

水産食材の超音波洗浄とその効果

水産食材の表皮や外殻などについた泥(鉛を含んでいることも)やバイオフィルムなどは、水洗いしても完全に除去することは困難です。また、魚に豊富な不飽和脂肪酸は空気酸化しやすく、表皮の汚れとともに臭みの原因となります。これら水産食材表面の付着物質を短時間で非破壊的に除去し、食材本来の味を取り戻せる超音波洗浄技術を開発しました。活貝であれば、活かした状態のままでの洗浄が可能です。この技術の社会実装を目指して、東京大学と三井不動産株式会社は2019年より千葉県柏市柏の葉を舞台に共同研究を進めています。

始まりはタニシの洗浄

2011年3月の福島第一原発事故において大気中に放出された放射性同位元素により、東日本は広い範囲が放射能による汚染を受けました。筆者らの勤務地でもある千葉県柏市を含む東葛地域は、ホットスポットとして大きくテレビ報道され、地産の野菜が売れなくなるなど激しい風評被害に苦しみました^{1,2)}。

筆者の一人である坂口は、超音波洗浄で野菜の放射能を除去することを発想し、そのための噴流式超音波洗浄機を発明しました。試作機の写真と装置の原理を図1に示します(装置技術の詳細は文献^{3,4,5)}をご参照ください)。開発の過程において、工場の庭の泉水にいたヒメタニシに偶然目が留まった坂口は、戯れ半分にヒメタニシを超音波洗浄してみたところ、予想に反して超音波洗浄してもヒメタニシが生きていることを発見しました。従来、細胞を破碎するために生命科学の研究室では超音波処理が多用されます。私たちは超音波処理すると動物は死んでしまうものと考えていましたが、十分に弱い強度の超音波を使用すれ

おだ しょうじ さかぐち まさあき *1
尾田 正二 *1・坂口 正明 *1
おくの まさや ますだ ひろき *2
奥野 雅也 *2・増田 大樹 *2

*1 東京大学大学院 新領域創成科学研究科
先端生命科学専攻

*2 三井不動産株式会社 柏の葉まちづくり推進部

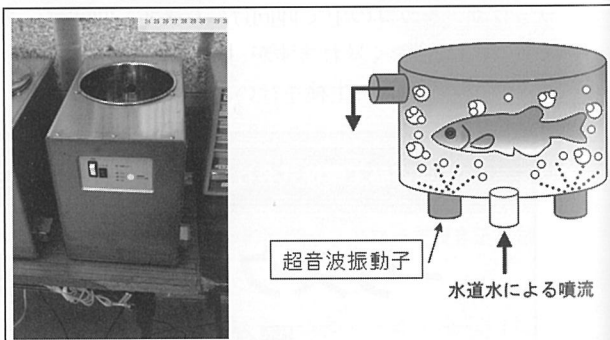


図1 噴流式超音波洗浄機の動作原理

ば、破壊することなく動物組織を超音波洗浄できることがわかりました。この発見から、アサリや塩サバなど水産食材への超音波洗浄の研究が始まりました。

アサリ・シジミの超音波洗浄

アサリ、シジミは水底の砂泥に潜って生息しています。一般に広く流通しているアサリ、シジミは砂抜き処理が施されているものもありますが、それらの貝殻の表面の凹凸の模様(彫刻)の窪みの部分には少量の泥が残っていると同時に、殻の表面にはバイオフィルム(細菌叢)が付着し、残留している場合があります。

日本の海の砂泥には、鉛が比較的高濃度に含まれています。鉛は加工しやすい金属であることから、水



図2 アサリの洗浄動画QRコードと動画の一部

超音波洗浄後(下图)は、貝殻から除去された泥汚れにより水が濁っている。洗浄効果を可視化するために噴流を停止して超音波洗浄している。
<https://youtu.be/nhCDRDQ4tzQ>



道管などの素材として古くより多用され、わが国では明治以降の工業化に伴い鉛の環境排出が進行したことが報告されています^{6,7)}。アサリを水洗いした後、さらに10分間の超音波洗浄を行うと、貝殻の表面の凹凸の中の泥汚れが振動により除去され、アサリが煙を吹くように見えます(図2)。この洗浄液を分析したところ、0.0031ppmの鉛が検出されました。日本の水道は非常に綺麗であり、通常の水道水には0.001ppm未満の鉛しか含まれておらず、そもそも濃度測定を行って鉛が検出されることはありません。

アサリもシジミも貝殻を直接食すことはありませんが、味噌汁など殻ごと調理すること多い食材であり、殻の表面に付着した泥に含まれる鉛が調理の過程で溶け出す可能性があることが実験の中で判明しました。今回の実験にて測定した洗浄液の鉛濃度は水質基準(0.01ppm以下)の約1/3であるため、極論すれば、この濃度の鉛を含む水を毎日飲用しても健康に問題無いものと考えられますが、より安全かつ安心な食生活の実現のために食材洗浄技術の発展は必要だと考えます。

また、漁獲された直後の新鮮な状態のアサリ・シジミ



図3 シジミの洗浄動画QRコードと動画の一部

超音波洗浄をかけると、泥汚れが貝殻から煙のように水に出てくる(矢印)。洗浄効果を可視化するために噴流を停止して超音波洗浄している。

<https://youtu.be/BvYMLi3FRIE>



ミであればそこまで気になることはないですが、漁獲後、時間が経過するにつれて、殻表面のバイオフィームは酸化腐敗を始めます。海から漁獲した後に時間をかけて東京など都市部の消費地に輸送されたアサリ・シジミは、わずかではありますが腐敗臭を有することとなり、そのような状態での調理は食味の低減につながります。超音波洗浄によって貝殻の表面に残存するバイオフィームを除去することによって、食味を改善することが可能です(図3)。

私たちが開発した噴流式超音波洗浄技術は、アサリ、シジミ、アメリカザリガニ等の生物の軟組織を破壊せずに生物組織体表の汚れやバイオフィームをやさしく洗浄除去可能であることを、実験の中で確認できています⁵⁾。超音波の洗浄強度を強くすることで洗浄時間を短くすることはできますが、軟組織である食材へのダメージが増すとともに、眼鏡やガラス器具を洗浄する際のような強出力の超音波でアサリ・シジミを洗浄すると、2枚の殻が激しく横ずれして殻同士をつなげている蝶番の歯が破砕され、殻の破片が身に混入してしまいます。超音波の出力を適切に抑えることが肝要です。

巻貝、カニ、エビなどの超音波洗浄

ツブ貝、タニシ類などの巻貝は殻の表面の凹凸が大きく、泥汚れ、バイオフィームだけでなく、殻の表面に住んでいる小生物、貝本体が分泌する粘膜などいろいろな汚れが残っています。水洗いでは落としきれないため、これらのような複雑な形状の食材を洗浄する際に超音波洗浄は最適です。10分間超音波洗浄を



図4 アルゼンチン産赤エビの洗浄効果

無処理、水洗い、超音波洗浄した市販のアルゼンチン産赤エビの腹面を、上図のようにLBプレートに密着させて塗布し、赤エビ表面に残留する好気性の雑菌の有無を検証した。下図は左が無処理区、中央が水洗い区、右が超音波洗浄（5分間）区。

行ってから調理することで、腐敗臭等が解消され、香りと食味の大幅な改善が期待できます。

カニ・エビ類（ロブスター含む）も複雑な形の殻（外骨格）を持っているため、洗浄が困難な食材ですが、やはり超音波洗浄によってきれいに洗浄することができます（図4）。甲羅の表面、歩脚・遊泳脚の根元の泥汚れ、バイオフィーム、粘液などの分泌物を洗浄してからボイルすることで、泥臭さや腐敗臭が消失し、食味が大きく改善されます。尾田の研究室にてアメリカザリガニを数日間きれいな水で飼育して泥抜きし、10分間の超音波洗浄後にボイルして食したところ、泥臭さは全くなく、味付け無しでもとても美味しくいただくことができました。

ただし、殻付きのカキについては、殻の表面の凸凹が激しく、大量の汚れが溜まっているため、15分間の超音波洗浄を行っても除去しきることが困難でした。殻付きカキの洗浄には、高圧洗浄の方が適していると思われます。

鮮魚の超音波洗浄

魚類の体表の最外層は粘液で覆われています（ウナギやドジョウが典型です）。粘液は物理的に魚体を保護し、あるいは病原体から魚体を守っていますが、粘液にはたくさんの細菌類も存在しています⁸⁾。この粘液は魚類の死後、時間経過に伴って雑菌が繁殖し、あるいは腐敗が進むと、「古い魚」のイメージに代表される不快な魚臭さの原因となります。

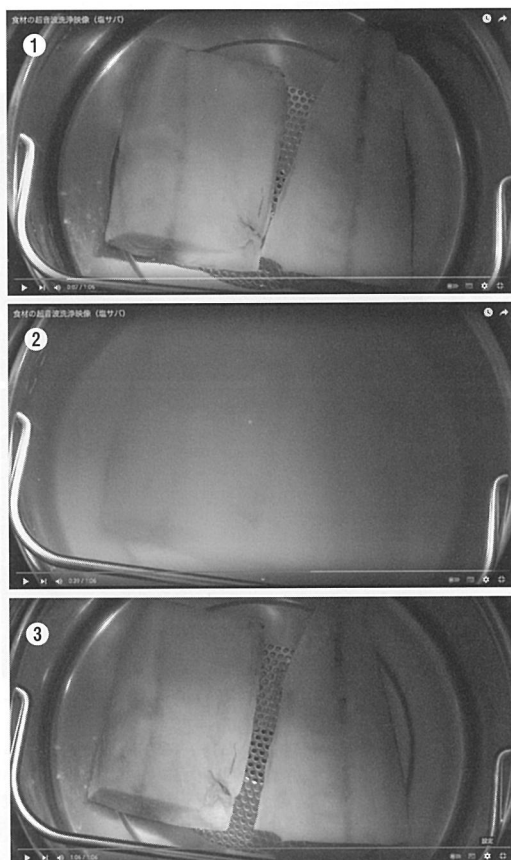


図5 ノルウェー産塩サバの洗浄動画QRコードと動画の一部

①超音波洗浄前、②超音波洗浄直後（洗浄効果を可視化するために噴流を停止して超音波洗浄している）、③噴流再開後。

<https://youtu.be/wyeOqQs1K-g>



ウマヅラハギ、アユ、アジ、イワシ、メバルなど比較的小型の魚種であれば、魚を丸ごと超音波洗浄することにより、不快な魚臭さの元となる体表の粘液（およびバイオフィーム）を除去できます。超音波洗浄による粘液除去により調理した際の不快な風味が消失し、魚本来の風味を味わうことができるとともに、煮魚等として調理した際には濃い味付けを行わずとも魚本来の風味を楽しむことができ、減塩や調味料の節約・削減の効果も期待できると考えます。

タイ、カレイのような大型の魚種の場合は、ブツ切り等、捌いた状態で超音波洗浄を行うことを推奨します。アラ煮用の切り身も超音波洗浄を行うことで臭みがなくなり、小型の魚種と同様に魚本来の風味を楽しむことができます。魚の場合は貝やエビのように凸凹が激しくないため、3～5分間の超音波洗浄で十分な



効果が期待できます。

塩サバの超音波洗浄

ある日、筆者の一人である尾田が帰宅すると、妻がノルウェー産の塩サバを超音波洗浄していました。超音波洗

浄を施した塩サバは、特有の臭みが除去され、驚くほど美味でした。美味しい塩サバには大根おろしとご飯が本当に合います。

なぜ、超音波洗浄処理を施すことで塩サバが美味しくなるのか？ さっそく組織切片をつくって顕微鏡で観察するなど研究を進めた結果、塩サバのごく表層にある酸化した脂質（過酸化脂質）の層が超音波洗浄により除去されることを発見しました⁹⁾。脂質は水に溶けませんので、普通の水洗いで落とすことは困難です。しかし、超音波洗浄を行うことでキャビテーション（気泡の発生と消滅）効果によって塩サバの表層が細かく振動し、表層の脂肪が細かい粒となって水の中に飛び出します（ミセル化）。あたかも塩サバが白い煙を吹いているように見えます（図5）。魚類の脂肪は不飽和脂肪酸を多く含みます。長期間の保管の間に、不飽和脂肪酸は空気中の酸素によって酸化され、いわゆる「冷凍焼け」と呼ばれるような特有の臭みなどの原因となります。空気酸化は塩サバの表面から徐々に進みますので、過酸化脂質を超音波洗浄のキャビテーション効果で除去することによって、酸化前の新鮮な状態の塩サバに戻すことが可能となります。時間経過に伴い食味が劣化した塩サバの食味を改善することができるのです（図6）。

なお、超音波洗浄を行ったことで塩サバから出てきた過酸化脂質は水に溶けている訳ではないため、超音波洗浄を停止すると塩サバの表面に再付着してしまいます。噴流式超音波洗浄機は水を流しながら超音波をかける^{3,4,5)}ので、出てきた過酸化脂質が塩サバに再付着することなく排水とともに除去されます（図5）。水を流さない貯留式の超音波洗浄機でも塩サバを洗浄することは可能ですが、洗い残しや洗いムラが出るため、調理した際に不快臭が残存する原因となってしまいます。食材を洗浄するに際して、噴流式の超

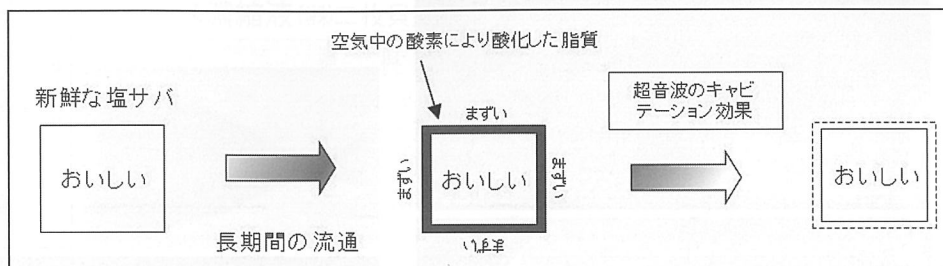


図6 超音波処理で塩サバが美味しくなる原理

音波洗浄機であることは大きなポイントです。

食材本来の風味を楽しむ

ノルウェー産塩サバの場合は3～5分程度の超音波洗浄が適切です。一方、チリ産サケの切り身は脂質が抜けやすいので、1～3分程度の超音波洗浄で十分な効果が期待できます（図7）。脂質分は食材の風味でもあるため、長時間の超音波洗浄は脂質の過剰な除去につながってしまいますが、塩サバ、サケなどの魚の種類や、冷凍、生等の食材状態を問わず、魚肉類一般に超音波洗浄を施すことで食材の臭みが消え、食材本来の風味を楽しむことが可能となります。

冷凍のアカウオのフィレ肉を解凍後に5分間超音波洗浄を行い、煮魚にした結果、やはり冷凍焼けの臭みが消え、美味しくいただくことができました。冷凍した魚を煮魚にした際の煮汁は冷やしても煮凝りができることはありませんが、冷凍した魚を超音波洗浄してから煮魚にした時の煮汁は、冷やすと魚肉から溶け出したゼラチン質が固化して、美しい煮凝りができます。

アジの開き、サンマの開き、手持ちシシャモ、目刺し、煮干しなどの干物も超音波洗浄を行うことが可能です。5分間の超音波洗浄の後、キッチンペーパー等で水を拭き取り、焼くことで、魚体の表面の雑菌が1/10程度に除去され、臭みがなくなって香りと食味が大幅に改善した焼魚を食べることができます（図8）。

イカ、タコも5分間の超音波洗浄によって体表の粘液を落とし、表層の空気酸化した成分が除去されることで、食味の改善が期待できます。丸ごと、あるいは切り身のいずれを洗浄した場合でも効果があります。冷凍のホタテ貝柱も、超音波洗浄すると臭みが消えます。

他方、水産物ではありませんが、さいころステーキ用の成型肉を超音波洗浄すると肉の味がなくなって

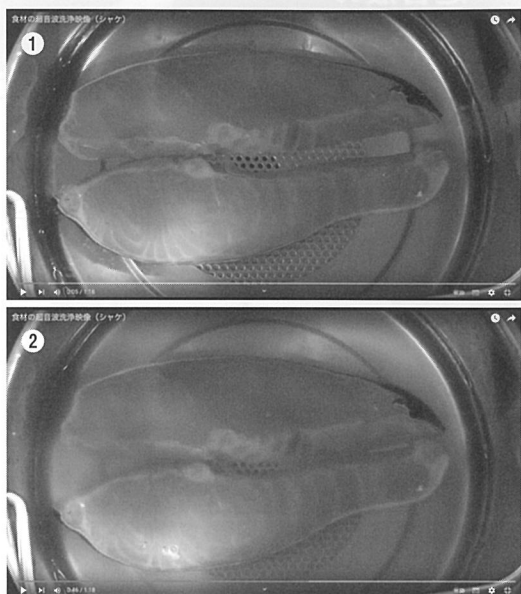


図7 チリ産サケの洗浄動画QRコードと動画の一部

超音波洗浄の前(①)と後(②)。他の水産食材よりも短時間で脂肪が水に流出する。洗浄効果を可視化するために噴流を停止して超音波洗浄している。

<https://youtu.be/fv-i2eyWPrE>

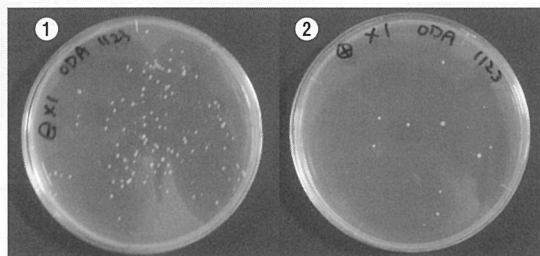
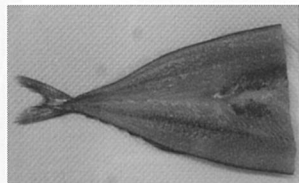
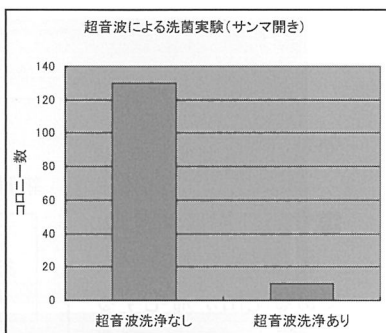


図8 サンマの開きの洗浄効果

市販のサンマ開き(北海道産)を2分割し、後半部位を超音波洗浄する前後において50mLの超純水で表面を洗浄した後、洗浄水100 μ LをLBプレートに撒種し、37 $^{\circ}$ Cにて一晩培養した。①は超音波洗浄前、②は超音波洗浄後。超音波洗浄(+水洗)により、サンマ開きの表面の菌数が約1/10に減少した。



しまいます。人為的に追加した脂肪分や風味成分は超音波洗浄によって容易に除去されますので、そのような食材の場合には超音波洗浄は不向きとなります。

最後に

保存と流通の技術発達によって、この50年の間に私たちの食生活・食文化はゆっくりと、しかし大きく変化しました。塩サバは、はるばるノルウェーから運ばれてきます。冷凍していても空気酸化は徐々に進行しますので、長い輸送の間にはどうしても酸化が進んでしまいます。保管の時間が長いと、脂質の酸化がより深層にまで至ることとなります。保管中の酸化に対する対策が適切でない塩サバや冷凍アカウオは芯まで酸化が進んでしまうため、もはや長時間の超音波洗浄を施しても臭みが消えることはありません。

本研究ならびに種々の食材の超音波洗浄実験を通して、食材から過酸化脂質等を除去し、より安全・安心な状態に戻すことに成功しました。食材の超音波洗浄を行うことで、医食同源実現への一助になりうると思います。一方、新鮮な魚介類は超音波洗浄する必要はありません。むしろ、酸化する前の脂質はそれぞれの食材に独特の風味を与えていて、新鮮な食材を

超音波洗浄すると風味が弱くなってしまいます。現在の世の中は流通システムが発展し、地球の裏側からも食材を取り寄せることができますが、食材の超音波洗浄技術が発展することで食材をより安全・安心に、より美味しく味わうことができると考えています。

引用文献

- 1) 五十嵐泰正(2012):「安全・安心の柏産柏消」円卓会議。みんなで決めた「安心」のかたち—ポスト3.11の「地産地消」をさがした柏の一年、亜紀書房。
- 2) limoto T., Fujii H., Oda S., Nakamura T., Hayashi R., Kuroda R., Furusawa M., Umekage T., and Ohkubo Y. (2012): Measures against increased environmental radiation dose by the TEPCO Fukushima Dai-ichi NPP accident in some local governments in the Tokyo metropolitan area: focusing on examples of both Kashiwa and Nagareyama cities in Chiba prefecture. Radiat Prot Dosimetry, 152 (1-3): 210-214. doi: 10.1093/rpd/ncs224. Epub 2012 Aug 26.
- 3) 日本国特許第5863557号(2013):超音波洗浄装置。
- 4) 日本国実用新案登録第3187858号(2016):超音波洗浄装置。
- 5) 日本国特許第6095087号(2017):超音波洗浄装置、及び超音波洗浄方法。
- 6) 平尾良光(1988):底泥に残された鉛汚染の歴史。沿岸海洋研究ノート, 25(2):136-145.
- 7) 内山巖雄、東賢一(2009):環境中の鉛による健康影響について。モダンメディア, 55(4):91-98.
- 8) 浅川牧夫(1992):魚類の体表面粘物質と生体防御。化学と生物, 30(4):267-269.
- 9) 尾田正二、坂口正明、奥野雅也、増田大樹(2023):食材への超音波洗浄の適用。超音波 techno, 35(1):46-52.