

# 低炭素社会に向けた都市空間のマネジメント\*

## —通勤交通からのCO<sub>2</sub>排出削減—

### Management of land-use and transport demand for low-carbon society\*

奥田隆明\*\*・山田沙織\*\*\*

By Takaaki OKUDA\*\*・Saori YAMADA

#### 1. はじめに

地球温暖化が益々深刻化する中で、今後、それぞれの都市には一層厳しい CO<sub>2</sub> 排出削減が要求されることが予想される。こうした状況においては、もはや他の地域や部門に CO<sub>2</sub> 排出削減を肩代わりしてもらうような取組みだけでは十分でなく、自ら積極的に CO<sub>2</sub> 排出削減を実現する取組みが必要不可欠であると考えられる。それどころが、厳しい CO<sub>2</sub> 排出削減が要求される状況になれば、積極的に CO<sub>2</sub> 排出削減に取り組み、これに十分対応できる都市空間を構築した都市の方が、将来の都市間競争において優位な位置を占めることさえ考えられる。こうした観点から、それぞれの都市が明確な CO<sub>2</sub> 排出削減目標を設定し、これを積極的に実現できるような都市空間を構築しておくことが重要であると考えられる。

現代社会においては、交通技術の発達によって都市内における従業地分布と居住地分布が大きく乖離し、これらを結ぶ通勤交通が都市の空間構造を大きく規定している。わが国においては、これまで都市人口が増加傾向を示し、郊外開発によって多くの住宅供給を行ってきた。また、これによって通勤交通はトリップ長が次第に長くなり、これに伴って通勤交通から排出される CO<sub>2</sub> も増加してきた。さらに、わが国ではこうした時期に自動車交通が普及したため、これによって郊外開発にさらに拍車がかかり、通勤交通から排出される CO<sub>2</sub> は益々増大した。

しかし、既に日本の総人口は減少傾向に向かい、今後、都市の開発圧力は次第に低下することが予想される。こうした状況の中で、都市の土地利用効率を高め、CO<sub>2</sub> 排出の少ない都市のライフスタイルを確立することは、今

後、わが国が中長期的視点から取組まなければならない重要な政策課題の一つであると言える。ところが、これまで長い郊外開発の時代が続いたこともあって、今もなお郊外開発を続ける日本の都市は多い。近い将来、厳しい CO<sub>2</sub> 排出削減が要求される時代が到来することを考えれば、いち早くこうした郊外開発と決別し、これに対応できる都市空間へと大きく方向変換を図ることが必要であると考えられる。

そこで、本研究では、通勤交通からの CO<sub>2</sub> 排出削減を実現するために、今後、都市空間をどのようにマネジメントすべきかを分析するための計量モデルを開発することを目的とする。以下、2.では、都市交通部門からの CO<sub>2</sub> 排出削減を目的としてこれまで行われてきた関連研究の成果を振り返り、本研究の位置づけについて述べる。また、3.では、都市空間のマネジメントについて分析する計量モデルについて説明する。

#### 2. 従来に関連研究

##### (1) 実証的アプローチからの研究

都市交通部門から排出される CO<sub>2</sub> 排出を削減するための方策については、持続可能な交通（EST, Environmental Sustainable Transport）として多くの研究が行われてきた。これらの中には、公共交通のサービス水準を向上させるといった供給サイドの対策だけでなく、交通混雑税の導入や混雑のピークを緩和するための時差出勤の推進等、需要サイドの対策の重要性が数多く指摘されている<sup>1)</sup>。また、交通需要は派生需要であるため、交通を発生させる都市活動、例えば、通勤交通を発生させる原因となっている住宅や土地利用に関する政策に遡った対策の重要性が指摘されている<sup>2)</sup>。

また、こうした土地利用と交通に関する政策を事前に評価するための計量モデルについても、これまで多くの研究が行われてきている。例えば、May and Shepherd は複雑に影響を及ぼし合う政策の中から最適戦略（政策パ

\*キーワード：低炭素社会、ポーモル・オーツ税、都市モデル

\*\*正員、博士(工学)、名古屋大学大学院環境学研究所

(愛知県名古屋千種区不老町、

TEL052-789-4654、FAX052-789-1462)

\*\*\*学生員、名古屋大学工学部社会環境工学科

パッケージ)を設計するためのコンピュータ・モデルの開発を試みている<sup>3)4)</sup>。また、日本では政策の効果分析を行う上で重要な役割を果たす土地市場を内生化した都市モデルの開発が積極的に行われてきており<sup>5)6)</sup>、例えば、武藤・伊藤や富田・寺島はこうした都市モデルを用いて土地利用と交通に関する政策の評価を行ってきている<sup>7)8)</sup>。

### (2) 規範的アプローチからの研究

これらの研究が実証的なアプローチから研究を進めてきたのに対して、規範的なアプローチからこの問題に取り組んできた研究も幾つか存在する。例えば、宇沢は自動車の社会的費用の大きさに着目し、これを内部化することによって公共交通サービスの重要性を指摘している<sup>9)</sup>。また、宇沢の研究が行われた頃には地球温暖化に関する情報が十分でなかったこともあって地球温暖化の社会的費用については言及されていないが、その後、この巨大な社会的費用に着目した研究についても取組まれて来ている<sup>10)11)</sup>。しかし、これらの研究は何れも自動車の社会的費用の大きさに着目し、公共交通サービスの重要性を指摘するに止まっており、交通需要を発生させる都市活動に着目した都市空間のマネージメントについては、必ずしも十分な研究が行われているとは言えない。

### (3) 本研究の位置づけ

本研究では、将来の都市人口の推移も考慮しながら、通勤交通からのCO<sub>2</sub>排出削減目標を定め、これを達成するためには都市空間をどのように見直して行く必要があるのかについて規範的な視点から分析を行う。このとき、環境経済学の成果として、汚染排出1単位に均等税率の課税を行えば、社会全体での汚染削減目標を最小費用で達成できることが明らかにされている(ポーモル・オート税)<sup>12)</sup>。そこで、本研究では、通勤交通からのCO<sub>2</sub>排出削減目標を達成するための一つ的手段としてこのポーモル・オート税を取り上げ、社会的合意として定めたCO<sub>2</sub>排出削減目標を達成するためには、ポーモル・オート税の導入により都市空間をどの程度変更しなければならないのかについて分析を行う。このとき、現実の問題として、こうした税の導入について考える場合は、税の実効可能性等について十分な検討を行う必要がある。しかし、本研究ではこうした検討を行う前段階として、1) CO<sub>2</sub>排出削減目標を達成するためには、通勤交通にどの程度の負担を強いる必要があるのか、また、2) これによって通勤交通や居住地分布をどのように変化させる必要があるのか、さらに、3) これによって都市住民や宅地供給者にどのような影響が発生するのかを明らかにすることを試み、今後の都市空間利用の方向性を考えるための

第一歩とする。

## 3. 都市モデルの開発

### (1) モデルの全体構造

本研究で開発する都市モデルの全体構造を図-1に示す。この都市モデルでは都市空間を $n$ 個のゾーンに分割し、それぞれのゾーンで従業する通勤世帯の行動を、交通需要モデル、宅地需要モデル、居住地選択モデルの3種類の行動モデルで記述する。まず、交通需要モデルでは各交通手段の交通需要を求める。このとき、各交通手段にはCO<sub>2</sub>排出量に一定の税率を乗じた税が課される。また、宅地需要モデルでは通勤世帯の消費行動から宅地サービスの需要を求める。このとき、宅地サービスは宅地を一定期間利用することによって受けられるサービスを意味する。さらに、居住地選択モデルでは通勤世帯の居住地が決定される。このとき、通勤世帯は通勤時間等を考慮した通勤費用と宅地価格のトレードオフ関係の中で居住地を選択するため、税の導入により通勤費用が変化すると居住地も変化することになる。

他方で、各ゾーンには不在地主を仮定し、宅地サービスの供給を行うものとする。また、各ゾーンには宅地市場を1つずつ仮定し、宅地需要モデルから求められる宅地サービスの需要とその供給が一致するように宅地サービスの価格が決定されるものとする。さらに、交通需要モデルから交通需要が決まると通勤交通から排出されるCO<sub>2</sub>量が決定される。そして、このCO<sub>2</sub>排出量が政策目標として定めたCO<sub>2</sub>排出量の上限を上回らないように税率を決定するものとする。

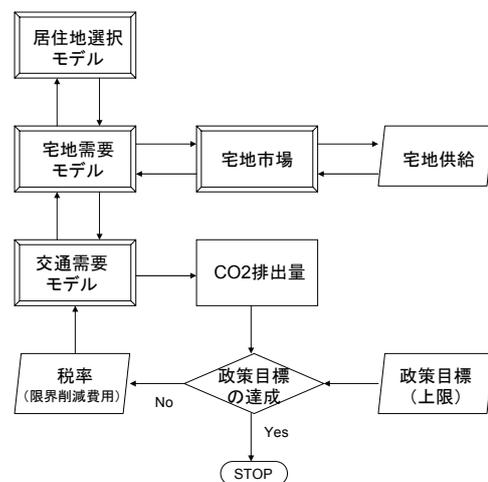


図-1 モデルの全体構成

## (2) 交通需要モデル

居住地  $i$  から従業地  $j$  への通勤には  $k$  種類の交通手段があるものと仮定する。そして、交通手段  $k$  の交通一般化費用は次式により定義できるものとする。

$$c_{ij}^k = w_i \cdot t_{ij}^k + \tau \cdot e_{ij}^k + f_{ij}^k \quad (1)$$

ここで、 $t_{ij}^k$  : 交通時間,  $w_i$  : 時間価値,  $e_{ij}^k$  : 1トリップ当りの CO<sub>2</sub> 排出量,  $\tau$  : 税率,  $f_{ij}^k$  : その他の交通費用 (運賃や走行費用等)

このとき、1 トリップ当りの CO<sub>2</sub> 排出量は交通混雑の影響を受けて変化することが予想される。しかし、新たな税の導入によって交通混雑がどの程度変化するかについては明らかでない。むしろ、こうした交通混雑への影響を把握するためには、新しい税の導入が交通手段や居住地の変更を通して交通需要に与える影響を把握する必要がある。そのため、本研究では 1 トリップ当りの CO<sub>2</sub> 排出量を与えた上で、新たな税の導入が交通手段や居住地の選択に与える影響について分析を行うことにする。

また、ランダム効用理論に基づいて交通手段  $k$  の効用が次の確率分布に従うものと仮定する。

$$U_{ij}^k = f(c_{ij}^k) + \varepsilon_{ij}^k = -\ln(c_{ij}^k) + \varepsilon_{ij}^k \quad (2)$$

ここで、 $\varepsilon_{ij}^k$  : 独立で同一のガンベル分布 (シフトパラメータ : ゼロ, 分散パラメータ :  $\gamma$ ) に従う確率項

さらに、交通需要者は効用が最も小さな交通手段を選択するものとする。交通手段  $k$  を利用する通勤世帯数は次のようになる。

$$x_{ij}^k = x_{ij} \frac{A_{ij}^k (c_{ij}^k)^{-\gamma}}{\sum_{k'} A_{ij}^{k'} (c_{ij}^{k'})^{-\gamma}} \quad (3)$$

ここで、 $x_{ij}$  は居住地  $i$  から従業地  $j$  への通勤世帯数,  $A_{ij}^k$  : パラメータ,  $k'$  : 交通手段

このとき、交通一般化費用の最小値の期待値は次のようになる。

$$c_{ij} = \left\{ \sum_k A_{ij}^k (c_{ij}^k)^{-\gamma} \right\}^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (4)$$

## (3) 宅地需要モデル

次に、居住地  $i$ 、従業地  $j$  の通勤世帯の消費について考える。今、通勤世帯の効用関数が次の Cobb-Douglas 型効用関数により定義されるものとする。

$$u_{ij} = (d_{ij})^{\alpha_j} (z_{ij})^{1-\alpha_j} \quad (5)$$

ここで、 $d_{ij}$  : 宅地サービスの消費,  $z_{ij}$  : その他の消費

また、通勤費用も考慮すると通勤世帯の予算制約は次のようになる。

$$r_i d_{ij} + p z_{ij} + c_{ij} n \leq I_j \quad (6)$$

ここで、 $r_i$  : 宅地サービスの価格,  $p$  : その他の消費財の価格,  $I_j$  : 所得,  $n$  : 通勤トリップ数

この効用最大化問題を解くと、次式が得られる。

$$d_{ij} = \frac{\alpha_j (I_j - c_{ij} n)}{r_i} \quad (7)$$

$$z_{ij} = \frac{(1 - \alpha_j) (I_j - c_{ij} n)}{p} \quad (8)$$

したがって、ゾーン  $i$  における宅地サービスの需要は次のようになる。

$$D_i = \sum_j d_{ij} x_{ij} \quad (9)$$

## (4) 居住地選択モデル

従業地  $j$  の通勤世帯が居住地  $i$  で消費を行った場合、効用の最大値は式(5)で与えられる。また、ランダム効用理論に従い、この効用が確率分布するものと仮定する。

$$U_{ij} = u_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (10)$$

ただし、 $\varepsilon_{ij}$  : 独立で同一のガンベル分布 (シフトパラメータ : ゼロ, 分散パラメータ :  $\beta$ ) に従う確率項

通勤世帯が最も効用の大きな居住地を選択するものとする。居住地  $i$  から従業地  $j$  への通勤世帯数  $x_{ij}$  は次のようになる。

$$x_{ij} = H_j \frac{A_{ij} \exp(\beta u_{ij})}{\sum_{i'} A_{i'j} \exp(\beta u_{i'j})} \quad (11)$$

ここで、 $H_j$  : 従業地  $j$  の通勤世帯数,  $A_{ij}$  : パラメータ,  $i'$  : 居住地

このとき、効用の最大値の期待値は次のようになる。

$$u_j = \frac{1}{\beta} \ln \sum_i A_{ij} \exp(\beta u_{ij}) \quad (12)$$

(5) 市場条件

居住地*i*における宅地サービスの供給を $S_i$ とすると、宅地市場における需給均衡条件は次のようになる。

$$D_i = S_i \quad (13)$$

つまり、宅地サービスに対する需要と供給が一致するようにその価格 $r_i$ を決定する。このとき、宅地サービスの価格が変化するとその供給も変化することが予想される。しかし、宅地サービスの供給については、都市計画等によって政策的に誘導されることから、本研究ではこれを外生変数として扱う。つまり、政策的に与えた宅地サービスの供給に対して、新たな税の導入が宅地サービスの価格をどの程度変化させるのかを分析することにする。

(6) 税率の決定

政策目標として定めたCO<sub>2</sub>排出量の上限を超えないように税率を決める。つまり、

$$\sum_k \sum_i \sum_j e_{ij}^k x_{ij}^k \leq (1-\alpha)\bar{E} \quad (14)$$

$$\bar{E} = \sum_k \sum_i \sum_j e_{ij}^k \bar{x}_{ij}^k \quad (15)$$

ここで、 $\bar{E}$  : CO<sub>2</sub> 排出削減以前のCO<sub>2</sub> 排出量、 $\bar{x}_{ij}^k$  : CO<sub>2</sub> 排出削減以前の交通需要、 $\alpha$  : CO<sub>2</sub> 排出削減率 (政策目標)

また、CO<sub>2</sub> 排出に対して課税を行った場合、その税金の再分配を行う必要がある。本研究ではこの税金を現在のCO<sub>2</sub> 排出量に応じて通勤世帯に再分配するものとする。

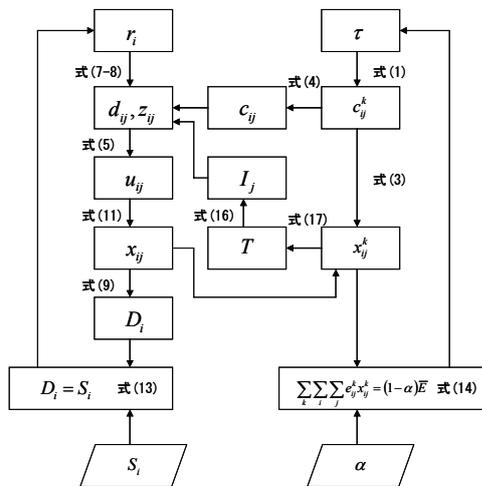


図-2 均衡解の求め方

つまり、

$$I_j = \bar{I}_j + T \frac{\sum_k \sum_i e_{ij}^k \bar{x}_{ij}^k}{\sum_k \sum_i \sum_j e_{ij}^k \bar{x}_{ij}^k} \quad (16)$$

$$T = \tau \sum_k \sum_i \sum_j e_{ij}^k x_{ij}^k \quad (17)$$

ここで、 $T$  : 税金、 $\bar{I}_j$  : CO<sub>2</sub> 排出削減以前の所得

(7) 均衡解の求め方

図-2 はこうして導出した均衡条件式から均衡解を求めるための計算フローを示したものである。宅地サービスの価格 $r_i$ と税率 $\tau$ を任意に与えると、式(1), (3)~(5), (7)~(9), (11), (16)~(17)から、宅地サービスの需要と交通需要を求めることができる。しかし、こうして求めた宅地サービスの需要及び交通需要は宅地市場の需給均衡条件式(13)、CO<sub>2</sub> 排出目標を達成するための条件式 (14) を満たさない。そこで、式(13)~(14)の連立方程式を解いて宅地サービスの価格と税率を求めれば、すべての均衡条件式を満たす均衡解を求めることができることになる。

参考文献

- 1) European Conference of Ministers of Transport : *Cutting Transport CO<sub>2</sub> Emission - What Progress ?* -, OECD, 2007.
- 2) 中村英夫, 林良嗣, 宮本和明 : 都市交通と環境-課題と政策-, 運輸政策研究機構, 2004.
- 3) May, A. D., and Shepherd, S.P. and Timms, P.M. : *Optimal strategies for European cities, Transportation*, Vol. 27, 2000.
- 4) Emberger, G. E., May, A. D. and Shepherd, S. P. : *Method to identify optimal land use transport policy packages, Proc. 8<sup>th</sup> International Conference in Computers in Urban Planning and Urban Management in Sendai*, 2003.
- 5) 森杉壽芳 : 社会資本整備の便益評価—一般均衡理論によるアプローチ—, 勁草書房, 1997.
- 6) 上田孝行, 堤盛人 : わが国における近年の土地利用モデルに関する統合フレームについて, *土木学会論文集*, Vol.625, No.IV-44, pp.65-78, 1999.
- 7) 武藤慎一, 伊藤聖晃 : 都市交通に係わる環境施策評価のための立地均衡を考慮した応用一般均衡モデルの開発, *環境システム研究論文集*, Vol.33, pp.275-284, 2005.
- 8) 富田安夫, 寺嶋大輔 : CUE 型土地利用・交通モデルを用いた都市内人口分布の最適化手法, *土木計画学研究・論文集*, Vol. 21, pp.225-232, 2004.
- 9) 宇沢弘文 : 自動車の社会的費用, 岩波新書, 1974.
- 10) 上岡直見 : 自動車にいくらかかっているか, コモンズ, 2002.
- 11) 根元志保子 : 交通政策-道路と自動車の利用転換に向けて-, 寺西俊一編 : 新しい環境経済政策-サステナブル・エコノミーへの道-, 東京経済新報社, 2003.
- 12) 細田衛士・横山彰 : 環境経済学, 有斐閣, 2007.