

クローズアップ 冷凍・解凍の基礎と養殖魚の高品質化

ネタはひんやりシヤリはひと肌 冷凍寿司の電磁波解凍

これまでに、冷凍寿司を解凍して食べる試みはあったものの、普及に至っていないかった。そこで、筆者は電磁波を用いたスマート解凍技術を開発。養殖ギンザケの押し寿司やマグロ握り寿司の解凍試験の方法や結果を紹介する。

●佐藤 實「株式会社ハンドレッド 代表取締役」

「おすしやさん」で 寿司パーティー

40年ほど前、里帰りした実家で、子ども6人、大人6人で握り寿司パーティーを開いた。シヤ



図1 寿司マシン「おすしやさん」

リ玉は、炊いたご飯から酢飯をつくり、象印マホービン(株)の寿司マシン「おすしやさん」で作成した(図1)。

子どもの食欲は想像以上で、おすしやさんのハンドルを休みなく回した記憶がある。

この時、「事前に冷凍しておいたシヤリとネタが一体化した握り寿司を迅速に解凍できる解凍機があれば素晴らしい」と考えていたことを覚えている。

それを、本稿で取り上げる100MHz電磁波解凍機「スマート解凍」で実現したので紹介したい(図2)。

従来の冷凍寿司の解凍法

寿司はシヤリ玉に、主に生鮮魚類の刺身が載っていることで、食中毒予防のための温度管理が必要になる。しかし、寿司を冷やすとシヤリが硬くなり、食した時ポロポロでおいしくなくなるので、冷やさない方が良くいとされている。そのため、市販されているマス押し寿司には、「冷やさないで、購入して3日以内に食べる」と注意書きがされているものもある。

冷凍することで、シヤリが白く、ポロポロになったもの(白蟻化)は、つくり立ての透明感のあるひと肌程度の温かいシヤリとかけ離れて、食べられなくな

なる(図3)。白蟻化したシヤリだけであれば、電子レンジ(500W、マイクロ波を使用)で加熱すれば復元できるかもしれないが、生物(なまもの)が載っている電子レンジは使えない。ネタが煮えてしまい、寿司でなくなってしまうからだ。

これまで、冷凍寿司を時間と距離の壁を越えて、国内外に運び、解凍して食べたい、食べてもらおうとする試みがあり、多くの個人、企業が挑戦してきた。

その解凍方法のほとんどは、アルミニウム合金製の解凍プレート(解凍皿)の上に冷凍寿司を並べ、電子レンジで加熱する方法である。加熱されたプレートの熱でシヤリが溶け、その余

熱でネタが溶けて食べごろになるというものである。

どの程度の解凍寿司になるかは不明であるが、2005年の新聞に大きく取り上げられた解凍プレートの記事は筆者の手元にあるものの、今ではWEB検索しても出てこないもので、普及しなかったと推察する。

冷凍と解凍

ここで少し冷凍と解凍の一般的な話をしよう。冷凍は鮮度や品質が傷みやすい生鮮水産物の保存に欠かせない保存技術である。冷凍は生鮮水産物を氷点以下の冷却環境に置くことで達せられる。この冷凍で問題になる点は、マイナス2℃からマイナ



図2 スマート解凍機
100MHz 電磁波解凍機「スマート解凍」。冷凍握り寿司を迅速に解凍できる。



図3 自然解凍及びスマート解凍した酢飯
自然解凍(左)では酢飯が白粥化し、周囲がげば立っている。スマート解凍(右)では、酢飯が透明できれいな飯粒になっている。

5℃の最大氷結晶生成帯の通過に時間が掛かることである。ここに時間を掛けると、氷結晶が巨大化し、食品組織を破壊してしまうのだ。

それを防ぐ手段として、超低温環境に置くあるいは、冷風を吹きつけながら凍結するエアラスト凍結法などの急速凍結法が開発された。その結果、コストパフォーマンスを度外視すれば、生鮮水産物を強く冷やすほど、凍結時の組織破壊が防がれ、より良い品質の冷凍物が完成することが分かってきた。

ところが、冷凍食品を利用する時は解凍する必要がある。解凍は、冷凍品を冷凍庫から出して、室温や冷蔵庫内に置いたり、

水道水や氷水などに漬けたりして解凍する自然解凍がもっぱら用いられる方法である。この際も、最大氷結晶生成帯の通過に時間が掛かり、氷の再結晶化、氷結晶の巨大化が発生し、解凍品の品質が大きく損ねられる。

すなわち、凍結時だけでなく、解凍時も最大氷結晶生成帯を素早く通過させる必要があるのだ。冷凍は周囲環境を冷やせば冷やすほど、水産物の外周から凍結が起き、できた氷は水より熱伝導度が大きいので、周辺部の氷点下温度が内部に伝わりやすく、中心部の凍結までスムーズに進んでいく。

しかし、解凍法の主流である外部加熱解凍法では、冷凍物の

周囲から熱を吸収して解凍が進行するが、周辺部が解凍され水が水になると水の熱伝導度が氷に比べ著しく小さいことから、周辺の熱が冷凍品の中心部に伝達されにくくなり、解凍が少し進んだ冷凍物は、周囲を断熱材で覆われている状態になる。

その結果、解凍を速める目的で加温しても、周辺部だけ高温に晒され、中心部は凍結状態がつづく。高温になった周辺部では、活動を停止していた酵素類が活動を再開し、タンパク質の分解から身割れやドリップ生成、脂質の分解から臭気成分の生成、生体成分の酸化などで色素成分の変色などが起きる。

近年、冷凍だけでなく、解凍

も素早く、周辺部と中心部の温度差をなくして均一に解凍を進める必要があると言われるようになった。それを可能にしたのが100MHz電磁波を用いる内部加熱解凍法(以下、スマート解凍)である。100MHz電磁波は冷凍水産物への浸透性が高く、表面から中心まで均一に迅速に解凍が進むことで、良質な解凍品が得られることが明らかになった。

しかし、寿司の場合はより複雑である。ご飯からできているシャリ玉(主にでんぷん質)と生鮮魚介類刺身(主にタンパク質)からなるネタが一体化されており、異なる食材からなる融合物を、シャリはひと肌程度に温かく、ネタは煮えることなく、ドリップの発生がなく、生に戻るよう解凍することが求められる。ドリップは、シャリを汚し、形を崩し、寿司の品質を著しく低下させるので、避けなければならぬ。

冷凍寿司の製作・解凍方法 購入から自作への変更

筆者は冷凍寿司の解凍実験で寿司を自作しているが、自作するようになったのには理由がある。当初は、テイクアウトできる街中の寿司屋からマグロ握りを購入・冷凍し、それを電磁波

解凍実験に用いていた。それを変更したのは、大学事務室で購入品の検品を受ける時、「おいしそうですね」「何に使うんですか」などと問われ、「電磁波解凍実験で使うのです」と言うのが煩わしくなったためではない。

街中の寿司屋で購入した寿司を冷凍し、電磁波解凍すると、多くは透明感のあるシャリに解凍されるが、店によってはシャリが白く、白粥化したままで、透明にならず、硬いままの寿司があつたためである。

原因は分からないままであつたが、店により、ご飯粒のつやを良くし、色を白くする、粘りを出す、甘みを増す、乾燥を防ぎ保水性を高めるなどの目的で使用していた添加物のためであると考えられる。そのため、実験条件を統一するため、街中の寿司屋から購入するのをやめて自作することとした。

米は寿司に適しているとされる宮城県のカサニシキを用い、昆布と一緒に炊き、マグロ握り寿司を自作し、冷凍・解凍実験に使用した。その際も冒頭で紹介した「おすし屋さん」のお世話になった。

冷凍寿司のスマート解凍

冷凍寿司の解凍では、温度と



図4 光ファイバーによる温度測定風景

冷凍寿司をスマート解凍した際の温度変化は、光ファイバー温度計で測定した。測定部位は、シャリ玉中心部とネタ隣接部とし、あらかじめ電動ドリルで直径2mmの穴を空け、そこに光ファイバーを挿入し、温度を測定した。

硬さが重要な評価ポイントになり、加えて電磁波解凍ではネタの煮えの有無が評価対象になろう。

●温度変化
さまざまな冷凍寿司をスマート解凍した際の温度変化を光ファイバー温度計で測定した。測定部位は、シャリ玉中心部とネタ隣接部とし、それぞれにあらかじめ電動ドリルで

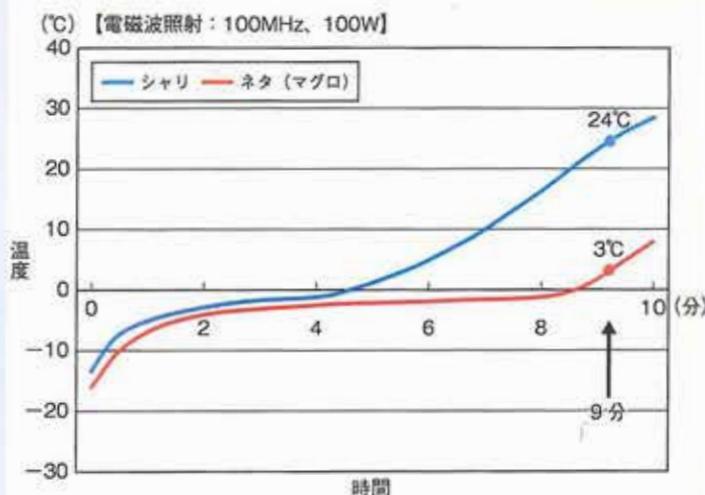


図5 握り寿司スマート解凍時の温度変化

電磁波の照射をつづけると、初めに酢飯の温度が上昇し、遅れてネタのマグロの温度が上昇した。電磁波照射9分後に取り出せば、酢飯はひと肌程度の温かさに、ネタはヒンヤリとした、つくり立てと同等の握り寿司の状態になることが分かる。

直径2mmの穴を空けておき、ここに光ファイバーを挿入し、温度を測定した(図4)。

マグロ握り寿司を用いた解凍温度変化を図5に示す。照射をつづけると、初めに酢飯の温度が上昇し、遅れてネタのマグロの温度が上昇した。図からは、電磁波照射9分後に取り出せば、酢飯はひと肌程度の温かさに、ネタはヒンヤリとした、つくり立ての握り寿司の状態になることが見て取れる。この結果から、これまでにない、画期

的な寿司解凍技術であることが確認された。

なお、酢飯が一足早く昇温し、解凍が進む理由は酢飯に加えられている食塩 $NaCl$ が関係していると考えられる。食塩の入っていない冷凍白米は、解凍にかかる時間が掛かることからも推察される。

●酢飯のテクスチャー(硬さ)

非冷凍寿司及び解凍寿司(自然解凍、スマート解凍)の酢飯粒をくさび型ブランジャーを装着したレオメーター(山電(株)製)で測定し(図6)、硬さを比較した(図7)。

スマート解凍酢飯は非冷凍すなわち凍結前のつくり立て寿司の物性とはほぼ同じであったが、自然解凍酢飯の破断強度は0.6Nとスマート解凍や非冷凍寿司の0.4Nより50%ほど高く硬いことが分かる。つまり、つくり立ての寿司とはかけ離れたものになっている。

冷凍ギンザケ押し寿司の製造・解凍技術の開発

冷凍寿司の解凍技術の開発とともに進めていた農林水産省のプロジェクトで、宮城県産飼料米をエサに添加して育てたギンザケ(みやぎサーモン)の海外販路拡大を目的に、冷凍ギンザ

ケ押し寿司の製造と解凍のための技術開発を進めるため、冷凍ギンザケ押し寿司を自作しデータ収集を行った。

ギンザケ押し寿司の製作は、まず初めに寿司型にギンザケを敷き詰め、その上に、ササニシキに高知県安芸郡馬路村のゆず風味酢を混ぜた酢飯を載せて押し固めてつくった。一口サイズに切った押し寿司をラッピングした後、ホシザキ(株)のシヨックフリーザーでマイナス30°C、30分間エアプラスチック凍結し、その後マイナス50°Cフリーザーで保存し、解凍実験に供した。

冷凍ギンザケ押し寿司は、100MHz電磁波、80W、7〜8分照射で、つくり立てのような寿司に復元した。

スマート解凍寿司の試食評価

●解凍押し寿司の評価

これまで述べたように、冷凍寿司(握り寿司、押し寿司)をスマート解凍すると、シャリはひと肌程度に温かく、ネタはヒンヤリとしたつくり立ての寿司に戻ることを確認した。

解凍品の品質は食べてもらうことが一番と考え、自作したギンザケ押し寿司を冷凍し、展示会、講演会や来客者にスマート解凍押し寿司を食べてもらい評



図6 米粒の硬さを測定する様子
非冷凍寿司及び解凍寿司（自然解凍、スマート解凍）の酢飯粒をくさび型プランジャーを装着したレオメーター（山電製）で測定し、硬さを比較した。

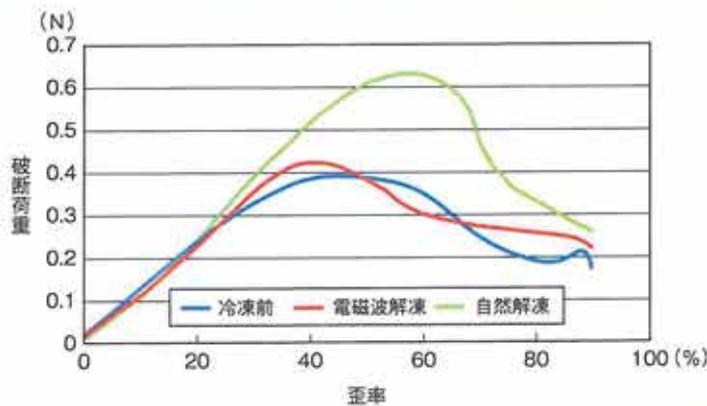


図7 冷凍前及び解凍酢飯米粒の破断曲線
スマート解凍酢飯は凍結前のつくり立ての寿司の物性とほぼ同じであったが、自然解凍酢飯の破断強度は硬いことが分かる。

また、さまざまな理由から世界でクジラなど海産哺乳動物が増えているとされている。前述のアニサキスのライフサイクルを止める手立てはないため、アニサキス食中毒は増えることはあっても、減ることはない。そのため、寿司もアニサキス食中毒の危険性が今後高まると考え

能で、いつでも食べたい時に食べることができるのである。唯一、ノリ巻きや軍艦巻きなど、ノリを使用する寿司で解凍後時間を置くと、水分（湿気）でノリが軟弱化することが改善を求められることと言える。

寿司とアニサキス

スマート解凍でさまざまな冷凍寿司が、つくり立てのような寿司に戻ることを説明してきた。ところが昨今、国内外で、寿司を食べた人が寄生虫アニサキス食中毒を発生したことがマスコミで報道され、社会に衝撃を与えた。寿司に載っている生鮮魚介類が原因と言われている。

アニサキスは最終宿主のクジラなどの海産哺乳動物の腸内で増え、卵や幼生がふんとともに海中に排泄され、それが近くの魚やイカなどに付着し、それをヒトが食べることで食中毒が発症すると言われる。

佐藤 賢
代表取締役
株式会社ハンドレッド
1948年宮城県気仙沼市生まれ。1971年東北大学農学部水産学科卒業。日清食品(株)、北里大学水産学部助手、講師、助教授、東北大学農学部助教授、教授を経て2013年に定年退職。東北大学名誉教授。同年、2018年まで文部科学省及び農林水産省の事業に従事し、2019年4月(株)スマートハンドレッド代表取締役に着任。主な研究テーマは軟体動物のエキス成分・オピン類の生理機能、電磁波の水産加工への応用。趣味はボウリング、日曜大工、庭木剪定など。

【参考文献】
1) 佐藤賢(2017) 電磁波を水産物加工に用いた新規食品製造技術開発、「新技術開発」による東日本大震災からの復興・再生」、恒星社厚生閣、東京、109～124頁。
2) 佐藤賢(2017) 電磁波解凍技術を基軸とする新コールドチェーンの構築、「マイクロ波加熱の基礎と産業応用」、R&D支援センター、東京、315～323頁。

られる。一般的な生鮮魚介類の寄生虫予防には冷凍することがおすすめられているが、寿司も同じことが言えよう。安心して寿司を食べるために、スマート解凍が活躍する場が増えそうである。

価してもらった。ほぼ全員が、「冷凍解凍とは思えないくらいおいしい」という評価であった。そのひとつとして、試食した新聞記者が書いた記事を紹介すると、「驚いたのは押し寿司の解凍。刺身と米飯という異なる素材を組み合わせた食品でも、均一の解凍ができ、米飯はほんのり温かく、魚は冷たい状態という、にぎり立てのような仕上がりがだった」。また、シンガポールで開かれた講演会に参加し、参

加者から高い評価を得るとともに、シンガポールでも装置は売れるという声が寄せられ、海外展開も自信を深めた出張だった。●寿司の長期保存が可能に
寿司の種類は実にさまざまである。スマート解凍では、酢飯とネタが一体化した冷凍寿司の解凍が、酢飯が先に温度上昇(解凍)し、ひと肌程度になり、遅れてネタがドリップを発生することなく、ヒンヤリと解凍することなく、ネタの解凍はほと

んど問題なくできるので、寿司の冷凍・解凍では、酢飯の復元が最大のポイントになる。これまでチャレンジした寿司類、例えば、握り寿司(ネタは種々)、巻き寿司、ちらし寿司、手巻(てまり)寿司、押し寿司(マス、ギンザケ、サバ、焼サバ、カレイエンガワ)などはシャリが白蠟化することなく解凍でき、おいしく食べることができた。つまり、生寿司の保存性を気にすることなく、長期保存が可