



サッカーに潜む三者連携の秘密

ポイント

- 三者の連携パターンが対称性の破れとして説明できること
- 三者の連携で重要なのは、他の二者との関係を常に気づき、振る舞うこと

要旨

なでしこジャパンが素晴らしいチームワークに基づくパスサッカーによって W 杯で金メダルをとったことは記憶に新しい。このチームワークの元となる三者の連携について、名古屋大学総合保健体育科学センターの山本裕二教授と日本学術振興会特別研究員の横山慶子博士（筆頭著者）は、**スポーツにおいて三者が**、物理的にはつながれていないにもかかわらず、あたかも何かでつながれているかのように、**他の二者の動きを同時に感じて動く連携パターンを示し、それが対称性の破れによって説明できる**ことを明らかにしました。本研究成果は 10 月 7 日付の “PLoS Computational Biology(<http://www.ploscompbiol.org/article/info:doi/10.1371/journal.pcbi.1002181>)” に発表されました。

背景

「三人寄れば文殊の知恵」という諺は凡人でも合議することによって素晴らしい知恵が出てくるというものです。スポーツだけでなく日常生活で求められるチームワークの基本は三者です。これは二者よりも三者の方がコミュニケーションの方法として様々なパターンが現れるからだと考えられます。このコミュニケーションのパターンは同期現象としてとらえることができます。同期現象というのは、二つの壁掛け時計の振り子が同期することやホタルが同時発光することなどで、その原理の解明に多くの関心を集めてきました。その説明の一つに時空間的な対称性の破れから新たな秩序が生じるという**対称性ホップ分岐理論**（用語解説 1）というものがあります。これまでも動物の歩行パターンや粘菌のパターン形成などで確認されてきましたが、これらはいずれも物理的につながっているもので、**3 人以上のヒトが連携する場合にどのような同期現象がみられるのか、また対称性ホップ分岐理論で説明可能かどうかは分かっていませんでした。**

研究の内容

今回われわれは、サッカーの練習で良く行われる**3 対 1 練習**（用語説明 2）での三者の動きを分析し、その連携パターンが対称性の破れから生じていると考えられることを明らかにしました。大学トップレベルの選手、大学中級レベルの選手、大学から初めてサッカーを始めた選手に協力してもらい、3 対 1 練習の様子をビデオに収め、選手の位置を記録しました。そして 3 名の選手の位置から 3 名の選手でつくる三角形のそれぞれの角度を求め（図 4）、その時間頻度を見たところ、上級者では○型、初級者では△型の分布が見られました（図 1）。これは**環状に結合した 3 振動子に關して、対称性ホップ分岐理論で予測される回転パターンと部分逆位相パターンに相当するものでした**

(用語解説 1). 回転パターンとは 3 つの角度が少しずつずれながら同期したパターンで、部分逆位相パターンとは 2 つの角度が逆相同期で残りの一つの角度は変化しないというものです (図 2). つまり、上級者は常に自分以外の二者との関係にある一定に保とうとして動いているのですが、初級者では自分以外のどちらか一人とのみとの関係で動いていることを示唆しています.

これまで対称性ホップ分岐理論を用いた同期現象の説明例としては、動物の歩行パターン、粘菌のパターン形成などあり、これらはいずれも物理的に結合した振動子で、振動自体が直接伝播するものでした. しかしながら今回われわれが観察したヒトの運動は明らかに物理的にはつながってはいません. それにもかかわらず、あたかも何かでつながれているかのように同期しているのです. さらに、回転パターンよりも部分逆位相パターンの方が対称性の破れの程度が大きく、上級者の方が初級者よりも対称性を保持しているといえます. つまり上手な選手は常に自分以外の二者の動きに気づいていることから対称性を保てるのですが、上手くない選手は一人の他者の動きにしか気づかないため対称性が破れてしまうと考えられるのです. こうした連携の仕方が、三者の連携に潜むメカニズムと考えられます. 世界を圧巻したなでしこジャパンの選手は個々の能力とともに連携の能力も練習によって培われたものと考えられ、われわれの一般生活におけるチームワーク改善のヒントにもなりそうです.

成果の意義

- 二者間の対人関係は、接近と回避という一次元の振る舞いで説明できますが、三者間の対人関係になると二者との接近回避が要求され、結果的に二次元における立ち位置の転回が必要となることを示唆しています. つまり、日常生活の中での三者以上の対人関係のあり方に示唆を与えると考えられます.
- 「たかがスポーツ、されどスポーツ」. スポーツは人間理解のための重要な題材になると考えられます.
- もちろん、サッカーなどのチームスポーツでの連携を高めるための練習方法を考えることに役立ちます.

論文発表

タイトル Three People Can Synchronize as Coupled Oscillators during Sports Activities

著者名 Keiko Yokoyama and Yuji Yamamoto

掲載雑誌 PLoS Computational Biology 7(9), DOI 10.1371/journal.pcbi.1002181

URL <http://www.ploscompbiol.org/article/info:doi/10.1371/journal.pcbi.1002181>

研究助成

科学研究費補助金 [20240060]

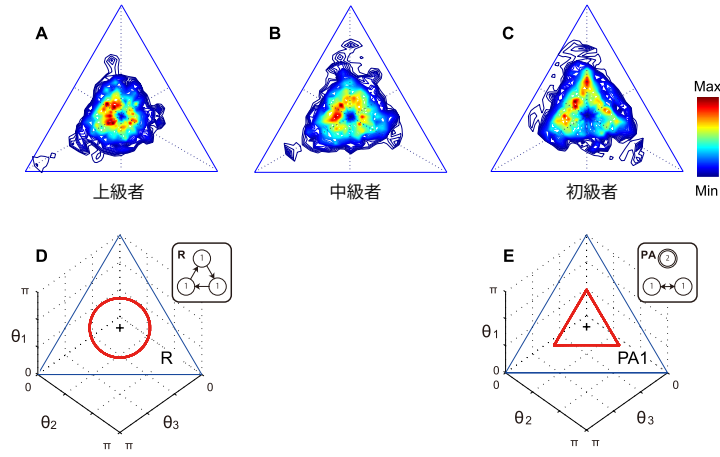


図1 観察された三者の角度の時間頻度を表したものです。A, B, C がそれぞれ上級者，中級者，初級者を示し，D, E は上級者と初級者に対応する対称性ホップ分岐理論から予測される位相平面上での軌道を示します。

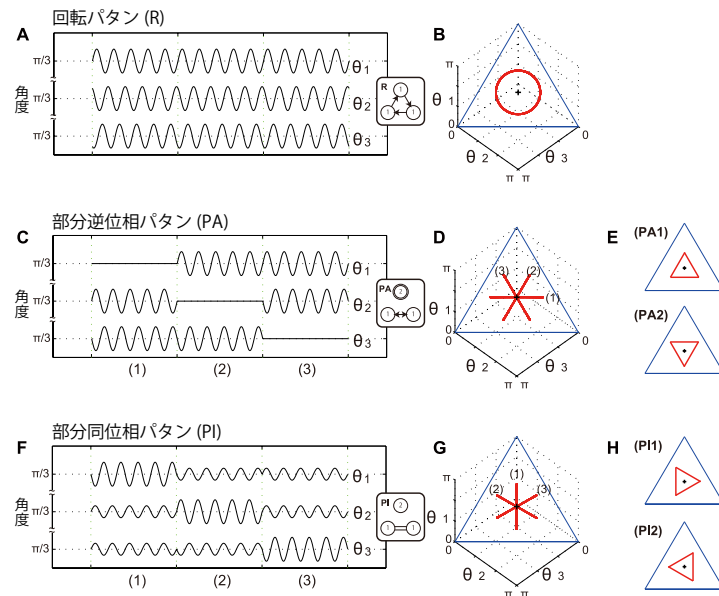


図2 対称性ホップ分岐理論から予想される位相平面上の軌道を示します。A, C, F は上から順に回転パターン，部分逆位相パターン，部分同位相パターンにおける三者の角度の時間変化を示します。B, D, G はこれらの角度変化を位相平面上で表したもので，E, H は部分逆位相パターンと部分同位相パターンで一定となる角度が60度よりも大きい場合と小さい場合を表します。

用語解説 1 対称性ホップ分岐理論

図 3 に示すように、三つの要素（振動子）が正三角形の頂点に位置している場合を、環状に結合した振動子と呼びます。この正三角形は、0 度、120 度、240 ずつ回転させても同じ形になり（3 つの回転対称性）、また一つの頂点を通る直線に対して折り返しても対称（3 つの鏡映対称性）です。3 個の結合振動子がこうした対称性を持つと明らかに異なったタイプのホップ分岐が起こることが明らかになっています。

一つは、対称性が破れずに 3 つの振動子がすべて同じように振る舞う場合で、三つの時計が「チック」、「タック」と一緒に動くことです（図 3 の一番上）。

もう一つは対称性の破れによって異なる 3 つのパターンが存在するといわれています。

回転パターン: そのうちの一つは図 3 の **R** と書かれているもので、3 つの振動子が同じ運動を示すのですが 3 分の 1 周期ずつ遅れます。つまり三つの時計が「チック」、「タック」、「トック」を繰り返すのですが、一つが「チック」となるときに、次は「タック」、最後の一つは「トック」となるのです。

部分同位相パターン: 二番目ののは図中の **PI** と書かれたもので、二つの振動子は同じように振る舞い、第三のものが別の振る舞い方をします。つまり二つの時計は、同時に「チック」、「タック」となるのですが、第三のものは「ボン」となるのです。

部分逆位相パターン: 最後の一つは図中の **PA** と書かれたもので、二つの振動子は同じように振る舞うのですが周期が逆になります。そして第三の振動子は他の二つと異なり、しかも他の二つの二倍の速さで振動します。つまり、二つの時計は二つとも「チック」、「タック」を繰り返すのですが、一方が「チック」の時、他方は「タック」、一方が「タック」の時、他方が「チック」となります。そして第三の時計は「ボン」、「ボン」を「チック」、「タック」の間に四回「ボン」を打つことになります。これが、環状に結合した三つの振動子について対称性ホップ分岐理論から予測されるパターンです。ほかにも四つ、五つ、六つなど様々な数の結合からのパターンが予測されています。

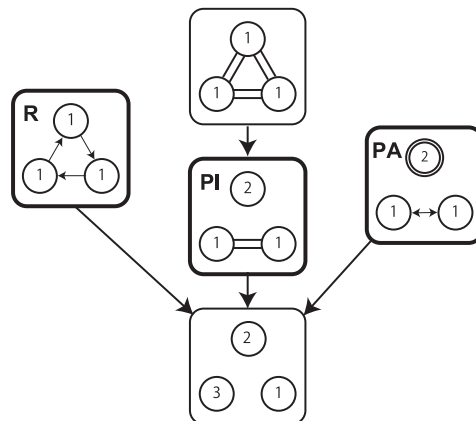


図 3 環状に結合した 3 振動子の対称性ホップ分岐理論から予測される同期パターン

用語解説 2 サッカーの 3 対 1 練習

図 4 に示すように，サッカーではパスの練習のため三人でパス回しの練習をすることがあります．これはボールが来た方向と異なる方向へける練習をするためです．二人でのパス練習ではボールが来た方向と同じ方向へけり返すため，パスのコースを変えることが三人でのパス回しでは必要になってきます．

さらに，この三人のパス回しにボールを奪う役の人を入れたのが 3 対 1 練習です．三人が一人の相手にボールを奪われないようにできるだけ早くボールをミスせずに回すかがポイントとなります．ボールを奪いに来る相手を見ながら，味方にうまくパスをしなければいけません．また，ボールを持たない二人の動きがパスを連続して回すには重要になってきます．こうした動きがまさにチームワーク，連携を生み出す動きなのです．

実際の実験では 6 メートル四方の中でパスを回してもらいましたが，上手な人は一分半の間に，多いときには 50 回以上連続してパスを回すことができます．もちろんボールを奪いに行っている人も上手なのですが，

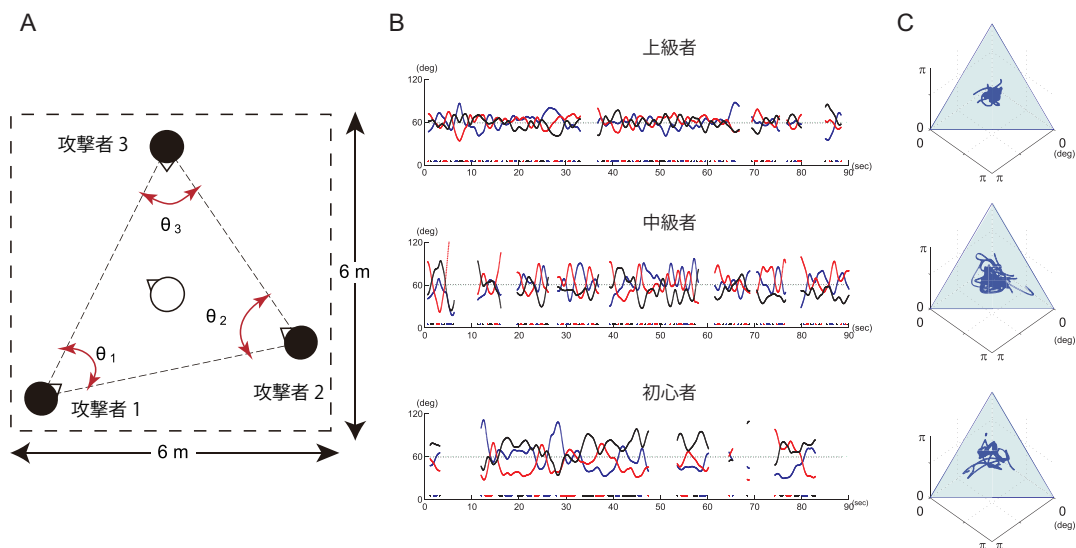


図 4 サッカーでの 3 対 1 練習 (A)，角度変化の例 (B) と位相平面上の軌道 (C)