

# チームスポーツの 複雑に見える動きに潜む規則性

名古屋大学総合保健体育科学センター 教授  
山本裕二 (やまもと ゆうじ)



## Profile—山本裕二

1982年、筑波大学大学院修士課程体育研究科コーチ学修了。博士（体育科学）。2004年より現職。日本スポーツ心理学会理事長。専門は運動制御・学習，対人・集団ダイナミクス。著書は『複雑系としての身体運動』（東京大学出版会）など。

### チームスポーツにおける 協調と競合

サッカーなどのチームスポーツでは、チーム内のメンバーとの協調や連携を高めながら、相手チームと競い合う。しかも、相手ゴールを狙って空間的に両者が入り乱れるため、そこでの動きは非常に複雑に見える。我々は、このチームスポーツの複雑に見える動きに潜む規則性の解明に取り組んでいる。

### 三者の連携

まず、図1aのように、6メートル四方の中で三者が連携して、一人の相手にボールを奪われないようにパスを回すという課題における三者の連携パターンを、攻撃側の三者が成す角度変化（図1bは大学トップレベル、図1cは大学でサッカーを始めたレベル）から考える（Yokoyama & Yamamoto, 2011）。

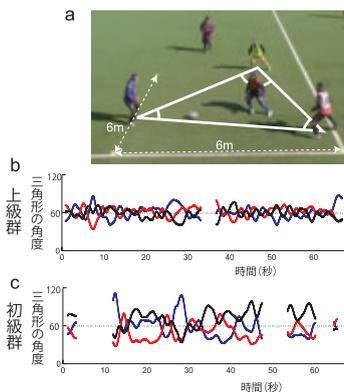


図1 3対1ボール保持課題での技能レベルによる三者の角度変化の違い

この課題では、正三角形という空間対称性が崩れることによって、三者の連携にリズムが生まれる。詳細は省くが、このリズムの同期パターンは、対称性のホップ分岐理論で予測できる。この場合では三連結振動子とみなすことによって、回転パターン（周期が $2/3\pi$ ずつずれる。図2a）、部分逆位相パターン（二つの振動子が逆位相同期、図2b）、部分同位相パターン（二つが同位相同期）の三つのパターンが予測される。

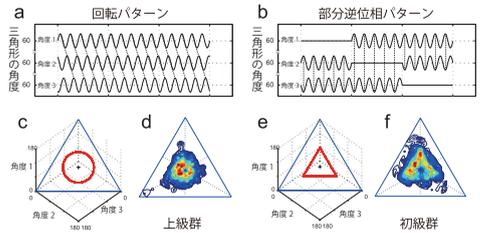


図2 技能レベルによる三者の同期パターンの違い

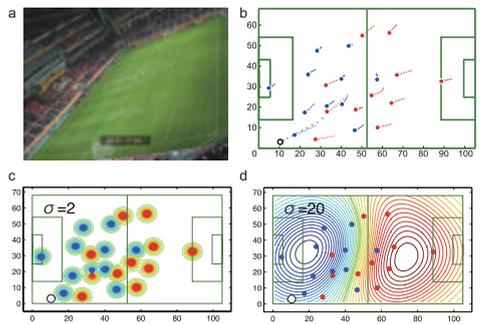


図3 サッカーゲームの分析方法。a. 試合映像。b. 位置座標変換。c. 圧場 ( $\sigma=2$ )。d. 圧場 ( $\sigma=20$ )

三者の同期パターンは、二次元位相平面上の一本の軌道として表すことができ、予想される回転パターンと部分逆位相パターンを位相平面上に描くと、それぞれ円（図2c）と三角形（図2e）のようになる。上級群（図2d）と初級群（図2f）は、それぞれ回転パターンと、部分逆位相パターンと一致する。この回転パターンは、部分逆位相パターンよりも対称性の破れが少ない。つまり、上級群はできるだけ対称性を保っており、初級群では対称性がより破れた状態であるといえる。上級群は、物理

的にはつながっていないにもかかわらず、常に他の二者から何らかの力（情報）を強く感じることで連携を高めていると考えられる。

### サッカーゲームに潜むフラクタル

サッカーの試合における目まぐるしい攻守の切り替わりには、フラクタルが潜んでいる（Kijima et al., 2014）。サッカーの試合映像（図3a）から、ボールと選手の位置座標を求め（図3b）、各選手の支配領域をガウス分布として定義する。その分布の大きさを変えながら（図3c, d）各チームで積算していくと、二つのチームが

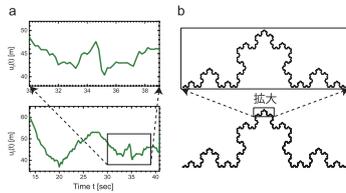


図4 左がサッカーでの前線位置の時間変化。右がフラクタル図形で有名なコッホ曲線

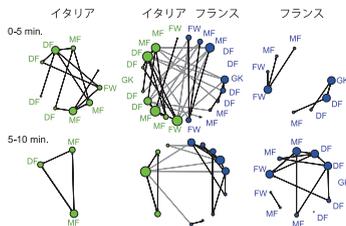


図5 イタリア対フランスの前半10分までの5分ごとのパスをネットワークとして表したもの

しのぎを削る前線 (図3dの太線) が現れてくる。

この前線の動きを時系列で表すと、図4aの下のような曲線が見られる。この時系列の一部を切り取り拡大したのが図4aの上の図である。これが、図4bのフラクタル図形として有名なコッホ曲線と同じ特徴を有しているのである。フラクタルとは、図形の一部と全体が、互いに相似な性質を指し、自然現象や社会現象にも数多く見られる。その自然の普遍則がチームスポーツにも見出せたのである。

さらに、ボールやチーム前線の時系列変化がフラクタル性を示すという事実は、それらの動きが「記憶」と「忘却」に支配されていることを意味する。すなわち現在の動きは未来の動きに強く影響し、影響を及ぼす最長の時間はおよそ30秒であることが明らかになった。この30秒というのは、2002年ワールドカップのデータともよく一致する。

### サッカーゲームにはハブがある

最後に、サッカーの試合におけるパスをネットワークの辺、

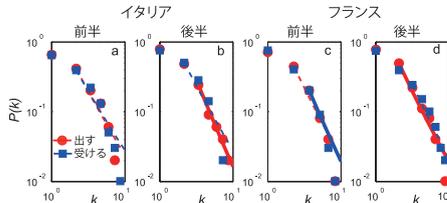


図6 パスネットワークを両対数グラフで表したもので、実線がベキ則が成り立つもので、点線が成り立つと考えてよいもの

パスを出す・受ける選手を頂点と考え、その特徴を検討した (Yamamoto & Yokoyama, 2011)。図5は、2006年ワールドカップ決勝でのイタリアとフランスの試合を、5分ごとに区切り、その間のパスネットワークを描いたものである。円の大きさと線の太さは、パスの回数に応じて大きく、太く描いてある。

そして、パスを出した数と受けた数ごとに両対数グラフとして描いたのが図6で、ほとんどの場合にベキ則が当てはまった。つまり、多くパスを出す、あるいは受ける選手は少数で、逆に多くの選手はパスにかかわらないのである。この多くパスにかかわる選手は、ネットワーク理論ではハブと呼ばれる。大規模ネットワークでは、このベキ則が成り立ち、ハブがあることが確認されているが、サッカーにおけるパスネットワークにも大規模ネットワークと同様の特徴が見られたのである。

しかしながら、ハブは意図的攻撃に弱い。サッカーでも、ハブとなる選手が攻撃されると、そのチームの攻撃力が低下することが予想できる。そこで、ハブとなる選手を5分ごとに調べた結果、強いチームにおいてはハブとなる選手はチーム内に複数存在し、時間によって切り替わっていた。つまり、相手からの攻撃に対して、ハブが切り替わることで、ハブの有する脆弱性を克服していたのである。

## 競い合いが創るダイナミクス

チーム内での協調とチーム間での競合が織りなす動きには、自然現象や社会現象と共通する規則性が潜んでいることがわかってきた。興味深いのは、これらの規則性が、

二者 (2チーム) が競い合うことによって生じていることである。三者の連携では、相手がいないければ三者は動く必要がなく、正三角形のままボールだけが回るであろう。サッカーの試合では、相手がいないければ攻守の切り替えは起きず、ゲームの流れは生まれない。また、パスネットワークのハブを切り替える必要もない。すべては競い合う相手の存在が、こうした複雑に見えるが、何らかの規則性がある動きを生み出している。

集団のパフォーマンスの向上には、競い合う相手が不可欠なかもしれない。つまり、競い合う相手の存在を含めた上で、集団内の協調を検討する必要があるように思われる。協調と競合の相補性が、合目的な集団のダイナミクスを豊かにする。

## 文献

Kijima, A., Yokoyama, K., Shima, H., & Yamamoto, Y. (2014) Emergence of the self-similarity in football dynamics. *EPJ-B*, 87, 41.

Yamamoto, Y. & Yokoyama, K. (2011) Common and unique network dynamics in football games. *PLoS ONE*, 6, e29638.

Yokoyama, K. & Yamamoto, Y. (2011). Three people can synchronize as coupled oscillators during sports activities. *PLoS Computational Biology*, 181 7, e1002181.