

# 進化する LCA：問題を発見し解決する手法へ

本藤 祐樹

現代の環境問題に取り組むアプローチとしてライフサイクルアセスメント (LCA) が注目されている。LCA とは、製品の製造、使用、廃棄というライフサイクルを通して、その環境特性を総合的に評価する手法である。LCA は、特に消費者が環境性能を考慮して製品を選択する際に、その個人的意思決定の支援を期待され発展してきた。それに対し、本稿では、LCA の真価は集団的意思決定の支援においても発揮されることを述べている。将来の LCA に求められるのは、個人の意思決定に資する製品単体の評価手法から、製品が社会にもたらす問題点を明らかにしその解決に寄与することを志向する分析手法への進化である。

キーワード：意思決定、システム分析、持続可能性、トレードオフ、ライフサイクル思考

## 1. ライフサイクルアセスメント (LCA) の概略

LCA という言葉は、一般社会での認知度はまだ低い。環境分野においては基本用語として定着してきた。LCA とはライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment) の略であり、今から 20 年前に誕生した言葉である<sup>1</sup>。

LCA は一般には、製品やサービスのライフサイクルにおける、すなわち、製造、使用、廃棄の全過程を通じた、環境負荷を定量的に総合評価する手法とされる。ここで、総合評価という言葉は二つの意味を持つ[1]。

第 1 に、LCA は眼前の直接的な環境負荷だけではなく、その奥に隠れた間接的な環境負荷までを包括的に考えるという意味で総合的である。図 1 に示す自動車の例で具体的に示そう。ガソリン自動車の走行に伴う CO<sub>2</sub> 排出削減のための対策として新たな素材による軽量化を進めたとする。その対策は、新たな素材の製造時や廃棄時において逆に CO<sub>2</sub> を増加させるかもしれない。それ故に、LCA では、自動車のライフサイクル全体、すなわち製造、使用、廃棄各プロセスから排出される CO<sub>2</sub> を総合して考える。つまり、LCA は「プロセス間のシフト」を見逃さずに製品やサービスの CO<sub>2</sub> 排出量を適切に見積もる。

第 2 に、LCA は特定の環境負荷のみに注目するの

ではなく、複数の環境負荷を同時に取り扱うという点で総合的である。例えば、ガソリン自動車の走行に伴う CO<sub>2</sub> 排出量のための対策として電気自動車による代替を考える。その対策は、製造時におけるレアメタルの採掘に伴う有害物質の排出を増大させるかもしれない。それ故に、LCA は複数の環境負荷を横断的に取り扱うことで、「環境負荷間のシフト」にも目を配るのである。

このように LCA は、「プロセス間のシフト」そして「環境負荷間のシフト」を見逃すことなく環境負荷を総合的に評価するのである。

## 2. 従来の LCA の役割と根底にある思想

### 2.1 製品の環境性能の提示

LCA は、その誕生以来、自動車やテレビ、包装容器など私たちが日常生活において用いる製品の環境性能を評価することを念頭に研究開発が進められ発展し

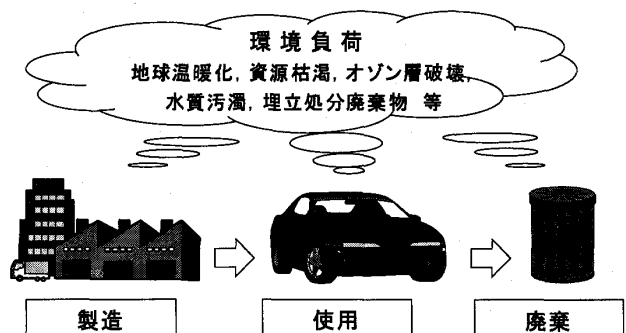


図 1 自動車を例にした LCA の概念的説明

ほんどう ひろき

横浜国立大学 大学院環境情報研究院

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

<sup>1</sup> エネルギー環境分野における LCA の土台となる概念の起源はさらに 20 年以上さかのぼる。

入出力項目	ライフサイクルステージ	単位	製造		物流	使用	廃棄	リサイクル効果	
			素材	製品					
消費負荷	資源枯渇	エネルギー資源(原油換算)	kg	2.54E-02	8.07E-03	1.66E-03	4.87E-03	5.70E-05	-6.40E-03
		鉱物資源(鉄鉱石換算)	kg	3.08E-02	0	0	0	0	-2.25E-02
環境排出負荷	大気へ	温暖化(CO2換算)	kg	6.33E-02	2.33E-02	5.28E-03	1.47E-02	1.72E-04	-2.29E-02
		酸性化(SO2換算)	kg	1.29E-04	5.15E-05	6.30E-05	2.24E-05	2.10E-07	-3.78E-05
		オゾン層破壊(OFC11換算)	kg	-	-	-	-	-	-
		光化学オキシダント-POCP	kg	1.90E-05	1.86E-06	3.30E-06	3.29E-07	9.46E-09	-1.54E-07
	水域へ	富栄養化(リン酸塩換算)	kg	1.70E-06	-	-	-	-	-1.42E-07

図2 製品環境情報開示シートの一部

てきた。つまり LCA は、製品アセスメントという色合いが濃い手法である。また、研究開発と同時に、LCA を広く社会で利用するために、基本的な概念や手順を世界共通とするべく、国際標準化機構 (ISO) において LCA の規格化が進められてきた。1997 年には、LCA の最初の規格として、LCA の原則と枠組みを取りまとめた ISO 14040 が発効された<sup>2</sup>。

このように急速な進展を見せた LCA であるが、その社会的役割を改めて考えてみよう。LCA に期待される役割は、製品の環境性能を定量的に示すことによって、消費者の製品選択 (購買行動) や生産者の製品製造が、環境に配慮した方向に向かうことに寄与することである。そして LCA の最大の役割は、少なくとも著者が思うに、環境に配慮した製品を望む消費者に購買行動の判断材料となる指標を提供することである。そして消費者に対して製品の環境性能を示す指標が開示されることで、生産者にも環境配慮型を目指した製品設計そして開発の動機付けが生まれると考えられる。

実際、LCA 情報を社会に提供していく試みはすでに始まっている。例えば、エコラベルタイプ III である。これは、ある製品の LCA 情報、すなわち様々な環境負荷の推計結果を開示するものである。日本では、2002 年に社団法人産業環境管理協会が「エコリーフ」というプログラムを導入し、数多くの製品について LCA 情報を公表してきた[3]。エコリーフの WEB 上で公開されている実際例として製品環境情報開示シートの一部を図 2 に示す。製品環境情報開示シートは様々な環境負荷を一覧することを可能にしているが、この数値のリストが消費者の購買行動の判断材料になるかといえば、難しい面があるだろう。

## 2.2 わかりやすい LCA 情報—標準的な単一指標の作成—

消費者の選択における判断材料を提供する場合は、情報のわかりやすさが重要となる。上述したように、

エコリーフは様々な環境負荷を定量的に伝えるが、それを理解して意思決定に生かすことは難しいと考えられる。それ故に数多くの環境負荷を統合して単一指標で示すという方向の研究が進められてきた<sup>3</sup>。正確さを欠く表現ではあるが、端的に言えば、地球温暖化、オゾン層破壊、富栄養化といった異なる環境影響をどのように足し合わせて単一指標にするかという問題である。

この環境影響の足し合わせの問題に対して、世界各国において様々な統合化方法が提案されてきた。日本では通称 LIME と呼ばれる日本版被害算定型環境影響手法が開発され、欧州においては、Eco-indicator, Ecological Scarcity などの方法が開発されてきた。これらの統合化方法に関しては多くの議論はあるが、LCA の実施においても用いられつつある。

そして、この統合化の流れは現在の研究開発においても踏襲されている。最近では、より網羅的な評価とするために、幅広く環境影響を取り込む研究がすすめられている。具体的には、土地利用や水資源利用に伴う影響、そして生物多様性への影響などが挙げられる。これらの影響を、地球温暖化などの他の環境影響と足し合わせる方法の開発がすすめられている。

さらに最近の LCA 研究の展開として注目されるのが、環境特性に加えて社会性や経済性も取り込もうという試みである。環境特性だけが製品選択の基準ではないので、社会的そして経済的影響をも足し合わせて、製品の総合的な特性を評価しようとしている。ちなみに社会的な影響とは幅が広い概念であるが、例えば、ある製品のライフサイクルにおいて児童労働がどれく

<sup>2</sup> その後 2006 年に ISO 14040 は再編された[2]。

<sup>3</sup> LCA 結果をわかりやすく伝えるという点では、LCA の重要な特徴をひとつ捨て去ることになるが、特定の環境影響に絞るという方向がある。最近注目を浴びているカーボンフットプリントがその代表例である。カーボンフットプリントは、地球温暖化を重要な環境問題として特定し、製品のライフサイクルにわたる温室効果ガスの排出量によって製品の環境特性を示している。

らい投入されているかなどである。つまり、環境、経済、社会という3つの側面を統合して、製品の持続可能性を定量的に示す試みと言い換えられる。しかし、様々な環境影響を統合化するだけでも難しく、さらに経済性や社会性を統合するライフサイクル持続可能性評価の困難さは当然ながら指摘されている。

### 2.3 価値の標準化

以上では「わかりやすさ」という観点から統合化が進められてきたことを説明した。しかし本当に着目すべきは、統合化を目指すLCAに潜む思想である。この統合化という方向性の根底にあるのは、あえて刺激的に言えば、価値の標準化である。本来、異なる環境影響間の相対的な重大性は、国や時代によっても異なるし、個人によっても異なるはずである。持続可能性ともなれば、経済と環境の重みづけの問題なども発生し、さらに様相は複雑となる。しかし、LCAにおける統合化は、それらの間の価値付けを標準化することで唯一の答えを作り出すことを目指すのである。従来のLCAは、その方向で発展してきており、その流れは現在の研究開発でも引き継がれている。

製品の環境性能（もしくは持続可能性）という単一指標を提示することが目的ならば、唯一の答えを作り出すことが必要であり、そのためには価値の標準化が不可欠である。ここで価値の標準化に関する是非について議論するつもりはない。本稿で示したいことは、環境性能（もしくは持続可能性）の単一指標作りが最終目的であるという前提が崩れれば、統合化に向かっていた従来のLCAの殻を打ち破る進化の可能性をそこに見いだせるということである。

## 3. 集団的意思決定とLCAの進化

先に述べたように、従来のLCAの最大の役割は、製品選択という消費者の個人的な意思決定の判断材料となる標準的な指標を提供することである。しかし、LCAのコンセプトの本質を考えると、その活躍の場を標準的な指標の作成に限定する必然性はない。わかりやすい標準的な指標作りという呪縛から逃れることができれば、従来のLCAにはない姿が見えてくる。

LCAのコンセプトの本質は、第1節で記述したように、プロセス間のシフトを見逃さない、そして環境負荷のシフトを見逃さないということである[4]。つまり少し大胆に言えば、広い視野で、ある問題を解決するための決定が他の問題を引き起こす可能性、すな

わち潜在的なリスク転嫁の存在を見いだすことにある。この問題発見能力を生かすのである。つまり異なる影響を統合化する方向ではなく、異なる影響のトレードオフの存在を浮き立たせてフォーカスする方向へと発想を転換するのである。

LCAが潜在的にもつ問題発見能力は、現実社会において数多く見ることが出来る集団的意思決定において生かされる。集団的な意思決定とは端的に言えば、異なった価値観や考え方を持つ人々から、一つの決定を導くことである。家族で旅行の行き先を決めることも、地域の廃棄物処理場の立地を決めることも、国の政策として太陽光発電システムの設置に対する補助金投入を決めることも、集団的意思決定である。そして、環境問題もまさしく集団的意思決定の問題なのである。

多様な主体がかかわる集団的意思決定においては、まず、ある決定がいかなる変化を生み出しうるかを関連主体が知ることが重要である。そのことで、各主体は、その変化が自他の利害に及ぼす影響を知り、どのような決定が良いかという判断を下すことができる。問題なのは、主体によって好ましい決定が異なる場合が多々あり、合意を得るためにはなんらかの歩み寄り、そして解決方法の探索が必要となってくることである。

製品アセスメントを志向し、単一指標化を目指す従来のLCAは、多様な利害構造を持つ様々な主体が交わる集団的意思決定を支援することには向いていない。集団的意思決定では、問題がどこにあるのか、そしてその問題を解決するために価値の折り合いをいかにつけるかが重要となるため、価値の標準化を前提とする従来のLCAは対応できない。しかし、集団的意思決定の問題として捉えられる環境問題にこそ本来LCAは力を発揮できる、いや発揮するべきである。もちろんLCAが集団的意思決定の一連のプロセスすべてを網羅するわけではない。LCAが活躍する場は、様々な代替シナリオを考えて、眼前の影響だけではなく、ライフサイクルの観点からみて、社会のどこに、どんな影響をもたらすかを客観的に提示することにある。

国や地域における新技術の導入など環境問題にかかわる政策策定という集団的意思決定の支援を目指すことで、LCAは進化を遂げるであろう。端的に言えば、製品選択に関する個人的な意思決定に資する単一指標作りのための評価手法から、社会選択に関する集団的意思決定に資する分析手法への進化である。

次節では、著者らが実施した分析事例から、LCAが集団的意思決定に寄与する可能性を見てみたい。

## 4. トレードオフの可視化と共有化

### 4.1 トレードオフの存在と価値の折り合い

単一指標化を志向する従来のLCAでは、結果のわかりやすさを重視して、異なる環境影響は標準的な方法で重みづけされ統合される。また昨今研究が進められているライフサイクル持続可能性評価でも同様に、環境、社会、経済の各指標が重みづけされる。したがって、そこには決定主体の価値や考え方が入り込むことはない。

他方、価値観や考え方が異なる多様な主体がかかわる集団的意思決定で重要なのは、決定主体間において価値や考え方の折り合いをつけることである。また様々な影響を網羅的に取り込むことが重要なのではなく、対象となる意思決定において重要となる評価項目を取り出し、それらの関係性を明示的にすることが重要となる。それ故に、標準化された価値の基に統合された指標ではなく、各々の問題点が直接的にわかる状態で情報を提供することが求められる。さらに付け足すならば、統合化は最終結果のわかりやすさに重点をおいているが、集団的意思決定では最終決定に至るプロセスのわかりやすさが重視される。したがって、集団的意思決定を志向するLCAでは、客観的に得られる部分と、価値が含まれる主観的な部分を切り分けて、前者を明示的に示すことで、意思決定に寄与するというスタンスをとる。

以下では、そのようなことを志向した分析例として、タイのマングローブ管理に関する研究例[5]を取り上げる。

### 4.2 マングローブの持続可能な管理

タイでは過去に海老養殖場の建設などのためにマングローブの大規模な伐採が行われ、マングローブ林の面積は1961年から1996年の間に半減した。この事態を重く見たタイではマングローブの植林をすすめており、植林後のマングローブをいかに管理していくかが今後の重要な政策課題となっている。この集団的意思決定においては大きくふたつの選択の方向がある。すなわち、植林後におけるマングローブ林を完全に保護していくのか、それともある程度の利用を認めるのか。マングローブだけではなく地域における自然資源の保全と利用に関しては、環境、社会、経済という3つの側面から持続可能性を分析した上で、保護か利用かという二律背反に陥ることなくバランスのとれた政策を策定することが求められる。

このような政策課題に対する、著者らの分析結果をまとめたものを表1に示す。表1は2種類のマングローブ管理システム(図3)を比較している。すなわち、マングローブの植林後において厳格な保全を想定した完全保護システムと、木炭として利用すること(伐採後は再植林)を想定した木炭利用システムである。これらのシステムを比較するために、現地調査などに基づき、温室効果ガス吸収量(環境)、雇用創出量(社会)、投資回収年数(経済)の3種を評価項目として選択している。評価項目の選択は、対象となる問題によって変わってくる。ここでは、地球環境問題の観点から温室効果ガスの吸収量、地域への経済効果が重要な社会的な要因であることから雇用創出量、そして事業の持続性には経済的な自立が重要であることから事業の収益性を表す投資回収年数を選択している。

#### (1) CO<sub>2</sub>純吸収量

図4に保護システムと木炭システムの30年間にわたる温室効果ガス(GHG)吸収・排出量の結果を示す。各システムのGHG排出量は、マングローブの育苗、植林から伐採や木炭生産・利用などライフサイクル全体を考慮している(図3)。木炭システムは植林を繰り返すので、伐採開始の10年後から一定量の吸収が継続する、同時に木炭利用・製造に伴うCO<sub>2</sub>やCH<sub>4</sub>が排出される。保護システムはマングローブの成長に従い吸収量は減少するが、排出がほとんどないために、トータルのCO<sub>2</sub>純吸収量は保護システムが優位となる(表1)。

#### (2) 雇用創出量

図5に保護システムと木炭システムの30年間にわたる雇用創出量の結果を示す。雇用創出量は、CO<sub>2</sub>純吸収量と同様に各システムのライフサイクル全体を考慮している(図3)。保護システムは、植林が継続する最初の10年間は雇用が発生するが、植林終了後にはほとんど雇用は発生しない。他方木炭システムは、植林が継続的に行われるのと同時に、10年後からは木炭生産も開始されるために、保護システムに比べてより多い雇用が創出される。

#### (3) 投資回収年数

表1 完全保護システムと木炭生産システムの比較

評価項目	保護	木炭
環境: CO <sub>2</sub> 純吸収量[1000 t-CO <sub>2</sub> ]	446	380
社会: 雇用創出量 [persons]	689	8013
経済: 投資回収年数 [years]	-	19.8

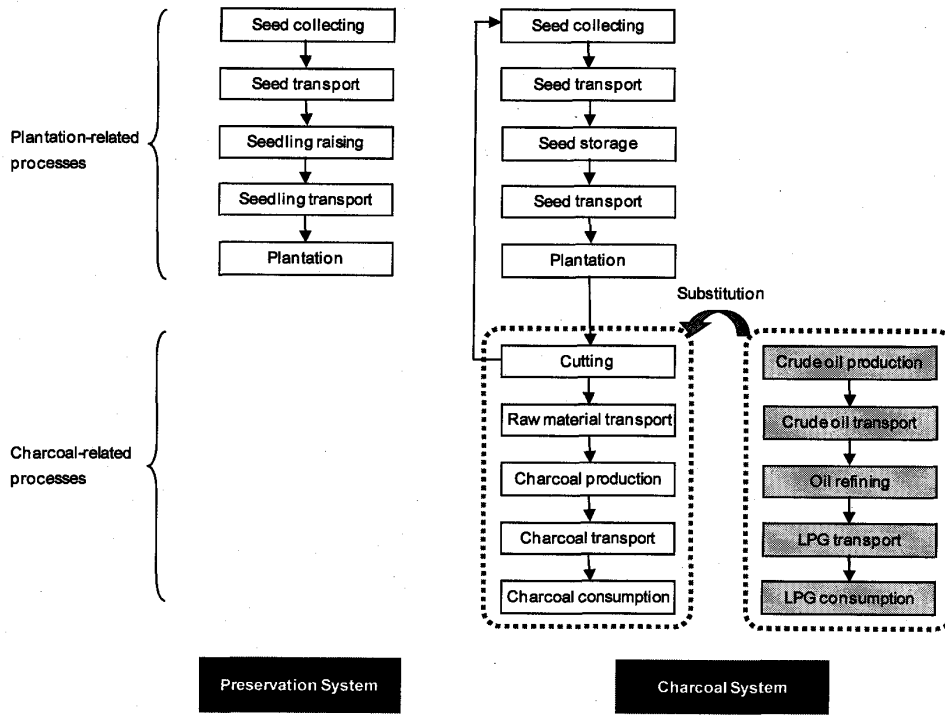


図3 2種類のマングローブ管理システム

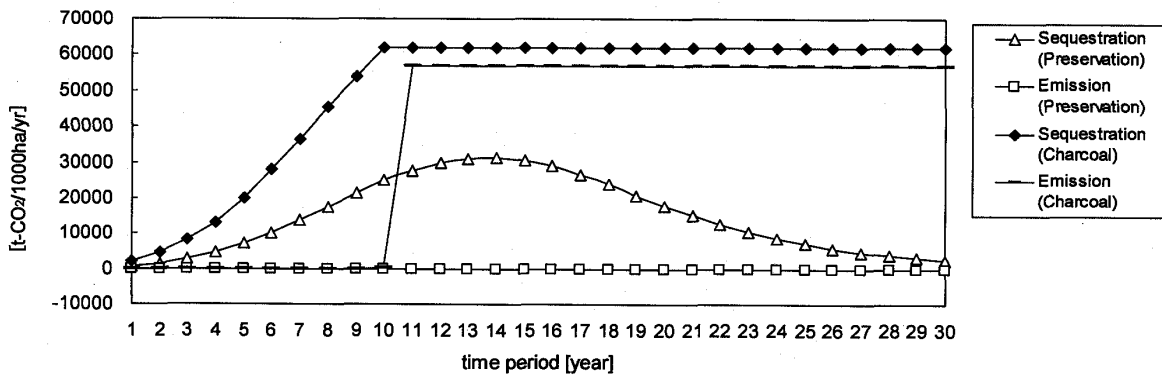


図4 温室効果ガス吸収量・排出量

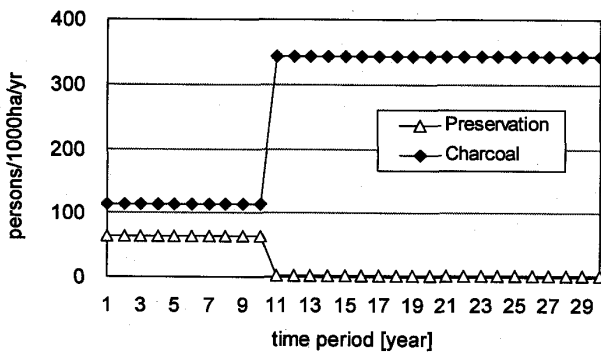


図5 雇用創出量

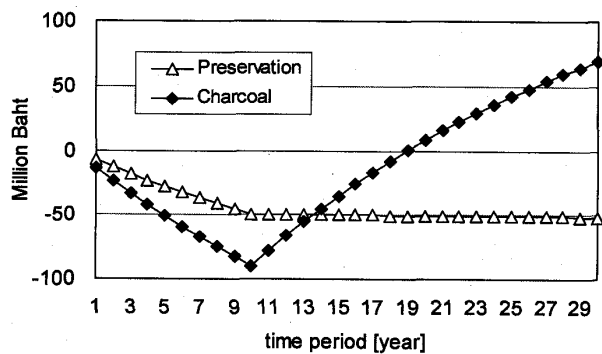


図6 投資回収年数

図6に保護システムと木炭システムの30年間にわたるキャッシュフローの結果を示す。キャッシュフローは、他の2指標と同様に各システムのライフサイクル全体を考慮している(図3)。保護システムに関し

ては、植林に伴うコストが最初の10年間毎年発生するだけで、リターンがないために、投資は回収されない。木炭システムは木炭生産設備コストもあるために最初の10年間のキャッシュフローは保護システムに

比べてマイナスが大きい。しかし10年後からは木炭生産によるリターンが得られるため、19年後に投資が回収される。

#### 4.3 マングローブ管理に関する分析事例の含意

マングローブ管理に関しては、温室効果ガス吸収の観点からは保護システムが優位であるが、雇用や事業収益性の観点からは木炭システムが優位であることが示された。木炭システムは過去タイにおいて採用されていたが、乱伐により適正な管理がなされなかったため現在木炭生産は（私的所有地を除いて）禁止されている。それ故にシナリオで想定した適正な植林と伐採を可能とする、community forest managementなどが検討されることが望まれる。事業収益性についても charcoal production system が優位であるが初期投資が大きいことと投資回収年数が長いことが実現においては重要な課題となる。それ故に REDD (Reducing Emissions from Deforestation and Degradation in Developing Countries) などの利用を検討する必要がある。

この分析事例で着目すべきことは、マングローブ植林後の将来の管理方策におけるトレードオフの存在を明らかにし、その解決策を検討するための材料を提供していることである。標準的な指標の作成を目指す従来の LCA と根本的に異なることは、分析対象に応じて評価項目を選択すること、そしてそれらの項目の結果を統合せずに明示するという点である。そこには価値の標準化は存在しない。集団的意思決定を支援する材料の提供を念頭におき、一定の客観性をもって示せる分析結果の提供に留め、各決定主体の価値観や考え方を決定に反映させることを重視している。

### 5. おわりに—答えを見いだすための LCA へ—

本稿では、意思決定のあり方に着目して、これまでの LCA の発展の線上にはない、LCA の進化の可能性について私見を述べた。端的に言えば、特定主体の意思決定を主たる活躍場として期待されてきた LCA を、集団的な意思決定の場に引っ張り出そうという試みである。言い換えるならば、個人的意思決定のための判断材料を作り出す製品単体の評価手法から、製品が社会にもたらす問題点を明らかにしその解決に寄与することを志向する分析手法への進化である。

そのような進化の可能性を垣間見る分析例として、タイにおけるマングローブ植林後の管理方策に関する事例を挙げた。この分析事例において着目すべき点はある決定によって生じるであろうトレードオフの可視化そして共有化に重点をおいていることである。個人的な意思決定に寄与するために、単一指標化という使命を与えられた LCA は「わかりやすさ」という観点から統合化という方向に向かった。そのことは、価値の標準化により主観性の強い価値付けをも手法の中に取り込むことを選択した。しかし、多様な主体が関与する集団的意思決定においては、価値付けのプロセスが重要となる。集団的意思決定を志向する LCA では、決定に際して生じる問題を見つけ出し、その解決に寄与することを目指す。つまり対象とする決定問題におけるトレードオフの存在を可視化し、その情報を共有することで力を発揮する。それ故に、集団的意思決定に寄与する LCA では、評価指標の選択、そしてそれらの価値付けにおける主体の関与が重要となる。その結果、手法論としては、主観性の強い部分と客観性の強い部分を分離することを選択することになる。

本稿で述べた私見には異論もあるだろう。しかし、本稿が LCA の進化における呼び水になればよいと思っている。最後に誤解を恐れずに言うならば、「答えをつくり出すための LCA」から「答えを見いだすための LCA」への進化が今求められている。

#### 参考文献

- [1] 本藤祐樹, “「環境にやさしい」を測る—ライフサイクルアセスメント—,” 化学と教育, 53(8), 450-453, (2005).
- [2] International Standard, ISO 14040: 2006, Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework. International Organization for Standardization, Geneva, (2006).
- [3] 社団法人産業環境管理協会, エコリーフ環境ラベル, 入手先 <<http://www.jemai.or.jp/ecoleaf/index.cfm>>, (2010年9月1日アクセス).
- [4] 本藤祐樹, “LCA 再考—ライフサイクル思考の新たな挑戦に向けて—,” 日本 LCA 学会誌, 1(1), 75-78, (2005).
- [5] Moriizumi, Y., Matsui, N. and Hondo, H., “Simplified life cycle sustainability assessment of mangrove management: a case of plantation on wastelands in Thailand,” Journal of Cleaner Production, 18(16-17), 1629-1638, (2010).