

サッカーにおけるパス行動決定の計算モデル化

Computational Modeling of Pass Action Decision in Soccer Game

瀬古沢 理一*¹
Sekozawa Riichi

大森 隆司*²
Omori Takasi

*¹ 玉川大学大学院工学研究科

*² 玉川大学工学部

Graduate School of Engineering, Tamagawa University School of Engineering, Tamagawa University

In a soccer game, a player keeping a ball decides a pass course that can reach a same team player depending his/her intuition. But the ball passing is a physical phenomenon and it should be explained more rationally. But an algorithm for the pass course decision is not known in a computational sense. So, in this study, we examined a superior domain model as a player reachable area based on a real game data, and proposed an extension of the model to explain actual player behavior. As the proposed model quantitatively evaluates a defense crack and/or a possible pass and running in of an offence player, we may be able to estimate a tactile player action by rational criterion.

1. はじめに

サッカーのような集団ゲームにおける選手の行動予測は困難と考えられている。しかし、そのようなプレイにも一定の行動規則は存在し、エキスパートは選手の行動をある程度予測することができる。行動決定の情報処理過程を適切にモデル化するならば、人工的な手段でもある程度の予測は可能と考えられる。しかしこれまで、集団場面での人の行動決定過程のモデル化はほとんど行われていない。そこで本研究は、サッカーという目的志向のスポーツを対象として、その協調的戦術行動のモデル化による情報処理の理解を目指す。これにより、従来の経験や直観に基づく説明ではなく、定量性・合理性に基づく試合の説明を目指す。

サッカーでは、ボール保持者のパスの戦術選択と他の味方の選手の判断が同じになった時に、味方選手が敵陣に走り込んでパスを受けるといった戦術的な行動が実現される。一方の敵味方間では、相手チームの戦術選択を予測してそれを妨害する。その際、味方の選手同士は練習を共にした経験から互いに戦術選択や行動を高い確度で予測して協調動作を行い、敵同士はフェイントや戦術的動きで騙しを行ない、結果として敵の判断ミスを生み出す。このようにサッカーとは、集団行動の視点では意図推定とだましのゲームである。

しかし現状では、サッカーのような自由度の高い場面での集団の戦術行動を評価するには、個体の行動決定モデルが不足していると考えられる。そこで本研究ではその取り掛かりとして、パス行動の基礎となる優勢領域モデルを改良し、その現実の試合データによる評価を行う。具体的には、プレイヤーの走行速度の変化や方向転換のための時間ロス、パスボールの移動時の速度減衰などの物理的制約を行動データから選手の到達領域のモデルである優勢領域モデルを精密化し、Jリーグの試合データ中のパスで評価する。

2. 優勢領域モデルによる選手行動の予測

これまで、サッカーのようなゴール型ゲームでは、フィールドホッケーでの優勢領域に基づくチームワークの定量的評価 [1]、少人数サッカーでの優勢領域の近似計算手法 [2]、フィールドホッケーでの試合展開に伴う圧力場

ダイナミクス [3] などが提案されてきた。しかし、サッカーの現実のゲーム場面でそれらのモデルの妥当性が細かく評価されたことはない。それは試合の緻密な行動データの入手が困難であったためと考えられるが、近年は IT 技術の進歩によりそのようなデータが入手可能となってきた。

そこで本研究では、現実のサッカーゲームでの選手の行動を予測・説明する行動決定モデルの構築を目指す。選手の位置を頂点とするボロノイ図に、選手の走行速度のモデル(ダッシュモデル)とパスのボール速度のモデル(ボールモデル)を導入すると、個々の選手が他の選手より早く到達してボールを受け取れる「優勢領域」を定義・視覚化できる [4]。これにより、味方選手が安定してパスを受け取ることができる領域を予測でき、さらに敵陣にパスの通るスペースを発見して走り込むといった攻撃側選手の行動予測・説明が可能になると期待される。

しかしこれまで、実際のサッカーの試合で優勢領域モデルの妥当性が評価されたことはない。そこで本研究では、データスタジアム(株)が提供している Jリーグ試合中の選手・ボールの移動履歴データ(フィールド内のすべての個体およびボールについて、cm 単位, 25fps)に基づいて試合状況を再現し、そこでの優勢領域モデルに基づくパス行動の評価を試みる。

3. ボールとダッシュのモデル化

優勢領域を計算するには、パスによるボール移動が時間とともに速度が減衰する過程を表現する「ボールモデル」と、それを受け取る選手の側のダッシュによる加速と移動の時間経過を表現する「ダッシュモデル」が必要となる。そこで人間サッカーの試合からシーンを抽出し、ボールモデルとダッシュモデルを構築する。使用する行動履歴データは 2011 年 05 月 14 日に行われた J1 の東京ヴェルディ V 対北九州ギラバックスの試合である。試合には対応したテレビ放送の映像があり、その映像から解析に必要な選手の行動が多く含まれるシーンを切り出し、さらにそこからパスボールやダッシュのシーンを抽出する。そして、そのシーンに対応するフィールド内の選手の配置や行動履歴からパスとダッシュのモデルを構築した。

連絡先: 大森隆司, 玉川大学工学部, 195-8610 東京都町田市玉川学園 6-1-1, 042-739-8560, Fax042-739-8858, omori@lab.tamagawa.ac.jp

3.1 選手のダッシュモデル

選手の移動軌跡からその走行の速さと方向を求め、選手がある瞬間から到達できる範囲の推定方式を検討する。前提として、選手はある瞬間から最大加速度でダッシュを行なうが、その加速度は速さにも依存する、すべての選手のパラメータは等しいというモデルである。最大加速度の数値が必要であるが、全選手が1試合中での最も速く走行した際の最大速度と最大加速度を抽出し、その平均値を選手モデルのパラメータとした。試合データから、選手の最大走行速度 $v_{max} = 10$ [m/s], 最大加速度 $a_{max} = 6$ [m/s²], 加速特性は一次減衰型の指数曲線と想定した。加速度、走行速度、到達距離の式を以下に示す

$$\frac{dv}{dt} = -kv + \alpha \quad (1)$$

$$v_t = \frac{\alpha}{K}(1 - e^{-Kt}) + v_0 e^{-Kt} \quad (2)$$

$$D_t = \frac{\alpha}{K}t + \left(\frac{v_t}{K} - \frac{\alpha}{K^2}\right)(1 - e^{-Kt}) \quad (3)$$

3.2 方向依存の反応遅延

人間は身体の向きに対して走り出す方向が異なるとき、体制を整えるまでの時間のロス(反応遅延)が生じる。身体の正面方向と身体の背後方向とでは、反応遅延は異なる。その影響を知るため、実際の試合映像から、選手がパスボールを見てから走り出す場面を抽出し、前後左右の各方向への反応遅延を3試合200シーンの映像から測定した。その結果を図1に示す。従来モデルではこの遅延と身体方向を含んでおらず、一定時間内の選手の到達距離に誤差が生じていた。これにより、選手がボールに到達できる可能性の評価が変化する。

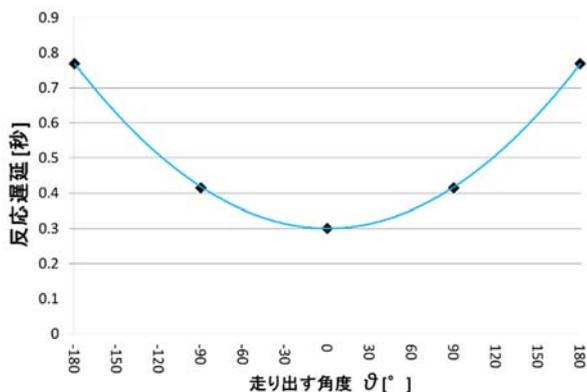


図1 選手の走り出す角度と反応遅延の関係。身体の正面を0度として、角度の二次関数で遅延が記述できる。

3.3 優勢領域によるフィールドの分割

遅延時間を導入した優勢領域は、試合の各瞬間に定義可能である。その結果、その瞬間の走る速さと向きから各選手の周囲にその選手がボールを受け取れる領域ができ、さらにフィールド全体をどちらのチームの選手が先に到達可能かという地図がかかる。図2はその一例であるが、これとボールが現在位置からそれぞれの位置にどのタイミングで到達できるかが判るなら、ある場所から次の場所へのパスが味方同士で成功するかどうか、計算できることになる。

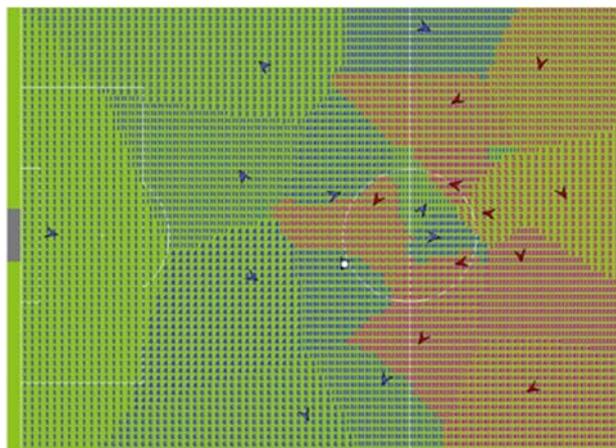


図2 優勢領域モデルによるフィールドの分割

3.4 ボールモデル

パスは、ボールが宙を飛んである段階からバウンドし、最後に転がるという3段階の物理的過程を経てレシーバーに受け取られる。この挙動を知るため我々は、パスシーンのボールの軌跡データを切り出し、その速度変化からボール速度の減衰率を推定した。

パスボールの速度は指数減速すると想定した。データからは二種類の減衰率 [B1(=0.82[%/s]), B2(=0.6[%/s])] が見つかった。このシーンを実際の試合映像で確認すると、パスはバウンドしている状態(以下バウンドモード)から転がっている状態(以下グラウンダーモード)に移行しており、それにより減衰率が変化したと考えられる。バウンドモードからグラウンダーモードへの移行は、ボールの速度の初期値にも依存するが、本研究では速度が一定値(11[m/sec])以下になったときに起きると考えた。

ボールモデルは、2種類のボールの状態を想定したが、実際のボール状態は3段階ある。それはライナー性のボール状態で、バウンドモードになる前の、ボールを蹴ってから最初に地面と接触するまでの過程である。しかしこのライナー性の状態となる時間は、パスボールのスピードや仰角によって変化して本研究で使用する試合履歴データでは判断できず、2段階のボール状態でのモデルとした。

4. パスモデル

サッカーのフィールド(105m×68m)を1m×1mの正方格子のエリアに分割し、選手とボールが各エリアに到達する時間をモデルから計算することで、パスが可能な領域を判断した。また、それぞれのエリアにゴールに向かうための重要性を重み付けすることで、敵のゴールへ攻撃していくための効果的なパスが評価できる可能性がある。さらに、レシーバーがボールを受け取ってから敵選手が接近してくるまで猶予時間も計算でき、守備によるプレッシャーの評価ができる可能性がある。

4.1 パス成否判断

エリアごとに、優勢領域モデルによる両チームの選手の最小到達時間をもとめ、さらにボールの到達時間と比較することで、そのエリアに選手とボールが到達する順番とその時間的余裕が計算できる。これによりパスの成否判断と質の評価を行う。パスの成否は表1に示すように4種に区別できる。

表1. 到達順によるエリアのパス成否判断

到達時間	パスの成否
味方<ボール<敵	パス成功
敵<ボール<味方	パス失敗
ボール<味方・敵	パス失敗
味方・敵 < ボール	判定不可

パスの成否はパスが行われた瞬間に評価する。原則は、パスボールが到達するエリアにボールに間に合うように最初に到達できる選手がボールのレーシーバーになる。パスボールに最初に触れることができる選手が味方であればパスが成功するパス可能領域であるとする。

各エリアでのパスのプレッシャーは、味方選手がボールを受け取ってから、敵選手が到達するまでの時間的余裕に比例するとする。

4.2 パスエリアの評価

パス可能領域の各エリアに評価値を与えるため、フィールド重みとプレッシャー重みを計算し、その評価値が最も高いエリアをパスモデルの求めたパスエリア候補とする。

(1) フィールド重み付け

ボールを所持しているチームが攻める敵ゴールを基点とした重みを各エリアに割り当てる。それは、敵ゴールに近くなるほど評価が高く、離れれば低くなるゴール距離重み付けと、敵ゴールの正面になるほど評価が高く正面から角度のある地点だと評価が低くなるゴール角度重み付けを掛け合わせ、その値をフィールド重み付けとする(図3)。これにより、敵ゴールに直接にシュートを打つ場合の成功可能性を評価できると考える。

(2) プレッシャー重み付け

味方選手がパスボールを受け取ってから敵選手がそのエリアに到達するまでの時間(猶予時間)を、敵選手によるプレッシャーの基準とする。そのためパス可能エリアでボールの到達時間と敵選手の最短到達時間を比較し、猶予時間があるほど評価を高くする。

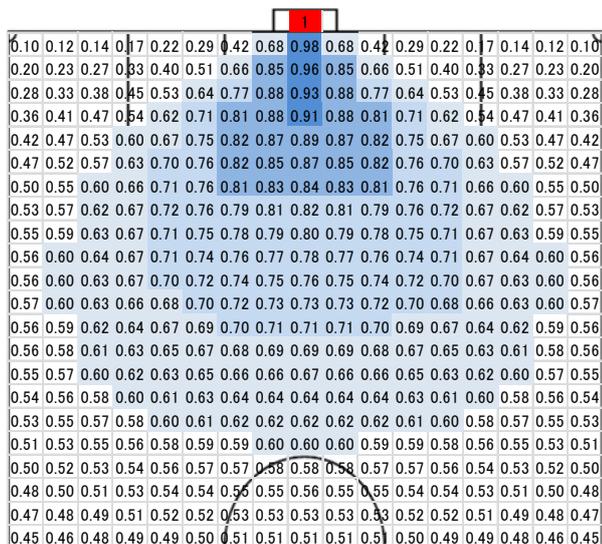


図3 フィールド重みづけの事例

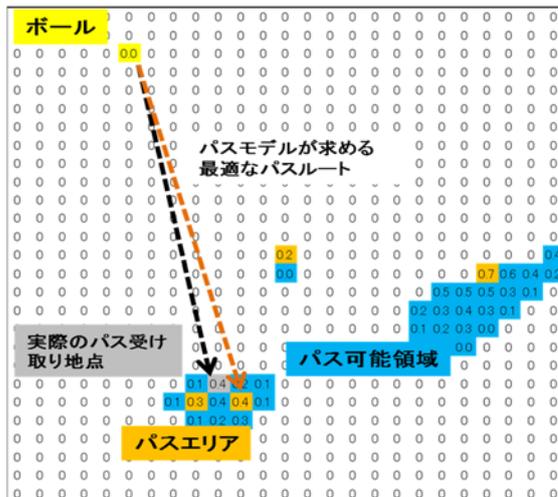


図4 フィールド重みとプレッシャー重みによるパスエリアに計算



図5 実際の試合のパスシーンの事例。元データには選手の各瞬間の位置のみが含まれており、その系列から選手の方向も推定している。

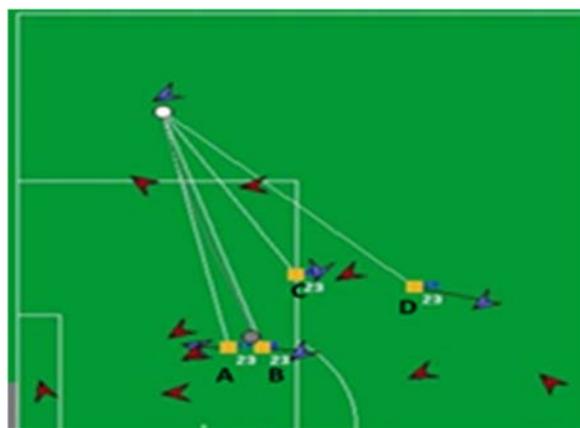


図6 本モデルで推定された可能なパスとその評価。四人の味方選手のそれぞれがもっとも高い評価でパスを受け取る位置が点(A,B,C,D)で示され、その評価も示されている。

(3) パスエリアの決定

フィールド上の各エリアでフィールド重みとプレッシャー重みの値を求めたことで、パス可能領域のエリアごとにその質の評価ができる。各エリアは最短時間で到達できる選手が判別できるため、ある選手からパスを受け取り可能な味方選手ごとに評価値が最も高いエリアを選択してパスエリアとする(図4)。

5. パスモデルの評価

再現サーバーで、パスする瞬間にパスモデルにプレイの行動決定をゆだね、そのとき、モデルの行動がどれだけ人間サッカーの行動を予測できるか(再現精度)が評価の基準となる。

図5は実際の試合の場面である。パス(14番)がゴール前でかつ敵選手のないスペースに走りこんでいる味方選手(6番)にパスをする。このシーンのパス行動を実際のボール速度の範囲内で何段階かにボール速度を変えてパスモデルによりパスの可能性を評価した。そしてその結果の合理性を検討することで、パスモデルの妥当性と有効範囲を検討した。

結果を図6に示す。パスモデルが味方の4人の選手へのパスが可能なエリア(A, B, C, D)を検出した。これらのパスエリアのうちで評価値が最も高いエリアBが本モデルが求めた最適なパスコースとなった。これらをより詳細にみると、A・C地点にあたるエリアは、ゴールにより近い位置でその評価はよいが、敵選手がすぐ近くにおいてプレッシャーが強く、評価値が低い。一方のD地点はマークしている敵選手がおらず評価値が高いエリアもあるが、パスの位置よりもゴール重み付けの評価が低く、最適なパスエリアとしては選ばれない。結果として、C地点はゴール前であるにも関わらずプレッシャーが弱く、評価が高くなった。図4に示された実際のパスもまた、モデルが最適パスルートと判断したエリアCの近くとなっている。

6. まとめ

本稿では、集団行動におけるチームワーク的な行動決定のモデルとしてサッカーに注目し、そのパス行動の合理性を検討するための優勢領域モデルに注目し、その計算に必要なボールモデルとダッシュモデルを実際の人間の試合データに基づいて求めた。その過程で、選手の向きとダッシュの方向により遅延が生じることを発見し、それをモデルに組み込むことでより現実的な優勢領域が計算できた。このモデルにより、ある瞬間に出されたパスがどの選手に受け取られるかという物理的な予測が可能となる。

その予測に対応する現実の試合のパスの成否を比較することで、モデルが想定するパスのプランニング戦略に対応する人間の判断過程が見えてくるものと期待する。例えば、本モデルでは選手はパスボールの動きを見てから動き出すと想定している。しかし実際の選手は、パスの視線、味方の位置などの要素から予測的にダッシュをしておりモデルの予測より広い範囲に到達していると、その予測がはずれた場合には物理的には到達可能でも選手の行動決定が間に合わず、目の前を通り過ぎるパスに到達できないということもある。そのような事例の発見と戦術的な視点からの分析、行動決定モデルの改良、さらにはチーム戦術のモデル的表現などが長期的な課題である。

より短期的には、パス行動決定の評価基準の1つであるゴール重み付けが『ゴール前のシュートを打てる位置に出す効果的なパス』という限定的な目的の評価法であることは課題である。実際の試合での、『センタリングを上げる選手への効果的なパス』としてサイドに出すパスや、前向きにシュートする選手に向けて後方に出すパスなどもあり、目的によってフィールドのエリア評価基準が変わっている。このようなパスの目的ごとに効果的なフィールドの評価基準を構築することで、より多彩なパスコースを予測評価できるであろう。

パスの成功可能性が評価できるということは、守備の穴を見つけることができる、ということでもある。本研究では議論できていないが、守備側の選手の行動決定モデルを作成し、そこに攻撃側の数人のチームプレイによる働きかけの結果として効果的なパスコースを見つけ出すような、戦術探索も不可能ではない。このような戦術の探索は、攻撃側・守備側のいずれについても可能であり、より深い戦術モデルの開発が求められる。

このように、人間の直感的とも思える行動の背後には物理制約を考えた合理的な計算と意思決定があり、さらにその先には物理制約を超えるための協調行動のプランニングがあるはずである。現在のサッカーの試合の分析は、人間の直観に頼っているが、本モデルでのパスの評価のように「仮にこのようにしたら、あのパスを出していれば」といった「たれば」の議論は意義が薄いとされてきた。しかし本モデルのように仮想的なパスの妥当性が検討できるなら、事後の反省として、あるいは選手の訓練として、より深い試合の分析ができるものと考えている。

参考文献

- [藤村 2004] 藤村 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, 電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-パターン処理 J87-D-II (3), 818-828, 2004.
- [中西 2010] 中西良太, 村上和人, 成瀬 正: 集団行動のオンライン解析を目的とした優勢領域の近似計算法, 電子情報通信学会論文誌 D Vol. J93-D No.1 pp.20-28, 2010.
- [横山 2011] 横山慶子・山本裕二: ボールゲームにおけるチーム内連携のダイナミクス - 6人制フィールドホッケーによる検証 -, 認知科学 Vol.18 No.2, pp.284-298, 2011.
- [瀬古沢 2013] 瀬古沢理一, 大森隆司: サッカーにおけるパス行動決定の計算モデル化の試み, 日本認知科学会第30回大会, P1-1, 2013