

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23580278

研究課題名(和文) 省エネルギー性と品質を考慮した水産物流通工程の最適化手法の検討

研究課題名(英文) Optimum cold distribution process of fishery produces considering food quality and energy consumption

研究代表者

渡邊 学 (Watanabe, Manabu)

東京海洋大学・海洋科学技術研究科・准教授

研究者番号：30277850

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：水産物の冷凍流通は、未凍結での冷蔵流通に比べて可食期間が遥かに長いいため、船舶輸送による輸送エネルギーの低減や、食品廃棄の抑制など、環境面では優位性が期待できる。しかし、多くの消費者が冷凍品は美味しくないというイメージを持っており、冷凍流通品の地位は低い。本研究では、マグロとサンマを用いた官能評価を行い、環境負荷と美味しさを統合的に評価することを試みた。この結果、冷凍品は環境負荷が大幅に小さく、美味しさにはそれほど顕著な違いが無いことが示された。すなわち持続可能な社会を実現するためには、冷凍流通を上手に利用することが有効であると言える。

研究成果の概要(英文)：Frozen distribution of fishery produces drastically extends their shelf life therefore it can be expected to reduce environmental load by applying ship transport that requires less energy or by reducing food loss. Many consumers, however, tend to think the frozen fishery produces are worse in their quality than unfrozen produces. Therefore, frozen fishery produces generally suffer from underestimation.

In this study, sensory evaluations are made for tuna and pacific saury to totally evaluate them by considering both environmental load and food quality. As results, frozen fishes can drastically reduce the environmental load without significant difference in the food quality. It is concluded that frozen distribution should be utilized for realizing sustainable society.

研究分野：食品工学

キーワード：水産物 輸送 環境負荷 品質 冷凍 氷蔵 LCA 官能評価

### 1. 研究開始当初の背景

地球規模での気候変動や資源の枯渇は、当時すでに大きな社会問題であり、社会の持続可能性という概念がますます重要なものとして認識されるようになっていた。このため、あらゆる産業分野で省エネルギーが進められていた。その中で水産物の流通工程は、常に低温環境を必要とするため、その環境影響は大きいものと考えられるが、当時はまだほとんど対策が行われていなかった。

そのような状況下において、水産物の冷凍流通は、未凍結での冷蔵流通に比べて可食期間が遥かに長いため、船舶輸送による輸送エネルギーの低減や、食品廃棄の抑制など、環境面で優位性があるものと期待されていたが、多くの消費者が冷凍品は美味しくないというイメージを持っており、冷凍流通品の地位は低いと言わざるを得なかった。

しかし、現代の食品冷凍は技術レベルが格段に向上しており、最新の技術を以てすれば、十分な美味しさを保った保存ができるはずである。環境負荷と美味しさの両者を定量化し、統合的に評価する方法論が確立されれば、冷凍流通の地位が向上し、より積極的にこれを利用することで環境負荷の低減が実現されると考えた。

### 2. 研究の目的

以上を踏まえて本研究では、水産物の美味しさと環境負荷を考慮して、様々な流通工程を統合的に評価できる手法の確立を目指した。具体的には、まず LCA (ライフサイクルアセスメント) を用いて水産物流通工程での環境負荷を定量的に評価した。環境負荷としては CO<sub>2</sub> 排出量を考えた。さらに CVM (仮想評価法) による水産物の美味しさの定量評価を行った。これらから、環境効率という概念によって、水産物流通工程が統合的に評価できることを示すのが目的である。

また漁獲から凍結までの時間が品質に大きな影響を及ぼすという仮説を証明するために組織学的手法による検討を行った。

### 3. 研究の方法

具体的な調査対象は、多獲魚の代表であるサンマと、高級魚の代表であるマグロとした。また参考として、最高級品とされる活魚輸送についても環境負荷の定量を行った。

環境負荷の定量には LCA を用いることが一般的であるが、美味しさの定量法には確立した方法がない。品質という表現をすれば、K 値、ドリップ量、テクスチャーなど様々な定量評価指標があるが、美味しさとはそれらを総合してヒトが感じるものであり、その定量化は極めて困難である。本研究では、CVM という方法を用い、WTP (支払意思額) によって美味しさを定量することを試みた。具体的な測定法は、官能評価を行ってこれに幾ら支払うかを答えてもらう、というものである。サンマ、マグロのいずれも、官能評価は刺身

で行った。

#### (1) サンマについて

今回の官能評価は、消費者パネル型で実施したため、被験者は 100 人という大人数であった。官能評価自体の手順はほぼ確立されているが、生鮮水産物の場合、品質劣化速度が極めて速いため、サンプルの品質にバラつきが生じやすく、測定精度が低下する。このため、生鮮水産物の官能評価は大変困難であり、実施例は少ない。そこで、我々が普段行っている生鮮水産物を試料とした実験のノウハウを体系的に整理することでサンプルの処理手順を決めた。サンプルには、北海道浜中漁協のブランドさんま「霧鮮」を用いた。漁獲海域、漁獲時期、サイズ、取揚げ後の時間がほぼ同一であるため、サンプルの個体差を小さくできる。また官能評価の実施に当たっては専門家の指導を仰いだ。そもそも 100 名のパネルを集めるのが大変であるし、また 100 名のパネルに同じ品質の刺身を提供するためには、サンプルの処理を手早く行うことが必須となる。そこで今回の試験は服部栄養専門学校で実施し、調理人として和食科講師 4 名に、パネリストとして生徒 103 名にご協力頂いた。

実験は、同じ網で漁獲されたサンマの中からほぼ同一のサイズ (約 180g) を選別して 80 尾を購入し、半分は、実用レベルで最高と考えられる方法で凍結 - 解凍を行い (冷凍品)、残りは氷蔵のまま (生品) 保存した。これらを、一回目はブラインドで、二回目は生品か冷凍品かを明示して試食してもらい、アンケートで WTP を答えてもらった。

LCA については、震災復興の観点から宮城県女川港で水揚げされたサンマを対象に計算を行った。一次データは、直接利用できるものがなかったため、条件が類似していると考えられるデータを用いた。特に、サンマの船上凍結は実際には国内では実施されていないため、マグロ船のデータを流用した。

#### (2) マグロについて

マグロの場合、サンマのようにサンプルのバラつきを抑えることが非常に難しいと考えられる。そこで今回は、環境、エサ、飼育期間、取り上げ後の履歴が明確に判る養殖クロマグロ (三重県産) を用いた。三重県で水揚げされたマグロは航空便で東京に運ばれ、ここで専門業者によりサク取りされ、半分は凍結して、半分は氷詰めめで大学に運ばれた。凍結マグロは、官能評価の前日から氷水で解凍し試験に供した。官能評価は東京海洋大学の学生 100 名をパネルとして行った。

#### (3) 活魚輸送について

解析対象は、愛媛県から首都圏へのマダイおよびカンパチの活魚輸送で、実際に業者にヒアリングを行ってフォアグラウンドデータを得た。想定したシナリオは活魚輸送、氷

蔵輸送、冷凍の3通りで、また活魚輸送の方法も、トラック（ゲージ）、トラック（泳がし）、船舶の3通りを計算した。

#### (4) 漁獲から凍結までの時間の影響

活魚のアジを即殺後、0日、1日、2日間4で保存した後に、いずれも同様の条件で凍結させ、氷結晶および細胞組織を組織学的手法により比較した。

### 4. 研究成果

#### (1) サンマについて

WTPの測定結果を図1に示す。これは、どちらか判らないようにして生品と冷凍品を食べてもらった後、片方（実は生品）の値段を300円として、もう一方（実は冷凍品）に対する支払意思額を答えてもらった結果である。回答は50～750円の範囲で広くばらついたが、平均値は291.2円となり、基準とした300円と比べて9円低い結果となった。生品はやはり冷凍品より美味しいが、その差はそれほど大きくは無い、と解釈できる。

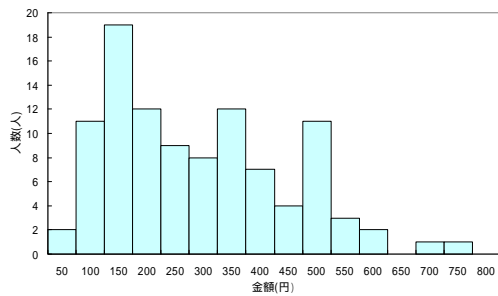


図1 ブラインドテストでのWTP

次に、全く同じ2種類のサンプルを準備し、事前にどちらが生品か冷凍品かを明かした上で食べてもらってWTPを聞いたところ、明らかに分布が変わり、平均値も257.4円と、生品より42.6円低いという結果になった。つまり、優れた方法で凍結-解凍を行ったならば、喫食時の美味しさの違いは9円程度と大変小さかったものが、情報を明示すると約43円と大きく開いたと言え、「冷凍」という情報が消費者受容性を著しく低下させることが明らかとなった。

環境負荷の計算結果を図2に示す。数値は、サンマ1t当たりのCO2排出量[t]を表す。こ

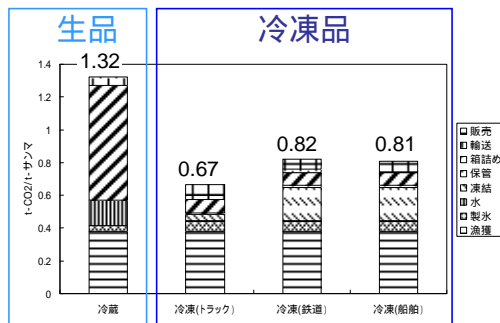


図2 CO2排出量の計算結果

れより、冷凍品の方が、CO2排出量が約40～50%小さくなるという結果が得られた。図2から判るように、生品で最もCO2排出量が大いなのは箱詰め工程であり、発泡ポリスチレンを使用するためである。なお冷凍（トラック）だけ少し値が小さいのは、これだけが陸上での凍結を想定しており、他は船上凍結だからである。

以上の結果より環境効率を計算する。冷凍品の価値には、ブラインドテストによるWTPを用い、環境負荷は鉄道輸送の値を用いた。これより、生品と冷凍品の環境効率はそれぞれ1263円/kg-CO2、1966円/kg-CO2となり、冷凍品の方が約1.5倍大きくなること示された。つまり、冷凍品の方が、小さな環境負荷で大きな価値を生み出すと言える。

#### (2) マグロについて

官能評価で求められた総合評価は、スコアが二極化するという結果になった。一般的には正規分布となることが望ましいと考えられるが、今回用いたマグロが養殖ものだったため、非常に脂ののりがあり、好き嫌いが分かれるのではないかと考えられた。そこで、主成分分析を行ったところ、図3に示すように、なめらかさ、脂ののりなどの個別評価項目の点数と、総合評価の間の相関が確認された。

第1成分PC1はなめらかさ、脂ののり、うま味に関係しており、第2成分PC2は鉄の味、酸味に関係していた。プラス評価（赤プロット）、マイナス評価（青プロット）の分布は妥当なものであり、このことから総合評価スコアの二極化は、実際のサンプルの特性と関係したもので、官能評価自体は適正に行われたことが示唆された。

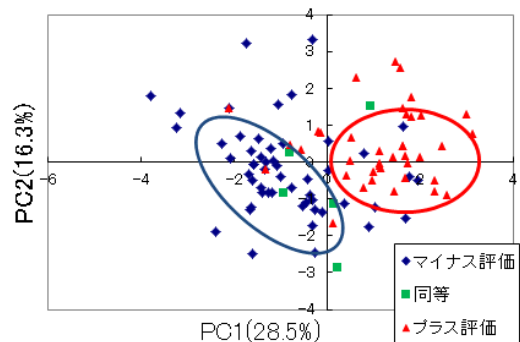


図3 主成分分析の結果

以上の考察を踏まえて、総合的な好ましさを単純な平均値で評価したところ、生品と冷凍品でそれぞれ6.7点、6.03点（10点満点）となり、1%水準で有意差が認められた。しかし、WTPの測定結果は、冷凍品を900円（100g当たり）として生品の金額を答えてもらった結果、平均値で789円となり、冷凍品の方が高い値となった。

以上より、生品と冷凍品の品質が明らかに違うとは言えない、という結論が導かれるが、これは同時にマグロを用いた官能評価、WTP

の測定が大変に難しいことを示唆している。

### (3) 活魚輸送について

トラックで活魚輸送を行う場合、ゲージと泳がしという方法がある。ゲージはプラスチック製のかごの中に魚のサイズに合わせた仕切りを付けたもので、タイやヒラメに用いられる。ゲージに入れることで魚が暴れるのを抑えられ、筋肉中の乳酸増加を防止できる。回遊魚であるカンパチは車載水槽の中で泳がせて輸送する。ゲージと泳がしの環境負荷は魚体重量 1t 当たりそれぞれ約 570、800 kg-CO<sub>2</sub>/t-魚 となった。ゲージの方が水槽内に多くの魚を入れられるためである。また、活魚輸送船の場合、環境負荷は 1620 kg-CO<sub>2</sub>/t-魚 と最も大きくなった。一般に船舶輸送はトラック輸送より環境負荷が小さいため少し意外な結果であるが、活魚の場合、船とはいえそれほど積荷の量が多くないためだと思われる。一方、水揚げ後に締めて氷詰で運ぶ鮮魚輸送と、冷凍輸送の環境負荷は約 490、320 kg-CO<sub>2</sub>/t-魚 となり、船舶による活魚輸送は冷凍輸送の 6 倍、環境負荷が大きいという結果になった。

### (4) 漁獲から凍結までの時間の影響

全く同じ条件で凍結させたにも関わらず、凍結までの時間が長くなるほど、氷結晶の粗大化、細胞外マトリクスの崩壊、保水力の低下が起こり、魚肉組織の凍結ダメージが増大することが示唆された。この結果から類推すると、(1)のサンマの実験で、生品はやはり冷凍品より美味しいという結果になったが、これは今回の冷凍品が漁獲後 2.5 日経ってから凍結されたことが理由と思われる。すなわち、サンマの船上凍結を行うことにより、従来の氷詰輸送と同等以上の品質が得られるのではないかと期待される。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

小南友里、渡辺学、鈴木徹、魚類筋肉組織の凍結において凍結前保存期間が氷結晶形態に及ぼす影響、日本冷凍空調学会論文集、査読有、31 巻、2014、47 - 56

〔学会発表〕(計 3 件)

Yuri Kominami, Hideki Ushio, Takaaki Shirai, Manabu Watanabe, Toru Suzuki, The difference of ice crystal morphology in the frozen muscular tissue of horse mackerel : the effects of different handling on ice crystal coarsening, Food Structure and Functionality Forum Symposium -From Molecules to Functionality-, 2014.3.30-4.02, Amsterdam, Netherland.

小南友里、白井隆明、渡辺学、鈴木徹、魚肉の鮮度低下が凍結時の氷結晶形態に及ぼす影響、日本農芸化学会 2014 年度大会、2014.3.27-3.30、東京。

渡辺学、白井一徳、鈴木徹、さんまの流通形態(氷詰または冷凍)による環境負荷と品質評価への影響、第 7 回日本 LCA 学会研究発表会、2012.3.7-3.9、野田。

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等  
<http://www2.kaiyodai.ac.jp/~mwat/lab02.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

渡辺学 (WATANABE Manabu)  
東京海洋大学・海洋科学技術研究科・准教授

研究者番号：30277850

### (2) 研究分担者

鈴木徹 (SUZUKI Toru)  
東京海洋大学・海洋科学技術研究科・教授  
研究者番号：50206504

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：