

# 日本の水産物の高品質維持・加工技術について 第5回 「ATPの機能4」

元鹿児島大学教授 木村郁夫

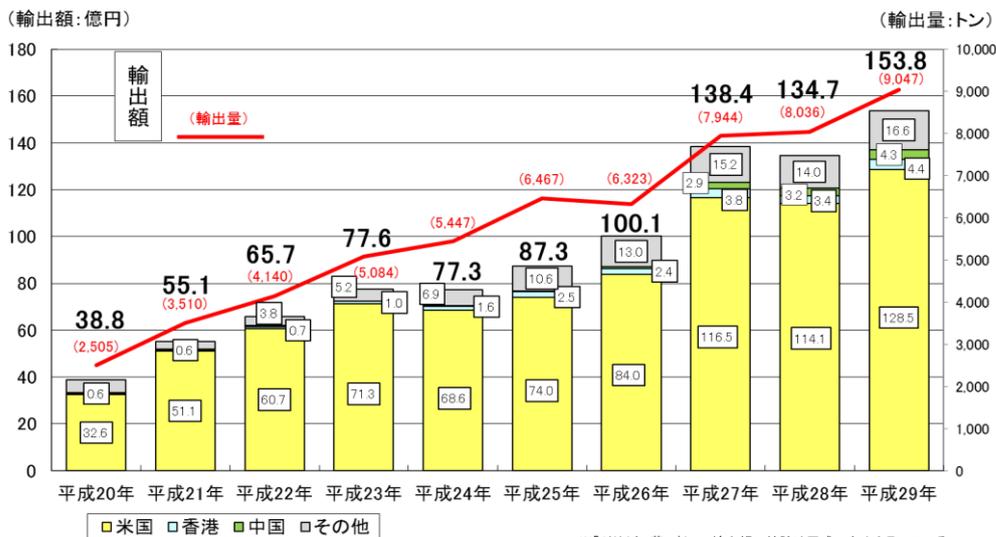
## ATPの機能 その4 色素タンパク質の安定化（変性抑制）

図は前回紹介した農林水産省が報告した「平成29年農林水産物・食品の輸出実績（品目別）」のぶりの輸出額・輸出量及び輸出先国の推移です。鹿児島大学水産学部の水産食品加工学の試験問題として、「なぜこのような輸出状況になっているのか、その技術課題も含め説明しなさい。」を出題したままです。今回、解答を記したいと思います。

### ぶりの輸出額・輸出量及び輸出先国の推移

MAFF

- 輸出額は、年々増加傾向で推移。
- 平成29年の輸出額は、米国向けが全体の約8割を占めるほか、香港や中国の需要が高まっている。



※「ぶり(生・蔵・凍)」の輸出額の統計は平成20年から取っている  
資料:財務省「貿易統計」を基に農林水産省作成

本グラフデータの核心は米国向けが8割であり、その他の国への輸出が極端に少ないということにあります。本誌の読者は水産界の事情を良くご存知の方が多くと拝察しています。答えは、ブリフィレを冷凍保存・流通すると血合肉が褐変し商品価値を失うということが技術課題となっていること、米国向けについては一酸化炭素処理が許されているのに対して、アジア、EU、カナダ、オーストラリアなどの国や地域、勿論、日本も含め禁止されていることを挙げる必要があります。禁止されている理由として、一酸化炭素処理をするとCO-ミオグロビン（ピンク色に近い色調）が生成するのですが、これは非常に安定で魚肉が腐ってもきれいな赤色を保つことから、鮮度誤認を起こすことが危惧され禁止されています。米国向けのブリフィレではフィレ処理後一酸化炭素処理が施され、その後凍結し、凍結フィレとして船で輸送されます。それ以外の国への輸出となると冷凍輸送が困難となるた

め、一般的にはチルド状態で空輸が行われてきています。空輸運賃は船による冷凍輸送に比べてとても高く、さらにチルド流通のため商品寿命も短いため、輸出量が伸びない原因となっています。CO 処理に代わる変色抑制方法が開発されれば輸出は大きく伸びることが期待されます。

ATP は変色防止に効果があるか？

2010 年（平成 22 年）5 月に鹿児島県の桜島でカンパチ養殖と加工を行っている養殖会社から、次のような相談を受けました。相談された養殖会社は、冷凍設備に投資をして冷凍フィレを製造していました。凍結解凍品は高品質であるということから設備を導入していました。製造した冷凍フィレを船便で香港に輸出していましたが、流通約 1 ヶ月の間に血合肉が変色してしまう現象があり、この対策についての相談でした。



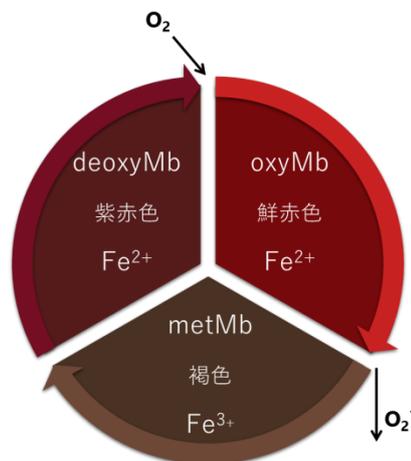
冷凍フィレ生産直後



-20°C1 ヶ月後

相談を受けた段階での私の回答は、「水産物の冷凍保存時における血合肉や赤身肉の変色の問題は水産業界では重要な問題であるが、未だ解決されていない技術課題です」というものでした。つまり、とっても難しいということでした。ただし、当時の私の研究室では、研究室を立ち上げて 1 年目でしたが、筋原線維タンパク質の冷凍変性に対する ATP による変性抑制効果について盛んに研究していたところでした。丁度、当時私の研究室の卒業研究生として研究活動を始めていた井ノ原康太さん（現在は日本水産（株）勤務）の卒業研究テーマに「ATP のミオグロビンに対する影響」を挙げ、予備試験データが得られ始めていて、もしかしたら ATP はミオグロビンに対して何らかの作用をするのではないかと感触を得ていたところでしたので、共同研究の申し出に対してチャレンジしてみましようということになりました。

ミオグロビン (Mb) について少し説明をしたいと思います。筋肉組織中に存在する酸素結合タンパク質（色素タンパク質）で、赤身魚のマグロなどの筋肉や血合肉、鯨肉中に多量に存在しています。このタンパク質は酸素と結合するタンパク質なので、いわゆる酸素ポンペの役割を担っています。クジラが長時間潜水して行動できるのも、Mb



含量がとてつもなく多いためです。Mb分子の大きさは約1.5~1.7万と、小さなタンパク質です。酸素結合部位にはヘム鉄があります。鉄原子の状態によって酸素を結合することができたりします。Fe<sup>2+</sup>の状態は酸素を結合することができますが、この状態のMbをdeoxyMbとよび色調は暗赤色です。Fe<sup>2+</sup>状態のまま酸素が結合するとoxyMbとなり色調は鮮赤色となります。組織の酸素濃度が低下すると、oxyMbは酸素を遊離し同時に鉄原子はFe<sup>3+</sup>となります。この状態は酸化されたことを意味します。この反応はとてもよくできています。即ちFe<sup>3+</sup>は酸素を結合できないので、遊離した酸素をMbは再び結合できないということになります。このMbはmetMbと呼ばれ、色調は褐色となります。メト化率というのはMb中のmetMb存在比率を表す指標で、100%はmetMbが100%であることを表します。ところで、皆様はメト化率30%や50%の血合肉の色をイメージできるでしょうか。以下に私たちの研究内容を紹介しますが、この研究を進めるためにメト化率を簡易に測定する方法やブリ血合肉のメト化率とその時の血合肉の写真を対応させたメト化率色票を作成しました。メト化率を測定する簡易方法といっても、ホモジナイザー、冷却遠心機、分光光度計などは最低限必要となりますので、ちょっとしたレベルの実験設備が必要ですね。その点、色票は商品の貿易現場で簡便に共通の色見本をみながら評価できるようにと考えて作成したものです。ご要望があれば、色票を提供したいと考えています。

生きているときには、metMbは還元されてdeoxyMbとなり酸素結合能を回復します。死ぬとこの還元反応が止まり、致死後の時間経過とともにmetMbが生成して蓄積し褐変が進行します。-20℃のような温度帯で貯蔵するとメト化が進行します。これはMbの冷凍変性が進行し、ヘム鉄が影響を受けやすい構造に変化したためと考えられます。冷凍中のメト化の進行を抑制する方法としてはマグロの冷凍流通で行われている超低温保蔵となりますが、この超低温流通システムは日本におけるマグロの冷凍保存を可能にしたもので、日本から諸外国に送る場合にはそのようなシステムは無いと考えていただければと思います。一般的な冷凍品の国際流通温度は-18℃以下付近（私たちが実測したデータでは-20℃）です。

#### 「ATPはミオグロビンメト化を抑制する」

ATPのミオグロビンメト化抑制について研究データを確認することができました。さらに、魚肉血合肉の冷凍中のメト化に及ぼす影響については、最初にカンパチについて研究を進め、ATP濃度が高い状態で冷凍したものでメト化の進行が抑制されることを見出しました。その後、ブリについても研究を進め、ATPの効果を確認することができました。つまり、一酸化炭素処理をしなくても冷凍中の血合肉の変色を遅らせることが可能であることが明らかとなりました。これらの研究内容について、次回、詳しく紹介したいと思います。