

パッティング動作における物理振り子とゴルファーの動作の比較

野澤 むつこ^{*1}, 小山 諒^{*2}, 伊坂 忠夫^{*1}, 丸山 剛生^{*3}

Comparison between physical pendulum and golfer in putting movement

Mutsuko NOZAWA^{*1} and Ryo KOYAMA^{*2}, Tadao ISAKA^{*1}, Takeo MARUYAMA^{*3}

^{*1} Ritsumeikan University. Ritsumeikan Global Innovation Research Organization.
Noji-higashi 1-1-1, Kusatsu, Shiga, 525-8577 Japan

The purpose of this study was to compare between golfer's putting motion and the physical pendulum. One skilled golfer participated in this study. He executed ten putts as accurately as possible, in order to reach a target distance of 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5m. Movement pattern characteristics were assessed by kinematic analysis. In addition, putt of the same distance were tried using the physics pendulum of firmly fixed putter. It was found that the putter head speed, at the time of impact in the human putt, exceeded that for the physics pendulum putt. The initial velocity of ball at impact of golfer's putting was faster than that of the physics pendulum's except aim distance 0.5m. Therefore, the difference between human putting and the physics pendulum was shown. However, it was understood that successful putts are achieved by having skillful motor control.

Key Words : Biomechanics, Golfer, Putting, Physical pendulum

1. 結 言

ゴルフゲームは、最終的にボールをカップへ入れる回数を競うもので、そのスコアーの大半をパッティングの数が占めている。数多い名勝負もグリーン上での戦いを制してきた者にその勝利がもたらされている。フェアウェイに放たれた 300 ヤードのショットも 1 打であり、グリーン上での 30cm のパッティングも 1 打である。そのような背景から、パッティングに関する名言は多く“Put is money.” “Never in, Never up.” など、プレーヤーの最終ショットがいかに重要であるかを物語っている。そのため、正確性が最も重要視されるテクニックとして、また心理的要因が多く影響するとしてパッティングに関する研究は広い分野で取り上げられている。

ゴルフのパッティングとは、パターを用い、直径 4.25 インチ(108mm)のホールに直径 1.680 インチ(42.67mm)のボールを転がし入れることである。ゲーム中のボールとホールとの距離は常に異なり、さらにグリーンは形状や芝の状態(刈り高・芝目、等)も異なることから、ゴルファーには的確な状況判断が要求される。そして、状況判断と共に再現性の高い正確な動作を目標に合致させることが、カップインの成功要因に対し大きな割合を占めている。

パッティングは単純な動作と言われており⁽¹⁾、ゴルフの他のショットと同様に多くの指導書が出版されている。中でも Dave Pelz' s Putting Bible⁽²⁾などが有名であり、肩と腕とで構成される三角形を維持し、手で握られるパターを含めて振り子とみなし、振り子に似た動作を行うという“A pendulum stroke”について書かれている。そして、その振り子打法は大変多くのプロゴルファーに好まれている⁽³⁾。

しかしながら、ヒトのパッティング動作が振り子の動作と一致しているかどうか疑問が残り、2m・4m・6m・8m・10m の 5 つの目標距離を設定し物理振り子とヒトのパッティング動作の比較をする研究⁽⁴⁾を我々は行った。

^{*1} 協賛団体会員, 立命館大学グローバル・イノベーション研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

^{*2} 東京工業大学大学院 社会理工学研究科人間行動システム専攻

^{*3} 正員, 東京工業大学

E-mail: nmv11061@gst.ritsumei.ac.jp

その結果、物理振り子の振幅はヒトの動作に比べ大きく、その動作時間も長かった。一方、物理振り子のパターヘッドの速度がヒトのパッティング動作に対して約 60%であった。このことから、振り子動作とヒトのパッティング動作が一致していないことが示唆された。

先の研究⁴⁾において、目標距離に適応させる力の調整力に対し、ヒトの持つ能力を深く理解したいと考えた。しかしながら、再現性の高い熟練者においても目標距離の増加に伴いパフォーマンスに誤差が生じるという結果を得た。そこで本研究においては、先の研究では取り上げなかった距離に着目することとした。また、先の研究時に使用した機材と比べ、より詳細なデータを取得できる環境で実験を行うこととした。

グリーン上で 1 ピン (約 2.5m) 以内はカップインする確率が高く、またプレーヤーは入ることを期待する距離でもある。この距離は熟練者であるプロゴルファーでさえ 100%の確率には及ばない。そこで本研究は、パッティング動作の距離や方向に対する時間的・空間的な運動制御をゴルファーがどのように行っているかを知り、物理振り子の動作と比較することでその動作の特徴を抽出することを目的とした。

2. 実験方法

2・1 ヒトのパッティング動作に関する実験

1)被験者

ヒトのパッティング動作のデータを取得するために、被験者として 1 名の一般男性ゴルファー (height 172.5cm; weight 61.3kg; age 42year) に実験の協力を得た。被験者に対し、開始前に実験の内容を説明し実験参加の承諾を得た後、環境と指定したパターに慣れるため練習を行わせた。その後、実験を開始した。

2) 撮影方法

本実験ではスイング中に足が滑らないように普通の運動靴を使用させた。服装は身体にフィットするものを着用させ、衣類の上から身体のランドマークとなる個所にマーカーを貼り付け固定した。マーカーは全身に 37 箇所貼り付け、パターは 5 箇所に取り付けた。室内に 4m の練習用マット (人口芝) を引き、実際のホールと同じ大きさの円形のボール紙を目標として模擬的なカップをマット上に置いた。0.5m・1.0m・1.5m・2.0m・2.5m (以下 dis05, dis10, dis15, dis20, dis25) の 5 つの目標を設定し、被験者には「カップに入れるように」教示した。5 つの目標距離に対して 1 試技毎に距離を指定し、無作為に 10 回の試技を行わせた。全被験者の使用するパター (Odyssey, Callaway Golf 社製) 及びボール (Srixon Dunlop 社製) は同一のものとした。

被験者のパッティング動作は、実時間光学式モーションキャプチャシステム MAC 3D System (Motion Analysis Corp.)を使用し、サンプリング周波数 250Hz で測定された。測定は 10 台のカメラを使用した。測定前にできる限り誤差が少なくなるようにキャリブレーションを行った。座標軸は、X 軸を球の転がる方向・Y 軸を前後方向・Z 軸を鉛直方向とした(図 1)。測定されたスイングの 3 次元座標値 Cortex (Motion Analysis Corp.)を使用し算出した。



Fig.1 Putting experiment of golfer

Fig.2 Physical pendulum

2・2 物理振り子によるパッティング実験

1) 物理振り子の作製

図2は、パッティング動作を模擬するために作製した物理振り子である。この装置は、両肩を結んだ線の中心を支点とし、この線とグリップ部（手）を結んだ上肢に相当する部分（三角形状）とそのグリップ部に固定したパターからなる振り子運動をパッティング動作とみなして、設計・作製したものである。両肩間及び上肢の長さは、それぞれ400、600mmとした。また、上肢に相当する部分の重さは体重60kgのヒトを想定してWinter⁶⁾の身体部分係数から算出し、物理振り子の重量(6.5kg)とした。

上肢に相当する部分（実験中に三角形状は一定）は垂直面内の二次元運動とし、パターはそのライ角に基づきパターヘッドが地面と平行になるようにグリップ部を完全固定（自由度なし）した。支点にはベアリングを用いて、滑らかにかつ再現性の高い振り子運動が実現できるようにした。物理振り子に装着したパターは、ヒトの実験に使用したものと同一のものととした。2-1のゴルファーによるパッティング動作の計測と同様、物理振り子に取り付けられたパターにも5箇所のマーカーを取り付けられた。

2) 計測及び撮影

物理振り子を用いた実験においても、2-1のゴルファーによるパッティング動作の計測と同様の目標距離を設定し、その距離に対しボールが到達するよう振り子の振幅を決定した。実際のプレー時のパッティングはボールをカップに到達させるためカップまでの距離よりも少し長く転がすイメージでボールを打つと言われているが、本実験での目標距離に一致するようボールの転がりを設定した。なおボール及びマットは2-1と同一のものを使用した。

物理振り子は予備実験において目標距離に到達する振幅を予め計測した。各試技は物理振り子に装着したパターのグリップ部分に紐を装着し、その紐でパターを床面に設置した目盛に合わせて引き上げ、人為的な外力を加えることなく（初速度ゼロ）振り子運動をさせた。そして、インパクト時のパターの打球面はボールに対して垂直になるよう衝突させた。

2・3 分析項目

パターヘッドの運動はアドレスから始まるが、本研究において物理振り子と比較するために、ダウンスイング（以下ダウンスイングはDSとする）開始時→インパクト→動作終了までを分析範囲とした。DS開始は、パターヘッドがインパクト方向に動き始めた時点とした。動作時間は、DS開始から撮影画像におけるインパクトの1コマ前までをDS時間、インパクト後パターヘッドが停止するまでをフォロースルー時間（以下フォロースルーはFTとする）とした。時間はインパクトを0secとして表記した。ゴルファーの全試技の結果は平均値と標準偏差で示し、物理振り子の結果は代表値で示した。分析項目はパターヘッドの振幅の変位・動作時間・パターヘッド合成速度・ボール初速度を求めた。

3. 結果

3・1 パターヘッドの振幅の変化

DS開始からインパクト後パターヘッドの停止までの振幅はゴルファーも物理振り子も目標距離が長くなるにつれて大きくなっていった（図3）。物理振り子はDS期とFT期ともほぼ均等な振幅であり、また全振幅は目標距離の増加に対して20%程度増加していた。一方、ゴルファーはFT期が長く、その割合は約1.6倍であった。全振幅を比較すると、dis05以外の全てで物理振り子の方が長かった。

3・2 動作時間

DS期とFT期を比較するとゴルファーはFT期が長かった（図4左）が、物理振り子はDS期もFT期もほぼ同じであった（図4右）。ゴルファーのDS期とFT期を合わせた総時間はdis05から順に $0.91\pm 0.12\text{sec}$ 、 $0.88\pm 0.11\text{sec}$ 、

0.93±0.07 sec, 0.89±0.009 sec, 0.90±0.06 sec と 5 つの目標距離においての差があまりなかった. 同様に物理振り子では 0.7 sec, 0.74 sec, 0.76 sec, 0.78 sec, 0.78 sec であった.

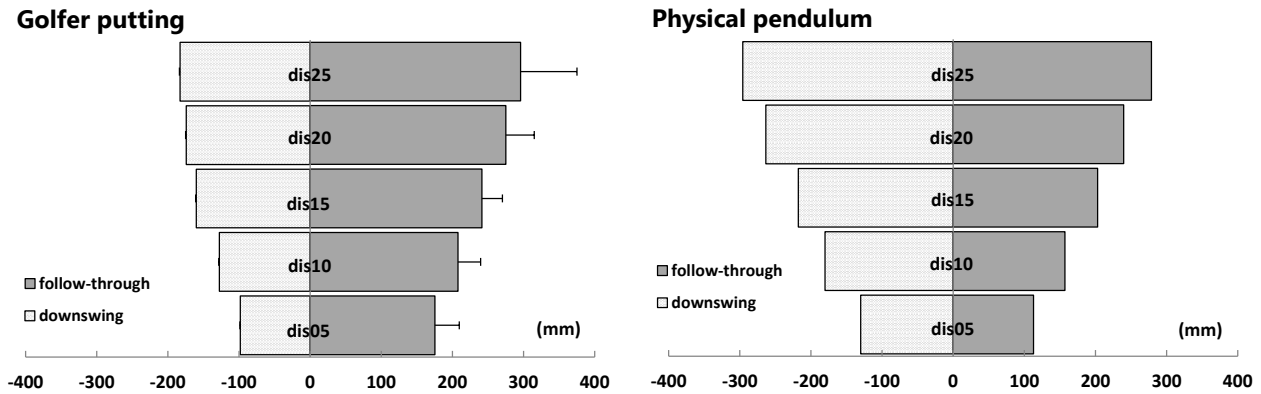


Fig.3 The amplitude of putter head in golfer putting (left frame) and physical pendulum (right frame) putting during DS and FT

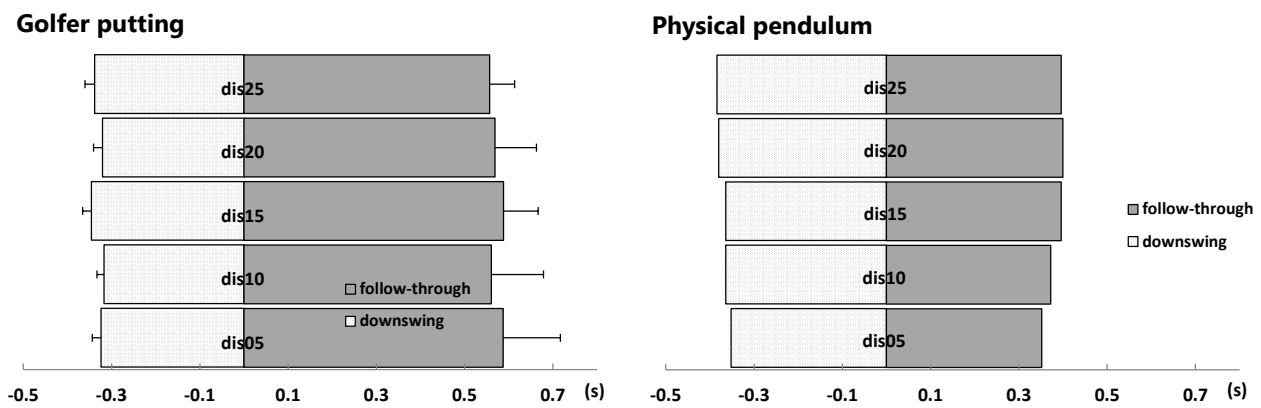


Fig.4 The time of putter head movement in golfer putting (left frame) and physical pendulum (right frame) putting comparing DS and FT

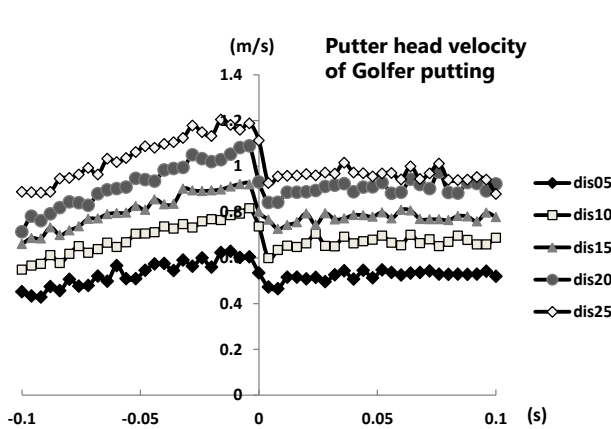


Fig.5 Putter head velocity of golfer putting

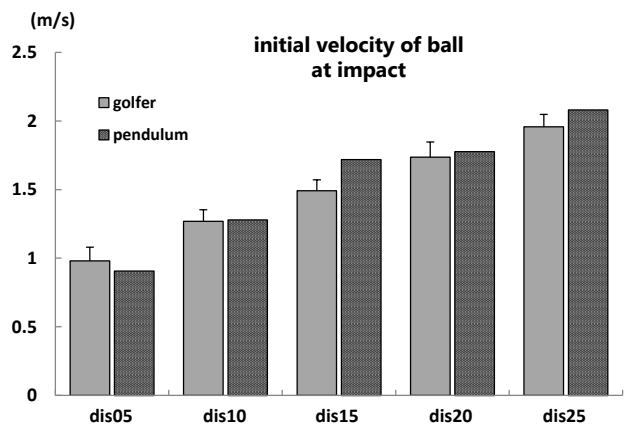


Fig.6 Initial velocity of ball at impact

3.3 パターヘッドの速度変化

パターヘッドの速度はいずれもインパクト直前に最高値に達していた. ゴルファーのパターヘッド速度の変化をインパクト前後 0.1sec の時間帯の変化 (図 5) から, 目標距離に応じて速度を増加させていた. 物理振り子の最高値は dis05 から順に 0.76 m/sec, 0.96 m/sec, 1.03 m/sec, 1.26 m/sec, 1.40 m/sec であった. 一方

ゴルファーの最高値は dis05 から順に 0.68 ± 0.05 m/sec, 0.85 ± 0.04 m/sec, 1.00 ± 0.06 m/sec, 1.12 ± 0.06 m/sec, 1.26 ± 0.08 m/sec とやや物理振り子より低い値を示した。

3・4 ボールの初速度

ボールの初速度はインパクト直後の速度とした。目標距離の増加とともにボール初速度も増加していた (図 6)。目標距離の dis05 を除くとゴルファーより物理振り子が上回っていることが分かった。

4. 考 察

パッティング動作中のパターヘッドの動きは、アドレス→バックスイング→トップオブスイング→ダウンスイング→インパクト→フォロースルー→フィニッシュ (動作終了) と各ポイントを通過する軌道を描いており、パターヘッドの軌道はドライバーショットなどのクラブを使用した打動作に比べヘッドの軌道が通過するポイントから外れることが極めて少ない単純な動作である⁽¹⁾⁽⁶⁾。それ故、“A pendulum stroke”⁽²⁾が合理的なパッティング動作だと考えられている。しかしながら、1ピン以内と言われる 2.5m までの短い目標距離についてゴルファーのパッティング動作と物理振り子を比較したところ、振幅や動作時間、パターヘッド速度に差異が認められた。

先の研究⁽⁶⁾では、2m から 10m まで 2m 刻みの目標距離を設定して実験を行った。その結果、ゴルファーも物理振り子も目標距離の増加に伴い振幅を増加させていた。目標距離毎の差は物理振り子が大きく、ゴルファーは小さな振幅でも目標に到達するような打ち方をしていることが示唆された。ゴルファーの動作も物理振り子も振幅を大きくすることで、インパクトに向けて速度を増加させやすく、ボールに加えらるエネルギーを大きくすることが可能であると考えられる。目標距離を 2.5m 以内とした本研究においても、DS 期の振幅を比較するとゴルファーは物理振り子の約 70% の振幅であった。しかもゴルファーの振幅は、2.5m の目標距離でさえ 18.3 ± 5.7 cm と小さな値であり、物理振り子は 29.6cm でその差は顕著であった。このようにゴルファーの場合 0.5cm から 2.5m までの 50cm 毎の目標距離の増加において、約 10cm の振幅の中で打ち分けていることが示された。それに対して人為的な外力を加えていない物理振り子は、DS 中インパクトに向けての加速に対する調整はまったく行われないことが理解できるが、物理振り子の 0.5cm から 2.5m までの差が約 20cm あり、ゴルファーとの差が顕著に現われた。

DS 開始からインパクトまでの時間は、ゴルファーのパッティング動作と物理振り子の 5 つの目標距離において差がみられなかった (図 4)。1m から 4m までのパッティング実験を行った D.Delay ら⁽⁶⁾も DS 時間が試技間においてほぼ一定であったと報告をしていることから、振幅の大きさが変化してもインパクトまでの時間の調整がなされていると推察できる。

物理振り子は DS 期も FT 期も時間は同等な値を示していたにも関わらず、ゴルファーのパッティング動作時間は DS 期より FT 期が約 1.8 倍も長かった。これはゴルファーの FT 期の振幅が長かったことによると考えられる。物理振り子は DS 開始から人為的な外力を加えることなく動き始めており、インパクト後も振幅はやや小さくなっていたが、DS 期とほぼ同等の時間でその周期を終えている。これらのことから、ゴルファーのパッティング動作と物理振り子のパターヘッドの動きにおいて、振幅の大きさと時間が異なり、振り子のような振幅と時間でパターヘッドを動かしていないことが示唆された。

動作中のパターヘッド速度はいずれもインパクト前に最高値が出現していた。そして、いずれの目標距離においても物理振り子の速度が上回っていた。ゴルファーのパターヘッド速度の変化 (図 5) ではインパクト後速度は減少するものの、その速度を維持するように動かしていることが観察できる。ゴルファーのパッティング動作は、インパクト時に動きを集約する (例えば、インパクトの瞬間にパターヘッドを停止させるような動き) 様な動きをしない為、インパクト後もパターヘッド速度の減衰を出来るだけ少なくするようにインパクト後の FT にまで意識した動作を行っていたと考えられる。以上のことから、DS 期と FT 期の振幅の大きさや動作時間に差が現われたと考えられる。

ボール初速度は目標距離の 0.5m を除いて、全て物理振り子がゴルファーより上回っていた。物理振り子のインパクトはボールに直角に当たるよう設定された。本研究において、ゴルファーはパターヘッドを動か

す前にグリップ部をカップ側へやや倒し（フォワードプレス）動作を開始していることが映像から観察できた。この動きによってボールへの衝突角度が物理振り子のボールとの衝突の状態が異なっていたと考えられる。本研究ではインパクト時の衝撃力とその持続時間（ボールとパターの接触時間）が未計測で、ボールに加わる力積を求められていない。熟練者のパターの軌道は低い位置から DS を開始し、インパクト前後を地面に対し水平を保っている⁽⁷⁾ という報告がある。物理振り子は高い位置から振り下ろされ高い位置で周期を終了する。このようなパターヘッドの動きと異なり、ゴルファーはインパクト前後のパターヘッドを地面に対し水平な軌道となるような動きをしていると思われる。以上のことから、2.5m 以内の短い目標距離でさえ各々の距離を打ち分ける動きをゴルファーが遂行していたと考えられる。

本研究においてゴルファーの身体動作の分析は行われていない。ゴルファーが見せた小さな振幅によるパッティング動作はモーターコントロールが働いていると考えられるが、身体動作のキネマティクスやキネティクスのデータを解析することにより、距離や方向性のコントロールについてより深い理解が得られるだろう。

5. 結 語

ゴルファーのパッティング動作と物理振り子のパッティング動作を比較したところ、DS 期及び FT 期の振幅の大きさ及び時間、インパクト時のパターヘッド速度、ボール初速度に差異を確認することができ、そこに力学的な違いが存在していることも理解できた。また、2.5m 以内の短い目標距離のパッティングを成功に導く（カップイン）為のモーターコントロールの作用が働いていることが推測される。

パターを固定した単純な振り子運動をする物理振り子は巧みな運動制御は不可能である。パッティング動作にかかわらず微妙な調整を要求される巧みな動作は、関節を固定させてしまうような筋の収縮は不要である。“A pendulum stroke”と言われる打法を多くのゴルファーが推奨し実践しているが、実際のゴルファーの動きから振り子の動きを模倣している動作とは言明できない。

文 献

- (1) Fairweather M.M. A critical examination of motor control and transfer issues in putting. In: *Thain E, editer. Science and golf VI. Proceedings of the 2002 World Scientific Congress of Golf; E & FN Spon, 2002: 100-12*
- (2) Pelz D. Dave Pelz's putting bible. New York: *Randon House Publishers*.2000.
- (3) Brooks R.J. Is it a pendulum, is it a plane? – Mathematical models of putting. *Science and golf VI. Proceedings of the 2002 World Scientific Congress of Golf; E & FN Spon, 2002: 127-141*
- (4) 野澤むつこ, 新井哲平, 田中克昌, 須田和裕, “物理振り子とパッティング動作の比較”, *Symposium on Sports Engineering 2006. Symposium on Human Dynamics*. pp. 181-185
- (5) Winter D.A. *Biomechanics and Motor Control of human Movement. 2nd ed.*, 64-66
- (6) Karlsen J., Smith G. & Nilsson J. The stroke has only a minor influence on direction consistency in golf putting among elite players. *Journal of Sports Sciences*, February 1st 2008; 26(3): 243-250
- (7) Delay D., Nougier V., Orliaguet V., et al. Movement control in golf putting. *Human Movement Science* 1997; 16(5): 597-619