

トラッキングデータに基づくサッカー選手の運動法則の検証

Verification of Soccer Players' Movement Laws Based on Tracking Data

中央大学大学院理工学研究科物理学専攻協田研究室

20N2100017L 瀧澤 健太

1 研究背景

サッカーの試合ではパスを単位としたイベントデータ [1] や全選手の位置を追跡したトラッキングデータ [2] などさまざまな種類のデータが取得されている。それに伴い、現在では様々な手法を用いてサッカーの試合分析が行われている [3]。

本研究では、トラッキングデータを用いて2つの問題について分析を行う。1つ目の問題は、サッカーにおいて選手は何らかの運動法則に従っているのか？ ということである。サッカーの試合の戦況は様々な要素に影響されるが、突き詰めれば選手の運動に帰着する。速度に比例した抵抗を仮定した運動方程式に基づく Fujimura の運動モデル [4] は、選手の到達位置を予測するための標準的なモデルとして用いられているが、その妥当性は十分に検証されていない。そこで、第3章ではトラッキングデータから求めた選手の到達位置と Fujimura の運動モデルの一般解を比較し、得られた結果から Fujimura の運動モデルの妥当性と限界を議論する。2つ目の問題は、サッカーの分析に選手の視点という要素を取り入れることができるか？ ということである。近年、サッカーの試合では様々なデータ（トラッキングデータや映像データなど）が取得可能になったが、これらはフィールド外の位置から取得されたものであるため、俯瞰的な視点による分析が中心である。しかし、実際の試合において、選手は自身の視覚情報を基にプレーや運動を選択する。つまり、選手の視点を考慮することで、より実際の試合に即した分析が可能になると考えられる。そこで、第4章ではトラッキングデータから選手が試合中に得る視覚情報を推定し、視覚情報に基づくプレー分析を行う。

2 提供データ

本研究ではデータスタジアム株式会社から提供されたトラッキングデータとボールタッチデータ、出場選手プロフィールの3種類のデータを使用する。提供データは2019年、2020年のJ1リーグ90試合（各45試合）である。トラッキングデータ、ボールタッチデータは0.04秒ごとの出場選手とボールの2次元の位置座標を取得し、まとめたデータである。また、出場選手プロフィールより、選手の身長を高さ成分 (z 軸) としてトラッキングデータに付け加えた。3次元のトラッキングデータは第4章で使用する。

3 Fujimura の運動モデルの妥当性の検証

Fujimura の運動モデルは、選手の t 秒後の到達位置を計算するモデルであり、選手の等加速度運動と速度に比例した抵抗を考慮した運動方程式によって与えられる [4]：

$$m \frac{d^2 \vec{x}(t)}{dt^2} = F \vec{n} - k \frac{d\vec{x}}{dt} \quad (1)$$

ここで、 m は選手の質量、 F は最大推進力、 \vec{n} は加速の方向、 k は抗力定数を示している。初期位置を $\vec{x}(t_0)$ 、初速度を $\vec{v}(t_0)$ とした時、式 (1) の一般解は以下の式になる：

$$\vec{x}(t) = \vec{x}(t_0) + \frac{1 - \exp(-\alpha t)}{\alpha} \vec{v}(t_0) + V_{\max} \left(t - \frac{1 - \exp(-\alpha t)}{\alpha} \right) \vec{n} \quad (2)$$

α と V_{\max} は運動能力係数と呼ばれる 2 つの未知定数でそれぞれ抵抗の大きさと選手の最大速度を意味する。Fujimura の運動モデルでは、通常全力疾走という条件が仮定されており、 t 秒後の到達領域は円形になる：

$$\text{中心} : \vec{x}(t_0) + \frac{1 - \exp(-\alpha t)}{\alpha} \vec{v}(t_0) \quad (3)$$

$$\text{半径} : V_{\max} \left(t - \frac{1 - \exp(-\alpha t)}{\alpha} \right) \quad (4)$$

そこで、トラッキングデータを用いて「 t 秒後の到達領域の形状」、「運動能力係数の値」の 2 つの観点から、全力疾走時の Fujimura の運動モデルの妥当性を検証する。

はじめに到達領域の形状の検証を行う。図 1(a) は $\vec{x}(t_0) = (0, 0)$ で x 軸正方向に初速度 $\vec{v}(t_0) = (5.0, 0)$ [m/s] で走っている選手の $t = 2$ 秒後の到達位置をヒートマップで表したものである。図 1(a) より、ヒートマップの境界の形状は円形となることが分かる。初速度の大きさ v_0 を変化させて、様々な初速度 $\vec{v}(t_0) = (v_0, 0)$ でヒートマップを作成しても、同様な性質が得られた。

次に到達領域の v_0 依存性の検証と運動能力係数の推定を行う。図 1(b) はヒートマップの境界から円の中心位置 (x_c, y_c) と初速度の大きさ v_0 の関係性を示した図である。 x 座標の円の中心位置 x_c は $v_0 \lesssim 5$ [m/s] において v_0 と比例関係であり、比例係数の値と式 (3) を比較することで、 $\alpha = 1.2$ [1/s] が得られた。図 1(c) は円の半径 r_c と v_0 の関係性を示した図である。 $v_0 \lesssim 7$ [m/s] において半径が v_0 に対してほぼ一定値となっており、図中に点線で示した値は $r_c = 12.5$ [m] となる。 r_c の値と式 (4)、先程求めた $\alpha = 1.2$ [1/s] の値から、 $V_{\max} = 10.2$ [m/s] が得られた。図 1(b)(c) の結果は、いずれも Fujimura の運動モデルの一般解の予測と一致している。図 1(d) の点線は得られた運動能力係数を用いた場合の Fujimura の運動モデルの解を示したものであり、ヒートマップと Fujimura の運動モデルの解はよく当てはまっている。また、様々な初速度の大きさ v_0 でも、同様な性質が得られた。

最後に運動能力係数の時間依存性の検証を行う。図 1(e) は時刻 t を変化させて、 α と V_{\max} を求めた図である。一般解 (2) では運動能力係数は時間依存せず一定の値であると仮定されているが、実際の運動能力係数は t によって変化し、Fujimura の運動モデルの予想とは異なる結果が得られた。これは、データの精度による外れ値の問題や運動能力係数の推定方法の技術的な課題が影響している可能性が考えられる。一方、Fujimura の運動モデルの適用限界である可能性も考えられる。この場合には、運動方程式 (1) に含まれる力の項 ($F\vec{n}$) や抵抗係数 k を時間依存する形にするという拡張が考えられる。

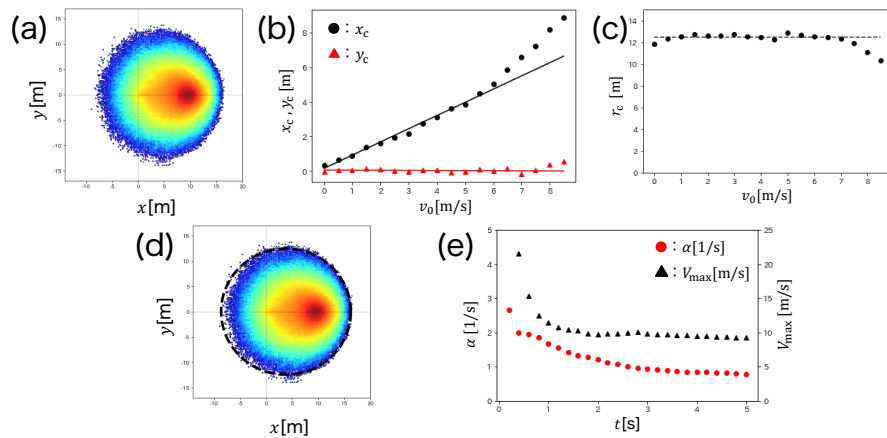


図 1 Fujimura の運動モデルの検証に用いた図。(a)：初速度 $\vec{v}(t_0) = (5.0, 0)$ [m/s] に対する 2 秒後の到達位置を表すヒートマップ。(b)：ヒートマップの境界から求めた円の中心座標の v_0 依存性。(c)：ヒートマップの境界から求めた円の半径の v_0 依存性。(d)：ヒートマップから推定した運動能力係数を用いた場合の到達円とヒートマップの境界の比較。(e)：運動能力係数の時間依存性。

4 選手の視覚情報の推定とパス分析への応用

4.1 選手の視覚情報の推定

図 2(a) は選手 A が目線の高さで写真を撮っている様子の模式図である。黒の矢印は選手 A の体の向きを表しており、図 2(a) で撮影した写真が図 2(b) である。視覚情報の推定では図 2(b) が図 2(a) の選手 A が得る視覚情報であると仮定し、トラッキングデータを変換して図 2(b) のような図を作成する。ここで、図 2(b) の横軸 (u 軸) および縦軸 (v 軸) を選手 A の視野角で表すことにする。すなわち、横軸 (u 軸) を選手 A の視野の左右の角度、縦軸 (v 軸) を上下の角度とする。例えば、選手 A の視野が左右に $-60^\circ \sim 60^\circ$ 、上下に $30^\circ \sim 120^\circ$ だとすると、図 2(b) は図 2(c) のような座標軸で表すことができる。ここで、 θ_{u1} 、 θ_{u2} は選手 B の体の左端と右端に対応する角度、 θ_{v1} 、 θ_{v2} は下端と上端に対応する角度を表している。 θ_{u1} 、 θ_{u2} 、 θ_{v1} 、 θ_{v2} はトラッキングデータの 3 次元座標に対し、平行移動や回転などの変換を行うことで求めることができる。図 2(d) は実際のトラッキングデータを用いて、選手の視覚情報を示した図である。様々な時刻で図 2(d) を作成することで、アニメーションとして可視化することも可能である。

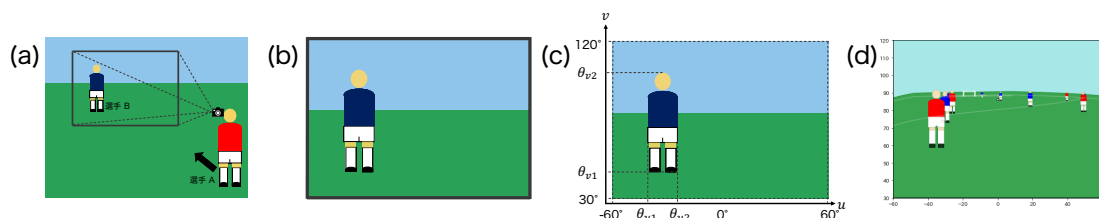


図 2 視覚情報の推定に用いた図。(a)：選手 A が目線の高さで写真を撮ったときの模式図。矢印は選手 A の体の向き、黒の枠線は選手 A の視野を表す。(b)：(a) で撮影した写真（選手 A の視覚情報）。(c) 選手 A の視覚情報に対する座標軸の設定。横軸は選手 A の視野の左右の角度、縦軸は上下の角度を表す。(d)：選手の視覚情報を推定した図。

4.2 選手の視覚情報に基づくパスの分析

前述した分析システムの応用として、パスの出し手の視覚情報がパスの傾向とどのように関わっているのかを検証する。はじめに、試合中に行われた成功パス (計 65995 回) を抽出し、パスの出し手から受け手の体の見え方を以下の 3 パターンに分類した：

- (1) パスの出し手から受け手の体が完全に見える
- (2) パスの出し手から受け手の体の一部が見えている
- (3) パスの出し手から受け手の体が全く見えていない

分類の結果、成功パスの 95.5% が受け手の体が見えているパスであることが判明した。

次に、選手の視覚情報に着目した安全なパスコースの条件を提案し、成功パスを安全なパスと安全ではないパスに分類してそれぞれの特徴を分析した。本研究では以下の 2 つの条件を満たすパスコースを視覚情報に基づく安全なパスコースとする：

条件 1：パスの出し手から受け手の体が見えている

条件 2：パスの受け手が相手からインターセプトされない位置にいる

条件2のインターセプトの判定はボールの軌道に対する相手選手の到達時間を基に計算を行っている。安全なパス・安全ではないパスの分析では、重心系を用いる。重心系は2チームの重心の midpoint を原点とする座標系で、重心系を2つの領域に分けて考えることで守備側陣内(領域1)へのパスと攻撃側陣内(領域2)へのパスを区別することができる[図3(a)]。重心系を用いることでフォーメーション内部の相対的な位置関係の把握が可能になる。図3(b)は安全なパスの分布図である。安全なパスの分布図の特徴として攻撃側陣内(領域2)へのパスが多いことが挙げられる。これは攻撃側陣内では相手選手が少なく、味方選手が見えるため安全なパスコースが多いからだと考えられる。図3(c)は黒い枠線内に出し手がいたときの安全なパスを受けた選手の位置の関係性をヒートマップで示した図である。安全なパスは出し手の横か攻撃方向とは逆方向に出す傾向が高いことがわかる。つまり、安全なパスは保守的でポゼッションを行う際に用いるパスであると考えることができる。図3(d)は安全ではないパスの分布図である。安全ではないパスの分布図の特徴として相手陣内(領域1)へのパスが多いことが挙げられる。相手陣内では選手が多く密集しているため、味方の選手が相手の選手の後ろに重なってしまうことがある。また、相手の選手が多いことからインターセプトされる可能性も高くなる。そのため、相手陣内へのパスは安全ではないパスになってしまうことが考えられる。図3(e)は黒い枠線内に出し手がいたときの安全ではないパスを受けた選手の位置の関係性をヒートマップで示した図である。安全ではないパスは攻撃方向へ出す傾向が高く、得点を奪うために行うパスであると考えることができる。

今回はパスに着目して分析を行っているが、パス以外のプレー(ドリブルやシュートなど)にも視覚情報に着目して分析を行うことで、新たな特徴が発見できるのではないかと考えている。

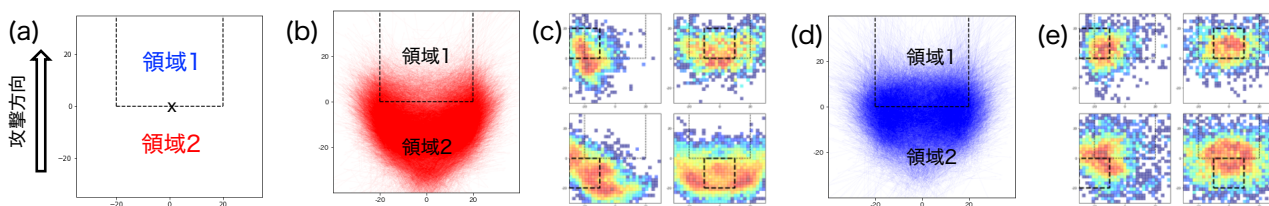


図3 (a):安全なパス・安全ではないパスの分析で用いる重心系。領域1は守備側陣内、領域2は攻撃側陣内を示す。(b):安全なパスの分布図。(c):安全なパスを受けた位置を示すヒートマップ。(d):安全ではないパスの分布図。(e):安全ではないパスを受けた位置を示すヒートマップ。

謝辞

本研究で用いたデータを提供して頂いた『データスタジアム株式会社』に深く感謝致します。本研究は『情報・システム研究機構 統計数理研究所 医療健康データ科学研究センター』の支援を受けたものです。

参考文献

- [1] P. Luca, C. Paolo, R. Alessio, M. Emanuele, F. Paolo, P. Dino, and G. Fosca: Scientific Data **6** (2019). 236.
- [2] S. A. Pettersen, D. Johansen, H. Johansen, V. Berg-Johansen, V. R. Gaddam, A. Mortensen, R. Langseth, C. Griwodz, H. K. Stensland, and P. Halvorsen: Proceedings of the 5th ACM Multimedia Systems Conference (2014). 18–23.
- [3] J. Gudmundsson and M. Horton: ACM Computing Surveys (CSUR) **50** (2017). 1–34.
- [4] A. Fujimura and K. Sugihara: Systems and Computers in Japan **36** (2005). 49–58.