

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04004

研究課題名(和文)ボーリングデータに基づく都市域の地下地質の3次元分布推定とWeb共有

研究課題名(英文) Three-dimensional modeling and web-sharing of subsurface geological information in urban areas using borehole data

研究代表者

野々垣 進 (NONOGAKI, Susumu)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・主任研究員

研究者番号：30568613

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：都市域の地質情報の利活用促進を目的として、大量のボーリングデータを用いて岩相や標準貫入試験結果(N値)などの地盤の特徴量の3次元分布を推定し、ボクセルモデルを作成する手法を確立した。また、比較的単純な地質構造を示す地域を対象に、ボーリングデータから得られる地盤の特徴量を利用した機械学習による地層対比手法を検討した。さらに、3DCGライブラリのthree.jsを用いて、ボクセルモデルやその水平・鉛直断面図などをウェブブラウザ上に表示するシステムを試作した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、地下の土・岩石などの3次元分布をボーリングデータから機械処理を用いて求めるための技術的基礎を向上するものであり、都市域の地下浅部の地質構造解析における客観性の確保と作業時間の削減に貢献する。また、地質学に関する知識をもたない者でも地下における地層の3次元的な広がりを容易に把握できるWeb環境の整備に資するものであり、我が国における地質に関するリテラシーの向上や地質学者の裾野の拡大に貢献する。

研究成果の概要(英文)：To promote the utilization of geological information in urban areas, we developed a voxel modeling method of geotechnical features, such as facies and Standard Penetration Test results (SPT N-values), using a large number of borehole data. In addition, we investigated a machine learning-based stratigraphic prediction method using geotechnical features obtained from borehole data for areas with relatively simple geological structures. Furthermore, we developed a prototype system for visualizing voxel model of geotechnical features and its horizontal and vertical cross-sections on web browser, using three.js, an open-source JavaScript library for three-dimensional computer graphics.

研究分野：情報地質学

キーワード：地質情報 ボーリングデータ 3次元 Web

1. 研究開始当初の背景

地下の地質情報は、災害リスク評価や都市計画など、国民生活の基礎を形成するための重要な情報のひとつである。都市域では、踏査による地下地質の直接観察が極めて難しい。このため、ボーリングデータが地下地質を把握する上で重要な役割を果たす。

近年、公共工事の際に作成されたボーリングデータは、国や自治体によって収集・管理・Web公開されるようになってきた。特に、都市域では、収集から公開までの体制が整っており、広域かつ高密度でのデータ公開が進んでいる。これらのボーリングデータは、土・岩石の種類や固さ(N値：標準貫入試験結果)などの情報を持ち、機械処理が適用可能な電子ファイルとなっている。したがって、これらの情報を活用することで、地下における土・岩石などの3次元分布を広域的・連続的に求められると期待できる。また、土・岩石等の情報から地層名を決定できれば(地層の対比を行えば)、地下地質についても3次元分布を求められると期待できる。しかし、ボーリングデータに機械処理を適して、土・岩石などの3次元分布を推定する技術や地層の対比を行う技術は確立していない。

他方、地質情報のWeb共有技術という点に着目すると、ボーリングデータや地質図をはじめとする2次元地質情報の共有技術はほぼ確立段階にあり、近年、国や自治体から2次元地質情報を無償で公開する動きが活発である。これに対して、3次元地質情報については、情報自体の作成技術が確立していないため、その共有技術の研究も発展段階となっている。

2. 研究の目的

本研究では、専門家だけでなく、誰にとってもわかりやすく・使いやすい地質情報をWeb上で共有する環境を整えるための技術的基礎の確立を目指す。そのために、誰もが入手可能なボーリングデータを利用して、(1)土・岩石などの3次元分布モデルの作成手法の確立、(2)機械処理に基づく地層対比手法の検討、(3)3次元分布モデルのWeb共有手法の検討、という3つを目的とした研究を行う。

3. 研究の方法

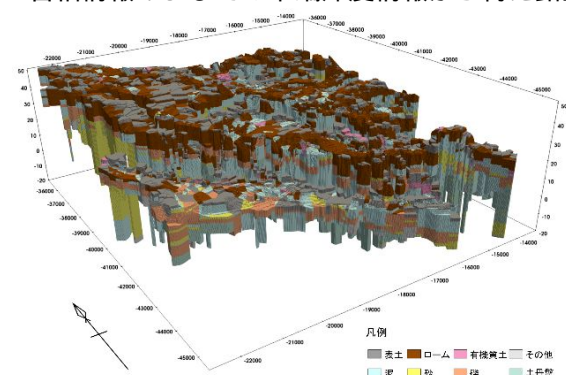
機械処理を利用した3次元地質情報の作成技術とWeb共有技術の研究を行う。3次元地質情報の作成技術については、Web公開されている都市域のボーリングデータを利用して、土・岩石などの3次元分布を表現するボクセルモデルを作成する手法を確立する。また、ボーリングデータに記載された土・岩石の種類、N値などの情報を利用して、ボーリング掘削地点の各深度における地層名を判定する、教師付き地層対比手法を検討する。各手法はPythonやFortranプログラムとして具体化する。Web共有技術については、土・岩石・地層などのボクセルモデルの可視化機能や、ボクセルモデルの断面図表示機能を備えたWebシステムの開発を行う。

4. 研究成果

機械処理を利用した3次元地質情報の作成技術とWeb共有技術の研究を行った。主な研究成果を以下に示す。

(1) 土・岩石などの3次元分布モデルの作成手法の確立

3次元分布モデル作成については、まず、千葉県や東京都において入手可能な地質・土質調査成果の電子納品で用いられるボーリング交換用データ(XML形式)を収集し、それらを基に地下における岩相の3次元分布を表現するボクセルモデルを簡易的に作成する手法を確立した。本手法は、対象領域には十分に密にボーリングデータが存在するという前提のもと、「領域内のある地点の岩相は、その地点から最も近い位置に存在するボーリングデータの岩相に従う」というコンセプトに従ってボクセルモデルを作成するものである。具体的には、ボーリングデータのもつ岩相情報およびその下端深度情報から得た鉛直方向に等間隔に岩相情報を並べた1次元配列



第1図 岩相ボクセルモデルの鳥瞰図。
地形は基盤地図情報数値標高モデルによる。

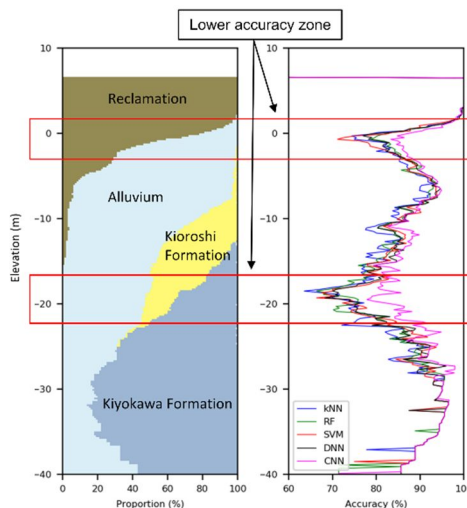
データ(以下、1DMGD)を、ボーリングデータのもつ緯度・経度情報から得たデータ地点に関する2次元ボロノイ図に基づいて水平方向に拡張することにより、岩相のボクセルモデルを作成するものである。本手法の有効性を評価するために、東京都世田谷地域における約3,100本のボーリングデータを利用して、8種類の岩相から構成されるボクセルモデルを作成するとともに、その鳥瞰図および水平・鉛直断面図を作成した。その結果、大量のボーリングデータを利用できる環境があれば、本手法により軟弱泥層や段丘礫層などの分布を概観できるボクセルモデルを簡易的に作成できることを確認した(第1図)。

次に、上記の手法に見られるポロノイ境界で岩相が急変するという問題点を解決することを目的として、1DMGDの水平方向への拡張処理に自然近傍補間法を適用する手法を確立した。自然近傍補間法を用いる利点は、目的点におけるひとつ1DMGDだけでなく目的点周辺に分布する複数のボーリングデータの1DMGDも利用して岩相を決定できる点、各1DMGDには数学的に重みづけをできるため補間処理の客観性を確保できる点、品質の悪いボーリングデータの影響を軽減できる点、および、N値のような物性値の補間処理との親和性が高い点などにある。ここでは、岩相情報を参照しながらN値の1DMGDを作成する手法を確立したうえで、東京都区部で作成された数万本単位のボーリングデータから同地域の岩相およびN値のボクセルモデルを作成し、本手法の有効性を視覚的および数値的に評価した。その結果、従来よりも周辺のボーリングデータを考慮したボクセルモデルを作成できていることを確認した。これらの成果は、減災・防災に有用な地下の地盤情報の3次元分布の簡易的な把握に役立つと期待できる。

(2) 機械処理に基づく地層対比手法の検討

ボーリングデータにおける地層の対比を、地盤の特徴を定量的に表した値(特徴量)を入力データ、地層名ラベルを出力データとする教師あり学習の分類問題と捉えたうえで、機械学習を利用してボーリングデータに記載された情報から地層名を予測する方法について検討した。

ここでは、前述の1DMGDの作成処理と同様に、ボーリングデータから鉛直方向について等間隔に抽出した地盤の特徴量を機械学習の入力データとした。地盤の特徴量には、標高、主となる岩石・土質、混合物の種類とその割合、N値を用いた。混合物の種類とその割合については、岩石・土質名に記載される頻度の高い、泥、シルト、砂、礫、有機質土、火山灰、貝殻を対象とし、岩石・土質名から導いた。これらの特徴量を利用した機械学習による地層対比の有効性を調べるために、代表的な教師あり分類アルゴリズム、5層から構成されるニューラルネットワーク、鉛直方向の特徴量変化に着目した畳み込みニューラルネットワークそれぞれを用いて、10種類の特徴量から4種類の地層名ラベルを予測するテスト計算を実施した。教師あり分類アルゴリズムには、サポートベクターマシン、決定木(ランダムフォレスト)、k近傍法を用いた。また、テスト計算用の特徴量および地層名ラベルのデータセット作成には、地下浅部の地質構造が比較的単純な千葉市沿岸部に分布する1,654本のボーリングデータおよびそれらに関する地層の対比データを用いた。テスト計算では、全ボーリングデータのうち1,300本のボーリングデータから抽出した特徴量を学習データ、残りの354本から抽出した特徴量を評価データとした。それぞれの機械学習から得られる地層対比モデルの評価には、交差検証とHold-out法を利用した。地層対比モデルの評価指標には、評価データに対する正解率とkappa係数を利用した。交差検証では、学習データを東側に分布するものから順に5グループに等分し、4グループを訓練データ、1グループを検証データとする5分割交差検証を実施した。その結果、いずれの分類手法においても、評価データに対する正解率は85%以上、kappa係数は0.77以上を示した。Hold-out法では、学習データのうち70%を訓練データ、30%を検証データとして地層対比モデルを作成した。ただし、検証データはランダムに選択した。その結果、評価データに対する正解率およびkappa係数は、交差検証の結果と同様の値となった。また、各モデルによる地層対比について鉛直方向に関する正解率の推移を確認した結果、複数の地層が比較的均等な割合で分布する地層境界付近で正解率が低下することを確認した(第2図)。これらの成果は、機械学習による迅速な地層対比の実現に寄与するものであり、今後影響度の高い地盤の特徴量や学習アルゴリズムの検討を進めることで、従来よりも迅速かつ詳細な3次元地質モデルの作成につながると期待できる。

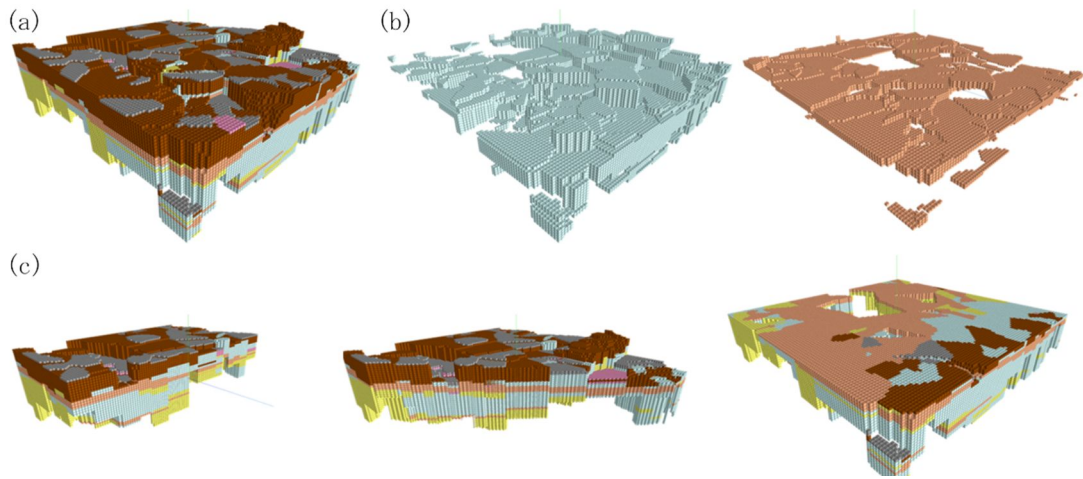


第2図 地層の割合(左)と地層対比の正解率(右)の推移。

(3) 3次元分布モデルのWeb共有手法の検討

3次元コンピュータグラフィックス用のJavaScriptライブラリのひとつであるthree.jsを利用して、地盤情報のボクセルモデルを表示するためのWebシステムを試作した(第3図)。

本システムは、WebGLによりクライアントコンピュータのGPUを使用しながら、ボクセルモデルとその水平・鉛直断面図の表示、表示セルのもつ属性情報の取得、および、水平方向と鉛直方向の比率(高さ倍率)の調整等を行うものである。ボクセルモデルの表示については、チェックボックスのオン・オフを切り替えることにより、特定の属性をもつセルのみを表示できるようにした。水平・鉛直断面図の作成位置や高さ倍率については、スライダーを利用して調節できるようにした。属性情報の取得については、マウスポインタと重なる位置にあるセルの属性情報を、常時ウェブブラウザに表示するようにした。開発したWebシステムの動作や操作性を確認するために、東西方向100個×南北方向100個×鉛直方向40個のセルサイズをもつ7種類の岩相から構成されるボクセルモデルの表示を試みた。その結果、初回アクセス時にはデータの読み込み



第3図 Web システムによる表示例 .(a)ボクセルモデル ,(b)特定の属性のセル ,(c)断面図 .

に時間を要するものの、一度読み込みを完了すればモデルの回転・移動をはじめとして、すべての機能を軽快な動作速度で利用できることを確認した。本成果は、もともと3次元に分布する地下の地盤情報を、3次元のまま提示する Web 環境の整備に資するものであり、一般市民の地下地質に対する理解を促進し、我が国における地質に関するリテラシーの向上に大きく貢献するとともに、地質学者の裾野の拡大にも貢献すると期待できる。加えて、開発したシステムは、フリーオープンソースソフトウェアをベースとしているため、今後も社会ニーズに応じて柔軟に機能の改良や拡張を行うことが可能である。現時点では、データの可読性を重視してボクセルモデルをアスキーファイルとして管理しているため、各軸方向のセルサイズが比較的小さいモデルであってもその読み込みに時間を要する。今後バイナリファイルによりボクセルモデルを管理する方法を検討し、データ読み込み速度の高速化を行う必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Nonogaki Susumu, Masumoto Shinji, Nemoto Tatsuya, Nakazawa Tsutomu	4. 巻 14
2. 論文標題 Voxel modeling of geotechnical characteristics in an urban area by natural neighbor interpolation using a large number of borehole logs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth Science Informatics	6. 最初と最後の頁 871～882
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12145-021-00600-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 野々垣進, 升本眞二, 根本達也, 中澤努, 中山俊雄	4. 巻 31
2. 論文標題 大量のボーリングデータの位置情報に基づくポロノイ図を用いた 岩相ボックスモデルの作成	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 情報地質	6. 最初と最後の頁 3～10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.6010/geoinformatics.31.1_3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 野々垣進, 升本眞二, 根本達也
2. 発表標題 機械学習を用いた地盤の特徴量に基づく地層対比手法の検討
3. 学会等名 日本地質学会第128年学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Susumu NONOGAKI, Tatsuya NEMOTO, Shinji MASUMOTO
2. 発表標題 Investigation on Machine Learning-Based Stratigraphic Correlation Using Geotechnical Features
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野々垣進, 升本眞二, 根本達也
2. 発表標題 大量のボーリングデータを用いた地盤情報のボクセルモデル作成
3. 学会等名 JpGU - AGU Joint Meeting 2020: Virtual
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野々垣進, 升本眞二, 根本達也, 中澤努, 中山俊雄
2. 発表標題 ボーリングデータを用いた簡易土質ボクセルモデリング
3. 学会等名 第30回日本情報地質学会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 根本達也, 升本眞二, 野々垣進
2. 発表標題 WebGLを用いた地質ボクセルモデルの3次元可視化
3. 学会等名 第30回日本情報地質学会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 升本眞二, 根本達也, 野々垣進, ベンカテッシュ ラガワン
2. 発表標題 不等式標高データを活用するための曲面推定プログラムBS-Horizonの改良(その1)
3. 学会等名 第30回日本情報地質学会講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	根本 達也 (NEMOTO Tatsuya) (10572555)	大阪市立大学・大学院理学研究科・准教授 (24402)	
研究 分担者	升本 眞二 (MASUMOTO Shinji) (40173760)	大阪市立大学・大学院理学研究科・教授 (24402)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------