

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330134

研究課題名(和文)信頼度を含む高分解能地質情報を発信するためのWebGIS 3次元地質モデラーの開発

研究課題名(英文)Development of Three Dimensional Geologic Modeller based on Web-GIS for Providing High Resolution Geologic Information including Reliability

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) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：信頼度を含む高分解能地質情報を発信することを目的として、WebGIS 3次元地質モデル構築システムの改良に必要となる理論的な基礎の確立と手法の開発を行った。3次元地質モデルの信頼度を地質データの密度と地質構造(地質境界面や地質体の形状)を用いて評価する基礎理論と方法を確立した。また、地質データの分布に応じて計算領域を調整することにより、地質データを十分に反映した高速で高分解能な地質境界面を推定する方法を開発した。

研究成果の概要(英文)：For providing high resolution geologic information including reliability, the basic theory and methods have been developed to improve the three dimensional geologic modelling system. The basic theory and methods for evaluating the reliability of three dimensional geologic model have been established by using the data density and the geological structure (shape of boundary surface and geologic unit). A high speed estimation method of high resolution geologic boundary surface sufficiently reflecting the geologic data has been developed by adjusting the calculation area based on the data distribution.

研究分野：情報地質学

キーワード：3次元地質モデル GIS(地理情報システム) 信頼度 地質境界面推定

1. 研究開始当初の背景

地下の3次元空間における地質体の分布を表す3次元地質モデルは、重要な社会の基盤情報である。地震やそれにともなう液状化、地すべりや大規模山地崩壊などの自然災害の防災や減災の問題解決には、3次元地質モデルが必要不可欠になりつつある。3次元地質モデルをこれらの問題解決に十分反映し、信頼性の高い議論を行うためには、広く有効に利用できる形で情報発信する必要がある。我々は、これまで Web-GIS を活用して、都市部のボーリングデータから3次元地質モデルを構築し、発信する方法を開発してきた。

一般に、3次元地質モデルを構築するための基本情報であるボーリングや野外調査のデータは一概には存在しない。とくに、都市部の重要な情報であるボーリングデータは水平方向にも鉛直方向にもデータ分布が大きく異なる。このため、これらを基に構築したモデルの信頼度は均一ではない。信頼度は地球統計学的手法を用いたモデルでは、不確実性として議論されている。しかし、都市部の浅層で用いられるスプライン補間等で境界面を推定して構築するサーフェースモデルでは、推定した境界面のデータの充足度が高く、構築されたモデルの信頼度を表現することは一般的ではない。このため、スプライン補間で地質境界面を推定したモデルでも信頼度を評価し、高分解能の3次元地質モデルと合わせて、より有効な情報として発信する必要がある。

2. 研究の目的

Web-GIS による3次元地質モデリングシステム(モデラー)の実用化に向けて、信頼度の情報を含めた高分解能な3次元地質モデルの構築を可能にするために、おもに次のことを目的として研究を行う。

- ・スプライン補間を用いて地質境界面を推定して構築する3次元地質モデル(サーフェースモデル)の信頼度を評価・表現するための理論を確立し、手法を開発する。また、各データのモデルへの影響度を評価するための理論と方法を検討する。
- ・高分解能な3次元地質モデルの構築を可能にするために、高分解能な地質境界面を高速に推定するための新たな理論を確立し、手法を開発する。

3. 研究の方法

信頼度を含めた高分解能3次元地質モデルの構築・発信を可能にするための新しい理論と手法(システム)を開発する。

3次元地質モデルの信頼度に関しては、地質データの分布から2次元・3次元のデータ密度を求める理論・手法、地質境界面の形状あるいは3次元空間の地質体分布の形状の変化量を求める理論・手法、およびそれらから信頼度を求める理論・手法を開発する。また、各データの地質モデルへの影響度を評価

する理論・手法も開発する。

3次元地質モデルの高分解能化に関しては、地質境界面推定のための新たな理論・手法を開発し、並列処理による高速化なども行う。

4. 研究成果

信頼度を含めた高分解能な3次元地質モデルを構築・発信できるシステムを開発するための理論の確立と手法の開発を行った。主な研究成果を以下に示す。なお、このほかにシステム全体の改良や活用として、WebGLを用いた可視化手法の検討やベトナムのハノイ中心部においてボーリングデータを用いた3次元地質モデルの構築などを行った。

(1) 信頼度の評価・可視化方法

地質境界面とモデル全体空間の2つの視点から3次元地質モデルの信頼度をデータの分布に基づいて評価する理論の確立と手法を開発した。また、その可視化手法も開発した。

① 地質境界面の信頼度

スプライン補間を用いた地質境界面の推定には、次のことが言える。

- ・データの密度が高いほど、推定結果の面の再現性は良い。
- ・等式標高(面がこの点を通る)データは不等式標高(面がこの点より上、あるいは下を通る)データに比べて推定結果への影響が大きい。
- ・面の形状変化が大きい所では多くのデータが必要である。
- ・データの配置には、偏りがないことが必要である。

この考えに基づき、つぎのように信頼度を評価した。データの種類(等式・不等式)により、個々のデータに重みをつける。また、地質境界面の形状の変化量から個々のデータの影響範囲を変えてデータ密度を求める。さらに、データ配置の偏りの指標として、データ密度から、データ密度の傾きを求める。データ密度とその傾きから信頼度を評価する。その結果として、データ密度が高く、かつ、データ密度の傾きが小さい領域を信頼度の高い領域とする。

データ密度はカーネル密度推定法を拡張して求めた。カーネル関数は多様であるが、検討の結果として、ここでは広く利用されている Gaussian を用いた。データの種類(等式・不等式)による重みは、カーネル関数の高さに反映し、不等式データは等式データに比べ高さを低くした。

地質境界面の真の形状はわからないため、既存のデータから推定した境界面を用いて面の形状の変化量を推定した。この変化量の計算方法は多様であるが、ここでは、境界面推定に用いたプログラムの中で推定結果の面の滑らかさ(平面性)を評価する汎関数をもとに算出した。地質境界面の推定に用いて

いる手法（プログラム）では水平性と平面性を評価できるが、一般的な地質境界面の推定には水平性は考慮しないので、この式が適切と考えた。面の形状の変化量をカーネル関数のバンド幅に反映し、変化量の大きい所ではバンド幅を小さくした。

図1にテストデータを用いた地質境界面の信頼度の評価・表示例を示す。図1(a)はテストデータの3次元表示の例で青い点は等式標高データ、赤い点は不等式標高データである。図1(b)はデータ密度、図1(c)は推定した境界面から求めた面の形状の変化量である。図1(d)は変化量で補正したデータ密度、図1(e)はデータ密度の傾きであり、図1(f)はこの2つから求めた地質境界面の信頼度である。図1(g)は信頼度を色の変化で可視化した例、図1(h)は信頼度の低い部分を透明化して表示した例である。

②モデル空間全体の信頼度

3次元地質モデルの構築に主に用いられるボーリングデータを地質データが連続的に分布する線分とする。モデル空間全体は水平方向と鉛直方向とに等分割したボクセルで表現する。

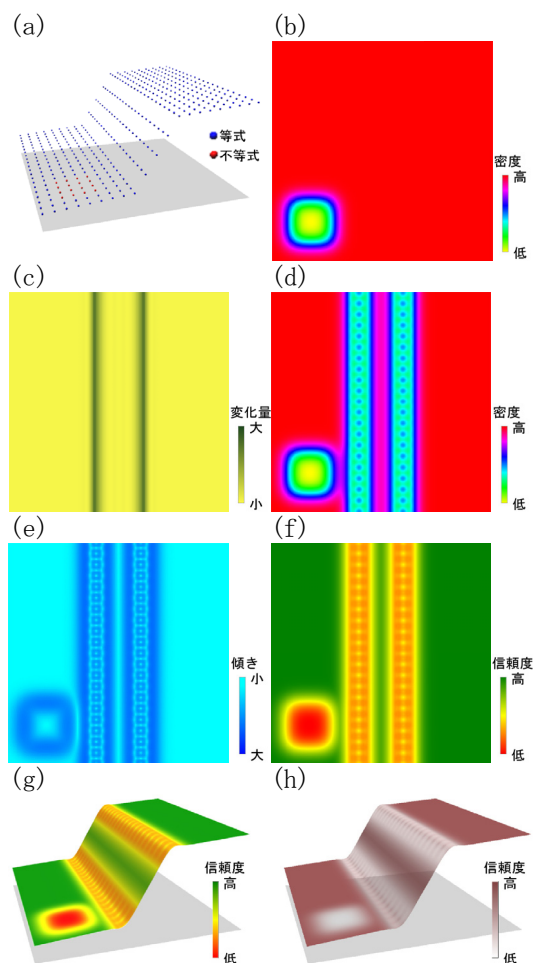


図1 地質境界面の信頼度. (a)テストデータ分布, (b)データ密度, (c)境界面の形状の変化量, (d)補正したデータ密度, (e)データ密度の傾き, (f)信頼度, (g)信頼度の表示例(カラー), (h)信頼度の表示例(透過表示).

各ボクセルの中心の点のデータ密度を、その点と各ボーリングデータの線分との距離をもとに、3次元に拡張したカーネル密度推定法により求める。カーネル関数は地質境界面の場合と同様に Gaussian を用いた。一般に、複雑な地質構造を示す空間領域では、より多くのデータが必要であり、また、個々のデータが影響する範囲は少ない。このことを反映するために、地質構造の複雑さをもとにボクセルの各点のデータ密度を補正して信頼度とした。複雑さの指標には、構築した3次元地質モデルの地質体の分布から求めた均一性を用いた。均一性は、ボクセルの各点地質体と水平方向と鉛直方向にある一定の範囲内での地質体がどの程度に同一であるかで判断した。

図2にテストデータを用いたモデル全体の信頼度の評価・表示例をボクセルから切り出した鉛直断面と水平断面で示す。図2(a)はテストデータのボーリングの分布、図2(b)は3次元地質モデルである。図2(c)はデータ密度、図2(d)はモデルから求めた均一性を示す断面図である。図2(e)(f)は信頼度の結果をカラーとグレイスケールで表示した例である。図2(g)は地質断面図であり、図2(h)は地質体の色の明るさを信頼度に比例させて表示した例である。図2(i)は地質モデルを鉛直方向に5つに等間隔に分割した水平地質断面図、図2(j)(k)はその面の信頼度をカラーとグレイスケールで表示した例である。図2(l)は水平地質断面図を信頼度に合わせて透過して表示した例である。

(2) 影響度の評価

各データが地質境界面の推定結果にどのように影響するか（影響度）を評価する理論と方法を検討した。その結果として、各データを1つずつ除いて、面の推定を行い、すべてを用いて推定した面との形状の変化量を求め、変化の大きいものほど影響度が大きいと判断する手法を開発した。なお、データを2つ以上の任意の組み合わせで取り除いた場合の影響度の評価は、組み合わせが膨大になり、非常に多くの計算時間を要するため、今後の課題となった。

(3) 高分解能な地質境界面推定法の開発

不等間隔に配置した節点に基づく双3次B-スプラインを用いた地質境界面の推定法を開発した。最適な地質境界面の決定方法は、これまでと同様に、等式・不等式の標高データや傾斜データを満たす地質境界面のうち、最も滑らかな面を求めることとした。正規化B-スプラインの値は節点座標により大きく変化する。そのために測定データの個数と配置に基づいて、節点座標を決定することにした。各小区間にできる限り均等にデータを入れるように節点の配置を行い、データが局所的に密集する場合でも、従来の等間隔節点の場合と比較して少ない計算量で、精度の高い

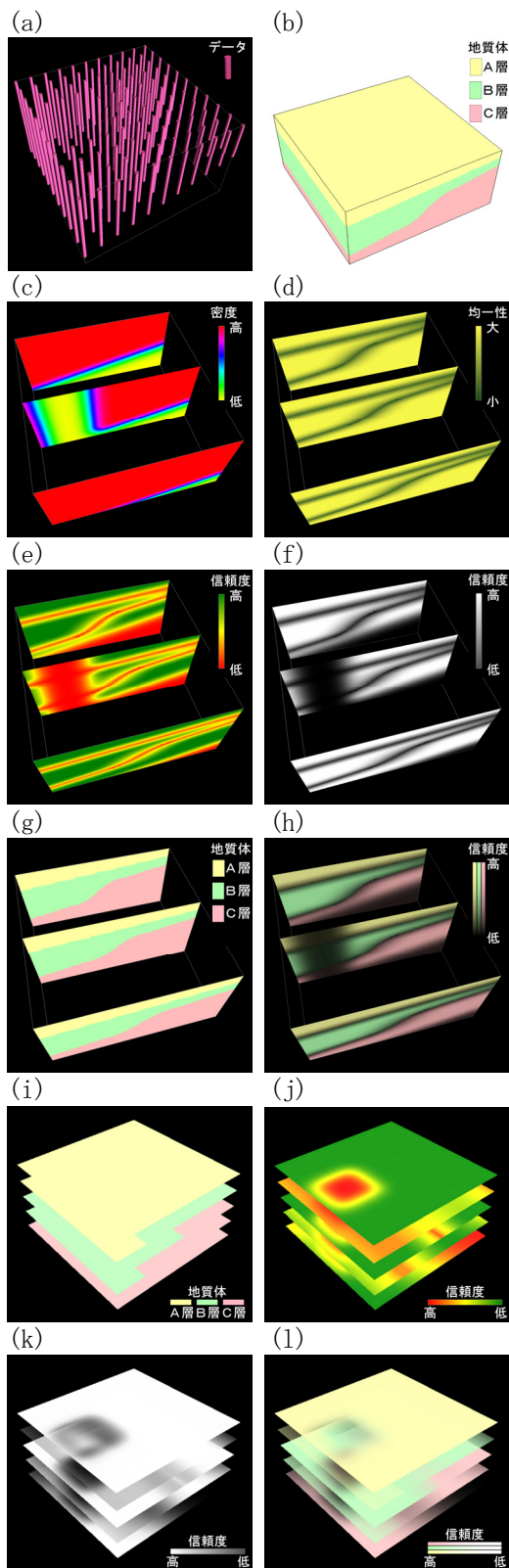


図2 モデル空間全体の信頼度. (a)テストボーリングデータの分布, (b)3次元地質モデル, (c)データ分布から求めたデータ密度, (d)地質モデルから求めた均一性, (e)信頼度の表示例(カラー), (f)信頼度の表示例(グレイスケール), (g)地質断面図, (h)地質断面図の信頼度の表示例, (i)水平地質断面図, (j)信頼度の表示例(カラー), (k)信頼度の表示例(グレイスケール) (l)水平地質断面図の信頼度の表示例(透過表示).

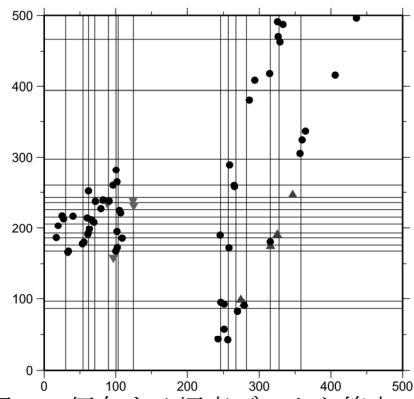


図3 偏在する標高データと節点の位置. (●は等式データ点, ▲▼は不等式データ点, 格子線の位置が節点の位置.)

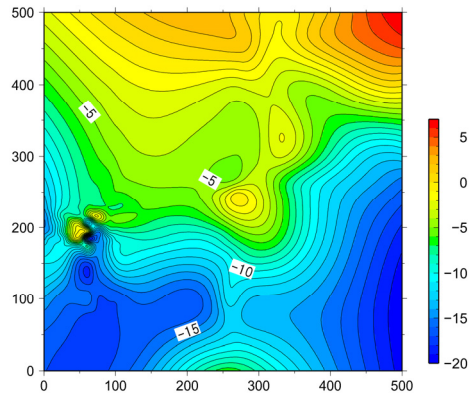


図4 推定結果の地質境界面の表示例.

地質境界面の推定が行えるようにした.

不規則に分布するテストデータを用いた計算結果から, 従来よりも少ない節点で, 推定誤差が小さい地質境界面が推定でき, 高精度化と高速化が実現できたことを確認した. これと併せて, 計算自体も並列化処理により一部高速化した. 図3にデータが偏在する場合の節点の設定例を, 図4に推定結果の地質境界面の表示例を示す. データが密な部分が高精度に推定できていることがわかる.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計10件)

- ① Nemoto T., Masumoto S., Nonogaki S., Raghavan V., and Yonezawa G., Development of Distributed Database System for Borehole Data using Free and Open Source Software. *International Journal of Geoinformatics*, 査読有, vol.11, 2015, pp.37-43.
- ② Fenoy G., Bozon N. and Raghavan V., MapMint: The 100% Service Oriented GIS Platform. *International Journal of Geoinformatics*, 査読有, vol.11, 2015, pp.45-51.
- ③ 野々垣 進, 中澤 努, 論理的手法に基

づく木更津地域の3次元地質モデリング.
情報地質, 査読有, vol.26, 2015,
pp.3-13.

- ④ Masumoto S., Nemoto T., Raghavan V., and Nonogaki S., An Investigation on Evaluation Method for Reliability of Three Dimensional Subsurface Geological Model. *Proc. International Symposium on Geoinformatics for Spatial-Infrastructure Development in Earth and Allied Science (GIS-IDEAS 2014)*, 査読有, 2014, pp.248-253.
- ⑤ Nonogaki S., Nakazawa T. and Nakazato H., Development of Browsing System for Two- and Three-Dimensional Geological Data. *Proc. Int. Symp. GIS-IDEAS 2014*, 査読有, 2014, pp.236-241.
- ⑥ Yonezawa G., Sakurai K., Nonogaki S., Masumoto S., Mitamura M., Truong Xuan L., Raghavan V., Nemoto T. and Yoshida D., Development of 3D Geological Modeling System for Hanoi City Using Borehole Data. *Proc. Int. Symp. GIS-IDEAS 2014*, 査読有, 2014, pp.176-181.

[学会発表] (計 26 件)

- ① 升本 眞二, カーネル密度推定を用いたスプライン補間した地質境界面の信頼度評価. 日本地質学会第 122 年学術大会, 2015 年 9 月 12 日, 信州大学(長野県長野市).
- ② 根本 達也, 3D タイルを用いた 3 次元地質モデル可視化の試み. 日本地質学会第 122 年学術大会, 2015 年 9 月 12 日, 信州大学(長野県長野市).
- ③ 野々垣 進, データ分布を考慮したスプライン補間による地層境界面の DEM 作成. 日本地質学会第 122 年学術大会, 2015 年 9 月 12 日, 信州大学(長野県長野市).
- ④ 升本 眞二, 三次元表層地質モデルの信頼度の評価・表現手法の検討. 日本地質学会第 121 年学術大会, 2014 年 9 月 13 日, 鹿児島大学(鹿児島鹿児島市).
- ⑤ 根本 達也, 地質情報データベースの分散化. 日本地質学会第 121 年学術大会, 2014 年 9 月 13 日, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市).
- ⑥ 升本 眞二, 地質境界面推定のための効果的なデータ配置の検討. 第 25 回日本

情報地質学会講演会, 2014 年 6 月 12 日,
京都大学(京都府京都市).

- ⑦ Nemoto T., A Distributed Database System for Sharing Geological Information using Free and Open Source Software. American Geophysical Union, Fall Meeting 2013, 2013 年 12 月 12 日, サンフランシスコ(アメリカ).

6. 研究組織

(1) 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: 4 0 1 7 3 7 6 0

(2) 研究分担者

根本 達也 (NEMOTO, Tatsuya)
大阪市立大学・大学院理学研究科・講師
研究者番号: 1 0 5 7 2 5 5 5

ベンカテッシュ ラガワン (RAGHAVAN, Venkatesh)
大阪市立大学・大学院創造都市研究科・教授
研究者番号: 3 0 2 9 1 6 0 2

野々垣 進 (NONOGAKI, Susumu)
国立研究開発法人 産業技術総合研究所・
地質情報研究部門・研究員
研究者番号: 3 0 5 6 8 6 1 3