通電加熱前処理によるサケ塩干品の品質改良

松原 久,^{1a*} 田中 淳也,² 成田 清一,³ 関 伸夫^{4b}

(2005年11月28日受付, 2006年11月21日受理)

¹青森県ふるさと食品研究センター, ²青森県鮭ヶ沢水産事務所,
³青森県下北ブランド研究開発センター, ⁴北海道大学大学院水産科学研究院

Application of ohmic heating for improving the quality of salted-dried salmon

HISASHI MATSUBARA,^{1a*} JUNYA TANAKA,² SEIICHI NARITA³ AND NOBUO SEKI^{4b}¹Aomori Prefectural Local Foods Research Center, Hachinohe, Aomori 031-0831, ²Ajigasawa Fisheries Office, Nishitogaru, Aomori 038-2731, ³Shimokita Brand Research and Development Center, Mutsu, Aomori 039-4401, ⁴Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan

To improve the quality of salted-dried meat from mature male salmon, ohmic heating was additionally applied to a traditional manufacturing process. The optimum ohmic heating at 45°C for 5 min, which was carried out before salting, markedly decreased the texture attributes of hardness and cohesiveness of salted-dried salmon. Furthermore, it turned the salted-dried meat fragile. It was observed that myotomal blocks arranged in salted-dried salmon muscle were detached at the regions of connective tissue when ohmically heated. Although the ohmic heating significantly decreased the amount of salt-soluble protein, the solubility of water-soluble protein still remained. These data suggested that the acceptability of salted-dried salmon could be substantially improved. SDS-PAGE indicated that salmon meat autolysis hardly occurred during the manufacturing process. The same beneficial effects of the ohmic heating on the quality of salted-dried salmon were observed when a number of meat slices were ohmically heated in a carrier solution containing 0.5% NaCl for practical use.

キーワード：塩溶性タンパク質, サケ, 塩干品, 水溶性タンパク質, 通電加熱, 物性

サケ *Oncorhynchus keta* の塩干品 (サケトバ) はサケ生肉を塩水浸漬後, 低温乾燥, あん蒸, 整形したもので, 通常は加熱処理を行わない。^{1,2)} サケトバの原料となる, 産卵のため沿岸回帰してきたシロザケ (ブナザケ) は肉中のタンパク質分解酵素の作用により魚肉の軟化が著しく,^{3,4)} これを用いて製造した塩干品は組織が結着して製品が硬く, 食感が悪くなる等の問題で, 高品質化が難しい。これまでブナザケ塩干品の食感改良を目的として, 歩留まり 50% まで乾燥後, 100°C で 1 時間蒸煮し再乾燥する方法⁵⁾ や, 塩漬後密封して 50°C で 30 分間温湯加熱の後, 40°C で乾燥する方法⁶⁾ が報告されている。このような加熱処理はサケトバ製品のソフト化に有効であるものの, 魚肉を均等に加熱することが困難であり, 肉の内部に比較して表面部位に過剰な熱がかかる等の問

題が残されている。

近年, 通電加熱 (ジュール加熱法) は加熱むらが少なく急速加熱が可能であることや練り製品へ応用することで戻り抑制によるゲル物性を増強させることが報告されている。⁷⁻¹²⁾ 本研究はブナザケ塩干品の食感改善, すなわち製品のソフト化あるいは脆弱化を目的として, 加熱処理に通電加熱を応用するための各種至適条件を検討した。

試料および方法

試料 2002 年 12 月から 2004 年 1 月までに, 八戸市新井田川及び同市沿岸海域で捕獲したオスのブナザケを -20°C で凍結貯蔵し, 6 ヶ月以内に随時試験に供した。ブナのランクは A から C 程度であったが, 本研究

* Tel.: 81-175-34-2188. Fax: 81-175-45-3175. Email: hisashi_matubara@pref.aomori.lg.jp

^a 現所属: 青森県下北ブランド研究開発センター (Shimokita Brand Research and Development Center, Mutsu, Aomori 039-4401, Japan)^b 現所属: 日本水産株式会社食品機能科学研究所 (Food Function Research Center, Nippon Suisan Kaisha, Chiyoda, Tokyo 100-8686, Japan)

では主に海Cブナ（以下、サケ）を用いた。

塩干品の調製 凍結貯蔵したサケを解凍後、三枚におろし、試験項目に応じて所定の形に成形した試料を通電加熱後、5℃まで冷水で急冷し、同温度下で過剰量の2%食塩水に16時間浸漬した。食塩水浸漬後の試料を20℃、湿度50%の恒温恒湿機（タバイエスベック社製）内で水分含量が20%以下になるまで約6日間乾燥させた。なお、実用化試験では試料4~5枚を通電加熱、塩水浸漬後、肉を厚さ約1cmにスライスし、20℃の低温除湿乾燥機（稲葉屋冷熱産業社製）で乾燥させた。

通電加熱 通電加熱はジュール加熱テスト装置（フロンティアエンジニアリング社製）を用い、試験項目に応じて成形した肉片を下記諸条件で加熱した。通電加熱中の肉温測定はTHERMO RECORDER（タバイエスベック社製）にシリコンチューブを被覆させた内部温度測定用鉛筆状温度センサーを接続し、10秒毎の温度を記録した。

1. 通電加熱条件の設定 剥皮したサケ肉は加熱むら为了避免するため、幅2.5cm×厚さ1cm×繊維方向16cmの直方体に成形し、水に浸したセロハンチューブ（径3cm）に詰め、プラスチック製円筒（内径4cm×長さ18cm）に入れ、肉片中央部に温度センサー、肉両端に通電電極を固定した。通電加熱は周波数60Hz、電圧100Vで各条件の温度と時間加熱し、加熱を終了した肉片はポリエチレンフィルムで覆って即時水冷した。

2. 導電液中の通電加熱 サケ肉を皮付きで上底1cm、下底4.5cm、厚さ1~2cm、肉の繊維方向に沿って10cmの台形になる様に成形した（図10を参照）。これを台形表面の皮が下になるように置き、上底および下底がそれぞれ電極に接するようにポリカーボネイト製水槽型加熱容器（内寸10cm×10cm×10cm）に入れ、肉片が浸る程度に種々の導電液下で通電した。導電液には0~2%の各種濃度の食塩水を用いた。通電は、オーバーシュートを避けるため35℃まで200Vで行い、その後150Vとした後、42℃に達した時点で100Vに調整し、45℃に達してから10分間その温度を保持した。

3. 実用化試験 サケ肉を皮付きで幅9cm×繊維方向9cm×厚さ1~3cmに成形し、皮面を下にして、4~5片を上記水槽型加熱容器に入れ、導電液として0.5%食塩水を肉片が十分浸る程度加えた。通電は、オーバーシュートを避けるため「2 導電液中の通電加熱」と同様に実施した。

物性測定 サケ塩干品の物性はTexture Analyzer TA-X2（Stable Micro Systems社製）を用い、針状プランジャーの突き刺し試験で測定した。サケ中央部を含む偏りがない1サンプル当たり10ヶ所に3mm径針状プランジャーを突き刺し、それぞれの最大針入強度の最大値、最小値および平均値と標準偏差を求めた。

タンパク質の溶解度測定 試料約0.1~0.5gを精秤し、10mLのイオン強度0.05あるいは0.5のリン酸緩衝液（pH 7.5）を添加してホモジナイズした後、5℃で16時間攪拌し、そのタンパク質濃度をビウレット法で測定した。脂質で濁った反応液は石油エーテルで脂質を除去した。その後、520×gで30分間遠心分離した上清のタンパク質濃度を測定した。遠心分離前のタンパク質濃度に対する遠心分離後の上清タンパク質濃度の割合で試料タンパク質の溶解度を示した。ここで、イオン強度0.05溶液に溶出したタンパク質を水溶性タンパク質の溶解度とし、¹³⁾イオン強度0.5溶液に溶出したタンパク質濃度を水溶性タンパク質+塩溶性タンパク質の溶解度として、¹³⁾これから水溶性タンパク質の溶解度を差し引き、塩溶性タンパク質の溶解度とした。

魚肉の加熱温度における水溶性タンパク質の溶出量は各温度で加熱した魚肉を加熱温度と同じ温度に調整した9倍量の0.1M NaCl 20mMTris-HCl（pH 7.5）中でホモジナイズ後、同温度で遠心分離（1300×g; 30min）し、その上清のタンパク質濃度の測定値を各加熱温度における溶出タンパク質量とした。

砕けやすさの測定 粗く（5~10mm程度）砕いた塩干品試料約10gを100mL容量のホモジナイズカップに入れAceホモジナイザー（日本精機製作所社製）を用い、15,000rpmで1分間、ホモジナイズ後、細碎物を2mm目（12メッシュ）のふるいに通した。ふるいを通した魚粉重量の元重量に対する割合（%）を砕けやすさの指標とした。

SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動（SDS-PAGE） 魚肉の0.1~0.4gを精秤し、7.5mLの2% SDS-8M尿素-2% 2-メルカプトエタノール-20mM Tris-HCl（pH 8.0）溶液を加えて攪拌し、100℃で2分間加熱後、30℃で20時間攪拌溶解させた。溶解液は、1,300×gで20分間遠心分離し、上清液をタンパク質濃度が2mg/mLとなるよう上記溶解液で希釈し、SDS-PAGEに供した。SDS-PAGEはPhastSystem（Pharmacia Biotech社製）を使用し、7.5%ポリアクリルアミドゲルで行った。水溶性タンパク質の分析には12.5%ポリアクリルアミドゲルを用いた。

アミノ酸分析 水溶性タンパク質のアミノ酸組成は、水溶性タンパク質溶液1mLに蒸留水4mLと15%トリクロロ酢酸溶液5mLを加えて攪拌し、4時間放置した後1,300×gで20分間遠心分離した沈殿を一夜風乾した。これを6M塩酸1mLとともに減圧下でアンブル管に封入し、110℃で22時間加水分解した後、減圧乾固させ、10mLの0.02M HClに溶解し、日立社製アミノ酸アナライザー（L8500）（日立社製）で分析した。

結果および考察

通電加熱工程 サケ塩干品（サケトバ）のソフト化あるいは脆弱化のための通電加熱条件を検討した。サケトバの製造工程はサケ肉を塩水に浸漬し、その後乾燥させるのが常法であるが、通電加熱が塩干品の物性に及ぼす

Fig. 1 Effect of ohmic heating on the texture of salted-dried salmon meat.

Salmon meat was ohmically heated at 45°C for 5 min before or after salting and then dried. Penetration test was carried out using a needle (3 mm diameter) at 6 cm/min and the maximum penetration force was measured. Square, maximum value; triangle, minimum value; closed column, mean $\pm$ SD ($n=10$); a, no heating; b, heated before salting; c, heated after salting.

影響を、塩水浸漬前に通電加熱処理を行う工程と塩水浸漬後に通電加熱処理を行う工程の異なる2工程で作成した塩干品の針入強度値を指標として比較した (Fig. 1)。なお、加熱条件は45°Cで5分間と設定した。

塩水漬け前に通電加熱を行い、乾燥させた塩干品の針入強度は平均441 gwであった。未加熱肉から調製した塩干品は平均2,589 gwであったことから、塩水浸漬前の通電加熱は著しく針入強度を低下させた。一方、塩水浸漬後に通電加熱を行った塩干品の針入強度は平均2,324 gwであり、未加熱肉と差がなかった。従って、塩干品の針入強度を低下させる目的での通電加熱は、塩水浸漬前の実施が有効であることが明らかとなった。なお、通電加熱した塩干品で針入強度が非常に低いものは針が肉に接触した時点で肉が崩壊したものである。

加熱温度 サケ肉を各温度 (30, 40, 45, 50, 60, 70 および 80°C) で5分間通電加熱し、5°Cで16時間塩水浸漬後、6日間乾燥させた。乾燥期間中、経日的に針入強度と水分量を測定した (Fig. 2(a))。肉の針入強度は乾燥中に水分量が低下するにつれて上昇したが、その上昇の程度は通電加熱温度の違いで変動した。水分量が20%に到達した時点での塩干品の針入強度に及ぼす通電加熱温度の影響を Fig. 2(b)に示した。針入強度は通電加熱温度30°C肉と未加熱肉に差はみられなかったが、40~45°Cの加熱では未加熱肉の約60%の値に低下した。50°C以上では温度の上昇に伴い針入強度も高値を示した。この結果から、通電加熱温度が40~45°Cで塩干品の針入強度が最低値を示すことが明らかとなった。

次に、各温度で通電加熱し、製造した塩干品の碎け易

Fig. 2 Textural changes of salted-dried meat by ohmic heating.

Salmon meat was ohmically heated for 5 min at various temperatures shown in the figure and then salted and dried. (a) The penetration force of salted-dried salmon meat plotted against moisture content. (b) The penetration force of salted-dried salmon meat at 20% moisture content plotted against ohmic heating temperature.

Fig. 3 Effect of ohmic heating temperature on the fracturability of salted-dried salmon meat.

The salted-dried salmon was homogenized and passed through a sieve (12 mesh). The fracturability was defined as the ratio (%) of the weight of meat powder, which passed through the sieve, to the total meat weight.

さを Fig. 3 に示した。塩干品の砕け易さは通電加熱温度が 40～50℃ で最も高い値を示し、この温度帯で塩干品が砕け易くなることが明らかになった。これらの結果から、通電加熱を 45℃ で行うと、サケ塩干品の針入強度が最低となり、砕け易く、さくさくした食感の塩干品が製造できる可能性が示された。図示しないが、塩干品の外観は未加熱および 30℃ 加熱の場合、透明感があり、従来製品のサケトバとほとんど同じ外観を呈した。45℃ で加熱した塩干品の外観は、筋節間が解離して、さくさくと砕け易そうであった。また、50℃ 以上の加熱温度では温度の上昇とともに固く締まり、70℃ 以上では表面にカードの生成がみられた。

通電加熱時間 サケ肉の最適加熱温度を 45℃ と設定した後、加熱時間の設定を行う目的で、加熱時間がサケ肉物性に与える影響を検討した。45℃ での通電加熱中の塩干品（水分量 20%）の針入強度値を 60 分間経時的に測定した（Fig. 4）。針入強度値は通電加熱 5 分後に未加熱の約 50% まで低下したが、加熱 30 分後に 2100 (gw) まで上昇し、以後 60 分まで未加熱の約 60% 値を維持した。以上の結果から、通電加熱時間は最も針入強度が低値を示した加熱 5 分が最適であると考えられた。

塩干品製造時のタンパク質組成と溶解度の変化 サケ塩干品製造過程におけるタンパク質のサブユニット組成の SDS-PAGE 分析結果を Fig. 5 に示した。サケ肉を 0 から 70℃ までの各温度で通電加熱したが、加熱後のミオシン重鎖などのタンパク質組成に加熱温度の影響は認められなかった。次にこれらの通電加熱試料で作成した塩干品を同様に SDS-PAGE 分析したが、タンパク質組

Fig. 4 Effect of ohmic heating time on the texture of salted-dried salmon meat.

Salmon meat was ohmically heated at 45℃ for various periods, and salted and then dried to 20% moisture content.

Fig. 5 SDS-PAGE pattern of meat proteins in salted-dried salmon prepared by combination with ohmic heating.

(a) SDS-PAGE of ohmically heated salmon meat; (b) SDS-PAGE of salmon meat, which was dried for 143 h at 20°C after being heated and salted. 1, no heating; 2, no heating and salted; 3, heated at 30℃; 4, heated at 40℃; 5, heated at 45℃; 6, heated at 50℃; 7, heated at 60℃; 8, heated at 70℃; HC, myosin heavy chain; AC, actin.

成に差は認められなかった。これらの結果から、塩干品の通電加熱工程でサケ肉タンパク質はほとんど分解していないことが明らかとなった。この結果から、塩干品の通電加熱によるソフト化、脆弱化にタンパク質分解の関与は小さいと考えられた。

Fig. 6 にサケ肉タンパク質の溶解性に及ぼす通電加熱温度と乾燥時間の影響を示した。塩溶性タンパク質の溶解度は、未加熱では 24～48 時間の乾燥で約 30%，143 時間の乾燥で 20% まで低下した。一方、40℃ までの通電加熱では乾燥時間の違いによりわずかな差はあるものの、塩溶性タンパク質の溶解度は 25% 以下であった。さらに加熱 40℃ 以上では乾燥時間に関わらず 10% 以

Fig. 6 Changes in the solubility of salmon meat protein by ohmic heating and drying.

Ohmic heating temperatures are indicated on the abscissa. The drying times are inserted in the figures. The amounts of salt-soluble protein and water-soluble protein extracted from salmon meat are shown in (a) and (b), respectively.

下であった。水溶性タンパク質の溶解度は、乾燥時間に関わらず加熱温度の上昇と逆相関的に溶解度の低下が生じ、70°Cの通電加熱温度で5%以下まで低下した。

水溶性タンパク質の多いカツオ等の肉は80°C以上で加熱し、乾燥させることにより塩干品が硬化する。さらに、高温加熱は不溶化した水溶性タンパク質が乾燥されることにより塩干品を硬化させることが知られている。¹⁴⁾ このことは、本研究で水溶性タンパク質の不溶化が進んだ60°C以上の加熱によって塩干品が硬い物性を示したことと一致している。一方、塩溶性タンパク質は、45°Cまでの加熱で不溶化の進行 (Fig. 6(a)) と塩干品の針入強度値の低下が観察された (Fig. 2(b))。塩溶性タンパク質の不溶化と塩干品の針入強度値の低下に機構的な関係があるとする、45°C付近でみられた針入強度の低下は、塩溶性タンパク質の不溶化による脆弱化が進行し、水溶性タンパク質の不溶化による硬化は軽度であるという特異な温度で起きる現象と考えられた。今後、この現象機構の詳細な解明が必要である。

45°C以上の温度で通電加熱したサケ肉では、筋節間のコラーゲン膜の溶解が観察された。そこで各温度で加熱したサケ肉を加熱温度と同じ温度の溶液でタンパク質溶出量を測定し、0°Cで溶出するタンパク質量との差を調べた (Fig. 7)。通電加熱30°Cで溶出される水溶性タンパク質量は0°C抽出時の溶解量より低値を示したため、両者の差がマイナス値となったが、45°Cから50°Cで最も高い値を示した。これは塩干品の砕け易さの結果 (Fig. 3) と同様の傾向を示したことから、この温度帯 (45°Cから50°C) で溶出したタンパク質が砕け易さに関与する可能性が示唆された。

そこで、各温度で抽出されたタンパク質のサブユニッ

Fig. 7 Effect of extracting temperature on the amount of water-soluble proteins extracted from ohmically heated salmon meat.

Difference = (amount of water-soluble proteins extracted at ohmic heating temperature) — (amount of water-soluble proteins extracted at 0°C). The difference is plotted against ohmic heating temperature.

ト組成のSDS-PAGE分析の結果 (Fig. 8), 45°Cまでは40 kDa付近に複数のタンパク質バンドが明瞭に検出されたが60°C以上では溶出されなかった。この結果は、これらタンパク質が45°C加熱で可溶化するものの肉中に残存しており、続く塩水浸漬工程中にサケ肉から溶出することにより塩干品が砕け易くなる可能性が考えられた。さらに Fig. 8のSDS-PAGE結果から、コ

Fig. 8 SDS-PAGE of the extracts from salmon meat cooked by ohmic heating.

Salmon meat was ohmically heated for 5 min at 30, 45, and 60°C, and then water-soluble proteins extracted at 0, 30, 45, and 60°C, respectively. The extracts were applied on SDS-PAGE. MW, molecular weight marker.

ラーゲンに由来するタンパク質バンドは検出されていないことから、筋節のコラーゲンは45°Cで変性するものの可溶化されていないと考えられた。この確認として45°Cで可溶化されたタンパク質の氨基酸分析をおこなった。その結果、45°Cの加熱ではコラーゲンに特有のヒドロキシプロリンは検出されなかったことから、45°Cで可溶化されるタンパク質には、コラーゲンはほとんど含まれていないと考えられた。各温度での加熱でサケ肉から溶出される氨基酸の総量と各温度による変動 (Fig. 9) は、タンパク質の溶出 (Fig. 7) と同様の傾向を示し、溶出量が多い氨基酸はグルタミン酸、リジン、アルギニンであった (図示していない)。このことから、塩干品の砕けやすさに関与しているタンパク質はこれらの氨基酸を多く含み、45°Cで可溶化、60°C以上で不溶化する特性を有すると考えられた。すなわちこのような特性を有するタンパク質が45°Cの加熱時に肉から溶解溶出することが、その後の乾燥工程時に肉組織を結着して硬化させない一因となっていると考えられた。本実験で作成したサケ塩干品ではコラーゲンの変性による筋節剥離が観察されたものの、コラーゲンの可溶化は観察されなかったことから、コラーゲンはこの現象の一因ではないと考えられた。

通電加熱方法の検討 ブナサケ塩干品は塩水漬け前に45°Cで5分間加熱することにより、針入強度が低下することが明らかになった。しかし、成形した約1 cm × 2.5 cm × 16 cmの小肉片による通電加熱方法では、成形処理のために産業的な大量処理には不向きである。そこ

Fig. 9 Effect of extracting temperature on the total amino acids of water-soluble proteins extracted from ohmically heated salmon meat.

Difference = (amount of total amino acids of water-soluble proteins extracted at ohmic heating temperature) — (amount of total amino acids of water-soluble proteins extracted at 0°C). The difference is plotted against ohmic heating temperature.

Fig. 10 Schematic representation of a sample holding box for ohmic heating.

The salmon meat was placed in carrier solution and its temperature was measured at the 3 different points indicated. The temperature of carrier solution was also measured at point 4.

で、部分的に厚さの異なるサケ肉 (10 cm × 10 cm) をポリカーボネイト製水槽型加熱容器 (内寸 10 cm × 10 cm × 10 cm) に入れ、肉片全体が浸るように蒸留水を加えて通電加熱した。その結果、肉の部位によって、温度差のあることが分かった。この現象は、蒸留水の電気伝

Fig. 11 Changes in salmon meat temperature during ohmic heating in various carrier solutions.

NaCl concentration in a carrier solution is indicated in each figure. Temperature was measured at 4 different points as shown in Fig. 10. Point 1, broken line; point 2, dotted line; point 3, thin solid line; point 4, thick solid line.

導度がきわめて低いため、電流のほとんどが肉内を通過するものの、肉の通電断面積が部位によって異なるため、単位面積あたりの電流が異なり、発熱量に差異が生じたものと考えられる。

そこで、肉片を浸す液（導電液）の電気伝導度が肉片と等しくなるように調整すれば、肉片が不定形であっても温度分布が均一になると考えられるので、導電液の塩分濃度の決定をおこなった。Fig. 10 に示すように、サケ肉の通電断面積が部位によって異なるような台形状に成形した肉片を用い、NaCl 濃度の異なる導電液中に入れ 10 分間通電加熱した。所定の部位（Fig. 10）で温度をモニタリングし、その結果を Fig. 11 に示す。これによると、NaCl 濃度 0 % では昇温が遅く、測定部位による温度差も大きい結果となった。NaCl 濃度を 0.1 % ずつ高めていくと、昇温は速くなり、部位による温度差は小さくなる傾向がみられ、0.4 % で魚肉の部位による温度差はほぼ消滅した。さらに、NaCl 濃度 1 %, 2 % については、図示しないが、導電液が魚肉より速く昇温し、肉温は 5 分以内に十分な温度に達することができず、精度の高い温度管理は困難なものと考えられた。この時、肉温はやや遅れて上昇したが、通電による試料自体の発熱よりも、導電液からの伝熱による影響と考えられた。従って、サケ肉に通電加熱処理する場合、導電液

の NaCl 濃度は 0.4～0.5 % が適当と考えられる。

次に、数個の肉片が導電液中に浮遊した状態を想定して加熱時の肉温を確認する試験を行った。すなわち、導電液の NaCl 濃度を 0.5 % とし、不定形の肉片 3 個を浸漬した状態で 10 分間通電加熱し、Fig. 12 の結果を得た。肉片 3 個の中央部と導電液の温度は、10 分間の加熱時間中、多少のバラツキがあるものの $45 \pm 5^\circ\text{C}$ の範囲に収まり、実用的には問題ないものと考えられた。以上のことから、導電液の NaCl 濃度を 0.5 % にすることで、通電加熱による大量処理の可能性が見いだされた。なお、同じ材料でも電気伝導度は温度が高い程、高くなるため、⁹⁾ 通電前の原料と導電液の温度は一定にしておく必要があり、本試験では 20°C とした。さらに、電気伝導度に影響を与える因子としては、魚肉の脂肪含量が挙げられ、魚肉内の温度分布が不均一になる場合も考えられる。すなわちセンサーが昇温しにくい部分に設置されると必要以上に全体が加熱される危険が生じる。このリスクを避けるため、温度制御用の温度センサーは導電液を測温するように設置することが望ましい。

実用化試験 オスの C ブナサケから皮付きで約 $9\text{ cm} \times 9\text{ cm} \times$ 厚さ $1 \sim 3\text{ cm}$ に切り出した肉片の皮面を下に向け、4～5 枚重ねて、肉片と同温度の NaCl 濃度 0.5 % の導電液に浸し、 45°C で 5 分間通電加熱した。その

Fig. 12 Changes in salmon meat temperature during ohmic heating in carrier solution.

Three pieces of salmon meat were ohmically heated in carrier solution containing 0.5% NaCl and temperature was measured at each pieces of salmon meat. Piece 1, broken line; Piece 2, dotted line; Piece 3, thin solid line; carrier solution, thick solid line.

Fig. 13 An example of salted-dried salmon meat produced by ohmic heating.

Salmon meat was ohmically heated (a) or non-heated (b) and then salted and dried.

後、同量の2%食塩と1%上白糖を含む0.5%グルタミン酸ナトリウム水溶液に5°Cで1晩浸漬した。浸漬液をきり、肉片を-5°Cに凍結し、背骨の線に直角に厚さ約1cmにスライスした。これを20°Cで約3日間、水分含量が15%になるまで乾燥させると、筋節間の剥離が見られた。このようにして製造された塩干品の外観をFig. 13(a)に示した。未加熱で製造した塩干品(b)に比較して、通電加熱処理品はサクサクと碎けやすそうな外観を呈し、筋節間が剥離し、筋繊維もほぐれやすく、

容易に食べられるものとなった。以上のことから通電処理によるサケ塩干品のソフト化、脆弱化は、非常に狭い温度条件での均一な加熱が可能な通電加熱を用いることでタンパク質の適度な熱変性がもたらした結果だと考えられた。通電加熱は短時間での均一加熱が可能なため、タンパク質分解酵素がほとんど作用しなかったものと考えられた。今後、これらの詳細なメカニズムの解明が必要である。

本研究で得られたこれらの知見はブナザケ塩干品の硬化防止技術として利用できるばかりでなく、燻製、煮干し、焼き干し、干し貝柱、イリコ、干鮑、各種珍味類等の加熱後乾燥する水産加工品や未加熱で製造していた乾燥品の製造方法にも新たな展開を与えると考える。

謝 辞

本研究は水産庁補助事業の先端技術等地域実用化研究推進事業の一部として実施したものである。

文 献

- 1) 中村全良. サケ・マス類の加工法. 「北の水産加工事典」北日本海洋センター, 札幌. 1990; 7-34.
- 2) 青森県水産加工製造の手引. 青森県水産加工研究所, 八戸. 2003; 9.
- 3) 羽田野六男. ブナ化と成分変化. 「秋サケの資源と利用」(座間宏一, 高橋裕哉編) 恒星社厚生閣, 東京. 1985; 68-83.
- 4) Konagaya S. Enhanced protease activity in muscle of chum salmon *Oncorhynchus keta* during spawning migration. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1982; **48**: 1503.
- 5) 金子博実, 太田智樹, 野俣 洋, 武田忠明, 橋本健司. トバソフト化試験. 平成3年度網走水試事業報告書, 網走, 1991; 201-206.
- 6) 伊藤良博, 中谷 肇, 石川 哲, 宮木 博. サケ高品質乾製品の製造技術開発. 平成5年度青水加研報 1993; 9-18.
- 7) Alwie AAP, Fryer PJ. The use of direct resistance heating in the food industry. *J. Food Engr.* 1990; **11**: 3-27.
- 8) 植村邦彦. ジュール加熱の基礎理論. ジャパンフードサイエンス 2002; **6**: 55-60.
- 9) 秋山美展. ジュール加熱技術—その特徴と応用—. ジャパンフードサイエンス 2002; **6**: 47-53.
- 10) 柴 眞: ジュール加熱を利用したかまぼこの加熱装置とゲル物性. 日水誌 1992; **58**: 895-901.
- 11) 柴 眞, 沼倉忠弘. ジュール加熱を利用してスケトウダラすり身から製造した加熱ゲルの品質. 日水誌 1992; **58**: 903-907.
- 12) Yongsawatdigul J, Park JW, Kolbe E, Dagga A, Morrissey MT. Ohmic heating maximizes gel functionality of Pacific whiting surimi. *J. Food Sci.* 1995; **60**: 10-14.
- 13) Hashimoto K, Watabe S, Kono M, Shiro K. Muscle protein composition of sardine and mackerel. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1979; **45**: 1435-1441.
- 14) 高橋豊雄. 煮熟魚介肉についての諸現象. ニューフードインダストリー 1960; **2**: 38-48.