近年における LCA の国際的動向

伊 坪 徳 宏*

1. は じ め に

ローマクラブによる成長の限界の提言、リオ宣言の採択、オゾン層保護のためのウィーン条約や気候変動に関する国際連合枠組条約などの環境保護を目的とした条約締結などに見られるように、多くの環境保全活動が国際的に展開された結果、今やあらゆる産業界において環境対策や保全活動が行われるようになった。その中で LCA (ライフサイクルアセスメント) は 1990 年代初頭に日本に紹介されて以来、環境マネジメント構築のための必須のツールとして広く利用に供されてきた。欧米では LCA が日本に紹介される以前から、LCA の重要性に注目しており、これまでに多くの調査研究がなされている。現在もクオリティの高い調査研究が欧州を中心に行われている。LCA を実際に行うためには、LCA の現状を基に長所と限界を認識しておく必要があるが、LCA 先進諸国である欧州の状況をキャッチアップすることがそのための極めて有用な情報になるといえる。本稿では、特に欧州での調査研究活動を中心に紹介することで、LCA の現状と将来の方向性についてあわせて示す。

2. SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry : 環境毒物化学学会)

日本では企業が自社製品の LCA を実施する場合は、社内に専門グループを組織化して分析を行うことが多く見られるのに対して、欧州では、大学や研究機関、コンサルティング会社等のエキスパートが企業等から依頼を受け検討を行うというケースが多い。SETAC (環境毒物化学学会) では、このような専門家が実施した調査研究を集約する場として、これまでに多くの議論がなされてきた。表 1 に近年の SETAC-Europe 総会における LCA 部門の発表構成を示す。ここでわかるように、最近のトピックとしては、影響評価手法、ケ

ーススタディを含めたインベントリ分析、LCM (ライフサイクルマネジメント) や環境経済評価など他の環境評価ツールとの関連に関する検討に大別されると考えられる。以下にパート毎に概要を述べる。

(1) インベントリ・データベース

SETAC-Europe では、影響評価に比べてインベントリの研究事例が少ないのが 1 つの特徴であったが、最近是国内データベース開発、データフォーマットの構築に関する検討を中心に多くの議論が行われている。現在スイス、イタリア、日本、韓国において、国家プロジェクトとしてインベントリデータベースの開発に向けた検討を行っている。その中でも特にスイスと日本が大規模なプロジェクトを行っている。表 2 に双方の国家プロジェクト間について比較したものを示した。両国とも、迅速、かつ、簡便に要求されるデータが提供されることを意図して、検索機能を付与したデータベースをインターネットにより開示することを目的としている。スイスでは、包装材料の LCA データベース⁽¹⁾など既に多くの著名なデータベースが公表されているため、ここでは様々な研究機関によりアップデートされた成果を 1 つのデータベースに統合することを目的にしている。日本では信頼性の高いデータが広く利用されることを意図して、工業会が自身の管轄下にある製品等のデータを全てオーソライズした後に提供するというスタイルを採用する⁽²⁾。慎重な審査と工業会間のコンセンサスを得ることが必要となるため、公表までの時間を要するが、成果物は信頼性の高いものとして実施者は安心して利用することができるという利点がある。また、スイスの場合は約 5000 プロセスものデータをデータベースに格納するとともに、実施者が指定する製品に対して LCA の計算を行う機能も含めたソフトウェアも合わせて開発する。プロセスデータは専門家以外にとっては詳細すぎてわかりにくく、計算機能があってもソフトウェアを理解する必要があるということを考慮し、日本ではプロセスレベルよ

* 産業技術研究所ライフサイクルアセスメント研究センター (〒305-8569 つくば市小野川16-1)

Recent International Activities Related with Life Cycle Assessment; Norihiro Itsubo (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba)

Keywords: society of environmental toxicology and chemistry (SETAC), database, data format, impact assessment

2001年6月18日受理

表1 近年における SETAC での発表内容.

		1998	1999	2000
インベントリ手法 (配分, シナリオ分析等)		7	3	8
インパクト手法	特性化	13	18	18
	統合化	3	7	4
	その他	3	3	2
意思決定		7	8	3
不確実性分析		6	3	1
ケーススタディ	電力	3	1	1
	廃棄物処理・リサイクル	5	6	11
	輸送	1	3	0
	ビル	4	2	1
	その他	9	5	11
他ツールとの関連	MFA, SFA	2	3	4
	LCC, 環境会計	3	1	10
ビジネスツール (LCM)		2	0	6
スクリーニング		3	2	0
その他		8	4	2

表2 LCA 国家プロジェクト間の比較.

	日 本	スイス
参加機関(データ提供者)	工業会(70)	研究機関(5)
対象プロセス(品目)数	約350品目	約5000プロセス
データフォーマット	独自	SPOLD ベース
計算機能	無し	有り
検索機能	有り	有り
公開媒体	インターネット	インターネット
言 語	日本語	英語

り上位の製品レベルのデータを開示することとしている。スイスが専門家を対象としているのに対して、日本は企業内実務者を対象としているといえる。いずれも2003年に成果を公表する予定である。

これらの国家プロジェクトによる成果をさらに統合するための試みも行われようとしている。UNEP と SETAC による共同プロジェクトである Life Cycle Initiative では、各国のデータベースや産業界レベルのデータベース等を単一のデータフォーマット上に搭載することで、LCA を発展途上国を含めて国際的に普及させることを狙いとしている。このプロジェクトが機能すれば、他国における製品データに関して、より信頼性の高いデータが入手することができるものと考えられる。これは資源輸出国である我が国にとっては大きな意義を有する。

データフォーマットは環境負荷情報のみならず出所や時期など一般情報を含めた LCA データを統一した形でデータベースに収めるための特定の書式を意味する。現在様々な機関

が LCA に関わるソフトやデータベースを開発している。これらのデータの互換性を高め、データベースの共有性を担保するためにはデータフォーマットに一定のルールを決めることが有効である。ISO14048⁽³⁾では、データフォーマットの設定方法に関する国際標準化に向けた検討が行われている。現在 CD(Committee Draft 委員会案)の段階であるが、近いうちに規格化される見通しである。

(2) 影響評価

影響評価における主な研究分野は地球温暖化、オゾン層破壊などのインパクトカテゴリレベルで評価する特性化と様々な環境影響間の重要度を重み付けして単一指標化まで行う統合化とに大きく分かれる。以下に各パートに分けて欧州の動向について紹介する。

(a) 特性化

SETAC は毒性学を対象としてきたため、欧州における影響評価手法は人間毒性、生態毒性に関わる検討が先行的に行われてきた。日本では工学出身者が多いため、LCA の導入時期は特に影響評価のレベルは欧州より3~5年は遅れていると評されたものである。以前から日本では、影響評価に対する関心は比較的統合化に対して強かったため、統合化に対する検討はこれまでにいくつか行われてきた。影響評価の中でも特に遅れているのは特性化の部分である。表3にインパクトカテゴリ毎に主な特性化係数の特徴についてまとめた。インパクトカテゴリによって実務に耐えるものもあれば、まだ研究段階のものもある。地球温暖化、オゾン層破壊など、従来から検討されてきている項目については GWP(Global Warming Potential: 地球温暖化係数)、ODP(Ozone Depletion Potential: オゾン層破壊係数)など国際機関により権威化されている指標が存在する。地球温暖化やオゾン層破壊における評価においては、これらの係数が利用されるケースが殆どであり、LCA の中でも合意形成されていると考えて良い。その一方で、毒性物質、光化学オキシダント、富栄養化などのローカルレベルの影響評価手法は以前よりクオリティが向上しているものの、まだ合意には至っていない。これらのインパクトカテゴリにおいては、例えばインベントリが同じであっても排出された場所によって発生する影響量は大きく異なる。そのため、精度良く評価するためには、排出地域のバックグラウンドが評価手法中に反映されなくてはならない。欧州ではこれらのカテゴリに対する特性化係数を検討された事例が幾つかあるので、これらを利用したケーススタディを実施することができる。しかしこれらの係数を日本での評価に適用することはできない。したがって、日本のバックグラウンドに対応した影響評価手法が開発されることが期待される。

近年欧州では騒音や資源評価、放射線、土地利用など、従来 LCA で取り上げられることが少なかった新規のインパクトカテゴリについての検討が積極的に行われている。LCA は資源生産性を向上するための情報を得るための有力なツールとしても位置付けられており、特に資源消費に関わる影響評価手法は早急に構築されなくてはならない。

(b) 統合化

表3 特性化係数の代表例とその開発状況.

インパクトカテゴリー	地球温暖化	オゾン層破壊	酸性化	富栄養化	人間毒性	生態毒性	光化学オキシダント	資源消費	土地利用
代表的な研究事例と算定根拠(括弧がき)	GWP(放射強制力の上昇への寄与)	ODP(オゾン破壊への寄与)	AP(プロトン排出の寄与)	NP(バイオマス生成に対する寄与)	HTP(暴露量と潜在無影響量との比)	AETP, TETP, SETP(暴露量と潜在無影響量との比)	POCP(オキシダント発生への寄与)	ADF(消費量と埋藏量の比)	なし
オーソライズの程度	○(Nature, IPCCに掲載)	○(WMO, モントリオール議定書において採用)	△(LCAの中では利用例が多いが、合意無し)	△(LCAの中では利用例が多いが、合意はなし)	△(暴露量と無影響量の比で取捨することはある程度合意)	△(暴露量と無影響量の比で取捨することはある程度合意)	○(UNEOEで公表)	×(考え方によって評価が大きく異なる恐れ)	×(明らかに発展途上段階、最近研究対象となっている)
信頼性	○	○	△(地域情報が適切に考慮されない)	△(地域情報が考慮されない)	×(暴露評価、影響評価ともに未成熟)	×(暴露評価、影響評価ともに未成熟)	○?(実際の計測値と比較可)	○?(確認埋蔵量等は入手可)	×(信頼性を議論する前段階)
日本での適用性	○(グローバルレベルで適用可)	○(グローバルレベルで適用可)	△(APは適用できるが適切とは言えない)	△(NPは適用できるが適切とは言えない)	×(暴露モデルは欧州対象)	×(暴露モデルは欧州対象)	×(オキシダント生成モデルは欧州対象)	○(グローバルレベルで適用可)	×(欧州でも適切なモデル無し)
例	CO ₂ : 1, CH ₄ : 24.5, N ₂ O: 310	CFC-11: 1 HCFC22: 0.04 CH ₃ Br: 0.64	SO ₂ : 1 NO ₂ : 0.70 NH ₃ : 1.88	PO ₄ : 1 N: 0.42 P: 3.06	1,4-DCB: 1 Benzene: 2000 PM10: 0.9	排出経路別に記載	Ethylene: 1 Methane: 0.007 Propane: 0.42	鉱物資源, 生物系資源毎に設定	土地利用形態別に係数決定
課題, 問題点	評価時期(20年, 100年, 500年)によって係数が異なる	評価時期によって係数異なる	排出→沈着の関係づけ, 沈着後の影響評価が未成熟	水域による影響量の違いが反映されない	暴露量の評価モデル, 被害量の算定方法が未成熟	生物種間の感度の違い, 無影響量の取り方が合意無し	メゾスケールの評価結果からの拡張方法	資源消費による環境影響そのものの考え方が不明確	土地利用による影響形態が複雑かつ多数

統合化手法は、最近2年間のうちに状況は一変した。従来は特性化の結果(ex. 放射強制力の上昇への寄与、オゾン破壊の寄与量、プロトンの排出量など)に対して、インパクトカテゴリ間の重要度を重み付け係数として適用することで統合化を行う手法(これをミッドポイントタイプと呼ぶ)が一般であった。しかしこのアプローチでは、重み付けの根拠が不明確であるとともに、インパクトカテゴリの項目数が多い(10項目程度)ため、適切な統合化が行われないなどの問題点があった。現在は環境問題を經由して、何がどの程度被害量が発生するかという被害量評価(熱中症患者が何人増えるか、皮膚癌が何ケース増えるかなど)をベースに議論する手法(エンドポイントタイプと呼ぶ)が注目されており、主流となりつつある。図1に従来型であるミッドポイントアプローチと現在検討中であるエンドポイントアプローチとの違いについて示した。エンドポイントタイプの手法を構築するためには多くの手法論やデータを導入しなくてはならないため、手法開発のための時間がかかるだけでなく、信頼性の観点から疑問視される声もある。しかし、算定に含まれるレセプタや影響量が明確となり、影響評価手法の透明性は大きく改善されるメリットがある。表3に主な統合化手法について示す。EPS⁽⁴⁾、ExternE⁽⁵⁾、Ecoindicator '99⁽⁶⁾はいずれも欧州で開発された著名な影響評価手法であるが、表4に示したように対象地域、保護対象(どの環境要素を考慮するのか)、評価方法、最終結果など、手法によって大きく異なる。現在日本においてもLCAプロジェクトにおいて、日本版の影響評価手法が開発中である。評価レベル、対象範囲など、欧州の手法と比べても遜色無く、本手法が構築されることで日本における評価レベルの向上に大きく貢献することが期待される。

(3) ライフサイクルマネジメントとその他のツール

LCAは製品等の環境側面に関する評価である。意思決定

図1 ミッドポイントアプローチとエンドポイントアプローチの違い.

者は環境のみならず、機械的特性やコスト、安全性などについても分析し総合的に判断しなくてはならない。そこで、意思決定のための判断要素を包括したツールを開発するための研究としてLCM(Life Cycle Management)が最近注目されている⁽⁷⁾。SETACではLCM作業部会を1998年に設置し、LCMの定義から実施方法、評価手法間の比較等を行ってきた。この成果は本年度中に報告書として公表される予定である。しかし、多種多様である製品側面を包括的に評価しようとするLCMを一本化するのは極めて困難な課題である。現在は研究機関や企業などが組織ごとに独自の手法を開発しているという状況であるが、多くの議論を経て汎用性の高いツールを開発するための検討に今後進展するものと考えられる。

以上のようにLCM自体は単一のツールというより概念に近いというのが現状である。LCMの現実性と有用性から見て、最も注目されているのはLCCによる経済評価とを組み合わせた検討である。例えば家電製品のLCAによれば使用時の環境負荷が最大であっても、LCCを行うと製品生産ま

表4 環境影響統合化手法間の特徴の比較.

手 法 名	EPS	ExternE	Eco-indicator '99	LCA プロジェクト
考慮されている 環境負荷物質	Input (資源: 81+土地: 5=86) Output 169	13	人間の健康 364 生態系の質 172 資源 40	未定 (1000以上)
対象地域	スウェーデン	ヨーロッパ	ヨーロッパ	日本
保護対象	- 人間の健康・生態系の生産能力・非生物系資源 - 生物多様性(審美性)	定義なし	- 人間の健康 - 生態系 - 資源	- 人間の健康・社会資産 - 生物多様性・一次資産
インパクトカテゴリー	- 人間の健康(5) - 生態系の生産能力(6) - 非生物系資源(81) - 生物多様性(1) (審美性)	定義なし - 健康 - 生態系 - 材料	- 資源・地球温暖化 - オゾン層破壊・発癌性物質 - 呼吸器系疾患・生態毒性 - 酸性化/富栄養化 - 土地利用・放射線	- 地球温暖化・オゾン層破壊 - 人間毒性・生態毒性 - 酸性化・富栄養化 - 光化学オキシダントの生成 - 土地利用・鉱物資源 - エネルギー資源・廃棄物
評価プロセス	インベントリ→カテゴリエンド ポイント→単一指標	インベントリ→ 物理的被害→単 一指標	インベントリ→保護対象→単 一指標	インベントリ→特性化→カテ ゴリエンドポイント→保護対象→ 単一指標
統合化方法	CVM(文献)	CVM(文献)	パネル法	(コンジョイント分析, パネル 法)
単一指標	ダメージコスト	ダメージコスト	インディケータ	(ダメージコスト or インディケ ータ)
被害指標(健康)	YOLL	YOLL	DALY	DALY
被害量評価手法	アーベレージ	マージナル	マージナル	マージナル(主として)
利用方法	リスト化(インベントリの結果 に係数の積をとれば評価可)	ソフトウェア使 用	リスト化(インベントリの結果 に係数の積をとれば評価可)	リスト化(インベントリの結果 に係数の積をとれば評価可)

注: CVM (Contingent Valuation Method: 仮想評価法), YOLL (Years of Life Lost: 損失年数), DALY (Disability Adjusted Life Years: 障害調整損失余命): YOLL が死亡による影響のみ, DALY は死亡と障害の両方を考慮した評価

でのコストが最大であるという結果が出ることもあり, コスト評価を独立して行う意義が高いことを示されている. マネジメントという観点から見れば, 経済情報は企業内意思決定を行うのに最も重要な判断要素であるといえる. またコスト情報は比較的入手しやすく, LCM の評価要素としても現実性の高い評価が実施できるという特徴を有する. これを反映して近年の SETAC では LCC と LCA を併用した発表件数が増加している(表1). しかし, これまで行われた LCC の検討の殆どはライフサイクルに含まれる全てのプロセスコストの総和によるものであり, 環境負荷物質の排出によって社会が支払う費用, すなわち, 外部コスト(環境コストとも呼ぶ)が含まれていない. 現在は LCC の枠を越えて, 外部コストをも含めた TCA (Total Cost Accounting) を行って外部不経済を解消するための検討の重要性が指摘されている. 影響評価の統合化による指標がコストで表されれば, 外部コストの評価に利用することができる. 表4に示したように LCA プロジェクトでは外部コストの評価手法の確立に向けた検討も行っている. 今後本研究をさらに進めて TCA のケーススタディに利用できるツールを開発する予定である.

3. さ い ご に

欧州の動向を中心に LCA に関わる調査研究の国際的動向について紹介した. LCA 先進国といわれる欧州は, 我が国より早期に LCA を導入し, 研究レベルの向上に貢献してきた. 日本は導入時期が遅れながらも, 現在はエコバランス国

際会議において400人の内外の関係者を集めるなど, LCA に対する関心は急速に高まっている. 特に我が国では産業界において検討する割合が非常に多いのが特徴である. これは実社会でのニーズが極めて高いことを意味し, 研究者としては非常に心強い限りである. 現在は日本も LCA 先進国として位置付けられるまでに至っているが, LCA が真にマネジメントツールとして定着するまでには, 多くの課題が山積している. 更なる研究レベルの向上と評価事例の蓄積が望まれる.

文 献

- (1) Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL): Ökoinventare für Verpackungen, Schriftenreihe umwelt nr. 250, (1996).
- (2) 産業界環境管理協会: 平成12年度新エネルギー・産業技術総合開発機構委託, 製品等ライフサイクル環境影響評価技術開発成果報告書, (平成13年3月).
- (3) ISO/CD14048.2: Environmental management—Life Cycle Assessment—LCA data documentation format, (2001).
- (4) B. Steen: EPS-Default Valuation of Environmental Impacts from Emission and Use of Resources Version, (2000).
- (5) European Commission Directorate-General XII Science, Research and Development, ExternE Externalities of Energy, (1999).
- (6) M. Goodkoop and R. Spriensma: The Eco-indicator 99 A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Methodology Report, (1999).
- (7) 伊坪徳宏: 環境配慮経営に向けた LCA の応用としての LCM, 環境情報科学, 29-1 32-37, (2000).