

神戸大学工学部 フェロー会員 黒田勝彦
神戸大学大学院 学生会員 ○大西正毅

1. はじめに

現在、地球環境問題の中でも温暖化が非常に問題となっており、その原因となる温室効果ガスの中でも特に、CO₂の寄与率が最も大きいとされている。

そこで、本研究においては CO₂ 排出量の削減を第一の目的とし、エネルギー利用の効率化を考えた都市の土地利用と交通のあり方をモデルとして考察することにより、将来の都市づくりの考え方を示す。

2. CO₂排出量と緑地を考慮した土地利用モデル

本研究では、CO₂ 排出量を削減する手法として土地利用という観点からモデルを構築することを試みた。このモデルでは、これまでの生活形態を変化させずに、建物の立地配置の変化によりエネルギー利用を抑制することができ、その結果 CO₂ 排出量を削減することが可能であるという考えを基本としている。具体的には職住施設の適切な配置による交通トリップの減少、建物を高層化することにより空間を確保し、その空間に温度低減効果のある緑地を配置することによるエネルギー使用量の減少といったものが主なものである。

そこで、本研究においては、対象地域を神戸市とし、すべてのゾーンから排出される CO₂ の総量を最小にすることを考え、それに関与する要因として、産業、交通、業務、住宅から発生する CO₂ 排出量、緑地による温度低減効果を考慮に入れた。

以下では各要因におけるモデルの定式化を行う。

(a) 産業部門からの CO₂ 排出量推計モデル

部門別単位生産額あたりの CO₂ 排出原単位¹⁾に部門別の生産額を乗じ、各産業部門の CO₂ 排出量とする。

ただし、産業部門は土地条件と密接な関係があることから、現状の立地配置が最適と考えられる。従って、本研究では産業部門については与件として扱った。

(b) 交通部門からの CO₂ 排出量推計モデル

ゾーン間トリップ数はパーソントリップデータ²⁾をもとにし、発生・集中トリップ数、分布トリップ数、交通機関別分布トリップ数の推計の3段階のプロセスにより推計する。まずゾーン別発生・集中トリップ数モデルの推計を行う。なお説明変数には夜間人口等の

人口指標を用いる。

次に分布トリップ数の推計を行う。ここでは、重力モデルを用いて推計する。

また、鉄道、バス、自動車、バイクのエネルギー消費原単位は大きく異なることから、この推計した分布トリップ数に各ODペア間ごとの現況の分担率を乗じ、各交通機関別の分布トリップ数を求め、最後に、各交通機関別に各ODペアに対応するゾーン間の所要時間、走行速度、CO₂ 排出原単位を乗じることにより交通エネルギー消費量を算出する。以下の式(1)、(2)に交通における CO₂ 排出量の計算式を示す。

$$CO_{2i}^T = \sum_m \left(\frac{\sum_j Y_{ij}^m t_{ij}^m + \sum_j Y_{ji}^m t_{ji}^m}{2} \cdot \bar{v}_i^m \cdot e^m \right) \dots (1)$$

$$Y_{ij}^m = r_{ij}^m \cdot Y_{ij} = r_{ij}^m \cdot K \cdot \frac{O_i^\alpha \cdot D_j^\beta}{Z_{ij}^\gamma} \dots (2)$$

CO_{2i}^T : ゾーン*i*における交通の CO₂ 排出量

t_{ij}^m : ゾーン*ij*間の交通機関*m*の所要時間

$\bar{v}_i^m$: ゾーン*i*における交通機関*m*の平均走行速度

e^m : 交通機関*m*の一人・kmCO₂排出量

Y_{ij}^m : ゾーン*ij*間の交通機関*m*のODトリップ数

r_{ij}^m : ゾーン*ij*間の交通機関*m*の交通手段分担率

Y_{ij} : ゾーン*ij*間のODトリップ数, O_i : ゾーン*i*の発生トリップ数

D_j : ゾーン*j*の集中トリップ数, Z_{ij} : ゾーン*ij*間の距離

α, β, γ, K : 回帰分析から得られるパラメータ

(c) 業務部門からの CO₂ 排出量推計モデル

業務部門については単位床面積当たりの CO₂ 排出量を用いて、床面積を乗じることにより業務部門による CO₂ 排出量とする。

(d) 住宅からの CO₂ 排出量推計モデル

住宅についても単位床面積当たりの CO₂ 排出量を用いて、床面積を乗じることにより住宅による CO₂ 排出量とする。

以下の式(3)に業務部門と住宅における CO₂ 排出量の計算式を示す。

$$CO_{2i}^S = \sum_k e^k V_i^k X_i^k \dots (3)$$

CO_{2i}^S : ゾーン*i*における業務と住宅における CO₂ 排出量の和

e^k : 主体 k の単位床面積当たり CO_2 排出量
 X_i^k : ゾーン i における主体 k の敷地面積
 V_i^k : ゾーン i における主体 k の容積率
 k : 業務、住宅

(e) 緑地による温度低減効果

緑地には周囲の温度上昇を抑制する働きがある。
そこで、高の研究³⁾で求められた気温に対する緑地の
影響から以下の式(4)を導出した。

$$\Delta t_i = -1.48 + 1.77 \Delta R_i^G - 0.39 \Delta R_i^{\bar{V}} \quad \cdots (4)$$

Δt_i : ゾーン i における気温変化量(+:低下、-:上昇)
 ΔR_i^G : ゾーン i における緑地変化率
 $\Delta R_i^{\bar{V}}$: ゾーン i における平均容積率変化率

また平均容積率は、ゾーンにおけるすべての主体の床
面積をすべての主体の敷地面積で除した値と仮定した。
さらに、都市環境システム研究会の報告書⁴⁾より外
気温が1℃下がるごとに約5%のエネルギー削減が
可能であることから、本モデルにおいては緑地の温度
低減効果として気温が1℃下がるごとに5%の CO_2
排出量削減が可能であるとした。

(f) CO_2 排出量最小化モデル

(a)～(e)の各要因をまとめた CO_2 排出量最小化モ
デルの定式化を以下に示す。また、制約条件として以
下の2点を考えた。

- ・ 住宅、業務の総床面積は現状値とする
- ・ 各ゾーンの敷地面積は現状値とする

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_i CO_{2i} \\ CO_{2i} = & CO_{2i}^I + CO_{2i}^T + CO_{2i}^S \\ & - 0.05 \Delta t_i (CO_{2i}^I + CO_{2i}^T + CO_{2i}^S) \\ \text{s.t. } & \sum_k V_i^k X_i^k = \text{現状の主体}k\text{の全床面積} \\ & \sum_k X_i^k + G_i = \text{現状のゾーン}i\text{の敷地面積} \\ CO_{2i}^I : & \text{ゾーン}i\text{における産業部門の}CO_2\text{排出量} \\ G_i : & \text{ゾーン}i\text{の緑地面積} \end{aligned}$$

3. ケーススタディ

本研究の対象地域である神戸市をゾーンニングし
た結果を表-1に示す。

表-1 神戸市のゾーンニング結果

1 東灘区内陸部	10 中央区ホトアイランド	19 西区北東部
2 東灘区臨海部	11 兵庫区内陸部	20 西区東部
3 東灘区六甲アイランド	12 兵庫区臨海部	21 西区西部
4 灘区内陸部	13 長田区内陸部	22 北区南部東
5 灘区臨海部	14 長田区臨海部	23 北区南部中央
6 中央区東合内陸部	15 須磨区北部	24 北区南部西
7 中央区東合臨海部	16 須磨区本区	25 北区中部
8 中央区生田内陸部	17 垂水区北部	26 北区北部
9 中央区生田臨海部	18 垂水区南部	

そして、最適土地利用モデルにより求めた神戸市

全体の CO_2 排出量の計算結果と現状値を表-2に、
部門別ゾーン別 CO_2 排出量の計算結果を図-1に、
現状の CO_2 排出量を図-2に示す。

表-2 神戸市の CO_2 排出量

(ktC)	計算結果					現状値				
	住宅	業務	産業	交通	計	住宅	業務	産業	交通	計
神戸市	477.5	447.5	1221.0	343.8	2489.8	480.0	475.7	1240.8	455.6	2652.2
現状:100	99.5	94.1	98.4	75.5	93.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

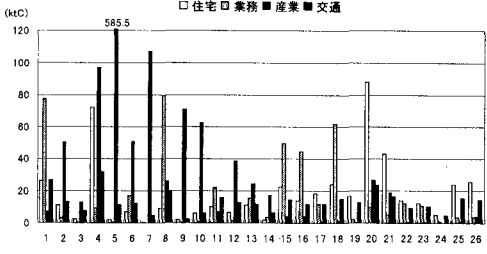


図-1 計算結果の CO_2 排出量

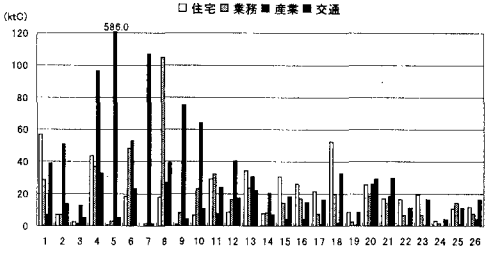


図-2 現状の CO_2 排出量

4. 考察

業務施設が一極集中型である現在の神戸市に対し、
計算では各ゾーンに業務施設と住宅が分散する結果と
なった。これにより全体の交通トリップが減少し、交
通部門では CO_2 の大幅な削減が可能であることが分
かった。また高層化し緑地を生成することにより、全
体の CO_2 が減少することから、緑地の適切な配置は
 CO_2 排出量抑制の1つの手段になりうると思われる。

5. おわりに

緑地と土地利用の変化だけでも CO_2 排出量抑制に
対し十分効果があることが本研究により確認できた。

しかし、モデルの各要因については不十分な点が
多いため、今後改良する必要があると考えられる。

【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回京阪神都市圏バートリップ調査
報告書, 1992. 3
3) 高偉俊：都市環境における緑地オープンスペースによる熱的效果, 日本建築
学会計画系論文集, 第448号, pp. 15～27, 1993. 6
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