

打音によるゴルフ飛距離の評価

Evaluation of golf distance by impact sound

○ 山内 昭朋※, 坂野 進※※

○ Akitomo Yamauchi, Susumu Sakano

日本大学大学院工学研究科, 日本大学工学部

Nihon University, College of Engineering

キーワード: MT 法(Mahalanobis Taguti Method),ユークリッドの距離(Euclid Distance),EED 法(Evaluation by Euclid distance),直交表(Orthogonal array), 高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform)

連絡先: 〒963 - 1165 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地

日本大学 工学部 機械工学科 メカトロニクス研究室

坂野 進, Tel(024)956-8774, Fax(024)956-8860, E-mail:sakano@mech.ce.nihon-u.au.jp

1. はじめに

ゴルフにおける評価はボールの飛距離・方向性といった本来の機能だけではなく打球感・打球音も含めて総合的に評価される。機能向上に関しては数多くの報告が行われている。しかし、打球音などに関してはその評価方法も含めあまり研究されていない。そこで、本研究ではトーンジェネレータにより打球音を採取し、MTS 法を利用し、飛距離と打球音との関係性を評価していきたいと思う。

2. 原理と理論

2. 1 高速フーリエ変換

FFT とは高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform) のことで、フーリエ変換を一言でいうなら、時系列信号を周波数軸の信号に変換する方式である。振動検出器、マイクロホンなどセンサからの連続的信号電圧を、ある一定時間間隔で信号をサンプリングし、AD (アナログ-デジタル) 変換することにより FFT 演算を行っている。なお、この際に原信号には存在しない周波数成分が現れるエイリアシング

現象を防ぐため、サンプリングの前にローパスフィルタを使用している。FFT 処理された信号は、パワースペクトル・周波数応答関数を初めとする各種演算により、生波形解析では困難な設備の異常箇所の推定、構造物の固有振動数の測定などに有効に使用することが可能である

2. 2 MTS法

2. 2. 1 MTS法の概要

MTS(Mahalanobis Taguchi System)法は均質なデータ群(基準空間)を基準(原点)としてそこから比較対象データとの距離(マハラノビスの距離)を求め、その大小により比較対象データの有用性を評価するものである。多次元情報に対して一つの尺度を設ける手法であり、パターン差を距離で表す新しいパターン情報処理法である。

2. 2. 2 マハラノビスの距離

マハラノビスの距離は均質なデータ群(基準空間)より定まる基準点(原点)及び単位量に基づく多変量データの評価尺度である。MTS法では基準点を計測値の平均ベクトル値とし、単位量を基準空間に属する対象のマハラノビス距離の平均が1になるように定義しており、距離の大小により基準空間に対する比較対象データの帰属度を評価する。

ここでマハラノビスの距離の算出法¹⁾を以下に示す。

はじめに基準空間を決め、その計測特性を X_1, X_2, \dots, X_k とし、基準空間中の n 個の対象に対して各々 k 個の測定項目のデータを集め、それを基準空間データとする。 X_1, X_2, \dots, X_k の平均 m_1, m_2, \dots, m_k

と標準偏差 $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k$ を求め、次式から基準空間のデータを基準化する。

$$x_{ij} = \frac{X_{ij} - m_i}{\sigma_i} \quad (1)$$

($i=1, 2, \dots, k, j=1, 2, \dots, n$)

$$\begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{k1} & x_{k2} & \cdots & x_{kn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

次に基準化されたデータ((2)式)の相関行列 R を求める。

$$r_{ij} = \frac{1}{n} (x_{i1}x_{j1} + x_{i2}x_{j2} + \cdots + x_{in}x_{jn}) \quad (3)$$

($i, j=1, 2, \dots, k$)

$$R = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1k} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{k1} & r_{k2} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

相関行列 R の逆行列 A を求める。

$$A = R^{-1} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k1} & a_{k2} & \cdots & a_{kk} \end{pmatrix} \quad (5)$$

以上より作成したデータベースから、マハラノビスの距離 D^2 が求められる。

$$D^2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k a_{ij} x_i x_j \quad (6)$$

基準化していないデータ X_1, X_2, \dots, X_k を用いる場合は次式から求める。

$$D^2 = \frac{1}{k} \sum_{ij} a_{ij} \frac{(X_i - m_i)}{\sigma_i} \frac{(X_j - m_j)}{\sigma_j} \quad (7)$$

なお、データ間に相関がある場合、マハラノビスの距離となるが、相関がない場合にはユークリッドの基準空間を形成し、ユークリッドの距離となる。

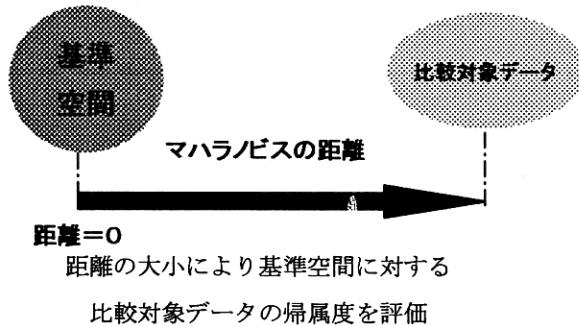


図1 MTS法

2.3 直交表

MTS法において基準空間を設定する際、生体組織（本研究では食肉）のデータベースを作成するには膨大な計測データが必要である。しかし、市販の食肉の計測データを数多く収集する事は困難であり、少ないデータ数で十分な実験効果を得る必要が生じた。そこで本研究では、少ないデータから仮想データを発生させる直交表を利用した。

直交表はラテン方格を発展させたもので

ある。例として表1に2水準の直交表 $L_4(2^3)$ を示す²⁾。表1からわかるように直交表は1つの列の各水準の中に他の列の各水準が全て同回ずつ現れる性質を持っている。そのため、少ないデータから仮想データを発生させることができ、スモールスケールの実験でラージスケールの結果が確認できる。また、求めるべき多くの要因効果を少ないデータ数から求めることが可能であり、実験データの精度向上につながる。なお、この手法を使うとデータ間の相関が0となる。

表1 2水準の直交表 $L_4(2^3)$

列番 No.	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

そのため、前述したように基準空間はユークリッドの基準空間となり、距離はユークリッドの距離となる。よって、本研究ではユークリッドの距離を用いた評価法をEED(Evaluation by Euclid distance)法と表すことにする。

3. 実験方法

(1)二本のゴルフクラブによってボールのインパクト音のデータ測定を行う。(クラブはドライバーを用いる。ヘッドの材料はチタンとする。)

- (2)マイクを通して音源であるトーンジェネレータに入力される測定データは WAVE FILE として出力される。
- (3)コンピュータ上に入力されたデータを FFT Analyzer という FFT 解析ソフトを用いて、周波数デシベル値データとして採取する。(20Hz から 22050Hz までのデータをとる。)
- (4)周波数を 255 等分し、対応する周波数のデータの平均を求め直交表 $L_{256}(2^{255})$ に貼り付け、基準空間を設定する。
- (5)先のデータをもとにデータベースの作成を行う。(200-209, 210-219, 220-229, 230-239, 240-249, 250 の平均のデータを採取)
- (6)MTS 法により解析を行い、ユークリッドの距離を求め、その大小により評価を行う。

4. 実験結果

以下に MTS (EED) 法による解析結果を示す。

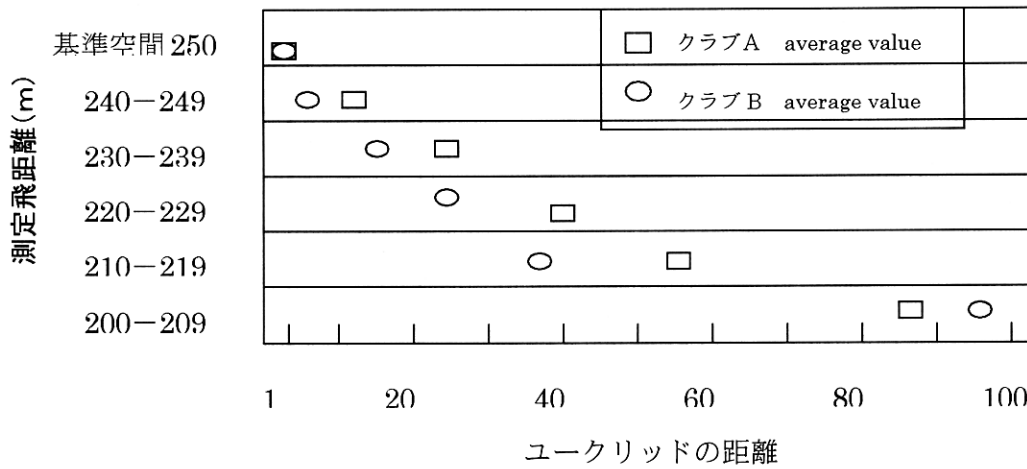


図2 各クラブにおける識別

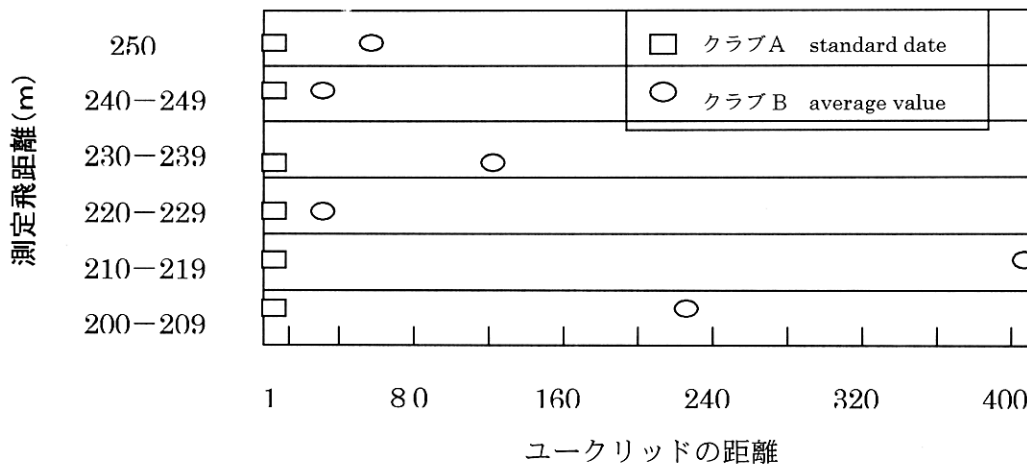


図3 異なるクラブにおけるユークリッドの距離

5. 考結言

本研究ではMT S法によってインパクト音の解析を行った。ゴルフの打球音と飛距離の間には関連があることがわかった。飛距離のある音は基準空間に近く飛距離が落ちると空間から遠ざかっていった。また、同じ材料同士での音と飛距離との関係はありえないと思われる。

6. 今後の課題

今回は同じ材料のクラブを使用し実験を行った。次からは異なった材料のクラブを使用し実験を行っていききたい。またボールの種類も異なったものを用いインパクト音をとり、評価していききたいと思う。

参考文献

- (1) Q E F 9 8 第6回品質工学研究発表大会論文全集、pp.382-387,(1998)
- (2) 鷲尾泰俊:実験の計画と解析, pp.237, 岩波書店, (1988)
- (3) 日本機会学会 シンポジウム講演論文集「ゴルフクラブヘッドの打球音に関する研究」
- (4) 日本機会学会 シンポジウム講演論文集「ウェーブレット解析とニューラルネットワークによるゴルフの打球音分析」
- (5) 佐川雅彦:高速フーリエ変換とその応用
- (6) 難波清一郎:音色の測定・評価法とその適用例