

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

Urban Environmental Management Based upon Life Cycle Estimation of CO₂ Emission from Central Urban Districts

藤田 壮, 盛岡 通, 村野昭人

Tsuyoshi FUJITA, Tohru MORIOKA, Akito MURANO

ABSTRACT; Environmental impacts from urban renewal process are caused either through urban activities or construction of urban structures. Strategic environmental improvement methods are devised and their implemented effects are analyzed as a case study in Nakanoshima, West District, a downtown area of Osaka. First, an estimation method of environmental emission, such as carbon dioxide and solid wastes on urban renewal process is discussed. Second, the estimation method is applied by utilizing Life Cycle Analysis (LCA) methodology for buildings, urban and metabolic infrastructures. Material inventory is combined with the quantitative estimation sub-system for environmental emissions. Third, various policy tools for environmental improvement are adopted for their effects to reduce life cycle impacts by identifying effective urban environmental management scenarios at district, societal and regional levels. Finally, policy scenarios are planned as combinations of multiple environmental improvement methods and their comparative effects are investigated. The scenarios are composed by various calculation assumptions taking into consideration future growth of building floors and renewal process of the specified area.

KEYWORDS ; Urban Development, Life-Cycle Assessment, CO₂ Emission, Environmental Impact Reduction Method

1. はじめに

ライフサイクルアセスメント (Life-Cycle Assessment, 以下 LCA) 手法を適用することによって, 建築物から広く社会資本施設まで, 都市構造物から発生する環境負荷をライフサイクルで評価する研究はすでに広く行われている^{1), 2), 3)}. 主に個別の構造物について現状の施設のライフサイクル CO₂ を評価する試みを通じ, 構造物のライフサイクル評価のための物質インベントリや環境負荷の原単位の整備が進められており, 今後とも継続的な検討と議論を続けていくことが期待される. 一方で, 都市構造物の環境負荷をライフサイクルで測定した値を解釈し, それをどのように都市政策に反映するかについての議論は未だ十分に行われていない. すでに国内でもライフサイクルの環境評価をデザインに反映すること (Design for Environment; DfE) がすでに実践の段階に達している工業製品などと異なり, 建築構造物や土木構造物では, 評価した測定値を意思決定の場にどのような論理を持って提示すべきかについては, 未だ共通的な社会の合意を形成できているとは言い難い.

本研究では第一に, 都市構造物の建設と運用, その廃棄に至るまでのプロセスで発生するライフサイクルの環境負荷の特性について検討した上で, すでに LCA を DfE に展開する試みが実現しつつある消費財の

* 大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻 Dept. of Environmental Eng., Graduate School of Engineering, Osaka University

工業製品との比較で、都市構造物で考えられる生産から消費、廃棄までの製品連鎖に関わる主体(stakeholders)間での負担のルールについて言及する。第二に、都市構造物の物質インベントリーと環境負荷原単位マトリックスを整備するとともに、構造物更新のスケジュールを設定する。すでに立地している構造物のLCA評価を行うだけではなく、将来的な都市構造物の更新パターンを予測するシステムを構築する。第三に、都市構造物の更新が、21世紀にかけて進みつつある大阪市中之島西部地区を評価対象として、都市構造物から発生する環境負荷の抑制のための省エネルギー化や省資源化など、構造物そのものに対する施策だけでなく、建物の配置や更新のパターンおよびそこでの活動を制御する施策の整理にもとづき、環境改善の施策の体系を構築する。最後に、複数の成長シナリオを設定しつつ、個別の環境負荷の改善効果を比較評価したうえで、得られた評価結果から、都市環境政策への提言すべき戦略を考察する。

2. 都市集積に起因するライフサイクル環境負荷の分類

2.1 都市構造物のLCAに関する既存研究

都市構造物を対象とするLCA研究は、建築物については、たとえば酒井ら¹⁾は、建築行為がその波及効果も含めて環境に及ぼす影響について産業連関表を用いて分析を行い、建築物のライフサイクル評価基礎データと算定手法を提示した。その一方で、土木構造物は、建築物と比較するとその形状や設計諸元が多岐にわたることから、個々の研究における成果を比較検討する、あるいは統合するといった次のステップへの展開が困難であるとされてきた。そうした状況下で、土木構造物へLCAを適用する試みとしては、土木学会地球環境委員会の環境負荷評価(LCA)研究小委員会が、土木構造物にLCAを適用する際の特徴を整理し、その枠組みの構築と原単位の整備を行っている²⁾。また、個別の土木構造物を対象に行なった研究として、井村ら³⁾は都市構造物のLCAに含める評価範囲について提案しつつ、下水道システムを対象として建設及び運転における環境負荷の評価を行っている。また中島ら⁴⁾は地下鉄整備を対象として建設・走行における評価を行い、工法の違いによる影響を実際のデータを基に分析している。さらに対象を個別の土木構造物に限定せず、空間に含まれる複数の構造物を含む「都市や地域」を対象として評価を行った例としては、電力中央研究所⁵⁾の研究や伊藤ら⁶⁾の研究がある。前者は各都市インフラ施設を対象として可能な限り同一の算定方法を適用させることにより、その環境影響について比較検討を行っている。後者はニュータウン建設を対象として、造成工事・建設工事・供用までを含めて評価を行い、加えてCO₂削減施策の効果及び適用可能性について言及している。一方、中村ら⁷⁾は都市間高速道路を対象として建設・維持管理・供用を含めて評価を行う際に将来の走行自動車台数を外生的に与えることによって、現状分析にとどまることなく将来発生する都市活動需要に起因する環境負荷についてLCAを適用している。

2.2 都市集積に起因するライフサイクル環境負荷の分類

これまでの土木建築物についてのLCA評価についての先行研究では、個々の都市構造物について発生・派生する環境負荷のLCAによる評価をおこなって、その結果を構造物の設計や施工法に反映することに主眼がおかれてきた。これは通常の工業製品で普及しつつあるLCA手法を土木、建築の分野に応用する試みと解釈することができるが、これらの研究を通じて、LCAの結果を都市環境政策へ展開するには次の点に考慮することが必要とされてきた。第一に、都市構造物は製品としての寿命が長いいため、ライフサイクルの環境負荷を削減する新しい製品の設計が採用されても、都市や地域全体としての環境効率が改善されるには長い年月が必要となる。従って、都市の代謝効率を改善するには、新しく整備される構造物の性能を高めることだけではなく、既存の構造物の運用効率を高めるための施策が有効となる。第二に、通常の工業製品では製品の設計時の性能によってその使用の状況が規定されることが一般的であるのに対して、都市構造物ではその利用の用途や活動密度によって、運用時点に発生する環境負荷が大きく増減する。また、通常の工業

製品と比較しても、その利用段階での環境負荷を制御する施策が都市計画等ですでに比較的体系化されて整備されている。

都市構造物から発生、派生する環境負荷のLCA評価を、都市の環境政策への展開を検討するために、本研究では、構造物の資材生産や設計施工という、構造物の製造段階の環境負荷の削減策だけでなく、構造物の運用段階での環境負荷を制御する計画要素の削減効果を合わせて評価の視野に入れる。運用段階に発生する環

境負荷は、対象とする地区内の施設分布の特性や活動形態だけでなく、地区の外部と連続する交通基盤やエネルギー基盤の性能特性や運用制御システムによっても影響を受ける。そこで、都市構造物の材料の加工や廃棄段階など、製品連鎖上(Product Chain)での環境負荷に加えて、都市集積地区の活動代謝(Metabolism)に関連して、地区外で発生する環境負荷についてもライフサイクル評価の対象とする。

さらに、工業製品の場合は、市場で外部化されている環境負荷の責任を、最終的な加工業者に帰する拡大生産者責任原則(Extended Producer's Responsibility; EPR)が一般化しつつあるが、都市構造物では事業者と利用者の間に複数のセクターが介在しており、単純な生産者責任原則にもとづく政策では、社会的な合意を形成することが困難であると判断される(図1)。そこで、都市構造物を工業製品と見なし、その製品連鎖の関連主体のうち最も大きな利得を得る主体が、連鎖に伴い発生する環境負荷の制御に責任を持つとする「製品連鎖マネージメント原則」を前提とするのではなく、環境負荷の発生する地点で環境負荷の発生を制御する「発生空間マネージメント原則」や、都市の外部地域へ波及する環境負荷の大きさを考慮して、都市に立地する活動主体が派生する環境負荷にも責任があるとする、いわば「拡大都市活動主体責任原則」など、代替的な責任原則を設定したうえで、LCA評価をもとに都市環境政策のあり方を議論するアプローチをとりたい。

そこで、本研究では、都市構造物は通常の工業製品と異なり、LCAを用いて建築物や土木構造物のライフサイクルで発生する環境負荷を算定しても、その値を集計的に取り扱った値では都市政策の根拠とすることが困難であるとの立場に立つ。都市集積から発生・派生するライフサイクルの環境負荷を都市環境政策の合理的な規準として用いるために、以下のようにライフサイクル評価値を区分1から区分4の4つのカテゴリーに分類して算定するものとする⁸⁾。各カテゴリーは都市のストックに関わる負荷とフローに関わる負荷に分類するとともに、その発生する場所が都市環境政策の対象地区の内部であるか、外部であるかによって4つのカテゴリーに分類する。

(1) 負荷の属性による分類

都市施設に起因する環境負荷と都市活動に起因する環境負荷に分類する。前者は、建築物及び道路・鉄道・水道施設(浄水場・処理場・水道管など)・発電所・ガス管・廃棄物処理場などのインフラ施設の建設・維持管理に伴う負荷を含む。建設や維持管理段階で使用される、資材の生産・加工・運搬に伴う負荷もこの分類に含まれる。後者は、居住・生産・業務活動などで消費されるエネルギーに伴う負荷や、交通の走行によって発生する負荷、各インフラ施設の運用に伴い発生する負荷を含む。

(2) 負荷の発生場所による分類

都市の内部で発生する環境負荷と都市の外部で派生する環境負荷に分類する。前者は、建設工事において直接発生する負荷や、都市活動の結果として都市内で直接発生する負荷を含む。後者は、使用される資材が外部にある工場で生産される場合にその工場において発生する負荷、都市内で使用されるエネルギーを生産

通常の工業製品

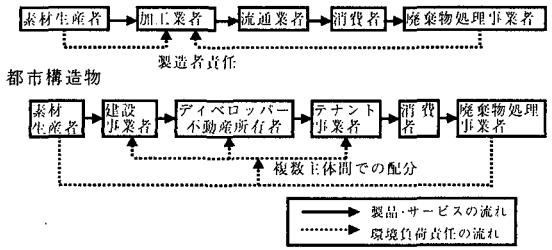


図1 財・環境負荷責任の流れ

する際に都市外で発生する負荷、都市へ通勤する人間が都市外を走行することで生じる負荷などを含む。

属性による分類と発生場所による分類を組み合わせ、都市集積から発生・派生する環境負荷を区分 1～4 に分類する。区分 1 には施工現場において建設工事によって直接発生する環境負荷、区分 2 には都市施設の建設・維持管理のために使用される資材の生産・加工・運搬に伴う環境負荷、区分 3 には都市構造物を利用して行われる都市活動の結果として直接発生する環境負荷、区分 4 には都市活動を行うために都心の構造物の集積地区の外部で発生する発電事業や対象地区へアクセスするための地区外での交通に伴う環境負荷がそれぞれ含まれる (図 2)。

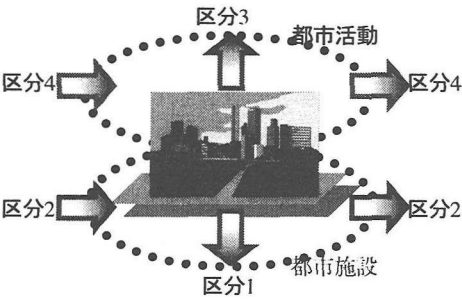


図 2 環境負荷の区分

3. 都市構造物のライフサイクル算定システム

3.1 算定システムの基本フレーム

本研究では都市基盤となる建築構造物、土木構造物の類型化をおこない、それぞれの構造、工法、規模ごとに単位構造物量あたりの環境負荷原単位を算定して構造物のライフスタイル環境負荷を評価する方法を採用する。都市構造物について、資材調達、資材運搬、施工、運用、保守、大規模更新、廃棄の 7 つのステージに分割して、それぞれのステージで発生する環境負荷を、「個別積み上げ方式」と「産業連関方式」を併用した「組み合わせ方式」を用いて算定する。

計算の基本単位として、建築構造物および土木構造物の用途、構造の種類別に「算定ユニット (estimation unit)」を設定する。個々の建物や街区や地域ごとに計算対象のデータをマトリックス (data matrix) として用意する。個々の算定ユニットに対して資材生産から、資材運搬、現場施工、運用稼働、保守、大規模更新、廃棄までの 7 段階の「ステージ (estimation stage)」ごとに消費する資材やエネルギーの量の原単位マトリックス (マテリアル・マトリックス, material inventory unit matrix) を用意する。各資材毎に、二酸化炭素や廃棄物の発生量、エネルギー消費量などの環境負荷の原単位マトリックス (環境負荷マトリックス, article matrix) を用いて、建物床面積などの構造物の物量変数との演算により環境負荷を算定する。

都市集積に含まれる都市基盤として、建築物・交通基盤 (地下鉄・道路)・水道基盤 (上下水道)・エネルギー供給基盤 (電力・ガス)・廃棄物処理基盤の 5 つを取り上げる。都市集積から発生・派生する CO₂ の算定手順のフローを図 3 に示す。詳細については別稿を参照されたい^{9), 10)}。登記簿謄本などをもとにして建築物の建設年度・用途・構造・規模のデータを入力データとして用いる。まず資材生産・資材運搬・施工・運用・保守・大規模改修・解体の 7 つのステージごとに、各ステージにおいて使用する資材量・エネルギー量の原単位を用いて消費量のインベントリを算出する。さらに CO₂ 発生量原単位を用い

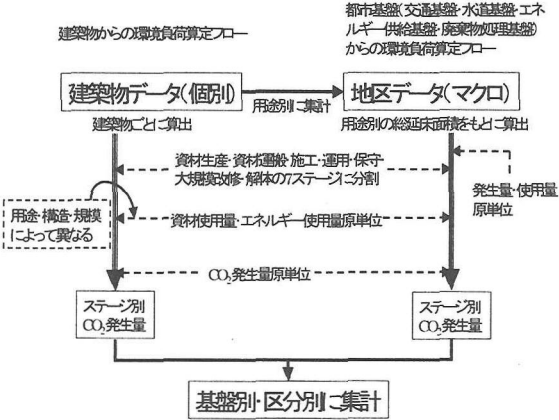


図 3 都市集積からの CO₂ 算定のフロー

て環境負荷をライフサイクルで算定する。CO₂ 発生量原単位には土木学会の暫定推奨値²⁾を用いる。この値は産業連関表を基礎データとして利用し、積み上げ法も部分的に併用して産業間の波及効果を含めている。建築物に関する原単位には、運用時には文献調査¹⁾による値、運用時以外には総合エネルギー統計¹²⁾と着建築施工情報¹³⁾から算出した値を用いる。建築物以外の基盤に関する原単位には文献調査^{2), 3)}による値を用いる。

3.2 算定のサブシステム

更新後の建築物については、現状の建物の施工、運用、解体および、権利調整などの再開発までの待機期間 t_1 , t_2 , t_3 , t_4 について、 t_1 は建築物の構造・階数・延床面積によって決定される内生変数とし、 t_2 , t_3 , t_4 は外生的に決定する。建築物ごとの着工年度 (T_0) を入力することにより現状の建築物解体年次、再開発後の建築物の施工開始年次、更に運用開始年次を決定する。建築物の運用期間や更新猶予期間、及び更新後の建築物の建蔽率、敷地面積、用途を操作的に変更できる算定システムを構築している (図 4)。

交通手段としては自動車・鉄道・徒歩を想定して、以下の手順で交通フローに起因するライフサイクル CO₂ を算定する。まず、各建築物の延床面積データを用途別に集計し、発生交通量原単位を用いて自動車のトリップ数を求める。さらに大阪市の区別のモード分担率に基づいて外生的に与えたモード分担率を用いて鉄道のトリップ数を求める。それらに別途求めた平均トリップ長及び CO₂ 発生量原単位を用いて全体の CO₂ 発生量を求める (図 5)¹⁴⁾。

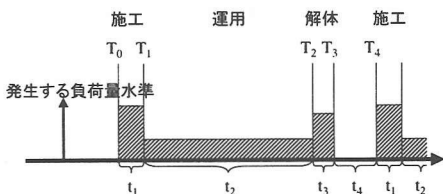


図 4 都市更新スケジュール

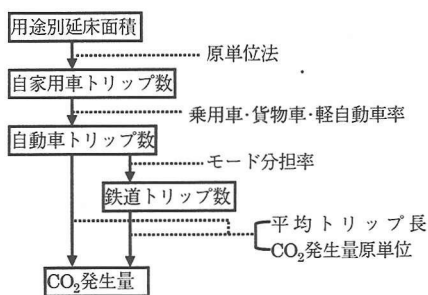


図 5 交通基盤からの CO₂ 算定のフロー

4. 都市集積から発生・派生する環境負荷特性

4.1 試算対象地区の概要

都市集積から発生・派生する環境負荷の試算においては、中之島西部地区を対象地区とする (図 6)。対象地区は大阪市の都心部に位置しており、堂島川と土佐堀川にはさまれ、面積 33ha を持つ。業務施設を中心にホテルや文化施設が数多く立地するが、大阪大学医学部の跡地をはじめとして駐車場や空地もあり、いくつかの再開発事業が現在構想、計画されている。1997 年時点では建築施設の延床面積が約 78 万 m²、遊歩道や高速道路を除いた一般道の総面積が 68603m² である。

2000 年から 2049 年までの 50 年間のライフサイクル CO₂ 発生量を算定する前提として、解体された建築物は設定容積率の建築物に更新されていくとして、現状で空地である敷地は、所属するブロック内で最も早く更新される建築物の着工年度と合わせて業務系用途の建築物が建設されるものと仮定する。これは評価対象地区が大阪都心地区に近接して位置する立地特性を考慮している。設定容積率には二つのシナリオ

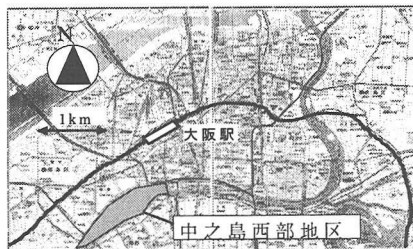


図 6 中之島西部地区地図

を用意する。すなわち、1997 年時点では対象地区全体の容積率が平均で約 307%であるのに対して、中之島西部地区での現状の法定容積率を面積で加重平均した建設可能容積率は約 700%となる（図 7）ことから、現状の建物容積率の水準を前提とする「現状水準更新シナリオ」と、法定容積率まで各敷地での開発が進み、地区全体でグロス容積率 600%の水準まで開発を許容する「高度利用更新シナリオ」を採用する。

4.2 都市集積から発生・派生する環境負荷特性

基盤別に算定した結果では、建築物と交通基盤、エネルギー基盤に帰属するCO₂発生量が、他の二つの基盤に帰属する発生量より大きな割合を占める(図 8)。

区分別の算定では、都市活動に伴い都心地区の外部で派生する環境負荷の区分 4 が全体の大部分を占め、都市構造物の建設・維持管理の過程で地区内で直接発生する区分 1 の負荷は他の区分と比較して無視できるほど少ない（図 9）。都市活動に伴うライフサイクル CO₂ は主に、交通モードでの車両等走行（交通基盤の区分 3 と 4）、およびエネルギーの使用（エネルギー基盤の区分 3 と 4）、さらに建築物の建設（建築物区分 1、2）から発生しており、基盤の整備と更新に起因する区分 1+2 と、都市の活動に起因する区分 3+4 のライフサイクル CO₂ 発生量を比較すると、後者が全体の 80%以上を占める(図 9)。この算定結果は、都市のストックの形成に起因する環境負荷（区分 1 と区分 2）に比較して、都市の活動フローに関連する環境負荷が大きな割合を占めることを意味する。すなわち、都心地区からのライフサイクル CO₂ 発生量を抑制するには、新たな基盤施設の変更を必要としても、活動に伴う環境負荷の小さな、環境効率の高いまちづくりを実現する戦略が、長期的に見れば負荷削減に有効である可能性を示唆する。

また、都心地区の内部で発生する区分 1+3 の環境負荷と地区の外部で発生する区分 2+4 のライフサイクル負荷量を比較すると、後者が全体の 90%以上を占めており、都心地区の活動が地区外での、交通走行やエネルギー供給、さらに建築物の資材供給に伴う環境負荷に支えられていることがあきらかになった、

5. 環境負荷削減施策の評価

5.1 環境負荷削減施策の設定

都市構造物から発生するライフサイクル CO₂ を抑制する環境改善施策は、構造物の資材調達から加工までの製品としての製造のライフサイクルを改善する施策群として「ビルディング・マネジメント」、都市集積地区の廃棄やエネルギー、交通システムに関わる都市代謝基盤を改善する「ユーティリティ・マネジメント」、さらに、都市構造物の更新のパターンを制御して都市集積地区の空間構造を改変する「空間マネジメント」があり、それぞれ地区内での施策と地区の内部だけでなく都市や地域のスケールで導入すべき施策

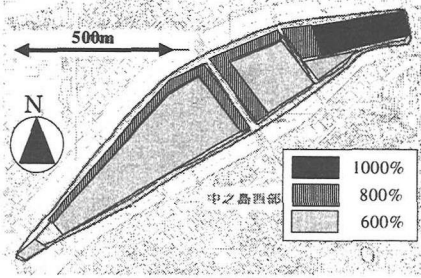


図 7 中之島西部地区における法定容積率

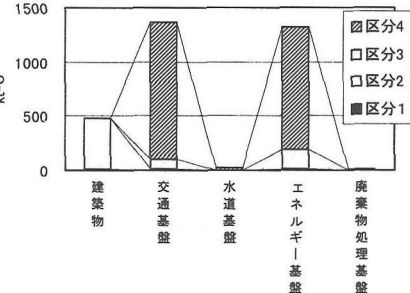


図 8 600%更新における基盤別 CO₂発生量（2000—2049）

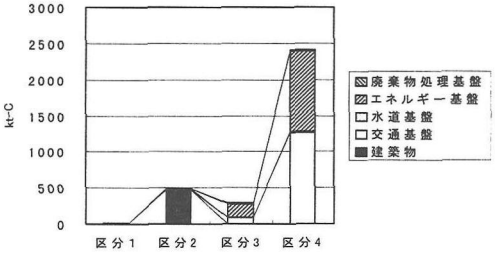


図 9 600%更新における 区分別 CO₂発生量（2000—2049）

表1 環境負荷削減施策の設定

施策分類	施策名	内容
ビルディング	エコマテリアル	建築物の建設や維持管理において使用される資材のうち、セメントがポルドランドセメントから高炉セメントへ100%転換、鋼が高炉鋼から電炉鋼へ50%転換
	廃棄物リサイクル	建築物の解体に伴い発生する廃棄コンクリート等を再生工場に運搬して再生骨材に転換し、建築物の建設や維持管理において骨材として使用
ユーティリティー	省エネルギー	建築物の運用段階において使用されるエネルギー量を30%省力化
	燃費改善	自動車の走行段階において、走行燃費が向上し、発生CO2原単位が10%減少
	モーダルシフト	自動車から鉄道へと分担率が5%シフトすることを想定
空間	東街区集中利用	中之島西部地区における全延床面積を東街区に集中して配分
	街区共同化	更新の際、ブロックごとに一体化させて更新
	高さ規制	容積率はそのままに、建築物の高さを10Fに規制、建蔽率を増し、建築面積を増加させることによって容積率は維持する

群から構成される。廃棄物再利用については施工の現場で建設廃材の再利用を促進するビルディング・マネジメントの側面と、廃材の再資源化施設や廃材のストックヤードを地域の基盤として整備するユーティリティー・マネジメントの側面がある¹⁵⁾。ケーススタディでは、表1の施策について取り上げてその環境改善の効果を算定した。街区の共同化を促進する施策については図10に示す手順で計画の一体的開発のシミュレーションを行なった。すなわち、既存の道路構造などを考慮して、対象地区を平均の敷地面積が約1haとなる22ブロックに分割し、設定した建築物の製品寿命（ここでは50年）を超過する建築物の立地する敷地と空地の割合がブロック全体の一定値（ x 、ここでは70%）を超えた場合は、ブロック全体で一体的な建築物の再開発を行なうと仮定する。

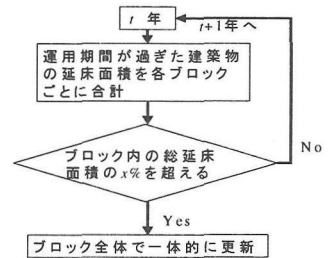


図10 街区共同化のアルゴリズム

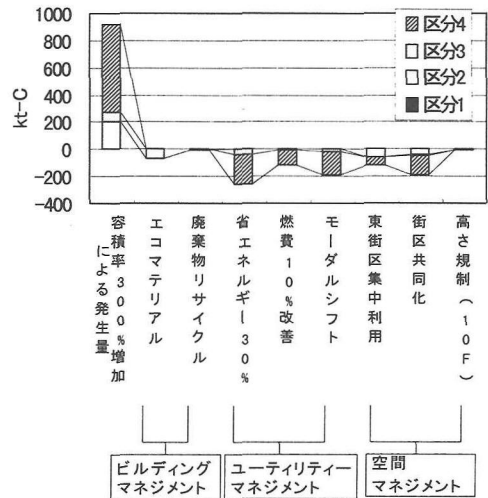


図11 各施策によるCO₂排出変化量

5.2 環境負荷削減施策の効果

それぞれの環境負荷の削減施策を高度利用型シナリオのもとで個別に採用した場合の50年間のライフサイクルCO₂の発生量削減効果を図11に示す。図の「容積率300%増加による発生量」は高度利用を容認するシナリオと現状水準の更新シナリオとの差であり、現実のゆるやかな容積率コントロールの下で都市更新が進められた場合、1998年の施設立地水準からの増加量として表現している。

算定結果は、省エネルギーやモーダルシフトなど都市活動に伴う交通とエネルギーに起因する環境負荷を抑制する施策の効果が大きいことを示す。一方で、「街区の共同化」を進めることや、駅周辺の建築物の立地を促進する「地区の東街区の集中利用」などの空間マネジメント施策も、十分に大きな削減効果を持つことが明らかになった。

また、構造物の製品特性を改善するビルディングマネジメント施策や省エネルギービル化は、構造物の耐久年数が経過した後で順次更新するよりも、早い時期に環境高効率型に転換するシナリオが、地区全体ではより大きな環境負荷削減効果を持つことが考えられる。そこで、建築物の製品寿命を考慮して個別に更新を進める「逐次更新シナリオ」と、評価対象期間の最初に地区全体の計画的な都市更新を実現する「一括更新

シナリオ」を設定して、現状更新と高度利用シナリオとの組み合わせで、それぞれ 4 つのシナリオグループを構成する。1 a は現状の土地利用密度で逐次更新を進めるシナリオ群、1 b は現状水準で一括更新を実現するシナリオ群、2 a は現実の法定容積率まで地区の高度利用が進む場合であり、敷地ごとに逐次更新が進むシナリオ群である。このシナリオ群は、地区から発生する環境負荷を削減するためのダウンゾーニングや計画的開発を導入しない Bau (Business As Usual) 的シナリオとなる。2 b は高度利用が進行することを前提としつつ、一括更新によって地区の構造を変革するシナリオ群。シナリオグループ毎に異なる環境改善施策の組み合わせを想定し(表 2)、合計 22 のシミュレーション計算を行なった結果を図 12 に示す。地区の交通分担を自動車から公共交通にシフトする「モーダルシフト」施策や、駅の周辺ブロックでの建築物立地を促す「東街区集中利用」施策は、地区スケールの一括的な都市更新を実施する場合にのみ導入が可能となるとの前提を置く。

表 2 シナリオ構成

		逐次更新型		一括更新型	
		1a	1b	2a	2b
現状更新型					
高度利用型					

施策分類	施策名	1a-1	1a-2	1a-3	1a-4	1a-5	1b-1	1b-2	1b-3	1b-4	1b-5	1b-6
ビルディング	エコマテリアル	○				○	○					○
	廃棄物リサイクル	○				○	○					○
ユーティリティ	省エネルギー		○			○		○				○
	燃費改善			○		○			○	○		○
	モーダルシフト									○		○
空間	街区共同化				○	○						○
	東街区集中利用										○	○

施策分類	施策名	2a-1	2a-2	2a-3	2a-4	2a-5	2b-1	2b-2	2b-3	2b-4	2b-5	2b-6
ビルディング	エコマテリアル	○				○	○					○
	廃棄物リサイクル	○				○	○					○
ユーティリティ	省エネルギー		○			○		○				○
	燃費改善			○		○			○	○		○
	モーダルシフト									○		○
空間	街区共同化				○	○					○	○
	東街区集中利用										○	○

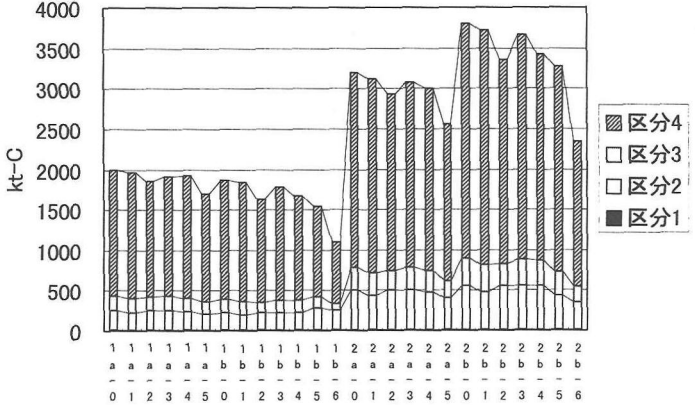


図 12 シナリオ別総 CO₂ 発生量 (2000-2049)

1998 年水準に容積率を制御する 1 a-0 シナリオと比較すると、法定容積率まで開発を許容する 2 a-0 シナリオでは、21 世紀前半期のライフサイクル CO₂ 発生量が約 60%増加する。後者のシナリオは、対象地区が大阪市のビジネス中心地区と近接して立地していることを考慮すると、必ずしも非現実的な想定ではない。むしろ、現状の容積率の水準に開発を抑制するには、何らかの成長コントロールの施策を導入することが求められる状況といえる。一方で 600%の高度利用を認めつつ、環境負荷削減の施策を組み合わせることにより、21 世紀前半期に地区から発生、派生する総 CO₂ 発生量の増加を 98 年水準の 29%増加まで抑制することも可能となる(2 a-5 シナリオ)。さらに同じ高度利用更新シナリオでも、一括更新によって地区の構造をより環境低負荷型に改変することにより、その増加を 18%まで制御することが可能になる(2 b-6 シナリオ)。高度な施設集積を都心地区への社会的要請であるとは認する場合でも、高い環境効率をもつ地区構造を計画的開発によって実現するとともに、多彩な環境負荷削減技術の組み合わせを採用することにより、発生する総 CO₂ を抑制できることが明らかになった。

6. 都市環境政策への展開と今後の研究課題

(1) 半世紀の総 CO₂ 発生量を制御する成長管理政策

都市集積から発生するライフサイクル総 CO₂ 発生量を都市環境政策の根拠とするためには、環境負荷削減を異なるセクター間で分担するための原則が必要となる。前述の通り都市構造物については、通常の工業製品で採用されつつある拡大製造者責任に代替する負担原則を設計した上で、その効率性、公平性、さらに実現可能性を検討することが必要となる。ここでは都心地区に立地する主体が、その構造物の更新と都市活動を支える地区

の外部で発生する環境負荷についても責任をもつべきであるという「拡大都市活動主体責任原則」を仮定して、ライフサイクル分析の都市政策の論理的根拠としての利用を検討する。

21 世紀前半期の総 CO₂ 発生量を 90 年代水準に抑制することを都市開発行政の制約条件とすれば、なにも環境負荷削減施策を導入しない場合には、法定容積率水準の 600%ではなく、307%までしか地区の開発は認可されない。容積率を制御するダウンゾーニングにより、Bau の環境政策下での開発容量を設定した上で、環境負荷削減施策を構造物更新時に地区単位で導入することにより許容される容積率が大きくなる環境インセンティブの導入が考えられる。図 13 は地区が一括的更新により環境効率の高いまちづくりを実現する場合には現実の法定容積率水準の 603%までの開発が認められることを示している。温暖化防止条約加盟国京都会議の議定書でわが国が合意した 90 年代水準から 6%削減を開発の制約条件とする場合には、なにも環境改善施策を講じない場合の許容される容積率は現状立地水準を下回る 289%であり、環境低負荷型のまちづくりを採用した場合には 567%の容積率も可能となる。この原則下での議論は、環境負荷制約下で都市成長を政策をマネジメントする検討の合理的な出発点と位置づけることができる。

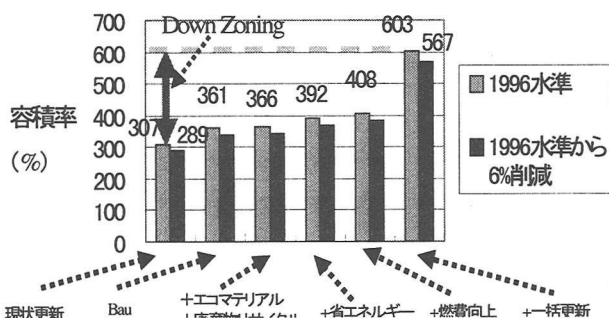


図 13 環境負荷削減施策の導入と許容容積率

(2) ライフサイクル CO₂ 発生量評価を基準とする環境開発権

ライフサイクル評価を地区内部の施策だけにとどめず、都市スケールの都市環境政策へ展開することは今後の課題としたいが、ここではそのための試案を提示する。すなわち、シナリオ分析では一括更新により環境効率の高い町作りを実現することにより、容積率が大きくても CO₂ 発生量を抑制できるシナリオの存在（シナリオ 2b-6）が示されており、現状水準のシナリオ 1a-1 に比べると、単位床面積あたりの CO₂ 発生量では約 40%削減できる。評価対象である中之島西部地区の周辺には同等な条件をもち、容積率指定を受ける業務地区が存在することを考慮すれば、何らかのインセンティブによって環境効率の高い高密度な街区を実現することにより、全体として環境負荷の発生量の抑制と、開発規模の確保を両立することも可能であることを示唆する。開発権の移転については、すでに空中権の移転などで都市計画の領域での検討は進んでいることから、ライフサイクル環境評価に基づく環境開発権の設計も検討したい。

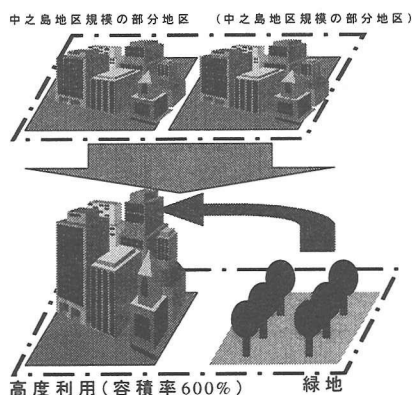


図 14 環境開発権の移転の概念

謝辞

本研究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）の一環として行われ、研究を進めるに当たりその支援を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 酒井寛二：土木建設物の二酸化炭素排出量原単位の推定，第 4 回地球環境シンポジウム講演集，pp.43-48，1996.
- 2) 土木学会地球環境委員会：土木建設業における環境負荷評価（LCA）検討部会平成 7 年度調査研究報告書，1995.
- 3) 井村秀文，森下兼年，池田秀昭，銭谷賢治，楠田哲也：下水道システムのライフサイクルアセスメントに関する研究：LCE を指標としたケーススタディ，環境システム研究，vol.23，pp.142-149，1995.
- 4) 中島芳紀，岩淵省，松本亨，井村秀文：LCA を考慮した社会資本整備による総合的環境評価に関する研究，環境システム研究，vol.24，pp.435-441，1996.
- 5) 田頭直人，内山洋司：都市インフラストラクチャー整備のライフサイクル分析，電力中央研究所報告，Y96005，1997.
- 6) 伊藤武美，花木啓祐，本多博：二酸化炭素排出抑制技術・システムのニュータウン建設への適用，環境システム研究，vol.24，pp.250-259，1996.
- 7) 中村英樹，加藤博和，丸田浩史，二村達：都市間道路の横断面構成の相違による CO₂ 排出量のライフサイクル評価，環境システム研究，vol.26，pp.261-270，1998.
- 8) Fujita, T., Morioka, T., Sakai, K., Urushizaki, N., Nakahara, T. : Life-Cycle Estimation of Environmental Emission from Urban Development Process, *Proceedings of The Third International Conference on Eco Balance – Progress in LCA for a Sustainable Society –*, pp.163-168, 1998.
- 9) Urushizaki, N., Takemoto, K., Fujiwara, T. : Life Cycle Estimation of Environmental Emission for Urban Structures, *Proceeding of CREST International Workshop 1999*, pp.165-176, 1999.
- 10) Nakahara, T. : Estimation Package for Life Cycle Environmental Emission of Urban Renewal Alternatives,, *Proceeding of CREST International Workshop 1999*, pp.177-187, 1999.
- 11) エネルギー総合管理技術協会：建築物エネルギー消費量調査報告書平成 8 年度，1996.
- 12) 資源エネルギー庁長官官房企画調査課：平成 8 年度総合エネルギー統計，1996.
- 13) 建設省建設経済局調査情報課監修：建築統計年報平成 8 年度版，1996.
- 14) 第 12 回都市環境システム研究会交通分科会資料：交通部門における CO₂ 排出量のための検討，1998.
- 15) Fujita, T. and Murano, A. : Planning Environmentally Sound Urban Renovation Strategies and Estimation of their Performance, *Proceeding of CREST International Workshop 1999*, pp.188-197, 1999.