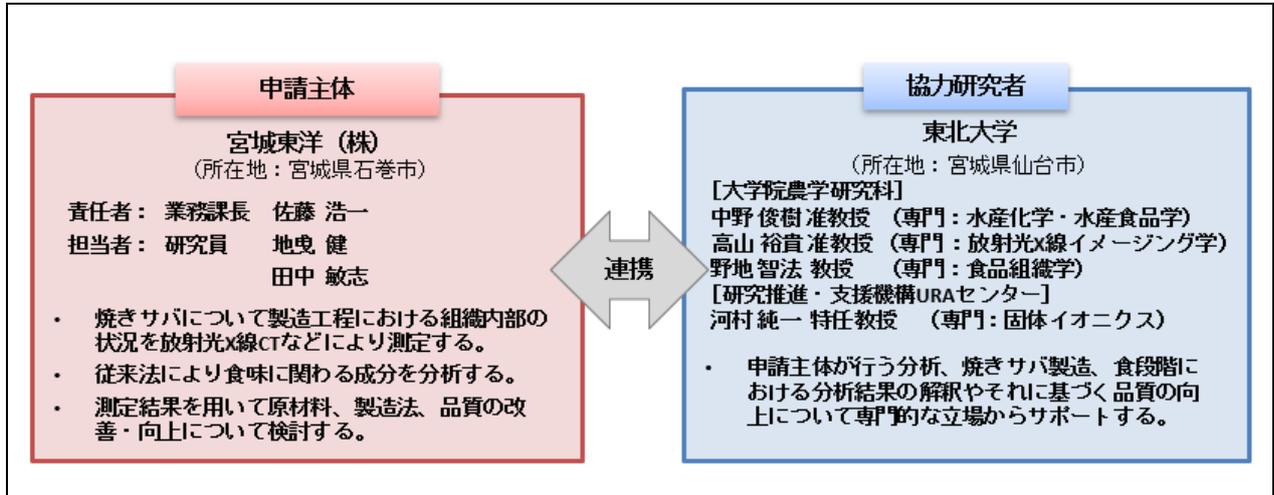


# 令和 5 年度仙台市既存放射光施設活用事例創出事業（トライアルユース） 事例報告書

## 1 課題名

焼きサバの旨さの放射光 X 線 CT イメージングによる見える化と品質向上

## 2 測定にあたっての体制（社外委託先を含め記載）



## 3 背景と測定目的

### ○背景

「和食」が世界遺産として登録されて以来和食ブームが続き、世界の一人一年あたりの魚介類消費量は増加している。しかし、我が国では魚離れが大きな課題で、一人あたりの消費量は 2001 年度をピークに 2020 年度には 23.6 キロにまで減少した。一方、2020 年度の家庭用冷凍水産食品の生産量は前年度より約 2 割増え、家庭で手軽に食べられる冷凍商品の開発が望まれている。弊社では「魚を食べる機会の創出」を目標に、特に日本で漁獲（養殖）された魚を用い、温めるだけで美味しい冷凍水産食品の開発に取り組んでいる。近年、宮城県のブランドである「金華サバ」は認知度と評価が向上しており、水産加工食品の生産量が多い宮城県で漁獲されるサバに注目が集まる中、旬の鮮度の良いサバを凍結することなくそのまま焼き上げ、冷凍サバより数倍美味しい地元県産「焼きサバ」商品の価値を広めたいと考えるが、残念ながら未だに限定的である。魚肉の歯応えや味など、鮮度以外に焼きサバの旨さが世の中に十分伝わっていない理由の一つは、直感的に理解できる内部構造や成分分布に関する可視化情報が消費者に示されていないためと考える。さらに品質的に従来は「食べた感じの違い」という感覚的かつ漠然とした表現しかできず、違いに関する科学的な根拠は明らかではない。しかし、凍結状態や焼成加工過程における組織の非破壊的観察は極めて困難で知見に乏しいのが現状である。

### ○目的

「漁獲後の生鮮サバをそのまま加工・焼成する」焼きサバ商品と「冷凍サバを解凍・加工・焼成する」焼きサバでは見た目は同じだが、官能評価では明らかに違いがあり、生を焼いた方が断然美味しい。なぜ美味しいと感じるのかは不明であるが、提案者らは焼きサバの食感に影響を与える内部構造に主に違いがあると推察している。本提案の協力研究機関である東北大院農では、過去に SPring-8 において X 線 CT イメージングにより冷凍マグロ筋肉の非破壊観察に成功している<sup>2,3,4)</sup>。

そこで本課題では、原材料の保存状態が異なる焼きサバを用い、噛んだ際の筋肉の変化を想定した「咀嚼（圧縮）試験機」を使用して連続的に放射光X線CTイメージング測定し、焼きサバの内部構造と脂質成分分布について検討した。

#### 4 測定方法（測定手法、測定セットアップ、使用ビームラインなど）

##### 【サンプル】

- ① 生鮮原料使用 金華サバの塩焼き
- ② 冷凍原料使用 金華サバの塩焼き
- ③ 生鮮原料使用 マサバの塩焼き
- ④ 冷凍原料使用 ノルウェーサバの塩焼き

##### 【製造工程】

(①、③の場合)

生鮮原料 → 三枚卸 → 塩漬け → 焼成 → 凍結

(②の場合)

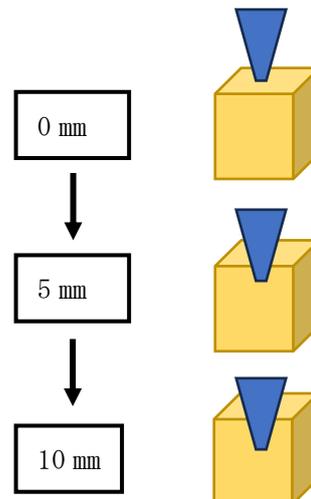
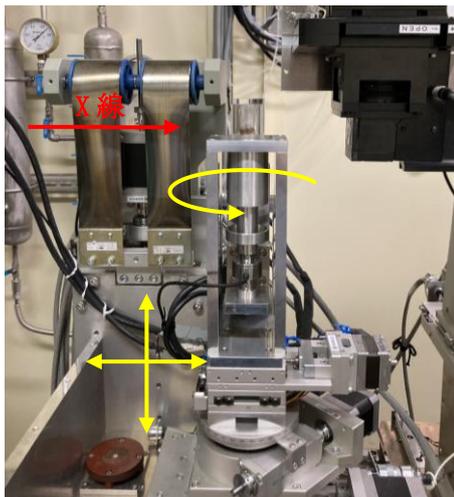
生鮮原料 → 凍結 → 解凍 → 三枚卸 → 塩漬け → 焼成 → 凍結

(④の場合)

生鮮原料 → 凍結 → 解凍 → 三枚卸 → 塩漬け → 凍結 → 解凍 → 焼成 → 凍結

##### 【サンプル調製】

全て背側から 2cm、頭側から 5cm 部分を約 1cm×1cm に切り出したものをサンプルとし、X線CTによる内部構造の測定を実施した。また、咀嚼試験機を使い実際の歯で噛むことを模して荷重しながら、すなわち変形圧力をかけながら測定を試みた。



【測定ビームライン】

BL14B2

【測定条件】

X線光子エネルギー：15keV(波長 0.0827 nm)

露光時間：0.1 秒/枚

測定枚数：2250 枚/180°

画素サイズ：5.38  $\mu$ m/pixel

【解析条件】

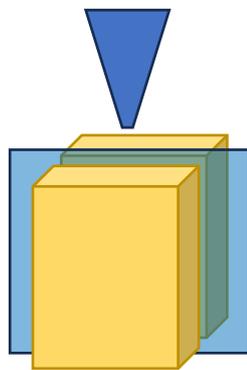
積層枚数：1296 枚

画像位置：1152/2304 枚

カラースケール：min 0.96/max 3.5

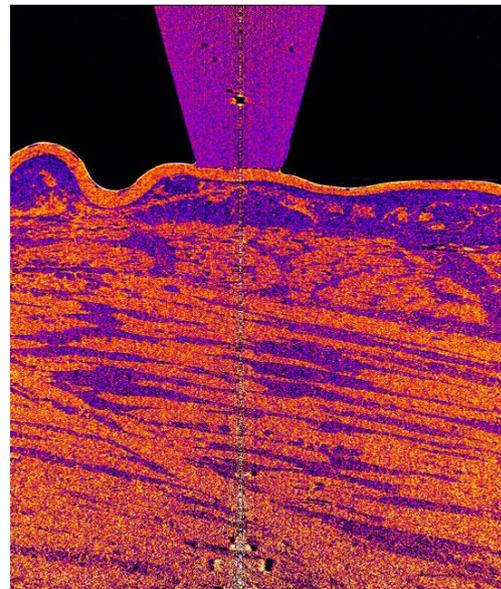
色：FIRE/RED HOT

【断面図の見方】



皮膚  
皮下脂肪層  
血合筋  
普通筋

プランジャー

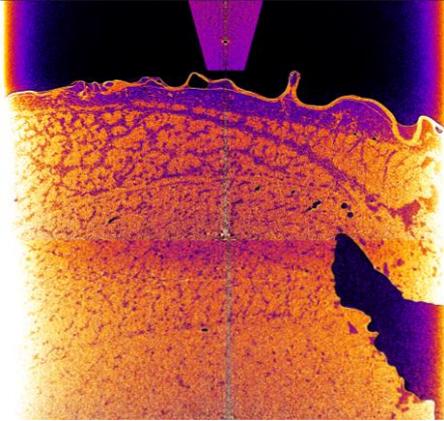


5 結果及び考察（代表的なグラフや図を用いて分かりやすく説明すること）

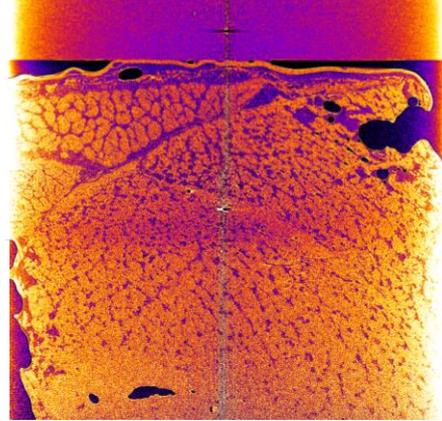
【金華サバ塩焼き】

生鮮原料使用及び冷凍原料使用の金華サバ塩焼きについて X 線 CT による内部構造測定結果を以下に記す。

生鮮原料



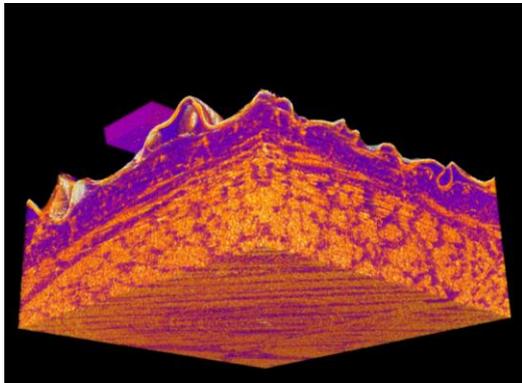
冷凍原料



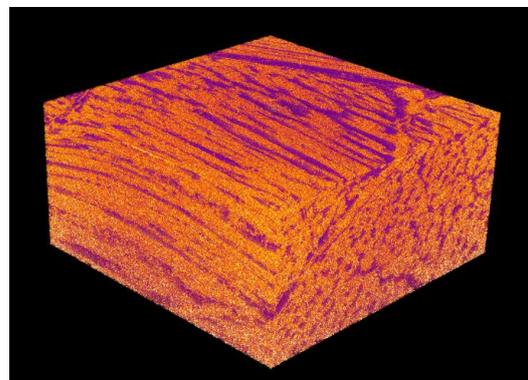
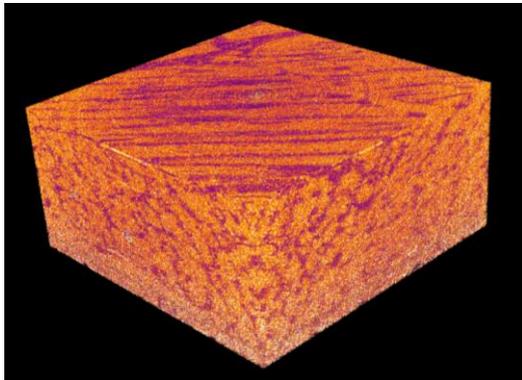
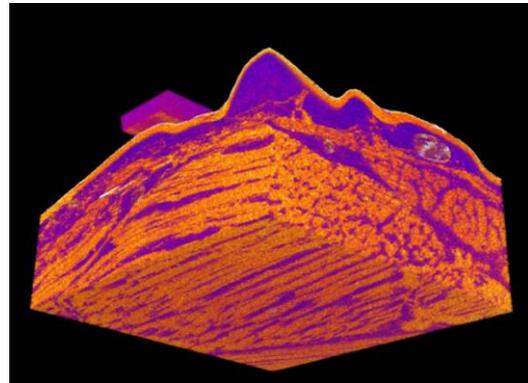
冷凍原料に比べ、生原料を使用した金華サバ塩焼きの方が、筋肉中の脂肪（紫色）が細かく分布していた。

上記測定データを 3 次元イメージングした結果を以下に記す。

生鮮原料



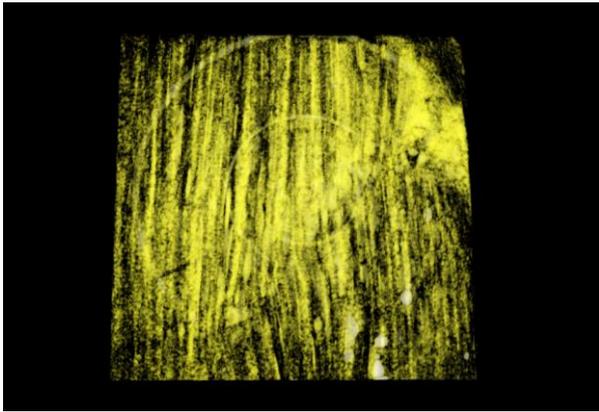
冷凍原料



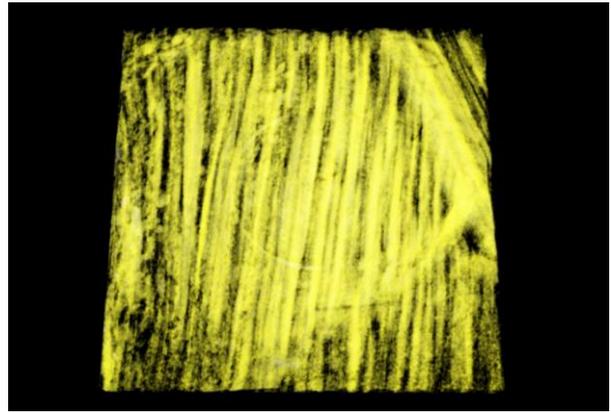
冷凍原料に比べ生原料を使用したサバ塩焼きの方が、脂肪（紫色）部分が細長く筋肉中に均一に分布していた。

更に密度の低い脂肪のみを3次元表示するため画素数の大小を反転させた結果を以下に記す。

生鮮原料



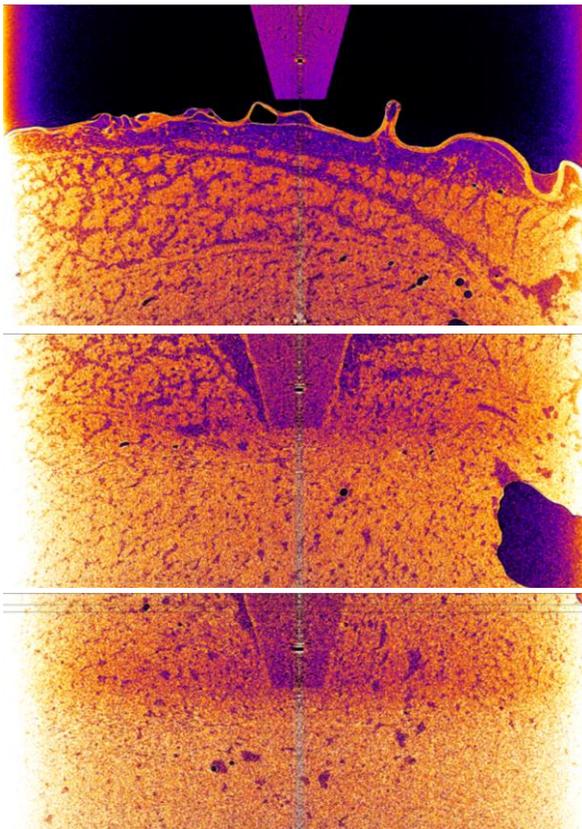
冷凍原料



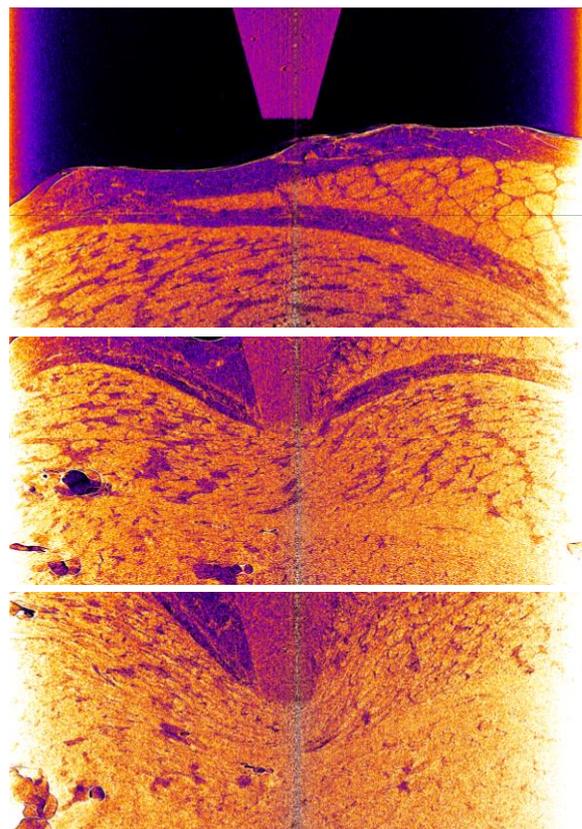
冷凍原料に比べ生原料を使用した金華サバ塩焼きの方が、筋肉中で脂肪が細かく分布していた。

次に、それぞれ咀嚼試験機を使い実際の歯で噛むことを模して変形圧力をかけながら測定を試みた結果を以下に記す。

生鮮原料



冷凍原料



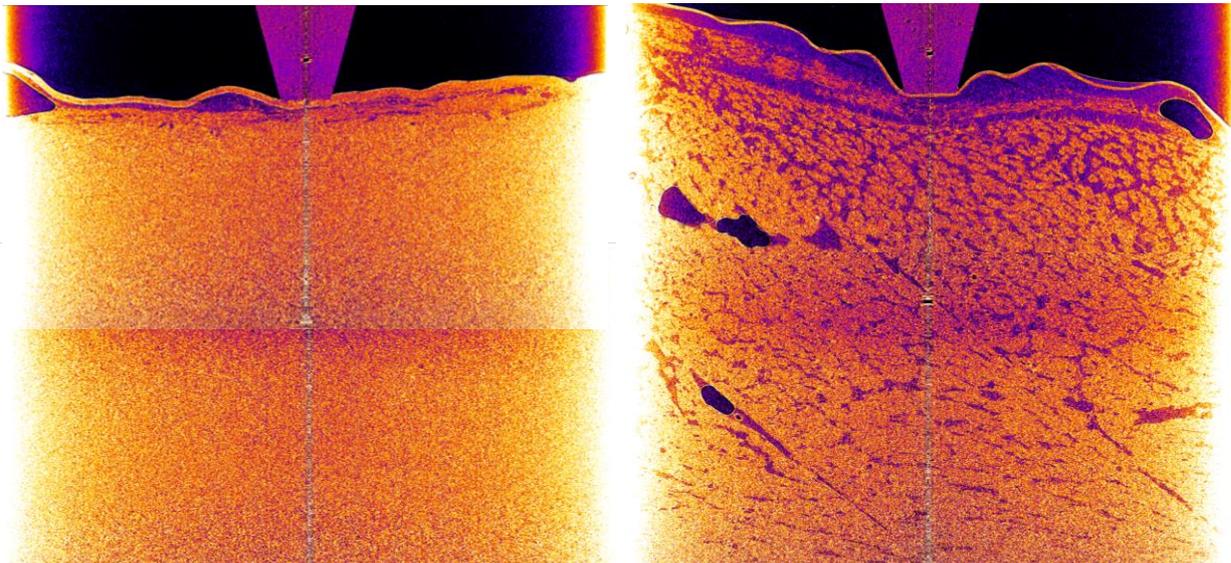
生原料を使用した金華サバ塩焼きの方がプランジャーが深く食い込んだ。すなわち細かい脂肪の分布（霜降り状態）が食感（柔らかさ）に影響していることが示唆された。

### 【マサバおよびノルウェーサバ塩焼き】

生鮮原料使用のマサバ塩焼き及び冷凍原料使用のノルウェーサバ塩焼きについて X線 CT による内部構造測定結果を以下に記す。

マサバ塩焼き

ノルウェーサバ塩焼き



生原料を使用したマサバ塩焼きでは、筋肉中の脂肪の分布が確認出来なかった。ノルウェーサバ塩焼きでは皮下脂肪が多く、また脂肪が筋肉の深層まで分布していることが分かった。

### 【まとめ】

- ① 放射光 X線 CT イメージングにより、脂肪の形状や分布状態を評価した。
- ② 金華サバ塩焼き(生原料/冷凍原料)を咀嚼した際の内部構造変化や脂肪の分布を可視化した。
- ③ 生原料は冷凍原料より脂肪が均一に分布しており、これが美味しさに関係していることが示唆された。

## 6 今後の課題

- ・放射光を利用した水産物品質の新たな指標の確立
- ・焼きサバ商品に限らない類似水産食品の品質向上への応用

## 7 参考文献

- 1) 水産庁：令和2年度水産白書 (2020).  
<https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/R2/210604.html>
- 2) 令和元年度仙台市既存放射光施設活用事例創出事業（トライアルユース）創出事例.  
<https://www.city.sendai.jp/renkesuishin/jigyosha/kezai/sangaku/zirei.html>
- 3) 中野：ナノがみえれば食品の未来が変わるー放射光分析の食品学と水産学分野における可能性ー、(財) 食品分析開発センター・サナテックマガジン、201 (12)、1-17 (2022).  
<http://www.mac.or.jp/mail/221201/01.shtml>
- 4) 中野：水産分野における放射光利用の可能性と期待、放射光利用の手引き（東北放射光施設推進会議推進室 編）、アグネ技術センター、東京、pp.42-48 (2019).

## 8 謝辞

本研究を行うにあたり下記の方々にお世話になりました。ここに記して御礼申し上げます。

- 東北大学

大学院農学研究科

原田昌彦先生、野地智法先生

高山裕貴先生、日高將文先生

中野俊樹先生、竹岡芳成先生、日尾彰宏氏

研究推進・支援機構 URA センター

河村純一先生

- JASRI/SPring-8

梶原堅太郎氏、漆原良昌氏