特集「ライフサイクル思考と環境教育」

研究論文

銚子産キャベツの「カーボンフットプリント」を用いた環境教育プログラムの効果

安藤 生大

Effect of Environmental Education Using the “Carbon Footprint”
of Cabbage from the Choshi Area, Chiba Prefecture

Takao ANDO

Synopsis:

Objective. This study developed a new environmental education program calculating the Carbon Footprint (CFP) of cabbage grown in Choshi city, Chiba prefecture. CFP is expected to be an environmental communication tool used to visualize the amount of CO₂ emission by human activities. CFP can assist consumers in achieving sustainable consumption if they are provided information on the amount of CO₂ emitted through the whole life cycle of products. While it is important to establish a low carbon society, it is difficult to comprehend how our daily life is linked to global environmental problems through CO₂ emission. This disconnected situation is called the “missing link”. The presented educational program aimed to recover the “missing links”.

Method. This program was applied to 33 junior high school students in Choshi city. This program consists of a forty minute lecture, a sixty minute cooking experiment, and a fifty minute group work presentation and discussion. The lecture is a brief overview of the cabbage life cycle and the calculation method of CFP. The life cycle of cabbage is defined as the following eight stages, cultivation, yield, storage, transportation, selling, refrigeration, cooking and disposal stages. CFP was calculated by the addition of the amount of CO₂ emission in each life cycle stage. The students choose from a standard set of transportation, refrigeration, cooking and disposal stages scenarios, and consider ways of improving their scenarios. In the cooking experiment, students measure the amount of CO₂ emission for various cooking methods, e.g. LPG range, induction heater, electric heater and microwave. The calculated results of CFP are presented and discussed along with CFP reduction methods. The effects of this program are evaluated by a questionnaire and an analysis of student's descriptions.

Results and Discussion. The results of the group discussion and presentation showed that the students became more conscious of the CO₂ emission from their daily life, and realized the connection between the CO₂ emissions and the global environmental problems. Analyses on the data from the questionnaires indicated that this program was effective in making students recognize the “link” between their daily life and CO₂ emissions. An analysis of students' descriptions showed that an awareness of “perceived effectiveness” and “a sense of responsibility” resulted in enhancing behavioral intention of environmental action.

Conclusions. The use of CFP in environmental education programs was considered effective in addressing the recovery of the “missing link” between global environmental problems based on CO₂ emissions and our daily life, as well as modifying environmental action. It was important for students to be “facilitators” in promoting discussions appropriately. Adjusting system boundaries appropriately, this program could be highly effective for various education levels from elementary school to college.

Keywords: Carbon Footprint; Life cycle thinking; Environmental education; Cabbage; LCA

1. はじめに

本藤ら¹⁾は、現在の環境教育において重視すべき視点として、「自らの日常的な行動がグローバルな環境問題と密接につながっていることを実感させること」をあげ、「自らの消費行動を単体ではなくシステムとして実感させる」ことの必要性を強調した。この背景には、グローバルな環境問題と個々人の日常生活の間に、認知的な意味での“ミッシング・リンク”（つながりの断絶）の存在を指摘している。本研究では、このミッシング・リンクの再生を目的として、地元根差した製品のカーボンフットプリント（「Carbon Footprint」、以後CFPと略称する）を用いた環境教育プログラムを作成した。

CFPは、「製品のライフサイクル全般を通じて排出された温室効果ガスをCO₂量で表したもの」と定義されている²⁾。CFPを製品に表示することは、事業者にとって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法となりえる。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行動（持続可能な消費行動）を選択することができる。これは、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。このように、CFPを製品へ表示することは、消費者に対して、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」³⁾するための有効な手法として期待されている⁴⁾。

前述したようにCFPは製品のライフサイクルにわたるCO₂排出量を示すものであり、ライフサイクル思考を用いた“ミッシング・リンクの再生”を目標とする環境教育においてCFPは効果的な教材となり得る。これまで学校教育においてライフサイクルアセスメント（LCA）やライフサイクル思考の導入を試みた研究例として、LCAデータベースとe-ラーニングを活用した教材開発⁵⁾、LCA手法を用いた循環型社会の形成における自治体と大学の連携の必要性を論じた研究⁶⁾、ライフサイクルモデルを用いた環境教育政策の国際展開に関する研究⁷⁾、教育用LCAソフトウェアを用いた環境教育プログラムの開発¹⁾等が報告されている。また、高校生を対象としてエネルギーや物質に着目した環境教育の例として、LCA的概念を取り入れた授業の提案⁸⁾や産業技術を題材とした環境教育モデルの提案^{9, 10)}などが挙げられる。小学生向けの教材化に関しては、パーティクルボードを用いて鉛筆立てをつくり、ライフサイクルの観点から定性的な製品評価を行う実践例¹¹⁾がある。しかし、これらの先駆的な研究・実践例を除いて、学校教育において、LCAやライフサイクル思考に焦点をあてた教材やカリキュラムの開発は、十分に行わ

れているとは言えない状況にある¹²⁾。ましてや、製品のCFPを教材化した研究例は皆無である。このため、身近な環境指標として期待されているCFPを活用した教材化やカリキュラム開発が、重要な課題であると考えられる。

LCAやライフサイクル思考に着眼した環境教育は散見されるようになったが、その教育効果の分析に関しては着手され始めたところである¹⁾。一般に学校における環境教育では、その扱う分野が極めて広範囲に及ぶことから、様々な教材とカリキュラムの開発が先行して行われてきた経緯があり¹³⁾、その効果を確認する手法については十分に確立されているとは言えない状況にある¹⁴⁾。最近の効果調査の研究例としては、受講生徒に教育効果の確認用シート（質問紙等）に回答させ、それを統計的に処理して、効果の確認を行っている例¹⁵⁻¹⁷⁾が挙げられる。また、グループワークやプレゼンテーション¹⁸⁾、ワークショップ¹⁹⁾、更にはディベートやパネルディスカッション²⁰⁾等を加えて、生徒の理解や変化の様子を伺い、その教育効果を確認することも重要であると考えられる。本研究で取り組むライフサイクル思考に基づく環境教育プログラムについても、先行研究の知見を踏まえ、その効果に関して分析することが求められる。

CFPを教材化する場合、対象とする製品のライフサイクルを生産、流通、消費、廃棄等の幾つかの段階に分割し、それぞれの段階からのCO₂排出量を積算する作業を行う。この対象製品は、地域と関係の深い特産品などを例とすると、より身近な日常生活とのつながりをイメージしやすくなる²¹⁾。受講者は、地域に根ざした特産品のCFPを実際に計算する作業を通して、その特産品を生み出した地域環境に対する保全の意識が生まれ、環境負荷低減に向けた製品製造に対する具体的な改善提案なども期待できる。

そこで、本研究では、千葉県銚子市の特産品であるキャベツを例として、その生産から廃棄までのライフサイクルを8段階に分割し、それぞれの段階からのCO₂排出量を積み上げてCFPの計算を行う環境教育プログラムを作成した。特に調理段階では、さまざまな調理法を実験的に検証し、CFPを削減する具体的な方法を検討した。これを地元の中・小学生に対して実施し、その効果を確認した。その結果、本環境教育プログラムが日常生活と地球環境のミッシング・リンクを効果的に再生させ、受講者の環境配慮意識の向上に寄与したことが確認できたので、報告する。

2. CFPの算出方法

銚子産キャベツのCFPの計算を教材化するために、最初に以下に示す条件でCFPの試算を試みた。この結果をもとに、受講者の発達段階に合わせて教材化を試みた。

2.1 評価対象とシステム境界

千葉県銚子市は、冬季においても温暖な海洋性気候のため、4月～6月に収穫される春系キャベツは、日本一の出荷量を誇る大生産地となっている。平成18年度の千葉県のキャベツ生産量は、年間約13万tで、全国シェアの約10%を占め、愛知県、群馬県に次いで全国3位となっている²²⁾。このうち、銚子市の出荷量は6.3万トンに達し、千葉県全体のほぼ半分を占める。銚子市におけるキャベツの作付面積は、市全体の面積の10%を超えていることから、市民にとっては極めて身近な特産品といえる。

キャベツのシステム境界は、栽培段階、収穫段階、保管段階、輸送段階、販売段階、冷蔵段階、調理段階、廃棄段階の8段階とした。平均的なキャベツとして、重量を1.25kgとし、その容積を2.5Lと仮定した。機能単位は、重量1kgのキャベツとした。

2.2 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の採取は、聞き取り調査と実測により行った。聞き取り調査は、JAちばみどり農業協同組合営農センター銚子(千葉県銚子市新町1000-1)、地元スーパーにおいて行った。各電気機器の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。

バックグラウンドデータは、主として汎用的なLCAソフトウェアであるJEMAI-LCA Pro Ver.2.1.2のデータベース²³⁾を使用した。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。

計算に用いたCO₂排出原単位を以下に示す。燃料用軽油1Lの使用に伴うCO₂排出量は、2.7kg-CO₂とした。ダンボール箱のCO₂排出原単位は、500g-CO₂/個²⁴⁾とした。トラック輸送では、1.5tトラックにおいて1tの荷物を1km運ぶ(1tk)場合のCO₂排出量を194g-CO₂/tkmとし、15tトラックでは113g-CO₂/tkmとした。LPGの燃焼に伴うCO₂排出量は、3.2g-CO₂/kgとした。2007年の東京電力の電力原単位は、425g-CO₂/kWhとした²⁵⁾。

3. 銚子産キャベツのCFPを利用した環境教育の実践例

3.1 学習の目標と対象者

銚子産キャベツのCFP算出に基づく環境教育プログラムの学習の流れと期待する効果を表1にまとめた。この環境教育プログラムは、以下の3つの主たる学習目標を達成することを目的として開発した。

表1 学習の流れと期待する効果

講義（40分）	目標	地域の特産品であるキャベツを例として、そこにライフサイクル思考を導入し、様々な段階からCO ₂ を排出していることを気付かせる。	
	学習内容	1) 身近なキャベツのライフサイクルの概念についての説明 2) キャベツのCO ₂ の排出点についての説明 3) キャベツのシステム境界毎のCO ₂ 排出量とCFPの計算方法の説明（表2）	
	利用教材	パワーポイントスライド（図1）、ワークシート1（図2）	
	期待する効果	A) 知識としてのライフサイクル概念の理解 B) 地球温暖化とそのメカニズムの再確認に伴う危機感の認知 C) 日常生活と地球環境、地域環境と地球環境のつながりの認知	
調理実験（60分）	目標	身近なキャベツに実際に触れる実験的検討を行うことで、日常生活で意識することが難しいCO ₂ 排出を実感させる。	
	学習内容	1) 可食部と廃棄部の重量の測定 2) 調理に伴うCO ₂ 排出量の理解 3) いろいろな調理方法の特徴と、それらのCO ₂ 排出量の違いの理解	
	利用教材	キャベツ、包丁、まな板、LPGガスコンロ、IHクッキングヒータ、電気コンロ、電子レンジ、鍋、温度計、各種容器・袋など	
	期待する効果	A) 実感をもったつながりの認知 B) 食べ物を大切に利用する必要性の認知 C) 無駄な買い物はしないことの必要性の認知	
グループワーク（20分）、 発表（20分）、 まとめ（10分）	目標	地域環境への影響を考慮した上で削減シナリオを設定し、その実現可能性を検討し、自らの日常生活における環境配慮行動について考えさせる。	
	学習内容	1) 自らのシナリオ設定に基づいて、各段階からのCO ₂ 排出量を積み上げてCFPを計算する。 2) CFPを削減するための様々な方法について検討する。 3) 他のグループの発表内容や議論をふまえて、削減シナリオを実行した場合の負の効果（ダンボール箱の使用を中止した場合の作業性の悪化など）についても考えさせ、日常生活や地域環境への影響が最小限となる削減方法を検討する。 4) キャベツのライフサイクルから踏み出し、自らが取り組むことができる日常生活での具体的な環境配慮行動（省エネや持続可能な消費行動など）について考えさせる。	
		利用教材	ワークシート2（図3）、発表用の表（図4）
		期待する効果	A) 実感をもったつながりの認知 B) 責任感の認知 C) 有効感の認知 D) 実行可能性の認知

1) 地域の特産品であるキャベツを例として、そこにライフサイクル思考を導入し、様々な段階からCO₂を排出していることを気付かせる。

2) 身近なキャベツに実際に触れる実験的検討を行うことで、日常生活で意識することが難しいCO₂排出を実感させる。

3) 地域環境への影響を考慮した上で削減シナリオを設定し、その実現可能性を検討し、自らの日常生活における環境配慮行動について考えさせる。

本環境教育プログラムの対象者は、銚子市立第四中学校において受講希望の2年生33名とした。実施場所は、同校の理科室とした。実施体制は、講師1名、講師補助1名、実験助手4名とした。講師は筆者が担当し、講師補助は中学校教諭が担当した。実施日は、2008年12月13日(土曜日)

図1 パワーポイントファイルの一例：銚子産キャベツのライフサイクルフロー

の学校休日とした。時間構成は、講義を約40分間、調理実験を約60分間、グループワークと発表、まとめを約50分間とした。全体で約2時間30分程度とし、午前中で終了するプログラムとした。

3.2 講義内容

講義は、パワーポイントスライド(図1)を準備し、アニメーション機能を用いてキャベツのライフサイクルの可視化を試みた。受講した生徒には、あらかじめ書き込み式のワークシート1(図2)を配布し、講義を受けながら説明内容が確認できるようにした。図3aに講義実施の様子を示す。講義では、以下に示す3つの小テーマ(1:キャベツのライフサイクル、2:キャベツのどこからCO₂が出るの?、3:段階毎のCO₂排出量とCFPの計算方法)を説明した。

図2 キャベツのライフサイクルを理解するためのワークシート1

図3 環境教育プログラムの様子
a: 講義の様子 b: グループワークの様子 c: 発表の様子 d: 質問の様子

3.2.1 小テーマ1：キャベツのライフサイクル

最初に、銚子地域がキャベツの大生産地であり、地域の特産品であることを確認した。次に、“CO₂の何が問題？”として、地球温暖化の原因物質であることを説明した。続いて、“ライフサイクル”が「製品の誕生（製造）から死（廃棄）までの生涯過程」を意味することを説明し、これを①栽培、②収穫、③保管、④輸送、⑤販売、⑥冷蔵、⑦調理、⑧廃棄、の8段階に分けて考えることができることを説明した。

3.2.2 小テーマ2：キャベツのどこからCO₂が出るの？

ここでは、②収穫段階、⑦調理段階からのCO₂排出の原因を説明した。具体的には、②収穫段階ではダンボール箱を使用し、その製造過程からCO₂が排出されることを説明した。また、④調理段階では、使用するLPGや電気の製造・使用によってCO₂が排出されることを説明した。

3.2.3 小テーマ3：各段階のCO₂排出量とCFPの計算方法

ここでは、標準的なCO₂排出のシナリオ（標準シナリオ）について説明した（表2）。生徒には、あらかじめ書き込み式のワークシート2（図4）を配布し、各段階のCO₂排出量を記入させた。シナリオを簡略化するために、①栽培段階、②収穫段階、③保管段階、⑤販売段階では、あらかじめCO₂排出原単位を定数として与えた。それ以外の④輸送段階では、15tトラックでの輸送を想定し、輸送距離を銚子市内往復20 km、銚子－東京間往復220 km、銚子－仙台間往復600 km、銚子－福岡間往復2000 kmとし、これらを選択肢として輸送シナリオの設定を行った。⑥冷蔵段階では、購入後のキャベツの冷蔵期間を1日から5日とし、これらを選択肢として冷期間のシナリオ設定を行った。

⑦調理段階では、LPGガスコンロ、IHクッキングヒータ、電気コンロ、電子レンジの4つの調理法を紹介し、それぞれの調理器具におけるCO₂排出原単位を示した。⑧廃棄段階では、キャベツの外葉や芯などを生ごみとして捨てると、銚子市のごみ処理過程から約500g-CO₂/kgのCO₂が排出されることを示した。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、本環境教育プログラムでは、キャベツを生ごみとして焼却すると、固定していたCO₂を再び大気中に戻してしまうことを説明した。最後に、以上の各段階のCO₂排出量の合計値がCFPとなることを説明した。

4. 各段階でのCO ₂ 排出量			
段階	CO ₂ 排出量		割合 (%)
①栽培段階	10aの畑をトラクターで3時間耕すと？ 40.5kg-CO ₂ 10a当たりの収穫量は？ 4.5t	40500 g-CO ₂ 4500 kg 9 g-CO ₂ /kg	%
②収穫段階	ダンボール箱をつくるとき？ 500g-CO ₂ 1箱（8個）のキャベツの重さは？ 1.25×8個＝10kg	600 g-CO ₂ 10 kg 50 g-CO ₂ /kg	%
③保管段階	冷蔵倉庫から1日当り、2076 kg-CO ₂ 1日の入荷量は？ 173t	2076000 g-CO ₂ 173000 kg 12 g-CO ₂ /kg	%
④輸送段階	15tトラックで1kgのキャベツを1km運ぶと？ 0.1 g-CO ₂ /kg・km ✓ 銚子市内：往復20km ✓ 東京まで：往復220km ✓ 仙台まで：往復600km ✓ 福岡まで：往復2000km	 g-CO ₂ g-CO ₂ g-CO ₂ g-CO ₂	%
⑤販売段階	スーパーの売り場から1日あたり？ 1368g-CO ₂ 1日の入荷量は？ 171kg	1368 g-CO ₂ 171 kg 8 g-CO ₂ /kg	%

図4 CFPの集計を行うためのワークシート2

表2 キャベツのCFP計算における標準シナリオの内容とCO₂排出量

段階	説明事項	CO ₂ 排出量
①栽培	畑10a当たりのキャベツの収穫量を4.5tとした。耕運作業に伴う燃料用軽油の使用から40.8kgのCO ₂ が排出される。以上より、9g-CO ₂ /kgのCO ₂ が排出される。	9g-CO ₂ /kg
②収穫	CO ₂ 排出原単位が500g-CO ₂ /個のダンボール箱に、キャベツ8個（10kg）を入れて収穫する。以上より、50g-CO ₂ /kgのCO ₂ が排出される。	50g-CO ₂ /kg
③保管	出荷前に冷蔵倉庫で5℃に冷却される。このときの電力使用により2083kg/日のCO ₂ が排出される。冷蔵倉庫の平均的な入荷量は173t/日である。以上より、12g-CO ₂ /kgのCO ₂ が排出される。	12g-CO ₂ /kg
④輸送	大型の15tトラックでの輸送を想定し、1kgのキャベツを1km輸送するときのCO ₂ 排出量を0.1g-CO ₂ とした。	輸送距離の設定
⑤販売	銚子市内の平均的なスーパーでの電力使用により1938kg/日のCO ₂ が排出される。このスーパーでの平均的な入荷量は171kg/日である。以上より、8g-CO ₂ /kgのCO ₂ が排出される。	8g-CO ₂ /kg
⑥冷蔵	使用した冷蔵庫の電力使用量の実測から、850g/日のCO ₂ が排出される。冷蔵庫内におけるキャベツの占有容積比を0.6%とした。以上より、1日あたりCO ₂ 排出量は、5g-CO ₂ となる。	冷蔵期間の設定
⑦調理	LPGのCO ₂ 排出原単位を10.6g-CO ₂ /minとした ^{a)} 。 電気調理器では、あらかじめ実測して、1分当たりのCO ₂ 排出原単位を求めた。その結果、IHクッキングヒータでは8.5g-CO ₂ /min、電気コンロでは4.3g-CO ₂ /min、電子レンジでは8.5g-CO ₂ /minとした。	調理方法の設定
⑧廃棄	銚子市の一般廃棄物の排出量と、その処理に伴うCO ₂ 排出量から、廃棄に伴うCO ₂ 排出原単位を500g-CO ₂ /kgとした。	排気量の設定

a) :LPG: 8.6g-CO₂/min、LPGの対空気比重を1.55、発熱量は24,000kcal/m³とし、使用条件を2400kcal/h、LPGの原単位を3.18kg-CO₂/kg (JEMAI-LCAProVer.2.1.2) として計算。

3.3 調理実験

調理実験は、受講者を7名～8名の4つの班に分けて行った。各班のテーブルには予め調理器具を準備しておき、受講者は講師の指示に従って調理方法を選択した。

実験手順は、キャベツを適当に切断し、外葉と芯に相当する廃棄量を測定した。次に、可食部300gを2cm×2cm程度に切断した。LPGガスコンロは、アイ・システムネットワーク社アイ・コンロ（ZA-2）を使用した。LPGのCO₂排出原単位は、対空気比重を1.55、発熱量は24,000 kcal/m³とし、使用条件を2400 kcal/hとして、8.6g-CO₂/minとした。IHクッキングヒータは日本フィリップス（株）社製HD4410、電気コンロは東芝（株）社製HP-635を使用した。鍋は、直径20cmの蓋付きのステンレス製家庭用鍋を用いた。ここに、あらかじめペットボトルに入れて準備しておいた500mlの水を入れ、（株）ティアンドデイ社製 Thermo Recorder TR-71Uで温度を測定しながら、お湯が沸騰（100℃）するまでの時間を計測した。沸騰した時点で、速やかにキャベツを鍋に入れ、3分間調理した。調理時間は、水が沸騰するまでの時間と、ゆでた3分間の合計とした。電子レンジは（株）SHARP製RE-TD1を用い、出力730wの条件で調理した。電子レンジでは、キャベツを旭化成ホームプロダクツ社製Ziploc Freezer Bag大に入れて、水を使わずに直接加熱した。1分ごとに袋を開けて状態を確認しながら、お湯でゆでた状態とほぼ同じとなるまでの時間を計測した。

3.4 グループワークと発表、まとめ

グループワークでは、あらかじめ発表用の表（図5）を準備しておき、その空欄を埋める方法とした。図3 bにグループワークの様子を示す。④輸送段階、⑥冷蔵段階、⑧廃棄段階では、グループ毎にシナリオ設定を行った。そこに、⑦調理段階の実験結果を加えて、CFPの計算を行った。次に、各段階のCO₂排出割合を計算させ、比率の高い段階を特定した。最後に、各段階のCFPの具体的な削減方法について話し合い、削減シナリオをまとめた。

発表は、発表用のポスターを用いて、グループ毎に設定したシナリオの内容と、指定された調理方法での実験結果を紹介し、得られたCFPと各段階の排出割合、更には削減シナリオについて、5分程度でまとめた。講師は、発表内容に対して、できるだけ多くのコメントや質問を他の受講者に求め、できるだけ活発に議論が展開するように工夫した。図3 c、dに発表の様子を示す。

最後に、講師が各班の発表内容を踏まえて、CO₂排出割合の特に多い段階、段階毎のCFPの具体的な削減方法等についてまとめた。

シナリオ:		
どこまで輸送し、	何日冷蔵し、	
何で調理し、	何g捨てた?	
段階	キャベツ1kgあたりのCO ₂ 排出量(割合)	削減するためには?
①栽培段階	9 g-CO ₂ (%)	
②収穫段階	50 g-CO ₂ (%)	
③保管段階	12 g-CO ₂ (%)	
④輸送段階(どこまで輸送?)	__ g-CO ₂ (%)	
⑤販売段階	8 g-CO ₂ (%)	
⑥冷蔵段階(何日冷蔵?)	__ g-CO ₂ (%)	
⑦調理段階(調理法は?)	__ g-CO ₂ (%)	
⑧廃棄段階(廃棄量は?)	__ g-CO ₂ (%)	
合計	__ g-CO ₂ /kg	

図5 発表時に使用した表

3.5 質問紙調査と感想文

本藤らの既往研究¹⁾を参考として、1)「つながり」の認識に関する2つの設問（図1、問1、2）、2)環境行動の規定因として取り上げられている、「危機感」、「責任感」、「有効感」に関する3つの設問（問3、4、5）、「環境行動の行動意図」に関する2つの設問（問6、7）からなる質問紙を準備し、本環境教育プログラムの実施後に調査した。

また、実施後には、「この実験を行って、キャベツに対する印象がどのように変わったか？」について感想文を書かせた。感想文は、受講者への教育効果を確認する場合に有効である^{26, 27)}ため、15分程度の時間をとって書かせた。

4. 結果と考察

4.1 グループワークと発表

表3に、グループワークの結果を示す。この結果をもとに、各班が行った発表内容の概略を以下に示す。A班では、輸送を銚子市内としたことから、輸送段階のCO₂排出割合が0.3%となった。B班では、廃棄量が476gに達したことから、その割合が全体の52%となった。また、調理方法で用いたIHクッキングヒータは、水を使う調理方法の中で最小のCO₂排出量であることが示された。C班では、電気コンロを使用したところ、調理時間がLPGやIHの約2倍となったが、計算されたCO₂排出量はほぼ同等の結果となった。D班では、電子レンジを使用したところ、他の調理法の1/4程度のCO₂排出量となったことが示された。また、九州まで輸送すると、輸送段階のCO₂排出割合が全体の46%に達することが示された。

表3 グループワークの結果

	A班	B班	C班	D班	削減するためには？
①栽培段階	9g-CO ₂				
②収穫段階	50g-CO ₂				ダンボールを使用しない
③保管段階	12g-CO ₂				
④輸送段階	銚子市内 1g-CO ₂	東京まで 22g-CO ₂	仙台まで 60g-CO ₂	九州まで 200g-CO ₂	移動距離を短く
⑤販売段階	8 g-CO ₂				
⑥冷蔵段階	3日 15g-CO ₂	5日 25g-CO ₂	1日 5g-CO ₂	3日 15g-CO ₂	冷蔵期間を短く
⑦調理段階	LPG 9分 95.4g-CO ₂	IH 11分 93.5g-CO ₂	電気コンロ 23分 98.9g-CO ₂	電子レンジ 3分 25.5g-CO ₂	電子レンジで調理
⑧廃棄段階	350g 175g-CO ₂	476g 238g-CO ₂	228g 114g-CO ₂	230g 115g-CO ₂	捨てる量を減らす
合計 CFP =	365.4g-CO ₂	457.5g-CO ₂	356.9g-CO ₂	434.5g-CO ₂	

発表されたキャベツのCFPの削減シナリオをまとめる。各班からは、②収穫段階でダンボール箱を使わない、④輸送段階で輸送距離を短くする（地産地消）、⑥冷蔵段階での冷蔵期間の短縮、⑦調理段階での電子レンジの使用、⑧廃棄段階で捨てる量を減らす（生ゴミ削減）、等の提案がなされた。加えて、キャベツのライフサイクルの範囲を超えて、家庭におけるより具体的な環境配慮行動として、「食べ物を無駄なく」、「大切にすること」、そのために計画的な消費が必要であること、調理や冷蔵庫以外の家電製品全般についても省エネの意識が必要であるとの意見が出された。これらの意見は、本環境教育プログラムがキャベツのライフサイクルとCO₂排出の関係について十分に理解を促し、同時に自らの生活におけるCO₂排出についても理解を促す適切な内容であったことを示している。

発表に引き続いて行われた議論についてまとめる。ここでは、講師が交代し、中学校教諭が担当したため、議論が非常に活発に行われた。代表的な意見を以下にまとめる。キャベツの生産農家の生徒から、CFPの削減シナリオで主張された「ダンボールを使用しない」と「地産地消」について、次のような懸念が示された。具体的には、ダンボール箱は軽くて丈夫で、鮮度保持にも役立つ優れた容器であり、他に替えがたいとの主張がなされた。また、地産地消に関しては、銚子のキャベツの生産量は膨大であるため、基本的に地元のみでの消費は不可能であり、単純に地産地消を主張すると、農家の経営を圧迫し、地域社会や地域経済、更には地域環境への悪影響が懸念されるといった主張がなされた。当然、農家の子供は、両親の日常労働から、ダンボールの利便性や東京市場への出荷の必要性は知っていたと思われる。しかし、本環境教育プログラムをきっかけとして、たとえ環境に悪いとしても、ダンボールを使用するべきだし、東京へのお荷は必要であるとする明確な主張が自分の中に生まれたもの

と判断できる。このような主張は、CFPの削減シナリオを数字の上でのみ考察するだけでは生まれてこないと思われる。CFPの削減シナリオを具体的に実行する困難さを、自分のこととして真剣に考えたからこそ、生じた主張であると考えられる。

以上より、本環境教育プログラムは、受講者に対象物のライフサイクルからのCO₂排出を理解させ、同時に自らの生活におけるCO₂排出についても理解を促す適切な内容であったと考えられる。このことは、本環境教育プログラムが“ミッシング・リンク”の再生を促す効果を持つことを示している。また、CFPの環境教育における教材化は、CFPで想定しているシステム境界を超えて、様々な社会問題や経済問題と環境問題との関連を考察し、受講者自身の問題として深く考えるようになる教育効果が期待できる。この教育効果を実現するためには、講師が議論を活発に展開し、議論を深めるファシリテーター²⁸⁾としての役割を果たすことが極めて重要である。

4.2 質問紙調査及び感想文

本環境教育プログラム実施後に行った質問紙調査の単純集計結果を、図6に示す。7つの設問は、いずれも図6の凡例に示す4つの選択肢からの単一回答とした。主な結果を以下に示す。自分の日常の行動とライフサイクルにわたるCO₂排出とのつながりについて尋ねた質問1「つながり(LC CO₂)」では、本環境教育プログラムの受講により“強く思うようになった”と回答した生徒が24人(73%)に達した。この結果は、本環境教育プログラムが、特にライフサイクルの観点から日常の行動とCO₂排出のつながりを意識させる効果が強いことを示している。環境行動の行動意図に関する質問7「食べ物を大切に利用する」では、本環境教育プログラムの実施後に“強く思うようになった”と回答した生徒が27人(82%)に達した。これらの結果は、

図6 実施前後での質問紙調査の単純集計結果

自分の日常の行動とライフサイクルにわたるCO₂排出とのつながりを理解した結果、特に「食べ物を大切に利用する」といった環境行動の行動意図が向上した可能性を示している。本藤らの既往研究¹⁾でも、つながりの意識が環境配慮行動の行動意図を高める可能性を指摘しており、この解釈は妥当であると考えられる。また、本環境教育プログラム実施後の「危機感」、「責任感」、「有効感」に関する質問3～5の単純集計結果では、「強く思うようになった」と回答した生徒が、3つの質問とも70%を超えた。この結果は、本藤らの既往研究¹⁾が指摘するように、「責任感」、「有効感」、「危機感」の意識の向上が、環境行動の行動意図向上の原因である可能性を強く示唆する。しかし、今回実施した簡易な質問紙調査のみでは、回答数が少ないことから、これ以上の考察を行うことは困難である。

そこで、本研究では、受講後に提出された感想文を利用して、環境行動の行動意図が向上した心理的な原因（以後、「行動理由」とする）について考察を行った。受講した33名のなかで、13名（40%）から、「キャベツのライフサイクルからのCO₂排出」や「地球温暖化」等に対して「理解した」や、「分かった」等の「単純理解」に分類される感想文が示された。残りの20名（60%）の感想文では、「理解」したので、「何らかの行動をしたい」とする「行動意図」が読み取れる内容が示された。そのなかの14名の感想文では行動理由を、「危機感」、「責任感」、「有効感」の3つの項目に分類することができた。その例を表4に示す。感想文中には、括弧を示して、行動理由の分類根拠を示した。No.3の感想文では、「（一般的に）キャベツ1つがたくさんのCO₂を出してしまっている」という「一般的な理解」をして、「なるべく捨てないようにしたり、調理法を考えて食べようと思いました」という環境行動の行動意図が発現したと判断した。この場合、「一般的な理解」をした結果、

「自分がやれば効果がある」という自らの「有効感」による行動理由によって、環境行動を行う行動意図が発現したと解釈した。このような感想文が4名から示された。No.6の感想文では、「CO₂は地球に悪い」という「地球環境の危機の理解」をして、「これからは自分からもっとCO₂を削減できるように努力したい」という環境行動の行動意図が発現したと判断し、「危機感」による行動理由と分類した。このような感想文が4名から示された。No.7の感想文では、「（自らが）キャベツを冷蔵するだけでCO₂が出る」という「自らの責任の理解」をして、「今度から気をつけたいと思います」という環境行動の行動意図が発現したと判断し、自らの「責任感」による行動理由と分類した。このような感想文が6名から示された。

以上より、環境行動を行う主な行動理由として、温暖化に対する自らの「責任感」を挙げた生徒が全体の18%、自らの行動の「有効感」や地球環境に対する「危機感」を挙げた生徒がそれぞれ全体の12%となった。このような感想文による行動理由の分析は、サンプル数が少ない1学級程度の人数に対する環境教育プログラムの実施の効果を検討する場合に有効であると考えられる。

4.3 CFPの教育利用の可能性

表2で示したCFPの標準シナリオにおいて、システムのモデル化のレベル（詳細さ、定性／定量）を適切に設定すると、小学校、中学校、高校、大学、一般消費者等に対する様々な環境教育プログラムや指導案を作成することができる。この例を表5に示す。

小学校での環境教育プログラムでは、「つくる段階」、「はこぶ段階」、「たべる段階」、「すてる段階」の4段階とし、特に「はこぶ段階」で地産地消の意味を理解させ、「すてる段階」でものを大切に利用することを理解させる。

表4 代表的な感想文と行動理由の分類結果

No.	分類できた感想文	行動理由
3	キャベツ1つがたくさんCO ₂ を出してしまっていることを知って（一般的な理解）、なるべく捨てないようにしたり、調理法を考えて食べようと思いました（行動）。	有効感
5	実験をして東京まで輸送し3日冷蔵しガスで調理し、350g捨てたキャベツから418.9gのCO ₂ が排出していることを知った（一般的な理解）から、買ったらすぐ食べて、あと無駄な物は買わないようにしようと思った（行動）。	有効感
6	CO ₂ は地球に悪いことを知った（地球環境の危機の理解）ので、これからは自分からもっとCO ₂ を削減できるように努力したい（行動）。	危機感
7	キャベツを冷蔵するだけでCO ₂ が出るので（自らの責任の理解）、今度から気をつけたいと思います（行動）。	責任感
8	CO ₂ はゴミを捨てるだけで出ていることを知った。人間はともCO ₂ を排出してしまっている（自らの責任の理解）、それを改善しなければいけないという気持ちになった（行動）。	責任感
9	キャベツを冷蔵するだけでCO ₂ を出すから（自らの責任の理解）、今度から気をつけたいと思います（行動）。	責任感
14	実験をやるまで、自分がいつも食べているキャベツがこんなに地球温暖化につながっているのを知らなかった（地球の危機の理解）。少しでも二酸化炭素を減らしたいと思った（行動）。	危機感
18	大量のCO ₂ を排出してキャベツを作って食べていて、とても環境に悪いと思った（自らの責任の理解）。でも、実験を通してゴミの量や調理法や運搬の距離などかなり変わったので、これからはそういったことに気をつけたい（行動）。	責任感
23	キャベツもたくさんCO ₂ を出していることが分かった（一般的な理解）。環境のことを考えるようになった（行動）。	責任感
24	地球温暖化についてよく分かった（地球環境の危機の理解）。自分も環境に配慮しようと思いました（行動）。	危機感
26	スーパーなどに行ったら、できるだけ産地の物を買えば、地球のためにも良い事だと思った（地球環境の危機の理解）。今日の授業を通して、生活の習慣を変えようと思う（行動）。	危機感
27	CO ₂ を多く出してしまうので（一般的な理解）、残さず食べた方が良く思うようになった（行動）。	有効感
29	キャベツを多く捨てるとCO ₂ が増えてしまうから（自らの責任の理解）、できるだけキャベツを食べた方がいいと思いました（行動）。	責任感
31	この実験から、ガスは電気よりCO ₂ を出してしまうことがわかった（一般的な理解）。これからはCO ₂ を減らしていきたいと思った（行動）。	有効感

感想文は、意味を変えずに読みやすく修正している。

責任感：（自らの責任の理解）、有効感：（一般的な理解）、危機感：（地球の危機の理解）

表5 教育段階に応じたCFPの環境教材化の例

	小学校	中学校	高校	大学
システム境界	4段階（2段階は定数）	8段階（4段階は定数）	8段階	8段階
①栽培段階	つくる段階（定数）	定数	畑の耕作方法の検討	同左
②収穫段階	はこぶ段階 運ぶ距離を変える		ダンボール箱の代替法の検討	同左
③保管段階			再生可能エネルギーの導入	同左
④輸送段階		輸送距離の設定	同左 輸送方法の検討	輸送段階の感度分析
⑤販売段階		定数	販売方法の検討	同左
⑥冷蔵段階	たべる段階（定数）	冷蔵期間の設定	同左 電力の実測	同左 冷蔵段階の感度分析
⑦調理段階		調理方法の実験的検討	同左	同左
⑧廃棄段階	すてる段階 すてる量を変える	廃棄量の設定	同左	廃棄量の感度分析
目標	➤ 地産地消の意味の理解 ➤ 生ゴミを減らし、資源を大切に利用することの理解	➤ 削減シナリオの理解 ➤ CO ₂ 排出割合の多い段階の理解 ➤ 実験的検討	➤ 8段階のシナリオ設定 ➤ 8段階の計算	➤ 感度分析の導入

中学校では、8段階のシステム境界のうち、①栽培段階、②収穫段階、③保管段階、⑤販売段階では、あらかじめCO₂排出原単位を定数として与える。これ以外の段階では、選択肢を設けたうえでシナリオ設定させる。特に、⑦調理段階では、様々な調理法のCO₂排出量を実験的に検討する。CFPの削減については、提案にとどめ、実際の計算は行わない。

高校では、8段階すべてにおいて標準シナリオによるCO₂排出量の計算を行う。また、8段階すべてについて削減シナリオによるCFPの計算を行い、標準シナリオで得られたCFPとの比較を行う。

大学では、高校で検討した内容に加え、④輸送段階、⑥冷蔵段階、⑧廃棄段階等で、感度分析を行う。一例として、千葉科学大学の3年生に行った廃棄段階の感度分析の例を示す。図7に、廃棄量1%から全量を廃棄するまでのCFP値の変化を示した。代表的な計算結果を以下に示す。全体の20%を廃棄した場合、CFP値は395.4g-CO₂であり、廃棄段階が全体に占める割合は33.5%となった。40%廃棄の場合、CFP値は527.9g-CO₂であり、全体に占める割合は50.2%となった。60%廃棄の場合、CFP値は660.4g-CO₂であり、全体に占める割合は60.2%となった。80%廃棄の場合、CFP値は792.9g-CO₂であり、全体に占める割合は66.8%と

図7 廃棄段階にける感度分析の例

なった。全量廃棄の場合、CFP値は925.4g-CO₂であり、全体に占める割合は71.6%となった。このような感度分析を行うと、通常は意識することが難しい廃棄量とCO₂排出量の関係を、直接的に実感をもって理解することができる。その結果、廃棄量の削減や、計画的な消費の必要性など、具体的な環境行動意図につながる感想が示された。

このように、CFPの算出においてシステムのモデル化のレベル（詳細さ、定性／定量）を適切に設定すると、小学校から大学・一般消費者まで、様々なレベルでの環境教育プログラムの作成が可能である。しかし、CFPを取り入れた環境教育プログラムを、実際の学校教育現場で実施する場合には、学習指導要領との丁寧な擦り合わせが必要であり、今後の課題である。

5. まとめ

千葉県銚子市の特産品であるキャベツを例として、そのCFPを算出する環境教育プログラムを作成し、地元の中・高2年生を対象に実践した。その結果、以下の結論が得られた。

- (1) グループワークと発表内容を検討すると、本環境教育プログラムは、対象物のライフサイクルからのCO₂排出を理解させ、同時に自らの生活からのCO₂排出についても理解を促す適切な内容であったと考えられる。このことは、本環境教育プログラムが“ミッシング・リンク”の再生を促す効果を持つことを示している。
- (2) CFPを環境教育における教材として利用すると、CFPが想定しているシステム境界を超えて、様々な社会問題や経済問題と環境問題との関連を考察し、受講者自身の問題として深く考えるようになる教育効果が期待できる。このためには、講師が議論を活発に展開し、議論を深めるファシリテーターとしての役割を果たすことが極めて重要である。
- (3) 質問紙調査からは、本環境教育プログラムが、受講

者の日常の行動とライフサイクルにわたるCO₂排出とのつながりを理解させ、特に「食べ物を大切に利用する」といった環境行動の行動意図を向上させたと考えられる。

(4) 受講後の感想文の分析からは、環境行動の行動意図を向上させた主な行動理由として、温暖化に対する自らの「責任感」を挙げた生徒が全体の18%、自らの行動の「有効感」や、地球環境に対する「危機感」を挙げた生徒が、それぞれ全体の12%となった。このような感想文による行動理由の分析は、1学級程度の少人数の実施例の効果を検討する場合に、有効であると考えられる。

(5) 本環境教育プログラムは、システムのモデル化のレベル（詳細さ、定性／定量）を適切に設定すると、小学校から大学・一般消費者まで、様々なレベルに合わせて環境教育プログラムの作成が可能である。

謝辞

授業実施にあたり、銚子市立第四中学校、石毛理校長、吉原尚寛教諭に協力して頂いた。また、質問紙調査の質問項目の提供、解析方法に関して横浜国立大学、本藤祐樹准教授にご指導を頂いた。以上の各氏に心から感謝申し上げます。本研究は、科学技術振興機構のSPP（サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト）事業の助成を受けて行った。

（平成21年1月27日受付、平成21年6月10日採択）

参考文献

- 1) 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
- 2) 稲葉敦 (2008): 食品研究会講演会－カーボンフットプリント－講演集, 日本 LCA 学会, 東京, 7-20
- 3) 谷村栄二 (2008): 食品研究会講演会－カーボンフットプリント－講演集, 日本 LCA 学会, 東京, 22-28
- 4) 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
- 5) 酒井孝正 (2006): 資源環境対策, 42(17), 90-91
- 6) 泰康之 (2003): 生活と環境, 48(8), 63-73
- 7) 高橋正弘, 井村秀文 (2006): 環境教育, 15(2), 22-33
- 8) 岩淵善美, 東野達, 笠原三紀夫, 村上裕子, 田岡久雄 (2004): 廃棄物学会誌, 15(3), 149-158
- 9) 松本真哉, 成田明沙美, 中村栄子 (2008): 日本環境教育学会第19回大会要旨集, 東京, 139
- 10) 成田明沙美, 中原康敬, 井上弘毅, 松本真哉, 中村栄子 (2009): 第4回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 北九州, 58-59
- 11) 杉森正敏, 谷口敦哉, 今井一馬 (1999): 環境教育, 9(2),

12-23

- 12) 川村康文 (2002) : 物理教育, 50(3), 149-153
- 13) 横浜国立大学教育人間科学部環境教育研究会編 (2002) : 環境教育－基礎と実践, 共立出版, 東京, 89-158
- 14) 川嶋宗継, 市川智史, 今村光章 (2002) : 環境教育への招待, ミネルヴァ書房, 東京, 219-227
- 15) 和田安彦, 平家靖大, 和田有朗 (2008) : 環境教育, 18(1), 3-16
- 16) 藤平和俊, 大須賀公一, 吉岡崇仁, 林直樹 (2008) : 環境教育, 18(1), 17-28
- 17) 諏訪博彦, 山本仁志, 岡田勇, 太田敏澄 (2008) : 環境教育, 18(2), 15-25
- 18) 下山田隆 (2008) : 環境教育, 18(2), 26-35
- 19) 櫃本真美子 (2009) : 環境教育, 18(3), 15-26
- 20) 中山洋介 (2009) : 環境教育, 18(3), 47-52
- 21) 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
- 22) 農林水産省 (2008) : 農林水産統計データ, 農林水産省ホームページ, 入手先 <<http://www.maff.go.jp/www/info/bunrui/bun02.html#nen6>>, (参照 2008-11-24)
- 23) 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)
- 24) 全国段ボール工業組合連合会 (2008) : 段ボールの製造エネルギー原単位及びCO₂排出量原単位について, 全国段ボール工業組合連合会ホームページ, 入手先 <<http://www.zendanren.or.jp/image/shiryo02.pdf>>, (参照 2008-11-24)
- 25) 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/eco/report/glb/02-j.html>>, (参照 2008-11-24)
- 26) 高橋敏夫, 塚本武, 増井武彦 (2000) : 香川県環境研究センター所報, 23, 95-101
- 27) 萱野貴広, 丹治一義, 鈴木正幸 (1995) : 生物教育, 35(1), 109-110
- 28) 日本生態系協会 (2001) : 環境教育がわかる事典, 東京, 295