

定性的形状に基づく2次元平面上の曲線分の表現および その連結に関する推論

Representation of Curves and Reasoning on Their Connection on a Two-Dimensional Plane Based on Qualitative Shape

高橋 和子^{1*} 谷内 勇太¹ 森田 凌平¹ 黒岩 杏衣¹
Kazuko Takahashi¹ Yuta Taniuchi¹ Ryohei Morita¹ Ai Kuroiwa¹

¹ 関西学院大学

¹ Kwansai Gakuin University

Abstract: We propose a theoretical framework for qualitative spatial representation and reasoning about curves on a two-dimensional plane. We regard a curve as a sequence of segments each of which has its own direction and convexity, and give a symbolic expression to it. We then show reasoning method on its expression; when only few segments of a curve are visible, we find missing segments by connecting them so that we can get a global smooth continuous curve.

1 Introduction

曲線は細胞のようなマイクロなものから地形のようなマクロなものまで多くのオブジェクトに見られる。それらのオブジェクトの画像解析にあたっては、部分的に欠けているデータや不明瞭なデータが与えられたときに全体の形状を推測するような課題も多い。たとえば、構造地質学でとりあげられる問題の1つに、離れたところで観測された地層の状況から過去にそれらをつないだ地層がどのようなものであったかを推測するというものがある。

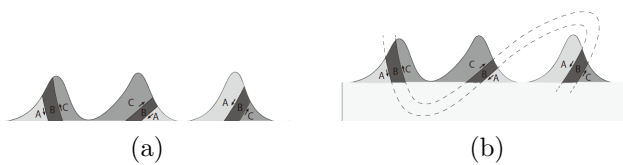


図 1: 局所データから大域的な地層を予測

図 1(a) のように 3 つの層 (A, B, C) から成る地層データが離れた 3 か所で観測されたとする。このときこれらをつなぐ大きな地層を推測することを考える。この例では図 1(b) が 1 つの解答となる。

通常の画像処理では画像データは同一サイズの単位データに分割されて扱われるため、あるオブジェクトを表現するのに同一あるいはほとんど違いないデー

タが連続することが多い。しかし、この問題においては、大域的な地層の概形を求めるのが目標であると考え、データをこのような形でもつのは無駄が多い。一般に、我々は曲線を認識するとき、変曲点や極点で区切って同一の変化をしている部分は 1 つにまとめてその概形をとらえており、これに即したオブジェクトの表現が望ましい。

本研究では、曲線を記号的に扱う新たなアプローチとして定性空間推論 (Qualitative Spatial Reasoning (QSR) [1, 9]) を提案する。QSR は人間の認知にあった表現やその上での推論を与える手法であり、空間データの特定の側面にのみ着目し、その性質によってデータを同一視したり区別して扱うものである。

本稿では、2次元平面上の曲線を定性的に扱う手法を述べる。曲線を切り取って局所的なデータをセグメントとみなし、セグメントの形とセグメント間の方向関係を形式化する。そして、2次元平面上で離れた場所に配置された局所データ同士を接続することで連続曲線を生成する方法について議論する。

本稿の目標は以下の 2 つの問題の定式化である。

- 2 つのセグメントの連結と、連結した結果得られる大域的曲線の始点と終点の方向関係に関する推論
- 与えられた方向関係を満たす 2 つのセグメントの連結と、大域的曲線を得るために補間されるセグメントに関する推論

本稿は以下のように構成される。第 2 節では基本概念を説明する。第 3 節ではセグメントの接続の規則を与

*連絡先: 関西学院大学工学部
〒 669-1330 兵庫県三田市学園上ヶ原 1 番
E-mail: ktaka@kwansai.ac.jp

え，連結の結果得られる大局的曲線の始点と終点の方向関係に関する推論を示す．第4節では方向関係が指定されたセグメント同士の接続について議論する．第5節では関連研究と比較する．最後に第6節で結論を述べる．

2 基本概念

2次元平面上の有向曲線のセグメントに対し，各セグメントの方向と凸性のみ注目し，正確なサイズや曲率は無視してその形状を定性的に表す．また，ここでは直線はないものとする．図2(a)に示された2つのセグメントは，曲率を無視すると方向および凸性は一致しているためこれらは定性的に等しいと見なす(図2(b))．したがって，この2つを連結して得られる新たな曲線は特異点を持たない1つのセグメントと見なされる(図2(c))．



(a) 2つのセグメント (b) 定性的扱い (c) 一体化

図2: 定性的な形

$S_v = \{n, s\}$, $S_h = \{e, w\}$, $Conv = \{cx, cc\}$ および $Dir = S_v \cup S_h$ とする．ここで，記号 n, s, e, w はそれぞれ上，下，右，左を表し， cx, cc はそれぞれ上に凸，下に凸を表す．

定義1. $Dir \cup Conv$ 上で逆の要素を割り当てる関数 i を定義する．

- $i(n) = s, i(s) = n$
- $i(e) = w, i(w) = e$
- $i(cx) = cc, i(cc) = cx$

任意の $E \in Dir \cup Conv$ に対して $i(i(E)) = E$ が成り立つ．

2次元平面上の有向曲線のセグメントを $V \in S_v, H \in S_h, C \in Conv$ である3項組 (V, H, C) で表す． $X = (V, H, C)$ の3つの引数はそれぞれ上下方向，左右方向，凸性を表し，それぞれ $dv(X), dh(X), cv(X)$ で参照される．

$dir(X) = (dv(X), dh(X))$ は $init(X)$ に対する $term(X)$ の相対的方向を示す．

$dv(X) = dv(Y)$ かつ $dh(X) = dh(Y)$ のとき $dir(X) = dir(Y)$ とする．

$dir(X) = dir(Y)$ かつ $cv(X) = cv(Y)$ であるとき X, Y は同値とし $ssp(X, Y)$ と表記する．この結果，

2次元平面上の有向曲線のセグメントの集合は8つの同値類に分類される．この同値類の集合を S とおく． $X \in S$ の始点と終点をそれぞれ $init(X), term(X)$ と表記する．

3 連結規則

3.1 直接連結

特異点や自己交差を持たない円滑な2次元平面上の有限曲線を *scurve* とよぶ．複数のセグメントを連結することで *scurve* を生成する．

まず，2つのセグメントを方向関係の制約条件がないときに連結して *scurve* を得ることを考える．

$X, Y \in S$ に対して $init(Y)$ と $term(X)$ を同一視することで *scurve* が得られるとき， X と Y は直接連結可能であるといい，連結した結果を $X \cdot Y$ と表す．

$dir(X \cdot Y)$ を $V \in S_v, H \in S_h$ である2項組 (V, H) で表す． $dir(X \cdot Y)$ は $init(X)$ に対する $term(Y)$ の相対的方向を示す．

セグメントのペアは直接連結によって変曲点または極点を形成する． $X, Y \in S$ に対して $ifl(X, Y)$ は $X \cdot Y$ が変曲点を持つことを表し， $xtr(X, Y, D)$ は $X \cdot Y$ が $D \in Dir$ の方向に極点を持つことを表す．

定義2. • X, Y は直接連結可能 iff $ssp(X, Y)$ or $ifl(X, Y)$ or $xtr(X, Y, *)$.

- $ifl(X, Y)$ iff $X = (V, H, C)$ and $Y = (V, H, i(C))$.
- $xtr(X, Y, V)$ iff $X = (V, H, C)$ and $Y = (i(V), H, C)$.
- $xtr(X, Y, H)$ iff $X = (V, H, C)$ and $Y = (V, i(H), i(C))$.

$X, Y \in S$ に対して以下の $X \cdot Y$ に関する性質が成り立つ(図3)．

- $ssp(X, Y) \Rightarrow dir(X \cdot Y) = dir(X) = dir(Y)$
- $ifl(X, Y) \Rightarrow dir(X \cdot Y) = dir(X) = dir(Y)$
- $xtr(X, Y, D) \wedge D \in S_v \Rightarrow dir(X \cdot Y) = (*, dh(X))$
- $xtr(X, Y, D) \wedge D \in S_h \Rightarrow dir(X \cdot Y) = (dv(X), *)$

ここで， $*$ は非決定性を表す．たとえば， $xtr(X, Y, D)$ ただし $D \in S_v$ のとき， Y の描き方によって $dh(X \cdot Y) = n$ または s のいずれかが成立する(図4)．このことから， $dir(X \cdot Y) = dir(Y)$ を満たすような Y の描き方が存在することがわかる．これは定性的な扱いによるものである．

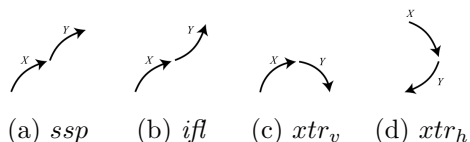


図 3: 直接連結可能なセグメント

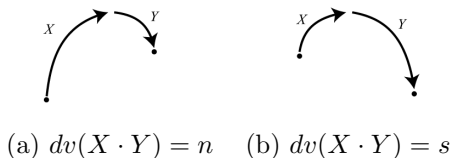


図 4: $X \cdot Y$ の描き方

3.2 間接連結

$X, Y \in S$ が直接連結可能でない場合は, X と Y の間に S の要素を補間することで X, Y 間の *scurve* を得る.

$X_1, \dots, X_k \in S$ ($k \geq 2$) に対して X_j, X_{j+1} ($\forall j; 1 \leq j \leq k-1$) が直接連結可能ならば, X_1, X_k は連結可能といい, 連結の結果得られる曲線を $X_1 \dots X_k$ と表す.

連結を表すオペレータ ' \cdot ' は結合律を満たす. すなわち, 任意の $X, Y, Z \in S$ に対して $(X \cdot Y) \cdot Z = X \cdot (Y \cdot Z)$ である.

定義 3. $X_0 \cdot X_1 \dots X_{k+1}$ ($k \geq 1$) ただし $X = X_0, Y = X_{k+1}$ に対して $X_0 \cdot X_1 \dots X_{k+1}$ を X から Y への経路とよび, $X - Y$ と表す. このとき k を $X - Y$ の補間数とよび, X_1, \dots, X_k を補間セグメントとよぶ. 経路 $X - Y$ の中で k が最小となるものを $X - Y$ の最短経路とよび, そのときの k を $X - Y$ の最小補間数 (MIN) とよぶ. X, Y が直接連結可能なときは, $X \cdot Y$ を補間数 0 の経路と定義する.

経路 $X - Y$ は無限個存在することに注意.

例 1. $X = (n, e, cx)$, $Y = (n, w, cc)$ の場合の経路 $X - Y$ を考える. $X_1 = (n, e, cc)$, $X_2 = (n, w, cx)$ をとると, $X \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot Y$ は経路 $X - Y$ になる (図 5(a)). $X'_1 = (s, e, cx)$, $X'_2 = (s, w, cc)$ をとると, $X \cdot X'_1 \cdot X'_2 \cdot Y$ も経路 $X - Y$ になる (図 5(b)). これらはいずれも $X - Y$ の最短経路になっている. さらに $X_3 = (s, e, cc)$ をとると, $X \cdot X'_1 \cdot X_3 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot Y$ も経路 $X - Y$ になる (図 5(c)).

連結に関しては以下の性質が成り立つ.

命題 1. 1. $ifl(X, Z) \wedge ifl(Z, Y) \Rightarrow ssp(X, Y)$

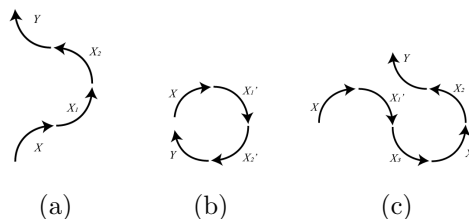


図 5: X から Y への様々な経路

2. $xtr(X, Z, D) \wedge ssp(Z, Y) \Rightarrow xtr(X, Y, D)$
3. $ssp(X, Z) \wedge xtr(Z, Y, D) \Rightarrow xtr(X, Y, D)$
4. $ifl(X, Z) \wedge ssp(Z, Y) \Rightarrow ifl(X, Y)$
5. $ssp(X, Z) \wedge ifl(Z, Y) \Rightarrow ifl(X, Y)$
6. $xtr(X, Z_1, D_1) \wedge ifl(Z_1, Z_2) \wedge xtr(Z_2, Y, D_2) \Rightarrow ifl(X, Y)$
7. $xtr(X, Z_1, D_1) \wedge xtr(Z_1, Z_2, D_2) \wedge xtr(Z_2, Y, D_3) \Rightarrow ifl(X, Z_3) \wedge xtr(Z_3, Z_4, D_4) \wedge ifl(Z_4, Y)$
8. $ifl(X, Z_1) \wedge xtr(Z_1, Z_2, D_1) \wedge xtr(Z_2, Y, D_2) \Rightarrow xtr(X, Z_3, D_3) \wedge xtr(Z_3, Z_4, D_4) \wedge ifl(Z_4, Y)$

証明:

1. $ifl(X, Z)$ かつ $ifl(Z, Y)$ ならば $dir(Z) = dir(Y) = dir(X)$, $cv(X) = i(cv(Y)) = i(i(cv(X))) = cv(X)$ である. したがって $ssp(X, Y)$.

2-5. 明らか.

6. $X = (V, H, C)$ とおく.

$D_1 \in S_v$ の場合, $xtr(X, Z_1, D_1)$ なので $Z_1 = (i(V), H, C)$. $ifl(Z_1, Z_2)$ なので $Z_2 = (i(V), H, i(C))$. 一方, Z_2, Y は直接連結可能であり, また $xtr(Z_2, Y, D_2)$ が成り立つことから $D_2 = i(D_1)$ が成り立つ. したがって, $Y = (i(i(V)), H, i(C)) = (V, H, i(C))$. したがって, $ifl(X, Y)$ (図 9(a)).

$D_1 \in S_h$ の場合, $xtr(X, Z_1, D_1)$ なので $Z_1 = (V, i(H), i(C))$. $D_1 \in S_v$ の場合と同様に証明できる.

7. $X = (V, H, C)$ とおく.

$D_1 \in S_v$ の場合, $D_2 \in S_h, D_3 \in S_v, D_4 \in S_h$ になる. また, $xtr(X, Z_1, D_1)$ なので $Z_1 = (i(V), H, C)$ が成り立つ. すると, $xtr(Z_1, Z_2, D_2)$ から $Z_2 = (i(V), i(H), i(C))$ が成り立つ. すると, $xtr(Z_2, Y, D_3)$ から $Y = (V, i(H), i(C))$ が成り立つ (図 9(b)). 一方, $ifl(X, Z_3)$ なので $Z_3 = (V, H, i(C))$ が成り立つ. すると, $xtr(Z_3, Z_4, D_4)$ から $Z_4 = (V, i(H), C)$ が成り立つ. すると, $ifl(Z_4, Y)$ から $Y = (V, i(H), i(C))$ が成り立つ (図 9(c)).

$D_1 \in S_h$ の場合, $D_2 \in S_v, D_3 \in S_h, D_4 \in S_v$ になる. また, $xtr(X, Z_1, D_1)$ なので $Z_1 = (V, i(H), i(C))$

が成り立つ。すると, $xtr(Z_1, Z_2, D_2)$ から $Z_2 = (i(V), i(H), i(C))$ が成り立つ。すると, $xtr(Z_2, Y, D_3)$ から $Y = (i(V), H, C)$ が成り立つ (図 9(d)). 一方, $ifl(X, Z_3)$ なので $Z_3 = (V, H, i(C))$ が成り立つ。すると, $xtr(Z_3, Z_4, D_4)$ から $Z_4 = (i(V), H, i(C))$ が成り立つ。すると, $ifl(Z_4, Y)$ から $Y = (i(V), H, C)$ が成り立つ (図 9(e)).

8. 7 と同様に証明できる。

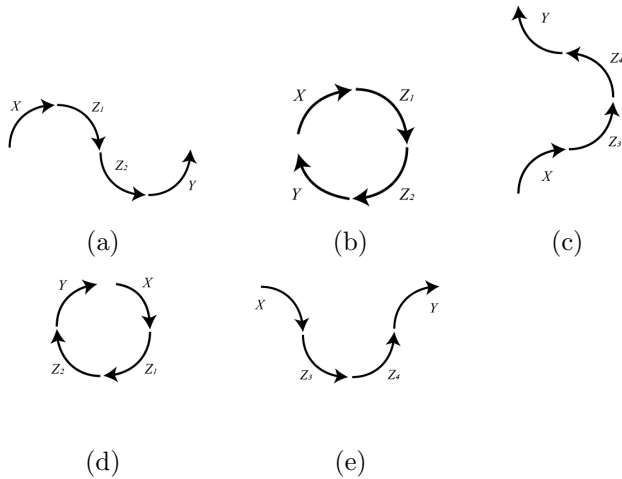


図 6: X, Y の連結

$dir(X_1 \dots X_n)$ を $V \in S_v, H \in S_h$ である 2 項組 (V, H) で表す。 $dir(X_1 \dots X_n)$ は $init(X_1)$ に対する $term(X_n)$ の相対的方向を示す。

直接連結可能でない $X, Y \in S$ に対しては、間接連結した経路において変曲点や極点が生成されている。

X から Y への最短経路を考える。

経路 $X - Y$ に対して補間数が 3 以上の経路が存在する場合、2 以下の補間数の別の経路が必ず存在する。また、補間数が同一の異なる経路が存在する場合がある。

命題 1 と ‘ \circ ’ オペレータの結合性から $X, Y \in S$ に対して以下の性質が成り立つ。

- $X - Y$ の MIN が 0 iff $ssp(X, Y), ifl(X, Y), xtr(X, Y)$ のいずれかが成り立つ。
- $X - Y$ の MIN が 1 iff 以下のいずれかが成り立つ, ただし Z は補間セグメントである。
 - $xtr(X, Z, D)$ かつ $ifl(Z, Y)$ (図 7(a))
 - $xtr(X, Z, D_1)$ かつ $xtr(Z, Y, D_2)$ (図 7(b))
 - $ifl(X, Z)$ かつ $xtr(Z, Y, D)$ (図 7(c))
- $X - Y$ の MIN が 2 iff 以下のいずれかが成り立つ, ただし Z_1, Z_2 は補間セグメントである。

- $ifl(X, Z_1)$ かつ $xtr(Z_1, Z_2, D)$ かつ $ifl(Z_2, Y)$ (図 7(d))
- $xtr(X, Z_1, D_1)$ かつ $xtr(Z_1, Z_2, D_2)$ かつ $ifl(Z_2, Y)$ (図 7(e))

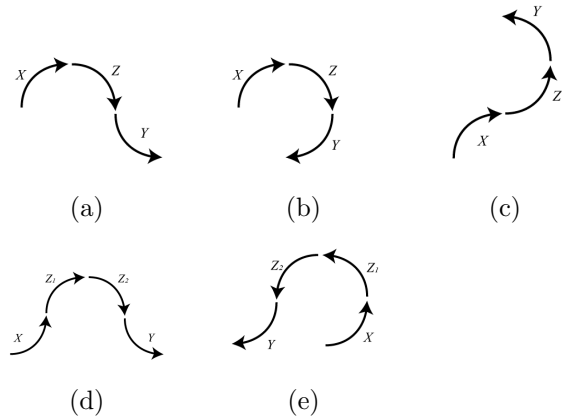


図 7: 連結パターン

したがって、以下の命題が成り立つ。

命題 2. 任意の $X, Y \in S$ に対し, $X - Y$ の MIN は 0, 1, 2 のいずれかである。

4 相対的位置関係

前節では, $X, Y \in S$ である X, Y を連結する最短経路について調べ、セグメントを補間することで *scurve* が生成されてときに X, Y の相対的方向がどうなるかについて議論した。本節では、逆に X, Y の相対的方向が指定されたとき, X, Y を連結して *scurve* を得るために補間するセグメントやその数について議論する。

$X, Y \in S$ に対し, Y の X に対する相対的方向を表す関係 $rdir(X, Y)$ を導入する。

$rdir(X, Y)$ を $V \in S_v, H \in S_h$ である 2 項組 (V, H) で表す。

$rdir(X, Y)$ は $term(X)$ に対する $init(Y)$ の相対的方向を示す。

$rdir(X_1, Y_1) = (V_1, H_1), rdir(X_2, Y_2) = (V_2, H_2), dir(X) = (V, H)$ とおく。 $V_1 = V_2$ かつ $H_1 = H_2$ のとき $rdir(X_1, Y_1) = rdir(X_2, Y_2)$ とする。また, $V_1 = V$ かつ $H_1 = H$ のとき $rdir(X_1, Y_1) = dir(X)$ とする。

例 2. $ssp(X, Y)$ ならば X, Y は直接連結可能だが, $rdir(X, Y) = (s, w)$ が与えられたとき, 直接連結ではこの関係を満たすことはできない (図 8)。

この例のような場合, 指定された $rdir$ を満たすために X と Y の間にセグメントを補間する必要がある。

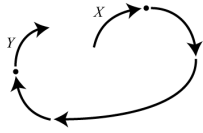


図 8: 指定された方向関係を満たす連結

定義 4. 経路 $X_0 \cdot X_1 \cdot \dots \cdot X_{k+1}$ ($k \geq 1$), ただし $X = X_0, Y = X_{k+1}$, が与えられた $rdir$ を満たすとする. このとき k を $X - Y$ の $rdir$ を満たす補間数とよぶ. 経路 $X - Y$ の中で k が最小となるものを, $X - Y$ の $rdir$ を満たす最短経路とよび, そのときの k を $X - Y$ の $rdir$ を満たす最小補間数 (RMIN) とよぶ.

$rdir(X, Y)$ が与えられたとき $X - Y$ の RMIN を以下の手順で求める. まず, $dir(X') = dir(Y') = rdir(X, Y)$ を満たすようなセグメント X', Y' を X, Y の間に挿入して $X - Y$ を $X - X', X' - Y', Y' - Y$ の 3 つの部分に分割し, それぞれの部分に対する補間セグメントを考え, そのあとそれらをつなげる.

以下で, この 3 つの部分それぞれに対する補間セグメントを示す.

[1] $X' - Y'$

$dir(X') = rdir(X, Y)$ を満たす X' の形状は上に凸なものとな下に凸なもの 2 通り存在する. Y' についても同様である. これらはどのように組み合わせても $X' - Y'$ の補間数は 0 である.

[2] $X - X'$

命題 2 より, $X - X'$ の $rdir$ を満たす補間数は 2 以下である. しかし, [1] で述べたように $dir(X') = rdir(X, Y)$ を満たす X' の形状は 2 通り存在する.

ここで, $X - X'$ の $rdir$ を満たす補間数が 2 だと仮定し, この経路を $X \cdot Z_1 \cdot Z_2 \cdot Y$ とおく. すると, 命題 1 から $ifl(Z_2, Y)$ と考えてよい. すると, $cv(Y) = i(cv(Z_2))$ が成り立つ. このことから, 補間数が 2 の場合, 場合に応じて $cv(X')$ を cx, cc のいずれかにとることで補間数を 1 にすることができる.

命題 3. k を $X - X'$ の RMIN とすると, $0 \leq k \leq 1$ が成り立つ.

証明: $dir(X') = (V, H)$ とおく. X の形状ごとに命題が成り立つことを証明する. 図 9 は $dir(X') = (s, e)$ を例としたときの X の形状ごとの連結を表す.

1. $X = (V, H, cx)$.

$cv(X') = cx$ ととると X, X' は直接連結可能なので $k = 0$ (図 9(a)).

2. $X = (V, H, cc)$.

$cv(X') = cc$ ととると X, X' は直接連結可能なので $k = 0$ (図 9(b)).

3. $X = (i(V), H, cx)$.

$cv(X') = cx$ ととると $xtr(X, X', i(V))$ から X, X' は直接連結可能なので $k = 0$ (図 9(c)).

4. $X = (i(V), H, cc)$.

$cv(X') = cx$ ととると $Z = (i(V), H, cx)$ をとると $ifl(X, Z)$ かつ $xtr(Z, X', i(V))$ を満たすので $k = 1$ (図 9(d)).

5. $X = (i(V), i(H), cx)$.

$cv(X') = cc$ ととると $Z = (V, i(H), cx)$ をとると $xtr(X, Z, i(V))$ かつ $xtr(Z, X', i(H))$ を満たすので $k = 1$ (図 9(e)).

6. $X = (i(V), i(H), cc)$.

$cv(X') = cx$ ととると $Z = (i(V), H, cx)$ をとると $xtr(X, Z, i(H))$ かつ $xtr(Z, X', i(V))$ を満たすので $k = 1$ (図 9(f)).

7. $X = (V, i(H), cx)$.

$cv(X') = cc$ ととると $xtr(X, X', i(H))$ から X, X' は直接連結可能なので $k = 0$ (図 9(g)).

8. $X = (V, i(H), cc)$.

$cv(X') = cc$ ととると $Z = (V, i(H), cx)$ をとると $ifl(X, Z)$ かつ $xtr(Z, X', i(H))$ を満たすので $k = 1$ (図 9(h)).

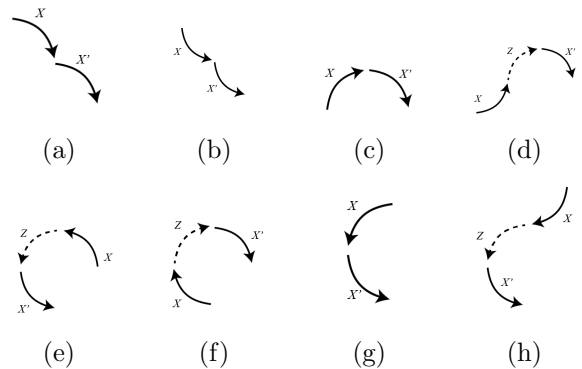


図 9: $X - X' : rdir(X, Y) = (s, e)$ の場合

したがってこの命題が成り立つ.

[3] $Y' - Y$

同様に, $dir(Y') = rdir(X, Y)$ が与えられたとき, $Y' - Y$ の RMIN は 1 以下になる.

最後に, [1]-[3] の結果をまとめて $X - Y$ を生成する. 各部分の補間セグメントに X', Y', X, Y を加える

と, $X - Y$ を構成するセグメントの数は 4 から 6 になる .

$X_1 \dots X_n$, ただし, $X = X_1, Y = X_n$, を $X - Y$ の $rdir$ を満たす最短経路とする . ここで, X', Y', X, Y それぞれの直接連結部分は $ssp(X_{i-1}, X_i)$ ($\forall i; 1 < i \leq n$) になっている可能性があり, この部分は定性的扱いによってあわせて 1 つのセグメントとして捉えられる . したがって $X - Y$ を構成するセグメントの数は 1 以上 6 以下になる .

定理 1. $X, Y \in S$ に対し, $rdir(X, Y)$ が与えられたとき, これを満たす $X - Y$ を構成するセグメントの数は 1 から 6 になる .

5 関連研究

QSR については多くの研究がなされているが, 形状, 特に曲線に着目したものは少ない . オブジェクトの境界線をセグメントに分割しそれを並べることでオブジェクトの形状を表した研究はいくつか見られる [5, 3, 4, 8, 13, 2]. しかし, これらの研究では離れたところに配置されたオブジェクト同士の連結は扱っていない .

方向性に着目した QSR の体系はいくつか提案されている . Skiadopoulos らは領域同士の相対的位置を 2 項関係で表現した Cardinal Direction Calculus (CDC) を提案した [10] . Moratz らはオブジェクトの相対的位置を 3 項関係で表現した OPRA を提案した [6, 7] . OPRA では単位となるオブジェクトは始点と終点をもつベクトルであり, この意味では我々の形式化と OPRA は同じ特徴を持つ . ただし, OPRA の単位オブジェクトは属性として凸性を持っていないため, 連結によって円滑な曲線を生成するという応用はできない .

Taniuchi らは褶曲地層を複数の曲線から成るデータとしてモデル化し, それに関する定性表現と局所データから連結規則に基づいて大局データを導出する方法を提案した [12] . しかし, 局所データ同士の相対的な方向については扱っていない .

6 おわりに

本稿では, 曲線の記号表現上での扱いについて述べた . 具体的には, 2 次元平面上の曲線の構成単位をセグメントとしてそれらの連結や相対的方向関係に関する推論を定性空間表現を用いて形式化した . これによって, 曲線全体の形状を把握するにあたり, 離れた位置でしかデータを得られないような制約条件があっても, 与えられたデータのみから全体の形状を推論しそれに論理的な根拠を与えることができる . 本稿で述べたア

プローチは, 不鮮明な部分を含む医療画像データの解析や回路における配線問題にも応用可能だと考えられる .

連結によって得られる曲線全体がらせん状になると, 自然界のオブジェクトの境界線としては不適切である . らせん状になるかどうかの判定について今後考察していく予定である .

謝辞

本研究は科研費 JP21K12020 の助成を受けたものである .

参考文献

- [1] Chen, J. et al.: A survey of qualitative spatial representations. *Knowl. Eng. Rev.*, **30**, 106–136 (2013)
- [2] Falomir, Z., Pich, A., Costa, V.: Spatial reasoning about qualitative shape compositions: Composing qualitative lengths and angles. *Ann. Math. Artif. Intell.*, **88**, 589–621 (2020)
- [3] Galton, A., Meathrel, R.: Qualitative outline theory. *Proceedings of the IJCAI1999*, pp. 1061–1066 (1999)
- [4] Kulik, L., Egenhofer, M.J.: Linearized terrain: Languages for silhouette representations. *COSIT2003*, pp. 118–135 (2003)
- [5] Leyton, M.: A process-grammar for shape. *Artif. Intell.*, **34**, 213–247 (1988)
- [6] Moratz, R.: Representing relative direction as a binary relation of oriented points. *ECAI2006*, pp. 407–411 (2006)
- [7] Mossakowski, T., Moratz, R.: Qualitative reasoning about relative direction of oriented points. *Artif. Intell.*, **180-181**, 34–45 (2012)
- [8] Pich, A., Falomir, Z.: Logical composition of qualitative shapes applied to solve spatial reasoning tests. *Cognit. Syst. Res.*, **52**, 82–102 (2018)
- [9] Sioutis, M., Wolter, D.: Qualitative spatial and temporal reasoning: current status and future challenges. *IJCAI2021*, pp. 4594–4601 (2021)
- [10] Skiadopoulos, S., Koubarakis, M.: Composing cardinal direction relations. *Artif. Intell.*, **152(2)**, 143–171 (2004)
- [11] Stock, O.: *Spatial and Temporal Reasoning*. Kluwer Academic Publishers (1997)
- [12] Taniuchi, Y., Takahashi, K.: Qualitative spatial representation and reasoning about fold strata. *ICAART2023*, pp. 211–220 (2023)
- [13] Tosue, M., Takahashi, K.: Towards a qualitative reasoning on shape change and object division. *COSIT2019*, pp. 7:1–7:15 (2019)