

東アジア諸国の都市インフラ整備戦略と環境負荷の分析評価に関する試論
On the Strategies for Improving Urban Infrastructures in East Asian Cities and Their Life-Cycle
Environmental Implications

松本 亨* ・ 井村秀文*

Toru MATSUMOTO* and Hidefumi IMURA*

ABSTRACT: Rapid urbanization in East Asian countries is bringing about the ever-increasing pressures on the environment. Improvement of urban infrastructures such as mass transportation and municipal sewage treatment and waste disposal systems is essential for the cities to achieve economic development while preserving the environment. Improvement of civil infrastructures have dual implications: it may mitigate the environmental pressures of human activities while it may cause additional environmental load through the use of energy and resources for the construction and maintenance of the facilities. This paper, therefore, presents a review on the current situation of the urban civil infrastructures in East Asian countries, i.e., China, Korea and Japan, and discusses their environmental implications and environmental assessment of alternative strategies of urban infrastructure improvement, using the life cycle environmental load as indices for evaluation.

KEYWORDS: urban infrastructures, East Asian cities, LCA, material input, energy consumption, environmental indicators, strategic environmental assessment

1. はじめに

都市環境の改善のためには、交通、下水道、廃棄物収集・処理・処分などのインフラストラクチャー（以下、「インフラ」と略記）を整備することが不可欠である。しかし、近年急速な経済発展を遂げてきたアジアの諸都市では、経済活動に直結する業務用ビルや道路、発電設備の建設は進行しても、都市環境の改善を主目的とする環境インフラの整備は後回しにされる場合が多い。また、仮に、現在の日本に近い水準まで都市環境インフラを整備しようとする、その資金需要は膨大である。

アジア諸国は、欧米諸国や日本より遅れて経済発展の軌道に乗ることとなった。このことは、アジア諸国にとって不利な条件ばかりではなく、有利なこともある。それは、先進国の優れた技術を一挙に獲得できること、先進国の経験（成功と失敗）を学習し、もっとも効率的な政策を選択できることであり、これは「後発性の利益」と呼ばれる。これはインフラ整備に関しても、可能性としては当てはまる。インフラ整備のための莫大な資金、インフラが長期にわたって規定してしまう環境負荷発生構造といったことを考えるとき、今後のアジア諸都市の都市インフラ整備のためには、先進国の経験を活かした上で、より効果的、効率的な戦略を提示する必要がある。そのためには、これまでの日本など先進国のインフラ整備過程を再評価することも必要であろう。日本のインフラ整備の経験を振り返ると、経済成長の歩調に比べてインフラ整備が遅れがちで、これが都市環境の悪化をもたらした。また、我が国のこれまで整備してきた交通体系、生活排水・廃棄物処理体系が、現在の価値観に照らして最良のものだったともいいきれない。アジアの諸都市は、こうした経験から学んで、先見性を持った都市計画、インフラ整備計画を実行すれば、優れた都市づくりが行えるはずである。また、インフラはそれ自身が発生する環境負荷と、インフラが規定する都市の環境負荷発生構造の問題があり、供用期間が長いことからそのライフサイクル全体を考慮することが不可欠である。

今後急速な経済発展、工業化、都市化が進行すると予測される中国、東南アジア諸国において、都市環境インフラ整備をいかなる戦略で実行すべきかは重大な検討課題である。本論文では、この問題を考えるにあたって必要となるインフラ整備戦略の問題提起と、アジアにおいて体系的な研究を展開するにあたっての研究枠組みに関する試論と提案を行う。具体的には、まず、東アジア諸国のインフラ整備状況についてレビューする（第2章）とともに、アジアにおいて求められるインフラ整備戦略と、それを裏付けるための環境負荷の分析評価手法としてのライフサイクル概念について

* 九州大学大学院工学研究科環境システム科学研究センター

* Institute of Environmental Systems, Graduate School of Engineering, Kyushu University

述べる(第3章)。次いで、経済発展にともなう都市インフラ整備の進展過程のモデル化について考察(第4章)した後、都市インフラ整備にともなう環境負荷の評価について、日本の都市で実行した資源・エネルギー投入分析やLCAを国外の都市に適用するための方法と、それに必要なデータについて考察する(第5章)。そして最後に、本論において提案するインフラ整備戦略と研究枠組みに関する研究の方向をまとめることで総括とする。

2. 東アジア諸国のインフラ整備状況

東アジアの都市化とインフラ整備に関するより詳細なデータについては、筆者らによる文献¹⁾を参照されたい。ここでは、韓国・中国における排水及び廃棄物処理インフラの整備状況を概括する。

(1) 排水処理

韓国では、1980年代の初期まで都市排水処理施設の建設は後回しにされていたが、特にソウル五輪(1988年)を契機に整備がすすみ、全国の下水道普及率は1995年に45%に達した状況である。終末処理場は全国で71カ所であり(1995年)、大都市及び工業都市での整備はほぼ終わっている。これからの課題としては、下水配管網の整備遅れ、中小都市への整備、栄養塩除去等がある。国全体の下水处理施設建設計画としては2005年の普及率80%を目指しているが、あくまで処理能力であり、配管システムの整備が追いつかないことが予想されている²⁾。

中国の都市生活排水の処理率は、人口10万人以上の各都市の生活汚水処理量を生活汚水排放量で除して求めると、1996年で約22%であった(表1)。これは、単に一次処理や簡単な二次処理だけであったり、河川や海洋深部への投棄だったりするため、日本や韓国の処理率、処理人口と単純には比較できない。なお、2000年に都市汚水集中処理率を25%にする計画である³⁾。ただし中国でも、配管システムの整備遅れやポンプ能力等の理由から、処理能力ほどには処理できていない現実がある。

(2) 廃棄物処理

韓国、中国ではほとんど焼却処理は実施されていない。図1は韓国における生活系廃棄物の処理方法の推移であるが、ほとんどが埋立である。また、焼却の割合はあまり変化がないのに対し、再利用のシェアが伸びている。

中国の場合も、厨芥ゴミの飼料への再利用のほかは、ほとんどが埋立場まで運搬されて埋め立てられるのが現状である。しかも、衛生埋立も多くはなく、単なる集積(オープンダンピング)である場合が多い。ただ、中国でも、大都市の周辺では埋立場を確保することが困難になってきており、大規模な焼却場の建設が計画されている⁴⁾。ただし、ここでもコスト面の制約が大きい。なお、1995年に約45%である都市の生活ごみ・し尿の無害化処理率を、2000年に50%にする計画である⁵⁾。

3. 東アジア諸国に必要なインフラ整備戦略とその環境的意味

3.1 東アジア諸都市におけるインフラ整備の課題

2章において見たように、アジアにおける都市環境インフラの整備はけして順調とは言えない状況にある。今後の必要となる建設資金もさることながら、資源・エネルギーの需要も莫大である。したがって、アジア諸都市が置かれた経済的、技術的条件を考慮した、もっと効果的、効率的な都市インフラ整備の戦略を提示する必要がある。

また、現在の途上国には日本のインフラ整備とは異なる時代的背景がある。端的に言えば、工業化による産業公害、爆発的なモータリゼーションへの対処、都市ゴミの増加といった都市的課題とともに、地球温暖化等の地球的課題が解決すべき課題として同時に登場している。環境庁⁶⁾は、地球的課題と地域的課題とを同時に解決する政策のことを「Eco-Policy Linkage」と称して、アジア地域において推進すべき政策に挙げているが、インフラ整備にも同じことが言える。地域的課題の解決と同時に、地球的視野に立った資源・エネルギー問題についても考慮する必要がある。

近年、日本など先進国では、環境負荷の小さな持続可能な社会を目指して、「資源循環型社会」もしくは「循環型都

表1 中国城市の人口規模別の生活排水及びゴミ処理状況(1996年)

	生活汚水 平均処理率	都市数	生活ごみ・し 尿 平均無害化率	都市数
100万人以上	24.1%	104	56.4%	114
50~100万人	19.1%	148	42.7%	153
10~50万人	18.7%	142	39.4%	170
計	22.0%	394	49.2%	437

(出所) 中国国家统计局城市社会経済調査総隊データより作成

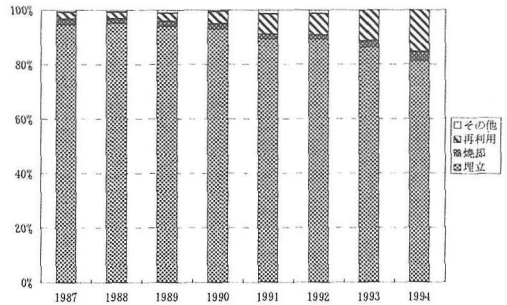


図1 韓国の生活系廃棄物の処理方法の推移

(出所) 李 南勲 1996

市」の形成が標榜されている。すなわち、大量消費、大量廃棄の使い捨て社会を見直し、資源の再使用や再利用を重視することで、新たな資源投入や環境負荷の発生を最小限に抑えようとするものである。そのために、経済システムや技術システム、法制度等、社会のあらゆる部分の変革が求められているが、むしろ、都市インフラの果たす役割も大きい。例えば、排水や廃棄物処理システムの設計において、当初より資源循環を念頭に置いたシステム構築を目指すことや、そのためのインフラや都市整備の適正規模を考慮し計画に適用すること、またインフラや都市の更新サイクルについてもより長寿型の社会を目指すことなどが考えられる。そして、これから本格的な都市インフラ整備が始まる東アジア諸都市においては、むしろ先進的な循環型都市づくりを目指したインフラ整備が可能といえる。

これと密接に関連するが、「ゼロエミッション」というコンセプトも登場している。この考えは必ずしも都市レベルの議論だけにとどまるものではないが、工場内や産業間も含めて、これまでの単線的な生産→消費のラインではなく、複数のラインを複合的に組み合わせることにより、資源・エネルギーの消費効率や環境負荷量を大きく改善することを目指すものである。これからのインフラ整備にあたっては、はじめてこのような考え方を取り入れるべきであろう。

3.2 ライフサイクル概念導入の必要性和有効性

インフラと環境問題の関係を考察するにあたって、ストック効果(事業効果)とフロー効果(需要効果)に分けて整理する。これは、公共投資の効果を分析する際の考え方である。

①インフラのストックに関連するもの

a)インフラの整備不足によって生じる問題

インフラが未整備か、もしくはインフラへの需要に整備が追いつかない状態で発生する環境問題である。特に途上国では、上水道の未整備による安全な飲料水の不足、排水処理施設の不足のために発生する水質汚濁などが当てはまる。

b)固定化されたインフラ整備・運用方式によって規定された問題

大規模なインフラの場合、一度その整備方式が決定され、それに従った整備が実行に移されると、途中変更が難しい。それが、長期間にわたってのシステム運用形態、さらには社会システムまでも規定してしまう。都市の施設配置や交通体系・道路構造などはまさにこれにあたり、問題が生じて後もから改善することは容易なことではない。

②インフラのフロー(整備行為)に関連するもの(インフラの建設によって生じる問題)

インフラの建設に際しては、大規模な地形改変、自然環境への影響の他、大量の資源・エネルギーを消費する。

都市インフラと環境問題に関して分析するためには、上記の視点が不可欠であり、そのためにはインフラに関わる全過程(ライフサイクル)を総合的に評価する枠組みが必要となる。また、都市のインフラ整備には巨額な資金が必要であり、一度整備したインフラは長期間にわたって良好な環境の維持、市民生活の利便性に寄与するが、簡単なやり直しはきかない。環境面からもコスト面からも、長期的な視点から計画的に整備する必要がある。こうした特性を認識し、インフラ整備のライフサイクルに着目して分析することが重要である。

環境負荷をライフサイクルにわたって評価する手法としてLCA(Life Cycle Assessment)がある。この発想は元々さまざまな消費財や工業製品を念頭に生まれたものであるが、その考え方や手法を、土木構造物や建築物等の施設(社会資本)、あるいはそうした施設の集合体としての1つの地域や都市に対して適用する試みが行われている⁵⁾。

図2は、本稿で提案しようとする東アジア諸都市のインフラ整備戦略分析のための研究フローである。この研究は大きく2つに分かれる。前半部は、将来予測も含めたインフラ需要の評価、後半部は、その需要を満たすためのインフラの代替案比較であり、資源・エネルギー消費量や環境負荷量、コスト等の総合的評価である。

3.2 当該研究に関する内外の状況

アジア諸都市の深刻な環境問題の現状に関する研究、汚染発生企業における公害(大気汚染・水質汚濁)対策技術に関する研究は既に多く行われているが、都市環境改善に不可欠なインフラ整備に関する総合的な分析はまだ不十分な状況である。これまで、各国政府は、自らの財政基盤が弱いこともあって、大きな費用を必要とするインフラ整備に対してコミットしながらない傾向にあった。また、インフラの中でも直ちに工業生産に貢献するものに重点を置く傾向にあった。日本のJICA(国際協力事業団)、世界銀行等の国際的援助機関においても、一般的な現地の環境改善ニーズ調査^{7),8)}を行っているが、最近のアジア諸都市の経済発展は急であり、その変化の実態を踏まえたインフラ整備戦略としてまとまった研究は未だ見う

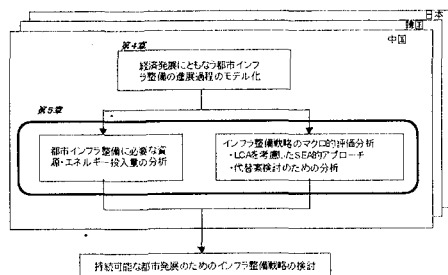


図2 研究フロー図

けられない。特に、中国の都市の環境問題については、これまで主に汚染源としての工場や発電所に視点を当てた研究が多かったが、その経済発展とともに、市民生活に密着した下水・ごみ処理などの都市環境インフラ整備にも重点を置かなければならなくなっている。

4. 経済発展にともなう都市インフラ整備の進展過程

4.1 分析の枠組み

都市インフラと環境負荷の関係を分析するためには、まず都市インフラへの需要とそれに対する充足度を評価する必要がある。そこで、まず経済発展と都市インフラ整備の進展過程について、過去のデータから国際比較分析を行い、さらにインフラ需要の将来を予測するための研究フレームについて提案する。

これは、3.1の「インフラ整備不足によって生じる問題」を明らかにするためのものである。それと同時に、インフラ需要によって発生する資金需要の予測及び経済への影響分析をも視野に入れたものである。

そこで、まず、アジア各国の代表的都市を選び、経済の発展ステージに応じて都市のインフラ整備がどのように進展し、それが都市の環境改善にどのように寄与してきたかを比較分析する。そのために、経済発展にともなう都市の産業構造変化、人口増大、市街地の拡大と、各種の都市インフラ（交通、上下水道、廃棄物処理等）の整備の間に見られる相互関係を分析し、そこに発見される普遍的な法則性と地域の自然条件や政策に左右される特殊条件の関係を体系的に整理する。また、インフラ整備が経済発展に寄与し、それが再びインフラ整備を加速してきた過程をモデル化する。こうしたモデルとしては、国民1人当たりの所得水準を説明変数とする試みが既に行われてきている⁹⁾。経済発展の初期には生活の最低水準を維持するための基礎的なインフラや、食糧生産のための灌漑の整備に重点があり、開発の進捗とともに、産業振興のために電力、道路、通信といったインフラのストックの割合が増加するといわれている。都市生活のためのインフラ整備は、産業のためのインフラ整備の後にくる例が多い。

図3は、日本の1960-90年のインフラ投資の内訳の推移を示したものである。これによると、60年以降の最大の投資先は一貫して道路である。また、鉄道・港湾・空港といった運輸セクターへ投資が大きい。そのような状況ではあるが、60年代以降、生活環境施設への投資額が年々増加している。一般的には、1975年あたりから、産業インフラ重視から、生活インフラ重視へと政策の転換がはじまったと言われる。図中には示していないが、90年代に入ってから、特に廃棄物関連の投資額が急増している¹⁰⁾。

このように、インフラ整備と経済成長の関係を捉えるためには、産業構造変化や社会全体の成熟度との関係も考慮して、モデルの構築を図ることが求められよう。また、アジア諸国の特殊条件には、先進国の技術やノウハウ（成功や失敗の経験）を利用できる効果、いわゆる後発者の学習効果についても考慮に入れなければならないであろう。

4.2 分析に必要となる情報：インフラ整備とDPSE

環境に関する状態（問題の状況やその要因、対応状況等）を評価するための情報の分類軸として「DPSEフレームワーク」がある¹¹⁾。これは、広範な環境情報を、Driving force（駆動力）—Pressure（負荷）—State（状態）—Effect（影響）—Response（対応）という因果関係の流れで整理し、環境の状態を的確に把握するための枠組みである。これに従って、都市の発展にともなう、都市環境への圧力増大とインフラ需要の増大の関係を整理したものが図4である。ここでインフラは、人間活動の結果自然界に放出される環境負荷を低減するための対応策（Response）として位置づけられる。それとともに、資源・エネルギーを消費し、最終的に建設

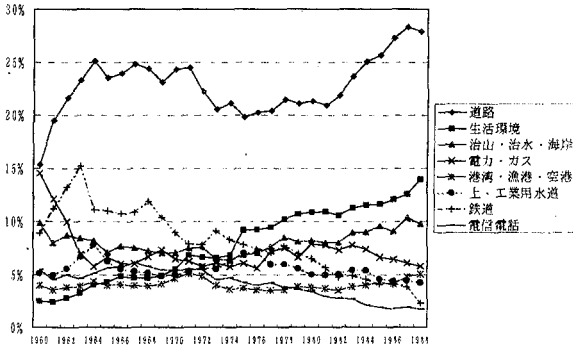


図3 日本のインフラ投資の内訳推移
(出所) 日本長期統計総覧、鉄鋼統計要覧より作成

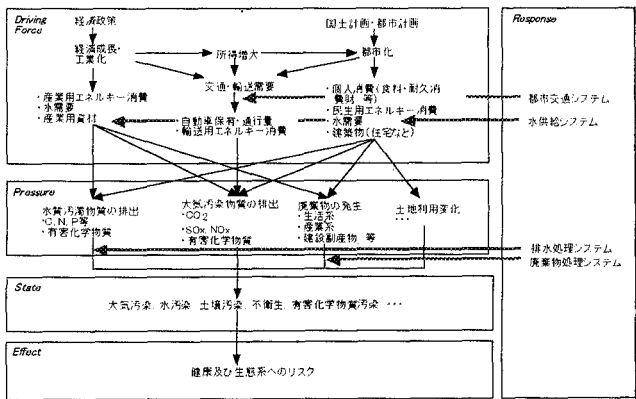


図4 DPSE フレームによる都市化とインフラ需要の関係

廃棄物となるために、環境負荷発生のDriving force(駆動力)でもあるが、これについては5章で触れる。

図4は、そのまま都市活動とインフラ需要及び都市環境の関係を記述するモデルの基本フレームでありうる。この枠組みに沿ってデータを収集し、各指標の関係を定量的に分析することがモデル化の第一歩である。

ここで、中国の都市人口の増加と下水管延長の関係に例に、インフラ需要とその充足度の関係を見る(図5)。使用したデータは、中国の都市データのうち、90～96年の間に面積変化のない都市を対象としたものである。データの信頼性を考慮して、人口100万人以上の都市に絞った(55都市)。この縦軸は、インフラ整備の対人口弾性値(対象とするインフラストックの増加率を人口増加率で除した値)である。これによると、人口増加率との反比例関係が確認できる。つまり、人口増加率の高い都市ほど、弾性値が低い傾向にある。ただし、これはあくまで対象期間の期首(1990年)からの変化分をみているもので、期首時点でインフラが不足しているか否かは表現していない。

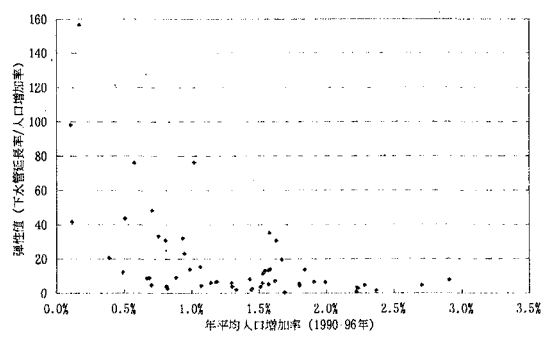


図5 中国都市の年平均人口増加率と下水管延長の関係
(出所) 中国国家统计局城市社会経済調査総隊データより作成

5. 都市インフラ整備にともなう環境負荷

5.1 分析の枠組み

(1) 都市インフラ整備に必要な資源・エネルギー投入量

都市インフラは、都市内の資源・エネルギー代謝を担う重要な位置を占めており、都市のマテリアルフローの制御装置の役目を果たしている。それとともに、その整備行為自体が資源・エネルギーの一大消費者といえる。中国のように、インフラの整備がこれから本格化する国では、今後資源投入量が飛躍的に伸びることは容易に想像できる。インフラ整備においても資源消費の抑制は今後考慮されるべき課題の1つである。以下、都市インフラ整備にともなう資源・エネルギー投入量を推計する必要性とその手法を提案する。

中国全土の建設向け資源消費量の推移を見ている(図6)。この図に示されるように、90年代以降、特にセメント消費量の伸びが大きい。ちなみに、各資源の国内全消費量に占めるシェアは、鋼材で29%、セメントで40%、木材で16%であり、建設向け消費量の占める割合が大きい。

インフラ需要を予測するフレームについては既に述べたとおりであるが、以下でもほぼ同様の枠組みを使用する。まず、日本の都市に着目して、インフラ基盤の弱い中小都市が、時間とともに良質なインフラを具備した大都市に発展していく過程をシミュレートし、その過程で投入される資源・エネルギー量と、それに伴って発生する環境負荷の関係を分析する。

次いで、日本の例を参照モデルとしつつ、アジアのいくつかの都市をケーススタディ対象として選び、日本の都市で行ったのと同様の分析を行う。アジアの都市の場合、近代的なインフラ整備が開始された歴史は最近の数十年間と比較的短いので、都市の成長過程をより単純化して分析できる利点がある。一方、これらのアジアの都市の場合、資金、技術の不足のため、インフラ整備は大幅に遅れているのが実態であるので、今後、先

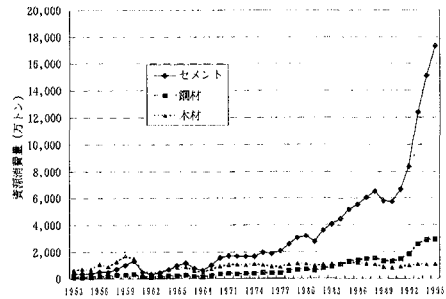
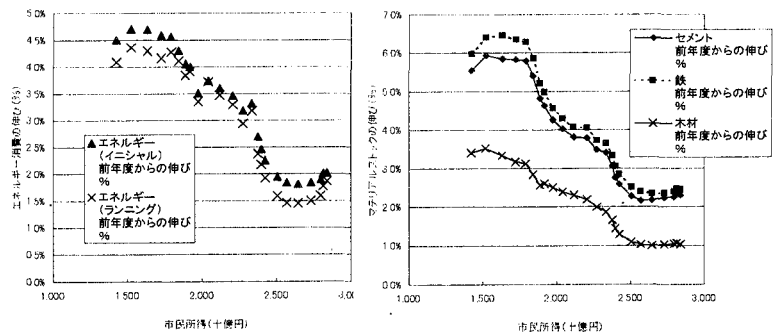


図6 中国における建設向け資源消費量の推移
(出所) 中国固定資産投資統計年鑑1950-1995



(a) エネルギー消費

(b) 物質投入

図7 資源・エネルギー投入量の増加率の推移(移動5年平均)と市民所得(1990年価格)との比較

進国都市と同じ水準にまでインフラを整備するために必要となる資源・エネルギー量と環境負荷との関係も予測評価する。

ここで、日本の都市を例に、経済発展と資源・エネルギーの関係を見てみる。図7は、北九州市を例に、市民所得(実質価格)と都市建造物への資源及びエネルギー投入量の増加率を比較したものである¹²⁾。ここで対象としているのは道路と建築物であり、エネルギーについてはLCE(ライフサイクルエネルギー)による試算とした。北九州市の場合、資源・エネルギーともに増加率の伸びが飽和してきていることがわかる。

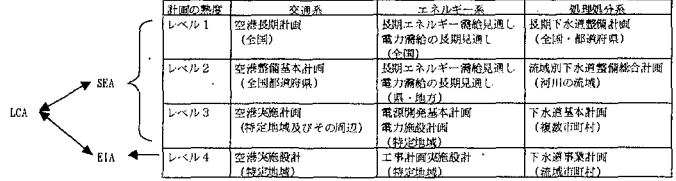


図8 各種行政計画とSEA・EIA及びLCAの関係（計画は日本のケース）

(2) インフラ整備戦略のマクロ的評価分析：LCAを援用したSEA的なアプローチ

90年代に入って、欧州を中心に検討が進んでいる環境評価の制度として、戦略的環境アセスメント(Strategic Environmental Assessment: SEA)がある。これは、政策・計画・プログラム(Policies, Plans, Programs: 3Ps)を対象とした環境アセスメントである。例えば、発電所の立地や施設設計が固まってから行われる事業アセスではなく、電源立地計画や国の長期エネルギー需給見通しのレベルを評価すると考えるとわかりやすい。

図8に日本の行政計画との関係で示しているが、レベル4は事業計画として具体的な施設仕様が固まった段階であり、環境影響評価(EIA)の守備範囲であるのに対し、SEAはレベル1～3に対する環境評価である。そのため、必ずしも具体的な施設計画は存在せず、むしろ無数の代替案の中から最適な案を総合的に検討することになる。その中には、施設を整備しないという選択肢もあるし、ソフト対策による解決も含まれる。この手法においてもライフサイクル分析への拡張が課題となっている¹³⁾。同時に、インフラを対象としたLCAにおいても、その総合戦略への適用として、SEA的に枠組みの中を取り組むことが検討されている¹⁴⁾。これについては、日本にとっても大きな課題であるが、途上国における今後のインフラ整備計画への適用にこそ大きな意義があると認められよう。なぜなら、途上国のインフラ整備を事前評価する際に、情報やデータが圧倒的に乏しい中で行わざるを得ないことが想定されるからである。

この方法の場合、局地的なデータに基づいた詳細な分析よりも、よりマクロな分析が向いている。つまり、インフラへの需要を満足させる複数のシナリオについて、汎用性をもたせた環境負荷原単位やコストを設定して評価することになる。そのため、LCAの精度の面において、ある程度粗さは許容させる必要がある。反面、インフラ整備計画が具体化する前の段階で評価できる利点がある。

次に、日本と中国の都市におけるインフラ整備の状況を比較した上で、そのギャップを埋めるための計画を想定し、それに対してライフサイクル的な評価を試みるに当たっての課題について考察する。

図9は、北九州市と中国深セン市の排水処理状況を比較したものである。なお、深セン市は香港と隣接しており、中国の中で最も目覚ましい経済発展を遂げている都市である。両市の人口規模及びその変化の影響を無視できるように1人あたりで比較している(深セン市は全市の定住人口を使用)。ただし、データの制約上、北九州市の数字は実際の処理量であり、深セン市の数字は処理能力であるため、実際には深セン市の処理量はこの値より小さい。また、処理率ではなく処理量であるため、水消費量の相違が影響している面もあることには注意が必要である。しかし、気象的条件等の違いはあるにしても、今後の水消費量の伸びを考えると、単純に処理率で比較することも必ずしも正確とは言えない。この図を見ると1997年の深セン市は北九州市の1970年代初頭のレベルにあることがわかる。

ここで、ライフサイクルCO₂に関する報告(1997)¹⁵⁾によると、下水の建設0.018kg-C/m³/年、維持管理0.33kg-C/m³/年、浄化槽(5人槽)の建設0.018kg-C/m³/年、維持管理0.185kg-C/m³/年、浄化槽(500人槽)の建設0.0091kg-C/m³/年、維持管理0.251kg-C/m³/年という結果がでている。下水の値には管渠を含めていないので、実際には浄化槽の値ともっと差があるはずである。深セン市が図9の排水処理量上昇カーブの裾野にあることを考えると、どの技術を選択するかは今後の大きな課題といえる。さらに、現実にはLCAを実行すると、同じ技術でも設計仕様の違いや、資材製造時の環境負荷原

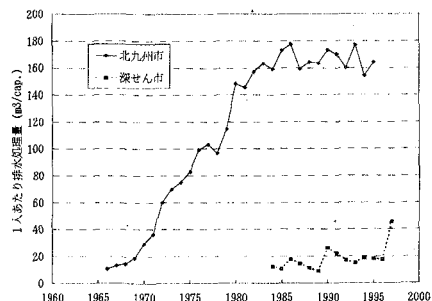


図9 北九州市と深セン市の1人あたり排水処理量の推移
(注)ただし、深セン市の値は処理能力から算出したもの(出所)北九州市長期時系列統計、深セン市統計年鑑1998より作成

単位の違いをどう考慮するかといった課題にも直面する。

(3) インフラ整備戦略のマクロ的評価分析:代替案検討のための手法と環境データ

現在、発展過程にあるアジアの諸都市においては、資金制約下で、経済発展と環境保全をバランスさせつつ最適な都市インフラ整備を実行していかなければならない。そのための方策を考えるには、インフラ整備のさまざまな代替案について、その経済的効果(経済成長への寄与、市民生活の利便性・快適性)、資源・エネルギー消費量、環境負荷発生量、環境改善に果たす効果などの関係を総合的に評価する必要がある。そのため、各代替案における情報を、検討材料としてどのような形で提示すべきかを考える必要がある。具体的には、インフラ整備が遅れているアジアの都市をモデル的に設定し、異なる複数のインフラ整備の代替案を仮想的に提示した上で、経済、環境面のさまざまなデータを比較検討する。例えば、技術システムの規模において、大規模集中型か、中小規模分散型かといったシナリオが考えられる。

その際、次元の異なる複数の評価基準から代替案の順位付けを行うことになるわけで、多基準評価あるいは多基準比較を行うことが必要となる。そのための手法としては、例えば、多様な評価項目をそのまま提示する整理手法(例えばファクタープロフィール法)、重み付けによって評価関数を作成する手法(例えばAHP手法)の他、費用便益分析や費用効果分析などが提案されている¹⁶⁾。途上国の都市に適用することを考えたとき、包括的なデータ取得が困難なことから、社会的費用を含んだ形でトータルコストや、環境負荷を制約条件に設定することで、線形計画法(もしくは非線形)を適用することも有効であると考えられる。

5.2 分析に必要となる情報

わが国では、近年インフラや建造物、廃棄物処理システム等の技術システムや社会システムを対象としたLCA研究やマテリアルフロー分析(MFA)が盛んであり、データの蓄積もある。これを、東アジア諸国に適用する場合に問題となるのが、環境負荷原単位と耐用年数である。環境負荷原単位については、日本のデータを援用することでも十分意味のある議論ができと思われるが、評価対象国固有のデータを利用できる方がより望ましい。

社会資本整備にともなうエネルギー消費原単位の国際比較をしたものに、池田ら(1994)¹⁷⁾がある。これは、日本・韓国・中国の各国産業連関表を用いて、各産業の直接的及び間接的に投入されたエネルギーを求めたものである。この1990年の単位生産あたりエネルギー投入量を比較すると、日本より韓国の建築部門で約1.6倍、土木部門で約1.3倍、中国の建設部門で5~10倍大きいとの結果が得られている。ただし、分析に用いた産業連関表の性格に違いがあることや、比較するために米ドル(1985年平均為替レート)で換算していることなど、結果の解釈には注意すべき点もある。また、エネルギー消費量だけでなく、同じインフラを建設するにしても資源の投入構造が異なると予想されるため、各国固有データの収集が望まれる。さらに、インフラの建設段階を評価する場合、耐用年数で割って年間で評価することが多い。ここで耐用年数の設定で大きく値が変わってくるため、ここでも各国の情報を収集する必要がある。

インフラ整備のシナリオ設定にあたっては、必ずしも先進国の技術をそのまま採用するだけでなく、地域の自然特性に適合したローカルテクノロジーの活用も考慮する。たとえば、下水処理には農地による土壌処理、ラグーンの利用が考えられるし、廃棄物処理からのメタンガスの有効利用といった方法もある。アジア諸国では、既に導入済の技術に制約されない利点があり、日本などよりはむしろ斬新な技術の可能性もある。こうした観点から、利用可能なローカルテクノロジーの可能性を分析することは有益であり、その方面からのデータ収集も必要である。また、類似の技術を適用する場合でも、例えば設計の安全率の考え方や都市環境インフラにおける環境負荷の除去レベル、メンテナンスの方法などにおいて、その違いを考慮する必要がある。そのためには、インフラのLCA結果を、サブシステムや工事毎に分解・部品化して整備することや、パラメータによる感度分析が可能なように関数化して整備することが要請されよう。これは、東アジアへの適用に限らず、日本の都市においてLCAを計画の早期に適用する際にも有用である。

特定の都市を対象として、インフラ整備の代替案比較を行う場合、面的なデータがあると、より実状に即した解析が可能となる。例えば、人口のメッシュデータがあれば、排水及び廃棄物発生空間構造が把握でき、それによる下水配管網や廃棄物輸送に関する分析も可能となる。しかし、日本以外の国でそのような情報を得ることは通常困難である。そこで、考えられるのが衛星画像データの利用であり、例えば陳ら(1999)¹⁸⁾は、中国深セン市周辺のSPOT衛星のステレオ画像データから標高を算出している。現在のステレオ衛星画像については、SPOTパンクロマチックデータの精度が約10m程度と、まだ建造物を抽出するには限界がある。しかし、近い将来、より高解像度衛星データの入手が可能になることが考えられ、それを利用して都市建造物の3次元情報とその面的分布が得られると、地図情報の乏しい途上国の解析には大きな武器となる。

6. おわりに:インフラ整備戦略に向けて

本論文では、東アジアの都市インフラ整備と環境問題に関する分析評価について、現時点で考えられうるインフラ整備戦略への問題提起と、今後の研究展開に向けた分析の枠組みを提示し、そのための課題について考察した。日本の諸都市は、急速な経済成長と都市化、それに対処すべきインフラ整備の遅れのためにさまざまな環境問題を経験してきた。現在、東アジア諸都市においても同様の問題が発生しており、インフラ整備を行うにあたって、日本も含めた先進国の経験を振り返り、その成功と失敗をレビューすることは重要である¹⁹⁾。その上でインフラ整備の遅れた国に対して、その経験の適応性を考えるべきであり、これが「後発性の有利さ」につながる。その意味で、経済発展とインフラ整備、環境負荷指標についての国際比較は有意義である。他方、インフラの特性は、その地域特有の気象条件や地理的条件にも左右される。また、資金の制約や、地球温暖化、資源消費といった地球規模の問題など、これまでの先進国のインフラ整備においてあまり考慮されてこなかった課題にも直面しており、先進国の失敗を学習し、さらに今日的課題にも対応した独自のインフラ整備戦略を構築することが求められている。第5章で紹介した3つの分析フレームは、日本の経験の再評価と、東アジア諸都市における今後のインフラ整備戦略の構築双方に対して有効である。

近年、都市デザインに関して、“Sustainable Cities”というキーワードが使用されることがある。Byrne, J. (1994)²⁰⁾は、これまでの大規模で、経済効率優先・産業インフラニーズ優先の技術システムではなく、中規模、非集中型で、ユーザー(消費者)優先の技術システムを選択することがサステナブル・モデルであるとしている。この論に立てば、これまでの先進国において指向されてきたインフラのモデルも見直されることになるが、特に、アジアの今後のインフラ整備にとって示唆に富む。今後、大量のインフラ整備が待ち受ける東アジア諸都市においてこそ、都市の持続可能性、環境効率性を向上させながら発展することが重要かつ戦略的事項となっている。

参考文献

- 1) 松本 亨：東アジアの都市化とインフラ整備，東アジアへの視点，春季特別号，pp.111-125，1999
- 2) Ko, J.: Water Management Policies in Korea -Legal and Administrative Framework, Main Issues and Future Policies-, 水環境学会誌, Vol.20, No.1, pp.9-20, 1997
- 3) 中国環境保護局，国家計画委員会，国家経済貿易委員会：国家環境保護“九五”計画和2010年遠景目標，中国環境科学出版社
- 4) 張 益：上海市における生活ごみ処理の現状と計画，アジア太平洋都市サミット第2回実務者会議，福岡市，1997
- 5) 松本 亨，井村秀文：都市インフラ整備のLCA，クリーンエネルギー，Vol.7, No.1, pp.37-45, 1998
- 6) Environment Agency: A Long-term Perspective on Environment and Development in the Asia-Pacific Region, Final Report of Eco Asia, 1997
- 7) World Bank: Waste Disposal Project, Republic of Korea, Staff Appraisal Report, 1994
- 8) World Bank: Second Shanghai Sewerage Project, China, Staff Appraisal Report, 1996
- 9) World Bank: World Development Report 1994
- 10) 公共投資総研：公共投資の長期計画&21世紀へのキーワード，1998
- 11) 富士総合研究所：環境資源勘定策定に関する基礎調査報告書，pp.154-164，1998
- 12) 白濱康弘：都市インフラストラクチャーを対象とした環境負荷評価システムの構築，九州大学修士論文，1999
- 13) サドラー B., フェルヒーム R. (原科幸彦監訳)：戦略的環境アセスメント，ぎょうせい，1998
- 14) 松本 亨，井村秀文：インフラストラクチャーを対象としたLCA (ILCA) の現状と課題，環境科学会1997年会講演要旨集，pp.246-247，1997
- 15) 空気調和・衛生工学会地球環境に関する委員会：持続可能な社会を支える建築設備のために，1997
- 16) 道路投資評価研究会：道路投資の社会経済評価，408pp., 1997
- 17) 池田秀昭・井村秀文：日本・中国・韓国の社会資本整備にともなう環境インパクトの比較研究，環境システム研究，Vol.22, pp.154-157, 1994
- 18) 陳 晋，柴田 学，井村秀文：中国都市における急速な土地利用変化が都市気象に及ぼす影響：深セン市のケーススタディ，九州大学工学集報，Vol.72, No.5, 1999 (印刷中)
- 19) 松本 亨，小林周平，中山裕文，井村秀文：東アジアの環境問題の発生・対策の歴史的過程：日本・韓国・中国の比較，第7回地球環境シンポジウム講演論文集，pp.171-182，1999
- 20) Byrne, J., Y. Wang, B. Shen and X. Li: Sustainable Urban Development Strategies for China, Environment and Urbanization, Vol.6, No.1, pp.174-187, 1994
- 21) 井村秀文：インフラ整備のライフサイクルと環境負荷，『地球環境と巨大都市』所収，岩波書店，1998
- 22) 李 南勲：韓国における廃棄物の処理現状 (私信)，1996