

サッカーの試合に於ける占有面積と得点差の関係

青木 優¹⁾

Relationship between Occupation Area and Score Difference in Football Match AOKI Masaru

Abstract

This paper describes the relationship between the occupation area and the score difference in football match. We developed the indices of the occupation area based on Voronoi tessellation and analyzed the log data of RoboCup Soccer Simulation (RCSS) 2D league. As a result, it was found that the indices can explain the score difference.

Keywords : Voronoi tessellation, RoboCup Soccer

I. 緒言

近年のIoTや映像解析技術の進歩によって、様々なスポーツに於いて試合中の選手のトラッキングデータが容易に取得できるようになって来ている。サッカーに於いても各選手の走行距離・位置・加速度などのトラッキングデータが容易に記録可能となり、選手のコンディション管理やチームの戦術を練る際に活用され始めている。¹⁾「野球が統計のスポーツならば、サッカーはパターンのスポーツである。」²⁾と言われるほど、サッカーでは幾何学的要素が重要な意味を持っている。しかし、チームスポーツ競技として選手達の集団行動を分析し、戦術に活用する為の理論は未だ確立されていない。

現在、その集団行動を分析する為のツールとして注目されているのが、Voronoi図³⁾とDelaunay図⁴⁾である。Voronoi図は、しばしば地理情報処理⁵⁾の分野で施設の利用圏を求める際に用いられている図形であり、最適施設配置問題を解くツールとしても利用され

る。⁶⁾この施設をサッカー選手に置き換えると各施設の利用圏は各選手の占有地となり、その面積が大きい程、味方から高い確率でパスを受けることや、より優位な状態でパスを送ることが可能であると予想される。また、この面積を各チームで合計すると、試合の優勢・劣勢を客観的に数値化することが可能であると考えられる。実際、瀧と長谷川⁷⁾は、チームスポーツ競技の集団行動を理解する為の映像生成の方法として、到達可能時間に基づく優勢領域、つまりVoronoi図を用いることを提案しており、専門家ではなくても客観的に試合の優勢・劣勢を表現可能であることを提案している。また同様にKim⁸⁾は、サッカーゲーム⁹⁾のVoronoi解析を行い、Voronoi図が試合の優勢・劣勢を表現可能であることを示している。

筆者も既にVoronoi図とDelaunay図を用いたサッカーの試合分析ソフトウェアの開発を行っており、¹⁰⁾ソフトウェアの動作確認も兼ねてRoboCup Soccer Simulation (RCSS)

1) 静岡産業大学経営学部
〒438-0043静岡県磐田市大原1572-1

1) *School of Management, Shizuoka Sangyo University
1572-1 Owara, Iwata, Shizuoka, 438-0043, Japan.*

2D リーグのログデータについて簡単な分析を行い、同ソフトウェアの有用性やその可能性について考察している。具体的には、ある特定のチームに注目し、圧勝した試合、引き分けた試合、大差で負けた試合の3試合についてボールのポゼッション率、チームの平均走行距離、チームの平均占有面積、ボール保持者の平均占有面積、チームの平均回数、ボール保持者の平均回数を求め、チームの勝敗との相関を調べた結果、少なくともチームの平均占有面積については、勝敗と正の相関が見られた。しかし、分析した試合が僅か3試合であった為、統計的な分析は不十分であった。そこで本研究では、更に多くの試合について統計的分析を行い、占有面積と得点差の関係について考察する。

II. 研究方法

本研究では、RCSS 2D リーグのログデータについて Voronoi 解析を行い、占有面積と試合の得点差の相関関係について分析を行う。

1. 分析データ

RCSS 2D リーグ¹¹⁾では、実際のサッカー場と同サイズ(105m × 68m)のサッカー場を想定し、選手もボールも2次元平面内を動く。ただし、ゴール幅は実際の幅よりも広くなっている。試合時間は前後半各3000サイクルで、合計6000サイクルである。ただし、1サイクルは0.1秒に相当する。また、各選手はそれぞれ独立した人工知能を搭載したエージェントであり、1チーム当たり11体で試合を行う。選手の視野は人間並みに狭く、ボールや他の選手との距離などを正確に把握できず、ボールを蹴っても正確に飛ばない。また、選手間の情報のやり取りも十分でなく、正に人間に近いエージェントを想定している。毎年開催されている国際大会のログファイルは、試合終了後にはインターネット上に公開することになっている。¹²⁾そこで本研究では、2007 RCSS 2D リーグ Main Round の49試合の内、片方のチームが一方向的に攻め続けているにも関わらず、なかなか得点できない4試合を外れ値として除外し、残りの

45試合について分析をおこなう。また、試合中のプレイモードは30種類程あるが、ボールが動いている「play_on」の状態のみ分析を行う。更にボール保持者の判定については、ボールが選手から半径1m以内にあるかどうかで判定をおこなう。

2. Voronoi 図

1908年にロシア人数学者 G.Voronoi によって提唱された Voronoi 図は、地理情報処理の分野で施設の利用圏を求める際にしばしば用いられる図形である。例えば、図1に示すように、中央に位置する郵便ポストの利用圏を求めるには、その郵便ポストから周りの郵便ポストまで線分(破線)を引き、次にその線分の垂直二等分線(実線)を引く。この時、その垂直二等分線によって、基点となった郵便ポストを中心とした最小多角形ができる。これがその郵便ポストの利用圏(Voronoi 図)である。そして、以上の操作を全ての郵便ポストについて行ない利用圏を求めると、地図を Voronoi 図で埋め尽くすことができる。

本研究では、施設をサッカー選手に置き換えて、各選手の占有地を Voronoi 図によって表し、占有面積を求める。施設をサッカー選手に置き換える場合、図2に示すように「L」と「R」の2チームの選手が混在することになるが、これを区別せずに、郵便ポストの場合と同様に Voronoi 図を求めることにする。

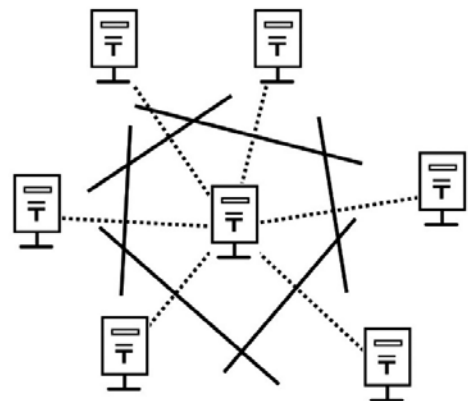


図1. 郵便ポストのVoronoi図(実線)

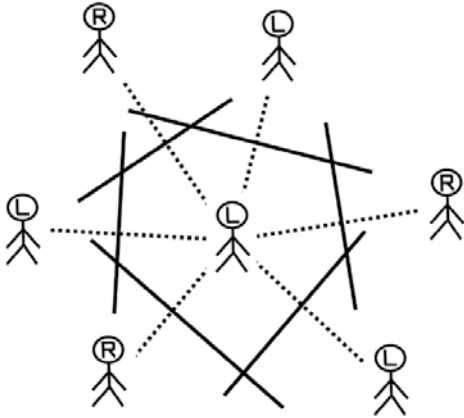


図2. サッカー選手の Voronoi 図 (実線)

3. 占有面積に関する指標の定式化

ここでは、占有面積を基にした新たな指標を定式化する。

(1) 各選手に関する指標

最初に各選手に関する指標を定式化する。選手 i の占有面積 s_i を次のように定義する。

$s_i \equiv$ (選手 i を母点とする Voronoi 多角形の面積) (1)

この占有面積 s_i の値が大きい程、味方から高い確率でパスを受けることや、より優位な状態でパスを送ることが可能である。

(2) チームに関する指標

次に、チームに関する指標を定式化する。チームの占有面積 S を次のように定義する。

$S \equiv \sum_i s_i$ (2)

この占有面積 S の s 値が大きい程、そのチームが試合で優勢であると考えられる。

(3) 重み付けされた指標

前述 (1) の各選手の指標では、コート内での選手の位置に関わらず占有面積の大きさだけを扱っているが、実際には相手ゴールに近い位置と遠い位置では、その重みが異なると考えられる。そこで次のような、相手ゴールの中心を原点とし、味方ゴールの中心が上側 5% 点となる正規分布関数 $g(x, y)$ を各選手の占有面積に掛けて重み付けをおこなう。

$g(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)$, (3)

ただし、 $\sigma=105/1.64$ である。

そこで、重み付けされた選手 i の占有面積 \bar{s}_i を

$$\bar{s}_i \equiv s_i g(x_i, y_i) \quad (4)$$

と定義し、重み付けされたチームの占有面積 \bar{S} を

$$\bar{S} \equiv \sum_i \bar{s}_i \quad (5)$$

と定義する。

(4) 全試合時間を通しての指標

前述 (1) から (3) までの指標は、試合中のあるスナップショットに対するものである。本研究ではこれら指標と得点差との関係を調べる為、全試合時間を通しての指標を定義しておく。ただし、ここでいう全試合時間というのは、試合のステータスが「Play_on」の合計時間 T を指す。

選手 i の全試合時間を通しての占有面積の平均を「平均占有面積 u_i 」と呼び、

$$u_i \equiv \frac{1}{T} \int s_i(t) dt \quad (6)$$

と定義する。また、チームの平均占有面積 U を

$$U \equiv \frac{1}{T} \int S(t) dt \quad (7)$$

と定義する。同様に、重み付けされた選手 i の平均占有面積 \bar{u}_i を

$$\bar{u}_i \equiv \frac{1}{T} \int \bar{s}_i(t) dt \quad (8)$$

と定義し、重み付けされたチームの平均占有面積 \bar{U} を

$$\bar{U} \equiv \frac{1}{T} \int \bar{S}(t) dt \quad (9)$$

と定義する。ここで、時間平均をとったのは、「Play_on」の合計時間が試合毎に異なる為である。時間平均をとることによって、他の試合の指標も比較可能となる。

(5) ボール保持者に関する全試合時間を通しての指標

各選手の指標を求めて分析を行うことは、実際のサッカーでは重要であるが、今回分析を行った RCSS の場合、チームのフォーメーションが、実際のサッカーと異なり曖昧である為、本研究では選手毎の指標分析を行わないことにする。しかしその代わり、ボール保持者に関する全試合時間を通しての指標を定義し、分析を試みる。

チーム毎のボール保持者の平均占有面積 u^{BH} を

$$u^{BH} \equiv \frac{1}{T} \sum_m \int s_m(t) dt \quad (10)$$

と定義する。ただし、 Σ はボールを保持していたチームの選手 m についての和であり、積

分は選手 m がボールを保持していた時間について行うものとする。

同様に、重み付けされたチーム毎のボール保持者の平均占有面積 \bar{u}^{BH} を

$$\bar{u}^{BH} \equiv \frac{1}{T} \sum_m \int \bar{s}_m(t) dt \quad (11)$$

と定義する。

4. 得点差との関係を調べる為の指標

これまでに定式化した指標と得点差との関係を調べる為、次のような指標を導入する。ただし、得点の多かったチームを A、少なかったチームを B とする。

- ・ チームの平均占有面積比: U_A/U_B (12)

- ・ ボール保持者の平均占有面積比:

$$u_A^{BH}/u_B^{BH} \quad (13)$$

- ・ 重み付けされたチームの平均占有面積比:

$$\bar{U}_A/\bar{U}_B \quad (14)$$

- ・ 重み付けされたボール保持者の平均占有面積比: $\bar{u}_A^{BH}/\bar{u}_B^{BH}$ (15)

III. 結果と考察

2007 RCSS 2D リーグ Main Round の 49 試合の内、外れ値である 4 試合を除いた 45 試合について Voronoi 解析を行い、前節 II -4 で定義した指標と得点差との相関分析を行った。

図 3 に試合中の各選手を母点とした Voronoi 図を示す。黒丸は左側チームの選手を表し、灰色の丸は右側チームの選手である。またボールは白丸で示されている。図中では左側チームの選手がボールを保持している。Voronoi 図は、両チーム全員 (22 人) に対して求められており、左側チームは黒の破線で、右側チームは灰色の破線で示されている。Voronoi 分割を行った際の計算精度は、Voronoi 多角形の面積の合計とコート全体の面積を比較するサムチェックによって、その誤差が常に $10^{-11}\%$ 以下となるように精度保証されている。

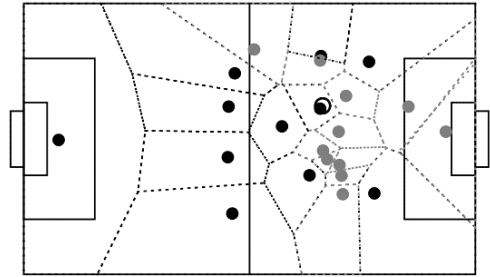


図 3. 試合中の選手の位置と Voronoi 図

次に図 4 から図 7 に得点差とそれぞれの指標との相関関係を示す。また、図のキャプションには括弧書きで相関係数と t 検定を行った場合の p 値を示し、図中には回帰直線と決定係数を示した。何れの相関関係に於いても p 値 < 0.05 で有意であった。

図 4 に得点差とチームの平均占有面積比の相関関係を示す。横軸の得点差を見ると、実際のサッカーの試合と異なり、1 試合で 30 点以上の得点差となる試合もある。しかし、実際のリーグ戦全試合を通しての得失点差を考えると、点差が大きく開く場合もあるので、本研究では得点差はチームの強弱を表す 1 つの指標であると捉えることにする。また縦軸のチームの平均占有面積比は、0.5 倍から 2.4 倍の間に収まっている。比率では 1 が基準となる為、1 以下の試合では、負けたチームの平均占有面積比が勝ったチームのそれを上回っていたということになる。その比が、1 を下回ったのは 18 試合であり、得点差が 10 点以下の試合に多く、10 点以上の大差がついた試合では僅か 1 試合であった。このことから、得点差が小さい試合では攻守の時間に大きな差が無く、逆に大差がついた試合では勝ったチームが相手陣内に攻め込んでいる時間が長いことがわかる。

図 5 には、得点差とボール保持者の平均占有面積比の相関関係を示す。縦軸のボール保持者の平均占有面積比は、0.1 倍から 9 倍の範囲に収まっており、図 4 よりも値の範囲が広がっている。また、この値が 1 を下回った試合数は 9 であり、図 4 よりも少なく、より試合結果を反映した指標となっていることが分かる。

図6には、得点差と重み付けされたチームの平均占有面積比の相関関係を示す。縦軸の重み付けされたチームの平均占有面積比は、0.25倍から7.5倍の範囲に収まっており、図5のボール保持者の平均占有面積比に近い値となっている。また、この値が1を下回った試合数は13であり、図5のボール保持者の平均占有面積比よりも多いが、相関係数は0.70503となり、強い正の相関があった。

図7には、得点差と重み付けされたボール保持者の平均占有面積比の相関関係を示す。縦軸の重み付けされたボール保持者の平均占有面積比は、0.03倍から36倍の範囲に収まっており、4つの指標の中では値の範囲が最も広がっている。また1を下回った試合は9試合であり、試合結果をよく反映していると言える。

以上の結果から、重み付けをした方が、重み付けをしない場合に比べて、総合的には試合結果を良く反映していると言える。これは、いくらボールポゼッション率が高くてもゴール近くまで攻め込むことが出来なければ、得点に繋がらないことを表していると考えられる。また、チームの指標とボール保持者の指標を比較すると、ボール保持者の指標の方が総合的には試合結果を良く反映していると言える。これは、ボールを持っている選手がより広いスペースを確保して優位な状態でプレイできる方が得点に繋がりがやすいことを表していると考えられる。

IV. 結語

本研究では、Voronoi図を用いて占有面積と得点差の関係について、2007 RCSS 2Dリーグ Main Round のログデータを基に分析を行った。分析では、チームとボール保持者の平均占有面積を求め、それを更に重み付けしたものとし、それを2チームの面積比と得点差との関係を調べた。その結果、重み付けをした方が、しない場合に比べて試合結果を良く反映していた。これは、いくらボールポゼッション率が高くてもゴール近くまで攻め込むことが出来なければ、得点に繋がらないことを意味している。また、チームの指標とボール保持者の指標を比較すると、ボール保持者の指標の方が試合結果を良く反映していた。これは、ボールを持っている選手がより広いスペースを確保して優位な状態でプレイできる方が得点に繋がりがやすいことを意味している。今後の研究としては、今回開発した指標は攻撃に関する指標であったのに対し、今後は守備に関する指標の開発にも取り組みたい。

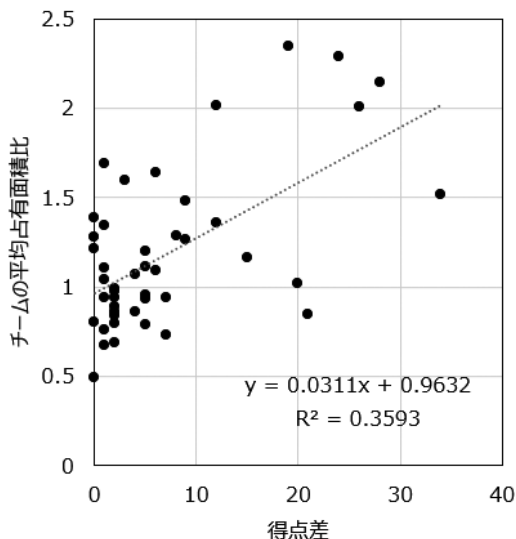


図4. 得点差とチームの平均占有面積比の関係 (相関係数: 0.59941, p 値 = 1.36×10^{-5})

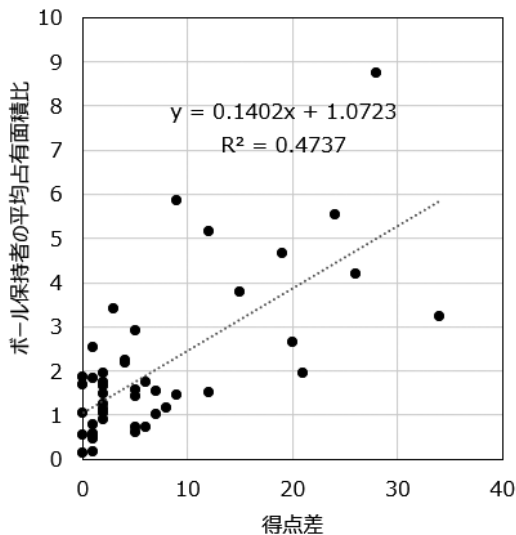


図5. 得点差とボール保持者の平均占有面積比の関係 (相関係数: 0.68828, p 値 = 1.74×10^{-7})

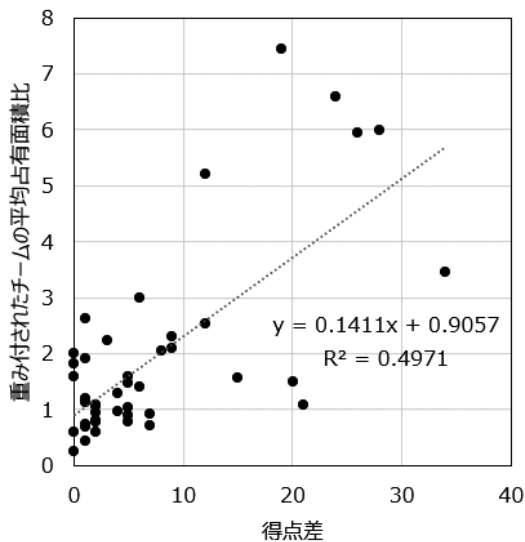


図6. 得点差と重み付けされたチームの平均占有面積比の関係 (相関係数: 0.70503, p 値 = 6.42×10^{-8})

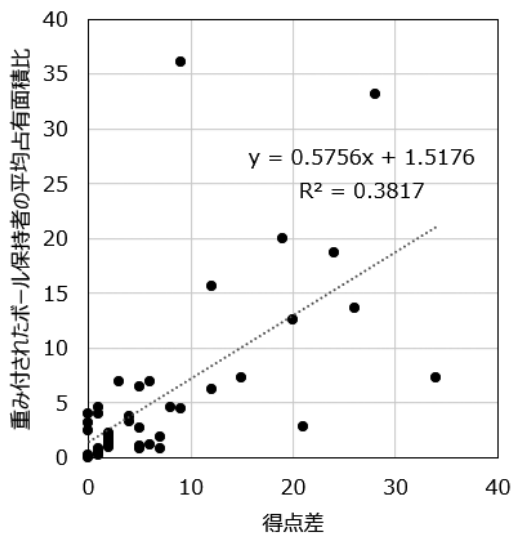


図7. 得点差と重み付けされたボール保持者の平均占有面積比の関係 (相関係数: 0.61784, p 値 = 6.13×10^{-6})

参考文献

- 1) 加藤健太, 「サッカーに於けるデータ分析とチーム強化」, 『通信ソサエティマガジン』 No.37, 夏号, 電子情報通信学会, 2016, pp.29 ~ 34; 向本敬洋, 伊藤雅充, 河野徳良, 野村一路, 西條修光, 「GPS 機器を利用した大学男子サッカー選手における各ポジションの Time-motion 分析」, コーチング学 第 27 巻第 2 号, 2014, pp.215 ~ 223.
- 2) デイヴィッド・サンプター, 『サッカーマティクス 数学が解明する強豪チーム「勝利の方程式」』, 光文社, 2017.
- 3) G. Voronoi, "Nouvelles applications des para-mètres continues à la théorie des formes quadratiques" J. Reine Angew. Math. Vol.134, 1908, pp.198 ~ 287.
- 4) B. Delaunay, "Sur la sphère vide". Bulletin de l'Académie des Sciences de l'URSS, Classe des Sciences Mathématiques et Naturelles. 6, 1934, pp.793 ~ 800.
- 5) 伊理正夫, 『計算幾何学と地理情報処理』, 共立出版 1997; 岡部篤行, 鈴木敦夫, 『最適配置の数理』, 朝倉書店, 1992.
- 6) 青木優, 「Tanner-Sherratt モデルにおける最適施設配置問題 - 計算機科学と物理学からのアプローチ -」, 青山学院大学経済学会『青山経済論集』, 第 52 巻, 第 2 号, 2000, pp.5 ~ 21; 青木優, 「Newling モデルにおける最適施設配置問題」, 静岡産業大学論集『環境と経営』, 第 7 巻, 第 2 号, 2001, pp.31 ~ 41; 青木優, 「Tanner-Sherratt モデルにおける最適施設配置問題 - 最適配置の分類 -」 静岡産業大学論集『環境と経営』, 第 8 巻, 第 2 号, 2002, pp.81 ~ 88.
- 7) 瀧剛志, 長谷川純一, 「勢力範囲に基づいたチームスポーツ解析」, 『情報処理』, 42 巻, 6 号, 2001, pp.582 ~ 586.
- 8) S.Kim, "Voronoi Analysis of a Soccer Game" Nonlinear Analysis: Modelling and Control, Vol.9, No.3, 2004, pp.233 ~ 240.
- 9) エレクトロニック・アーツ, 「FIFA 2003 ヨーロッパサッカー」, 2002.
- 10) 青木優, 「計算幾何学によるサッカーの試合分析ソフトウェアの開発」, 『環境と経営』, 第 25 巻, 第 1 号, 2019, pp.31 ~ 41.
- 11) 秋山英久, 「ロボカップサッカーシミュレーション 2D リーグ必勝ガイド バージョン 1.0」, ftp://ftp.ij. ad.jp/pub/source forge.jp/rctools/46021/RoboCup2DGuideBook-1.0.pdf (accessed Mar. 1, 2019).
- 12) RoboCup Soccer Simulation 2D ログデータ, <http://archive.RoboCup.info/Soccer/Simulation/2D/> (accessed Mar. 1, 2019).

