

千葉県銚子産サバ缶詰のカーボンフット・プリントの試算および 環境教育教材への利用可能性評価

The Estimate of the Carbon Footprint of canned Mackerel from Choshi Area and the Evaluation of the Adaptive Possibility for the Environmental Education Tool

安藤 生大

Takao ANDO

千葉県銚子市で水揚げされたサバを原料とするサバ缶詰について、カーボンフットプリント (CFP) の試算を行った。システム境界は、漁獲段階、冷凍冷蔵段階、缶詰製造段階、輸送段階、販売段階、廃棄段階とした。機能単位は、内容物 180g のサバ缶詰とした。各段階の CO₂ 排出量は、漁獲段階から 92.0 g-CO₂/缶、冷凍冷蔵段階から 15.2 g-CO₂/缶、缶詰製造段階から 162.5 g-CO₂/缶、輸送段階から 13.3 g-CO₂/缶、販売段階から 10.8 g-CO₂/缶となり、サバ缶詰 1 缶あたりの CFP は 293.8 g-CO₂/缶となった。サバ缶詰の CFP を削減する場合、空き缶を缶詰製造段階の金属加工過程にリサイクルすると仮定して「リサイクル率」を定義すると、CFP は 296.3~224.8 g-CO₂/缶の範囲で変化した。また、漁獲段階の製氷工場、冷凍冷蔵倉庫、缶詰製造段階の缶詰製造工場における電力供給を、再生可能な風力発電による電力を利用した場合、サバ缶詰の CFP は、缶のリサイクルを考慮しない場合でも、246.3 g-CO₂/缶 (削減前の 83.8%) に削減できた。

環境教育への利用を目的として、家庭で調理されたサバの煮魚について CFP の試算を行った。機能単位は、サバ缶詰の内容量に相当する 180 g とした。その結果、漁獲段階から 82.8 g-CO₂、販売段階から 25.2 g-CO₂、調理段階から 80.8 g-CO₂、廃棄段階から 53.0 g-CO₂ となり、煮魚の CFP は 241.8 g-CO₂ となった。銚子漁港では、冷凍冷蔵倉庫、缶詰製造工場、さらには飼肥料工場が集積していることから、漁業資源の廃棄量を最小化する有効利用が図られている。このような条件で漁獲されたサバを用いて、工場生産されたサバ缶詰と、家庭で調理されて煮魚の特徴を比較すると、一定以上のリサイクル率が確保できれば、サバ缶詰は、CFP が少なく、保存性、利便性に極めて優れていることが明らかとなった。両者の特徴の比較結果から、①空き缶のリサイクルの意味と必要性、②家庭での調理における省エネの必要性、③生ごみの発生と CO₂ 発生との関係、等の環境教育ポイントが明らかとなった。つまり、サバ缶詰の CFP は、我々の日常生活と地球環境とのつながりを実感できる環境教育の教材とすることが可能である。

1. 背景と目的

カーボンフットプリント (「Carbon Footprint」、以後 CFP) は、「日用品や食品など、製品のライフサイクル全般にわたって排出される CO₂ 量を、LCA の手法を用いて評価・算出する仕組み」と定義されている¹⁾。日用品や食品への CFP の表示は、これまで直接的に意識することが難しかった日常生活からの CO₂ 排出を、具

体的に「見える化」するための有効な手法²⁾として期待されている。事業者にとって、CFP を製品に表示することは、温暖化対策を消費者にアピールするための有効な環境コミュニケーション手段となる。加えて、CFP の算定のための CO₂ 排出量の正確な測定は、カーボンオフセット (炭素の相殺)³⁾の普及にも貢献すると考えられる。消費者にとっては、CFP を参考に商品選択することで、自身の CO₂ 排出量を自覚し、環境負荷の少ない消費 (持続可能な消費) 行動を選択することができる。これは、結果として環境意識の高い事業者を選別することにつながり、社会全体として低炭素社会の実現にむけた誘導効果が期待できる。

CFP の試算に関する研究は、筆者が銚子の特産物であるキャベツの CFP の試算を行った研究⁴⁾以外は、ほとんど行

連絡先: 安藤生大 tando@cis.ac.jp
千葉科学大学危機管理学部環境安全システム学科
Department of Environmental Security System,
Faculty of Risk and Crisis Management, Chiba
Institute of Science
(2009年10月1日受付, 2009年11月24日受理)

われていない。食品のライフサイクル全体での環境影響評価については、日本 LCA 学会誌第 4 巻 2 号で「食を巡る LCA」として特集⁵⁾が組まれた。加えて、2008 年の第 3 回 LCA 学会研究発表会では、食品研究会のセッションが設けられ、アメリカ産小麦の LCA 研究⁶⁾、コンビニエンスストアのおにぎりやサンドイッチに関する LC-CO₂ 研究⁷⁾等、農産物やそれらの加工食品に関する研究が報告された。これらの研究成果を踏まえ、食品や日用品の CFP の試算に関する多くのケーススタディーを行い、各物品のプロダクトカテゴリールール (PCR) の策定を早急に行うことが、CFP 普及のために必要である⁸⁾。

以上のような研究により CFP の算出根拠が理解できると、個人の日常生活とグローバルな地球環境問題とのつながりが実感させる、環境教育上の効果が期待できる⁹⁾。ここで、CFP の算出を行う製品を地域の特産物とすると、その特産物を生み出した自然環境についても理解することができる。つまり、地域の特産物の CFP を理解することを通じて、地域の自然環境を理解し、持続可能な消費と、その結果としての低炭素社会の必要性も理解することができる¹⁰⁾。これは、環境、経済、社会の各側面から、地域の持続可能性について理解することにつながり、「持続発展教育」(Education for Sustainable Development ESD)¹¹⁾における最適なテーマとなりえる。

以上の背景から、本研究では、千葉県銚子地域の特産物として、銚子漁港に水揚げされたサバを原料とするサバ水煮缶詰(以後、「サバ缶詰」)を例として、CFP の試算を試みた。これまで、漁業の LCA 評価に関する研究は、漁船漁業全体の燃料消費実態を俯瞰的に調査した研究¹²⁾等があるのみで、魚製品の CFP の試算に関する研究例はない。このため、文献データがほとんど存在しないことから、銚子地域で実際に行われている漁業、缶詰製造、ごみ処理等のインベントリデータの収集を行い、サバ缶詰の CFP の試算を行った。加えて、本研究では、サバ缶詰の CFP 計算を環境教育へ利用することをもう 1 つの目標として、工場で大量生産されたサバ缶詰と比較して、家庭で調理したサバの水煮の CFP 計算も行い、両者の比較を行った。

その結果、サバ缶詰は、一定以上の缶のリサイクルが確保できれば、家庭で調理された煮魚と比較して、CFP が小さく、保存性、利便性にも優れた製品であることが明らかとなった。加えて、①空き缶のリサイクルの必要性、②家庭での調理における省エネの必要性、③生ごみの削減の必要性などの環境教育上のポイントが明らかとなり、ESD の教材としても最適であることが明らかとなったので報告する。

2. 方法

2. 1 評価対象とシステム境界

銚子市漁業協同組合銚子漁港(千葉県銚子市川口町 2-6528)は、2008 年の水揚高が 252,043t に達し、日本一の水揚高となった¹³⁾。銚子漁港における主要な魚種の水揚高構成は、サバが 53.0%、サンマが 20.9%、イワシが 13.8%、カツオ・マグロが 5.20%である。同年の水揚金額は約 302 億円に達し、このうちサバは 39.4%を占めた。以上より、サバは水揚高、金額ともに、銚子漁港における主要な魚種であり、特産物といえる。

本研究における評価対象は、2008 年に銚子漁港において、旋網漁法で水揚げされたサバを原料として、銚子市内の缶詰製造工場で製造されたサバ缶詰とした。システム境界は、サバの漁獲段階、冷凍冷蔵段階、缶詰製造段階、輸送段階、販売段階、廃棄段階の 6 段階とした(図 1)。缶詰製造工程から排出される内臓、骨、頭、尾等(魚腸骨)については、工場内で燃焼等の処理が施されるのではなく、多くがフィッシュミール、飼料等の原料として出荷される。本研究では、工場から出荷後の加工に伴う CO₂ 排出はシステム境界外とした。また、サバの旋網漁法で漁獲されたサバ以外の魚種についても考慮しない。

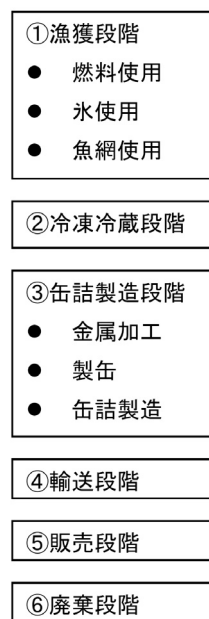


図 1 本研究におけるシステム境界。サバ缶詰のライフサイクルを 6 段階に区分した (①～⑥)。

2. 2 機能単位と計算方法

機能単位は、1 缶のサバ缶詰とした。この缶詰には、缶胴の鉄と缶蓋のアルミを合わせて 33.6 g の金属と、180 g のサバが用いられている。サバ缶詰の CFP は、最

終製品を得るために用いられる各原材料の重量を考慮して、システム境界に示した段階毎のCO₂排出量を積み上げて求めた。CO₂排出量に関する具体的な計算は、汎用的なLCAソフトウェアであるJEMAI-LCA Pro Ver. 2.1.2を用いて計算した。

2. 3 インベントリデータの収集方法

フォアグラウンドデータは、主として銚子市漁業協同組合、魚市場部、燃料資材部、製氷部、治郎吉漁業（千葉県銚子市川口町1丁目6271番地）、株式会社大一奈村魚問屋（千葉県銚子市明神町2丁目205-3番地）、信田缶詰株式会社（千葉県銚子市三軒町2番地1号）、サーディンファクトリー（千葉県銚子市西芝町3-1）、有限会社常陸水産（千葉県銚子市新生町1-36）における聞き取り調査により取得した。電気機器の電力使用量は、(株)ENEGATE社製「エコワット EW-3」による実測により求めた。

バックグラウンドデータは、LCAソフトウェア付属のデータベース¹⁴⁾を使用した。計算に用いたCO₂排出原単位を以下に示す。燃料では、A重油1L換算の燃料使用に伴うCO₂排出量を2.78 kg-CO₂/Lとし、原油1L換算の燃料使用に伴うCO₂排出量を2.65 kg-CO₂/Lとした。素材では、熱間圧延した鉄鋼板のCO₂排出量を1.56 kg-CO₂/kgとし、アルミ一次地金のCO₂排出量を4.65 kg-CO₂/kgとした。工業用水の使用からは、110 g-CO₂/m³とした。4 tトラックの輸送に伴うCO₂排出量を149 g-CO₂/(t・km)とした。電力原単位は、425 g-CO₂/kWhとした¹⁵⁾。その他の不足データは、メーカー、工業会への問い合わせ、ホームページにおける記載事項、製品カタログ等から引用した。

3. 結果

3. 1 漁獲段階

サバ漁は、旋網漁法で行う。これは、魚網とレッコ船（投網した際に網の一端を保持する小船）を搭載した本船、魚群を探索する探索船、捕った魚を運搬する運搬船からなる船団で操業する漁法である。具体的には、探索船が高性能の魚群探知機で魚群を探索し、本船とレッコ船が魚群を包囲するように大きな円を描いて投網して漁獲する。漁獲したサバは、約0.8%の塩水で製造された氷が積載された運搬船で、漁港へ運ばれる。

3. 1. 1 燃料使用

調査した漁業者の船団構成は、レッコ船を搭載した本船（総トン数80t）、探索船（88t）、運搬船（266t）の3隻構成である。これらの船団が1年間に使用する燃料は、A重油で601,411Lに達する。これに伴うCO₂排出量は、1,671,922 kg-CO₂となる。この漁業者

の2008年におけるサバの漁獲高は、6281.3tである。

以上より、漁獲段階の燃料使用に伴うCO₂排出量は、サバ1 kgあたり266.1 g-CO₂/kgとなった。

3. 1. 2 氷の使用

銚子漁協製氷部では、2008年の氷生産量が23,623 tに達し、これに伴う年間の電力使用量は2,838,384 kWhとなった。よって、1tの氷を作る際のCO₂排出量は、51.1 kg-CO₂/tとなった。調査した漁業者が2008年に使用した氷の量は4,453tであることから、CO₂排出量は227,391 kg-CO₂に達する。

以上より、漁獲段階の氷の使用に伴うCO₂排出量は、サバ1 kgあたり36.2 g-CO₂/kgとなった。

3. 1. 3 魚網の使用

旋網漁法に用いる魚網は、一般的にナイロン、テトロン、ポリエステル等の素材からなり、浮子・沈子類、金具類、ロープ類をあわせると、総重量は35t程度に達する。この魚網を織り、仕立て、完成網とするまでには、約半年程度の期間を要する。魚網の一般的な使用期間は、約5年である。ここでは、網のみを考慮し、素材をポリアミド66（CO₂排出原単位=4 kg-CO₂/kg¹⁶⁾と仮定し、総重量を30tとした。この場合、素材に由来するCO₂排出量は120,000 kg-CO₂となった。網の加工に伴うCO₂排出量は、5年間（60か月）使用するのに、6か月程度の納品期間がかかることから、全体の素材のCO₂排出量の10%と仮定し、12,000 kg-CO₂とした。このため、5年間の魚網使用に係るCO₂排出量は、132,000 kg-CO₂と仮定した。

以上より、漁獲段階の魚網の使用に伴うCO₂排出量は、サバ1 kgあたり4.2 g-CO₂/kgとなった。

3. 1. 4 漁獲段階のCO₂排出量

燃料使用から266.1 g-CO₂/kg、氷使用から36.2 g-CO₂/kg、魚網使用から4.2 g-CO₂/kgが排出されることから、漁獲段階でのサバ1 kgあたりのCO₂排出量は306.5 g-CO₂/kgとなった。1缶の缶詰には、魚腸骨以外のサバを180g使用する。缶詰製造工場では、この重量を確保するのに、300gのサバを必要とする。

以上より、漁獲段階のサバ缶詰1缶あたりCO₂排出量は、92.0 g-CO₂/缶となった。

3. 2 冷凍冷蔵段階

調査した冷凍冷蔵倉庫（千葉県銚子市川口町2丁目6356番地）は、延べ床面積が627 m²であり、最大貯蔵能力が1173 tに達する。この冷凍冷蔵倉庫の2008年の電力使用量は12,054,786 kWhであり、自家発電機の燃料として用いたA重油の使用量が163,000Lである。これらのエネルギー使用にともなうCO₂排出量は、5,576,424 kg-CO₂に達する。この冷凍冷蔵倉庫の、2008年の全魚種の取扱量は110,000 tである。このため、1kg

の魚の冷凍冷蔵に伴う CO₂ 排出量は 50.7g-CO₂/kg となる。

以上より、冷凍冷蔵段階のサバ缶詰 1 缶に相当するサバ 300g あたりの CO₂ 排出量は、15.2 g-CO₂/缶となった。

3. 3 缶詰製造段階

3. 3. 1 金属加工過程

サバ缶詰に使用される缶の重量は、33.6 g である。これを得るために使用される加工時の金属量は、缶胴の鉄板が 27.2 g、缶蓋のアルミが 6.4 g である。前者は熱間圧延した鉄板とし、後者はアルミ 1 次地金とした。

以上より、金属加工過程のサバ缶詰 1 缶あたりの CO₂ 排出量は、72.2 g-CO₂/缶となった。

3. 3. 2 製缶過程

製缶過程では、東洋製缶(株)仙台工場におけるインプット・アウトプットデータ¹⁷⁾をもとに、製缶過程の CO₂ 排出量を計算した。具体的には、10.2 億個の缶をつくるために、金属材料を 37,000t 使用し、電力を 53,200,000kWh 消費し、燃料を原油換算で 5,100,000L 使用する。これらのエネルギー使用にともなう CO₂ 排出量は、36,125,036 kg-CO₂ に達する。これを 1 缶 (37,000t/10.2 億個=36.3g) あたりの CO₂ 排出量に換算すると、35.4 g-CO₂/缶となる。このため、製缶過程では、缶重量の 97.6% (35.4/36.3) に相当する CO₂ が排出される。

本研究で扱うサバ缶詰に用いる缶の重量は 33.6 g である。よって、この製缶過程における CO₂ 排出量は、32.8 (33.6×0.976) g-CO₂/缶と見積もることができる。

3. 3. 3 缶詰製造過程

缶詰製造過程では、冷凍されたサバを仕入れ、これを解凍し、魚腸骨を除去し、成型したのち、缶詰に入れて、150℃で 90 分間、レトルト処理を施す。このときの 1 缶あたり、電力使用量は 0.03 kWh/缶、A 重油使用量は 0.016 L/缶、工業用水の使用量は 5.6 L/缶である。

以上より、缶詰製造過程のサバ缶詰 1 缶あたりの CO₂ 排出量は、57.5 g-CO₂/缶となった。

3. 3. 4 缶詰製造段階からの CO₂ 排出量

金属加工過程から 72.2 g-CO₂/缶、製缶過程から 32.8 g-CO₂/缶、缶詰製造過程から 57.5 g-CO₂/缶が排出されることから、缶詰製造段階でのサバ缶詰 1 缶あたりの CO₂ 排出量は 162.5g-CO₂/缶となった。

3. 4 輸送段階

製造されたサバ缶詰の出荷先は、神奈川県厚木市の缶詰販売業者を想定した。銚子からの往復の輸送距

離を 377km とし、これを 4 t トラックにて、1 回に 50 ケース (2400 缶+ダンボール箱) に相当する約 568 kg を輸送するとした。調査した缶詰製造工場では、主に関東圏の取引先に、このような小口配送を行うため、上記条件を代表例として検討した。

以上より、サバ缶詰の輸送段階での CO₂ 排出量は 13.3 g-CO₂/kg となった。

3. 5 販売段階

販売段階では、銚子市内の店舗での販売を想定した。この店舗は、総売り場面積が 41.8 m² であり、このうちサバ缶詰の売り場面積は 0.15 m² (全体の 0.4%) である。この店舗の月平均の電力使用量は、680 kWh である。月平均のサバ缶詰の販売個数は、96 缶である。

以上より、サバ缶詰の販売段階での CO₂ 排出量は 10.8g-CO₂/kg となった。

3. 6 サバ缶詰の CFP

各段階の CO₂ 排出量を図 2 の白部分で示した。サバ缶詰 1 缶あたりの CFP は、293.8 g-CO₂/缶となった。CO₂ 排出量の内訳は、漁獲段階から 31.3%、冷凍冷蔵段階から 5.2%、缶詰製造段階から 55.3%、輸送段階から 4.5%、販売段階から 3.7%となった。以上より、サバ缶詰の CFP では、缶詰製造段階の CO₂ 排出割合が最も多く、特に金属加工過程からの CO₂ 排出割合が 24.6%に達した。

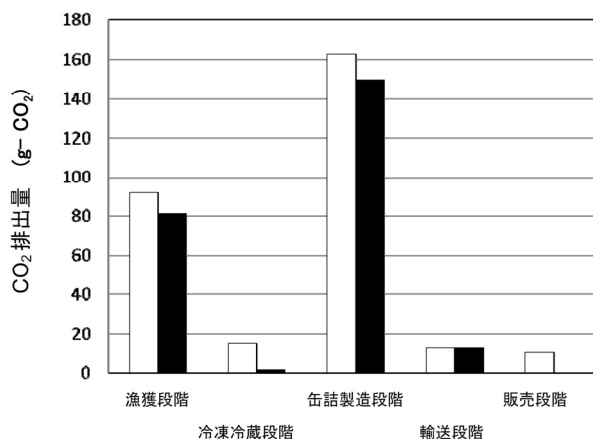


図 2 各段階における CO₂ 排出量。白色部は標準的な条件での CO₂ 排出量を表し、黒色部は風力発電の電力原単位を導入した場合の CO₂ 排出量を表す。

4. 考察

4. 1 サバ缶詰の CFP の削減

4. 1. 1 空き缶のリサイクル

缶詰の廃棄段階では、おもに使用済の空き缶が廃棄さ

れる。この空き缶が分別収集され、そのすべてが缶詰製造段階の金属加工過程にリサイクルされると仮定した「リサイクル率」を定義した。缶の分別収集を行う場合には、回収のトラック等の燃料使用に伴いCO₂が排出される。この排出量を、サバ缶詰のCFPにおける輸送段階の構成比率(1.8%)を参考として、缶詰製造段階からのCO₂排出量(162.5 g-CO₂/缶)の2%と仮定した。図3に、空き缶のリサイクル率が1%~100%まで変化した場合の、サバ缶詰のCFPの変化を示した。

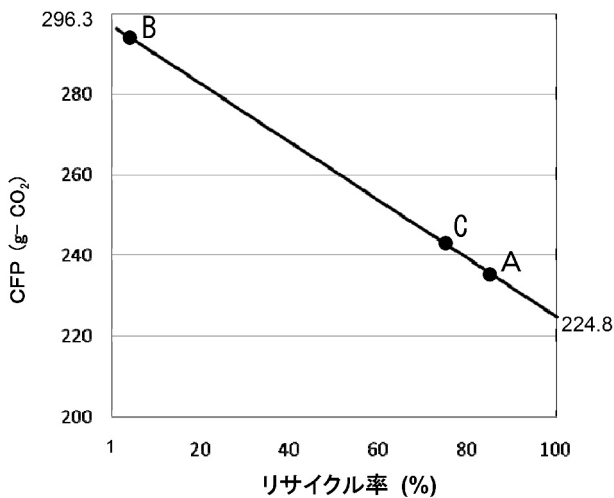


図3 リサイクル率とCFPの関係。Aは2007年のスチール缶のリサイクル率である85.1%(CFP=235.6 g-CO₂/缶)を表した。Bは、缶の回収作業に伴うCO₂排出(缶詰製造段階の2%)を考慮して、リサイクルしなかった場合のCFP(293.4 g-CO₂/缶、リサイクル率4.9%)と等しくなる点を示した。Cは、煮魚のCFPである241.8 g-CO₂に相当する点(リサイクル率=76.4%)を示した。

空き缶のリサイクル率が1%~100%まで変化した場合、サバ缶詰のCFPは296.3~224.8 g-CO₂/缶の範囲で変化した。図中の点Aは、2007年度のスチール缶のリサイクル率である85.1%¹⁸⁾に相当する点を示した。この場合のサバ缶詰のCFPは、235.6 g-CO₂/缶となった。図中の点Bは、缶の回収作業に伴いCO₂が排出されることから、リサイクルを行わなかった場合のCFP(293.4 g-CO₂/缶)と等しくなる点を示した。この場合のリサイクル率は4.9%であることから、この割合以上のリサイクル率を確保する必要がある。

4. 1. 2 風力発電による電力の利用

漁獲段階の製氷工場、冷凍冷蔵倉庫、缶詰製造段階

の缶詰製造工場における電力供給を、再生可能な風力発電による電力とした場合のCFPを試算した。各段階のCO₂排出量を図2の黒部分で示した。銚子市に設置された定格出力2MWの風力発電からの電力原単位は10.8 g-CO₂/kWhである^{19),20)}。これを製氷工場での使用電力量に適応すると、漁獲段階でのCO₂排出量は81.4 g-CO₂/缶(削減前の88.4%)となる。冷凍冷蔵倉庫での使用電力量に適応すると、冷凍冷蔵段階でのCO₂排出量は1.59 g-CO₂/缶(削減前の10.5%)となる。缶詰製造工場での使用電力量に適応すると、缶詰製造段階でのCO₂排出量は150.01 g-CO₂/缶(削減前の92.3%)となる。特に電力使用割合の大きい冷凍冷蔵段階でのCO₂排出量の削減効果が大きい結果となった。

以上より、風力発電による電力を利用した場合のサバ缶詰のCFPは、缶のリサイクルを考慮しない場合、248.8 g-CO₂/缶(削減前の87.1%)となった。

4. 2 家庭で調理した煮魚のCFP

ここでは、環境教育への利用を目的として、工場生産されたサバ缶詰に比較して、家庭で調理されたサバ煮魚のCFPの試算を行った。具体的には、サバ缶詰1缶に相当する180g分のサバを、缶詰として消費する場合と、家庭で調理した煮魚として消費する場合を想定し、両者のCFP、保存性、利便性、味等の特徴を比較した。煮魚のシステム境界は、漁獲段階、販売段階、調理段階、廃棄段階とした。

4. 2. 1 漁獲段階

家庭で生サバを使用して調理する場合、魚腸骨を除去する。予備実験によると、450gの一尾のサバから、魚腸骨が約150g廃棄された。つまり、家庭においてサバを調理する場合、可食部の1.5倍のサバが必要と考えられる。缶詰には180gのサバが必要であることから、これを1食分とした場合、270gのサバが必要となる。

以上より、サバの煮魚1食分における漁獲段階でのCO₂排出量は、82.8g-CO₂となった。

4. 2. 2 販売段階

販売段階では、銚子漁港に隣接した鮮魚販売店で生サバを購入するとした。この店舗の敷地面積は66m²であり、このうち売り場面積は22m²(33%)である。この店舗では、業務用の冷蔵庫が5台設置されており、月平均の電力使用量は5,000 kWhに達する。月平均の営業日数は25日とし、月平均の鮮魚全体の販売量は約5,000 kgとした。サバは、8月~11月までの約4か月間は、操業海域が北に移動することから、銚子漁港の水揚げ量が減る。このため、この間の販売期間は評価対象外とした。この店舗でのCO₂排出量は1日あたり86 kg-CO₂/日となり、サバの売り場面積と販売期間を考慮

すると、18.7 kg-CO₂/日となる。1日平均の鮮魚販売量は、200 kg であることから、この店舗で鮮魚 1 kg あたりを販売する場合の CO₂ 排出量は、93.5 g-CO₂/kg となる。

以上より、サバの煮魚 1 食分に相当する 270g のサバの販売段階での CO₂ 排出量は、25.2 g-CO₂ となった。

4. 2. 3 調理段階

調理は、一食分に相当する生サバの切り身 180 g を、水 180 g で、状態を観察しながら 20 分間煮るものとした。調理器具は、パナソニック株式会社製 IH 調理器 KZ-PH30P と、直径 20cm のステンレス製家庭用鍋を用いた。使用電力量の測定は、(株)ENEGATE 社製「エコワット EW-3」にて行った。この調理における使用電力量は、0.19 kWh となった。

以上より、サバの煮魚 1 食分に相当する調理段階での CO₂ 排出量は、80.8 g-CO₂ となった。

4. 2. 4 廃棄段階

調理段階の予備実験から、180 g の可食部を得るのに、270 g のサバが必要であることから、90 g の魚腸骨が廃棄される。また、調理後のサバを食べる段階では、複数回の予備実験から、約 10 g の骨が廃棄された。以上より、煮魚から排出される可燃ゴミの合計を 100 g とした。

本研究では、銚子市での環境教育への利用を目的していることから、ごみ処理は銚子市における一般廃棄物にて処理することを想定した。現在、制度化が進む CFP の計算においては、バイオマス起源の CO₂ は計上しないのが一般的だが、本研究では環境教育への利用を考慮して、生ごみを銚子市の一般廃棄物として焼却処理する場合の CO₂ 排出量を CFP に計上した。2007 年の銚子市の一般廃棄物は、可燃ごみの排出量が約 30,000 t に達する。銚子市清掃センター、衛生センターの廃棄物燃焼、電気使用、燃料使用から発生する CO₂ 排出量は 16,026 t-CO₂ である²¹⁾。よって、銚子市の可燃ごみの処理に伴う CO₂ 排出原単位は 530 g-CO₂/kg となる。

以上より、サバの煮魚 1 食分に相当する廃棄段階での CO₂ 排出量は、53.0 g-CO₂ となった。

4. 2. 5 煮魚の CFP

サバ缶詰 1 缶に相当する 180 g を 1 食分とした場合、煮魚の CFP は 241.8 g-CO₂ となった。CO₂ 排出量の内訳は、漁獲段階から 34.2%、販売段階から 10.4%、調理段階から 33.4%、廃棄段階から 21.9% となった。以上より、煮魚の CFP では、販売段階以降の家庭における CO₂ 排出割合が、55.3% に達する。このため、煮魚の CFP を削減する場合には、調理法を工夫したり、生ごみの発生を抑制したりする家庭内での工夫が重要である。

4. 3 銚子漁港における漁業資源の有効利用と、缶詰および煮魚の環境教育への利用可能性

銚子漁港では、冷凍・冷蔵工場が 127 工場存在する。その結果、1日の冷凍能力は 5,695 t/d に達し、全体の冷蔵能力は 315,550 t に達する。東北地方の主要漁港である石巻漁港（平成 20 年度の漁獲高第 5 位）では、冷凍能力は 5,385 t/d に達するが、冷蔵能力は 175,446 t である。女川漁港（平成 20 年度の漁獲高第 13 位）では、冷凍能力が 739 t/d であり、冷蔵能力も 53,180 t にとどまる。これら近隣の漁港と比較した場合、銚子漁港の冷凍・冷蔵能力が高いことは明らかである。その結果、大量の魚の受け入れが可能となり、魚の買い取り価格が安定することから、多くの漁業資源が銚子漁港に集まり、日本一の水揚げ高となっている。加えて、銚子漁港では、開き干し、缶詰、更には魚腸骨の加工業も発達し、漁業資源を有効利用するシステムが構築されている。これに対して、他の多くの漁港では、冷凍・冷蔵能力を上回る魚の受け入れは困難なため、大漁時の買い取り価格の下落や、場合によっては魚の廃棄が行われる。

このように漁業資源が有効利用されている銚子漁港で水揚げされたサバを利用して、工場生産された缶詰と、家庭で調理された煮魚の特徴を表 1 にまとめた。両者の CFP を比較すると、サバ缶詰は缶のリサイクル率により 296.3~224.8 g-CO₂ であるのに対して、煮魚では 241.8 g-CO₂ となった。この値は、サバ缶詰の缶のリサイクル率が 76.4% に相当する（図 3 点 C）。保存性を比較すると、サバ缶詰では常温保存で賞味期限は 3 年である。これに対して、調理後の煮魚では、冷蔵しても 1 日程度の保存期間である。利便性を比較すると、サバ缶詰では調理の必要がなく、運搬性、携帯性に優れ、食べる場所を選ばず、骨まで食べられることから生ごみの発生も少ない。これに対して、家庭で調理する煮魚では、電気やガス等のエネルギー使用に伴い費用や CO₂ が発生する。さらに、調理前に魚腸骨が発生し、調理後には食べられない骨や煮汁が出ることから、これらを主に一般廃棄物として処理すると、廃棄量に応じて CO₂ が発生することになる。味を比較すると、サバ缶詰では水煮、味噌煮、醤油煮などの商品があるが、どれも画一的な味であり、好みに分かれる。これに対して、煮魚では、家庭で自由に調理できることから、好みの味（家庭の味）とすることができる。これらのサバ缶詰と煮魚の特徴を整理すると、我々の日常生活と地球環境とのつながりを実感できる環境教育の教材となりえると考えられる。

以上より、銚子漁港では、冷凍冷蔵倉庫、缶詰製造工場、さらには飼肥料工場が集積していることから、漁業資源の有効利用が図られている。このように有効

表 1 サバ缶詰と煮魚の特徴の比較と環境教育のポイント

	缶 詰	煮 魚
CFP	288.2～216.7 (缶のリサイクル率による)	241.8
値段	300 円/缶 (180 g)	70 円/半尾分 (180 g)
保存性	常温で 3 年程度	冷蔵して 1 日程度
利便性	<ul style="list-style-type: none"> ● 調理の必要なし ● 運搬性、携行性に優れる ● 食べる場所を選ばず、骨まで食べられることから生ごみの発生も少ない ● 廃棄物として、空き缶がでる 	<ul style="list-style-type: none"> ● 調理の必要あり ● 電気やガス等のエネルギー使用に伴い、家庭で費用や CO₂ が発生する ● 調理前後に生ごみが発生し、家庭で一般廃棄物として処理する必要が生じる
味	画一的で、好みに分かれる	好みの味付けが可能
EDS のポイント	①CFP の意味と算出方法の理解 ②CFP と値段との関係から持続可能な消費の理解 (経済: 持続可能な消費) ③空き缶をリサイクルや生ごみ削減の必要性の理解 (環境: 資源の有効利用) ④家庭での調理における省エネの必要性を理解させること (環境: 省エネ) ⑤低炭素社会の必要性の理解 (社会)	

利用された漁業資源を用いて、工場生産されたサバ缶詰と、家庭で調理した煮魚の特徴を比較すると、一定以上のリサイクル率が確保できれば、サバ缶詰は、CFP が少なく、保存性、利便性に極めて優れた製品であることが明らかとなった。これらの特徴を整理すると、①空き缶をリサイクルすることの意味と必要性、②家庭での調理における省エネの必要性、③生ごみの発生と CO₂ 発生の関係等を理解される環境教育ポイントが明らかとなった。つまり、サバ缶詰の CFP は、我々の日常生活と地球環境とのつながりを実感できる環境教育の教材とすることができる。

4. 4 特産物の CFP の ESD への利用可能性

2002 年に開催された「持続可能な開発に関する世界首脳会議」(ヨハネスブルクサミット)の実施計画の議論において、わが国は、「持続発展教育 (Education for Sustainable Development ESD) の 10 年」を提案し、実施計画に盛り込まれた。これを踏まえて、わが国は、2002 年の第 57 回国連総会に、2005 年からの 10 年間を「ESD の 10 年」とする決議案を提案し、満場一致で採択された。ESD の目標は、(1) 持続可能な発展のために求められる原則、価値観及び行動が、あらゆる教育や学びの場にとりこまれること、(2) すべての人が質の高い教育の恩恵を享受すること、(3) 環境、経済、社会の面において持続可能な将来が実現できるような価値観と行動の変革をもたらすこと、とされている。つまり、ESD は、持続可能な社会を実現するための担い手をつくるために、環境、経済、社会の各側面から総合的に問題を把握し、他人や、社会や、自然環境との関係性を認識し、「かかわり」や「つながり」を尊重

できる個人を育む教育である。

ESD の 10 年の半分の期間が経過し、上記の理念は国内の教育現場で少しずつ広がり、理解されつつある。しかし、この理念を教育実践の場で具現化させようとした場合、その教育・学習の必然性が学習者に理解される適切なテーマが必要である²²⁾。このため、環境、経済、社会のそれぞれに関係し、ESD の理念を実現するのに必要十分な具体的なテーマの提案が求められている。

本論で提案した地元の特産物の CFP を利用した環境教育プログラムでは、特産物を生み出した地域の自然環境を理解し、価格と機能だけでなく CFP を重視した持続可能な消費行動を理解し、その結果として低炭素社会の実現の必要性を理解させることができる。特産物の CFP の算出過程を通じて、生産、流通、消費、廃棄の各段階からの CO₂ 排出を理解することで、自らの生活と地球環境を CO₂ 排出の観点で「つなげる」ことができる内容とすることができる。その上で、理解にとどまらず、持続可能な消費行動、省エネ、ごみ排出の抑制などの具体的な環境配慮行動を促すこともできる。

本研究では、銚子市の特産物の例としてサバ缶詰を取り上げ、その CFP を利用して ESD 教材としての可能性を検討した。具体的には、缶のリサイクルの意味と必要性、調理における省エネや生ごみの発生抑制等を教育ポイントとすると、銚子市における ESD 教材として有効に機能する可能性が高い。他の地域の特産物においても、同様の CFP 算出を利用した ESD 教材化を行うと、それぞれの地域でより具体的な ESD 教育モデルが構成できると考えられる。

5. まとめ

千葉県銚子市で水揚げされたサバを原料とするサバ缶詰の CFP の試算を行った。システム境界は、漁獲段階、冷凍冷蔵段階、缶詰製造段階、輸送段階、販売段階、廃棄段階とした。機能単位は、内容物 180g のサバ缶詰とした。

各段階の CO₂ 排出量は、漁獲段階から 92.0 g-CO₂/缶、冷凍冷蔵段階から 15.2 g-CO₂/缶、缶詰製造段階から 162.5 g-CO₂/缶、輸送段階から 13.3 g-CO₂/缶、販売段階から 10.8 g-CO₂/缶となり、サバ缶詰 1 缶あたりの CFP は 293.8 g-CO₂/缶となった。

サバ缶詰の CFP を削減する場合、空き缶を缶詰製造段階の金属加工過程にリサイクルすると仮定した「リサイクル率」を定義すると、サバ缶詰の CFP は 296.3~224.8 g-CO₂/缶の範囲で変化した。また、漁獲段階の製氷工場、冷凍冷蔵倉庫、缶詰製造段階の缶詰製造工場における電力供給を、再生可能な風力発電による電力を利用した場合、サバ缶詰の CFP は、缶のリサイクルを考慮しない場合でも、246.3 g-CO₂/缶（削減前の 83.8%）に削減することができた。

環境教育への利用を目的として、工場生産されたサバ缶詰に比較して、家庭で調理されたサバ煮魚の CFP の試算を行った。サバ缶詰 1 缶に相当する 180g を 1 食分とした場合、漁獲段階から 82.8 g-CO₂、販売段階から 25.2 g-CO₂、調理段階から 80.8 g-CO₂、廃棄段階から 53.0 g-CO₂ となり、煮魚 1 食分の CFP は 241.8 g-CO₂ となった。

銚子漁港では、冷凍冷蔵倉庫、缶詰製造工場、さらには飼肥料工場が集積していることから、漁業資源の有効利用が図られている。このように有効利用された漁業資源を用いて、工場生産されたサバ缶詰と、家庭で調理した煮魚の特徴を比較すると、一定以上のリサイクル率が確保できれば、サバ缶詰は、CFP が少なく、保存性、利便性に極めて優れた製品であることが明らかとなった。

これらの特徴を整理すると、①空き缶をリサイクルすることの意味と必要性、②家庭での調理における省エネの必要性、③生ごみの発生と CO₂ 発生との関係等を理解される環境教育ポイントが明らかとなった。つまり、サバ缶詰の CFP は、我々の日常生活と地球環境とのつながりを実感できる環境教育の教材とすることができる。

このことは、特産物の CFP 算出を利用した教育プログラムは、持続発展教育 (ESD) の具体的なテーマとして適していることを示している。

謝辞

銚子市漁業協同組合魚市場部、燃料資材部、製氷部、

治郎吉漁業、株式会社大一奈村魚問屋、信田缶詰株式会社、サーディンファクトリー、有限会社常陸水産では、聞き取り調査に御協力頂き、貴重なデータのご提供頂いた。皆様に心から感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 稲葉敦 (2009) : カーボンフットプリント-LCA 手法でつくる、製品別「CO₂ 見える化」のしくみー, 工業調査会, 東京, 8
- 2) 稲葉敦 (2009) : 日経エコロジー エコプロダクトガイド, 東京, 12-15
- 3) 國田かおる (2008) : カーボン・オフセット, 工業調査会, 東京, 2-5
- 4) 安藤生大 (2009) : 千葉科学大学紀要, 第 2 号, 97-104.
- 5) 小澤寿輔, 稲葉敦 (2008) : 日本 LCA 学会誌, 4(2), 129-134
- 6) 小澤寿輔, オードネルブレンデン, 稲葉敦 (2008) : 第 3 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 名古屋, 334-335
- 7) 草間悦子, 志茂恒明, 山口秀和, 清水利晃 (2008) : 第 3 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 名古屋, 336-337
- 8) 安藤生大 (2009) : 日本 LCA 学会誌, 5(3), 382-392
- 9) 本藤祐樹, 平山世志衣, 中島光太, 山田俊介, 福原一朗 (2008) : 日本 LCA 学会誌, 4(3), 279-291
- 10) 安藤生大 (2009) : 第 4 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 北九州, 64-65
- 11) ユネスコ, 安部治, 野田研一, 鳥飼玖美子 (2005) : 持続可能な未来のための学習, 立教大学出版会, 東京, 67-68
- 12) 長谷川勝男 (2008) : 水工研技報, 30, 9-15
- 13) 銚子市漁業協同組合 (2009) : 平成 20 年銚子漁港と水揚統計表, 銚子市漁業協同組合魚市場部市場庶務課, 千葉
- 14) 独立行政法人 産業技術総合研究所/社団法人 産業環境管理協会, JEMAI-LCA Pro, 東京, 社団法人 産業環境管理協会, (更新日付: 2006-4-24)
- 15) 東京電力 (2008) : 環境行動レポート, 東京電力ホームページ, 入手先<<http://www.tepco.co.jp/eeco/report/glb/02-j.html>>, (参照 2008-11-24)
- 16) (社) 化学経済研究所 (1993) : 基礎素材のエネルギー解析調査報告書
- 17) 東洋製缶 (2008) : 環境・社会報告書, 61
- 18) スチール缶リサイクル協会ホームページ, 入手先<<http://www.steelcan.jp/recycle/index.html>>, (参照 2009-9-1)

-
- 19) 安藤生大, 長井浩, 久保典男, 武藤厚俊, 小林謙, 田原聖隆, 稲葉敦 (2008) : 第3回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, 名古屋, 222-223
 - 20) 安藤生大, 長井浩, 久保典男, 武藤厚俊, 小林謙介, 田原聖隆, 稲葉敦 (2009) : 日本LCA学会誌, 5(2), 237-243
 - 21) 銚子市 (2008) : 銚子市地球温暖化対策実行計画 (平成20年度～平成24年度)
 - 22) 永田佳之, 吉田敦彦 (2008) : 持続可能な教育と文化, せせらぎ出版, 大阪, 149