

2.6 お気軽サッカーを目指して

産業技術総合研究所サイバーアシスト研究センター
科学技術振興事業団さきがけ研究 21

野田 五十樹

I.Noda@aist.go.jp

■ ゲーム研究としてのロボカップ

サッカーは気軽なスポーツである。「気軽」とはいつでも身体的負担が軽いということではなく、飛び入り参加しやすいという意味である。たとえば見知らぬ土地に行って公園で草サッカーをしているのを見つけたら、「まげてくれ」と言って断られることはあまりない。こんな飛び入り参加でも不思議なもので、10分もやっているとなんとなくチームの中の自分の役割が落ち着き、それなりにパスも通るようになる。この飛び入りをサッカーエージェントでも可能にするためには、というのが本稿のテーマである。

1997年に開始されたロボカップは、実際のロボットを用いる実機リーグと、計算機上の仮想フィールドによるシミュレーションリーグからなる。このうちシミュレーションリーグでは関係する課題として、以下に挙げる研究テーマを取り上げている³⁾。

- **機械学習**：サッカーではその変化の多様性に対応するため、マルチエージェント環境下での戦術や技巧の獲得・適応が重要になってくる。
- **分散プランニング**：適切な行動を決定する際には、複数のエージェントが分散で同期してチーム戦術をプランニングするための枠組みが必要となる。
- **エージェントモデリング**：コミュニケーションに制約があり、ゲームの展開が多様であるサッカーでは、観察により敵・味方のプレイヤーの意図や行動を予測できることが望ましい。

これらのうち、前者2つは、自律分散や動的環境、不完全情報という要素はあるものの、従来からゲーム研究で取り上げられてきた問題である。一方、3番目のエージェントモデリングはマルチエージェントシステムで

あるサッカーならではのテーマであり、上に挙げた飛び入りにも深く関係している。以下では、ゲーム研究としてのサッカーの研究課題としてこのエージェントモデリングとそれにかかわるコミュニケーションの問題を解説する。

■ エージェントモデリング

チェスや将棋などと比べると、サッカーでは認識の不完全性や行動の不確定性などゲームの展開に関する不確定要素が多い。さらに多数のエージェントの判断が絡んでくるため、すべての可能な候補の中からどのプレイが合理的かを決定することは、たとえ確率的な手法を用いても難しいことが多い¹⁾。そのため、敵や味方の行動を比較的少数の類型的なモデルにあてはめて、そのモデルを用いてプランニングや意思決定を行う、エージェントモデリングがより重要になってくる。

飛び入りを可能にするもの

飛び入り参加の例のように人間はこのモデリングをうまく利用しており、簡単なチームプレイなら事前の打ち合わせなく決めることができる。一方現状のロボカップにおいて、あるチームにほかのチームのプレイヤーを飛び入りさせた場合、人間ほどうまく役割分担やチームプレイを行わせるのは難しい。ここではまず、飛び入りを行わせる際に問題となる課題を整理してみる。

自己モデリング スムーズに飛び入りできるためには、平均的レベル、あるいは飛び入りするつもりグループのレベルを基準として自分の能力を把握している必要がある。これは、足の速さやキック力など基礎体力的なものから、プレイをする上でドリブルがうまいかパス精度が高いか、あるいは守備と攻撃のどちらを好むかなどまでさまざまなレベルが考えられる。ロボカップにおいても、プレイヤーには基礎体力の個体差があり、また、チームによって守備重視のチームから強力な攻撃力を持つチームまで、さまざまな特徴を見てとることができる。このうち、基礎体力の部分は数値的な共有パラメータとして表現されているが、プレイスタイルのような特徴は、ルールで定義されている

ものではなく、その分類からモデリング方法まで開発する必要はある。

味方のチーム戦術のモデリング 飛び入りの際には、これから参加するチームの基本的な戦術を大まかに認識・理解する必要はある。ロボカップにおいても、攻撃スタイルとしてパス主体の中央突破かあるいはサイド攻撃か、守備スタイルとしてオフサイドラインの押し上げの有無などいくつかの特徴要素を挙げることができる。当然、これらの特徴は各プレイヤーのプログラムやそれで使われるパラメータとして表現されており、ほかから直接観察することはできない。そこでこれらの特徴を観察、しかも比較的短い観察によってモデリングする必要が出てくる。

味方のモデリングと役割分担 チームの戦術が理解できたら、次に味方となる各プレイヤーの特徴を捉える必要がある。これは基本的には自己モデリングと同じであるが、チーム戦術のモデリングと同様、短い時間での観察で行うことが重要となる。味方のモデリングができれば、次にチーム戦術のなかでの役割分担を行う必要が出てくる。特に試合の最中に飛び入りすることを考えると、動的に役割分担が行える枠組みが必要であることが分かる。

敵のモデリングと戦術の変更 これは飛び入りに限らず、また、サッカーに限らずゲームには必要な要素であるが、敵の特徴や飛び入りにより変化した彼我の各能力の違いから、戦術を変更することが考えられる。これを可能にするためには、上で挙げた味方のモデリング手法に加え、敵のある特徴に対してどういった戦術が有効であるか、また、現在のメンバでどの戦術が有効に機能するかといった知識が必要になってくる。さらに、戦術変更の意思決定を自律分散で行う必要もある。

これまでの関連研究

以上に取り上げた研究課題はまだまだ手がつけられていないものが多いが、それでもいくつか関連する研究が進められている。

チームのモデリングに関しては、主に統計処理や機械学習を応用した方法が試みられている^{8), 7)}。これらは主に試合の自動解析・解説システムへの応用を目的としているが、オンラインコーチによる利用も可能である。Patrick⁶⁾は、ボールの動きによる敵の動きの確率分布をモデルとして取り上げ、確率的推論を用いて敵のモデル

1998年	・ゴールキーパ ・オフサイドルール ・長期スタミナメカニズム
1999年	・turn_neck コマンド ・オンラインコーチ
2000年	・(こまかいパラメータ調整のみ)
2001年	・ヘテロプレイヤーとプレイヤー交代 ・共通コーチ言語
2002年	・メッセージ長の短縮と聴覚による注目 ・指さしによるコミュニケーション ・タックル

表-1 シミュレーションリーグの主なルールの変換

を推定する方法を提案し、自チームの戦術変更を利用している。

味方のモデリングについては、Kok⁴⁾は、各プレイヤーの用いている行動選択ポリシーが既知のものとして、行動の予測を行う方法を取り上げている。

このほか、Kaminka²⁾はエージェントモデリングを用いて、チームワークを維持するのに必要なコミュニケーションに関する定理を示している。また、Noda⁵⁾はモデリングの枠組みとなる隠れマルコフモデルによるチームプレイの表現方法を提案している。

一方、これらモデリングに頼らず、飛び入りに近い試みを行っているグループがある。OZ (Open Zeng)^{★1}では、日本の各大学研究室において独立に開発されたプレイヤーを集めてチームを形成している。開発にあたってはまったく取り決めなく行われており、明示的なチームプレイの機構はない。このチームがなかなか強いのであるが、これは逆に、ほかのチームではチームワークの利点を十分に活かしてきれていないということもできる。ただし、OZにおいてはプレイヤーのポジションは人間が各チームの特徴を考慮してきめており、上で述べた飛び入りに完全に対応したものではない。逆にいえば、OZのような試みでポジションも自律的に決定できることができれば、飛び入りも実現できるといえる。

■コミュニケーション

コミュニケーション上の制約

モデリングを助けるものとしてコミュニケーションは欠かせないが、表-1に示すように、この数年コミュニケーションに関するルール変更の比重が大きくなってき

★1 <http://www.fs.se.ucc.ac.jp/~nishino/oz/>

```

<MESSAGE> : <DEFINE> | <RULE> | <ADVIDCE> | ...

<DEFINE> : (define <DEF_BODY> <DEF_BODY> ...)
<DEF_BODY> : (definer <NAME> <REGION>)
              | (definec <NAME> <CONDITION>)
              | (defined <NAME> <DIRECTIVE>)
              | (definea <NAME> <ACTION>)
              | (definerule <NAME> { direc | model }
                <CONDITION> <DIRECTIVE> <DIRECTIVE> ...)
...
<CONDITION> : (ppos <TEAM> <UNUM_SET> <INT> <INT> <REGION>)
              | (bpos <REGION>) | ...

<ACTION> : (home <REGION>) | (pos <REGION>) | (pass <REGION>)
           | (pass <UNUM_SET>) | (dribble <REGION>) | ...

<RULE> : (rule ( on | off) RULE_LIST) ...
...

```

図-1 コーチ標準言語の文法

ている。

ロボカップでは各エージェントは聴覚および視覚を使ったコミュニケーションを行うことができる。聴覚によるコミュニケーションでは話す (say) - 聞く (hear) というプロトコルが用意されており、任意の文字列をエージェント間で受け渡すことができる。文字列の長さは10バイトに制限され、1対1ではなくブロードキャストで伝達される。メッセージ通信の回数については受信者が単位時間に受け取れるメッセージの数に上限を設けることで制約されている。このため、適切なタイミングでメッセージの送信が行われないと、肝心な情報が受信者側で取りこぼされるという問題設定となっている。なお、受信者側が特定の送信者に注意を向けることで優先的にその送信者のメッセージを受信できる機能もあり、ある特定のプレイヤーに聴覚の注意を集中させるなど、プレイヤー間にメッセージ通信に関する方向性、組織性を導入することが可能になっている。この聴覚の注意の先は試合中に変更することができ、昨年度の優勝チームである Tsinghuacolus (中国) などは、試合中に頻繁に中心プレイヤーを変更して柔軟な組織プレイを実現している。

一方、視覚によるコミュニケーションでは、指さしによるコミュニケーションが2002年に導入されている。これは、各プレイヤーが各々特定の方向を指さすことができ、別のプレイヤーにはその方向が視覚情報の一部として与えられるというものである。これは、実際のサッカーにおいて手などでパスの方向や戦術を指示することをモデル化したものであり、聴覚メッセージの制約強化を補

うものとなっている。

発話とタイミング

以上のような制約のもと、各チームは効果的なコミュニケーションの手法を模索している。YowAI^{★2} (日本) は、人間が実際に行っている発話にヒントを得た簡潔なコミュニケーションをシミュレーションリーグで実現しようと試みている。YowAIのプレイヤはゴール前でフリーになると、「ごっつあん」と叫んでパスを要求し、ボールプレイヤーはその要求にできるだけ答えようとする。この手法のポイントは、「ごっつあん」プレイヤーが、自分や味方の状況を的確にモデリングし、正しいタイミングで発話することで、単一のヴォキャブラリを引金としてコミュニケーションを実現しているところにある。

また、前述の Kaminka²⁾ のように、メッセージ内容の取捨選択やコミュニケーションのためのチームの構造化なども重要な研究課題である。

このほか、まだ手のつけられていないテーマとしては、視覚と聴覚の性質の差を利用したコミュニケーションなどが考えられる。

コーチトーナメント

飛び入りのようなチームの動的再編を可能とするためには、プレイヤーが共通の言語でコミュニケーションすることが必要になる。ロボカップではまだこの共通言語を議論できる段階ではないが、それへ向けてのステップとして、以下で述べるコーチトーナメントで用いられるコ

★2 “YowAI”の語源には、“弱い”、“酔うAI”など諸説ある。

```
[step 0: DirtyDozen_Coach:]
(define (definer "TheirRBWing"
  (quad (pt 17 34) (pt 52.5 34) (pt 17 20))))
```

```
[step 0: DirtyDozen_Coach:]
(define
  (definec "NoOppTRMC" (ppos opp 0 0 0 "TheirRMCcenter")))
```

```
[step 222: DirtyDozen_Coach:]
(define
  (definerule R1 direc
    ((and (playm play_on) (bpos "cy") (ppos our 8 11 "bw"))
     (do our 2 (pos "9p"))
     (do our 4 (dribble "dy"))
     ...
     (do our 11 (pos "cy")))))
```

```
[step 408: DirtyDozen_Coach:]
(rule (on ( R1)))
```

```
[step 408: DirtyDozen_Coach:]
(define
  (definerule R2 direc
    ((bowner our 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10)
     (do our 9 (home (pt -20.0 15.0)))
     (do our 2 (home (pt -20.0 5.0)))
     ...
     (do our 10 (home (pt 14.0 0.0)))))
```

```
[step 409: DirtyDozen_Coach:]
(rule (on ( R2)))
```

図-2 DirtyDozen のコーチの発話例

一斉用共通言語がすでに導入されている。

このトーナメントでは、まず各チームはコーチとプレイヤーの両プログラムを作成し、各コーチは異なるチームのプレイヤーと組んでチームを形成する。こうやって作ったチームに基準チームとゲームを行わせ、すべてのコーチ/プレイヤーの組合せでコーチごとに勝ち点を求め、最優秀コーチを決定する。

ここでキーとなるのがコーチとプレイヤーの間のコミュニケーションで用いられるコーチ用標準言語であり、現在では、図-1 に示す言語を用いることがルールで決められている。図-2 は DirtyDozen (ドイツ) のコーチの発話の様子を示している。この例では、step 0 において戦術上重要と思われるフィールド上の領域 (“TheirRBWing”) やキーとなる条件 (“NoOppTRMC”) などを定義し、また、step 222 や step 408 においては新たな行動ルール (“R1”, “R2”) を定義している。step 408 や step 409 ではそれらのルールを実際に適用するよう指示がでている。このように、各コーチはプレイの状況に応じて、試合中にかなり自由度の高い指示を選択

に送ることができる。

以上のように、相互に理解できる言語を制定したコーチトーナメントであるが、現在のところ、まだおもしろい結果には至っていない。現状ではできるだけコーチが喋らない方が成績が良いという結果になっている。これは、単純に言語の文法を共通化しても、FIPA の ACL のように意味論まで共通化していないため、当然の結果といえる。今後は、公開されたコーチプログラムやプレイヤープログラムが増えるに従い、意味論やプレイヤーのモデリングの共有化を議論できる土台ができてくると考えられる。

■飛び入り参加を目指して

以上のように、人間には容易にみえるエージェントモデリングや暗黙のコミュニケーションも、まだまだ研究の余地は大きい。コーチトーナメントのように、あらかじめ共通言語を規定しても、サッカーのような多様性に富んだ対象を十分に表現できる言語の設計は難しい。これら、モデリング、コミュニケーション、意味論は、相補的なものであり、共通化も合わせて、これらが枠組みとしてかたちをなすにはまだ数年かかるように思われる。そういった意味で、人間のように飛び入りできるプレイヤーができるまでには、まだまだ時間がかかるだろう。

参考文献

- 1) Casti, J. L.: Would-be Worlds: How Simulation is Changing the Frontiers of Science, John Wiley and Sons, Inc. (1997).
- 2) Kaminka, G. A. and Bowling, M.: Towards Robust Teams with Many Agents, In Proceedings of the First International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, pp.729-736, ACM Press (2002).
- 3) Kitano, H., Asada, M., Kuniyoshi, Y., Noda, I., Osawa, E. and Matsuura, H.: Robocup - A Challenge Problem for AI - , AI Magazine, 18 (1) : pp.73-85 (Spring 1997).
- 4) Kok, L. R. and Vlassis, N.: Mutual Modeling of Teammate Behavior, Technical Report IAS-UVA-02-04, Computer Science Institute, University of Amsterdam, The Netherlands (Aug. 2002).
- 5) Noda, I.: Hidden Markov Modeling for Multi-Agent Systems, In Mitsuru Ishizuka and Abdul Sattar, editors, Proc. of The Seventh Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence, pp.128-137, Springer (Aug. 2002).
- 6) Riley, P. and Veloso, M.: Recognizing Probabilistic Opponent Movement Models, In Birk, A., Coradeschi, S. and Tadokoro, S., editors, RoboCup 2001, pp.453-458, Springer-Verlag (2001).
- 7) Tambe, M., Kaminka, G. A., Marsella, S., Muslea, I. and Raines, T.: Two Fielded Teams and Two Experts: A Robocup Challenge Response from the Trenches, In Proc. of IJCAI 1999, pp.276-283 (1999).
- 8) Tanaka-Ishii, K., Noda, I., Frank, I., Nakashima, H., Hasida, K. and Matsuura, H.: MIKE: An Automatic Commentary System for Soccer, In Proceedings of ICMAS-98, pp.285-292 (1998). Also Available from Electrotechnical Laboratory as Tech Report ETL-97-29.

(平成 15 年 6 月 13 日受付)