

危機に応じた柔軟なチームワーク

—集団球技に見られる階層的な協力行動の構造—

名古屋大学総合保健体育科学センター（センター長：押田 芳治）の藤井 慶輔（ふじい けいすけ）日本学術振興会特別研究員 PD（筆頭・責任著者）と山本 裕二（やまもと ゆうじ）教授、東海大学体育学部の陸川 章（りくかわ あきら）教授らのグループは、集団に起こった問題に対する柔軟な協力行動の階層的な構造として、危機のレベルに応じた幾層にも重なった役割の切替えと重複について、集団球技を通して世界で初めて定量化に成功しました。

集団球技では、実際の社会のように問題・危機が頻発し、全てを事前に防ぐことはできません。そこでチームワークが必要となり、球技ではそれが目に見えて計測可能なので、協力などの人間関係を理解するための重要な題材となります。

近年、選手の位置を自動で計測するシステムが球技のプロリーグ等で商業的に用いられていますが、本研究で使用したチームプレーを評価するシステムと組み合わせることで、これまで科学で未解明であったチームワークの定量化が期待されます。

この研究成果は、平成 28 年 4 月 5 日（英国時間 10 時、日本時間 18 時）付で英国科学雑誌 *Scientific Reports* (<http://www.nature.com/srep/>)に掲載されました。

【ポイント】

1. 集団において様々なレベルで起こる問題に対し、そのレベルに応じて幾層にも重なった柔軟な協力行動の構造を、球技を通して世界で初めて定量化した
2. 良いチームワークには、危機のレベルに応じた役割の切替えと重複が必要である
3. 近年プロスポーツで運用されている選手位置を計測するシステムに、本研究の分析を用いれば、これまで未解明であったチームワークを評価することが可能になる

【研究内容】

社会集団や球技などのスポーツにおいては、様々な問題が起こっても、誰かがカバーすることによって、チーム全体として立て直せることがあります。「全体とは部分の総和以上のなにかである」とは紀元前の哲学者アリストテレスのことばですが、ヒトを含め社会的な動物は、集団を作ることによって単なる**個々の総和では不可能な成果**を創り出すことができます。このことは一般に集合的知性やチームワークと呼ばれ、これまでの研究から様々なことが明らかになってきました。しかし、ある集団に起こった**様々な問題に対して、いつどのようにチームワークが働き（協力関係を築き）、どのような結果になったか**を構造的に明らかにした研究はこれまでありませんでした。良かれと思って協力したことが、本当にその集団にとって最善なのか、どのような協力の仕方だと適切なのかを考えることは、**人数が限られた中で、最大の成果を出す必要がある集団**にとっては重要な観点です。その意味で**集団スポーツの球技**は、固定された人数で競争する中、実際の社会のように問題が頻発し、その問題もヒトの動きから特定可能で、その様々な状況においてチームとして対処しなければならぬため、適切な協力関係を考える上で格好の題材になります。このような状況では、問題を100%事前に防ぐということは不可能なので、**問題が起こった後にできるだけ適切に対応し、どのように立ち直れるか（＝レジリエンス）**という観点が重要です。

今回我々は、国内トップレベルの大学バスケットボール選手に協力してもらい、実際のゲームに近い**5対5練習**において10人とボールの動きを、モーションキャプチャーを用いて記録しました。球技の技術レベルが高くなると、お互いのチームが、自分たちのチームに有利な状態（攻撃であればシュートを打ちやすい状態、守備はその逆）を作ろうとするために、**相手チームの思い通りにさせないこと**を考えます。その結果、お互いに相手の思い通りにさせない戦術が発達し、複雑に見える攻防が繰り広げられるのですが、そこに潜む構造は未解明でした。今回我々は、**攻撃チームのプレーに対する、守備チームの様々な攻撃に対する状況に応じた対処行動**に着目しました（解説1）。その際、攻撃チームが起こした状況に対応するために、守備選手は助けられる選手と助ける選手に**役割**が分かれます。さらにその助ける選手は、状況に応じてその助け方、つまり**役割（協力の仕方）**が**変化**します。問題は、その守備選手が**どのように助ける役割を変化させ、どのような結果になったか**がこれまで未解明であったことです。そのため、この2つを定量化する必要があります。

まず、後者の「どのような結果になったか」を定量化するため、守備選手の攻撃選手に対する**理想的な守備位置**を計算し、その理想位置と現在のずれ（距離）を評価指標としました（解説2）。簡単に言えば、守備選手は攻撃選手がシュートを打ちにくくなるように理想的な位置取りをする必要がありますが、実際は様々な要因で守備選手はその場所から離れざるを得ません。その理想の位置と現在の位置の距離が大きければ、攻撃選手がシュートを打ちやすいので、この攻撃チームが起こした状況は守備選手にとって**脅威**であると考えられます。以下、この**理想と実際の差（攻撃－守備者間距離）**が大きいことを（シュートの）**脅威**と呼び、その状況を引き起こす、例えば仲間の守備選手が思うように動けないような時を**仲間の危機**と呼ぶことにします。

次に前者に関して、仲間を助ける守備選手が、**どのような状況に応じてどのような助け**

方を行ったか（役割を果たしたか）を3つに分類しました（解説3）。1つ目の助け方としては、思うように動けない**仲間の危機**（解説4）に、**すぐに役割交替を行い助ける**ことで、その後のシュートの脅威を防ぎました。2つめの助け方として、思うように動けない度合いが**中程度の危機**の場合は、助ける守備選手が、**一瞬だけ助けて、すぐに本来の自分の役割に戻る**（元々守っていた攻撃選手を守る）ことで、その後の脅威を防ぎました。3つめの助け方では、思うように動けない仲間を助けるよりも**重要な危機**（シュートの危機）に瀕した他の仲間を助ける行動を選択し、その後の脅威を防ぎました。

このような**危機のレベルに応じて仲間を助ける行動**は、**階層的な構造**という観点から見ると、守備選手個人が守るべき**役割**を、状況に応じて**切替え、重複**させていると考えられます（解説3）。このことを論文中では**サブシステムの切替え・重複**と呼んでおり、危機レベルが低い時は1人の攻撃選手との1対1ですが、目の前の危機レベルが高い時には2対2（役割交替）、中程度の危機では1対1と2対2の重複（助けて戻る）、最大の危機ではシステム全体（ボールを守備する役割）に切替え守備を行った、と**整理し一般化**することができます。重要なのは、ただ1つの協力関係が万能ではなく、状況に応じて適切な協力関係が変化することであり、**問題のレベルに応じた最低限の役割の切替えと重複**を行うことが、仲間や集団全体にとって重要だと考えられます。

必要な協力行動が最低限である理由としては、競争時あるいは自分が追い込まれている時に、協力することのみを考えていると、自分自身の本来与えられた役割を果たせなくなるからです（球技の例で言うと、自分が守るべき攻撃選手に、ボールが渡りシュートを打たれます）。そのため**この判断は適切なタイミング**で行われる必要があります、これをスムーズに実行するためには**日々の練習**や、予測できない問題にも対応する**十分な実戦経験**が必要です。このように人々はトレーニングすることで、想定外の状況に対しても、**レジリエント**な（集団全体がすぐ立ち直れる）**協力行動**を行うことができるようになります。これらの行動は、**再帰的な意図の共有**が可能な、つまり自分の頭の中で、相手や仲間の意図を状況に応じて何手先も読むことができるヒトにしかできないと考えられます。日常生活においても、様々なレベルの想定外の状況に応じて幾層にもなる協力するシステム（相互に協力行動を切り替えることができるシステム）を創ることで、想定外の状況に対しても強くなり（立ち直りが早くなり）、全体の成果を最大にすることができるかもしれません。

最後に、実践的な応用として、社会集団における、個々の相互作用が測定可能な場合の**チームワーク**の評価に応用することが可能です。近年様々な**計測技術**の発達が目覚ましいですが、特に、プロスポーツの球技（アメリカのバスケットボールや日本のサッカーのJリーグ）においては、**トラッキングシステム**と呼ばれる、選手の位置を自動で計測するシステムがすでに商業的に運用されています。しかし、これまでは最新の機械学習を用いたとしても、特定のプレーを判定し、頻度や確率を分析したものがほとんどで、その**過程**を詳しく分析したものはありませんでした。なぜなら、機械学習では特定のプレーの存在という**正解**を与える必要があります、**チームワークのような正解が幾層にも存在する時の判断**は苦手としているからです。そこで**本研究で使用したチームプレーを評価するシステム**と組み合わせることによって、これまで科学で未解明であったチームワークを明らかにできる可能性があります。

【成果の意義】

1. ある集団に起こった問題に対し、そのレベルに応じて幾層にもなる、集団が立ち直れる協力関係を定量したことにより、社会集団における適切な協力行動に関する知見（問題に応じた適切な役割の切替えと重複の必要性）を提供できました。
2. 実際の社会では、問題・危機が頻発するので、機械的に自動化してミスを事前に全て防ぐことはできません。その時に必要なチームワークが、集団球技では目に見えてわかるので、協力などの人間関係を理解するための重要な題材になると考えられます。
3. 近年、選手の位置を自動で計測するシステムが球技のプロリーグ等で商業的に用いられています。本研究で使用したチームプレーを評価するシステムと組み合わせることで、これまで科学で未解明であったチームワークを明らかにできる可能性があります。

【論文に関する情報】

タイトル： Resilient help to switch and overlap hierarchical subsystems in a small human group

著者名： Keisuke Fujii, Keiko Yokoyama, Takeshi Koyama, Akira Rikukawa, Hiroshi Yamada, Yuji Yamamoto.

日本語の著者名（所属）： 藤井慶輔（名古屋大学総合保健体育科学センター・日本学術振興会特別研究員 PD）、横山慶子（名古屋大学総合保健体育科学センター・講師）、小山孟志（東海大学スポーツ医科学研究所・講師）、陸川章（東海大学体育学部・教授）、山田洋（東海大学体育学部・教授）、山本裕二（名古屋大学総合保健体育科学センター・教授）

掲載雑誌： Scientific Reports 6, 23911; DOI: 10.1038/srep23911.

URL： <http://www.nature.com/articles/srep23911>

研究助成：科学研究費特別研究員奨励費 [26-407]・科学研究費補助金 [24240085]

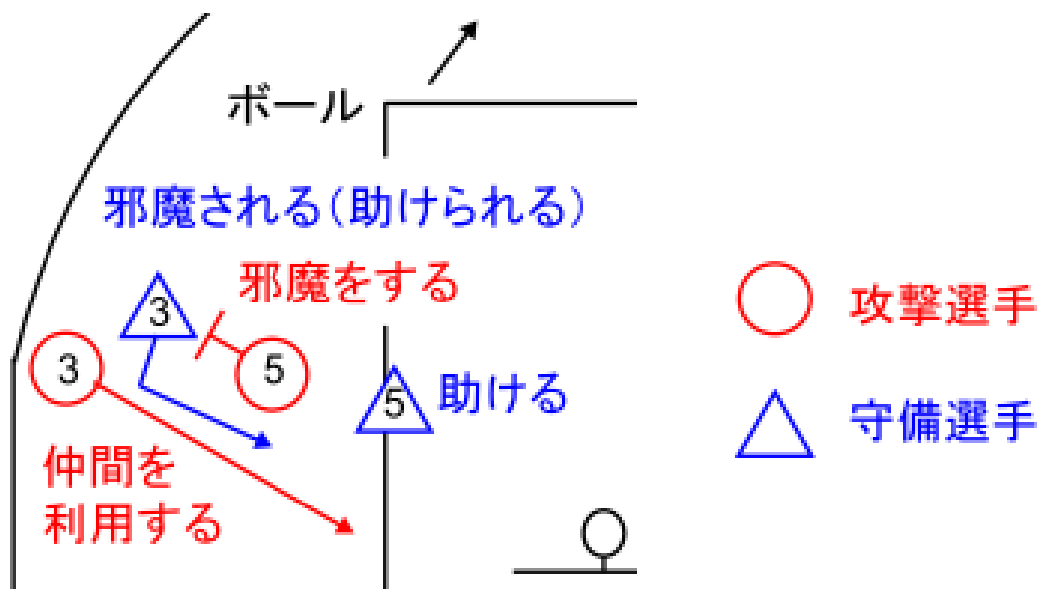


図1 守備の邪魔をする攻撃選手の動きと、それによって決定する個々の選手の役割

【解説1】守備の邪魔をする攻撃選手の動き

この攻撃選手のチームプレーは、自分（攻撃）が壁となって、守備の邪魔をすることで味方（攻撃）の移動を助けるプレーであり（図1：赤丸5番の攻撃選手）、バスケットボールではスクリーンと呼ばれます。このプレーが効果的に働くと、邪魔をされた守備選手（青三角3番）は遠回りしないとイケないため、（赤丸3番の攻撃選手の）シュートを防げる場所まで移動しにくくなります。球技のような相手と競争する状況においては、動きの速さや正確性が優れていても、相手が上手だとたちまち対応されてしまうため、相手（守備）が移動しにくい状態を作るとは攻撃側にとって重要であり[1]、このようなチームプレーは効果的です。

図1を詳しく説明すると、赤丸5番の攻撃選手が、壁となって守備の邪魔をする選手で、赤丸3番の攻撃選手がその壁を利用する選手です。この壁（スクリーン）が効果的に働いた場合、（3番の攻撃選手を守る）青三角3番の選手が移動の邪魔をされ、パスが渡ってシュートを打たれてしまいます。それを防ぐ（助ける）役割を、（壁の役割をしていた赤丸5番の攻撃選手を元々守っていた）青三角5番の選手が担いますが、その助け方は、本文にあるように、危機のレベルに応じて幾層にもなる構造を持っています。

[1] Fujii K, Isaka T & Kouzaki M, Yamamoto Y. *Scientific Reports* **5**, 16140 (2015).

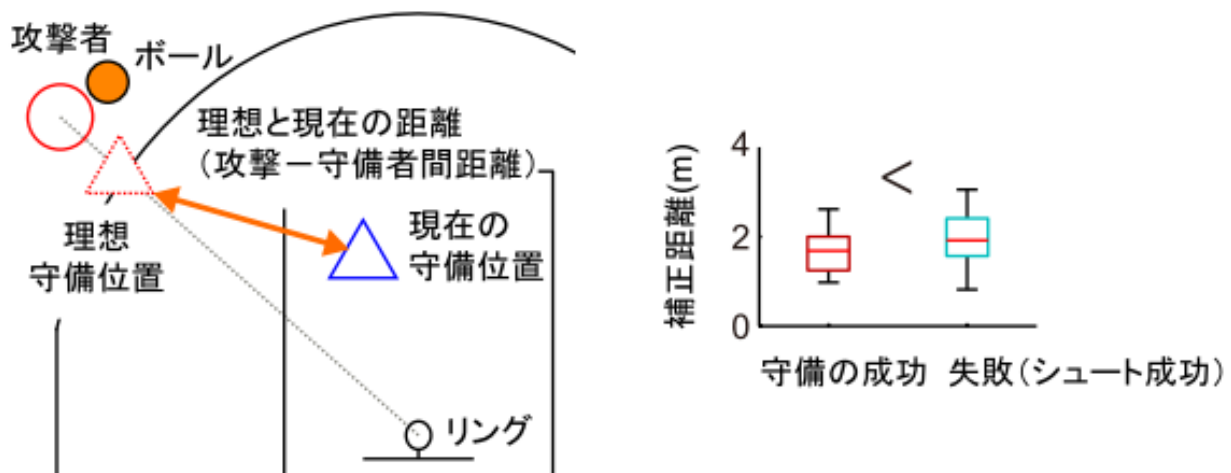


図2 守備選手の理想位置から算出された攻撃-守備者間距離（左）とシュートの関係（右）。攻撃-守備者間距離は理想守備位置と現在の守備位置の距離から算出され（左）、時系列全体の最大値は、守備が成功した時よりも失敗した時のほうが統計的に有意に高い値を示した（右）。

【解説2】守備選手の攻撃選手に対する理想的な位置取り

まず、ボールを持つ攻撃選手はシュートの確率を上げようとするため、できるだけゴール（リング）に近い場所でシュートを打ちたいと考えます。そのため、その攻撃選手を守備する選手は、ボールとゴールの間に位置取る必要があります（図2左）。さらにその場でシュートを打ちにくくするために、攻撃選手との距離が0.5 mになるような位置が、守備選手の攻撃選手に対する理想的な守備位置と考えました（図2左）。この0.5 mはおおよそ腕の長さで、攻撃選手が持つボールに手が届く距離であり、これよりも近づきすぎるとドリブルでかわされてしまうため、適切な値として設定しました。実際、この理想守備位置と現在の守備位置の差（攻撃-守備者間距離）が大きいほど、シュートが入りやすくなりました（図2右）。この距離は、ボールの位置やリングの位置によって重要度が変化するので（ボールやリングから遠い時は、ある程度離していてもシュートの脅威はない）、論文中の分析ではボールやリングからの距離も考慮に入れてこの攻撃-守備者間距離を算出しています。

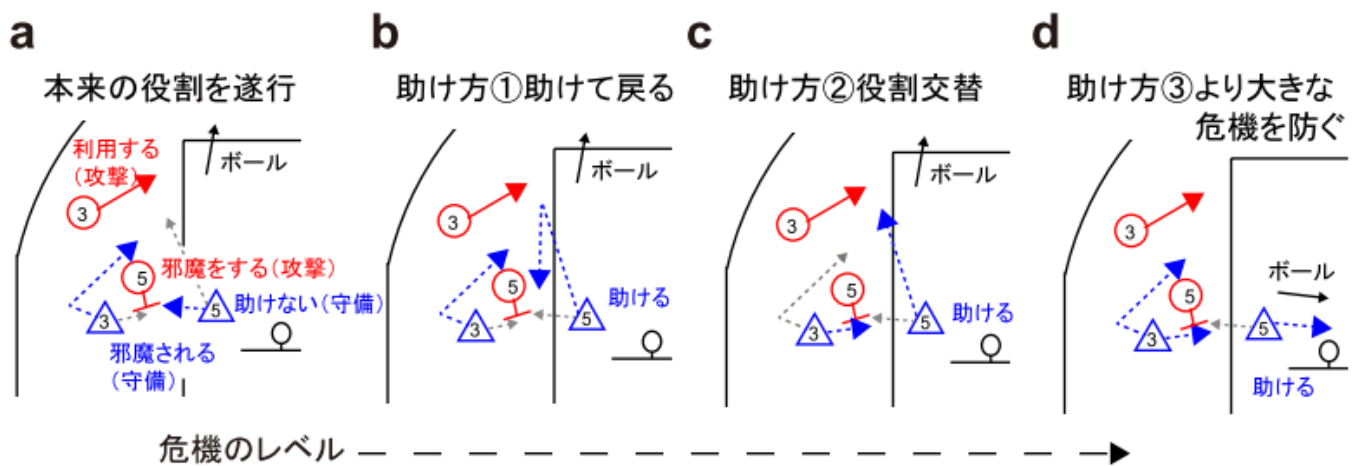


図3 守備選手の危機への4つの対処行動（3つの助け方）

【解説3】守備選手の助け方の階層的構造

今回我々は、困っている仲間への対処を4種類(助ける行動は3種類)に分類しました。まず1つめの対処として、特にこの課題における本来の自分の役割(守備する攻撃選手があらかじめ決まっているマンツーマンと呼ばれるルール)に従い、仲間が困っていない時は、全く助けないという対処を行います(図3a:青三角3番は赤丸3番、5番は5番をそれぞれ守る)。この対処も、特に危機がないときには、各々が自分の役割を遂行するという意味で重要です。

2つめの対処として、攻撃選手が邪魔をするプレーに引っかかった危機の場合、2人の守備選手(図3c:青三角3番・5番の守備選手)は各役割、つまり守るべき攻撃選手を交替します。この役割交替は良い連携や自分の役割を遂行するルールを破る、2対2として考えないといけないため、判断が少し難しくなります。

3つ目の対処は、役割交替をした方が良いが、しないで済ませたいような状況(論文中で事前に分類しています)において、上記2つの対処の中間にあたる、一瞬助けて自分の役割に戻る(図3b)、単なる役割交替よりも難しい連携を必要とする助け方です。助ける青三角5番の守備選手は、一瞬味方の3番を助けた後、すぐ自分の役割であるの赤丸5番の守備に戻る、という行動を取ることによって、仲間を助けつつ自分の役割を果たすという1人2役(1対1と2対2の融合)を遂行します。

最後に、4つめの対処は、邪魔された危機とは別の、より大きなシュートの危機を防ぐパターンです。図3dでは、助ける立場である青三角5番の守備選手が、守備の邪魔の危機を無視して、ボールの方に近づきシュートを防ぐために異なる仲間を助けます。この助け方も、チームつまり5対5として、別の仲間を助ける重要な行動と考えられます。

助け方の階層的な構造とは、論文のタイトルにもある、この様々な役割の切替え・重複のことを指します。論文中ではそれぞれの助け方の特徴・取った行動により引き起こす結果(シュートの脅威)について詳しく分析しています。

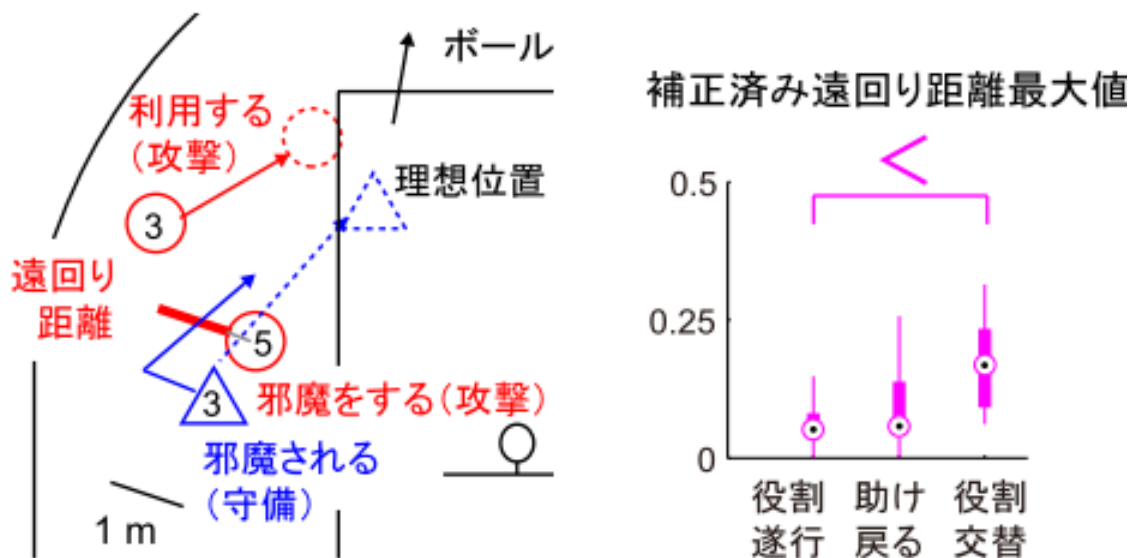


図4 攻撃選手が守備の邪魔する度合いの定量化(左)と、その補正済み最大値を分類した結果(右)。図4左の赤太線は守備選手が遠回りする距離を推定したもので、その値をボールやリングの位置で補正して、その最大値を守備の対処ごとに分類した結果(図4右)、本来の役割を遂行した時よりも役割交替した時のほうが統計的に有意に高い値を示した。

【解説4】攻撃選手が守備の邪魔する度合いの定量化

守備の邪魔度合いを定量化するために、邪魔をされた守備選手が攻撃選手の壁を遠回りする距離の(その時点での)予測値を計算しました。この状況で守備選手が最も遠回りしないと行けない時は、守備選手の現在位置と理想位置の直線上に、壁となる攻撃選手が位置取りをしていると考えました(図4左)。最も遠回りするときは肩幅を考慮すると、およそ1mくらい遠回りしていたので、赤の太線のような突起を遠回り距離として、最大1mと考え定義しました(図4左)。守備の対処方法別に分類すると、ボールやリングの位置を考慮して補正を行った結果、役割交替した際に遠回りする距離が大きいことが明らかになりました(図4右)。このことは、役割交替したくない状況(論文中で事前に分類しています)において、物理的な障害(攻撃選手の壁)があったことにより役割交替せざるを得なくなったことを示唆しています。

このような攻撃選手のチームプレーを評価する指標は、本研究により世界で初めて定量化されました。今後より詳細な検証を進めるとともに、プロスポーツにおける大量のトラッキングデータを用いれば、その時の状況に関する分析や、得点との関連も検討できると考えられます。