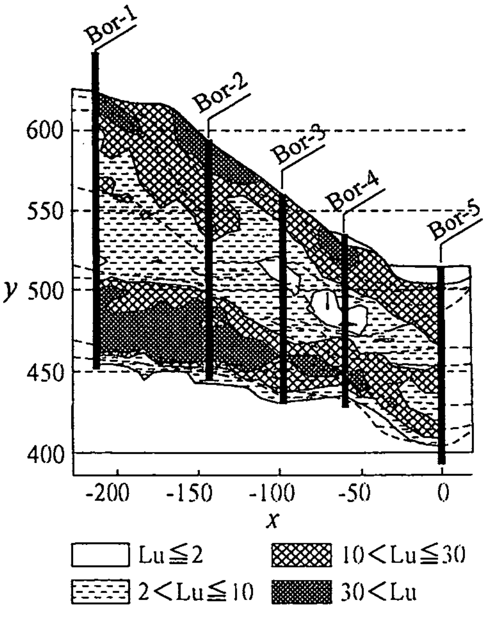

図２拡張ＳＯＭによるルジオン値の分布推定図

学位論文審査結果の要旨

平成12年8月1日，第1回学位論文審査委員会を開催，平成12年8月7日に口頭発表と最終審査委員会を開催し，以下の通り判定した。

研究歴と学力：昭和51年3月に鳥取大学工学部土木工学科を卒業し，㈱綜合技術コンサルタントに入社して実務に従事し，昭和63年11月（有限会社）シー・エー・イーを設立し代表取締役に就任し，現在に至っている。この間，昭和63年頃より「ニューラルネットワークを用いた推定手法に関する研究」を行い，数々の論文を発表してきている。提出された関係資料および平成8年から2年間鳥取大学大学院博士課程に在籍していることから十分な研究歴と学力を有するものと判断した。

論文：本論文は，地盤特性値の空間分布を推定する問題を空間上の曲面を補間する問題と捉え，ニューラルネットワーク手法の適用性を検討した一連の研究をまとめたものであり，以下のような成果を得ている。

1) BP（バックプロパゲーション）法は学習するデータが十分多く，推定対象が同質なデータの範囲では有効であるが，地盤特性の空間分布推定の場合には必ずしも適切ではない。
2) CPN（カウンタープロパゲーションネットワーク）の補間アルゴリズムを取り入れた拡張自己組織化特徴マップ法を提案し，曲面の補間問題となる地盤特性の空間分布を推定するいろいろな問題に適用した結果，極めて良好な結果を得た。

以上のように，本研究は技術者の判断を支援する優れたシステムを開発し，その有効性について重要な知見を得ており，博士（工学）に値する内容であると判定した。