

Title	サッカーエージェントの行動決定過程における戦術の役割
Author(s)	瀧本, 周平
Citation	
Issue Date	2001-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/739">http://hdl.handle.net/10119/739</a>
Rights	
Description	Supervisor: 藤波 努, 知識科学研究科, 修士

# 修士論文

## サッカーエージェントの行動決定過程における 戦術の役割

北陸先端科学技術大学院大学  
知識科学研究科知識社会システム学専攻

瀧本周平

2001年2月

# 修士論文

## サッカーエージェントの行動決定過程における 戦術の役割

指導教官 藤波 努 助教授

北陸先端科学技術大学院大学  
知識科学研究科知識社会システム学専攻

850053 瀧本周平

審査委員: 藤波 努 助教授 (主査)  
國藤 進 教授  
西本 一志 助教授

2001年2月

## 要旨

本稿では、マルチエージェントシステムのひとつであるサッカーエージェントについて、現実のサッカーからの経験に基づいた戦術論から得られる手法を適用し、その有効性を示す。

# 目次

第1章 序論	1
1.1 はじめに	1
1.2 本研究の目的	3
1.3 本論文の構成	4
第2章 プレイヤーと戦術	5
2.1 RoboCup・ロボカップとは	5
2.2 リアルサッカーのシステム	7
2.3 ゴールまでの組立て	8
2.4 戦術とロボティックサッカーの兼ね合い	11
第3章 プレイヤーの実装と実験	14
3.1 初期アルゴリズム	14
3.2 本実験のための実装	15
3.3 予備実験	17
3.3.1 実験環境	17
3.3.2 実験方法	19
3.3.3 実験結果と評価	23
3.4 本実験	26
3.4.1 実験環境	26
3.4.2 実験方法	26

3.4.3 実験結果と評価 . . . . .	26
<b>第4章 結論</b>	<b>31</b>
4.1 まとめ . . . . .	31
4.2 今後の課題 . . . . .	31
<b>謝辞</b>	<b>34</b>
<b>参考文献</b>	<b>35</b>

# 目 次

1.1	マルチエージェントシステム	2
2.1	4-4-2システム	8
2.2	4-4-2システム（ダブルボランチタイプ）	9
2.3	3-5-2システム	9
2.4	3-5-2システム（ダブルボランチタイプ）	10
2.5	ワンツーパーパス	12
2.6	壁パス	12
3.1	初期アルゴリズム	16
3.2	実装アルゴリズム	18
3.3	サッカーサーバによるフィールド（サッカーモニタ）	19
3.4	攻撃側プレイヤーとボール	20
3.5	守備側 DF	21
3.6	中央突破攻撃の一例	21
3.7	右サイド攻撃の一例	22
3.8	左サイド攻撃の一例	23

# 表 目 次

3.1	初期プレイヤーによる「中央突破攻撃」についての実験結果 . . . . .	24
3.2	初期プレイヤーによる「サイド攻撃」についての実験結果 . . . . .	25
3.3	実装プレイヤーによる「中央突破攻撃」についての実験結果 . . . . .	27
3.4	実装プレイヤーによる「サイド攻撃」についての実験結果 . . . . .	28

# 第1章 序論

## 1.1 はじめに

エージェントとは、人間社会など集団において自律的に行動できる知的主体であり、一般的に、ネットワーク上における処理の「代行者」、または英語で「代理人」という意味があるが、必ずしも人である必要はなく、それがある種の結果を引き起こすものであるならばエージェントと呼んでもよい。また、マルチとは文字通り「多くの」を意味するため、ここで扱うマルチエージェントとは「代理人の集まり(多くの代理人)」を指すことになる。

マルチエージェントシステムは、情報通信分野において、効率よく上手に人間の手助けをしてくれるような「知的」ソフトウェアを一般的に指している。しかし、現状のエージェント技術はまだ未熟な段階にあり、「知的」な側面よりも「技術的」な側面に重きが置かれているのが実状である。[1]

マルチエージェントシステムは当初、分散人工知能( Distributed Artificial Intelligence、以下 DAI ) の分野で研究が始められた。

DAI は以下の 2 つに大別される。[1]

- DPS ( Distributed Problem Solving )  
分散問題解決と呼ばれ、全てのエージェントが目標を共有し 1 つの問題を解く。
- MAS ( Multi-Agent Solving )  
マルチエージェントシステムと呼ばれ、共通の目的の存在を仮定しないため、エージェントの自律性がより強調される。

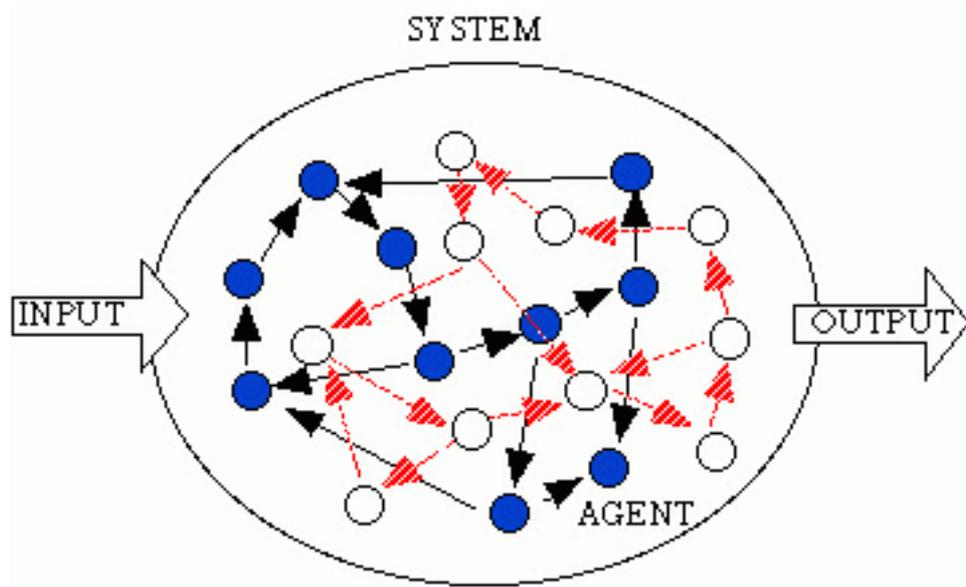


図 1.1: マルチエージェントシステム

マルチエージェントシステムとサッカーとの結びつきは、サッカーそれ自体はひとつの団体スポーツに過ぎないが、研究の立場から見れば実世界の問題を適度に抽象化したよい例題になっていることによる。そして、そこでは、マルチエージェントシステムの持つ長所を保ちつつ、分散制御による協調プロトコル、効率的コミュニケーションなどの問題点をどう解決していくかが研究課題になる。

具体的には、サッカーの持つ

- 緻密さよりもロバスト性が重要である
- 敵の作戦に応じて作戦を動的に変更できる適応性が必要である
- リアルタイムに多用に状況が変化する
- チームプレイをしたほうが有利である
- 精度のよい言語コミュニケーションを行うことはできず、単純な信号をその場の状

況と組み合わせて用いることで効果的なコミュニケーションをとることが重要になる

などの特徴が、マルチエージェントシステムの評価のための例題として適切であり、それによりこの研究分野が生まれたと言える。[2]

## 1.2 本研究の目的

本論文は、以上の観点から、サッカーをするエージェント（以下、サッカーエージェント）を対象に、人間が行う現実のサッカー（以下、リアルサッカー）に近づけることを目的に、サッカーエージェントの協調動作を実現する手法について探ることを主眼とする。

リアルサッカーの世界では、練習と試合が交互に行われ、練習において監督やコーチからシステムと戦術そして考えが選手にインプットされ、選手はそれを記憶学習し、そして実戦でアウトプットする。（リアルサッカーについては、第2章で詳述する。）練習において与えられた知識をベースにして、実戦における局地的状況下で選手個人の判断が加味されて初めてスムーズなチームプレイが可能となる。監督の指示どおりに実行するかあるいは、監督の指示を全く無視して選手が自律プレイをしても、チームとしては強くなることはありえず、ましてや勝利は望めない。リアルサッカーにおけるチームの成熟とは、まず練習ありきで、そこで決まり事を反復練習することで頭と身体に染み込ませ、それからピッチの中で創造性を働かせることで、チームとしての力が生まれる。

すなわち、サッカーにおける協調関係は、プレイヤーが練習において得た知識と試合（実戦）において得る経験の蓄積、学習によって構築されることになる。

以上、本論文では、ロボティックサッカーにおける協調関係の構築に向けて、ゲーム前から与えた情報を主に判断材料とする各プレイヤーのゲーム中における動きと実践される戦術について論じ、複数エージェントの動作決定問題を学習に依存せずそれを指示する人間の考え次第で行い、リアルサッカーを基にして、戦術の有効性を探る。

### 1.3 本論文の構成

本論文は、4章より構成されている。

第2章「プレイヤーと戦術」では、本研究のバックグラウンドとして必要なリアルサッカーについての戦術及び RoboCup について簡単にふれ、そして本研究で扱う戦術について述べる。

第3章「プレイヤーの実装と実験」では、実装するプレイヤーと実験方法について述べ、それを用いて行った実験結果について述べるとともに結果を評価する。

第4章「結論」では、まとめと今後の課題を述べる。

## 第2章 プレイヤーと戦術

本章では、まず RoboCup とその前提ともいえるリアルサッカーについて述べる。そして、ロボティックサッカーにおいて有効な戦術とはなにかを論じた上で、本研究が導入する戦術について述べる。

両者には 2D と 3D という違いこそあるが、将来はワールドカップチャンピオンを倒すヒューマノイドロボットを作り上げるというランドマーク型プロジェクトの RoboCup に対して、試合中の選手の運用、すなわちシステムと配置について、ロボティックサッカーはリアルサッカーの影響を少なからず受ける。

ロボティックサッカーの現状は、人間の行うリアルサッカーをベースにしてはいるものの、当然のことながらまだまだ未成熟である。将来、リアルサッカーに近づくために、いずれはリアルサッカーを越えるためには、まずはリアルサッカーについての分析・検討が必要である。すなわち、リアルサッカーにおけるシステムと戦術を研究し、その上で、それらをロボティックサッカーに適用または応用することによって進展が得られるものと考えられる。

### 2.1 RoboCup・ロボカップとは

RoboCup とは The Robot World Cup Soccer and Conferences という国際学術イベントにつけられた名称であり、ロボットまたはシミュレータ上のソフトウェアエージェントのチームにサッカーをさせようという試みである。[4]

「短期間での成果にこだわらず大きな夢のある目標に向かって進み、そこに至るまでに生まれる様々な手法や技術を他の分野にも生かす」という、1960年代のアポロ計画と

同じランドマーク型プロジェクトと言われるこの試みの夢のある目標とは、「2050年、その時のサッカーワールドカップチャンピオンチームと戦って、勝つこと」である。[5]

このプロジェクトには、電子総合技術研究所の野田五十樹氏らを中心に作成された Soccer Server という共通の設定のもとでの実験・研究が提案され [6]、それが発展し大きな世界的イベントとなった。年に1回、世界中から研究者が集まり、それぞれの研究成果の発表及び情報交換の場であるコンペティションと、実際に試合を行い大会を開催する部とがある。2000年はシドニーで行われ、2001年はシアトル、2002年にはリアルサッカーのワールドカップと同じく日本で開催される。

このイベントはロボット工学と人工知能の融合、発展のために自律移動ロボットによるサッカーを題材として日本の研究者らによって提唱されたもので、現在ではサッカーだけでなく、大規模災害へのロボットの応用としての「ロボカップ・レスキュー (RoboCup Rescue)」 [7][8]、次世代の技術の担い手を育てる「ロボカップ・ジュニア (RoboCup Junior)」などの活動が行われている。

実際に試合を行う大会部分は大きく分けて「実機部門」と「シミュレーション部門」に分けられる。

前者は、文字通りに実機、つまりロボットを用いた部門で、いわゆるハードウェアの研究が主たるところである。対して後者は、マルチエージェント環境における分散制御や協調動作の技術を競わせることを主眼としており、いわゆるソフトウェアの研究が主たるところである。

このプロジェクトは研究者の参加を促進するため、前述の Soccer Server はもちろん、大会に参加したチームのソースなども、主に Web サイトにて公開されており<sup>1</sup>、誰でも手に入れることができる。また、これまでの大会で行われてきた試合の様子は、有志によってログファイルが作られておりそれらは Soccer Monitor を使用することで誰でも観戦することができる。(もちろん Soccer Monitor も無償提供されている)

---

<sup>1</sup><http://ci.etl.go.jp/~noda/soccer/server/index.html>

## 2.2 リアルサッカーのシステム

リアルサッカーのシステムは、選手のポジションとその人数が数字と座標で表される。ポジションは、最近ではゴールキーパー（以下、GK）、ディフェンダー（以下、DF）、ミッドフィルダー（以下、MF）、フォワード（以下、FW）の4種類に分けられるのが一般的である。しかし、実際にチーム戦術や選手の説明をする時には、さらに細かい呼称が使われる。

- DFとして、リベロ、スイーパー、ストッパー、センターバック、サイドバック（右と左がある）など。
- MFとして、ボランチ（守備的MF）、ゲームメイカー、トップ下、攻撃的MF、ウイングバック（右と左がある）など。
- FWとして、センターフォワード（CF）、ウイング（WG）、トップ、ストライカー、など。

これらは、フィールド上で選手がどう配置されているか、すなわちシステムと密接に係している。

システムは、GKを除いた10人をまずDF、MF、FWに分け、それらの人数を後ろから順に並べることで表現されるのが一般的である。例えば4人のDFと4人のMF、そして2トップで形成されるチームは、「4-4-2」と表される。（図2.1）

また、単純に人数を表すだけでなく、選手1人1人の役割に着目し、そこから上のような数字を用いることもある。大まかに言えば4-4-2であっても、中盤の4人のうちの1人がFWにパスを出すために多くの時間と労力を割き積極的にディフェンスに加わらない場合には「1.5列目の選手」や「トラクアルティスタ」<sup>2</sup>というように表され、この場合は「4-3-1-2」とも表される。

ディフェンスにおいては、同じ4バックでもその4人が横1列に並ぶ「フラット4」なのかリベロを置く4バックなのかでまた違う。3バックでも同様のことが言えるが、オ

---

<sup>2</sup>イタリア語。「4分の3の選手」

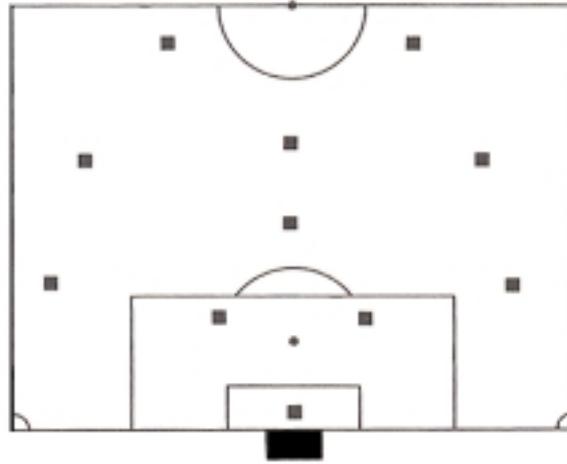


図 2.1: 4-4-2 システム

フェンスのことを主に述べるここでは割愛する。

現在世界で主流となっているシステムは、4-4-2( 図 2.1 及び図 2.2 )もしくは3-5-2( 図 2.3 及び図 2.4 )もしくはをベースとして中盤をコンパクトにしたものである。[13] この布陣では、2人のFWに対してどういう組み立てをするかが重要なポイントであり、そのためには大まかに言うと2つのパターンがある。

## 2.3 ゴールまでの組立て

サッカーにおけるゴールシーンは、その多くがセットプレーから生まれるというのはもはや常識と言っても過言ではない。いわゆるコーナーキック(CK)、直接・間接フリーキック(FK)からである。

その他のゴールは「プレーの流れの中のゴール」といった表現がされ、セットプレーからのゴールとは区別し、別の視点・見方で考えられる。

それらをあげてみると、以下のようなものが考えられる。

- 正面及び斜めからペナルティエリア内に侵入し、シュート

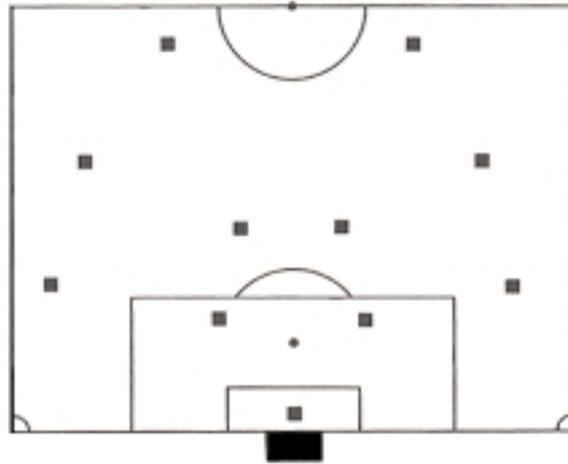


図 2.2: 4-4-2システム (ダブルボランチタイプ)

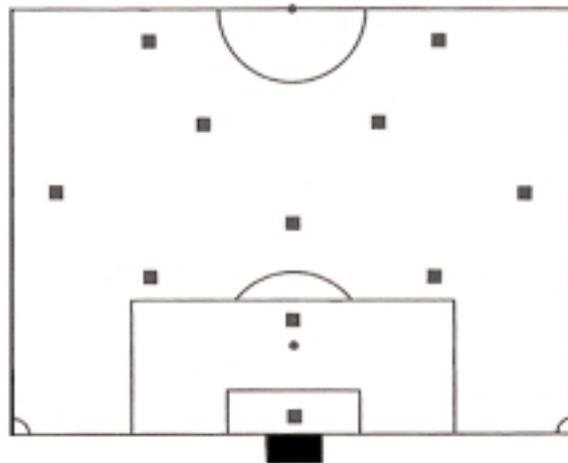


図 2.3: 3-5-2システム

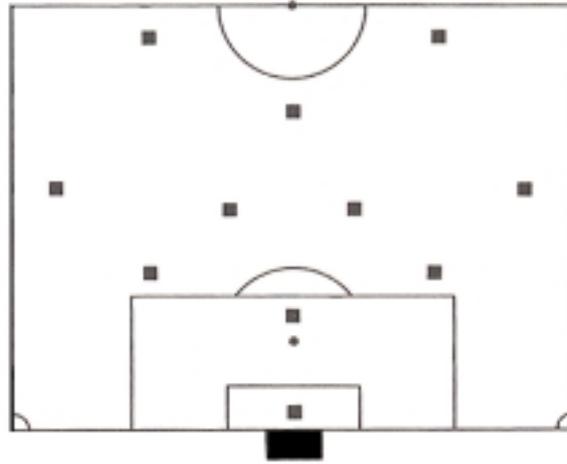


図 2.4: 3-5-2 システム (ダブルボランチタイプ)

- 正面及び斜めからペナルティエリア外からミドルシュート
- ドリブルで DF をかわしてゴール前に侵入し、シュート
- スルーパスを用いて FW が DF ラインの裏へ抜け出し、シュート
- 壁パス・三角パスを繰り返し中央を抜け、シュート
- サイドからの高いセンタリング (アーリークロス含む) に合わせ、シュート
- サイドからのグラウンダーセンタリングに合わせ、シュート
- 相手最終ライン DF からボールを奪い独走、シュート
- なんらかの形のオウンゴール (例外)

攻撃を組み立てる時は、決まりやすいシュートを打つためにはどこから打てばよいか、その位置にボールを持っていくにはどうしたらいいか、そこでシュートを打つために選手はどう動くべきか、のように最終局面であるシュートから逆に考えていくとわかりやすい。そのような組み立てを考えながら上のリストを見ると、攻撃は大きく分ければ (1) 「中央から」か (2) 「(左右どちらかの) サイドから」の 2 つのケースに分類できる。

## 2.4 戦術とロボティックサッカーの兼ね合い

ゴールの成否を分けるのは、シュートそのものはもちろんであるが、シュートは攻撃のいわば「最終局面」であり、攻撃全体の成否にはその直前までのプレー、つまり組み立ても重要になる。例えば、サイドからセンタリング<sup>3</sup>をあげる場合、正確なセンタリングがFWに届くかどうかはそのセンタリングをあげるプレイヤーの状況に依存し、またそのプレイヤーが、周囲の状況を把握しやすくパスを出す中央への角度の幅が大きいなどの良い状況になれるかどうかはそこまでのパスなどの組み立てに依存する。

攻撃の1つである中央からの攻撃の場合は、その選手の個人の能力に左右される度合いが大きい。本研究の題材であるRoboCupサッカーではチームプレイヤー1人1人に特色をつけてプログラミングすることは原則として許されていない<sup>4</sup>ので、この戦術はリスクが大きい上に、パス交換によって突破するには選手の密集度が高く、状況判断とプレーの正確性において技術的にもかなりハイレベルなものを要求される。しかし、成功した時には一気にDFを抜けて最短距離で相手ゴール前に迫れるという作戦でもあり、試してみる価値は大きい。

もう1つの「サイド攻撃」は、右もしくは左サイドをドリブルあるいはパス交換で抜け出し、ゴール前で待っている(はずの)FWへセンタリングないしはクロス<sup>5</sup>をあげるというものである。この場合は、ドリブルについては個人能力、主にスピードにかなり依存するが、パスを交換してサイドから攻めるという動きはほとんどがチームとして「こういう風に動きなさい」という練習から決められた戦術による。よって、このサイド攻撃こそロボティックサッカーに適用させるにふさわしい戦術と考えられる。

例として、パスによるサイドからの崩しを考える時、選手はどのような判断が必要でこういった動きが必要になるのかを、リアルサッカーを基に具現化する。

ここでのパターン例として、「ワンツーパス」(図2.5)をあげる。「壁パス」(図2.6)とも似ているが、前者はプレイに参与する人間は2人で後者はそれが3人であるという

---

<sup>3</sup>ゴール正面へのパスのこと

<sup>4</sup>GKのみ例外

<sup>5</sup>右からなら左、左からなら右の、ゴール正面より遠い位置へのパスのこと

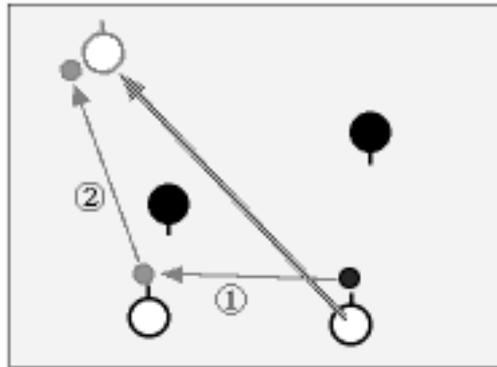


図 2.5: ワンツーパス

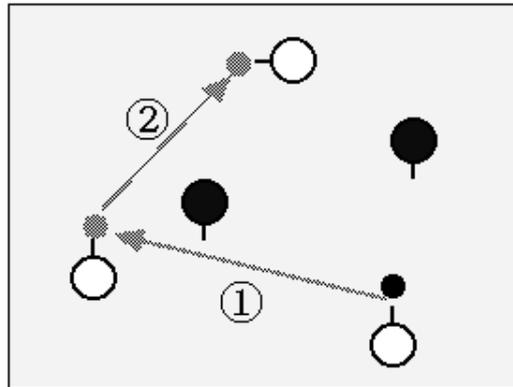


図 2.6: 壁パス

ところが異なる。もし、これに対して相手が反応できなかった場合は、1回成功するだけで簡単にサイドを崩せることになるだろう。

ワンツーパスを流れにすると以下のようなになる。

- プレイヤー A がボールをプレイヤー B にパス
- A は受け取りたい場所に向かって走る
- B はパスを受けたらそれを A に返す
- A は移動先でパスを受ける

ここで重要なのは「パスを受ける位置はどこか」という、A が下す判断である。

この時、Bがボールを受け、蹴ってからAが動き出したのでは間に合わないこともあるし、DFが先にボールに追いつく可能性もある。よって、Aは自分がBにパスを出した後、すばやく動き出さなければならない。

ここではもう1つの重要な要素としてスペースへのパス、もしくはDFの裏へ出す「スルーパス」があげられるが、これは過去にすでに実現され、大会でも披露されている。よって本論文ではこの要素には触れない。上述のワンツーパーパスも同様で、技術的には可能であることがすでに立証されている。

## 第3章 プレイヤーの実装と実験

本章では、基本となるプレイヤーの動きについて説明し、次にそのプレイヤーに施した実装について説明する。次いで、基本的な動作と低レベルの行動決定過程のみを持つプレイヤーによって予備実験を行い、最後に、実装したプレイヤーを使つての実験を行つて、実験結果より本論文での手法について検討評価する。

### 3.1 初期アルゴリズム

本研究で実装するプレイヤーは、CMUnited99 (アメリカ) [11] をベースに、それを改造することで構築した。SoccerServer との UDP/IP プロトコルによる通信や、turn、kick、dash といったプレイヤーの基本的動作の根幹部分のコーディングは本研究課題とは直接関係しないことから、既存のものでかつ過去の実績から最強と思われる CMUnited を適用することにした。

CMUnited99 は前年の RoboCup98・パリ大会で優勝を飾つた、同じ研究メンバーによるチームである CMUnited98 [12] をベースにしており、母体は Layered Learning<sup>1</sup> である。CMU の Layered Learning の概略は、

- 動いているボールのインターセプトをニューラルネットを使用して学習し、
- これを使つて、C4.5 Decision Tree でパスが成功するかどうかの確からしさを計算し、
- さらにこの結果からシュートやパスのパターンを強化学習によって得る、

---

<sup>1</sup>Neural Network, Decision Tree などの低レベルな学習媒体をいくつか組み合わせることにより、高レベルな出力を生み出すもの

というものである。[9]

この CMUnited99 ソースコードをコンパイルし、なにも手を加えずに実行させた結果は、ボールを蹴れる位置にいるかどうかをまず判断し、(A) ボールを持っている (蹴れる位置にボールがある) ならばそれをゴールに向かって蹴り、(B) 持ってなければ周りを見渡して探索、見つければ移動してボールを取りに行き、(A)(B) を繰り返すというものであった。

この結果、プレイヤーの動きとしては、常にボールを追いかけて蹴るだけのものであり、プレイヤーが 2 人いることの意味がないただのボール蹴りになっていた。

また、2 人とも全て同じ動きをするため、競うようにボールを追いかけて前方に向かって蹴る (シュートを打つ)。

その流れを図 3.1 に示した。矢印は、左方向が Yes、右方向が No を示している。

## 3.2 本実験のための実装

以上の初期アルゴリズムの改良策として、以下 4 点について検討、実装を行った。

1. ボールを蹴れる位置にいると蹴るという仕様に対して、その位置でも蹴らないこともあるように設定を施した。
2. 次に、蹴る方向について相手ゴールに向かって蹴るだけでは戦術的な動きを望むべくもないことから、FW の位置条件によって、チームメイトに向かって蹴る、すなわちパスするように設定した。
3. 自分の位置に応じた動きを要求するため、ボールを持っている時にそのボールの絶対位置から、ペナルティエリア内であればシュート、ペナルティエリア外であればパスを回すようにした。これにより、両者ともペナルティエリア外にいる時はパス交換、どちらかが侵入した時には外から中に向けてボールがパスされ、中で受け取った選手がシュートする。

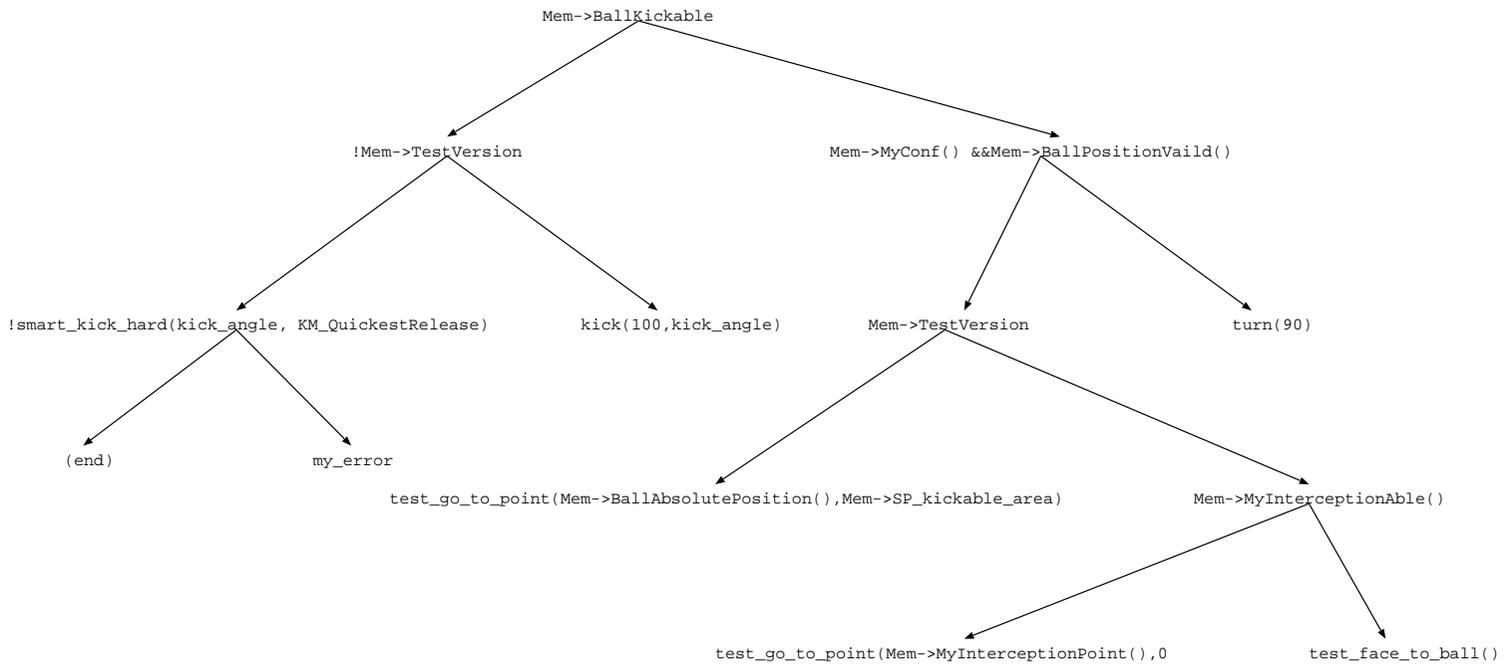


図 3.1: 初期アルゴリズム

しかし、2人ともがペナルティエリア外にいる場合、2人が重なるように接近し合ってしまうことが見られたため、

4. パス行動の際に、チームメイトが見つからない場合には弱い力でボールを蹴って位置を変える(つまりドリブルに近いことをする)設定をすることによって、コンフリクトを避けることができた。

その流れを図 3.2 に示した。矢印は、左方向が Yes、右方向が No を示している。

### 3.3 予備実験

予備実験は、改造前のプレイヤーを用いて、本実験と同様の内容と方法で実験を行い、それらを比較することで本実験のために改造を施したプレイヤーの優位性を示すことを目的とする。

#### 3.3.1 実験環境

初期アルゴリズムの項で述べたプレイヤーと、SoccerServer の Version6 ( 図 3.3 ) を用いて実験を行った。開発そのものは TurboLinux6.0<sup>2</sup>で行ったが、グラフィックの処理がその性能の限界に近く、数分間も実行しているとコマ送りのようになってしまうことから、実際に動くところの目認は、Windows98<sup>3</sup>の上から telnet を用いてネットワーク内の Workstation にログインし、サーバはその Solaris マシン<sup>4</sup>で立ち上げ、プレイヤーは Linux から遠隔ログインする方法をとった。

---

<sup>2</sup>Linux Operating System TurboLinux WORK STATION 日本語版 6.0

<sup>3</sup>Microsoft Windows 98

<sup>4</sup>SunOS 5.7

図 3.2: 実装アルゴリズム

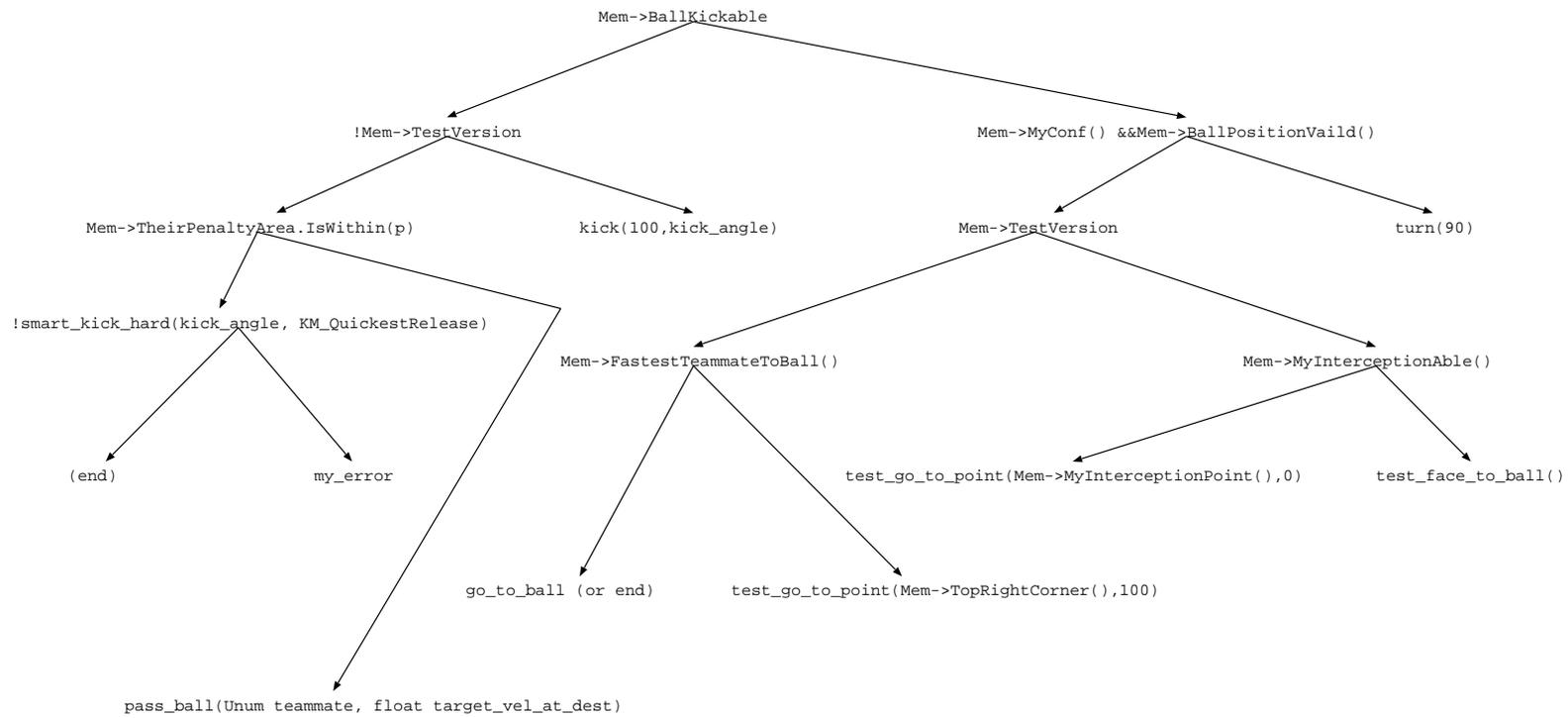




図 3.3: サッカーサーバによるフィールド (サッカーモニタ)

### 3.3.2 実験方法

リアルサッカーのフィールド<sup>5</sup>全体を見た時、そこには通常両チームあわせて 22 人のプレイヤーがいるが、その全てがボールにからんで動いているというわけではない。また、戦術的なプレイを解明することを目標とした本実験では、必ずしも 1 チーム 11 人のプレイヤーを使う必要はない。チームとしての最低人数である 2 人のプレイを実行し、それが意図したプレイをすることができればそれを 11 人に応用することが可能と考えられるからである。よって、「局所的な場面における打開」という意味も含めて、攻撃におけるプレイのみを対象として、プレイヤーとして 4 人 (2 人は守備側プレイヤー) を用いることにした。(図 3.4、図 3.5)

攻撃側プレイヤーである FW には、初期アルゴリズムによってのみ行動決定を行うプレイヤーを 2 人用いた。

守備側プレイヤーである DF には、同じく CMUnited99 のプレイヤーを使用した。た

<sup>5</sup>ここでは「試合をするグラウンド」の意。「ピッチ」とも言う



図 3.4: 攻撃側プレイヤーとボール

だしこのDF2人は守備専用という役割のために、(1) ハーフウェイライン<sup>6</sup>を越えて攻撃をすることはなく、(2) ペナルティエリア内に自分のホームポジション(基準となる位置)を持ち、(3) ボールが近づいてきた場合はそれを前方にクリアしようとし、(4) クリアした場合はまたホームポジションに戻る、という動きのみを行うという制約条件を付加した。つまり、「ボールが近づいてきたらそれに反応し、離れて行ったらホームポジションに戻る」という一連の動きをひたすら繰り返すものである。(図 3.5)

守備側DFの持つホームポジションは、ゴール前10mの地点、ゴールエリアの少し外側とした。今回の実験はGKを置かず2人ともDFとしているため、ゴールラインに完全に寄った位置よりも前にした。これは、攻撃側FWに対してプレスを積極的にかけさせるためにやや前めの位置にする必要があったことにもよる。

攻撃は、攻めるべきゴール側のゴール正面(図 3.6)、右サイド(図 3.7)および左サイド(図 3.8)の3つのケースについて、それぞれ50回ずつ行った。

SoccerServerはフィールド中央を原点とする座標を持っており、横(フィールドの長いほう)をx、縦(フィールドの短いほう)がyである。そして、xは前方にいくほど大

---

<sup>6</sup>フィールドを左右に仕切る中央のラインのこと

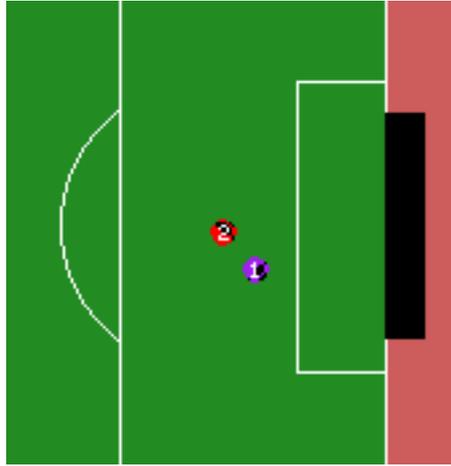


図 3.5: 守備側 DF



図 3.6: 中央突破攻撃の一例

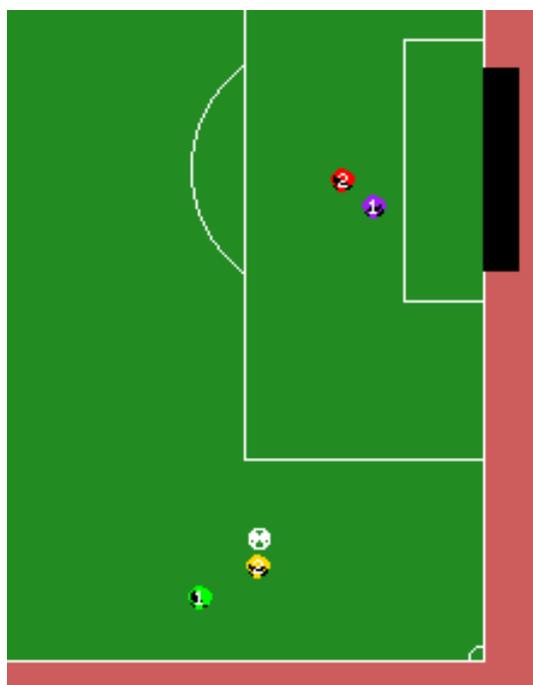


図 3.7: 右サイド攻撃の一例

きくなり、自軍ゴールが最も小さい。yは相手ゴールを見た時に右、自軍がフィールド左に配置されていれば下方向、にいくほど大きくなる。

これを踏まえて、3つの攻撃のスタートポイントはそれぞれ、

1. 中央突破攻撃 : (20,0)
2. 右サイド攻撃 : (35,25)
3. 左サイド攻撃 : (35,-25)

となる。この位置に隣接して、SoccerServerの機能である Freekick を用いてボールを配置する。

攻撃の成功は、「ゴールをした時」として評価する。

攻撃の失敗は、「DFによってボールをクリアされた時」である。ここでいうクリアは、攻撃側FWの後ろ(x座標が小さくなる)方向へDFがボールを蹴り、そのボールがセ

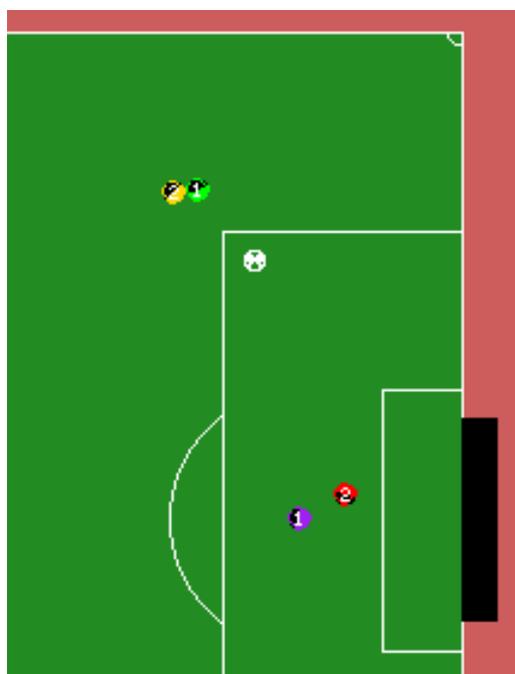


図 3.8: 左サイド攻撃の一例

ンターサークル<sup>7</sup> 付近に到達した時とする。

### 3.3.3 実験結果と評価

ゴール正面、右サイド、左サイドからの各攻撃についての実験結果を、表 3.1 と表 3.2 に示す。

表中の success はシュートがゴールにいたった成功したものを、failed は攻撃がゴールにいたらなかった失敗したものを表す。

中央突破攻撃の実験においては、success14 回 ( 28% ) failed36 回 ( 72% ) という結果を得た。( 表 3.1 )

<sup>7</sup>フィールド中央スポットを囲む円のこと。半径 9.15m。「キックオフ時に、ボールを持たない側のチームの選手は 9.15m 離れなければいけない」というサッカールールによる。9.15m=10yard.

表 3.1: 初期プレイヤーによる「中央突破攻撃」についての実験結果

result / start point	center (%)
success	14 28
failed	36 72

この予備実験で用いたプレイヤーは「味方にパスをする」という協調行動をとらないため、2人で攻撃するという状況にはあるがその人数を意図的に活かすことができない。また、行動としては「ゴールに向かってボールを蹴り進む」ということしかできないため、ゴールに向かう際に必ずDFとぶつかり、狭い地域で密集してのボールの奪い合いとなった。その密集した地域から最終的にボールが前に出れば攻撃側成功となり、後ろに出れば守備側成功となることが多かった。

よって、successとfailedを分けた主な要因は運、すなわち偶発的要因、が大きいと考えられる。

また、ゴールに対して蹴られたボールに対してもう1人のFW(味方)が反応して、結果的に素晴らしいパスとなったこともあった。

希少な例としては、攻撃側のシュートが弱く守備側がゴールラインギリギリでそれをクリアするという場面も見られた。これはそのボールが強く蹴られたもので大きなクリアであれば攻撃側の失敗となるが、シュート自体はしっかりとゴールに飛んでおり、シュートにいたったという意味では成功と考えることもできる。こういった状況に関しては、評価方法についてより細かい検討が必要かもしれない。

サイド攻撃の実験について、右サイドは success20回(40%)・failed30回(60%)、左サイドは success18回(36%)・failed32回(64%)という結果を得た。(表3.2)

中央突破攻撃と比較して成功率が若干ではあるが上昇している。

successとなった場合に見られた現象は主に2つで、(1)守備側DFのクリアが小さく

表 3.2: 初期プレイヤーによる「サイド攻撃」についての実験結果

result / start point	right side (%)	left side (%)
success	20 40	18 36
failed	30 60	32 64

(弱く) そのルーズになったボールに対して再びアプローチしシュートできたこと、(2) 守備側 DF がプレスをかけてくる前に、その横及び後ろを通して直接シュートを打って入ったこと、であった。後者はこのサイド攻撃でしか見られない現象であり、この点が若干ではあるが成功率の上昇につながったものと考えられる。

前者に対しては、そのボールに対して寄せることで位置がゴール正面となり、中央突破攻撃の際に見られたようなボールの奪い合いとなる場面が見られた。

failed については、DF が大きくクリアした場合にはその時点で終了となることが多かった。これは、中央突破攻撃の場合はクリアされても自分 (FW) の前にまたボールが戻ってくることが多いためそれを奪い返すことができ、結果的に密集することがあったが、このサイド攻撃では守備側 DF がクリアしようとする方向に相手 (攻撃側 FW) がいないために、たやすくクリアすることが可能となっていた。

逆に考えると、中央突破攻撃に関して安全にクリアしようとする時は、フィールドの縦方向 (y 座標の絶対値が大きくなる方向) にクリアしようとするればよいということになる。これは将来的な DF の強化を考える時、ひとつの基準となるだろう。

左右を比較してみると、差はわずかに 2 であった。見られた現象も左右でほとんど差はなく、この 2 という差は、許容範囲であると考えられる。

## 3.4 本実験

### 3.4.1 実験環境

本研究のために実装した（改造した）プレイヤーを用いる。環境は予備実験の時と同じく SoccerServer の Version6 を用いて実験を行い、TurboLinux6.0<sup>8</sup>でプレイヤーの開発、Windows98<sup>9</sup>の上から telnet を用いてネットワーク内の Workstation にログインし、サーバはその Solaris マシン<sup>10</sup>で立ち上げて実際に動くところの目認をし、プレイヤーはそのサーバに Linux から遠隔ログインする方法をとった。

### 3.4.2 実験方法

予備実験の時と同じく、プレイヤーとして4人（2人は守備側プレイヤー）を用いる。（図3.4、図3.5）

攻撃側プレイヤーであるFWには、本研究のための実装を加えたプレイヤーを使用した。

守備側プレイヤーであるDFには、予備実験の時と同じく制約条件を与えた守備専用の CMUnited99 のプレイヤーを使用した。（図3.5）

攻撃は、攻めるべきゴール側のゴール正面、右サイド（図3.7）および左サイド（図3.8）の3つのケースについて、それぞれ100回ずつ行った。攻撃開始位置、DFの持つホームポジションは、予備実験の時と同じである。

### 3.4.3 実験結果と評価

ゴール正面、右サイド、左サイドからの各攻撃についての実験結果を、表3.3と表3.4に示す。

---

<sup>8</sup>Linux Operating System TurboLinux WORK STATION 日本語版 6.0

<sup>9</sup>Microsoft Windows 98

<sup>10</sup>SunOS 5.7

表中の success はシュートがゴールにいたった成功したものを、failed は攻撃がゴールにいたらなかった失敗したものを表す。

failed は、本実験にあたってその内訳を設けた。具体的には

1. clear by DF : DF によりボールをクリアされた場合
2. miss kick : シュートにいたる前に、ミスキックでボールアウトとなった場合
3. shoot to out of the goal : シュートが枠をはずれた場合

という3つのパターンに分類した。結果の数値は回数とパーセンテージで表し、failed については、failed 回数に対する数値とパーセンテージを示している。

表 3.3: 実装プレイヤーによる「中央突破攻撃」についての実験結果

result / start point	center	(%)
success	31	31
failed	69	69
(clear by DF)	35	59
(miss kick)	21	36
(shoot to out of the goal)	3	5

中央突破攻撃の実験においては、success31%、failed69%という結果を得た。(表 3.3)

failed で最も多かったのは clear by DF で、これはゴールに向かうにあたって必ず DF と相対することになってしまうため、必然的にボールを奪われてしまうことが多かったことによる。この状況を避けるためには、いったんゴールに対して正面ではなく横に逃げる動きが必要であると感じ、結果的にサイド攻撃の必要性を見出した。

success の時も、DF に 1 回もボールに触れせずにゴールしたということはほとんどなく、密集した地域で奪い合いになった後にシュートということが多かった。この状況に

は偶発的要因も絡むと考えられるため、確実に攻撃の成功率をあげるためにはやはり中央は避けたほうがよいとわかった。

miss kick は、パスを行った時にチームメイトにうまくわたらずに流れてしまい、タッチラインを割ってしまったことがほとんどだった。

shoot to out of the goal の数が少ないのは、(1)「シュートができなかった(シュートまでいたらなかった)」回数が多かったこと、(2)「シュートまでいたった場合は枠に飛んだ」ことが多かったことによる。

(1)については、中央からの場合、DFとの距離が近く、そして必ずそのDFの向こうにゴールがあるため、DFのボールに対するプレスによりクリアされることが多く、シュートする前に終了してしまうことによる。それは、clear by DFの数の多さとなっても表れている。

(2)については、ゴール正面であるという位置関係から、シュートの行動にいたった場合、その選択肢であるシュート可能な左右の範囲が広いためである。すなわち、「シュートにいたる可能性は少ないが、いたった場合の成功率は高い」ということを表している。

サイド攻撃の実験について、右サイドは success67%・failed33%、左サイドは success58%・failed42%という結果を得た。(表 3.4)

表 3.4: 実装プレイヤーによる「サイド攻撃」についての実験結果

result / start point	right side (%)		left side (%)	
success	67	67	58	58
failed	33	33	42	42
(clear by DF)	16	59	17	40
(miss kick)	12	28	20	48
(shoot to out of the goal)	5	13	5	12

結果は、成功率の比較から、リアルサッカーと同様に、ゴール正面からのいわゆる「中

中央突破」の劣勢と左右の「サイド攻撃」の優勢の傾向を表すことから、本手法の有効性が示される。

failed に関しては、中央突破のところでの分析と同じことが言える。中央突破の時と同様に、shoot to out of the goal の数が少ないのは、原因も同様で、ペナルティエリアに侵入しシュートを打つ場面までいくと、失敗することはほとんどなかったことによる。パーセンテージが高くなっているのは failed の数そのものが少ないからである。

left side attack について、clear by DF と miss kick について後者のほうが大きいという結果が出ているが、その差はわずか3であり、これは許容範囲内であると考えている。言い換えると、right side attack について実験をさらに重ねれば、同じような現象が起こることもありえる。

しかし、実験結果の数値からは、この研究の難しさがわかる。

サイド攻撃の実験において、右サイドの67%という数値に対して左サイドは58%と、成功率で左右に1割近い違いが生じている点について、ゴール失敗の場合のその内訳としての clear by DF、miss kick、shoot to aout of goal の結果が示すように、主として miss kick の差異が要因となっている。

この原因については、今回の実験でも用いた SoccerServer の仕様として、「現実に近い環境」を作り出すために、オブジェクトにノイズが入っているため、と考えられる。

つまり、同じプレイヤーと同じバージョンの SoccerServer を用いて同じ環境で同じ内容の実験を行っても、結果が全く同じになるということは通常ありえない。

よって左右の成功率の違いについても、ここでの実験回数100の範囲で生じた偶発的なものと考えられ、さらに実験回数を増加すれば、左右の値はほぼ同じ値に漸近するものと考えられる。

また現時点では、エージェントの能力として、「そこにもものがある」ということは認識できるが、「そこにはものがない」ということを認識するのは難しいとされており、サッカープレイヤーの動きとして、ボールをとった味方を追い越してスペースに走り込むことや、サイドバックのオーバーラップして行くという動きの実現は非常に困難である。

今回の実験でも、「誰もいないスペース」という意味での「空いた場所」というものをプレイヤーに認識させることができなかつたため、これが成功率に影響した可能性も否定できない。

そして、観察の結果、予備実験と本実験、そして中央突破攻撃とサイド攻撃、どちらにも言えることは、ペナルティエリアに侵入しゴールに接近して、シュートを打つ局面までいってしまえば成功する確率は高かつたことである。これは結果的に、第2章で述べた「攻撃は、シュートにいたるまでの過程が重要」ということを示している。

## 第4章 結論

### 4.1 まとめ

本論文では、サッカーエージェントに現実に近い戦術を適用させることにより、指示によるチームプレイの実現と、そこに戦術が確かに適用されうる可能性を示した。

この研究の結果は、いかなる戦術が有効であるかを知るための指針となるものであり、サッカーエージェント研究におけるチームプレイの実現についても有意義なものと言える。

マルチエージェントシステムの協調関係の構築を目的に、ロボティックサッカーを対象としてサッカーエージェントの動作決定にリアルサッカーの戦術を適用した、実装プレイヤーによる実験を行って得られた結論は以下のとおりである。

1. ゴール正面から攻める「中央突破攻撃」より左右の「サイド攻撃」の成功率がほぼ2倍の高い数値を示し、リアルサッカーで有効な戦術がロボティックサッカーにおいても有効であることが実証された。
2. ペナルティエリアに侵入しゴールに近づけてシュートに至った場合の成功率が高い結果を示し、「攻撃はシュートに至るまでの過程が重要である」ことが裏付けられた。
3. サッカーエージェントに、リアルサッカーの戦術を適用できることが明らかにされた。

### 4.2 今後の課題

今後の展望としては、

1. 「中央突破攻撃」と「サイド攻撃」という大きな2つの分類だけではなく、さらに細分化した実験により、有効な戦術とはなにかを探求すること。
2. 相手ゴール前で直接ゴールにからむ場面、局地的な戦術を扱って、今回は攻撃側2人守備側2人の計4人を扱ったが、これを最終的にはチームとして11人を扱って適用し、フィールド全体を見通した有効なフォーメーションとシステムを検討すること。
3. 最終的には、マルチエージェントシステムのスポーツ科学への応用として、選手個々のデータに基づくサッカーエージェントによるロボティックサッカーを用いた、リアルサッカーの戦術の分析への利用を行うこと。

などといったことが考えられる。

この分野の研究には終わりが無い。

あえて言うなれば「ロボットが人間に勝った時」が終わりかもしれない。

この研究では「人間に対して有効な戦術をロボットに適用し、それがロボットにもまた有効である」ということを示すことができたことになる。しかしサッカーにおける戦術は多種多様であり、システムも同様で、そしてもっとも重要なことは、リアルサッカーにおける多くのチームがそれらを試合中に変更できる柔軟性を持っているということにある。

本研究のシミュレーションによって、確かにサイド攻撃の効果が明らかにされたが、さらなるディフェンス技術及び性能の向上や、それをチームとして組み込んだ手法の開発が必要であろう。

RoboCupでは試合前とハーフタイムに、リアルサッカーではそれだけでなく試合中に柔軟にシステムと戦術を変更することができる。したがって、それこそ現実と同じように試合前に相手の戦術をしっかりと研究し、それに対応できる戦術をこちらが準備する必要がある。

これについての解決策としては、プレイヤーにより高度で多段な条件分岐を組み込むことが必要であろう。相手が人間、もしくは人間が作ったものである以上、それに絶対に勝てないという理由はない。結局は、人間 対 人間の、知識の競い合いである。

# 謝辞

本研究を進めるにあたり、大変多くの方々のご協力、ご指導、ご声援をいただきました。ここで感謝の気持ちを述べたいと思います。

御多忙の中、終始にわたって御指導を賜り、研究環境にも配慮いただきました、指導教官である北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科 創造性開発システム論講座の藤波助教授に、深く感謝の意を表します。また、日頃、有益な御指導や御助言をたくさん頂戴し、時には励ましもいただきました同講座の國藤教授にも篤く御礼を申し上げ、感謝いたします。

副テーマに際して、親身になって懇切丁寧な指導と助言をいただきました、知識創造論講座の石崎雅人助教授にも、深く感謝いたします。

また、時には貴重な御自分の時間を割いていただき、親身になって相談にのっていただいた、金井助手、門脇助手、そして國藤・藤波研究室の方々には、学生生活全般にわたってお世話になりました。皆様方のさらなるご活躍をお祈りするとともに、感謝の言葉を申し上げます。

進学に際して快諾していただいて金銭的援助もしてくださり、在学中の学生生活においても様々な支援をくださった両親に、深く感謝の意を捧げます。

最後に、私をいつも支えてくれた素晴らしい友人たちに、深く感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 飯塚 文孝、由井原 篤、マルチエージェント、<http://www.sys.cs.meiji.ac.jp/~masao/Board/link/3-1/>
- [2] 松原 仁、野田五十樹、開 一夫、サッカーにおけるチームプレイの学習に向けて：シュートすべきかパスすべきか、人工知能学会研究会、SIG-PPAI-9503(1996)
- [3] 安藤 太一、マルチエージェントシステムにおける創発に関する研究  
[http://www.robot.mach.mie-u.ac.jp/research/multi\\_ando/multi\\_ando.html](http://www.robot.mach.mie-u.ac.jp/research/multi_ando/multi_ando.html)
- [4] Hiroaki Kitano, Minoru Asada, Yasuo Kuniyoshi, Itsuki Noda, Ei-Ichi Osawa, Hitoshi Matsubara. RoboCup: A Challenge Problem for AI, AI Magazine Vol.18, No.1 pp73-85, 1997.
- [5] 北野 宏明、浅田 稔、"ワールドカップ"ロボットの挑戦、日経サイエンス 1998年8月号、pp74-82
- [6] 野田五十樹、松原 仁、サッカーエージェントの研究、人工知能学会誌、Vol11, No.5, pp18-25(1996)
- [7] 田所 諭、ロボカップレスキューチャレンジ、1999年度人工知能学会全国大会(第13回) 予稿集 pp59-60
- [8] 田所 諭、高橋 友一、高橋 宏直、畑山 満則、松野 文俊、太田 正幸、小藤 哲彦、竹内 郁雄、松井 武史、桑田 善隆、兼田 敏之、渥美 雅保、野邊 潤、北

- 野 宏明、ロボカップレスキュープロジェクト、人工知能学会誌、Vol15,No5,pp798-806(2000)
- [9] 田中 久美子、フランク・イアン、野田 五十樹、松原 仁、ロボカップシミュレーションリーグの統計的分析、人工知能学会誌、Vol.14, No.2, pp200-207.
- [10] 村田 哲哉、鈴木 恵二、大内 東、GA によるサッカーエージェントの動的配置探索問題に関する研究、人工知能学会誌、Vol.14,No.3,pp446-454.
- [11] CMUnited RoboCup-99 Simulator Team.  
<http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/usr/pstone/mosaic/RoboCup/CMUnited99-sim.html> Computer Science Department, Carnegie Mellon University, United States.
- [12] CMUnited RoboCup-98 Simulator Team.  
<http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/usr/pstone/mosaic/RoboCup/CMUnited98-sim.html> Computer Science Department, Carnegie Mellon University, United States.
- [13] 大住 良之、新・サッカーへの招待、岩波新書、556