

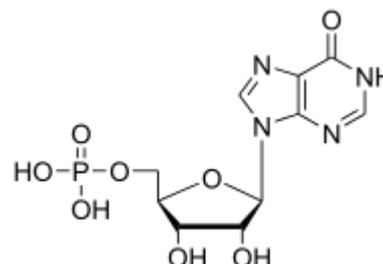
日本の水産物の高品質維持・加工技術について 第3回 「ATPの知られざる機能1」

元 鹿児島大学 産学・地域共創センター 特任教授 木村郁夫

「水産物の熟成とATP関連化合物IMPの消長」

活けしめ水産物の刺身は、それこそ高鮮度品としての価値が認められています。この場合の価値は、コリコリとした食感と魚臭さがほとんど感じられないことです。しかし、魚の味に関するコメントはでてこない。私は活けしめした直後の本マグロの肉（ぴくぴくと動く）を食べたことがあります。ゴム様の食感で味が無く、決して美味しいものではありません。マグロの場合は、水揚げから流通後、消費されるまでに数日かかります。魚体の状態は死後硬直後の解硬段階（軟化）です。最近では、「熟成」を技術訴求した商品の販売がみられます。熟成処理で成分がどのように変化するのかについて興味深いところです。熟成処理技術を開発している企業から相談を受けて共同研究をしましたが、その際、熟成処理技術そのものについては秘密もあるので詳しくお聞きしないで、熟成品の成分分析や物性分析を行いました。分析のポイントは、味に関係する成分でATPから生成するIMP（イノシン酸）の濃度変化と筋肉タンパク質の酵素分解より生成する遊離アミノ酸濃度変化などです。

IMPは一旦高濃度に蓄積された後、徐々に分解して濃度が下がっていきます。魚種によって、これらの反応速度は異なっているので、とても面白いところです。熟成に関する科学的な分析結果を把握して商品化がなされています。「熟成」処理をするとねっとり感がでてきて、美味しさを増幅しますが、この現象の解明も面白そうですね。



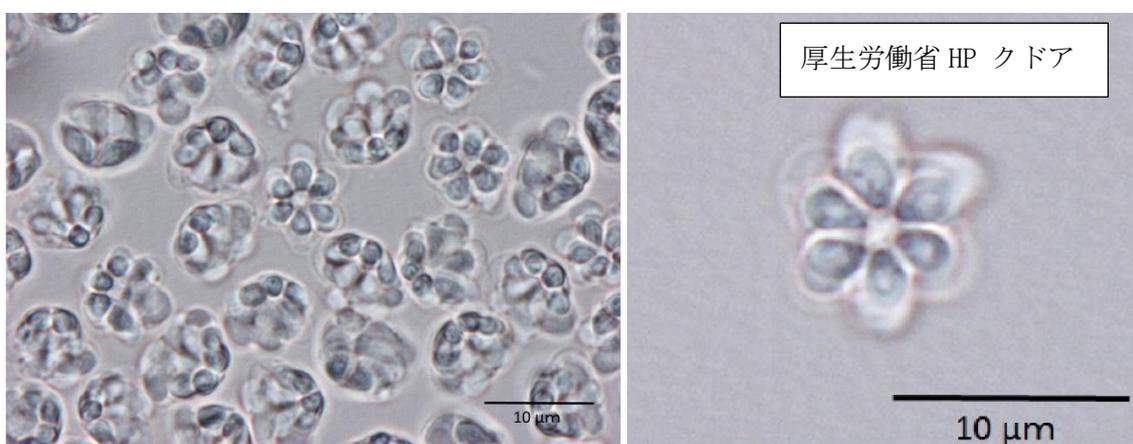
(IMP)

ATPには知られていない機能がいくつかあります。その一つとして以下に少し鮮度の話から逸れますが、私が経験したことを記します。

ATPの構造をみるとリン酸が直列で3個結合しています。リン酸が2個結合しているのはピロリン酸 (PPi) です。生体内ではATP→AMP + PPiのように、ATPからAMP（アデノシン1リン酸）とPPiが生成する反応が知られています。ピロリン酸塩についてはピンとくる方がおられることでしょう。冷凍すり身の添加物には砂糖・ソルビトール・重合リン酸塩が使われています。重合リン酸塩を使うことにより、塩ズリ時の塩溶解性が高くなり、伸びのある練り製品が製造できます。重合リン酸塩はリン酸が3個結合したトリポリリン酸塩と2個のピロリン酸塩の混合物です。ATPのリン酸部分はトリポリリン酸と見ることが出来ます。30年以上前に行った重合リン酸塩の効果を研究したなかで、ATPにも重合リン酸に似た効果があるかもしれないと考えて以下のような試験をおこないました。冷凍すり身は筋原線

維タンパク質が主体です。単純に ATP をすり身（冷凍前のすり身）に入れて混合すると、低イオン強度下の筋原線維 ATPase となりますので、爆発的に（多分、一瞬で）ATP の分解が起きることが予想されました。そこで、重合リン酸無添加冷凍すり身を試作し、塩ズリ段階で ATP を添加してみました。そうすると塩ズリ肉はトロトロな状態まで溶け、狙い通りになりましたが、その後、しばらく塩ズリを続けていると急激に硬くなる現象を示しました。これは ATP が分解されたために溶解能力が消失したと判断しました。ATP の筋肉タンパク質の溶解能力を目の当たりにしたということになります。今でも、このときの塩ズリ肉の物性変化は良く覚えています。なお、ATP はとても高価であり、さらに、食品添加物としては登録されていないので、食品への応用は難しいと判断した次第です。

「寄生虫対策と ATP」



天然魚や養殖魚には、場合によっては寄生虫が寄生していることがあります。写真はヒラメの筋肉に寄生していた粘液胞子虫の *Kudoa*（クドア）です。今から 35 年ほど前に行ったメルルーサ類のパンフィックホワイトニングの冷凍すり身化研究で、日米のトロール加工船上において、光学顕微鏡下で散々観察してきた画像と同じです。冷凍すり身は練り製品の原料なので、冷凍後加熱されるので人体に影響は全くないが、この寄生虫が寄生している魚肉のタンパク分解酵素活性（プロテアーゼ活性）はとても強いために、これに対処することが必要となり、プロテアーゼ酵素とプロテアーゼ阻害を示す食品由来物質について盛んに研究を行い、これらの魚をすり身原料として利用できるようにしました。冷凍すり身製造に関しては、ATP との関係は特に触れることはありません。

一方、クドア感染したヒラメの刺身を食した場合には、一過性の下痢・嘔吐を起こすことが 2000 年頃から報告される様になりました。養殖ヒラメに関しては養殖～出荷に際して徹底的な対策がとられ、報告件数は減少しています。ヒラメのクドア感染による食中毒発生件数と患者数は、2011 年（33 件、473 人）、2016 年（22 件、259 人）、2020 年（9 件、88 人）と報告されています。（詳しくは厚生労働省 HP 参照）

クドア寄生魚の取扱としては、「検査によりクドアの寄生が確認された場合には、当該飼

育群の全ての魚について、活魚、生鮮品での出荷を自粛すること。なお、クドアは、 -15°C ～ -20°C で4時間以上の冷凍、または、中心温度 75°C 5分以上の加熱により病原性が失われることが確認されていることから、クドアの感染が確認された飼育群は、これらの方法でクドアを失活させた上で食用とすること。」と指示が出ています。なお、ここには書いていませんが、ヒラメのクドア感染対応に関する論文では、**冷凍解凍すると品質の低下が著しく損なわれ商品価値がなくなる**と指摘されています。同じ事は、日経メディカル2014年6月15日版の記事「ヒラメ刺し身で謎の食中毒 原因は「クドア」」でも紹介されていました。

私の研究室では、**丁度、ATPが魚肉タンパク質の冷凍変性を抑制する**ということを研究し、**ATPには強烈な冷凍変性抑制効果があることを確認**しているところでした。従って、ヒラメは冷凍すると品質低下が著しく商品価値が損なわれるとの報告・報道については、凍結時のATP濃度などの情報をきちんとコントロールした凍結・解凍試験を行い検証したほうが良いと思っていました。ただ、この研究をするためには、ATP濃度、IMP濃度分析、筋原線維タンパク質の生化学的分析（ミオシンATPase活性や塩溶解性）を確実にこなし、刺身官能評価系の構築も必要としました。刺身官能評価系については、学生と職員をパネラーとしましたが、刺身評価のための評価軸を統一するための訓練をして「刺身パネラー」を構築しました。刺身は、ごく普通の食べ物なので、その評価軸は人によって異なっているため評価軸合わせは必須となります。これらの研究をやり遂げたのが、当時、私の研究室の研究員をしていた緒方由美さんでした。緒方由美さんは、私が鹿児島大学に赴任した際に最初に指導した学生でその後修士課程を修了し、私の研究室の研究員として研究活動を進めていました。

（現在は公益財団法人 函館地域産業振興財団（北海道立工業技術センター）研究開発部 食産業技術支援グループ 研究員です）

ヒラメを活けしめ・放血・冷却後、迅速にフィレを得、真空包装したものをアルコールブルーラインにて急速凍結し、高濃度のATPを含む冷凍ヒラメフィレを調製しました。対照としては、真空包装したフィレを 5°C で24時間保存後急速凍結したもの、また、それぞれについては、凍結前、凍結・解凍後のATP関連化合物の組成、pH、筋原線維の塩溶解性、Ca-ATPase活性および解凍時のドリップ量などを比較しました。解凍方法については、冷凍フィレ中に高濃度のATPが含まれていることから解凍硬直を避けるための緩慢解凍と解凍硬直を起こすような急速解凍を行い、性状を比較しました。また、血合肉の褐変についてミオグロビンのメト化率についても測定をしました。**得られた結論は大変明快で、凍結処理時に高濃度のATPを含有したものを緩慢解凍した場合は、致死後冷蔵で一昼夜保存したフィレと遜色ない刺身として評価出来る品質である**ということが明らかとなりました。ヒラメの場合は致死直後では、IMPは生成されずコリコリとした食感を楽しむものですが、刺身としては冷蔵で一昼夜ほど保存したもので味が良い（IMP濃度が高い）と評価されています。



以上のことから、寄生虫のクドア感染が疑われる場合に行われる冷凍・解凍処理については、凍結時に ATP を存在させること、さらに解凍は緩慢解凍を行うことにより、刺身の品質が低下するというようなことは防ぐことができるということが明らかにされました。この方法を応用していただければ、安全で高品質な冷凍魚の刺身を楽しむことができますようになります。

寄生虫のアニサキスについても、近年の和食ブームにより、諸外国で魚の刺身や寿司などの生食が盛んになるにつれて、鮮度管理や魚の処理技術の未熟からアニサキス症が多発するようになり問題と認識されています。EU や米国ニューヨーク市では、レストラン等で生の魚を提供する際には、一旦凍結をすることを法律で義務化しています。私達が開発した高濃度 ATP 含有での冷凍・緩慢解凍法は冷凍解凍しても高品質な刺身を提供できる方法ですので、今後、世界でも応用されるものと期待しています。

参考文献：緒方由美・岩根理穂・木村郁夫：高濃度のアデノシン三リン酸存在下で凍結し解凍したヒラメ肉の性状：日本水産学会誌 84, 835-842 (2018)