

令和元年6月11日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00158

研究課題名（和文）WebGIS 3次元地質モデラーを効率的に活用するための地層対比支援システムの開発

研究課題名（英文）Development of stratigraphic correlation support system for effective use of WebGIS three dimensional geologic modeler

研究代表者

升本 眞二（MASUMOTO, Shinji）

大阪市立大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：40173760

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：3次元地質モデリングの際の地層対比作業を効率良く行えるよう支援するためのシステム開発を目的として研究を行った。主に次の4つについて検討・開発等を実施した。地層の対比に主に用いる土質区分（岩相・鍵層など）やN値等をわかりやすく表示するための多様な表示方法、N値の3次元空間補間結果の断面や対比結果の概略的な地質境界線・断面などの対比の補助となる作業画面の背景の表示方法、対比結果の論理的な評価方法、地質境界面の効率的な推定方法。

研究成果の学術的意義や社会的意義

3次元地質モデルは地下の3次元空間の地質体分布を表す代表的な地質情報であり、我々の生活の基盤となる土木・建築構造物を支える重要な地理空間情報の1つである。都市部の地下表層部の3次元地質モデルは、主にボーリング柱状図のデータから構築される。モデル構築の際に最も時間を要するのは、地質学の専門家の判断が必要な地層の対比・区分の作業である。この作業を効率的に行えるようにすることで、より多くの3次元地質モデルの構築・発信が可能になる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to develop a high efficiency system for supporting stratigraphic correlation of three dimensional geological modeler. For development of this system, the following four tasks were studied: (1) Display method of borehole data including N-value, (2) Display method of auxiliary image for background, (3) Verification method for logical correctness of each correlation result and (4) High speed estimation method for geological boundary surface.

研究分野：情報地質学

キーワード：地理情報システム（GIS） 3次元地質モデル 地質情報

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

都市部の3次元地質モデルは、土木・建築構造物等の基礎となる非常に重要な情報であり、地震による震動や液状化に対する防災や減災の対策などのためにも不可欠な情報である。このため、国土交通省が進める土木・建築分野でのCIM（Construction Information Modeling）でも、建築・構造物と同様に3次元地質モデルの構築が求められている。

都市表層部の3次元地質モデルは、主にデータベース化されたボーリングデータを用いて構築される。モデル構築の際に最も重要で、かつ時間を要するのが、ボーリングデータを表示して行う地層の対比作業である。ボーリングデータを自動的に対比する方法は、これまで多く検討されてきた。しかし、実用的な方法は開発されておらず、現在も地質学の専門家の手作業による対比が行われている。

2. 研究の目的

3次元地質モデル構築の際の地質学の専門家の判断が必要なボーリングデータを用いた地層の対比・区分の作業を円滑にかつ的確に行えるよう支援する方法を開発することが本研究の目的である。このために、対比のためのボーリングデータの情報を地質の専門家が理解しやすいように可視化する方法を開発する。また、地層の対比を補助するための情報（線や領域など）を効率的に作成・可視化する方法を開発する。さらに、対比の進行に伴い、個々の対比が適切であるかを論理的に評価する方法や全体にどのような影響を与えるかを随時確認できる方法を開発する。

3. 研究の方法

研究目的にもとづき、主に次の4つにわけて研究を実施する。

(1) ボーリングデータの表示方法

地層の対比の基本情報であるボーリングデータの規格化された表示方法を見直して、対比に必要なデータを選び、それらのデータから生成した情報をわかりやすく表示する方法を検討して、可視化プログラム等を開発する。

(2) 対比の補助となる情報の表示方法

ボーリングデータを表示する画面の背景に対比の判断を助ける情報（N値の3次元空間分布、概略的な地質境界線・地質断面図など）の作成や表示方法を検討して、プログラムを開発する。

(3) 対比結果の論理的な評価方法

対比を進めるたびに、個々の対比結果と既存の概念やこれまでの対比結果との整合性（無矛盾性）を論理的に評価する理論・方法を検討・開発する。

(4) 地質境界面の効率的な推定方法

個々の対比結果がモデル全体にどのような影響を与えるかを確認できるように、モデリングの中で最も計算時間のかかる地質境界面推定を高速かつ効率的に実施するための方法を検討して、プログラムを改良・開発する。

4. 研究成果

研究方法で示した4つの項目にわけて、本研究の成果を示す。

(1) ボーリングデータの表示方法

既存のシステムでは表示するボーリングデータの情報量が多く、図が複雑になるため、地層対比に必要な土質区分（岩相：粒度組成など、鍵層；貝・腐植混じり・火山灰など）とN値（地盤の硬さを表す指標）に限定して、多様な形式で表示する方法を検討・開発した。土質区分は粒度によって柱状図の幅を変えて表示できるようにした。実際のボーリングデータを用いた表示例を図1に示す。

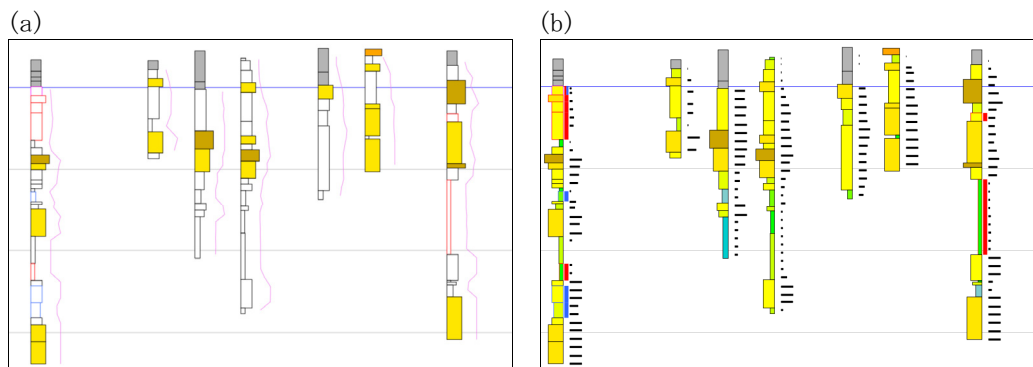


図1 ボーリングデータの表示例

(a) 注目する地層にのみ着色してN値を折れ線グラフで表示した例、(b) 鍵層の情報を右に加えてN値を棒グラフで表示した例。

(2) 対比の補助となる情報の表示方法

ボーリングデータのN値のデータを空間補間して、N値の3次元空間分布をVoxel形式で作成する方法、およびその断面図を対比作業の背景に表示する方法を開発した。また、初期の地層対比の結果を用いた概略的な3次元地質モデルから作成した地質の境界線・断面図などを表示できるようにした。これらの結果の一部を図2に示す。

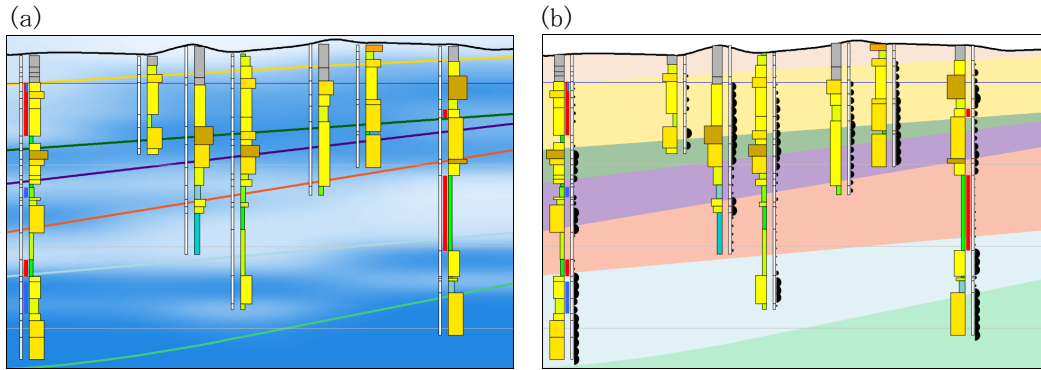


図2 ボーリング柱状図の背景に対比の補助となる情報を表示した例
(a) N値の空間分布と地質境界線を表示した例、(b)地質断面図を表示した例。

(3) 対比結果の論理的な評価方法

3次元地質モデルの基本である地質境界面と地質体の関係を示す地質構造の論理モデルのもとに、対比した結果の論理的な整合性を確認できるようにした。地質構造の論理モデルは対比作業を始める前に決定した層序・構造から機械的に構築できる。これにより必要に応じて、対比結果に矛盾がないかを確認できる。

(4) 地質境界面の効率的な推定方法

ボーリングデータの最深部の標高値は、地質境界面がこれより下にあるという不等式標高データである。不等式標高データを含むデータを満足する地質境界面の推定には、データの充足度 R と面の滑らかさ J のバランスを調整するペナルティ α を増加させながら反復計算を行う。その結果から、図3(a)のような α と R や J の関係図を描くとともに、曲面を可視化して比べて、最適な境界面を決定する。このために反復計算の必要のない不等式標高データを含まない計算に比べて非常に多くの計算時間を要する。この反復計算の回数を減らすための工夫として、推定結果の曲面の変化を評価する指標 C を考案した。 R と C を用いることで出力結果を可視化せずに、自動的に反復計算を終了できる。また、図3の(b)と(c)に示したように反復回数や α の初期値などについても検討し、これらから反復計算回数を大幅に削減できるようにした。

各計算についても、解法の変更やマルチコアCPUとGPGPUによる処理の並列化などを行い、計算時間を短縮した。その結果として、かなり効率的に地質境界面を推定できるようになった。なお、これらの成果は地質境界面の推定のみならず、地形面の推定にもそのまま活用できる。

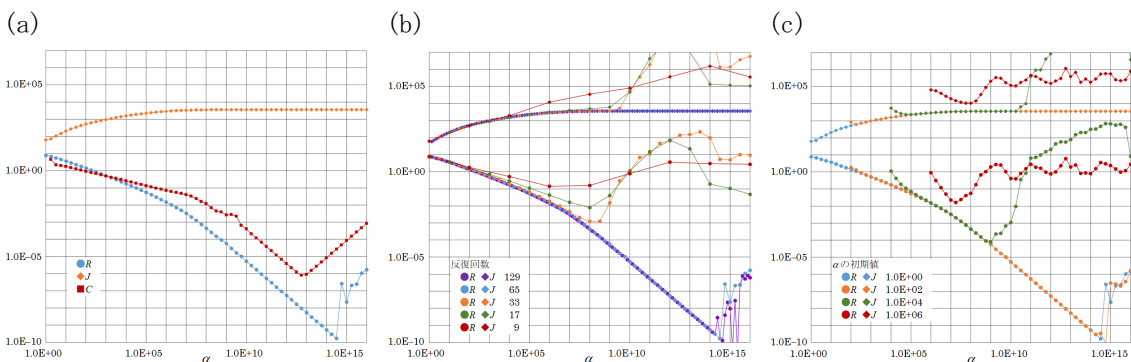


図3 不等式標高データを用いた際のペナルティ α の増加と R 、 J 等の関係の例
(a) α の増加と R と J および C の変化、(b) $\alpha=1.0\sim 1.0\times 10^{16}$ 間の反復計算回数の違いによる R と J の変化、(c) α の初期値の違いによる R と J の変化。

以上のように、本研究の主な目的は概ね達成できた。ただし、地質境界面を効率的に推定する方法は、リアルタイムに3次元地質モデルを再構築できるまでには至らなかった。今後、より高速な計算方法の開発や多様なデータを用いた検証が必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8 件)

- ① Masumoto S., Nemoto T., Sakurai K., Nonogaki S. and Raghavan V., Study on Stratigraphic Correlation Support System for 3-D Subsurface Geological Modeling using Borehole Data based on Logical Model of Geologic Structure. *Proc. Int. Conf. GeoInformatics for Spatial-Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences (GIS-IDEAS) 2018*, 査読有, 2018, pp.320–325
- ② Nonogaki S., Masumoto S. and Nemoto T., Web Sharing of Three-Dimensional Geological Data using Open Source Software. *Proc. Int. Conf. GIS-IDEAS2018*, 査読有, 2018, pp.353–358
- ③ Thi An Tran, Masumoto S., Raghavan V., Nonogaki S., Yonezawa G. and Nemoto T., Evaluating Parameters for BS-Horizon Surface Generation using Elevation Data. *Geoinformatics*, 査読有, vol.28, 2017, pp.31–50
https://doi.org/10.6010/geoinformatics.28.2_31
- ④ Nonogaki S., Masumoto S. and Nemoto T., High-speed Gridding System for Geological Surfaces using Multi-threading Technology. *International Journal of Geoinformatics*, 査読有, vol.13, no.1, 2017, pp.1–10
- ⑤ Masumoto S., Nemoto T., Raghavan V. and Nonogaki S., Reliability Evaluation of Three Dimensional Geological Model using Borehole Data. *Proc. Int. Conf. Earth Sciences and Sustainable Geo-Resources Development (ESASGD) 2016*, 査読有, 2016, pp.172–177

〔学会発表〕(計 21 件)

- ① 升本 眞二, 根本 達也, 櫻井 健一, 野々垣 進, ベンカテッシュ ラガワン, ボーリングデータを用いた3次元地質モデリングのための地層対比支援システムの検討. 第29回日本情報地質学会講演会, 2018年6月29日, 奈良大学(奈良県奈良市)
- ② 根本 達也, 升本 眞二, 野々垣 進, WebGLを用いた地質ボクセルモデルの可視化. 日本地質学会第125年学術大会(つくば特別大会), 2018年12月2日, 産業技術総合研究所(茨城県つくば市)
- ③ Nonogaki S., Masumoto S. and Nemoto T., Prototype of Web-based Geological Data Sharing System using Free and Open Source Software. American Geophysical Union, Fall Meeting 2017, 2017年12月15日, New Orleans Ernest N. Morial Convention Center (New Orleans, USA)
- ④ Nemoto T., Masumoto S. and Nonogaki S., A Web-based Visualization System for Three Dimensional Geological Model using Open GIS. American Geophysical Union, Fall Meeting 2017, 2017年12月13日, New Orleans Ernest N. Morial Convention Center (New Orleans, USA)
- ⑤ 野々垣 進, 升本 眞二, 根本 達也, 双3次B-スプラインを用いた地層境界面推定のための節点配置方法. 第28回日本情報地質学会講演会, 2017年6月29日, 山梨県立図書館(山梨県甲府市)
- ⑥ 根本 達也, 升本 眞二, 野々垣 進, 地質構造の論理モデルに基づく3次元地質モデルのためのWeb可視化システムの開発. 第28回日本情報地質学会講演会, 2017年6月30日, 山梨県立図書館(山梨県甲府市)
- ⑦ Nemoto T., Masumoto S. and Nonogaki S., Development of web-based visualization system for three dimensional geologic model. Int. Conf. GIS-IDEAS 2016, 2016年11月14日 Hanoi University of Mining and Geology (Hanoi, Vietnam)

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：根本 達也

ローマ字氏名：NEMOTO, Tatsuya

所属研究機関名：大阪市立大学

部局名：大学院理学研究科

職名：講師

研究者番号(8桁)：10572555

研究分担者氏名：ベンカテッシュ ラガワン

ローマ字氏名：RAGHAVAN, Venkatesh

所属研究機関名：大阪市立大学

部局名：大学院工学研究科

職名：教授

研究者番号（8桁）：30291602

研究分担者氏名：野々垣 進

ローマ字氏名：NONOGAKI, Susumu

所属研究機関名：国立研究開発法人 産業技術総合研究所

部局名：地質調査総合センター

職名：研究グループ付

研究者番号（8桁）：30568613