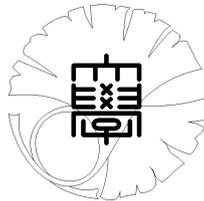


数理科学実践研究レター 2023-7 April 05, 2023

ゴルフスイングの数理的解析

by

齋藤 勇太



UNIVERSITY OF TOKYO

GRADUATE SCHOOL OF MATHEMATICAL SCIENCES

KOMABA, TOKYO, JAPAN

ゴルフスイングの数理的解析

齋藤勇太¹ (東京大学大学院数理科学研究科)

Yuta Saito (Graduate School of Mathematical Sciences, The University of Tokyo)

概要

ゴルフスイングは体の様々な部位が連動して動くことにより行われる行為でありその全体を解析するのは難しい. 今回は初心者指導への応用を目標としてどのようにゴルフスイングを評価し, その改善手法をどのように提案するのかを数理的な解析を用いて考える.

1 はじめに

ゴルフスイングは様々な体の部位が連動して動くことにより行われる行為である. その要素としては

- アドレス (ゴルフボールを打つための構え)
- スイングプレーン (スイング中のクラブヘッドの軌道を含む平面及び肩の軌道を含む平面)
- 捻転差 (スイング中の体の捻り)
- スイング中の手首の角度
- インパクトの瞬間のクラブヘッドの角度

などがあり, その複雑な組み合わせによって結果的にゴルフボールが打ち出される. 今までゴルフの指導において, ゴルフスイングに関してはその複雑性もあいまって経験則を基にした指導がほとんどであり数理的なアプローチは数少ない. そこで今回, Trackman を始めとするゴルフスイングの測定器具から得られたデータを数理的に解析することによってスイングの評価を行い, どのようにスイングを改善すればよいかということを提案することを目標に研究を行った. また, 当然個人の体格差によって理想とするスイングが変わるため, この点についても理想のスイングを数理的に求めることでより個々人の事情にあった指導ができると考えられる. 特に理想のスイングを数理的に求めることについての先行研究としては [1] が挙げられ, ある一定の体格, 筋力の人間に対してスイング中の体の動きを簡略化してモデル化することにより最善のスイングを算出することに成功している.

2 スイングの分析手法について

1 はじめににおいて挙げたように, ゴルフスイングという行為は様々な要素が絡み合ったものであり, その最適化や改善点を見つけるのは困難が伴う. 既存の認識ではアドレスがスイングの要素の中で最も大事であり, 良いアドレスが構えられれば, その後力まずにスイングができれば良いスイングが振れるということになっている. そのような理想的なスイングに関しては [1] で行われたようなモデル化があるが, 実際初心者指導することを考えた時, 理想のスイングに対してノイズとなる余計な動き, 例えばスイング途中で手首を返したり体を余計に捻ったりといったアドレス以外のスイングの要素に目を向けなければならない. そのようなアドレス以外の要素に関してどれほどスイングに影響があり, またどのように改善していけばいいかをスイングの測定機器である Trackman や GEARS から取得できるデータや [1] のモデルの改善を通してスイングの数理的評価を行い, それを基にスイングの改善手法の提案を行うことを目標に研究を行った. 今回の研究においては特にスイングプレーンの観察によるスイングの評価手法の提案, 及び, 今回の課題提供をしていただいたアビームコンサルティング株式会社様に共有頂いたデータを基にしたスイングにおける飛距離に影響の多いと思われるスイングの要素の考察, そして [1] を基にしたスイングの物理モデルの改善に関して研究を行った.

¹ysaito@ms.u-tokyo.ac.jp

2.1 スイングプレーンを基準にしたスイングの数理的評価

スイングプレーンという言葉は二種類の平面を表す言葉として用いられており、一つはスイング中の肩の動きを含む平面を、もう一つはスイングのゴルフクラブのヘッドの軌道を含む平面を指す。以降では後者の意味のスイングプレーンについて述べる。打球を目的の方向に飛ばしかつ飛距離が最大になるような理想のスイングプレーンは、ボールを含み、肩の中心とボールを結ぶベクトル \vec{a} 及び打球の理想の進行方向のベクトル \vec{b} で張られるようなスイングプレーンであると考えられる。スイングがこの理想的なスイングプレーンから外れる分だけアドレスからの位置エネルギーや腕の力をロスして飛距離が伸びなかったり、打球が理想の進行方向から逸れるといったことが起こると考えられる。そこで、スイングの理想のスイングプレーンへの射影を考え、スイングプレーンとスイングの各点の距離をスイングの射影にそって線積分したものを算出することによりスイングの理想のスイングプレーンからのズレ D を定量的に量ることができると考えた。具体的に記述するために、スイングをスイングの始点が $\vec{x}(0)$ 、スイングの終点が $\vec{x}(1)$ となるような $[0, 1]$ 上の連続関数 $\vec{x}(t)$ で表すことにする。理想のスイングプレーンの単位法線ベクトルを $\vec{n} = \frac{\vec{a} \times \vec{b}}{|\vec{a} \times \vec{b}|}$ とすれば、スイングの各点の理想のスイングプレーンへの射影 $\vec{p}(t) = \vec{x}(t) - (\vec{x}(t), \vec{n}(t))\vec{n}(t)$ を考え、これを用いてスイングの各点での理想のスイングプレーンとの距離 $h(t) = |\vec{x}(t) - \vec{p}(t)|$ と表す。この下で

$$D = \int_{t=0}^{t=1} h(t) |d\vec{p}(t)|$$

とすれば D を算出できる。スイングの軌道は GEARS というモーションキャプチャー技術を用いた測定機器によりデータを得ることができるため、このデータを用いれば上記の値を算出することができる。この D という値の特性やこれを用いてスイングを評価することの正当性については今後実験を行うことで明らかにされることを期待している。

なお、今回の研究では打球の理想の進行方向 \vec{b} に関しては打ちっぱなしのようなただ飛距離を伸ばすことを目標とするような状況を想定しており、一般的に理想的と言われている足と平行な方向を \vec{b} として考えている。この仮定は初心者が理想のゴルフスイングを獲得するための指導を行うことに対して数理的アプローチを行う上では十分と思われるが、より実用的なシチュエーション、つまり実際のゴルフコースを回ることを考えると打球の理想の進行方向 \vec{b} はそのコースの形状や様態、プレイヤーが立っている場所の傾斜、プレイヤーに期待できるゴルフボールの飛距離などいろいろな要素に依存して決定されるべきものと予想され、これについて考察することは今後の課題と考えている。

2.2 Trackman のデータを用いたスイング解析

理想のスイングに関してはその要素の多さ、複雑さから経験値ベースで理想のスイングが想定されているのが現状である。これに関して、GEARS と比較して導入数も多くデータが多く取れる Trackman のデータを統計的に解析し、Trackman で取得できるデータのうちの要素が飛距離や打球方向と相関が強いのかを明らかにすることで、理想のスイングを考える際に着目すべきパラメータを決定するというアプローチを提案した。そのモデルケースとして今回課題提供頂いたアビームコンサルティング株式会社様からあるゴルフプロのゴルフスイングの Trackman データを共有いただいた中で統計的解析を行ったところ、図 1 のように 6 番アイアンにおいて、フェイスアングルと横の入射角の差を表す Face to Path というデータと飛距離 (図中の Total Flat-length) の間に強い相関があることがわかった。これは、ゴルフクラブがゴルフボールに与える力学的エネルギーと飛距離に相関があると考えた時、ゴルフクラブの持つ力学的エネルギーと相関が強いと考えられるクラブヘッドの速度よりもゴルフクラブのもつ力学的エネルギーをゴルフボールに伝導する効率に相関すると思われる Face to Path の方が飛距離を考えた時に重要視されるということを示唆しており、非常に興味深い結果である。

また Trackman はインパクトの瞬間のクラブヘッドの状態を測定するものであるためスイング中の体の状態は GEARS と違いわからないが、その測定値からインパクトの瞬間の手首の状態を再現することができる可能性はあると考えられ、今後の課題と考えている。

飛距離とFace To Pathの関係

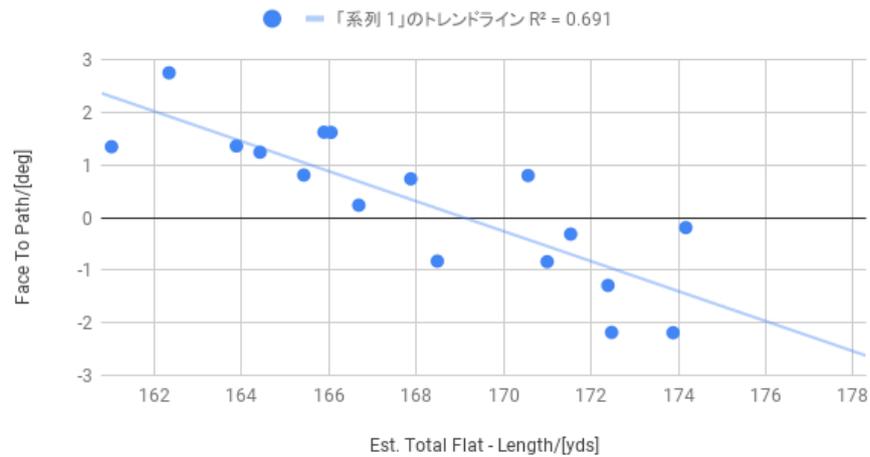


図 1: 6 番アイアンにおける飛距離と Face to Path の関係

2.3 スイングの物理モデルの改善

先行研究として挙げた論文 [1] ではスイング中の体の動きが胴体の回転、腕の内転・外転、腕の回内・回外、手首の内転・外転の 4 つの動きに簡略化してモデル化されており、さらに体の各部位の長さや筋力を一定のものとして打球の方向と飛距離に関する最適化問題を解くことによって最善のスイングを算出している。このスイングの物理モデルを基に、体の各部位の長さをパラメーター化することによって体格による理想のスイングの違いを算出することができ、あるいは各部位の筋力をパラメーター化することによりどの部位の筋肉を鍛えればどれだけゴルフの上達に役に立つかを提示することができると思われる。

また、スイング中の体の動きを上記の 4 つの動きに簡略化しているが、この可動部位を増やすことによってより正確なスイングのシミュレーションが行えることを期待することができる。例えば、アドレス時の体を頭頂部からみたときの両肩を結ぶラインと腰のラインのなす角度によって表現される捻転差と呼ばれる概念があり、これは経験則上飛距離を伸ばすのに重要な概念とされている。そこで [1] の中で一つの動きとして扱われている胴体の回転運動を肩のラインと腰のラインの二つの動きに分離してモデル化することにより、捻転差をつけることによる飛距離への寄与度合や捻転差を解消する効率的なタイミングを計算することができるようになるはずである。

3 終わりに

今回の活動でゴルフスイングを数理的に解析、または評価する方法について様々な提案をし、上記の通りできる限りの定式化と調査を行った。今後は提案した手法を基に実際にデータを取り、手法の改善や有用な手法の取舍選択をしたい。例えば、2.1 に関しては今回はスイングの始点から終点まで $h(t)$ を積分した値で評価することにしたが、他にも $h(t)$ の最大値を見たり平均値を見たり、またインパクトの前後だけ局所的に積分を行ったりと評価値 D の計算手法は様々考えられる。さらに、これらの評価手法の検証、改善を行った後、それを基に初心者とプロのデータを比較することで初心者のやりがちなミス、癖を見出したり上達の近道となるような指導を導いたりすることが最終目標である。最後に、課題や資料を提供いただいただけでなく、議論にも活発に参加していただいたアビームコンサルティング株式会社の武貞征孝さんに深い感謝を申し上げます。また、会合の日程調整や方針決め、研究内容の相談など多岐にわたり研究を助けていただいた、東京大学数理科学研究科の田中雄一郎先生にも深謝する。また、一緒に課題に取り組んで頂いた東京大学大学院理学系研究科の桑潤哉さんに感

謝する.

参考文献

- [1] D. Balzerson, J. Banerjee & J. McPhee, A Three-Dimensional Forward Dynamic Model of the Golf Swing Optimized for Ball Carry Distance. *Sports Eng* 19, 237-250(2016).