

RoboCupサッカーにおける戦略混合比の分析

森下 卓哉* 西野 順二** 小高 知宏** 小倉 久和**

* 福井大学工学研究科 ** 福井大学工学部

概要

本研究では、サッカーゲームにおける混合戦略表現モデルを提案する。サッカーゲームは時間連続性をもち、11人対11人に対戦するマルチエージェントシステムである。このような性質を持つゲームにおける混合戦略を時間に基づいて定義し、コンピュータシミュレーションで実験を行なった。実験では、混合比率を変化させて試合を繰り返し行ない、それぞれの比率での評価を求めて混合比率と利得の分析を行い、混合戦略モデルの妥当性を検討した。

Analysis of mixed strategy on RoboCup soccer games

Takuya Morishita* Junji Nishino**

Tomohiro Odaka** Hisakazu Ogura**

* Graduate School of Engineering, Fukui University

** Faculty of Engineering, Fukui University

abstract

In this report, we proposed expression model of mixed strategy for continuous time game and, we proposed a method to analyze aspects of continuous time games, such as Soccer game. We defined mixed strategy on the basis of time interval mixture on the game that had such a nature. The experimental matches was done on several mixture ratio, on the computer simulation. The results showed our method is feasible.

1 はじめに

本論文は、連続時間ゲームにおいて1試合中での混合戦略の表現と実現方法を提案し、さらにゲーム試行からの利得の推定について提案、検討することが目的である。さらにマルチエージェントシステムにおいて、システムとしての戦略の実現方法についても考察する。

ゲーム理論では、各プレイヤーがもつ純戦略を出し合い1回で利得の決定をするという、時間の経過とは無関係な交渉をゲームと呼ぶ。一方、本論

文で対象とする連続時間ゲームとは、サッカーのような一定時間継続する一連の行動の結果によりゲーム利得の得られるゲームを指すものとする。ここで各プレイヤーは、一連の行動の組として戦略を実現する。各1ゲームは一定の条件、たとえば総時間や、ゲーム進行にもとづくイベントにより終了する。ここで、ゲーム中のある瞬間でのプレイヤーの取りうる代替案を「行動」、一連の行動の組を「戦略」と呼ぶ。

このように行動の組として戦略が実現できるゲームでは、限られた範囲ながら、1試合の中で複数の戦略を組み合わせることができる。たとえば一

定時間のゲームとして、ゲーム時間の前半は戦略 A を実現する行動をとり、後半は戦略 B を実現する行動を取ったとすると、1 試合において、二つの戦略を 0.5 対 0.5 の割合で組み合わせることになる。本研究では、このような時間による組み合わせ戦略を、様々な割合の混合戦略としてとらえて分析する方法を提案する。

このとき前半、後半などといった部分時間においての、行動の組を戦略として扱えるかどうかは、ここで提案する、時間による混合戦略と扱えるかどうかの前提となる。この点についても考察する。

このような枠組で混合戦略が実現できるかどうかを検討するため、実際のゲームとしてシミュレーションサッカー [3, 1, 4] を対象に実験を行う。このとき、ゲームが持つ利得表は明らかではないため、それを得るためには、ゲームの結果からの推定をする必要がある。しかしながら、混合戦略の表現自体の妥当性の判断を主とするならば、必ずしも利得表の推定それ自体は必要ではない。本研究では、自分側プレイヤーの持つ戦略の混合比を変え、試行を繰り返すことで、混合比/平均利得の関係を得て、それをもとに混合戦略表現の妥当性を議論する。

2 連続時間ゲームにおける混合戦略表現

ここでは、連続時間ゲームの定義、連続時間ゲームにおける戦略の実現、混合戦略の表現について説明する。

2.1 連続時間ゲーム

連続時間ゲームとは、単一の交渉にのみ利得が決まるゲームではなく、一定時間連続した一連の行動により利得が決まるゲームである。具体的には、サッカーを始めとした多くのスポーツや、実時間のなかで評価までに一定の時間経過が必要な各種の交渉を指す。

時間とは、ゲーム開始から終了までの経過時間であり、ここでは量子化されたものと厳密に連続なものを区別しないこととする。ゲームの終了は、たとえばある種のゴールの実現や、経過時間といった、イベントによるものとする。

時間を量子化して考えると、ここで示した連続時間ゲームは、繰り返しゲーム [10, 11, 5] とごく類似したものになる。繰り返しゲームとの相違点は、次節で述べる行動と戦略の実現との関係にある。繰り返しゲームとは、繰り返しが無いときにも単位ゲームが成り立つものであり、連続時間ゲームは、単位時間、あるいは、ある行動が実行されただけでは、ゲームとして成り立たない、つまり利得を決定できないゲームである。囲碁や将棋のような展開型ゲームにおける、「手」の連続も、各「手」の応酬の場面場面で利得が決定できるため、厳密には、ここで言う連続時間ゲームではない。ただし、各 1 手での利得が現実的には得られないため、近似的に連続時間ゲームとして扱う事も不可能ではない。

2.2 連続時間ゲームにおける戦略の実現

連続時間ゲームでは、一連の行動の結果により、利得が得られる。一連の行動の組を、戦略として定義する。

この戦略は、実際のスポーツの試合などにおいては、一定時間継続する場面におけるプレイヤーの意図として考える事ができる。意図のあるプレイヤーは、ある戦略を実現する一連の行動をすることになる。

ここで行動とは、ある瞬間あるいは単位時間にプレイヤーが実行することのできる代替案を指す。たとえば、サッカーの試合では、センターにボールを集めるという戦略のときに、センターに向けてボールを蹴る事などが行動である。このような行動を継続することで戦略が実現される。またボールにアプローチする、方向を確認する、ボールを蹴る、という個々の動作もここで言う行動である。行動一つに対して、直接的な利得あるいは評価はできず、これを一定時間継続する事で、評価が得られ、また戦略が実現することになる。

戦略を表現あるいは実現するためには、行動の組を一定時間継続する必要がある。この必要継続時間は戦略や行動、またゲームそのものによって異なる。繰り返しゲームは、この意味では、継続時間が単位時間である行動からなるゲームと言うことができる。

2.3 混合戦略の実現

戦略の表現のための必要継続時間が、1ゲーム全体の時間より長いときには、1ゲーム中で複数の戦略を実行することができる。ゲーム理論で扱う単一のゲームは、1回の交渉で選べる戦略は一つである。連続時間ゲームでは、時間による戦略の切替えを行う事で、複数の戦略の混合を実現し、またその継続時間を調整し混合比率として考える。

3 サッカーゲームにおける混合戦略

サッカーは複数のプレイヤーによってボールをコントロールしていくゲームである。そのために、プレイヤー同士が協力して大きな目標を目指すという協調問題である。ここでは、サッカーゲームにおける戦略、戦略混合戦略の表現と実装について説明する。

3.1 時間による混合戦略の実装

サッカーゲームにおいて、戦略は瞬間瞬間で切りかえるものではなくある一定の時間持続させなければならない。そこで、継続単位時間 δt を設定し、戦略を δt 時間分だけ持続させることとした。混合戦略はこの単位時間の数の比率を混合比として実現する。混合戦略における混合比を A 戦略対 B 戦略 = 3 対 7 とした場合に、A 戦略を $3 \delta t$ 時間実行し、次に B 戦略を $7 \delta t$ 時間実行するという様に切り替える。これをさらに試合の間繰り返す。図 1 に示すように、ゲームがある時間続くためにその時間を適当に区切り混合戦略を実現する。

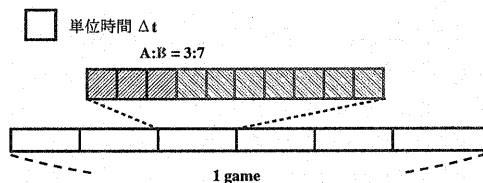


図 1: 時間による混合比の実現

3.2 サッカーエージェントへの戦略の実装

ここで用いるサッカーエージェントは、あらかじめ基本的な能力として、味方へのボールパス、シュートといった基本行動はできるように実装済みである [4, 8]。これに加えて、混合戦略の実験を行なうため、サッカーの戦略として、センター突破とサイド突破戦略を実装した。

今回、扱った戦略は中盤での突破についての戦略である。実験には対照的と考えられる戦略を 2 つ用意した。戦略は、チームのプレイヤー全員に共通のものとした。個々のプレイヤーの行動とチームとしての戦略の関係は 3.3 節で述べる。

3.3 個々のプレイヤーとチーム戦略

サッカーは味方 11 人と敵 11 人からなるゲームである。そのために、個々のとる行動とチーム全体としてみた場合の行動には違いがある。個々のプレイヤーにはポジションや役割といったものに基じた行動のための知識が存在している。例えば、フォワードとゴールキーパーでは役割や状況に応じた行動知識は異なっている。ゴールキーパーには自分がシュートをするためのルールやオフサイドにならないようにポジションを取るといったルールは実装されていない。このように、戦略について考えた場合においても、個々のプレイヤーはそのポジションに応じて、ルールを構成すべきであるかもしれないが、チーム全体で、ある戦略をとる場合には、本実験ではチーム全体での行動結果が重要であったので、個々のプレイヤーには特に関係が無いように次のように戦略を実現し全プレイヤーに共通とした。

3.4 センター突破戦略

センター突破戦略とは、フィールドの中央を突破する戦略である。中央を突破する方法はいくつか考えられるが、パスをコントロールすることで、戦略を切りかえられるようにした。中央を突破する戦略として実現するために、図 2 に示すように、パスを出す相手や場所をフィールド中央に限定することで実現した。個々のプレイヤーはおのおの自分のルールに基づいて行動を決定するのであるが、

チーム戦略としてひとつの結果を実現するために、個々のルールベースで意思決定を行なう際に、戦略にあわない相手や場所へのパスは選択されないようにした。個々のプレイヤーはすでに実装された行動ルールをもとに行動し、戦略にあったパスのみを選択することで、突破する場所を変更する。

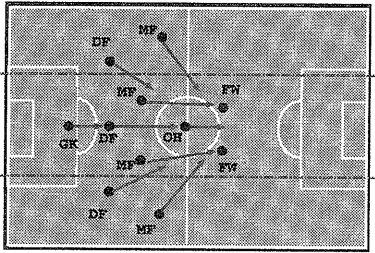


図 2: センター突破戦略のパスによる実現

3.5 サイド突破戦略

サイド突破戦略とはフィールドの両サイドを突破する戦略である。図 3 に示すように、センター突破と同様にパスを出す相手や場所をフィールドの両サイドに限定した。味方のプレイヤーはもっと良いパス候補があったとしても、それが戦略に従っていないならばそこにはパスを出さない。パスを限定することで、結果として中央のプレイヤーはサイドに展開するようにパスを出し、サイドのプレイヤーはパスを前方に出す、もしくは、自分で攻めあがろうとする。

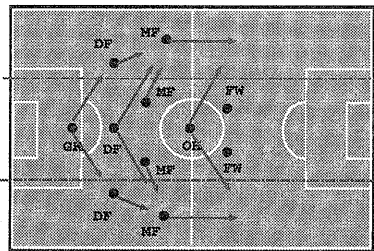


図 3: サイド突破戦略のパスによる実現

4 混合戦略の実験

4.1 実験方法

混合比を変更して試合を行なうことによって、混合比の違いによる試合の流れの変化を分析する。試合は RoboCup で使用されるサッカーサーバ [9, 2] 上でコンピューターシミュレーションを行なう。試合の相手として、CMUnited99 [6, 7] を使用した。このチームは 98 年度と 99 年度の RoboCup の世界大会の優勝チームである。

試合時間は RoboCup 公式の時間である 6000 シミュレーションステップを基本とし、勝敗がつかなかった場合もそこで終了とした。戦略を切りかえるタイミングの δt は 100 シミュレーションステップとした。これによって 1000 シミュレーションステップで混合戦略のひとつ区切りとし、試合中に 6 回繰り返すことになる。混合比を 10:0, 8:2, 6:4, 4:6, 2:8, 0:10 の 6 通り用意して、それぞれ 50 試合を行なった。

4.2 実験結果

戦略の利得として、試合中のボールの位置を用いた。ボールが相手ゴール付近にたどりつくことが突破の目的であるので、フィールドを図 4 に示すように 6 つのエリアに分割し、それぞれのエリアごとにボールのあった滞在時間を優勢度とし、戦略の利得とした。左側が自陣側で、左側から順番にそれぞれ、-40m ライン、-20m ライン、0m ライン、20m ライン、40m ラインとなっている。自陣側より、味方ゴール前、守備ゾーン、中盤自陣側、中盤敵陣側、攻撃ゾーン、敵ゴール前エリアと呼ぶ。また、試合の時間はセットプレイ等でロスタイムが生じるため、ボールの滞在時間を計算した後に試合時間全体を 6000 とした時間に規格化した。

図 5 に攻撃ゾーンの戦略混合比と利得の関係を、図 6 に敵ゴール前エリアの戦略混合比と利得の関係を示す。表 1 に値を示す。グラフの横軸は左から混合比センター対サイドが 10:0~0:10 で並んでいる。グラフの縦軸はその混合比率による混合戦略の利得である。利得は 50 試合の結果の中央値を取った。

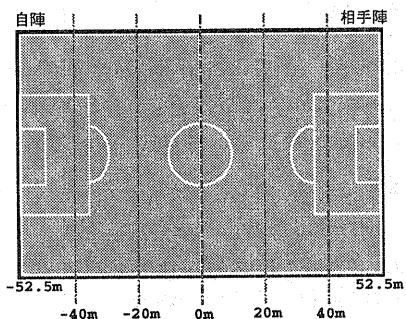


図 4: フィールドのエリア分割

表 1: エリア別の評価値

混合比	攻撃ゾーン (図 5)	敵ゴール前 (図 6)
10:0	376.39	90.022
8:2	386.27	97.890
6:4	519.23	100.685
4:6	584.36	150.211
2:8	573.74	135.827
0:10	502.73	89.780

5 考察

5.1 混合戦略の実現

本論文で提案した時間による混合戦略の表現とゲームの試行からの利得の推定について、実験結果を見るかぎり、混合比の変化に対して期待した曲線が得られた。この曲線が利得と一致しているかどうかは、相手の戦略に対して利得表が得られないために明らかではないが、相手の特性を示す曲線になっていると考えられる。

対戦相手と得られる結果について、相手が賢くなく、こちらの一連の手に対して適した手を打ってこない場合には、横一線の評価値が得られる可能性もある。そして、一部の戦略には対応してきたりする場合、凹凸のあるグラフが得られる可能性もある。これらは、今後様々な相手に対して追加実験を行なう予定である。

今回実験相手として使用した CMUnited99 は試

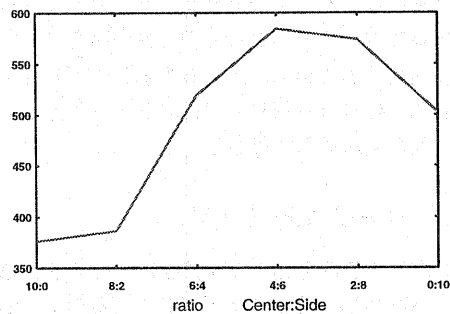


図 5: 戦略混合比と利得の関係 (攻撃ゾーン)

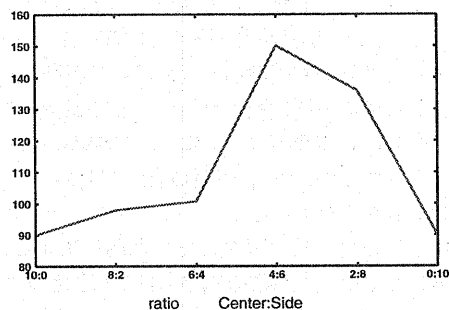


図 6: 戦略混合比と利得の関係 (敵ゴール前エリア)

合中に適応するとされている [6, 7]。ここでは、相手が適応的に対応したため、図 5、図 6 のように比較的に期待していた曲線が得られたものと考えられる。図 5、図 6 に示されるように、センター突破のみの戦略とサイド突破のみの戦略より混合戦略のほうが利得が高いことが分る。センター突破のみではかなり利得がさがってしまうが、サイド突破にセンター突破を少し混ぜれば利得が上昇することが実験よりわかる。このように、相手の戦略が未知である場合に対しても、提案した分析により推定が行なえることの可能性を示した。

5.2 戦略混合の方法

混合戦略を実現するためには、なんらかの指標を持ち、混合比にもとづいて戦略を切りかえていかなければならない。時間による混合比の実現以外に、ゲーム中に複数の動作主体が存在している

ことを利用することができる。サッカーではないゲームでは、チームとしての混合戦略をプレイヤーが実現するために、チームの半分のプレイヤーはA戦略、残りはB戦略を実行するという方法でも混合比の実現は可能である。

5.3 チーム戦略の実現

時間による混合比の実現方法について、A戦略もB戦略も単位時間で実行可能であるので、もっとばらばらに組み合わせることも可能である。この場合は、チームとしての戦略であるために、同時に切りかえる方法がなければ、ゲームの性質によってはチーム戦略として実現ができない可能性もある。また、切りかえが多くおきるときに、 $A \rightarrow B$ もしくは $B \rightarrow A$ への切りかえによる不利益などが生じるのならば、戦略を比によって混合したことにならない。今回のように、パス候補の切りかえならば切りかえによる不利益は生じづらく、戦略の混合ができていく。

さらに戦略を持つ場合には、問題にもよるが、現実的には4～5種類の戦略を持つのは当然であると考えられる。今回の方法において、相手の戦略は未知であり、実際にいくつの戦略をどう切りかえてきても方法自体には問題はない。自戦略が3つ以上の時に対しても、本手法と同様に実験と分析を行なうことができると考える。ただし、戦略が2つ以上になった場合には、混合比のパターンが増えるとともに戦略同士の関わりあい等問題や実験が複雑になる。本論文では、戦略の数よりも時間による混合戦略という枠組の実現についての検討を行なうために2つにとどめている。

6 まとめ

基本戦略として、中央突破とサイド突破を用意し、戦略の切りかえかたとして、基本戦略を組み合わせ合わせた混合戦略を用意して実験を行なった。その結果、混合比率と利得の関係が得られた。さらに今後は、違う相手との実験、こちらの戦略をかえての実験、混合比の実現方法のさらなる検討が必要である。

参考文献

- [1] Minoru Asada and Hiroaki Kitano, editors. *RoboCup-98: Robot Soccer World Cup 2*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1999.
- [2] Noda Ituki. Modular simulator: a draft of new simulator for robocup. *The Third International Workshop on RoboCup IJCAI99 ABS-4*, pp. 154-159, 1999.
- [3] Hiroaki Kitano, editor. *RoboCup-97: Robot Soccer World Cup 1*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998.
- [4] Veloso M., Pagello E., and Kitano H., editors. *RoboCup-99: Robot Soccer World Cup III*, Vol. 1856 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer, 2000. ISBN 3-540-41043-0.
- [5] John Maynard Smith. *進化とゲーム理論—闘争の論理—*. 産業図書, 1985.
- [6] Peter Stone and Manuela Veloso. The cmunited-97 simulation team. In Hiroaki Kitano, editor, *RoboCup-97: Robot Soccer World Cup 1*. Springer-Verlag, 1998.
- [7] Peter Stone, Manuela Veloso, and Patrick Riley. *The CMUnited-98 Champion Simulator Team*. PhD thesis, Computer Science Department, Carnegie Mellon University, 1999.
- [8] 森下卓哉, 久保長徳, 青柳博紀, 河原林友美, 下羅弘樹, 廣嶋恭一, 西野順二, 小高知宏, 小倉久和. Robocupにおけるサッカーエージェントの設計. 紀要 第47巻2号, 福井大学工学部, 9 1999.
- [9] 野田五十樹, 國吉康夫. シミュレーション部門と soccer server. *bit*, Vol. 28, No. 5, pp. 28-34, 1996.
- [10] 鈴木光男. *ゲーム理論入門*. 共立出版, 1981.
- [11] 鈴木光男. *新ゲーム理論*. 勁草書房, 1994.