

令和元年6月14日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12994

研究課題名(和文)分岐現象としてのサッカーシュートシーンの予測

研究課題名(英文)Goal forecast in football games as bifurcation phenomena

研究代表者

山本 裕二 (YAMAMOTO, YUJI)

名古屋大学・総合保健体育科学センター・教授

研究者番号：30191456

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：まず、両チームのディフェンス(DF)ラインとボールを3つの振動子と見立て、3連結振動子の連成振動としてモデル化を試みた。その結果、サッカーのDFライン同士は同相同期し、両チームのDFラインとボールとの距離は逆相同期し、DFラインはゴールラインとボール位置を基準に動き、両チームのDFライン間の距離はほぼ一定となることが明らかになった。

次に、ポロノイ図を参考に、各選手の速度ベクトルを考慮して、ボール位置への各選手の最小到達時間によって求められる優勢値を求めるアルゴリズムを開発した。その結果、シュートシーンに至る起点での優勢値、すなわち初期値鋭敏性がシュートシーンを予測できる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義としては、複雑に見えるサッカーという集団スポーツのダイナミクスを、巨視的視点からはディフェンスラインとボールという3連結振動子の連成振動として、微視的視点からは各選手のボールまでの到達時間によって生じる優勢地形として理解することの可能性を示唆したことである。

さらに社会的意義としては、サッカーという集団スポーツの見方を変えうる、つまり集団スポーツの本質的なおもしろさを伝えるための方法を開発したことである。通常は選手個々のプレーに目が向けられがちであるが、集団としての連携や競合といった側面を新たに呈示できれば集団スポーツの見方を変えることができる。

研究成果の概要(英文)：At first, we considered the movements of the defense lines and the ball during a football game as a three-coupled oscillation. We introduced a three-coupled oscillation model to understand synchronizations between the defense lines and the ball. As a result of a simulation, the three-coupled oscillations showed similar distributions of the relative phase to real matches. However, the periodogram showed distinct periodicity. Next, we developed a new method to clarify the local characteristics of football games using a dominant landscape. The idea is founded on a Voronoi diagram. However, the new method is based on the temporal aspect, and the calculated minimum arrival times to all regions of the football field divided by a square meter for each player. We calculated the dominant values, which showed how long it would take for each of the six players on the two teams to reach the ball position in every frame. The results suggest that the initial value for goals would be more important.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：集団ダイナミクス 連成振動 優勢地形 サッカー

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

集団スポーツにおいては、ゲームの流れという言葉がよく使われるが、その実体は明らかではない。この解明に向け、力学系理論からの検討が始まっている。我々は、世界に先駆け、サッカーの試合におけるパス行動をネットワークとしてとらえ、大規模ネットワークと同様にハブ(司令塔)は存在するが、そのハブは時間によって切り替わるといふ小規模ネットワークならではの特徴を明らかにしてきた(Yamamoto & Yokoyama, PLoS ONE, 2011)。また、試合中の両チームの圧場分布の動きやボールの動きにフラクタル性がみられ、ゲームでは記憶と忘却を繰り返しており、ゲームの記憶は長くても30秒程度であることを明らかにしてきた(Kijima, Yokoyama, Shima, & Yamamoto, Eur Phys J-B, 2014)。これらの先駆的な研究を通して、サッカーの試合におけるパスや攻防の切替には、2つの集団が競合しながらも同調という秩序を形成していく、自然現象などと共通する規則性を有していることは明らかになった。しかしながら、この同調した状態は、いわゆる膠着状態であって、シュートに至る過程では、チーム内では秩序を保ちながらも、チーム間の攻守均衡を崩し、対称性を破る必要がある。

そこで本研究では、このシュートに至る過程に着目し、競合するヒト集団が秩序ある状態から秩序を崩す、同調を破綻させる変調の仕組みを解明する。換言すれば、安定解から不安定解へと、対称性が破れ分岐する現象を解明することになる。

### 2. 研究の目的

本研究では、サッカー試合中の選手とボールの位置情報から、シュートシーンを予測するアルゴリズムを開発する。そして、シュートシーンは対称性の破れによって生起することを示す。つまり、シュートに至る過程を、競合する2つの集団の振る舞いが、安定解から不安定解へと対称性が破れ分岐する現象ととらえる。そのために、1) ゲームの状態を表す集合変数を同定し、2) シュートシーンに至る変調の兆しを予測するアルゴリズムを開発する、さらに、3) 開発した予測アルゴリズムを数理モデルから検証し、分岐現象の機序を理解する。これは、シュートシーンの予測という課題を解決することによって、競合するヒト集団の同調を破綻させる、変調の仕組みの解明に挑むことになる。

### 3. 研究の方法

分岐現象としてサッカーのシュートシーンを予測するために、本研究期間内には以下の2つのアプローチを行った。

一つは、巨視的な特徴を見るために、両チームのディフェンス(DF)ラインとボールを3つの振動子と見立て、3連結振動子の連成振動として、3つの質量を4つのバネで結合する三体連成振動のモデルを試みた(図1)。その際に、質量、バネが同一である場合と異なる場合をシミュレーションし、DFライン間、DFラインとボールとの相対位相分布を求めた。そしてモデルの検証のために、チームのDFライン間と、各チームのDFラインとボールとの距離の相対位相を実際の試合データから分析した。

また、微視的な特徴を見るために、ポロノイ図を参考に、各選手の速度ベクトルを考慮して、ピッチ上のある地点への各選手の最小到達時間によって求められる優勢領域を求め(図2)、特にボール位置の優勢値、すなわち各時点での各選手のボール位置への到達可能時間を求め、守備側の選手の到達時間の合計を守備側の優勢値、攻撃側の選手の合計を攻撃側の優勢値とし、守備側の優勢値から攻撃側の優勢値を引いたものをボール位置の優勢値とするアルゴリズムを開発した。そして、ボールを相手チームから奪取した地点からシュートに至るまでの優勢値の時間変化を、同じ地点でボールを奪取したにもかかわらずシュートに至らなかったシーンの優勢値の時間変化との比較を行った。

### 4. 研究成果

まず、巨視的な特徴については、チームのDFライン間と、各チームのDFラインとボールとの距離の相対位相を実際の試合データから分析した結果、チームのDFライン間の距離の相

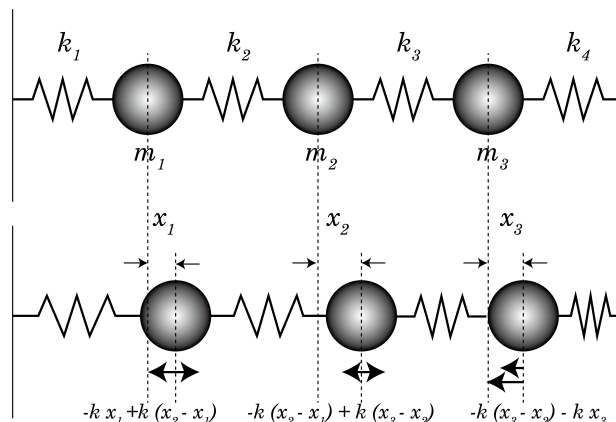


図1 3連結振動子の連成振動のモデル

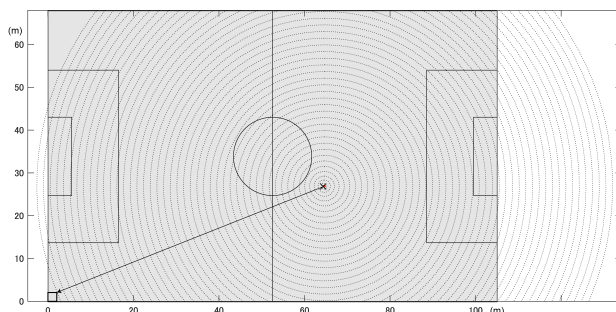


図2 最小到達時間を求めるための、ある時点のある選手の位置から各ピクセルへの最小到達時間を計算する円領域のイメージ図。

対位相は同相同期，各チームの DF ラインとボール間の距離は逆相同期をすることが明らかになった。

そして連成振動のモデルでシミュレーションを行った結果，両チームの DF ライン間の距離はほぼ一定，すなわち位相長を算出すると同相同期することが明らかになった(図3)。これは DF ラインはゴールラインとボール位置を基準に動いていることを示唆していた。しかしながら，DF ラインとボールとの位相差は必ずしも逆相同期にならなかった。ボールの動きの時系列の周期性を見るために，FFT によってペリオドグラムを描き検討したところ，三体連成振動の場合には明らかな周期性が見られた。つまり，ボールは両チームの DF ラインの中で振動し，その振る舞いは複雑に見えるものの，フラクタル性は見られず，粘性抵抗を考慮する必要があることが示唆された。

また微視的な特徴については，攻撃側がゴール前にボールを持ち込み，守備側の選手が数多くボール付近にいた場合でも，攻撃側の方が優勢となる場合があることを示す結果が得られた(図4)。このことは，ボール位置の優勢値が単にボールと各選手との距離だけでなく，攻撃側と守備側選手の動きの方向も加味した速度ベクトルを反映したものであることが示唆され，ゲームの流れのような，微視的なゲームの特徴を記述できる可能性があることを意味した。シーンによる優勢値の時間変化についても，ボールの起点をコートの上辺を3等分し，比較検討したが，明確な差が見られなかった。これらのことは，優勢値の計算アルゴリズムにおいて，同時点での位置と速度を基に算出していることが原因であることが考えられた。つまり，いわゆるオフ・ザ・ボールの選手の「動き出し」のタイミングが微妙にずれていることが大切かもしれないことを示唆する。今後は，この時間遅れをどのように解析に取り入れていくかが課題となった。

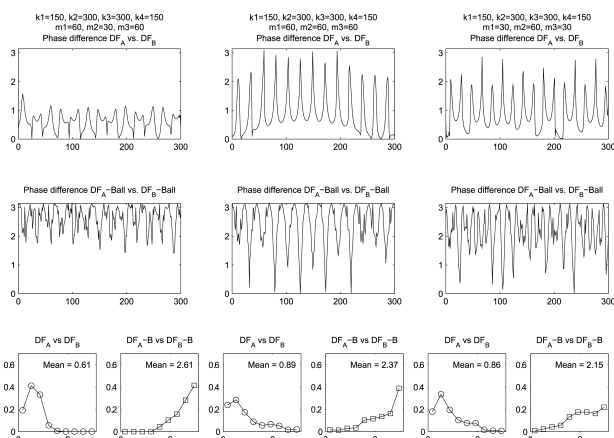


図3 3連成振動子の連成振動のモデルによるシミュレーション例  
最上段がDFライン間の位相差，中段がDFラインとボールとの位相差  
最下段が相対位相分布

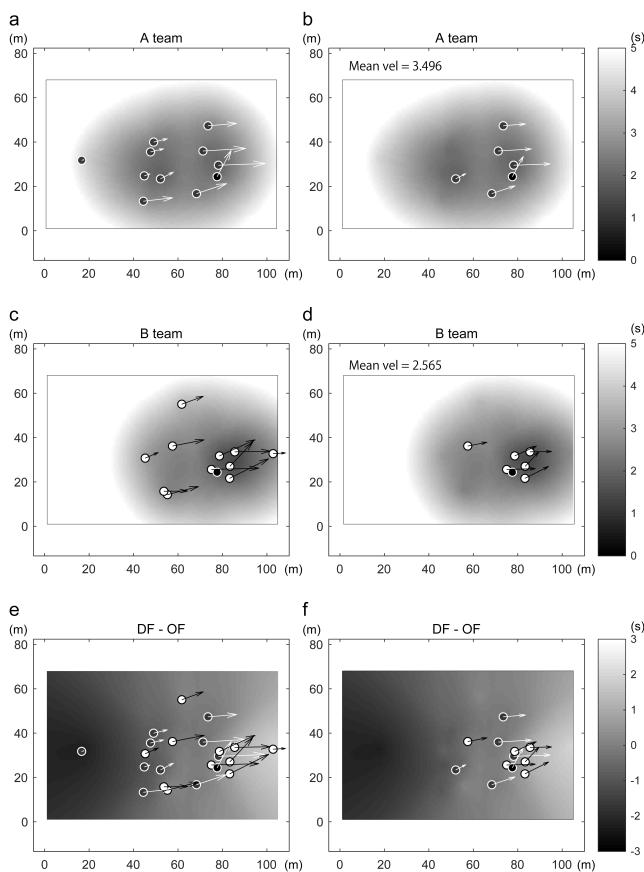


図4 優勢値の算出例

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

1. 山本裕二・横山慶子・木島章文，「サッカーゲームにおける最小到達時間を用いた優勢地形」，総合保健体育科学，41，5-13，2018. doi:10.18999/njhpfs.41.1.5
2. 山本裕二・横山慶子・木島章文・島弘幸，「サッカーの攻防に潜む連成振動」，総合保健体育科学，40，1-14，2017. doi:10.18999/njhpfs.40.1.1

〔学会発表〕(計 9 件)

1. Yamamoto, Y., A switching hybrid dynamical system: Toward understanding complex interpersonal behavior, Dynamics of Human Performance (Keynote), 2019. 3. 2, Macquarie University, Sydney, Australia. (Invited Speaker)
2. 山本裕二，「対人・集団スポーツを組織化する情報」情報学シンポジウム2018 2018,12,22，静岡大学。(招待講演)

3. Yamamoto, Y., A switching hybrid dynamical system: Toward understanding complex interpersonal behavior, Complexity of Tactical Behavior in Sport, 2018.7.5, University of Lisbon, Lisbon, Portugal. (Invited Speaker)
4. 山本裕二・横山慶子・木島章文, 「サッカーゲームにおける優勢地形とボール動態」, 日本スポーツ心理学会第44回大会, 2017.11.25, 大阪商業大学.
5. 三澤孝康・木島章文, 「競技経験が異なる観察者が持つサッカーの試合映像に観察視点に関する差異」, 日本体育学会第68回大会, 2017.9.9, 静岡大学.
6. Yamamoto, Y., Understanding complex human behavior from a dynamical systems perspective, ISSP 14th World Congress (Keynote), 2017.7.13, NH Collection Hotel Seville, Seville, Spain. (Invited Speaker)
7. 横山慶子・田淵規之・山本裕二, 「連携技能の熟達差にかかわる協調力」, 日本スポーツ心理学会第43回大会, 2016.11.5, 北星学園大学.
8. Yamamoto, Y., Understanding complex sports behavior: interpersonal competition and cooperation, The 23rd International Conference on Neural Information Processing: Workshop on Novel Approaches of Systems Neuroscience to Sports and Rehabilitation (Special lecture), 2016.10.20, Kyoto University.
9. 山本裕二・横山慶子・木島章文, 「サッカーの攻防に潜む連成振動」, 日本体育学会第67回大会, 2016.8.26, 大阪体育大学.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 出願年：  
 国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
 発明者：  
 権利者：  
 種類：  
 番号：  
 取得年：  
 国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.htc.nagoya-u.ac.jp/~yamamoto/>

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：木島章文

ローマ字氏名：KIJIMA Akifumi

所属研究機関名：山梨大学

部局名：総合研究部

職名：教授

研究者番号(8桁): 10389083

研究分担者氏名：横山慶子

ローマ字氏名：YOKOYAMA Keiko

所属研究機関名：名古屋大学

部局名：総合保健科学センター

職名：講師

研究者番号(8桁): 30722102

(2)研究協力者

研究協力者氏名：島弘幸

ローマ字氏名：SHIMA Hiroyuki

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。