

モデリングの技：ゴルフスイングの 解析を例として

赤池 弘次

1. 「技」とイメージ

1.1 モデルとイメージの関係

モデリングの議論を進めるには、まずモデルとは何かを明らかにする必要がある。これについては、「モデルはイメージの具体的表現である」というのが、筆者の見方である。

この見方に従えば、まずイメージとは何かが問題になる。われわれは、ある物事あるいは問題に遭遇すると、これについて何らかのイメージが自然に心の中に発生したり、あるいは意識的にイメージを作り上げたりして、これに基づいて自分の行動を選択し決定する。この事実から見れば、イメージとは、当面の対象に関する知識や経験に基づき、心の中で対象を表現するもの、ということになる。

心と言うと、主観的で捉え難いもののように聞こえるが、イメージの構成は人間の主要な生理的な活動で、これがなくては人間らしく生きることができない。脳の活動の生理学的な側面からの研究で著名な神経学者 Antonio R. Damasio の言葉を借りれば、「イメージは我々の心の通貨」として、知的活動を支えているのである [1]。

ここで重要な点は、我々の心（複数）の通貨 (the currency of our minds) という表現で、異なる人の間で共通に利用され役に立つということである。これは、イメージの捉え方はそれぞれの人に依存する主観的なものであるが、イメージが伝えるものは誰でも利用可能であるという、イメージの間主観性 (intersubjectivity) を示している。

当面の対象についてのイメージがなくては、新しいモデルの構築は不可能である。既存のモデルを機械的に利用する場合にも、適用結果の解釈には対象とする問題の全体像としてのイメージが要求される。特定の

あかいけ ひろつぐ
統計数理研究所 名誉教授

問題あるいは対象についても、無限に多くのイメージが可能である。結局、ある対象に働きかける目的意識とイメージを構成する素材とが心の中になくは、イメージを固めることはできない。

モデルとイメージの間の大きな違いは、モデルの形を取ったイメージは誰にも使えるということである。モデルは、人と人との間で、心の通貨としてのイメージの機能を確立するものと言えよう。

1.2 モデリングと目的意識

モデルの構築は、まず対象についてのイメージから出発する。イメージを構成する素材としては、視覚や聴覚などのいわゆる五感や、さらに状況を直感する第六感などとともに、体の動きの感覚（体制感覚）がある。イメージは、これらの素材の利用を通じて構成される。

イメージの典型である視覚的なイメージについては、「心ここにあらざれば、見れども見えず」のことわざの通り、そこにイメージの原材料があっても、何かを見ようとする目的意識がなくては利用可能なイメージとして捉えられないことが具体的に確認される。

モデリングを進めるには、まず対象のイメージが必要であるが、視覚の例が示すように、イメージは目的意識がなくては得られない。結局、モデル構築の第一歩は、当面の対象について何を捉えようとするのかという、目的意識の明確化であることが明らかになる。

このことは至極当たり前のことであるが、モデリングという言葉の与える固定観念に影響されて、無意識の中に既存のモデルの与えるイメージに縛られる危険が日常的に発生する。この意味では、既存のモデルあるいはイメージの生む固定観念を打破することが、モデリングを成功させる第一歩ということになる。

1.3 「技」の活躍場面

視覚や聴覚などの五感や第六感、体の動きの感覚などを利用してイメージを構成する作業は、言葉による表現以前の場面で行われる。これを上手く遂行するに

は、言葉では表現しきれない「技」が要求される。名人と呼ばれる職人が、一定の材料から一つのイメージを具体化する作品を生み出す過程は、まさしくこの「技」の典型を示すものである。

イメージの間主観性（「心の通貨」としての特性）についての肝要な点は、イメージは利用場面を適切に制約すれば、客観的な知識と同様にその利用方法がほぼ一意的に決まるといえる点である。この場合、利用場面の具体的な指定が、モデルあるいはイメージの有効性の決め手となる。

これには、どのような状況でイメージが使われるかについての、知識と経験が要求される。それぞれの適用場面あるいは対象についての深い知識や経験が必要で、ここにも「技」あるいは暗黙知と呼ばれるものの必要性がある。誰にも使えるような形でイメージを捉えるのがこの場合の「技」である。

1.4 身体感覚の役割

アインシュタインは数学的発見の心理に関連して、言葉よりは視覚的なものや「筋肉的な」ものによるサイン（記号）やイメージを利用すると言っている[2]。この例や名工の仕事ぶりに具体的に見られるように、体の動きの感覚を鋭敏に捉えることは、モデリングに際して「技」を発揮する上での一つの要件になるものと考えられる。

モデリングは、感覚的に捉えられたイメージを目的意識によって取捨選択しながら、有効性と客観性の向上を進める作業と見なすことができる。この作業を進める段階では、筆者が「情報データ群」(Informational Data Set; IDS)と呼ぶ、当面の対象についての客観的知識、経験的知識、観測データなどのすべてが利用される。イメージは対象についての仮説として捉えられ、その妥当性、有効性が、IDSに照らし合わせて検討され、必要に応じてIDS自体の拡張が進められる。

このモデリングの過程では、ありとあらゆる思いつきが取り上げられ、その妥当性、有効性が検討される。筆者自身の経験によれば、この段階では「夜も眠らず昼寝して」当面の問題のイメージを追求し続ける。

この間、一見「がらくた」としか見えない思いつきでも、その有効性を追求しつづけると、「セレンディピティ」（偶然に幸運な発見をする能力；古代セイロンの王子らのおとぎ話の題名からの造語）が働く瞬間が訪れる。モデリングに成功する時には、程度の差こそあれ、常にこの瞬間を経験するわけである。

2. 具体例としてのゴルフスイング動作のモデリング

ゴルフのスイング動作とは、ボールを打つための道具であるクラブを振り、ボールを打って目的とする地点に運ぶ動作である。標準的な動きでは、右利きのゴルファーの場合、準備動作としてクラブを右に振り（バックスイング）、クラブが上がった所（トップ）から、引き下ろして（ダウンスイング）ボールを左方向に打つ（以後、右利きの場合を想定する）。

クラブは、棒（シャフト）の先端にボールを打つための重量物（ヘッド）を着けたもので、ヘッドの打撃面の傾き（ロフト）によりボールの上がり方が決まる。一つのクラブでは、飛距離は打撃（インパクト）の瞬間のヘッドの速度で決まり、飛球の方向はヘッドの動きの向きで決まる。

標準的な状況では、ヘッドの打撃面を目標方向に向けて保ちながら、打撃時に可能な限りの運動量をヘッドからボールに移すことを目指してスイング動作を実行する。地面の上に静止しているボールを目がけてクラブを振るだけの一見単純な動作であるが、多くのプレイヤーの長い苦闘の歴史が示すように、この動作の効果的な実現には極めて複雑な動きの制御が要求される。

これは文字通りの「技」の世界で、身体的能力の優れたゴルファーは経験の積み重ねで見事な動きを実現するが、筆者等のような普通のゴルファーは、どうすれば良い結果が得られるのかと大いに迷う。そこで求められるのがスイング動作のモデリングである。

2.1 スイング動作の目的

ゴルフスイングの標準的な場面では、芝の上に静止するボールを、クラブを振って目標方向に直線的に打つ。ゴルフのプレーでは、最小の打数でボールを目標地点（ホール）まで運ぶことが課題であるから、一つのクラブによるスイングでは、方向性を確保して可能な限り遠くまでボールを運ぶことがスイング動作の目標になる。これが基本的な目的意識である。本稿ではこの標準的な場面を想定して議論を進めることにする。

2.2 ゴルファーによるモデルの利用

体の動きを生み出す骨格や筋群などから構成されるシステムは、構成要素の数の多さと要素間の繋がり複雑さから、想像を超える程の多様な動きを生み出す。このシステムを実時間的に制御して目指す動きを作り出すことは至難の業となる。そこでスイングの概要を捉えるためにモデルが利用される。

まず上手なプレイヤーの動きを外から観察して目指す動きをイメージの形で捉え、これに沿って体の動きを調整する。一歩進めれば、優れたゴルファの動きを連続写真の形に記録したものをモデルとして利用する。

さらに、ゴルフの教師がしばしば利用するように、良いスイング動作に共通するクラブの動きを観察して幾何学的イメージの形で捉え、これをスイングのモデルとして動きの善し悪しの判断に利用する。

いずれの場合も、本質的なモデル構築の努力は優れたプレイヤーに任せ、ゴルファはこれを形の上で再現しようとするだけである。

ゴルフスイングの場合に限らず、一つの新しいモデルが開発されると、それを当面の問題に当てはめて処理することが流行する。当てはめが最重要の作業とみなされ、本来のイメージ構築に必要なモデリングの技の役割は無視されてしまうのである。

2.3 二重振り子モデル

外から見るスイングの動きのモデルとして典型的なものは、二重振り子モデルと呼ばれる数式モデルである。このモデルでは、クラブを握る手の握り（グリップ）が、スイング・センタと呼ばれる点を中心に円弧状に振られ、クラブはグリップを継ぎ手（ジョイント）としてその回りに円弧状に振られる。

スイング・センタを軸として振り子状に振られる腕に、振り子状に振られるクラブがグリップで繋がるところから、二重振り子モデルと呼ばれるわけである。

このモデルの適用については、英国ゴルフ協会（The Golf Society of Great Britain）によるゴルフ・スイングの組織的な研究成果報告[3]に詳しく論じられている。物理学者による同じモデルの適用例の議論もある[4]。

両者とも適当な位置に設定されたカメラによるスイングの高速写真像を基礎のデータとして用いている。前者ではグリップ（手の握り）の動きにモデルの数値的な当てはめが行われ、バックスイング（準備のための振り上げ）とダウンスイング（振り下ろし）に対し、異なる中心を持った円弧による近似が得られている。後者では、スイング・センタに左への加速を加え、ダウンスイングのクラブ・ヘッドの動きに対する近似を実現している。

いずれの例もインパクト直前までのデータへの当てはめに止まっている。スイング動作の目的の一つは打球の方向性の確保で、これには、インパクト付近でヘッドを平坦に近い軌道で安定に走らせる必要がある。

このモデルにはこれを実現する仕組みは内在していない。

3. ゴルフスイング動作の解析

二重振り子モデルの適用例は、モデリング以前にスイング動作の実態を知る必要があることを示す。有効なモデリングを進めるには、まず対象の実態の慎重な考察と解析が必要である。

3.1 言葉による解析

数式のような客観的な素材を利用してイメージを具体化するのが、普通に考えられるモデリングであるが、ゴルフスイングの場合には、体の動きの構成要素の複雑さのために、直接骨格や筋群の動きを素材としてモデリングを行うことは不可能である。

特に、体のバランスを保って安定に強力なスイング動作を実現するには、そのための神経系の働きが不可欠で、これまで考えると途方に暮れるほどの難しさがある。

実際にゴルファは考え過ぎると動けない。ゴルフ教師として著名であった Earnest Jones はこの事を指摘し、ひきがえるに、どの足がどの足の先に動くのか、と問われた百足（むかで）が、考え込んで溝に転げ落ちた、という戯れ歌を引用して考え過ぎを戒めている。

一方、二本脚で立つという動作自体が大変な仕事であるが、これを意識しないゴルファが多い。筆者はしばしば、「ゴルファは宇宙空間を遊泳する地球を足でつかんでぶら下がっている」と説明する。これにより、日頃自覚しない脚腰の動きとその効果に対する感度が高まる。言葉による表現が、モデリングの状況を明確化する上で最高の役割を果たす例である。

「地球にぶら下がる」（地球の上で体を脚で支えている）という意識を明確に持つと、ゴルファの動きの作り方に対する意識が変わる。この様な表現を見つかるのもモデリングの「技」の一つと言えよう。

個々の動きが無数の部分的な動きから構成されるために、スイング動作のモデリングには言葉による表現が不可欠になる。言葉による表現が、集団の特性を表現する統計的モデルの役割を果たすわけである。言葉で表現することにより、感覚的なイメージの間主観性が確保され、誰でも利用可能なものになる。

3.2 先入観念の妨げ

モデリングの成功を妨げる最大の要因は、先入観念である。筆者は以前、統計的な解析を進めるにはまずデータを見よ、という教えに対抗して、「目玉は信用

できない」と指摘したことがある。先入観があると、色眼鏡でデータを見ることになる。その危険はスイング解析の場合には特に大きい。

ゴルフスイングの場合、クラブは円周状に振られるものという基本的なイメージがある。多くのゴルフの書物を見ても、基本的な動きの表現として「背骨を軸に円周状に振る」、「左右対称に丸く振る」、「体の回転で振る」などの表現が用いられている。二重振り子モデルの場合にも、クラブ・ヘッドの観測データが示す円周状の動きの再現に関心が集中している。

スイングのモデリングの成功への第一歩は、この先入観の打破である。そこで、次にこれについての筆者自身の経験を書くことにする。

3.3 セレンディピティの発現

筆者自身は、体の動きの基礎的な知識を書物から拾い集め、スイングの動きの作り方についての書物の説明や、自身あるいは友人の経験を参考にし、さらに実際の打球の飛び方を観察してスイングのイメージを固めることを試みてきた。これは典型的な「情報データ群」(IDS)の利用例である。しかし、多年にわたる努力にもかかわらず、決定的なイメージには到達できなかった。

ところが、病気のために閉じこめられたベッドで、奇妙な経験をする。上を向いて左手を右に振り、これを左に振るという動きでは、右に振る時に左肘が体の前に振り出され、次いで左の外側に振り出される。この動きの左手に右手を軽く添えてみると、まず右肘が後ろに引き込まれ次いで引き出される。一言で言えば、左腕は左右、右腕は前後の動きになる。

左手にクラブを握り、大きく右に左にと振れば、この左腕の動きはごく自然に発生する。これに右手を添えてみると、両腕の動きは確かに左右対称ではない。

ここから、左手に右手を添えて左腕を右の遠くへ直線的に伸ばし、次いで左の遠くへ限度一杯に振る、という動きのイメージが得られる。これは、取るに足らない思いつきのように見えるが、これ程明快にスイング動作の非対称性を示す説明は、これまで見たり聞いたりしたことがない。そこで、その役割を明示するために、これを「革命的イメージ」と呼ぶことにした。

このイメージ自体は、一見「がらくた」風に見える。しかしその具体化を追求すると、次に見るようにスイングを確定する基本的な手懸かりとなる体の動きが見出される。セレンディピティ発現の一つの具体例である。

3.4 肩と腕の「魔法の動き」

「革命的イメージ」を具体化する形にクラブを振り、ボールを打ってみると、かなり良いショット(打球)が得られる。イメージに忠実に従って動きを大きくすると、左手の背中が地面の方を向き、これを覆って右手の平が地面の方を向く形の体勢で腕が右の遠くへ振られ、そこから左へ引き抜かれる。

この右への動きをさらにグリップ(手の握り)が上に引かれる所まで実行すると、肩と腕の動きの形がより明確になる。左肩は肩甲骨が前に引き出されながら上腕が外側に回り(外旋)、右肩は肩甲骨が背骨の方に引かれながら上腕が内側に回る(内旋)。この動きとともに、左前腕は外側に回り(回外)、右前腕は内側に回る(回内)。

さらに重要な点は、これらの動きとともに肘、手首、手の平などの関節が一定の形に固定されて手の動きが体の動きに直結し、体の動きでクラブを振る体勢が出来上がる。この肩と腕の動きがスイング動作に大きく影響することから、これを「魔法の動き」と呼ぶこととした。

ゴルフの文献には、しばしば魔法の動きと呼ばれるものが登場するが、肩から手に繋がる腕を固める(関節を固定筋で固定する)構造を明確に指摘したものは、筆者の知る限りでは存在しない。

出発点のモデルとして自由度の高い構造を採用し、これを観測データに当てはめながら自由度を減少させることで予測性を確保するのは、統計的モデルの決定で一般的に利用される手法である。スイングでは、自由に動き過ぎる腕や脚腰の動きから、不要な動きを取り去ることによって動きの再現性が確保される。

「魔法の動き」は、腕や手の動きに含まれる曖昧さを限度一杯に除去する。肩と腕の動きが固まれば、その後は手の動きに比べて自由度の低い脚腰背骨の動きの検討に集中できる。この意味で、肩と腕の「魔法の動き」の確定は、スイング動作のモデリングを組織的に進める上での貴重な第一歩であった。

この「魔法の動き」にはさらに驚くべき秘密が隠されている。これはモデリングの最終段階で明らかになる。

4. 実用的なスイングの構成

ここでは、使えそうなものは何でも試すことになる。

4.1 「直線打法」の導入

スイング動作の円周イメージからの脱却の第一歩と

して、「直線打法」と称する打法を導入した。これはバックスイングでクラブを右に直線的に振り、そこから左へ直線的に引き抜くものである。

頭を安定に保ってこの打法を実行すると、バックでは肩が右に回り、ダウンでは体の左側が緊張して、腕がグリップ（手の握り）を左へ引き抜く。

短いクラブでこの動きを実行すると、簡単に安定したショットが実現する。バックのスタートで「魔法の動き」を実行し、ダウンでは両腕を体の前を通して左へ引き抜く意識でグリップを引いてボールを打てばよい。

この動きに慣れた所で、バックスイングの動きをさらに大きくすると、クラブが上がり始める。この過程で常に肩と腕の「魔法の動き」を維持すると、グリップがトップ（頂点）に上がって止まる。この位置からクラブを引き戻して左へ引き抜くようにダウンスイングを実行する。これでかなり実用的なショットが実現する。これが「直線打法」である。

この打法のダウンスイングの特性を会得するには、右踵を浮かせて右脚をつま先で支え、左脚一本でスイングを実行する。これで体の安定を保ってスイング動作を実現する体の動きの感覚が得られる。ダウンで胸は左に回転せず、前向きに保たれる。

4.2 「超直線打法」の完成

「直線打法」の動きは、「革命的イメージ」をそのまま実用化しようとして得られたものである。ところが、「革命的イメージ」はベッドで上を向いて横たわる状態の中で着想されたもので、生まれた状況の影が現れている。この場合、背骨の大きな動きはベッドに妨げられて不可能であった。

これにより動きの自由度が極度に制約され、その結果、得られる動きの構造が単純になった。モデリングの視点からは極めて幸運な状況で、実用的な形に仕上げるのが容易になり、「直線打法」が得られたのである。

しかし、可能な限り遠くへボールを運ぶというスイング動作の目的の実現に必要な、大きな動きの可能性が排除されている。体の大きな動きを安定に発生させ、強力な腕振りの仕組みを作り上げることが次の課題となる。

ここで「地球を足でつかんでぶら下がる」というゴルフのイメージが具体的に働き始める。地球を足でつかんで振り回せば、その反作用によって腕とクラブが振られるはずである。この動きでは、立って体を安

定に保つ動きを背骨が実現し、必然的に強力な脚腰の筋群が働く。

このことから、脚腰と背骨の動きを適切に構成し、これによる体の動きで腕とクラブを振る、というモデリングの指針が得られる。基本的なものは背骨の動きによって得られる体の動きの構造である。

背骨（脊柱）は腰椎、胸椎、頸椎の三部分からなり、腰椎は前、胸椎は後ろ、頸椎は前に張り出すように彎曲している。それぞれの部分は脊椎の積み重ねで構成され、これらの脊椎がわずかずつ偏心しながら回転する動きの合成で背骨の動きが生まれる。

スイングの背骨の動きでは、背骨に沿って走る筋群の左右の緊張の差により各部の彎曲が左あるいは右に引かれるが、脊椎の回転的な動きが彎曲の向きと逆方向に発生して頭は安定に保たれる。面倒な仕組みの動きである。

4.2.1 バックスイングの構成

背骨の動きの仕組みは面倒でも、誰でもこれを使って体を動かしている。問題は意識的に動きを作ることであるが、これは容易である。棚の上の物を取ろうと手を伸ばせば、脚腰や背骨は自然に動く。腕の動きで背骨の動きを導き出せばよい。

そこで基本となる右腕の「魔法の動き」を確認する。脚腰を自然の状態にして置いて、右上腕の内旋（内側回し）を実行すると、右グリップが右に振られて腰（腰椎）の高さに振られる。ここでさらに内旋の動きを強めると胸（胸椎）の高さまで上がる。さらに動きを強めると首（頸椎）の高さまで上がる。この間、脚腰は自然に動いて動きを支える。この動きを利用する。

まず両脚の構えを決め、両腕でクラブを水平に構えた体勢から、ボールの位置にヘッドが下りるまで腰から上を前傾させ、クラブに対応する体勢（アドレス）を作る。ここから右腕の「魔法の動き」を実行すれば、グリップが腰の水準に上がり、胸の水準に上昇し、さらに首の水準にまで上がる。これで深いトップの体勢に入る。当然左腕の「魔法の動き」も併せて実行する。

深いトップの位置にグリップが上がると胸筋と背筋が引き伸ばされ、脚腰を含めて緊張が発生しバックスイングが完成する。

4.2.2 ダウンスイングの実行

ダウンスイングでは、頭を安定に保ちながらグリップを引き下ろして左へ振る。右肘が体側に沿って引き下ろされ、引き出されて右グリップを左へ振る。まさしく「革命的イメージ」の右腕の動きの拡張版である。

この動きでは、バックスイングで変形した背骨を元の形に引き戻す。背骨を安定に保持する深層の筋群は腰を通じて脚に繋がるから、その動きを効果的に利用するために「地球を足でつかんで振り回す」体勢を作る。

これには、肩と腕の「魔法の動き」における肘の固定に対応する「膝の固定」を利用する。膝の固定と同時に脚が固まり、体が瞬間的に押し上げられ、その反作用で足が強力に地面を押し、地球をつかむ。

同時に「腹を引き締める」動きを加えると、背骨を固める動きが発生し、体と負荷を安定な位置に導く。この動きで、胸の正面を保ったまま、腕とクラブが強力にインパクト圏を引き抜かれ、「超直線打法」が完成する。

しかし、モデリングの立場からは「魔法の動き」の秘密の解明が残る。神は細部に宿るのである。

4.2.3 インパクト圏の動きの微細構造

スタートでは、「魔法の動き」で左腕は上腕を外旋する。これとともに左前腕も回外し、手の平が内側に巻き込まれて小指側に引かれ、腕とグリップが固まって左肩が引き出され、ヘッドが直線的に右に引かれる。

対応する右腕の動きでは、上腕が内旋して肘が体側に引きつけられる。これとともに右前腕の回内が発生して右手の平が背中側に反り、小指側が前に引き出されて右グリップが固まり、ヘッドが右に直線的に引かれる。

このように、「魔法の動き」は打球の動きの反対方向にヘッドを引く。バックの各段階での「魔法の動き」は、ヘッドをトップに向けて振るわけである。

ダウンでは、背骨を引き戻す。ここで腹を引き締めると、背骨が固定されて腕が強力に左へ振られる。この間の背骨の動きにより、ダウンとインパクトで「魔法の動き」が発生する。

これはボールから遠ざかる向きにヘッドを振る不利な動きのように見えるが、これによりヘッドが目標線の内側に保たれると同時に、腕を振る筋（広背筋）が引き伸ばされて緊張し、強力なインパクトを実現する。

インパクトの「魔法の動き」では、左腕は上腕の外旋でクラブを振り、右腕は上腕の内旋で肘が体側に引き付けられ、前腕の回内（手首の返し）でクラブを振る。左腕と右前腕が、それぞれ二重振り子モデルの腕の動きでクラブを振る。

左腕とクラブの二重振り子は、左脇前の最低点で腕とクラブが直線的になる形の動きでヘッドを円弧状に

振り、右前腕とクラブは、右脇前の最低点で直線的になる形の動きでヘッドを円弧状に振る。左腕の動きはボールを目標線の右に打ち出し、右前腕の動きは左に打つ。

単純な二重振り子がカオスを生むことから推測されるように、一方の腕だけではインパクトの安定性確保は難しいが、二つの腕の動きがクラブのグリップ（握り）を通じて合成されることで自由度が減少し、インパクト圏では平坦かつ直線的な動きが安定に実現する。

これが「魔法の動き」の最高の秘密の実態である。インパクトの動きのモデリングはこれで完結する。その有効性は実験的に確認できる。スイングのクライマックスであるインパクトの動きを、このように構造的に捉えた例は、筆者の知る限りでは他にない。

こうして、スイング動作の最終的なモデルは、“一貫して「魔法の動き」を実行してトップに入れ、「地球をつかんで」引き下ろし、「腹を締めて」振り抜く”という、簡明な記述で与えられることとなった。

5. 終わりに

本稿では、実際問題のモデリングに際して要求される「技」に対する理解の広まりを願い、煩雑さを恐れながらも、筆者の体験をそのままに記述した。

モデルの実用には、グリップを含めてアドレスの体勢を適切に決め、「魔法の動き」を実現しやすい物理的特性のクラブを使うことが必要である。これはクラブの選択やデザインに繋がる話題である。

ゴルフスイングの解析については、多年にわたる白井支朗氏との議論、ならびに森正樹氏、駒沢勉氏による実証的検討の結果に負うところが大きい。本稿は池上敦子氏の適切な示唆に基づいて構成された。この機会に、これらの方々に心からの感謝を申し上げる。

追記：本報告の完成後、さらに実用性が高いモデルに到達したが、これについては別の機会に報告する。

参考文献

- [1] Antonio Damasio: The Feeling of What Happens, Harcourt, p. 319, 1999.
- [2] Jacques Hadamard: The Mathematician's Mind, Princeton University Press, pp. 142-143, 1996.
- [3] Alastair Cochran & John Stobbs: Search for The Perfect Swing, Triumph Books, 1986.
- [4] Theodore P. Jorgensen: The Physics of Golf, Second Edition, Springer, 1999.