特集「社会システムのLCA: Social/Dynamic LCAの確立を目指して」

総説

ELCEL概念によるSocial/Dynamic LCAへの挑戦

加藤 博和・柴原 尚希

Challenge to the Social/Dynamic LCA with the ELCEL Concept

Hirokazu KATO and Naoki SHIBAHARA

Synopsis:

Objective. “ELCEL (Extended Life Cycle Environmental Load)” is a concept for evaluating changes in environmental impacts over the entire range of an infrastructure provision project’s influences. The application of the ELCEL concept to the environmental evaluation of a project which changes a social system is examined.

Results and Discussion. A social system consists of various activities in a society, as well as the hard or soft infrastructure that supports them. The life cycle negative environmental impact of infrastructure has been researched using various approaches. Conservative infrastructure LCA traces unique development paths that differ from LCA in the industrial product field because infrastructure provision can change the entire social system. Not only the evaluation considering spillover effect to the whole society but also the consideration of the interrelationship among components in a social system is important. This approach is called “Social/Dynamic LCA” which means that system boundary needs to be extended, and its extension means introduction of the ELCEL concept. In addition, the main problems for establishing LCA for social system by the ELCEL concept are described. They can be summarized as follows: a) setting of spatial boundary; b) setting of temporary boundary; c) management of the trade-off between uncertainty and boundary; and d) a framework of the project evaluation method including LCA.

Conclusions. The key point to solve these problems by applying LCA to social systems is the Social/Dynamic LCA approach. We have tried to introduce the ELCEL concept to establish a methodology for evaluating social systems based on life cycle thinking, but several problems still remain. Authors will continue the work to establish the ELCEL concept.

Keywords: ELCEL (Extended Life Cycle Environmental Load); Social system; Infrastructure; Transport

1. はじめに

著者は、交通システム整備プロジェクトを対象としたLCAの適用方法について検討を行う中で、「拡張ライフサイクル環境負荷 (ELCEL: Extended Life Cycle Environmental Load)」の概念を提示するとともに、それに基づく評価の必要性を主張してきた¹⁾。例えば、ある地区に新たに道路を整備するプロジェクトを考えてみよう。通常のISO-LCAの枠組で評価する場合は、その道路が、建設されてから廃止になるまでのライフタイム全体でどれだけの環境負荷を発生したかを評価することになる。しかし、当然ながら、これだけでは道路整備によって社会全体

の環境負荷がどう変化するかを評価することはできない。道路整備プロジェクト自体は環境負荷が必然的に生じるので、それ自体を対象として評価を行うのであれば、その環境負荷をいかに少なくするかという観点のみの検討になってしまう。しかし、一般に道路整備は、道路交通流を整流化し、その結果として道路網全体の交通パターンを変化させ、環境負荷を増減させる効果を生む。交通計画の観点からいえば、これこそがプロジェクト実施による環境負荷評価の対象である。さらに、道路交通パターンの変化は、広く地域全体の生活・生産様式を漸次変化させ、ついには空間構造をも変化させるインパクトも持っている。これは

やはり、地域から発生する環境負荷を増減させることになる。このような効果の計量は、交通計画の分野よりはむしろ経済学で扱われる課題である。

著者がELCEL概念による交通システムのLCAを提案してきたのは、交通システムを「真に環境の面から評価」しようとするれば、上記のアプローチがいずれも断片的に過ぎないという単純な問題意識によるものである。すなわち、そのプロジェクトに伴って影響が生じる範囲全体が評価対象になるようにシステム境界を設定し、プロジェクトによる環境負荷の増減に含めて考えるというのがELCELの概念である。これは決して著者だけの意識ではなく、例えばある航空会社の経営者は、競合する高速鉄道を運営する会社が輸送人kmあたりCO₂排出量の少なさをPRしているのに対し、「鉄道を作るまでに膨大なCO₂を出していることを計算に入れていただかないと」と述べている²⁾。航空機と高速鉄道の環境性能については、著者らが既にLCAを実施している³⁾が、これもやはりELCEL概念での評価によって初めて可能となるものである。

本稿では、交通システム整備を含む、社会システムを変えさせるプロジェクトを対象に、それを環境面から評価するための方法論としてELCEL概念適用の検討を行う。もちろん、ELCEL概念はISO-LCAからは外れたものであるかもしれないし、ISO-LCAがELCELに踏み込んでいないことには合理性が十分に存在している。しかし、それだけをもってELCEL概念が無効であるということもできない。ELCEL概念による評価がはらむ問題点を乗り越えるためには多くの解決すべき事項があるものの、実際に著者らも含め、多数の取り組みが進められている。

そこで、社会システムのLCAとはどのようなものであるかを論じ、そのためにELCEL概念が果たす役割と、その適用にあたって考慮すべき点について概説する。

2. インフラ LCA

本稿で「社会システム」とは、社会での諸活動とそれを支える下部構造としてのハード/ソフトインフラから構成されるとする(図1)。社会システムの中で最も包括的なものは「都市」「地域」あるいは「国」である。これらの環境負荷は、環境・経済統合勘定(SEE: System of Integrated Environment and Economic Accounting)やマテリアルフロー分析(MFA: Material Flow Analysis)といった手法で評価される。しかし、例えば交通システムや廃棄物システムといった部分的な社会システムを捉えて評価するニーズも存在する。この場合、これらの手法では十分に捕捉できなかったり、それらを改変するプロジェクトの検討が困難であったりすることが往々にしてある。

社会システムのLCAを行うためには、まず、インフラ

図1 社会システムの構成と人間活動

にLCAが適用できるようにする必要がある。交通施設や廃棄物処理施設といった社会基盤施設(ハード的なインフラ)を対象としたLCA(本稿ではILCA (Infrastructure Life Cycle Assessment)と呼ぶ)⁴⁾は、日本で際だって研究が行われてきた分野である。インフラは長い耐用年数を有するために、従来、費用や効果影響の評価に関してライフサイクル的な分析が実施されてきていた実績があり、それらがベースとなったからである。そのため、SETACやISOにおける検討がベースとなっている工業製品分野のLCA(本稿ではPLCA (Product Life Cycle Assessment)と呼ぶ)とは異なった独自の発展経過をたどってきている。

開発プロジェクトの環境影響評価手法としては、「環境アセスメント(EIA: Environmental Impact Assessment)」が従前から実施されている。これは立地場所の周辺環境を評価するものであったため、その評価に地球環境問題への対応を加える必要性からILCA研究が進められた側面もある。各種インフラを対象としたケーススタディも行われ、1990年代に一通りのILCA研究が出そろった⁴⁾。これらの成果のとりまとめとして、土木学会がインベントリ分析に用いるCO₂排出原単位の「学会推奨値」を整備し、さらに建設業へのLCA適用の考え方について整理を行った⁵⁾。インベントリ分析の手法は、各材料の使用量にその環境負荷原単位を乗じるものであり、建設費の積算と同じ手順である(建設単価を原材料生産分も考慮された内包環境負荷原単位に置き換えればよい)ことから、原単位データベースの整備に伴ってソフトウェア開発も進んできている。

ILCAにおいて注意すべきは、評価対象範囲の設定である。PLCAのように、対象とするインフラに評価範囲を限定してしまうと、それを用いて行われる活動は変化しない(つまり機能は一定)という前提の下、その建設・維持管理・廃棄の仕方の違いによる環境負荷の変化を計量する方法としての利用に限定されてしまうからである。インフラとは、その整備の態様が供用後にその上で行われる活動を規定し、活動に伴う環境負荷を変化させるものである(と

いうより、それこそがインフラ整備の本来の目的である)。問題は、インフラ自体のインベントリ分析だけではその影響が捕捉できない場合があることである。

同じ建設部門に属する建築物のLCAでは、一般に供用後その建築物の中で消費される光熱水量が考慮される。光熱水量は、建築物の設計によって変化するとともに、建築物内部での生活・生産活動によっても変化することから、LCAによってこれらの影響をすべて評価していることになる。これは、廃棄物処理や下水道システムのLCAでも同様である。しかし、鉄道のLCAでは、インフラ部分だけを対象にすると、その上を走行する車両の環境負荷は対象外になってしまう。ただし、鉄道車両は鉄道会社が運行しており、その消費電力量や燃料消費量は容易に把握できるので、インフラと車両を一体のシステムとして扱うことで、建築物の場合と同様の評価分析が可能となる。道路の場合、その上を走行する自動車が発生する環境負荷を把握するためには、交通状況調査や需要予測手法の導入が必要となるが、これらは交通計画・交通工学の分野で既に行われており、その援用によって可能である。

そこで、交通システムを対象とするLCAにおいては、それらを構成するインフラや車両を含めたシステム境界を設定し、その範囲から生じる環境負荷を「システムライフサイクル環境負荷 (SyLCEL: System Life Cycle Environmental Load)」と呼び、推計・評価を実施することが多くみられる⁶⁾。この場合、車両や構造物・舗装・軌道といった、通常は別々に評価が行われるシステム内各構成要素について実施したインベントリ分析結果を統合し、評価を実施することから、インフラ自体の評価を拡張した一種のELCEL評価である。むろん、システムのライフタイムの途中で各構成要素が更新される過程も織り込む必要がある。SyLCELでの評価により、対象交通システムの整備が交通活動の変化を通して車両の走行に影響を与えるメカニズムが内部化されるため、運行方式やルート等に関する代替案の比較検討が可能となる。

一方、インフラ自体に評価対象を限定したILCAでは、建設において用いる原材料について、遡及的排出も含めたCO₂排出・エネルギー消費を推計し、それらを削減するための材料・構造・工法の選択を検討することに力点が置かれた。これは、ILCAがEIAを補完する手法として意識され、またインフラ自体のライフサイクルCO₂排出・エネルギー消費の大半が建設段階、特に主な材料である鋼やコンクリート起源分であることが原因である。このため、インフラ建設による材料の使用のみを対象に、その製造段階に遡及して環境負荷を推計することをLCAと称する調査研究も多数見られた。

原材料の製造段階への遡及的な環境負荷排出を評価す

るために一般的に用いられる手法が産業連関分析 (I/O: Input Output analysis) である。これは、部門間の取引量を行列形式でまとめた「産業連関表 (Input Output table)」を用い、原材料やエネルギーがどのようにして調査対象製品に分配されてきたのかをたどって分析していく方法である。プロセス解析 (積み上げ法) では、多くのデータが必要となる上に、遡及範囲の一部しか把握できないという問題があるが、I/Oを適用すれば、ある部門の消費拡大のために他の部門で誘発されている環境負荷発生量を無限段階までさかのぼって推計することができる。したがって、地域全体の平均的な環境負荷発生の構造を分析する場合に適しているが、部門分類が統計データで与えられてしまっているので、評価目的に対応できない可能性もある。このため、ILCAにおいては、全体としてプロセス解析を実施しつつ、基本的な材料についてはI/Oによって算出された環境負荷発生原単位を用いるハイブリッド法 (組み合わせ法) を用いるのが一般的である。実際、様々な研究機関によって提供されている環境負荷発生原単位のうち大半はI/Oによって算出されている。ただし、I/Oでは公共投資の短期的な生産誘発効果は把握できても、供用後にインフラが使用されることによって社会システムにもたらされる長期的な波及効果を把握することはできないことを付記しておく。

ILCAは、1990年代に調査研究が多く実施されたが、その後現在に至るまで低調となっている。これは、ILCA研究の大半がインフラ建設を評価対象とするものであったことに起因する。このことによって、評価可能な代替案が原材料、製造・施工法、使用年数設定といったものに限られてしまう。また、ライフサイクル環境負荷・エネルギーが鋼・コンクリートの使用量でほぼ規定されてしまう上に、建設費とも相関が高いために、わざわざLCAを行わなくとも結果がある程度想定できてしまう。そして、様々な種類のインフラについて一通りインベントリ分析が行われたため、研究対象として認識されなくなってしまったことも否めない。一方で、インフラが社会システムに及ぼす影響を考慮できるようにLCAを発展させる研究については、ISO-LCAにおけるバウンダリ設定から逸脱し、その影響メカニズムの客観的把握が容易でないことから、やはり研究がなかなか行われない状況になってしまった。

3. 社会システム LCAへの展開と ELCEL

社会システムを変更しうるインフラ整備による環境負荷変化の評価を行うためには、PLCAの手順をそのままインフラに適用していても埒があかず、その整備によって社会に対して生じる波及効果を含めた評価が必要である。このとき大切なのは、「社会システム」では、その構成要素が互いに関係を持って変化するということである。道路整備に

よって交通状況が変化し、それに伴って人々のライフスタイルが変化するのであれば、それらを一体として捉えることが必要となる。同様に、例えばコンビニエンスストアや携帯電話、インターネットも、人々のライフスタイルを大きく変化させ、なくてはならない存在になっているという意味ではインフラとして捉えられる。これらについても、その整備や普及・充実の評価を、単に店舗や装置、回線のライフサイクルだけに注目してLCAを行ってはいは、社会システム変化の評価には至らない。

このような問題意識に対応すべく、稲葉⁷⁾が提唱したのが「Social/Dynamic LCA」である。これは、長期的に環境負荷が小さい社会を目指すための手法としてのLCAの発展の方向性であり、その定義は以下の通りである。

Social LCA: 評価対象を「単一製品」から「企業」「産業」に広げるとともに、「経済や市民社会との係わり」の視点を加える。

Dynamic LCA: 時間軸を考慮する。すなわち、価値観の変化や技術革新を評価に取り入れる。

この2つのアプローチが融合することで、環境負荷が小さい社会システムを構築する手法に昇華させることが究極の目標であると稲葉は述べている。この構図を交通システムに当てはめると、図2のように整理できる。社会システムを変化させるインフラ整備・充実の影響は、その部門や地域のみにとどまらず、より広範囲な部門・地域や場合によっては社会全体へ波及し、しかもその影響は長期にわたることから、当該インフラのみの考慮では不十分である。また、評価対象となる社会システムの性能が必然的に変化し、評価においてはその考慮も必要となる。例えば、廃棄物処理システムのLCAでも、リサイクルを評価しようとすれば、リサイクルによるシステム外部の環境負荷変化や負担額変化に評価範囲を広げる必要がある。

以上のことから、PLCAやILCAと比較した社会システムLCAの要点は、以下の3点を再検討することに集約される。

- 空間的なシステム境界の設定
- 時間的なシステム境界の設定
- 評価指標の設定

図2 交通システムとSocial/Dynamic LCAの関係(稲葉⁷⁾の提案()部分)に加筆)

a) およびb)については、評価範囲を対象とするインフラ・製品のみに限るのではなく、その整備・充実により生じる効果が波及する範囲にまで拡張して評価を実施することによって対応できる。これこそがELCELの概念である¹⁾。言い換えると、対象インフラ自体を評価範囲とするLCAに対し、それが人間活動を支える社会基盤として機能することに着目し、その上での活動パフォーマンスを評価するためにシステム境界を広げた、いわば活動ベースのLCAフレームがELCEL概念である。

交通システムを対象とした場合、システム境界の設定と分析可能な代替案との関係は表1のようにまとめられる。この表では、2章で説明したSyLCELとELCELの違いについて、前者は代替案を検討する交通システム自体の評価であり、代替案と評価対象とで範囲が一致しているのに対し、後者はその交通システムの影響が及ぶ範囲での評価となり、代替案が設定される範囲よりも評価対象範囲が広いものとして定義している。したがって、ELCELの場合には、並行路線・競合交通機関や周辺交通網への影響も含めて評価することが想定される。もちろん、周辺交通網全体を1システムととらえ、そのSyLCELを推計するという見方も可能であるが、この場合には、交通網全体について代替案を設定することが想定される。さらに評価対象範囲を広げて、産業、土地利用、社会経済への波及効果まで考慮することも考えられる。

表1 交通システム整備を対象とするLCAの評価範囲の設定と分析できる代替案との関係

	範囲	分析できる代替案
LCEL	インフラの建設・施工・維持補修・廃棄 車両の製造・維持補修・廃棄	同一機能を有するインフラ・車両の原材料、製造・施工法、使用年数
SyLCEL	システムを構成するインフラ・車両のLCELの合計	交通システムの幾何構造、運行方式、ルート等
ELCEL	SyLCEL + システム整備によって影響を及ぼす他の交通システムや社会全体の環境負荷変化	整備に伴う波及効果を含めた交通システムの運行方式やルート等の計画

ELCEL概念を導入した場合に問題となるのが、c)の評価指標の設定である。対象とするインフラ・製品のみを評価範囲とするLCAでは機能単位の設定が比較的容易であるが、ELCELでは社会システムへの影響を扱うため、それも含めた機能単位の設定が、理論的整合性をとるために必要となる。これについては4章で詳しく述べる。

ELCELによる評価を可能とするアプローチの1つは、システム境界を都市・地域全体とすることで、プロジェクトの影響範囲を無条件に包括してしまうことである(むしろ、都市・地域の外にまで影響が広がる場合もありうるが)。これは、対象地域内で空間的に広がって配置されている多数のインフラとそれを利用して行われる活動を合わせて1つのシステムと考え、その環境負荷をSyLCELとして一括で推計・評価するものである。この場合、対象となるインフラや活動が膨大な量となるため、それぞれのインベントリ分析を詳細に行うことは現実的でない。次善の方法として、各インフラについて標準的な構造を設定し、そのインベントリ分析を実施しておき、インフラに伴う環境負荷量の原単位として利用する「概略LCI (Life Cycle Inventory)」⁸⁾の手法が提案され、そのための環境負荷原単位データベースを構築する試みが行われている⁹⁾。この手法を用いると、インベントリ分析がかなり簡便になる。さらに、都市開発や交通機関整備の計画段階のように、それを構成する各インフラの詳細な仕様が決まっていなくても分析を実施することができる。そのため、プロジェクト実施に関する意思決定の早い段階で環境への配慮を行い、ゼロオプションも含む複数代替案から適切なものを選択するための手続きである「戦略的環境アセスメント (SEA: Strategic Environmental Assessment)」においてLCAを活用することもできる。しかし、概略LCIでは必然的に、標準構造物の設定に起因した誤差が推計結果に内包されることになる。

ELCEL評価を行う際に重要となるのは、インフラと活動、あるいは活動どうしの相互関係の表現である。単に都市・地域の環境負荷総量やその部門別内訳を求めるのであれば、マクロ的な推計や、各部門の分析結果の積み上げができればよい。しかし、インフラを整備すれば当然ながら諸活動が変化し、それに伴う環境負荷も変化するし、その捕捉のためにELCEL概念を導入するのであるから、相互関係について何らかの仮定やモデリングを行うことが必須となる。例えば、交通システムの新規導入によって人間の行動が変化し、輸送総量や機関分担率が経年的に変化することで環境負荷も変化する。この効果は、導入シナリオによる需要予測の結果に依存するため、その精度が評価結果に影響を与える。また、評価範囲の設定にも客観性が要求される。

ELCELを理論的に計量する方法として、応用一般均衡分析 (CGE: Computable General Equilibrium) が適用されることがある。CGEとは、各部門の需給関係と価格変化をミクロ経済学の多部門市場均衡の理論に基づいて推計するものである。これによって、ある部門の消費拡大が価格決定メカニズムを通じて他の部門に広がっていく様子を無限段階まで追っていくことができ、またその範囲は市場全体であるため、システム境界の設定を気にすることなくインフラ整備の波及効果を分析するモデルとして活用できる。ただし、CGEは政府統計に基づくI/Oと同様、使用データが部門区分の粗い統計に依拠するため、LCAが想定する多様かつ詳細な技術選択代替案を扱うことは困難である。一方、プロセス解析による積み上げ型の評価では、波及効果の把握範囲について客観性を保持することが困難であるものの、細かな代替案の検討が可能であることが大きな利点である。

4. 社会システム LCA の諸課題

本稿では、社会システムを変化させるインフラ整備プロジェクトをSocial/Dynamic LCAの考え方で評価する際の、ELCEL概念導入の必要性を論じてきた。これは要するに、社会システムという広大な空間・時間的広がりを持つ対象の評価を包括的に行うことであり、またその機能単位を設定することでもある。一方、プロジェクトの経済的評価手法として一般的である費用便益分析 (CBA: Cost Benefit Analysis) においても、プロジェクトによる波及効果を社会全体でとらえ、貨幣単位の純便益 (Net Benefit: プロジェクトによる総便益から総費用を差し引いた値) として統合評価する。これはELCELにおける評価対象範囲と相似であり、LCAでもLIME (Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling) のような環境負荷の統合評価手法によって単一指標化できることから、CBAとELCEL概念は類似したアプローチである(なお、経済的評価において、インフラ自体を評価対象とするILCAにあたるのが財務分析である)。このため、ELCEL概念に基づくLCAの活用に関する研究が土木計画・交通計画の分野で広まりつつある(例えば、10, 11)。

しかしながら、ELCEL概念による社会システムLCAを理論的・実務的に洗練された方法論として確立するまでには、まだ多くの問題点がある。主な課題をISO-LCAの手順に沿って整理すると図3に示すようになる。以下で、その各要素について詳細に説明する。

a) 空間的システム境界の取り扱い

ELCEL概念に基づく環境負荷評価においては、システム境界設定の妥当性や活動レベルの設定・モデル化手法の妥当性に問題点をはらむ。積み上げによる評価の場合、シ

図3 社会システムに関するLCA研究における諸課題のISO-LCAフレーム上での位置付け

システム境界をどこまで拡張しても波及効果を完全に把握することはできず、マクロ経済統計に基づくMFAやI/O、CGEといった、波及効果を包括した評価手法との乖離が生じる。したがって、積み上げ法においてはその完全性がどの程度確保されているかを検証する必要がある。

b) 時間的変化の取り扱い

インフラは一般にライフタイムが長い。維持管理の仕方によっては半永久的に存在し続けるものもある。将来の技術革新や老朽化による更新・淘汰によって寿命が変化することから、ライフタイム設定を事前に行うことは困難である。一方で、波及効果も含めた供用段階での環境負荷が量的に卓越している場合には、ライフタイム設定によってライフサイクル環境負荷が大きく左右されることから、その設定は重要となる。しかも、社会システムはライフタイムの異なる多数のインフラ・製品から構成されており、その間の関係も考慮しなければならない。以上のことから、ライフタイムの設定について客観性を保持できない場合には、感度分析を行っておくことが必要である。

また、長い使用期間のうちに技術革新や産業構造・ライフスタイル変化が生じることによって、供用段階での環境負荷が変化することが十分に考えられる。同時に、インフラを基盤として行われる活動量(需要量)の将来変化も考慮する必要がある。これらもLCAの結果を左右するが、従来ほとんど考慮されてこなかった。以上に対処するために、コーホート要因法を用いて構成要素の技術・ライフタイム変化シナリオをパラメータに取り込むとともに、需要変化シナリオも与えてシミュレートを実施することが考えられる。

なお、マクロ経済学においては、インフラ(ストック)の整備が後の経済(フロー)を変化させ、それによってインフラへの投資量を変化させ、さらに後の経済に影響を与えるという動学的変化をモデル化する「内生成長モデル」というアプローチが存在している。通常のI/OやCGEはある一時点での技術水準や市場均衡を静的に表現したものであり、例えば都市化やモータリゼーションの進行といったことがもたらす長期的な経済構造変化には耐えられないことから、この内生成長モデルをLCAとどう関連づけていくかについても、Social/Dynamic LCAの観点から検討する必要がある。

c) バウンダリと不確実性のトレードオフの管理

ELCELでの評価においては、システム境界を狭くとれば波及効果の捕捉は過小となるが、広く捉えようとするほど不確実性が大きくなるというトレードオフの関係がある。システム境界が広いと、分析のために収集すべきデータの範囲が大きくなり、精度は粗くなる。膨大なデータの一部しか収集できない場合には、推計に仮定を設けることとなり、誤差が増大し、結果の信頼性も低下してしまう。広範囲の評価では、結果に大きな影響を与える要素に感度分析を施すなど、不確実性の管理が必要である。

不確実性によるリスクの管理方法として考えられるのは、「確率的扱い」「感度分析」「割引」の3つである。確率的扱いとは、ある要因の不確実性が確率分布で表現できる場合に、それを取り込んでLCAを実施するものである。当然、結果も確率分布として表現されることになる。感度分析とは、不確実要因についてその値を変動させることで結果にどの程度の差が生じるかを確認することである。差が小さければその要素の変動は結果に影響を与えていない

ことになる。逆に大きい場合には、設定値による結果の違いを示すことが必要である。また割引とは、不確実性が大きいものについては推計値を小さく見積もるという方法である。一般的なLCAでは、現在と将来とで環境負荷のインパクトは等しいと暗黙に仮定されているが、CBAにおいては将来の不確実性を考慮して時間的割引率が一般に用いられる。インパクト評価に時間的割引率を導入する場合、その値の設定をどのように行うかの検討も必要である。これらの方法の確立は、ライフタイムの長い社会システムへのLCA適用においては特に重要である。

d) LCAを用いた評価のフレームワーク

LCAの評価結果をプロジェクトの総合評価に取り込むためには、そのフレームワークを再検討する必要がある。

インフラ整備は現地での土地改変を伴い、公害等の原因にもなるため、これに伴う直接的な環境影響の評価が重要であり、EIAで詳細に評価されている。その結果は、インフラが立地する場所の条件等によって大きく異なる。一方、LIMEをはじめとした統合化手法は、もともとLCAが製品を評価対象とすることから、平均的・広域的な環境影響評価を行うことを想定しており、インフラにそのまま用いることはできない。松野ら¹²⁾は地域の違いが考慮可能な環境負荷の重み付け法を提案しているが、EIAに比べると概略的な扱いである。またLCAでは、EIAで扱っている景観・アメニティや自然環境といった問題を扱うことができない。したがって、属地的評価を得意とするEIAと、広域的評価を得意とするLCAの役割分担と連携が必要となる。

LCA結果をCBAに代表されるような経済的評価手法に組み込むための考え方も未整備である。CBAの事例においては、貨幣換算された環境負荷を費用として算入することもしばしば行われているが、環境を貨幣価値に換算する方法や、換算すること自体の妥当性に関しても議論の余地がある。LIMEでは統合評価値を貨幣価値で表現しているが、その換算方法として用いられているコンジョイント分析や、既往研究でよく用いられてきた換算方法であるCVM(Contingent Valuation Method)については、その適用性や、適用における手順が内包する問題を深く検討する必要がある。

合わせて、ELCEL導入の際の環境効率(Eco-efficiency)指標の定義、具体的にはその分母となる機能単位についての検討も必要である。1つの方法として、CBAによって得られるNet Benefitの値を指標として用いることが考えられるが、実務で活用する際には、より簡便な指標も必要であろう。

経済的便益(Net Benefit)と環境負荷(ELCEL)をそれぞれ評価軸として視覚的に理解するために、図4に示すように、各代替案実施に伴うELCEL変化とNet Benefitの関係をベクトルで表現する。このベクトルの傾きの逆数は単位環境負荷量あたりに発生する便益であり、すなわち環境効

図4 環境負荷-純便益のプロット

率である。通常のインフラ整備Aは第I象限(環境浪費型開発施策領域)に表すことができる。B、Cのように第IV象限(環境配慮型開発施策領域)に表現される代替案は、純便益を確保しつつELCEL削減効果も生じる。省エネルギー技術導入によって環境負荷のみならず、ライフサイクルコストも削減される場合もこれにあたる。経済的なロスを承知で環境負荷削減を行うDのような代替案は第III象限(環境負荷削減施策領域)に含まれる。一般の交通施設整備ではこのような代替案は存在しえないが、考慮する環境問題がクリティカルな場合にはこのような交通利便性を低下させる選択もありえる。第II象限は故意には選択されない領域である。最も望ましいのは第IV象限にあたる代替案であるが、第I象限に入る場合には、A'のような環境基準を満たさない代替案が棄却されるのは当然ながら、ある程度の純便益を確保しつつ、ベクトルの傾きの小さい(環境効率の大きい)案を採用することがより望ましい。以上のように、このプロットは、ELCELによる評価結果をCBA結果と合わせて検討することにおいて有用である。

また、インフラ整備プロジェクトが発生する環境負荷を、供用後に生じる環境負荷削減を生み出すための投資と考えると、エコロジカルペイバックタイムや環境収益率(CBAにおける投資判断指標として用いられる内部収益率(IRR: Internal Rate of Return)の環境負荷版)を指標として用いることも有効である。

以上のように、社会システムを変化させるインフラ整備プロジェクトが環境に及ぼす影響を「真の意味で」ライフサイクル思考に基づいて評価するSocial/Dynamic LCAの方法論を確立し、プロジェクトの総合評価プロセスに組み込むためには、まだまだ多くの解決すべき課題が存在している。しかしながら、立ち止まっているわけにはいかない。インフラ整備を通じたエコ・イノベーションをサポートするべく、著者はELCEL概念の普及に向けた挑戦をこれからも続けていく所存である。

謝辞

本稿は、科学研究費・萌芽研究(19651016)の助成による成果の一部である。ここに記して謝意を表するものである。

参考文献

- 1) 加藤博和: IATSS Review, 26(3), (2001), pp.55-62
- 2) 奥村博文編集, “毎日新聞縮刷版”, 毎日新聞社, 東京, (2008), p.860(2008.10.24朝刊8面)
- 3) 柴原尚希, 加藤博和, 林良嗣: 日本LCA学会誌, 5(1), (2009), pp.40-46
- 4) 井村秀文編著, “建設のLCA”, オーム社, 東京, (2001)
- 5) 土木学会地球環境委員会 LCA評価・環境パフォーマンス評価研究小委員会編, “ISO-14030-40の規格化による建設業の環境パフォーマンス評価とライフサイクルアセスメント”, 鹿島出版会, 東京, (2000)
- 6) 稲葉敦監修, “LCAの実務”, 社団法人産業環境管理協会, 東京, (2005)
- 7) 稲葉敦, “「ソーシャルLCA」と「ダイナミックLCA」の検証と今後の方向性”, LCA日本フォーラムニュース, 26, (2002), pp.4-7
- 8) 伊藤武美, 花木啓祐, 本多博: 環境システム研究, 25, (1997), pp.379-384
- 9) 狩野弘治, 浅見均, 高橋浩一, 加藤博和: “第32回環境システム研究論文発表会”, 東京, (2004), pp.203-208
- 10) 斎藤文典, 青山吉隆, 中川大, 柄谷友香: “第33回土木計画学研究発表会(春大会)”, 宮城, (2006), CD-ROM
- 11) 金子翔一, 福田敦, 石坂哲宏: “第38回土木計画学研究発表会(秋大会)”, 和歌山, (2008), CD-ROM
- 12) 松野泰也, 稲葉敦, 水野建樹: 日本エネルギー学会誌, 77(12), (1998), pp.1128-1138