

16. 都市環境の統合的な計画と評価システムについて

Integrated Planning and Evaluation System for Alternative Urban Environmental Policies

盛岡 通*, 藤田 壮*, 吉田 登**

MORIOKA, Tohru, FUJITA, Tsuyoshi, YOSHIDA, Noboru

ABSTRACT; Decades of growing urbanization in the 20th century, which have enabled massive industrial accumulation as well as continual intra and inter migration of population from rural areas to urban and peripheral areas, brought various tangible and intangible environmental costs not only for the cities themselves but the surrounding regions as well as the nation and the global environments. While several plans and concepts have been proposed such as growth management, sustainable planning, compact city, or industrial symbiosis, those concepts need to be defined from implementational planning and policy perspectives in order to identify the appropriate urban management strategies for a long run. In this paper, authors attempt to establish the planning and estimation systems which provide planning alternatives to cover wide range of urban management tools such as spatial management, energy supply management, transportation management, and material resource management, as well as provide objective estimation indicators for urban utility and environmental impacts. After various evaluation techniques are organized, implementational evaluation are shown for environmental efficiency and ecological impact indicators. Alternative planning options for a long-run urban management are discussed with hierarchical planning stages..

1. はじめに

都市環境システムを環境負荷低減の要素技術として位置付ける場合は、代替的な技術システム間での環境負荷への影響を最小化するオプションを選択することが社会にとって最適な解を与える。この場合は、物理的な環境インパクトを評価する技法として、物質の入出力を分析する「物質代謝の入出力分析」や、技術の川下から川上まで評価する「ライフサイクルアセスメント, LCA(Life Cycle Analysis)」が有用となる。

水質改善や物質循環などの意思決定の目標が複雑になる場合は、複数の物理的機能やサービスを経済的な貨幣単位で共通に評価することにより、最適な選択肢を得る、経済的な評価技法が必要となる。具体的な環境の経済的評価としては、「トラベルコスト法」や「ヘドニック価格法」の顕示選好の評価に加えて、「コンテインジェント価値法」や「コンジョイント分析」などの技法の理論的開発と実証的な展開が行われている。さらに、都市環境政策にかかわる意思決定では、下水道を含む要素技術を統合した社会システムを設計するとともに、その環境への影響を統合的に評価する技法の開発が必要とされる。都市環境政策の複数の代替的オプション間での意思決定の規準指標としての「環境効率 (eco-efficiency)」指標を取り上げる。人間活動が環境に与える負荷の帰属を拡大する評価フレームとして、ecological rucksack 分析, ecological

* 大阪大学大学院 工学系研究科 環境工学専攻 Department of Environmental Engineering, Osaka University

** 和歌山大学 システム工学部 環境システム学科 Department of Environmental System, Wakayama University

footprint 分析, eco - space 指標をとりあつかう. これらは, 環境容量概念に基づく指標と位置づけられる. 本稿ではこれらの評価技法についての整理するとともに, 統合的な都市環境システムの計画体系においての評価システムを検討する. さらに, 代替的な計画オプションの構築の枠組みを示し, 都市構造物の循環マネジメントでの計画と評価の研究例を紹介する.

2. 持続可能な発展の指標体系

持続可能な発展の枠組みと方法論に関する指標についてまとめた, 環境的側面に関する指標のカテゴリーとして, 水, 土地, 他の自然資源 (生物多様性など), 大気, 廃棄物の大きく 5 つに分類する国連の試みや, OECD(1998)による, 気候変動, オゾン層破壊, 大気質, 廃棄物, 水質, 水資源, 森林資源, 水産資源, 生物多様性の 9 つに分類している.

持続可能な政策支援の指標体系としては, 環境問題の因果関係の流れから見たものがある. これは, 1)環境変化の原因となる人間活動(human activity), 2)環境への負荷(envIRONMENTAL BURDEN/LOAD), 3)環境の状態あるいはその変化(state), 4)環境変化による社会 (人の健康や生活環境) や生態系への影響(effect), の 4 段階の分類が用いられることが多い. また 1)と 2)はあわせて force あるいは pressure と呼ばれることもある. 同様の考え方を基本として, 例えば OECD(1998)では PSR(pressure-state-response)と呼ばれる枠組みを用いている. S は先の 4 つの段階のうち 3)と 4)をまとめたものに相当し, R は環境変化を修復したり未然に防止したりするために人間が行う対応策のことである. このような対応策の結果は P にフィードバックされ, PSR は因果の環を構成している.

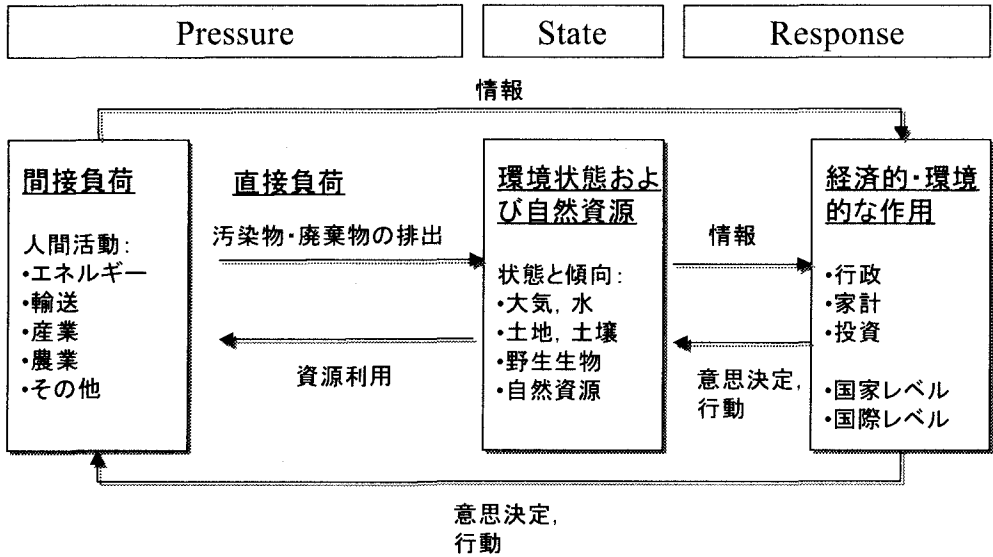


図1 持続可能な指標体系

3. 都市環境政策の環境効率指標

持続可能な発展の達成度評価のための指標を構築する方法は, 大きくの二つに分けられる(森口, 2000). 第一は持続可能な発展の個々の問題に分解して, 分野ごとに指標を設定する方法であり, 第 2 に高度に集約された指標(Highly Aggregated Indicator)を求めるものである. 環境効率指標は後者に該当するものであり, それぞれの分野または分野横断的な性格をもつものとして集約された指標として位置付けられる. たとえば, OECD(1997)は, 持続可能な消費と生産に関する概念を整理するため, 次あげる 7 つの指標を取り上げて, 相互の比較を行っている. すなわち, 1)carrying capacity, 2)the steady state economy, 3)environmental utilization space or ecospace, 4)ecological footprint, 5)ecological rucksack, 6)natural resource accounting and green GDP, 7)eco-efficiency である. さらに, 追加的に次の 3 つの概念,

8)industrial ecology, 9)foodmiles, 10)environmental debt をあわせて指標体系を構築している。

都市環境政策の施策を実現することによる改善効果を環境効率(Eco-Efficiency)を用いて評価するには、環境効率をサービス／環境負荷として計算するため、環境負荷としての分母とサービスとしての分子に相当する指標を選定する必要がある。しかし、指標を選定する作業は一般に容易ではない。第一に、環境負荷、サービスに相当する指標には複数のものがあり、一つの指標ですべてを評価することはできないからである。また第二に、分母・分子の多面的な要素を指標の組み合わせで完全に表現することも、環境問題の構造上不可能であることがあげられる。さらに、第三に、環境負荷とサービスの分離が厳密には困難であるという、根源的な理由がある。これらの点から、実際に環境効率の計算を行うにあたっては、できるだけ全体のバランスがとれるような限られた指標を任意に選ぶことになることはやむをえないことがいえる。そのため、循環複合体の評価技法研究においては、環境効率の数値の厳密性よりは、むしろ指標選定の考え方や計算プロセス、評価結果の解釈などに重点をおく。

OECD(1998)では、国家レベルでの環境効率のアウトプットとして 1)経済指標、2)基本的要求充足、3)高次的要求充足の 3 つのカテゴリー、インプットとして 1)環境への影響(pressure)、2)環境状態(state)の 2 つのカテゴリーをそれぞれ例として提示している。

(1) WBCSD による環境効率の定義

環境効率 (Eco-Efficiency) は、環境・経済の両側面での効率性およびその向上を示す概念ないしは指標であり、1992 年の地球環境サミットの「持続可能な発展」の考え方に対応して、産業界を中心として提案された概念であり、以下のように定義されている。「人間の要求を満たすために生態資源が用いられる効率 (WBCSD,1995)」。[「少なくとも地球の環境包容力に沿ったレベルまで、製品・サービスのライフサイクルを通じて生態的影響と資源利用を徐々に削減し、人間の要求を満たすとともに、生活の質をもたらし競争的な価格の財およびサービスを提供すること(WBCSD,1993)」。

環境効率のめざすところは、資源の使用効率を増すことにより、より少ないエネルギー・原材料の投入でより多くの成果を得ることを指向し、環境影響を横ばいしないしは減少させながら消費者への付加価値を高める製品・サービスの開発にある。環境効率の改善は基本的に Win・Win タイプであることが期待され、製品・サービスの付加価値を高めることと環境影響を減少させることを同時に達成しようと言う概念である。必ずしも同時達成を義務づけたものでもなく、概念としては理解されやすく、実証的な現場では操作的な側面をもつ。環境効率指標は、①利用価値・サービスを重視、②製品の全ライフサイクルにわたる取り組みの重視、③地球環境の限界性認識の重視、④プロセスの発想の重視、を基調としている。1993 年の提案を踏まえて、多くの企業で環境効率の計測が進められているが、その算定評価項目については厳密に定義されておらず、特定の製品・サービスの直接的な効用を基本として、LCA に基づくライフサイクル環境負荷と環境会計やライフサイクルコスト分析に基づいて評価されているの現状である。

最新の WBCSD では、生態系影響を重視し、地球の環境容量 carrying capacity についても配慮すべきであることが盛り込まれている。また、環境効率を改善するための視点として、以下の項目が列挙されている。

- ①商品およびサービスへのエネルギー集約度を削減すること(material and energy intensity).
- ②有害物質の拡散を削減すること(toxic dispersion).
- ③素材のリサイクル可能性を拡張すること(material recyclability).
- ④再生可能資源の持続可能な用途を最大にすること(renewable resources).
- ⑤製品の耐久性を延長すること(product durability).
- ⑥商品およびサービスのサービス集約度を増加させること(service intensity).

(2) IHDP における環境効率

IHDP(International Human Dimensions Programme) ; 地球環境変化の人間・社会的側面に関する国際研究計画は以下の 5 つの分野から成り立っている。①エネルギーと物質のフロー(Energy and Material Flows)、②食物(Food)、③都市 (特に交通と水利用に着目) (Cities)、④情報とコミュニケーション

(Information and Communication), ⑤政策と転換のプロセス(Governance and Transformation Processes)

この中で、いくつかの概念のなかには環境効率に類似した考え方が盛り込まれている。

- ①地理的レベル・組織的レベル・事業者レベルでの、エネルギーと素材使用の関係性とその性質や技術的な変更の可能性の追求、経済的パフォーマンスの評価
- ②食物消費と生産システムの持続可能性のための方策と地域内での役割
- ③都市の交通・輸送システムの効率性（輸送量／CO2 排出量）
- ④地球規模の環境負荷削減のための物質効率(material efficiency)の貢献
- ⑤情報通信技術による環境資源の消費形態変化

4. 環境負荷の帰属を拡大した評価指標

(1)エコロジカル・フットプリント (Ecological Footprint)

Ecological Footprint は, Wackernagel&Rees(1995)によって提示された概念であり, コミュニティを維持するために必要となる土地の面積で, 地理的境界を越える土地も含めたもの (The area of land functionally required to support a community with lies beyond the land occupied by that community - ‘appropriated carrying capacity’)と定義される. つまり, 人間活動の影響を「踏みつけ面積」として集約して表現したものであり, 具体的には次の 6 つのカテゴリーについて計算を行う.

- ①森林生産物の消費に必要な森林面積, ②農産物の消費に必要な農地面積, ③畜産物の消費に必要な牧草地面積, ④海産物の消費に必要な海域面積, ⑤建設に必要な建設地, ⑥エネルギー消費により排出される CO2 の吸収に必要な森林面積.

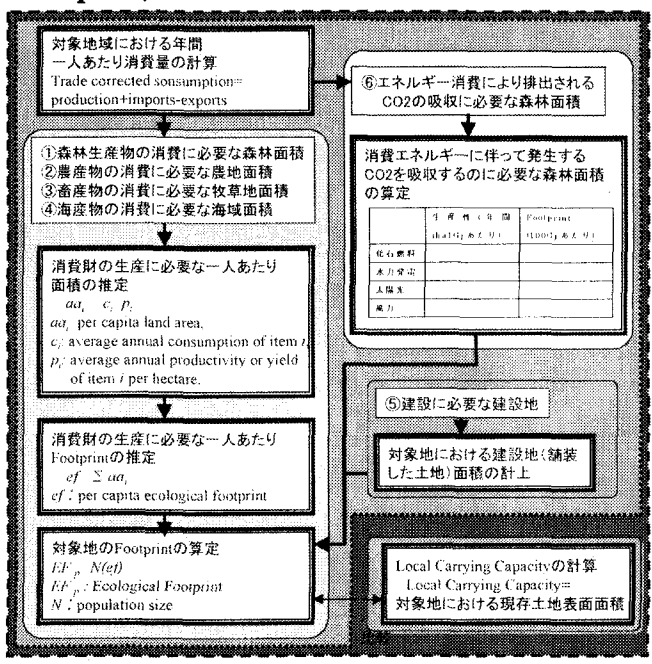


図2 Ecological Footprint の計算の枠組み

通常は国際間の比較のため, 一人当たりの必要面積として計算されている (図2).

(2)エコロジカル・リュックサック (Ecological Rucksack)

ecological rucksack は, ドイツの Wuppertal Institute で開発された指標であり, 製品の物質集約度を評価することを目的としている. 対象となる経済的なアウトプットの中に物的に含まれたものだけでなく, 生産, 使用, リサイクル, 廃棄にとって必要な, すべての物質のこと (The total mass of material flow ‘carried by’ an item of consumption in the course of its life cycle)と定義される. 具体的には, マテリアルフローを次の 5 つの主要なカテゴリーに分けて計算する. ①非再生バージン資源 (Abiotic raw materials), ②生物バージン資源 (Biotic raw materials), ③土壤移動量 (Moved soil: in agriculture and forestry), ④水 (any volume removed from natural water ways ore reserves), ⑤大気 (if it is chemically or physically transformed). すべての投入物質は製品のタイプごとに各段階へ割り当てられ, 5つの主要なカテゴリーに従って足し合わされる.

5. 代替的な計画案の構築システムの検討

都市環境政策を地域で決定する際に, 計画熟度の異なる構想ステージ, 計画ステージ, 事業化ステージ

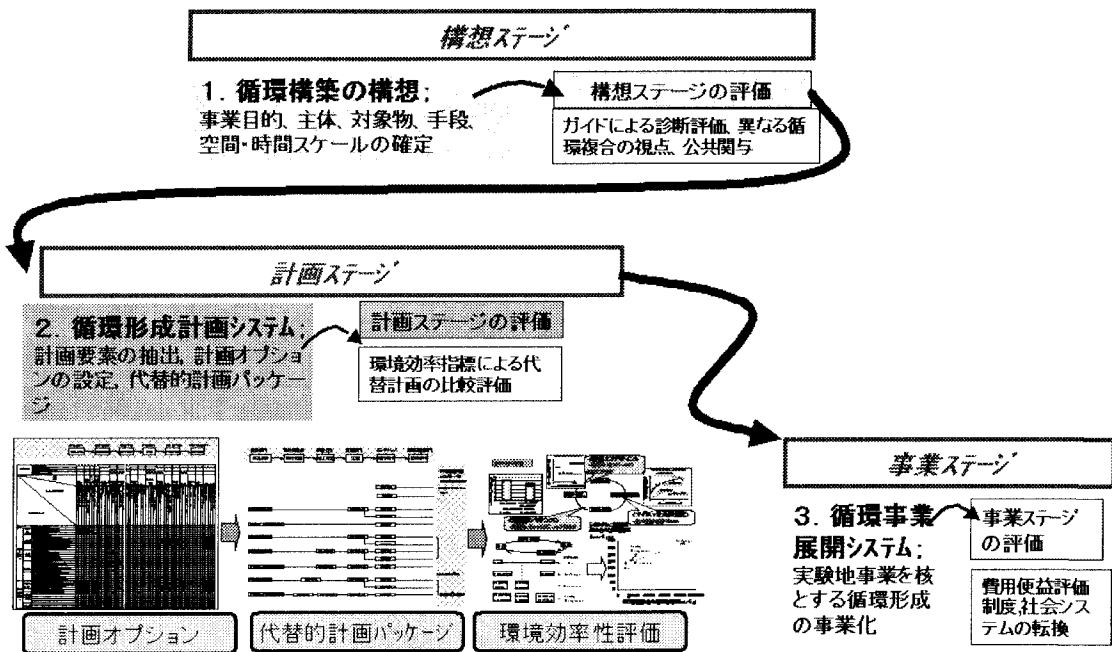


図3 環境政策の階層的な計画システム

の順により詳細な内容を意思決定して、行為を具体化していく計画プロセスを考える（図3）。この3つのステージでは、常に、問題の把握、進むべき目標の検討、いくつかの手段のデザイン、そして代替可能な手段の比較評価をおこない、その段階ごとでの意思決定をおこなって実行していくというサイクルがある。

構想段階では、事業主体、事業の目的、対象物、事業化手段、事業の空間的境界、時間スケールという6つの基本的な事業計画要素に照らして、環境政策の構想を明らかにする。すなわち、循環社会形成への潮流の中で、拡大生産者責任にもとづく製品連鎖を管理したり、地域の物質代謝を管理すべき現実の物質管理の現状の中で計画主体を設定して、その将来へ向けた都市経営戦略の中に政策の目的を定める。これらの目的を達成する合理的な手段とその他の要素との配列を、環境政策の構想として見出す、戦略的な意思決定ないしは選択行為のプロセスが構想段階の作業である。

事業化構想を計画する要素を設定していく順序は問わない。ただし構想時点での事業の空間、時間スケールは事業の対象（物）に本来、付随して設定される性格のものであるため、これら3つは個々に独立した要素として取り扱うのではなく、相互に関連したまとまりとして取り扱うことを想定している。

計画段階では、中核的な環境基盤施設や行動制御のなかみの検討を具体的に進めるが、想定し得る計画の案はかなり多い上に、場合によってはそれらが組み合わさることにより効果を高める場合もある。したがって、事業を構成する要素間のつながりを重視しながら、計画の目的を系統的に整理して考察して、代替的な方策を比較する体系的な方法が必要となる。そこで、計画段階では、計画要素の抽出、要素間の関連性分析、計画要素群の形成、計画オプションから代替案計画パッケージの導出の、多段階のステップを踏むことにより、比較すべき代替的な方策を確定し、最後に社会的費用を含めたライフサイクルでの環境保全性を評価する。

手続きの始めは、まず、構想段階で選び取られた事業化の方向性を、再度、分節化して計画要素を詳細に抽出することである。次に、個々の計画要素をさらに下位の要素に分解することによって具体化し、これら計画サブ要素の関連性を整理して、それらの計画要素のまとまりを計画要素群として集成する。さらに、この単独、複数で組み合わせられた計画要素群から代替案比較の対象となる計画オプションを作成する。最後に、計画オプションの中から、環境政策の目的に合致し、事業フィージビリティも高い計画オプションを選び出す。このとき、計画オプションは要素からなる組み合わせで数が多いために、代替案比較に供する前に系統的にしぼり込みをかける。すなわち、定量評価をおこなう複数の計画オプションのまとまりを、代替的計画

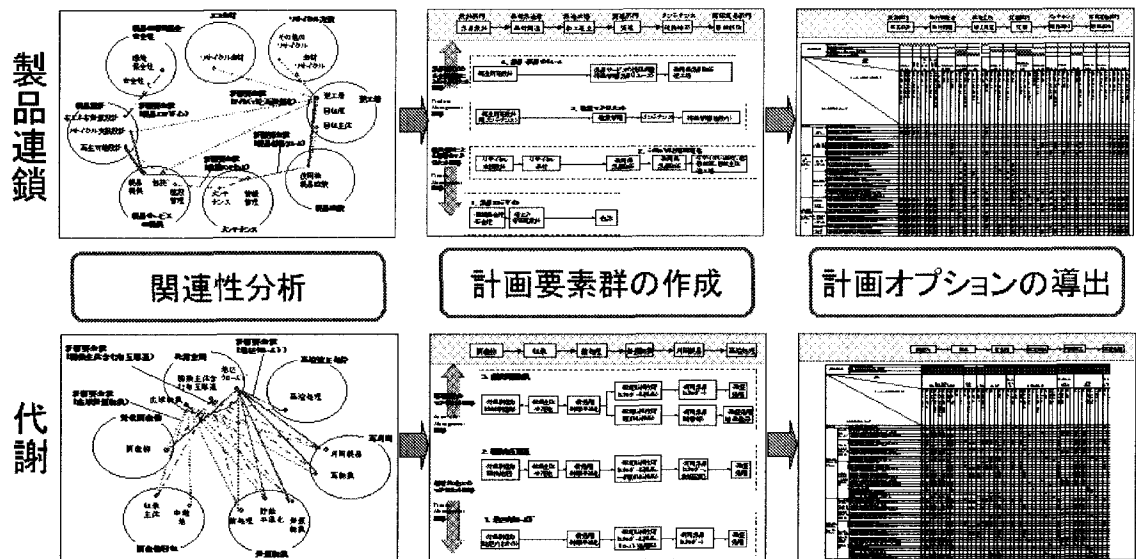


図4 計画オプションの導出プロセスのフレーム例

パッケージとして取り出す手順をとる。図4は循環構築の計画策定での製品連鎖マネジメントと食う単体者マネジメントの計画領域における関連性分析から計画要素群を抽出して、計画オプションを導出するプロセスを示している。

事業化の段階になると、先導的に実施する事業の費用便益が評価されるとともに、地域としての共通的基盤、制度などを検討することによって関係主体との協働の効果を最大とするように事業化計画を具体化し、行動内容を絞り込んでいく。地域に賦存する基盤施設を活用し、連担して建設することが望ましいような共同インフラを、必要な公的関与と組み合わせて整備することで、初期の事業化コストを削減し地域全体で平準化できるかがポイントとなる。それに応じて事業規模や事業立ち上げの時間スケジュールなどが調整されてくる。立地に伴う環境共生への配慮にあわせて、地域社会との調和をも図り、循環共生を推進する具体的な指針や基準が示されることになる。

5. 統合的な都市環境政策のオプションの評価研究例

(1) 建設物の循環マネジメントの施策評価研究例

国土空間、特に大都市圏において、高度成長期を通じて膨大な都市構造物ストックが集積されており、2000年からの半世紀に一齐に更新の時期を迎える。都市構造物の解体に伴い発生する建設廃棄物のうち約85%は非木造構造物の解体にともない発生するものであるなかでコンクリート塊がその90%を占めており、付随する鋼材と合わせて95%を構成する。鉄鋼については電炉鋼としての再生の技術開発に見通しがついており、バージン製品との価格競争のみが残る主要な課題となっている一方で、建設廃棄物全体の4分の3を占めるコンクリート塊については路盤材としての限定的なリサイクル利用しか、現時点では再利用が実現していない。そのため、循環型の環境資源マネジメントを都市政策として展開する施策の検討は緊急の課題となる。既存の都市ストックの立地を考慮した都市の空間マネジメントとしては、物質代謝のプロダクトチェーンマネジメントに加えて、都市空間の活動効率を制御する都市基盤として、都市の交通システムと都市のエネルギー供給システムを循環型のマネジメントの施策オプションとして取り扱うことが必要となる。あわせて、都市の構造物はその立地特性により、そのリサイクル財の市場流通の特性が変わるとともに、都市構造物の立地特性は基盤システムとの適合性によって都市活動の効率に大きな影響を与える。ここでは、都市構造物の製品連鎖マネジメント、基盤のマネジメントに加えて、都市の空間利用を制御する都市施策をあわせてマネジメントの対象としている。図5に空間代謝マネジメントの施策オプションを示す。

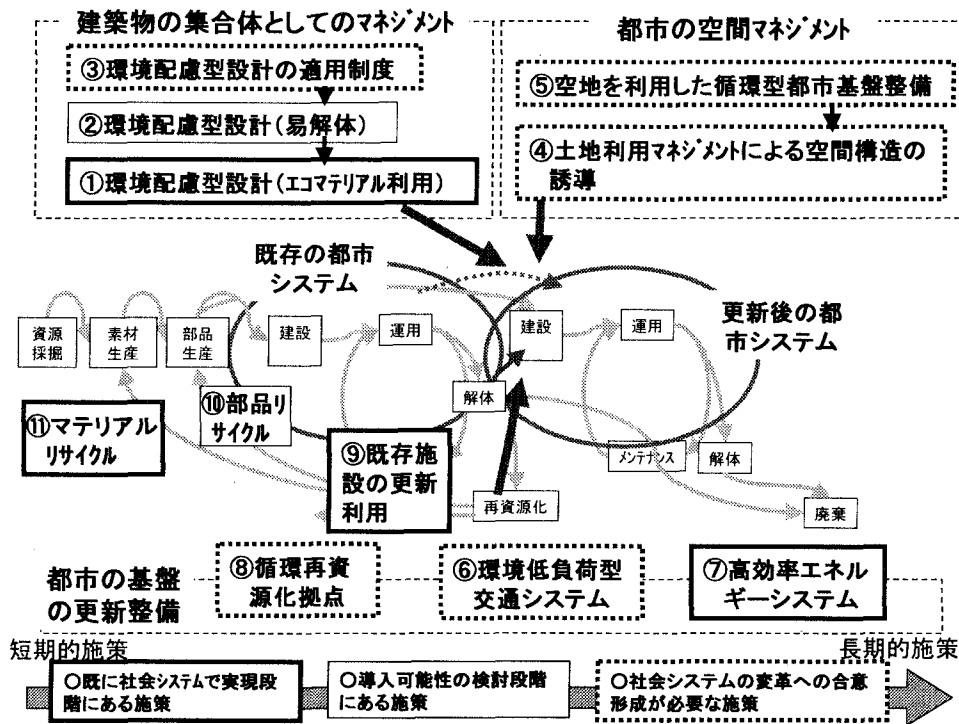


図5 空間代謝マネジメントの施策オプション

現行の建設廃棄物リサイクル法案では、各自治体は建設物の解体や施設更新の際に、鋼材などの有価物に加えて、市場化されていないものについても再資源化可能なコンクリート、アスファルト、木材を分別解体等による現場で分別することを義務づけることにより、建設廃棄物の分別利用が可能な状況を誘導することを目指している。一方で、建設廃棄物の再資源化施設までの逆輸送や再資源化資材の供給情報提供についての社会的な仕組みの整備が進んでいない。新規資源に対して再資源化資源は価格競争力を持たない状況で、建設構造物の循環利用を都市圏の単位で進めるには進めるには、建設副産物の再資源化の社会コストを低減することのできる基盤づくりが緊急の課題といえる。実際に、現状では大都市圏の解体と施工の現場では、都市域で発生した建設資材は外縁部または郊外の間処理施設やストックヤードに持ち込まれた後、別の施工現場の需要に応じて再び都市中心部に輸送されることが通常となっている。再資源化される資材について、単位重量当たりの利用価値が他の産業廃棄物に比較するときわめて小さい建設廃棄物の循環促進に向けては、環境配慮型設計によりコンクリート製品の再利用を進めるような建築設計段階での社会的誘導策や、再資源骨材などのリサイクル製品の供給情報の提供システムなどの構築と合わせて、できるだけ逆輸送と再資源化製品の順輸送の距離を小さくするクローズドのリサイクルの空間基盤整備が重要となる。コンクリートと建設廃材のクローズドのリサイクルを可能にする空間基盤システムは、建設物の発生する地区単位での廃材のストック空間と再資源化施設を整備することと、都市スケールでその基盤を整備することについて、現状の都市外での処理と処分のシステムとの比較でその環境改善効果が議論される必要がある。地区と都市、都市外部の階層的なリサイクル拠点の整備は空間マネジメントの重要な施策オプションの一つとなる。

(2) 循環構築の代替的施策の環境効率の算定例

製品連鎖マネジメントの循環に向けての施策オプションと、空間代謝を制御する施策オプションを環境マネジメントの計画要素として取り扱い、都市環境マネジメントにおける環境改善の効果を評価するシステムを構築することにより、部分最適ではない全体の最適を試行する計画の立案と意思決定を支援する客観的評価が可能になる。都市環境マネジメントは短期間でのパフォーマンスを目的とするよりもむしろ、中長期的な環境改善と都市活動の調和を目指すものであるとの立場からは、その評価は現状の都市を静的に捕らえて施策オプションの環境改善効果を議論するのではなく、都市の長期的な変化を視野に入れた評価システム

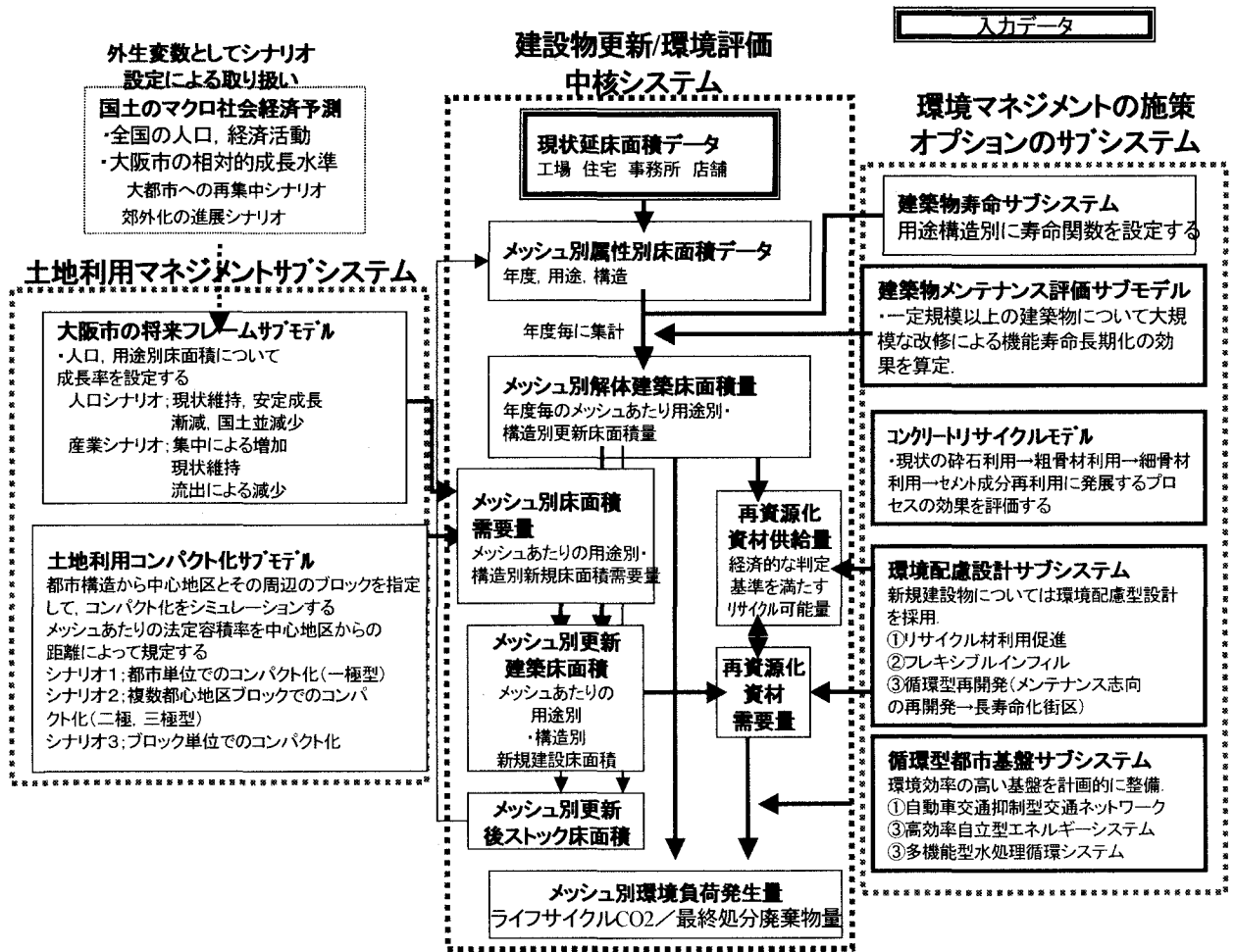


図6 都市環境マネジメントと計画と評価のシステムの構成

を構築することを目指している。計画と評価のシステムは次の項目を基本的な指針として構築する(図5)。

①都市に立地している建設物の仕様、施工年度などのプロフィールデータをもとに、建設物カテゴリーごとの寿命関数を設定して、建設物の更新スケジュールを長期にわたって予測する。寿命関数は施設のメンテナンスのレベルや長寿命化などの設計仕様によって操作的に変動する形を持つ。

②建設物の製品連鎖マネジメント、基盤整備マネジメントの施策オプションは建設物の物質フローの算定、環境負荷の評価プロセスに内部化する。

③長期的な土地利用誘導については土地利用規制の代替的な戦略により、立地変動のシナリオを描く。人口や産業活動の水準および建設物の社会的需要量については現状水準、安定成長、逡減などの単純なシナリオを外生的に用意する。製品連鎖マネジメントのオプションとしては建設物の更新時における環境配慮型設計とともに、更新にともない解体される施設の建設資材をリサイクル利用する施策の環境改善効果が高いことが期待される。一方で空間代謝マネジメントのオプションとしては、物質循環を促す土地利用へ長期的に誘導することと合わせて、都市の環境基盤の整備が焦点となる。環境基盤としては物質循環基盤とエ

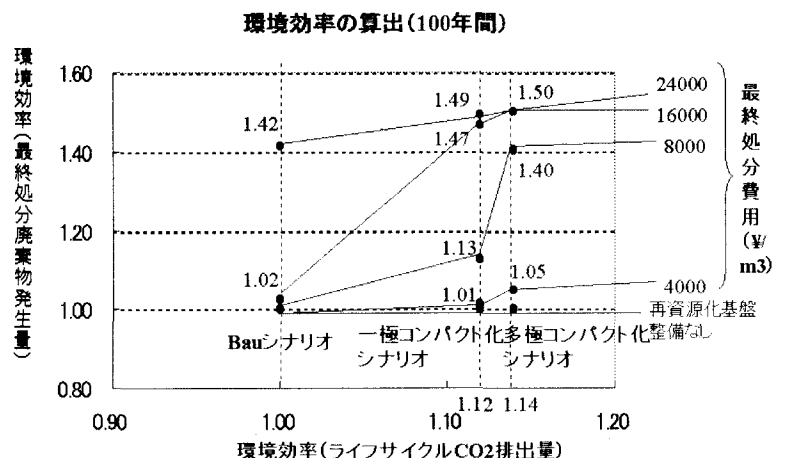


図7 都市集積循環マネジメントの環境施策の環境効率評価例

エネルギー供給基盤，交通基盤，緑地基盤をとりあげる．土地利用の制御では，具体的に開発を抑制する地区と規制を緩和する地区の分布を複数のシナリオによって規定して表に示す複数のシナリオを用意している．大阪市を対象として複数の環境マネジメント施策の環境効率を，異なる立地コントロールのシナリオの下で評価比較した結果例を図7に示す．

7. おわりに

本稿では都市環境政策の評価手法を整理するとともに，多様な計画領域から構成される政策についての代替的な計画選択肢の構築の手順の検討を紹介した．都市構造物の循環マネジメントについての研究を統合的な研究と評価の試みとして紹介した．

環境政策の統合的な計画と評価についての見当は短所についたばかりであるが，今後は①地域や圏域の社会経済活動，環境情報，土地利用情報の利用可能なデータベース構造を明らかにしたうえで，②地域分析から計画の代替案構築とその評価をつなぐシステム構造を描くことを目指している．

注記：本報告は科学技術振興事業団戦略的基礎研究推進事業（CREST）の「社会実験地での循環複合体のシステム構築と環境調和技術の開発」（研究代表 盛岡通）の一部である．

主要な参考文献

- 盛岡通・藤田壮他；社会実験地での循環複合体のシステム構築と環境調和技術の開発，CREST 報告書，第4編 都市集積更新研究，第5編循環複合の評価技法研究，第6編循環複合体の企画研究，2001．
- 藤田他；建設物の製品連鎖マネジメントによる環境負荷削減効果の算定，環境システム研究全文審査部門論文集，vol.28，pp.47-pp.58，2000．
- 盛岡通他；社会実験地での循環複合体のシステム構築と環境調和技術の開発，CREST 中間報告書，pp.151-184，2000．
- 総合的建設副産物対策 平成12年度版，建設副産物リサイクル広報推進会議，2000．
- 漆崎昇，下川泰三，酒井寛二；建築資材循環利用の現状と今後の課題（その2）—建設物の解体廃棄物とリサイクル—，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.967-968，2000．
- 藤田他；都市集積地区から派生するライフサイクル二酸化炭素の評価の都市マネジメントへの展開についての考察，環境システム研究全文審査部門論文集，vol.27，pp.355-pp.364，1999．
- Graedel, T.E., Allenby, B.R. 共著，後藤典弘訳：産業エコロジー，トッパン，1996
- OECD: *Towards Sustainable Development. Environmental Indicators*, 1998
- 土木学会環境システム委員会編，『環境システム—その理念と評価手法—』，共立出版株式会社，1998
- United Nations, *Indicators of Sustainable Development Framework and Methodologies*, New York, 1996
- OECD 編，樋口清秀監訳：エコ効率，インフラックスコム，1999（OECD:ECO-EFFICIENCY, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris and INFULUX COM.,1998）
- 山本良一監訳：エコエフィシエンシーへの挑戦，日科技連，1998（L.D.DeSimone and F. Popoff with the WBCSD: ECO-EFFICIENCYJUSE PRESS,LTD,1997）
- WBCSD のホームページ：<http://www.wbcd.ch/ee/EEIConceptSlideSelectionApril2000.PDF>
- IHDP ホームページ：<http://www.uni-bonn.de/ihdp/ITproject.htm>