

LCA(ライフサイクル・アセスメント)と環境経済政策 —CML(ライデン大学環境科学センター)開発LCAの視点から—

Life Cycle-Assessment and Environmental Economic Policy —From the view of LCA at CML(Leiden)—

姫野 順一

HIMENO, Junichi

はじめに

昨年(1998年)12月に環境庁から発行された『環境基本計画』の第3回点検報告:中央環境審議会(会長近藤次郎);日本の環境対策は進んでいるかⅢ』はLCAに対する関心が高い。この報告書は「温室効果ガスの排出量は依然増加していること」、「ダイオキシン類、環境ホルモン物質といった化学物質による環境への懸念」、「生物多様性の減少」を指摘し、このような状況に対処していくために「大量生産・大量消費・大量廃棄の経済社会」の見直しを求めているが、この場合「環境負荷の少ない持続可能な経済社会」の構築を環境基本計画の目標と主唱していた。この環境基本計画の中心的役割として「経済社会や国民のライフスタイルの転換」が強調されている(環境庁[1998]5ページ)。この「国民のライフスタイル」の転換に取り組む事業者の項目で最も重視されているのがライフサイクル・アセスメント(LCA)である。「事業者は製品の製造、流通等の各段階を通じ、ライフサイクル・アセスメント的な視点で、環境負荷の低減を図るとともに、製品情報を明示することにより、国民が環境負荷の少ない生活様式を選択できるような環境を整備する」(同17ページ)と。このように環境対策のなかでLCAにたいする期待が急速に高まってきている。また研究者の中でのLCAへの最近の関心は、昨年筑波で開催された第3回エコバランス国際会議「持続的な社会に向けたLCAの進展」における山本実行委員長の問題提起の中にかがわれる。「地球環境が急速に悪化を続けるなかで、産業活動が環境に及ぼす影響を生態が能力を発揮

できる範囲に管理し、限りある諸資源をできるだけ効率よく使用することは今や重要な任務に含まれる。ISO14040と結びついたLCA(Life Cycle Assessment)は、今や生産物や物質の、あるいは企業活動についてさえも、それらの全ライフサイクルにおける環境負荷を測定し価値づける効果的な手段として広範な受容性を獲得しつつある。とわいえ、LCAにおける国際基準の使用はまだ始まったばかりである。経済的社会的活動における持続的な発展を維持する手段としてLCAが役立つためには、(1)環境影響評価といったまだ初期の段階にある狭められた議論、(2)特殊な実施のための実践的で効果的な方法の発展、(3)経済的および環境的な指標を含むLCAの拡大についての可能性研究、といった点について広範な点検と議論が必要である。」(Yamamoto[1998]p.i)ここで指摘されているようにLCAは産業活動に起因する「生産物や物質、企業活動」の環境負荷を測定し価値づける手段として近年急速に注目が集まっているのであるが、この手法の標準化、経済分析との結合、環境政策における効果や問題点についての研究はまだ始まったばかりである。もともとLCAは1969年アメリカのミッドウエスト研究所がコカコーラ社から委託された飲料容器の研究から始まり、80年代から90年代にかけて環境政策の手段として急速にクローズアップされてきた経過がある。

本稿ではヨーロッパにおけるLCAの普及に中核的な役割を果たしているCML(ライデン大学環境科学センター)¹⁾の開発したLCAのガイドブックと先行研究に学びながら、第1節でLCAの歴史を簡単に回顧し、第2節でライデン方式のLC

Aの内容と特徴を析出し、第3節でSETACやISOモデルと併せてLCAの現状、問題点および環境政策との接点をさぐり、第4節でLCAと費用分析との関係について考察を加えてみたい。

第1節 LCAの歴史

CMLにおけるLCA研究者フッペスはRITE(トータルエコバランスに関する国際ワークショップ)に提出した1996年の論文(Huppes [1996])で欧米を中心にLCAの歴史を回顧している。

LCAは1970年代と80年代にアメリカ(Hunt, et al [1974])、スウェーデン、スイスの民間企業でまず実施された。80年代に入ってヨーロッパで広範に関心が高まり、スイス政府が研究に取り組み、主要な物質生産過程のデータの収集が始まった。オランダ政府(Druijff [1984])もこのころ研究を開始しケーススタディに取り組んだが、このころからすでに今でも未解決の様々な問題に逢着している。すなわち、「分析の目的は何か?」(アメリカでは生産改善、ヨーロッパでは生産比較)、「どのデータが重要か?」、「複合過程をどのように取り扱うか?」、「どの環境データが含まれているのか?」、「環境介入で意味ある単位は何か?」(アメリカは資源使用のタイプと大量排出に注目し、ヨーロッパは環境影響の分類的特定に注目した)、「異なる方向を向いた、異なるスコアの生産物をどのように評価するか?」などがここでの問題であった。90年代に入ってLCAに関し社会的、科学的な2つのタイプの定式化が進んだ。前者は「手続きと用語法」を強調するもので、これは1993年SETAC(Society for Environmental Toxicology and Chemistry)が作製した「実行規約」Code of Practice(SETAC [1993])として一般的に同意されて成立したものである。²これはやがてISO基準に発展する。後者は特殊な一時的なケースの手法ではなく、一般的な「方法」を定式化したものである。すなわち90年代にはアメリカSETACとヨーロッパSETACを含む国際SETACの、完全ではないが密接なリンクのもとに、全てのタイプのLCAの標準化がめざましく発展し、1年遅れでISOも「フレームワークと方法の基準」のド

ラフトを提起した。ここで、フッペスはアメリカが「フレームワークと用語法」に関わる手続きを強調し集会的・社会的であるのに対して、ヨーロッパの方は「理論と方法の発展」を強調し、構築的・個々の特徴の違いを指摘している。フッペスはLCAの歴史を「動機」、「方法」、「応用」に分けて考察しているが、その内容を詳しく聞いてみよう。

LCAの標準的要素は、局所における設備の設置決定の効果だけでなく、川上と川下の過程(連鎖chain)で引き起こされる効果を表示することにあるが、その導入動機の背景は様々であった。アメリカで先行しヨーロッパでも増加したのは、「進化した責任」evolutionary liabilityという問題であった。従来製造物の責任は1人の諸行為の責任に基づき罪が問われていたが、製造物の生産連鎖を対象とした場合責任の範囲は「連鎖過程」となり、責任は罪に帰せられるのではなく「危険risk回避」に基づくように進化する。とすれば「責任」を評価するためには「連鎖」chainを知らなければならないというわけである。容器・包装package問題はこの事項であったし、70年代のオイルショックによって登場するエネルギー分析もこの事項の該当するものであった。80年代に入ると生産物やその諸過程における環境問題が大きな問題となり、LCAの強調点は与えられた生産物や過程の機能分析から、環境改善の新企画や環境商品の開発を動機とする環境に対する連鎖の効果分析に移行した。LCAにおける政府の積極的な役割が重要となるのもこの時代からである。出発点にあった「摩擦解消の可能性をさぐる」という企業の動機は間接的なものとなり、社会的な視点から見た環境負荷や環境費用と絡む「公共的・私的意志決定の最適化」の道具という側面がLCAの重要関心事になってきた。

「方法」から見た場合、70年代の主要な関心は容器・包装ゴミとエネルギーであったが、80年代に入って動機が環境問題に広がるとともに、LCAのインベントリの部分と環境への関与を述べる部分の区別が始まった。スイスとオランダでの最初のステップは、「呼吸に不適合となる気体の量」といった「環境基準」に従って「使用に際する環境不適合の量」を指摘した。大量「排出」emissionの負荷といった他の項目も問題となった。これは排出の川下の最終段階だけではなく川

上からのプロセスについて考えなければ解決に向かわない問題として認識されることになる。また「単位あたりの毒性」といった内在的に不適切な性質も90年代に使用され続けた。フッペスはここで90年代の初めに彼が所属するCMLが共同で開発したLCAの「問題テーマアプローチ」(地球環境問題とLCAをつなぐ)は「インパクト分析」を根本から変形したという。このアプローチでは「容器・包装廃棄物問題」は「資源使用と排出」に翻案され、「エネルギー問題」は一般的には非生命的枯渇と、部分的には温暖化や酸性雨といったような多くの「問題テーマ」に変形された。「排出全体」は主として気候変動におけるCO₂等価物のような「等価物体」equivalent substancesの基準で、環境的関与に貢献する「あらゆる問題の総計」として、問題テーマ毎に序次が与えられる。また、90年代にインベントリ分析の方法はどのような選択がなされるべきかを表示するようになり、生産システムと環境の間の、あるいは同じ経済過程を分担する生産システム間の「境界」boundaryに関わるようになった。「方法」から見た場合、CMLが開発したLCAにおける「問題テーマアプローチ」は画期的であったといえるであろう。

LCAの応用場面も次第に増大し、多面的になってきた。70年代には容器・包装がLCAの主たる適用対象であったが、80年代になるとその範囲はトラックからトイレットペーパーにまで拡大した。とわいえ、真の「ブレイクスルー」は90年代であった。LCAが対象とする生産物のタイプが多様化するだけでなく、生産物を維持するような選択肢へと対象が多様化した。ドイツやオランダ政府はLCAがある領域の公共政策の基礎になると明示した。ヨーロッパではLCAがその基準設定の基礎になっている「エコラベル」の制度が普及し、これは世界的に広まった。応用場面は広がり、「廃棄物管理システム」や「交通システム」といった抽象的なシステムがLCAの課題となってきている。また、経済活動それ自体としてのLCAの量的な重要性も急速に拡大している。大まかに言って、LCAのコンサルタントは70年代のアメリカで20社であったものが、80年代に50社(半分はヨーロッパ)となり、96年にコンサルタントの数は数百社に昇り、他に数千のパートタイムの人々がデータの収集に従事する

ようになってきている。

LCAの制度発展を歴史的に振り返ってみると、最初の方法に関するコンセンサスはLCAの分野の外で、エネルギー分析の組織であるIFIASにより、「連鎖のなか」でのエネルギー分析のガイドラインとして明示された。毒性学者や環境化学者といった専門家の組織であるSETACがアメリカ環境庁(US-EPA)に支えられて、90年代の初めにLCAの方法的発展となる「科学的フォーラム」を開催した。1993年のSETACによる「実行規約」の結果多くのワークショップがあらわれ、インベントリやインパクトの評価からLCA教育にわたるLCA全般の主題に関わるワーキンググループが活動し、「科学的フォーラム」の機能は強化された。SETAC自身は研究予算を持たなかったが、増大する実践的重要性の結果、ISOがLCAのための基準を準備し、それは環境監査とエコラベルの分野に関連づけられた。すなわち、ISO 14040はLCAの「一般原理と枠組み」を規定し、ISO 14041は「インベントリ分析」を既に規定し、ISO 14042は「インパクト評価」を、ISO 14043は「解釈」interpretationを規定しようとしている。国際的なレベルで言えばUNEP(国連環境計画)がLCAのサーベイを発行し、OECDもLCAの最初のサーベイを内部向けに発行した。国際的な関心の高まりからヨーロッパやアメリカ以外の日本、中国、オーストラリア、ブラジルなどで多くの学会やワークショップが開催された。方法的発展における現実のプロジェクトはスカンジナビア諸国、スイス、オランダ、EUの主導と企業の支持にささえられて、主要には国民政府の財政基盤に依拠してきた。日本やアメリカは巨大なプロジェクトを推進しているが、これらは今のところデータを集めたりLCAを実施するといった、より実践的なサイドに限定されている。

それではここで、日本におけるLCAの歴史を振り返っておきたい。

LCAの用語は1990年ヴェルモントで開かれたSETACのワークショップで導入されるが、日本の企業や大学は70年代からアメリカやヨーロッパからのちにLCAとなるTA(Technology Assessment 技術評価)やSFA(Substance Flow Analysis 物質循環分析)などを導入していた。LCAが公式に日本で認められるの

は1991年、日本LCAフォーラムが創設された時であるようだ。1991年にはリサイクル法が成立し、1993年に同修正、1995年の容器・包装法の制定と続く製造物への環境規制はLCAへの関心を強めるきっかけであった。

1993（平成5）年の環境基本法制定はこれに拍車をかけることになる。基本法の第4条で「環境への負荷が少ない持続可能な社会構築の必要」が明示され、第8条では事業者の責務として「事業活動に係わる環境への負荷の低減に資するとともに、環境への負荷の低減に資する原材料、役務などを利用するように努めねばならない」と規定され、さらに第24条では「国は事業者に対して、事業活動に係わる製品その他の物が使用され、廃棄されることによる環境への負荷について、事業者が自ら評価することにより、そのものに係る環境への負荷の低減について適正に配慮することができるように技術的支援等を行うため、必要な措置を講ずること」と規定されたからである（増原〔1994〕）。基本法を受けて1994（平成6）年に制定された環境基本計画でも「環境への負荷が少ない循環を基調とする社会経済システムの実現」を目標に掲げられ、ここで「環境負荷を評価する手法」が大きくクローズアップされることとなった。LCAへの関心は90年代の後半にわが国でも急速に高まってきている。

日本のLCA研究も最初は容器・包装とエネルギーの分野で先行し、プラスチックとその競合製品およびエネルギー部門にLCAの実施が多く見られた。³前者は散乱ゴミとなりやすく、自然分解しにくく、焼却処理も発熱量が多いため焼却炉を傷めやすいということから、注目されたものである。この経験からプロセスのみに対して行われる評価や判断は環境負荷を正しく評価していない可能性もあり、原料採取から製造、加工、販売、使用、廃棄のいわゆる「ゆりかごから墓場まで」のライフサイクル全体の科学的な評価が必要であると自覚されていく。その後実施された容器・包装分野のLCAでは同一機能を持つ競合製品（紙・プラスチック・スチール・アルミ・ガラス等）が環境負荷項目において比較され、環境負荷を低減するための改善点が抽出され、あるいは環境評価の定量的な方法への関心が生まれている。また省エネルギーの観点から、ライフサイクルのエネルギー消費を検討する試みも進み、発電プラント

や自動車の評価の事例研究が出た。その後個々の製品や建築物などの社会インフラなどがLCAの対象となったが、評価項目はエネルギー消費量やCO₂排出量に限定されたものが多く、手法としても「積み上げ法」と「産業連関表」が混在し、解析レベルや評価の範囲も研究者や研究機関によって様々であった。

このような中であって環境庁は1992（平成4）年度に「環境への負荷の評価に関する予備的考察—特に製品に関する環境負荷評価を中心として—」を実施し、LCAの事例などを調査するとともに、「LCAの手法」および「環境負荷の集計方法」について基礎的な検討を行い、「LCAの手法の確立」、「データベースの構築」、「社会化のための体制づくり」という方向性を示した。1993（平成5）年度には「環境負荷低減のためのLCAの考え方」という報告書を取りまとめ、LCAの定義や手法、利用の基本的な見解を示し、環境負荷評価に関する技術的な検討課題を提示した。これを受けて1994（平成6）年度にはLCAの概念を整理するとともに、LCA実施の技術的な課題を検討した「総合的環境負荷低減を目指したLCAの実施に向けて」を取りまとめた。『環境白書』（環境庁）では平成7（1995）年版に産業界・事業者における取り組みの中の「LCA,環境への負荷の低減に資する製品等の取り組み」（環境庁〔1994〕289ページ）ではじめてLCAの解説が登場し、ISOの検討状況、環境ラベルへの導入への期待が述べられた。以後、平成8, 9, 10年版まで毎年、生産・販売・消費・廃棄における環境負荷を「一連のプロセスにおいて定量的、科学的、客観的に把握・評価する方法」として言及され、「ISOの検討状態をふまえて調査・研究・情報提供を行う」と指摘されてきた。平成11年版『白書』では一步踏み込みライフサイクル・アセスメントを項目だてして、データベースや簡易のLCA手法、環境影響項目間の総合的評価手法の確立といった検討が進んでいることを紹介している⁴（環境庁〔1999〕170-1ページ）。一方、科学技術庁の助成プロジェクトによるエコマテリアル研究プロジェクトは「日本におけるLCA研究の現状と将来の課題」をとりまとめた。また通産省も1995（平成6）年、250の国、産業、大学の組織が参加する日本LCAフォーラムを強化し、3年間研究の結果、1, LCAの道

具としての確立、2、公共的なデータベースの構築、3、応用規則の確立、4、LCA教育の確立を提案した。これを受けて通産省は1998(平成10)年度からは5年計画で「製品等のライフサイクル環境負荷の評価技術開発」というプロジェクトに着手した。⁵このプロジェクトの目標はLCAの方法やデータベース、ネットワークの確立を図ることであるが、LCAの応用としてエコデザイン、エコプロセス、エコラベル、グリーン購入、LCA教育との結びつきを強調していることは環境政策との関連で大変興味深い。1998年11月にはエコマテリアル・フォーラム(科学技術庁)、日本LCAフォーラム(通産省)、日本LCA協会(民間企業)は合同して筑波で第3回エコバランスの国際会議を開催した。⁶このような日本の現状はフッペスの言う、データを集めたりLCAを実施するといったより実践的なサイドに限定された段階から、全国的に統一的なLCAの手法の確立とその環境政策への応用を問う段階へ移行しつつあるようである。その場合LCAに対する行政サイドからの公共的社会的役割が重要になってくるように思われる。

第2節 LCAの手法と概念

ここではヨーロッパのLCA確立に貢献したライデン大学CMLモデルを中心に、LCAの「手法と概念」についての理解を深めたい。⁷LCAのライデンモデルはライデン大学のCMLで開発され1992年10月にヘインクス等により『製品の環境ライフサイクル・アセスメント』Heijungs, R. et al. *Environmental life Cycle Assessment of products-I : Guide, II:Backgrounds*として英文で公表された。これにはオランダ語版と日本語の翻訳がある。⁸このCMLによる92年のLCAのガイドブックはガイドとバックグラウンドの2部で構成されている。前節で見たようにこのガイドは「問題テーマアプローチ」と「インパクト分析」の標準的手法を示したものであり、ヨーロッパにおけるLCAの普及に大きく貢献するものであった。その後NOVEM(エネルギー環境庁)とRIVM(国立健康環境保全研究所)により運営・コーディネートされたNOH(廃棄物の国民的再使用研究計画)は

CMLで開発されたLCAの手法を積極的に支援し、95年にはユニリバーがCMLと共同して『LCA初歩』*Beginning LCA; A guide into environmental Life Cycle Assessment*を完成させた。これにはVROM(住宅空間計画環境省)の産業建設消費問題部長とMEA(経済問題省)のエネルギー部長の前書きが附されている。ここで簡潔に解説されたLCAの手法はオランダにおけるLCAの基本マニュアルとみてよい。

このガイドブックはLCA実施の理由を、「生産または活動の環境との相互作用をできるだけ詳細な一方法で描き出し…人間活動による環境負荷の独立した性格への十分な洞察を保証し…政策決定者に活動の環境負荷と改良の可能性についての情報を提供する」と明確に指摘している。まず、LCAの原理は「生産物の環境負荷をその全ライフサイクルで取り扱う」ことにあるという。ライフサイクルとは原料の抽出、生産物の生産と使用、再使用と全ての最終廃棄物の処理および最終生産廃棄物の過程である。この過程での環境負荷は環境からの抽出過程と環境への排出過程で形成される。そこで観察により最も環境負荷の効果が改善できる段階に分析を集中することで、環境政策の良い効果を期待できることになる。このガイドブックはLCAが適用できる場面を「生産物」のライフサイクルに限定している点に注目しておきたい。このガイドブックは「建設や活動」の評価にはEIA(Environmental Impact Assessment環境影響評価)が、「物質」SubstanceのライフサイクルにはSFA(Substance Flow Assessment物質流出入評価)が、企業活動の環境負荷や生産立地には環境監査が、単一過程の環境改善にはプロセス技術研究が、災害にはRA(Risk Assessmentリスク評価)がそれぞれ妥当であると指摘し、LCAが技術として決して万能ではないことに注意を喚起している。ここでライデンモデルは「生産物のLCA」に厳密に限定されているのが特徴的である。

この手法はLCAにおける最終目標の設定を重視する。例えば、「1000本の煙草に火をつける」といったような「機能する単位」functional unit、あるいは、水塗料と有機塗料を比較する場合、ある対象を塗るのに必要な塗料の量、耐用期間、維持や除去の方法などが最終目標として定義される。その場合「目的」Purpose、「目標」

表 1 環境問題に関わる環境物質と環境負荷係数

(List of most common substances and their impact on various environmental themes.
A more comprehensive list can be found in the CML-guide, annex B.)

score > units >	ADP (- /kg)	EDP (MJ/kg) (MJ/m3)	GWP (kg/kg)	POCP (kg/kg)	AP (kg/kg)	HT (kg/kg)	ECA (m3/kg)	ECT (kg/kg)	NP (kg/kg)	ODP (kg/kg)
SUBSTANCE NAME										
2-propanol (isopropanol or CH ₃ CHOHCH ₃)						0.022				
acetylene				0.168						
acrylonitril (CH ₂ CHCN)						23				
ammonia (NH ₃)					1.9				0.35	
ammonium (NH ₄ ⁺)						0.02			0.33	
benzene				0.189		3.9	2.9E+04			
cadmium (Cd)	1.9E-09					580	2.0E+08	1.3E+07		
carbon dioxide (CO ₂)			1.0							
carbon monoxide (CO)						0.012				
chemical oxygen demand (COD)									0.022	
chlorobenzene (monochlorobenzene; C ₆ H ₅ Cl)						5.7		1.0E+06		
chromium(vi) (Cr ⁶⁺)						4.7E+04				
dichlorodifluoromethane (CFC12 or CCl ₂ F ₂)			7.1E+03			0.022				1.0
dinitrogenoxide (N ₂ O)			270							
halon1202 (bromotrifluoromethane; CF ₃ Br)										1.3
hydrogen sulfide (H ₂ S)						0.78				
hydrocarbons (C _x H _y)				0.377						
lead (Pb)	1.3E-11					160	2.0E+06	4.3E+05		
mercury (Hg)	1.8E-07					120	5.0E+08	2.9E+07		
methane (CH ₄)			11	0.007						
n-hexane (hexane or C ₆ H ₁₄)				0.421						
nitrate (NO ₃ ⁻)						9.9E-03			0.1	
nitrite (NO ₂ ⁻)						0.26			0.13	
nitrogen (kjeldahl nitrogen or N)									0.42	
nitrogenoxide (NO _x)					0.7	0.78			0.13	
pcb (average)							4.0E+08			
phosphate (PO ₄ ³⁻)						4.8.E-04			1.0	
pyrene						1.7	7.5E+06			
styrene (vinylbenzene or C ₆ H ₅ CHCH ₂)						0.15				
sulphurdioxide (SO ₂ ;SO _x)					1.0	1.2				
trichloromethane (chloroform or CHCl ₃)			25			3.3	1.7E+05			
copper (kg)	2.9E-12					0.24	2.0E+06	7.7E+05		
tin (kg)	2.3E-10					0.017				
zinc (kg)	6.8E-12					0.033	3.8E+05	2.6E+06		
crude oil (kg)		42.3								
natural gas (m3)		35.7								
** Abbreviations ** (see also text on page 34 and glossary)										
ADP Abiotic Depletion Potential, relative to the worldwide stores										
EDP Energy Depletion Potential, equals energy content										
GWP Global Warming Potential, relative to 1 kg CO ₂										
POCP Photochemical Oxydant formation, relative to 1 kg ethylene										
AP Acidification Potential, relative to 1 kg SO ₂										
HT Human Toxicity, relative to 1 kg human body										
ECA ECotoxicity, Aquatic, relative to 1 m ³ polluted water										
ECT ECotoxicity, Terrestrial, relative to 1 m ³ polluted soil										
NP Nutrifcation Potential, relative to 1 kg PO ₄										
ODP Ozone Depletion Potential, relative to 1 kg CFC-11										

表2 LCAの用語法

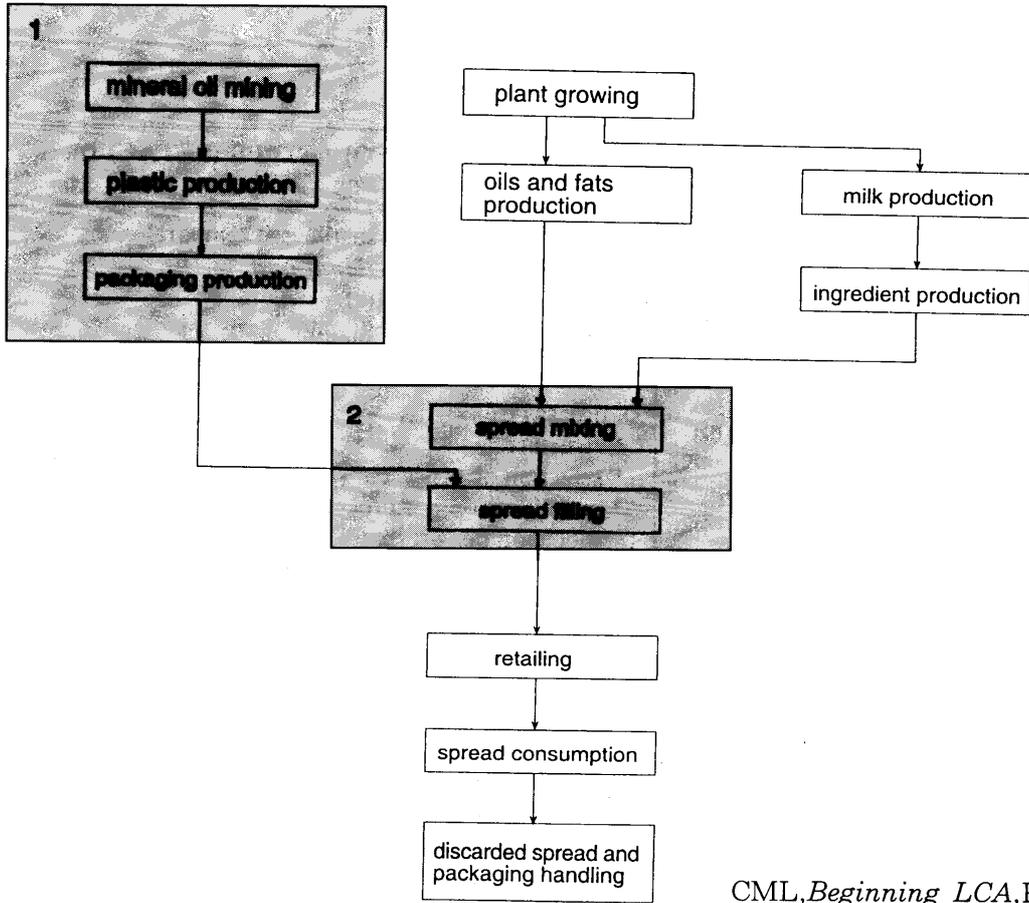
(TERMINOLOGIES FOR THE MAIN STRUCTURE OF LCA)

LCA = LIFE CYCLE ANALYSIS = LIFE CYCLE ASSESSMENT = ECOBALANCE	
PHASES = COMPONENTS = MAIN STAGES	MAIN ELEMENTS (ISO) / STEPS (SETAC) OR SPECIFICATIONS
GOAL DEFINITION = Goal and Scope Definition (ISO) = Goal Definition and Scoping (SETAC)	◇ main function, with spatial and temporal characteristics = <i>functional unit</i> ◇ definition of product(s) ◇ type of study ◇ level of detail ("width and depth")
INVENTORY ANALYSIS (ISO) = Inventory = Life Cycle Inventory = LCI (SETAC)	◇ process tree * structure * selection of processes (= "depth" + 'width') * quantification per process ◇ allocation per process ◇ quantified (partial) product system = (partial) input/output analysis = <i>inventory table of function system</i>
IMPACT ANALYSIS = Impact Assessment I (empirical part) (ISO; SETAC): *Classification + *Characterisation + *Normalisation (SETAC)	◇ modelled effects, as potential environmental problems = impact table, usually in terms of <i>equivalency factors</i> = <i>environmental profile</i> ◇ relating profile items to the size of each environmental problem involved = <i>normalised environmental profile</i>
INTERPRETATION = Impact Assessment II (SETAC, normative part)	Based on inventory ◇ relative attractiveness of alternatives and options, qualitative only, e.g. dominance analysis Based on impact analysis ◇ evaluative statement on the relative attractiveness of alternatives and options, qualitative ◇ formalised weighting procedure, giving quantified evaluative statement on relative environmental attractiveness ◇ evaluative statement on the reliability and validity of results, in relation to goal of the study
Improvement Analysis (not in ISO) = Improvement Assessment (SETAC)	◇ quantified indication of potentially attractive product system changes
APPLICATIONS (ISO)	◇ Support decision making

[Huppes 1996,P35]

図1 ファット・スプレッドの製造プロセスのフローチャート

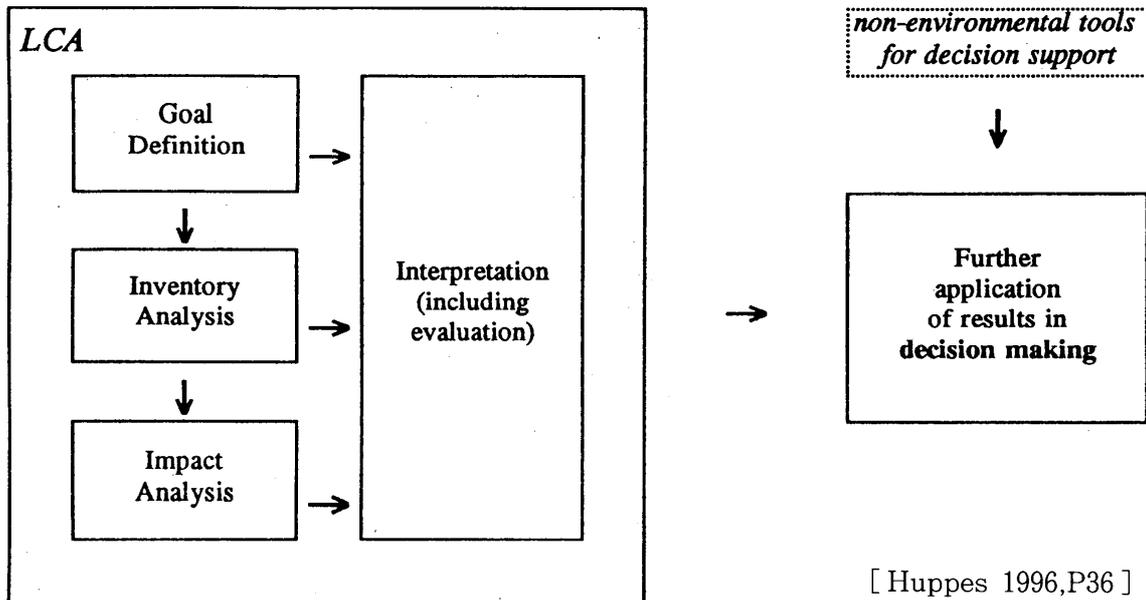
(Process flowchart of fat spread)



CML, *Beginning LCA*, P13

図2 CLAのフェーズ

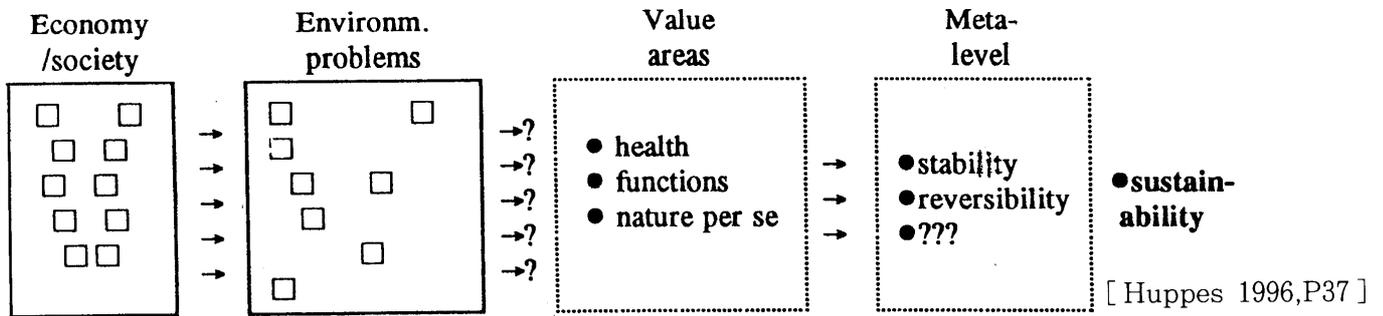
(PHASES OF LCA, ARROWS INDICATING LOGICAL FLOW OF INFORMATION)



[Huppes 1996, P36]

図3 経済活動と環境価値の関係

(THE RELATION BETWEEN ECONOMIC ACTIVITIES AND ENVIRONMENTAL VALUES)



Target、「主題」Subject、「範囲」Scopeの限定が重要である。「目的」は、比較、改良、新製品開発、市場戦略、情報取得などのどれかが明確にされる必要がある。「目標」が内部目的（企業）ではなく外部目的（政府、消費者組織、市場調査など）の場合、精査や広範な証拠が必要となる。「主題」の意味は、SETACが言うところの「機能する単位」を選ぶことである。この場合「ひとつの大きな単位」の選択が便宜的である。「範囲」の意味は「詳細の水準」に関わる。生産物の変化、国境移動等に際しデータが入手できるか否か等を考慮して「範囲」が設定される。ここで、ガイドブックは以下のような助言と注意を喚起している。すなわち問題は「何を何故正確に知りたいのか」ということであり、いつでも最初の目標設定に立ち返る必要がある。不確実性に多くの時間を割くべきでないと。また、いくつかの「機能する単位」を考慮することで最初のデータから違った答えが可能である。従って、最初は大きめに、後に調整するのがよい。「機能する単位」が大きい場合には計算を単純に、小さい場合は差異が明確になるように設計する必要がある。

パンに塗るファット・スプレッド(バター類)4種の比較のLCAが例題とされているので、この要点を摘記する。この場合「目的」は「最も環境に効率的な選択」である。「目標集団と推進者」はファット・スプレッド(バター類)会社とその開発主任、「研究の主題」は1kgの包装された同じ物理的な動作Performanceと同じ塗る動作をする「機能的な単位」、「研究の範囲」は最初のLCAであるのでデータの規制はしないとしている。過去の製造方法に変化はなかったので古いハンドブックも使えるものとする。包装材も廃棄物

質に含めるが、排水および掃除は対象から外す。この場合生産物が大変似ているので、必要なデータは詳細でなくてはならない。以上のような「目標設定」goal definitionをして、LCAは1、インベントリの作成、2、フローチャートの作成、3、データの収集、4、システムと環境の境界設定、5、データの加工、6、環境介在の収集と加工の順に実施される。インベントリ作成の出發に当たって、生産物の「内容物と過程段階」をふるい分けすなわち、構成物、作成方法、どのサービスが分配されるかといった生産段階から、分配段階、消費段階にかけての「フローチャート」が重要である。この場合製造過程、前後の段階（資源、構成物、消費、廃棄）、分業または下請け過程が吟味されるが、判らない過程には「旗」(目印)を立てておく必要を述べている。このような作業を通して作成されたのが図1のようなフローチャートである。データは過程毎に繰り返される定型動作から抽出されるが、データは正直、公平無私であるほど「最良」に近い得点が得られる。ここでガイドはデータの収集について標準的な文書、環境統計、環境特許、技術的辞書、内部情報、業界文書、同業者の情報、同種の交換されたLCA結果といったデータの参照を求め、繰り返しデータチェックの重要性を強調している。このデータチェックには時間がかかるため、あらかじめデータの評価をすませておき、情報収集に多くの時間をかけないことが肝要である。また質問用紙を送りつけても、回答者はLCAを理解していないと考えておく必要があると注意している。廃棄物の発生に注意を払うことも重要であり、計算単位を常に同じ単位にしておくことも重要である。信頼性は最終的にデータの質に依存することになる。

次に、「システムと環境の境界」が問題となる。排出や抽出における環境とシステムとの境界、協同生産やリサイクル、廃棄過程はどこまで入れるか、データーの欠如やその影響の場所などが明示されなくてはならない。このような手続き後、データは1, 「便利な形」(ユニットあたりの原材料投入、補助的構成物投入、エネルギー資源、運送活動、大気への排出、水への排出) に変形され、2, 「システムに共通な構成物の量」に加工分類(大気への排出の場合CO₂, CO, C_xH_x, NO_x, SO₂, 微粒子、水分、水中への排出の場合C₆H₁₄, CaO, 除草剤、殺虫剤、土への排出の場合MgO, ニトロゲン、オイル、PO₄³⁻, K₂O, 固型廃棄物の場合高危険と産業)され、3, 「システムの環境負荷」environmental impactsが計算されて、「環境データシート」のインベントリは完成する。

LCAで重要なのはこの環境負荷の「分類化」(それぞれの影響領域を割り振ること classification) および「特性化」(それぞれの影響領域内でインベントリのデータをモデル化すること characterization) である。SETACは前者を「考慮される環境テーマの選択」、後者を「物質の数への転形」とし両者を区別しているがCMLのガイドはこれを区別していない。CMLのガイドはこの環境負荷の分類、すなわち「環境テーマ」を次の10項目における単位あたりの負荷可能性に絞っている。ADP(非生命的減少可能性)、EDP(エネルギー減少可能性)、GWP(地球温暖化可能性)、POCP(光化学オキシダント形成)、AP(酸性雨可能性)、HT(人間毒性)、ECA(水環境毒性)、ECT(陸環境毒性)、NP(富栄養化可能性)、ODP(オゾン減少可能性)(表1)。この10項目の「環境テーマ」のそれぞれに対して、インベントリから得られたそれぞれの物質の単位あたり負荷は「共通得点に換算できる係数」(score units) = 「重み付け係数」で換算される。この係数を基礎にしてインベントリの物質がそれぞれ換算され、それぞれの「環境テーマ」の負荷総得点が集計される。これらの得点をどのように「標準化」(選択可能化)し「価値づけ」valuationするのがLCAの最終の大問題である。「標準化」には様々な方法がある。このガイドではCMLのGuineeの開発に基づいて、世界の全排出量や抽出量の総計を基準とし、オランダは世界のGNPの1%であるから、世界総排出の1%をオランダ

の総排出・総抽出量とし、それぞれの「環境テーマ」を標準化するための「重み付け係数」として用いる。このような標準化のための「重み付け係数」を使ってインベントリから得られた得点を環境テーマにそって計算し、「環境指標」が一覧表として完成する。ここで「環境負荷」の「価値づけ」valuationが可能となる。こうして得られたファット・スプレッド4種についての「環境指標」の一覧表から不確実性やデーターの歪みがチェックされ、最良と最悪のシナリオがチェックされ、異なるシナリオが最終結論に影響するかどうかもチェックされる。さらに、経験者や同僚、あるいは第3者(専門家)の「点検」reviewが必要である。こうして得られた結果は図表化(構造化)され、比較および改良の可能性と範囲を政策決定者に伝えてLCAは終了する。

以上のような内容がライデンモデルのガイドによるLCA実施の概要である。

第3節 LCAと環境政策

フッペスは1996年の論文でLCAの現状について次のように述べていた。「一方で環境影響評価やリスク評価、SFAといった正当な道具の役割を無視して多くの期待がLCAに寄せられ、他方で妥当なプロジェクトとなりうる廃棄物管理システムや交通といったより巨大な生産システムへのLCAの適用はデーター入手の困難という理由だけで躊躇されている」(Huppel [1996] p.34)。LCA適用の場面が正しく理解されていないという苛立ちである。エコラベルにLCAを導入することも、LCAの正当な手法による生産物の環境分析という制限により、従来の未熟なラベルシステムに脅威を投げかけ、ひいてはLCAに対する不信を引き起こしている。LCAは使い方を間違っていけない「道具」toolであるとフッペスははっきり自覚していた。そして「潜在的な環境影響を空間と時間で特定することは出来ないという欠陥は、LCAの現状の枠組みでは内在的なものである」とその道具としての欠陥も自覚している。しかし、方法的な発展はこのような欠点を次第に減少させ大きな成果を挙げると、フッペスのLCAの将来にたいする展望は明るい。そしてSETACやISOによる「枠組みと用語」の統一を

歓迎していた。

1990年のLCA国際ワークショップでは「理想的なLCA」を「インベントリ分析」、「環境負荷影響分析」、「環境負荷改善分析」の3段階としていたが、SETAC等ではこれに最初の段階として「目的設定と範囲の明確化」を加え、この基本4フェースが国際的に標準となった。その場合フッペスは量と形式、あるいは負荷評価と解釈、言い換えてみれば道具と政策提言の部分を区別する必要を感じていた。「LCAのような概念的に複雑な道具のためには諸事実と諸価値の厳密な分離に拘るのが賢明のようだ」。この視点は道具としてのLCAを環境政策に適用する場合の重要な視点となるであろう。ここでフッペスはライフサイクル・アナリシスとライフサイクル・アセスメント、エコバランスの用語は同じ概念であるとみている。問題となるのは第4フェースの「環境負荷改善分析」の内容である。フッペスはISOとSETACの用語法を整理し直している(表2)。その視点は「規格」normativeの部分と、質を含む「評価」evaluationの部分とを峻別しようとするものである。この視点から、ISOやSETACが「負荷評価I」impact assessment I(empirical part)とした「分類」・「特性化」・「規格化」の部分と「解釈」から切り離し、「評価I」assessment Iの用語を「負荷分析」impact analysisとしてこれを第3フェースとし、SETACが「負荷評価II」impact assessment IIとした部分を「解釈」interpretationに入れ、「改良評価」improvement assessmentとした部分を「改良分析」に替え、ISOが「応用」applicationとした部分をこの外に出している。つまり第4フェースの「解釈と環境分析」の要素特性は量に関わる「価値づけ」valuation (SETACとISO)ではなく質に関わる「評価」evaluationの用語が相応しいというわけである。フッペスは3つのフェースと「解釈」interpretation(「評価」evaluationを含む)の関係図を図2のように示した。フッペスはISOにおける国際規格化の検討のなかで規格化が「事実」と「価値」を厳密に分離することが賢明であると主張した。すなわち手法と適用は分離し、手法にあたる第3フェースまでを規格化し、適用にあたる第4フェースはユーザーに任せるべきであるというものである。1997年にISOの技術委員会(ISO/TC20

7)から提案され75%以上の得票を得て承認されたISO14040(環境経営—ライフサイクルアセスメント—原理と枠組み)はこの考え方を採用している。⁹⁾こうしてISOにより規格化・簡略化されたLCAは、その後世界中で様々な応用場面を可能にしてきている。¹⁰⁾LCAはエコデザイン、エコラベル、グリーン購入、環境報告書作成といった環境政策への応用面がある。ここで「環境問題」の解決に向けた貢献のなかで環境政策に貢献できるLCAの一般的目標について、フッペスの見解を確認しておきたい。

「事実」と「価値」を分けるフッペスは、LCAの目標が「環境の質を向上する」ことにあるという。その場合我々が「自分たちの活動の何を環境的効果と考え、発見・仮定するか」ということが「理論」reasoningの出発点であるという。そこから理論は「一般的な環境の望ましい質」と「生産、消費および廃棄物管理」に結びつけられる。つまり、経済活動は多くの「介入」interventionsを通して資源使用や土地使用から、排出や他の攪乱までの範囲で環境に影響するわけである。この「介入」の評価が問題となる。これらの「介入」は、たしかに環境システムの中で一定程度までは量化された水準に従える。しかしフロン等の場合、気候変動効果は詳細に予知できるが、その最終結果としての気候変動までは予知できない。そこで「我々がこれらの効果に関して中立でない理由は、最終結果としての効果が広範な社会的受容を伴う<価値領域>に影響しているからである」という重要な発言がでてくる。これらの価値は人間の健康、物理的健在well-being、物的な富裕の物理的手段を提供する自然の機能に関係している。これらの価値は「我々の生命維持システムの安定性」や「望ましくない効果の不可逆性」のような「できごと」eventsを評価する根本的な基準に関係しているわけである。「価値領域」はメタレベルに関わるわけであり、LCAにおける数量化の方向には開かれていない(図3)。ここでLCAにおける「環境効果に関する作用的・規範的な陳述」(社会的環境指標=姫野)は人々により「主観」の中で作成されうるもので、唯一の完全に議論された方法ではないといえる。とわいえ、「評価を形成する上での主観的できごとは、LCAが規範的な分析から離れることを意味するものではない。LCAは全体としての社会のために権威

的な規範陳述をその出発点とすべきである」という主張は重要である。この意味は道具であるLCAが生かされる基準は政治的であり、それは〈社会のための〉「規範的陳述」として、原理的には公衆の議論に根ざす「政治」politicsの領域に属することになる。日本やヨーロッパでこの「規範化」の議論が進んでいるが、最初の「形式化され規範化されたLCA問題」というこのテーマの相対的な重要性はオランダ政府から始まったという。

ここでオランダ政府が環境政策遂行の中で、領域と時間を限定しながらであるが、LCAを応用していることに注意が惹かれる。フッペスは政府が強調する「LCAの分野における環境問題の性質と重要性の陳述」の中にはLCA発展の基礎が形成されているとみている。その場合、あるひとつの環境指標が重要でないとすればこれを「負荷分析」の対象から削除し、「環境介在」のデータもデータフォーマットからはずせばよいと柔軟に考えている。「境界問題」についても同様である。フッペスはLCAの拡大として集約的な政策意志決定への応用を狙っているが、特にLCAを「社会的意志決定の最適化」に応用拡大し、環境指標を使って「経済コスト」を分析しようとしている点は興味深い。

我が国では、環境政策とLCAとのリンクについて、環境庁のプロジェクトである「環境保全のための技術評価指針策定調査」の報告書『ライフサイクルアセスメントの実践』（1996年）のなかで触れられている。この報告書はSETAC等の「評価項目を定量的な測定可能なものに限定」する「精密なLCA」と、「トータルな評価」を重視する「より実用的なLCA」を区別している（環境庁企画調整局 [1996] 28-9ページ）。この後者は定量的な可測データに加えて、科学的に測定不可能な計量できない評価項目も定性的な情報で評価対象とし、「実際の評価、選択の場でできる限りのデータ」、具体的にはリサイクル容易性、再生資源使用の有無、廃棄適正等を取りいれようとするものである。LCAを広義に適用しようとする概念としてライフサイクル・アプローチ、ライフサイクル・シンキング、ライフサイクル・マネジメントといった用語も国際的な場でも登場してきている。このようにLCAを「実用的なLCA」に拡大すれば、環境ラベリングにも応用できる。フッペスは「精密なLCA」が環境ラベリングの

基準に混乱を招いた指摘は前に触れたが、日本の報告書は「より簡便な方法」を紹介している。その方法は製品生産のステージ毎の定量的・定性的環境負荷項目をチェックし、基準（例えば100%古紙、水切り濾過器の使用、無漂白のコーヒーフィルター等）に照らして環境保全度を判断するというものである。これを報告書は「ライフステージ毎の環境負荷チェック手法（ライフステージ負荷チェック）」と呼んでいるが、これはチェックの基準が安易であるように思われる。ドイツのブルーエンジェルやアメリカのグリーンシール、EUのヨーロッパ・フラワー等の場合は有害物質の排出、大気汚染、水質汚濁、土壌汚染、騒音、廃棄物の減量化、リサイクル、資源節約、品質、安全などを評価基準としていて水準は厳しい。¹¹ この場合他の代替的なツールとの比較と「環境指標」との関連の付け方が大きな問題である。ここでLCAの貢献できる領域も大きいようである。

ヨーロッパではEMAS（環境管理・監査スキーム）によって環境報告書の公表が義務づけられるようになってきた。¹²これはEMASが公表する「環境声明書」と、企業が自主的に出す「環境報告書」に分けられている。企業が「環境報告書」を作成するためLCAの実施は重要な要素となってきている。¹³

第4節 LCAと環境費用

フッペスは96年のLCAのサーベイ論文¹⁴の最後で、「環境影響分析」をどのように費用分析に結合させるかという点に強い関心を示していた。その場合「個人の費用と売上」、「総費用勘定」、「社会的費用と売上」、「遂行された最適化調整の総費用」といった政策決定の費用化に関する4つのオプションのうち、「社会的費用と売上」が最もLCAの枠組みに近いと述べていた。ここで、喪失した売上の費用は「貨幣価値」の変化率で把握され、選択された「環境価値」は「環境価値指数」で共通に表現されるからである。そのような比較可能な可測的な指標の型が測定される手法は唯一「単純な積み上げ法」であるという。その場合、環境要素の「ウエイト」（環境指標）は前の節で見たように「社会を代表する権威」により与えられる必要があるということになる。オランダ

の場合、産業が組織し政府が認証したNOGEP A(オランダ石油ガス採掘生産協会)とTOPSIAS(理想的解決に向けた同一性基準による選考序次技術)が、2000年から2010年にかけての減少目標を示した「環境指数」＝「重み付け係数」weightを示している。このような基準値が与えられれば、LCAの手法により「環境効率の得点」を費用に換算し、相対的なオプションとして金額を提示できることになる。とわいえ、LCAの特別な手法がこの「重み付け」に妥当な手順で辿り着くか問題は残る。ともあれ、96年論文におけるハップスの費用と環境との結合に関する結論は、これをLCA応用の拡大領域の最も有望な分野であり、LCAと結合した経済モデルは、LCA以上に強力な「経済—環境分析モデル」の新タイプとなると期待されていた。

97年の論文「効率的環境投資」(Huppés [1997a])はフッペスが他の3人と協力してLCAの応用として「経済—環境モデル」の可能性を展開したものである。1995年6月、CO₂やNO_xなどの排出量の削減を政府とNOGEP Aが約束して以降、選択的な投資効率を最大にするため、最少の費用で「全ての環境改善の合計を最大にする」ための手法に対する関心が強まった。そのために「環境介入」間のリンクが求められ、「貨幣評価の手法」と「集団的評価の手法」に関心が高まったという。貨幣的手段は「不確実な性格や程度」をもち長期の問題であると済ますことはできなくなったというわけである。例えば「温室効果ガスの気候変動への影響は持続的で不可逆であるから、排出の外部効果を気候変化の仮想市場での潜在的な効果の経由で解釈する」という「支払う意志」willingness of payに基く仮想評価法(CVM)も採用できなくなった。つまり、「絶対的な(約束・設定された)集団的な財goods」の潜在的効果が集団的な決定手順の形で評価される必要が生じたというわけである。LCAにおける「環境問題テーマ」分析のモデルはこのようなニーズに適合するものであった。つまり契約過程で市場費用の絶対的な水準が設定されている状態での最適配分の問題である。とすれば、主観的経験的要素(政策目標)と規格的要素の結合、すなわち環境改善財政の効率的分配は、他と比較しながら、福祉を犠牲にして相対的に環境問題に貢献する「重みづけ要素」weighting factorに帰着することになると

いう。フッペス等はこのグローバルなLCAとも言える「重み付け」基準について5つの選択、すなわち1、宣言的な政治声明(NOGEP Aの政府との契約)、2、顕示的選択(政府の価値誘導、ゲーム論的)、3、政府目標(以上集団的選選択)、4、個人選択、5、持続性基準を可能性として示しながら、最初の試みであるので、明示的な政治誘導の重みづけを示す1の「政治声明」の採用を奨める。この場合「重み付け」は最も直接的であり、社会のためのこの規範的な宣言に対して政府が責任を持つ。これは専門家から構成されるパネルが提出する「重み付け」基準に政府が同意することを意味する。これは地球的なLCAが社会を閉鎖世界と想定しているということであり、NOGEP Aの契約によるLCAの想定範囲は「オランダ」という閉鎖社会になる。そこで、この大きなLCAの評価はパネルを構成する専門家によってなされることになる。この実際的な応用における費用対効果の手法としては限界費用分析が推奨されている¹⁵。このようにLCAの環境負荷評価の手法は、「重み付け係数」を媒介にして社会的費用対効果の分析に適用され、生産物と技術の選択、新製品の開発における選択に応用できることになる。しかし、ケース毎の政治的な重みづけは実際には不可能である。フッペス等は、「ガス排出減少の試行技術」の水や土壌、生物的、非生物的資源への応用を指摘しているが、ローカルな限定や長期における「定性的な側面」を加味した場合の道具の修正が必要であると結論づけている。¹⁶LCAを環境経済政策に応用するには、まだ多くの試行が必要なようである。

結 語

以上見てきことからLCAと環境政策の架橋の現状は次のように集約される。

LCAは手法と用語法、環境改善手法の世界的な標準化に向かい、この手法を用いた具体的な実施例も各地で急速に増加している。日本では具体的適用とデータベース構築が進み、手法の標準化・簡易化と環境政策への応用への関心が高まっている。LCAは製品分析だけでなく廃棄物やインフラ、複合過程など応用的な分野を広め、またエコラベル、エコデザイン、エコプロセス、グリーン

購入、環境報告書など環境政策の応用場面が増加し、LCAは地球環境問題の浮上の中で企業の環境負荷の減少に向けた環境政策手段として期待が大きい。とわいえ、このような大きな期待に対して「技法の公共性」や政策効果の検証たいする研究は立ち遅れている。地球環境問題の解決に絡んで環境政策の手段としてのLCAと費用効果分析の結合、「環境会計」の進展が求められているが、これもまだ試行段階で開発途上にある。今後、LCAと結びついた環境政策を展望するにあたり、日本のローカルなLCAの「重み付け係数」や「環境指標」およびデータの集積に基づいた政策効果の研究が焦点になってくるように思われる。

¹ CML(Centrum voor Milleikunde)は長崎大学と学術協力協定が締結されているライデン大学の学際的な環境研究施設である。昨年(1998)著者はケンブリッジ滞在中3回訪問の機会を得た。ここは20年の歴史を持ち、現在所長のH.A. Udo de Haes教授以下35人のスタッフを擁している。当初生態学、生物学、人類学の3部門から出発し、現在では「物質と生産物」、「生態系と環境の質」、「環境と開発」、「破壊動態」、「地方資源経営」の5研究部門に別れている。G.HuppesはCMLの中心となる「物質と生産物」部門の部長である。この部門は「生産物のライフアセスメント」と「物質循環分析」の研究に従事している。CMLはライデン大学の生物系と人類学系学部の学部学生教育に携わる他、アムステルダム大学、ワーゲニンゲン大学などと協力したEPCEM(European Postgraduate Course in Environmental Management)やSENSE(Netherlands Research School for the Socio-Economic and Natural Sciences of the Environment)といったGraduateやResearchの教育コースを開設している。付属図書館の環境資料収集は充実して使いやすい。

² LCMのUdo de Haes教授はSETACのこの作業に貢献した。Udo de Haes [1992a], [1992b], [1992c]

³ 1991年には化学経済研究所 [1992]、プラスチック処理促進協会、日本生活協同組合連合会 [1993] といったLCA研究がスタートしている(環境庁 [1996] 8ページ、未踏科学技術協会 [1994] 19-20ページ)。

⁴ 平成11年度『環境白書』は環境効率性を高める企業行動の推進として「環境マネジメントシステム」と「環境報告書」、「環境会計」、「環境ラベル」を取り上げている(環境庁 [1999] 170-2ページ)。

⁵ このプロジェクトの詳しい内容は Yano,etal. [1998]とJLCA Forum[1998]で紹介されている。

⁶ 日本においてLCAを推進している組織・プロジェクトは通産省が支援している日本LCAフォーラム、JLCA(日本LCA協会1995-)、クリーン・ジャパンセンター(1975-)、JEMAI(産業環境管理協会、ISOとの関係が深い)、NEDOや文部省の人間地球系プロジェクトー人間生存のための地球本位型社会の実験手法ー、環境庁に支援されエコマークに取り組む日本環境協会(1989-)、廃棄物に取り組むエコライフ・センター(1992-)、国立環境研究所、そのほかプラスチック廃物物管理研究所(1991-)、エネルギー消費に取り組む化学研究所(1980s)、科学技術庁が支援するエコマテリアル・フォーラム(1993-)、リサイクルのLCAに取り組むRRC(Resource Recycling Center資源リサイクルセンター)などがある。Cf. Hunkeler et al.[1998]

⁷ Berg [1995]の文末にはドイツ、ベルギー、オランダ、スイス、フィンランド、スウェーデンのLCAセンターのアドレスが付されている。

⁸ Heijungs et. 1992として公刊されたLCAの方法論は、CML、TNO(オランダ応用科学研究機構)、B&G(石油及び原材料局)の研究グループによりNOH(国家廃棄物再利用研究計画)のために開発された。日本語版は英語版から翻訳された(戦略LCA研究フォーラム [1999])。

⁹ ISO [1997] 4.2、日本工業標準調査会 [1997] 6ページ参照

¹⁰ 日本ではISOの基準に準拠したLCAのテキストとしてLCA実務入門編集委員会 [1998]が出版された。この帯には「人類の営みが環境に与える負荷は甚大である。資源枯渇、地球温暖化、オゾン層破壊等々…。LCAは、これらを解決するための有効かつ有力なツールである」とLCA紹介している。

¹¹ ヨーロッパのエコラベル基準は1991年12月EU Regulation 880/92で採用された(Hill,D.& Smith T.[1994]p.83-4)。

¹² 我が国の平成11年版『環境白書』は1999年から始まるオランダの企業に対する環境報告書提出義務を紹介している(環境庁 [1999] 76ページ)

- ジ)。
- ¹³ヨーロッパの環境報告書の動向については奥 [1998] 56-67ページ, 小野 [1999] 8-16ページ参照。
- ¹⁴1996年にはLindeijerのLCAに関するサーベイも出ている(Lindeijer [1996])。
- ¹⁵LCMのJ.ギニーは筑波の第3回エコバランス国際会議でこれについて報告したGuinee[1998]。
- ¹⁶フッペスにはSFAの時間モデルに関する論文もある(Huppes [1997b])
- プラスチック処理促進協会:『廃プラスチック製品の処理・再資源化に関する環境影響調査』
化学経済研究所 [1992] :『基礎素材のエネルギー解析調査報告書』
環境庁 [1995-99] :『環境白書』平成7,8,9,10,11年版 大蔵省印刷局
LCA実務入門編集委員会 (1998) :『LCA実務入門』産業環境管理協会
増原義剛 [1995] :『図で見る環境基本法』中央法規
未跳科学技術協会, エコマテリアル研究会編工業調査会 [1995] :『LCAのすべて—環境への負荷を評価する—』
日本工業標準調査会 [1997] :『JIS環境マネジメント—ライフサイクルアセスメント—原則及び枠組み』日本規格協会
日本生活協同組合連合会 [1993] :『容器包材の環境評価に関する中間報告』
奥真実 [1998] :『ECの環境法制度と環境管理手法』東京市政調査会
小野隆弘 [1999] :『LCAの定義と世界の動向』長崎大学研究報告書『廃水処理システムのライフサイクルにおける環境影響評価』所収
戦略LCA研究フォーラム(1999) :『LCA製品の環境ライフサイクルアセスメント』サイエンスフォーラム
Berg, N. W. van den, Dutilh, C. E. , Huppes, G. [1995] :*Beginning LCA , A guide into environmental Life Cycle Assessment*, CML, Leiden
Druiff, E.A. [1984] :*Milieu relevante produkt informatie, een studie naar de toerekening van milieu schade en de informatieverschaffing daarover aan consumenten, ontwerpers en overheid*. CML, Leiden
Guinee, J. [1998] : 'State-of-the-art in Life Cycle Impact Assessment focussing on the characterisation', *Proceedings of The Third International Conference on EcoBalance*, Tsukuba Nov. 1998
Heijung, R. , et al. [1992] : *Environmental Life Cycle Assessment of Products*, Leiden
Hill, D. & Smith, T [1994]: 'Environmental management and audit', in *Local Environmental Policies and Strategies*, Longman,
Hunkeler, D, Yasui, I, Yamamoto, Y [1998] : 'LCA in Japan; Policy and Progress', Submitted to *The International Journal of Life Cycle Assessment* (Based on presentation at Okobilanzen VI, UTECH BERLIN'98)
Hunt, R. G. , Franklin, R. O. , Cross, J. A. & Woodall, A. E. [1974] :*Resource and environmental profile analysis of nine beverage container alternatives*, US Protection Agency
Huppes, G [1996] : *LCA Yesterday, Today and Tomorrow*, LCA-S&P, Leiden
---- [1997a] : 'Efficient Environmental Investment', presented at the SENSE International Workshop, Feb. 1997
---- [1997b] : 'Degrees of Immobilization: a Matter of Time', CML, Leiden
Huppes, G. & Guinee, J. (1992): 'Impact analysis and classification in environmental LCA', CML
ISO [1997] : *International Standard; Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework*, International Organization Standardization
JLCA Forum [1998] : 'Activities of the LCA-Society of Japan (JLCA) and Development Towards the Future', *International Journal of LCA*, 3(2)
Lindeijer, E. [1996] : 'Normalisation and Vluation', in Ude de Haes Ed. , *Towards a methodology for life cycle impact assessment*, SETAC-Europe, Brussels
Udo de Haes [1992a] : *General framework for life-cycle assessment of products*. In SETAC
---- [1992b] : *Workshop conclusion on classification section*, In SETAC

---- [1992c] : *Plenary discussion on terminology.*

In SETAC

Yamamoto, R. (1998): Preface, *Proceedings of The Third International Conference on EcoBalance*, Tsukuba Nov. 1998

Yano, M. , Ohta, T. , Takahara, Y. & Itsubo, T. (1998): Activities of the LCA-National Project in Japan, *Proceedings of The Third International Conference on EcoBalance*, Tsukuba Nov. 1998

(1999年6月30日受理)