

帯水層の三次元形状可視化プログラムの開発と水理構造解析への応用

山本 駿¹・小池 克明²・柏谷 公希²・山敷 庸亮¹

Program Development of Three-dimensional Visualization of Aquifer Shape with Application to Hydraulic Structure Analysis

Shun Yamamoto¹, Katsuaki Koike², Koki Kashiwaya² and Yosuke Alexandre Yamashiki¹

- 1) 京都大学大学院総合生存学館 Graduate School of Advanced Integrated Studies in Human Survivability Kyoto University, Yoshidanakaadachicho, Sakyo-ku, Kyoto 606-8306, Japan.
E-mail: yamamoto.shun.58r@st.kyoto-u.ac.jp
- 2) 京都大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Kyoto University, Katsura C1-2, Kyoto 615-8540, Japan.

キーワード：3次元地質モデリング, 可視化, 地質境界面, 地質分布

Key Words : three-dimensional geological model, visualization, geologic boundary plane, geologic distribution

1. はじめに

地質学的な調査や解析において、地下構造の三次元的な理解は不可欠である。特に帯水層の形状や分布は、地下水の流れや地下資源の評価に直結する重要な情報である。一般には、地質構造を理解するために、地質断面図を用いるが、断面図は二次元的な情報しか提供しないため、地下構造の三次元的な理解には限界がある。この問題を解決するため、本研究では Python を用いて、VTK (Visualization Toolkit) による地質断面図の三次元可視化プログラムを開発した。このプログラムを用いて、断面図から地下構造の三次元可視化を行うことで、地下構造の三次元的な理解を深めることが可能となる。活用例として京都盆地と熊本平野の地質構造の三次元可視化を行った。

2. 対象地域

京都盆地の深部の大阪層群では、火山灰の地層や海進期に堆積した海成粘土層が複数確認されている。大阪層群の海成粘土層は、難透水層として地下水流動を規制する可能性が高く、その構造のモデル化は地下水流動の理解において重要である。そこで、複雑な地下深部の構造を解析するために、「京都盆地の地下構造に関する調査」(京都市, 2003) や「大阪平野の地下構造調査」(大阪府, 2003), 「平成 17 年度京都府地震被害想定基礎調査」(京都府, 2006), 「奈良盆地東縁断層帯における重点的な調査観測」(京都大学防災研究所, 2020) などによる複数の反射法地震探査の測線から得られた断面図を用いて三次元可視化を行った。

熊本平野では、2016 年の熊本地震の影響は地下水に及んでおり (Hosono *et al.*, 2020), この地域の帯水層と断層の関係性の理解は重要である。本研究では、Koike and Matsuda (2005) による地質モデリングの解析結果の断面図を組み合わせることで三次元化を行った。

3. データの解析手法

断面図の三次元可視化においては、Python を用いて断面図の読み取りと VTK ファイルへの変換を行うプログラムを開発し、作成した VTK ファイルを ParaView で視覚化した。

Python は、強力で柔軟な機能を持つプログラミング言語であり、科学技術計算やデータ解析に広く用いられている。Python はオープンソースであるため、世界中の開発者がその改善に貢献しており、その結果、豊富なライブラリとコミュニティが形成されている。

また、VTK は、科学技術計算の結果を三次元で可視化するためのオープンソースのソフトウェアであり、3D コンピュータグラフィックス、画像処理などを行うためのライブラリを提供しており、Python などの他の言語からも利用することが可能である。

ParaView は、データ解析と視覚化のためのオープンソースのアプリケーションであり、大規模なデータセットを効率的に視覚化し、ユーザーがデータをインタラクティブに探索できるように設計されている。

これらのオープンソースのツールは、地質学的な調査や解析においても重要なツールとなり、その改善と発展は、調査や解析の効率化と高精度化に大きく寄与する可能性がある。

本研究では、まず各断面図の測線の位置図の画像を地図上にオーバーレイさせて測線の緯度経度をプロットして読み取り、座標変換を行って、XY 座標を得た。次に、断面図の画像のピクセル数や図表中の縮尺、XY 座標から計算された測線長などを用いて、画像のピクセル数と実際の長さの縮尺を計算することで、適切な Z 座標を設定した。この XYZ 座標を元に断面図の画像ファイルを VTK ファイルに変換を行った。

また、国土地理院の数値標高モデル (Digital Elevation

Model)についても、同様に VTK ファイルへの変換を行うことで、各断面図と共に可視化を行い、数値標高モデルによる地表面の位置を参照して、断面図の XYZ 座標の再調整を行った。

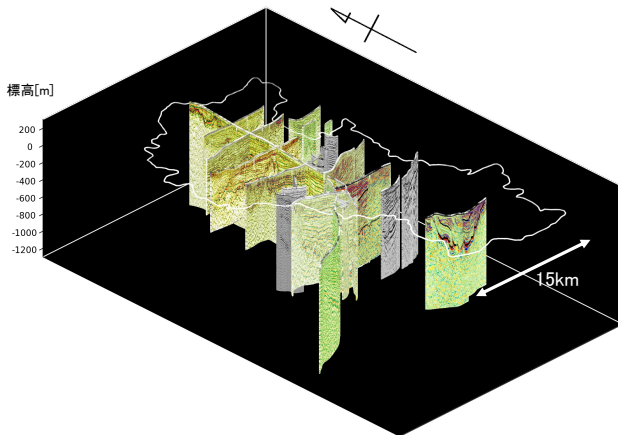
変換においては、視覚的に分かりやすくなるようにすべての VTK ファイルで Z 軸方向の長さを 20 倍にした。

4. 解析結果と考察

京都盆地と熊本平野の地質構造の三次元可視化を行った結果、それぞれの地域の地下構造の特徴とその空間分布を詳細に把握することができた。

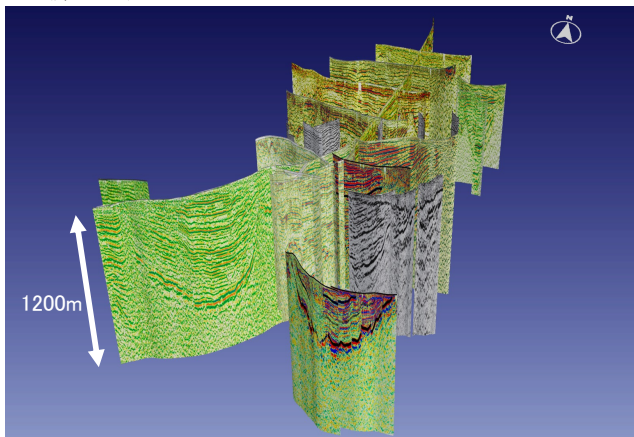
また、VTK ファイル作成時に得られた断面図の XYZ 座標を用いて、Python における標準的な可視化ライブラリである Matplotlib で表示したところ (第 1 図)、特定の角度の視点からの一枚の画像の描画に 10 分以上の時間が必要であった。ParaView を用いれば、任意の視点への変更は容易であり、本研究で用いた手法の優位性が示された。

これは、Matplotlib が二次元の画像の描画を基本としているため、三次元の画像の描画に向いていないことが原因であると考えられる。



第 1 図 京都盆地で実施された反射法地震探査の Matplotlib による可視化

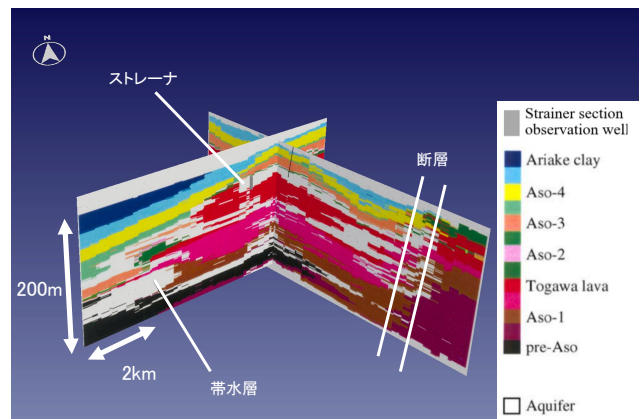
京都盆地では、反射法地震探査断面における海成粘土層の位置を抽出し、三次元的な分布を追跡した。この結果に普通クリギング(OK)を適用することで、三次元分布を推定した (第 2 図)。



第 2 図 京都盆地で実施された反射法地震探査の ParaView による可視化

推定の結果、文献によって海成粘土層の位置の解釈に齟齬が生じている部分があることを明らかにできた。盆地全体での三次元分布が明瞭となり、高精度な京都盆地の三次元地質構造モデリングに繋がった。

熊本平野では、活断層である布田川断層と帯水層の繋がりを、および帯水層と地下水観測井戸のストレーナの位置関係を二次元断面図で表すよりもより直感的に表現することができた (第 3 図)。図は 3 次元最適化原理とモンテカルロシミュレーションによって作成した有明粘土層、阿蘇火砕流堆積物、砥川溶岩、先阿蘇火山岩類などの分布であり、電気検層データと組み合わせて帯水層である可能性が高い部分を白色で表している。図から最浅部の帯水層にストレーナが位置していること、およびこの帯水層が布田川断層と繋がっていることなどが明らかである。



第 3 図 熊本平野の帯水層の ParaView による可視化 (地下構造モデルは Koike and Matsuda (2005) による。灰色線が井戸のストレーナ、白色部が推定帯水層、断層は布田川断層を表す)

5. まとめ

本研究では、Python 用いて地質断面図を VTK ファイルに変換するプログラムを開発し、ParaView によって、京都盆地と熊本平野の地質構造の三次元可視化を行った。

本研究で作成したプログラムおよび利用したプログラムは、地質学的な調査や解析に広く利用することが可能である。また、可視化によって得られる地下構造の詳細な理解は、地下水の流れや地下資源の評価に重要な情報を提供する。

このようなオープンソースのプログラムの開発と活用は、地質学的な調査や解析の効率化と普及に大きく寄与すると考えられる。

文献

- Hosono, T., Yamada, C., Manga, M., Wang, C.-Y. and Tanimizu, M. (2020) Stable isotopes show that earthquakes enhance permeability and release water from mountains. *Nature Communications* 11, 2776.
- Koike, K. and Matsuda, S. (2005) Spatial modeling of discontinuous geologic attributes with geotechnical applications. *Engineering Geology* 78, 143–161.
- 京都市 (2003) 京都盆地の地下構造に関する調査成果報告書.
- 京都府 (2006) 平成 17 年度京都府地震被害想定基礎調査業務報告書.
- 京都大学防災研究所 (2020) 奈良盆地東縁断層帯における重点的な調査観測 令和元年度成果報告書.
- 大阪府 (2003) 大阪平野の地下構造調査成果報告書.