

# 都市環境施策評価モデルの開発

*Development of Models for Evaluation on Measures of the Urban Environment*

森田 哲夫\* 小島 浩\*\* 馬場 剛\*\*\* 樋野 誠一\*\*\*\* 吉田 朗\*\*\*\*\*

*By Tetsuo MORITA, Hiroshi KOJIMA, Tsuyoshi BABA, Seiichi HINO and Akira YOSHIDA*

## 1. はじめに

地球温暖化対策推進大綱が平成 14 年 3 月に決定されるなど、諸々の環境問題に対処するために、CO<sub>2</sub> などの削減目標達成に向けた取り組みを強化していくことが求められている。これに対応し、大学や研究機関等では都市環境施策の効果を把握するためのデータベースや評価モデルの構築を進めている<sup>(1)</sup>。

都市環境に影響を与える施策としては、交通、土地利用、民生等に関する様々な分野の施策が存在し、さらに施策を組み合わせることも考えられるため、評価モデルには、これら多様な施策の影響について総合的に評価できることが求められる。

評価指標についてみると、例えば、CO<sub>2</sub> は局地的濃度が問題とされることはほとんどなく、全体の排出量が問題となるのに対し、NO<sub>2</sub> は都市圏全体の排出量よりも局地的濃度が問題となる。このように、施策の影響については、1つの評価指標だけで施策を評価することは十分ではなく、多様な指標で評価する必要がある。また、施策の効果は環境負荷の削減にとどまらず、生活の質や経済といった社会的・経済的影響も与えるため、多面的な評価の視点が必要であると考えられる。

以上より、著者らは、交通、土地利用、民生等に関わる多様な施策が都市環境に与える影響を多面的に定量評価するシミュレーションモデルを開発することとした。

## 2. 本評価モデルの位置づけ

### (1) 既存モデルの整理

都市計画、環境、経済等の各研究分野での施策評価モデルは多数存在するが、本評価モデルが目指すような多分野をまたがる総合的な評価の既存モデル

は少ない。都市環境施策の総合的な評価モデルは、国内では次に示す 2 つが知られており、本モデル開発にはこれらを参考に開発方針を検討した。

1 つめの既存モデルは、大成建設が開発した「都市環境設計支援システム - PLATON<sup>(2)</sup>」であり、都市プランナーが、複合型ニュータウンの企画・計画段階において、代替案を何度でも評価できるハンドリング性能の高い対話型システムである。自然環境を含めた都市空間において、ニュータウンに関連する都市環境技術の効果を、都市の自立性、市民生活の豊かさの 2 つの視点から、多数の指標により評価できる。さらに、大規模複合都市開発事業診断システム - SOPHIA<sup>(5)</sup>と連動し、損益計算、資金計画、経済波及効果を算出することにより事業の持続可能性の視点からも評価できるモデルである。

2 つめの既存モデルは、東京農工大学が中心となり開発した「環境低負荷型都市の設計支援システム - 都市シミュレータ<sup>(3)</sup>」である。このモデルは、市域を対象としており、都市環境施策の検討段階において、自治体職員がパーソナルコンピュータを利用し、自らシミュレーションを行うことを想定し開発された対話型システムである。GIS をベースにしていることが特徴であり、マウスを使い土地利用計画、交通計画の代替案を設定し、GIS を通じサブプログラムに入力することにより、環境負荷や資源の使用量等の評価指標をビジュアルに表現できる。

### (2) 本評価モデルの特色と位置づけ

既存モデルと比較すると、本評価モデルの特色および位置づけは、以下の 3 つに整理できる。

1 つめは、都市圏パーソントリップ調査<sup>(7)</sup>が実施されているような圏域を対象に、広域を対象とした交通施策、土地利用施策、民生施策の評価が可能なことである。既存モデルと比較すると、本モデルは

\* 交通政策研究室 \*\* 東北事務所 \*\*\* 環境資源研究室 \*\*\*\* 経済社会研究室 \*\*\*\*\* 東北芸術工科大学

より広域を対象としたモデルであり、パーソントリップ調査と比較すると、土地利用施策による人口分布の変化を内生的に予測・評価できること、住宅の省エネルギー化、地域冷暖房の導入等の民生施策といった交通施策以外の施策の評価が可能なモデルである。

2つめは、パーソントリップ調査では主に交通サービス水準の視点から評価が行われているが、本モデルは環境負荷、生活の質、経済の視点から評価できるモデルであり、既存モデルよりも多様な視点で評価できる。

3つめは、評価結果については、表やグラフ表示に加え、GISを活用することにより、詳細な地区や道路ネットワーク上での施策効果を、利用者にビジュアルに示すことが可能である。

以上の3つの整理より、本評価モデルの特色は、広域的な地域を対象に、多様な施策（交通、土地利用、民生）について、多様な視点（環境負荷、生活の質、経済）から総合的に評価可能であり、その結果が利用者にわかりやすく示されることである。

### 3. 都市環境施策評価モデルの概要

#### (1) モデルの全体構成

モデルの全体構成を図-1に示した。都市環境施

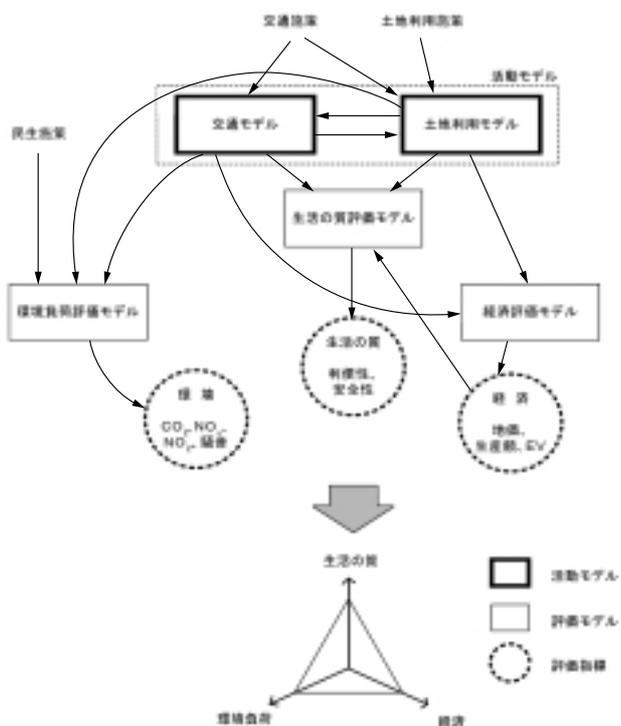


図-1 評価の視点とモデルの構成

策としては交通施策、土地利用施策、民生施策が入力可能であり、それら施策を変数（交通サービスレベル、地価水準・土地の容量制約等）として、活動モデルに入力する。活動モデルは、交通モデルと土地利用モデルからなり、時系列的にデータをやりとりしながら将来の都市活動を予測する。交通モデルからは交通需要が出力され、土地利用モデルからは人口分布が出力される。本稿で都市環境施策と呼称している施策については、4で紹介する。

活動モデルにより予測された交通需要、人口分布は、評価モデルに入力される。各評価モデルでは、都市圏および地区について多様な評価指標を出力する。都市環境施策の効果は環境負荷の削減にとどまらず、生活の質や経済といった社会的・経済的影響もある。例えば、都心居住の推進により、CO<sub>2</sub>の総排出量は少なくなるが、都心部においてNO<sub>2</sub>の被害を受ける市民は多くなることも考えられるように、施策の効果は多面的である。

本モデルでは、都市環境施策の効果を生生活の質、経済という幅広い視点も加えて、多面的に評価していくこととした。3つの評価モデルから出力された評価結果を整理し、わかりやすい図表に示し、総合的な評価を行う。

本モデルの評価視点は既存モデルを参考に設定した。環境負荷についてはいずれのモデルにも含まれているが、「環境低負荷型都市の設計支援システム-都市シミュレータ」が扱っている水資源等については、本モデルで評価する都市環境施策の主たる政策意図には含まれていないと考えられることから採用しなかった。生活の質からの評価については「都市環境設計支援システム-PLATON」には含まれているが、「環境低負荷型都市の設計支援システム-都市シミュレータ」には含まれていない。また、都市環境施策が地域の経済へ与える影響を評価視点として加えた。

なお、本評価モデルを構成する要素モデルについては、著者らの既存研究成果を活用し、必要なモデルについては新たに構築し、それら成果を組み合わせることにより全体の評価モデルを開発することを基本的な方針とした。交通モデルについて自動車交通量の配分手法を改良し、環境負荷評価モデルは新たに構築した。土地利用モデル、生活の質評価モデル、経済評価モデルについては著者らが開発してきたモデルを適用した。

(2) 活動モデル

交通需要と土地利用は密接に関わっている。本モデルでは、交通施策による交通サービス水準の変化が長期的には人口配置を変化させることとし、土地利用モデルと交通モデルを統合したモデルを構築した(これを本研究では活動モデルと呼ぶ)。

活動モデルは、基準年から目標年次までを5年間隔で順次計算するモデルとし、前期の交通サービス水準(出力値)が次期の土地利用モデルに入力値として渡され、目標年次まで繰り返すモデルとしている。活動モデルの概要を図-2に示す。

交通モデルは、4段階推計法の枠組みを基本としながらもトリップ発生-トリップ分布-代表交通手段の選択-鉄道駅経路選択-駅端末手段選択、自動車経路選択の一連の選択行動をNested Logitモデルで構成した交通モデル<sup>8)-10)</sup>について、交通量配分段階における道路交通の混雑状況を目的地選択および交通手段選択にフィードバックさせるよう改良したモデル<sup>11)</sup>を基本としている。このモデルの交通量配分手法について、分割配分法から利用者均衡配分法に置き換えたものである。

土地利用モデルは、仙台都市圏で開発された夜間人口および従業人口の人口配置を推計するモデル<sup>12)</sup>を用いた。このモデルは、交通サービス水準の変化に伴う活動の利便性、地価水準、土地利用の容量制約の3つの要因が相互関係にあることを仮定したモ

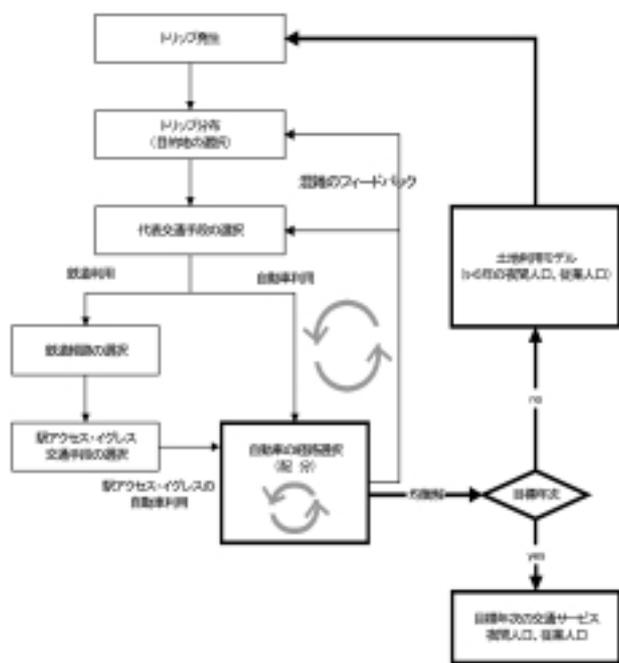


図-2 活動モデルの概要

デルである。詳しくは文献12)に譲るが、この土地利用モデルでは、夜間人口の増減は交通モデルにより推計される通勤・私事目的のアクセシビリティと地価水準によって説明される。従業人口の増減は業務目的のアクセシビリティで説明されるモデルとなっている。

(3) 評価モデル

a) 環境負荷評価モデル

環境負荷評価モデルは、交通モデルにより推計される自動車交通量を入力値とし、CO<sub>2</sub>排出量、NO<sub>x</sub>排出量、NO<sub>2</sub>濃度、道路騒音レベルを推計するモデル<sup>4)</sup>である(図-3)。

自動車によるCO<sub>2</sub>排出量およびNO<sub>x</sub>排出量は、排出係数<sup>13)</sup>を乗じることにより推計する。NO<sub>2</sub>濃度および環境基準超過曝露人口は、交通部門以外の工場、家庭等の固定発生源からのNO<sub>x</sub>排出量を加え、窒素酸化物総量規制マニュアルに準拠した拡散シミュレーションモデルおよびNO<sub>2</sub>変換モデルを適用して推計<sup>14)</sup>した。騒音は、日本音響学会から提案されているエネルギーベース騒音予測モデル<sup>15)</sup>を使用し、道路端における騒音レベルを推計し、環境基準を超える道路区間延長を算出する。

b) 生活の質評価モデル

生活の質評価モデルは、共分散構造モデルであり、個人属性、地区特性等の客観的変数から、利便性、快適性、安全性について主観的評価値を算出する。このモデルは吉田らが開発したモデル<sup>16)</sup>であり、市民4,000人を対象に実施された「山形市の将来のまちづくりに関するアンケート調査(1996.11)」の生活の関する満足度調査データを用い構築されている。

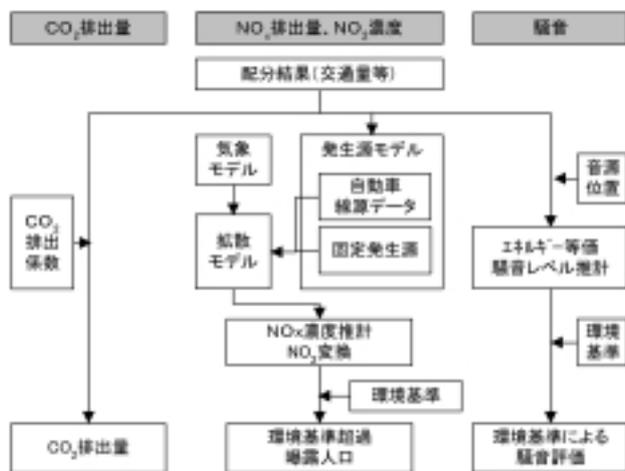


図-3 環境負荷評価モデルの概要

本評価モデルにおいては、対象地域である仙台都市圏における生活の質に関するデータが存在しないこと、交通サービスの変更に伴う利便性の変化を評価できること、概ねの現況再現性が得られていると判断したことから、このモデルを採用した。

#### c) 経済評価モデル

経済評価モデルは、活動モデルから求められるゾーン間通勤者数、ゾーン間買物者数、ゾーン間業務トリップ数の値を受けて、一般均衡のフレームワークから得られる生産、地価、効用の関係式より、地価水準、産業別生産量、経済便益指標(CV、EV)<sup>5)</sup>を算定する。本モデルは樋野らが開発したモデル<sup>17)</sup>を採用した。

#### (4) 評価指標

活動モデル、3つの評価モデルにより算出される評価指標は表-1に示すとおりである。また、シミュレーション過程において入出力される変数についても出力可能である。

## 4. ケーススタディ

#### (1) 対象地域・予測年

本評価モデルを用いたケーススタディの対象地域は、鉄道をはじめとする公共交通機関が発達しており交通機関分担に関わる施策の効果が得られやすいこと、周辺都市と連坦することなく、独立した都市圏であること、地形や気候が特殊でないこと、パーソントリップ調査データが入手可能であること等の条件から仙台都市圏とした。

また、予測年は、仙台都市圏が人口のピークを迎えると想定される2020年とした。

表-1 評価指標

モデル		評価指標
活動モデル	交通	交通手段別トリップ数、目的別トリップ長、交通手段別トリップ長、目的別トリップ長、自動車走行台キロ、道路混雑度
	土地利用	夜間人口、従業人口、人口モーメント
評価モデル	環境	CO <sub>2</sub> 排出量、NO <sub>x</sub> 排出量、NO <sub>2</sub> 濃度、騒音
	生活の質	利便性、快適性、安全性
	経済	地価、産業別生産額、CV、EV

#### (2) 評価対象施策

本評価モデルにおいて対象とする都市環境施策は、活動モデルの説明変数(交通サービスレベル、地価水準・土地の容量制約等)を変化させることにより表現可能な施策であり、著者らがケーススタディとして試みた施策は表-2のとおりである。これら施策内容の具体的な設定は、仙台都市圏における計画、構想等を踏まえて行った。

#### (3) 主な総合評価結果

本評価モデルでは、ゾーンやメッシュ別の評価値を図上に示し、利用者にビジュアルに示すことが可能であるが、ここでは紙面の都合上省略し、3つの評価モデルを用いた総合評価の結果を示す。

総合評価結果では、レーダーチャートを用い3つの評価モデルの結果のうち主要なものを示すこととする。全ての指標を同一基準で比較するため、分析を行った全ケース<sup>6)</sup>の評価値をサンプルとし、偏差値<sup>7)</sup>で表示した。チャートの外側ほど高い評価となるよう評価値毎に軸を設定している。

図-4に示したのは、土地利用施策の評価結果である。施策を行わなかった「趨勢型」に対し、都心部の居住費用(住宅地地価)を下げることで都心居住を誘導した「都心居住型」は、CO<sub>2</sub>排出量の減少、騒音が基準を超える地区の減少、生活の利便性の向上、地価上昇の効果があるが、都心に居住するため基準を超えるNO<sub>2</sub>曝露人口は増加し、生活の安全性は低下する。一方、副都心に従業人口を配置することで職住近接を誘導した「副都心型」は、

表-2 評価対象施策の例

	施策名	内容
交通施策	道路ネットワーク施策	・道路整備
	公共交通施策	・鉄道、バスのサービス向上
	TDM 施策	・都心部の駐車容量の抑制
土地利用施策	趨勢型	・トレンドの人口動向
	都心居住型	・都心居住の負担軽減
	副都心型	・従業人口を副都心に配分することによる職住近接
民生施策	住宅施策	・戸建て住宅から集合住宅への住替え ・住宅の省エネルギー化
	地域冷暖房等	・地域冷暖房システムの導入 ・業務ビルにおけるコージェネレーション導入
	都市緑化	・業務ビルにおける屋上緑化 ・都市部における緑の創出

CO<sub>2</sub> 排出量が増加し、騒音が基準を超える地区が増加する一方で、基準を超える NO<sub>2</sub> 曝露人口は減少する効果がみられる。

次に、都心居住型と副都心型の土地利用施策に加え、交通施策を行った場合の評価を示す(図-5)。公共交通サービスの向上により都心居住型では CO<sub>2</sub>

排出量の減少、騒音が基準を超える地区の減少、地価の上昇の効果が得られ、副都心型では CO<sub>2</sub> 排出量の減少、基準を超える騒音の大きい地区の減少の効果が得られるように、人口分布により得られる効果は異なることが明らかになった。また、都心居住型における都心部の駐車容量の抑制は CO<sub>2</sub> 排出量の削減に効果があるが、副都心型における環状道路の整備は迂回交通を誘発し、CO<sub>2</sub> 排出量はやや増加する結果となった。

以上より、CO<sub>2</sub> 排出量の削減、生活の利便性を向上させる方向を狙うのであれば都心居住型の土地利用が適しているといえ、NO<sub>2</sub> の曝露人口の減少、市民生活の安全性をより重視するのであれば、副都心型が適していると考えられる。都心居住型、副都心型のどちらの土地利用を目指すべきかは1つの評価指標では判断できず複数の評価指標より総合的に判断すべきであり、土地利用に組み合わせる交通施策についても得られる効果は異なることが明らかになり、本モデルで意図したように、複数の施策の効果を多様な指標で評価することができた。

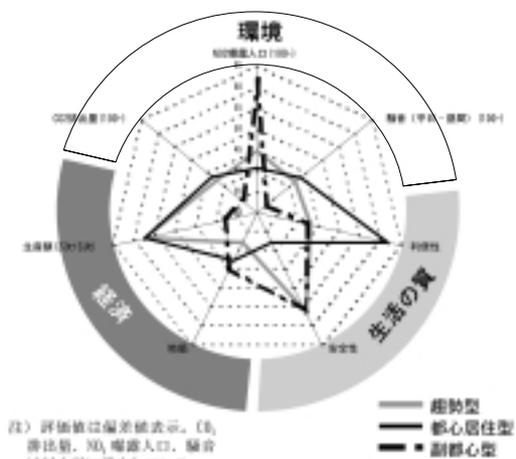


図-4 土地利用施策に関する総合評価の例

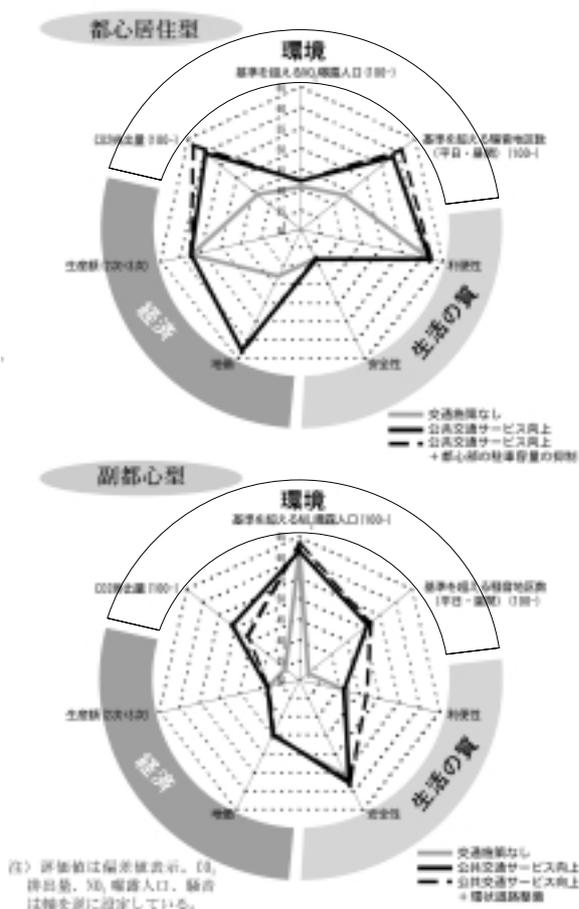


図-5 交通施策に関する総合評価の例

## 5. おわりに

都市環境施策の効果を、活動モデル(交通モデル、土地利用モデル)で表現し、3つの評価モデル(環境、生活の質、経済)で定量的な評価指標を算出し、総合評価を行う「都市環境施策評価モデル」を開発した。2で整理した既往の評価モデルと比べると、より広域的な地域に対し、交通行動理論に基づき都市活動を表現し、多様な視点による評価指標をわかりやすく表現できるモデルとなった。

本研究を通じた研究課題と、現在、著者らが進めている研究の展開について整理する。

### a) 都市活動と資源循環との関わりを考慮した評価モデル開発

都市活動により環境負荷が発生し、それが施策によって変化することは表現したが、都市活動と資源循環の関わりについては扱っていない。既存モデルの PLATON が扱っているように、持続可能な地域を形成していくためには、都市活動が自然環境へ与える影響、自然環境から得られる効果など、相互の影響をとらえることが重要と考える。

著者らは、最も基本的な資源として水の循環に着目し、都市活動が水循環に影響を与え、それが生活

の質に影響を与えるなどの効果を評価できるモデルの開発を進めている。

### b) 要素モデルの改良

要素モデルについても改良の余地がある。例えば、交通モデルは1日単位のモデルでありピーク時対象の交通施策の評価ができない、環境負荷評価モデルは計算時間が長い等の問題があるため、モデルの改良を進めている。また、前項の課題に対応するためにも、環境負荷が生活の質に与える影響を評価する必要があるため、新規にモデルを作成中である。

### c) モデルの地域移転・全国展開の検討

ケーススタディでは仙台都市圏を対象地域としたが、他地域への展開については十分には検討していない。他地域へ展開する際の課題、必要となるデータ・モデル等を整理し、今後は他地域への移転、さらには全国への展開を考えていきたい。

**謝辞：**本研究は、「都市環境施策の社会的・経済的影響の定量評価に関する研究会」において、中口毅博氏（環境自治体会議環境政策研究所所長）、兵藤哲朗氏（東京海洋大学助教授）、森本章倫氏（宇都宮大学助教授）より貴重なご助言をいただいた。国土交通省国土交通政策研究所には今回の研究の機会をいただいた。本稿作成にあたっては交通政策研究室の鈴木喜久子氏に協力をいただいた。ここに記し感謝の意を表す。

### 補注

- (1) 国土交通省国土交通政策研究所より(財)計量計画研究所に研究委託された「都市環境施策の社会的・経済的影響の定量評価手法に関する調査」の成果報告書<sup>12)</sup>としてとりまとめられている。
- (2) 研究論文としては文献3)により公表され、その後書籍として文献4)が公表されている。
- (3) 科学技術振興事業団の戦略的基礎研究推進事業「自立型都市をめざした都市代謝システムの開発」プロジェクト(研究代表 東京農工大学 柏木孝夫)として研究が進められ、大学研究者、シンクタンク・コンサルタント職員等の多数の研究者が参加したため、公表された研究論文は多いが、評価モデルの全体像としては、研究成果報告シンポジウム予稿集として文献6)により公表された。
- (4) 本稿はモデルの特色および概要、モデルを用いた分析事例等の全体像を報告することを主眼にお

いていることから、技術的な内容については既往報告<sup>12)</sup>、および各種マニュアル類<sup>13)-15)</sup>を参照されたい。

- (5) CV (Compensating Variation : 補償変分) とは、施策前と同じ効用水準を得るために、施策後の効用水準からいくらの所得を支払ってよいのかの支払意思額 (WTP, Willingness to Pay) を表す指標である。また、EV (Equivalent Variation : 等価変分) とは、施策後の効用水準を施策前の状態で達成するために、いくらの所得を補償されなければならないかの受取補償額 (WTA, Willingness to Accept) を表す指標である。
- (6) ケーススタディで分析したのは、交通施策と土地利用施策を組み合わせた表-3に示す8ケースである。この他に、民生施策を加えたケース、現況再現ケースについても分析している。

表-3 交通施策・土地利用施策のケース設定

土地利用 交通施策	趨勢型	都心居住型	副都心型
施策なし	Case I	Case II	Case III
環状道路整備			Case III-2
公共交通施策	Case I-1	Case II-1	Case III-1
都心の駐車容量の抑制		Case II-2	

- (7) 偏差値 = { 10 × ( 評価値 - 平均値 ) / 標準偏差 } + 50

### 参考文献

- 1) 国土交通省 国土交通政策研究所, 財団法人 計量計画研究所: 都市環境施策の社会的・経済的影響の定量評価手法に関する調査(仙台都市圏)報告書, 2003
- 2) 瀬本浩史, 桐山孝晴, 片岡孝博: 都市環境施策の社会的・経済的影響の定量評価に関する研究, 国土交通政策研究第31号, 2003
- 3) 谷口孚幸, 伊藤武美, 木吉裕紀, 谷内康弘: エコロジカル・アーバン・デザインのための「都市環境評価システム」の研究, 環境システム研究, Vol. 21, pp. 319 - 324, 1993
- 4) 谷口孚幸 編著, 伊藤武美 著: 地球環境都市デザイン - Sustainable Urban Design -, 理工学図書, 1997
- 5) 谷口孚幸, 高山勉, 中村秀一, 田中勝弘: 複合型

- 都市開発事業に於ける計画支援システム「SO-PHIA」, 計画行政, 第27号, pp 83 - 90, 1991
- 6) 柏木孝夫(科学技術振興事業団 戦略的基礎研究推進事業「自立型都市をめざした都市代謝システムの開発」プロジェクト 研究代表), 研究成果報告シンポジウム「都市シミュレータによる環境低負荷型都市の設計支援」予稿集, 2001
- 7) 新谷洋二編著: 都市交通計画(第2版), 技報堂出版, p 81 - 110, 2003
- 8) 吉田朗, 原田昇: 鉄道の路線・駅・結節交通手段の選択を含む総合的な交通手段選択モデルの研究, 土木学会論文集 No 542 / IV - 32, pp .19 - 31, 1996
- 9) 吉田朗, 原田昇: 離散選択モデルアプローチによる集計型交通需要予測手法の開発 サステナブルモビリティを実現するための都市圏交通計画手法の開発(研究代表: 太田勝敏) 科学研究補助金研究成果報告書, pp 3 - 25, 1998
- 10) 吉田朗, 原田昇: 選択肢集合の確率的形成を考慮した集計型目的地選択モデルの研究, 土木学会論文集, No 618 / IV - 43, pp .1 - 13, 1999
- 11) 小島浩, 吉田朗, 森田哲夫: 交通・環境負荷を小さくする都市構造と交通施策に関する研究, 第38回日本都市計画学会学研究論文集, pp 553 - 558, 2003
- 12) 仙台都市圏総合都市交通計画協議会, 建設省, 宮城県, 仙台市: 仙台都市圏物資流動調査報告書計画編, pp .176 - 182, 2000
- 13) 道路投資の評価に関する指針検討委員会編: 道路投資の評価に関する指針(案), 財団法人 日本総合研究所, pp .77, 1998
- 14) 環境庁大気保全局大気規制課編: 窒素酸化物総量規制マニュアル〔改訂版〕, 公害研究対策センター, pp .196 - 230, 1993
- 15) 日本音響学会道路交通騒音調査研究会: 道路交通騒音の予測モデル“ ASJ Model 1998”, 日本音響学会誌, 55巻4号, No 4 pp 281 - 324, 1999
- 16) 吉田朗, 鈴木淳也, 長谷川隆三: 近隣環境における「生活の質」の計測に関する研究, 第33回日本都市計画学会論文集, pp 37 - 42, 1998
- 17) 樋野誠一, 瀬本浩史, 森田哲夫, 吉田朗: 都市環境施策の経済的影響の定量評価に関する研究~仙台都市圏を事例として~, 日本地域学会第40回年次大会, pp 263 - 270, 2003