

# 納度の概念の利用について

赤池 弘次<sup>†</sup>

(受付 2007 年 12 月 20 日)

## 要 旨

観測値に基づく統計的モデルの評価として対数尤度を利用することにより、モデルの比較選択の実用化が促進された。しかし従来のモデルの利用は与えられたデータに対する既知の構造の当てはめに止まり、モデルの構成法の議論は展開されていない。統計的思考法を科学的推論展開のための方法として発展させるには、言語によるモデル構成の方法論の議論が必要である。

この論文では、言語によるモデル構成の必然性と、その過程で得られるモデルの比較評価の規準としての納度(のうど)の利用を、ゴルフスイング動作解析の具体例によって説明する。

キーワード：モデル, likelihood, 尤度, 情報量規準, AIC, plausibility, 納度, ゴルフスイング動作.

## 1. はじめに

情報量規準 AIC の利用の展開を通じて、統計モデルの観測値に基づく評価値として、想定するモデルと真のモデル、あるいは理想的なモデルとの近似度の評価として、対数尤度を利用することが一般化した。これは真のモデルが不明、あるいは人により異なる場合にも合理的な評価と見なされるといふ、対数尤度の間主観性に基づくものである。この前進にも拘わらず、統計モデルは、与えられたデータの特性を測る柔軟性のある物差しの役割を果たすだけに止まっている。

その限界を明瞭に示すものとして、ゴルフのクラブを振るスイング動作の議論がある。従来の統計的解析は、調整可能なパラメータを含む機械的なモデルを実際のスイング動作の観測データに当てはめることで実行される。このようなモデルは、観測データの特性を記述するだけで、実際のスイング動作の作り方は示さない。実用のためにはモデルをスイング動作に翻訳する必要がある。

更により深刻な問題として、使用される観測データを生み出したスイング動作が良いものか否かの判断は不可能である。多くの観測例を利用してもこの問題は解決できない。このためには、動きの構造を直接追求する以外に方法はない。このような場合における新しいモデルの構成のための思考の展開こそが、統計的思考法の本来の役割である。実際の複雑な対象に立ち向かう際の特性解明の手順を検討することで、このような場面での科学的思考展開の方法論が得られる筈である。

筆者は、ゴルファーがクラブを振って求めるボールの飛びを実現させる体の動きのモデル化を取り上げ、この問題を追及してきた。その結果、関連する不確実な知識と観測結果の合理的な利用を展開する過程で、その手順に一定の型が繰り返し現れることを経験し、これを様々な

---

<sup>†</sup> 統計数理研究所 名誉教授：〒106-8569 東京都港区南麻布 4-6-7

段階でのモデルの構成に適用することにより、クラブを振る体の動きという極めて複雑な対象の構造を具体的に捉えるモデルに到達した。

この経験の過程から、利用可能な既存の知識と観測結果を結合し、対象のイメージとしてのモデルの構成要素の確定を進める際の一般的な手順として、既存の知識との一致性と予測的有効性の二つの側面からの評価が繰り返し適用されることを確認した。最終的なモデルの提案と評価にもこの二つの側面の検討が有効との認識に到達し、このような評価をモデルの見かけ上の信用度を示すものとして利用することにした。

この信用度を英訳する必要性に迫られて plausibility という語の適用を考え、アメリカの科学者であり哲学者であった Charles Sanders Peirce による plausibility の議論を確認したところ、probability, likelihood に続く最も低い程度の確からしさの表現として用いられていることを見出した (Buchler, 1955)。しかしその後の統計学の分野では、この概念の組織的な考察の展開は見られない。今回の提案は、plausibility をイメージあるいはモデルの言語的表現に対する評価としてその内容を具体的に定義するものであり、これを利用者の納得の程度、すなわち納得度と捉え、確率的モデルの尤度に対応させて納得(のうど)と呼ぶこととした。

これらの結果については、その大要を別の所で報告してあるが (Akaike, 2007)、我が国のより多くの統計学関連の研究者による検討に期待し、要点を簡明な形に纏めてここに報告する。より詳しい議論は別に発表の予定である (Akaike, 2008)。

## 2. モデル構成の実例：ゴルフスイング動作のモデル化

### 2.1 目的意識とセレンディピティー

モデリングの過程を導くものは、最終結果を目指す目的意識である。この目的意識に導かれてモデル構成の試みは無限に繰り返される。この過程でモデル構成の妨げとなる先入観が次第に力を弱め、その結果としてある時突然新しい見方が現れる。これがいわゆるセレンディピティー (serendipity) である (Merton and Barber, 2004)。

筆者自身によるゴルフスイング動作のモデリングの過程では、病気で閉じこめられたベッド上で限度一杯に大きく腕を左右に振る試みから、ゴルフの腕の動きを左腕は左右、右腕は上下の動きの組み合わせと見る見方が生まれた。これを従来の左右対称型の腕の動きのイメージと対比して「革命的イメージ」と呼ぶこととした。これは一種のセレンディピティの発現である。

体の動きを最小限に止めてこの動きの具体化を試みると、右腕は内側、左腕は外側に回るといふ、肩と腕の「魔法の動き」に導かれる。従来のゴルフ関係の文献には「マジック・ムーブ」と呼ばれるいくつかの動きが登場しているが、これらが部分的な動きの説明に止まるのに対して、検討の結果この肩と腕の「魔法の動き」はスイングの動き全体の構成を主導するものであることが認められた。

### 2.2 環境の認識

モデルの有効性の確保には、得られたモデルが利用される環境の認識が重要である。ゴルフの動きのモデリングの場合には、ゴルファーを、宇宙空間を遊泳する地球とクラブという小地球を結ぶシステム、と捉える必要がある。この認識に基づき、ゴルファーの動きを、足が地球を押す動きに対する地球の反作用をグリップ(手の握り)を通じてクラブを振る出力に変換するシステムと捉えることが可能になる。

この動きを支える仕組みは、体のバランスを確保する背骨の働きという体の内在的な機能に支えられる。この機能を利用しつつ、望ましい出力が得られるように足の動きとグリップの動きの対応を固めることにより、ゴルフスイング動作のモデルが得られる。

### 2.3 モデルの具体的構成

スイング動作のモデリングの最終目標は、目的に適したボールの飛びの実現である。ここでは基本的な打球の直線的な飛びの効果的な実現を目指す。この場合のモデルは、ゴルファーに実際の動きの作り方を示す言語による表現が求められる。従来の数理的なモデルの適用によって得られた結果では、実際利用に際してはその内容の言語的理解が要求される。このことを認識すれば、言語的表現によるモデリングが統計的思考展開の方法として基本的なものであることが明らかになる。

以下、ゴルフスイング動作のモデル構成の基本的な要素を記述する。

#### 「マジック・グリップ」

左手でクラブを横から握り、この左手の親指とクラブとを合わせて右手で横から握り、両手の握りが固まるように両腕の肘を伸ばすと、クラブを保持する手の握り(グリップ)が定まる。クラブが体の動きに直結して動くようになり、動きの不確実性が減少する。この手の握りを「マジック・グリップ」と呼ぶ。

#### 足の「螺旋」の動き

コルクの栓をスクリュー型の栓抜きで引き抜く時の両足の動きを、足の「螺旋」の動きと呼ぶ。この足の動きで体と地球の結びつきが固まる。両膝と両脚の体勢を固めれば、体の動きが足の「螺旋」の動きを通じて地球に直結する。

#### 背骨の動き

スイング中の背骨の動きは、腰椎が右に回りながら左に引かれ、胸椎が左に回りながら右に引かれ、頸椎が右に回りながら左に引かれ、全体として頭を安定に保持する。

#### 肩と腕の「魔法の動き」

右腕を内側に回し左腕を外側に回すことで、腕の動きが肩甲骨を通じて背骨の動きに繋がる。これが肩と腕の「魔法の動き」である。「マジック・グリップ」でこの肩と腕の動きを実行すると、これに対応する背骨の動きで脚腰の体勢が固まる。こうして背骨の動きを通じて腕の動きが足腰の動きに繋がり、前腕の動きに対応する動きが下腿の動きに現れて両足の「螺旋」の動きを生み、グリップの動きが地球に結び付けられる。

以上の体勢を確保することで、クラブの動きが体の動きに直結し、体の動きが地球に直結する。これによりクラブの動きのあり方がほぼ完全に決まる。結局スイングの動きから曖昧な部分が殆ど完全に排除され、モデルの単純化が実現する。この単純化がモデルの実用性を確保する。

クラブを体の右側から振り上げ、両脚の「螺旋」の動きを強めて方向転換の動きに入り、そこから一気に体の右前にグリップを押し、その限界で腕を伸ばせば、クラブ・ヘッドを直線的に左に押す体の動きが現れる。これで打球の方向性と飛距離の確保が実現する。

### 2.4 核心打法

このように単純化した動きのモデルによって実現する打法は、バックスイングにおけるグリップの右への動きの軌道と、ダウンスイングで引き下ろされるグリップの上から下への軌道が体の右側で十文字(核心; crux)の形に交叉するイメージとなる。この打法を核心打法(crux swing)と呼ぶことにする。この打法では、動きの各段階で腰の動きにより肩の回転面が正面向きに保たれる。これで打球の方向性が確保される。核心打法の構成の歴史的な過程は、筆者のブログ(<http://ameblo.jp/linear/>)に記録されている。

### 3. モデルの「納度」の検討

ゴルフスイング動作のモデル化の過程では、前項で取り上げた構成要素の内容を既存の知識と照合してその合理性を確認し、これらの組み合わせが実際の動作の中で有効に働くことを確認して来た。これら一つ一つの構成要素自体が、極度に複雑な体の動きを単純化して捉えモデル化したものであり、可能性のある様々な組み合わせの生むモデルを想定し、これらのモデルの「納度」の比較を通じて決定されて来た。その結果として、要素となる動きを利用者が確認することが可能になり、要素間の繋がりも実験的に確認できる。このモデルに基づく動きを適用して得られた核心打法で実際にボールを打つことを試みると、期待されたボールの直線的な飛びが得られることが確認される。こうしてこのモデルの「納度」は高いものと判断された。

この結果に基づき、現在の多くのゴルファーが実行しているスイング動作の特性が明瞭に捉えられることとなった。体の回転的な動きを多用するものと、「核心打法」のようにこの動きを最小限に止め、脚腰の上下の動きに対する地球の反作用を活用するものの二種類である。バックスイングとダウンスイングで異なる型の動きになる、両者の中間型も存在する。

### 4. モデルの単純化により納度が高まる

納度の概念の導入により、単純性がモデルの評価を高めるといふ、一般的な考え方の裏付けとなるものが明らかになる。単純な構成のモデルは、既存の知識との一致性と予測的有効性の確認が容易になる、すなわち納度の確認が可能になるからである。この見方を直接適用すると、極限までの単純化によりモデルが確定されることが予想される。

実際にベッドに枕をして上向きに横たわり、左手の親指を右手の平で握って「マジック・グリップ」の要領で腕を固め、このグリップを右から上に引き、さらに右後ろ方向に引き、そこから右脇前下方に押し伸ばせば、その限界でグリップが左に引かれるという、「核心打法」の動きが確認できる。各段階での肩の回転面が腰の動きで保持されることも確認できる。ベッドの圧力を背中に受けることで、体の不要な動きが完全に抑圧される結果である。これで「核心打法」の納度は高くなる。

### 5. 結び

統計的思考の本質は、過去からの知識、経験、観測値の集積が与える情報から、将来に向けての新しい知見を引き出すことである。このために利用される基本的な概念が確率であり、必要な確率の確定が従来の統計的思考法の中心課題であった。

しかし経験的には確率概念は正確な数学的記述なしでも使われる。数学的表現を求める場合にも、当面の問題解決に利用できる情報の集積から、確からしさの高いイメージに基づいてモデルを構成することから出発する以外に実際問題解決の方法はない。

このようなイメージの取り扱いの段階での統計的思考の働きによって、複雑性の高い対象に関する適切な対応が可能になる。これは一般的な科学的思考の展開過程そのものである。この状況での情報の有効利用の方法として、言語的表現によるモデルの構成を考え、その際モデルの良さを過去からの知識との一致性と予測的有効性の二点から評価するものとして納度の概念を提案した。過去からの知識との論理的整合性の高さや併せ、実際問題への適用における予測的有効性の高さを実験あるいは観測の結果に基づいて評価し、これらの高いものを高い納度を持つモデルとするのである。

これは極めて常識的な考え方である。この考えはゴルフスイング動作のモデリングの過程で着想したもので、極度に複雑な人体の動きを、部分的な構造とその間の結合の仕組みを納度の

検討を通じてモデル化することで、実用性の高いモデルに到達した。その結果は従来の機械的モデルの当てはめでは困難な、当面利用可能な観測データの構造を超える、ゴルフの実技に直結するモデル化に成功した。これは経験的知識の組織化のための思考展開における納度概念の有効性を示すものと考えられる。

#### 謝 辞

納度の議論はスキル・サイエンス国際シンポジウムのための論文中で始めて展開したもので、この機会を筆者に与えられた諏訪正樹教授(中京大学)に感謝する。

#### 参 考 文 献

- Akaike, H. (2007). Statistical thinking and golf swing analysis, presented at the International Symposium on Skill Science 2007, held at Keio University, Tokyo, on September 18, 2007.
- Akaike, H. (2008). Making statistical reasoning more productive, *Annals of the Institute of Statistical Mathematics* (submitted).
- Buchler, J. (ed.) (1955). *Philosophical Writings of Pierce*, Dover, New York.
- Merton, R. K. and Barber, E. (2004). *The Travels and Adventures of Serendipity*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

## On the Use of the Concept of Plausibility

Hirotsugu Akaike

Emeritus Professor, The Institute of Statistical Mathematics

The comparison and selection of models was enhanced by the use of log likelihood as the measure of the goodness of a statistical model based on an observation. However, conventional use of statistical models is limited to the application of known structures to the given data, and the discussion of the composition of new models is not developed yet. It is necessary to discuss the methodology of developing verbally defined models for the development of statistical reasoning as a method of general scientific reasoning.

In this paper the necessity of the construction of models by language and the application of the concept of plausibility for the evaluation of the resulting models are illustrated by a concrete example of the analysis of golf swing motion.