

特集「第6回日本LCA学会研究発表会からの投稿」

研究論文

教育用LCAソフトウェア「かばんの中でも温暖化?! Ver.2」の開発

天野 雄太・平山 世志衣・本藤 祐樹

Development of Educational LCA Software “Global Warming even in Your Bag?! Ver. 2”

Yuta AMANO, Yoshie HIRAYAMA and Hiroki HONDO

Synopsis:

Objective. For creating a sustainable society, it is important to change citizen's life style and sense of values. Environmental education is expected as a way of solving those problems. The authors have developed an environmental education program using educational LCA software “global warming even in your bag?!” which aims to make learners realize the link between our daily life and global warming based on life-cycle thinking, and has implemented the program in several junior high and high schools. While the effectiveness of the program was demonstrated through the implementation, some problems to be solved for the wide use of the program in the future came to light. The present study aims to identify points to be improved in the program to newly develop more effective software for the program.

Results and Discussion. Analysis on students' impression and teacher's comments obtained from the program implementation in the past reveals that it is necessary (1) to more emphasize the link between our daily life and global warming, (2) to reduce the burden of teachers, and (3) to improve life cycle CO₂ emission calculation. In order to solve the three problems, new software “global warming even in your bag?! Ver. 2” is designed and developed. First, “life cycle flow screens” are introduced so that learners can study various product life-cycles only using the software. Second, graphical user interfaces (GUIs) are improved in view of user-friendliness for both teachers and learners. Third, life cycle CO₂ emissions are calculated more appropriately reflecting the characteristics of products.

Conclusions. An environmental education program using “global warming even in your bag?! Ver.2” is expected to be more effective for realizing the link between our daily life and global warming based on life-cycle thinking, and for reducing the burden of teachers. Actually, a teacher who implemented the programs using Ver. 1 and Ver. 2 offered the comment that the use of Ver. 2 allowed for giving a lecture more smoothly compared to Ver. 1.

Keywords: Digital teaching material; environmental education; global warming; life cycle thinking; missing link

1. はじめに

1.1 ライフサイクル思考に基づく環境教育

ライフサイクル思考に基づく環境教育が注目され、その理論的な検討¹⁾や、教材の開発およびそれをういた実践^{2,3)}がなされてきた。例えば、地域の特産品を対象とした教育プログラムの開発³⁾、理科教育との連携を視野に入れた取り組み⁴⁾、カードゲームの利用⁸⁾など、ライフサイクル思考を共通項にしながら、様々な工夫が凝らされている。

著者らは、教育用LCAソフトウェア「かばんの中でも温暖化?!」を用いたパソコン演習（以下、PC演習）を核とするライフサイクル思考に基づく環境教育プログラムの開発を行い¹⁾、様々な場面で授業の実践をしてきた²⁾。以下では、最初に、著者らが開発した環境教育プログラムとその実践について概観する。

1.2 過去における環境教育プログラムの開発と実践

1.2.1 ミッシング・リンク仮説

現代の高度技術社会では、技術システムがブラックボックス化しており、日常の消費行動が、様々な生産活動そしてそれを支える自然環境と密接につながっているという意識が希薄となってきている。つまり、日常の消費行動とグローバルな環境問題は、物理的には密接につながっているにも関わらず、両者の間には認知的な断絶がある。本藤ら¹⁾は、この状態を「ミッシング・リンク」と呼び、ミッシング・リンクの存在がグローバルな環境問題を自分の問題として捉えられない一つの要因であるという仮説を提示している。

この仮説に基づくならば、ミッシング・リンクの再生が環境問題に対する責任感や解決行動の向上をもたらす。ミッシング・リンクの再生とは、自らの消費行動は独立しているのではなく、空間的にも時間的にも広がりを持ったシステムの一部であることを認識し実感することである。そして、このミッシング・リンクの再生に、消費活動を中心に置くシステム観を持つライフサイクル思考^{脚注1)}が有効に機能するという仮説を本藤ら¹⁾は提示している。

1.2.2 環境教育プログラムの概要

上述のミッシング・リンク仮説に基づき、地球温暖化を題材として、中高校生を主たる対象に、ライフサイクル思考に基づく環境教育プログラムの開発と実践に取り組んできた。

本プログラムの主たる狙いは、(1)身近な製品のライフサイクルを通して、自らの日常の消費行動が、自分の見えない部分で地球温暖化に密接につながっていることを実感させ、その上で、(2)日常生活を見直し、CO₂排出量削減のために自らが出来る具体的な解決行動を考察させることである。

本プログラムは図1に示される流れに沿って学習が進められる。中学・高校における授業での実施を念頭におき、2～3時間で実施可能な構成としている。導入部(①②)とまとめ(⑥)はパワーポイントのスライドを利用した講義が主であり、展開部(③④⑤)は教育用LCAソフト「かばんの中でも温暖化?! (Ver. 1)」(図2)を用いたパソコン演習(以下、PC演習)が中心である。

1.2.3 教育用LCAソフトウェア「かばんの中でも温暖化?! (Ver. 1)」の概要

本ソフトの利用が本プログラムの最大の特徴である。本ソフトを用いて、学習者は、自分のかばんの中の身近な所持品を対象にして、それらの利用に伴うライフサイクルにわたるCO₂排出量を可視化することができる。個人特有の

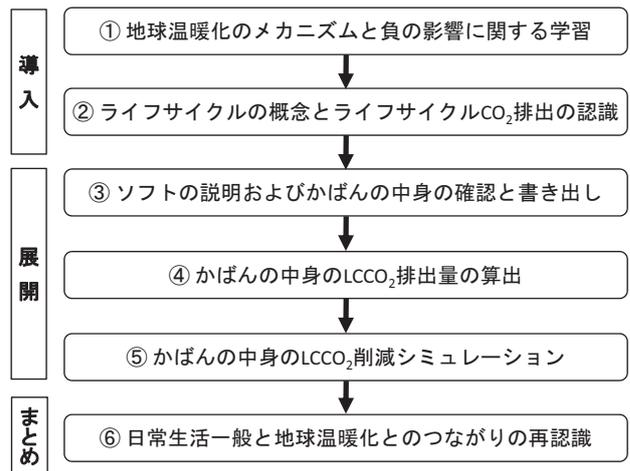


図1 環境教育プログラムの大まかな流れ⁹⁾

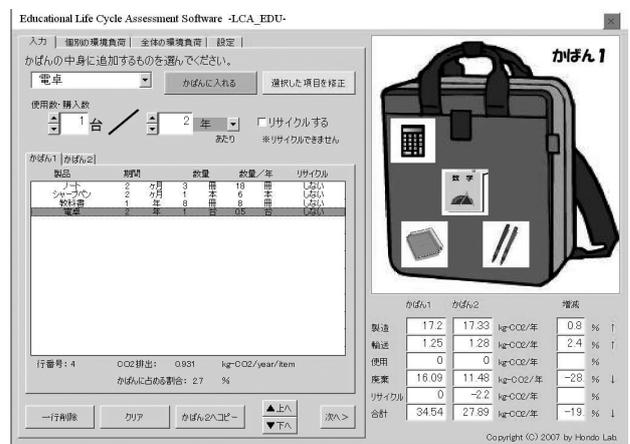


図2 「かばんの中でも温暖化?! (Ver. 1)」の表示画面¹⁾

CO₂排出量を示し、また個人特有の行動変化によるCO₂排出量の変化を提示することで、学習者が自らの消費行動と地球温暖化とのつながりを実感することを期待している。

本ソフトは、学習者がかばんに入れて学校に持参する製品(教科書、筆記用具、オーディオ機器など)に関する情報を入力することで、各製品のライフサイクルCO₂排出量(以下、LCCO₂)を自動計算して出力するものである。入力すべき情報は、所持品の種類、個数、使用期間(使用頻度)、リサイクルの有無の4項目である。また、出力される情報は、かばんの中身からのLCCO₂であり、それは数値とグラフで表示される。なお、LCCO₂は合計値だけでなく、教科書、シャーペンのような製品別の内訳や、製造、輸送、使用、廃棄、リサイクルといったライフサイクルステージ別の内訳も表示可能である。さらに、かばんの

脚注1) ライフサイクル思考とは、「製品や技術の利用に伴う目の前の直接的な影響だけでなく、それらのライフサイクルに沿って奥に隠れた間接的な影響をも追跡し、システム全体の影響を考えること」と定義される¹⁾。

中身からのLCCO₂の現状を把握した後、所持品を節約したり、長持ちさせたりすると、どの程度のCO₂削減が可能かをシミュレーションする機能も備えている。

なお、開発された環境教育プログラムおよび教育用LCAソフト「かばんの中でも温暖化?! (Ver. 1)」の詳細については本藤ら^{1,9)}を参照されたい。

1.2.4 有効性の検証

表1に示されるように、上述した環境教育プログラムを主に高校において実践してきた。実践においては、学習者の変化を質問紙調査により測定し分析することによって、上述のミッシング・リンク仮説の検証を試みてきた。平山ら⁵⁾や中島ら⁶⁾の分析結果から、図3に示されるメカニズムが示唆された。日常の消費行動が、生産活動やCO₂排出と見えないところでつながっていることを実感することが、解決行動に対する責任感の向上をもたらし、解決行動意図の向上を促すという可能性が認められた。つまり、上述した仮説に基づく本プログラムは一定の効果を持つことが示されてきた。

2. 本研究の目的

前章で述べたように、授業実践を通して、開発したプログラムの有効性が示されてきたが、一方で課題も浮かび上がってきた。今後、本プログラムを数多くの教師に利用してもらうために、本研究では、本プログラムの核である教育用LCAソフトウェアの改善により本プログラムの有効性と実用性をさらに高めることを目的としている。その目的達成に向けて第一に、高校における過去の実践から得られた情報を分析することで、本プログラムの課題を明確化している。第二に、その課題を解決するために新しい教育用LCAソフトウェア (Ver. 2) を開発している。第三に、Ver. 2を用いたプログラムの優位性について考察するとともに、実際にプログラムを実施することでその優位性の確認を試みている。

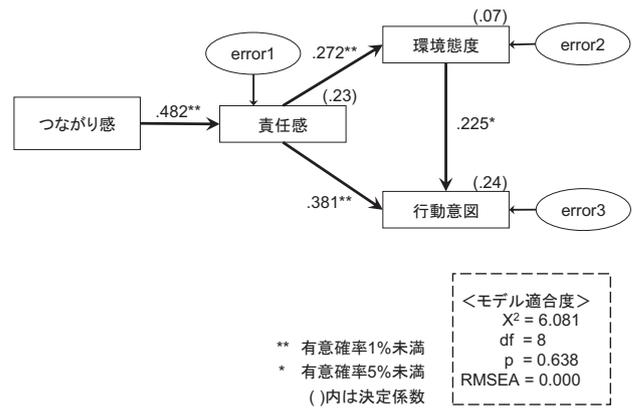


図3 つながり感の向上が学習者にもたらす変化⁶⁾

3. 学校教育現場への普及に向けた課題の明確化

3.1 つながりのより強い実感

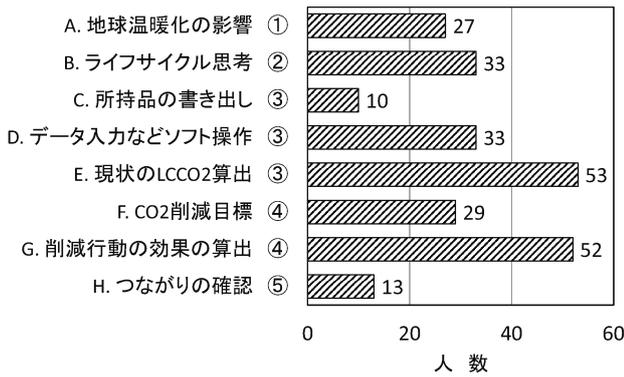
先に示した分析結果 (図3) からわかるように、学習者自らの消費行動と地球温暖化とのつながりを実感させることが重要である。しかし、授業実施後に実施した調査によると、全般的に、生徒の意識はLCCO₂という定量的な結果に向かい、つながりに関する意識が薄い可能性がある。

図4は、2008年に相模大野高校で本プログラムを実施した後に、授業の主要場面に対する生徒の印象度を調査した結果⁶⁾を示している。PC演習における現状のLCCO₂算出 (図4のE) やCO₂削減行動の効果の算出 (図4のG) が生徒の印象に残ったことが認められる。これらの結果は、PC演習が生徒にとって印象深く、ソフト利用が学習に対する意欲向上に効果的であることを示している。他方で、場面EやGが印象に残った理由として、ソフトを用いて「LCCO₂量が計算できたこと」や「削減率が計算できたこと」を挙げている生徒が多く⁶⁾、定量情報に関心を寄せている様子が伺える。さらに印象に残った理由をテキスト分析した結果、「CO₂」「削減」「たくさん」など定量的情報に関する単語は頻出しているが、「ライフサイクル」や「つ

表1 環境教育プログラムの実践一覧

| 実施校 | 実施年月 | 実施時間 | 実施枠 | 学年 | クラス数 | 受講人数 | 講師 |
|-------------------------|-------------|--------------|-------|--------|------|------|---------|
| 神奈川県立M高校 | 2007年7月 | 2時間 (1日間) | 総合学習 | 高校1,2年 | 1 | 16 | 大学院生 |
| 東京都立F高校 | 2007年11月 | 2時間 (1日間) | クラブ活動 | 高校1年 | 1 | 13 | 大学院生 |
| | 2007年12月 | 2時間 (1日間) | クラブ活動 | 高校1年 | 1 | 6 | 大学院生 |
| 私立K学園 | 2007年11月 | 3時間 (3日間) | 委員会活動 | 中1~高3 | 1 | 58 | 大学院生 |
| | 2008年11-12月 | 3時間 (2日間) | 委員会活動 | 高校1~3年 | 1 | 30 | NPOスタッフ |
| 神奈川県立S高校 | 2008年3月 | 1時間35分 (1日間) | 地理A | 高校2年 | 3 | 126 | 高校教諭 |
| | 2009年2-3月 | 2時間20分 (2日間) | 情報A | 高校1年 | 5 | 198 | 高校教諭 |
| 神奈川県立Z高校 ^{*1)} | 2010年2-3月 | 1時間35分 (2日間) | 地理A | 高校1年 | 7 | 277 | 高校教諭 |

*1: 本プログラム実施の直前の授業で、地球温暖化について学んでいるので、「地球温暖化のメカニズムと負の影響に関する学習 (図1)」を除外して授業を実施した。また7クラスのうち、3クラスはLCAに関する授業 (45分×1) だけとし、4クラスはPC演習も含めた授業 (45分×2) とした。

図4 印象に残った授業場面⁶⁾

ながり」を表わす単語は少なかった。また、2009年に相模大野高校で本プログラムを実施²⁾した後に行った質問紙調査の結果の分析からも、同様の結果が得られた。

つまり、学習者自らの消費行動と地球温暖化とのつながりを、より強く実感させるという点で、本プログラムは改善の余地がある。

3.2 教師の負担軽減

授業の参観および授業の様子を記録したビデオから、授業の実施において教師の負担が大きいことが認められた。また、2008年から2010年まで毎年、本プログラムを実施してきた高校教諭は、授業案に則して予定の構成通り授業を展開するには、かなりの準備が必要である²⁾と指摘している。

教師にとって負担が大きい第一の理由は、授業で用いる教材に慣れていないことと、利用方法の複雑さが挙げられる。製品のライフサイクルを通して日常生活と温暖化のつながりを実感させるためには、最終的な結果であるLCCO₂だけではなく、同時に様々な製品のライフサイクルを認識させることが重要である。本プログラムでは、PC演習中に別途パワーポイントのスライドを用いて、代表的な製品を取り上げ、そのライフサイクルにわたる活動とそれに伴い排出されるCO₂について解説を行う。内容が多岐にわたるとともに、教師はスライドとソフトを同時に駆使する必要がある。

第二に、PC演習前に本ソフトの操作方法を生徒に教えるが、PC演習中に、教師の指示についていけなかったり、間違った操作を行ったりする生徒がいる。授業を円滑にすすめるためには、生徒に適切な操作を行わせることが重要となるが、教師がひとりで全ての生徒に目を配るのは難しい。

つまり、限られた時間で必要な内容を的確に生徒に伝えるためには、授業中そして事前準備における教師の負担が大きくなる。それ故に、授業の質を保ったまま可能な限り

教師の負担を軽減することは、本プログラムにおける重要な課題である。

3.3 LCCO₂算出結果の精度向上

本ソフトに搭載されているLCCO₂のデータは主として、産業連関表¹⁰⁾と環境負荷原単位データブック(3EID)¹¹⁾に基づき作成されている。本ソフトは計算ソフトでは無く、つながりを実感させることを目的とした教育ソフトである。それ故に、データの精度には重きをおいておらず、産業連関表を用いて推計したLCCO₂を採用している。

しかし、先に述べたように、生徒は定量情報に興味を持っている。実際、授業を担当した高校教諭も指摘しているように²⁾、授業の中で最も盛り上がる場面は、生徒達がLCCO₂の算出結果や削減結果を発表する時である。数々の所持品のうち、何の寄与率が高いか、クラスの誰のCO₂排出量が多いか等、その数値に高い関心を持っている。産業連関表を用いて推計したLCCO₂は、個々の製品固有の特性を十分に反映していないため、その絶対値の妥当性や異なる製品間の比較には注意が必要である。

つまり、生徒が定量的な情報に強い関心を示しているだけに、誤解を招かないようにLCCO₂に関して一定の精度が求められる。

4. 課題解決の方針と方法

4.1 新しいソフトウェアの設計

第3章で提示した課題の解決には複数の方法が考えられるが、以下の3点の理由から、これまで利用してきた教育用LCAソフト「かばんの中でも温暖化?! Ver. 1」を改良し、新たにVer. 2を開発するという方針とする。

- (1) PC演習が生徒にとって効果的と認められる
- (2) ソフトの改良で課題を解決できる可能性が認められる
- (3) 可能な限り属人的ではない教育プログラムとする

新たに開発するVer. 2は、基本的なコンセプトと機能はVer. 1をそのまま引き継ぎ、課題の解決に有効と考えられる改良を加える。図5は改良方針の全体像を示す。

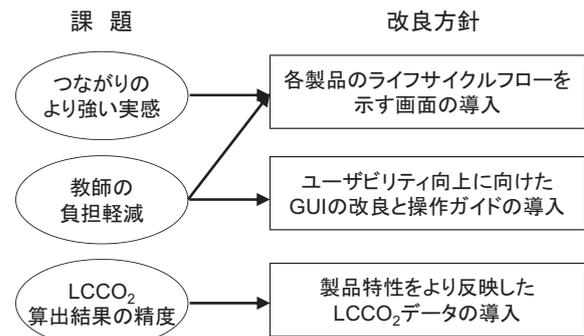


図5 課題に対応したソフトウェアの改善方針

4.1.1 ライフサイクルフロー画面の導入

学習者自らの消費行動と地球温暖化とのつながりをより強く実感させるために、Ver. 2では、ソフトに用意されている各製品のライフサイクルフロー画面を表示できる機能を新たに組み込む。つまり、Ver. 1ではLCCO₂の「見える化」だけであったが、Ver. 2では、それに加えて、各製品のライフサイクルフロー自体もまた「見える化」する。

Ver. 1では、自らの所持品を対象として、自らの手でLCCO₂を計算したり、削減シミュレーションしたりすることで、自分の行動とCO₂排出とのつながりを実感させることを目指している。Ver. 2では、それに加えて、自分の所有する様々な製品のライフサイクルフローを画面で確認できるようにすることで、つながりの実感が強まることを期待している。また、ライフサイクルフローの「見える化」の追加だけでも効果的と考えられるが、定量情報とライフサイクルフロー情報の両者を結びつけて学習することで相乗効果も期待できる。

また、ライフサイクルフローをソフトウェアに組み込むことは、PC演習においてスライドを使わずにソフトのみで授業を進めることを可能とし、教師の負担軽減にも寄与する。加えて、ソフト自体に製品ライフサイクルに関する様々な情報（例えば、ある製品のライフサイクルのどこでCO₂排出が多いかなど）を埋め込むことで、授業準備の負担も軽減できる。

4.1.2 ユーザビリティの向上

教師の負担を軽減するために、ソフトの操作性とわかりやすさをさらに向上させる。第一に、より直感的に操作でき、かつ間違った操作を回避できるグラフィックユーザーインターフェース（GUI）を採用する。第二に、細かい説明が無くとも生徒がある程度独自に操作を進められるように画面上に操作ガイドを示す。これら二点によって、教師、生徒の双方とも、画面を見るだけである程度操作方法を理解できるようになる。教師にとっては、ソフトの使い方に関する説明も少ない時間で済み、学習者の操作ミスも少なくなることから、授業を円滑に進めることが可能となる。さらに、そのことは、本質的な内容に取り組む時間に余裕を与えることになり、授業進行における教師の負担を軽減する。加えて事前にマニュアルを読む必要がなくなるなど事前準備の負担も軽減される。また生徒にとっても、本質的な作業に集中できるので、効果的な学習が可能となると考えられる。

4.1.3 製品特性をより反映したLCCO₂排出量の導入

生徒が定量情報に高い関心をもっていることから、Ver. 2では、各製品の特性をより反映したLCCO₂データ

に置き換える。Ver. 1で用いられている産業連関表によるLCCO₂は平均財の値であり、例えば、かばんに入っているボールペンと消しゴムの違いを表せない。いずれも同じ部門（文具部門）に含まれ、価格もほぼ同じくらいだからである。それ故に、Ver. 2では、積み上げ法を基本として、各製品固有のライフサイクルフローを反映したLCCO₂を再推計して、ソフトに組み込む。なお、この再推計によって、新たにソフト組み込むライフサイクルフローとLCCO₂をより整合的に結びつけることも可能となる。

4.2 開発環境と動作環境

Ver. 1の開発には、Excelシート上で動作するExcel VBAを用いてきた。しかし、Ver. 2では、新しい機能の追加や将来的な拡張（例えばWeb版のリリース）などを考慮して、開発環境としてMicrosoft社の.NET Framework 3.5を採用している。

プログラミング言語として、全般的にはVisual C#を用いており、後述するライフサイクルフロー画面のアニメーションに関してはXAMLを用いている。

ライフサイクルフロー画面自体の作成にはMicrosoft社のExpression Blendを利用しており、インターフェースや、そのロジック部分の開発、作成したライフサイクルフロー画面の埋み込みには、統合環境であるMicrosoft社のVisualStudio2010を用いている。また、グラフの表示のために、グラフコンポーネントとして、Microsoft社のChartControl for .NET Framework 3.5を利用してしている。

Ver. 2は、Windows XP以降で動作する。学校における教育の情報化の実態等に関する調査結果¹²⁾によると、平成21年度におけるWindows XP以降のパソコンの普及率は、中学校で94.9%、高校で89.3%とされている。一部の学校は、XP以前の2000、NT、Me、98、95などを利用しているが、2010年12月現在、これらのオペレーティングシステムのサポートは終了しているため¹³⁾、2011年以降、順次Windows XP以降に置き換わっていくことが予想される。

5. 教育用LCAソフトウェア「かばんの中でも温暖化?! Ver. 2」

5.1 システム構成

Ver. 2は、図6に示されるように、入力画面、2種類の出力画面、そしてデータ格納部で構成される。以下では、各構成部分について順に説明する。

5.2 入力画面

図7にVer. 2の入力画面である「かばん1」の画面を示す。Ver. 2では、より直感的に操作できるようなGUIを採用している。

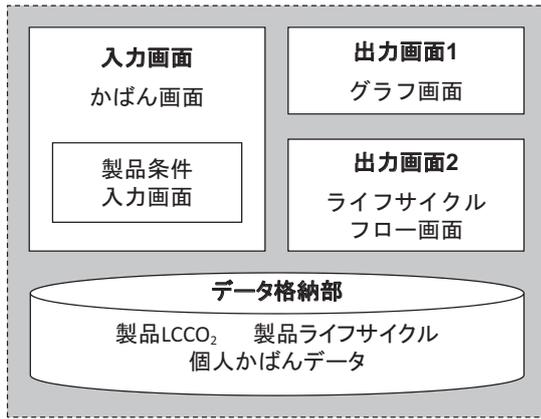


図6 「かばんの中でも温暖化?! (Ver. 2)」の全体構成

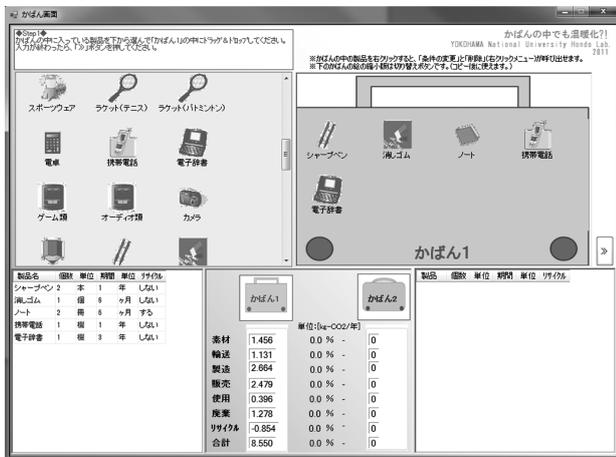


図7 「かばんの中でも温暖化?! (Ver. 2)」の入力画面

授業では、図7に示される「かばん1」への入力を済ませ、自らのLCCO₂の現状を確認した後に(図1の④)、画面を「かばん2」に切り替えて削減シミュレーションを行う(図1の⑤)。

5.2.1 製品アイコンとかばん

Ver. 2では、画面左上にアイコン化された製品リストがあり、製品アイコンを画面右上のかばんにドラッグ&ドロップすると、かばんの中に製品アイコンが並ぶようになっている。Ver. 1では、プルダウンメニュー(図2の画面左上)から製品を選択するようになっていたが、Ver. 2では、「製品をかばんの中に入れる」という感覚を持たせることも意識している。

5.2.2 製品条件の入力

製品アイコンをかばんの中にドラッグ&ドロップすると、図8に示される条件入力画面がダイアログ形式で表示される。学習者は、ドラッグ&ドロップした製品の使用期間、数量およびリサイクルの有無の入力を行う。なお、リサイ

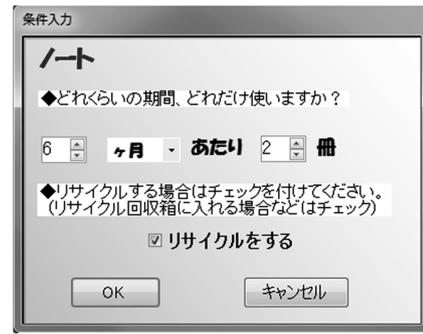


図8 所持品に関する条件入力画面

クルできる製品に関しては、図8のようにチェックボックスが表示されるが、リサイクルできない製品に関しては、チェックボックスは現れない。

入力した製品の情報(製品種類、個数、使用期間、リサイクル有無)は、画面左下に表示され、画面下部の中央に、かばんの中に入っている製品の合計LCCO₂が示される(図7)。画面右下には、削減シミュレーションのために「かばん2」に入力された製品の情報が示される(図7では「かばん2」には何も入っていないことを示している)。また、入力した4種の製品情報は個人かばんデータ(図6)として記録される。

また、かばんに入っている製品アイコンを右クリックすると、「削除」と「条件変更」が選択できる。「削除」を押すと入力情報と共に製品アイコンが消去される。「条件変更」を押すと、条件入力画面(図8)がポップアップされ、3種の入力情報を修正することが出来る。

5.2.3 操作ガイドと操作制限

Ver. 2の入力画面では、より直感的な操作を可能とするGUIの採用と同時に、操作ガイドと操作制限の機能を新たに追加している。

画面左上(図7)中ほどには、学習者がやるべき作業を順番に間違いなく行えるように、操作ガイドを設けている。表示されるメッセージは、授業の流れに従って変化していき、そのメッセージに沿って操作をすれば良いようになっている。

また無駄な操作や間違った操作を回避するために、一定の操作制限を設けている。例えば、かばん1の入力、つまり現状入力を完了して現状をグラフ画面(次節で説明)で結果を確認しないと、かばん2への入力ができないようになっている。

5.3 出力画面1 —グラフ画面—

図9にグラフ画面を示す。かばんのLCCO₂に関する出力結果の情報が集約されている。

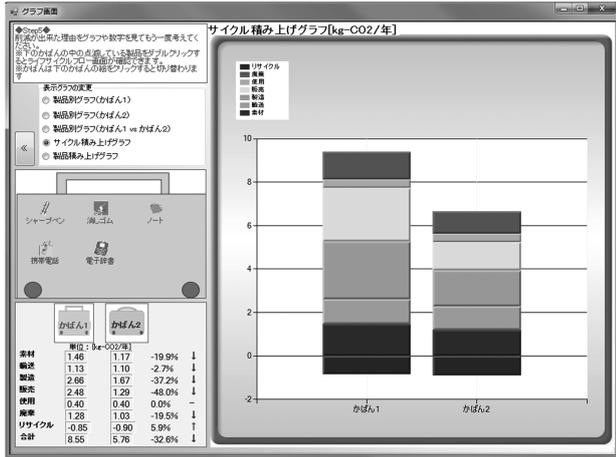


図9 「かばんの中でも温暖化?! (Ver. 2)」のグラフ画面

5.3.1 操作ガイドと操作制限

出力画面においても、入力画面と同様に、実施すべき内容を示す操作ガイドが画面左上に表示される。また入力画面と同様に操作制限もかけられている。例えば、「かばん2」に入力が無い場合は、「かばん2」に関するグラフの選択ができないように設計されている。

5.3.2 LCCO₂表示

画面左下には、「かばん1」と「かばん2」のLCCO₂がライフサイクルステージ別に、同時に表示される。ライフサイクルステージは、素材、輸送、製造、販売、使用、廃棄、リサイクルの7ステージに分けられている。Ver. 1では、製造、輸送、使用、廃棄、リサイクルの5ステージであったが、後述するライフサイクルフローと整合的にするために、7ステージとしている。また現状を示す「かばん1」のLCCO₂に対して、削減シミュレーションの結果である「かばん2」のLCCO₂が何%減少したかも表示される。

5.3.3 グラフ表示

かばんのLCCO₂は、グラフでも見ることができる。操作ガイドの下に、グラフ種類を選択するボタンがあり、図9のようなグラフが表示される。図9で示されているグラフは、「かばん1」と「かばん2」のライフサイクルステージ別の内訳を示している。なお、グラフは5種類用意されている。

5.3.4 縮小かばん

LCCO₂表示部の上には、入力画面の「かばん」と同じ情報を表示した「縮小かばん」が示されている。この縮小かばんに入っている製品アイコンをダブルクリックするとその製品のライフサイクルフロー画面が表示される。ライフサイクルフロー画面の詳細については次節で述べる。

5.4 出力画面2 –ライフサイクルフロー画面–

Ver. 2では、各製品のライフサイクルフローを示す画面が新たに組み込まれている。図10はライフサイクルフロー画面の一例としてシャープペンのライフサイクルフローのアニメーションを時間経過に沿って示している。

ボディの主原料である原油が中東で採掘、輸送され、プラスチックが作られる。軸などの金属部に関しては、オーストラリアから主原料である鉄鉱石が採掘、輸送され、鉄が製造される。芯は、輸入された粘土と黒鉛から製造される。これらの部品の組立加工を通してシャープペンが作られ、手元に届けられ、やがて廃棄される。なお輸入国の設定などライフサイクル全体にわたる前提条件は、グラフ画面で示されるLCCO₂推計に利用したシナリオ (5.5節参照) に基づいている。

アニメーションの最後に、各ライフサイクルステージからのCO₂排出量が「雲」の大きさによって定性的に表示される (図10)。雲が大きいほど、そのステージからのCO₂排出量が多い。この雲の大きさは、グラフ画面で示されるLCCO₂の値と整合的である。

以上のようなライフサイクル全体を表現するアニメーション画面を、製品ごとに作成し実装している。アニメーションを利用することで、複雑なライフサイクルフローも理解しやすくなり、加えて学習者の好奇心をより高めると考えられる。製品によって異なるが、だいたい10～20秒程度で全てが表示される。また繰り返しの再生が可能である。なおライフサイクルフローに関するデータは、データ格納部 (図6) に納められている。

5.5 各製品のLCCO₂データ

5.5.1 モデル製品の設定

ソフトウェアには、中高校生のかばんに入っていると予想される55種の製品が用意されている。各製品のLCCO₂を推計するにあたり、実際に存在する製品を複数選択してその仕様を調査し、以下の基準に従ってモデル製品を設定している。

- (1) 多くの中高校生にとって入手可能な価格帯
- (2) 通学に持ち運べるサイズ、仕様
- (3) 一般的な流通経路で入手が可能な製品

このように設定されたモデル製品に関するLCCO₂を以下に示す手順と前提にしたがって推計している。なお、上記の3条件を満たす製品に関するLCCO₂の推計結果が存在する場合は、その値を援用している。

5.5.2 推計の手順と前提条件

図11に示す手順に従って、モデル製品のLCCO₂を推計している。以下では、推計の基本的な考え方と概略を述べる。

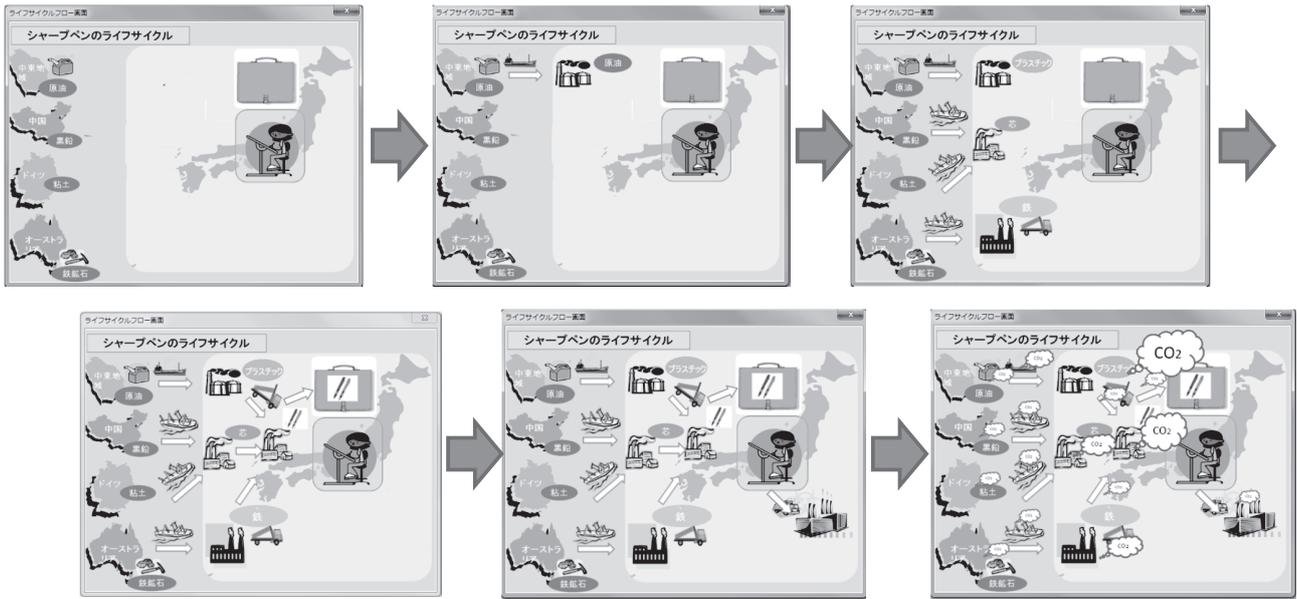


図10 シャープペンのライフサイクルフローのアニメーション画面

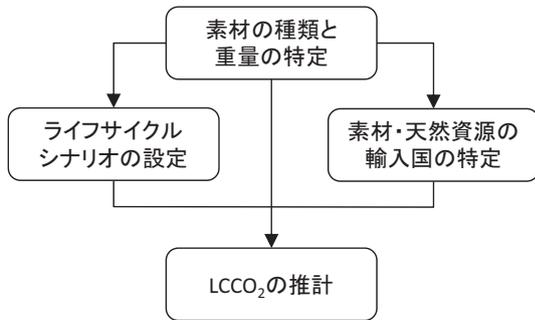


図11 各製品のLCCO₂推計の流れ

(1) 素材の種類と重量の特定

各製品の素材重量については、基本的には、製品を実際に分解し重量を実測するか、もしくは商品カタログや説明書から求めている。

(2) 素材・天然資源の輸入国の特定

各種素材（アルミや銅など）の輸入国、もしくは素材の製造に必要な各種天然資源（鉄鉱石や原油など）の輸入国は、貿易統計¹⁴⁾から特定している。

(3) ライフサイクルシナリオの設定

各製品のライフサイクルシナリオとは、各製品の製造プロセス、輸送の方法や距離、使用の仕方、廃棄方法などライフサイクルにわたる前提条件の集合体である。ライフサイクルシナリオは基本的に、カーボンフットプリント算定・表示試行事業（以下、CFP事業）で認定された商品種別算定基準（以下、PCR）¹⁵⁾に従い設定している。なお、モデル製品ごとに最適と考えられるPCRを選択している。ただし、CFP事業で制定されていない場合や、推計対象製品に近いLCIを実施した文献が存在する場合は、適宜文献を参照した。

(4) LCCO₂の推計

(1)~(3)の結果に基づき、基本的にはCFP事業で定められている「CO₂換算量共通原単位データベース（暫定版）ver.2.0」¹⁶⁾を用いてLCCO₂を推計している。ただし、CFP事業でCO₂原単位が設定されていない場合や、より妥当と判断されるCO₂原単位が存在する場合は、CFP事業のCO₂原単位以外を利用した。

5.5.3 LCCO₂の推計結果

図12は文具のLCCO₂を比較している。Ver. 1では、産業連関表の同じ部門に含まれ、かつ価格が同じ製品のLCCO₂は同じ値となる。例えば、100円のボールペン1本と100円の消しゴム1個は、100円の文具として同一に扱われる。他方Ver. 2では、その製品固有のライフサイクルを反映してLCCO₂を算出しており、消しゴム1個とボールペン1本のLCCO₂の値や、その内訳も異なる。

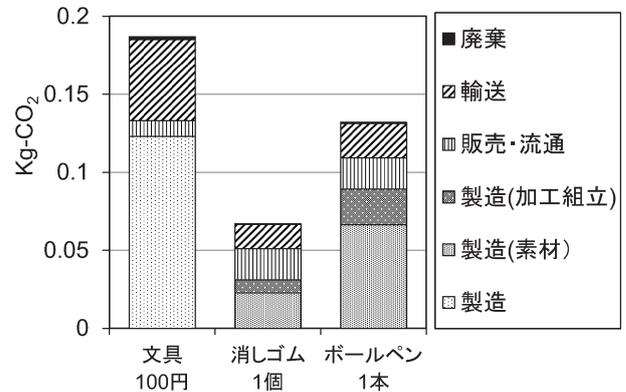


図12 Ver. 1 (文具) と Ver. 2 (消しゴムとボールペン) のLCCO₂の比較

6. Ver. 2を利用したプログラムの優位性

6.1 授業の進めやすさにおいて期待される効果

Ver. 1とVer. 2のいずれのソフトを利用しても、プログラムの内容や授業の展開に変化は無いが、時間の使い方には差異が生じる。図13には、プログラム実施においてVer. 1を利用する場合とVer. 2を利用する場合とで、パワーポイントスライドとソフトウェアを利用するタイミングの違いを示している。

展開部の最初において、Ver. 1を用いた従来のプログラムでは、学習者に対してソフトの操作方法について説明する時間が必要となる（図13の③）。他方Ver. 2では、GUIの改良と操作ガイドの導入により、その必要がなくなり、展開やまとめに向けて時間に余裕がもてる。

展開部の中心はPC演習（図13の④⑤）である。Ver. 1に比べて、Ver. 2を用いた授業の方が時間的な余裕があり、授業を円滑に進行できると考えられ、本質的な内容に対して時間と力を注げることが期待される。その理由は第一に、Ver. 2では、全ての製品のライフサイクルフローをソフトに格納しているため、ソフトのみで授業を進められるからである。Ver. 1には製品ライフサイクル情報を含んでいないため、別途パワーポイントのアニメーション機能を使ったスライドを用いて、代表的な製品を例に説明する必要がある。なお、ソフトのみで学習を進めることは、ソフトとスライドを行ったり来たりせず、学習者にとっても学習に集中しやすくなるという点でも効果的と考えられる。第二に、Ver. 2では、GUIの改良によって直感的な操作が可能になり、操作ガイドや操作制約の導入もあり、データ入力に必要な時間が削減されるからである。PC演習が円滑に進まない主たる理由は、間違った操作により入力データを消してしまったり、操作手順が途中でわからなくなってしまうことにある。操作ガイドと操作制約の導入によって、大きな間違いや、わからない生徒への個別指示の必要性が

大幅に減少すると期待される。

Ver. 1を用いた従来の授業では、まとめ（図13の⑥）の時間を十分にとれないこともあった。他方Ver. 2では、上述したように展開部において時間が節約できる。またVer. 2では、スライドを使わずに、そのままソフトを使って振り返りが可能となるために、ライフサイクル思考に関するまとめの時間を十分に確保できる。加えて授業の状況によって、最後のまとめに使う製品ライフサイクルフローを柔軟に選択できるので、より効果的なまとめが期待される。

6.2 高校での実践

上述したような効果を持つかを確認するために、表2に示すように2011年3月に、Ver. 2を用いたプログラムを実践した。なお、授業を行った担当教諭は、Ver. 1を用いたプログラムを過去3年にわたり行ってきた経験を持つ。

担当教諭に、授業の実施直後に感想を聞いたところ、Ver. 1を用いた場合と比べて、全体的に円滑に授業が進行できたとの評価を得た。その理由のひとつとして、ソフトの操作性向上によって生徒がデータを入力する時間が短縮されたことと、操作ガイドによって操作説明を省けたことで、時間に余裕が出来たことを挙げた。また、時間に余裕が出来た結果、LCCO₂の削減シミュレーション後に、ライフサイクル思考に関する十分な考察時間を得られたことが良かったとの評価であった。

なお、この実践においては、今回新たに導入したライフサイクルフロー画面がつながりの実感向上に与える効果は検証していないが、生徒が様々なライフサイクルフローを見ていることは確認できた。表3は、今回新たに導入したライフサイクルフロー画面を、生徒がどの程度見たかをまとめている。31種の製品のライフサイクルフロー画面が延べ346回見られており、1人平均約11回見ていることになる。

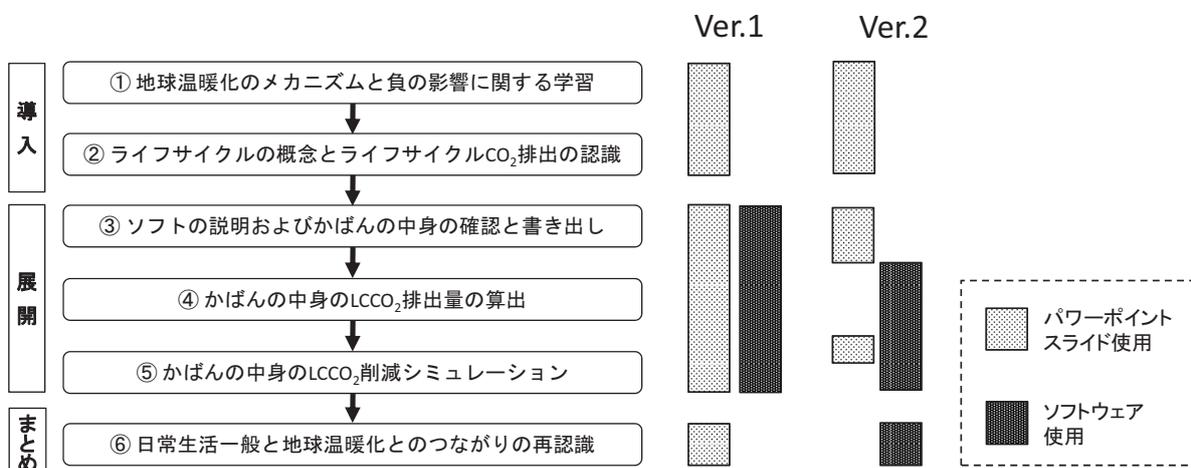


図13 Ver. 1とVer. 2を用いたプログラム実施におけるスライドとソフトウェアを使用するタイミングの差異

表2 Ver. 2を用いたプログラムの実践概要

| | |
|------|-------------|
| 実施校 | 神奈川県立座間高校 |
| 実施年月 | 2011年3月 |
| 実施時間 | 1時間35分(2日間) |
| 実施科 | 地理A |
| 学年 | 高校1年 |
| クラス数 | 1 |
| 受講人数 | 32名 |
| 講師 | 高校教諭 |

表3 各製品のライフサイクルフローを生徒が見た回数

| 製品 | 回数 | 製品 | 回数 |
|-----------|----|------------|----|
| 食品包装(パン等) | 38 | めがね | 9 |
| 携帯電話 | 28 | 書籍 | 9 |
| 教科書 | 24 | ティッシュ | 9 |
| 電子辞書 | 18 | ファイル | 8 |
| シャープペン | 18 | 傘 | 8 |
| プリント | 18 | ノート | 7 |
| ベンケース | 17 | ペットボトル飲料 | 7 |
| オーディオ類 | 14 | 財布(ビニール) | 6 |
| 財布(皮) | 12 | ハンカチ | 5 |
| 鍵 | 12 | ゲーム類 | 4 |
| 消しゴム | 12 | 小銭入れ(ビニール) | 3 |
| ペン類 | 12 | 小銭入れ(皮) | 2 |
| タオル | 11 | 鉛筆 | 2 |
| クリアファイル | 11 | 手帳 | 1 |
| ホチキス | 10 | 雑誌 | 1 |
| 水筒 | 10 | | |

7. おわりに

本研究では、ライフサイクル思考に基づく環境教育プログラムの中心教材である教育用LCAソフトウェア「かばんの中でも温暖化?! Ver. 2」を新たに開発した。

過去のプログラム実践より、(1) 地球環境と日常生活とのつながりの実感をさらに高めること、(2) プログラム実施における現場教師の負担をさらに削減すること、(3) 各製品のLCCO₂値の精度を高めること、が課題として明らかになった。これら3点の課題解決のため、これまで利用してきたソフト(Ver. 1)の基本的なコンセプトと機能を引き継ぎつつも、(1) 各製品のライフサイクル画面の導入、(2) GUI改良などによる操作性の向上、(3) 各製品のLCCO₂推計法の変更、という3点を改善したVer. 2を開発した。

このVer. 2を用いた環境教育プログラムは、Ver. 1を用いた場合に比べて、より効果的な授業になると期待される。実際に、高校教諭によってVer. 2を用いたプログラムが実践され、期待された効果が一定程度認められた。

しかし、Ver. 2の導入による効果(つながりの実感の向上など)は十分に検証されていないので、今後、効果検証を引き続き行うとともに、より良いプログラムに向けて改善していくことが求められる。また、幅広い利用を可能とするために、ソフトを含めた必要教材と指導案をまとめて、インターネット上で公開する予定である(<http://www.hondo.ynu.ac.jp/>)。

なお、本研究ではソフトの改善によって課題の解決を目指したが、他のアプローチもあり得る。例えば教師の負担軽減については、指導者向けの講座などを開くことや、実際に授業を行っている様子のDVDを配布するなどが考えられ、それらもまた今後の課題である。

謝辞

ソフトウェアの開発にあたり、高校教諭の立場から適切な助言をいただきました神奈川県立座間高等学校の根元一幸教諭に、また開発途中で試行の場を与えて戴きましたフェリス学院大学の佐藤輝准教授と横浜国立大学の松本真哉教授に、心より感謝の意を表します。なお、本研究は科学研究費補助金(20510033)の助成を受けています。

(平成23年7月28日受付、平成23年12月14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) 根元一幸 (2009): 日本LCA学会誌, 5(3), 344-351
- 3) 安藤生大 (2009): 日本LCA学会誌, 5(3), 382-392
- 4) 成田明沙美, 井上弘毅, 松本真哉, 中村栄子 (2009): 日本LCA学会誌, 5(3), 393-402
- 5) 平山世志衣, 中島光太, 本藤祐樹 (2009): 日本LCA学会誌, 5(3), 367-381
- 6) 中島光太, 平山世志衣, 本藤祐樹 (2011): 日本LCA学会誌, 7(1), 84-95
- 7) 水野建樹, 津田祥子, 伊坪徳宏 (2010): 第5回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, 横浜, 174-175
- 8) 田原聖隆, 藤井千陽, 津田祥子, 水野建樹 (2010): 第5回日本LCA学会研究発表会講演要旨集, 横浜, 176-177
- 9) 本藤祐樹 (2009): 日本LCA学会誌, 5(3), 331-337
- 10) 総務省編 (2009): 平成17年産業連関表, 総合解説編, 計数編(1), (2), 財団法人経済産業調査会, 東京
- 11) 南斉規介, 森口祐一, 産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID): 2005年表(β +版), 独立行政法人 国立環境研究所地球環境研究センターホームページ, 入手先 <<http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/index-j.html>>, (参照 2011-7-1)

- 12) 文部科学省, 学校における教育の情報化の実態等に関する調査結果 (平成21年度), 文部科学省ホームページ, 入手先 <http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/07052402/1295101.htm>, (参照 2010-12-21)
- 13) Microsoft, Windowsデスクトップ製品のライフサイクル, Microsoftホームページ, 入手先 <<http://www.microsoft.com/japan/windows/lifecycle/default.aspx>>, (参照 2010-12-21)
- 14) 財務省関税局, 財務省貿易統計品別国別表 (2010年12月), 税関ホームページ, 入手先 <<http://www.customs.go.jp/toukei/info/tsdl.htm>>, (参照 2011-7-1)
- 15) カーボンフットプリント・ジャパン, 認定PCR一覧, Carbon Footprint of Productsホームページ, 入手先 <<http://www.cfp-japan.jp/calculate/authorize/pcr.php>>, (参照 2011-7-1)
- 16) カーボンフットプリント・ジャパン, CO₂換算量共通原単位データベース (暫定版) ver. 3.0, Carbon Footprint of Productsホームページ, 入手先 <<http://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/data.html>>, (参照 2011-7-1)