

冷凍流通は地球に優しい？

～食品流通における高品質と低環境負荷を両立させるための基礎的考察～

Frozen distribution of food can contribute to both high quality of food and conservation of global environment.



東京海洋大学 食品生産科学科
食品冷凍学研究室

鈴木 徹、渡辺 学

はじめに

冷凍は、加熱操作を伴わないためタンパク質の変性が起こりにくいという点で、原理的に最も優れた食品保存法である。事実、生の水産物や畜肉を長期間保存することができる。しかし冷凍保存は、保存期間中常に低温を保たねばならず、そのために冷凍機を運転するためのエネルギーを投入し続ける必要がある。一方、缶詰や乾燥など他の保存法は、加工時にはエネルギーを投入しなくてはならないが、保存中は常温でよいため特段のエネルギーを必要としない。特に冷凍保存は、氷点下まで温度を低下させる必要があり、5～10℃程度で保存する「冷蔵保存」と比較して、よりエネルギー消費が大きく、環境負荷の大きい保存法であると思われる。さらに、一度凍結された食品は未凍結品に比べて、品質が

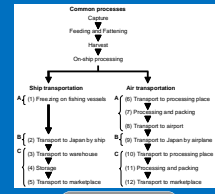
劣ると考えられており、刺身用マグロなどでも、未凍結で流通させたものの方が美味しいとして高くても売れるようなケースがある。確かに、冷凍流通食品は、原料品質、凍結、保存、解凍という4つの工程を全て正しい条件で行わなければ、品質の劣化が起こってしまう。しかし長年の技術開発の結果、最新の装置を正しく使ったならば、冷凍品であってもそれほど大きな品質劣化は起こりにくいと考えられる。さらに、冷蔵保存はどうしてもシェルライフが短いため、品質低下なども考慮してライフサイクル全体で考えれば、冷蔵保存よりも冷凍保存の方が、環境負荷が小さい場合も多いことが報告されている。

以上を踏まえて本稿では、我々の研究室で実施した3件のケーススタディについて概要を説明し、冷凍流通をうまく利用することで、食品の高品質と環境負荷の低減を両立できるということをご紹介します。

Case Study 1：生食用養殖マグロの輸入

マグロは日本人が好む代表的な水産物の一つである。世界で生産されるマグロのおよそ3分の1が日本で消費されていると言われ、その大部分は刺身として食べられている。そのうち半分以上は、国外からの輸入マグロである。刺身のマグロを国外から輸入する場合、当然ながら鮮度を保ちながら長距離を輸送しなければならず、高度な低温輸送技術が不可欠となる。冷凍であれば-60℃級の超低温輸送、もしくは航空機を利用した未凍結状態での高速輸送といったように、かなりコストのかかる方法が惜しみなく実用されてきた。コストが掛かるということは、環境負荷も大きいことが推測される。そこで、製品の環境影響評価手法であるLCA（ライフサイクルアナリシス）を用いて、蓄養マグロ流通における冷凍輸送（船舶輸送）と冷蔵輸送（航空輸送）の環境負荷を定量的に比較した。

今回、オーストラリア南部の蓄養事業を対象とした。図1はその工程図である。CaptureからOn-ship processingまでの工程は共通なので、計算はそれ以降について行った。例えば、工程(1)-AはFreezing on fishing vesselsであるが、具体的にはA重油で補機を運転して発電し、船上の冷凍機を運転する。業者へのヒアリングから、マグロ1tを凍結するのにA重油が75L必要であることがわかった（図2）。これがForeground dataである。Background dataは、今回はCO2排出原単位であり、A重油1Lを使用した際に排出されるCO2の量である。これらを掛け合わせ、工程(1)-AのCO2排出量が求められる。同様の分析を全工程に亘って行い、合計したものを図3に示す。図より、冷蔵輸送は冷凍輸送に比べて、4倍程度CO2排出量が多いことが判る。両者の最も大きな相違は大陸間輸送における船舶と飛行機の差であり、これは船舶と飛行機の一回の輸送量の違いによるものと考えられる。これより、遠距離輸送の場合、冷蔵輸送を冷凍輸送に切り替えることは環境負荷の低減に極めて有効であることがわかった。



Category	Process	Amount of CO2	Background data	Results
船舶輸送	Feeding	1000 kg	1.84 kg-CO2/kg	1840 kg-CO2
	Rearing	1000 kg	1.84 kg-CO2/kg	1840 kg-CO2
	On-ship processing	1000 kg	1.84 kg-CO2/kg	1840 kg-CO2
	Freezing on fishing vessels	75 L	2.1 kg-CO2/L	1575 kg-CO2
	Freezing on land	75 L	2.1 kg-CO2/L	1575 kg-CO2
	Transport to processing place	1000 kg	1.84 kg-CO2/kg	1840 kg-CO2
	Freezing and packing	1000 kg	1.84 kg-CO2/kg	1840 kg-CO2
	Transport to airport	1000 kg	1.84 kg-CO2/kg	1840 kg-CO2
	Transport to processing place	1000 kg	1.84 kg-CO2/kg	1840 kg-CO2
	Freezing and packing	1000 kg	1.84 kg-CO2/kg	1840 kg-CO2
航空輸送	Feeding	1000 kg	1.84 kg-CO2/kg	1840 kg-CO2
	Rearing	1000 kg	1.84 kg-CO2/kg	1840 kg-CO2
	On-ship processing	1000 kg	1.84 kg-CO2/kg	1840 kg-CO2
	Freezing on fishing vessels	75 L	2.1 kg-CO2/L	1575 kg-CO2
	Freezing on land	75 L	2.1 kg-CO2/L	1575 kg-CO2
	Transport to processing place	1000 kg	1.84 kg-CO2/kg	1840 kg-CO2
	Freezing and packing	1000 kg	1.84 kg-CO2/kg	1840 kg-CO2
	Transport to airport	1000 kg	1.84 kg-CO2/kg	1840 kg-CO2
	Transport to processing place	1000 kg	1.84 kg-CO2/kg	1840 kg-CO2
	Freezing and packing	1000 kg	1.84 kg-CO2/kg	1840 kg-CO2

図1 工程図

図2 LCAの結果

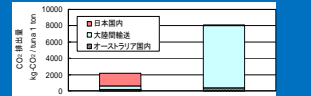


図3 冷蔵輸送と冷蔵輸送によるCO2排出量

Case Study 2：宮城県で水揚げされるサンマ

宮城県はサンマの一大水揚げ地であり、生品の氷結流通と、凍結による流通の両方が実用されている。これを対象としたLCAと大規模官能試験による品質評価を行った。

LCA システム境界は図4に示す通りで、ここに示す各工程について、生品と冷凍品それぞれの計算を行った。計算の一例として、両者に最も大きな違いをもたらす箱詰め工程について説明する。生品は、鮮度を保つために、断熱性の高い発泡スチロール製の箱に水氷とともに封入されて流通する。このとき一箱に入られる重量割合は、サンマ：水：氷=4：3：3とされる。一方、冷凍品は、段ボール箱に凍結された魚体をそのまま詰めることができる。これよりサンマ1tを箱詰めるために必要な物質とその必要量は、図5のようになる。これに、各物質のCO2排出原単位を掛けて、サンマ1t当たりのCO2排出量が計算される。結果は図6に示す通りである。図より明らかに、冷凍品の方が生品より環境負荷が小さい。これは前に説明した箱

詰め工程の影響が大きく、特に発泡スチロール箱の環境負荷が大きい。輸送においても、サンマと共に氷水を運ばなくてはならないため、環境負荷は大きくなる。3陸の冷蔵輸送は、それほど大きな違いはなく、凍結が陸上施設が船上であるかが大きく影響することが判る。

品質評価 100人のパネルによる大規模官能試験を行って、サンマの生品と冷凍品の品質評価を試みた。100人に同じ品質のサンマ刺身を提供するために、魚体の個体差、鮮度や調理のパラつき、などに細心の注意を払った。総合評価を10点満点で採点してもらった結果は図7の通りで、生か冷凍か、という情報を提示する前はほぼ同等の評価だったのに、情報提示後は有意に冷凍品の評価が低下した。評価項目別に採点してもらった結果（図8）も同様で、これより「冷凍品である」という先入観が無ければ、消費者の評価は生品と冷凍品でそれほど変わらないことが示唆された。



図4 システム境界

物質	使用量	排出原単位	排出量
水結流通		合計	777 kg
水	1.5 m ³	118 kg-CO2/m ³	177 kg
発泡スチロール箱	750 kg	0.045 kg-CO2/kg	34 kg
発泡スチロール箱	89.3 kg	6.34 kg-CO2/kg	566 kg
凍結流通		合計	35 kg
段ボール箱	125 個	0.28 kg-CO2/個	35 kg

図5 箱詰め工程のForeground data

	生品	冷凍品
情報提示前	6.7 点	6.4 点
情報提示後***	6.4 点	5.3 点

図7 総合評価の結果

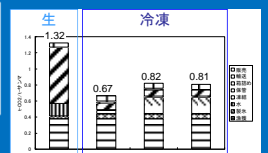


図6 計算結果



図8 個別評価項目の結果

Case Study 3：チルド＆冷凍ハンバーグの比較

現在、我が国の食品ロスは年間約500万～900万トンと推計され、これは食品由来の廃棄物の約30%～50%を占めると言われている。食品とは人間が口にしてはじめて価値が発現するものであり、食べずに廃棄された食品は、何も価値を発現しない。冷凍保存は、十分な低温を保ち続ける限り、長期間にわたり元の品質を保てるため、計画的な生産を行うことで、品質低下による廃棄を低減できる可能性がある。食品の廃棄が起こると、その製造、流通工程で発生した環境負荷が全く無駄なものとなるが、現在、食品の環境指標として

よく用いられるカーボンフットプリントは、生産量当たりのCO2排出量で定義されていて、廃棄の影響を正しく反映しているとは言えない。そこで我々が提案するのは、次式の定義による、消費量当たりのCO2である。

$$\frac{\text{総排出量} + \text{食品ロス} \times \text{廃棄に伴う排出量}}{\text{生産量} - \text{廃棄量}}$$

この定義により、廃棄を考慮して、チルドと冷凍輸送のハンバーグの環境負荷を試算した。計算のシステム境界は図9に示す通りである。製造時のCO2排出量は同等と仮定し、輸送、販

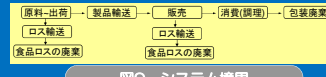


図9 システム境界

売、消費、包装の廃棄まで計算した。このうち販売工程は、店舗のショーケースを運転するための電力を計算したが、保存期間中何台のショーケースが必要であるかを決定するのに在庫量が必要で、今回はそれを図10の半減期モデルで与えた。最終結果は図11に示す通りで、チルドの廃棄率が20%を超えれば、冷凍品の方が環境負荷が小さくなることが示唆された。

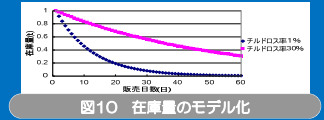


図10 在庫量のモデル化

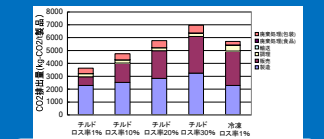


図11 廃棄量を考慮して計算した環境負荷

まとめ

未凍結での冷蔵流通と冷凍流通との環境負荷に関する計算例を3件紹介した。水産物は非常に劣化が速いため、未凍結で流通させるためには普通の冷蔵条件（5～10℃程度）では無理で、氷水による冷却が使われる。それによる輸送効率の低下と、発泡スチロール箱の使用によって、冷凍よりも環境負荷が大きくなること判った。さらに、大陸間輸送を伴う場

合、未凍結流通は航空機を使わなくてはならないため、環境負荷が著しく大きくなる。マグロの場合、冷凍流通には、肉色の褐変を抑制するために-60℃という極低温が必要だが、それでも船舶輸送は航空機と比較して遥かに環境負荷が小さい。加工食品は、製造、輸送までならば冷凍流通の環境負荷は大きくなるが、売れ残りの廃棄とか、生産調整による調達段階での効率の運用などを考慮すれば、チルドよりも環境負荷が小さくなる可能性がある。今後もさらに研究を進め、冷凍流通の有効な利用法を提案してゆきたい。