

COT 表現を用いた地形図の解析

—日本の湖周辺を対象として—

2017SE013 服部哲也

指導教員：横山哲郎

1 はじめに

私たちの身の回りには、河川の流れや気流、血流など多くの流れが存在する。近年では技術の発展によって、多くの流れの情報を得ることができる。しかし、この解析方法は膨大なデータを使用する。データの特徴量のみを抽出して解析する手法として流れのトポロジーという観点に注目したトポロジカル流れデータ解析 (TFDA: Topological Flow Data Analysis) がある。トポロジーとは、連続的に変形可能な図形を同じとみなす考え方で、位相幾何学ともいう。輪ゴムで四角形と三角形を作るとき、位相幾何学では連続的に変形している点から同じ図形と考える。TFDA はベクトル場や流線軌道などの流れデータから COT という文字列を割り当てて表現する技術である。この解析手法により、わずかなデータによる解析や、分野を超えた流れデータの活用が期待される。

本研究では、地形図を対象として等高線に COT 表現を割り当て評価を行う。等高線は流れではないが、トポロジカルな性質を持つため対象としても成り立つといえる。本研究の目的は、手作業で文字列の割り当てができるか確認すること、COT 表現から地形の特徴に対する分類をすること、地形のトポロジカルな性質による地形図の効率的かつ効果的な解析が行えるか検証することの3点である。関連研究として、ブロッキング現象の同定や低圧部、高圧部の表現など気象分野の判断指標として有用性があることが確認できている。本研究においても、TFDA が地形に関連する分野において有用性があるかを確認することが期待される。

2 前提条件

TFDA を用いた研究において対象の流れは、多重連結領域で非粘性・非圧縮性の構造安定の流れであるという制約条件がある [1]。

多重連結領域は、流れのある領域内に複数の障害物が含まれる状態のことを指す。非粘性は、流れの境界に抵抗する力が働かない性質のことを指す。非圧縮性は、変形による密度変化がない性質のことを指す。構造安定は、小さな乱れが加わっても流れの位相的構造が変化しないものを呼ぶ [2]。また、本研究において一様流は左から右への流れとし、反時計回りの流れを +、時計回りの流れを - とする。

3 COT 表現

COT 表現とは部分円順序表現 (partially Cyclic Ordered Tree representation) のことで、流れの階層的な構造の情報を表現できる。主に「基本構造」と「局所部分構造

造」から構成される [3]。横山らによって開発された。

3.1 基本構造と局所部分構造

基本構造とは、流れのある領域内に障害物が何もないときの流れであり、非有界領域内は a_0 のような一様流、有界領域内では β_{0+}, β_{0-} のような回転流を指す [2]。図 1 に基本構造を示す。

局所的構造は $(a_-, a_+, a_2, b_{++}, b_{--}, b_{+-}, b_{-+}, c_+, c_-, \beta_+, \beta_-, \sigma_+, \sigma_-)$ の 13 の構成要素からなる [4]。以下に構成要素の説明を示す。また図 2 に局所部分構造を示す。

a_-, a_+ は一様流に 1 つの + または - の流れ (ループ) がついた構造を表す。 a_2 は一様流が障害物に接続することを表す a_-, a_+, a_2 を A 系列と呼ぶ。

b_{++}, b_{--} は 2 つの + または - の流れ (ループ) のある 8 の字の流れを表す。 b_{+-}, b_{-+} は + または - の回転流の内側に逆向きの回転流が生じているときの流れを表す。 β_+, β_- は障害物の境界の + または - の流れを表す。 $b_{++}, b_{+-}, b_{--}, b_{-+}, \beta_+, \beta_-$ を B 系列と呼ぶ。

c_+, c_- は + または - の流れが生じる障害物の境界上に、同じ向き渦が生じているときの流れを表す。 c_+, c_- のように流れのある障害物の境界上に渦が生じる流れを C 系列と呼ぶ。

σ_+, σ_- は渦中心 (center) のことである。 σ_+ は反時計回りの中心、 σ_- は時計回りの中心を表す。

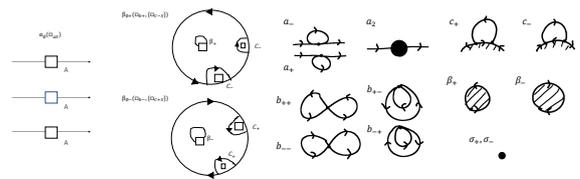


図 1 基本構造

図 2 局所部分構造

3.2 木構造

COT 表現は文脈自由文法で記述がされており、円環構造をもつ木構造が定義される。生成された木表現は流線の形状を表す。

本研究では、木表現は [6] によって定められた木文法を用いる。木文法 $G = (S, N, F, R)$ を定義する。 F は終端記号の有限集合、 N は非終端記号の有限集合、 S は開始記号、 R は生成規則を表す。 $N = \{S, A, A^*, B_+, B_-, C_+, C_-, C_+^*, C_-^*\}$, $F = \{a_0, \beta_{0+}(\cdot), \beta_{0-}(\cdot), a_+(\cdot), a_-(\cdot), a_2(\cdot), b_{++}(\cdot), b_{+-}(\cdot), b_{--}(\cdot), b_{-+}(\cdot), \beta_+\cdot, \beta_-\cdot\}$,

$c_+(\cdot), c_-(\cdot), \sigma_+, \sigma_-, n, cons(\cdot, \cdot)$ とし、生成規則 R を以下のように定義する。

- $S \rightarrow a_0(A^*) \mid \beta_{0+}(B_+, \{C_+^*\}) \mid \beta_{0-}(B_-, \{C_+^*\})$
- $A \rightarrow a_+(B_+) \mid a_-(B_-) \mid a_2(C_+, C_-)$
- $A^* \rightarrow n \mid cons(A, A^*)$
- $B_+ \rightarrow \sigma_+ \mid b_{++}\{B_+, B_+\} \mid b_{+-}(B_+, B_-) \mid \beta_+\{C_+^*\}$
- $B_- \rightarrow \sigma_- \mid b_{--}\{B_-, B_-\} \mid b_{-+}(B_-, B_+) \mid \beta_-\{C_+^*\}$
- $C_+ \rightarrow c_+(B_+, C_+^*)$
- $C_- \rightarrow c_-(B_-, C_+^*)$
- $C_+^* \rightarrow n \mid cons(C_+, C_+^*)$
- $C_-^* \rightarrow n \mid cons(C_-, C_+^*)$

開始記号 S は前節で示した基本構造の $a_0, \beta_{0+}, \beta_{0-}$ の3つを生成する。これらの基本構造に A 系, B 系, C 系の流れを生成規則に従い組み合わせる。

4 アプローチ

対象とする地域の地形図を用意し、等高線に対して手作業で文字列の割り当てを行う。なお、地形図は国土地理院が提供する地理院地図を用いる。以下は阿寒湖と摩周湖の地形図である。



図3 阿寒湖周辺の地形図 図4 摩周湖周辺の地形図

次に、等高線の流線トポロジーから得られた文字列を比較し、評価する。なお、等高線から手作業で COT 表現を行う手順を以下に示す。

- (a) 等高線を比較的簡易な流線に変換する
- (b) 特徴的な流線トポロジーを抽出する
- (c) 流線トポロジーをサドル図式で表し、文字列で表現する

また、サドル図式から文字列を割り当てる工程を以下のフローチャート図で示す。

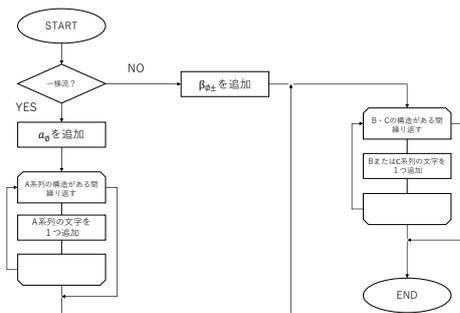


図5 文字列割り当てのフローチャート

これを元に、各等高線に文字列を割り当てて以下の表にまとめた。

表1 摩周湖と阿寒湖の COT 表現

湖	COT 表現
摩周湖	$\beta_{0-}(c_+(\sigma_+, n) \cdot c_+(b_{++}\{\sigma_+, \sigma_+\}, n))$
阿寒湖	$a_0(a_2(c_+(\sigma_+, n) \cdot c_+(\sigma_+, n) \cdot c_+(\sigma_+, n) \cdot c_+(\sigma_+, n), n))$

5 考察

摩周湖など厳密には水たまりに分類される湖には、 β_{0-} の構造があることを発見した。摩周湖のほかにも北海道にある倶多楽湖を調べたところ、この湖も厳密には水たまりに分類され β_{0-} の構造があった。一方で阿寒湖などの湖には β_{0-} の構造は発見できなかった。接続する河川がある場合は、湖の周りを囲む等高線は引かれないからである。これらのことから、 β_{0-} の構造がある場合は水たまり、ない場合は接続する河川のある湖であるということがいえるのではないかと考える。

6 おわりに

等高線に対して COT の割り当てを手作業で行うことができた。また湖と水たまりを COT が表す特徴的構造から分類することができた。今後の課題として、他の地形の解析を進めて有用性を高めることと、地形図における文字列割り当ての自動化のためのより詳細な定義を行っていく必要がある。

参考文献

- [1] 坂上貴之, 横山知郎, 澤村陽一: 二次元多重連結領域内における構造安定な非圧縮流れの文字列表現アルゴリズム, 数理解析研究所講究録, Vol.1900, pp.11-25 (2014).
- [2] 葛西洋介, 金崎雅博, 横山知郎, 大山 聖: 流線トポロジーの文字列表現を用いた翼型周りの流れの分析手法の研究, 第 34 回数値流体力学シンポジウム, pp.D08-1:1-8 (2020).
- [3] 横山知郎: ユーザーガイド: 2次元有限型流れの COT 表現とリンク構造, 入手先 <<https://www1.gifu-u.ac.jp/~tomoo/pdf/UGG.pdf>> (参照 2022-02-14).
- [4] 葛西洋介, 横山知郎, 金崎雅博, 大山 聖: 流れ構造の分析のための流線トポロジーの文字列表現, ながれ, Vol.40, No.2, pp.107-110 (2020).
- [5] 横山知郎: ユーザーガイド: 2次元非圧縮流体の COT 表現, 数理解析研究所講究録, Vol.2181, pp.205-214 (2021).
- [6] 亀谷拓磨, 田島嘉人, 渡辺康平: 二次元多重連結領域上の構造安定な非圧縮流の木表現の可視化手法, 南山大学 2019 年度卒業論文 (2020).