

社会資本・住宅ストックに起因した多種環境負荷のLCAに基づいた評価手法 LCA-based Methodologies for measuring Many Series of Environmental Load from Infrastructure and buildings

林 良嗣* · 加藤 博和** · 大浦 雅幸*** · 北野 恭央**** · 喜代永 さち子*****
by Yoshitsugu HAYASHI, Hirokazu KATO, Masayuki OHURA, Yasuo KITANO and Sachiko KIYONAGA

1. はじめに

地球環境問題に対する認識の高まりとともに、社会資本を対象としたLCA (Life Cycle Assessment) の研究が近年数多くなされている。ところが、その大部分は二酸化炭素 (CO₂) の推計に焦点を絞った研究となっている。そのため、土木工学分野では「LCA = CO₂を測る方法」とみなされることが多い。

しかし、工業製品の環境性能評価の分野で発展してきたLCAは、a)生産・消費・廃棄という一連のライフサイクルでの環境負荷総量を定量的に推計するとともに、b)発生するあらゆる環境負荷を網羅的に把握する手法の体系である。そこで本研究では、このようなLCAの基本的枠組に立ち返って、社会資本整備や住宅ストックに伴う各種環境負荷を網羅的に推計し、かつそれらを統合して評価するための方法論を開発することを目的とする。さらに、本研究で定義される環境負荷統合指標「EFP (Environmental Friendliness Point : 環境へのやさしさ指数)」を社会資本・住宅ストックに適用した試算例を示し、EFP指標の有効性を検証する。

2. 各種環境負荷の推計 (Inventory) 手法

LCAの流れを図1に示し、これに従って本研究における環境負荷評価の方法論を説明する。

まず、扱う環境影響カテゴリ (Impact Category) や比較対象となる代替案、分析対象のライフタイム

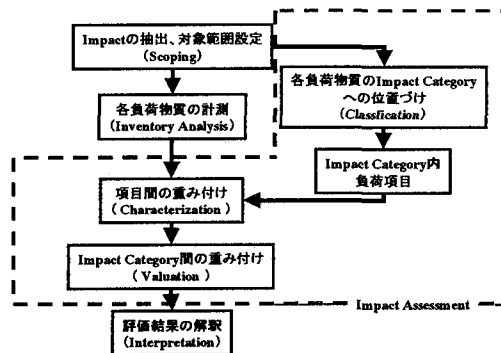


図1 LCAの分析プロセス

といった対象範囲を設定する (Scoping)。また、影響カテゴリごとに関連する物質を抽出し環境影響の関連付けを行う (Classification)。

本研究では、評価対象である社会資本・住宅ストックの特性を考慮して、表1に示す7カテゴリと、それに関連する15の負荷物質を扱う。

表1 本研究で扱う環境影響カテゴリと関連する環境負荷物質

| 環境影響カテゴリ | 関連する物質 |
|------------|---|
| (1)エネルギー消費 | エネルギー全体 |
| (2)地球温暖化 | CO ₂ 、N ₂ O、CH ₄ |
| (3)酸性雨 | NO ₂ 、SO ₂ 、NO |
| (4)オゾン層破壊 | CFC-11、CCl ₄ |
| (5)廃棄物処理 | 産業廃棄物 |
| (6)水質汚濁 | COD、T-N、T-P |
| (7)大気汚染 | NO ₂ 、SO ₂ |

次に、各負荷物質について、評価対象のライフタイムにわたる排出量を推計する (Inventory)。Inventory分析の結果は、物質の排出量や使用量で表すことができる最終的な客観値であり、本研究ではこれをPhysical End-Pointと呼ぶ。Inventory分析の手法は、組み合わせ法 (評価対象への投入物質・活動ごとに、産業連関表から得られた各環境負荷の内包原単位を乗じて内包環境負荷を求め、それを積み上

keywords : 地球環境問題、環境計画、ライフサイクルアセスメント

*フェロー 工博 名古屋大学大学院教授 地圏環境工学専攻
〒464-8603 名古屋市千種区不老町
TEL: 052-789-2773, FAX: 052-789-3837

**正会員 博(工) 名古屋大学大学院助手 地圏環境工学専攻

***正会員 修(工) 日本技術開発(株) 東京支社 道路・交通部

****正会員 修(工) 玉野総合コンサルタント 情報システム部

*****学生会員 名古屋大学大学院 博士課程前期課程
地圏環境工学専攻

表2 同一環境影響カテゴリ内の重み付け

| 影響カテゴリ | インパクト指標 | 物質 | 重み付け係数 | 重み付け設定機関 |
|-------------------|---|------------------|--------|---|
| (2) 地球 温暖化 | GWP ₁₀₀ (地球温暖化ポ テンシャル) | CO ₂ | 1 | IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) |
| | | N ₂ O | 270 | |
| | | CH ₄ | 11 | |
| (3) 酸性雨 | AP (酸性化ポテン シャル) | NO ₂ | 0.70 | CML (Center of Environmental Science of the University of Leiden) |
| | | SO ₂ | 1 | |
| | | NO | 1.07 | |
| (4) オゾン 層破壊 | ODP (オゾン層破壊 ポテンシャル) | CFC- 11 | 1 | WMO (World Meteorological Organization) |

げる方法)を用いる。内包環境負荷原単位には、鶴巻ら¹⁾による10種類の環境負荷に関する算定結果を用いることで、CO₂のみにとどまらず多種の環境負荷項目でのLife Cycle Inventoryを行うことができる。

3. 各種環境負荷の統合指標の算定

Inventory分析によって得られた各種環境負荷発生量に対し、同一環境影響カテゴリ内の物質間に影響強度に比例した重み付けを行うことで、カテゴリ内の統合指標を得る(Characterization)。さらに影響カテゴリ間に何らかの価値基準を与え、カテゴリの重要度を決定し、重み付けを行う(Valuation)ことで、異なるカテゴリの環境負荷を比較、あるいは合計することが可能となる。最後に結果に基づき環境負荷削減の方向性を探る(Interpretation)。

(1) 影響カテゴリ内での評価 (Characterization)

環境影響カテゴリ内に関連する物質が複数存在する場合、影響の大小に比例して重み付けを行い、物質質量から統合指標である環境影響ポテンシャル量に変換する。この量はCategory End-Pointと呼ばれるもので、各カテゴリの環境インパクトの大きさを表す量として科学的客観性が保たれる。本研究で用いた重み付け係数の一部を表2に示す。これは、現在最も科学的信頼性が高いものを使用している。

(2) 環境影響カテゴリ間の重み付け (Valuation)

各Category End-Pointに、環境影響としての重要性に比例した重み付けを行うことで、すべての環境影

響の統合指標としての影響ポテンシャルに変換する。ただし、影響カテゴリ間の重み付けは各環境問題に対する価値観の違いを必然的に内包するため、Category End-Pointの段階まで保たれてきた科学的客観性は失われる。これはCVMにおいても全く共通の課題である。

国内外のLCA研究においては、環境影響カテゴリ間の重み付け決

定手法が数多く提案されている。国際的に有名なものはEco-point(スイス、1990)、Simapro(オランダ、1991)である。ただしこれら海外での重み付け法では、a)顕在化している環境被害の違い、b)環境に対する価値観自体の違いがあり、日本で単純に適用することはできない。一方、日本での重み付け法をみると、永田²⁾は、多種の環境影響カテゴリを対象として、各カテゴリの重み付けをアンケート調査により求めている。しかし、アンケート調査で得られる重み付けは個人の環境に対する価値付けの合計であり、その個人が環境問題に精通していない限りは、客観的根拠に欠ける。そのため、環境負荷評価への適用は限定的にならざるを得ない。

松野・稲葉ら³⁾は、環境影響発生地の現状における影響カテゴリごとの現状値を用いて各カテゴリの重要度を算定し、それを重み付けに利用している。また、伊坪・山本⁴⁾は、各影響カテゴリを、a)環境影響をもたらす物質(Output)の量とその物質の環境基準、b)限りのある資源(Input)の投入量とその資源の埋蔵量、という2つに分け、それぞれについて環境基準や埋蔵量を用いた重み付け係数値設定方法を定義している。この手法はスイスのEco-pointを始め、海外においても多く用いられている。現在のところ最も科学的客観性の高い計測手法であると考えられており、本研究でもこの方法を用いて、以下のように重み付けを設定する。この重み付け方法は(1)式で表される。

$$E = \sum_j (\sum_i (E_i \times WI_{ij}) + \sum_j (E_j \times WR_j)) \quad (1)$$

E_i : 環境影響物質*i*の排出量

E_r : 枯渇性資源の使用量

WI_{ij} : 環境影響カテゴリ (環境影響物質排出)
 j の重み付け係数

WR_j : 環境影響カテゴリ (枯渇性資源消費)
 j の重み付け係数

ここで定義される E が、本研究で「Environmental Friendliness Point (EFP)」と呼ぶ環境影響ポテンシャル値である。右辺第1項の「環境影響物質排出」に該当するカテゴリは、(2)地球温暖化、(3)酸性化、(4)オゾン層破壊、(6)水質汚濁、(7)大気汚染、の5つである。これら各カテゴリの重み付け係数 WI_{ij} は(2)式で定義される。

$$WI_{ij} = \sum_i \left(\frac{1}{AE_{ij}} \times F_{ij} \right) \quad (2)$$

i : 環境影響カテゴリ j に関連する物質
 AE_{ij} : 物質 i の地球全体での年間排出量
 F_{ij} : 物質 i の低減係数

ここで、低減係数 F_{ij} は、実際の環境影響と容認される環境影響 (環境基準等) の比で算出する。

右辺第2項の「枯渇性資源消費」に該当するカテゴリは、(1)エネルギー消費、(5)産業廃棄物、の2つである。これら各カテゴリの重み付け係数 WR_j は(3)式で定義される。

$$WR_j = \sum_r \left(\frac{1}{AC_{rj}} \times \frac{1}{Y_{rj}} \right) \quad (3)$$

AC_{rj} : 資源 r の地球全体での年間消費量
 Y_{rj} : 資源 r の使用可能年数

年間消費量 AC_{rj} は、1989~1990年の排出データを基に算出する。使用可能年数 Y_{rj} は、(1)については原油の可採埋蔵年数や、新たな原子力によるエネルギー供給施設の建設を見直す世界的な動きなどを考慮して50年とする。また(5)については、産業廃棄物処理施設の処理可能量を資源とみなし、その資源を減少させていると考える。産業廃棄物処理施設の容量が国内の大都市において危機的な状況にあること、あらゆる構造物が近い未来に耐用年数を越え

表3 各種環境負荷のEFP換算係数

| 環境影響カテゴリ | 代表とする環境負荷 | EFP換算係数 | 単位 |
|-------------------|-----------------|---------|----|
| (1)エネルギー消費 | 1リットル(原油) | 1.00 | TJ |
| (2)地球温暖化 | CO ₂ | 0.0360 | t |
| (3)酸性雨 (7)大気汚染 | SO ₂ | 23.0 | t |
| (4)オゾン層破壊 | NO _x | 42.3 | t |
| (5)廃棄物処理 | 産業廃棄物 | 0.222 | t |
| (6)水質汚濁 | COD | 3.83 | t |

始める時期であることを考え、本研究では5年という値を仮定している。以上より算出されたEFP換算係数を表3に示す。

4. ケーススタディ

以上で構築した社会資本・住宅ストックのLCA手法を適用するケーススタディとして、本論文では1)地下鉄整備と2)都市内の住宅ストック更新を取り上げる。これらの詳細な推計手法及び評価結果についてはそれぞれ既報^{5), 6)}を参照されたい。

なお、いずれの評価例においても評価対象範囲として、加藤⁷⁾による「Extended Life Cycle Environmental Load(ELCEL)」概念を適用している。これは対象とする施設自体のライフサイクルでの環境負荷に加え、供用段階での間接的・波及的な影響を考慮した環境負荷を推計することで、対象が環境に及ぼす影響をより包括的に評価する考え方である。

(1)新規地下鉄整備⁵⁾

ある仮定の区間(道路距離8km)に10万人の総交通需要量があり、それが道路のみでまかなわれていたとする。そこに新規地下鉄(距離6.2km、中間駅数5)整備が実施され、15%(1.5万人/日)の交通が転換したと想定する。このとき生じる環境負荷変化をELCELで捉え、a)地下鉄インフラ・車両に伴う環境負荷発生、b)整備後の自動車交通から地下鉄への転換による環境負荷変化が評価される必要がある。そこで本研究のLCA手法を適用して環境負荷を推計し、EFPにより統合指標化した結果を図2に示す。

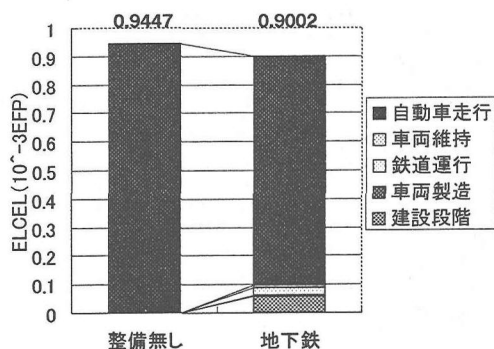


図2 地下鉄の新規整備による ELC-EPF 変化の試算例

整備により約 5.5% の ELC-EPF が削減されると推計される。また、インフラ・車両に伴う負荷より、波及効果としての自動車走行に伴う環境影響が占める割合が圧倒的に大きくなっている。

ここでは総交通需要・転換率はシナリオ的に与えているが、従来の日本の都市における地下鉄の実績値と比較すると低い値であることから、新規整備においても達成される値といえる。

(2)住宅ストック⁶⁾

名古屋市を対象として、1991～2040年における全住宅ストックに起因する ELCEL の推計を行う。ここで、住宅ストックの建設量・存在量・解体量の推計は、コーホートモデルを用いて行っており、住宅の更新過程が考慮されている。推計結果は図3の通りである。ELC-EPF は年々増加する傾向にあり、その大部分が廃棄段階での負荷の増加によるものである。したがって、建設廃材のリサイクルといった廃棄物削減が ELC-EPF を低下させるために最も効果的な施策であることが示唆される。

5. 結論

本研究では、ISO-LCA の枠組みに基づいて、社会資本・住宅ストックに伴って発生する多種の環境負荷を網羅的に推計し、さらにそれらを統合評価する手法を開発した。統合評価指標 EFP (Environmental Friendliness Point) を用いて、地下鉄新規整備・住宅

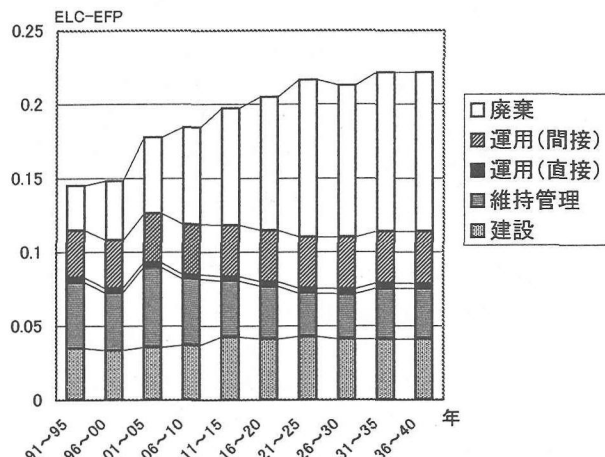


図3 都市内住宅ストックに起因する ELC-EPF の試算例

ストック更新に適用し、試算を行った。

本稿で取り上げた試算および結果は、本研究で構築した方法論の適用例の一部に過ぎず、実際には、社会資本整備や都市更新政策に伴う環境影響の変化を総合的に評価する手法として、広い応用範囲を持っている。今後は各種の施策に本手法を適用することにより、環境面からの評価を試みるとともに、手法のうちでも特に重み付け係数の再検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 鶴巻峰夫・野池達也：LCAにおける多項目環境負荷の定量化に関する研究、環境システム研究 Vol25 pp.1-11, 1997
- 2) 永田勝也：LCAにおける環境指標統合化の試み、土木学会第9回環境システムシンポジウム, 1996
- 3) 松野泰也・稲葉敦・伊坪徳宏・山本良一：日本におけるインパクトアセスメント統合指標の開発、日本エネルギー学会誌, Vol.77 No.860, pp1138-1147, 1998
- 4) 伊坪徳宏・山本良一：材料の環境影響の統合評価、日本エネルギー学会誌, Vol.77 No.859, pp1080-1088, 1998
- 5) 加藤博和・林良嗣・大浦雅幸：新規交通施設整備に伴う環境負荷変化の LCA に基づいた評価モデル、環境システム研究 Vol28, 2000
- 6) 林良嗣・加藤博和・北野恭央・喜代永さち子：都市空間構造改変施策に伴う各種環境負荷のライフサイクル評価システム、環境システム研究 Vol28, 2000
- 7) 加藤博和：交通整備による環境インパクトの計測手法としてのライフ・サイクル・アセスメント、交通工学 Vol33 No.16, pp.81-86, 1998