

ライフサイクル思考に基づく環境学習支援システムの構築

白土 晶*・山本佳世子**

Development of Environmental Learning Support System Based on the Life Cycle Concept

Akira Shirato*, Kayoko Yamamoto**

Abstract: In the present study, an e-learning system, which is made up of 3 parts including text-based learning materials, quizzes to review the content of the learning materials and CO₂ emission simulation, was designed and developed with the purpose of supporting environmental learning. Targeting a wide range of people, the operation period of this system was 1 month. Based on the results of questionnaire survey for users, it was evident that the format of the e-learning system was effective and helpful for environmental learning. Additionally, with the users' awareness related to environmental conservation before and after using the system, significant changes were seen in areas such as behavioral intention, sense of urgency and sense of connection. Furthermore, as it was revealed that 62% of the total access numbers were from mobile devices, it was effective to prepare an interface optimized for mobile devices enabling users to use the system from their smartphones and tablet PCs.

Keywords: 環境学習 (environmental learning), ライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment), ライフサイクル思考 (Life Cycle Concept), Web-GIS (Web-GIS), e-ラーニングシステム (e-learning system)

1. はじめに

1.1. 環境教育の必要性和環境影響評価手法

近年、地球環境問題の深刻化から、大量生産・大量消費・大量廃棄という現代の社会経済システムが問題視されつつある。2015年には国連から持続可能な社会形成のために17のグローバル目標が発表され、2030年までの目標達成に向け地球環境保全について様々な取り組みが行われている。我々消費者にも、持続可能な社会の実現に向けて、環境に配慮した行動変容が求められているといえる。しかし、現代社会において高度にブラックボックス化した技術・システムを利用する我々は、日常の消費行動や生産活動とそれを支える自然環境とが密接につながっているという意識が希薄である。このような現状がある中で、環境について学ぶ、環境教育の必要性はますます増していくものと考えられる。

ライフサイクルアセスメント (LCA, ライフサイクル分析とも呼ばれる, 以下 LCA という) は、商用製品、製造プロセス、サービスのライフサイクルの全

体における環境影響を評価する手法である (Ilgin et al., 2010; United States Environmental Protection Agency, 2015)。例えば、工業製品の場合、原材料の抽出と加工 (ゆりかご) から、製品の製造、流通、使用を経て、製品を構成する材料のリサイクルや最終処分 (墓場) に至るまでの環境への影響が評価される。LCAの研究においては、製品、製造プロセス、サービスのバリューチェーン全体で必要とされるエネルギーと材料の詳細なインベントリ (一覧表) が作成され、環境負荷の排出量が計算される。LCAは潜在的な環境影響を定量的に評価し、顕在化させることができる手法であるといえる。

1.2. 環境学習にライフサイクル思考を取り入れる意義

環境教育の現場において、学習プログラムにライフサイクル的思考を取り入れる試みが散見される (本藤, 2008)。環境学習にライフサイクル思考を取り入れる意義としては、ライフサイクルの概念を学

* 学生会員 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 (Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communication)

〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘1丁目5-1 E-mail: s2030053@edu.cc.uec.ac.jp

** 正会員 電気通信大学 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 (Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communication)

ぶことで、学習者が日常の消費行動と環境問題とを具体的に結びつけやすくなり、自分自身の行動選択が地球規模の環境問題に深くかかわっているという認識ができる点、LCA という環境影響の直接的な評価・分析手法を学ぶことにより、定性的な評価になりやすい環境影響を定量的に比較・判断できる点があげられる。

1.3. 目的

本研究は、環境学習を支援するために、ライフサイクル思考に基づいた環境学習 e-ラーニングシステムを構築することを目的とする。知識の獲得からそれを応用した演習まで総合的な環境学習を行えるようにし、利用者のライフサイクル思考能力の向上を期待したシステムを構築・運用する。運用時には、様々な年代の一般の人々に本システムを利用してもらい、利用者へのアンケート調査及びアクセス解析によってシステムの評価を行い、システムの課題抽出と改善策の提案を行う。

2. 関連分野における先行研究

2.1. 先行研究の分類

本研究は以下の 3 つの分野に関連する。

1) 環境教育におけるライフサイクル思考の導入に関する研究

Ramos et al. (2015) は、高等教育において、LCA を含む持続可能な開発の実践事例を取り上げた。内田ほか (2017) は、日本の大学におけるペットボトルと紙飲料パックのライフサイクル CO₂ の比較を行った。菊池ほか (2017) は、日本の大学において化学物質のリスク管理に定量的な環境影響評価手法を適用した。森ほか (2018) は、ライフサイクルの概念に基づいた環境教育を通して「日常生活と環境問題がどのようにつながっているか」という学習者の意識を測定するための尺度(つながり感)を開発し、検証した。Goodall (2018) は、小中学校のカリキュラムに LCA を取り入れた環境教育プログラムを開発した。

2) 環境教育、環境学習支援システムに関する研究

Santos et al. (2014) は、個々人にパーソナライズ

された学習が行える Web ベースの e-ラーニング教育システムを提供した。平山ほか (2015) は、ライフサイクルの概念を応用した環境学習 e-ラーニングシステムを開発した。上原ほか (2017) は、ライフサイクル思考能力向上のための具体的な環境情報提供方法として、レジ袋やマイバックを題材とした情報提供ソフトを提案した。

3) ライフサイクル思考を導入した環境教育の効果について分析を行った研究

Foo (2013) は、マレーシアの大学において、LCA を含め持続可能な開発に寄与する高等教育の環境教育の役割を明らかにした。瀬尾 (2015) は、日本の小中学校における家庭科の授業でライフサイクル思考を活用した教材の開発と検証を行った。上野ほか (2015) は、日本の家庭科の教科書の内容を分析して、環境に関連する語句を抽出し、LCA とライフサイクル思考に着目した。

2.2. 先行研究の課題と本研究の独自性

以上で述べたように、ライフサイクル思考に基づいて開発された環境教育・学習支援システムは、現在のところ数少ない。環境教育・学習支援システムに関する研究のうち、平山ほか (2015) や上原ほか (2017) の目的は本研究の目的と類似している。しかしこれらの研究で開発されたシステムは、システムを利用する際にプログラムファイルをダウンロードする必要があること、プログラムの動作・利用環境が Windows OS に限定されていること、システムの運用対象が中高生に限定されていることなどの課題がある。これらの課題から、学習対象者が限定されてしまっているため、効果的かつ効率的に環境学習を支援できているとは言えない。また、学習の題材として「かばんの中身」(平山ほか, 2015), 「レジ袋やマイバック」(上原ほか, 2017) を身近なものとして設定しているが、かばんを持ち歩かない人や自分一人では買い物に行かない子供なども想定されるため、すべての学習者を網羅できているとは言えない。

上記の先行研究と比較して、本研究の第一の独自性は、オンライン環境学習に利用可能な、Web-GIS と連携した e-learning システムを開発することであ

る。第二の独自性は、動作環境を Windows OS 以外の OS に拡張し、様々なデバイスから利用できるシステムとして開発することで、システム関連の制約が緩和されていることである。第三の独自性は、環境学習の題材を「飲料水」と誰にでも身近なものに設定することで、学習者を限定することなく幅広い年齢層の方にシステムを利用してもらうことができる点である。

3. システムの設計

3.1. システムの設計と特徴

本研究のシステムは、図 1 に示すように、テキストと画像を用いた学習教材、学習教材の内容を復習するためのクイズ、CO₂ 排出量シミュレーション、Web-GIS を用いた個人単位の地域別 CO₂ 排出量削減計画策定演習の 4 部から構成される e-ラーニングシステムである。本システムは、環境学習を支援するとともに、地球温暖化や LCA、ライフサイクルの考え方などを学習させることで、利用者のライフサイクル思考能力の向上や、環境保全意識の向上を図ることを目的としている。

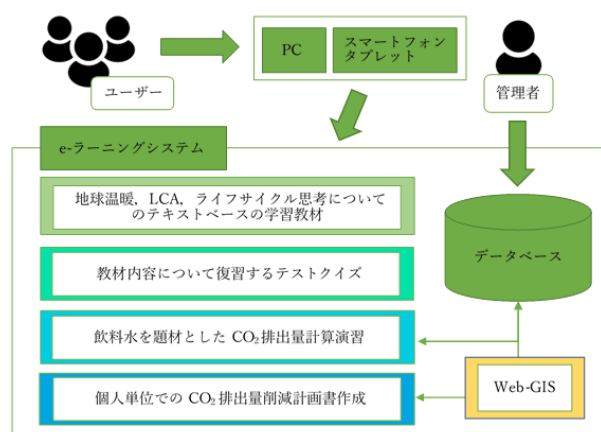


図 1 システムの設計図

利用者は、まずシステムが提供するテキスト教材を用いて、地球温暖化、LCA、ライフサイクルの概念を学習する。さらに、テキスト教材の内容に関連したクイズ問題を解くことで、学習した内容を効果的に復習することができる。また、利用者の日常生活における飲料水の利用形態から、CO₂ 排出量を推

定する機能により、学習した内容を応用した実践的な演習を行うことができる。加えて、演習後には、利用者の行動変容を促すために、市町村を 1 か所選定し個人の CO₂ 削減計画書を作成してもらう演習も用意している。このようにライフサイクルの概念について体系的に学ぶことができる構成にすることで、本システムは環境学習を効率的に支援するとともに、学習内容を効果的に身に着けることが可能であると期待できる。

3.2. 対象情報端末

昨今、携帯情報端末として、スマートフォンやタブレット端末が広く利用されている。本システムはインターネットを利用した e-ラーニングシステムであるため、PC に加え、スマートフォンやタブレットといった携帯情報端末からのアクセスも想定している。利用端末によってインターフェースは異なるが、同一の機能を利用することが可能である。

3.3. システムの動作環境

本システムは、Web サーバ、データベースサーバの 2 つのサーバを用いて運用を行う。Web サーバ、データベースサーバには、Heroku を使用する。本システムで構築した e-ラーニングシステムは、PHP・JavaScript (Leaflet)・HTML を用いて実装されている。

3.4. システム設計の詳細

1) 学習教材

初めに、環境教育の必要性について、近年の SDGs への取り組み・動向という観点から補足する。その後、ライフサイクル概念の理解のため、プラスチックを例にとり LCA とはなにか、その具体的な手順について詳細に解説する。またレジ袋の環境影響についてライフサイクル的な観点から CO₂ 排出量の分析事例を紹介する。さらに実践的な例として、日本ハム株式会社の LCA を用いた商品分析事例をあげ、利用者の実生活に関わる企業の取り組みを紹介する。

2) 小テスト機能

ライフサイクルの概念について学習を進めた後、テスト形式の問題で復習を行えるようにする。既存

の環境学習プログラム（平山ほか, 2015; 上原ほか, 2017）においては, CO₂ 排出量の算出演習以外にライフサイクル思考を発展させた学習内容がなかった. 本システムでは, この小テスト機能と後に述べる CO₂ 削減計画書立案機能を追加することで, より効果的に学習を行えるように設計する.

3) CO₂ 排出量シミュレーション機能

利用者として広く一般を想定する場合, 特別なソフトウェアをインストールする必要がなく, インターネットを通じてブラウザ上での操作が容易であるものが望ましい. 本研究では, システム自体を Web 上のサーバにアップロードし, e-ラーニングシステムとして構築することで, システム的な制約を受けずにこの機能を利用できる設計とする.

また, 利用者のライフサイクル思考能力を向上させ, 日常生活での行動変容を促すためには, 多くの人にとって題材が身近であることが望ましい. 本研究では飲料水を題材とし, その利用形態によって排出量を推定し, 結果をグラフの形で表示できるように設計する.

4) CO₂ 排出量削減計画策定機能

CO₂ 排出量削減に向けた個人単位の計画書を作成

する演習を行うことができる. 利用者は Web-GIS のデジタル地図上から市町村を一か所選定し, 各家庭で CO₂ 排出量削減対策の行動をどの程度達成できるかを, いくつかの設問に答える形で入力する. CO₂ 排出量削減対策の行動は, 家庭からの二酸化炭素排出量の推計に係る実態調査全国試験調査(環境庁, 2016)が定める省エネルギー行動を参考に決定する. この入力結果を基に計画書を作成し提示することで, 利用者の行動変容を促す. さらに, Web-GIS (Leaflet) を用いて実際の各市区町村の取り組み状況と利用者が作成した計画書を Web-GIS のデジタル地図上マッピングすることで, CO₂ 排出量削減における地域別の課題を分析することも可能である.

4. システムの構築

4.1. システムのフロントエンド

1) 学習教材の閲覧機能

トップページのメニューから, 「SDGs とは?」, 「学ぶ」をクリックすることで学習教材へ遷移する. 環境教育が必要になってきた背景や, LCA についての基礎的な知識を学ぶことができる. 教材画面の一例を図 2 に示す.

No.	説明
1	メニュー(A: トップページ, B: SDGs の解説, C: 学習教材, D: クイズ E: CO ₂ 排出量シミュレーション, F: アンケート/お問い合わせ)
2	学習教材の目次(LCA の考え方と進め方, 2 つの LCA の活用例)
3	学習教材(LCA の考え方と進め方)
4	学習教材(LCA の事例, LCA の視点でレジ袋について考える)

図 2 学習教材の画面例

2) 小テスト機能

トップページのメニューから、「小テスト」をクリックすることで小テストページへ遷移する。小テストページでは、学習教材で学んだ内容のテスト問題が用意されており、これにより利用者は学んだ内容を効果的に復習できる。この機能のページ例を図 3 に示す。図 3 において、1 枚目の画像では正誤判定問題が、2 枚目の画像では、プラスチックを対象とした LCA 工程の並べ替え問題が出題されている。

図 3 小テスト機能の画面例

3) CO₂ 排出量シミュレーション機能

トップページのメニューから、「シミュレーション」をクリックすることでシミュレーションページへ遷移する。シミュレーションページでは、利用者の日々の飲料水利用形態から CO₂ 排出量を算出しグラフとして表示する機能が備わっており、これにより教材やクイズで学んだ知識を日常生活という単位まで落とし込んだより実践的な演習が行える。図 4 に実際のシミュレーションの様子を示す。



No.	説明
1	CO ₂ 排出量シミュレーションのシナリオ分析
2	飲料水の利用形態の入力
3	飲料水の利用状況に応じた CO ₂ 排出量の算出
4	CO ₂ 排出量のシミュレーション結果がグラフの形で表示される

図 4 CO₂ 排出量シミュレーション機能の画面例

4) CO₂排出量削減計画策定機能

2020 年 10 月を目途にプロトタイプを完成させ、その後試験運用を開始する予定である。

4.2. システムのバックエンド

1) 学習教材に関する処理

小テスト機能において、利用者の入力した数値をデータベースに保存し、入力内容の正誤の結果を返す処理を行う。

2) CO₂排出量シミュレーションに関する処理

シミュレーション機能において、利用者の入力した数値をデータベースに保存し、グラフとして表示するための計算処理と結果を返す処理を行う。

4.3. システムのインタフェース

本システムのインタフェースはレスポンシブデザインを採用し、利用端末の画面サイズによって画面を最適化して、PC 向けと携帯情報端末向けの 2 種類のインタフェースを用意した。携帯情報端末向け画面においても、PC 向け画面と同等の機能が利用できる。

5. 運用

5.1. LCA データ

本システムの CO₂排出量シミュレーション機能を実装する際に、LCA 評価に関する具体的なデータが必要である。本研究では飲料水の利用形態別の CO₂排出量の推定データ(三木ほか, 2010)を利用した。三木ほか(2010)によると、飲料水の特徴として、消費者の利用状況によって LCA の評価値(CO₂排出量)が大きく変化することがあげられている。

5.2. 運用の概要

CO₂排出量削減計画策定機能を除く 3 機能について、2020 年 1 月 7 日～2020 年 1 月 31 日の約 1 ヶ月間システムの運用を実施した。筆者らの研究室のウェブサイト、Twitter、Facebook アカウンドで利用の呼びかけを行った。本システムは、ウェブサイトアクセスするだけで利用でき、利用者の登録は不要である。

次節で詳述するアクセスログ解析結果から、本シ

ステムのアクティブ利用者は 111 名であることが明らかになった。このうち、利用後にアンケート調査に回答した利用者の内訳を表 1 に示す。男性 33 名、女性 25 名の計 58 名であった。年代別に見ると、男女ともに 20 代が最も多く 43%を占めている。次いで 40 代が 17%、70 代が 12%となっている。これから、幅広い年齢層の利用者がいることが分かる。したがって、本研究の環境学習の題材として、誰にとっても身近な「飲料水」を選択したことが適切であったと言える。

表 1 利用者の内訳 (アンケート回答者)

年代	10	20	30	40	50	60	70	Total
人数 (人)	4	25	4	10	5	3	7	58

6. 評価

システム運用後、利用者へのアンケート調査とアクセスログ解析を実施し、本システムの評価を行った。

6.1. アンケート調査による評価

1) アンケート調査の概要

本研究の目的に従って、1) e-ラーニングシステムの利用に関する評価、2) e-ラーニングシステムの機能に関する評価、3) システム利用前後での意識の変化の 3 点に関してアンケート調査を行った。アンケートは、運用開始から 1 週間後にウェブサイト上で実施した。

2) システムの利用に関する評価

a) インターネット利用状況との適合性の評価

インターネットの利用頻度については、95%が「毎日」「週に数回」と回答している。日常的にインターネットを利用している人が多いことから、本システムをオンライン上で e-ラーニングシステムとして公開することで、利用者が簡単にアクセスできるようにしたことが効果的であったと考えられる。また、利用端末については、「パソコン」と回答した人が 28%、「スマートフォン」「タブレット」と回答した人が 72%であった。このことから、モバイル端末専用の画面を設けたことが効果的であったと考えられ

る。

b) LCA の学習状況に着目した評価

LCA の認知度については、40%が「知っていた」と回答したのに対し、60%が「知らなかった」と回答した。このことから、半数以上の利用者がシステムを利用して初めて LCA を知ったことになる。また、環境学習の経験については、「経験がある」と回答したのは 72%、「経験がない」と回答したのは 28%であった。「経験がある」と回答した中では「学校教育」が最も多く、本調査と同様の e-learning システムを利用した「自主学习」の経験があると回答した利用者は少なかった（13 名、22%）。このことから、環境学習の経験者は多いが、e-learning システムを利用した学習経験者の割合は低いことが明らかとなった。

3) 各機能とシステム全体に関連する評価

各機能およびシステム全体の評価結果を図 5 に示す。本システムの 3 つの機能のうち、クイズ機能と利用者が自主的に行う演習としての CO₂排出量シミュレーション機能を中心に評価を行った。この 2 つの機能の有用性については、「そう思う」「どちらかと言えばそう思う」はそれぞれ 92%、96%であった。このことから、この 2 つの機能が利用者の学習を効率的に支援していることが明らかとなった。

次に、システム全体に焦点を当てて評価を行った。自主的な学習における本システムの有用性、学校教育における本システムの有用性については、「そう思う」「どちらかと言えばそう思う」はそれぞれ 95%、93%であった。しかし、「そう思う」の回答は、前者

では 38%、後者では 52%であった。このことから、自主的な環境学習よりも学校教育での有用性が強く期待されていることがわかる。

システムのインタフェースの見やすさについては、「そう思う」「どちらかと言えばそう思う」は 90%、「そう思わない」は 10%となった。見やすいとは思わないという回答があった理由としては、72%の利用者がスマートフォンやタブレット PC からアクセスしていることから、小さな画面では見づらいインタフェースであると感じた利用者が一定数いたものと考えられる。

4) システム利用前後の意識の変化に関する評価

システム利用前と利用後の環境問題や環境保全に対する意識の変化を測定し、評価した。結果を表 II に示す。これらの質問項目は、上原ほか（2017）が中高生と成人を被験者として行った実験を参考に設定した。質問項目は、行動意図と環境保全に関する有効感、責任感、負担感、実行可能性、環境問題に関する危機感、ライフサイクル思考に基づく環境問題への関心の度合いを表す尺度としてのつながり感、の 7 項目であった。各設問項目の回答結果は以下のとおりである。

a) 行動意図

行動意図に関する 4 つの質問では、いずれの質問においても回答者の約半数程度が「強く思うようになった」と回答し、「強く思うようになった」「少し思うようになった」の回答が 80%以上を占めるなど、大きな意識の変化が見られた。

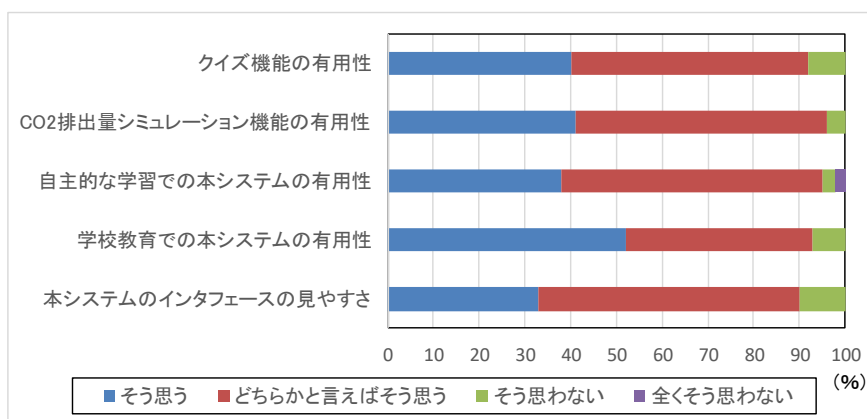


図 5 各機能とシステム全体の評価結果

表2 本システム使用前後での環境意識の変化

質問項目	強く思うようになった	少し思うようになった	変わらない	あまり思わない	思わない
(1) 行動意図					
リサイクルやごみの分別をしたい	48.3	31.0	19.0	1.7	0.0
より環境にやさしい製品を使いたい	43.1	36.2	19.0	1.7	0.0
今持っているもののでできるだけ長い期間大切に使いたい	44.9	37.9	13.8	3.4	0.0
不要なものは買わないようにしたり、断ったりしたい	50.0	29.3	19.0	1.7	0.0
(2) 有効感					
一人一人の日常の小さな行動が、地球温暖化の防止に有効だ	37.9	41.4	19.0	1.7	0.0
日用品を大切に長く使うことが、二酸化炭素の削減につながる	46.6	39.7	12.1	1.6	0.0
みんなが少しずつ協力すれば、地球温暖化の回避は可能だ	17.2	56.9	19.0	6.9	0.0
個々人の努力によって二酸化炭素は削減できる	22.4	58.7	15.5	3.4	0.0
(3) 責任感					
自分の現在の便利な生活を改めなければならない	10.3	62.1	25.9	1.7	0.0
自分の行動が原因でかなりの二酸化炭素が排出されている	20.7	60.4	3.4	15.5	0.0
地球温暖化の原因は自分にもある	36.2	41.4	19.0	3.4	0.0
(4) 負担感					
生活の中の二酸化炭素を減らすことはそれほど大変ではない	8.6	36.2	41.4	13.8	0.0
(5) 実行可能感					
生活の中で二酸化炭素を減らせる機会や方法は多い	15.6	53.4	27.6	1.7	1.7
(6) 危機感					
地球温暖化は防がなくてはならない	51.8	31.0	13.8	3.4	0.0
地球温暖化は深刻な状況にある	60.4	24.1	15.5	0.0	0.0
(7) つながり感					
工場や発電所から出る二酸化炭素は身近な日用品と関係している	46.6	39.7	13.7	0.0	0.0
自分の行動は、社会の様々な活動とつながっている	34.5	51.7	12.1	1.7	0.0
ペットボトルなど身近なものが自分の手元に来るまでに様々なところを通過している	51.7	32.8	13.8	1.7	0.0
日常の行動が影響して、資源の生産や輸送、製品の製造など様々なところで二酸化炭素が発生させている	44.8	41.4	12.1	1.7	0.0

b) 有効感

有効感に関する4つの質問では、「強く思うようになった」「少し思うようになった」の回答が80%以上を占めたが、「みんなが少しずつ協力すれば、地球温暖化の回避は可能だ」「個々人の努力によって二酸化炭素は削減できる」の2つの質問に対しては「強く思うようになった」に対し「少し思うようになった」という回答が多くみられた。行動意図の項目ほどではないものの、少しの意識の変化がみられた。

c) 責任感

責任感に関する3つの質問全てでは、「少し思うようになった」という回答が「強く思うようになった」という回答を上回った結果になった。責任感に関する意識変化の度合いは少ない。

d) 負担感

負担感に関する質問では、「変わらない」という回答が最も多かった。「あまり思わなくなった」という回答も10%程度みられた。負担感に関しては、少し意識が変化した回答者と意識が変化しなかった回答者が半々という結果になった。

e) 実行可能感

実行可能感に関する質問では、「少し思うようになった」という回答が40%程度で最も多かった。意識変化の度合いは少なかったといえる。

f) 危機感

行動意図に関する2つの質問では、「強く思うようになった」が最も多く、「強く思うようになった」「少し思うようになった」が合わせて80%以上を占め、大きな意識の変化が見られた。

g) つながり感

つながり感に関する4つの質問では、「強く思うようになった」「少し思うようになった」の回答が80%以上を占めていた。また、3つの質問で「強く思うようになった」とする回答が約半数を占めるなど大きな意識の変化が見られた。

h) まとめ

以上をまとめると、環境問題に対する行動意図、危機感、つながり感などの領域では、利用者の意識を高めることができた。一方、有効感、責任感、

実行可能感においてはわずかに意識が高まり、負担感においては好ましい意識変化は起きなかった。

6.2. アクセス解析に基づく評価

本研究では、運用期間中の利用者のログデータを用いてアクセスログ解析を実施した。解析には、Google 社が提供する Web アクセス解析サービスである Google Analytics API を使用した。

本システムの総セッション数は 97 セッションであった。アクセスに使用されたデバイスについては、PC が 38%、スマートフォンが 58%、タブレット PC が 4% となった。このことから、デバイスに関わらず同じ機能を利用できるようにディスプレイの大きさに応じて PC とモバイルデバイスの 2 種類のインタフェースを用意した設計が有効であることが分かった。

さらに、既存のシステム（平山ほか, 2015; 上原ほか, 2017）ではスマートフォンやタブレット PC などのモバイルデバイスからのアクセスができなかった。しかし、本システムはモバイルデバイスの利用増大を考慮し、スマートフォンやタブレット PC からのアクセスを可能にしたことが効果的であった。

6.3. 改善策の抽出

アンケート調査の結果とアクセスログ解析の結果から抽出したシステムに関する改善策を以下にまとめる。

1) 学習教材の内容の見直し

幅広い年齢層が利用することを想定して、技術的な内容や詳細な内容を盛り込むのではなく、書き方はシンプルに、要点を簡潔にまとめること。また、環境学習を始めたばかりの利用者にもわかりやすい内容とすること。

2) 小テスト結果の保存機能の実装

小テストの結果をシステムに保存し、利用者が前回の結果を見直すことができれば、より効果的な復習が期待できる。

3) シミュレーション結果に応じたコメント表示機能の実装

利用者が計算した CO₂ 排出量が適正であるか否か

を示すコメントの表示機能と、排出量が多い場合にはどの過程が原因となっているのかを示すコメントの表示機能を実装する。これにより、CO₂ 排出量を削減するための具体的な行動を利用者に促すことができる。

7. おわりに

本研究では、システムの設計・開発（第 3 章、第 4 章）、運用（第 5 章）、評価と改善策の抽出（第 6 章）を行った。本研究の要点は以下の 3 点である。

- 1) 環境学習を支援することを目的として、テキスト教材、教材の内容を復習するためのクイズ、CO₂ 排出シミュレーションの 3 つのパートからなる e ラーニングシステムを設計・開発した。幅広い年齢層を想定した利用者を募集し、システムの運用と評価を行った。
- 2) 本システムの運用期間は 1 ヶ月とした。利用者へのアンケート結果から、クイズ機能や CO₂ 排出量シミュレーション機能が環境学習の効率化に寄与していることが明らかになり、e ラーニングシステムのフォーマットが環境学習に有効であることがわかった。また、利用前と利用後の利用者の環境保全に関する意識については、行動意図、危機感、つながり感などに大きな変化が見られた。一方、有効感、責任感、実行可能感には大きな変化は見られず、負担感についても望ましい変化は見られなかった。
- 3) 運用期間中のログデータのアクセス解析によると、全体の 62% がモバイル端末からのアクセスであることが明らかになった。そのため、スマートフォンやタブレット端末からもシステムを利用できるように、モバイル端末に最適化したインタフェースも用意したことが効果的であった。

今後の研究課題としては、6.3 節の成果を踏まえたシステムの改善や、利用者数の増加による利用意義の向上などがあげられる。

謝辞

本システムの運用と Web アンケートの実施にお

いては、全国各地から多大なご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

Ilgin, M. A., Gupta, S. M. (2010) Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recovery (ECMPRO): A Review of the State of the Art. *Journal of Environmental Management*, **91**(3), 563–591.

United States Environmental Protection Agency (2015) Life cycle Assessment (LCA).
<<http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/lca.html>>.

本藤祐樹・平山世志衣・中島光太・山田俊介・福原一郎 (2008) 環境教育におけるライフサイクル思考の利用：持続可能な消費に向けたミッシング・リンクの可視化と再生。「日本 LCA 学会誌」, **4** (3), 279-291.

Ramos, T. B., Caeiro, S., Hoof, B., Lozano, R., Huisingh, D., Ceulemans, K. (2015) Experiences from the Implementation of Sustainable Development in Higher Education Institutions: Environmental Management for Sustainable Universities. *Journal of Cleaner Production*, **106**, 3-10.

内田葵・藤倉まなみ (2017) ペットボトルと紙パックのライフサイクル CO₂ の比較 —桜美林大学におけるレジ袋等の消費を含むケーススタディー。「桜美林大学紀要」, 自然科学・応用科学, **8**, 1-10.

菊池康紀・辻佳子 (2017) 局所リスクと環境影響を考慮した大学内の研究活動における化学物質リスク分析。「環境と安全」, **8** (1), 1-14.

森健太郎・本藤祐樹 (2018) ライフサイクル思考がもたらす「つながり感」を測定する尺度の開発。「日本 LCA 学会誌」, **14** (1), 2-12.

Goodall, S. (ed.) (2018) *Developing Environmental Education in the Curriculum*. London: Routledge.

Santos O., C., Boticario, J., G. and Pérez-Marín, D. (2014) Extending Web-Based Educational Systems with Personalised Support through User Centred Designed Recommendations along the E-learning Life Cycle. *Science of Computer Programming*, **88**, 92-109.

平山世志衣・天野雄太・大内康弘・本藤祐樹 (2015)

ライフサイクル思考型環境教育の e-ラーニングプログラムの開発と実践。「日本 LCA 学会誌」, **11** (4), 348-358.

上原恵美・畠中智史・中谷隼・菊池康紀・高岡由紀子・平尾雅彦 (2017) 消費者のライフサイクル思考能力向上のための環境情報提供方法の開発：レジ袋とマイバックのシナリオ分析を題材として。「日本 LCA 学会誌」, **13** (4), 332-348.

Foo, K. Y. (2013) A Vision on the Role of Environmental Higher Education Contributing to the Sustainable Development in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, **61**, 6-12.

妹尾理子 (2015) ライフサイクル思考 (LCT) を取り入れて「衣生活と環境」を考える家庭科教材の開発。「第 58 回大会・2015 例会研究発表要旨集」, **48**, 68.

上野正恵・植田幸子・妹尾理子 (2015) 家庭科教科書における環境に関する記述の分析および検討—ライフサイクルアセスメント (LCA)・ライフサイクル思考 (LCT) を手がかりとして—。「日本家政学会誌」, **66**(2), 39-53.

環境庁 (2016) 『二酸化炭素排出量の推計に係る実態調査全国試験調査結果の概要』.

三木暁子・中谷隼・平尾雅彦 (2010) 消費者のためのライフサイクル評価による飲料水利用のシナリオ分析。「環境科学会誌」, **23**(6), 447-458.