

CO₂排出量を考慮した土地利用モデル

Land Use Model to Evaluate the CO₂ Emission Control Policies

黒田勝彦*, 竹林幹雄**, 藤本秀男***, 田中洋史****

By Katsuhiko KURODA, Mikio TAKEBAYASHI**, Hideo FUJIMOTO***, and Hirofumi TANAKA*****

1. はじめに

近年 CO₂ 排出量推計手法の開発に伴い、様々な CO₂ 排出量削減政策が実施、提案されている。交通の視点からは Traffic Demand Management (TDM) などの政策が提案されている一方、屋上緑化や都市機能分散といったエネルギー消費量削減に関する様々な方法が話題となっている。しかし、これらの政策は CO₂ 排出量推計手法にもとづいているにもかかわらず、総合的に CO₂ 排出量を概算する有効な手法は未だ開発されていない。

そこで本研究では複数の視点から、土地利用形態と CO₂ 排出量の関係を表すモデルを提案する (LUMSADモデル)。次に本モデルを用いて神戸市を例に人口の分散、集中が CO₂ 排出量に与える影響を検討する。最後に自動車に対する課税が CO₂ 排出量に与える影響について検討を加える。

2. LUMSAD モデル

本研究で提案するモデルは、土地利用を変化させ、発生要因別に CO₂ 排出量を推計する三つの部分モデルから構成され、LUMSADモデルと呼ぶこととする。

LUMSADモデルは、準静的モデルであり、交通需要が変化した場合の既存交通インフラの輸送能力、及び建物の集中、分散による熱環境の変化を CO₂ 排出量の増減の形で評価する形式を取る。LUMSADモデルに関する前提条件を以下に述べる。

キーワード: 地球環境問題, CO₂, 土地利用

* フェロー会員 神戸大学工学部建設学科
(神戸市灘区六甲台町 1-1; TEL 078-803-6008)

** 正会員 神戸大学工学部建設学科

*** 学生会員 神戸大学大学院

**** 正会員 ㈱ リクルートコスモス

- 土地利用変化モデル (モデルA)、交通 CO₂ 排出量推計モデル (モデルB)、建物 CO₂ 排出量推計モデル (モデルC) の3つにより構成される。
- モデルAで決定された土地利用に対し、モデルB, モデルCを用いて発生要因別の CO₂ 排出量を推計する。
- 都市単位での CO₂ 排出量を評価する目的から、広域にわたって考察を必要とする産業部門については扱わない。
- 土地利用の変化の前後で対象地域全体の人口は変化しない。
- 新規の鉄道、道路の建設は行わず、建物の移築に伴う建設コストはモデルに含めない。

(1) 土地利用変化モデル (モデル A)

土地利用変化は外生的に与えられるシナリオに沿って行う。この際モデルの制約として、対象とする地域全体で用途別床面積の総量は一定とする。また対象地域を人口密度、山林の占める割合、公共交通機関整備状況などの特徴の類似する地域に分割する。これを大ゾーンと定義する。さらに人口の分布を考慮するため、大ゾーンをパーソントリップ調査で用いられる中ゾーン程度の規模に分割する。これを中ゾーンと定義する。土地利用変化シナリオは各大ゾーン単位で設定する。

(2) 交通 CO₂ 排出量推計モデル (モデル B)

モデル A で決定された用途別床面積を基に、夜間人口、従業者人口を推計する。次に、人口から各ゾーン毎の発生・集中トリップ数を求め、重力モデルを用いてゾーン間の分布トリップ数に変換する。分布トリップ数を各利用交通機関に配分し、交通機関別分布トリップ数を求める。交通機関別分布トリ

ップ数と機関毎の所要時間、時間あたりの機関別 CO₂ 排出量原単位から年間交通 CO₂ 排出量を推計する。ここで、鉄道の所要時間は各リンク毎に一定と仮定する。自動車の所要時間は混雑の影響を考慮するために、ゾーン間の最小所要時間、リンク容量、自動車走行台数から毎回算出する。ここで自動車及び鉄道の移動所要時間（料金を時間換算で加算）を比較し、鉄道の所要時間が自動車よりも短くなれば、機関分担率を補正し鉄道の利用率を増加させる。この逆の転換はおこらないものとする。発生・集中トリップ数は人口の分布、移動距離を考慮するために中ゾーン単位で集計する。経済の規模に関係なく交通需要の発生原単位は一定とする。図-1 に交通 CO₂ 排出量推計モデルの式及び流れを示す。

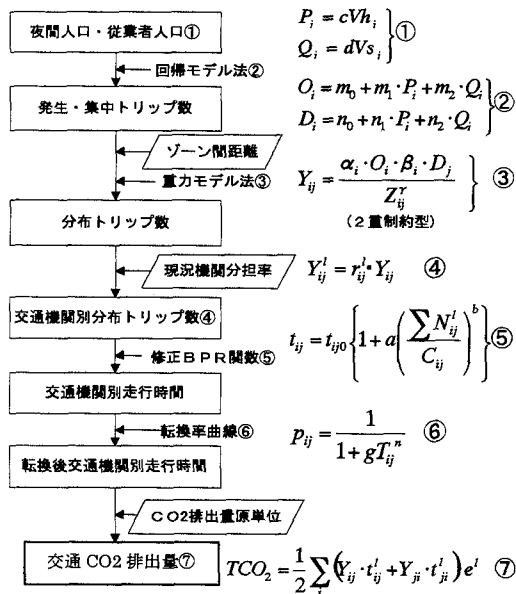


図-1 交通 CO₂ 排出量推計モデルの流れ

$c, d, m_0, m_1, m_2, n_0, n_1, n_2$: 回帰パラメータ²⁾, P_i : i の夜間人口(人), Q_i : i の昼間人口(人), Vh_i : i の住宅床面積(k m²), Vs_i : i の業務床面積(k m²), Y_{ij} : ゾーン ij 間のトリップ数, Z_{ij} : ゾーン ij 間の距離(km), α_i, β_i : 調整係数, γ : パラメータ, t_{ij} : 道路所要時間(分), t_{ij0} : 機関別最小所要時間(分), N_{ij} : 機関別総走行台数(台), C_{ij} : リンク容量, a, b : パラメータ, p_{ij} : 転換率(%)³⁾, T_{ij} : 所要時間比, g, n : パラメータ³⁾, t'_{ij} : ゾーン ij 間の交通機関 l の所要時間(h), e^l : 交通機関 l の年間 CO₂ 排出原単位 (ktC/年・分)

(3) 建物 CO₂ 排出量推計モデル (モデル C)

モデル C における建物 CO₂ 排出量とは、住宅、業務用施設の熱、及び電力使用に伴い発生する年間 CO₂ 排出量を表す。建物 CO₂ 排出量の推計はモデル A で決定された用途別床面積に、単位床面積あたりの CO₂ 排出量原単位を乗じて行う。建物 CO₂ 排出量は外気温の影響を多大に受けると考えられる。また外気温は建物の密度、水面、緑地と関係が深い。そこでモデル C では床面積、容積率、緑地面積から各ゾーンの気温を予測し、郊外の建物による影響を全く受けない地域の気温との差から CO₂ 排出原単位を補正して用いる。今回は気温変化による夏期の影響のみを考慮する。

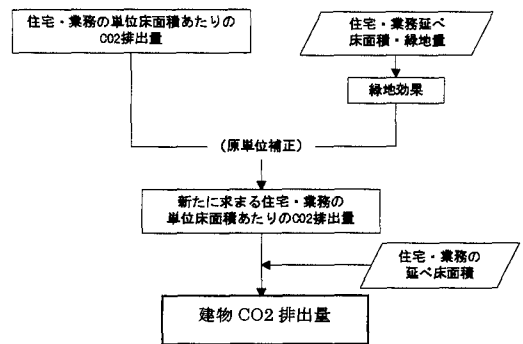


図-2 建物 CO₂ 排出量推計モデルの流れ

$$T_i = 10^{1.444} \times \frac{H_i^{0.010}}{R_i^{0.020}} \quad (8)$$

$$G_i = -0.05 \times (T_{i0} - T_i) \times \frac{4}{12} \quad (9)$$

$$SCO_2 + HCO_2 = \sum G_i (e^{k3} V_i^{k3} + e^{k4} V_i^{k4}) \quad (10)$$

H_i : ゾーン i の容積率(%), R_i : ゾーン i の緑地率(%), T_i : ゾーン i の予測気温(°C), G_i : 原単位補正率(%), T_{i0} : 神戸市郊外地域気温(°C), T_i : ゾーン i の温度(°C), SCO_2 : ゾーン i 商業・業務 CO₂ 排出量 (ktC/年), HCO_2 : ゾーン i 住宅 CO₂ 排出量 (ktC/年), e^{k3} : 補正後商業・業務 CO₂ 排出量原単位⁴⁾ (ktC/年・m²), e^{k4} : 補正後住宅 CO₂ 排出量原単位¹⁾ (ktC/年・m²), V_i^k : ゾーン i 立地主体 k 床面積

3. ケーススタディ

LUMSUD モデルを用いて神戸市のデータをもとに、人口の分散、集中に伴う CO₂ 排出量の変化を求めた。今回用いたシナリオ、及びパラメータを以下の表-1、表-2 に示す。

表-1 モデル A における土地利用変化シナリオ

内容	前提	具体的な設定
分散化	(都心部ゾーン) ・床面積を減少緑地面積は増加 (北東・北西ゾーン) ・床面積を増加緑地面積は減少 ・全中ゾーンの平均容積率は不変	(移動量) 都心部ゾーンの床面積50%を500回で北西・北東ゾーンに移動、北東・北西ゾーンの面積比率に応じて、床面積を配分
	(都心部ゾーン) ・床面積を増加緑地面積は減少 (北東・北西ゾーン) ・床面積を減少緑地面積は増加 ・全中ゾーンの平均容積率は不変	(移動量) 北西・北東ゾーンの床面積50%を500回で都心部ゾーンに移動

表-2 パラメーター一覧

c	3.658*10 ⁻⁴	m ₂	1.567	γ	1.657
d	3.186*10 ⁻⁴	n ₀	6188	a	2.62
m ₀	6036	n ₁	0.914	b	5
m ₁	0.916	n ₂	1.565		

(1) 人口の分散が CO₂ 排出量に与える影響

ここでは都心部ゾーンの高容積率の建物を郊外に移し、北西、北東ゾーンの緑地に新たに低層の建物を建設した場合の CO₂ 排出量の変化について考察する。CO₂ 排出量は約 30%程度分散がおこるまで増加を続け、その後横ばいで推移する。図-3 に示されるように発生源別の値で見ると、建物 CO₂ 排出量の変化は微小で、交通による CO₂ 排出量の増加のみが目立つ結果となった。

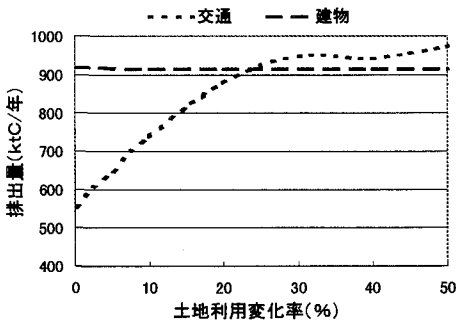


図-3 分散化 発生源別年間 CO₂ 排出量

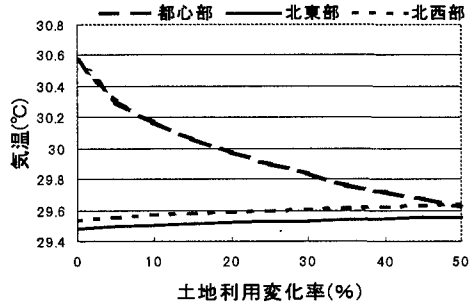


図-4 分散化 ゾーン別気温

まず建物による CO₂ 排出量については以下のようなことが分かる。都心部の気温は約 1℃低下し、熱環境は改善される。しかしエネルギー消費需要自体が郊外部に移転し、郊外部の熱環境がわずかに悪化するために CO₂ 排出削減量は全域で 2%強にとどまっていることが分かる。同様に交通 CO₂ 排出量については次のことが分かる。人口の分散により全域における平均移動距離が増加し、都心部の人口の受入先である郊外部の交通インフラが脆弱かつ鉄道の一般化費用が高いため、モーダルシフトが生じにくい結果となっている。その結果自動車による交通渋滞が深刻化し、CO₂ 排出量は増加することが分かる。全体的には、分散により都心部での熱環境は改善されるが、郊外部における交通渋滞が深刻化し、CO₂ 排出量は増加するという結果となった。これは本モデルでは交通インフラの新設を行わないため、郊外部の交通需要を満たすことができなかったためであると考えられる。分散化政策を行う場合、ここで試算したような低密度型都市を郊外に広げていく形式の開発ではなく、高密度型都市の建設を行い、交通需要を地域内で完結させる形の開発が有効であると推察される。

(2) 人口の集中が CO₂ 排出量に与える影響

ここでは都心部ゾーンの緑地に高容積の建物を建設し、北西、北東ゾーンの人口を受け入れた場合の CO₂ 排出量の変化について検討する。25%集中した場合の削減量は現状総 CO₂ 排出量の 4%前後である。分散型の政策を採った場合と同様、建物 CO₂ 排出量の変化は交通 CO₂ 排出量の変化に比べ微小であることがわかる。

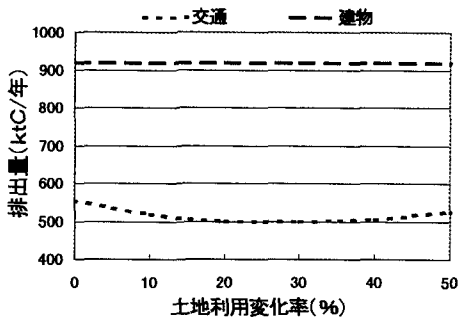


図-5 集中化 部門別 CO₂ 排出量

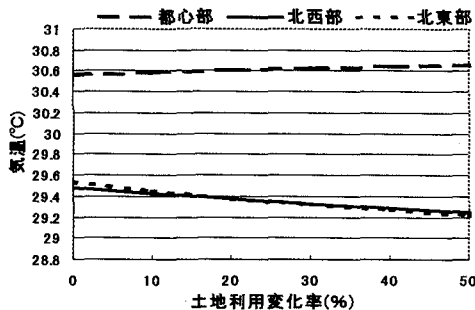


図-6 集中化 ゾーン別気温

建物による CO₂ 排出量について、以下のことが分かる。都心部の気温は約 0.1℃上昇し、北東、北西部の気温は約 0.3℃低下する。都心部の熱環境悪化の程度は小さい。交通による CO₂ 排出量については、集中により全域における平均移動距離が減少する。人口流入に伴い都心部で自動車の渋滞が発生するが、交通インフラが整備されており鉄道の一般化費用が低いため、自動車から鉄道への転換がおこり渋滞の影響は緩和される。25%集中させた所で交通 CO₂ 排出量は現状の約 10%（全体で約 4%）削減される。全体で見ると、集中により都心部の熱環境は悪化するが、交通部門の CO₂ 排出量削減により全体の CO₂ 排出量の 4%の削減の可能性があるとの結果を得た。しかし本研究では混雑による利便性の変化については扱っておらず、集中により交通機関の利便性は非常に悪化すると予想され、これらをふまえた評価が必要であると思われる。

(3) 課税による評価

最後に、郊外から都心部に向かう自動車のトリップに一律 600 円（時間価値 50 円）の課税を行った

場合、分散化の CO₂ 排出量に与える影響について検討する。

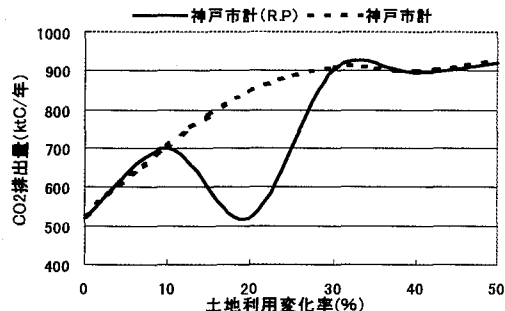


図-7 課税による交通 CO₂ 排出量の変化

土地利用を 20%程度変化させた所で自動車への課税の影響が最も強く現れている。これは分散によって都心部と郊外部を結ぶトリップが増加し、また鉄道への転換がピークを迎えたためと思われる。しかし分散を進めるに従い課税効果は薄れ、30%を超えるとその影響が消失する傾向にある。この時点で過度の交通渋滞から殆どの郊外部から都心部へのトリップが鉄道に転換していることを示している。

4. おわりに

本研究は、三つの部分モデルから構成される CO₂ 排出量予測モデルを開発し、政策の変化が長期の CO₂ 排出量削減に対する影響を総合的に把握することを提案した。そして、神戸市を対象として政策の影響について、いくつかのケーススタディを通して検討した。しかし、本研究はまだ研究の初期段階であり、経済の発展、産業構造の変化、多地域の影響など本研究で捨象されている要素を組み込む必要がある。また、検討したシナリオに関しても、非常に限定されたシナリオであり、モデルの挙動をより詳細に捉えるためには、さらに多くの状況について検討を加える必要がある。これらについては、現在検討中である。

【参考文献】

- 1) 環境庁国立環境研究所：産業連関表による二酸化炭素排出原単位
- 2) 京阪神都市圏交通計画協議会：第 3 回京阪神都市圏パーソントリップ調査報告書、1992。
- 3) 「交通ネットワーク」出版小委員会：交通ネットワークの均衡分析—最近の理論と解法—，土木学会，pp11～20，1998。
- 4) 都市環境システム研究会：気温低下によるエネルギー消費削減効果の検討 1997。