

## あまり理解されていない理論研究の最初のステップ

山口大理  
坂井伸之

### The first step in theoretical research that is not well understood

*Yamaguchi Univ.*  
Nobuyuki Sakai

ある物理法則から起こりうる現象を予測することが理論研究とすると、その第一歩の研究では、そもそもどのような現象が起こるかという定性的な結果が導かれる。例えば一般相対論の第一歩の研究では、ブラックホール、宇宙膨張、重力レンズ、重力波という現象の「存在」が導かれる。ブラックホールの質量はいくらか、宇宙膨張の速さはいくらか、といった定量的な研究はその数歩先である。どの分野でも、定性的研究があって初めて定量的研究の方向性が生まれる。単純なモデルについて徹底的に研究した後で、段階的に複雑なモデルに移行する。このプロセスをすっ飛ばして複雑な系の数値シミュレーションをしても、科学的に有意な結果は得られない。

この理論研究のプロセスを工学やスポーツ科学等、応用系の研究者が知らないのは仕方ない。しかし、近年スポーツの物理学的研究成果を様々な場所で発表して分かってきたことは、物理学研究者の中にもこれを理解していない人が多いことである。例えば、未知の現象の解明のためには単純なモデルから出発することは自明であるにも関わらず、単純なモデルから導かれる定性的な結果を示すと、「そんな単純なモデルで良いのか」「○○は考えなくてよいのか」といった的はずれな質問が出ることが多い。

一方、実験ややや複雑な計算から「数値」を求めた結果を発表すると、わりと「受け」が良い。多くの方は数値が出ると納得する。もちろん数値は重要だが、それは理論研究の第一歩ではなく、二歩目以降だ。多くの方が数値がないと納得しないのは、自分が数値を求める研究しかして来なかったからに過ぎない。物理学研究者の中でも理論研究の第一歩の研究経験がある人は少ない。

問題は、理論研究の第一歩の研究経験のない人が理論研究の第一歩の論文の査読をする場合である。その人の持つ「研究」や「論文」のイメージに合わないため、掲載を認めたくない。しかし、掲載を認めない理由を論理的に説明することができない。昨年、「大学の物理教育」に投稿した論文が、理由を付されることなく却下されたが、このことが背景にあったと思われる。

理由を付さずに論文を却下することは学術誌としてあってはならないが、昨年の件ではその後の対応が更にひどかった。掲載却下の理由を質問してから約4ヶ月後、理事会の指示で編集委員会が出した回答が、「不掲載ではなく不受理である（から理由は必要ない）」「不掲載と不受理の違いは（現投稿規定にはないので）これから投稿規定に記載する」という支離滅裂なものだった。要するに、理事会ぐるみの誤魔化しである。2024年度編集委員会と2024年度理事会の行為は人として恥ずかしいものであり、本学会の信用を著しく失墜させてしまった。

<http://jiri1.xsrv.jp/paper/jps-scandal.htm>

# 剣道の面打ち動作における膝関節の屈曲による力学的影響

山口大理

板井駿悟, 坂井伸之, 栗原俊之

The dynamic effects of knee flexion during the menuchi movement in kendo

Dept. of Phys., Yamaguchi Univ.

Itai Shungo and Sakai Nobuyuki and Kurihara Toshiyuki

剣道競技とは「相対する二人が竹刀で決まった部位を打突し, 有効打突を取り合う競技」である. 様々な打突の中でも図1「面打ち」というのは最も基本的な打突である. 対人競技であるため, 効率的に加速できる面打ち動作を目指し力学的観点から研究を行っている.

効率的に加速できる動作の力学的理論として「開脚角 60 度の法則」が挙げられる [1]. 一步踏み出す時の下肢を図 2(a) のように 2 本の剛体棒と仮定する. 内力によって前足を振り上げる時, 内力の反作用が 2 棒の連結部分 (点 O) に働く. この反作用の向きは 2 棒が成す角度 (開脚角) によって決定することができる. 連結部分に働く反作用の向きが変化する瞬間の開脚角が 60 度であるため, 「開脚角 60 度の法則」と呼ぶ. うまく「開脚角 60 度の法則」を活用するためには, 前足の膝関節を屈曲させることが重要であると考えた. しかし, 古くから「右膝は曲げすぎず, 伸ばしすぎず」という指導が存在するように, 極度な膝関節の屈曲にデメリットが存在する. 実際, 先行研究では一流競技者ほど膝関節の屈曲が少ないことが示されている [2]. これまでの研究では, 大まかな屈曲タイミングの導出に成功した. この導出を基に反作用の大きさを定量化することによって, 最適なタイミングを導出することができた. 本発表ではその結果を述べる.

## 参考文献

- [1] 坂井伸之・光嶋俊平・板井駿悟・安谷佳浩・竹田隆一「数式を使わない力学で解明するスポーツのメカニズム」  
大学の教育物理 30,35-38 (2024), <https://doi.org/10.11316/peu.30.1Z.35>
- [2] 三宅聡史・加賀勝「一流競技者の面打撃動作分析」武道学研究 36,51-58(2003)



図1 面打ち動作

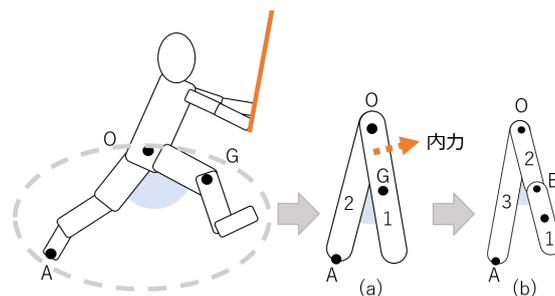


図2 簡易力学モデル  
(a) 開脚角 60 度の法則モデル, (b) 右膝関節の屈曲モデル

# サッカーのキックの踏み込みにおける内力の反作用の影響

山口大理

大木元裕, 坂井伸之, 板井駿悟

The effect of the reaction of internal force on soccer kicks

*Yamaguchi Univ.*

Motohiro Oki, Nobuyuki Sakai, Tosiya Kurihara, Shungo Itai

本研究ではサッカーのロングキック動作で、特に助走の最後の一步の動作に注目し、合理的な動作を力学の視点から考察することを目的とする。助走の最後の一步の動作では蹴り足を十分に引くこと、身体並進速度を大きくすることが重要であると考えられる。

図1に上級者(上)と初級者(下)のロングキックの助走の最後の一步動作の比較図を示す。本発表ではこの最後の一步の動作を「踏み込み動作」と呼ぶ。図1の枠内の動作はそれぞれ軸足の膝関節を伸展する動作である。上級者はこの動作を主に空中で行っており、初級者は蹴り足が地面についた状態で行っていることが分かる。

本発表では、坂井が考案した足を踏み出す際に、内力の反作用を考察した法則である、「開脚角 $60^\circ$ の法則」[1]の観点から、軸足全体を振り出した時の内力の反作用と、軸足の膝関節伸展による内力の反作用が動作にどのような影響を及ぼすか、下肢動作による内力の反作用についての先行研究[2]をもとにキックの踏み込み動作について考察する。



図1 ロングキック踏み込み動作比較

## 参考文献

- [1] 坂井伸之, 光嶋峻平, 板井駿悟, 安谷佳浩, 竹田隆一「数式を使わない力学で説明するスポーツのメカニズム」大学の物理教育 30, 35 (2024)
- [2] 板井駿悟, 「剣道の面打ち動作における下肢運動の力学的説明」山口大学院修論 (2024)

# サッカーのロングスローにおける復元力の影響

山口大理

岡本蒼生, 大木元裕, 栗原俊之, 坂井伸之

The effect of resilience on long throws in soccer

Dept. of Phys., Yamaguchi Univ.

Aoi Okamoto, Motohiro Oki, Toshiyuki Kurihara and Nobuyuki Sakai

サッカーにおいてセットプレーは全得点の2割程度を占めている。セットプレーの中でも近年「ロングスロー」を戦術に用いるチームが増加傾向にある。ロングスローは図1のように、全身の反りを利用して約30mの飛距離を出すことが重要である。この目的を達成するため、指導現場では「背筋や腹筋を使う、体の反りを意識する」などの指導がされている。しかし反るタイミングや反る手段は伝えられていない。

飛距離を出す方法の力学的理論として「復元力」「ブレーキ効果」が挙げられる。反りとして図1 (3) 助走時の大腿部と腰、(4) 背中、(5) 助走後の肩甲骨と腕が存在する。図2の「棒1と棒2」は「大腿部と腰」または「肩甲骨と腕」ゴムは筋肉に対応する。反ることで筋肉が引き伸ばされ復元力  $f_1, f_3$  が発生する。その内力の反作用  $f_2$  が2棒の連結部(点A)に働く[1]ことでブレーキ効果を生み出し、右向き速度が大きくなる。この力の大きさは反りの大きさに依存する。「復元力」と「ブレーキ効果」の瞬間的な力を活用するために重要となる反りのタイミングと反る手段を力学的に考察した結果を述べる。

## 参考文献

- [1] 坂井伸之「理論物理学が解明！究極の投球メカニズム」株式会社 彩図社 (2021)  
 [2] 若田和樹 GiantKazuki, ”驚愕！世界一のロングスローを持つ男達に仕込まれてみた！”, 2024-03-27  
<https://www.youtube.com/watch?v=cVVG4cQiCpI>



図1 ロングスロー動作 [2]

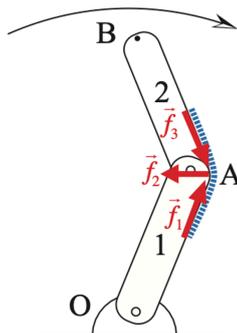


図2 復元力のモデル

$f_1$ : 棒1がゴムから受ける力  $f_2$ :  $f_1$  と  $f_3$  の反作用  $f_3$ : 棒2がゴムから受ける力

# バスケットボールのシュート動作における 手の動きについての力学的考察

山口大理

池田翔貴, 坂井伸之, 栗原俊之

## Dynamics of hand movements in basketball Shooting

*Dept. of Phys., Yamaguchi Univ.*

Shoki Ikeda, Nobuyuki Sakai and Toshiyuki Kurihara

バスケットボールというスポーツにおいて、シュートは重要なプレーである。バスケットボールのプレイヤーたちは、シュートを決めるために、目線の先にゴールを捉え、そこに向かって真っ直ぐボールを投げようと意識する。その際、繊細なボールコントロールが必須であるため、適切に身体を動かさなければならない。特に、手は身体の中でシュートの成否に直接影響を与えやすい部位である。そのため、シュート動作時の手の使い方としては、ゴールに向かって真っ直ぐにボールが飛ばせるようにするのが適切である。これを満たすには、ゴールに届くほどの大きさの力をボールに伝えられて、かつズレの要因が限りなく少ない、というような手の使い方が望ましいと考えられる。そこで今回は、このような手の動かし方のポイントを適切に言語化するために、ボールがどのような運動をすればいいのか、その運動が起こるにはどんな力がボールに働けばいいのかなど、について力学的な視点から考察した。これを踏まえて、図1に示す一連のシュート動作の中で、手がどのように動いていけばいいのかということを説明する。さらに、この考察を踏まえ、手の動かし方についての現存する指導やコツの意味も、力学的に考察した。詳細は講演で説明する。

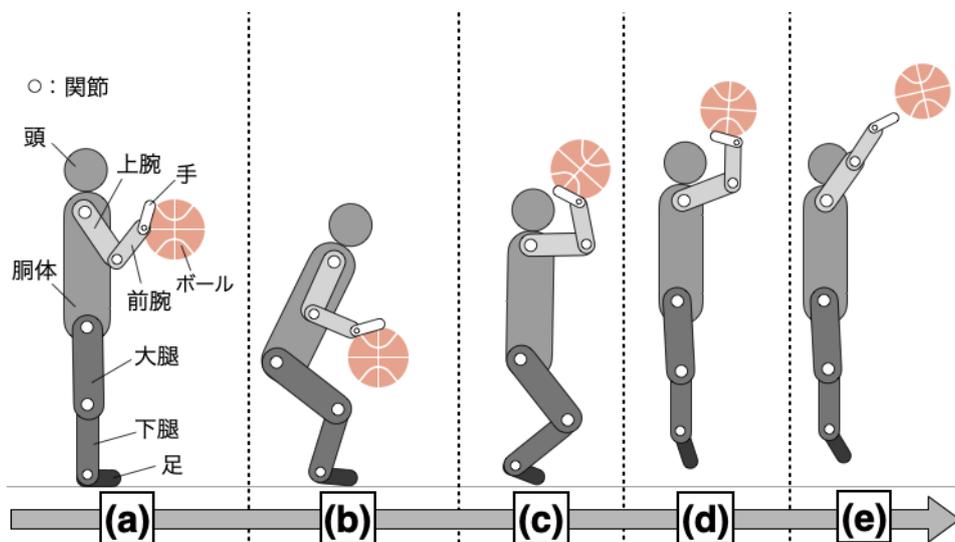


図1 シュート動作モデル

# ソフトテニスのフォアハンドストロークの力学的考察

山口大理  
楨埜佑香, 坂井伸之

Mechanical consideration of the forehand stroke in soft tennis

*Yamaguchi Univ.*

Yuka Makino, Nobuyuki Sakai

フォアハンドストロークとは図1に示すような動作で、試合の中で一番多く使われる打ち方である。実際の指導現場では指導者の主観に基づく指導が多く、曖昧な指導や、指導者によって異なった指導が行われている。その結果、選手が困惑し技術習得に時間がかかる。この問題を解決するために、本研究の目的を速いボールを安定して打つことができる理想のフォームを構築することとした。理想のフォームを構築するために、慣性モーメントからラケットの先端速度を算出した。

2025年の春季大会では、体幹を楕円柱剛体、腕とラケットを1つの円柱剛体とした2剛体連結モデルでの計算結果を発表した。今回は[1][2]を参考にし、図2のような体幹を楕円柱剛体、上腕、前腕、ラケットを円柱剛体とした4剛体連結モデルを作成し、計算を行った。また、作成した力学モデルを $xz$ 平面に投影した際の上腕と $z$ 軸の成す角を $\phi$ 、肘の屈折角を $\xi$ とし、 $xy$ 平面に投影した際の上腕と $x$ 軸の成す角を $\gamma$ 、肘の屈折角を $\theta$ とした。ラケットを振り出してからの角運動量が一定であるとして、 $z$ 軸まわりの慣性モーメントからラケットの先端速度の算出をした。

計算結果より、 $\gamma = 0^\circ$ 、 $\phi = 0^\circ$ 、 $\xi = 21.6^\circ$ 、 $\theta = 6.06 \times 10^{-8}^\circ$ で最高速度が現れた。これは、脇を締め、肘を少し曲げるようなフォームとなる。しかし上級者の動作を解析した結果、脇は $30^\circ$ 程開いていた。これは、競技特性が影響していると考えられる。ソフトテニスではボールの軌道や回転によってワンバウンド後にボールが予測位置から上下・左右・前後にずれることが多く、フォームを変えて対応する必要がある。したがって、最高速度が現れる角度を目指しつつ、ボールが体に近くなった場合に脇をしめて対応できるように脇を少し開くフォームが理想であると考えられる。



図1 フォアハンドストローク

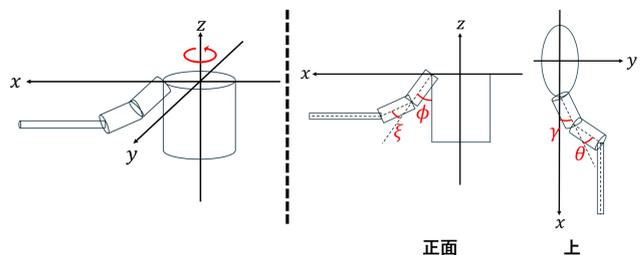


図2 力学モデル

## 参考文献

- [1] 笹田 圭一「卓球のフォアハンドドライブ動作の力学的解明と指導法の開発」山口大学創成科学研究科修士論文 (2023)
- [2] 坂井伸之・安原拓哉・笹田圭一「投球動作における腕の力学」大学の物理教育 29, 127 (2023)