

なぞり課題を用いた運動協調における役割の検討

Investigation of Roles in Group Behavior Using a Coordinative Drawing Task

市川 淳[†], 藤井 慶輔[‡]
Jun Ichikawa, Keisuke Fujii

[†] 神奈川大学, [‡] 名古屋大学
Kanagawa University, Nagoya University
j-ichikawa@kanagawa-u.ac.jp

概要

本研究では、複雑で動的な運動協調における役割について実験的に検討した。3人1組で各自が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ペンを移動させて正三角形のモデルをなぞる課題を行わせ、糸の張力やペンの位置を計測した。線形混合モデルによる回帰分析の結果、より早くなぞり終えるパフォーマンスの向上には、他者のリール操作によってペスが逸脱しないように適宜、糸の張りを調整して全体の協調を保つバランスの役割が関連することが示唆された。

キーワード：協調 (coordination), インタラクション (interaction), 役割 (role), 行動予測 (behavior anticipation), 集団運動 (group behavior)

1. はじめに

私たちは、目標や課題を達成する、円滑に情報を伝達する、あるいは親密な関係を構築する他者との協調を通して社会活動を展開してゆく。どのように他者とインタラクションして協調するかを議論することは、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のあるテーマである [1]。本研究では、複雑で動的な複数人による運動のインタラクションに着目し、協調の背景にある他者の行動を予測する認知に基づく役割の遂行を実験的に検討する。

これまで認知科学では、問題解決や学習の領域でどのように他者とインタラクションすることで課題の成果を示すパフォーマンスが向上するかについて、課題に取り組む際の膨大な発話から重要な要素が検討されてきた。前者の領域では実験室実験や科学的研究が行われる現場の参与観察から、1) 自身とは異なる他者視点を理解することや 2) 異なる視点に基づいて役割分担するかたちでインタラクションすることの重要性が示唆されている (例えば [2, 3, 4])。1) が欠如した場合、自己中心的な振る舞いから他者との間で齟齬が

生じやすくなり、2) では役割分担が相互のリフレクションを促し、問題解決を導くことが指摘されている [3, 5, 6]。また、後者の領域では、他者とのインタラクションから課題の理解が深まることを学校教育から示した取り組みがある (例えば [7, 8])。他者視点の理解の基盤には、他者の意図推定や行動予測があるといえる。各自が他者の意図を推定する、あるいは行動を予測して他者視点の理解から役割を適切に遂行することが目標や課題の達成につながると考えられる。

さらに、人間は他者の発話だけでなく、姿勢やジェスチャー等の身体的な非言語情報から意図を推定する、あるいは行動を予測して自身の振る舞いを決定する [9, 10]。表出されるシグナルを計測し、そのデータから次の振る舞いを予測できる可能性が示されており [11, 12]、人工知能や機械学習技術と組み合わせた応用が期待されている。また、心理学では、刺激に合わせてボタンを押すような課題を用いて、協調においては目標や役割の表象を他者と共有し、他者のどのような行動がいつ、どこで起こるかを予測して自身の行動を調整する点が鍵になることを指摘している (例えば [13, 14])。

他方で、主に心理学で利用されているボタン押し課題よりも複雑で動的な運動協調として、競技スポーツや魚、鳥などの群移動が挙げられる (例えば [15, 16, 17])。そのような生物集団の運動は1つの生命体として機能しているかのような印象を抱かせ、スポーツ科学や生物学、人工生命の分野において長年、研究が行われている。これらの先行研究の中には、数理モデルを構築して集団運動を再現し、メカニズムを理解することを目指す研究がある。ただし、特徴的な運動の背景にある認知については主要な議論でないことに留意する必要がある。

市川・藤井 (in press) [1] は、認知科学における協調に関する発展的な議論に向けて、これまで扱われることが少なかった集団運動に着目した。前の段落で述

べたスポーツ科学や生物学の枠組みを援用し、集団運動を定量的に分析して他者の行動を予測する認知との関連をみるアプローチを提案している。このアプローチによって、3人以上による運動のインタラクションといった一次的な振る舞いでは説明が難しいようなより複雑で動的な協調を議論できることが期待される¹。ここでは、他者の行動をどの程度、予測できているか、あるいは行動予測が基盤にある役割の遂行が適切に行われているかを運動データの分析から示せられることが必要である。従って、構成される集団で目標、課題が明確であり、求められる動きが課題のルールに基づいてある程度、コントロールされている集団運動が対象となる。

以上を踏まえて、本研究では、上記で述べた集団運動を扱うことができる複数人で取り組む課題を提案する。そして、課題を用いて運動のインタラクションを分析し、課題の成果を示すパフォーマンスの向上において他者の行動予測に基づく適切な役割の遂行が鍵になることを明らかにする。

2. なぞり課題

本研究では、パフォーマンスの向上に関連する他者の行動を予測する認知に基づく役割を実験的に検討するために、丸野が考案したなぞり課題 [18] を用いる。この課題は3人1組で、各自が手元にある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ペンを移動させて正三角形のモデル（1辺30 cm、幅2 cm）をなぞってゆく（図1）。リールを内側に回すと糸が張られる一方で、リールを外側に回すと張りを緩めることができる。

正三角形の幅から逸脱することなく、幅の中央を通過して素早くペンを移動させる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。各辺において3人がリールを回して糸を「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交代することが求められる。具体的に、糸を「張る」役割とは手元へ引き寄せられ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」役割とはそのペンをスムーズに引き寄せられるようにする操作、そして「適度に張る」役割は「張る」役割と「緩める」役割が遂行されたことで、ペスが幅から逸脱しないようにバランスをとる操作を指す。図1と対応づけた各辺における操作者の役割を表1に示す。

¹一次的な振る舞いとは例えば、1人がある動きをすともう1人の運動が決まるような場合が挙げられる。

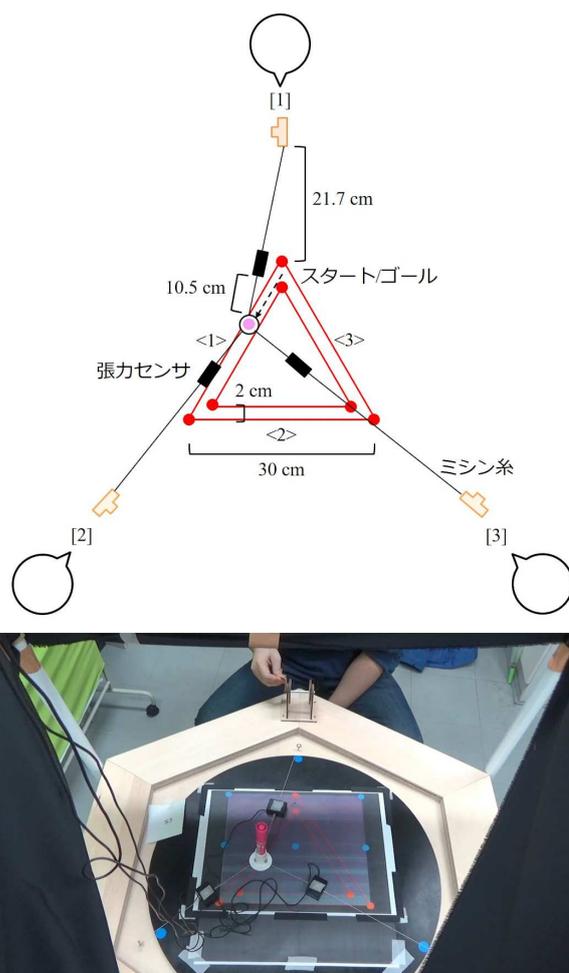


図1 なぞり課題。上段は課題の模式図で、下段は課題を行っている際の映像である。

高いパフォーマンスを達成するためには、表1における自身の役割を理解するだけでなく、他者の役割を理解することや他者のリール操作による糸の張り具合から自身の張り具合を調整することが重要である。課題の目標は3人で共通しており、求められる操作や役割も明確なことから、ある程度、コントロールされた集団運動を扱うことができる。糸の張力を計測することで、運動のインタラクションにおける他者の操作の予測に基づく役割の遂行を定量的に評価できると考えられる。

3. 実験

3.1 参加者

大学生および大学院生計6組18名（男性：3組、女性3組）が実験に参加し、分析の対象となった。グループの年齢は平均20.78歳（ $SD = 1.31$ ）であった²。

²本実験では他者視点の理解が求められる課題を行うため、念のため実験前に日本語版対人反応指標における視点取得の因子に関する

表 1 図 1 と対応づけたなぞり課題における各操作者の役割.

辺	操作者		
	[1]	[2]	[3]
<1>	緩める	張る	適度に張る
<2>	適度に張る	緩める	張る
<3>	張る	適度に張る	緩める

3人は、日常的に会話する知り合いである。なお、もう2組（男性1組、女性1組）は実験者の指示に従って課題を行わなかったため、分析から除外した。

実験が行われた神奈川大学の倫理審査委員会からの承認は得たうえで、参加者には研究概要やデータの処理について説明し、全員から書面で参加への同意が得られた。

3.2 手続き

各辺の幅から外れることなく、直線で正三角形のモデルを反時計回りになぞることが課題の目標であり、リールは内側に回すと糸が張られ、外側に回すと張りを緩められることを教示した。制限時間は90秒とし、これを1試行とした。スタートとゴール、およびペンを移動させる方向は全試行において同じである（図1を参照）。これらも教示したうえで、制限時間は設けずに練習を1試行実施した。その後、1セッション20分の中で、お互いの表情や視線を見ないように、そして会話やジェスチャーをすることなく、繰り返し課題を行わせた。計3セッション行い、セッションの間に5分程度の休憩をはさんだ。

なお、参考までに3人の参加者は課題を行うたびに、自身や他者における課題の理解度、一体感、そして他者のリール操作による糸の動きに対する運動主体感に関する質問紙調査に回答したが、本発表では分析の対象としない。

3.3 環境

図2に示す。全ての試行において3台の張力センサ（特殊計測、TK-A-30N）からリール操作による糸の張力を計測器（KYOWA、PCD-300B）を介して収録

る質問紙調査に回答させた。設問は日道他 [19] を参照していただきたい。視点取得の特性を示すスコアは、最小値を0点に調整したうえで28点中グループ平均15.72 ($SD = 0.97$)であった。±2SDの範囲外のスコアを記録した留意すべきグループは相対的にいなかったといえる。

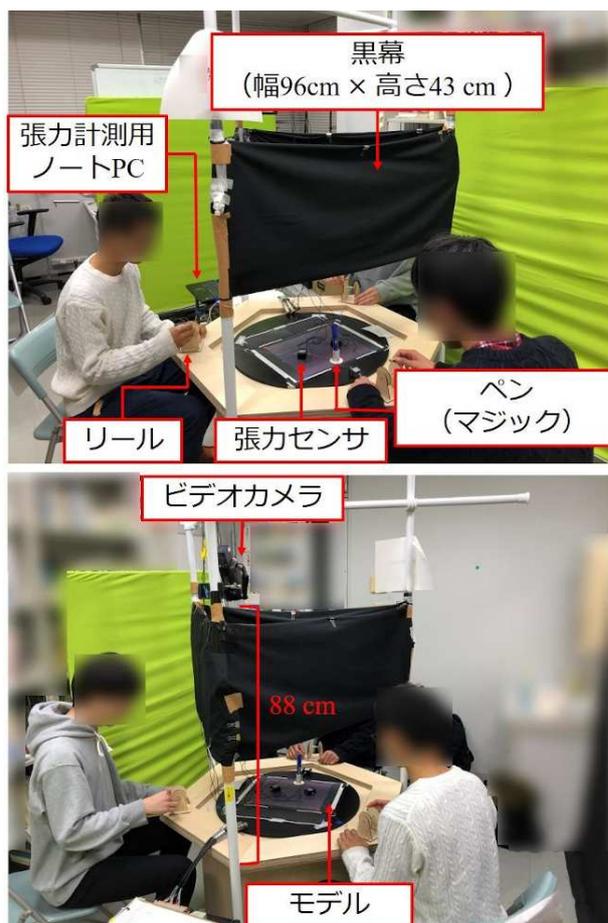


図 2 実験環境.

ソフトウェア (KYOWA, DCS-100A ver. 04.43) がインストールされたコンピュータ (Panasonic Let's note CF-SX3) 上に 100 Hz で記録した。センサはリールを内側に回すと糸の張り具合に応じて張力が正の値 (N) で記録される一方で、外側に回すと糸が緩むため、張力が減少する。また、参加者がお互いに糸を張ってペンを移動しない拮抗状態になった場合は、各糸の張り具合がそれぞれのセンサにおいて正の値で記録される仕様である。また、お互いの表情や視線が見えないように黒幕を目の前に設置した。

他方で、ビデオカメラ1台 (Sony HDR-CX680) で課題が行われる様子を俯瞰撮影した (図1を参照)。各試行における動画 (幅 1280 px × 高さ 720 px) に対して動作解析ソフト (DITECT, DIPP-Motion V/2D ver. 1.1.31) を用いてペンやセンサの位置を 5 Hz で自動トラッキングし、スプライン補間から 20 Hz の2次元で取得した。

4. 分析

4.1 手続き

4.1.1 パフォーマンス

課題の成果を示すパフォーマンスとして、各辺における a) 逸脱量 (cm) と b) なぞり終えるまでの時間 (秒) を算出した。

a) は正三角形の幅の中央線から逸脱した程度を示す \overline{Dev} を式 (1) から (3) より求めた。

$$Dev_{(f_i)} = \frac{|det([P_{ver(i+1)} - P_{ver(i)}; P_{pen(f)} - P_{ver(i)}])|}{\|P_{ver(i+1)} - P_{ver(i)}\|} \quad (1)$$

$$Dev_{(f)} = \min(Dev_{(f_i)}) \quad (2)$$

$$\overline{Dev} = \frac{1}{F} \sum_{f=1}^F Dev_{(f)} \quad (3)$$

$P_{ver(i)}$ ($[x_{P_{ver(i)}}, y_{P_{ver(i)}}]$, $1 \leq i \leq 2$) は事前に決められた各頂点の直下にある点の位置を表し、点同士を結ぶと正三角形の幅の中央線になる。また、 $P_{pen(f)}$ ($[x_{P_{pen(f)}}, y_{P_{pen(f)}}]$) と F は、ある時間フレーム f におけるペンの位置と各辺をなぞるまでにかかる時間の総フレーム数を表す。各辺の中央線とペンの位置との距離を算出し、その最小値を特定の辺をなぞっている時の逸脱量として扱った。

b) は、 $Dev_{(f)}$ を求める際の i と $i+1$ の組み合わせが入れ替わるまでにかかる時間とした。例えば、図 1 において、辺 $\langle 1 \rangle$ から辺 $\langle 2 \rangle$ になぞる対象が替わる時、 $Dev_{(f)}$ を記録する組み合わせが $i=1$, $i+1=2$ から $i=2$, $i+1=3$ になる。

a) と b) の指標で値が小さければ、逸脱することなく素早くモデルをなぞったことが示される。

4.1.2 役割

張力データは、ローパスフィルタを 0.5 Hz で適用して高周波ノイズを除去したうえで、各辺における c) 糸を「張る」役割を遂行したことを示す最大ピーク値を記録した参加者が理想と一致したかの二値 (一致: 1, 不一致: 0) と、d) 糸を「適度に張る」役割が求められる参加者のリール操作でピークが記録された頻度を求めた。

各センサーで最低 1 個張力のピークが抽出される閾値 0.2 N を適用し、c) では各辺で最大ピーク値を記録するリール操作を行った参加者をみた (図 3)。表 1 を踏まえると、ペンを引き寄せるために糸を「張る」役

割を遂行すれば、他の役割に比べて張力の値が大きくなることが考えられる。従って、辺 $\langle 1 \rangle$, $\langle 2 \rangle$, $\langle 3 \rangle$ に対して最大ピーク値を記録する参加者がそれぞれ [2], [3], [1] であれば、糸を「張る」役割の遂行が適切に交代されていたことが示される (表 1 を参照)。

他方で、d) では、辺 $\langle 1 \rangle$, $\langle 2 \rangle$, $\langle 3 \rangle$ に対して糸を「適度に張る」役割が求められる参加者は [3], [1], [2] である (表 1 を参照)。他者 2 人が糸を「張る」、「緩める」役割を遂行してペンを移動させる際に、幅の中央から逸脱ないようにバランスをとる必要がある。このバランスの張力でピークが記録されれば、他者あるいは自身の誤ったリール操作によって幅の中央から逸脱したペンの修正を試みたことが示される。

図 1 や表 1 と対応づけた分析手続きの模式図を図 3 に示す。パフォーマンスも含めて、これらは全て MATLAB R2016b で実施した。

4.1.3 統計モデリング

本分析では、グループや辺による変動を踏まえた線形混合モデルを用いた回帰分析を行った。まず、a) と b) を目的変数にそれぞれ設定し、試行を説明変数である固定効果、グループと辺を傾きと切片がランダムな変量効果とした。全体的に試行を通して、a) あるいは b) の値が有意に小さくなることが確認された場合に次の分析を実施した。

具体的には、試行との関連が示された a) あるいは b) を目的変数、そして c) および d) を説明変数である固定効果、グループと辺を傾きと切片がランダムな変量効果とした。説明変数間の交互作用については、組み込んだ場合と組み込まなかった場合で赤池情報量規準 (以下、AIC と呼ぶ) を算出して、より適したモデルを採用した。

以上の分析は、パッケージ lme4 や lmerTest を利用して R-3.6.1 で行った。

4.2 結果

表 2 と表 3 に示す。合わせて、表の結果を踏まえて、試行を通した b) の推移と b) と d) による散布図を図 4 と図 5 にそれぞれ示す。本研究では全体的な特徴を議論したいため、グループや辺による変動を踏まえた代表的な目的変数と説明変数の関係を報告する。

試行と課題の成果を示すパフォーマンスの関係において、b) のみで試行の固定効果が有意であった (係

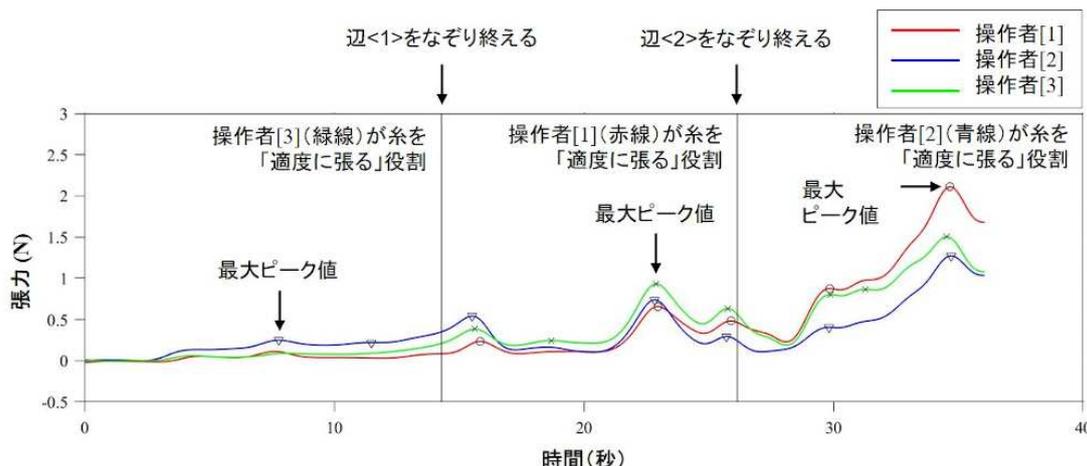


図3 図1と表1を対応づけた役割の分析手続きに関する模式図。

数: -0.395 , $SE = 0.086$, $p = 0.004$). a) の固定効果は有意ではなかった (係数: -0.001 , $SE = 0.004$, $p = 0.837$). これらの結果は, 試行を通してある一定の逸脱量を維持しつつ, より早くなぞり終えることを示唆する.

そして, b) と c), d) の関係について, c) および d) の交互作用を組み込まなかった場合のモデルが採用され, d) の固定効果が有意傾向であった (係数: 1.055 , $SE = 0.477$, $p = 0.076$)³. c) の固定効果は有意ではなかった (係数: -0.751 , $SE = 0.590$, $p = 0.216$). これは, バランサーのリール操作で張力のピークが記録される頻度が増えると, 各辺をなぞり終えるまでの時間が長くなる傾向を示す.

以上の結果は, より早くなぞり終えるパフォーマンスの向上には, ペンが逸脱して修正することがないように適宜, 糸の張りを調整するバランサーの役割が関連することを示唆する.

5. 考察

分析の結果, 試行を通して, ある一定の逸脱量を維持しつつ, なぞり終えるまでの時間が短くなることが確認された. さらに, そのような課題の成果を示すパフォーマンスの向上には, ペンが逸脱しないように適宜, 糸の張りを調整するバランサーの役割が関連することが示唆された (表2, 表3, 図4, および図5を参照).

糸を「適度に張る」役割を遂行する操作者で張力のピークが記録されることは, ペンの位置の修正を試みたことを示す. これは, 手元に引き寄せるようにペン

を移動させる糸を「張る」役割やそのペンをスムーズに引き寄せられるようにする「緩める」役割を他者が適切に遂行できなかった場合, あるいは自身がリールを誤操作した場合に起こる. 糸を「張る」, 「緩める」役割が適切に遂行されないというのは, 他者のリール操作を予測せずに, 自己中心的な操作を行うことを示す. 例えば, 辺 < 1 > をなぞる際に操作者 [1] が糸の張り具合から操作者 [2] のリール操作を予測できず, 過度に緩めてしまい, ペンが逸脱することが挙げられる (表1を参照). ペンの位置を修正する頻度が増えると, なぞり終える時間にロスが生じる. 一方で, その頻度が少ないということは, バランサーが他者のリール操作によってペンが逸脱しないように未然に防ぐかたちで糸の張りを微調整していたことが考えられる.

Yokoyama & Yamamoto (2011) [17] では, 3人1組で相手1人に奪われないようにボールをパスするサッカーの課題において, 上級プレイヤーの動きは初級プレイヤーに比べて同期することを示した. ある力学系のパターンを維持するためには, パスをしやすい仲間との位置関係を確立する必要があることを示唆する. さらに, Yokoyama, Shima, Fujii, Tabuchi, & Yamamoto (2018) [20] では, 同様の課題を社会行動の数理モデルを用いたシミュレーションから検証し, 仲間との相対的な距離に基づいて振る舞うパラメータが上級プレイヤーによるパス回しを計算機上で再現するうえで鍵になることを示した. 本研究では, なぞり課題の協調において, 3人の中でも特に, 他者のリール操作をカバーしてある一定の逸脱量に抑えるバランサーの役割が重要なことを明らかにした. 他者をカバーして全体の協調を保つような振る舞いはなぞり課題に限らず, Yokoyama et al. [17, 20] が課題にした競

³交互作用を組み込んだ場合の AIC は 2567.5 で, 組み込まなかった場合の AIC は 2566.5 であった. なお, 前者では後者で確認された d) の固定効果の有意傾向はみられなかった.

表 2 グループや辺を踏まえたパフォーマンスと試行の関係

説明変数	目的変数	固定効果						変量効果			
		傾き			切片			グループ		辺	
		係数	SE	p 値	係数	SE	p 値	傾き	切片	傾き	切片
試行	a) 逸脱量 (cm)	-0.001	0.004	0.837	0.705	0.205	0.057	0.000	0.014	0.000	0.117
	b) なぞり終えるまでの時間 (秒)	-0.395	0.086	0.004	24.042	1.921	0.001	0.025	5.288	0.007	7.917

表 3 グループや辺を踏まえたパフォーマンスと役割の関係

説明変数	固定効果						変量効果				
	傾き			切片			グループ		辺		
	係数	SE	p 値	係数	SE	p 値	傾き	切片	傾き	切片	
c) 糸「張る」役割を遂行する参加者における理想との一致 (一致: 1, 不一致: 0)	-0.751	0.590	0.216					0.171	3.619	0.000	0.000
d) 糸を「適度に張る」役割において張力のピークが記録された頻度	1.055	0.477	0.076	17.758	1.354	0.000		1.169	0.206	0.009	2.533

注) 目的変数は, b) なぞり終えるまでの時間 (秒) である。

技スポーツや, 言語的インタラクションである討論においても求められる。さらに, 本研究では注目すべき点として, バランサーの役割がパフォーマンスの向上に関連していることから, 試行を通して役割のスキルを習得した可能性がある。

また, バasketボールのディフェンス時のチームワークに焦点をあてた Fujii et al. (2016)[21] の研究では, ゴール手前の攻防の危機的状況に応じて各プレイヤーが役割を遂行する背景に, 敵や仲間の意図を何手先も読む「再帰的な意図の共有」[22] があることを主張している。なぞり課題はBasketボールよりも単純な課題ではあるが, バランサーは他者の役割を理解したうえでリール操作を予測し, ペンが逸脱しないように未然に防ぎ, カバーしていたと考えられ, 操作の意図を共有したのかもしれない。他方で, 本分析では, 手元に引き寄せるようにペンを移動させる糸を「張る」役割が辺ごとに理想と一致していたかは, パフォーマンスに関連していなかった (表 3 を参照)。ペンを主導して動かす役割よりも, 全体の協調を保つ役割が重要であることを示唆する。

以上のような議論は, 他者との言語的なインタラク

ションを分析し, 協調において他者視点を理解することや異なる視点に基づいて役割分担することが鍵になる点を示した認知科学の問題解決の領域における知見 (例えば [2, 3, 4]) と整合性がとれると考えられる。今後は, 線形混合モデルの結果を踏まえて, なぞり終えるまでの時間と糸を「適度張る」役割との関連におけるグループ間の変動について検討する。本実験ではグループ C が最も早くなぞり終える高いパフォーマンスを達成した。グループ C で顕著にみられる特徴を詳細に議論する。そして, 最終的には糸を「適度に張る」役割における他者の行動を予測する認知をモデル化し, 計算機上でシミュレーションを行い, 構成するパラメータを変化させた際に集団運動がどのように影響を受け, なぞり終えるまでの時間が変わるかを検討することで, 協調のメカニズムを明らかにしてゆく。

謝辞

本研究は, JSPS 科研費 19K24369 の助成を受けた。なぞり課題の装置を設計するうえで, 丸野 俊一副学長 (九州大学) からご助言をいただいた。設計・製作は楠 曜さん (京都工芸繊維大学) にご協力いただき

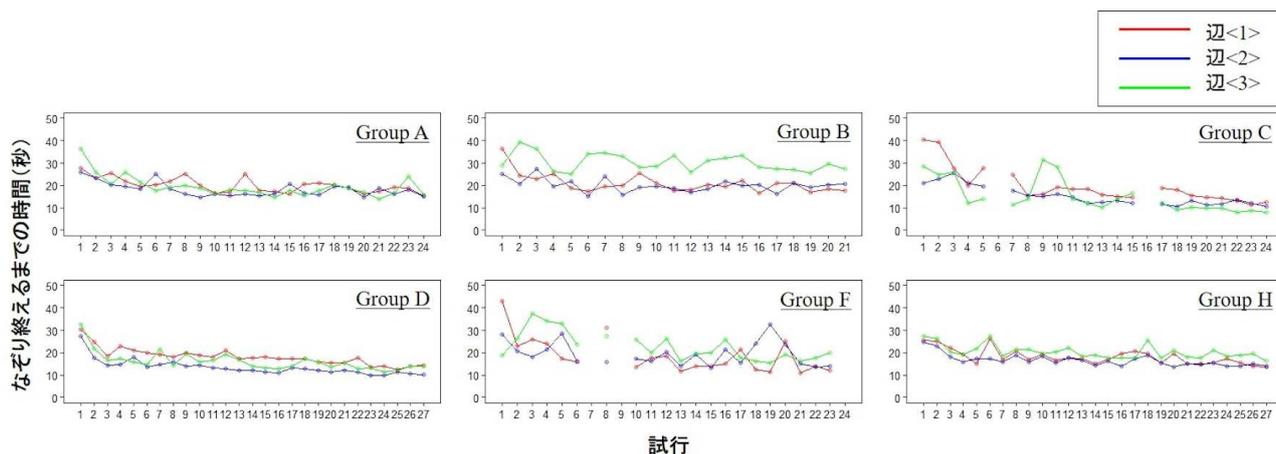


図4 試行を通した b) なぞり終えるまでの時間の推移. プロットがない試行は途中で糸が切れる等の計測トラブルによって記録できなかったことを示す.

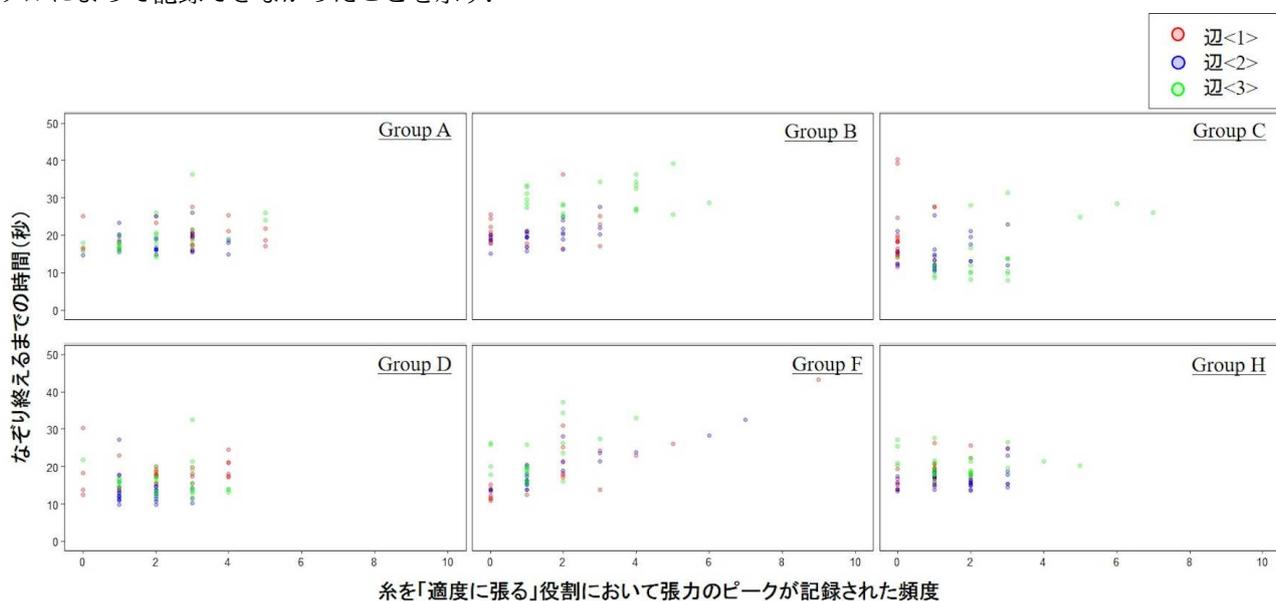


図5 b) なぞり終えるまでの時間と d) 糸を「適度に張る」役割の散布図.

た. そして, 実験を行うにあたって児玉 謙太郎准教授 (当時は神奈川大学に所属, 現在は東京都立大学) にご協力をいただいた. ここに謝意を表する.

文献

[1] 市川 淳・藤井 慶輔 (in press) “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—”, 認知科学.

[2] Dunbar, K. (1995) “How scientists really reason: Scientific reasoning in real-world laboratories.”, In R. J. Sternberg, & J. E. Davidson (Eds.), The nature of insight (pp. 365-395). Cambridge, MA: MIT Press.

[3] 林 勇吾・三輪 和久・森田 純哉 (2007) “異なる視点に基づく協同問題解決に関する実験的検討”, 認知科学, Vol. 14, No. 4, pp. 604-619.

[4] Miyake, N. (1986) “Constructive interaction and the iterative process of understanding” Cognitive Science, Vol. 10, No. 2, pp.151-177.

[5] 林 勇吾・三輪 和久 (2011) “コミュニケーション齟齬における他者視点の理解”, 認知科学, Vol. 18, No. 4, pp. 569-584.

[6] Shirouzu, H., Miyake, N., & Masukawa, H. (2002) “Cognitively active externalization for situated reflection”, Cognitive Science, Vol. 26, No. 4, pp. 469-501.

[7] Miyake, N., & Shirouzu, H. (2006) “A collaborative approach to teaching cognitive science to undergraduates: The learning sciences as a means to study and enhance college student learning”, Psychologia, Vol. 49, No. 2, pp. 101-113.

[8] Shirouzu, H., & Miyake, N. (2007) “Scaffolds for lecture comprehension: Video-jigsaw and stop-and-think using a video system”, Proceedings of the 2007 conference on Supporting Learning Flow through Integrative Technologies, pp. 175-182.

[9] 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—非言語コミュニケーションの科学— みすず書房
- [10] Pezzulo, G., Donnarumma, F., & Dindo, H. (2013). “Human sensorimotor communication: A theory of signaling in online social interactions. ”, *PLOS ONE*, Vol. 8, No. 11, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079876>
- [11] Stoltzman, W. T. (2006) “Toward a social signaling framework: Activity and emphasis in speech”, Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology, pp. 1-70.
- [12] Curhan, J. R., & Pentland, A. (2007) “Thin slices of negotiation: Predicting outcomes from conversational dynamics within the first 5 minutes”, *Journal of Applied Psychology*, Vol. 92, No. 3, pp. 802-811.
- [13] Knoblich, G., & Sebanz, N. (2006) “The social nature of perception and action”, *Current Directions in Psychological Science*, Vol. 15, No. 3, 99-104.
- [14] Sebanz, N., & Knoblich, G. (2009) “Prediction in joint action: What, when, and where”, *Topics in Cognitive Science*, Vol. 1, No. 2, pp. 353-367.
- [15] 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*, Vol. 218, No. 1, pp. 1-12.
- [16] Fujii, K., Kawasaki, T., Inaba, Y., & Kawahara, Y. (2018) “Prediction and classification in equation-free collective motion dynamics”, *PLoS Computational Biology*, Vol. 14, No. 11, <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006545>
- [17] Yokoyama, K., & Yamamoto, Y. (2011) “Three people can synchronize as coupled oscillators during sports activities”, *PLoS Computational Biology*, Vol. 7, No. 10, <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1002181>
- [18] 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-他者視点の分化・獲得”, *発達心理学研究*, Vol. 1, No. 2, pp. 116-127.
- [19] 日道 俊之・小山内 秀和・後藤 崇志・藤田 弥世・河村 悠太・野村 理朗 (2017) “日本語版対人反応性指標の作成”, *心理学研究*, Vol. 88, No. 1, pp. 61-71.
- [20] Yokoyama, K., Shima, H., Fujii, K., Tabuchi, N., & Yamamoto, Y. (2018) “Social forces for team coordination in ball possession game”, *Physical Review E*, Vol. 97, No. 2, <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.97.022410>
- [21] Fujii, K., Yokoyama, K., Koyama, T., Rikukawa, A., Yamada, H., & Yamamoto, Y. (2016) “Resilient help to switch and overlap hierarchical subsystems in a small human group”, *Scientific Reports*, Vol. 6, No. 23911, <https://doi.org/10.1038/srep23911>
- [22] Tomasello, M. (2010) “Origins of human communication”, Cambridge, MA: MIT Press.