

# 都市整備に対応した連結階層型応用都市経済モデル\*

\* Macro-Micro interlocked Computable Urban Economic Model corresponding to urban development

山崎清\* 松橋啓介\*\* 岩上一騎\*\*\*

Kiyoshi YAMASAKI\* Keisuke MATHUHASHI\*\* Kazuki IWAKAMI\*\*\*

## 1. はじめに

平成 20 年 6 月に改正された地球温暖化対策の推進に関する法律（平成 10 年法律第 117 号。）において都道府県並びに指定都市、中核市及び特例市（以下「指定都市等」という。）の地方公共団体に対し、現行の地方公共団体実行計画を拡充し、従来の地域推進計画に相当する区域全体の自然的・社会的条件に応じた施策について盛り込むことが義務付けられた。

この新しい実行計画の策定には区域の温室効果ガス排出量の「目標設定」が必要であり、この目標を設定するためには、区域の「現況排出量」を把握するとともに地方公共団体等の対策・施策によって温室効果ガスの排出量の削減量を推計する必要がある。地方公共団体に期待される対策・施策として、集約型・低炭素型の都市構造の実現などのまちづくりにおけるものが挙げられるが、現時点では土地利用と交通に係る対策・施策の効果の把握のための手法は、十分確立されたものとは言えない状況である。

地球温暖化の防止の観点から低炭素な都市構造として、集約型都市構造やコンパクトシティが提案されており、低炭素な交通体系についても公共交通を中心とした交通体系が提案されているところである。具体的な空間イメージは図 1 のとおりであり、交通体系は鉄道や LRT を中心とし、市街地を集約していくことによって公共交通機関の利用を促進するような都市構造がイメー

ジされている。

このような低炭素型の都市構造・交通体系は概念的には提案されているものの、低炭素型都市に向けた施策による CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果の計測方法は確立されている状況ではない。そこで、本稿では土地利用・交通モデルにミクロ経済学的基礎を導入し、実務への適用例も多い応用都市経済モデルを改良し、都市及び交通面で地方公共団体が講ずる施策を評価することが可能な低炭素地域計画ツールを構築する。

本稿で改良する応用都市経済モデル（VMcuc モデル：CUE by VMI）は東京都市圏を 197 ゾーンに分割したモデルであり、モデルの詳細は山崎・上田・岩上（2008）<sup>2)</sup>、山崎・武藤（2008）<sup>3)</sup>を参照されたい。応用都市経済モデルはプロジェクトによる便益評価を行うことができるだけでなく、多様な指標を出力することができ、様々な視点で都市像を把握することが可能であり、計画策定には有効なツールである。しかしながら、VMcuc モデルはゾーン分割が粗く、東京都市圏全体に係る計画や事業の評価には適しているが、都



地域に応じた土地利用の集約と低炭素交通システムの統合的な計画

出所：松橋（2009）<sup>1)</sup>

図 1 集約型都市構造のイメージ

キーワード：地球温暖化、土地利用・交通モデル

\*正員、工博、株式会社 価値総合研究所

(〒108-0073 東京都港区三田3-4-10、  
TEL 03-5441-4812、FAX 03-5441-7661)

\*\*正員、工博、国立環境研究所

\*\*正員、工修、株式会社価値総合研究所

市圏を構成する地方公共団体の施策の評価には対応していない。

一方、地方公共団体からの CO<sub>2</sub> 排出量の削減させる施策は用途・容積率規制、区域開発、区画整理等の都市整備施策やパーク&ライド、LRT、路線バス、自転車道等の区域内交通、そして、市町村間を連結する鉄道、道路等の都市間交通施策の大きく3つに分類される。これらの施策の空間的スケールは狭域（地方公共団体＝相模原市）レベルと都市圏レベルの異なる2つスケールがあり、施策の検討及び投入は都市整備、区域内交通は狭域レベル、都市間交通は都市圏レベルで実施される。そのため、これらの施策を統一的・横断的に評価するためには単一の空間スケールで構築された土地利用・交通モデルでは困難な状況である。これは土地利用・交通モデルで都市政策を評価する場合の共通する課題でもあり、例えば、パーク&ライド施策を講じた場合には施策を講じるのは狭域レベルであるが、施策の狙いは市町村間のトリップの公共交通機関へ転換を図るものであり、狭域で閉じられたモデルで対処することは困難であり、狭域及び都市圏全体の両面を考慮したモデルが必要となる。同様に、鉄道駅周辺の都市開発等により、市街地の高度化を図った場合

でも鉄道等の公共交通機関の利便性が向上し、公共交通機関の利用率が上昇するとともに、開発地域には当該地方公共団体以外から家計や企業が流入するため、狭域と都市圏全体の両面をモデル化する必要がある。

これらを踏まえ、本稿では、2つの階層構造で都市政策を考慮するために、連結階層型応用都市経済モデルを構築する。連結階層シミュレーション（macro-micro interlocked simulation）の詳細は阪口・草野・末次（2008）<sup>4)</sup>を参照されたい。連結階層シミュレーションはマイクロ階層とマクロ階層の数値モデルを有機的に連結することで、さまざまな複雑現象を自己完結的に取り扱う方法論であり、近年は流体や雲、そして、地球全体のシミュレーション等の複雑現象に関する連結階層シミュレーションモデルの研究開発が進められている。階層の連結方法はマイクロモデルをマクロモデルに埋め込む境界連結法とマイクロモデルの結果をマクロモデルのパラメータに織り込むパラメータ連結法の2つの方法がある。

この連結階層シミュレーションを経済均衡モデルに応用しようと試みたのは上田（2009）<sup>5)</sup>であり、応用都市経済モデルだけでなく、空間的応用一般均衡モデルを含めた経済均衡モデル全般への適用可能性を示

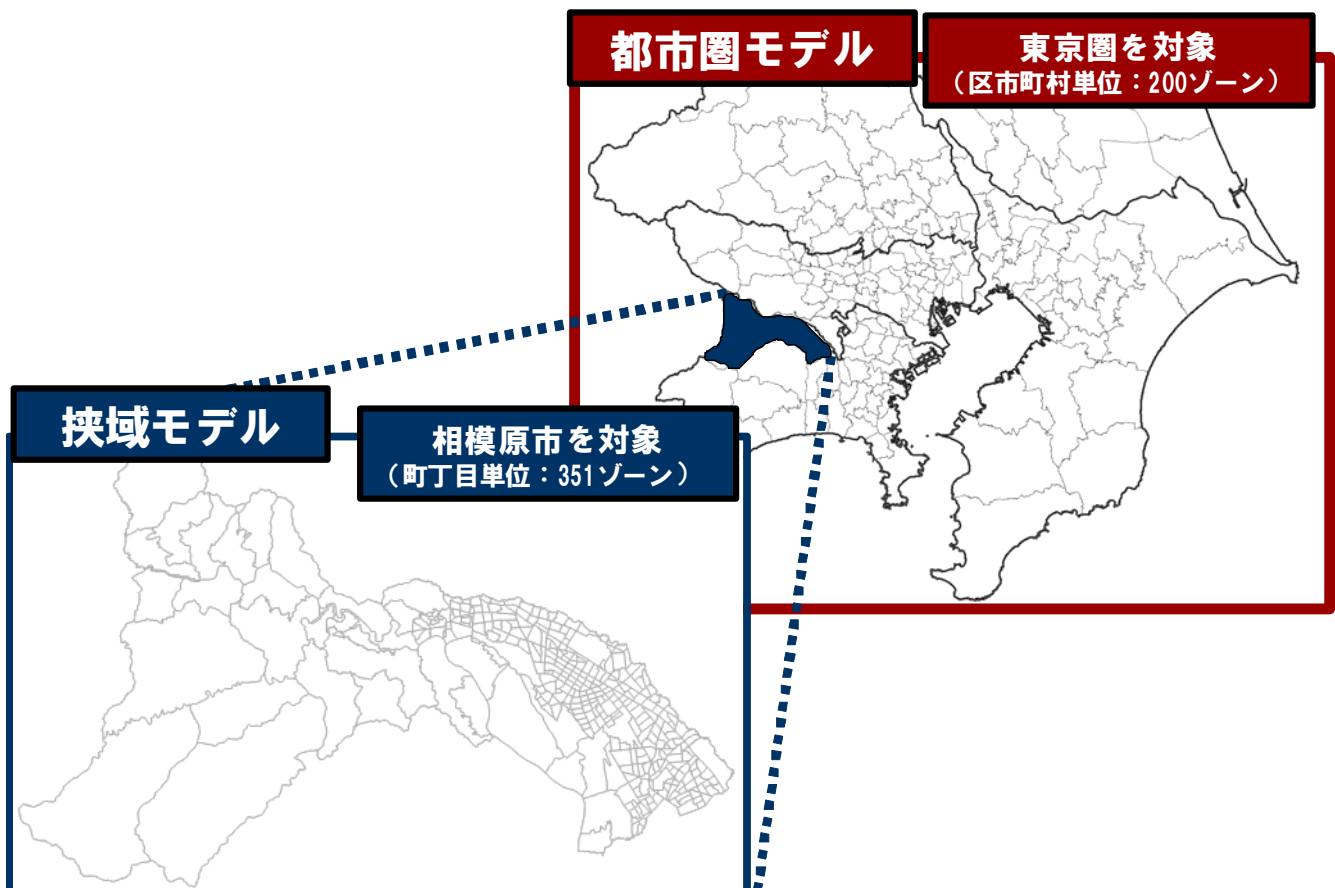


図 2 本研究における連結階層構造（境界連結法）

峻している。本稿の連結階層構造はマクロレベルとして東京都市圏全体、ミクロレベルは相模原市を対象としており、東京都市圏は区市町村単位で197ゾーン、ミクロレベルは相模原市を町丁目で分割した351ゾーンである。両階層は境界連結法で連結されている。

## 2. モデル構造

### (1) モデルの全体構造

モデルの全体構造は図3のとおりである。まずはモデルへのインプットとして狭域内の駅までのアクセス条件、土地利用規制、そして都市開発等の条件を設定する。これらの条件の下で都市圏全体の応用都市経済モデル(VMcue)を実行し、都市圏における197ゾーンの人口や従業者数等の立地分布と発生、分布、分担、配分の4段階推計法と同種類の交通に関する指標が出力される。都市間流動における自動車からのCO<sub>2</sub>排出量はこの段階で推計され、この段階では既に狭域内(本稿では相模原市)におけるP&R、用途・容積率規制、LRT、自転車道等の施策の実施による狭域全体(相模原市)の人口、従業者数や都市間流動状況(流動の目的地、公共交通分担率等)の変化が考慮さ

れている。次に、都市圏モデルによって出力される人口、従業者数、発生トリップ数をコントロールトータル値として狭域内立地モデルに入力する。狭域内立地モデルでは人口の年齢階層、企業の業種別等の属性分割モデル、そして、町丁目単位での立地均衡モデルが実行され、狭域内の町丁目別の人口及び従業者数の分布が出力される。さらに、狭域内交通モデルを実行し、狭域内の流動によるCO<sub>2</sub>排出量を出力し、都市間、狭域内のCO<sub>2</sub>排出量の合計し、相模原市からのCO<sub>2</sub>排出量が推計される構造である。混雑現象の考慮については都市圏全体を網羅する都市圏モデル(VMcue)の場合には交通容量の制約がある利用者均衡モデルを用いるため、混雑が考慮されるが、狭域モデルの場合には細街路等も含む道路ネットワークであるため、混雑は考慮しないモデルとなる。このように狭域モデルでは混雑を考慮しないため、狭域モデルから都市圏モデルへのフィードバックの必要がなく、モデル全体の土地市場と交通市場が同時に均衡する多市場同時均衡モデルとなる。

### (2) CO<sub>2</sub>排出量計測の考え方

ここで、地方公共団体が推計する自動車に起因するCO<sub>2</sub>排出量の考え方について整理しておく。自動車流動は基本的には行政界で閉じられておらず、特に、三大都市圏や地方中枢都市圏等のように複数の地方公共団体が一体的な都市圏として形成されている場合には車両の車籍地と走行地が異なる地域の場合も多い。そのため、地方公共団体(自治体)からのCO<sub>2</sub>排出量の推計方法の考え方は大きく2つの方法がある。1つは当該市町村を通過する自動車交通量から推計する方法であり、もうひとつは当該市町村から発生する(発)トリップ数からの推計する方法である。通過する自動車交通量から集計する方法は交通量配分結果のリンク交通量と旅行速度からリンク別に推計するものであり、このリンク交通量の起終点は不明であるが、当該市町村からのCO<sub>2</sub>排出量が簡単に計測することが可能である。一方、発トリップ数から計測する方法はODトリップのトリップ長、旅行速度を推計する必要があり、発ベースで計測したCO<sub>2</sub>排出量



図3 モデルの全体構造

とリンクベースで計測した CO<sub>2</sub> 排出量が整合しない可能性もある。そこで、本研究では当該市町村からの CO<sub>2</sub> 排出量は基本的には松橋（2006）<sup>6)</sup>と同様に自動車トリップの発地ベースで集計し、その都市圏全体の総和がリンクベースで集計した CO<sub>2</sub> 排出量と合致するように補正する。

### (3) 狭域モデルの構造

#### a) 狭域立地モデル

狭域立地モデルは属性分割モデルと立地均衡モデルの2つモデルがある。属性分割モデルは人口は都市圏モデルで出力された相模原市の総人口を年齢階層別割合で按分し、従業者数は都市圏モデルで出力された相模原市の総従業者数を産業割合で按分し、3産業別の従業者数を算出する。なお、狭域モデルでは1,2次を基礎的産業とし3次を非基礎的な産業と区分して取り扱う。

$$POP_m = POP \cdot p_m \quad (1) \quad EOP_s = EOP \cdot p_s \quad (2)$$

- POP<sub>m</sub>: 狭域内(相模原市)の年齢階層別人口
- POP: 狭域内(相模原市)の総人口
- p<sub>m</sub>: 狭域内(相模原市)の年齢階層割合
- EOP<sub>s</sub>: 狭域内(相模原市)の産業別従業者数
- EOP: 狭域内(相模原市)の総従業者数
- p<sub>s</sub>: 狭域内(相模原市)の産業割合

また、狭域モデルの立地均衡モデルは山崎(2010)<sup>7)</sup>と同様のモデルである。

#### b) 狭域内交通モデル

生成トリップ数は1人当たり発生トリップ数に狭域内(相模原市)のゾーン別人口を乗じる。一人当たり発生トリップ数は一定とする。

$$T_m^A = \sum_i T_{im} \quad (3) \quad T_{im} = POP_i GA_{im} \quad (4)$$

- I: 狭域モデルのゾーン、m: 旅行目的
- T<sub>m</sub><sup>A</sup>: 相模原市の目的mの生成交通量
- T<sub>im</sub>: ゾーンiからの目的mの発生交通量
- POP<sub>i</sub>: ゾーンiの人口
- GA<sub>im</sub>: ゾーンiからの目的mの1人当たり発生交通量

次に狭域内(相模原市全体)の総生成トリップを都市間トリップと狭域内トリップに分解する。都市圏モデルから出力された狭域(相模原)発の都市間トリップ数を生成トリップ数から引いて狭域内総トリップ数を算出する。

$$T_m^N = T_m^A - T_m^K \quad (5)$$

- T<sub>m</sub><sup>K</sup>: 狭域(相模原)発の都市間生成トリップ数
- T<sub>m</sub><sup>N</sup>: 狭域内(相模原)のトリップの生成トリップ数

算出した相模原市の狭域内生成トリップ数にゾーン別シェアを乗じてゾーン別狭域内トリップ数を推計する。

$$T_{mi}^N = T_m^N \cdot p_{mi}^N \quad (6)$$

- T<sub>mi</sub><sup>N</sup>: 狭域内ゾーン別発生トリップ数
- p<sub>mi</sub><sup>N</sup>: 狭域内の目的別ゾーン別発生トリップ数シェア

狭域内交通モデルの目的地選択確率は、人口と交通抵抗(ゾーン間距離)を用いて立地選択確率を作成した。人口が多く立地するゾーンほど目的地選択確率が高く、ゾーン間距離が短いゾーンほど目的地選択確率が高くなる。

$$OD_{mij} = T_{mij} p_{ij} \quad (7) \quad p_{ij} = \frac{POP_j}{l_{ij}} \left( \sum_j \frac{l_{ij}}{POP_j} \right) \quad (8)$$

- OD<sub>mij</sub>: 旅行目的別のODトリップ数
- p<sub>ij</sub>: 目的地選択確率
- l<sub>ij</sub>: 発着地ijのゾーン間距離

狭域内交通モデルにおける自動車分担率は現状の自動車分担率を利用する。施策によって自動車分担率が変わらない設定となっているが、目的地選択確率が鉄道駅周辺のゾーン間で増加すると、現況で自動車分担率の低いゾーン間の目的地選択確率が増加することになり、施策によって自動車ODトリップ数が少なくなる。

#### c) 狭域モデルのデータ

狭域モデルで用いるデータは表1のとおりである。基本的には都市圏版モデルと同様のデータであるが、ゾーン分割は町丁目単位であるため、パーソントリップ調査データは人口等で按分し、地価データが存在しないゾーンは地価関数を作成して設定した。また、ゾーンの端末交通の所要時間は移動距離と時刻表等で設定している。

表 1 狭域モデルの利用データ

	データ項目	分類	利用する統計データ等
狭域内立地モデル	従業者数(産業別)	産業分類(1次, 2次, 3次)	事業所企業統計(小地域集計)
	人口(年齢階層別)	年齢2階層(非高齢、高齢)	国勢調査(小地域集計)
	地代(用途別)	住宅系、業務系	公示地価
	宅地面積	住宅系、業務系	神奈川県都市計画基礎調査
	利用可能面積	住宅系、業務系	
狭域内交通モデル	ODトリップ数、交通手段分担		東京都市圏パーソントリップ調査
	ゾーン間の自動車の移動距離		道路地図V2004/9
	ゾーンの端末所要時間		自動車の移動距離、JR時刻表等

また、狭域内（相模原市）の道路ネットワークは細街路を含むものであり、駅までのアクセス距離等はこのネットワークを用いて計測する。なお、狭域内から他地域への流動の際の鉄道駅までの端末所要時間は最寄り駅までの時間にターミナル駅（東京方面は橋本駅）までの鉄道所要時間を加えている。

### 3. モデルの実行結果

#### (1) 評価施策

構築した連結階層型応用都市経済モデルで評価する施策は表2のとおりである。都市からのCO2排出量削減策については可能な限り、経済的なインセンティブで行うことが望ましい。そのため、都市間交通に対しては鉄道運賃の値下げやガソリン税等のプライシング、狭域内交通は公共交通利用促進策として運行待ち時間や駅アクセス時間の短縮、そして、都市の集約化のためには駅周辺の高度利用等により集約型都市構造への転換を行う。なお、道路整備についてはCO2排出量を増加させる可能性もあるが、旧来より地方自治体の都市マスタープランなどで道路整備→渋滞緩和→CO2排出量削減のメカニズムが記載されており、本稿ではその検証のために圏央道神奈川区間について評価した。また、狭域内の都市のコンパクト化のための施策と公共交通利用促進策を設定している。

#### (2) 道路整備の影響

圏央道神奈川区間の整備により、並行する国道16号の混雑は大幅に緩和され、相模原市の自動車利便性は大幅に向上する（図5）。

この圏央道神奈川区間の整備は東京都市圏全体の

総走行台時（総交通費用）は0.02%削減され、平均旅行速度も0.82%上昇し、都市圏全体の自動車利便性も向上させる。しかしながら、総走行台キロは0.8%増加し、CO2排出量は0.27%増加することになり、相模原市発のトリップからのCO2排出量も0.61%増加することになる。この道路整備によるCO2排出量の増減については混雑緩和による1台当たりの排出量の減少と誘発交通の発生に伴う交通量の増加によるCO2排出量の増加分の大小で決定されるものであり、道路整備が必ずCO2排出量を増加させるものではない。このメカニズムについては山崎・上田（2007）<sup>8)</sup>では一般形のモデルで示している。

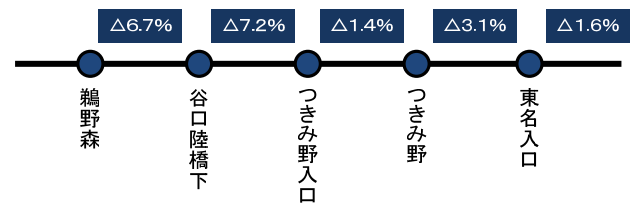


図4 圏央道整備による国道16号の交通量変化

#### (3) 道路整備以外の施策の効果

次に圏央道整備以外の施策の効果について分析する。まず、相模原市発の（都市間）旅客トリップ及びCO2排出量の変化を見ると（図6）、旅客トリップ数は鉄道トリップ数が4%増加し、自動車トリップ数が0.56%減少するため、相模原市発の旅客トリップ数は1.77%増加することになる。この鉄道へのシフトに伴い、相模原市発のトリップに起因するCO2排出量は2.1%程度減少していく。

一方、相模原市発の自動車台トリップの変化をみると（図7）、平均トリップ長が0.3%、走行台キロが0.8%、平均旅行速度が3%低下している。つまり、表2の道路整備以外の施策を講じた場合には相模原市民の自動車での移動利便性は向上しないことになる。

このメカニズムは興味深い点であり、道路整備以外の施策を講じた場合には自動車から鉄道への転換による自動車トリップ数の減少、プライシング等による自動車トリップ長の減少によりCO2排出量を減少させる一方で、トリップ長の短縮に

表2 施策の設定

		施策例	具体的な施策
都市間	速度向上施策	道路整備	圏央道神奈川区間の整備
	経済的インセンティブ	鉄道運賃半減	都市圏の全鉄道事業者の運賃を半額
		プライシング	ガソリン価格を1,000円/L上昇
狭域内	都市の集約化のための施策（都市のコンパクト化）	市街化区域の縮退	郊外部（駅から遠距離地域）の利用可能面積を20%以下に設定。
		駅周辺の高度利用	駅周辺地域の容積率を3倍に設定
		駅周辺立地への税制優遇	駅周辺地域の固定資産税を10%程度優遇
	公共交通利用促進施策（脱自動車）	運行待ち時間の短縮	バス運行本数の増加、乗り継ぎダイヤの見直し等で運行待ち時間が2/3に減少
		駅アクセスの改善	バス優先信号、駅施設の改良、公共交通運賃の見直しでアクセス速度が1.5倍

より高速道路から一般道に転換され、一般道利用が増加し、平均旅行速度が低下し、CO<sub>2</sub> 排出量を増加させることもある。仮に、自動車のトリップ長短縮が区域に多大な渋滞を引き起こした場合にはプライシング等によって CO<sub>2</sub> 排出量が増加する可能性があることが示唆される。

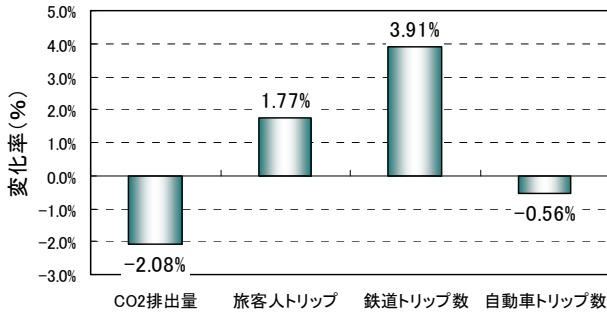
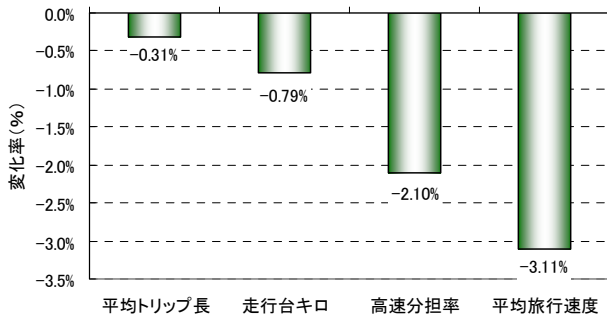


図 5 相模原市発の都市間トリップの変化



注) 高速分担率は都市圏全体の値である。

図 6 相模原市発の自動車トリップ（都市間）の変化

このように都市間トリップから CO<sub>2</sub> 排出量の削減効果は限定的であるが、狭域内（相模原市内）のトリップからの CO<sub>2</sub> 排出量は集約型都市構造への転換（図 7）によって 4 割程度削減が見込める。これは都市の集約化によってトリップ長の削減、自動車利用率の減少によるものであり、相模原市全体としては 19%程度の CO<sub>2</sub> 排出量の削減となる。

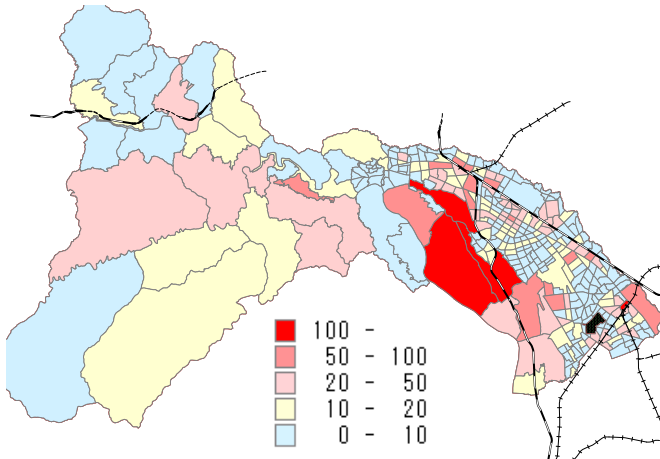
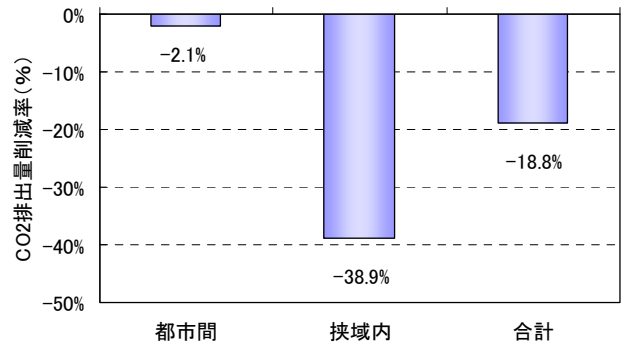


図 7 相模原市の各ゾーンの従業者数の変化



注) 圏央道の整備の影響は除いている。

図 8 相模原市からの CO<sub>2</sub> 排出量の変化

#### 4. おわりに

本稿では従来の都市圏版の応用都市経済モデルを改良し、地方公共団体での都市政策による CO<sub>2</sub> 排出量削減効果を精緻に計測するための連結階層型応用都市経済モデルを構築し、施策の評価を行った。今後は狭域モデルの高度化を図るため、交通モデルはネステッドロジットモデル等を導入し、立地モデルでは属性の分割を詳細にすることが可能なモデルを導入していく。また、本稿では取り扱っていないが物流モデルの導入も検討していく必要がある。

#### 参考文献

- 1) 松橋啓介：地球環境時代の交通システムのビジョンと実現策、都市計画、279号、2009
- 2) 山崎清, 上田孝行, 岩上一騎：開発人口及び誘発・開発交通を考慮した東京湾アクアラインの料金値下げ効果の計測、高速道路と自動車、Vol.51, No.6, 2008
- 3) 山崎清, 武藤慎一：開発・誘発交通を考慮した道路整備効果の分析、運輸政策研究、Vol.11, NO.2, 2008
- 4) 阪口秀, 草野完也, 末次大輔編：階層構造の科学, 東京大学出版会, 2008
- 5) 上田孝行：連結階層型一般均衡モデルへ向けて、社会・経済リスクの下での長期的な社会基盤政策の理論研究小委員会資料、2009
- 6) 松橋啓介, 工藤祐揮, 上岡直見, 森口祐一：市区町村の運輸部門 CO<sub>2</sub> 排出量の推計手法に関する比較研究, 環境システム研究論文集, 32, 235-242, 2004
- 7) 山崎清：CUE モデルの理論と応用, Excel で学ぶ地域・都市経済分析, 5章, コロナ社, 2010
- 8) 山崎清, 上田孝行, 武藤慎一：開発・誘発交通を考慮した道路整備効果の比較分析、高速道路と自動車、Vol.51, No.11, 2008