

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350798

研究課題名(和文) サッカーにおける複数人協調戦術の計算モデル化とシミュレーション評価

研究課題名(英文) Modeling multiagent cooperative behavior on soccer games and its simulation evaluation

研究代表者

秋山 英久 (Akiyama, Hidehisa)

福岡大学・工学部・助教

研究者番号：20533201

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、集団状況での他者の意図推定を含めて協調行動の行動決定に至る情報処理過程の計算モデル化を検討した。特に、戦術的パスモデル問題において、人間のサッカーの試合データを用い、ロジスティック回帰によるパスレシーバ予測モデルの学習、優勢領域モデルの妥当性について検討した。選手の視線の動きに注目し、実際の試合における視線行動から協調パターンを獲得する実験的検討を行った。また、木探索手法による協調行動プランニング手法および行動評価関数獲得手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we examined the computational model of decision making for cooperative behavior, including the intention estimation of others in a group situation. In the tactical pass model problem, we examined the model of pass receiver prediction acquired by logistic regression and the dominant region model, using the real data of human soccer games. We also used the movement of the player's line of sight as a key feature to extract cooperative action pattern from the gaze behavior in real ball games. In addition, we proposed a cooperative action planning technique using a tree search method and a learning method to acquire the evaluation function for the search.

研究分野：知能情報学

キーワード：サッカー シミュレーション 行動モデル

## 1. 研究開始当初の背景

集団行動の視点で見ると、サッカーは意図推定と騙しのゲームである。選手は、仲間同士ではボール保持者の意図を読み、戦術的な行動として敵陣に走り込みパスを受ける。一方、敵同士では、相手チームの戦術を推定してそれを妨害する。一般的な社会活動においては協調や騙しの観測は難しいことが多いが、サッカーではこれらの結果を選手の動きとして直ちに観測できる。現実の集団における意図推定と騙し、協調と競合のダイナミクスを観察するために、サッカーは適したタスクである。

サッカーはゴール型スポーツと呼ばれ、ハンドボール、フィールドホッケーなどと同じカテゴリに分類される。ゴール型スポーツの選手の挙動の分析には、ボロノイグラフに基づく優勢領域モデルやダイナミカルシステム理論などが適用され、ある種の数理的解析が可能であることが示されてきた。しかし、その範囲は選手行動の統計的な分析にとどまっておき、個々の選手の瞬間の判断にまで踏み込んだ戦術的行動の分析やモデル化、行動予測は行われてきていない。

一般には、人間の行動を予測することは困難と考えられている。特に対人相互作用の場面では、我々の行動はより複雑になる。しかし、それでもそこに一定の行動規則は存在し、タスクに関する人の情報処理過程のモデルを構築することで、人の行動をある程度予測することが可能となる。これまでの研究の成果は、個々の行動の尤度を計算することで、確実ではないにしても、確率的な範囲では人の行動を予測可能であることを示してきた。人の情報処理過程のモデル構築と行動予測は、認知科学および人工知能研究の一つのフロンティアである。この領域での一つの課題は、目的志向の集団行動のモデル化である。集団行動の場面では、人は他者の行動からその意図や計画を推定し、それを支援あるいは妨害しつつ、自己の目的を達成しようとする。そこには、人間社会における社会性の行動原理が集約されている。具体的なタスク場面での人間集団および個々の構成員の行動予測は、現実的な状況での人間の意思決定過程の解明の鍵となることが予想される。これまで、経済学は合理性の概念のもと、最適行動主体としての人間の行動を示すことに成功してきた。しかし、個別状況での個々人の判断にまで踏み込んだ行動予測は困難であった。ここに、サッカーを題材とした行動予測モデルの研究を行う価値がある。

人間サッカーの分析においては、戦術を数理的に記述・評価する方式は未解決の課題であり、試合や戦術の分析はプレイ経験者の経験に頼っている。一方、ロボットサッカー競技であるロボカップにおいては、人間サッカーで観察されるような数人単位の戦術的行動を人工知能選手プログラムが意図的に発生させることはできていない。人間サッカー

における戦術の記述・評価手法の不在と、人工知能による戦術的行動の不在は、共にサッカー戦術の計算論的理解の不足が原因であると言える。

サッカーにおける数人の戦術的行動とは、攻撃時にパスを送る・受ける二人の選手に加え、第三の選手が守備側の選手の間に入り込んで安定的にパスを受けて保持する、さらにはそれを支援する第四の選手による協調的行動であると考えられる。しかし、三人目以降の選手が移動して先のボール保持者からパスを受け取る戦術的行動については、今のところ明確なモデルが存在しない。これは、三人目以降の選手および守備側の選手の自由度が大きいため、可能な行動の範囲を絞りきれないことがひとつの理由であろう。戦術的行動のモデル化および予測・評価のためには、攻撃側の三人目以降の選手およびそれに対応した守備側の選手の動きの行動予測モデルが必要である。以上の議論より、人間サッカーを記述・評価する数理的なモデルとしては、三人以上でのパス行動とそれに対する守備側の行動の理解が不足している。

## 2. 研究の目的

本研究では、集団状況での他者についての理解まで含めて個々人の情報処理過程をモデル化し、現実的な場面での行動予測を通して、人の意思決定過程の理解を試みる。具体的には、目的志向のタスクとしてサッカーを取り上げ、参加者(両チームの選手)の行動決定に至る情報処理過程の計算モデル化と、現実の試合における選手行動を分析する。特に、戦術的パスモデル問題において、人間サッカーデータの分析を通しての情報処理過程の計算モデル化、および、再現・予測シミュレーションシステムによる人間サッカーモデルの評価を目指す。

## 3. 研究の方法

### (1) 人間サッカーデータの分析手法の開発

#### i) 人間サッカーデータビューワの開発

人間サッカーデータから必要なデータを抽出する手法の研究開発を行う。選手やボールなど物体の位置情報は、データスタジアム社から提供されるデータによって既に電子的に利用可能な状態である。これに対して、戦術的行動は自動抽出が困難な情報であるため、サッカーの知識を持つ人間がタグ付け作業を行う必要がある。そこで、データを参照・操作するためのビューワプログラムを設計開発する。

#### ii) 人間サッカーのデータベース作成

戦術的行動を表現するデータ構造とデータベースの設計を行った上で、開発したビューワを用いて人間サッカーデータへ戦術的行動のタグ付けを行う。タグ付けした情報から、戦術的パス行動の事例データベースを作成する。

## (2) 戦術的行動のモデル構築

### i) 守備的行動のモデル構築

優勢領域モデルのサッカー版として守備的行動のモデル構築を行う。ロボカップサッカーシミュレーションにおいて実際に利用されているフォーメーション表現モデルを応用する。この表現モデルに従って、人間サッカーデータに含まれるボールの到達位置とボール所有者の情報から、守備的選手の配置を推定するための学習手法の研究開発を行う。

### ii) 三人目の攻撃側選手の行動モデル構築

守備的行動モデルの裏返しとして守備の隙間が定式化される。この結果に基づいて、守備の隙間へ走りこむ三人目の攻撃側選手の行動モデルを構築することが可能となる。走りこみの事例は人間サッカーでも多く観察できるため、十分な事例データの収集が見込める。

### iii) 戦術的パス行動のモデル構築

これまでにある程度のモデル化がなされてきた二人パス行動のモデルと、三人目の走りこみ行動モデルとの組み合わせにより、戦術的パス行動のモデル構築を試みる。

## (3) 再現・予測シミュレーションシステムによるモデル評価

### i) 戦術的パス行動モデルの評価

構築された戦術的パス行動モデルを2Dサッカーシミュレータおよびシミュレータ上で動作する選手プログラムに組み込み、シミュレーションで戦術的パス行動がどのように発生するかを評価する。評価結果をモデル構築作業へフィードバックすることでモデルの改良を繰り返す。この段階では、現実の人間サッカーの試合には即しないシミュレーションであり、人工的に作り込んだ特定の場面の再現性を評価する。

### ii) 人間サッカーの再現可能性評価

人間サッカーの事例データを用い、再現・予測シミュレーションシステムによって人間サッカーの戦術的パス行動の再現可能性を評価する。

## 4. 研究成果

### (1) サッカー試合データの分析

人間サッカーの試合を記録したログを数値実験で扱いやすくするために、データの整備を行った。実試合データには試合の様子を撮影した動画情報と共に、各選手やボールの位置情報を記録したトラッキングデータが含まれる。トラッキングデータには大量のノイズや物体の誤対応が含まれており、それらを自動的に修正することは困難である。そこで、実試合データをより人間が扱いやすくするためのトラッキングデータ可視化ツールを開発した。記録されたデータからノイズ除去を行った上で、人間の動き、特に走行能力に関して、実データからの運動モデルの構築を試みた。この結果を用いることで、より妥

当なシミュレーション環境の実現が期待できる。

現実の人間サッカーにおいて協調を生み出すために重要な要素である視線の動きに注目し、視線行動から協調パターンを獲得する実験的検討を行った。また、選手間の連携を生み出す行動の因果性を分析するために、ハンドボールの動画像及び選手位置のトラッキングデータを用いた分析と評価を行った。具体的には、トラッキングデータに含まれる選手の速度、加速度、移動方向の連続地の時系列に対して隠れマルコフモデルを適用することで、離散値の符号列への分節化を施した。トランスファー・エントロピーを用いることで選手ごとに得られた符号列の因果性を抽出し、試合中の集団行動ごとの分析を試みた。

サッカーシミュレータが生成したログデータからの有効な行動パターンの抽出を試みた。具体的には、昨日論理プログラミングシステムを使用し、シミュレータのログデータから有効な攻撃パターンの抽出を行った。

### (2) 戦術的モデルの構築とシミュレーション上への実装

戦術的行動モデル構築の取り組みをいくつかのアプローチで検討した。

実試合データに含まれるパス行動データを用いることで、ワンツーパスやパスレシーバ選択のモデル構築を試みた。特に、パスレシーバ選択モデルでは、パス行動が実行される状況を一般化したモデルを構築した上で、ロジスティック回帰を用いることでパラメータ学習を行った。その結果、9割以上の精度で実際のパス行動を予測することができた。実試合データの分析結果をシミュレーションサッカーに応用することで、人間サッカー選手のパス行動の模倣が期待できる。

クラスタリングを用いて各選手の配置を予測する手法の研究を行った。選手個々の意思決定に用いることができる精度はまだ得られていないものの、チーム陣形を推定できる程度の結果が得られた。

ゴール型ゲームにおけるチームワーク研究で用いられている優勢領域モデルの妥当性について検討した。まず、実試合データからボールと選手の移動モデルを構築した。この移動モデルに基づいて優勢領域の構築が可能となる。サッカーのフィールドを正方形の領域に分割し、選手とボールが各エリアに到達する時間を移動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。移動モデル構築の過程で、選手の向きと走る方向により遅延が生じることを発見し、これをモデルに組み込むことでより現実的な優勢領域を計算できた。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。この予測に対応する、現実の試合のパス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。

サッカー選手の行動モデルとして、木探索によるオンラインプランニング手法の検討とシミュレーション上での実装を進めた。具体的には探索によって生成された行動を評価する評価関数の獲得をランキング学習によって試みた。学習アルゴリズムとしてランキング SVM を適用し、選手プログラムが生成した行動を人間が 5 段階評価することでランク付けを行い、これを訓練データとして評価関数を獲得させた。人間サッカーデータから得られた戦術パターンを訓練データとして利用することで、人間の協調行動を模倣する応用が期待できる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

1. K. Itoda, N. Watanabe, Y. Takefuji: Model-based Behavioral Causality Analysis of Handball with Delayed Transfer Entropy, *Procedia Computer Science*, Vol. 71, pp. 85-91, 2015 (査読あり)

2. 糸田孝太, 渡邊紀文, 武藤佳恭, 実試合データに基づくサッカーエージェントのレシーバー選択モデルの構築, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), Vol. 26, No. 3, pp. 678-687, 2014 (査読あり)

[学会発表] (計 14 件)

1. 辻将司, 秋山英久, 荒牧重登, ランキング学習を用いたサッカーエージェントの意思決定における評価関数の学習, 2016 年電子情報通信学会総合大会 D-8-7, (2016. 03. 17) 九州大学伊都キャンパス.

2. K. Itoda, N. Watanabe, Y. Takefuji: Causality Analysis of Group Behavior in Goal-type Ball Game, *Machine Learning Summer School Kyoto* (2015. 08. 26) 京都大学

3. Y. Hagimoto, N. Watanabe, C. Kubomura, H. Kameda, Reasoning of Effective Attack Patterns Using the ILP in RoboCup Soccer Simulation 2D, *Machine Learning Summer School Kyoto* (2015. 08. 26) 京都大学

4. 萩元裕紀, 鈴木利明, 渡邊紀文, 大森隆司, 亀田弘之, ロボカップサッカー 2D における帰納論理プログラミングを用いた攻撃パターンの抽出とその評価, 2015 年度人工知能学会全国大会 (第 29 回), 4F1-1 (2015. 06. 02) 公立ほこだて未来大学

5. 糸田孝太, 渡邊紀文, 古谷知之, 永野智久, 武藤佳恭, ゴール型ボールゲームにおける選手の連携を生み出す行動の因果性分析, 2015 年度人工知能学会全国大会 (第 29 回), 1L2-0S-15a-5 (2015. 05. 30) 公立ほこだて未来大学

6. 秋山英久, 辻将司, 荒牧重登, ランキング学習を用いたサッカーエージェントの行動評価関数の獲得, 第 33 回ゲーム情報学研究会, (2015. 03. 05) 東京大学駒場キャンパス

7. 萩元裕紀, 鈴木利明, 渡邊紀文, 大森隆司, 亀田弘之, ロボカップサッカーシミュレーション 2D における ILP を用いた有効な攻撃パターンの推論, 人工知能学会社会における AI 研究会第 20 回研究会, (2014. 11. 08) 愛知工業大学自由が丘キャンパス

8. 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, 2014 年度人工知能学会全国大会 (第 28 回), 4L1-2, (2014.05.15) ひめぎんホール (愛媛県松山市)

9. 糸田孝太, 渡邊紀文, 武藤佳恭, 実試合データに基づいたロジスティック回帰モデルによるサッカーパスの予測, 2014 年度人工知能学会全国大会 (第 28 回), 1M5-0S-05b-4 (2014. 05. 12) ひめぎんホール (愛媛県松山市)

10. N. Watanabe, K. Itoda, Pass Decision Modeling of Autonomous Agents by Analyzing Soccer Data, *Mechanism of Brain and Mind the Winter Workshop*, (2014.01.09) ルスツリゾート (北海道蛇田郡)

11. 鈴木利明, 萩元裕紀, 渡邊紀文, 亀田弘之, 大森隆司, 共有知識に基づくワンツープスのモデル化, 人工知能学会社会における AI 研究会第 18 回研究会, (2013. 11. 10) 大阪府立大学なかもずキャンパス

12. 鈴木利明, 萩元裕紀, 渡邊紀文, 亀田弘之, 大森隆司, 共有知識に基づくワンツープスのモデル化, 人工知能学会「社会における AI」研究会 第 18 回研究会, (2013.11.10) 大阪府立大学なかもずキャンパス

13. 渡邊紀文, 糸田孝太, Understanding of human behavior through participation in RoboCup, 慶應義塾大学環境情報学部パターン情報論招待講演, (2013.11.01) 慶応大学

14. 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, (2013.09.12).

玉川大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

秋山 英久 (AKIYAMA HIDEHISA)

福岡大学・工学部・助教

研究者番号：20533201

(2) 研究分担者

大森 隆司 (OMORI TAKASHI)

玉川大学・工学部・教授

研究者番号：50143384

山田 信行 (YAMADA NOBUYUKI)

玉川大学・教育学部・准教授

研究者番号：70245968

渡邊 紀文 (WATANABE NORIFUMI)

東京工科大学・コンピュータサイエンス学  
部・助教

研究者番号：30534721

(3) 連携研究者

篠田 孝祐 (SHINODA KOUSUKE)

独立行政法人理化学研究所・光グリーンテ  
クノロジー特別研究ユニット・協力研究員

研究者番号：90533191

河原林 友美 (KAWARABAYASHI TOMOMI)

福井工業高等専門学校・電気電子工学科・  
講師

研究者番号：10455131