

集団のトップダウンとボトムアップ処理に基づく戦術適用： 3 on 3 バスケットボールを用いた探索的検討

Strategy application based on top-down and bottom-up information processing: An exploratory study using 3-on-3 basketball

市川 淳[†], 山田 雅敏[‡], 祝原 豊[†], 一ノ瀬 元喜[†], 藤井 慶輔[§]

Jun Ichikawa, Masatoshi Yamada, Yutaka Iwaihara, Genki Ichinose, and Keisuke Fujii

[†] 静岡大学, [‡] 常葉大学, [§] 名古屋大学

Shizuoka University, Tokoha University, Nagoya University

j-ichikawa@inf.shizuoka.ac.jp

概要

本研究は、集団スポーツを題材に、協調的インタラクションにおける情報処理特性を探索的に検討した。静岡県国体成年女子選抜を対象に 3 on 3 バスケットボールのフィールド実験を行い、選手間の距離の変動を東海学生連盟三部リーグと比較した。結果、一見混沌とする中でエキスパートのオフenseチームは、複数の戦術計画に関する集団のトップダウン処理と状況に応じて戦術を柔軟に選択するボトムアップ処理がバランスよく機能してい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), 戦術 (strategy), 集団スポーツ (team sports)

1. はじめに

私たちはさまざまな活動で他者と目標を共有し、その達成過程において役割を分担しながら集団で方略を適用する。例えば、集団スポーツは、関係が多様になりやすい三者以上でチームが構成され、時間発展しやすい役割分担を伴う身体的インタラクションから「相手チームに勝つ」という共通目標の達成を図る [1]。限られた時間、スペース、人員、ルールの下でインタラクションする必要があるため、集団スポーツは実世界の協調を理解するうえで格好の題材である。しかし、集団スポーツは戦術計画に基づく相互予測などの認知的インタラクションも求められるため、協調メカニズムの検証が難しい。本研究では、集団スポーツを用いて、協調的インタラクションにおける情報処理の理解を目指す。

関連研究として、スポーツ科学やネットワーク科学は、選手の位置やパス等のイベントに関する時系列データを分析し、役割分担を伴う身体的インタラクションの構造について検討している。バスケットボールのディフェンスを検証した研究では、危機段階に応

じた役割の重複や交替が定量化され、柔軟な調整の特徴を明らかにしている [2]。また、サッカーについて選手をノード、パスの出し手と受け手をリンクとするネットワークモデルを構築した研究では、戦術の多様性や他チームとの違いが示されている (e.g., [3, 4])。さらに、Shannon の情報理論を応用して、エントロピーが高いほど相手チームにとって予測困難さが増し、高いチームパフォーマンスと関連する可能性が議論されている (e.g., [5, 6])。

これらの知見は、集団協調における情報処理に二種類の側面があることを示唆する。1つ目は、戦術のメンタルモデルが連携するための情報をフィードフォワードする集団のトップダウン処理である。メンタルモデルは知識などが構造化され、集団で基盤化した表象を指す [7]。エキスパートチームは多様な戦術計画から未来の状況を先読みしたり、プレーを相互予測したりすることでスムーズに連携できると考えられる。2つ目は、メンタルモデルを介さずに周囲の知覚情報から相互調整する集団のボトムアップ処理である [7]。エキスパートチームは、状況に応じて柔軟に戦術を適用して連携していると推察する。しかし、特に認知的インタラクションに関係して、特徴的な動きの背後にある情報処理を議論した研究は殆どない。そこで、アプローチとして、異なる競技レベルでプレーを比較し、その差異からエキスパートチームの特性を議論する。本研究の目的は、3 on 3 バスケットボールを題材に、エキスパートチームの協調的インタラクションにおける情報処理を探索的に検討することである。

2. 方法

2.1 参加者

エキスパートとして、バスケットボールの静岡県国体成年女子選抜の主力選手 6 名が参加した。人を対象

とする研究に関する倫理審査の承認、及び全員から書面で参加への同意は得られている。

2.2 3 on 3 バスケットボールのミニゲームと手続き及び環境

フィールド実験では、オフENSEの基本を検証する3 on 3 バスケットボールのミニゲーム [1] を導入した。6名の選手は実力が拮抗するように、当時監督を務めた第三著者により、3名ずつオフENSEとディフェンスチームに分けられた。

オフENSEチームの勝利条件は「制限時間 15 秒以内に誰かがディフェンス選手を引き寄せたうえで、シュートを狙う選手がノーマークでフリーなポジション取りができていないこと」である。ディフェンスチームの勝利条件は、これを満たさないように守ることであった。実験では、ゲームの開始状態を試合間で可能な限り統一するためにルールを設けた。各オフENSE選手の初期位置と 1 on 1 で対峙するディフェンス選手は固定した (図 1(a))。さらに、オフENSEチームの選手#1 をボール保持者として、後述する役割を担う選手#3 に直接パスすることなくゲームを始めるように指示した (その他の詳細は先行研究 [1] を参照)。

オフENSEチームが勝つためには、選手#3 の介入判断と調整を行う役割が重要である。当該役割は状況に応じて介入する場合、味方を助けるように自身の動きを調整する。例えば、ボールを運び攻撃の起点となる役割 (選手#1) とその味方と連携してシュートチャンスを作る役割 (選手#2) を支える。専門的にいえば、直接ボールを受け取るハンドオフや、壁となり相手ディフェンスを妨げるピックアンドロールが挙げられる。さらに、味方がパスを出しやすいスペースに走り、そこから 3 ポイントシュートを狙うこともある。他方で介入しない場合は、味方のプレーを邪魔しないように、そしてスペースを確保するためにその場でステイすることが求められる。以上は、5 人制にも通じるオフENSEの基本である。

ミニゲームは 7 試合を 1 セッションで、計 3 セッション実施した¹。試合間のインターバルは約 30 秒、セッション間のインターバルは約 1 分として疲労の影響を最小限に抑えた。撮影環境を図 1(b) に示す。コートのはきはサイドラインを除き、公式の寸法に準拠

¹ミニゲームの後に振り返りとして、集団目標の達成度などを各選手に主観評価させるアンケート調査、並びに重要な連携などを尋ねるインタビュー調査を実施した。本研究の主要な取り組みではないことや分量の都合もあり、本稿では結果の報告を省略する。

している²。そして、ステージ上に設置した三脚にビデオカメラを置いて試合を俯瞰撮影した (図 1(c)) さらに、映像に対して ByteTrack[8] の画像処理から各選手を Bounding Box で検出した。未検出や誤検出は Labelbox で手動補正³、選手の位置が二次元座標で格納された時系列のデータセットを作成した。これらは、全て先行研究 [1] と同様である。

2.3 分析

パフォーマンスとして、3 セッション全 21 試合におけるオフENSEチームの勝利数を求めた。さらに、解釈の容易さを考慮して、先行研究 [1] を参考に全体的な集団運動の様相を把握するうえで選手間の距離に関する基本分析を行った。具体的に、(1) オフENSEチームにおける選手間の距離 (cm) を時間フレームごとに全ての組み合わせで算出し、(2) オフENSEとディフェンスチームの選手との距離についても同様に求めた。そして、各試合で距離の変動 (SD) を算出し、先行研究で運動計測を行った東海学生連盟三部リーグの結果と比較した。このフィールド実験では、介入判断と調整を行う役割を中心としたコーチの助言を挟み、前半戦と後半戦でそれぞれ 3 セッション、同じようにミニゲームが実施された (研究目的や実験手続きなどの詳細は先行研究 [1] を参照)。

本分析では指標 (1) と (2) における 21 試合を通じた変動の平均について、国体選抜条件と三部リーグ前半条件、後半条件の間で比較を行った。対応のない t 検定を行い、検定の多重性問題を回避するために Bonferroni 法で p 値に比較回数を掛けて補正した。国体選抜条件のエキスパートチームでは、戦術計画に関する集団のトップダウン処理と状況に応じて柔軟に戦術を選択するボトムアップ処理の両者が機能していると予想する。ゆえに、集団運動が戦術ごとに異なる様相を示すことが考えられ、距離の変動が大きくなる可能性がある。

3. 結果及び考察

オフENSEチームのパフォーマンスは全 21 試合中 18 勝で、「相手チームに勝つ」という共通目標を十分に達成して協調的なインタラクションを体現した。次に、注目すべき結果として、指標 (1) におけるオフENSEチームの選手#1 (図 1(a)) と選手#3 の距離、指標 (2) におけるオフENSEチームの選手#1 とディフェン

²http://www.japanbasketball.jp/files/referee/rule/2022_3x3rule.20240401.pdf

³<https://labelbox.com>



図 1: 3 on 3 バスケットボールのフィールド実験. (a) と (b) は先行研究 [1] の掲載図を修正した. 当該論文は CC BY に基づく.

スチームの選手#3の距離について、いずれも国体選抜条件の変動が三部リーグ前半条件と比べて有意に大きい傾向 ($p < .10$) が確認された. さらに、三部リーグ後半条件と比較しても、国体選抜条件の変動が有意に大きいことが示された ($p < .005$).

国体選抜条件に関して、ミニゲームでオフェンスの鍵となる介入判断と調整を行う役割 (図 1(a) の選手#3) とボールを運び攻撃の起点となる役割 (選手#1) の距離の変動が相対的に大きい特徴は、複数の戦術が適用されたことを示唆する. 2.2 節で説明した通り、選手#3 が直接ボールを受け取るハンドオフなどを行う際に選手#1 と近い距離をとる必要がある. 一方で、選手#3 がパスを出しやすいスペースに走り、そこから3ポイントシュートを狙う場合は選手#1 から比較的離れた位置にいるだろう. 他方で、ディフェンスチームの選手#3 は、オフェンスチームの選手#3 を主にマークするプレイヤーである. ただし、オフェンスチームの選手#1 のプレー次第では選手#3 へのマークを外し、味方のヘルプに入る必要がある. 従って、距離の変動

が相対的に大きい特徴は、選手#3 がヘルプディフェンスに入ってオフェンスチームの選手#1 と近い距離になったり、ヘルプに入らずに比較的離れた位置にいたことを示唆する. ディフェンスチームの選手#3 は特に、オフェンスチームによる複数の戦術適用の影響を受けたかもしれない.

東海学生連盟三部リーグを対象にフィールド実験を行った先行研究 [1] では、介入判断と調整を行う役割を中心としたコーチの助言後にオフェンスチームの勝率が一時向上し、パスを出しやすいスペースに当該役割を担う選手#3 が走り、そこから3ポイントシュートを狙う連携パターンが観測された. しかし、ディフェンスチームに対策をとられると、勝率が急激に下がった. これは、オフェンスチームが特定の戦術に関するメンタルモデルを確立して集団のトップダウン処理が機能したものの、競技レベルや1回の実験による限界などで複数の戦術を有していなかったことから、対策してきた相手に対して集団のボトムアップ処理を通じて柔軟に対処できなかったことを示唆する.

先行研究 [1] の知見と本実験の結果を総合的に考察すると、エキスパートのオフenseチームにおいては、複数の戦術計画に関連する集団のトップダウン処理が機能している一方で、相手ディフェンスの対策に応じて戦術を柔軟に選択するボトムアップ処理がバランスよく機能していたと推察される。二種類の情報処理の間で、支配関係が変化しているかもしれない。例えば、メンタルモデルに基づく集団のトップダウン処理の支配が一時的に高まり、特定の戦術が適用される。しかし、相手ディフェンスのプレーを知覚したことで相互調整が行われるボトムアップ処理の支配が高まれば、別の戦術へと動的に切り替わる可能性がある。ただし、本分析は選手間の距離に関する基本分析しか行っていない点に留意する必要がある。また、相手チームもエキスパートであるため、複数のディフェンス戦術が一見混沌とする中でオフenseチームの連携に影響を与えた可能性がある。今後は、先行研究 (e.g., [5, 9]) を参考に、選手が占有するスペースを検証するボロノイ図を用いた幾何学分析や、連携の多様性や予測困難さを検証するエントロピーの分析を行い、身体的インタラクションの構造と戦術適用との関係を情報処理の視座で議論する予定である。

謝辞

フィールド実験に協力いただいた市川雅也さん、椎久翔太さん（ともに静岡大学）に感謝を申し上げる。本研究は JSPS 科研費 24K20562, 第一三共「はばたく次世代」応援寄付プログラム, 静岡大学令和6年度超領域研究推進本部「融合研究促進費」による研究支援, 並びに新学術領域開拓のための異分野間研究ネットワーク構築による研究力推進事業の支援を受けた。

参考文献

- [1] Ichikawa, J., Yamada, M., & Fujii, K. (2025). Analyzing coordinated group behavior through role-sharing: A pilot study in female 3-on-3 basketball with practical application. *Frontiers in Sports and Active Living*, Vol. 7, 1513982. <https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1513982>
- [2] 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, 23911. <https://doi.org/10.1038/srep23911>
- [3] Ichinose, G., Tsuchiya, T., & Watanabe, S. (2021). Robustness of football passing networks against continuous node and link removals. *Chaos, Solitons & Fractals*, Vol. 147, 110973. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.110973>
- [4] Yamamoto, K., & Narizuka, T. (2021). Preferential model for the evolution of pass networks in ball sports. *Physical Review E*, Vol. 103, 032302. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.103.032302>
- [5] Bourgeois, Q., Charrier, R., Sanlaville, E., & Seifert, L. (2024). A temporal graph model to study the dynamics of collective behavior and performance in team sports: An application to basketball. *Social Network Analysis and Mining*, Vol. 14, 94. <https://doi.org/10.1007/s13278-024-01253-6>
- [6] Neuman, Y., Israeli, N., Vilenchik, D., & Cohen, Y. (2018). The adaptive behavior of a soccer team: An entropy-based analysis. *Entropy*, Vol. 20, 758. <https://doi.org/10.3390/e20100758>
- [7] Steiner, S., Macquet, A. C., & Seiler, R. (2017). An integrative perspective on interpersonal coordination in interactive team sports. *Frontiers in Psychology*, Vol. 8, 1440. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01440>
- [8] Zhang, Y., Sun, P., Jiang, Y., Yu, D., Weng, F., Yuan, Z., Luo, P., Liu, W. & Wang, X. (2022). ByteTrack: Multi-object tracking by associating every detection box. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2110.06864>
- [9] 一ノ瀬元喜・八木翔摩・廣瀬功季・市川淳・山田雅敏・藤井慶輔 (2024). 3 on 3 バスケットボールにおけるオフense連携構造の幾何学的抽出. 情報処理学会研究報告, スポーツ情報学, Vol. 2024-SI-1, 32.