

# Evaluation of Beef Quality based on Electrical Impedance Analysis

(電気インピーダンス解析に基づく牛肉の品質評価)

井原 徳文 (201621043)

修論指導教員：北村 豊、粉川 美踏

## (背景と目的)

畜肉は世界中で食されている最も重要な食料源の1つである。それゆえに、畜肉の商品としての評価方法の構築は重要な課題であると言える。現在は、破壊的な評価方法である生物化学的な手法や検査員による目視が畜肉の評価方法として採用されているが、これらの手法は一定の技能を有する検査員の必要性や評価に時間を要するなどといった問題がある。そこで、熟成中の畜肉の非破壊的な評価方法に関する様々な研究が行われている。中でも、特に電気インピーダンス分光法(EIS: Electrical Impedance Spectroscopy)は、近赤外分光法や蛍光指紋法などの非破壊的な評価方法よりも比較的簡易かつ低コストであり、畜肉の熟成度合いの評価に応用する研究は数多く報告されている。しかしながら、EISに関する研究の多くが、ある任意の周波数数カ所におけるインピーダンス値と畜肉の熟成度合いの関係性についての報告であり、 $\alpha$ や $\beta$ 分散領域として知られる低周波域のインピーダンス値をすべて利用し、それを結合したものと畜肉の熟成度合いの関係性を示した例はほとんどない。そこで本研究では、 $\alpha$ 、 $\beta$ 分散領域におけるインピーダンス値を結合することで得られた新しい指標と畜肉の品質と関係性が深いと考えられる物理的な指標との相関関係を求めた。本研究で得られた新しい指標は食肉加工場で利用されることが期待される。

## (試料と実験方法)

と殺後2日経過した牛ロース肉 (*longissimus dorsi*, *Bos taurus*) を試料として用いた。試料は0, 2, 7, 21日間真空包装されたまま4°C条件下で熟成された。試料が有する物理的なパラメータとして、ドリップロス、クッキングロス、保水性、剪断力を、さらにインピー

ダンス値を各熟成日数ごとに測定した。なお、インピーダンス値の測定に電極の型が及ぼす影響を調べるために、プレート型、ニードル型、2種類の電極を用いた。インピーダンス値から得られた指標として積分インピーダンス比(IIR)、平均インピーダンス比(NIR)、修正版  $AI^Y$  (Mod  $AI^Y$ ) が定義され、これらの指標と物理的なパラメータの相関性を求めた。なお、IIR、NIRは、筋繊維に逆らう方向、沿った方向の電流から得られたインピーダンス値の比であるインピーダンス比(IR)を42 Hz から 10.79kHz の領域においてそれぞれ積分、平均化したものである。Mod  $AI^Y$  は 96 Hz、3.12 MHz において筋繊維に逆らう方向の電流から得られた各々のインピーダンス値の差に由来する指標である。さらに、熟成中に引き起こされる筋繊維の破壊がインピーダンス値や物理的な指標に及ぼす影響について調べるため、光学顕微鏡を用いた筋繊維の観察も行った。

## (結果)

図1, 2に示すように、3種類の電氣的指標(IIR, N.I.R., Mod  $AI^Y$ )と剪断力の相関( $0.52 \leq R^2 \leq 0.58$ )は熟成日数との相関( $0.34 \leq R^2 \leq 0.39$ )よりも高いものとなった。これより、物理的な指標、インピーダンス値の変化は同個体、同部位間であっても、測定箇所が大きく異なり、畜肉の熟成は必ずしも均一に引き起こされるものではないことが示唆された。加えて、電極の形状は電氣的指標と物理的な指標の関係性に大きく影響を及ぼすことがわかった。筋繊維は熟成が進むにつれて破壊され、この作用がインピーダンス値の低下や剪断力の低下などの物理的な指標の変化に寄与すると考えられたが、光学顕微鏡から得られた画像より破壊された筋繊維を定量化することが困難であるため、その関係性を明確にすることはできなかった。

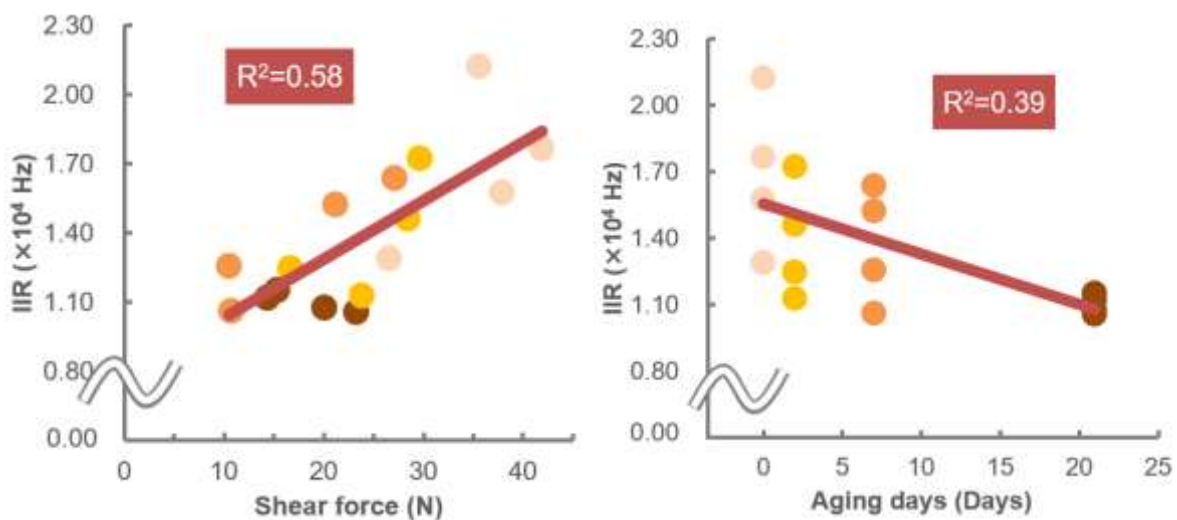


図.1 (左) プレート型電極より得られた IIR と剪断力の関係性

図.2 (右) プレート型電極より得られた IIR と熟成日数の関係性

各々の色 (●, ●, ●, ●) は熟成日数(0, 2, 7, 21) をそれぞれ示す。

# Evaluation of Beef Quality based on Electrical Impedance Analysis

(電気インピーダンス解析に基づく牛肉の品質評価)

Shinobu IHARA (201621043)

Supervisors : Yutaka KITAMURA, Mito KOKAWA

## (Background and objectives)

Meat is eaten all over the world and is a very important part of the diet. Therefore, determining the evaluation system for meat processing is a very important task. Usually, destructive methods as biochemical analysis or inspection by naked eye is used for evaluation of meat, but these methods are time-consuming and need skilled workers. Hence, there are many studies that focus on non-destructive evaluation methods for aging meat. Especially, Electrical Impedance Spectroscopy (EIS) has been reported as an effective non-destructive evaluation method because of its low cost and simplicity compared with the other non-destructive methods like fluorescence and near-infrared spectroscopy. However, although most of studies related to EIS focused on electrical impedance values using just several frequencies, the relationship between meat quality and combined electrical impedance on lower frequencies known as the  $\alpha$  and  $\beta$ -dispersion area is not clear. In the present study, EIS data on the  $\alpha$  and  $\beta$ -dispersion area was analyzed to obtain new indexes that correlate with physical properties of meat. The methods developed in this study could be used for quality inspection in the meat slaughterhouse.

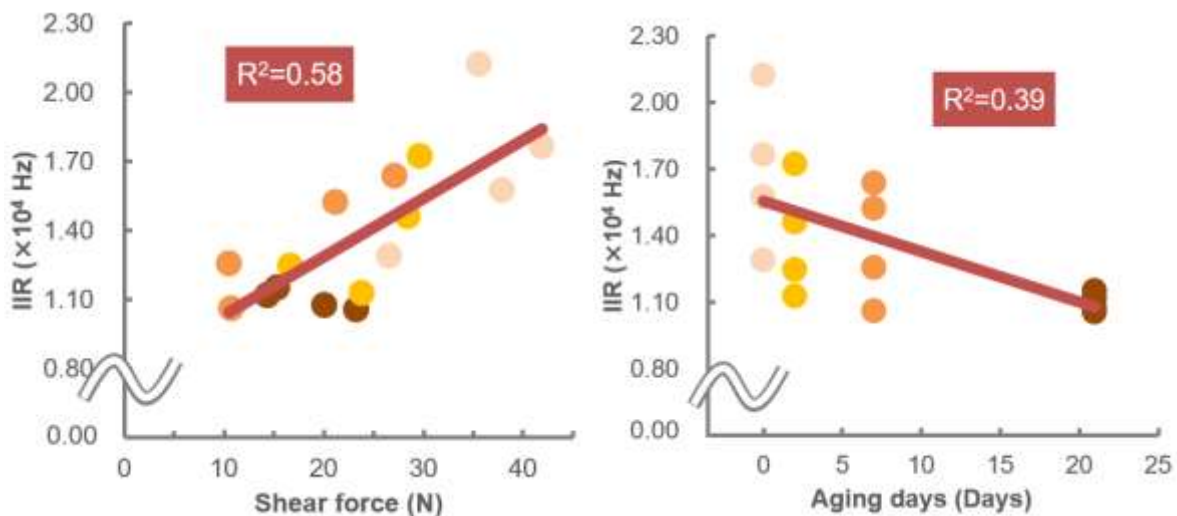
## (Materials and methods)

Beef loin (*longissimus dorsi* of *Bos taurus*) slaughtered after two days was used as materials, and was wet aged at 4°C for 0, 2, 7, 21 days. After each aging period, physical properties such as drip loss, cooking loss, water holding capacity, and shear force, and EIS data were measured. Two types of electrodes, plate and needle were used for EIS. The following electrical parameters

were determined from the EIS data, Integrated Impedance Ratio (IIR), Normalized Impedance Ratio (NIR), and Modified  $AI^Y$  (Mod  $AI^Y$ ). IIR and NIR were derived by integrating or averaging the Impedance Ratio (IR) from 42 Hz to 10.79 kHz, where IR is the ratio between electrical impedance measured parallel or perpendicular to the muscle fibers. Mod  $AI^Y$  was derived by the difference between EIS data of low (96 Hz) and high (3.12 MHz) frequency domains. The relationship between the physical properties and the three electrical parameters were analyzed. Moreover, muscle fibers were observed by optical microscope to unveil the effect of degradation of muscle fibers on changes in the electrical parameter and physical properties.

## (Results)

The investigated electrical parameters had higher correlations with shear force ( $0.52 \leq R^2 \leq 0.58$ ) compared to correlations with aging days ( $0.34 \leq R^2 \leq 0.39$ ) as shown in **Fig. 1** and **2**. Changes in physical properties depended much on measuring position despite using the same animal and same muscle, which suggested that aging treatment may not contribute uniformly to changes in physical properties. Moreover, the type of electrode had a large influence on the relationship between electrical parameters and physical properties. Although the observations by the optical microscope suggested that degradation of muscle fiber may contribute to changes in electrical properties and textual properties, it was difficult to make relationships between the images and the electrical parameters or physical properties due to the difficulty of quantification of degraded muscle fibers.



**Fig. 1 (Left)** Variation of IIR measured by plate type electrode with shear force during aging.

**Fig. 2 (Right)** Variation of IIR measured by plate type electrode with aging days.

Each different color (●, ●, ●, ●) indicates aging days (0, 2, 7, 21) respectively.