



サッカーゲームにはハブがある

ポイント

- サッカーゲームにおいては、多くの選手はボールに触れる回数が少なく、限られた選手（ハブ）の触れる回数が多く、そこにはベキ則が成り立つ
- ただし、このハブとなる選手は試合の中で切り替わる
- ハブとなる選手を中心に三者関係を多く作れるチームが試合を優勢に進める
- 少集団であるサッカーゲームのパス回しに、ネットワーク理論が適用可能である

要旨

今年はまだしこジャパンが、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 杯で金メダルをとりました。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は、2006 年のワールドカップ決勝（イタリア対フランス）と 2006 年のキリンカップ（日本対ガーナ）におけるパスの出し手と受け手の選手を調べ、ネットワーク理論（用語解説 2）からパス回しについて分析しました。その結果、他の多くのネットワークと同様に、サッカーゲームのパス回しについてもベキ則（用語解説 3）が成り立つことが明らかになりました。これは、ハブ（用語解説 1）と呼ばれるパスを回す中心選手がいることを示すものです。しかしながら、このハブとなる選手は、試合経過によって切替り、複数の選手が一試合の中でハブとなっていることがわかりました。さらに、このハブとなる選手を中心に、三者間連携の多いチームの方がシュートチャンスを多く作っていることが明らかになりました。本研究成果は 12 月 28 日（米東部時間午後 5 時）付の “PLoS ONE(<http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0029638>)” に発表されました。

背景

サッカーの試合では、試合をコントロールしている中心的な選手を指す言葉として「司令塔」という言葉が使われます。ネットワーク理論では、こうした集団のネットワークの中で、より多くのノード（頂点、要素）と結びついているノードをハブと呼んでいます。web ページのリンク数のように、いくつかの数少ないページが非常に多くのリンクを持っていて、逆にリンクの少ないページが数多くあるという現象が、社会現象から遺伝子ネットワークまで様々なレベルで報告されています。しかし、このハブは意図的な攻撃に弱く、このハブが攻撃されるとネットワーク全体が機能しなくなります。それは、ハブ空港と呼ばれる国際線の乗継に使われる空港が何らかの理由で閉鎖された状況を想像すると理解できるでしょう。ネットワーク理論を用いた研究では多数の要素からなる集団を対象としており、少数でかつ要素数が限られた集団での検討はされていませんでした。そこで、われわれは少数集団としてサッカーゲームに着目し、サッカーの試合における「司令塔」が本当に存在するのか、もし存在するならば、相手からの攻撃を避けながら相手を攻めるという相反する条件をいかに解決しているのかを調べました。

研究の内容

今回われわれは、2006年のワールドカップ決勝（イタリア対フランス：90分間では1対1）と2006年のキリンカップ（日本対ガーナ：0対1）のそれぞれ90分間の試合を対象として、両チーム合わせて22名の選手の間をどのようにボールが動いたかを5分間ごとに観察しました（図1）。そして各選手がパスを受けた数、パスを出した数を求めた結果（図2）、「司令塔」と呼ばれるパスを多く出す選手（ハブ）が存在し、逆にほとんどボールに触れない選手が多数いることを示すもので、少集団でも多集団と同様の規則性、すなわちベキ則が成り立つことがわかりました。

そこで、このハブとなる選手の時間変化を見ると（図3）、試合時間経過とともに変化していること（図中白っぽく見える部分が切り替わる）ことがわかりました。これは、ハブとなる選手が固定するとその選手を攻撃されて、チームとして機能しなくなるため、別の選手がハブとなり、相手からの攻撃を避けると同時にチームが機能するように、ハブとなる選手が切り替わっていると考えられます。つまり、パスのネットワークの構造を柔軟に、かつ動的に変更していると考えられ、多集団のネットワークとは明らかに異なる点です。

さらに、5分間ごとのパスネットワーク（図1）の中で、三者の連携を示す三角形の数と、相手コート奥深くまでボールを進め、シュートチャンスを作った攻撃機会との関係を見た結果（図4）、三者間連携が多いほど、攻撃機会も多いことがわかりました。これは、ハブを中心に三者間連携を高めることがチームの成功に有効であることを示していると考えられます。

成果の意義

- 二つの少集団が競合するサッカーゲームにおけるパス回しにも、ベキ則が成り立ち、ハブが存在することを明らかにしました（多集団と共通するダイナミクス）。
- しかしながら、そのハブは時間経過とともに切り替わることにより、相手からの攻撃を避けながらも、システムとして機能する動的ネットワークの特徴を持つことが示されました（二つの競合する少集団特有のダイナミクス）。
- また、三者でパスをつなぐことが攻撃成功にかかわっており、ゲームを優勢に進めるには三者の関係が重要であると考えられます。
- スポーツは少集団のダイナミクスを知るための格好の題材となる。
- 2つの競合する少集団（中小企業競争など）の行動戦略に役立つことが期待される

論文発表

タイトル Common and unique network dynamics in football games

著者名 Yuji Yamamoto and Keiko Yokoyama

掲載雑誌 PLoS ONE 6(12) e29638. DOI: 10.1371/journal.pone.0029638

URL <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0029638>

研究助成 科学研究費補助金 [20240060]

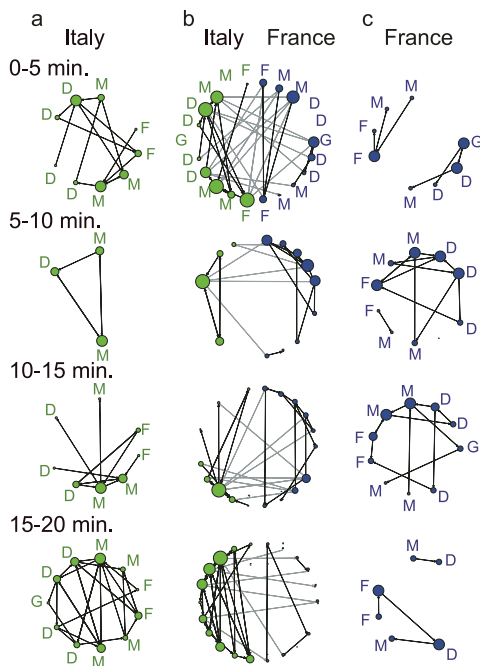


図1 イタリア対フランスの前半 20 分までの 5 分ごとのボールの動きを選手を基準にネットワークとしてあらわしたものの (G はゴールキーパー, D はディフェンスの選手, M は中盤の選手, F はフォワードの選手を 4 - 4 - 2 の攻撃システムとして表しています)

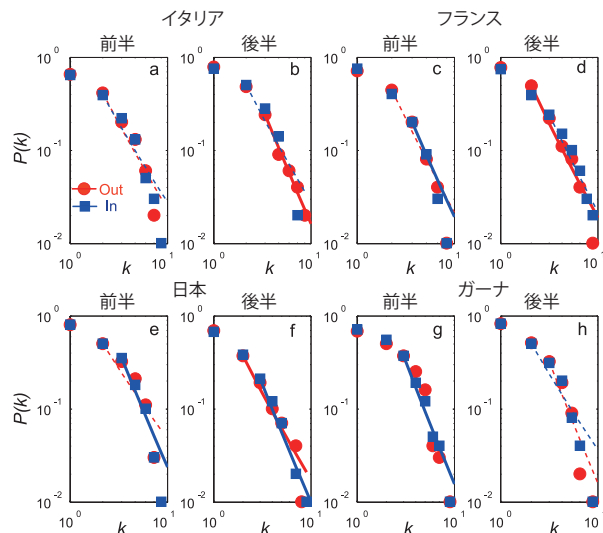


図2 パスネットワークを両対数グラフで表したものの．横軸が 5 分ごとのパスの回数で，縦軸がそのパス回数を行った人の割合．赤 がパスを出した回数で，青 がパスを受けた回数を示す．実線は明らかにべき則が成り立つもので，点線はべき則が成り立つと考えてよいもの．

用語解説 1 ハブ

ハブ (hub) は、自転車などの車輪の中心 (こしき) を意味する言葉ですが、ネットワークの中で数多くの辺を有する、いいかえれば次数が高い頂点のことを指します。このハブの存在は、人的ネットワークでは、数学者エルデシュとの共著論文からのつながりを表すエルデシュ数や、俳優ケヴィン・ベーコンとの共演数からそのつながりを表すベーコンゲームが有名です。またインターネットのホームページのリンク (例えば Google の検索エンジン) やアメリカの電力網、あるいは航空機の路線などでも、さらには遺伝子ネットワークにおいてもハブの存在が確かめられています。これらはいずれも非常に多くの頂点 (要素) を持つネットワークで、バラバシらの提唱したスケールフリーネットワークが主張するように、このハブを中心としてその結びつき (リンク) もどんどん増えていくのが特徴です。

ただ、このハブはランダムな攻撃には強いのですが、意図的な攻撃に対しては脆弱性を持ちます。すなわち、意図的にこのハブが攻撃され機能なくなるとネットワーク全体に大きな影響を及ぼします。

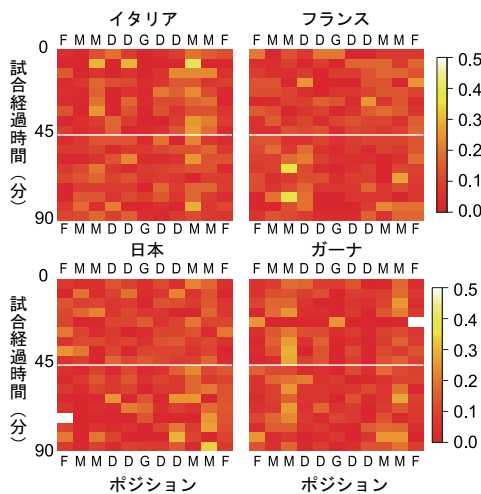


図3 5分ごとの各選手のパスにかかわった回数を表したもの。色が白い方が多くパスを受けたり出したりして、濃い方がパスを行う回数が少ない。

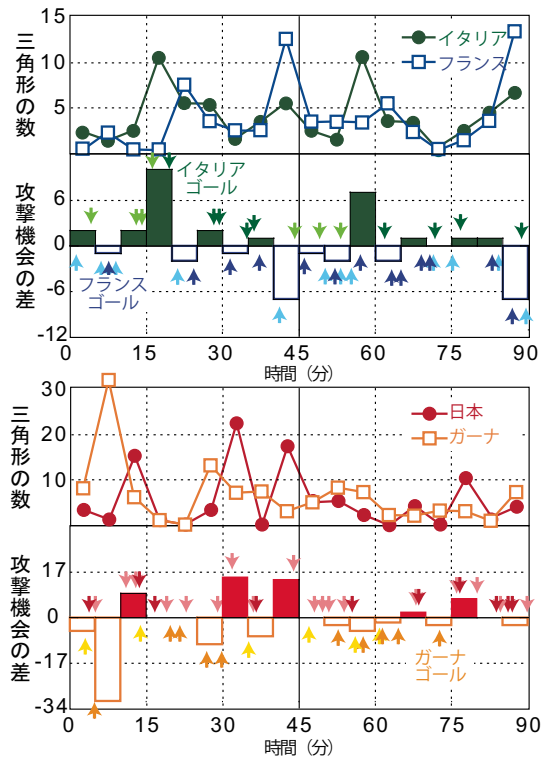


図4 それぞれ上段が5分間毎での三角形の数で、下段が攻撃機会の差を表したもの。棒グラフがプラスの時はイタリア、日本の攻撃機会の方が多く、マイナスの時にはフランスとカーナの攻撃機会が多いことを示します。そして濃い矢印はシュートまでいったもので薄い矢印はシュートまでは至らなかった攻撃機会を示します。

用語解説2 ネットワーク理論

Königsberg にかかる 7 つの橋を、どの橋も一度しか通らないで 7 つ全部の橋を渡ることができるか。1736 年にその問題に明確な答えを出したのがオイラーで、その答えは不可能であるということでした。オイラーは 4 つの陸地を頂点 (vertex, node) , 7 つの橋を辺 (edge, link) として図示し (図 5) , 各頂点を持つ辺の数を次数 (degree) と呼び、頂点とその次数という構造によって機能が異なることを示し、これがグラフ理論の先駆けとなりました。

その後、ランダムに選ばれた二人をつなぐのは 6 人の知り合いさえあればよいという、6 次の隔たりといわれる小さな世界 (small world) が実証され、さらにこの小さな世界は、ワッツとストロガッツ (1998) によって、エルデシュとレーニイのランダム・ネットワークを発展させた形でスモールワールドネットワークとして定式化されました。しかしながら、現実には大きな次数 (多くの辺を有する) を持った頂点は少なく、次数が小さな頂点が数多くあるという現実に即するためにバラバシらは貴族主義的ネットワークと呼ばれるスケールフリーネットワークを提唱し、多くの現実のネットワークがこれに対応することを示してきました (図 7) . これらがいわゆるネットワーク理論と呼ばれるものです。

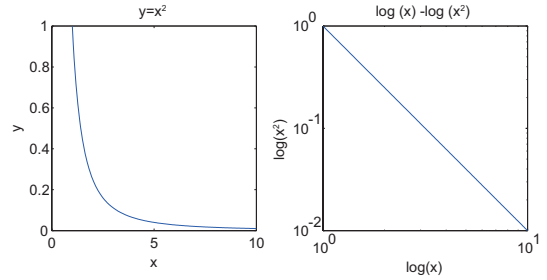
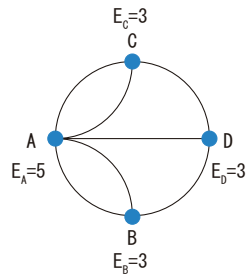
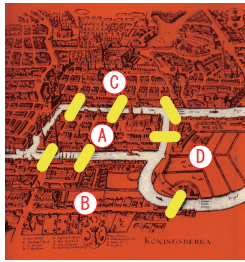


図5 Königsbergの7つの橋問題とオイラーの解法

図6 左が $y = x^2$ を図にしたもので、右がその両対数をとったものです。

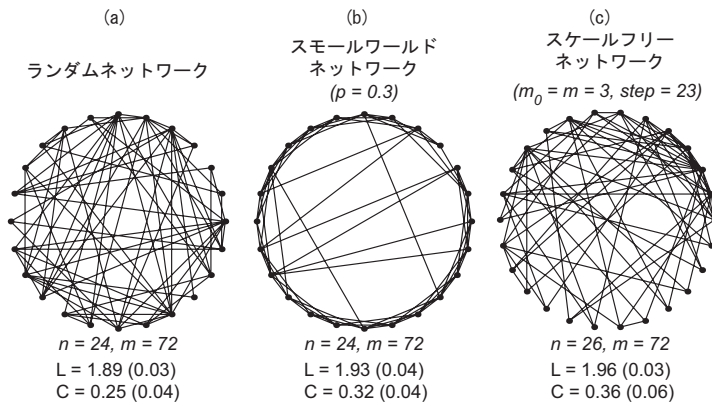


図7 頂点と辺の数がそれぞれ $n = 24, m = 72$ の (a) ランダムグラフ, (b) スモールワールドと, $n = 26, m = 72$ の (c) スケールフリーネットワーク. 平均最短経路 (L) とクラスター係数 (C) はそれぞれ 100 回の平均とカッコ内に標準偏差を示してあります. ランダムネットワークよりも他の 2 つはクラスター係数が大きく、またスモールワールドよりもスケールフリーネットワークの方がハブが生じていることが分かります。

用語解説 3 ベキ則

世の中には平均的な身長というのがあって、その平均よりも遠く離れた非常に身長が高い人や非常に低い人は少なく、こうした分布は正規分布（ガウス分布）と呼ばれるものです。これに対して、地震の大きさとその頻度の間には図6左のような関係があります。横軸が地震の大きさ、縦軸が地震の頻度だと思ってください。つまり、大きな地震の起きる頻度は非常に少ないかわりに、小さな地震は頻繁に起こるというものです。その両対数グラフが図6右です。これをベキ（乗）則と呼びます。このベキ則は複雑系科学とも密接に関連し、一見複雑に見える様々な現象の中に潜む規則性として、自己相似性やフラクタルとして理解されている法則です。

経済学者パレートが、富裕層の富の分布がベキ則に従っていることからパレート分布とも呼ばれています。