

集団スポーツを例とした現象の主体と観測者から見た認知過程 Cognitive process from perspectives of subject and observer in group sports

藤井 慶輔[†]
Keisuke Fujii

[†]理化学研究所 革新知能統合研究センター
RIKEN Center for Advanced Intelligence Project
keisuke198619@gmail.com

Abstract

Humans can achieve social works to interact with others who cannot be completely understood. In this paper, we will talk about examples of a group sport that is a complex social interaction with a clear context (i.e., rules). The cognitive process is categorized from the perspective of the subject of the phenomenon and the observer. For examples of a sport, the former is related with the player, and the latter is based on an observer such as in the statistics and physics. These two different viewpoints should be regarded as two sides of the same coin. Elucidating the two cognitive process may lead to understand not only sports but also the general cognitive process of humans, including social activities. In this paper, we first introduce the problems based on the two-player competition. Next, in two-group competition, we explain the cognitive process of a player in a sport and that of an observer viewing as a nonlinear dynamical system. Finally, we discussed in the unifying perspective.

Keywords — Social interaction, Dynamical system, Competition, Cooperation

1. はじめに

ヒトは完全に認識することが不可能な他者あるいは外部環境との相互作用を可能にすることにより、社会的あるいは生命的な活動を行える。本稿では、この過程で主体が対象を解釈し、意思決定などを行う認知過程について考えたいが、認知過程はその対象における文脈依存性が高いことが知られているため、一般的な議論を行うことが難しいことが予想される。そこで本稿では、文脈（ルール）が明確で、適度に複雑な社会的相互作用を行う集団スポーツに関して、例を挙げながら話を進める。この社会的相互作用は一般には言語を介したコミュニケーションと表現されるが、身体を伴うスポーツを議論の対象とすることで、言語に限定されない身体相互作用（インタラクション）として扱うことにする。

この認知過程について、議論のためその現象の主体の近くから見た認知過程と遠く離れた観測者から見た認知過程に分けて考える。現象の主体から見た認知過程とは、スポーツで言えば選手の視点に近い立場に基

づく（選手本人も含む）。例えば選手が上手になるためにどのように判断して動けばよいか、上手な選手はどのように判断して動いているか（両者はしばしば混同されるが異なる）等に関わる認知過程であり、多様な解釈が可能な自然言語を比較的多く用いて記述される。逆に現象の主体から遠く離れた観測者から見た認知過程については、例えば選手の動きはある統計的法則に従い、あるいはある力学系でモデリングでき、未来の結果が予測できる等と観測者が認知する過程であり、主に意味や文法が明確に規定される形式言語をベースに記述される。ここでは現象の主体である選手の認知過程としばしば大きな乖離がみられる。ここで注意したい点として、前者が（選手の）個別性、後者が（どんな選手にも通ずる）共通性に対応するわけではなく、どちらの視点も個別的・普遍的な議論は可能である。言い換えると、唯一の客観的な視点は存在しないことを前提にして、大別して2つの視点から同じ現象を論じてみたいというのが本稿の趣旨である。

この現象の主体と観測者の視点は、認知の主体が異なるため異なる問題と一般には捉えられるかもしれないが、実際は表裏一体の関係である。例えば選手を教える者（コーチや選手自身も含む）の立場であればどうであろうか。コーチは直接的あるいは間接的に選手の立場に立ち（前者）行動を変容させ、結果として選手が良い成績（後者）を生み出すように導くため、現象の主体の近くからと遠くから見た視点の両方が必要である（あるいは別の視点として、個別性と共通性の両方が必要ともいえる）。つまり、認知過程を実世界の文脈で考えた場合、少なくとも2つの視点が必要ということになる（他者が多人数、外部環境が複雑であればさらに視点は増える）。特定の選手自身の視点だけに限定すれば、主観（一人称）と客観の問題としても考えられている[1]が、本稿においてはより普遍的に記述する立場から話を進めたい。また、このことはスポーツに限らず、様々な実世界の人間関係や外部環境との

相互作用に当てはまると言える。本稿では集団スポーツを題材に話を進めるが、この現象の主体と観測者から見た認知過程を考えることで、人間関係や社会的活動等を含め、ヒトの複雑な認知過程の理解に近づくと考えられる。

本稿では、まず二者の攻防を題材に、上記の問題が比較的わかりやすく、その問題点を克服した研究[2]に関して紹介する。次に集団スポーツそのものである二集団の攻防において、選手の認知過程を推定した（現象の主体から見た）研究の紹介[3]を行う。さらに、二集団の攻防を非線形力学系として観測者の（主体から遠くから見た）認知過程について紹介し、最後に両者を融合する今後の展望について議論する。

2. 二者の攻防

まず一般的に複雑な現象の説明が、大別すると2つの方法[4]で行われることをスポーツの二者の攻防を例にしながら話を進めたい。1つは環境や状況を限定して得られたデータを解釈する、構成要素的な説明である。例えば相手が必ず右か左に行く状況を設定して（フェイントも含む）、その方向予測の正確さを測定し上手な選手の認知過程を説明する[5]ような方法である。この手法は明らかにしたい要素を正確に絞り込んでいれば有効であるが、二者の攻防ではお互いが相手の動きを予測し自分の動きを実行し続ける必要があり、その組み合わせの数も膨大になることから、この説明に限界があることも明らかである。そこでこの問題点を克服するもう1つの説明として、要素を限りなく単純化して生まれてくる複雑な振舞いの「全体」を見て、わかったと考える創発主義的な説明がある。例えば、鬼ごっこ[6]や剣道[7]などの複雑な振舞いを分解せずに、相手との詰め引きや互いに様子を見合う膠着状態を、ばねのように振舞う振動子モデルを用いて表現し、これらが二者の競争から生まれると観測者が認識するような方法である。しかし創発主義的な説明にも、構成要素的な説明ができないという問題点が存在する。例えば、「どの要素がどのように働けば、二者の攻防を制することができるか？」という問題に対して、「複雑な振舞いが創発する」と表現する創発主義的な説明は答えを与えてはくれない。

ここで先ほどの現象の主体と（遠い）観測者の視点を対応付けると、構成要素的な説明では状況を限定する行為は主体の視点であるが、対象をモデル化する行為は非限定的である（主に多様な解釈が可能な自然言

語を用いて、様々な説明が実際には行われる）。創発主義的な説明はその逆で、実世界に近い非限定的な状況を考える主体から遠い観測者からの視点を持つが、対象のモデル化はその動機からしばしば過剰に簡素にならざるを得ず限定的になる（主に意味や文法が明確に規定される数学のような形式言語で記述される）。1章の議論と合わせると、上記の2つの説明はどちらかが優れているのではなく、お互いの問題点をお互いが補う関係にあり、同時に克服することが必要であると考えられる。現在の自然言語や形式言語で表現できる（もしくはできない）と結論付けることはできないため、状況や表現方法をできるだけ限定せずに、新たな枠組みを作るために最低限のシンプルさを有するモデルを考える必要がある。

そこで我々は2015年[2]に、二者の攻防において振動する駆引きの状態から、勝負が決まるまでの過程全体（図1a）を理解することを目的とした研究を行った。詳細は省くが結論としては、動きたくても動きが遅れてしまう「移動しにくさ」という変数を導入し（図1b）、相手の移動しやすさを認知して自分の行動を決定するモデルシミュレーションを用いて（図1b,c）、二者間攻防を制する仕組みを明らかにした。これを現象の主体の視点でみた場合、自分が攻撃者として守備者が同じ運動能力を有していた場合、普通に動いても同じ動きをされると突破できないため、フェイント等を掛けて様子を見つつ、相手（守備者）が移動しにくい状態を見極める（あるいは創り出す）ことによって突破できるようになる、ということをモデルで説明したということになる。一方で主体から離れた観測者の視点で見た場合、1つの振動子で表現された二者の駆け引きが、上記の局所的なきっかけによって壊れて勝敗が決した、と説明できる。この考察は現象の主体と（遠い）観測者の視点が矛盾なく成立し、お互いの視点を補完することを示している。

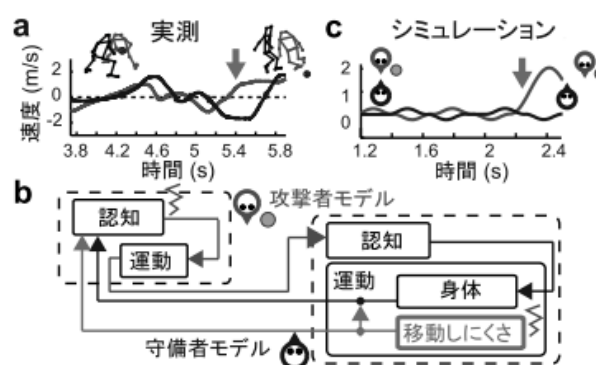


図1 二者の攻防の実測とモデルシミュレーション

もちろん、この研究では2つの視点が矛盾なく成立することを示したのみで、二者の攻防の全てを理解したわけではなく、この研究を土台にして、様々な発展の可能性が考えられる。例えば、二者の認知過程がどのように推移しているのかは、視点をより主体に向けて認知要素をモデルに付加したり、あるいはデータから推定する手法などが有効だと考えられる。またさらに格闘技や人間関係などでは「二者が非対称に攻めながら守る」のは当然であり、枠組みを拡張する必要がある。このように他者や複雑な外部環境とのミニマルな相互作用である二者の攻防に関しても、未だ明らかになっていないことは多い。

3. 現象の主体から見た二集団の攻防

それでは他者の人数が大幅に増える、実際の集団スポーツにおける二集団の攻防において、選手の認知過程はどのように説明されるのであろうか？これまで二集団の攻防においては、特定のシュートやパス等のプレーの得点期待値[8]などを分析する研究や、映像に対する予測・判断等の認知過程の研究[9]などが行われていたが、そこに他者との相互作用は存在せず、状況が限定的なので正解とされる行動も限定的となる。実際の二集団の攻防では、全ての選手が全ての状況を把握することは難しい状況の中で、各選手があるきっかけで適切と思われる行動を取り、結果として柔軟なチームワークが創り出されると考えられるが、そのような認知過程を明らかにした研究は船乗りチーム[10]の記述的な研究を除きこれまで存在しなかった。

そこで我々は2016年に、集団スポーツの状況をできるだけ限定せずに、シュートを決める／防ぐために生まれるチームプレーを計測し、(現象の主体から見た)守備者の認知過程について検討した[3]。この研究では、球技の中では人数が少ないバスケットボールを対象に、5対5のゲームにおける選手の位置情報を記録し、守備の移動を妨害する、スクリーンプレーと呼ばれる攻撃選手の動きに着目した。このプレー自体は攻撃と守備が2対1の単純なチームプレーであるが、これに対する守備の対処として、危機のレベルに応じて柔軟に役割を変化させるチームワークが観察された(図2)。守備者の視点から説明すると、危機レベルが低い時には本来の役割を遂行するが、危機レベルが高くなると(一時的含め)役割交替し、最も危険な時は守備全体に目を向けてより大きな危機を防ぐ行動を取ったことを定量的に示した。主体から離れた観測者の視点から

見ると、この結果は危機のレベルに応じて、適切に役割を切替え・重複させることで対処することが重要であることを示し、この選手の行動から推定された階層的な認知過程は、ヒトにしかみられない再帰的な意図の共有[11]によって行われていたことが推察された。

しかしこの認知過程は個別的である面も含み、一般化して表現するには問題が山積している。例えば主体から離れた観測者の視点から、この認知過程を非明示的にモデル化して再現することや、現象として汎用的に推定できる枠組みを構築する必要がある(個別的なプレーを認識する枠組みは我々を含めいくつか成功している[12, 13])。しかしまずは、二者の攻防の時と同様、新たな枠組みを作るために最低限のシンプルさを有するモデルを考える必要があると考えられる。

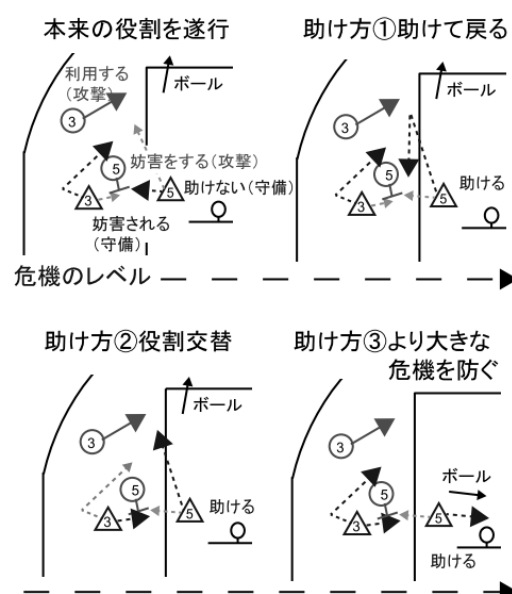


図2 二集団の攻防(バスケットボール)から観察された、柔軟に役割を変化させる守備のチームワーク

4. 主体と離れた観測者から見た二集団

そこで次に競技者と大きく離れた(主体と離れた観測者の)視点で観測者の認知過程を考えるが必要になる。これまで集団スポーツにおいては、ある仮定(モデルやアイデア)の元に、集団全体の振舞いを記述する研究が幾つか存在した。例えば、各選手を質点とした時のチームの重心位置[14]や、各選手の支配領域[15]を用いて集団の行動を記述する研究が存在する。さらに部分的な集団の状況を限定して、例えばサッカーの3対1のパス回しにおいて、三者のチームワークがどのように生じるかを、時空間的な対称性の破れから説明した[16]研究がある。しかし実際のゲームで見

られるような、選手間の協力・競争的な相互作用を観測者が（外部から）定量的に認識するためには、より自由度の高い新たなモデルが必要である。

近年では計測技術と機械学習技術の発達により、自然言語処理などで発達した手法を用いて大量のデータから集団スポーツの選手位置データを分類する研究がいくつか見られる[17, 18]。しかしこれらは選手間の時間変化する相互作用を十分に表現したと言えない（機械学習）モデルであり、集団スポーツの最終目的である得点と関連付けることはできず、時間変化する相互作用を反映したモデルが必要とされてきた。

そこで我々は 2016 年に開発したシュートの入りやすさを示す複数の攻撃・守備者間距離の時系列[3]を用いて、2017 年に非線形ダイナミカルシステムとしての特徴を写像した空間においてシュートの入りやすさ（成功確率）を計算する手法を開発した[19]。詳細は省くが、上記の時系列を用いて、正定値カーネルによる再生核ヒルベルト空間上での動的モード分解[20]を行い、攻撃間の非線形ダイナミカルシステムとしての類似度を表すカーネル[21]を計算する。そのカーネルに基づき各攻撃間の類似度をシュートの成功・失敗の頻度（それぞれ白と黒）とともに 2 次元上に可視化したのが図 3 である。白で示された得点確率の高い領域がいくつか存在することがわかる。シュート自体の確率もあるため、テストデータに対する得点結果の正解率は約 64%とそこまで高いものではなく、手法としての向上の余地も残されている。

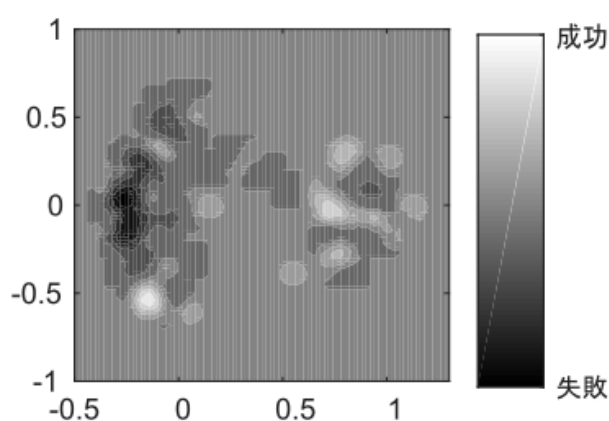


図 3 二集団の攻防の類似度と得点成否の頻度の例

しかし、枠組みとして選手の相互作用の時間発展の特徴からシュートの成否を予測できれば、シュートが入るように戦術を考えるコーチの認知過程を推定するための（少なくとも）第一歩になるのではないかと推

察される。今後は（局所的な）選手の認知過程との関連を表現するモデルを構築できれば、現象の主体と観測者の視点を融合した認知過程の理解が進むのではないかと期待できる。

5. おわりに

ヒトの複雑な認知過程を理解するには、現象の主体の視点と現象から離れた観測者の視点の両方が存在すると考えると、様々な視点が整理しやすい。しかしヒトの複雑な認知過程では、この 2 つの視点をどちらかに固定してしまった場合、本来明らかにしたかった過程が抜け落ちる可能性に注意する必要がある。内部観測[22]という考え方では、このような対象と観測者の関係は不可分であり、認識不可能な外部と接続していく過程・行為と説明される。複雑な認知過程のようにどのような表現が可能か結論付けられない対象を理解するためには、このように視点や状況をできるだけ限定せず、新たな枠組みを作れる最低限のシンプルさを有するモデルを考えていくことが、重要であると思われる。

参考文献

- [1]小田伸午, (2002), "コーチングの教師学: 運動科学における「主観」と「客観」(第 3 回日本教師学学会)". 教師学研究: 日本教師学学会誌. Vol.4, pp. 28-43.
- [2]Fujii, K., et al., (2015), "Mutual and asynchronous anticipation and action in sports as globally competitive and locally coordinative dynamics". Scientific Reports. Vol.5.
- [3]Fujii, K., et al., (2016), "Resilient help to switch and overlap hierarchical subsystems in a small human group". Scientific Reports. Vol.6.
- [4]Clark, A. (1998) "Being there: Putting brain, body, and world together again". MIT press.
- [5]Fujii, K., et al., (2014), "Anticipation by basketball defenders: An explanation based on the three-dimensional inverted pendulum model". European Journal of Sport Science. Vol.14, No.6 pp. 538-546.
- [6]Kijima, A., et al., (2012), "Switching Dynamics in an Interpersonal Competition Brings about

- "Deadlock" Synchronization of Players". Plos One. Vol.7, No.11.
- [7]Yamamoto, Y., et al., (2013), "Joint Action Syntax in Japanese Martial Arts". Plos One. Vol.8, No.9.
- [8]Goldman, M. and J.M. Rao. (2013) "Live by the Three, Die by the Three? The Price of Risk in the NBA". MIT Sloan Sports Analytics Conference.
- [9]Williams, A.M. and K. Davids, (1998), "Visual search strategy, selective attention, and expertise in soccer". Research Quarterly for Exercise and Sport. Vol.69, No.2 pp. 111-128.
- [10]Hutchins, E. (1995) "Cognition in the Wild". MIT press.
- [11]Tomasello, M. and M. Carpenter, (2007), "Shared intentionality". Developmental Science. Vol.10, No.1 pp. 121-125.
- [12]藤井慶輔ら. (2017)第 31 回人工知能学会全国大会 "集団スポーツの位置情報データを用いた機械学習による複数人協力プレーの識別", 第 31 回人工知能学会全国大会.
- [13]McQueen, A., J. Wiens, and J. Guttag. (2014) "Automatically recognizing on-ball screens". in MIT Sloan Sports Analytics Conference.
- [14]Yue, Z., et al., (2008), "Mathematical analysis of a soccer game. Part I: Individual and collective behaviors". Studies in applied mathematics. Vol.121, No.3 pp. 223-243.
- [15]Kijima, A., et al., (2014), "Emergence of self-similarity in football dynamics". The European Physical Journal B. Vol.2, No.87 pp. 1-6.
- [16]Yokoyama, K. and Y. Yamamoto, (2011), "Three People Can Synchronize as Coupled Oscillators during Sports Activities". Plos Computational Biology. Vol.7, No.10.
- [17]Wang, K.-C. and R. Zemel. (2016) "Classifying NBA offensive plays using neural networks". in MIT Sloan Sports Analytics Conference.
- [18]Miller, A.C. and L. Bornn. (2017)MIT Sloan Sports Analytics Conference "Possession Sketches: Mapping NBA Strategies", MIT Sloan Sports Analytics Conference
- [19]Fujii, K., Y. Inaba, and Y. Kawahara. (2017) "Koopman spectral kernels for comparing complex dynamics: Application on multiagent in sports". in European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases.
- [20]Kawahara, Y. (2016) "Dynamic Mode Decomposition with Reproducing Kernels for Koopman Spectral Analysis". Advances in Neural Information Processing Systems.
- [21]Vishwanathan, S., A.J. Smola, and R. Vidal, (2007), "Binet-Cauchy kernels on dynamical systems and its application to the analysis of dynamic scenes". International Journal of Computer Vision. Vol.73, No.1 pp. 95-119.
- [22]郡司ベギオ幸夫, 松野孝一郎, オットーE レスラー. (1997) "内部観測". 青土社.