

二者間の攻防を制する仕組み

—予測不能な環境に適応するヒトの動きを解明する新たな枠組み—

【ポイント】

1. 対人スポーツに見られる二者間の攻防を制する仕組みを、モデルシミュレーションを用いて、二者の視点と個人の視点の両方から理解することで、世界で初めて明らかにした
2. 動きたくても動きが遅れてしまう「移動しにくさ」という、武道では「居着き」と呼ばれる概念をモデルに導入した
3. 二者の攻防を制するためには、相手をよく観察して相手が「移動しにくい」時を狙い、自分が「移動しやすい」時に攻めることが重要である
4. 本研究の考え方は、予測不能な他者に適応する、ヒトの動きを解明する新たな枠組みを提案した

【概要】

名古屋大学総合保健体育科学センターの日本学術振興会特別研究員の藤井慶輔博士（筆頭・責任著者）、立命館大学スポーツ健康科学部の伊坂忠夫教授、京都大学大学院人間・環境学研究科の神崎素樹教授、名古屋大学総合保健体育科学センターの山本裕二教授のグループは、動きたくても動きが遅れてしまう「**移動しにくさ**」、つまり武道でいう居着きと呼ばれる概念をモデルに導入し、二者間の攻防を制するには、「**自分は居着かず、相手が居着いた瞬間を狙う**」ことが重要であることを、**モデルシミュレーション**を用いて明らかにしました。この研究の考え方は、予測不能な環境に適応する、ヒトの動きを解明する新たな枠組みとなることが期待されます。本研究成果は11月5日（英国時間午前10時）付の“Scientific Reports” (<http://www.nature.com/srep/>)に発表されました。

【研究内容】

球技や格闘技などの対人スポーツにおいては、相手の動きを予測しつつ、自分が適切に行動しなければいけません。相手も同じことを考えているため簡単に勝つ方法はありません。この難しさこそが、これらのスポーツの魅力を際立たせているともいえるでしょう。「**彼（敵）を知り己を知れば百戦危うからず**」という有名な孫氏の兵法の一節は、戦いに勝つためには相手の動向をよく見て予測することに加え、よく知っていると思いがちな自分のことを正確に理解する必要があるというものです。これまでヒトの高度な認知や運動能力に関しては様々なことが明らかになってきましたが、**対人スポーツにおいてはまだ未解明な点が多く残されています**。対人の攻防においては、相手の動きを予測しつつ自分の動きを正確に実行し続ける必要があるため、相手と自分に関する問題を同時に、連続的に解決し続けられないといけません。これまで共著者の山本裕二教授らは、二者間の攻防で「**ど**

のように動いているか」を明らかにしてきましたが（解説 1）、「どのように動けば攻防を制することができるか」を研究する枠組みは、これまで明らかにされてきませんでした。

今回我々は、バスケットボールの練習で行われる**1対1練習**での二者の動きを分析し、二者間の攻防を制するには、武道で言われる「**自分は居着かず、相手が居着いた時を狙う**」ことが重要であることを、個人の認知・運動の協調とその破れの観点からモデルシミュレーションを用いて明らかにしました。認知と運動が協調している時には動きたい時にすぐに動けますが、この協調が破られると、**動きたい時に動きが遅れて**しまいます。このことは武道で「居着き」と呼ばれ、良くない状態であると考えられてきました。こうした状況は格闘技や球技などの対人スポーツで頻繁に観察されますが、特に球技の1対1は攻守の役割がはっきりしているため、研究するには格好の題材になります。

これまで我々は、球技の1対1における防御者が「動きたくても動きが遅れてしまう」原因を「**移動しにくさ**」（武道で言われている居着き）と定義し、足が地面に与えた力から定量化しました。そして防御者が動き出す前にこの力が大きいと、動き出しが遅れ、防御が失敗しやすいことを明らかにしました（解説 2）。しかし、二者がそれぞれどのように相手の動きを予測してどのように行動したら、このような結果になるのかは既存の動きの研究の枠組み（解説 1）では説明できませんでした。そこで新しい試みとして、まず二者の認知・運動要素が二者間で相互作用するモデル（解説 3）を構築しました。モデルを立てる利点は、実際の1対1に影響が大きいと考えられる個人の認知・運動能力の差を考慮せずに、攻防の本質を考えられる点です。さらに本研究の新しく工夫した点として、実際に観察された「**移動しにくさ**」を**確率変数として導入**しました。シミュレーション結果は、実際と同様複雑な結果になりますが、この結果を理解するためには、新しい考え方（枠組み）として、従来からあった個人の認知・運動がどのように働くかを考えることと、全体として二者がどのように動くかを考える両方の視点、つまり「**部分**」と「**全体**」を同時に考えることが必要になります。これは、二者間の攻防での「個人の」対人技能、つまり「攻防を制するにはどう動けばよいか」を考えるには重要な観点です。

まず**個人の視点**から見て、個人の認知・運動がどのように働いたのかをモデルを通して見ます。図 1 はこれまで実測で重要であった、防御者の移動しにくさの移り変わりを示しています。シミュレーションの結果は実測と同様に、防御者が「移動しやすい」時は、思った通りに動けるため防御成功の確率が高く、逆に移動しにくい時は防御失敗の確率が高くなりました。このことは**自分が移動しやすいこと**、つまり自分の認知に対して運動の遅れがなくなることが攻防に有利になることを示しています。さらに攻撃者が防御者の移動しやすさを観察した条件は、観察しなかった条件よりも、攻撃成功の確率が高くなりました。このことは、相手の状態を見て「**相手が移動しにくい時を狙うこと**」が勝つために重要であることを示しています。以上の枠組みは、従来**個の技能**として研究されていた認知・運動技能が、「**二者間の攻防の中で予測不能な相手に適応する技能**」の研究の枠組みとして拡張されたことを示しています。

次に**二者がどう動いているか**という**全体的な視点**から見ます。二者間の距離を横軸に、距離の時間変化（相対速度）を縦軸にとった状態空間（図 2）を見ると、実測（図 2A）とモデル（図 2B）の両方に共通した点として、防御成功の時（青色：二者の距離・速度のずれが小さい）は、二者間の状態はある点（原点）に引き込まれ（アトラクタ：解説 4）、攻撃成功時（赤色）には原点から拡散する様子が観察されました。次にこの勝負がどのように決まったのかを理解するため、特に勝負が決まる直前の決定期間全体（図 2C,D）の相対速度（二者の速度の差）の分布を見ると、実測・モデルともに攻撃・防御成功で差が見られませんでした（図 2E,F）、ピーク値の分布は攻撃成功時でより高速度を示していました（図 2G,H）。つまり、実測もモデルも勝負の結果が 1 回の行動時間である 0.5 秒より短い一瞬（図 2C,D）で決まったことを示しています。このことは従来の「二者がどう動いているか」を説明するモデル（解説 4）で表現される**対称的な相互作用**では説明できない、「移動しにくさ」（認知と運動のずれ）や**非対称な相互作用**を含んだモデル（解説 3）によってのみ表現できる現象であることが示唆されました。つまり、対人スポーツの**勝負が決まる**時のような非対称な相互作用のある動きに関して、従来の**二者間の動きにおける科学**の枠組みも拡張する必要があることが示されました。

このように本研究では二者間の関係を考慮しつつ、個人の認知・運動を対人技能として考える**全体と部分の 2 つの視点を両立させた科学の枠組み**を、世界で始めて提供したことによって、攻防を制するメカニズムが一部解明されたと考えられます。日常生活の複雑な状況でも、好機が来たらすぐに動き出せるように、常日頃から準備を整えておくことが大切であることを、本研究は示しているかもしれません。このように本研究の結果は、複雑な状況における行動のためのヒントにもなりそうです。

【成果の意義】

1. 二者間の攻防が複雑に見えるのは、二者の相互作用に加え、認識と行動のずれが生じるからであり、そのことを理解することが二者間の攻防で優位になるための手がかりとなります。そのため例えば、複雑な状況における行動の仕方などに示唆を与えると考えられます。
2. 対人スポーツは動きが目に見えて二者の相互作用がわかるので、人間関係の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、球技や格闘技などの対人スポーツでの技術を高めるための練習方法を考えることにも役立ちます。
3. ヒトは、予測も制御も不可能な状況においてもうまく行動できますが、このメカニズムは全て解明されているわけではないため、相手の予測や自分の制御が完全に出来ない状態で問題を解決する対人スポーツは有益な知見を提供できると考えられます。

【論文に関する情報】

タイトル： Mutual and asynchronous anticipation and action in sports as globally competitive and locally coordinative dynamics

著者名： Keisuke Fujii, Tadao Isaka, Motoki Kouzaki and Yuji Yamamoto

掲載雑誌： Scientific Reports 5, 16140; DOI: 10.1038/srep16140.

URL： <http://www.nature.com/articles/srep16140>

研究助成：科学研究費特別研究員奨励費 [23-8259, 26-407]・科学研究費補助金 [24240085]・公益財団法人ヤマハ発動機スポーツ振興財団スポーツチャレンジ研究助成（第8期）

【解説1】既存の動きの研究の枠組み

例えば以下のような相手との相互作用のない動きを考えてみます。

1. 必ず自分が思ったように動く（例：肘を曲げ伸ばしするような動き）
2. 正解が1つに定まっている（例：ある大きさの力を出す動き）
3. 相手に対して反応するが、その相手は自分の動きを見て判断しない（例：録画されたビデオの動きに反応する動き）

これらは目標が決まれば遂行される運動が自動的に決まる、という点で直線的な（一方通行の）因果関係を示します。この枠組みに基づき、今までヒトの高度な認知や運動能力が科学によって明らかになってきました。しかし、対人スポーツのように相手との相互作用を考える必要がある場合は、リアルタイムに連続した相互作用を組み込んだ枠組みで考える必要があります。そこでこれまで用いられてきた非常に強力なモデルが、二者の関係がばねのように物理則に従って振る舞うと仮定した、非線形振動子というモデルです（詳しくは解説4）。このモデルは、対人スポーツの膠（こう）着状態を含め、二者が相互作用する現象を説明することに大きく貢献してきました[3]。しかし、競い合う対人スポーツの勝負が決するような現象は説明することが難しいことを示唆したのが、本研究の結果です。

[1] Yamamoto Y, Yokoyama K, Okumura Y, Kijima A, Kadota K & Gohara K. *PLoS ONE* 8 (2013).

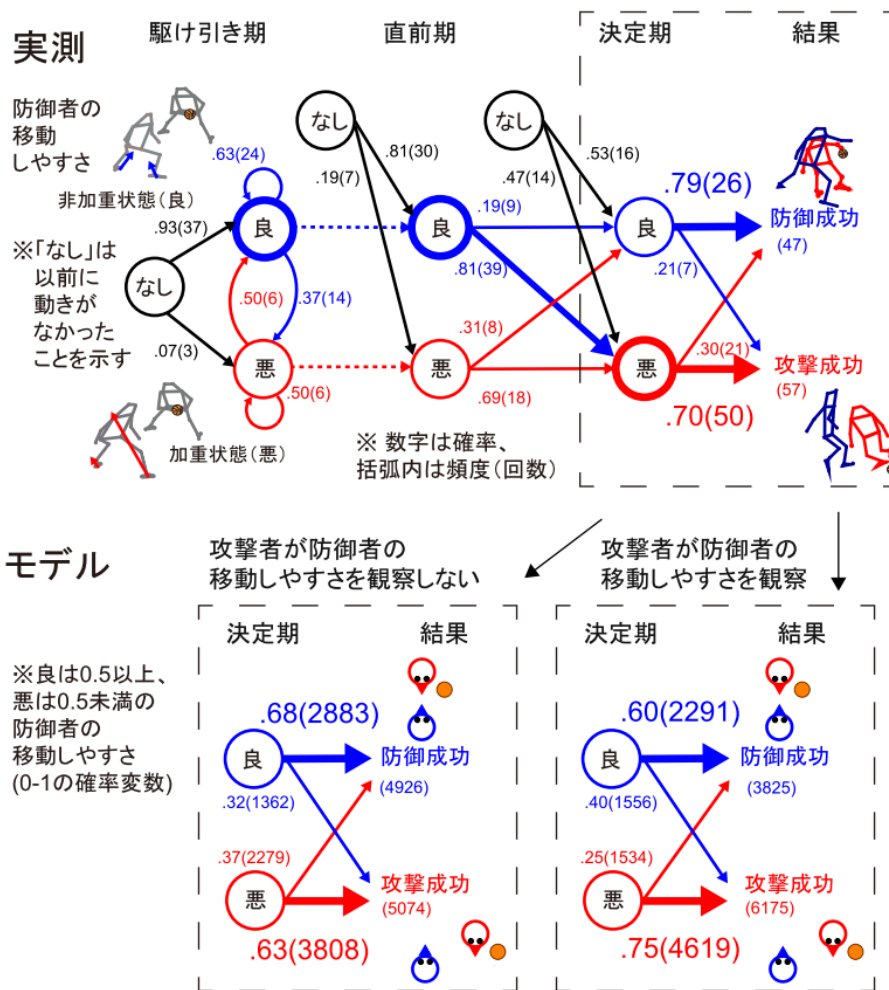


図1 防御者の移動しやすさの移り変わり。詳しくは「研究の内容」「解説1」を参照。

【解説2】 これまでの研究と移動しやすさ（移動しにくさ）

我々は過去に、球技の1対1において防御者の地面反力が動き出す前において小さい場合（非加重状態）に、動き出しの遅れを防ぎ防御成功の確率を高めた（図1）ことを明らかにしました [2]。また、その時下肢の関節トルク（関節に働く回転の力）の振動が抑制されていたことも示しました[3]。この動き出す前の地面反力の大きさや関節トルクの振動は、次の動作にスムーズに移れる「移動しやすさ」を示す指標になりうると考えられます（論文中では「身体準備状態」と呼んでいます）。移動しやすさが良い時は動き出しが早く、移動しやすさが悪い時は動き出しが遅いと考える構いません。最もわかりやすい例としては、脚のどこかを怪我した時は、移動しやすさが悪くなって次の移動が遅くなってしまふことが挙げられます。そこまで極端でなくても、対人スポーツでは相手のフェイントに引っかかったり、自分の予測が外れたりした時は、次の移動にスムーズに移れないことがよくあります。このような現象を考慮に入れないと対人スポーツの研究は行うことができません。そこで本研究では「移動しやすさ」という概念的な変数を導入しました。

- [2] Fujii K, Yoshioka S, Isaka T & Kouzaki M. *Sports Biomechanics* **14**, 1-17 (2015).
 [3] Fujii K, Yamashita D, Kimura T, Isaka T & Kouzaki M. *PLoS ONE* **10** (2015).

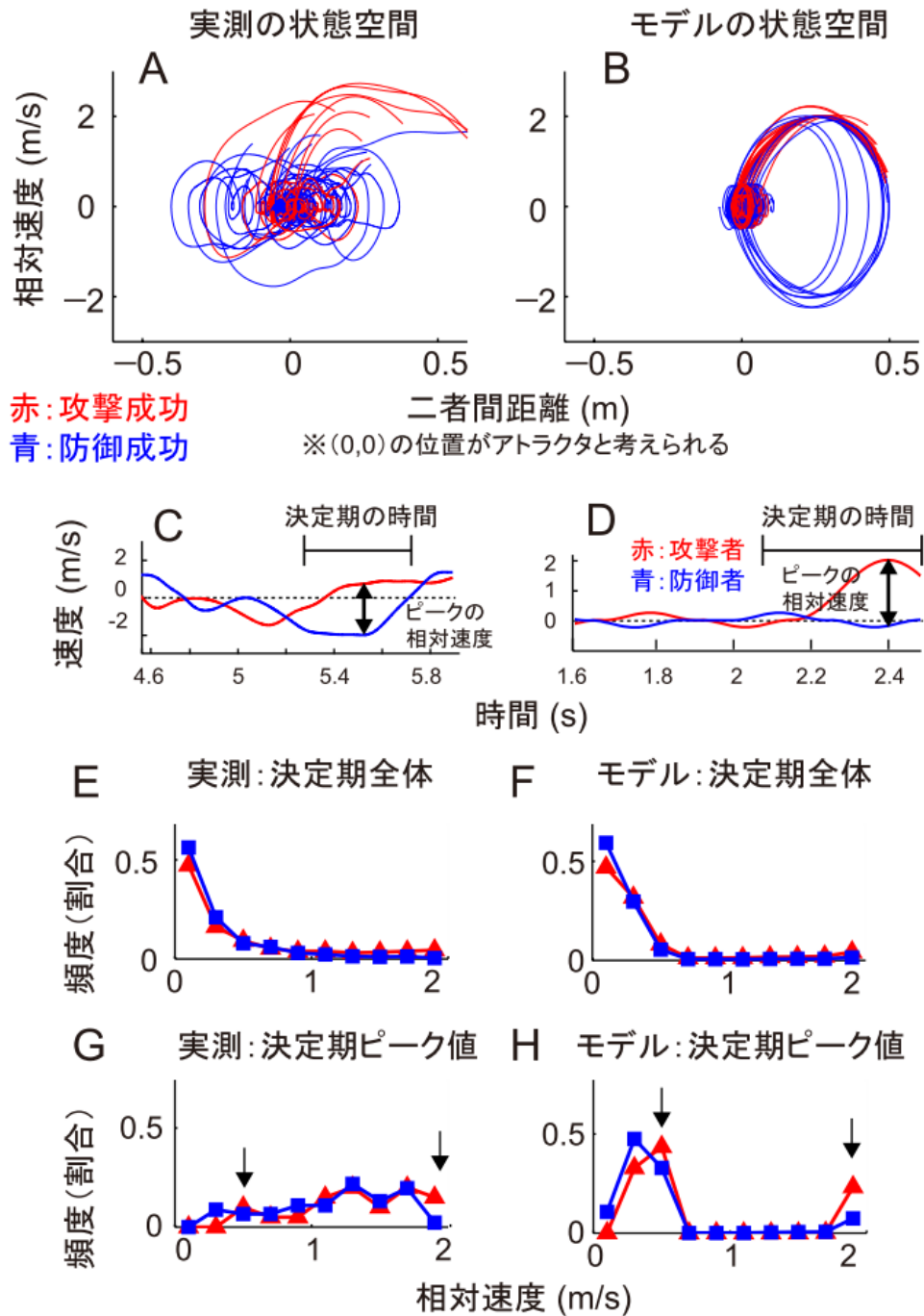


図2 二者間距離と相対速度で示された状態空間と、相対速度のヒストグラム。
 詳しくは「研究の内容」「解説2・4」を参照。

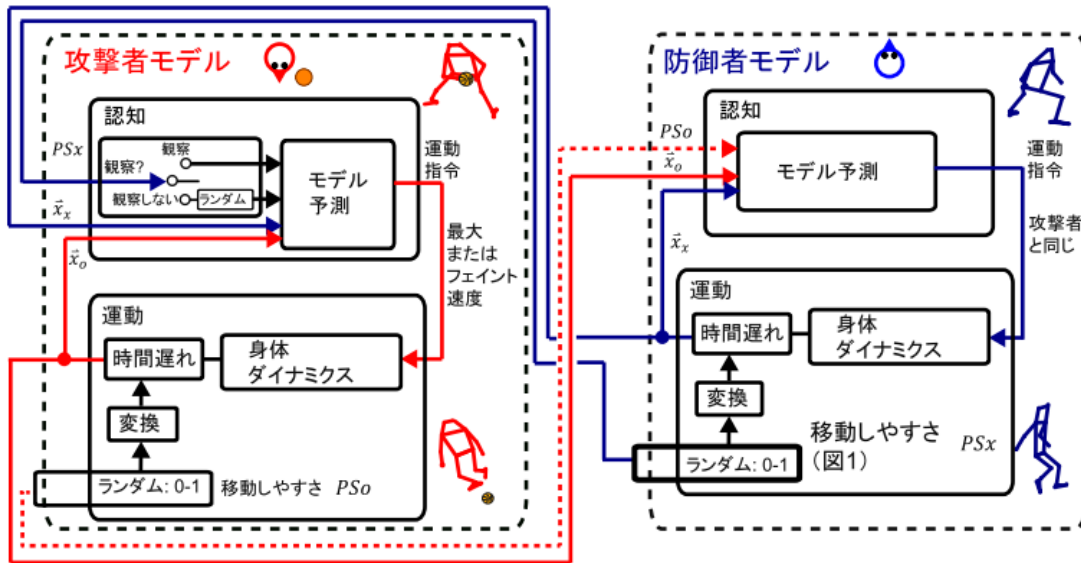


図3 1対1モデルの詳細。詳しくは「研究の内容」「解説3」を参照。

【解説3】1対1モデルの構築

本研究では、個人の認知・運動という（部分・局所的）協調と、二者の（全体・大域的）競争をモデル化するために、上記の図3に示す二者の認知・運動要素がそれぞれ、二者間で（攻撃と防御で）非対称に相互作用するモデルを構築しました。モデルにおいては攻撃者と防御者が距離0の（ずれがない）状態から5秒以内に0.5 mの差をつけると攻撃成功、0.5 m未満だと防御成功というルールとしました。1対1の実測データから重要であると示唆された移動しやすさ（身体準備状態）に関しては、問題をより簡単に理解するため、0から1まで0.1刻みで同じ確率で起こる確率変数としました。この移動しやすさは、図3にあるように時間遅れに変換されます。攻撃者の認知モデルは、もし次の行動で攻撃成功になると予測できれば最大速度を、予測できなければフェイント速度を運動指令として出力します。その際、本研究では、攻撃者が防御者の移動しやすさを観察できる条件と観察できない条件を設定しました（図1）。防御者に関しては、必ず攻撃者の後に動き出すように設計され、さらに攻撃者と全く同じ運動指令を、認知モデルが出力するように設計されました。防御者は攻撃者の移動しやすさを観察しようがしまいが、結果的に同じ行動になるので、こちらの検討はしませんでした。以上のような設計により、これまでの科学の枠組みでは表現することができなかった複雑な二者の競合パターンが表現されたと考えられます。

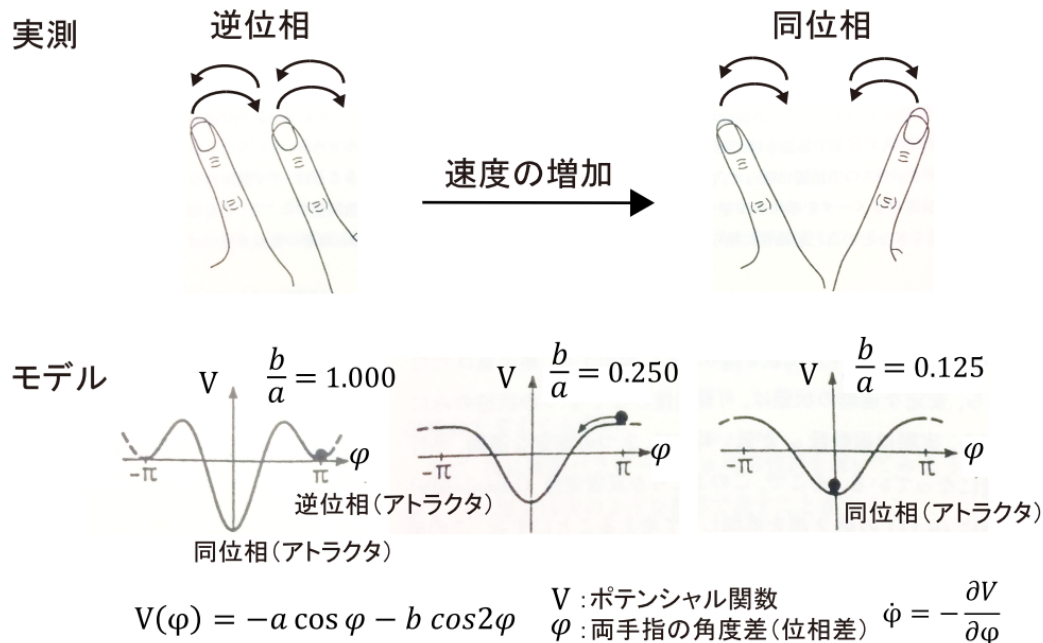


図4 両手協調における相転移現象 (Haken, 1996 を一部改変)。

詳しくは「研究の内容」「解説4」を参照。

【解説4】二者間の関係に基づく動きの科学とアトラクタ

対人運動は解説2にあるようにこれまで分析することが難しかったため、別の説明の仕方が必要でした。そこで、これまで図4に示す両手指振り運動のモデルを始めとした、非線形振動子モデルを用いて説明がされてきました (Kelso, 1981)。この両手指振りとは、遅いテンポなら両手の指を同時に左右に振ることができますが (図4左: 逆位相)、徐々に早いテンポにしていくと、ある時両手指が同時に内・外に動くというパターン (図4右: 同位相) に変化してしまう (逆位相にできない) という相転移現象です。この現象が非線形振動子モデルを用いて説明されてきました (図4下)。両手指の角度差を表す状態変数 φ と、その変化を与えるポテンシャル関数 V を考えたとき、遅いテンポの逆位相は多少角度差がずれたとしても逆位相に落ち着きますが (この点をアトラクタと言います)、テンポを早くしていくとポテンシャル関数 V が変化していき、同位相に引き込まれていく、という説明の仕方です。この非線形振動子モデルは、2つの要素の関係が同じ影響を与え合うこと (対称性) を仮定するので、各要素に働く作用・反作用がそれぞれ等しくなる (要素Aからみて要素Bに与える力と与えられる力は等しく、要素Bにとってもそれは同じ) と考えられます。しかし、対人スポーツの勝負が決まるときのような非対称な相互作用では、この作用・反作用が等しくならぬため、このようなモデル化は不可能になります (イメージとしては、バネ的な関係が一瞬にして破壊されるような感じです)。そのことの一例を端的に現象およびモデルシミュレーションの結果として示したのが本研究となります。