

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：32702

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2020

課題番号：19K24369

研究課題名（和文）運動協調の達成過程における他者視点の理解の解明

研究課題名（英文）Study on Perspective Taking in Coordinated Group Behavior

研究代表者

市川 淳（Ichikawa, Jun）

神奈川大学・工学部・助教

研究者番号：90807942

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、三者の運動協調における他者視点の理解や予測認知を検討することである。成果として、認知科学の協調に関する発展的な議論に向けて集団運動と認知を関連づけるアプローチを提案した。そして、そのアプローチを適用して三者の運動協調で重要な役割を検討する実験を行い、集団運動の定量的な分析から課題の成果を示すパフォーマンスの向上に集団全体のバランスを保つ役割が寄与することを示した。この役割の基盤には他者視点の理解や予測認知があると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、集団運動を位置データなどから定量的に分析し、特徴的な集団運動と認知を関連づけるアプローチを提案・適用することで、複雑で動的な協調のメカニズムを認知科学的に検討できるようになった点において学術的な意義があり、当該分野で協調に関する発展的な議論が期待される。さらに、運動協調に困難を伴う要因を明らかにするうえで基盤的な知見を提供した意味で社会的意義もあると考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study investigated perspective taking and the cognition of anticipating others' behaviors in coordinated group behavior. As the results, we proposed a new research approach in cognitive science that quantitatively analyzes group non-verbal behavior and links these characteristics with the cognition. In addition, we investigated an important role in group behavior with three members through applying the approach. The findings indicated that the role of maintaining overall balance contributed to improved performance. It suggests that perspective taking and the cognition of anticipating others' behaviors, is key to coordination and implementing the role.

研究分野：認知科学

キーワード：協調 インタラクション 集団運動 視点 予測 他者モデル

1. 研究開始当初の背景

人間も含めた生物は、自発的に相手と関わる傾向である社会性[1]に基づいて単体では実現が困難な課題に周りを取り組み、達成を目指すことがある。本研究では、先行研究[2]を参考に集団としての目標を達成する他者とのインタラクションを協調と定義する。協調は生きるうえでの基盤であり、そのメカニズムを検討することは社会集団の中で生きる人間の知性を明らかにする認知科学にとって意義がある。

認知科学の問題解決や学習の研究領域では、課題を解く際の発話(言語情報)分析から役割分担や他者視点の理解が協調において重要であることが指摘されている(例えば,[3]や[4])。また、人間は視線や姿勢、ジェスチャー、発話時の韻律といった非言語情報・パラ言語情報から、他者の意図を推定する、あるいは行動を予測すると言われている(例えば,[5]や[6])。そのような協調に必要な意図推定や行動予測に関する認知モデル(他者モデル)の研究は近年、認知科学で盛んに行われており、人工知能技術への応用が期待されている[7]。

他方で、上記で挙げた研究において複雑で動的な協調を対象とし、その協調に関連する認知について検討した取り組みは数少ない。ここで述べる「複雑」とは、モデル化や現象としての解釈が難しいとされる三者以上のインタラクションを指す[8]。なお、先程の他者モデルの研究は二者間のインタラクションを対象とする場合が多い。また、「動的」は姿勢やジェスチャー、ボタンを押すといった比較的静的な動きは含まれず、時間変化を伴う連続的な身体運動を指す[9]。スポーツ競技のチームワークが代表例として挙げられる。従って、協調に関する議論の発展に向けては、三者以上による集団運動を位置データなどから定量的に分析し、特徴的な集団運動と認知を関連づけるアプローチが必要であると考えられる。

生物学やスポーツ科学では、個体の動きのルールに関して数理モデルを構築するために集団運動を均一な個体の力学系から説明している。これらの研究では構造化された集団運動の特徴を位置データなどから分析するだけでなく、計算機シミュレーションによる検討も行われている(例えば,[10]や[11])。しかし、構造化された集団運動にどのような認知が関連しているかは主要な議論ではない。ゆえに、生物学やスポーツ科学の分析手法を取り入れたうえで集団運動と認知の関連をみる提案するアプローチは認知科学において新奇性があり、そこで得られた知見は他分野に影響を与える可能性がある。

2. 研究の目的

以上を踏まえて、本研究では1章で述べたアプローチを適用し、三者による運動協調で重要な役割やその基盤にある認知について実験的に検討することを目的とする。ここでは、他者視点の理解や他者の行動を予測する認知が特に重要であると考えられる集団全体のバランスを保つ役割に着目する。

3. 研究の方法

実験では、丸野[12]が考案したなぞり課題を用いた。3人1組で各自が手元のリールを回して糸の張りを調整し、3本の糸につながれた1本のペンを動かして正三角形のモデル(1辺30cm, 幅2cm)をなぞる(図1)。辺の幅から逸脱することなく、真っすぐにペンを動かす高いパフォーマンスを達成するためには役割分担と交代が鍵となる。具体的には、各辺で3人が糸を「張る」、「緩める」、そして「適度に張る」役割を遂行し、なぞる辺が変わるタイミングで役割を反時計回りに交代させる必要がある。糸を「張る」役割とは、手元へ引き寄せるようにペンを移動させるリール操作を指す。また、糸を「緩める」役割はそのペンがスムーズに動くように対応する操作で、「適度に張る」役割は他者2人の操作によってペンが辺の幅から逸脱しないように、あるいは移動にタイムロスが生じないようにバランスをとる操作を指す。

神奈川大学の倫理審査委員会からの承認を得たうえで、6組18名(男性3組, 女性3組)の学生が参加し、分析の対象となった。実験では、参加者に辺の幅から逸脱することなく直線でなぞることを集団の目標として教示した。加えて、リールを内側に回すと糸が張られ、外側に回すと糸が緩むことを説明したが、役割の詳細は教示しなかった。1試行あたり90秒として、制限時間内に三辺をなぞるように説明した。スタ

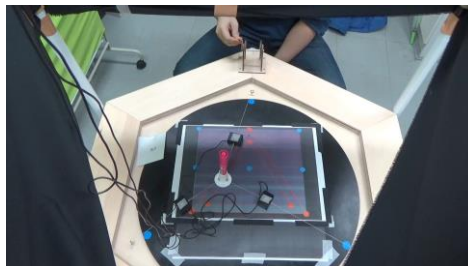
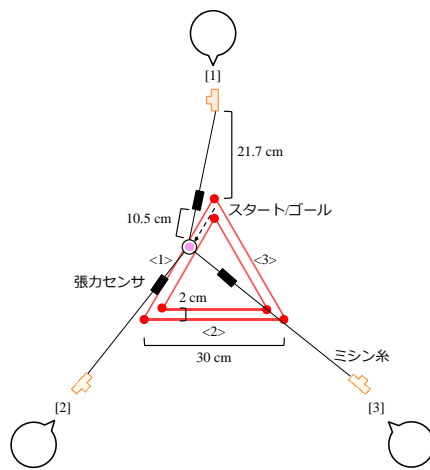


図1: なぞり課題の模式図と実験の映像。辺<1>をなぞる場合、操作者[2]が糸を「張る」役割、操作者[1]が「緩める」役割、操作者[3]が「適度に張る」役割を遂行する必要がある。

ートやゴールの位置と反時計回りになぞることは、全ての試行で同じであった（図1）。20分1セッションとして、その中で繰り返し課題を行い、計3セッションを実施した。セッションの間は5分程度の休憩を挟んだ。また、課題を行う際に会話やジェスチャーは禁止とした。ペンの位置（cm）を動作解析ソフトで、リール操作による糸の張り（N）を張力センサでそれぞれ20 Hzと100 Hzで計測した。

4. 研究成果

位置データからパフォーマンスの指標として、ペンと辺の幅の中央線との距離を逸脱量として算出した。また、各辺をなぞり終えるまでに掛かる時間も算出した。他方で、張力センサの仕様を考慮し、閾値を0.2 Nとしてピークを

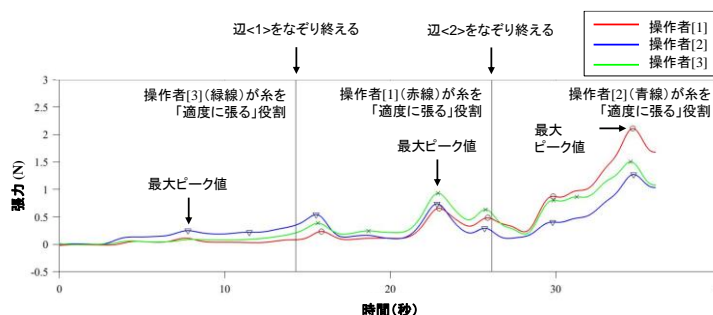


図2：役割の分析手続きに関する模式図。

抽出した後、ピークの最大値を記録した参加者が糸を「張る」役割が求められる操作者であったかの二値（一致：1，不一致：0）と、「適度に張る」役割が求められる参加者でピークが記録された頻度を求めた（図2）。そして、グループや辺の間の変動を踏まえた従属変数と独立変数の平均的な関係を見るために線形混合モデルによる回帰分析を行った。従属変数を各パフォーマンスの指標、独立変数を試行とする回帰分析や、試行との関連が確認されたパフォーマンスの指標を従属変数、役割に関する2つの指標を独立変数とする回帰分析を行った。試行や2つの役割を固定効果とし、6つのグループと3つの辺の変動を変量効果とした。モデルの構成は赤池情報量基準（AIC）を算出して、より適したモデルを採用した。

結果、2つのパフォーマンスに関する指標いずれも、グループと辺による変量効果を傾きおよび切片に組み込んだモデルが採用された。そして、一边をなぞり終えるまでに掛かる時間のみで、固定効果の傾きが有意であり、試行との関連が示された（係数： -0.395 ， $SE=0.086$ ， $p<0.005$ ）。試行を通してある一定の逸脱量を維持しつつ、各辺をより素早くなぞり終えることが示された。次に、一边をなぞり終えるまでに掛かる時間を従属変数、2つの役割を独立変数とする回帰分析を行ったところ、グループと辺による変量効果を傾きおよび切片に入れ、かつ2つの役割の交互作用を組み込まないモデルが採用された。そして、糸を「適度に張る」役割の指標のみで固定効果の傾きが有意傾向であり、パフォーマンスとの関連が確認された（係数： 1.062 ， $SE=0.475$ ， $p<0.10$ ）。この役割において張力のピークが記録される頻度が少ないほど、一边をより素早くなぞり終える傾向が示された。糸を「適度に張る」役割の操作者が他者の誤操作に対する修正を試み、張力が相対的に大きくなりピークが記録された可能性がある。ゆえに、そのようなピークが記録される頻度が少ないということは、他者の誤操作によるペンの移動のタイムロスをも未だに防ぐかたちで、糸の張りが微調整されたことを示唆する。集団全体のバランスを保つ糸を「適度に張る」役割が、パフォーマンスに寄与することが確認された。

上記の結果から運動協調において、集団全体のバランスを保つ役割が重要であることが示された。その基盤には、他者からみたペンの位置やリール操作に関する視点の理解や、他者の操作をシミュレートするような行動予測があると考えられる。集団運動の特徴を検討したスポーツ科学の研究（例えば、[8]や[11]）では、上級プレイヤーと初級プレイヤーの動きを比較することが多い。注目すべき点として本分析では、集団全体のバランスを保つ役割がパフォーマンスの向上に寄与することが確認された。ゆえに、繰り返し課題を行うことで、その役割に関係するスキルが習得された可能性がある。また、集団全体のバランスを保つ役割はなぞり課題に限らず、スポーツ競技のチームワークや討論等においても求められるといえる。以上を踏まえると、私たちが経験的に感じる役割の重要性を示したことは、スポーツ科学をはじめとして他分野の理論に与える影響は大きいと考えられる。さらに、本研究では言語情報を分析して協調のメカニズムを検討した認知科学の問題解決や学習の研究領域における理論（例えば、[3]や[4]）を、三者以上の非言語的な集団運動に拡張可能であることも示唆され、当該分野に対する理論的な貢献も果たしたといえる。しかし、運動協調に関連する認知の詳細に関しては未だ議論の余地がある。具体的には、集団全体のバランスを保つ役割を遂行するうえで、他者の動きの何をどのようなタイミングで予測しているか等は実験だけでは十分に検討することが難しい。

この問題をクリアするためには、糸を「適度に張る」役割における他者の行動予測に関する認知をモデル化し、計算機シミュレーションから予測に関わるパラメータを変化させた際にパフォーマンスがどのような影響を受けるかを検討する手法が有効であり、予測認知の構成論的な理解が実現すると考えられる。なぞり課題は糸を張って物体を移動させるため、運動方程式による定式化が可能であり、シミュレーションが実装しやすい。今後は、シミュレーションと本研究の結果を比較し、役割の基盤にある認知モデルの構築を目指す。

参考文献

- [1] De Jaegher, H., Di Paolo, E., & Gallagher, S. (2010). Can social interaction constitute social cognition? *Trends in Cognitive Sciences*, *14*, 441-447.
- [2] Knoblich, G., Butterfill, S., & Sebanz, N. (2011). Psychological research on joint action: Theory and data. *Psychology of Learning and Motivation*, *54*, 59-101.
- [3] Hayashi, Y., Miwa, K., & Morita, J. (2006). A laboratory study on distributed problem solving by taking different perspectives. *Proceedings of the 28th annual conference of the cognitive science society*, 333-338.
- [4] Lombrozo, T. (2006). The structure and function of explanations. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*, 464-470.
- [5] Pentland, A. (2010). *Honest signals: How they shape our world*. Cambridge, MA: MIT Press. (安西 祐一郎 (監訳)・柴田 裕之 (訳) (2013). 正直シグナルー非言語コミュニケーションの科学ー, みすず書房)
- [6] Pezzulo, G., Donnarumma, F., & Dindo, H. (2013). Human sensorimotor communication: A theory of signaling in online social interactions. *PLOS ONE*, *8*, doi:10.1371/journal.pone.0079876
- [7] 植田 一博・小野 哲雄・今井 倫太・長井 隆行・竹内 勇剛・鮫島 和行・大本 義正 (2016). 意思疎通のモデル論的理解と人工物設計への応用 人工知能学会誌, *31*, 3-10.
- [8] Yokoyama, K., & Yamamoto, Y. (2011). Three people can synchronize as coupled oscillators during sports activities. *PLOS Computational Biology*, *7*, doi:10.1371/journal.pcbi.1002181
- [9] Braun, D. A., Ortega, P. A., & Wolpert, D. M. (2009). Nash equilibria in multi-agent motor interactions. *PLOS Computational Biology*, *5*, doi:10.1371/journal.pcbi.1000468
- [10] Couzin, I. D., Krause, J., James, R., Ruxton, G. D., & Franks, N. R. (2002). Collective memory and spatial sorting in animal groups. *Journal of Theoretical Biology*, *218*, 1-11.
- [11] Yokoyama, K., Shima, H., Fujii, K., Tabuchi, N., & Yamamoto, Y. (2018). Social forces for team coordination in ball possession game. *Physical Review E*, *97*, doi:10.1103/PhysRevE.97.022410
- [12] 丸野 俊一 (1991). 社会的相互交渉による手続き的知識の改善と“自己ー他者”視点の分化・獲得 発達心理学研究, *1*, 116-127.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 市川 淳, 藤井 慶輔	4. 巻 27
2. 論文標題 協調に関する議論に向けたアプローチの提案 - 集団運動からみる他者の行動予測と適応 -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 認知科学	6. 最初と最後の頁 377-385
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11225/cs.2020.026	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 市川 淳, 藤井 慶輔	4. 巻 28
2. 論文標題 なぞり課題を用いた運動協調における役割の検討 <大会発表賞受賞論文 >	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 認知科学	6. 最初と最後の頁 170-173
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11225/cs.2020.069	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ichikawa, J., Fujii, K., Nagai, T., Omori, T., & Oka, N.	4. 巻 16
2. 論文標題 Quantitative analysis of spontaneous sociality in children's group behavior during nursery activity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0246041	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 市川 淳, 藤井 慶輔
2. 発表標題 協調に関する発展的な議論に向けた検討: なぞり課題を用いた集団運動からみる他者の行動予測と適応
3. 学会等名 第33回人工知能学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂本 孝丈, 大澤 正彦, 市川 淳
2. 発表標題 認知的インタラクションフレームワークの説明
3. 学会等名 日本認知科学会第37回大会「認知的インタラクションフレームワークの構築」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 市川 淳, 藤井 慶輔
2. 発表標題 なぞり課題を用いた運動協調における役割の検討
3. 学会等名 日本認知科学会第37回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ichikawa, J., & Fujii, K.
2. 発表標題 Understanding others' roles based on perspective taking in coordinated group behavior
3. 学会等名 The 43rd Annual Meeting of the Cognitive Science Society (CogSci 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

日本認知科学会第37回大会大会発表賞受賞
https://www.kanagawa-u.ac.jp/news/details_21132.html

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	藤井 慶輔 (Fujii Keisuke) (70747401)	名古屋大学大学院・情報学研究科・准教授 (13901)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関