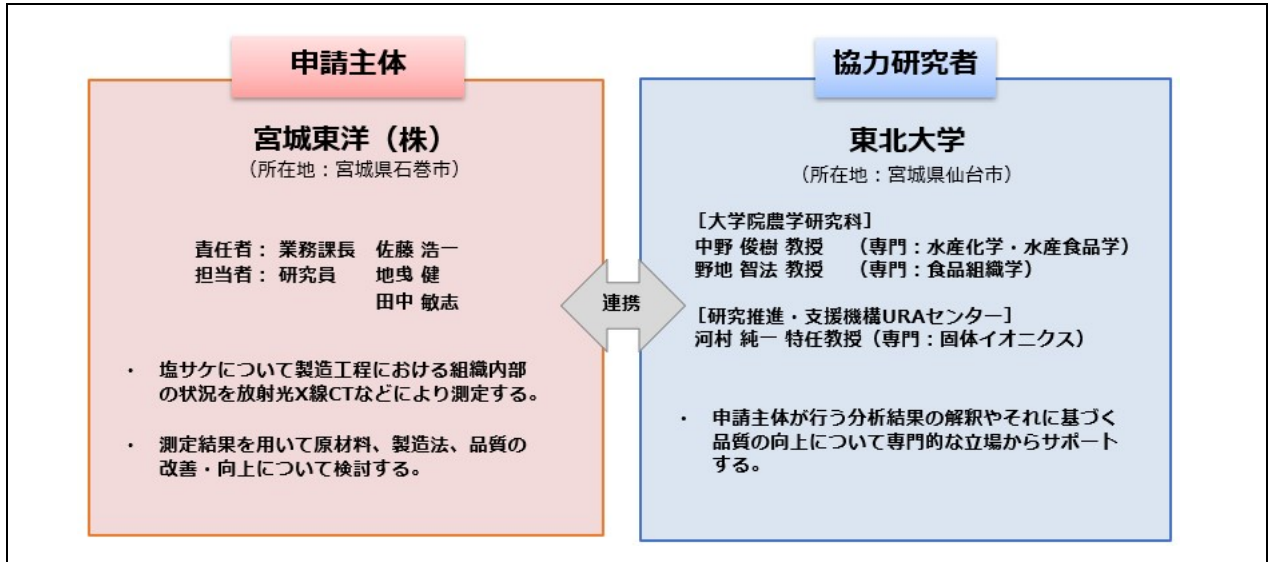


## 令和 6 年度仙台市 NanoTerasu トライアルユース事業 事例報告書

### 1 課題名

宮城産ギンザケの塩蔵・熟成に伴う成分変化の可視化と品質向上の挑戦

### 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

日本における海面ギンザケ養殖量は令和 4 年 (2022 年) に 20,220 トンとなり、そのうち宮城県は全体の約 85% を占め、日本一の生産量を誇っている<sup>1)</sup>。東日本大震災で大打撃を受けたが、その後は安定しており、今年も価格は高水準を維持している。そしてギンザケは宮城県の重要な養殖対象種であり、さらに数年前、みやぎサーモンは農水省「地理的表示保護制度」により GI ブランドの認証を受け高い評価を得ている。弊社は、気仙沼および石巻で塩サケ加工を手掛け全国に出荷しており、ふるさと納税返礼品ではサケ・サーモン部門で第 1 位を獲得している。そして、我々は旬の鮮度の良いギンザケを凍結せずにそのまま塩蔵処理した最高に美味しい塩サケを世に広めたいと考えているが、残念ながら未だに限定的である。一方で、日本国内におけるサケ養殖に対する投資は活発で、今後競争激化が予想される。そこで我々は、宮城産養殖ギンザケの独自化を産学連携で進め、ブランド価値を高めることを目指している。消費者の減塩および健康志向の高まりから、塩サケも低塩ものが好まれている。塩蔵および熟成処理は保存性や呈味性に加え、種々の栄養成分にも影響を及ぼす。特に、サケに豊富に含まれる各種ミネラル成分への影響は大きいと思われるが、それらの挙動と塩分濃度や熟成度合いとの関係は不明である。塩蔵処理した際の NaCl の筋肉への浸透性を可視化できれば加工法改善の手掛かりとなり、他の分析手法と合わせれば熟成の状態に加え、低塩でも美味しく栄養成分も損なわれない健康機能性を兼ね備えた塩サケの品質状況に関する科学的根拠を示すことができると考えた。

#### ○目的

「生鮮ギンザケ」原料または「冷凍ギンザケ解凍品」原料をそれぞれ塩蔵したものでは、見た目

は同じだが官能評価では明らかに違いがあり、生原料を用いた方が美味しい。一方で、脂肪の多いギンザケは、通常の塩蔵方法では外側と内側で塩の入り方にムラがあり、味にばらつきが出やすい。しかし、弊社独自の熟成工程<sup>2)</sup>を経ることで厚い身の奥までしっかりと塩が染み込み、全体に均一で深い味わいを楽しめるようになる。熟成させるとなぜ塩カドが取れてマイルドになるのかについて、提案者らは塩の浸透性が関与していると推察している。しかし、それを可視化し検証できないために詳細は不明である。本提案の協力研究機関である東北大学大学院農学研究科では、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>3,4,5)</sup>。そこで本課題では、鮮度と塩蔵方法が異なる宮城産ギンザケを用い、筋肉内部の脂質分布や組織状態をBL09Wの放射光X線CTイメージングで、さらにNaClの浸透性をBL08Wの放射光蛍光X線により、それぞれ生の組織状態で測定し解析した。

#### 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】

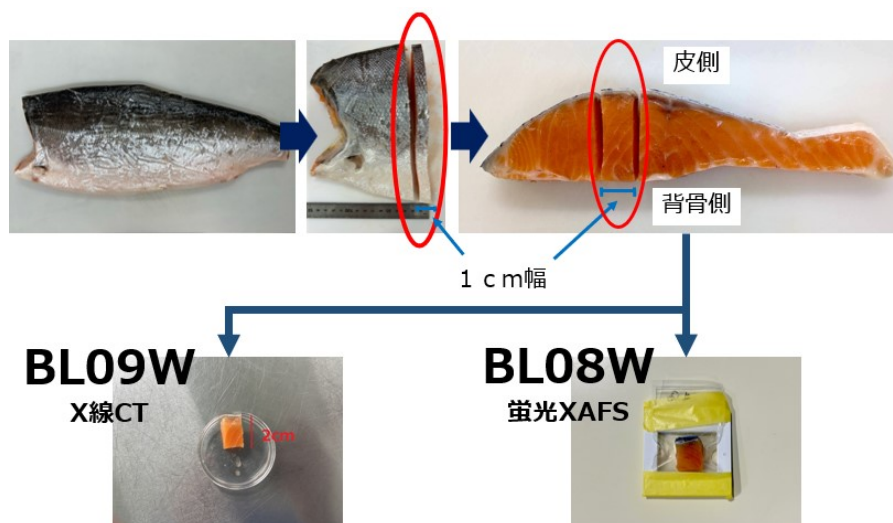
- ① 生鮮原料使用 宮城産ギンザケ塩蔵切身（熟成なし）
- ② 生鮮原料使用 宮城産ギンザケ塩蔵切身（熟成あり）
- ③ 冷凍原料使用 宮城産ギンザケ塩蔵切身（熟成なし）
- ④ 冷凍原料使用 宮城産ギンザケ塩蔵切身（熟成あり）
- ⑤ 冷凍原料使用 チリ産ギンザケ塩蔵切身（熟成なし）
- ⑥ 冷凍原料使用 チリ産ギンザケ塩蔵切身（熟成あり）

##### 【製造工程】

- ① 生鮮原料 → 二枚卸 → 塩蔵 → 凍結
- ② 生鮮原料 → 二枚卸 → 塩蔵 → 熟成 → 凍結
- ③ 冷凍原料 → 二枚卸 → 塩蔵 → 凍結
- ④ 冷凍原料 → 二枚卸 → 塩蔵 → 熟成 → 凍結
- ⑤ 冷凍原料 → 二枚卸 → 塩蔵 → 凍結
- ⑥ 冷凍原料 → 二枚卸 → 塩蔵 → 熟成 → 凍結

##### 【サンプル調製】

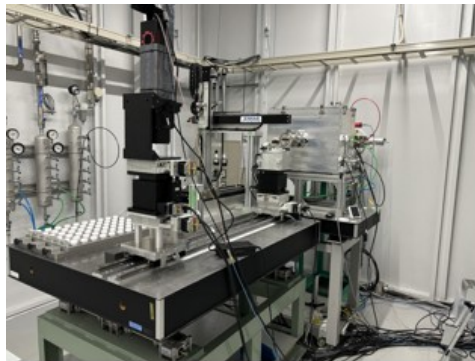
全て頭側から約8cmの部分を実約1cm幅に切り出した切身の中心部分をサンプルとし、解凍後にX線CTにより内部構造を測定した。また、蛍光X線によるCl分布の測定を試みた。



【測定ビームラインおよび測定解析条件】

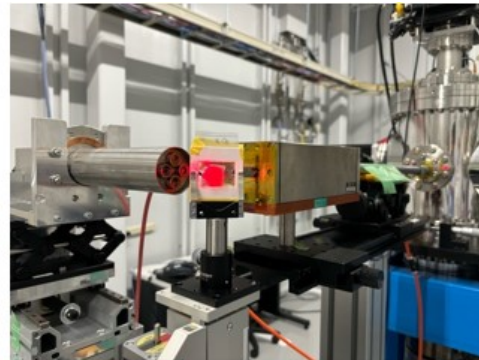
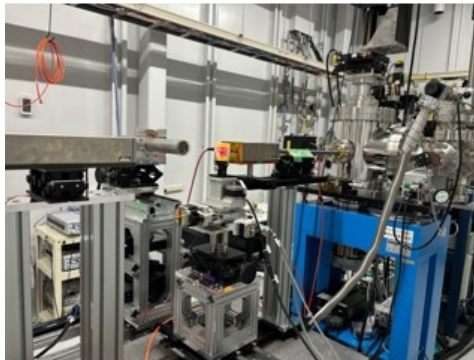
BL09W

- ・ 撮影視野 : 水平 20 mm、垂直 4 mm 程度
- ・ 試料－検出器間距離 : 1 m
- ・ 積層枚数 : 1080 枚
- ・ 色 : YELLOW HOT
- ・ 測定時間 : 5 分/検体



BL08W

- ・ 撮影視野 : 水平 15 mm、垂直 1 mm
- ・ 測定対象 : Cl
- ・ 解析方法 : 4ch 合計の平均（アルゴン値で補正）
- ・ 色 : グレースケール
- ・ 測定時間 : 30 分/検体

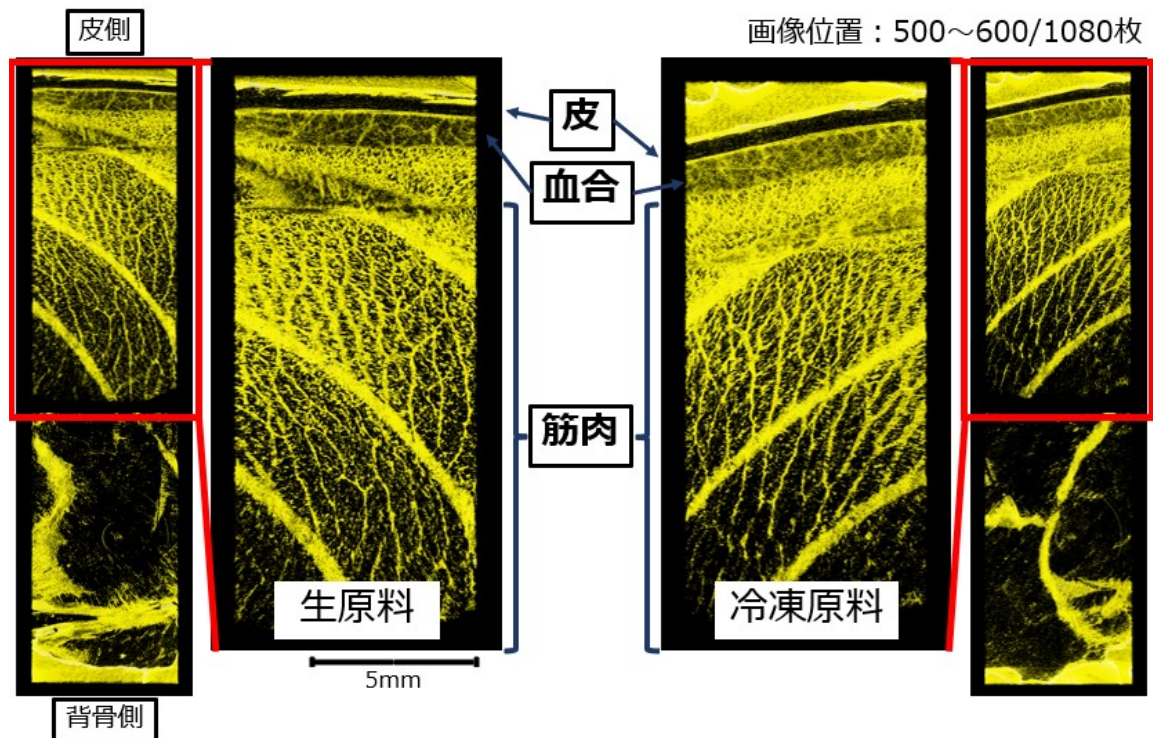




5 結果及び考察（代表的なグラフや図を用いて分かりやすく説明すること）

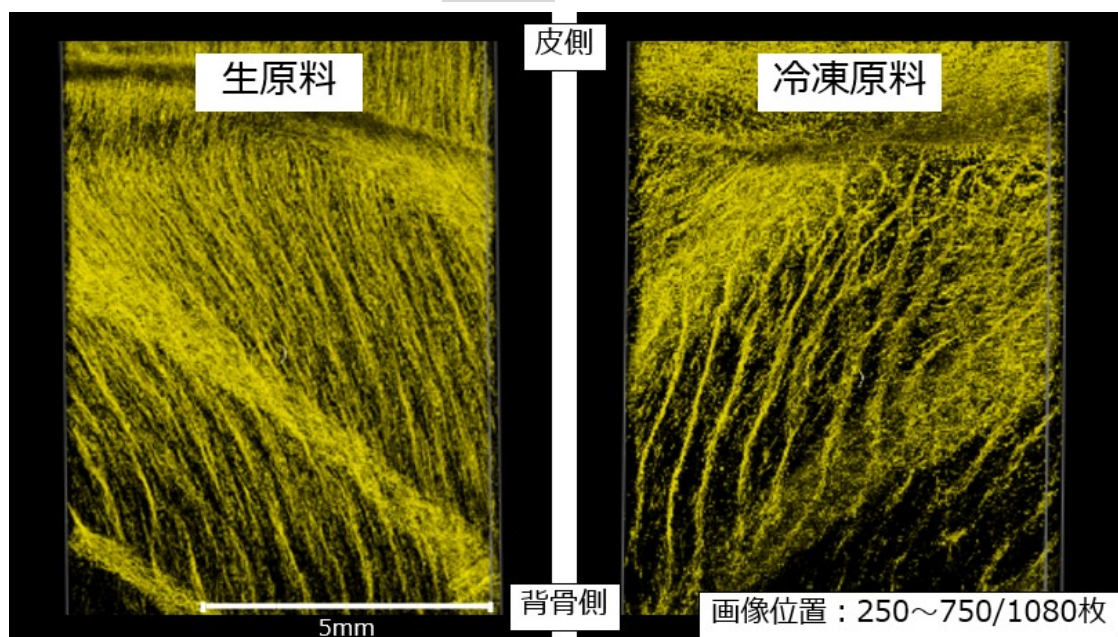
生鮮原料使用及び冷凍原料使用の塩サケについて X 線 CT による内部構造測定結果を以下に記す。

（結果①） 宮城産ギンザケ塩蔵品（熟成あり）内部構造



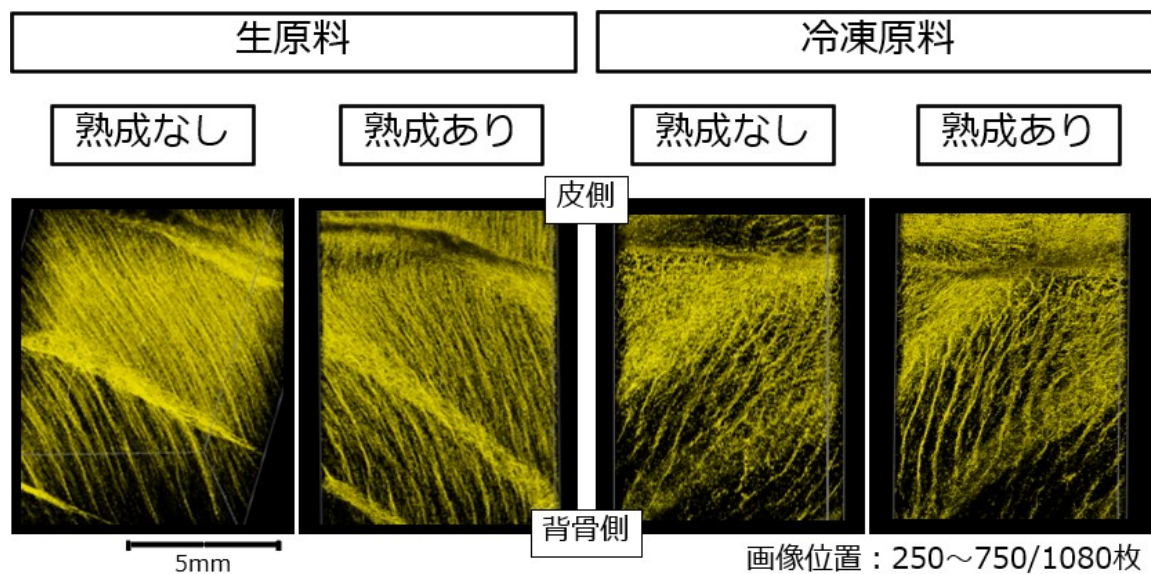
生原料を使用した塩サケの方が、冷凍原料に比べ筋肉中に細かい脂肪（黄色の点）の分布が下層まで観察できた。（密度の低い脂肪のみを三次元表示した。）

（結果②） 宮城産ギンザケ塩蔵品（熟成あり）脂肪分布（3D）



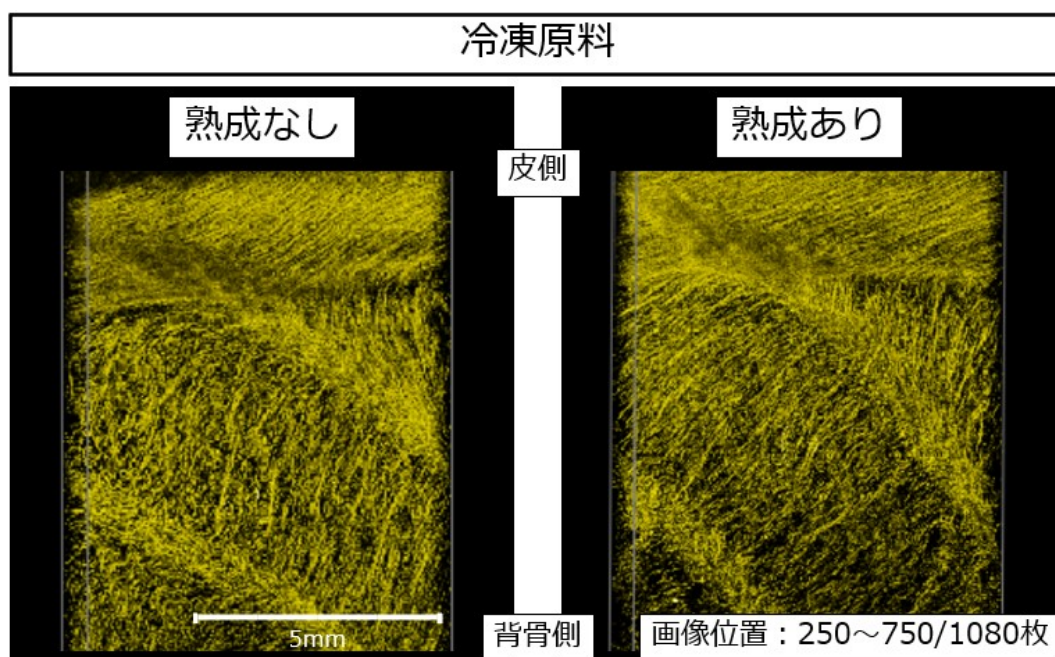
生原料（左）を使用した塩サケの方が筋肉中の脂肪の筋が揃ってまんべんなく広がっており、冷凍原料（右）を使用したものでは筋が広がって乱れていることが観察できた。

(結果③) 宮城産ギンザケ塩蔵品 熟成有無別脂肪分布 (3D 画像)



生原料および冷凍原料ともに、熟成の有無による筋肉中の脂肪の筋の状態に大きな違いは認められなかった。

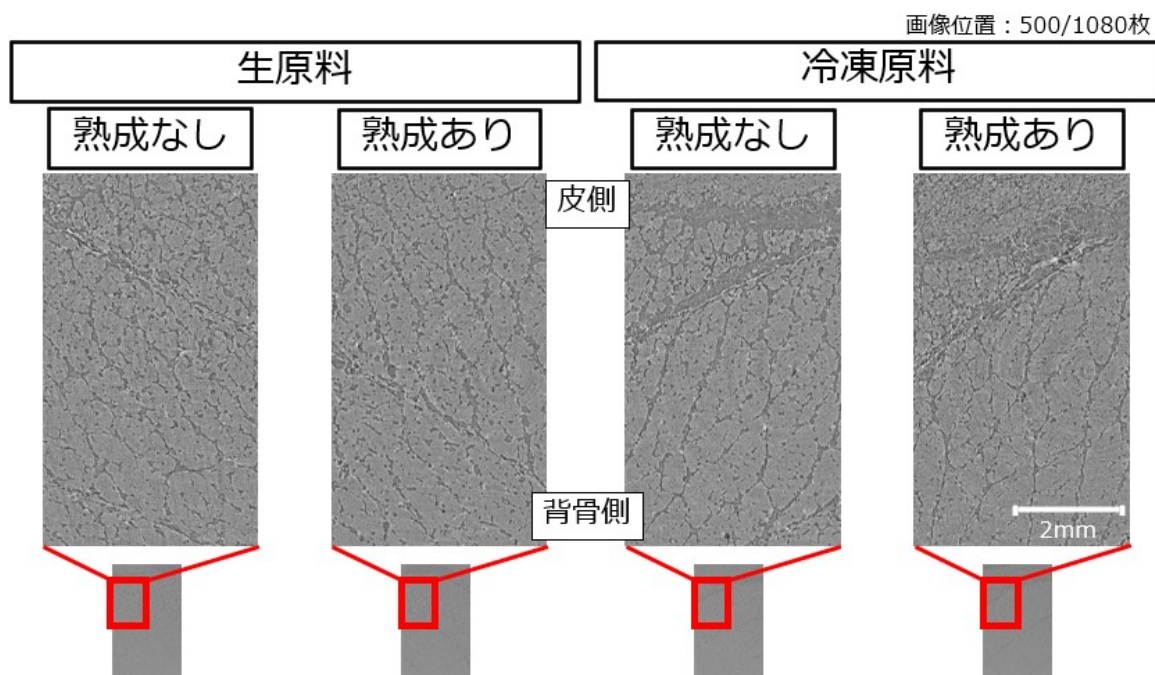
(結果④) チリ産ギンザケ塩蔵品 熟成有無別脂肪分布 (3D 画像)



チリ産ギンザケ塩蔵品においても、熟成の有無による筋肉中の筋の状態に大きな違いは認められなかった。

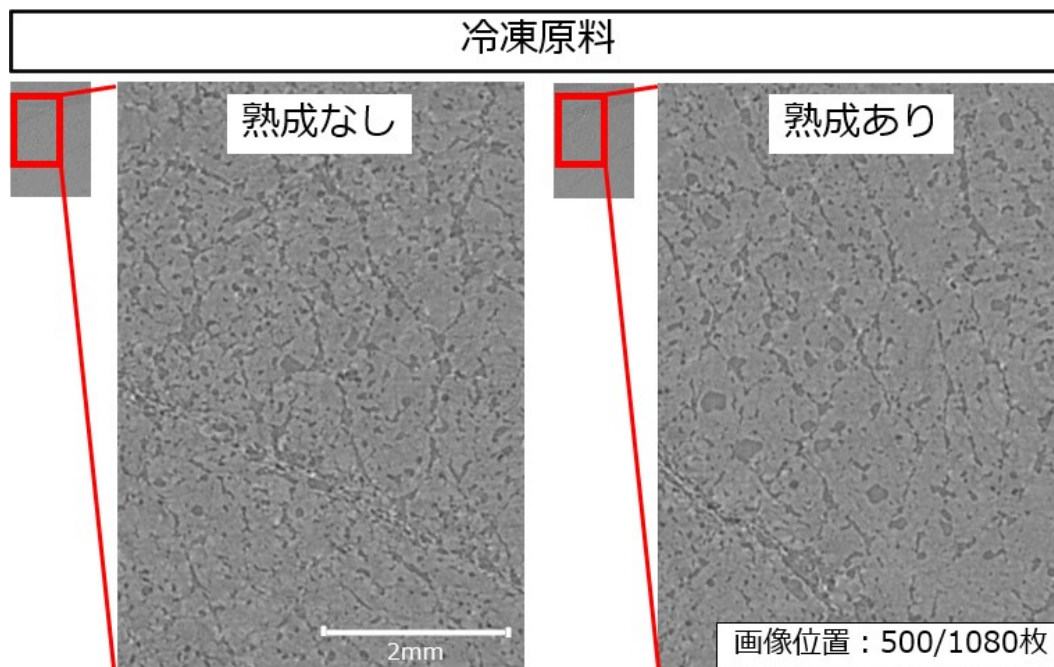


(結果⑤) 宮城産ギンザケ塩蔵品 熟成有無別筋肉組織構造



生原料および冷凍原料ともに、「熟成あり」では筋肉中の空隙が減少していた。同面積で空隙の面積を比較したところ、生原料および冷凍原料共に「熟成あり」の方が減少していた。

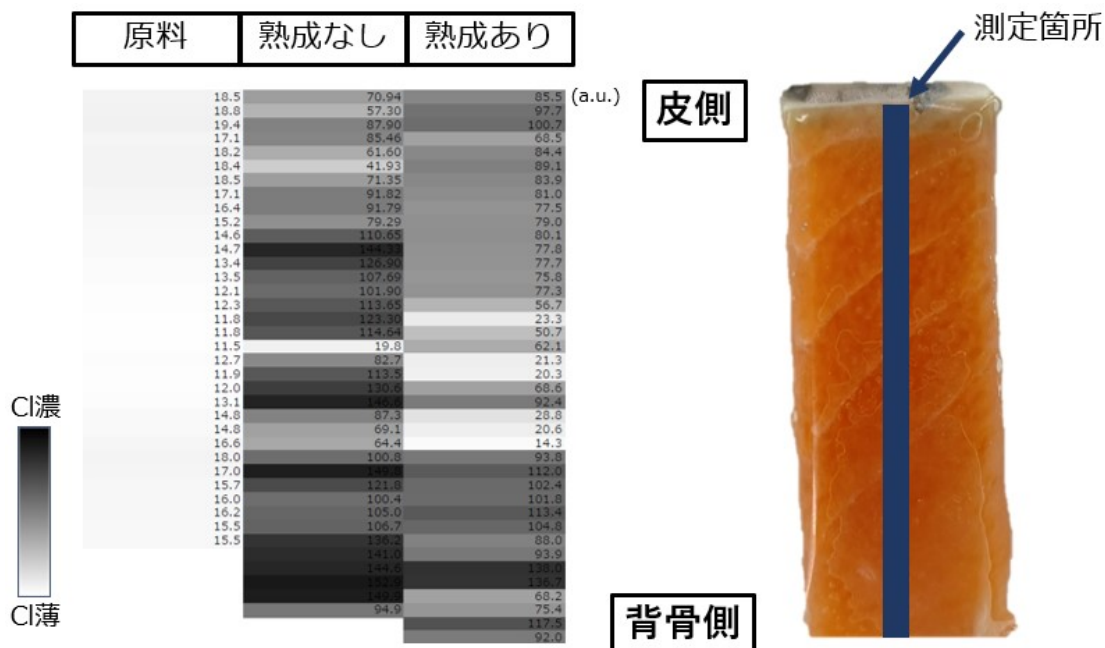
(結果⑥) チリ産ギンザケ塩蔵品 熟成有無別筋肉組織構造



チリ産ギンザケにおいても、「熟成あり」では筋肉中の空隙が減少していた。同面積で空隙の面積を比較したところ、「熟成あり」の方が減少していた。

次に、宮城産ギンザケおよびチリ産ギンザケ塩蔵品の熟成ありまたはなしでの Cl 分布結果を記す。

(結果⑦) 宮城産ギンザケ塩蔵品 熟成なし／あり Cl 分布



Cl は「熟成なし」では背骨側に多く、「熟成あり」では比較的全体に分布していることが示唆された。

(結果⑧) チリ産ギンザケ塩蔵品 熟成なし／あり Cl 分布



チリ産ギンザケは脂質含量が高いが、Cl は「熟成なし」では身の奥まで浸透せず全体的に薄く分布し、一方「熟成あり」では全体的に身の奥までより濃く分布（浸透）していることが示唆された。

### 【まとめ】

- ① 放射光 X 線 CT イメージングにより、脂肪の分布や筋肉の状態が評価できた。  
生原料を使用した塩サケの方が筋肉中の脂肪の筋がまんべんなく揃っていることが認められた。さらに、筋組織内の筋繊維の状態が美味しさ(主に柔らかさ)などの品質に関係することが示唆された。  
結合組織と空隙の品質への影響については、「テクスチャー」や「組織化学的観察」を合わせて分析することで理解が深まると推察される。
- ② 蛍光 X 線により Cl の分布状態を評価し、弊社熟成法により熟成サケは筋肉中における Cl の拡散が促進され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の鮮度や熟成等に関わる品質の新たな評価指標の確立
- ・水産食品の品質向上への応用

## 7 参考文献

- 1) 農林水産省「漁業・養殖業生産統計」  
[https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen\\_gyosei/index.html](https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/index.html)
- 2) 日本国特許 6491946：加工魚およびその製造方法.  
<https://ipforce.jp/patent-jp-B9-6491946>
- 3) 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>
- 4) 中野：ナノがみえれば食品の未来が変わる－放射光分析の食品学と水産学分野における可能性－、(財) 食品分析開発センター・サナテックeマガジン、201 (12)、1-17 (2022).  
<http://www.mac.or.jp/mail/221201/01.shtml>
- 5) 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、高山裕貴 先生、  
竹岡芳成 先生、古川睦美 先生、日尾彰宏 氏
- ・NanoTerasu  
岡田純平 先生、小川英之 氏、神谷和孝 氏、佐々木英一 氏、平本尚三 氏