

地層の傾きに関する 3 次元上での定性的な推論について

Qualitative Reasoning on a Three-Dimensional Space about Strata Inclination

谷内 勇太[†]Yuta TANIUCHI[†]高橋 和子[‡]Kazuko TAKAHASHI[‡]

1 はじめに

地震等の防災の観点から、地形の解析と推論は非常に重要であり、現在その多くは数値シミュレーションによってなされている [1]。しかし、地層の形状について大雑把に推論する場合は、正確な数値は不要である。

本研究では、一般の数値シミュレーションとは異なり、定性空間推論 (Qualitative Spatial Reasoning, QSR) [2] を用いて、地層の傾きを推論するという新しいアプローチをとる。

QSR は、図形や画像データなどからユーザの目的に必要な性質のみに着目して、記号で表現しその上で推論を行う手法である。数値や座標を使わないため、人間の認知と合致した表現を与えることが可能で、直観的に理解しやすい。したがって、厳密な数値が必須ではないような事象を扱うときに有意義なアプローチである。

本研究では地層に含まれる層の順序に着目した定性的な表現方法と、その表現上で地層がどの方向に傾いているかを推論する手法を提案する。これはコンパクトな表現であるため、計算機で高速に処理することも可能である。

QSR に関連した研究では、2 次元平面上のオブジェクトを対象とするものが多い。我々は褶曲地層を 2 次元平面上に射影したモデルに対して形状に着目した定性表現を提案している [3]。本発表では、1 次元および 2 次元的地層の形状だけでなく、3 次元的地層の形状も対象とした手法を提案する。

2 記述方法とモデル

2.1 概要

本研究では、複数のボーリング柱状図のデータに基づいて地層の傾きを推論する。まず 2 つの柱状図を含む平面を考える。双方で隣接する層のペアがあればその境界同士を直線で結び、これがない部分に

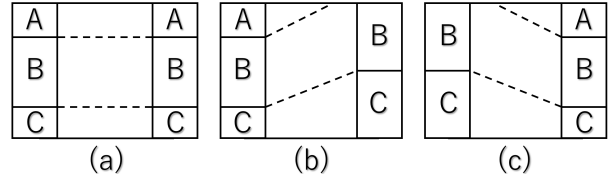


図 1 地層の断面図

は線と線の交差がないように境界線を追加し、2 次元上で傾きを判定する。続いて 3 つの平面を側面として持つ三角柱を作成し、各平面の境界線を含む境界面の 3 次元的地層の傾きを判定する。

最初にボーリング柱状図における地層の構成を、記号列 L で表現する。 L は、柱状図が n 個の層を含むとき、各層を表す記号 A_1, \dots, A_n で構成される。柱状図が与えられたとき、地表から地下の方向で、各層を順に記録して L を得る。なお、1 つの柱状図における各層の厚さの差は無視する。

次に地層の断面として 2 つの柱状図を含む平面を図 1 のようにモデル化する。これを地層の傾き I と断面図の左側、右側それぞれの地層の構成 L_1, L_2 を含めた 3 種類の情報を $I(L_1, L_2)$ で表現する。 I は、地層の傾きを表す Eq, Up, Dn のいずれか 1 つである。これらは左側から右側の方向で境界線が、右上がり、水平、右下がり、であることをそれぞれ表すものであり、 L_1, L_2 から推論される。

最後に地層の構造として、3 つの柱状図から定まる 3 つの断面を含む三角柱を図 2 のようにモデル化する。3 次元的地層の傾きも Eq, Up, Dn を用いて表す。

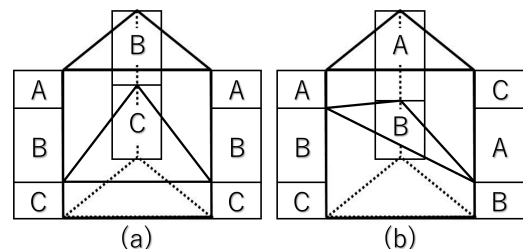


図 2 3 次元的地層モデル

2.2 対象とするモデル

本研究では、実際の地層として頻繁に見られるものに注目するため、図 1 や図 2 のパターンは対象であるが、図 3 や図 4 のようなものは対象外である。

[†] 関西学院大学, Kwansai Gakuin University

[‡] 関西学院大学, Kwansai Gakuin University

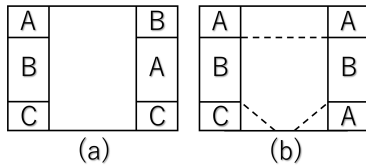


図 3 対象外となる断面図

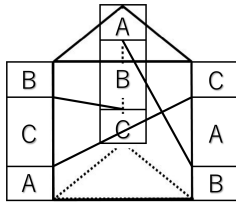


図 4 対象外となるモデル (3 次元)

すなわち、1 つ以上の隣接する層のペアが存在し、すべての地点を結ぶ境界線が少なくとも 1 本はひける必要がある。

図 3(b) は層 A と層 B のペアに対して境界線をひけるが、下部のような構造を持つ地層は存在しないため、このようなパターンは対象外とする。また図 4 は、すべての側面が上記の条件を満たすが、立体的なモデルとしては対象外になる。

ここでは、1 つの柱状図における層の数が 2 個または 3 個で、1 つのモデルに存在する層の種類が 3 個以下のものだけを考える。

3 地層の傾きに関する推論

3.1 2 次元的な傾きの判定

柱状図において最も地上に近い層を取り出す関数を f とする。同様に、2 番目、3 番目に地上に近い層を取り出す関数をそれぞれ s, t とする。層が無い場合、これらの関数の値は ϵ とする。たとえば AB という層の構成に対して $f(L) = A, s(L) = B, t(L) = \epsilon$ である。柱状図のペアが与えられた際に、地層を 2 次元平面に射影したときの傾きは以下のように判定できる。

$$f(L_1) = f(L_2) \wedge s(L_1) = s(L_2) \wedge t(L_1) = t(L_2) \Rightarrow Eq(L_1, L_2)$$

$$s(L_1) = f(L_2) \wedge t(L_1) = s(L_2) \Rightarrow Up(L_1, L_2)$$

$$f(L_1) = f(L_2) \wedge s(L_1) = s(L_2) \wedge t(L_1) = \epsilon \wedge t(L_2) \neq \epsilon \Rightarrow Up(L_1, L_2)$$

$$f(L_1) = s(L_2) \wedge s(L_1) = t(L_2) \Rightarrow Dn(L_1, L_2)$$

$$f(L_1) = f(L_2) \wedge s(L_1) = s(L_2) \wedge t(L_1) \neq \epsilon \wedge t(L_2) = \epsilon \Rightarrow Dn(L_1, L_2)$$

たとえば、図 1(b) における柱状図のペアは 2 つ目の条件に該当し、 $Up(ABC, BC)$ となる。同様に、

(c) は 4 つ目の条件に該当し、 $Dn(BC, ABC)$ となる。なお、本研究では層の厚みを無視しているため、2 次元的な傾きを判定するとき、層の数の情報が必要になる場合がある。具体的には、3 つ目、5 つ目の条件において 3 番目の層の有無が重要となる。

3.2 3 次元的な傾きの判定

3 つの柱状図における地層の構成 L_1, L_2, L_3 が与えられた際に、地層の 2 次元的な傾きの判定結果に基づいて、3 次元的な傾きを推論する。具体的には、図 2 における層 A と層 B の境界面の傾きを推論する。

3 次元的な傾きを次の 4 種類に分類する。傾きを判定するための条件は以下のとおりである。いずれの条件も満たさない場合は地形として存在しない。

$$Eq(L_1, L_2) \wedge Eq(L_2, L_3) \wedge Eq(L_3, L_1) \Rightarrow \text{水平である}$$

$$Eq(L_1, L_2) \wedge Up(L_2, L_3) \wedge Dn(L_3, L_1) \Rightarrow \text{一部だけが高い}$$

$$Eq(L_1, L_2) \wedge Dn(L_2, L_3) \wedge Up(L_3, L_1) \Rightarrow \text{一部だけが高い}$$

$$(Up(L_1, L_2) \wedge Up(L_2, L_3) \wedge Dn(L_3, L_1)) \vee$$

$$(Up(L_1, L_2) \wedge Dn(L_2, L_3) \wedge Dn(L_3, L_1)) \Rightarrow \text{2 段階で傾く}$$

図 2(a) は、図 1(a),(b),(c) の断面から構成された三角柱である。3 つの柱状図における地層の構成を $L_1 = ABC, L_2 = ABC, L_3 = BC$ とすると、 $Eq(L_1, L_2) \wedge Up(L_2, L_3) \wedge Dn(L_3, L_1)$ となるため、 L_3 の部分だけが高いと判定する。同様に図 2(b) は 2 段階で傾くと判定され、図 4 は地形として存在しないと判定される。

4 おわりに

地層の構造を定性的に記号で表現し、2 次元および 3 次元的な傾きを論理的に推論する手法を示した。今後の課題は、層の種類や柱状図の個数を増やし、研究対象を広げることである。また、層の数にかかわらず地層の傾きを推論できる一般的な規則を導き出すことをめざす。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP21K12020 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 狩野 謙一, 村田 明広: “構造地質学,” 朝倉書店, (1998).
- [2] Chen, J., Cohn, A., Liu, D., Wang, S., Ouyang, J., and Yu, Q.: A survey of qualitative spatial representations. *The Knowl. Eng. Rev.* 30(1):106–136 (2013).
- [3] Taniuchi, Y., and Takahashi, K.: Qualitative spatial representation and reasoning about fold strata. ICAART2023, pp. 211–220 (2023).