

介入判断と調整を行う役割が集団協調に与える影響： 実験室実験からスポーツ現場への応用

Group coordination by the role of intervention decision and adjustment: Practical application from the laboratory experiment to the sports field

市川 淳[†], 山田 雅敏[‡], 藤井 慶輔[§]

Jun Ichikawa, Masatoshi Yamada, 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

先行研究では実験室実験から、不均一な役割分担を伴う集団協調で状況に応じた介入判断と調整を行う役割の重要性が示唆されている。本研究では現場応用として、3 on 3 バスケットボールを題材に撮影と計測を行い、大学チームでオフェンスにおける当該役割の動きを助言した。結果、助言後にその役割が求められる選手と相手ディフェンスとの距離が相対的に大きい値をとる頻度が高くなり、遂行の基盤となるスペーシングが体现された。

キーワード: 協調 (coordination), 役割 (role), レジリエンス (resilience), スポーツ現場 (sports field)

1. 導入

私たちが展開する活動の多くは、集団を構成するメンバー間で不均一な役割を分担する。各自がサブシステムとして役割を担い、他のサブシステムや環境とのインタラクションを通して全体が1つのシステムとして機能する [1]。この分散認知により内的・外的資源が適切に配分され、個々の負荷が軽減すると言える。特にスポーツでは、時間やルールといった制約の中で集団目標や高い成果を示すパフォーマンスを発揮することが求められるため、役割分担の利点を実感しやすいと考えられる。本研究では、集団目標を達成する協調運動で実験室実験から示唆された重要な役割に関する知見のスポーツ現場応用を試みる。

関連研究として、Fujii et al. [2] は国内トップレベルの大学チームを対象に、5 on 5 のバスケットボールの協調的なディフェンスとして、ゴール手前の危機的な状況に応じた役割分担の構造を明らかにした。また、集団行動として狩りの協調メカニズムを深層強化学習から検討した研究 [3] では、追いかける役と行く手を阻む役の分担が創発する特徴がみられた。いずれ

も役割分担により、争う相手よりも優位な状況をつくり出していると考えられる。

一方で、Ichikawa and Fujii [4] は争う相手がいる設定ではないが、集団協調で鍵となる役割を明らかにした。3人1組で各自がリールを回して糸の張力を変え、3本の糸に接続された1本のペンを動かし、長さ30 cm、幅2 cmの正三角形の辺をなぞる課題が用いられた。2名は、ペンを引き寄せる「張る」役割とそのペスがスムーズに動くように対応する「緩める」役割を担う。しかし、これらの役割だけでは仕様上、ペスが辺の外側に逸れる。3人目の「適度に張る」役割が状況に応じて介入し、ペンの軌道を修正する必要がある。実験室実験では繰り返し課題を行わせ、糸の張力やペンの位置を計測して3つの不均一な役割の張力を用いた重回帰分析を実施した。結果、小さいペンの逸脱を維持しつつ、より素早く移動させる高いパフォーマンスの達成には「適度に張る」役割が関連していることが確認された。他を助けるように対処するこの役割にはレジリエントな性質があり、スポーツやビジネスマネジメントなどでも重要性が主張されている (e.g., [2, 5])。また、介入しない時は他の邪魔をしない、介入する時は有利な状況をつくり出す行動は、既存の同期理論では説明が難しく、協調運動を議論する上で新たな視点を提供している。しかし、実験室実験の課題を用いた成果である点に留意する必要がある。介入判断と調整を行う役割の有用性には未だ議論の余地がある。

そこで本研究のアプローチとして、実験室実験で得られた知見をスポーツ現場に応用する。今回、先行研究 [2] で役割分担について議論されているバスケットボールの中でも計測しやすい3 on 3を題材とする。当該役割の有用性を検証することを研究目的とし、関連した助言の前後で試合のパフォーマンスや動きの差異

を比較する。

2. 方法

2.1 参加者

東海学生バスケットボール連盟三部リーグに属し、第二著者が監督を務める大学女子バスケットボール部の練習でフィールド実験を行った。6名が参加し、3名ずつオフェンスとディフェンスチームに分かれた。静岡大学並びに常葉大学の人を対象とする研究に関する倫理審査の承認、及び選手全員から書面での同意は得られている。

2.2 3 on 3

3 on 3 の概要を図 1a に示す。丸で表されたオフェンスチームの勝利条件は「制限時間 15 秒以内にメンバーの誰かがディフェンスを引き寄せた上で、最後にシュートを打つ予定の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。一方で、四角で示されたディフェンスチームは「オフェンスチームの勝利条件を満たさないように守ること」が勝利条件である。次章の結果はこの定義に沿っており、可能な限り個人スキルに依存しない基準とした。

ゲームではオフェンスチームを対象に、介入判断と調整を行う役割（図 1a の丸 No.3）が 2 名に関わり集団が協調する過程を観測する上でいくつかの制約を設けた。具体的には、開始時のボール保持者（No.1）は固定し、No.3 に直接パスすることなくプレーを始めるように教示した。さらに、オフェンスチーム 3 名の初期位置を場ミリで指定して距離をとらせた。一方で、ディフェンスチームは No.1 と No.2 がオフェンスチームの同番号と対峙するように伝え、初期位置は任意とした。以上のルールを適用することで、最初の状況は試合間で可能な限り同一になるようにした。なお、利き手の影響を排除するために、2 vs 2 の構図がゴールに対して右側あるいは左側のどちらかを開始直前に指示し、試合間でランダム化した。

オフェンスチームが勝つためには、No.3 が味方 2 名に介入し 2 vs 2 の拮抗状態を調整・解消して有利な状況をつくり出すことが求められる（例えば、(1) No.1 あるいは No.2 とのハンドオフ、(2) No.3 がピックアンドロール、(3) No.3 がスリーポイントシュート）。一方で無理に介入せず、2 名の邪魔をしないことも重要である。図 1a の丸で示した参加者の初期位置や No.3 に求められる動きは、5 人制の試合でも想定される¹。

¹監督曰く、チームは実験に参加した時点で今回の連携に関連す

2.3 環境と手続き

体育館の環境を図 1b に示す。横のサイドラインを除き、原則 5 人制の寸法に準拠している²。ステージに 3 m の三脚を置き、ビデオカメラ (Sony 製, HDR-CX680) を設置してゲームを俯瞰撮影した (図 1c)。

手続きとして現地集合した後、当日の流れを確認した。そこから準備運動を行い、終了したら図 1a に対応するビブスを渡し、チーム分けとゲームの概要について説明した。この時点で、2.2 節で説明したオフェンスチームが勝つための連携は教示していない。7 試合を 1 セッションとして前半戦 3 セッション、後半戦 3 セッションの計 42 試合を実施した。試合間のインターバルは 30 秒、セッション間のインターバルは 1 分と伝え、疲労の影響が最小限になるようにした³。

前半戦終了後、試合を観察した本研究の主旨を事前に理解しているゲストコーチの高村 成寿氏 (ベルテックス静岡アカデミーコーチ) が各チームに助言を行った⁴。オフェンスチームには、介入判断と調整を行う役割の動きを中心に全体へアドバイスした。他方でディフェンスチームには、特定の参加者への対策やゲームに特化した対策ではなく、味方をフォローする一般的なヘルプディフェンスについて助言した。片方のチームがアドバイスを受けている最中、もう片方のチームが聴くことができないように離れてもらった。

3. 分析と結果

3.1 パフォーマンス

前半戦 21 試合 (セッション 1~3) と後半戦 21 試合 (セッション 4~6) のオフェンスチームの勝利数は、9 勝と 11 勝であった。前半戦と後半戦の勝敗数について 2 × 2 のクロス集計表を作成し、カイ二乗検定を行ったが有意な関連はなかった (*n.s.*)。次に、各セッションの勝率を算出してその推移をみたところ、助言前のセッション 1 及び 2 の勝率はチャンスレベルで、セッション 3 はそこから下がった。しかし、助言後のセッション 4 で回復、さらにセッション 5 で勝率は向上したが、セッション 6 で急激に下がった特徴が確認された。

る知識は有しているが、試合では体現できていない。

²<http://www.japanbasketball.jp/files/referee/rule/2023rule.pdf>

³前半戦と後半戦の直後に振り返りとして、集団目標の達成度や自身の貢献度等を各参加者に主観評価させるアンケート調査を実施した。主要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。

⁴元男子プロバスケットボール選手であり、現在プロチームのアカデミーでコーチを務めている。前半戦を踏まえ、特にオフェンスチームに対して研究の主旨を反映した助言を正確に伝える必要があるため、アマチュア選手への指導に優れている高村氏に依頼した。

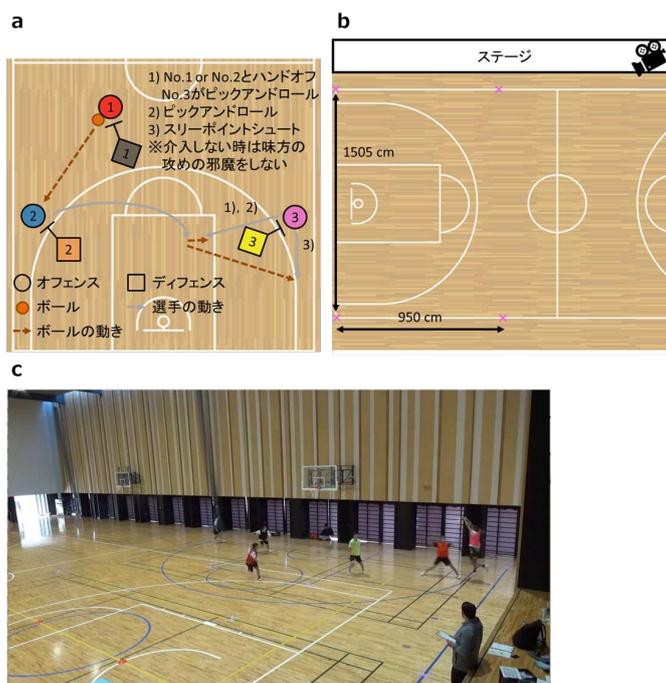


図1 フィールド実験。(a)は3 on 3の概要、(b)は環境で(c)は俯瞰撮影した映像である。

以上より、介入判断と調整を行う役割の動きに関連した助言の後に、一時的ではあるもののパフォーマンスが向上したことが示された。当該役割により、集団協調が実現された可能性がある。

3.2 介入判断と調整を行う役割の動き

次に、俯瞰撮影した映像から取得した参加者全員の位置データを用いて、助言前後で介入判断と調整を行う役割(図1aの丸No.3)の動きを比較した。データセットは20 fpsの動画に対してByteTrack [6]の画像処理からトラッキングを行い⁵、Labelboxで誤検出や未検出を手動補正することで作成された⁶。

基本的な分析として、介入判断と調整を行う役割で求められる動きの基盤となるスペーシングに着目した。ゲームでは、当該役割を遂行する上で相手ディフェンスとの適切な距離感が求められ、5人制の試合においても重要である。もし、ディフェンスから大きく距離をとることができればフリーなポジション取りができていと予想され、介入して味方の拮抗状態を調整・解消して有利な状況をつくり出すプレーや、味方の邪魔にならないプレーがしやすいと考えられる。各時間フレームでNo.3とディフェンスチームの各参加者との距離を算出し、全ての値から距離を階級と

するヒストグラムを作成して頻度を求めた。助言後にNo.3がスペーシングを体現できていれば、相対的に距離の値が大きい階級で助言前に比べて頻度が高くなると思われる。また、相対的に距離の値が小さい階級で助言前に比べて頻度が低くなることも考えられる。

結果、注目すべき点として400 cm, 1200 cm, 1400 cmの階級で上記の仮説を支持するような特徴が確認された。各階級において、前半戦と後半戦の間で t 検定を実施した。結果、相対的に距離の値が小さい400 cmで前半戦よりも頻度が有意に低いこと、相対的に距離の値が大きい1200 cmや1400 cmで前半戦よりも頻度が有意に高いことが確認された($ps < .05$)。

4. 考察

結果、助言後に役割遂行に向けたスペーシングが体現された。さらに一時的ではあるが、助言後に勝率が向上した。ゆえに、相手ディフェンスと距離をとるフリーなポジション取りに基づく介入判断と調整が、集団協調に関連した可能性がある。なお、オフェンスチームのNo.3と味方2名との各距離についても同様に分析したところ、相対的に距離が中程度(800 cm)の階級で後半戦は頻度が有意に低くなる傾向を確認した($p < .10$)。状況に応じた介入判断から距離をさらに詰める、あるいは離れる方向へ動くようになったかもしれない。実験室実験で得られた役割の有用性がスポーツ現場でも示唆され、社会的意義は大きい。

⁵<https://github.com/ifzhang/ByteTrack>

⁶<https://labelbox.com/>

ただし、最後のセッションで勝率が下がった要因として、直前にディフェンスチームが対策を話し合ったことが確認された。そのようなチームに対して助言を基に柔軟に対処する応用的な協調には至らず、1回の実践では限界があることが示唆される。また、本分析では特定の役割を主に評価した。協調過程をより理解するためには、パスやドリブルのイベント（文脈）に着目したネットワーク解析や、幾何学を応用したチーム内の連携構造等を分析する必要がある。

謝辞

フィールド実験でご協力いただいた高村 成寿様（ベルテックス静岡アカデミーコーチ）、市川 雅也さん（静岡大学）に感謝を申し上げます。また、竹内 勇剛教授と一ノ瀬 元喜准教授（ともに静岡大学）から有意義なご意見をいただいた。ここに謝意を表す。本研究は、以下から支援を受けた。

- JSPS 科研費 24K20562
- 天野財団技術研究所 2023 年度特別募集助成金「AI ロボットとの協調に向けた役割分担の構造及び原理の同時解明」
- 静岡大学令和 5 年度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助成金「協調的集団行動に潜むネットワーク構造の抽出と認知情報処理に基づく原理の解明」

文献

- [1] Hutchins, E., *Cognition in the Wild*, Cambridge: MIT Press, 1995.
- [2] Fujii, K., Yokoyama, K., Koyama, T., Rikukawa, A., Yamada, H., and Yamamoto, Y., “Resilient help to switch and overlap hierarchical subsystems in a small human group,” *Sci. Rep.*, vol. 6(23911), <https://doi.org/10.1038/srep23911>, 2016.
- [3] Tsutsui, K., Tanaka, R., Takeda, K., and Fujii K., “Collaborative hunting in artificial agents with deep reinforcement learning,” *bioRxiv*, <https://doi.org/10.1101/2022.10.10.511517>, 2022.
- [4] Ichikawa, J. and Fujii, K., “Analysis of group behavior based on sharing heterogeneous roles in a triad using a coordinated drawing task,” *Front. Psychol.*, vol. 13(890205), <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.890205>, 2022.
- [5] Bowers, C., Kreutzer, C., Cannon-Bowers, J., and Lamb, J., “Team resilience as a second-order emergent state: A theoretical model and research directions,” *Front. Psychol.*, vol. 8(1360), <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01360>, 2017.
- [6] Zhang, Y., Sun, P., Jiang, Y., Yu, D., Weng, F., Yuan, Z., Luo, P., Liu, W., and Wang, X., “ByteTrack: Multi-object tracking by associating every detection box,” *arXiv*, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2110.06864>, 2022.