

音響振動法による果実の硬度評価

1. 打音とは

ここで説明する“打音”とは、農産物にインパルス状の機械的刺激を与え、その応答反応を音として計測するときの振動音のことである。インパルスとは、理論的には時間的幅が無限小で高さが無限大のパルスと定義されるが、実際の世界ではこのような刺激を与えることは不可能であり、短いパルス状、あるいはそれに近い刺激でもって代替される。すなわち、打音はインパルス応答の一つでもあり、対象試料の典型的な力学特性が反映されたデータとも解釈できる。

2. 周波数解析法とは

打音による品質評価は、スイカにおいては経験的によく行われており、叩いて、高い音色だと未熟、低い音色だと適熟と言われている。このことから、この音色の違いを装置で測定する周波数解析という試みが数多くなされてきた。マイクから電気変換された打音信号は、時間変化として取り込まれるため、時間領域において観察される。一方、打音信号は周波数の異なった正弦波をうまく組み合わせることで必ず再現できることが知られている。この場合、打音信号はさまざまな周波数の正弦波に分解できる。そして、この分解した各周波数の正弦波の強度（パワースペクトル）を、周波数領域から観察することを周波数解析法と呼ぶ。

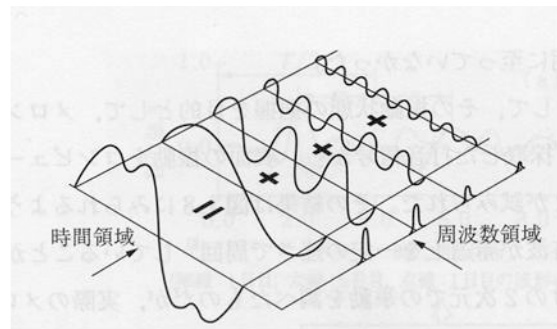


図1 周波数解析の意味

3. 離散フーリエ変換(DFT)

3-1. 【定義】離散フーリエ変換

N 個の整数点 $n = 0 \sim N-1$ におけるデータとして与えられる離散信号

$$x(n) \quad (n = 0, 1, \dots, N-1)$$

の離散フーリエ変換 (DFT) $X(k)$ は、

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi kn/N} \quad (k = 0 \sim N-1)$$

で与えられる。

3-2. 【定義】逆離散フーリエ変換 (IDFT)

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j2\pi kn/N} \quad (n = 0 \sim N-1)$$

3-3. 基本要素信号

DFT や逆 DFT の基本的な要素である複素指数信号 $e^{j2\pi kn/N}$ について述べる。
まず、 $k=1$ の基本要素（基本波）

$$e^{j2\pi kn/N} = \cos(2\pi kn/N) + j\sin(2\pi kn/N)$$

を考える。これは実部、虚部がともに周期 N の正弦波信号である。基本波 $e^{j2\pi kn/N}$ は時刻 n が変化すると、複素平面上の点列として与えられる。

3-4. スペクトル

離散フーリエ変換 $X(k)$ を、

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi kn/N}$$

とおくと、振幅スペクトル $|X(k)|$ 、パワースペクトル $|X(k)|^2$ 、位相スペクトル $\text{Arg}(k)$ はそれぞれ以下のように求めることができる。

$$|X(k)| = \sqrt{|X(k)|^2}$$

$$|X(k)|^2 = |X(k)|^2$$

$$\text{Arg}(k) = \text{Arg}(X(k)) - 10000$$

4. 打音による周波数解析と果実の硬度との関係

一般的に果実が軟らかくなるにつれて、各周波数ピークが低周波側に推移することが知られている。図 2 に、同一メロンの 2 日、6 日、10 日後の打音の周波数変化の様子を示している。このように周波数解析法は、人間が耳で判断していたことを機械により客観的に測定できるという点では優れていたが、一方でいくつかの問題点も残されていた。一つは、試料の大きさの影響を受けることが挙げられる。つまり、同じ硬さでも大きさが異なると周波数分布も異なってしまう、そのために密度や重量といったパラメータで大きさの補正が必要になってくる。二つには、図 2 にみられるようにいくつかの周波数ピークが現れ、その形状が硬さのみならず各個体、測定位置などでも変化するため、指標として着目すべきピークを容易に見出しづらい場合がある。そして、三つめに、なぜこのようにたくさんの周波数が現れ、軟化とともに低周波数側に推移していくのかという打音の生成機構が明らかでないことが挙げられる。

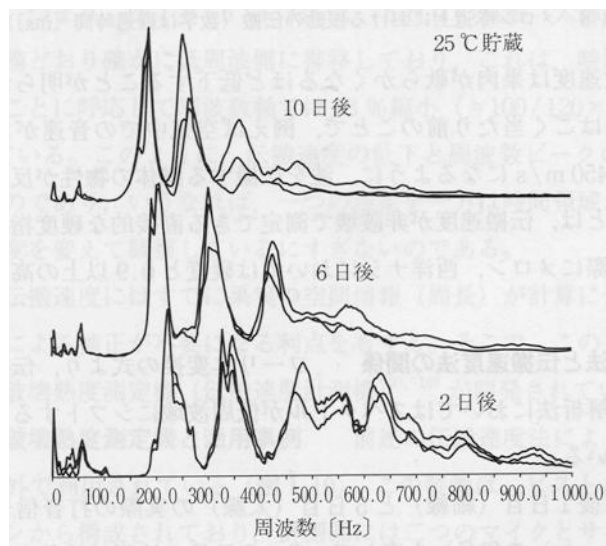


図 2 メロンにおける周波数解析の一例

5. 実験

5-1. 目的

打音を用いた周波数解析手法を用いて、果実の硬度と周波数の関係について明らかにする。

5-2. 供試材料

① リンゴ 4

品名：サン富士リンゴ（青森県産）

② 洋ナシ 4

品名：ラ・フランス（山形県産）

5-3. 実験装置

実験装置を図3に示す。

- ・割りばし（打撃用）
- ・マイク
- ・サウンドインターフェイス
- ・PC
- ・硬度計
- ・電子天秤

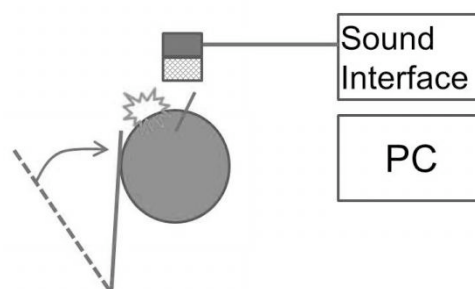


図3 実験装置

5-4. 実験方法

- ① 電子レンジによる加熱時間の違いから、4つの果実の硬度に変化をつける。
加熱時間：1. なし，2. 30秒，3. 1分，4. 2分
- ② 果実の重量を測定する。
- ③ 割りばしを用いて供試材料を打撃し、それにより発せられた打音をマイクで収集し、サウンドインターフェイスを通してPCで録音する。サンプルごとに3回打撃を行う。
録音のサンプリング周波数は96 kHz，サンプリングビットは16 bitに設定。録音ソフトは、Audacityを用いる。
- ④ 硬度計を用いて果実の硬度を測定する。

5-5. 解析方法

- ① Audacityを用いて周波数解析を行う。
- ② エクセルを用いてサンプルごとの周波数分布を図にする。
- ③ 特徴的なピークを見つける。
- ④ 硬度とピーク周波数の関係を図にする。
- ⑤ 考察する。

参考文献

- 1) 近藤直，西津貴久，小川雄一，林孝洋，清水浩，後藤清和：農産物性科学②—音・電気・光特性と生化学特性—，pp.6-7，コロナ社（2010）
- 2) 小畑秀文，浜田望，田村安孝：信号処理入門，pp.102-103，コロナ社（2007）