

## ■ 研究論文 ■

# 運輸部門の省エネルギー型都市構造に対する 2つのモデルによるアプローチ

Two Model Analyses on the Urban Structure of Minimal Transportation Energy Consumption

秋澤 淳\*・茅 陽一\*\*

Atsushi Akisawa Yoichi Kaya

(1994年12月22日 原稿受理)

## Abstract

It is required to reduce CO<sub>2</sub> emission stemming from fossil fuels to cope with the global warming. Transportation sector needs to reduce energy consumption because it depends strongly upon fossil fuels. In this study, authors approach energy conservation in transportation from the viewpoint of optimizing urban structure. Two models are developed. One is to minimize total trip length under the condition of constant congestion. The other minimizes the fuel consumption directly where congestion is taken into account. The optimal structures are calculated numerically, which illustrate that offices are located on the center of the city while residential areas are allocated on the suburbs. They seem to be similar to real urban structures. Relatively large share of roads around the center implies heavy congestion potential there.

## 1. はじめに

地球温暖化問題を契機として、化石燃料消費抑制のため一層の省エネルギーが求められている。石油ショック以降産業部門のエネルギー消費が横ばい状態であるのに対し、運輸部門・民生部門における消費は増大傾向を続けている。とりわけ運輸部門は化石燃料に大きく依存しているため、燃料消費抑制は重要な課題となっている。

運輸部門においては乗車効率の改善や公共交通への転換など様々な省エネ方策が考えられるが、本研究では都市構造に注目する。都市内の自動車燃料消費を抜本的に削減するためには、トリップ長を短縮するように土地利用を変更するなどの構造的な方策が必要と考えられる。従来、都市構造に関しては都心の混雑緩和を目的とした職住近接の観点からの研究が報告されている。鈴木<sup>1)</sup>は総トリップ長を最小化するように居住地・業務地を割り当てし直す効果を算出しているが、

土地利用自体は固定しており、構造の最適性は議論していない。

本研究は運輸エネルギー消費抑制の観点から、都市内の最適な土地利用構造を導くことを目的とする。そのため、運輸エネルギー消費を最小化する2つの都市モデルによって土地利用を分析する。一つは都市内の交通混雑が一樣な条件を入れ、総トリップ長を最小化する混雑度一定型都市モデルであり、もう一つは交通混雑を内生化し、直接総燃料消費量を最小化する混雑内生化型モデル<sup>2)</sup>である。それぞれ数値的に最適解を導くとともに、東京23区における実際の土地利用分布と最適解との比較を行う。

## 2. 運輸エネルギー消費を最小化する都市構造の基本的考え方

### 2.1 前提条件

本モデルでは以下の前提をおく。

- i) 2次元の円形都市を考える。
- ii) 都市は居住地、業務地、放射状道路、環状道路から成る。
- iii) 自動車交通のみを取り扱う。
- iv) 通勤交通および業務交通を考える。

\* 東京農工大学工学部機械システム工学科講師

〒184 東京都小金井市中町2-24-16

\*\* 慶応義塾大学大学院政策・メディア研究科教授

〒252 神奈川県藤沢市遠藤5322

- v) すべての人口が通勤する.
- vi) いたるところに放射状道路, 環状道路が存在する.
- vii) 交通は最短経路を通過する.
- viii) 交通は定常状態とする.

また, 混雑度一定型モデルでは時間的要素を無視するが, 混雑内生化型モデルでは通勤交通は通勤時間帯に, 業務交通は業務時間帯に発生すると区分する.

2.2 モデル化の考え方

(1) 混雑度一定型

都市では交通混雑が慢性化し道路整備が追いつかない状況であるが, 将来的には交通混雑がない状態が理想的である. そこで, ここでは都市内のいたるところ混雑が一定の都市<sup>3)</sup>をモデル化する. このとき, 混雑一定より走行状態がどこでも同じなので, 総燃料消費量は総トリップ長に比例する. したがって, 総トリップ長最小化によって運輸エネルギー消費を最小化する土地利用を得ることができる.

(2) 混雑内生化型

都市中心部に業務地, 居住地を集中させるほどトリップ長が短くなり, 燃料消費は削減される. 逆に, 都市部の混雑は激しくなり燃費が悪化する. 混雑度内生化型モデルでは, 全体として運輸燃料消費が低減するのであれば混雑により一部で燃費が低下することをみとめる. 交通事情は理想的とは限らないがエネルギー面での評価を優先させたモデルといえる.

2.3 変数等の定義

以下で用いる変数等を次の通り定義する.

- $r$  : 都市中心からの距離 (km)
- $f(r)$  : 居住地面積比率,  $g(r)$  : 業務地面積比率
- $u_r(r)$  : 放射状道路面積比率,
- $u_c(r)$  : 環状道路面積比率,
- $t_r^+(r)$  : 半径方向 (上り) 業務トリップ数 (台),
- $t_r^-(r)$  : 半径方向 (下り) 業務トリップ数 (台),
- $t_c(r)$  : 円周方向 (片側) 業務トリップ数 (台),

- $s_r^+(r)$  : 半径方向 (上り) 通勤トリップ数 (台),
- $s_r^-(r)$  : 半径方向 (下り) 通勤トリップ数 (台),
- $s_c(r)$  : 円周方向 (片側) 通勤トリップ数 (台),
- $b_1$  : 業務トリップの時間あたり発生率 (1/h),
- $b_2$  : 通勤トリップの時間あたり発生率 (1/h),
- $c$  : 幅員あたり時間あたり交通量 (台/h/m),
- $T_1$  : 業務時間数 (h),  $T_2$  : 通勤時間数 (h),
- $w$  : 道路幅員 (片側一車線) (m)
- $P$  : 総人口 (人),  $R$  : 都市半径 (km),
- $\rho, \sigma$  : 居住地および業務地人口密度 (人/km<sup>2</sup>),
- $D$  : ロータリー半径 (km)

本研究で求める対象は $f(r), g(r), u_r(r), u_c(r)$ である.

3. 交通トリップの定式化

3.1 都市内移動

(1) 環状道路利用

都市内の任意の地点間でトリップが発生すると考える. 半径方向と円周方向を組み合わせ移動経路が構成されるが, 環状道路を利用する条件は最短経路を通過する条件から次式となる.

$$\theta < 2 \quad (\theta : 2 \text{ 地点間のなす角})$$

すなわち, 移動地点間が2ラジアン以内の場合には環状道路を用い, 都市中心を通過しない. また, 都市中心一点に集中する交通をさばくため中心部に道路のみのロータリーを設けた.

(2) 半径方向トリップ

都市中心から $r$ の地点を半径方向に通過するトリップは図-1に示す場合に発生する. 上りの場合は白ぬき領域からハッチした部分に移動するトリップが通過する. 下りの場合は白ぬき領域から薄いハッチ部分への移動と薄いハッチの領域から濃いハッチの部分への移動の2通りが $r$ の地点を横切る.

(3) 円周方向トリップ

円周方向については半径 $r$ 上を通過するトリップは

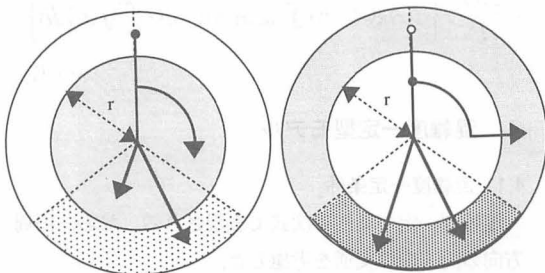


図-1 半径方向移動の発生ケース

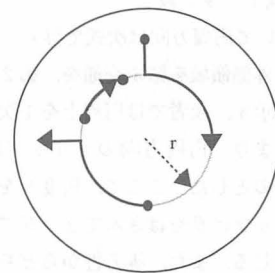


図-2 円周方向移動の発生ケース

図-2に示す3ケースとなる。すなわち、半径 $r$ 上に発着し外側の地点とを結ぶ移動と半径 $r$ 上のみの移動が該当する。

#### (4) トリップ発生メカニズム

業務交通、通勤交通ともにトリップ発生地点の人口は着地の業務人口に比例して移動すると仮定する。すなわち、次式に従う。

$$\phi(x_1, x_2) = \frac{\sigma g(x_2)}{P} \quad \dots\dots (1)$$

ただし、 $\phi: x_1 \rightarrow x_2$ への移動比率、また、一人が一台に乗車すると仮定する。

以下で定式化するトリップ数は発生ポテンシャルを意味する。トリップ数に時間あたり発生率を乗ずることによって道路の交通量を得る。

### 3.2 業務交通

#### (1) 半径方向トリップ数

図-1のパターンに従って、業務地点間のトリップ数は次の通り定式化できる。

上がり方向：

$$\begin{aligned} t_r^+(r) &= \frac{\sigma^2}{P} \int_0^R \int_r^R \int_0^{2\pi} \int_{\theta_1+2}^{\theta_1+2\pi-2} r_1 r_2 g(r_1) g(r_2) dr_1 dr_2 d\theta_1 d\theta_2 \\ &+ \frac{\sigma^2}{P} \int_r^R \int_0^r \int_0^{2\pi} \int_{\theta_1-2}^{\theta_1+2} r_1 r_2 g(r_1) g(r_2) dr_1 dr_2 d\theta_1 d\theta_2 \\ &= \frac{4\pi\sigma^2}{P} \left\{ \frac{P}{2\sigma} - 2 \int_r^R r_2 g(r_2) dr_2 \right\} \int_r^R r_1 g(r_1) dr_1 \\ &\quad \dots\dots (2) \end{aligned}$$

下り方向：

$$\begin{aligned} t_r^-(r) &= \frac{\sigma^2}{P} \int_0^R \int_r^R \int_0^{2\pi} \int_{\theta_1+2}^{\theta_1+2\pi-2} r_1 r_2 g(r_1) g(r_2) dr_1 dr_2 d\theta_1 d\theta_2 \\ &+ \frac{\sigma^2}{P} \int_0^r \int_r^R \int_0^{2\pi} \int_{\theta_1-2}^{\theta_1+2} r_1 r_2 g(r_1) g(r_2) dr_1 dr_2 d\theta_1 d\theta_2 \\ &= \frac{4\pi\sigma^2}{P} \left\{ \frac{P}{2\sigma} - 2 \int_r^R r_1 g(r_1) dr_1 \right\} \int_r^R r_2 g(r_2) dr_2 \\ &= t_r^+(r) \quad \dots\dots (3) \end{aligned}$$

#### (2) 円周方向トリップ数

図-2に基づいて円周方向は次式で与えられる。第1項が円周上と外側領域を結ぶ交通を、第2項が円周上を結ぶ交通を示す。後者では円周上を1次元的にモデル化した。つまり、円周方向のトリップは微小幅 $dr$ に比例するものとした。ここで、角度 $\theta$ を通過する円周方向のトリップは $\theta$ をはさんで2ラジアン以下の移動によって生じる。また、等方性からどちらの方向も同じになる。

$$\begin{aligned} t_c(r) &= \frac{2\sigma^2}{P} \int_r^R \int_{\theta-2}^{\theta} \int_{\theta}^{\theta+2} r r_1 g(r) g(r_1) dr_1 d\theta_1 d\theta_2 \\ &+ \frac{\sigma^2}{P} \int_{\theta-2}^{\theta} \int_{\theta}^{\theta+2} r^2 g(r)^2 d\theta_1 d\theta_2 \\ &= \frac{2\sigma^2}{P} r g(r) \left\{ r g(r) + 2 \int_r^R r_1 g(r_1) dr_1 \right\} \quad \dots\dots (4) \end{aligned}$$

### 3.3 通勤交通

#### (1) 半径方向トリップ数

居住地と業務地間を移動するトリップ数は、同様に定式化される。ただし、業務交通と違い通勤交通は上下方向でトリップ数が異なる。

上り方向：

$$\begin{aligned} s_r^+(r) &= \frac{\rho\sigma}{P} \int_r^R \int_0^r \int_0^{2\pi} \int_{\theta_1+2}^{\theta_1+2\pi-2} r_1 r_2 f(r_1) g(r_2) dr_1 dr_2 d\theta_1 d\theta_2 \\ &+ \frac{\rho\sigma}{P} \int_r^R \int_r^R \int_0^{2\pi} \int_{\theta_1-2}^{\theta_1+2} r_1 r_2 f(r_1) g(r_2) dr_1 dr_2 d\theta_1 d\theta_2 \\ &= \frac{4\pi\rho\sigma}{P} \left\{ \frac{P}{2\sigma} - 2 \int_r^R r_2 g(r_2) dr_2 \right\} \int_r^R r_1 f(r_1) dr_1 \\ &\quad \dots\dots (5) \end{aligned}$$

下り方向：

$$\begin{aligned} s_r^-(r) &= \frac{\rho\sigma}{P} \int_0^r \int_r^R \int_0^{2\pi} \int_{\theta_1+2}^{\theta_1+2\pi-2} r_1 r_2 f(r_1) g(r_2) dr_1 dr_2 d\theta_1 d\theta_2 \\ &+ \frac{\rho\sigma}{P} \int_0^r \int_r^R \int_0^{2\pi} \int_{\theta_1-2}^{\theta_1+2} r_1 r_2 f(r_1) g(r_2) dr_1 dr_2 d\theta_1 d\theta_2 \\ &= \frac{4\pi\rho\sigma}{P} \left\{ \frac{P}{2\rho} - 2 \int_r^R r_1 f(r_1) dr_1 \right\} \int_r^R r_2 g(r_2) dr_2 \\ &\quad \dots\dots (6) \end{aligned}$$

#### (2) 円周方向トリップ数

円周方向の通勤トリップ数は方向によらず同じになる。

$$\begin{aligned} s_c(r) &= \frac{\rho\sigma}{P} \int_r^R \int_{\theta-2}^{\theta} \int_{\theta}^{\theta+2} r r_1 g(r) f(r_1) dr_1 d\theta_1 d\theta_2 \\ &+ \frac{\rho\sigma}{P} \int_r^R \int_{\theta-2}^{\theta} \int_{\theta}^{\theta+2} r r_2 f(r) f(r_2) dr_2 d\theta_1 d\theta_2 \\ &+ \frac{\rho\sigma}{P} \int_{\theta-2}^{\theta} \int_{\theta}^{\theta+2} r^2 f(r) g(r) d\theta_1 d\theta_2 \\ &= \frac{2\rho\sigma}{P} r \left\{ r f(r) g(r) + f(r) \int_r^R r_2 g(r_2) dr_2 + g(r) \int_r^R r_1 f(r_1) dr_1 \right\} \\ &\quad \dots\dots (7) \end{aligned}$$

## 4. 混雑度一定型モデル

### 4.1 混雑度一定条件

混雑度一定の条件は次式で表現される。なお、円周方向の両方向の交通を考慮した。

$$2\pi r \{1 - f(r) - g(r)\}$$

$$= \frac{1}{C} \left[ 2b_1 \{t^*(r) + 2\pi r t_1(r)\} + b_2 \{s^*(r) + s_1^*(r) + 4\pi r s_1(r)\} \right] \quad \dots\dots (8)$$

左辺は道路面積を示し、右辺は交通をさばくために必要な道路面積を示す。すなわち、混雑度一定条件は道路の需給が任意の地点で成立することを意味している。

4.2 問題の定式化

パラメータによっては全ての人口が自動車を利用することにはならないが、本モデルは総トリップ長を評価基準とする。

(1) 目的関数

都市内の業務交通トリップ長 $L_1$ は次式で表される。

$$L_1 = \frac{\sigma^2}{P} \left\{ \int_0^R dr_1 \left[ \int_0^R \int_0^{2\pi} \int_{\theta_1+2}^{\theta_1+2\pi-2} (r_1+r_2)r_1r_2g(r_1)g(r_2)dr_2d\theta_1d\theta_2 \right. \right. \\ \left. \left. + \int_0^{r_1} \int_0^{2\pi} \int_{\theta_1-2}^{\theta_1+2} (r_1-r_2+r_2|\theta_1-\theta_2|)r_1r_2g(r_1)g(r_2)dr_2d\theta_1d\theta_2 \right. \right. \\ \left. \left. + \int_{r_1}^R \int_0^{2\pi} \int_{\theta_1-2}^{\theta_1+2} (r_2-r_1+r_1|\theta_1-\theta_2|)r_1r_2g(r_1)g(r_2)dr_2d\theta_1d\theta_2 \right] \right\} \quad \dots\dots (9)$$

同様に通勤トリップ長 $L_2$ も計算できる。往復を考慮して総トリップ長は次式で与えられる。

$$L = 2(L_1 + L_2) \\ = -\frac{8\pi\sigma}{P} \int_0^R \left\{ (\pi-2)w(0) + \frac{P}{2\sigma} r_1 + 2w(r_1) \right\} \\ \{ \rho y'(r_1) + \sigma z'(r_1) \} dr_1 \quad \dots\dots (10)$$

ただし、次の通り置き換えた。

$$y(r) = \int_r^R x f(x) dx \quad \dots\dots (11)$$

$$z(r) = \int_r^R x g(x) dx \quad \dots\dots (12)$$

$$w(r) = \int_r^R z(x) dx \quad \dots\dots (13)$$

(2) 制約条件

前述の(8)式が制約条件となる。また、居住人口と業務人口のそれぞれの総和は総人口に等しくなければならない。

$$2\pi\rho y(D) = 2\pi\sigma z(D) = P \quad \dots\dots (14)$$

さらに、ここでは以下を境界条件とした。

$$y(R) = z(R) = w(R) = 0 \quad \dots\dots (15)$$

$$y'(D) = f(D) = 0 \quad \dots\dots (16)$$

$$f'(D) = 0 \quad \dots\dots (17)$$

4.3 解法

本モデルは総トリップ長を上記の制約条件の下で最小化する。これは変分法を用いて解くことが可能であ

る。オイラー方程式から導かれた微分方程式系を数値的に解くことによって連続系で解を得る。

5. 混雑内生化型モデル

5.1 運輸燃料消費量

本モデルでは総燃料消費量を直接最小化する。走行時の燃料消費は以下の手順に従って算出する。

(1) 交通量

半径方向、円周方向それぞれのトリップ数を一車線あたりの時間あたり交通量に換算する。

半径方向：

$$Q_{tr} = \frac{b_{tr}}{2\pi r u_r} = \frac{b_{tr} w_r}{\pi r u_r} \quad \dots\dots (18)$$

円周方向：

$$Q_{tc} = \frac{b_{tc}}{2\pi r u_c} = \frac{2b_{tc} w_c}{u_c} \quad \dots\dots (19)$$

通勤交通についても同様に算出される。

(2) 走行速度

交通工学<sup>4)</sup>によれば、自動車密度 $K$ (台/km)と走行速度 $v$ (km/h)、交通量 $Q$ (台/h)と自動車密度 $K$ の関係は次式で表される。

$$v = v_0 \left[ 1 - \frac{K}{k_v} \right] \quad \dots\dots (20)$$

$$Q = K v \quad \dots\dots (21)$$

ただし、 $v_0$ ：自由走行速度（他に車がないときの速度）(km/h)、 $k_v$ ：渋滞密度（速度がゼロとなる密度）(台/km)。

これらより、速度と交通量の関係は次式で与えられる。

$$v = \frac{1}{2} \left[ v_0 + \sqrt{v_0^2 - \frac{4v_0 Q}{k_v}} \right] \quad \dots\dots (22)$$

ただし、同一の交通量に大小2つの速度が対応するが、ここでは軽負荷交通を仮定した。トリップ数から求められた交通量を代入することによって、各交通、各方向の速度を得る。

(3) 燃費関数

走行速度と燃費の関係式としては次式を用いる<sup>5)</sup>。

$$e(v) = 105.2 - 1.706v + 0.0128v^2 + \frac{356.9}{v} \quad \dots\dots (23)$$

ただし、 $e$ ：乗用車のガソリン燃費(cc/km)

5.2 問題の定式化

(1) 目的関数

目的関数は総燃料消費とする。すなわち、

$$J = 2q \left[ T_1 b_1 \int_0^R \{e(v_{tr})t_r + 2\pi r e(v_{tc})t_c\} dr \right. \\ \left. + T_2 b_2 \int_0^R \{e(v_{tr}^+)s_r^+ + e(v_{tr}^-)s_r^- + 4\pi r e(v_{tc})s_c\} dr \right] \\ \rightarrow \text{Min.} \quad \dots\dots 24$$

ここで、 $q$  : ガソリン発熱量 (Mcal/cc).  
 添字は  $t$  : 乗務交通,  $s$  : 通勤交通,  $r$  : 半径方向,  $c$  : 円周方向を表わす.

(2) 制約条件

本モデルには以下の制約条件が付属する.

1) 面積比率制約

任意の地点で各土地利用比率の総和は1にならなければならない.

$$f(r) + g(r) + u_r(r) + u_c(r) = 1 \quad \dots\dots 25$$

2) 人口制約

居住人口, 業務人口ともに(14)式と同じ制約がつく.

3) 土地利用制約

都市内に道路のみの土地利用が発生することは不自然であるので, 少なくとも1割は居住地または業務地になることを仮定した.

$$f(r) + g(r) \geq 0.1 \quad \dots\dots 26$$

4) 道路容量制約

交通量は道路容量以下でなければならない. これは(22)式が意味をなすために必要である.

$$Q \leq \frac{v_0 k_w}{4} = Q_{\max} \quad \dots\dots 27$$

5) 都市境界条件

本モデルでは都市境界に居住地または業務地の土地利用はないものとした.

$$f(R) = g(R) = 0 \quad \dots\dots 28$$

5.3 解法

混雑を内生化したモデルについては連続系で解くことが困難である. そこで,  $f(r)$ ,  $g(r)$ ,  $u_r(r)$ ,  $u_c(r)$  を離散化し, 各地点の比率を直接最適化の変数とみなして非線形最適化手法によって最適解を求める.

6. 最適解と実際の土地利用との比較

6.1 パラメータ設定

各種のパラメータは表1の通り設定した. 人口密度や交通発生率は東京都に関するデータに基づいて定めたものである. また, 人口規模については, 混雑度一定モデルは最適化の結果定まるが, 混雑内生化型モデルに対しては外生的に800(万人)を与えた.

6.2 最適解の導出

上記のパラメータに基づいて得られた最適土地利用

表1 パラメータの設定

パラメータ	単位	設定値	
人口密度	居住地	人/km <sup>2</sup>	30,000
	業務地	人/km <sup>2</sup>	100,000
トリップ発生率	$b_1$	1/h	0.23
	$b_2 * 1$	1/h	0.08
	$b_2 * 2$	1/h	0.16
業務時間数	h	8	
通勤時間数	*1	h	8
	*2	h	4
自由走行速度	km/h	30	
渋滞密度	台/km	150	
道路幅員(一車線)	m	4	
都市半径	km	15	

注: \*1) 混雑度一定型モデル, \*2) 混雑内生化型モデル

の図-3および図-4に示す. この結果の特徴は次の通り.

- 業務地が都市中心部に立地使し, 居住地がその外側に広がる.
- 道路は都市外縁部から中心に向かって比率を拡大する. また, 放射状道路は都市中心部で急激に比率を高める.
- 都市中心部では道路の比率が半分以上となる.
- 都心部において環状道路もかなりの比率を占め, 円滑な交通に対して寄与が大きいことを示す.

混雑内生化モデルの方が自由度が高いため, 混雑度一定型モデルよりも土地利用の分離が明確に表れている. なお, 混雑内生化モデルにおいて都市外縁部の放射状道路比率が大きい点は, 土地利用を業務地, 居住地, 道路のいずれかに割り振らなければならないことによる.

業務地が都心部に, 居住地が周辺部に立地する傾向は現実の都市の傾向にも符合する. これは運輸エネルギー

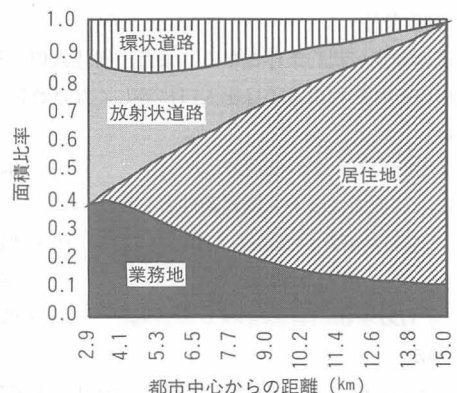


図-3 混雑度一定型モデルの最適土地利用

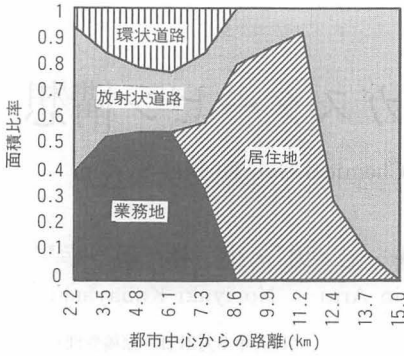


図-4 混雑内生化型モデルの最適土地利用

ギー消費における業務交通の比重が高く、集積させることによってトリップ長を短縮させようとしていることが読み取れる。従来、都市経済学<sup>9)</sup>では地価の観点から土地利用を説明づけているが、今回の結果はトリップ長や燃料消費など物理的な要素が都市構造を決める一因になることを示唆している。

また、今回の結果は都心部における道路比率が高い点も注目される。混雑度一定モデルと同様に混雑を内生化したモデルでも都心部の道路比率が高い点は、都心の交通混雑を緩和するために道路を確保せざるを得ないことに起因する。道路比率は短期的に固定化されているので、トリップ発生率が増加した場合には都心部の道路不足が大きく問題になると考えられる。

6.3 東京23区の土地利用との比較

モデルの最適解と現実の都市構造を比較するため、東京23区の土地利用を取り上げる。皇居を中心として1 km帯ごとの土地利用構成を図-5に示す<sup>7)</sup>。なお、工場、緑地などは除いた構成比率である。

実際の土地利用の傾向は混雑度一定型モデルの解と非常によく似ている。ただし、道路比率は中心部で周囲よりやや高くなることを除けば距離によらずほぼ一定である。この点はモデルの最適解では都市の外側から都心に向かって道路比率を拡大している点と大きく異なる。このことから、現実の都市にも運輸エネルギー消費を抑制しようとする潜在的傾向があるが、道路に対する割り当てが少なすぎるため、混雑による燃費の悪化をもたらしていると考えられる。図-5の都心部で業務地が突出しているのを見ても、道路よりも業務系立地が優先されていることが表われている。

7. おわりに

本研究では省エネルギー型都市に対して、特に運輸

燃料消費を抑制する土地利用構造に2つの考え方でアプローチした。その結果、最適構造としてほぼ同様な土地利用分布の傾向を見出した。また、経済的要因ではなく物理的要因のみから現実の都市に似た土地利用が導き出したことは興味深い。

“環境調和型都市”の考え方が広まりつつあるが、土地利用構造まで踏み込んだ定量的な分析は見受けられなかった。都市内の業務交通や貨物輸送には必ずしも公共交通に移転できないものもあるため、都市構造の適正化による省エネルギー方策は将来的に重要と考えられる。

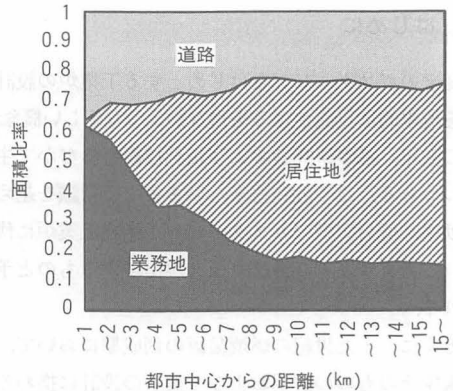


図-5 東京23区の実際の最適土地利用

東京23区のデータ処理については東京大学先端科学技術研究センターノ瀬助手にご協力いただいた。また、建設省道路局道路経済調査室には自動車燃費関数に関して貴重なデータの提供を受けた。記して感謝する次第である。

参考文献

- 1) 鈴木：「職住割当の最適化による通勤交通エネルギーの削減効果」, オペレーションズ・リサーチ, vol. 39, No. 5 (1994), 243~248.
- 2) 宮武・秋澤・茅：「運輸エネルギー消費を最小化する最適都市構造の評価」, 電気学会論文誌B, vol. 115 No. 6 (1995), 617~623.
- 3) 田口：「交通渋滞のない都市のモデル」, 1993年度日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集 (1993).
- 4) R. ハーバーマン：「交通流の数学モデル」, 現代数学社 (1981).
- 5) 建設省道路局資料.
- 6) 山田：「都市の経済分析」, 東洋経済新報社 (1980).
- 7) 一ノ瀬・花木・松尾：「細密地理情報にもとづく都市人工排熱の時空間分布構造解析」, 環境工学研究論文集, vol. 31 (1994).