

特集「シナリオ分析とLCA」

総説(Review Article)

コンセクエンシャルLCAの光と影

Alessandra ZAMAGNI^{1,2}, Jeroen GUINÉE³, Reinout HEIJUNGS³, Paolo MASONI¹ and Andrea RAGGI⁴ 著
稲葉 敦^{5,*}・中谷 隼⁶ 訳

Lights and shadows in consequential LCA

Alessandra ZAMAGNI^{1,2}, Jeroen GUINÉE³, Reinout HEIJUNGS³, Paolo MASONI¹ and Andrea RAGGI⁴
Japanese translation by Atsushi INABA^{5,*} and Jun NAKATANI⁶

Abstract:

Purpose. Consequential LCA (CLCA) is becoming widely used in the scientific community as a modelling technique which describes the consequences of a decision. However, despite the increasing number of case studies published, a proper systematization of the approach has not yet been achieved. This paper investigates the methodological implications of CLCA and the extent to which the applications are in line with the theoretical dictates. Moreover, the predictive and explorative nature of CLCA is discussed, highlighting the role of scenario modelling in further structuring the methodology.

Methods. An extensive literature review was performed, involving around 60 articles published over a period of approximately 18 years, and addressing both methodological issues and applications. The information was elaborated according to two main aspects: what for (questions and modes of LCA) and what (methodological implications of CLCA), with focus on the nature of modelling and on the identification of the affected processes.

Results and discussion. The analysis points out that since the modelling principles of attributional LCA (ALCA) and CLCA are the same, what distinguishes the two modes of LCA is the choice of the processes to be included in the system (i.e., in CLCA, those that are affected by the market dynamics). However, the identification of those processes is often done inconsistently, using different arguments, which leads to different results. We suggest the use of scenario modelling as a way to support CLCA in providing a scientifically-sound basis to model specific product-related futures with respect to technology development, market shift, and other variables.

Conclusions. The CLCA is a sophisticated modelling technique that provides a way to assess the environmental consequences of an action/decision by including market mechanisms into the analysis. There is still room for improvements of the method and for further research, especially in relation to the following aspects: clarifying when and which market information is important and necessary; understanding the role of scenario modelling within CLCA; and developing a procedure to support the framing of questions to better link questions to models. Moreover, we suggest that the logic of mechanisms could be the reading guide for overcoming the dispute between ALCA and CLCA. Going further, this logic could also be extended, considering CLCA as an approach – rather than as a modelling principle with defined rules – to deepen LCA, providing the conceptual basis for including more mechanisms than just the market ones.

1 Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA) / via Martiri di Monte Sole 4, 40129 Bologna, Italy

2 Department of Science, University "G. d'Annunzio" / Viale Pindaro 42, 65127 Pescara, Italy

3 Institute of Environmental Sciences, Leiden University / PO Box 9518, 2300 RA, The Netherlands

4 Department of Economic Studies, University "G. d'Annunzio" / Viale Pindaro 42, 65127 Pescara, Italy

5 工学院大学 / 〒163-8677 東京都新宿区西新宿 1-24-2

6 東京大学 / 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

5 Kogakuin University / 1-24-2 Nishi-shinjuku, Shinjuku, Tokyo 163-8677

6 The University of Tokyo / 7-3-1 Hongo, Bunkyo, Tokyo 113-8656

* 連絡先 (Corresponding author), a-inaba@cc.kogakuin.ac.jp

Abstract:

目的: コンセクエンシャル LCA (CLCA) が、意思決定が及ぼす結果 (コンセクエンス) を記述するモデリング技法として、科学分野で広く使われるようになってきている。しかし、公表されたケーススタディの数が増加しているにもかかわらず、アプローチの適切な体系化はまだ達成されていない。本論文では、CLCA の方法論としての意味と、応用事例がどのくらい理論的な指示に合致しているかを調査する。さらに、方法論が構築されて行く過程でのシナリオモデリングの役割に焦点を当てながら、CLCA の予測的および探索的な性質を議論する。

方法: この約 18 年間 (訳者註: 1993-2011 年) に発表された約 60 の論文を含む広範囲な文献レビューを実施して、方法論の論点と応用事例の両方に取り組んだ。得られた情報から、モデリングの本質と影響を受けるプロセスを特定することに重点を置いて、「何のために」 (what for: LCA の問題設定と方法) と「何を」 (what: CLCA の方法論的な意味) という 2 つの主要な側面について詳細に議論した。

結果と考察: アトリビューショナル LCA (ALCA) と CLCA のモデリングの原理は同じであるため、この 2 つの LCA の様式を区別するのは、システムに含まれるプロセス (すなわち、CLCA においてはマーケットのダイナミクスの影響を受けているもの) の選択であることを本分析は示している。しかし、それらのプロセスの特定は、さまざまな根拠に基づいて整合性がないままに行われることも多く、それゆえにさまざまな異なる結果が導かれている。私たちは、技術開発、マーケットの変化、およびその他の変化について、製品に関連した将来をモデル化するための科学的な正当性によって CLCA を支援する方法として、シナリオモデリングを使うことを推奨する。

結論: CLCA は、分析にマーケットメカニズムを含めることによって、行動や意思決定が環境へ及ぼす結果を評価するための方法を提供する高度なモデリング技術である。ただし、特に以下の点について、方法の改善とさらなる研究の余地がある。すなわち、いつ、どのマーケット情報が重要かつ必要であるかを明確化すること、CLCA 中のシナリオモデリングの役割を理解すること、そして問題設定とモデルをより良く関連付けるための問題のフレーミングを支援する手順を開発することである。また、メカニズムの理論が ALCA と CLCA の間の論争を解決するためのガイドになりうることを示した。さらに、この理論は、CLCA を決められたルールを持ったモデリング原則として考えるよりも - LCA を深めるアプローチとして考え、マーケットだけではなく他のメカニズムも含む概念的な基礎を提供するように拡張することができる。

Keywords: Affected processes; Ceteris paribus assumption; CLCA; Framing the question; Market mechanisms; Scenario modeling

Keywords: 影響を受けるプロセス; セテリス・パリプスの仮定; CLCA; コンセクエンシャル LCA; 問題設定のフレーミング; マーケットメカニズム; シナリオモデリング

1. はじめに

コンセクエンシャル LCA (consequential LCA: CLCA) は、図 1 に示すように、この 4 年間に科学分野で応用事例が増えてきたモデリング技法である。1990 年代に導入され (Weidema 1993)、ここ 10 年間で詳細に議論されてきた (Curran et al. 2005; Ekvall 2002; Ekvall & Weidema 2004; Ekvall et al. 2005; Tillman 2000; Weidema 2003)。この分野の重要な文献である Ekvall (2002) によれば、CLCA は「ライフサイクルの中で起きる変化による影響を記述する (p. 403)」ことを目的としたものと定義されている。ライフサイクルインベントリのシステムのある部分の変化は、因果関係の連鎖を通じて一連の結果 (コンセクエンス) につながっている (Curran et al. 2005)。より完全な定義によれば、「ライフサイクルインベントリへのコンセクエンシャル・アプローチは、可能性があるさまざまな決定の結果として、環境からの/環境へのフローがどのように変化するかを推定するものである」 (Curran et al. 2005, p. 856)。同様に、

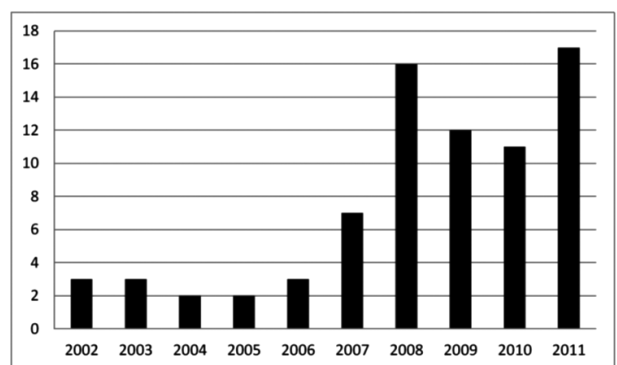


図 1 2002 ~ 2011 年に発表された「consequential」と「LCA」の両者がアブストラクトまたは題名かキーワードに含まれている文献の数。CLCA に関する公表が、特に 2007 年以降に急激に増加していることがわかる。

CLCA は「ライフサイクルの中で起こりうる変化に応じて、技術システムからの/技術システムへの環境に関係する物質フローがどのように変化するか記述する」ことを目的と

するものと定義されている (Ekvall & Weidema 2004, p. 161)。その他にも多くの定義があり、モデルのマーケット指向の性質を強調するために、長年にわたって補強されてきた。「限界的 (マージナル) とマーケット指向」という用語は、「製品需要の変化によって誘発される変化を考慮して環境プロファイルを編集し、副製品の問題をシステム拡張によって処理する」アプローチを示すために、Nielsen et al. (2007, 2008, 2009) によって用いられた (Nielsen et al. 2007, p. 433)。Schmidt & Weidema (2008) と Schmidt (2010) は、この定義をさらに洗練して、「平均的なサプライヤや技術の代わりに、実際に影響を受けるサプライヤと技術がモデル化され、副生物への配分はシステムの拡張によって回避される」ものとして、システム境界の設定へコンセクエンシャル・アプローチの概念を導入している (Schmidt 2010, p. 18)。

それぞれの定義は、それ以前の定義を基礎として、方法的なレベルでの概念を明確にするために新しい要素を加え、またケーススタディのための道筋を準備している。これらは、方法論の開発と並行して始まり、Guinée et al. (2011) がLCAの精緻化の10年^{脚注1)}として定義した2000-2010年の半ばに加速した。CLCAは広範な製品に適用され (例えばAstrup & Fruergaard 2011; Geyer et al. 2008; Kimming et al. 2011a, b; Nguyen et al. 2011; Schmidt et al. 2007; Thrane 2006)、コンセクエンシャル・ソーシャル・ライフサイクルアセスメント (consequential social life cycle assessment)^{脚注2)}の概念を導入することにより、LCAの外にも適用されている (Jørgensen et al. 2010)。CLCA研究の好例として、Ekvall & Andrae (2006) がある。彼らは、電子機器用のはんだペースト中の鉛の使用禁止後、SnPbから鉛フリーはんだへ生産がシフトするとしたら何が起きるかを分析した。分析された結果 (コンセクエンス) は、鉛フリーはんだへのシフトは、特にはんだを利用するとき電力使用を増加させること示している。これは、他の目的に利用できる電力が少なくなることを意味する。これらのダイナミクスを解くためには部分均衡モデルが必要であり、それゆえに価格変動に対する鉛とそのスクラップの需給の感度に関する情報が求められる。

また、CLCAのバイオ燃料への適用事例は多い (例えば Hedegaard et al. 2008; Melamu & Blottnitz 2011; Reinhard & Zah 2009, 2011; Silalertruksa et al. 2009)。これらでは、現在のパーム油からのバイオディーゼルの製造と、第二世代のバイオ燃料の製造が環境へ及ぼす結果の比較に対してCLCAが利用されている (Lim & Lee 2011)。また、アイルランドにある牧草バイオメタン産業の開発によって英国への牛肉の輸出が減少するといった、起こりうる間接影響を検討するためにもCLCAが利用された

(Smyth & Murphy 2011)。バイオ燃料やバイオベースの製品についての議論は、特に土地利用変化の影響について方法論の進展を加速した。Searchinger et al. (2008) の独創的な研究は、以前のLCA研究のほとんどが、この問題に限定的な回答しか与えていないことを示した。事実、それらの研究では土地利用変化に由来する排出量が除外されており、間接的な影響 (バイオ燃料のバリューチェーンの外で発生する影響) を考慮できていない。強く関連しうる間接的な影響としては、例えば食料と燃料との競争 (現在は食品生産に使われている土地を、燃料の生産に使うこともできる) や、限られた量のバイオマスへの競争 (バイオマスによる代替エネルギー用途間の競争を含む) に由来する影響がある (Hedegaard et al. 2008)。このように、代替/置換のメカニズムが分析され始めており、LCAの中にそれらを含むためのアプローチが提案されてきた。

LCA分野の内外でのCLCAへの関心の高まりと、このアプローチの将来性を考慮し、我々はCLCAの方法論の意味を分析した。我々の研究課題は、次のとおりである: CLCAとは何なのか? 何の役に立つのか? 実務者にどのように受け止められ、どのように使われているのか? これまでに実施されてきた応用事例は、特に影響を受けるプロセスの特定と多機能性の取り扱いについて、どのくらい理論的な指示に合致しているか?

分析は、過去のレビュー (Earles & Halog 2011; Finnveden et al. 2009; Reap et al. 2008; Zamagni et al. 2008) を基礎に拡張・更新して、さらに過去18年間に公表された方法論の論文 (22記事) と応用事例 (38記事) の両方を対象とした。文献レビューの詳細は、電子補足資料 (訳者註: 原文を参照) で提供されているが、本論文ではレビューから導かれた2つの重要な論点、すなわち「何のために」「何を」行うかについて議論する。言い換えれば、CLCAはどのような応用事例に利用されてきたか (CLCAによる論文は、どのような問題に答えてきたか)、そしてCLCAとは何であるかという論点である。CLCAとアトリビューショナルLCA (attributional LCA: ALCA) の直接的な比較は、本論文の範囲外である。この論点は今までも議論されてきたし (例えばEkvall et al. 2005)、

脚注1) コンセクエンシャル・ソーシャル・ライフサイクルアセスメントは、ライフサイクルに含まれる利害関係者への社会的 (ソーシャル) 影響を考慮するだけでなく、現実には存在しない製品ライフサイクル (すなわち、プロセスが実行されなかったとき、または製品が使用されなかったとき) に関する社会的影響も考慮する。

脚注2) コンセクエンシャル・ソーシャル・ライフサイクルアセスメントは、ライフサイクルに含まれる利害関係者への社会的 (ソーシャル) 影響を考慮するだけでなく、現実には存在しない製品ライフサイクル (すなわち、プロセスが実行されなかったとき、または製品が使用されなかったとき) に関する社会的影響も考慮する。

そのような議論は、LCAを実施する正しい方法は1つしかないという迷信を続けるようなものである。本論文での分析は、CLCAに主眼を置く。

これまでの議論について詳細に説明することで、2.では「何のために実施するか（LCAの問題設定と様式）」に焦点を当てる。3.では、モデリングの本質と影響を受けるプロセスの特定に焦点を当てながら「何を実施するか（CLCAの方法論的な内容）」を論じる。最後に、4.で主要な結果の考察とその構造を示し、5.で結論をまとめ、さらなる研究への提言についても示す。

2. 「何のために」－ LCAの問題設定と様式

どのタイプのライフサイクルインベントリのモデリングが、どのような目的のために採用されるべきかという問題は20年前から議論されているが（Tillman 2000）、いまだに解決されていない。これまでも指摘されているように（Frischknecht & Stucki 2010; Guinée et al. 2002; Tillman 2000）、また最近ではリスクアセスメントのような他の分野でも言われているように、方法の正しい応用とは、それが最良の回答を与えるような問題の特定と厳密に関係しているが（Kapustka et al. 2010）、その重要性は無視され続けている。

今までに、さまざまな様式とさまざまなタイプのLCAが確認されている。このことは、LCAはさまざまな方法で行うことができるという考えを具現化したものと言える。Guinée et al. (2002) は、記述的（descriptive）LCAと変化指向の（change-oriented）LCAという2つの様式のLCAを導入した（これらはアトリビューショナルLCAとコンセクエンシャルLCAに対応する）。また、彼らは意思決定の主要な3タイプ：①時々行われる意思決定（一回だけの機能を満たすことに関して）、②構造的な意思決定（定期的に供給される機能に関して）、③戦略的意思決定（長期間または無期限にわたって供給される機能に関して）に対応する3つの問題設定を紹介した。ILCD (International Reference Life Cycle Data System) ハンドブック（EC JRC- IES 2010）に示されている意思決定に関する4つの状況は、マイクロレベル、メソ/マクロレベルと、上記の2つの様式（ALCAおよびCLCA）である。それらの応用方法は、配分またはシステム拡張/代替へのLCIのアプローチによって手引きされている。Frischknecht & Stucki (2010) は、ALCAおよびCLCAと共に、デシジョンアル（意思決定）LCA (decisional LCA: DLCA) を導入した。これは、実際または予想される将来の経済的関係/契約関係を基礎としている。さらに彼らは、さまざまなLCAの様式の選択基準として、調査対象の（経済的な）規模を提案している。

さらに、Guinée & Heijungs (2011) は最近、以上とは別のLCAの様式を研究することの意義を示唆した。すなわち、

バックキャストリングLCA (back-casting LCA: BLCA) である。これは、規範的な将来の目標に向けて、特定の製品システムをモデル化するシナリオベースの方法である。CLCAでは、CO₂、土地利用、水や資源の利用などに関する地球規模の結果（コンセクエンス）が、1つの製品の視点からモデル化されている。CLCAは、意思決定によって間接的に影響を受ける多くのプロセスへの影響のマッピングには適しているが、1つ1つの製品のCLCAを単純に合算しても、必ずしも世界的なコンセクエンスにはならない。そこでGuinée & Heijungs (2011) は、CO₂、土地、水および資源利用の規範的な目標から、農業、エネルギー生産および運輸のグローバルシナリオ（Graedel & van der Voet 2008 参照）や関連するLCAシナリオへ（例えば、IPCCの2050年の世界的な目標であるCO₂等量450 ppmから、最大の要因である世界のエネルギーと輸送のシナリオや1つの製品による結果へ）遡る方法を研究することになると述べている。

しかし、A（アトリビューショナル）、B（バックキャストリング）、C（コンセクエンシャル）、およびD（デシジョンアル）LCAという区別は、どの様式がどのような問題により良い回答を与えるかを理解する上で、実務者にとって十分ではないように思われる。過去15年間に、特にCLCAとALCAに関して、LCAによって培われた知識について多くの議論がなされてきた。Ekvall et al. (2005) とSandén & Kalström (2007) は、未来、過去、現在のシステムのモデリングに、ALCAとCLCAの両方を適用することができると主張している。どのような応用事例にもCLCAが最も妥当な情報を生成することができると見なす研究者もいる一方で、CLCAを意思決定に使用することを推奨している研究者もいる（例えばLundie et al. 2008; Tillman 2000）。その理由は、LCAは意思決定に影響を与える場合のみ意義があり、また逆に、合理的な意思決定のためには、それが及ぼす結果についての情報が必要とされることにある（Wenzel 1998）。同様にWeidema (2003) は、ALCAの方が適切と考えられるいくつかのケース（例えば環境税の研究）を除いて、意思決定が関与するほとんどの場合にCLCAが妥当であるとしている。また彼は、意思決定ができる状況にない場合には、製品チェーン内または製品チェーンと周辺の技術システムの間の因果関係の理解を高めるために、ALCAが妥当であるとしている。最後にLundie et al. (2008) は、CLCAとALCAの結果との差が小さい場合や、モデリングの不確実性の方が得られた洞察を上回る場合には、CLCAを避けることを提案している。しかし、ALCAとCLCAの両方が実施されない限り、一般的に結果の違いと不確実性の程度は分からないため、この提案には疑問が残る。

上記の議論から分かるように、LCAには正しい様式も間違った様式もなく、ALCAとCLCAの両方に有用性が

ある。違いは、どのように境界が決められているかの定義にあり、そこでは調査の目的が明確に決められていることが前提となる。すでに認識されているように（例えば Curran et al. 2005; Ekvall et al. 2005; Tillman 2000）、問題設定が明確な方法で示されていないために、CLCAの有用性が理解されないことがある。

調査の目的が定義されることは当然であるが、これだけではCLCAを使用するかどうかを決定することはできない。表1と表2に、CLCAモデリングが適用された文献において示された問題設定の例と、対象とされた結果（コンセクエンス）および研究の報告対象を示した。

表1には「LCAの文脈で」実施されたケーススタディ、すなわちLCAが主題とされる論文誌に掲載されたか、LCAの顕著な経験を持つ実務者によるケーススタディが示されている。

単純に、目的が「Xの生産に関連した潜在的な環境影響を評価すること」（例えば Gamage et al. 2008; Lesage et al. 2007b; Nielsen et al. 2007; Nielsen & Hoier 2009）、または「特定の製品を製造するのに、ある技術が従来の方法よりも環境に配慮した代替案であるかどうか」（例えば Skals et al. 2008）であると言うのであれば、まだモデリングの選択には多くの解釈がありえる^{脚注3)}。また、コンセクエンスという概念は、これまでに調査の目的の中で言及されることはなく、アトリビューショナルやデジショナルではなく、なぜコンセクエンシャルのモデリングがなぜ選択されたかが説明されることも少ない。なぜなら、多くの場合、CLCAを調査の手段として使うのではなく、CLCAを適用すること自体が目的になっているからである。CLCAが新しいモデリングアプローチであるため、CLCAがどのように機能するか、またALCAと比較し異なる結果を与えるかどうかを理解するために、ほとんどの応用事例が方法の検討に焦点を当ててきたと言える（例えば Ekvall & Andreae 2006; Gaudreault et al. 2010; Thomassen et al. 2008）。

表2は、バイオ燃料に関する例に焦点を当てているが、表1とは傾向が異なる。実際、これらの研究の問題設定は、より明確に説明されており、主にマクロレベル（経済圏全体または国規模）でのコンセクエンスをもたらす意思決定の分析という研究課題に言及している。コンセクエンシャル・アプローチは、表1のような製品レベルの事例よりも、高次な分析に適用されるときに理解しやすいように思われる。これは、ILCDハンドブックの規定に合致している。ここでは、コンセクエンシャル・モデリングは、大規模なコンセクエンスが含まれる場合に推奨されている。その典型的な場面は、政策の展開や情報に関する意思決定であり、そこでは意思決定と関連する変化が、大規模で構造的な影響を通して経済圏の他の部分に影響を与える（EC JRC-IES 2010, p. 40）。

例えば Reinhard & Zah (2009) は、現在のディーゼル消費量の1%が大豆メチルエステルまたはパームメチルエステルの輸入で代替された場合に、スイスにおいて期待される結果を検討した。Silalertruska et al. (2009) は、タイでキャッサバの需要が増加した場合に、世界レベルで起こる影響を分析している。一方、Smyth & Murphy (2011) は、国レベルでの影響に焦点を置いている。表1および表2の両方において、報告対象者は、ほとんどの場合は容易に識別できたとしても、常に明らかにされているわけではない。このことも、研究の問題設定に対する最も適切なモデリングアプローチの特定を妨げる。事実、意思決定の文脈を完全かつ詳細に決めることが、最も適切なモデリング方法を決定する根幹であり、調査範囲の決定における他の重要な側面にも影響を与える（EC JRC-IES 2010）。

CLCAについての不明確さは、実務者による定義と概念の解釈が曖昧であることにも起因している。最も引用された定義（Curran 2005; Ekvall & Weidema 2004; Tillman 2000; Weidema 2003; Weidema et al. 2009）から、その概念はさらに詳細に説明されてきたが、それらの解釈は必ずしも当初の意図を反映しているわけではない。一部では、コンセクエンシャルという概念は多機能性を扱うためだけのものとされており（Gamage et al. 2008; Gaudreault et al. 2010）、システムの拡張はCLCAの同義語と考えられている。これらの研究は、セミCLCAと呼ばれることもある（Schmidt 2010参照）。同様に、システム境界の設定についてのコンセクエンシャル・アプローチに言及している文献（Lim & Lee 2011）もあるが、実際に行われている研究はアトリビューショナルなものであり、どのようなコンセクエンスも取り扱われていない。全体としてCLCAは、最先端の方法論と見なされるだけでなく、ただ複雑にすることと考えられたり、システム拡張によって配分を避けるためのモデルとされたり、幅広く解釈されている。

こうした理解のずれは、3. で述べるように、CLCAと他のLCAの様式が常に意識的に選択されているわけではなく、結果（コンセクエンス）の範囲がモデリングのレベルに依存していることを示している。このことから、何についてのLCA研究であり、誰のために実施するのかを明確に決めるという、目的と調査範囲の設定の根本的な重要性が再確認される。事実、LCAの深さと広さは、そのLCAの目的と調査範囲の設定に依存して大きく異なり、この段階で発生したエラーは結果に大きな影響を与える（Fullana et al. 2011）。

脚注3) 評価の目的を述べることは、国際標準規格（ISO 2006a）における目的と調査範囲の設定での要求事項と完全に合致する。しかし、問題を適切に処理してモデル化するためには、これだけでは十分ではない。

表1 CLCAによって取り組まれた問題の例

Reference	Subject	Question addressed/ purpose of the study	Consequence(s) addressed	Target audience
Dalgaard et al. (2008)	Soybean meal	To establish a reliable representation of soybean meal production for use in LCAs of European livestock production chains To estimate the environmental consequences of soybean meal consumption using a consequential LCA approach To identify the environmental hotspots in the product chain of soybean meal	The increased production of soybean meal affects the palm oil and rapeseed oil production, respectively (soybean-rapeseed loop) ^a	Not explicitly addressed. The results have two main potential users: Scientific community (availability of data about for LCA on livestock products) Decision makers at national level, since the information of the study can be used to set policies for the sector
Gamage et al. (2008)	Furniture (chair)	To determine the environmental hotspots in the life cycle of two chairs To compare the life cycle impacts of the two chairs To compare alternative potential waste management scenarios	None. The study is indeed an attributional one, even if the authors classify it as consequential	Producers and designers working in the furniture sectors
Gaudreault et al. (2010)	Pulp and paper mill	To compare the information provided by ALCA and CLCA approaches for decision-making regarding the selection of process options aiming at reducing the dependency of an integrated newsprint mill to purchased electrical power	Consequences identified for each of the four options considered (increase in cogeneration capacity and of the DIP ^b content of the paper) Reduction of recycled pulp production in other systems due to an increased use of recycled paper is compensated by an increase in a mixture of virgin kraft and TMP ^c pulp New consumption of virgin fibre results in additional extracted material Decreased use of wood chips (due to the implementation of the four options) leads to less material to be disposed of Reduction of electricity consumption (due to the implementation of the options): coal fuelled power plant is identified as marginal technology for electricity	North America pulp and paper mill managers
Lesage et al. (2007a, b)	Brownfield rehabilitation	To evaluate the potential environmental impact associated with a brownfield rehabilitation project aiming at residential redevelopment	Three categories of consequences are analysed: Primary: changes in the site's environmental quality Secondary: changes due to the rehabilitation service system (supply of housing services) Tertiary: effects of the reoccupation of the site on the life cycle of other regional sites (inclusion in the analysis of other site occupations marginally affected by the increase in supply of housing services)	Not explicitly defined. However, the optimal target audience is represented by decision makers operating at a territorial level (those who are in charge of the management of brownfield)
Nielsen et al. (2007)	Enzyme products	To address the environmental impact potentials associated with enzyme production in a cradle-to-gate perspective	Displacement of alternative sources of N and P fertilisers as a result of the enzyme application in agriculture Starch applied in enzyme production has protein (gluten) as co-product. It is assumed that the marginal protein displaces other types of protein for animal feed Natural gas fired power plant is the marginal source of electricity identified in the study	The company that produces the product investigated in the study
Nielsen and Hoier (2009)	Mozzarella cheese production	To assess the environmental impacts that come with the use of industrial phospholipase in mozzarella production and compare these with the savings that come with the avoided milk production	Increased demand for vegetable oil (palm oil) as a result of the reduced output of fat from the mozzarella production of the edible fat market Increased demand for alternative protein sources in animal breeding (soybean meal) as a result of the reduced protein output from the cheese factory	The company that produces the product investigated in the study
Skals et al. (2008)	Enzymes	To investigate whether the enzyme technology is a more environmentally sound alternative than the conventional ways of producing paper	Not discussed in detail. Reference is made to the inclusion of changes occurred when enzymatic solutions displace conventional solutions but evidence is not given. Only the following aspects have been included: Natural gas and coal were selected as marginal sources of electricity	The company that produces the product investigated in the study
Thomassen et al. (2008)	Milk	To demonstrate and compare the ALCA and CLCA of an average conventional milk production system in the Netherlands	Natural gas power plant is identified as the marginal source of electricity Soybean meal was identified as the marginal fodder protein (being the feed ingredient that will meet the increased protein demand due to increased milk production)	Policy makers

^a Soybean oil is the co-product of soybean meal. The avoided production of other vegetable oils (rapeseed, palm), caused by the production of soybean oil, is included. Because vegetable oil is coproduced with protein, this introduces another need for system expansion (which again includes a co-production of protein).

^b DIP is the short for deinked pulp. It is recycled paper which has been processed by chemicals, thus removing printing inks and other unwanted elements and freeing the paper fibres.

^c TMP stands for thermomechanical pulping

表2 バイオ燃料またはバイオエネルギーのケーススタディへのCLCAの応用事例

Reference	Subject	Question addressed/ purpose of the study	Consequence(s) addressed	Target audience
Lemoine et al. (2010)	Bioenergy	To examine the relative climatic merits of combusting corn grain or switchgrass for electricity generation versus refining corn grain or switchgrass To produce liquid fuels for use in the current vehicle fleet	Detailed discussion about the displaced source of electricity when an increase in bioelectricity occur. Parameters analysed: type of electricity replaced and structure of the regional electricity market	Policy makers
Lim and Lee (2011)	Palm oil biofuel	To determine the environmental consequences of the inclusion of second-generation biofuels (bioethanol from palm oil biomass) towards current palm oil biodiesel production	Not clearly identified and discussed Increased use of inorganic fertilisers to replace the removal of palm oil fronds Replacement of palm oil fibre and shell by fossil fuel as team-boiler fuel	Not clearly defined
Reinhard and Zah (2009)	Cassava	To assess the direct and indirect environmental impacts to be expected if Switzerland should replace 1% of its current diesel consumption with imports of soybean methyl ester (SME) from Brazil, or palm methyl ester (PME) from Malaysia	Several mechanisms and consequences taken into account: The effects of an increased demand for a specific crop on the agricultural stage are assumed to be met by expansion The identification of the increased production of the marginal vegetable oil on the world market when the use of soybean oil for biofuel production increases The identification of the substituted for the protein source (for animal fodder) when palm kernel meal increases as a consequence of increased production of palm oil for biofuels	Not specified, but it is assumed to be represented by policy makers and implementers of biofuels policy
Silalertruksa et al. (2009)	Cassava	To identify the environmental consequences of possible (future) changes in agricultural production systems and determine their effects on land use change and GHG implications when cassava demand in Thailand increases	Changes in the region where energy crop demand increased: Consequences due to the conversion of unoccupied land to cropland Increased production by yield improvements in the country Displacement of cultivated area of other crop (sugarcane) in the country and reduced sugar production is compensated by yield improve or increased cultivation in other countries Changes in other regions: Increased demand is met by import from other countries Reduced sugar products in the market are compensated by increased production in another country	Policy makers and implementers of biofuels policy
Smyth and Murphy (2011)	Grass biomethane	Identification of the likely indirect effects of a grass biomethane industry in Ireland as a reduction in beef exports to UK	A detailed analysis of consequences is provided: UK demand for beef is unchanged and reduction in Irish import is met with an increased UK beef production Unchanged UK beef demand but increase in beef imports from other countries to meet the demand Decline in UK consumption met by the consumption of poultry	Not discussed, but the target is represented by Policy makers and implementers of biofuels policy

Examples of questions addressed and consequences analysed

3. 「何を」 – CLCAの方法論的な内容

CLCAの応用事例の分析に続いて、ここでのレビューはモデリング技法に焦点を当てる。そのアプローチの主な特徴、現時点での応用事例における欠点、および改善の余地を特定することを目的とする。モデリングの本質を検討した後、CLCAの最も特徴的な側面の1つである、影響を受けるプロセスの選択に着目する。

3.1 モデリングの本質

モデリングの本質を議論することは、原則や使われる分析的技法とその限界、モデルができること（とできないこと）を決め、どのように問題を解決するかを特定するための、あらゆる特徴を分析することを意味する。我々が知る限り、これらの側面は、Weidema et al. (2009, p. 7) 以外

には詳細に取り扱われてこなかった。Weidema et al. (2009) では、CLCAを「それぞれのユニットプロセスを特定の時点で固定した定常状態・線形・均質なモデル」として定義している。この観点では、ALCAとの違いはない。CLCAの適用とは、これまでも議論されてきたように(例えばCurran et al. 2005; EC JRC-IES 2010; Sandén & Karlström 2007)、時間と関連するものではなく、「回顧的(レトロスペクティブ)」と「先見的(プロスペクティブ)」という形容詞が両方とも当てはまる。どちらの場合でも時間はモデル外部のパラメータであるが、このように単純化することは、少なくともCLCAの概念的なレベルでは許容されにくいと思われる。事実、「コンセクエンシャル」という単語は、モデルの主要な目的が結果(コンセクエンス)の分析であり、波及効果を引き起こす事象に時間的連続性

があることを示唆している。それに従えば、時間 t_1 における結果と時間 t_2 における結果は異なることになる。

しかし、CLCAについて、我々は時間的な観点から2つの主要な側面に関心を持っている。すなわち、コンセクエンスの終了時間 (t_1, t_2, \dots, t_n) と、そこにどのように到達するかという筋書きである。CLCAはある与えられた時点について定義され、その時点では、筋書きによって与えられた情報を用いて、発生した変化が定常状態としてモデル化される。

Weidema et al. (1999) によれば、通常は分析される変化が影響を受けていないと想定される社会全体での生産に比べて小さいため、上記のモデル化はいまだにセテリス・パリプスの仮定 (*ceteris paribus* assumption: CPA) のもとでなされている (訳者註: セテリス・パリプスの仮定とは、「他の条件が同じであれば」と仮定すること)。

ALCAとCLCAが同じモデリングの原則を共有していることを考えると、何がALCAとCLCAを区別するのか? ここでは、Heijungs et al. (2007) によって議論されている一般的なモデリングの原則を参照することで、この質問に答えることを試みた。すなわち、システムとその環境との区別 (どこに境界が設定されているか)、システムの要素についての内部構造 (ユニットプロセスと環境コンパートメント)、要素間の関係およびシステムと環境の間の関係 (オープン・クローズド・孤立システム) である。上記の原則に関して、ALCAと比べたCLCAの顕著な特徴は以下ようになる (Weidema 2003):

- (a) 需要によって起きる予想される変化によって含めるプロセスを決める (影響を受けるプロセス)。
- (b) 副産物は、システム拡張によって処理される。

第一の側面に関して、影響を受けるプロセスを含めることは、分析にマーケットメカニズムを含める試みを表している。実際には、将来への洞察を導入しつつ、分析している変化についての仮説のもとで、調査しているシステムのマーケットがどのようになるかを考えることでプロセスが選択される。ただし、これらの「将来」についての考察はCLCAの独自性ではなく、他のLCAの様式の中でも扱われうることに注意が必要である。そこでは、需要の変化は考慮されることも考慮されないこともあるが、評価を予測的に行ったり (Spielmann et al. 2005) シナリオを精緻化したり (Sandén & Karlström 2007)、将来の状況がどのようになるか理解しようとしていたりしている。CLCAとその他のLCAとの主な違いは、システムに含めるプロセスの選択にあるため、発生する変化に関する代表性と妥当性が重要である。現時点でのCLCAの研究の中では、技術的なデータは同じであることが仮定されている。すなわち、いくつかの新しい/将来の技術が想定されているが、それら

を表現するために、現時点のプロセスのデータが使われている。この仮定は、短期間の変化では問題にならないが、長期的な変化が含まれている場合には、将来の技術に関するデータの予測が必要である。

CLCAの他の顕著な特徴について言えば、多機能性の問題がこれまでの議論の中心であったため、我々はいくつかのケーススタディにおけるシステム拡張の適用方法については分析しなかった。ここでは、システム境界の拡張と、CLCAの中での機能単位の扱われ方との関係だけを指摘したい。CLCAの文献によるいくつかの定義によれば、システムの境界は、意思決定が及ぼす結果によって影響されるプロセスを含むように拡張される。そうすると、結果的にシステム全体の機能単位が、主たるシステムに加えて境界内に新たに追加されたプロセスを含む、複数の機能で構成される。比較分析を行わなければならない場合に、比較されるシステムの機能の同等性を担保することは困難である。なぜなら、2つの状況の中に含まれているプロセスが異なる機能を果たしているからである。また、このような結果として生じる多機能の機能単位は、それが依然として機能単位と考えることができるか懸念を発生させる。異なる境界条件下での比較可能性について検討したSmyth & Murphy (2009) を除けば、この問題は扱われてこなかった。Weidema et al. (2009) でさえ、CLCAの中核が小さな変化と結果 (コンセクエンス) である場合には、機能単位へのさらなる要件は必要ではないと言っている。さらに彼らは、「機能の数」ではなく「量」に関してだけ機能単位の妥当性を求めている (機能の量は、Weidema et al. (2009, p. 22) が述べているように、意思決定が「主たる製品またはプロセスのマーケット全体を含む」とき、「調査対象である意思決定が及ぼす結果の程度を反映」しなければならない)。

多機能の機能単位をどのように扱い、これがどのようにモデリングに影響を与えるかは、さらなる理解・研究の必要があり、そのことがCLCAのモデリング開発に役立つと思われる。

3.2 影響を受けるプロセスの特定: どこに境界を設定するのか?

上述したように、CLCAに関する主要な論点の1つは、分析対象のシステムに含まれるプロセスの特定であり、それは境界の設定方法を意味している。これに関しては、方法論としては明快であり、影響を受けているプロセスだけ (しかし関連するもの全て) が含まれる必要がある。それらは、意思決定によって引き起こされる需要と供給の変化に応答するものとして定義される。しかし、意思決定は広範囲のメカニズムを通してプロセスに影響を与え、異なる

結果を引き起こす。例えば、需要と供給の変化は価格に影響を与え、価格は何が生産され（代替メカニズム）誰がそれを消費できるか（所得効果）を決定する。さらに価格変化は、その項目の費用が消費者の家計と比較してどの程度大きいかに応じて、収入に影響を与える。そして、Hertwich (2005) によって定義されたように、例えばある製品の価格が低下することにより消費者の実質的な収入が増加し、それが他の製品の需要を喚起するとき、リバウンド効果または波及効果が起きる可能性がある (Girod et al. 2010 参照)。分析することが可能なコンセクエンスの連鎖は、終わりがないように思われる。しかし、これらの全てが現時点の CLCA で考慮されているわけではなく（例えば、リバウンド効果に関していくつかのアプローチがあるだけである - Thiesen et al. 2008 参照）、例えば表1および表2の実施例に見られるように、同時に扱われるマーケットの数やコンセクエンスの規模^{脚注4)}、代替メカニズムの複雑さについて単純化されている。事実、通常は1つのマーケットの状況だけがモデル化され、影響を受けるプロセス/技術が1つだけに特定される。その他の近似の事例としては、需要が単独に増加するものとした調査があり、そこでは同じタイプの製品間の代替が起きると想定される (Schmidt 2008)。これには、明らかに限界がある。なぜなら、製品とマーケットはつながっていて、ある製品の供給が増加することというのは、上流の中間製品の需要が増加することを意味するからである (Lundie et al. 2008)。Earles & Halog (2011) が幅広く議論しているように、部分均衡モデル (partial equilibrium models: PEM) や一般均衡モデル (general equilibrium models) を使用して、いくつかのマーケットを同時に結合させる試みもなされている (例えば Dandres et al. 2011; Ekvall & Andrae 2006; Kløverpris et al. 2008; Kløverpris et al. 2010; Lesage et al. 2007a, b)。既往の研究によると、PEMの使用は価格弾力性の知見によって制限され、モデルに大きな不確実性をもたらすことが示されている。また、PEMがモデル化できるのは少数のマーケットのみであり、どのマーケットを含めるかを決めるためには、経験の蓄積が必要であるという問題がある。さらに、PEMはマーケットの相互作用を無視しているが、実際の世界では代替は交差弾力性に応じて、ある製品の需給は他の製品の価格の変化に応じて変化する。

影響を受けるプロセスの特定を支援する手順は、1999年から開発され (Weidema et al. 1999)、2009年に更新・洗練された (Weidema et al. 2009)。その手順は5つのステップからなり、次のような要素が分析されている：i) 研究の対象期間；ii) 生産量の変化が与える影響の程度（特定のプロセスだけに影響を与えるのか、マーケットに影響

を与えるのか）；iii) 影響を受けるマーケットの規模のトレンド；iv) その技術が要求される生産能力調整を提供できる可能性；v) 特定された技術が最も優先される/最も優先されないかどうか（訳者註：最初に影響を受ける限界的な技術かどうか）。この手順は、全てのステップを通じて実務者をガイドするデシジョンツリーに図示化されている。

また、Schmidt (2008) は最近、農業分野の CLCA のシステム境界の設定のための手順を開発した。しかし、ケーススタディ（例えば Lemoine et al. 2010; Nielsen et al. 2007; Skals et al. 2008）における影響を受けるプロセスの特定は、必ずしもマーケット情報によって立証されていないさまざまな論拠に基づいて、しばしば開発された手順を適用せずに行われている。また、手順が適用される場合であっても、証拠が論文の中に与えられていることは少ない。裏付けとなる論拠なしで、過去の研究の結果が単に引用されている事例もある。例えば、植物油を含むいくつかの研究（例えば Daalgard et al. 2008; Nguyen et al. 2010; Nielsen et al. 2008; Nielsen & Hoier 2009; Thomassen et al. 2008）で、Schmidt & Weidema (2008) によって得られた結果が、対象としている特定のケースへの妥当性と整合性を証明することなく、広く採用されている。こうした傾向は最近、Reinhard (2011) によって指摘された。彼らは、類似または関連した目的と調査範囲であっても、結果を一般化または使用することができないことを強調している。また他のケースでは、エネルギーシステム解析シミュレーションツール (Lund et al. 2010; Mathiesen et al. 2009) と共に動的最適化モデルが適用されており (Eriksson et al. 2007; Mattsson et al. 2003)、1つの技術ではなく、影響を受けた技術のセットが結果をより完全に記述しうることが示されている。

Mathiesen et al. (2009) は、エネルギーシステムの歴史的発展の統計を分析することで、CLCAの中で限界的な電力技術を特定することができるかどうかを検討した。その結果、LCA研究の中で限界的として特定されたエネルギー技術と、実際の限界的な電力技術が一致しないことが示されている。彼らは、限界的なエネルギー技術が、しばしばマーケットトレンドについて言及することなく、異なる論拠を使用して一貫性なく特定されていることを明らかにした。

おそらく他の技術の場合も見られることであるが、実際

脚注4) 典型的には、潜在的な変化の規模は小さい（著しい変動については、Dandres et al. 2011 参照）。それは、マーケット容量のトレンドの方向や、含まれている製品や技術への制約および生産コストが影響を受けないことを意味する (Weidema et al. 2009)。

の限界的なエネルギー技術と予測された限界的なエネルギー技術の相違は、将来をモデル化するときには避けることができない部分もある。しかし一部は、マーケットの結果（コンセクエンス）をモデル化するときに採用された、仮定と単純化が誤っていたためであるかもしれない。また、影響を受けるプロセスの特定の誤りが、Weidema et al. (2009) の推奨手順を適切に用いなかったことに原因があるか、透明性を持って記述されることが少ない実務者による個々の選択に原因があるかどうかは明確ではない。システムの拡大（すなわち、考慮された影響を受けるプロセス）や、含まれている間接的な影響の種類、仮定やシナリオ設定に依存して、不確実性の程度は高くなり、起こりうる結果の幅も広がる。（Eriksson et al. 2007; Nielsen & Hoier 2009; Reinhard & Zah 2009; Schmidt 2010; Smyth & Murphy 2011）。このように、システムの境界を適切にどこに設定するかは難しい問題である。システム境界の定義を硬直した手順にすることなく、生産に関する要求変化の潜在的な影響を考慮するために十分な柔軟性を持たせるためには、研究の頑健性を増すための手順とルールを決定する必要がある。この点で、感度分析とシナリオの使用が不可欠である（Mathiesen et al. 2009）。この2つの技法を共に用いることで、代替の計算に関連するパラメータ、世界のマーケットにおいて考えうる限界的な製品、フィードバックメカニズムを考慮して、いくつかのマーケットの状況下で結果がどのように変わるかを考察することができる。（Reinhard & Zah 2009）。

4. 考察

前章では、影響を受けるプロセスを製品システムの中にも含めることを通して、分析に（いくつかの）マーケットメカニズムを導入することが、CLCAを他のLCAの様式^{脚注5)}と区別する主たる要素であることを明らかにした。この背後には、全ての製品がマーケットに含まれ、さまざまな要因の中でも価格メカニズムが、それらの生産、開発および消費を制御しているという理論がある。このように、一般的な需要と供給のメカニズムは、それに従って反応するシステムの中に動きを生じ、因果関係の連鎖を生じさせる。このようなマーケットの関係性やメカニズムは、現時点ではモデル（訳者註：LCAのモデル）の中から内生的には導出されることはなく（Lundie et al. 2008）、経済モデル（例えばDalgaard et al. 2008; Eriksson et al. 2010; Lemoine et al. 2010; Lesage et al. 2007a, b; Lund et al. 2010; Pehnt et al. 2008）または特定のセクターについての見通しから導出され（例えばSchmidt 2010; Schmidt & Weidema 2008）、その上でLCAには入力として含められる。

マーケットメカニズムでさえも、CLCAの主要な特徴で

はないという主張もある。なぜなら、多機能性を扱うための代替（substitution）または回避負荷（avoided-burden）の方法が、すでにALCAにおいて配分を「回避」するための基礎としてマーケットメカニズムを導入しており、価格はALCAにおける配分の基準にもなりうるからである。しかし、多機能性を扱う方法はCLCAの一要素にすぎず（セミCLCA）、そのことには上述の方法論的な意味も伴う。

LCAへマーケットのメカニズムと情報を含めることは、Pelletier & Tyedmers (2011) によって強く批判されている。彼らは、活動の環境的側面を管理するために、マーケットのシグナルを見ることは不適切であると考えている。CLCAについては、その目的が「生物物理学的に近視的なマーケット取引を介して、意思決定の結果（コンセクエンス）として生じる影響をモデル化することなので、得られた研究成果の有用性には同様に疑問がある」と述べている（Pelletier & Tyedmers 2011, p. 9）。しかし、この保守的な立ち位置は、環境と経済の発展における政策的失敗の原因の1つと考えられている（Bartelmus 2008）、経済と環境保護の相互依存性を無視している。一方で、マーケットの側面が環境問題の理解には不適切であるとしたとしても、もう一方では、システムの変化の予見は実際のマーケットのメカニズムに基づくべきであり、そうしなければシステムの変化を信頼できるように予見することはできないことを認識しなければならない。また、マーケットメカニズムを含めることは、あらゆるモデルの最終的な目標である分析の現実性（つまり精確性）を高める。CLCAは、限界生産コスト、供給と需要の弾力性などの付加的な経済的概念を含んでいるので、明らかにシステムの複雑性が高くなる。分析に使われるモデルの中には、伝統的なLCAで使われる線形かつ静的/定常状態のモデルよりも透明度が低いものもある。また、それらの結果は仮定に非常に敏感である。これらの全てが、不十分な仮定や他のエラーが最終的な結果に大きな影響を与えるリスクを増大させる（Ekvall & Andrae 2006; Gaudreault et al. 2010; Reinhard & Zah 2009; Schmidt 2010; Smyth & Murphy 2011）。しかし、複雑さと不確実性は反面で、システムについての知識を劇的に増加させるので、それらのバランスをとることは可能であり（Lesage et al. 2007b; Schmidt 2010; Silalertruska et al. 2009）、考慮された異なるコンセクエンスについての仮定や選択肢に透明性があれば、妥協案として受け入れることができる。

メカニズムの理論は、CLCAをより良く理解し、さらに

脚注5) 現時点のLCAは、インベントリとインパクトアセスメントのフェーズに、それぞれ技術および環境の関係性だけを含んでいる（Heijungs et al. 2011）。

発展させるためのガイドになり得る。分析に含まれているマーケットメカニズムの観点からモデリングを特定することは、「コンセクエンシャル」という用語そのものよりも明快である。

さらに、CLCAおよび変化を取り扱う他のLCAの様式(BLCA、DLCA)を一決められたルールを持つモデリングの原則としてではなく、LCAを深めるためのアプローチとして考えることで、この理論は、製品システムの当初の変化に起因するメカニズムを含むように拡張できる。どのメカニズムを含むかが扱いにくい問題であるのは、それらが多様な領域を含む様々なところに存在するためである。マーケットメカニズムは、雇用や成長のような概念を含む幅広い経済的メカニズムの一部である。これらは次に、文化的、社会的、政治的および規制の文脈でも機能する。このような他のメカニズムを加える過程では、現在のモデリングでは固定された存在^{脚注6)}と想定されているような制約も考慮する必要があり、時間と因果関係の両面に関してセテリス・パリプスの仮定が緩められる^{脚注7)}。

どの制約を課し、どれをなぜ緩和するか(例えば、機能単位の変化、技術の変化、制約されている生産能力、マーケットの反応、生産量の動向など)、それは全てを一緒にするのかそれとも1つずつか、どの(マーケット)メカニズムを含むのか、どのように報告するのかを特定することで、分析へのさらなるメカニズムの導入が支援され、評価をより統合的で頑健なものにすることになる。

LCAのさまざまな様式を区別することは、CLCAをモデリングの技法としてではなくアプローチとして考えるという示唆とは対照的であるとも言える。実際には、実務者の問題設定が正当であるときには、どのように呼ぶか(ALCA、CLCA、DLCA、BLCA)には関わりなく、結果としてLCAは、その問題設定に答えるように設計されるべきである。しかし、まだ発展途上にあるCLCAは、あらゆるメカニズムに対処するための、あらゆる機能を持っているわけではないため、決められたルールを持ったモデリング技法であることによって差別化されている。そこで、実務者に数多くの問題に関する詳細なガイダンスを提供することが必要である。そこには、最も適切なデータを選択する方法、多機能性に対処する方法、モデル化されるべきメカニズムと、システム境界に含まれるべき影響を受けるプロセスを特定する方法が含まれる。この点については、Mathiesen et al.(2009)によっても提案されているように、シナリオモデリングによって、現在のメカニズムと将来の発展の両方が支援される。LCAでのシナリオ開発のためのフレームワークがすでに開発されており、Pesonen et al.(2000)、Fukushima & Hirao(2002)およびSpielmann et al.(2005)に見ることができる。

Börjeson et al.(2006)は、シナリオの3つの主要なカテゴリ、すなわち予測的(何が起きそうか?)、探索的(何が起きうるか?)、規範的(どのように特定の目標に到達できるか?)を区別するスキームを提案することで、Pesonen et al.(2000)のアプローチをさらに詳細にした。それぞれに、2つずつのタイプのシナリオがある。すなわち、見通し(Forecast)と仮定(What-if)、外的(External)と戦略的(Strategic)、保持(Preserving)と転換(Transforming)である。Börjeson et al.(2006)が指摘しているように、特に仮定シナリオと探索的シナリオの間でカテゴリ間にグレーな範囲があるため、どのタイプのシナリオがCLCAにとって最も適切であるかを定めることは困難である。仮定シナリオは、将来のある特定のイベントの発生を条件として、何が起こるか調査することを支援する。CLCAのいくつかのケーススタディは、この理論を反映している(例えばSchmidt 2010)。他方、探索的シナリオは「事実に根ざして」(Heijungs & Guinée 2007)、起こりうる状況や動向を探る。さらに、より広範囲の変化を考慮するために、シナリオは長期的な時間軸で詳細に議論され、その結果、長期的であることがCLCAの典型的な特長であると考えられている(Weidema et al. 2009)。ただし、ケーススタディの中では、その根拠が常に与えられているとは限らない(例えば、Schmidt(2010)は5~10年先だけを考え、その他のほとんどは採用された時間的視点を明確にしていない)。

このように、仮定シナリオと探索的シナリオの両方が、技術開発やマーケットの変化などの製品に関連した将来をモデル化するための科学的な正当性によって、CLCAを支援する。実際には、システムがメカニズムを含めることでモデル化され、将来的に可能な代替案が表現される前に、シナリオは問題のフレーミングに使われうる。このように構造化および拡張された分析によって、時間、変化の規模、結果(コンセクエンス)の規模など、あらゆる評価に含まれる側面に対応することが可能になる。

脚注6) 約は、技術、政策、自然およびマーケットに関係している。CLCAにおける一般的な単純化は、モデリングが困難であるために、それらを固定された存在として考えることである。その場合は、長期的な時間軸で分析されるときでも、それらは変化しないものと仮定される。

脚注7) セテリス・パリプスの仮定(CPA)は、システムへのどのような干渉もないものと想定した、孤立の仮説のもとで有効である。時間的な孤立については、CPAのもとで停止していると考えている要因は、他の要因に比べ非常にゆっくり動くので、どの時点でも一定と考えることができる。因果関係の孤立については、調査対象となる複数のプロセスに、同じ要因が大きく影響されることがないと考える。メカニズムが加えられれば加えられるほど、CPAとそれに関連した他の制約が緩み、定常状態の静的なモデルは限定的になる。なぜなら、因果関係は必ず最終的には関連し合うからである。

5. 結論と提言

CLCAは長年にわたって適用されてきたが、LCAの領域外を含むさまざまな専門分野において、考慮している行動や意思決定が環境へ及ぼす結果の評価に対して、本格的に適用されるようになったのは最近のことである。CLCAについて数多くの方法論の論文が公表されており、その応用事例の数が増えているにもかかわらず、いまだにCLCAは適切に体系化されていないというのが我々の結論である。事実、我々の分析は、コンセクエンシャルなモデリングの応用が、しばしば非体系的で一貫性がない方法で行われていることを示している。それは、CLCAが概念的なレベルでもモデル化のレベルでも、まだ完全には理解されていないことを示唆している。CLCAは、さまざまな概念が流れ込む大きな箱として考えられているようであるが、それらの概念は、採用されている視点（先見的/回顧的）、時間の方向性（未来/過去）、分析されるコンセクエンスの種類、含まれている影響（限界の平均か）などに関して、常に整合的というわけではない。全体的に、CLCAへの実務者の理解および適用の程度を考慮すると、CLCAには光よりも影の方が大きいように思われる。その結果、何がCLCAであるか、何の役に立つか、そしてそれが方法論から見て何を必要とするかに関して、まだ明確さを欠いている。

何がCLCAであるかという問題に関して、我々の分析は、CLCAが（いくつかの）マーケットメカニズムを取り入れたモデリングアプローチとして際立っていることを指摘している。我々は、CLCAと他のLCAの様式を区別するための適切な基準として、メカニズムの理論を提案する。モデリングの面からは、ALCAとCLCAは同じ原理を共有しているが、両者の主な違いは、システムの境界の設定方法と、含まれるプロセスの選択方法にある。どのタイプのプロセスと、どのタイプの因果関係の連鎖が含まれ、それらがどのように特定されるかが主要な問題であるが、それらは実務者によってさまざまに扱われ、必ずしも透明性を持っているわけではなく、異なる結果が導き出されている。

我々は、シナリオモデリングが、CLCAのより良い構造化に重要な貢献を果たすことができると考えている。構造化されつつも創造的な方法で、もっともらしい将来の展開を考えるアプローチによって、シナリオモデリングは研究の頑健性を高めることができる（Zurek & Henrichs 2007）。また、そうすることで、分析に含むべき関連するメカニズムを特定できる。しかし、実用化されていない技術に言及するシナリオにおいてはデータの不確実性が大きく、将来の展開について説明するためには、大きな不確実性を管理する方法が必要になる（Höjer et al. 2008）。

何のために役に立つかという問題に関して、その重要性にも係わらず、方法論的なレベルでも実務的なレベルでも十分に検討されていないことが、分析によって明らかになった。問題設定を正しく記述することは、あらゆる評価の中核であるものの、その重要性は無視され続けている。我々は、この重要な側面への配慮の欠如が、過去20年間のCLCAと他の様式/タイプのLCAの間の論争の原点であり、その結果、CLCAの適用場面について明確さを欠く原因になっていると考えている。問題とモデルを適切に関連付ける方法は、CLCAのためだけでなく、さまざまな研究において重要な分野であり、以下のような要素を特定するために、問題のフレーミングの実務的なガイドラインの開発が求められる。すなわち、取り組むべき問題は厳密には何か、派生する問題は何か、技術的な選択肢は何か、予想される変化の規模はどれくらいか、問題設定の時間的範囲はどれくらいか、セテリス・パプリスの仮定が有効かどうか、分析されるシステムは他のシステムを小規模で代替するか、新しいシステムで使われる技術が多くの応用先へ大規模に拡大することが期待されるかといった要素である（Guinée et al. 2009）。これら全てに対する回答を重ね合わせることで、どの方法論の選択が妥当で、さらにどの様式が最も適切であるかを決定することができる。

問題のフレーミングに加えて、まだ初期の段階にあると考えられる（Anex & Lifset 2009）現在のアプローチを改善し、長期的なコンセクエンスに関する意思決定を頑健に支援することが求められる（例えば、US-EPAによって開発された再生燃料標準規格プログラムでは、GHG排出量の算定にCLCAの仕様が必要とされている）。どのようなマーケット情報が、いつ重要であるかを明確にするため、長期的な予測技術を向上させるため、そして影響を受けるプロセスを特定するための努力が求められている。

しかし我々は、CLCAには影だけではなく多くの光があると信じている。特に、次の3点を指摘したい。第一に、CLCAは実務者に問題を正しく設定することを考えさせる。結果（コンセクエンス）はCLCAの中核なので、分析に含まれるプロセスと境界を設定する方法を特定するために、問題設定の中でコンセクエンスを明確に述べる必要がある。このように、問題のフレーミングという課題が再び重要になったのは、CLCAのおかげである。第二の側面は、いくつかの経済的なメカニズムをモデル化しうるCLCAの能力である。上述したように、まだ方法論的な開発が必要とされているものの、CLCAはLCAの方法論に高度な知識を提供している。van der Voet & Graedel (2010) が指摘するように、どのような持続可能性の評価にも備わっているべき経済的なメカニズムの結合を、CLCAは考慮することができる。この概念から、CLCAが提供する大局的視点という、

第三のポジティブな側面が導かれる。我々は、CLCAの概念は、マーケットだけでなく他のメカニズムを含む概念的な基礎を提供することで、一決められたルールを持ったモデリング原則としてではなく—LCAを深めるアプローチとなるように拡張しうる（拡張CLCA）と思っている。

結論として、どのような評価においても基幹として見なせる、シナリオ、メカニズムのモデリング、問題のフレーミングの3つが、注目すべきCLCAの重要な研究分野である。

謝辞

この研究の一部は、イタリア・教育大学研究省（Italian Ministry for Education, University and Research: MIUR）の資金提供と、エミリアロマーニャ州・高度技術ネットワーク（Emilia-Romagna High Technology Network）のLECOP研究室およびEU-FP7の持続可能倫理的農業貿易（Sustaining Ethical Aquaculture Trade: SEAT）プロジェクトの支援を得た。

（平成26年5月20日受付）

参考文献（書式は原文（Int.J.LCA）による）

- Anex R, Lifset R (2009) Assessing corn ethanol—relevance and responsibility. *J Ind Ecol* 13 (4): 479-482
- Astrup T, Fruergaard T (2011) Optimal utilization of waste-to-energy in a LCA perspective. *Waste Manag* 31 (3): 572-582
- Bartelmus P (2008) *Quantitative Eco-nomics*. Springer, The Netherlands
- Börjeson L, Höjer M, Dreborg KH, Ekvall T, Finnveden G (2006) Scenario types and techniques: towards a user's guide. *Futures* 38 (7): 723-739
- Curran MA, Mann M, Norris G (2005) The international workshop on electricity data for life cycle inventory. *J Clean Prod* 13 (8): 853-862
- Dalgaard R, Schmidt J, Halberg N, Christensen P, Thrane M, Pengue WA (2008) LCA of soybean meal. *Int J Life Cycle Assess* 13 (3): 240-254
- Dandres T, Gaudreault C, Tirado-Seco P, Samson R (2011) Assessing non-marginal variations with consequential LCA: application to European energy sector. *Renew Sustain Energy Rev* 15 (6): 3121-3132
- Earles JM, Halog A (2011) Consequential life cycle assessment: a review. *Int J Life Cycle Assess* 16 (5): 445-453
- Ekvall T (2002) Cleaner production tools: LCA and beyond. *J Clean Prod* 10 (5): 403-406
- Ekvall T, Andrae A (2006) Attributional and consequential environmental assessment of the shift to lead-free solders. *Int J Life Cycle Assess* 11 (5): 344-353
- Ekvall T, Weidema BP (2004) System boundaries and input data in consequential life cycle inventory analysis. *Int J Life Cycle Assess* 9 (3): 161-171
- Ekvall T, Tillman AM, Molander S (2005) Normative ethics and methodology for life cycle assessment. *J Clean Prod* 13 (13-14): 1225-1234
- Eriksson O, Finnveden G, Ekvall T, Björklund A (2007) Life cycle assessment of fuels for district heating: a comparison of waste incineration, biomass- and natural gas combustion. *Energy Policy* 35 (2): 1346-1362
- European Commission—Joint Research Centre—Institute for Environment and Sustainability (2010) *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook—general guidance document for life cycle assessment—detailed guidance*. First edition. EUR 24708 EN. Publications Office of the European Union, Luxembourg
- Finnveden G, Hauschild MZ, Ekvall T, Guinée J, Heijungs R, Hellweg S, Koehler A, Pennington D, Suh S (2009) Recent developments in life cycle assessment. *J Environ Manag* 91 (1): 1-21
- Frischknecht R, Stucki M (2010) Scope-dependent modelling of electricity supply in life cycle assessment. *Int J Life Cycle Assess* 15 (8): 806-816
- Fukushima Y, Hirao M (2002) A structured framework and language for scenario-based life cycle assessment. *Int J Life Cycle Assess* 7 (6): 317-329
- Fullana i Palmer P, Puig R, Bala A, Baquero G, Riba J, Raugei M (2011) From life cycle assessment to life cycle management. A case study on industrial waste management policy making. *J Ind Ecol* 15 (3): 458-475
- Gamage GB, Boyle C, McLaren SJ, McLaren J (2008) Life cycle assessment of commercial furniture: a case study of Formway LIFE chair. *Int J Life Cycle Assess* 13 (5): 401-411
- Gaudreault C, Samson R, Stuart PR (2010) Energy decision making in pulp and paper mill: selection of LCA system boundary. *Int J Life Cycle Assess* 15 (2): 198-211

- Geyer R (2008) Parametric assessment of climate change impacts of automotive material substitution. *Environ Sci Technol* 42 (18): 6973-6979
- Girod B, de Haan P, Scholz RW (2010) Consumption-as-usual instead of ceteris paribus assumption for demand. *Int J Life Cycle Assess* 16 (1): 3-11
- Graedel TE, van der Voet E (eds) (2010) Linkages of sustainability. The MIT Press, Cambridge
- Guinée JB, Heijungs R (2011) Consequential LCA and scenarios. Paper presented at SETAC Europe 21st Annual Meeting, 15-19 May
- Guinée JB, Gorrée M, Heijungs R, Huppes G, Kleijn R, de Koning A, van Oers L, Wegener Sleswijk A, Suh S, Udo de Haes HA, de Bruijn JA, van Duin R, Huijbregts MAJ (eds) (2002) Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards. Eco-efficiency in industry and science. Kluwer, Dordrecht
- Guinée JB, Huppes G, Heijungs R, van der Voet E (2009) Research strategy, programmes and exemplary projects on life cycle sustainability analysis (LCSA). Technical Report of CALCAS Project. <http://www.calcasproject.net>
- Guinée JB, Heijungs R, Huppes G, Zamagni A, Masoni P, Buonamici R, Ekvall T, Ekvall R (2011) Life cycle assessment: past, present, and future. *Environ Sci Technol* 45 (1): 90-96
- Hedegaard K, Thyo KA, Wenzel H (2008) Life cycle assessment of an advanced bioethanol technology in the perspective of constrained biomass availability. *Environ Sci Technol* 42 (21): 7992-7999
- Heijungs R, Guinée JB (2007) Allocation and "what-if" scenarios in life cycle assessment of waste management systems. *Waste Manag* 27 (8): 997-1005
- Heijungs R, Huppes G, Guinée JB, Masoni P, Buonamici R, Zamagni A, Ekvall E, Rydberg T, Stripple H, Rubik F, Jacob K, Vagt H, Schepelmann P, Ritthoff M, Moll S, Suomalainen K, Ferrão P, Sonnemann G, Valdivia S, Pennington DW, Bersani R, Azapagic A, Rabl A, Spadaro J, Bonnini D, Kallio A, Turk D, Whittall J (2007) Scope of and Scientific Framework for the CALCAS Concerted Action. Technical Report of CALCAS Project. <http://www.calcasproject.net>
- Heijungs R, Huppes G, Guinée JB (2010) Life cycle assessment and sustainability analysis of products, materials and technologies. Towards a scientific framework for sustainability life cycle analysis. *Polym Degrad Stab* 95 (3): 422-428
- Hertwich E (2005) Consumption and the rebound effect: an industrial ecology perspective. *J Ind Ecol* 9 (1-2): 85-98
- Höjer M, Ahlroth S, Dreborg KH, Ekvall T, Finnveden G, Hjelm O, Hochschorner E, Nilsson M, Palm V (2008) Scenarios in selected tools for environmental system analysis. *J Clean Prod* 16 (18): 1958-1970
- ISO (International Organisation for Standardization) (2006) ISO 14044:2006: Environmental management—life cycle assessment—requirements and guidelines. ISO, Geneva
- Jørgensen A, Finkbeiner M, Jørgensen MS, Hauschild MZ (2010) Defining the baseline in social life cycle assessment. *Int J Life Cycle Assess* 15 (4): 376-384
- Kapustka L, Froese K, McCormick R (2010) Revisiting the rationale for holistic, integrated risk assessment. *Integr Environ Assess Manag* 6 (4): 774-776
- Kimming M, Sundberg C, Nordberg A, Baky A, Bernesson S, Norén O, Hansson PA (2011a) Biomass from agriculture in small-scale combined heat and power plants—a comparative life cycle assessment. *Biomass Bioenergy* 35 (4): 1572-1581
- Kimming M, Sundberg C, Nordberg A, Baky A, Bernesson S, Norén O, Hansson PA (2011b) Life cycle assessment of energy selfsufficiency systems based on agricultural residues for organic arable farms. *Bioresour Technol* 102 (2): 1425-1432
- Kløverpris J, Wenzel H, Nielsen PH (2008) Life cycle inventory modelling of land use induced by crop consumption. Part 1: Conceptual analysis and methodological proposal. *Int J Life Cycle Assess* 13 (1): 13-21
- Kløverpris J, Baltzer K, Nielsen PH (2010) Life cycle inventory modelling of land use induced by crop consumption. Part 2: Example of wheat consumption in Brazil, China, Denmark and the USA. *Int J Life Cycle Assess* 15 (1): 90-103
- Lemoine D, Plevin RJ, Cohn AS, Jones AD, Brandt AR, Vergara SE, Kammen DM (2010) The climate impacts of bioenergy systems depend on market and regulatory policy contexts. *Environ Sci Technol* 44 (19): 7347-7350

- Lesage P, Ekvall T, Deschenes L, Samson R (2007a) Environmental assessment of brownfield rehabilitation using two different life cycle inventory models: Part I-Methodological approach. *Int J Life Cycle Assess* 12 (6): 391-398
- Lesage P, Ekvall T, Deschenes L, Samson R (2007b) Environmental assessment of brownfield rehabilitation using two different life cycle inventory models: part 2: case study. *Int J Life Cycle Assess* 12 (7): 497-513
- Lim S, Lee KT (2011) Parallel production of biodiesel and bioethanol in palm-oil-based biorefineries: life cycle assessment on the energy and greenhouse gases emissions. *Biofuels Bioprod Biorefining* 5 (2): 132-150
- Lund H, Mathiesen BV, Christensen P, Schmidt JH (2010) Energy system analysis of marginal electricity supply in consequential LCA. *Int J Life Cycle Assess* 15 (3): 260-271
- Lundie S, Ciroth A, Huppel G (2008) Inventory methods in LCA: towards consistency and improvement. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, Life Cycle Inventory (LCI), Task Force 3, Methodological Consistency. VDM-Verlag
- Mathiesen BV, Münster M, Fruegaard T (2009) Uncertainties related to the identification of the marginal energy technology in consequential life cycle assessment. *J Clean Prod* 17 (5): 1331-1338
- Mattsson N, Unger T, Ekvall T (2003) Effects of perturbations in a dynamic system—the case of Nordic power production. In Unger T (ed) *Common energy and climate strategies for the Nordic countries—a model analysis*. Ph.D. thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden
- Melamu R, Blottnitz H (2011) 2nd generation biofuels a sure bet? A life cycle assessment of how things could go wrong. *J Clean Prod* 19 (2-3): 138-144
- Nguyen TL, Hermanses JE, Mogensen L (2010) Fossil energy and GHG saving potentials of pig farming in the EU. *Energy Policy* 38 (5): 2561-2571
- Nielsen PH, Hoier E (2009) Environmental assessment of yield improvements obtained by the use of the enzyme phospholipase in mozzarella cheese production. *Int J Life Cycle Assess* 14 (2): 137-143
- Nielsen PH, Oxenboll K, Wenzel H (2007) Cradle-to-gate environmental assessment of enzyme products produced industrially in Denmark by Novozymes A/S. *Int J Life Cycle Assess* 12 (6): 432-438
- Nielsen PH, Dalgaard R, Korsbak A, Pettersson D (2008) Environmental assessment of digestibility improvement factors applied in animal production—use of Ronozyme® WX CT Kylanase in Danish pig production. *Int J Life Cycle Assess* 13 (1): 49-56
- Pehnt M, Oeser M, Swider DJ (2008) Consequential environmental system analysis of expected offshore wind electricity production in Germany. *Energy* 33 (5): 747-759
- Pelletier N, Tyedmers P (2011) An ecological economic critique to the use of market information in life cycle assessment research. *J Ind Ecol* 15 (3): 342-354
- Pesonen HL, Ekvall T, Fleischer G, Huppel G, Jahn C, Klos ZS, Rebitzer G, Wenzel H (2000) Framework for scenario development in LCA. *Int J Life Cycle Assess* 5 (1): 21-30
- Reap J, Roman F, Duncan S, Bras B (2008) A survey of unresolved problems in life cycle assessment—part I goals and scope and inventory analysis. *Int J Life Cycle Assess* 13 (5): 374-388
- Reinhard G (2011) Recent developments of biofuels' LCA in Europe: the case of palm oil biofuels. Paper presented at Life Cycle Management Conference, 28-31 August, Berlin
- Reinhard J, Zah R (2009) Global environmental consequences of increased biodiesel consumption in Switzerland: consequential life cycle assessment. *J Clean Prod* 17 (9): 846-856
- Reinhard J, Zah R (2011) Consequential life cycle assessment of the environmental impacts of an increased rapemethylester (RME) production in Switzerland. *Biomass Bioenerg* 35 (6): 2361-2373
- Sandén B, Karlström M (2007) Positive and negative feedback in consequential life-cycle assessment. *J Clean Prod* 15 (15): 1469-1481
- Schmidt JH (2008) System delimitation in agricultural consequential LCA—outline of methodology and illustrative case study of wheat in Denmark. *Int J Life Cycle Assess* 13 (4): 350-364
- Schmidt JH (2010) Comparative life cycle assessment of rapeseed oil and palm oil. *Int J Life Cycle Assess* 15 (2): 183-197
- Schmidt JH, Weidema BP (2008) Shift in the marginal

- supply of vegetable oil. *Int J Life Cycle Assess* 13 (3): 235-239
- Schmidt JH, Holm P, Merrild A, Christensen P (2007) Life cycle assessment of the waste hierarchy—a Danish case study on waste paper. *Waste Manag* 27 (11): 1519-1530
- Searchinger T, Heimlich R, Houghton RA, Dong F, Elobeid A, Fabiosa J, Tokgoz S, Hayes D, Yu TH (2008) Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science* 319 (5867): 1238-1240
- Silalertruksa T, Gheewala SH, Sagisaka M (2009) Impacts of Thai bioethanol policy target on land use and greenhouse gas emissions. *Appl Energy* 86 (Supplement 1): S170-S177
- Skals P, Krabek A, Nielsen PH, Wenzel H (2008) Environmental assessment of enzyme assisted processing in pulp and paper industry. *Int J Life Cycle Assess* 13 (2): 124-132
- Smyth BM, Murphy JD (2011) The indirect effects of biofuels and what to do about them: the case of grass biomethane and its impact on livestock. *Biofuels Bioprod Biorefining* 5 (2): 165-184
- Spielmann M, Scholz RW, Tietje O, de Haan P (2005) Scenario modelling in prospective LCA of transport systems. *Int J Life Cycle Assess* 10 (5): 325-335
- Thiesen J, Christensen TS, Kristensen TG, Andersen RD, Brunoe B, Gregersen TK, Thrane M, Weidema BP (2008) Rebound effects of price differences. *Int J Life Cycle Assess* 13 (2): 104-114
- Thomassen MA, Dalgaard R, Heijungs R, de Boer I (2008) Attributional and consequential LCA of milk production. *Int J Life Cycle Assess* 13 (4): 339-349
- Thrane M (2006) LCA of Danish fish products—new methods and insights. *Int J Life Cycle Assess* 11 (1): 66-74
- Tillman AM (2000) Significance of decision-making for LCA methodology. *Environ Impact Assess Rev* 20 (1): 113-123
- Weidema BP (1993) Market aspects in product life cycle inventory methodology. *J Clean Prod* 1 (3-4): 161-166
- Weidema BP (2003) Market information in life cycle assessment. Environmental Project no. 863. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen
- Weidema BP, Frees N, Nielsen AM (1999) Marginal production technologies for life cycle inventories. *Int J Life Cycle Assess* 4 (1): 48-56
- Weidema BP, Ekvall T, Heijungs R (2009) Guidelines for application of deepened and broadened LCA. Technical Report of CALCAS project. <http://www.calcasproject.net>
- Wenzel H (1998) Application dependency of LCA methodology: key variables and their mode of influencing the method. *Int J Life Cycle Assess* 3 (5): 281-288
- Zamagni A, Buttol P, Porta PL, Buonamici R, Masoni P, Guinée J, Heijungs R, Ekvall T, Bersani R, Bienkowska A, Pretato U (2008) Critical review of the current research needs and limitations related to ISO-LCA practice. Technical Report of CALCAS project. <http://www.calcasproject.net>
- Zurek MB, Henrichs T (2007) Linking scenarios across geographical scales in international environmental assessments. *Technol Forecast Soc* 74 (8): 1282-1295

翻訳後記

題名の「Consequential LCA」の日本語訳として「帰結LCA」が使われることがあるが、本訳では敢えてカタカナで「コンセクエンシャルLCA」とした。「帰結」という用語はあまりにも文語的であり、今日の学術論文にそぐわないと思ったからである。また、「consequence」についても、文脈によって「結果」という日本語訳が適当な場合と、「因果関係」に近い意味で用いられている文脈があり、後者の場合はカタカナで「コンセクエンス」とした。全体を通して直訳を避け内容を追いやすい訳とするように努めたが、訳者の力不足の部分については原文を参照されたい。

この解説では、「コンセクエンシャルLCA」の定義がさまざまであるとしながら、著者らは「ある決定により変化すると考えられるプロセスだけを、マーケットの動向を考慮して分析に取り入れる方法」と見ているように思われる。私の見解では、それは、「設定したシナリオにより差分を計算する方法」であり、従来のLCAの範疇であると思う。シナリオに沿って環境負荷を動的に分析することは、本訳の著者らも言っているように、エネルギー分析の分野で従来から行われている。欧米には、「コンセクエンシャルLCA」という用語は不必要であるとする研究者も少なからずいることを付記しておきたい。LCAの分野で「コンセクエンシャルLCA」が定着するかどうか今後も注視したい。

(稲葉 敦)

本誌の読者のようなLCAの専門家であっても、「コンセンシャルLCA (CLCA) とは何か?」と問われて、明快な回答ができる人は限られている (いない) のではないか。「マーケットメカニズムを含めたLCA」という理解や「将来シナリオのためのLCA」という理解が混在しているようであるが、それらはCLCAの一側面ではあるものの、その本質を決定付けるものとは言えない。

このようにCLCAが十分に体系化されていないという問題意識に対して、本稿はCLCAの目指すべき方向性を示している。すなわち、「決められたルールを持ったモデリング原則として考えるよりも、LCAを深めるアプローチとして考え、マーケットだけではなく他のメカニズムを含む概念的な基礎を提供する」ことである。本稿の主旨を訳者なりに解釈すれば、CLCAとは本来LCAが備えるべき視点 (ライフサイクル思考) そのものであり、何か特別な技法を指しているわけではない。

本稿のキーワードの中でも、CLCAを理解する上で特に着目してほしいのは、「影響を受けるプロセス」の特定・選択と「問題設定のフレーミング」である。後者について、著者は「この課題が再び重要になったのはCLCAのおかげ」とも述べている。結局、CLCAの本質とは、「もう一度、LCAの原点に立ち返ろう」というメッセージなのかもしれない。

(中谷 隼)