

パターン認識を用いたかたちと動きの数理解析

恩田将樹¹ 宮加谷直哉²

自由学園最高学部

概要 本発表では、パターン認識の応用として、(1) 毛筆文字の特徴と (2) サッカーゲームにおける戦術の2つの数理解析事例を紹介する。(1) 毛筆文字特有の筆先の柔らかさは、字形のみならず、はね・はらい・とめなどの筆法で生じる書き手特有の個性が表現されやすい。本発表では、画像に2値化、細線化、端点検出などの最適化をほどこすことで形状特徴を抽出する方法を紹介する。(2) サッカーゲームにおける得点の優位性を、勢力圏分割を示すポロノイ図によりモデル化することで議論する。本発表では、選手の向きを考慮したベクトルポロノイ図と、2番目に近い母点がどれかによって細分した2階ポロノイ図を用いて、おもにディフェンスの視点から、サッカーにおける定説の妥当性を検証する。

1 毛筆文字の数理解析

本章では、楷書体で書かれた毛筆文字を扱う。毛筆文字には、日常生活で使用されるペン字や硬筆にはない特徴（線の太さ）が存在する [5]。毛筆文字を定量的に扱う研究はいくつか存在する [9, 10] が、本章では、毛筆文字をデジタル画像処理することでパターン [6] としての特徴を抽出し、字形の端整度を評価するシステムの構築を目指す。

1.1 毛筆文字と楷書

毛筆文字の点画は10種類ある。1: 横画, 2: 縦画, 3: 折れ, 4: 斜画 (左払い), 5: 斜画 (右払い), 6: 右上払い, 7: 点, 8: そり, 9: 曲がり, 10: ひらがな, である。

毛筆文字の運筆法は3種類ある。1: 始筆と呼ばれる、ひとつの運筆の起点における筆の動きのこと。全体への出発点として、次の送筆、終筆を予約することを意味する。2: 送筆と呼ばれる、始筆の発展であり、終筆への途中の筆の動きとしての意向を含む動きのこと。3: 終筆と呼ばれる、線と形の発展の後を示し、運筆の完結として、始筆に呼応、次の運筆への暗示を含む動きのこと。

楷書体は習字の筆で文字の形、主に点と線を

崩さずに一画一画丁寧に書く書体である。その丁寧さから厳しさという雰囲気を出している。よく使われる書体に行書体があるが、こちらは楷書体の中で点や線を省略したり、つなげているため、楷書体より“崩した”文字の形となっている。

1.2 細線化

白と黒の色だけで表現された2階調の画像にすることを2値化という。2値化した習字の画像データをコンピュータで処理する。今回は、画像処理に統計処理パッケージRを用いた [2]。以下に細線化を用いた画像処理方法を述べる。必要に応じて、ひげ処理、端点抽出を実施することもある。これらにより、毛筆文字を定量化した特徴を抽出することが可能である。

細線化 (thinning, skeletonization) とは、2値化画像を幅1ピクセルの線画像に変換する処理のことをいう。細線化のアルゴリズムは、下記の6つの条件を満たした時に、画素1である白を画素0の黒に変換するものである。まず近傍の画素に図1.1のように名前をつける。着目する画素をP1とし、P1の近傍の画素をP2からP9とする。これらは2値画像なので、P1からP9は0または1の値である。

第1の段階では、P1が以下の4つの条件を

¹xxxabc.masa71@gmail.com

²naokimiyagani@yahoo.co.jp

同時に満たすときに P1 を白画素 1 から黒画素 0 へと置き換える。

- (1) $2 \leq N(P1) \leq 6$
- (2) $T(P1) = 1$
- (3) $P2 \times P4 \times P6 = 0$
- (4) $P4 \times P6 \times P8 = 0$

ここで、 $N(P1)$ は P2 から P9 のうち 1 であるものの数とし、 $T(P1)$ は P2 から順に P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P2 とたどったときの画素が 0 から 1 へと変わる回数である。条件 (3) と (4) は指定された 3 画素の席が 0 という意味である。第 2 の段階では、条件 (3) と (4) を次のように変更して、削る要素がなくなるまでこれを繰り返す。

- (3') $P2 \times P4 \times P8 = 0$
- (4') $P2 \times P6 \times P8 = 0$

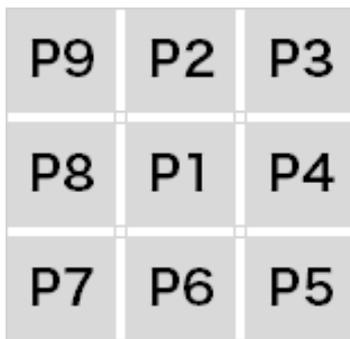


図 1.1 : 近傍

1.3 細線化処理後の特徴

図 1.2 は、実際に書かれたものを、 400×550 画像として取り込んで 2 値化したもの (左図) と、それに細線化を実施したもの (右図) である。



図 1.2 : 細線化処理前と処理後

今回、次の 3 つのことがわかった。(1) かすれ・かさなりがあらわれる、(2) 線質の差、(3) 書き手の実力が一点一画にあらわれる。

また、フォントの明朝体 (MS 明朝)、ゴシック体 (MS ゴシック)、楷書体 (EPSON 正楷書体 M)、行書体 (EPSON 行書体 M) を細線化してみると、(1) 手書きではあり得ないような入りがあったこと、(2) 明朝とゴシックの字形はほぼ同一の 2 つであったことが判明した。(2) に関しては、フォントは正方形の空間に最も広く見やすく字形が設定されているために線の太さに差があったとしても字形自体の設計には差がないのであろうと推察した。

1.4 書家の毛筆文字

顔真卿、王羲之、小野鷲堂、楮遂良、欧陽詢の 5 名の著名な書家の「永」の文字を細線化してみた。書家の書字した毛筆文字には、一点一画が明確にあらわれた。例えば、顔真卿は、右払いを強く表現する特徴を持つ書家であるが、細線化を実施すると顕著にその特徴があらわれた。

1.5 端点抽出

端点とは、線分の端に位置する点、すなわち $N(P1) = 1$ を満たす場所である。細線化された画像における単純な特徴のひとつが端点である。文字の入り・とめの部分に主に位置する。

1.6 未解決課題

筆の動きに特有の、交差点の抽出が困難である。

2 ボロノイ図を用いたサッカー戦術解析

本章ではサッカーの数理解析を行う。サッカーとは、ある決められた領域内を選手が自由に動き回り、蹴りあったボールを、相手のゴールに

入れることで得点するゲームである。サッカーでは、各選手が他の誰よりも早く到達できる範囲が、その選手の優勢領域となる。この優勢領域でフィールドを分割することで、ゲームの優位性を選手の幾何学的な位置関係から議論することを考える。また、経験的によいとされているサッカーの守備戦術を論理的に実証する。

2.1 ボロノイ図

2次元ユークリッド空間 \mathbb{R}^2 内に指定された n 個の点の集合を $S = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ に対して、2点 P_i, P_j の距離を $d(P_i, P_j)$ と書き、 $R(S; P_i) = \{P \in \mathbb{R}^2 \mid d(P, P_i) < d(P, P_j), i \neq j\}$ と定める。 $R(S; P_i)$ は「 S の中で最も近いものは P_i である」という性質をもつ点 $P \in \mathbb{R}^2$ をすべて集めてできる集合となる。この $R(S; P_i)$ によって平面を分割した図をボロノイ図 (Voronoi diagram) という。ボロノイ図は、与えられた母点 S に対して、最近母点間の垂直二等分線となる線分で平面を分割することになるが、これらの線分をボロノイ辺と呼び、ボロノイ辺の交点をボロノイ点と呼ぶ。ボロノイ点は3母点からなる3角形の重心となる。分割された各領域をボロノイ領域と呼ぶ。以下にボロノイ図の例を示す。

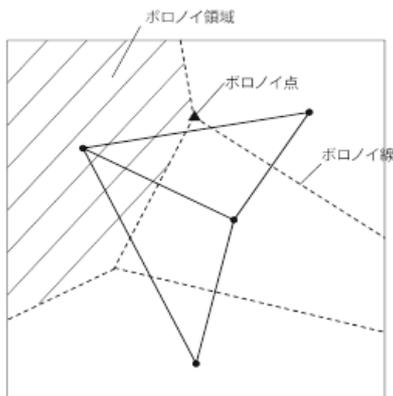


図 2.1 : ボロノイ図

2.2 ボロノイ図への応用

従来の研究 [2, 3, 7, 8] では、サッカーゲームを行う選手 22 人 (1 チーム 11 人) とボールの計

23 を分割の母点としてボロノイ図を作成する。今回は、実際の状況と近似した形を生み出すために 2 点アレンジを加えた。ひとつは、ボールを母点と考慮しないこと。もう 1 つはフィールドの 4 隅を母点として考慮することである。前者はボールの位置に対して、選手の動きを議論するためであり、後者はゴールキーパーの守備領域を適切に議論するためである。

今回は、サッカーゲームの展開のうち、シュートにつながる展開を考察する。したがって、ゲームを行う 2 チームを攻撃と守備という 2 つに区分することができる。攻撃はボールを保持しているチーム (on the ball team) と、守備はボールを保持していないチーム (off the ball team) ということもできる。攻撃はシュートを打つことを、守備はボールを奪うことを優先事項としていると言える。このため、攻撃の各選手はゴールに、守備の各選手はボールに方向を持って行動していると仮定する。このように、母点を攻撃と守備の 2 種類に分けて、それらにそれぞれゴールとボールにむかう向きを考慮したボロノイ図をベクトルボロノイ図 (vector Voronoi diagram) と呼ぶ。

2.3 2階ボロノイ図

これまでのことから、サッカーゲームにおけるフィールドを、22 人の選手とフィールドの 4 隅の計 26 点を母点とするボロノイ分割で考えている。選手を表す母点は、攻撃と守備に区分されているが、とくに守備選手を考えよう。各守備選手のボロノイ領域は、その選手がもっとも早く到達できる領域であり、ゲームにおいて責任を持って守らなくてはならない領域である。ところが、その領域内には敵となる攻撃選手が攻めやすい場所がある。それを述べるために次の概念を導入する。

母点 $S = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ から 2 個 $T_2 = \{P_{i_1}, P_{i_2}\}$ を取り出す。そして $R(S; T_2) = \{P \in \mathbb{R}^2 \mid d(P, P_{i_1}) < d(P, P_{i_2}) < d(P, P_j), j \neq i_1, i_2\}$ と定める。 $R(S; T_2)$ は、 S の中で最も近いもの

は P_1 で、次に近いのが P_2 である領域を表す。この $R(S; T_2)$ によって平面を分割した図を 2 階ポロノイ図 (order-2 Voronoi diagram) という [4]。

2 階ポロノイ図により、各守備選手の守備領域を、攻撃に攻められやすい領域とそうでない領域に区分することができる。これは守備と攻撃を入れ替えることで、守備選手にボールを奪われやすい攻撃領域を定めることもできる。以下に 2 階ポロノイ図の例を示す。

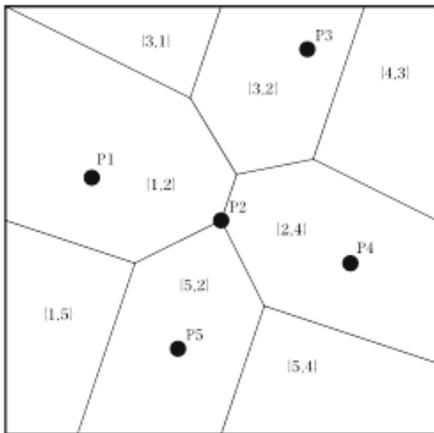


図 2.2 : ポロノイ図

2.4 解析手法

以上のことをまとめると、サッカーゲームにおける守備選手に対して、ボールの方向へのベクトルを考慮して (ベクトルポロノイ図)、守備領域に、攻撃にさらされやすい領域を特定する (2 階ポロノイ図) ことができる。この領域を脆弱な (vulnerable) 領域と呼ぶことにする。基本的にサッカーゲームは、攻撃領域から攻撃領域へボールが移動することで展開するが、攻撃選手からこの脆弱な領域にボールが移動すると、シュートに繋がる展開になっていく。したがって、守備の各選手は、脆弱な領域が生じないように守備陣形を整えることが大切となり、逆に脆弱な領域が広がるように攻められると失点につながる可能性が高くなる (図 2.3)。

ポスター発表では、これらのことを J リーグの実際のゲームから紹介する。データは 2014 年 12 月 6 日に行われた J リーグ 34 節、大宮対

大阪を用いて、この試合の大宮の 2 点目の得点を取り上げている。

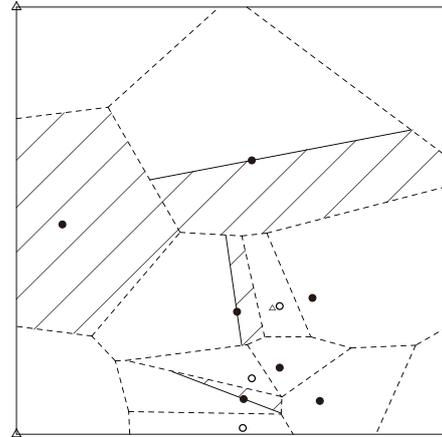


図 2.3 : 脆弱な守備領域

参考文献

- [1] 勝木健雄, R で学ぶデータサイエンス・デジタル画像処理, 井立出版株式会社, 2011.
- [2] S. Kim, Voronoi Analysis of a Soccer Game, modeling and control 9, 233–240, 2004.
- [3] キム チャンフン, Voronoi アルゴリズムを用いたサッカーゲーム分析, キーノートレクチャー 1, 日本フットボール学会 12th Congress, 2014.
- [4] 杉原厚吉, なわばりの数理モデル, 共立出版, 2009.
- [5] 花田峰堂ほか, 新装版書道技法講座<楷書>シリーズ, 二玄社, 1988+.
- [6] 平井有三, はじめてのパターン認識, 森北出版, 2012.
- [7] 藤原光・杉原厚吉, ポロノイ図を応用したスポーツチームワークの定量的評価, 電子情報通信学会技術研究報告 100, 145–152, 2001.
- [8] 藤原光・杉原厚吉, 優勢領域に基づいたスポーツチームワークの定量的評価 (画像処理, 画像パターン認識), 電子情報通信学会技術研究報告 J87-D-II, 818–828, 2004.
- [9] 古性淑子・平野光一・中村公計・小谷一孔, 感性情報に基づく毛筆漢字文字の美的評価, 電子情報通信学会技術研究報告 101, 81–88, 2001.
- [10] 松尾賢一・土本良樹, 毛筆文字の特徴量算出ツールの試作, 奈良工業高等専門学校研究紀要 43, 39–44, 2007.