

時間制限付き優勢領域図の提案とサッカーの守備の分析への応用

岩浅 真秀人[†]

大塚 寛[†]

愛媛大学 大学院理工学研究科(理学系) 数理物質科学専攻[†]

1. はじめに

サッカーの選手の位置関係に基づいた試合の分析には、計算幾何の概念であるボロノイ図[1]を応用した優勢領域図が用いられている。選手の優勢領域はボロノイ領域より選手の感覚に近い勢力圏を反映していると考えられる。しかし、選手の支配領域やスペースといった情報を得るのに優勢領域ではその勢力圏が広すぎるという問題がある。そこでこのような情報を抽出するために、優勢領域に時間制限を設けた時間制限付き優勢領域図を導入し、これを元にした領域探索や隣接グラフの構成を試みたので、その結果を報告する。なお、この研究は愛媛 FC の GK コーチである山中氏の依頼により始めたもので、試合のデータは山中氏より入手し、得られた情報はサッカーの指導者が利用することを前提として、情報は数値的な指標より図または映像で表すこととし、守備の評価などの判断には踏み込まないこととした。

2. ボロノイ図

平面上の n 個の点(母点と呼ぶ)からなる集合 P に対し、平面上の各点がどの母点に最も近いかで平面を分割した図を P のボロノイ図と呼ぶ。具体的には、母点 $p_i \in P$ のボロノイ領域は

$$\begin{aligned} V(p_i) &= \left\{ x \in \mathbb{R}^2 \mid |p_i - x| < |p_j - x|, 1 \leq j \leq n, j \neq i \right\} \\ &= \bigcap_{1 \leq j \leq n, j \neq i} \left\{ x \in \mathbb{R}^2 \mid |p_i - x| < |p_j - x| \right\} \end{aligned}$$

で与えられる。異なる 2 点のボロノイ領域の境界は 2 点を結ぶ線分の垂直 2 等分線(ボロノイ辺と呼ぶ)であり、直線上にない異なる 3 点のボロノイ辺は 1 点(ボロノイ頂点と呼ぶ)で交わる。一般に P のボロノイ図は平面を高々 $n-1$ 本の辺からなる有界とは限らない n 個の凸多角形で分割する。図 1 は選手の位置を母点とし、サッカーのフィールドに合わせて矩形領域に制限したボロノイ図である。

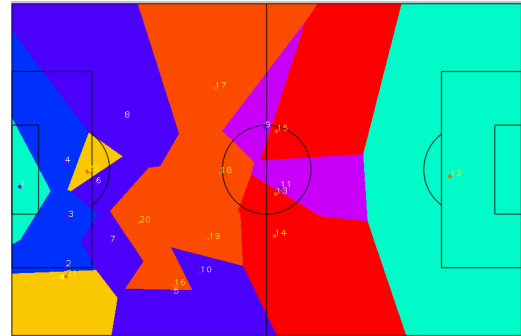


図 1

3. 優勢領域図

ボロノイ図では各母点は静止しているが、サッカーの試合では選手は速度を持って移動している。そこで、母点 $p_i \in P$ が速度 v_i で移動しているとき、平面上の各点にどの母点が最も早く到達するかで平面を分割して得られる図を P の優勢領域図[2]と呼ぶ。 $p_i \in P$ の優勢領域は

$$Dom(p_i) = \bigcap_{1 \leq j \leq n, j \neq i} \left\{ x \in \mathbb{R}^2 \mid t(p_i, x) < t(p_j, x) \right\}$$

で与えられ、 $t = t(p_i, x)$ は運動方程式

$$\left| \dot{x} - p_i \right| = \left| V_{\max} \left(t - \frac{1 - e^{-\alpha t}}{\alpha} \right) \mathbf{e} + \frac{1 - e^{-\alpha t}}{\alpha} v_i \right|$$

を t について解いて得られる。このとき異なる 2 点の優勢領域の境界は一般に曲線となり、また優勢領域は連結とは限らない。図 2 は図 1 と同じ選手の位置に対し、各選手の速度を考慮した優勢領域図である。

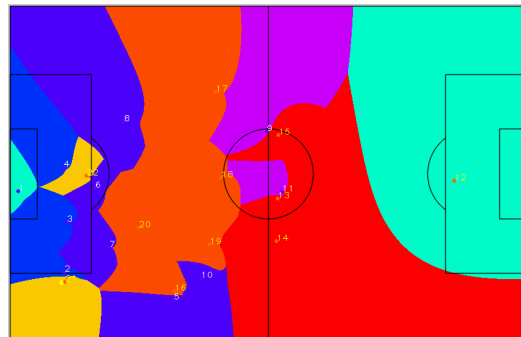


図 2

4. 時間制限付き優勢領域図

優勢領域では各母点の到達範囲はかなり広くとられるが、サッカーでは選手の支配領域は到達時間が 1 秒前後の範囲と言われる。そこで、

Time Restricted Dominant Region Diagram and its Application to Analysis of Soccer Defence

[†]Mahoto Iwasa

[†]Hiroshi Ohtsuka

[†]Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

優勢領域図と同じ前提で、更に k 秒以内に到達できる範囲と制限を付けた図を P の時間制限付き優勢領域図(以下 TRDR 図と略記)と呼ぶ。 $p_i \in P$ の時間制限付き優勢領域(TRDR と略記)は

$$Dom(p_i, k) = \bigcap_{1 \leq j \leq n, j \neq i} \left\{ x \in \mathbb{R}^2 \left| \begin{array}{l} t(p_i, x) < t(p_j, x), \\ t(p_i, x) < k \end{array} \right. \right\}$$

で与えられる。図 3 は図 2 と同じ選手の位置と速度に対し、 $k=1.2$ とした TRDR 図である。

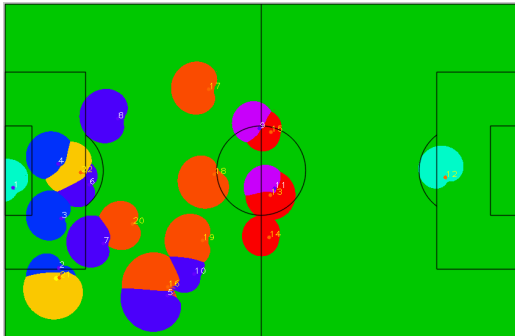


図 3

5. 時間制限付き優勢領域図の応用

計算幾何では、ボロノイ図を用いて点位置決定問題や最近点对問題、ドロネーグラフの構成問題など[3]を解く。これらの問題の考え方はサッカーに適用できると思われる。例えばボールを支配している選手を抽出するのは、点位置決定問題のサッカーへの適用と考えられる。ここでは、守備の良し悪しを判断するために、スペースやマッチアップといった情報を TRDR 図から抽出する。

まず、一方のチームの TRDR 図が得られれば、4 分木による領域探索を行うことで、そのチームの TRDR がないエリアが得られる。図 4 は図 3 で左側チームの選手の TRDR を探索した図で、明るい部分が TRDR がないエリアである。



図 4

特に守備側のエリアに DF や MF が到達するには時間がかかるので、スペースとみなすことができ、このエリアにいる相手選手はそのスペースを有効に利用していると考えられる。

またボロノイ図における隣接関係からドロネ

ーグラフを得るように、TRDR 図における隣接関係から選手の隣接関係を抽出する。図 5 は図 3 から得られる隣接関係であり、選手同士のマッチアップを表していると考えられる。

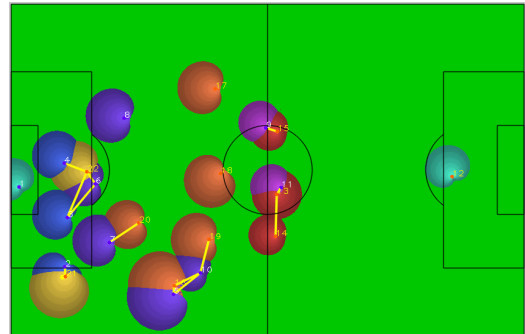


図 5

6. 時間制限付き優勢領域図の計算

ボロノイ図には効率のよい構成アルゴリズムがあるのに対し、優勢領域図にはそのようなアルゴリズムは見つかっていない。本研究ではサッカーの試合のデータ(毎秒 5 フレーム毎の選手とボールの 2 次元の位置を示す座標)を元に、フィールド上の各点に対し、前出の運動方程式を解いて優勢領域あるいは TRDR を求めている。現在は表 1 の計算環境で、 $k=1.2$ とした TRDR 図を求める(画像として書き出すまで)ために、1 フレームあたり平均 0.094 秒を要している。

CPU	Core i7 860 (2.80GHz)
Memory	3Gbyte
OS	WindowsXP SP3
CCompiler	Microsoft Visual C++ 2008
Library	Threading Building Block 4.0

表 1

7. まとめと課題

優勢領域図に対して時間制限を設けた TRDR 図によって、選手の支配領域やスペース、選手同士のマッチアップといった情報が得られた。しかし、TRDR は選手個人の能力や疲労によって、その広さが大きく変化すると考えられる。現在それらのパラメータを考慮していないので、現実の状況を反映するには粗すぎる。したがって、選手個人の能力や疲労によって TRDR が変化させる必要がある。

参考文献

- [1] E.Langetepe,G.Zachmann,中本訳,空間データ構造とアルゴリズム,ボーンデジタル,2007
- [2] 藤村光,杉原厚吉,“ボ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”,電子情報通信学会論文誌,2001-03
- [3] 譚学厚,平田富夫,計算幾何学入門,森北出版,2001