

都市の環境マネジメントのためのインパクト評価システム開発*

Development and Application of an Impact Assessment System for Environmental Management in Cities*

加藤 博和** ・ 林 良嗣*** ・ 喜代永 さち子**** ・ 北野 恭央*****

By Hirokazu KATO** ・ Yoshitsugu HAYASHI*** ・ Sachiko KIYONAGA**** ・ Yasuo KITANO*****

1. はじめに

地球環境問題への関心の高まりとともに、都市を「環境にやさしい」存在へと転換するための取り組みや施策について様々な検討がなされている。その1つとして、Life Cycle Assessment (LCA) の枠組を適用した環境影響(負荷)の定量評価が、建築物、社会資本単体または都市全体を対象として広く行われるようになってきている。しかし、LCAは単なる計量・評価手法であり、都市を「環境にやさしい」存在に転換していくためには、その結果を都市の計画・建設・運営に反映していく枠組が必要となる。

工業製品を対象とした環境管理の標準的手法を規定するISO14000シリーズでは、図-1に示す、LCAを取り込んだ形で「環境マネジメントシステム」(EMS)が規定されており、企業活動の分野において盛んに導入されるようになっている。都市に関しても一部の自治体においてISO14001の取得がなされているが、これは「事業所」としての取得であり、自治体全域の活動を対象とするものではない。様々な構造物と活動が複雑に絡み合う都市を対象として、交通や土地利用といった空間構造改変施策をEMSの枠組に載せるためには、従来の企業・製品分野とは異なったアプローチを行う必要がある。

そこで本研究では、都市の「環境へのやさしさ」をEMSの枠組にのっとって分析・評価することを可能とするための支援ツールとして、都市のライフサイクル環境負荷やマテリアルフローを定量的に計測するモデルを構築するとともに、その出力結果をいかに利用するかを示すことを目的とする。

*keywords: 地球環境問題, 環境計画, ライフ・サイクル・アセスメント

**正会員 博(工) 名古屋大学大学院助教授

環境学研究科都市環境学専攻、〒464-8603 名古屋市千種区不老町

TEL:052-789-5104, FAX:052-789-3837, E-Mail:kato@genv.nagoya-u.ac.jp

***フェロー 工博 名古屋大学大学院教授

環境学研究科都市環境学専攻

****正会員 修(工) (株)パスコ

*****正会員 修(工) 玉野総合コンサルタンツ(株)

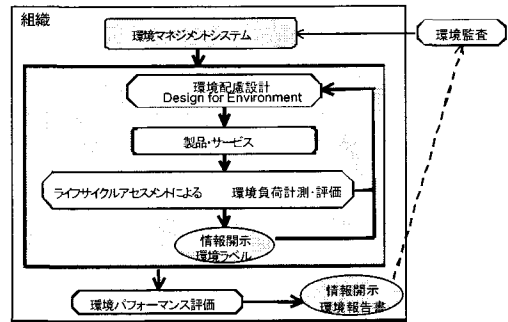


図-1 環境マネジメントシステムの概略

2. EMSの都市への適用における考慮点

(1) 空間的な配置・分布の考慮

都市を対象とした環境マネジメントの対象を具体的に言えば、都市を構成する建築物・インフラや、その上での人間活動となる。建築物・インフラは、その空間的な位置の違いによって、自身から発生する環境負荷とその影響、およびその上での人間活動に与える影響が大きく異なる。そこで、施設の空間的な配置や相互関係を考慮した分析評価を行うために、資源投入量や環境負荷の発生量といった環境情報を、GISを用いて空間的な位置情報として管理する。

(2) 推計結果の表示 (環境ラベル)

LCAによる環境負荷推計結果をベースとする環境マネジメントでは、「環境ラベル」として、ISO14020に示されたもののうち、推計された環境情報を定量的な数値によって表示する「環境情報表示型: Type III」の適用が有効である。本研究でも、これを意識した結果表示方法を提示する必要がある。

(3) 推計結果の意思決定への反映 (DfE)

DfEの発想を都市に適用することを考える場合、a) 個々の建築物・インフラの仕様、b) 規模・建設位置・整

備自体の是非といった整備計画、c)交通需要管理(TDM)のような運用管理方法、の3種類について検討する必要がある。a)については、製品分野でのEMSの枠組で十分対応できるものであり、住宅メーカー・建設資材メーカーなどで実際に取り組みつつあるため、これらの成果を利用することができる。しかしb)・d)に適用するためには、これらに対する施策を環境面から評価するための推計モデルや指標の整備が新たに必要である。

本研究では、都市において投入・廃棄される資材の量や環境負荷量の定量的な推計値を得るモデルシステムを構築する。そして、その出力結果を環境ラベルとして表示することで、環境報告書としてまとめることができ、環境に配慮した意思決定のための材料として活用できる。

3. 都市EMSのための環境負荷・マテリアルフロー評価手法

(1) 手法の概要

都市空間から発生する各種環境負荷や消費される資源の量をLCA的に推計するモデルシステムの構築を行う。このとき、都市に関するさまざまな施策の実施に伴う変化を都市内の諸活動への波及的な影響まで把握すること(例えば、立地移転を伴う都市更新施策の実施による交通需要・環境負荷変化など)をもくろんだ「ELCEL

(Extended Life Cycle Environmental Load: 拡張ライフサイクル環境負荷)」概念²⁾を適用する。それとともに、都市構造の変化を時系列的に把握する手法として、人口予測にしばしば用いられるコーホートモデルの手法を適用し、これらを組み合わせた「コーホート・LCA」モデルをシステムの中心コンセプトとする。

本研究では、対象範囲を名古屋市全域、期間を1991～2040年(5年刻みで扱う)とし、第3回中京圏パーソントリップ調査(1991)の基本ゾーン(総数108、ほぼ小学校区に相当)を分析単位として行う。この方法では、一般のLCA研究で個々に扱っている各施設・建築物をゾーン内で平均化して扱わざるを得ないための弊害は否めないが、別個に開発したゾーンベースの立地・交通需要予測モデルと組み合わせることによって、LCAを都市空間施策の効果分析に適用できるメリットがある。

分析対象施設(インフラ)として、交通施設・上下水道・廃棄物処理を扱っている。建築物は住宅および商業・業務系用途のものを扱い、工業・農林水産業等に関

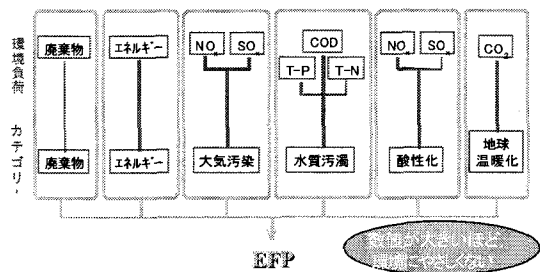


図2 評価対象とする環境負荷とEFPの構成

するものは、本研究で分析する施策による影響はないものと考えて扱っていない。一方、既存緑地の開発や緑地・公園の新規整備に伴って変化する、緑地・公園の樹木によるCO₂固定効果を扱っている。

(2) 環境負荷評価指標と環境ラベル

既往のインフラLCA研究の多くはCO₂やエネルギー消費を評価指標としてきた。本研究では、LCAの特徴の1つである各種環境負荷の網羅的把握と統合評価を行うために、図-2に示す計10項目の環境負荷のInventory(目録)を作成するとともに、著者ら³⁾が「Distance-to-Target法」を用いて定義した統合評価値「環境への優しさ指数」(EFP: Environmental Friendliness Point)を適用する。

また、推計結果を「TypeIII型環境ラベル」として表示するにあたっては、Inventory Analysisで算出される各種環境負荷・マテリアルフロー量、Impact Assessmentで算出されるCategory End Point(地球温暖化や酸性化といった環境影響Categoryごとに、影響を与える負荷物質に影響の重み付けを与えて算出される値)、さらにEFP指標を並列して表示する。これらの各数値は客観性や分かりやすさの点で一長一短があるため、その利用および解釈は各自にゆだねるものとする。

(3) 建物コーホートモデル

住宅の使用年数の変化や省エネ化、更新建物の立地誘導といった施策の環境影響を計量するためには、各ゾーンでの経年での建物更新や存在状況を推計することが必要である。そこで、住宅を対象としたコーホートモデルを各ゾーンに適用し、住宅の総数と年齢構成の変化を経年的に追跡する。推計手順を図-3に示す。

なお、非住宅系の建築物に関しては、データ制約の関係で、住宅データから得られたパラメータを援用してコーホート推計を行っている。

(4) マテリアルフロー量の推計

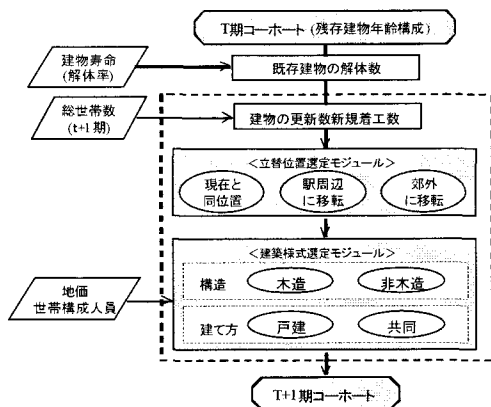


図3 建物コーホートモデルのフロー

本研究では、マテリアルフローとして、特に建築部門で大きな割合を占めるコンクリート（セメント・セメント製品+非金属鉱物）・鋼材を対象に推計を行っている。建築物（住宅・非住宅）を対象に、その種類・年齢ごとに推計されたゾーン単位の床面積を用いて、これに単位面積あたりの必要資材量・解体量を乗じて、ゾーンのマテリアルフロー量を推計する。本来はインフラについても扱うべきであるが、本研究ではデータ制約のため扱うことができていない。

投入資材や解体量の原単位としては、構造別・用途別に、ライフサイクルの各段階で必要となる資材の種類（産業連関表の91分類に振り分ける）と各重量を算出し、それを延べ床面積で除して m^2 あたり資材・解体原単位（重量ベース）とする。

なお、建設廃棄物についてはそのリサイクルも考慮する必要がある。現在、コンクリート廃材の用途は主に道路舗装材である。これらのリサイクル量の割合を、現状データを用いて廃棄物量から差し引いている。

(5) ライフサイクル環境負荷の推計

対象とする施設・建築物のライフサイクル環境負荷推計手法としては、基本的には「組み合わせ法」（積み上げ法と産業連関法との併用）を適用し、入手データに制約がある場合には「産業連関法」を用いている。産業連関法で使用する原単位は、齋藤らによる1990年全国産業連関表（91分類）を基にした多項目内包環境負荷原単位⁹⁾である。

交通活動に伴う大気汚染や地球温暖化などの環境負荷は、各ゾーンの立地量から交通需要予測モデル（4段階推計法）を用いて各道路・鉄道区間の交通量および燃料・

表-1 DfE 基本メニュー

分類	項目	基本メニュー
Q.BAU		現状のまま推移する
1.建築仕様	a. 100 年住宅	更新・新設住宅→木造：耐用年数 60 年、鉄骨・鉄筋コンクリート造：100 年
	b. 省エネ型建築物	a) 更新・新設住宅→太陽光発電システムを導入 b) 更新・新設住宅→水蓄熱式空調システムを導入
2.都市空間構造	a. 都心集中立地	更新・新設住宅を都心 17 ゾーンに順次立地移転
	b. 結節駅周辺立地	更新・新設住宅を鉄道結節点のある 17 ゾーンに順次立地移転

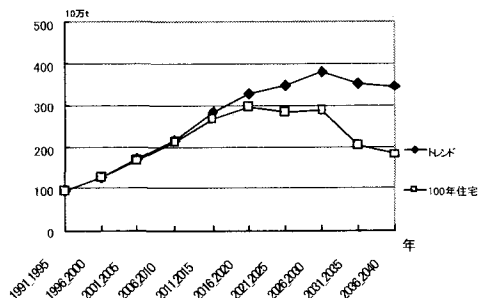


図4 廃棄コンクリート量の推計結果

電力消費量を求め、さらに内包環境負荷原単位（燃料製造過程等を含む）を乗じて環境負荷を推計している。

なお、本システムでは、一般廃棄物、上水需要量・下水発生量の推計も行っている。一般廃棄物については、年間1人あたり一般廃棄物発生重量を人口や生産額で説明する重回帰モデルを作成している。

4. システムを用いた推計・評価の例

本稿では、システムの対象範囲である名古屋市を対象に、表-1 に示した「DfE 基本メニュー」についての分析を実施した例を示す。

(1) 「100 年住宅」導入の効果

「100 年住宅」の具体的な想定として、a)平均耐用年数を木造は60 年、S 造/RC・SRC 造は100 年と設定する、b)導入によって柱・基礎の資材量がそれぞれ 1.3 倍増加する、として推計を行う。導入効果の大きなものとして、資材が長期間ストックされることによる廃棄物の削減効果が挙げられる。図-4 に示すように、施策を実施した場合のコンクリート廃棄物量は、2006 年～2010 年までは BAU（現状のまま推移した場合）とほぼ同じ量となっているが、それ以降は年々減少し、2036 年～2040 年には 47.7%削減されると推計される。なお、投入コンクリート量については、2021 年～2025 年までは施策導入の方が上回っているが、それ以降は逆転し、2036 年～

表-2 道路走行(自動車)によって発生する環境負荷の推計結果

	現況	BAU		結節駅周辺立地		都心集中立地	
年	1991 ~95	2016 ~20	2036 ~40	2016 ~20	2036 ~40	2016 ~20	2036 ~40
CO ₂ 排出 量(千t/日)	124.7	142.6	154.6	89.2	82.6	81.4	86.5
NO _x 排出 量(t/日)	192.5	220.7	229.5	134.3	132.9	127.4	134.5
EFP(日)	0.0065	0.00075	0.00079	0.00046	0.00044	0.0043	0.00045

表-3 都心集中立地ケースの環境負荷の内訳 (2016年~2020年)

	施設	ライフサイクル					
		建設	運用	維持管理	廃棄	運行・走行	
ELC CO ₂ [5年]	住宅	1,257,818	1,416,367	236,051	7,806	-	-
	非住宅	958,762	1,277,479	-	2,258	-	-
	道路	158,090	-	1,682,540	-	53,665,712	-
	鉄道	54,241	-	-	-	-	-
	上下水	-	76,971	-	-	-	-
	一般廃棄物	955	12,092,375	-	-	-	-
ELC NO _x [5年]	住宅	5,938	3,373	1,343	25	-	-
	非住宅	5,668	2,880	-	7	-	-
	道路	896	-	9,713	-	80,060	-
	鉄道	303	-	-	-	-	-
	上下水	-	209	-	-	-	-
	一般廃棄物	7	-	-	-	-	-

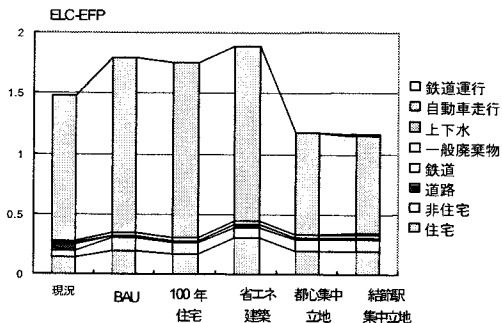


図-5 各種施策に伴う ELC-EFP の予測結果
(現況：1991~95年、その他：2036~40年)

2040年には23.9%削減されると推計されている。これは、住宅の長寿命化により解体建物が減少し、建替需要が減少するためである。

(2) 都市構造変化の効果

都市空間構造を変化させるような立地誘導施策を行った場合、特に大きな影響を受けるのは、交通状態変化に伴う環境負荷変化である。表-1に示した、郊外部で更新時期となった建物を都心部や鉄道結節駅周辺に再配置する施策を対象に、本システムの交通需要予測モデルを用いて、ネットワーク内各道路リンクの交通量と旅行速度を推計し、さらに自動車走行に伴う内包CO₂・NO_x排出量を推計している。

推計結果の例として、各ケースにおけるCO₂・NO_x排出量、EFPを表-2に示す。立地施策の実施によって現況

に比べても環境負荷発生量が削減されることが示されている。この主要因は自動車交通量の削減であり、一方で交通機関分担率の変化はあまり生じなかった。

表-3に、都市集中立地施策を行った場合の2016年~2020年の環境負荷発生量の内訳を示す。ELC・CO₂・NO_xともに道路走行(自動車)分が非常に大きくなっているが、CO₂に関しては一般廃棄物の分も大きな量になっている。

(3) 各施策の比較評価

各施策の実施に伴う都市全体での環境負荷削減効果を比較するために、2036~40年におけるELC-EFPを現況(1991~95年)と比較したものを図-5に示す。

現況と比べてBAUの場合のELC-EFP値は38.6%増加するのに対し、立地施策で削減が見込まれ、特に結節点立地施策を導入した場合の負荷削減量は22.0%にもなる。その内訳をみると、自動車走行から発生する環境負荷の削減効果が大きい。一方、100年住宅を導入した場合は現況比14.6%増加しており、環境負荷削減効果は大きくない。省エネ型建築導入の場合には建設に伴うEFP増加が寄与して、逆にやや増加する傾向が見られる。

5. おわりに

本稿では、都市空間を対象としたライフサイクル環境負荷・マテリアルフロー推計モデルを元に、各種都市施策をEMSの枠組で評価し表示する方法をまとめた。今後はさらに、評価指標に費用対効果(環境パフォーマンス指標)を導入するなどによって、施策実施の環境面からの検討に資する方法として整備する予定である。

参考文献

- 1) 井村秀文編著：建設のLCA、オーム社、2001。
- 2) 加藤：交通分野へのライフサイクルアセスメント適用、IATSS Review, Vol.26, No.3, 2001。
- 3) 林・加藤・大浦・北野・喜代永：社会資本・住宅ストックに起因した多環境負荷のLCAに基づいた評価手法、土木計画学研究・講演集No.23(1)、pp.235-238、2000。
- 4) (社)資源協会：家庭生活のライフサイクルエネルギー、(株)あんほるめ、p.407、1992。
- 5) 齋藤・野池：LCAにおける多項目環境負荷量の定量化に関する研究、環境システム研究Vol.25、pp.217-227、1997。