

エゾシカ肉のおいしさのリアルタイム計測

武山 真弓^{†,††a)} 佐藤 勝[†] 安井 崇[†] 横川 慎二^{†††}

Real-Time Measurement of the Palatability of Ezoshika Meat

Mayumi B. TAKEYAMA^{†,††a)}, Masaru SATO[†], Takashi YASUI[†],
and Shinji YOKOGAWA^{†††}

あらまし 野生鳥獣の駆除とジビエ利活用が全国的な展開を示す中、北海道ではエゾシカの食用としての利用は1割程度であることから、ジビエ利活用促進のための新たな取り組みが必要不可欠である。我々は、電気的な特性からエゾシカのおいしさを評価し、その解析に従来難しいとされてきた等価回路モデルを選定しなくても簡易な近似で等価回路モデルと遜色ない解析結果が得られるという新たな手法を見出した。更に、従来の化学的な手法や官能検査によるおいしさ評価も行い、電気的な特性との相関について検討した。我々の提案する手法は、リアルタイム計測であることから、食品分野などへの応用が大いに期待される。

キーワード エゾシカ肉, 生体電気インピーダンス, Cole-Cole プロット, リアルタイム計測, LCR メータ

1. まえがき

近年、野生鳥獣の被害が深刻度を増し、農林業分野だけでなく、住宅街など人間が暮らす地域に出没し、ニュースになることが多い。そのような中、ここ数年農林水産省において、野生鳥獣駆除とジビエ利活用という国家的な取り組みが始まっている [1]。

北海道では、エゾシカ（ニホンジカの亜種でその大きさは最大級）が爆発的な個体数の増加をたどり、農業・林業などに多大な被害を与え、最大被害総額は2011年度に64億円にも上る。そこで、北海道全域でエゾシカ対策に乗り出しているが [2]、駆除費用や処分料、更には電気柵などの設置費用が高むことなど問題が山積している。近年は各自治体や北海道などの精力的な取り組みが効果を上げ、エゾシカの個体数は徐々に減少傾向にあるとエゾシカ有識者会議で認識され、農業・林業の被害額も若干減少しつつある（図1参照）。一

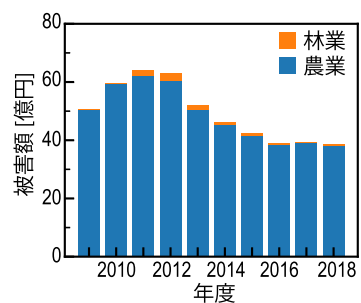


図1 エゾシカの農林業への被害額 [2]

方、交通事故被害数を図2に示すが、こちらは逆に増加しており、個体数が本当に減少しているのかが疑問である [3]。更に冒頭で述べたように、エゾシカの生活範囲の変化により交通事故が起こっているとも考えられる。このような中、農林水産省の国家的な取り組みはタイムリーであり、ジビエ利活用はこれらの問題解決にとって有益である。特に、エゾシカはジビエ料理として的高级食材であり、エゾシカ肉の栄養素を分析すると、低脂肪・高タンパクかつ鉄分を多く含むというヘルシーな食肉であるため [4]、ジビエ利活用の有望格と思われる。しかし、駆除したエゾシカを処理する施設の問題などにより、食用としての利用は1割程度と低いことが分かっている [5]。

そこで我々は、野生のエゾシカ肉のおいしさなどを

[†] 北見工業大学工学部, 北見市

Faculty of Engineering, Kitami Institute of Technology, 165 Koen-cho, Kitami-shi, 090-8507 Japan

^{††} WOW アライアンスメンバー

WOW Academia Alliance Member

^{†††} 電気通信大学 i-パワードエネルギー・システム研究センター, 調布市

The Info-Powered Energy System Research Center (iPERC), The University of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi, 182-8585 Japan

a) E-mail: takeyama@mail.kitami-it.ac.jp

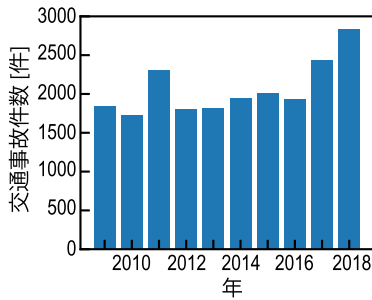


図2 エゾシカによる交通事故件数 [3]

見える化することでジビエ利活用を促進できるのではないかと考え、その検討を始めた。特に、エゾシカは鳥獣保護の観点から狩猟期間が限定されているため、冷凍あるいは熟成などの方法で長期保存しなければならなかったが、通常エゾシカは痛みやすく鉄分を多く含むがゆえの肉表面の変色など保存が難しい。また、野生動物であるため、どのような餌を食べているのかによっても肉質が異なると考えられることから、まずは指標作りからはじめなければならない。我々が着目したのは、生体電気インピーダンス法という電気的な特性を測定する方法である。おいしさを測定する場合、これまでは主に化学的な手法が用いられているが、これらは分析及び解析に時間を要する。それに対して我々が提案する電気的な手法は、リアルタイムで測定でき、野生のエゾシカ肉の品質保証、すなわち牛肉でいえば格付けに匹敵することを実現できる可能性が高い。しかし、電気的な特性は等価回路などを選定するのに時間を要し、食品業界など電気的な特性に精通していない分野ではあまり普及していなかった。

そこで本研究では、生体電気インピーダンス法による電気的な特性評価とそのデータ解析に関する独自の手法を確立したこと、更に官能検査の結果を統計的に処理するとともに、味覚センサなどの化学的な手法も取り入れ、総合的においしさを評価することを試みた。我々の最終目的としては、エゾシカの生態調査と適正数の把握、そして駆除したエゾシカのジビエ利活用を総合的に行うことが理想であるが、これには環境省と農林水産省、そして自治体などの多くの協力が必要不可欠であるため、第一弾としてジビエ利活用に向けた検討をピックアップして報告する。

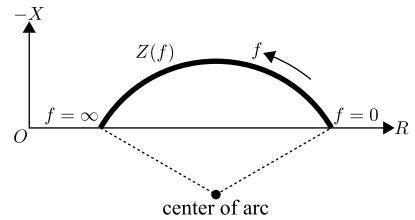


図3 生体組織のインピーダンスに対する Cole-Cole プロット

2. 実験方法

2.1 供試肉

エゾシカ肉は、北海道オホーツク地域にて駆除目的に捕獲された野生のエゾシカのもも肉を使用した。主に3歳程度のメスジカに限定して複数個体測定しているが、用途に応じて、5歳程度のオスジカも含まれており、冷凍したものも測定した。一方、ドライエイジングにて熟成及び半熟成された肉は、porowaccaの「北見エゾシカ」肉を用いた。

2.2 生体電気インピーダンス測定

測定には、HIOKI製 LCR メータ IM3536 を用い、周波数を 100Hz ~ 8MHz の範囲で変化させた。具体的にはエゾシカ肉に交流電流を流し、インピーダンス値及び容量値などを測定し、位相値などを算出した。また、生体組織のインピーダンスは Cole-Cole プロット上で図3に示すような円弧に近い状態で得られることが報告されている [6]~[8]。加えて、生体組織のインピーダンス $Z(f) = R(f) + jX(f)$ は周波数 f の増加に従って円弧上を図3に示す向きに移動することが知られている [9]。本実験においては、データ解析に必要な等価回路として古典的な Hayden のモデル [10]、定相要素 (Constant phase element: CPE) [8], [11] を用いた Zoltowski のモデルを想定し、複素非線形最小2乗法 [12] を用いた素子値の推定を行い、測定データとの相関を検討した。更に、そのような等価回路から得られた情報と我々が新たに提案する等価回路を用いない簡易な近似法との差異を検討した。

2.3 官能検査 (アンケート解析)

エゾシカ肉及び熟成エゾシカ肉のおいしさを測定するため、本学大学生協食堂の協力のもと、本研究の趣旨に賛同して協力いただけることを確認した学生、教員、職員に官能検査を行った。標準肉としてはホルスタイン牛のもも肉を用い、新鮮なエゾシカ肉あるいは

表1 官能検査を行ったグループと検査の内容

グループ	A	B	C	D
人数	36	31	25	30
実施時期	最初	最初	グループ B の試食後	グループ A の試食後
標準肉	牛肉（ローストビーフ）	牛肉（ローストビーフ）	牛肉（ローストビーフ）	牛肉（ローストビーフ）
検査肉	新鮮なエゾシカ肉のロースト	熟成エゾシカ肉のロースト	新鮮なエゾシカ肉のロースト	熟成エゾシカ肉のロースト

1. 水を一口飲んでください。
2. まず試料 1 を少しずつ、よく味わってください。
3. 水を一口飲んでください。
4. 次に、試料 2 を少しずつ、よく味わってください。
5. アンケートに記入してください。

図4 試食の手順

1. 標準肉のおいしさを 7 段階評価
2. 標準肉を「ふつう」として、検査肉のにおい、かみ心地、塩味、苦味、うま味を 7 段階評価
3. 標準肉と比べて検査肉の総合的な評価を 7 段階評価

図5 SD 法によるアンケートの構造

熟成エゾシカ肉はローストしたものをを用いた。その際、被験者には事前の印象による判断の偏りを予防するため、「試料 1」などとして表現した。検査にあたっては被験者を二つに分けてそれぞれ 2 回の試食を行い、合計 4 グループのデータを収集した。グループの詳細は表 1 に示す合計 122 名である。C, D グループの試食は、A, B グループの試食から十分に時間を置き、記憶による評価への影響を軽減した。なお、試食においては図 4 の手順を示し、同じ条件で試食されるようにしている。

アンケートでは、被験者の属性（性別と年齢層）と Semantic Differential (SD) [13],[14] 法による 7 段階の尺度データを収集した。なお、SD 法ではポジティブな評価に対して高い得点（最大 7）が、ネガティブな評価に対しては低い得点（最小 1）が与えられる。アンケートは図 5 に示す 3 ステップの構造とした。収集したデータは、データの比率に関する検定の後、ノンパラメトリックな方法による質的データ分析を実施した。分析には統計解析ソフトウェア JMP[®] Pro Ver.14 を用いた。

2.4 味覚センサ

おいしさの別の評価として、我々は Intelligent Sensor Technology, Inc の味認識センサ (TS-5000Z) による分析を行った。味覚センサでは、標準サンプルが必要であるが、エゾシカ肉の標準サンプルはないので、官能検査と同様、ホルスタイン牛のモモ肉を使用した。いずれのサンプルも 100°C でホモジナイズし、脂分や灰

汁などを取り除いた 5 倍希釈のものをを用いた。

3. 結果と検討

3.1 生体電気インピーダンス測定及びデータ解析

図 6 に、新鮮なエゾシカ肉の経時変化について検討した電気インピーダンス測定の結果を示す [15]。ここで、駆除目的で捕獲されたエゾシカ肉が我々の研究室に届いた日を 1 日目と記載し、それ以降冷蔵保存した状態を 2 日目、3 日目と表記した。更に、1 週間程度続けて測定を行ったが、4 日目以降は、肉表面が黒色に変色するとともに腐敗臭がしたため、生肉の状態での測定は 3 日目までとした。

1 日目のエゾシカ肉から得られた円弧は、図 6 の中で最も大きく、日数が経つにつれて円弧が徐々に小さくなっていく様子が見られる。また、高周波側の数値はほぼ一定となっているのに対して、低周波側の数値は日数を増すごとに小さくなっていくことが分かる。

一方、冷凍や熟成状態ではどのような電気的な特性になるのかを調べるために、図 7 に冷凍、半熟成、熟成したエゾシカ肉の電気インピーダンス測定結果を示す。図から、先の 1 日目～3 日目のエゾシカ肉の特性と比べて、極端に小さい円弧が見られていることが分かる。更にその中で、生肉を冷凍した状態のものが最も抵抗成分が大きく、それから半熟成、熟成肉になるにつれて、抵抗成分が小さくなっていく傾向にあることが分かる。このように、それぞれの肉の円弧は、明確に分離できていることから、これらの測定結果を参照することで、熟成度の評価が可能であり、かつ熟成が終了しているかどうか、あるいは冷凍された肉なのか生肉なのかなど肉の状態を判別できる手法として、生体電気インピーダンス法が有用であることが示された。

次に、エゾシカ肉に対する生体電気インピーダンスの測定値と等価回路モデルのインピーダンスの周波数依存性を図 8 に示す。等価回路モデルは図 9 に示すように、古典的な等価回路で知られる Hayden のモデル（図 9(a)）[10],[16] と、CPE を用いた Zoltowski のモデル（図 9(b)）[11],[16] を用いた。回路パラメー

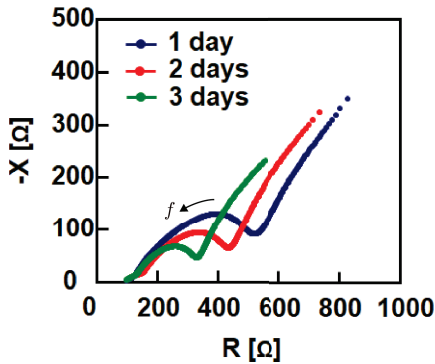


図6 エゾシカ肉の電気インピーダンス測定結果 [15]

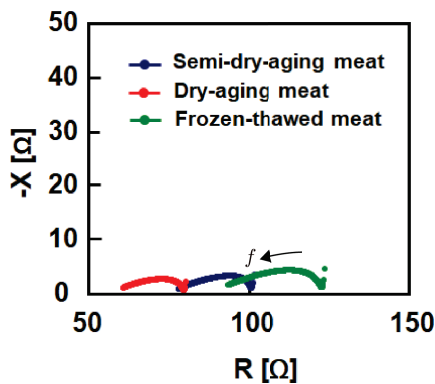


図7 冷凍、半熟成、熟成エゾシカ肉の電気インピーダンス測定結果 [15]

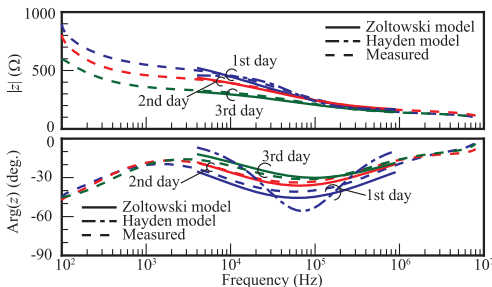


図8 エゾシカ肉の一つのサンプルに対するボード線図 [16]

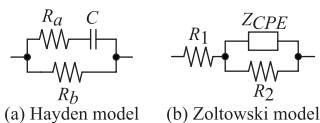


図9 等価回路モデル [10],[11],[16]

タの決定には、Cole-Cole プロット上で円弧状の軌跡を描く周波数 4kHz ~ 1MHz の範囲の測定値に対し複素非線形最小 2 乗法 [12] を使用した。ここで、

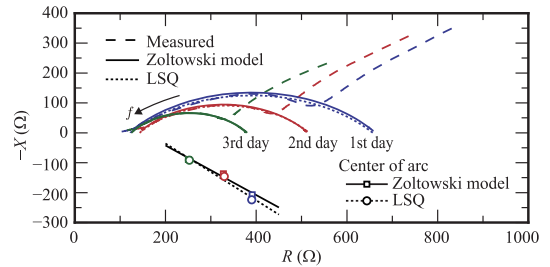


図10 等価回路モデルによる経時変化の解析 [16]

$Z_{CPE} = [(j\omega)PT]^{-1}$ は、CPE のインピーダンスであり、 p ($0 \leq p \leq 1$) は CPE 指数、 T ($F \cdot s^{(p-1)}$) は CPE 定数である。この周波数範囲において、Zoltowski のモデルは測定値をよく表しているが、Hayden のモデルは測定値と大きく異なる。この理由としては、Hayden のモデルは一つの時定数をもつ等価回路であり、サンプルのエゾシカ肉全体を単一の細胞として表現していることが起因しているものと思われる。実際、魚や野菜などの生体電気インピーダンス法の測定においても、Hayden のモデルでは測定値と異なることから、Hayden のモデルを修正した新たな等価回路を設定する報告が見られる [8],[10]。我々の結果とこれらの報告とも共通する事象として、実際のサンプルは多くの細胞からなるのに対して、Hayden のモデルは全体を一つの細胞からなるものと仮定していることが主な原因と考えられる。一方、Zoltowski のモデルの軌跡は、測定値とよく一致していることが分かる。これらの結果から、我々は等価回路モデルとして、Zoltowski のモデルを用いることとした。

ここで、図6の測定値にZoltowskiのモデルのシミュレーション結果を示したものを図10に新たに示す。先の周波数依存性の測定結果と同様、Cole-Cole プロットの円弧も測定値とよく一致していることが分かる。しかしながら、このように得られたサンプルによって等価回路を修正してシミュレーションを行うことは、専門家にとっては容易でも、他の分野に普及させるといふ点では難しいと思われる。計測自体はリアルタイムで行えるという利点を最大限に活用するには、等価回路ではなく簡易な近似法の導入が不可欠と考え、我々は測定データの円弧を完全な円とみなし、円の方程式に対する最小 2 乗法 (Least Squares: LSQ) [17] を使用し、その中心点を図7に併記した。LSQ で得た円弧は周波数に対する情報をもっていないが、等価回路の素子値の決定と比べてより簡便な演算で等価回

路と同様の円弧を得ることができた。LSQによる近似ではアルゴリズムが簡便であり、かつ適切な等価回路モデルの探索が不要であることから、今後の食品などの分野における生体電気インピーダンス法の導入の可能性を飛躍的に増加させることができるものと思われる。更に我々は、円弧自体は個体によって数値が変動するため、何らかの別の指標を見出せないものかと、円の中心点を Cole-Cole プロット上にプロットしてみたところ、直線状に載ることが分かった。更に、先の等価回路モデルによる円弧の中心もプロットしたところ、ほぼ同様の値を示すことが明らかとなった。これらの円の中心点は左上にはほぼ直線状に移動しており、ここにエゾシカ肉の経時変化の特徴が現れていることが確認できる。他のサンプルにおいても同様の傾向を示すことを我々は確認しており、この円の中心点の推移で経時変化の傾向を見出せることを新たに示すことができた。

3.2 官能検査と味覚センサ

食肉のおいしさを決める主たる要因は、調理前の概観に関するものと、調理後口に入れてから知覚されるものに大別される。しかしながら、食べたときに感じるおいしさは、年齢、性別、普段の食生活などによって基準が異なる上、同じ人間でもその日の体調によって変化することから、おいしさを評価することは極めて難しい。しかしながら、エゾシカ肉については、まず「エゾシカ肉」というイメージが先行し、更に野生肉固有の獣臭さ、モソモソする硬い食感などがおいしくないと思わせていることが、エゾシカ肉を普及させようとしている自治体のアンケート結果などから如実に現れている。

そこで我々は、エゾシカ肉の臭みを取り、やわらかい食感が得られれば、エゾシカ肉のジビエ利活用を促進することができるものと考え、エゾシカ肉がおいしく食べられるレシピについて、幾つか候補を選定し、その中でおいしいという評価が得られたローストを採用し、官能検査を行った。今回実施した官能検査の属性分布を表2に示す[18]。表2より、被験者の約2/3が男性であること、年齢層10～30代を中心に構成されていることが分かる。被験者のバランスが理想的ではないが、工学部での官能検査なので仕方がない面もある。そこでまずこの被験者のバランスについて問題があるか検討した。第一ステップの標準肉に対する評価と第三ステップの検査肉の総合評価に対して、性別差、年齢層差の分割表の検定を行った。ゆう度比検

表2 被験者の属性分布[18]

年齢	性別		合計
	男性	女性	
10代	0	14	14
20代	14	53	67
30代	10	8	18
40代	4	2	6
50代	4	8	12
60代以上	0	4	4
合計	32	89	121

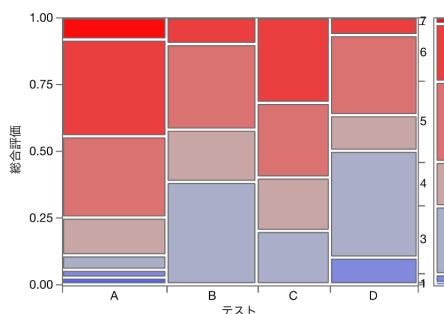


図11 総合評価のグループ間差モザイクプロット。各グループの幅は被験者比率を示し、暖色ほど評価が高いことを示す[18]

定[19],[20]の結果は、いずれも帰無仮説が棄却されず(5%有意水準)、差があるとはいえない結果となった。そこで、今回の官能検査では、性別差、年齢層差はないものとして分析を進める。次に、各被験者における標準肉に対する評価と検査肉に対する評価の相関を検討した。対象が尺度データであるため、ノンパラメトリックな指標を用いた。全被験者のデータより求めた Spearman の順位相関係数は -0.23 、Kendall の順位相関係数は -0.17 であった[18]。また、グループ別でも同様な結果が得られ、これらの結果から被験者の肉食に関する嗜好による影響は、さほど大きくないものとして取り扱えることが明らかとなった。

以上の結果に基づき、標準肉に対する評価と検査肉の総合評価に対するグループ間差について、分割表の検定を実施した結果、標準肉に対するゆう度比検定の結果は帰無仮説が棄却されなかった(5%有意水準)。一方、検査肉の総合評価に対してはグループ間差が高度に有意となった(p 値 = 0.16%)。これらの結果を図11に示す[18]。検査肉が新鮮なエゾシカ肉のローストであるグループA及びCの評価が高いことが分かる。また、グループ間の Wilcoxon/Kruskal-Wallis の検定[20]においても、群間に差がないという帰無仮説が棄却されることから、新鮮なエゾシカ肉の方がお

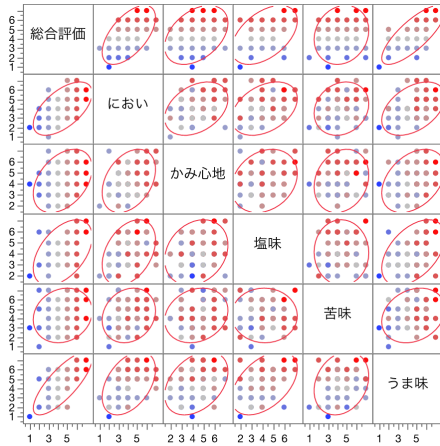


図 12 アンケート回答に関する散点図行列 [18]

表 3 評価間の Spearman の順位相関係数 [18]

評価 1	評価 2	相関係数 ρ	p 値
うま味	総合評価	0.7854	$\leq .0001$
におい	総合評価	0.5858	$\leq .0001$
うま味	塩味	0.5011	$\leq .0001$
塩味	総合評価	0.4678	$\leq .0001$
かみ心地	総合評価	0.4288	$\leq .0001$
うま味	におい	0.4243	$\leq .0001$
うま味	かみ心地	0.4036	$\leq .0001$
塩味	におい	0.3513	$\leq .0001$
かみ心地	におい	0.3359	0.0002
塩味	かみ心地	0.2090	0.0214
苦味	におい	0.1937	0.0325
うま味	苦味	0.1861	0.0401
苦味	かみ心地	0.1748	0.0552
苦味	総合評価	0.1622	0.0743
苦味	塩味	0.0054	0.9526

おいしいというアンケート結果が得られたものと解釈できる。

次に、総合評価に寄与する因子を検討するため、第二ステップでの「におい、かみ心地、塩味、苦味、うま味」の 5 因子の効果について、図 12 に散点図行列を示した [18]。前述したように、エゾシカ肉のネガティブなイメージに「におい」が挙げられることから、この点について注目した。確率だ円の形状より、「におい」と「うま味」の成分が総合評価に対する寄与が高いことが示唆される。表 3 には、評価項目の対ごとに Spearman の順位相関係数を求めたものを、相関の高い順に並べた結果を示す。「うま味」と総合評価が最も大きく、次いで「におい」と総合評価が大きな相関係数を示す。この結果からも「うま味」が強いものほど、また「におい」が好ましいものほど総合評価が高くなることが示唆される。

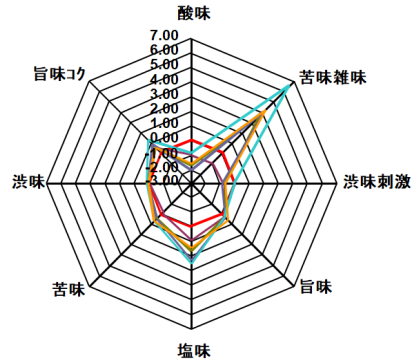


図 13 味認識センサによるエゾシカ生肉及び熟成肉の味パターン

図 13 味認識センサによるエゾシカ生肉及び熟成肉の味パターン

一方、我々はおいしさを可視化するため、味覚センサを用いた評価を行った。味覚センサは、人の舌を模倣することを目指して人工脂質膜を使用したセンサ膜を用いて味を数値化できるものである。近年では航空機内で提供するコーヒーの味や自治体の地産地消商品の開発などにも応用されており、おいしさを測る方法として認知度が上がってきている。

図 13 に味認識センサの分析結果を示す。ここで、サンプルは以下のとおりである。

1. 標準サンプル：牛モモ肉
2. 新鮮なエゾシカモモ生肉
3. 熟成エゾシカしんたま肉
4. 熟成エゾシカ内モモ肉
5. 熟成エゾシカロース肉
6. 冷凍エゾシカモモ肉

標準サンプルである 1 を基準として、それぞれの肉の評価を行った。また、酸味、渋味刺激は人間には感じない項目である。うま味成分は、3～5 の肉ががおおむね 2 の肉よりも数値が高く、うま味コクに関しても同様の傾向を示すことが分かる。一方、苦味雑味成分は、2 の肉はマイナス側に観測されるのに対して、3～6 の肉はプラス側に大きく出ていることが分かる。特に 5 の肉が敏感に反応していることが分かる。また苦味成分についても同様の傾向を示すことが分かった。一般に、熟成肉はアミノ酸などのうま味成分が増すことでおいしくなるといわれており、実際に味覚センサの値としても生肉や標準肉と比べてうま味成分は増していた。しかし、官能検査においても我々が実際に試食し

たときにも、おいしさが増したというより、獣臭さが増したくせの強い肉になったという感想であった。このことは、味覚センサの苦味雑味成分が極めて大きくなったことと相関があると考えられる。この成分は人間が「おいしくない」と感じる成分であり、実際うま味成分の増加と比べて、極端に苦味雑味成分が増加していることから、やはり我々がおいしくないと判断する成分の増加が今回のドライエイジングの熟成肉を一般受けしないものにしてあるものと推察される。ただし、我々が行った官能検査はエゾシカ肉を食べ慣れていない、あるいは一度も食べたことがないという被験者が大半であったことから、一般の方にも受け入れやすいエゾシカ肉のあり方を追求してレシピ開発を行って提供した。一方、普段からエゾシカ肉を食べ慣れている、あるいは好んで食べているという方のみのデータを抽出すると、熟成肉の方が生肉よりおいしいという評価結果も得られた。以上のことから、我々は特にエゾシカ肉を食べ慣れていない方にも受け入れられるようなおいしさを目指して検討した結果、エゾシカ肉のおいしさは「におい」と「うま味」成分が主な因子となっており、獣臭さをとりのぞいた新鮮な肉が好まれる傾向にあることを明らかとした。

4. む す び

我々は、エゾシカの駆除とそのジビエ利活用を念頭におき、リアルタイムでエゾシカ肉の経時変化、あるいは熟成度を評価する指標として、生体電気インピーダンス法に着目し、経時変化や熟成度評価に有用であるという結果を示した。更に、これまで難しいとされてきた等価回路モデルを用いなくても、簡便な円を用いて近似が可能であるという新たな指標を提案し、等価回路モデルを用いた場合の結果と遜色ない結果が得られることを実証した。

一方、官能検査と味覚センサによるおいしさの検証も行い、新鮮なエゾシカ肉が一般的に好まれるという結果を得た。これは、熟成によるうま味成分が増す以上に苦味雑味成分が顕著になることに起因する。しかし、一方でエゾシカを食べなれた人には熟成肉の方がむしろ受け入れられるという結果も併せて明らかになり、おいしさの指標を作るということの難しさも痛感したが、どのような人たちに受け入れられるおいしさを目指すのかという目的を明らかにすることで、解決できると考えられる。

電気的な特性評価とおいしさの評価を併せて考える

とき、円弧ができるだけ大きくなること、更には抵抗成分ができるだけ大きくなるようなデータが得られているとき、一般の人たちはエゾシカ肉をおいしいと評価するという相関が得られた。今後、エゾシカのジビエ利活用が促進されるような研究を更に続けていく予定である。

謝辞 本研究は、人を対象とする研究倫理審査委員会にて、認証番号 1011 を受けて行っているものである。本研究の一部は、北見市平成 28 年度大学・公設試験研究期間との共同研究、平成 29 年度北見市産学官連携推進協議会及び本学生生活協同組合の研究助成によって行われた。本研究におけるエゾシカの肉は、北見工業大学生生活協同組合元職員である白岩健治氏に、半熟成及び熟成肉は、porowacca「北見エゾシカ」からご提供いただいた。付記して感謝申し上げる。

文 献

- [1] 農林水産省農村振興局, “鳥獣被害の現状と対策,” 農林水産省, <https://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozyu/higai/attach/pdf/index-318.pdf>, Oct. 2019.
- [2] 北海道庁環境生活部環境局生物多様性保全課, “生鳥獣被害調査結果(平成 30 年度分),” 北海道庁環境生活部環境局生物多様性保全課, <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/skn/30higai01.pdf>, Oct. 2019.
- [3] 北海道庁環境生活部環境局生物多様性保全課エゾシカ対策グループ, “エゾシカが関係する交通事故発生状況,” 北海道庁環境生活部環境局生物多様性保全課エゾシカ対策グループ, http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/skn/est/index/H30_jiko.pdf, May 2019.
- [4] 鹿肉普及委員会, “鹿肉普及委員会,” 株式会社スブレディア, <http://www.e-shikaniku.com/nutritive.html>, 参照, Dec. 16, 2019.
- [5] 村元隆行, 鈴木悠希, 永島樹里, 岡田祐季, “冷凍貯蔵期間の違いがエゾシカ肉の理化学特性およびテクスチャー特性に及ぼす影響,” 日本畜産学会報, vol.86, no.2, pp.179-182, May 2015.
- [6] 谷原礼論, 豊田浄彦, 日浦千尋, “電気インピーダンス特性による和牛枝肉のキャラクタライゼーション,” 2002 年度農業施設学会大会要旨, vol.2002, a15, pp.26-27, Aug. 2002.
- [7] 加藤宏郎, 坂口守彦, 大井康之, 丸尾 信, 豊田 薫, “インピーダンス特性による魚肉の鮮度判定(第 1 報)魚肉の電気特性と高周波域の実用鮮度指標の導出,” 農業機械学会誌, vol.62, no.3, pp.76-83, May 2000.
- [8] 安藤泰雅, 前田祐佳, 水谷孝一, 若槻尚斗, “電気インピーダンス解析に基づくカットレタスの鮮度評価,” 電学論 (A), vol.136, no.10, pp.613-620, Oct. 2016.
- [9] 山浦逸雄, “人と植物の新世紀【中編】～“電気”で植物を測る”という試み～,” SAWS, vol.12, pp.2-5, 2001.
- [10] R.I. Hayden, C.A. Moyses, D.P. Crawford, and D.S. Fensom, “Electrical impedance studies on potato and alfalfa tissue,” J. Experimental Botany, vol.20, pp.177-200, May 1969.
- [11] P. Zoltowski, “On the electrical capacitance of interfaces exhibiting

- constant phase element behaviour,” J. Electroanal. Chem., vol.443, no.1, pp.149–154, 1998.
- [12] J.R. Macdonald, “Impedance spectroscopy,” Ann. Biomed. Eng., vol.20, no.3, pp.289–305, 1992.
- [13] C.E. Osgood, G.J. Sugi, and P.H. Tannenbaum, The measurement of meaning, University of Illinois Press, Urbana, 1957.
- [14] 市原 茂, “セマンティック・ディファレンシャル法 (SD 法) の可能性と今後の課題,” 人間工学, vol.45, no.5, pp.263–269, Oct. 2009.
- [15] 武山真弓, 佐藤 勝, 安井 崇, “Cole-Cole Plot を用いたエゾシカ肉の評価,” 電学論 (C), vol.138, no.7, pp.906–907, July 2018.
- [16] 安井 崇, 佐藤 勝, 武山真弓, “生体電気インピーダンス法によるエゾシカ肉の鮮度評価,” 電学論 (C), vol.139, no.7, pp.812–813, July 2019.
- [17] I. Kása, “A circle fitting procedure and its error analysis,” IEEE Trans. Instrum. Meas., vol.25, no.1, pp.8–14, 1976.
- [18] 武山真弓, 横川慎二, 佐藤 勝, 安井 崇, “アンケート分析によるエゾシカ肉の旨味評価と電氣的測定評価との関連,” 信学技報, CPM2018-15, Aug. 2018.
- [19] 東京大学教養学部統計学教室, 統計学入門, 東京大学出版会, 東京, 1991.
- [20] 東京大学教養学部統計学教室, 自然科学の統計学, 東京大学出版会, 東京, 1992.

(2019 年 12 月 20 日受付, 2020 年 3 月 5 日再受付,
8 月 19 日公開)



安井 崇 (正員)

1997 福井大・工・電子卒, 1999 北大大学院修士課程了, 2001 同大学院博士課程了. 1999~2002 日本学術振興会特別研究員. 2002 富士通株式会社入社. 2004 鳥根大・総合理工・助手, 2007 同助教, 2011 北見工大・工・准教授, 現在に至る. 光エレクトロニクスに関する研究に従事. 博士 (工学). 2018 本会論文賞受賞. 2019 本会北海道支部会計幹事. IEEE, OSA (the Optical Society of America), 情報処理学会各会員.



横川 慎二 (正員)

2019 電気通信大学教授, 現在に至る. 現在, 同大 i-パワードエネルギー・システム研究センターにおいて蓄電池マネジメントによる自律分散エネルギーグリッドシステム, システムレジリエンス, 信頼性・安全性工学などに関する研究に従事. 日本信頼性学会, 応用物理学会, 電気学会, 日本品質管理学会, IEEE 各会員.



武山 真弓 (正員)

2018 北見工業大学教授, 現在に至る. 現在, LSI における配線関連材料, 3次元集積回路, IoT を活用したスマート農業, オホーツク特産品の高付加価値化などに関する研究に従事. 博士 (工学). 日本学術振興会薄膜第 131 委員会委員, SSDM Area3 Chair, ADMETA Vice chair. 本会研究専門委員会電子部品・材料研究会委員長. 応用物理学会, 電気学会各会員.



佐藤 勝 (正員)

2004 北見工大・工・電気電子卒, 2006 北見工大大学院修士課程了, 2012 同大学院博士後期課程了. 2012 北見工大・工・助教, 2019 同准教授, 現在に至る. 現在, LSI における配線関連材料, 3次元集積回路に関する研究に従事. 博士 (工学). 平成 27 年度電気学会論文誌 C 部門 (電子・情報・システム部門) 誌論文奨励賞など受賞. 応用物理学会会員.