

地層データの定性表現とその上での推論方法について

Qualitative Spatial Representation and Reasoning for Strata Data

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、地層の構造や形成過程の解析・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。しかし、構造や形成過程について大雑把に推論する際は正確な数値は不要であり、どの層とどの層が隣接しているかや、層がどの方向に曲がっているかなど、定性的な情報さえあれば十分である。

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) [1] を用いて地層の構造を記述し、形成過程についての推論を行うという新しいアプローチをとる。これによって、地震学や構造地質学 [2] の発展に寄与する知見を得ることが期待される。

QSR は、図形や画像データなどを座標や数値を使わずに、着目すべき性質を取り出して記号表現しその上で推論を行う手法である。一般に図形や画像データは、数値を使って表すとデータ量や計算量が多くなるのに対して、QSR によるアプローチではそれらを削減できる。また、人間の認知と合致した表現を与えることができる。したがって、QSR は、必ずしも厳密なデータが必要でないような事象を扱う場合に有効なアプローチである。

地層を定性的に扱う試みは先行研究で行われている [3] が、そこでは 2 次元平面上に写像された地層モデルを X 軸方向と Y 軸方向の 2 つに分けて記述する手法がとられていた。本発表では、このような地層モデルを 1 次元データとして記述する手法を提案し、この記述上で同一性と連続性を推論する手法について述べる。

2 記述方法

本研究では、褶曲構造を図 1 のようにモデル化したものを対象とし、これを定性的に表現する。具体

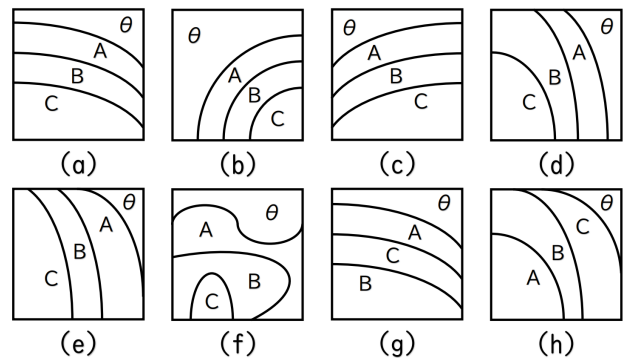


図 1 地層のモデル化

的には、褶曲軸に垂直な面を、有限な矩形領域で切り取り、それを 1 つのデータとして、構成を表す記号列 L と曲率を表す記号 C の組 (L, C) で表現する。ただし、各層の境界線は連続する滑らかな曲線で近似し、その端点は矩形の四隅には重ならないものとする。

L は、地層データが n 個の層を含むとき、各層の領域を表す記号 A_1, \dots, A_n と、空間を表す記号 θ と、矩形領域の左上・右上・右下・左下に対応する記号 1, 2, 3, 4 から構成される。各層および θ で表される領域が、必ず 1 カ所のみ出現するデータを対象とする。

C は、境界線の曲率を 4 パターンに分類した記号 $\curvearrowright, \curvearrowleft, \curvearrowup, \curvearrowdown$ のいずれかである。それぞれの記号は、 \curvearrowright が“上に凸で増加する”， \curvearrowleft が“下に凸で増加する”， \curvearrowup が“上に凸で減少する”， \curvearrowdown が“下に凸で減少する”，を意味する。

地層モデルが与えられたとき、枠を左上から時計回りに一周し、左上・右上・右下・左下に到達したときに記号 1, 2, 3, 4 を記録し、層が変化した際に新しい層を記録することで、 L を得る。なお、 L は、環状のデータであるため、4 よりも後ろにある記号は、4 と 1 の間に出現すると見なされる。

たとえば、図 1 の (a) は $(12ABC34BA\theta, \curvearrowdown)$ 、(b) は $(12ABC3BA\theta4, \curvearrowright)$ 、(e) は $(1BA\theta2A3BC4, \curvearrowup)$ 、(h) は $(1C\theta2C3BA4B, \curvearrowup)$ 、とそれぞれ表現する。

[†] 関西学院大学, Kwansai Gakuin University

[‡] 関西学院大学, Kwansai Gakuin University

3 推論

3.1 同一性の判定

「地層が同一である」とは、各層の隣接関係が完全に一致することである。たとえば、図 1 の (a) と (e) および (f) は同一な構造を持つが、これらと (g), (h) は異なる。

記号列 \mathbf{L} には、1 度だけ出現する、1, 2, 3, 4 ではない記号 $O (\neq \theta)$ が存在する。 θ と O の間の記号列から、1, 2, 3, 4 を除いたものを、構成軸情報とよぶ。2 つの地層データ (\mathbf{L}, \mathbf{C}) と (\mathbf{L}', \mathbf{C}') に対して、 \mathbf{L}, \mathbf{L}' から抽出した構成軸情報を、それぞれ I, I' とおく。 $I = I'$ または $I = inv(I')$ のときに、同一性があると判定する。ただし、 $inv(I')$ は、 I' を逆順に並べた記号列である。

たとえば、図 1 に示す地層モデルの構成軸情報を考えると、(a) と (f) は $CBA\theta$ 、(e) は θABC 、(g) は $BCA\theta$ 、(h) は θCBA 、となる。

3.2 連続性の判定

「地層が連続する」とは、地層そのもの同士が上下または左右に隣接することであり、同一な地層の組だけが連続する可能性を持つ。たとえば、図 1 の (d) と (e) が上下に、(b) と (c) が左右にそれぞれ連続する。連続性の判定に関しては、すべての境界線の曲率が揃っているデータを対象とする。つまり、(f) のような地層モデルは対象外とする。

連続性をもつためには、2 つの地層データ \mathbf{D}, \mathbf{D}' を並べたときに接する辺において、すべての境界線の端点の順序が一致することと、曲率に矛盾がないことの両方を満たす必要がある。

まず、端点に関する条件を示す。データを定性的に扱っているため、端点の正確な位置は考慮しないことに留意されたい。データの四隅 (左上, 右上, 右下, 左下) を占める領域の組を、 $\mathcal{N} = (N_1, N_2, N_3, N_4)$ で表す。また、記号列 \mathbf{L} に対して、1 と 2 の間に出現する記号列を P_0, P_1, \dots, P_{n_p} 、2 と 3 の間に出現する記号列を Q_0, Q_1, \dots, Q_{n_q} 、3 と 4 の間に出現する記号列を R_0, R_1, \dots, R_{n_r} 、4 と 1 の間に出現する記号列を S_0, S_1, \dots, S_{n_s} 、と記す。以下に、地層データを表す記号列 \mathbf{L} から、 \mathbf{N} を抽出する方法を記す。

n_p, n_q, n_r, n_s のすべてが 0 でない場合、 N_1 は S_{n_s} 、 N_2 は P_{n_p} 、 N_3 は Q_{n_q} 、 N_4 は R_{n_r} 、となる。

n_p, n_q, n_r, n_s のうち 1 つ以上が 0 である場合は、記号 1, 2, 3, 4 を越え、1 つ前の記号をとる。たとえば、 $n_q = 0$ かつ $n_p \neq 0$ のときは $N_3 = P_{n_p}$ 、 $n_q = 0$ かつ $n_p = 0$ かつ $n_s \neq 0$ のときは $N_3 = S_{n_s}$ 、のようになる。

図 1 の (d) は、 $\mathbf{L} = 1A\theta 23ABC4B$ であり、この場合、2 と 3 の間に記号がないので、 N_3 は θ となり、 $\mathbf{N} = (B, \theta, \theta, C)$ を得る。(e) では、4 と 1 の間に記号がないので、 N_1 は C となり、 $\mathbf{N} = (C, \theta, A, C)$ を得る。

続いて、 $\mathcal{N} = (N_1, N_2, N_3, N_4)$ と $\mathcal{N}' = (N'_1, N'_2, N'_3, N'_4)$ に対して、端点の順序が等しいかどうかを判定する方法を記す。同一なデータに注目しているため、上下の連続性を考える場合には、上側のデータの左下と右下を占める領域と、下側のデータの左上と右上を占める領域をしらべればよい。したがって、 $N_4 = N'_1$ かつ $N_3 = N'_2$ ならば、 \mathbf{D} が上側で \mathbf{D}' が下側の場合に、連続性があると判定する。同様に、左右の連続性は、 $N_2 = N'_1$ かつ $N_3 = N'_4$ が、 \mathbf{D} が左側で \mathbf{D}' が右側の場合の判断基準となる。

“地層は連続する滑らかな曲線である”と仮定しているため、左右の連続性を判定するには、曲率の整合性も考慮する必要がある。これは、曲率を表す記号 \mathbf{C} の組み合わせに基づいて、判定する。たとえば、左側が $\mathbf{C} = \blacktriangledown$ で、右側が $\mathbf{C} = \blacktriangleright$ の場合、境界線の中央が尖った形状となるため、連続性がないと判定する。図 1 の (a) と (c) がこのような例である。

4 おわりに

地層の特性に着目した定性的な記述方法を提案しその上で同一性と連続性を判定する手法を示した。この記述は既存の方法による記述 [3] よりコンパクトな表現であり、同等の推論が可能である。今後の課題は、対象とする地層を増やすことや、与えられた記述に対応する自然な地層が存在するための“記述の満たすべき条件”を求めることなどが挙げられる。

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] Chen, J., Cohn, A., Liu, D., Wang, S., Ouyang, J., and Yu, Q. A survey of qualitative spatial representations. *The Knowledge Engineering Review*, 30(1):106–136 (2013).
- [2] 狩野 謙一, 村田 明広: “構造地質学,” 朝倉書店, (1998).
- [3] 高橋和子, 守安諒祐: “地層データの定性空間表現について,” 情報処理学会第 84 回全国大会, (2022).