

---

## 第五章 京阪神都市圏のトリップ・エネルギーと都市空間形態に関する研究

---

### 1 はじめに

本章では、大都市圏を対象にして、市区町村程度の規模の小ゾーン毎のトリップ・エネルギーを求め、都市空間形態との関係について考察する。本研究全体における本章の位置づけは、第二章および第三章で仮定した土地利用密度と交通エネルギーの関係について検証するとともに、京阪神都市圏を環境共生型の都市空間形態にする可能性について検討することである。

### 2 背景と目的

都市内交通にかかるエネルギー消費量の削減策として、都市の人口や土地利用の密度を高めたコンパクトな都市構造を支持する提案が数多く行われている。古くは Newman & Kenworthy (1989) によって人口密度と交通エネルギーの都市間比較が行われ、最近では全国パーソントリップ調査に基づく運輸エネルギーの都市間比較(谷口 他, 1999b)により土地利用変数と交通エネルギーの関係が示された。これらの実証的研究は、密度の高い都市ほど交通エネルギーが小さい傾向にあることを示唆する。ところが, Newman & Kenworthy の研究に対して, Gorham (1998) は、密度の概念があいまいなまま不適切に使用されていることを批判し、また、都市単位の密度コントロールによる交通エネルギーの削減効果に疑問を投げかけ、都市圏の構造を変える方がエネルギー消費に与えるインパクトが大きいと主張している。

コンパクト・シティに関する研究には、都市がコンパクトになればなるほど省エネルギーになる(例えば、堀 他, 1999)との結論に至るものが散見される。都市内交通手段を乗

用車に限定する前提を置くことで、交通渋滞を起こさない道路量と土地利用密度のバランスを求めて最適密度とする（宮武 他，1995）研究もあるが、都市がコンパクトになれば大量輸送機関が導入され渋滞は緩和されることから、交通に要する空間のみを制約条件として最適土地利用密度を決定することは不自然と考えられる。するとコンパクト・シティは、モデル分析（鈴木，1993；腰塚，1995）が示すとおり、3次元的な広がりを持つ非常に高密度なプロポーションとなるのだろうか。それに対して、第二章と第三章では、道路面積の他に、緑地等の面積や他の環境負荷を制約条件に加えることで、現実的かつ望ましい都市空間形態を求めた。しかし、実際の日本の都市は、近隣の都市と相互に関係するネットワークとして存在しているため、一つの独立した都市を対象としてコンパクト・シティの考え方を当てはめることはできない。密度コントロールによる交通エネルギーの削減を議論する場合、単独の都市の密度を考えるだけでなく、大都市圏内部の密度と交通エネルギーの分布を把握する必要があると考えられる。

これらの背景を踏まえて、本研究では、大都市圏の内部で、地域別にトリップ当たりの交通エネルギー消費量（以下、トリップ・エネルギー：TE）を求め、その地域分布を示すとともに、移動距離、交通手段構成比、人口密度等との関係を明らかにすることを目的とする。さらに、京阪神都市圏を環境共生都市とする場合に望ましい都市空間形態について検討する。

関連研究では、森本 他（1996）が、首都圏を56のゾーンに分割し、都市内のゾーン別輸送エネルギーを検討している。また、谷口 他（1999a）は、全国パーソントリップ調査を用いて住区レベルの土地利用と自動車利用の傾向を示している。本研究は、大都市圏内部の構造を考察するために市区町村レベルの集計単位を用いたこと、地域差を手段別目的別各々に比較するために一人当たり輸送エネルギーや自動車利用特性に替えてTEを用いたことが特色である。ただし、TEの計算例は既にくつかある（例えば、鈴木，1997）。それらの既存研究に対しては、TEの計算手法を改善して端末交通手段や走行速度を考慮したこと、密度指標の検討を行ったことが主な特色である。

### 3 トリップ・エネルギー算出の枠組み

#### 3.1 トリップ・エネルギー

トリップとは、それ自体がレジャーとなる場合もあるが、基本的には、ある目的地へのアクセスを果たすための行為である。輸送旅客人キロ当たりのエネルギー消費量は、交通

手段別のエネルギーの比較によく利用されているが、長距離輸送をする交通手段に有利な評価を示す傾向がある。トリップの考え方に基づくと、1回のアクセスにかかるエネルギーを評価する TE の方が、より公平な評価指標であると考えられる。

外岡 他 (2000) によると TE の試算を初めに行ったのは 1970 年であり、1999 年には非常に詳細な TE の算定手法を提案している。他に北村 (1998) が京阪神パーソントリップ調査データを用いて代表交通手段別の TE を計算している。前者は、経路と経路別混雑率のデータを必要とするため、多数のトリップの処理が困難なこと、後者は、端末交通手段や所要時間を考慮しないため、数値が粗いことが難点である。また、いずれも、ゾーン別の集計およびゾーン間の比較は行っていない。鈴木 (1997) は、東京都市圏を対象に、ゾーン間 TE の比較をしている。鈴木は、走行速度の影響は無視できるとしたが、筆者の試算によると走行速度の地域差は無視できないと考えられた。本研究では、パーソントリップ調査で得られるデータを基にして、端末交通手段については交通手段別の所要時間を用い、代表交通手段については所要時間とゾーン間距離を併用することで、端末交通手段の違いおよび走行速度別の燃費の差異を考慮した TE をゾーン別に算定する。

### 3.2 データおよび対象範囲

TE の算定には、京阪神都市圏交通計画協議会による『京阪神都市圏総合都市交通体系データ 第3回パーソントリップ調査』(以下、PT 調査)のデータを用いた。他の都市圏で適当なデータを入手できなかったことから、これを採用した。対象地域は、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県の2府4県にまたがる。他の大都市圏に比較して、複数の強い中心を持っていることから、結果的には、都市圏構造を考察するという本研究の狙いにふさわしい対象地であったと考えられる。

トリップの集計単位は、PT 調査で用いられた 248 の小ゾーンとする。小ゾーンは市区町村を基本とし、人口規模の大きな市区については複数に分割したものである。検討に用いる 3 次メッシュの人口および土地利用データは、面積按分により、小ゾーン単位へと加工する。

ゾーン別 TE の集計では、特に TE が大きい航空機等を利用したり長距離移動を行う出張等のトリップが発着するゾーンの値が非常に高くなることを避けるため、2府4県の外側に発着点のいずれかを持つトリップおよび航空機や船舶を利用するトリップは集計対象から外すこととする。このように、サンプル数が少ない場合は、極端な値を持つ点が集計値に強い影響を与えるおそれがあるため、結果として得られる傾向について妥当性を検討する必要がある。除外対象となるトリップ数は、最大 10%となるゾーンがあるが、おおむね

表 5-1 代表交通手段別および目的分類別のトリップ構成とトリップ・エネルギー

	トリップ数	距離	内々比率	平均距離	距離によるTE0		時間によるTE1		距離と時間によるTE2		端末率	ゾーン別TE3	
代表交通手段細分類	1. 徒歩	29%	13%	96%	3.0	0.0	0%	0.0	0%	0.0	0%	0.0	0%
	2. 自転車	17%	8%	83%	3.2	0.0	0%	0.0	0%	0.0	0%	0.0	0%
	3. 原付	4%	2%	63%	4.1	0.7	1%	0.5	1%	0.5	1%	0.5	1%
	4. 自動二輪	1%	1%	45%	5.8	2.0	1%	1.8	1%	1.8	1%	1.8	1%
	5. タクシー・ハイヤー	1%	1%	31%	5.6	17.4	5%	16.0	4%	18.7	5%	18.7	5%
	6. 軽自動車	5%	4%	53%	5.7	4.4	9%	3.8	7%	4.5	8%	4.5	9%
	7. 乗用車	18%	20%	37%	7.7	7.2	52%	6.5	43%	7.8	49%	7.7	52%
	8. 貨物車	2%	3%	39%	8.3	13.2	12%	11.8	10%	14.3	11%	13.9	11%
	9. 自家用/貸切りバス	1%	1%	50%	7.0	1.4	1%	1.2	0%	1.8	1%	1.6	1%
	10. 路線バス	2%	1%	43%	4.2	2.1	2%	2.7	2%	2.3	2%	2.3	2%
	11. 鉄道	20%	46%	5%	15.7	2.1	18%	3.5	26%	2.7	19%	2.6	20%
	12. 航空機	0%	-	1%	-	-	-	623.0	6%	355.7	3%	-	-
	13. 船舶	0%	0%	20%	3.8	48.6	0%	131.3	1%	73.0	1%	-	-
	14. その他	0%	0%	65%	6.3	4.3	0%	3.6	0%	3.5	0%	3.1	0%
目的8分類	1. 自宅→通勤先へ	17%	24%	32%	9.8	3.5	24%	3.7	23%	3.9	23%	3.9	24%
	2. 自宅→通学先へ	10%	9%	71%	6.2	0.7	3%	1.0	4%	0.8	3%	0.8	3%
	3. 自宅→業務へ	2%	2%	52%	7.9	5.3	4%	7.6	5%	7.6	5%	5.9	4%
	4. 自宅→買物へ	5%	3%	83%	3.7	0.9	2%	0.7	1%	0.8	1%	0.8	2%
	5. 自宅→その他へ	9%	6%	71%	4.9	1.9	7%	2.3	7%	2.4	7%	2.0	7%
	6. 帰宅	43%	44%	58%	7.0	2.4	41%	2.6	40%	2.7	40%	2.6	41%
	7. 勤務・業務	5%	5%	37%	7.5	6.0	12%	6.7	12%	7.4	13%	6.9	12%
	8. その他	10%	7%	68%	4.9	1.9	7%	2.1	7%	2.3	8%	2.0	7%
全体		100%	100%	57%	6.9	2.4	100%	2.7	100%	2.8	100%	2.7	100%

1%以下、平均 0.2%であった。エネルギーベースでは全体の 3.6%に相当する。

なお、PT 調査は、居住地ベースのサンプル調査であるため、対象地域外からの流入は考慮されていないことに注意する必要がある。

### 3.3 トリップの概況

表 5-1 に示す通り、トリップ数で見ると徒歩、鉄道、乗用車、自転車を代表交通手段とするトリップが全トリップの 84%を占めている。トリップ距離で見ると、鉄道と乗用車で全体の 66%を占め、目的分類では通勤が帰宅に続いて多いことが分かる。対象地域外のトリップは距離データを持たないため、航空機を利用するトリップの寄与は全く把握されていない。1回のトリップで移動する平均的な距離を見ると、鉄道が非常に長いことが特徴である。徒歩による平均距離が 3.0km と長いのは、内々トリップの距離データに問題があるためと考えられる。所要時間から推定した徒歩の平均距離は 0.8km であった。TE の単位は 1000kcal である。比率は、エネルギーで見た場合に全体に占める割合を示す。計算方法については、次節で述べる。

表 5-2 交通手段別エネルギー原単位

調査票の分類 (細分類)	全国平均 旅客人* <sub>0</sub> 当原単位 kcal/人* <sub>0</sub>	PTより求 めた 平均速度 km/h	TE1用： 時間当 エネルギー kcal/min	TE2用： 時間当 エネルギー kcal/min	TE2用： 距離当 エネルギー kcal/km	参考 資料
1. 徒歩	0	-	0	0	0	
2. 自転車	0	-	0	0	0	
3. 原付	105	23	39	39	0	*1
4. 自動二輪	241	22	88	88	0	
5. タクシー・ハイヤー	2131	20	721	400	1766	
6. 軽自動車	512	22	186	99	439	*2
7. 乗用車	658	21	232	124	545	
8. 貨物車（ライトバンを含む）	1103	19	358	176	949	
9. 自家用バス、貸切りバス	125	14	28	16	128	*4
10. 路線バス	326	16	86	42	334	
11. 鉄道（新交通・モノレール含む）	104	40	69	69	0	
12. 航空機	397	512	3383	3383	0	*3
13. 船舶	3572	17	1011	1011	0	
14. その他	436	17	124	124	0	

## 参考資料

- \*1 環境庁(1995)未規制自動車からの排出実態調査報告書
- \*2 運輸省運輸政策局情報管理部(1998)自動車輸送統計年報平成9年度分
- \*3 運輸省運輸政策局情報管理部(1999)運輸関係エネルギー要覧
- \*4 野村総合研究所(1998)自動車排出ガス原単位および総量に関する調査報告書

## 4 トリップ・エネルギーの算出

### 4.1 距離を用いた TE の計算

交通エネルギーは、走行燃費もしくは旅客輸送人キロ当たり燃料消費量で示される原単位に、距離または人キロを乗じて求められることが多い。運輸関係エネルギー要覧等から求めた手段別旅客輸送人キロ当たり燃料消費量を表 5-2 に示す。この数値を用いて、以下の式で  $TE_0$  を求めた。

$$TE_0 = \text{移動距離}$$

× 手段別旅客輸送人キロ当たりエネルギー消費原単位

表 5-1 に代表交通手段別、目的分類別の  $TE_0$  および  $TE_0$  で見た交通エネルギー消費全体に対する各分類の構成比を示す。 $TE_0$  で見ると、自動車の寄与割合が 52% と、トリップ数や距離で把握する場合と比べて高いことが分かる。しかし、既述のとおり対象地域外に渡るトリップには距離データが無い場合、遠距離の移動によく利用される航空機、船舶、鉄道

の寄与は過小評価となっている。

## 4.2 所要時間を用いた TE の計算

所要時間を用いることで、距離データが無いトリップからも TE を計算することができる。PT データから求めた交通手段別の平均速度を表 5-2 に示す。この数値を用いて、以下の式で  $TE_1$  を求めた。

$$TE_1 = \frac{\text{手段別所要時間}}{\text{手段別平均速度}} \times \text{手段別旅客輸送人キロ当たりエネルギー消費原単位}$$

航空機の速度は、一般的な旅行経路探索ソフトのデータを用いて計算した。表 5-1 で代表交通手段別、目的分類別の  $TE_1$  を見ると、航空機の TE が非常に大きいことが分かる。ただし、この方法では、端末交通手段や待ち時間に時間のかかる交通手段において TE が過大推計になったり、渋滞や高速道路利用の影響により所要時間が大きく変わる場合に誤差が大きくなるという問題がある。

## 4.3 距離と所要時間を用いた TE の計算

本研究では、上の欠点を補う方法として、距離と所要時間を併用して TE を求める方法を提案したい。距離のみから TE を求める場合と異なり、代表交通手段以外の端末交通手段にかかるエネルギーを考慮できる。また、渋滞や高速道路利用による速度ごとの燃費の違いを考慮できる。ここでは、小ゾーン間距離を代表交通手段による移動距離と見なすことにした。もちろんゾーン外の駅等を経由する場合もありうるが、経路を識別する困難さと距離を用いるメリットを考慮して、このようにみなすことにした。端末交通手段など、距離データを持たない部分については、所要時間から TE を計算した。

ところで、エネルギー原単位の計算で速度を使う場合には、直線距離と道のり距離の違いが問題になると考えられる。ここでは、大阪梅田駅を中心にした鉄道経路距離とゾーン間距離から換算係数  $1.278 (R^2=0.9352)$  を計算し、道のり距離への変換に用いることにした。また、内々トリップに与えられているゾーン間距離が過大と考えられたため、次節に述べる方法で補正した。

表 5-2 参考資料 4 の車種別速度帯別走行距離当たり二酸化炭素排出原単位表から、走行時間に起因するエネルギー消費量と走行距離に起因するエネルギー消費量を求め、全国平均旅客輸送人キロ当たりエネルギー原単位で補正したものを表 5-2 に示す。これを用いて、次式で  $TE_2$  を求めた。

$$\begin{aligned}
 TE_2 = & \text{代表交通手段所要時間} \\
 & \times \text{手段別所要時間当エネルギー原単位} \\
 & + \text{ゾーン間距離} \\
 & \times \text{代表交通手段移動距離当エネルギー原単位} \\
 & + \text{端末手段別所要時間} / \text{手段別平均速度} \\
 & \times \text{手段別旅客輸送人キロ当エネルギー原単位}
 \end{aligned}$$

表 5-1 に代表交通手段別、目的分類別の  $TE_2$  および  $TE$  全体に対する構成比を示す。構成比は  $TE_0$  と  $TE_1$  のほぼ中間となった。ただし、 $TE_2$  の値で見ると、乗用車等の値が比較的大きい。これは、表 5-2 の PT から求めた平均速度が全国の平均速度より遅いためと考えられる。

エネルギー原単位を 0 とした徒歩と自転車を除くと、 $TE$  が小さい代表交通手段は、原付、自家用バス、自動二輪、路線バス、鉄道、軽自動車の順であることが分かる。反対に、航空機  $TE$  が非常に大きいことが分かる。鉄道は、旅客輸送人キロ当たりエネルギー原単位は最小だったが、移動距離が長く、約 23% のエネルギーを端末交通手段に必要とすることから、 $TE$  は最小ではなくなった。それでも、乗用車  $TE$  の約 3 分の 1 であり、省エネルギー型の交通手段であることに変わりはない。

#### 4.4 内々トリップに関するゾーン間距離の加工

PT データに含まれる小ゾーン間距離を移動距離として用いる際に、内々トリップの距離

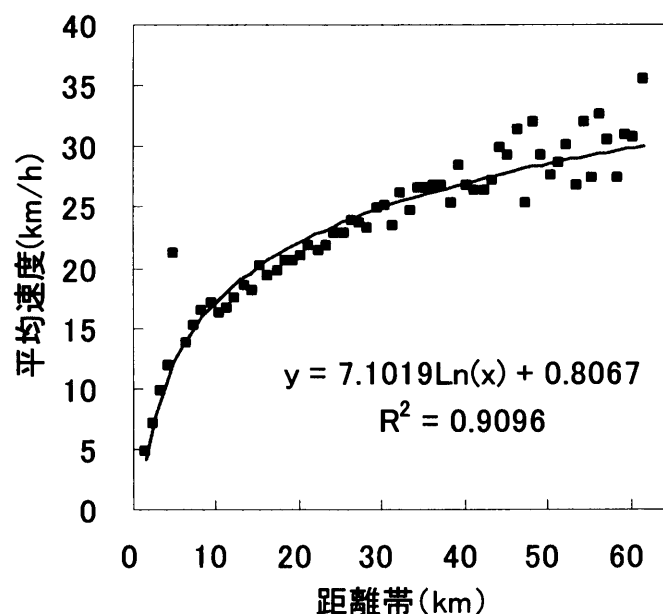


図 5-1 ゾーン別距離帯別平均速度

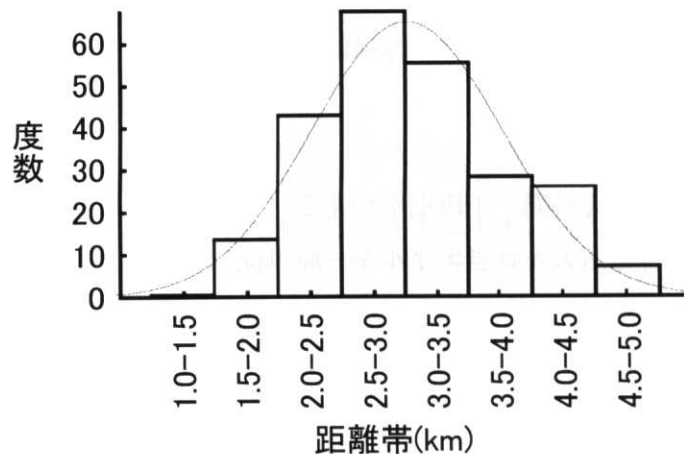


図 5-2 内々トリップ補正距離の分布

が過大ではないかとの疑問を持った。データを見ると、利用手段に関わりなく、ほとんど全てのゾーンの内々トリップに、一律 5.0km が与えられている。検討のため、ゾーン間距離と乗用車による所要時間を用いて各ゾーンごとに距離帯別の平均速度を求め、さらにその平均値を取ってプロットした。サンプル数が 10 以上となる 61km 距離帯までを図 5-1 に示す。これによると、5km 距離帯の平均速度がトレンドから外れて大きいことが分かる。

そこで、内々トリップに限り、ゾーン間距離を補正することにした。基本的に図 5-1 に示した数式に従って距離帯別の速度が変化すると仮定した。ただし、切片は、ゾーンごとに 1～15km 距離帯の速度との差の自乗和が最小になる値として、新速度を求めた。そこに、乗用車による内々トリップ平均所要時間を乗じることで、補正距離とした。その結果、一律に 5.0km とされていた内々トリップの距離は、図 5-2 に示す分布となった。

他に、ゾーン内の人口分布を考慮し、人口重心からの平均的な距離を求めて、平均的な移動距離を定式化する補正方法も検討した。しかし、TE の算定方法としては複雑すぎることで、このモデル化に人口密度を用いると後で人口密度と TE の連関分析を行う際に解釈が混乱することを考慮して、上述の簡易な推計を行うことにした。

ここでは乗用車による平均的な内々トリップの距離を求めたが、貨物車等は、それぞれ独自の距離を持つ可能性がある。しかし、試算では内々トリップの距離はほとんど変わらず、全体への寄与率は乗用車が最も大きいことから、自動車系の内々トリップの距離には、ゾーン別に一律に上の値を用いた。二輪車や原付は、ゾーン別距離帯別に十分な数のデータが得られなかったため、渋滞等に巻き込まれて速度が低下する可能性が比較的小さいことも考慮して、TE の算定には所要時間を用いた。



## 4.5 乗車率

ここまで、全国平均の乗車率を元にしたエネルギー消費原単位を用いて、TE を計算した。

乗車率を反映させると、より正確な TE を求めることができる。外岡 他（2000）は、ある通勤交通トリップ例について、キスアンドライドのアクセス距離を倍に評価する等の工夫をし、経路別の乗車率や走行速度を考慮した交通手段別・輸送条件別 TE を比較している。しかし多数のトリップを処理する本研究の場合には、鉄道については経路別乗車率の把握が困難であり、乗用車については家族の送迎分等にかかるエネルギーを割り当てるべきトリップを判断するのに必要な世帯単位の交通行動の把握が困難なことから、本章ではトリップ別の乗車率の違いは考慮しないこととした。

また、全国平均の乗車率の代わりに、京阪神の乗車率を用いることも検討した。近畿運輸局管内の各種自動車乗車人員と、西日本旅客鉄道と近畿運輸局管内の民鉄の鉄道乗車率を反映したエネルギー原単位を用いる場合、自動車関連の TE は約 5%、鉄道 TE は約 16%、TE 全体で約 7%の増加となる。一般的には大都市圏の鉄道乗車率は高いとされ、東京都市圏ではエネルギー原単位が全国平均の約 30%減とされている。しかし、京阪神都市圏に関連する統計では、鉄道乗車率が低い傾向にあったこと、自動車乗車率は車種別に見ても全国平均と大差がなかったことから、ここでは一律に全国平均の乗車率を仮定した。

## 5 地域別 TE の計算結果と考察

### 5.1 地域別 TE の計算結果

TE を地域別に集計し、表 5-1 の  $TE_3$  と図 5-3～8 に示した。既述の通り、2 府 4 県の外側に発集点があるトリップは集計外となるため、 $TE_2$  に比べて、出張や旅行を含む業務やその他の目的に関わる TE が減少している。目的分類別 TE は、図 5-5 と図 5-6 の通勤 TE のように、発生ゾーン側集計と集中ゾーン側集計で TE の分布が異なる場合がある。

図 5-3 の地域別 TE は、大阪の都心周辺部で最も小さい。一方、都市的土地利用の少ない山間部に次いで、神戸と大阪の都心部と臨海部、京都駅南側で TE が大きい。全般的には、人口密度が高く、鉄道 TE が小さい地域の TE が小さい。都心部では、通学集中 TE や帰宅発生 TE が他地域より大きく、目的分類別 TE が大きい業務トリップの頻度が高いことが TE を押し上げている。

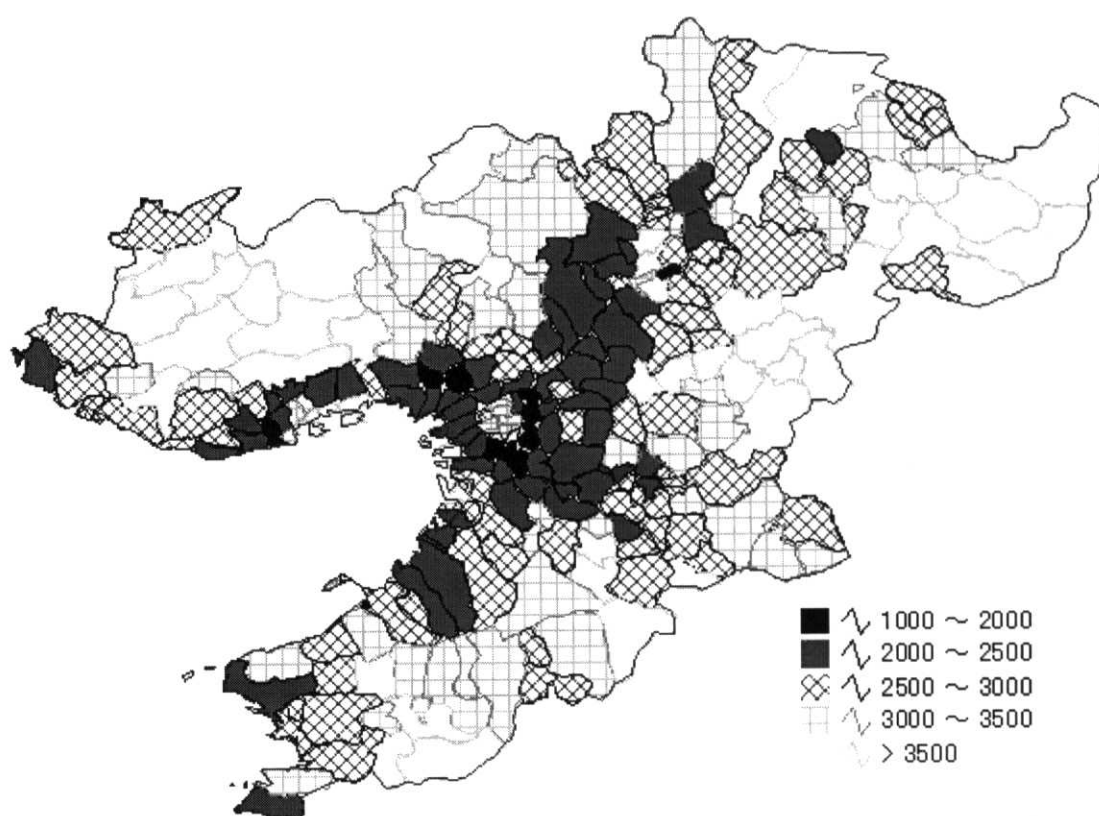


図 5-3 地域別 TE (発生, kcal/trip)

図 5-4 の業務 TE は、京阪神の都心部で最も小さかった。これらの地域は、業務用途の土地利用が集積しており、また徒歩または自転車の分担率が 1 ～ 2 割を超えていることが特徴である。業務トリップは TE が大きい傾向にあるため、業務 TE の小さいこうした地域に業務が集積することによって、都市全体の TE が小さくなっていると考えられる。他に郊外部や山間部でも、軽自動車や二輪車の分担率が 2 割を超えており、業務 TE が小さい地域がある。しかし、これらの地域では、業務トリップのサンプル数が少ないため、たまたま小さい値を取っている可能性がある。

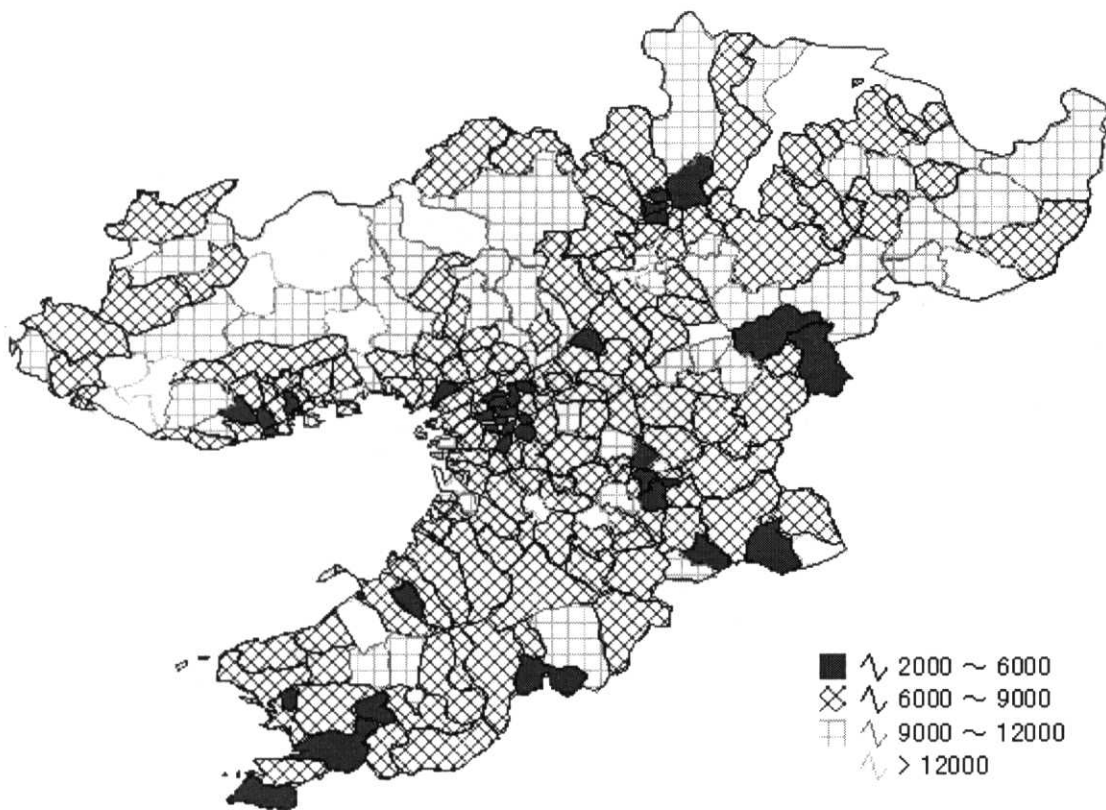


図 5-4 業務 TE (発生, kcal/trip)

図 5-5 の通勤発生 TE は、京阪神の都心部と都心周辺部が最も小さい。次に通勤発生 TE の小さい郊外部は、地方都市や鉄道沿線を中心にネットワーク状に広がっている。これらの地域に居住する人は、平均的に見て通勤にかかるエネルギーが小さいと言える。通勤 TE が TE 全体に占める割合は小さくないため、居住地は、都心とその周辺に集積することが望ましいと考えられる。

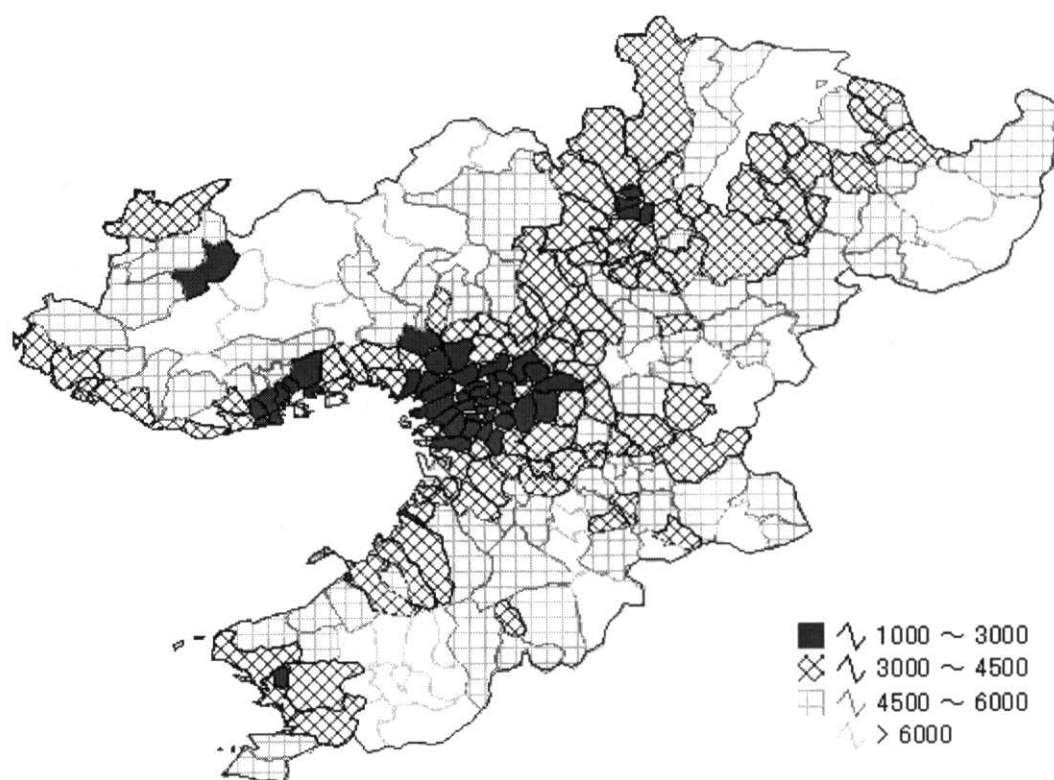


図 5-5 通勤 TE (発生, kcal/trip)

図 5-6 の通勤集中 TE が低い地域は、都心周辺部の他に郊外部にも散在している。都心部では、遠距離通勤を強いているケースが多いためか、都心周辺部よりも TE が大きくなっている。郊外部では、鉄道分担率が高い地域もあるが、ほとんどの地域で徒歩や自転車の分担率が 4 割を超えている。これらの地域では、職住近接型の地域となっていると考えられる。ただし、居住人口を考慮すると、都心周辺部で通勤集中 TE が小さいことが目立つ。

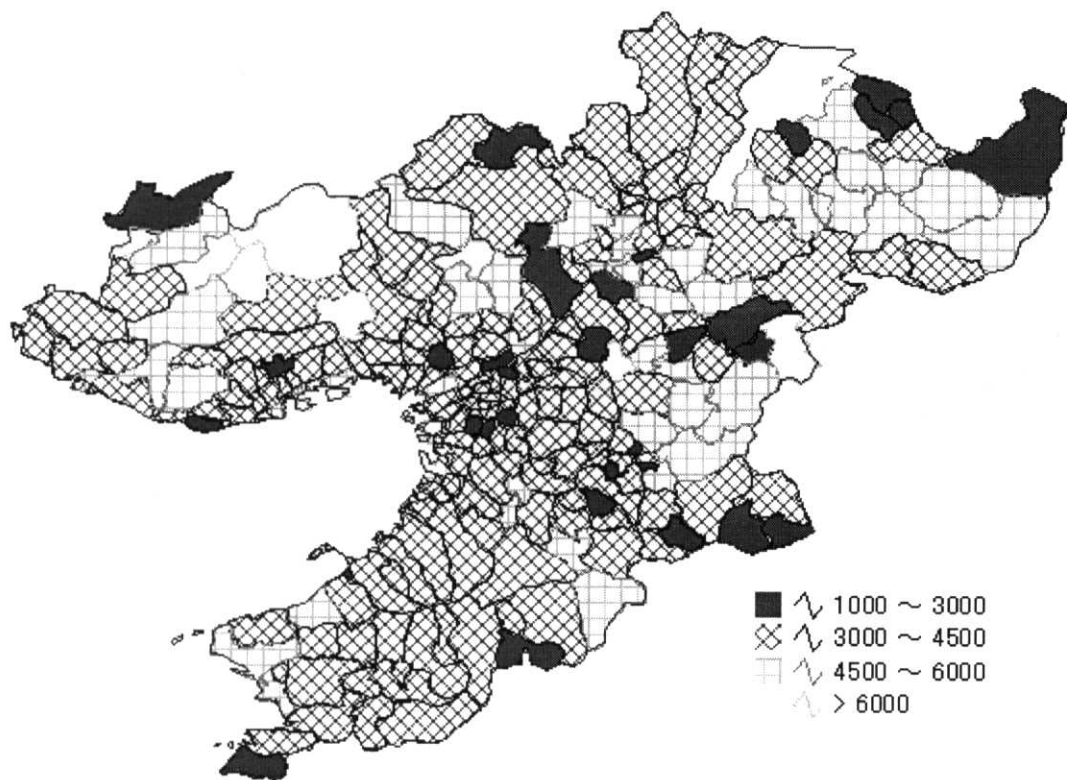


図 5-6 通勤 TE (集中, kcal/trip)

図 5-7 の鉄道 TE は、京阪神都心部から 10～15km 圏内が最も低い。鉄道路線網に沿った地域で TE が小さいことから、端末交通手段にかかるエネルギーの差が表れていると考えられる。極一部の地域では、自家用車よりも TE が大きい結果となった。

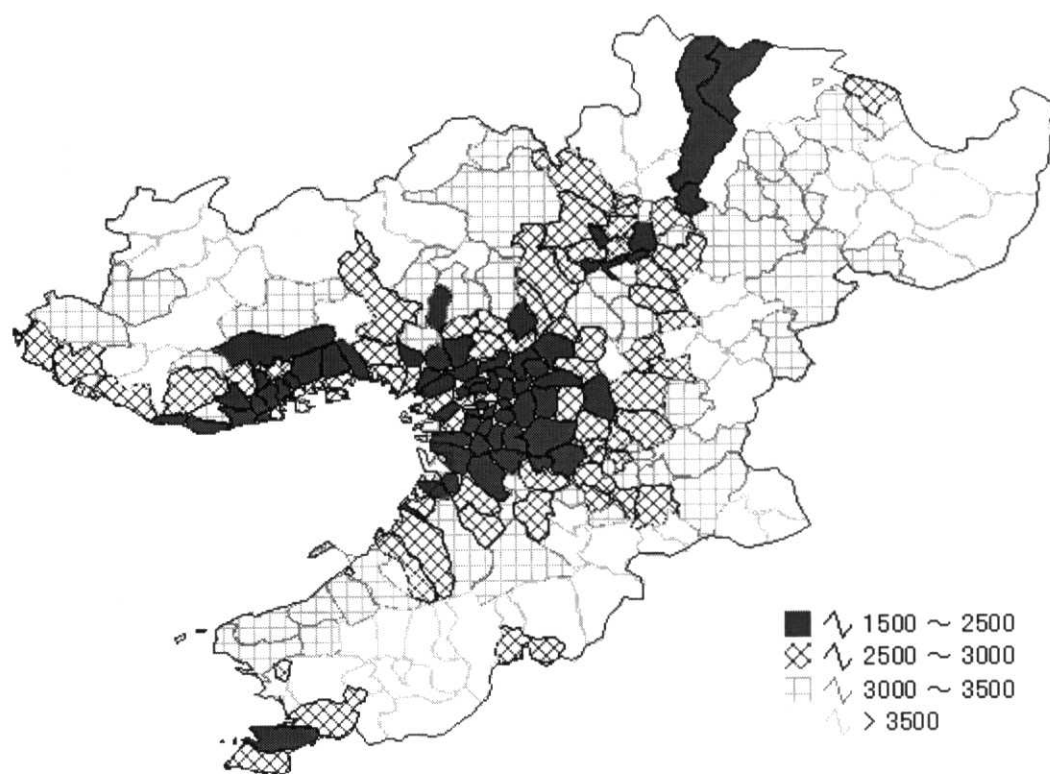


図 5-7 鉄道 TE (発生, kcal/trip)

図 5-8 の乗用車 TE は、全般的に鉄道 TE が小さい地域の周辺で小さい。また、相対的に平均速度が低く移動距離が長い都心部で乗用車 TE が高い傾向がある。平均走行速度を考慮することで、地域別乗用車 TE は、平均で約 9% 増減する。特に増加するのは京都都心部と大阪都心周辺部である。大阪都心周辺部では、平均速度が遅いものの移動距離が短いことから、乗用車 TE は比較的小さくなっている。さらに乗車人員を考慮すると、乗用車 TE は平均で約 6% 増減する。特に京阪奈地域で増加するが、5.4.5 で述べたとおり、家族の送迎等の個別の乗車状況が不明なため、ここでは考慮しないことにしている。

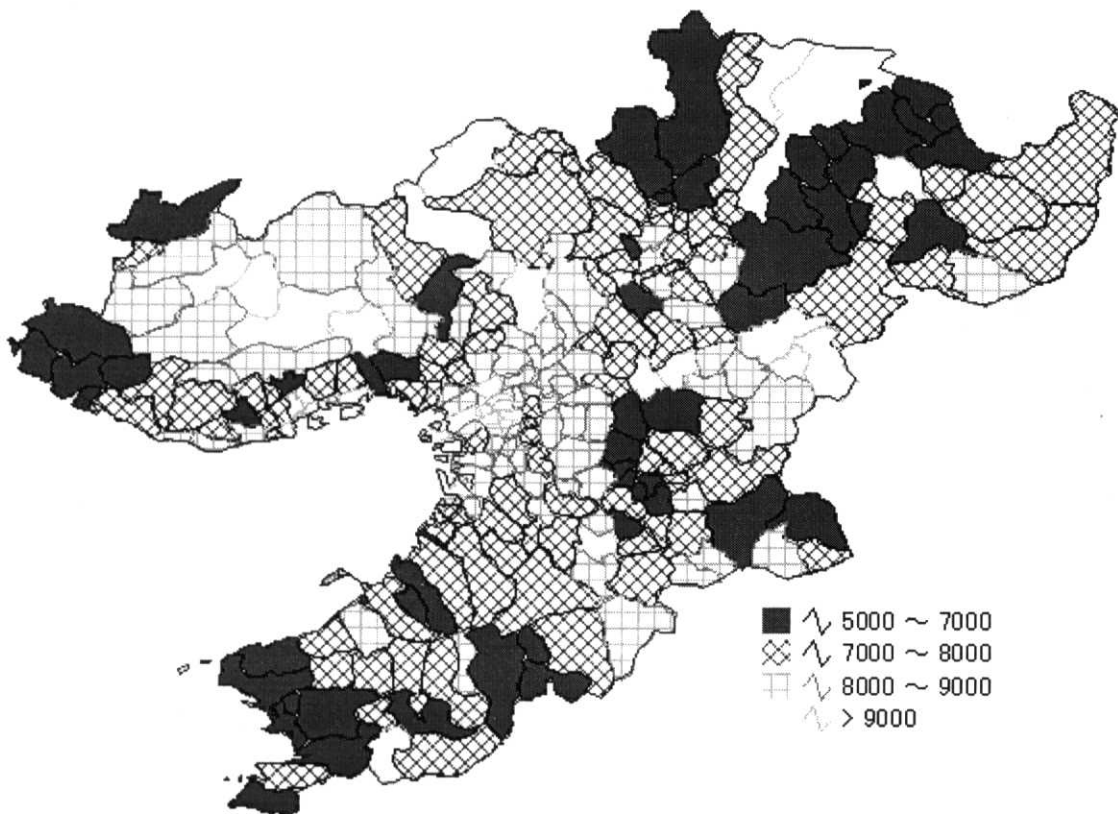


図 5-8 乗用車 TE (発生, kcal/trip)

## 5.2 地域別 TE に関する考察

本研究では、距離と所要時間を組み合わせた TE の算定を行うことによって初めて TE の地域差を詳しく把握・表示することができた。省エネルギー型の都市を形成するためには、最も TE が小さい都心周辺部と同様の特徴を持つ地域を誘導していくことが望ましいと考えられる。住宅立地については、主たる勤務先の場所が制約要因となると考えられるため、勤務先の地域に応じて集計した手段別地域別通勤 TE が、居住地選択の際の参考情報として利用されることが望ましい。業務機能に関しては、図 5-4 の業務 TE と図 5-6 の通勤集中 TE

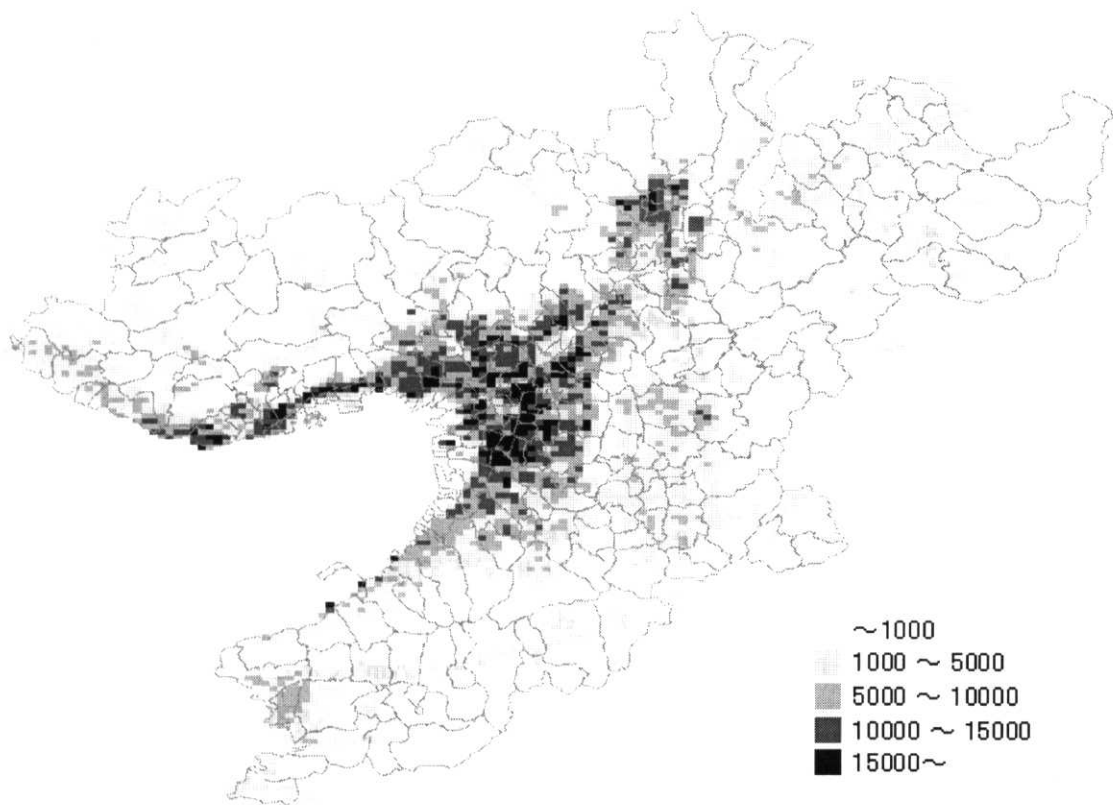
が小さい地域が候補地となると考えられる。都心部では、業務間トリップの発生頻度が高いにも関わらず、通勤トリップ1回当たりの業務間トリップが小さいため、従業員一人当たりの通勤および業務にかかるエネルギーが、他地域とほとんど変わらない。このことから、業務トリップの頻度が高い業務は都心部に集積させ、高くない業務は郊外部や山間部に置いて職住近接させることで、徒歩や自転車の分担率を高めることが重要と考えられる。ただし、山間部ではサンプル数が少ないため、TE がたまたま低くなっている可能性があることに注意する必要がある。一方、臨海部では、業務間トリップの比が低い割には、従業員一人当たりの通勤および業務にかかるエネルギーが大きい。しかし、臨海部や高速道路のインターチェンジ付近では、貨物輸送など大きい交通エネルギーを必要とする業種が立地していると考えられるため、立地変更による交通エネルギーの削減については、別の議論が必要となる。

## 6 地域特性とトリップ・エネルギーの関係

本節では、第5節で求めたゾーン別 TE と人口密度等の地域特性を表す指標および手段分担率の関係を見る。対象とした京阪神都市圏の夜間人口密度は平成2年国勢調査で約 1900 人/km<sup>2</sup> である。ゾーン単位では、夜間人口で約 18000 人/km<sup>2</sup>、昼間人口では約 78000 人/km<sup>2</sup> が最大値となっている。図 5-9 に示す 3 次メッシュ毎の夜間人口密度分布を見ると、大阪を中心とする同心円状の人口分布と、京都を中心とした人口分布と、神戸周辺に延びる海岸沿いの人口分布が比較的高密度な人口分布である。

以降の分析では、都市空間形態の捉え方として、地域面積の代わりに都市的土地利用面積（国土数値情報の土地利用面積データより、建物用地、幹線交通用地、その他の用地の合計として独自に定義した面積）を分母とした人口密度も用いる。そこで、地域面積を分母とした人口密度と都市的土地利用面積を分母とした人口密度の関係について把握しておく。都市的土地利用面積が 80%以上のメッシュの分布は、5000 人/km<sup>2</sup> 以上のメッシュ分布とほぼ一致している。そのため、こうした都市部では、地域面積による人口密度と都市的土地利用面積による人口密度の間の違いはほとんど見られない。一方、奈良県等に広がる 1000～5000 人/km<sup>2</sup> のメッシュでは、都市的土地利用面積を分母とすると、人口密度は 5000 人/km<sup>2</sup> 以上となる。これらのことから、地域面積で見た夜間人口密度が 1000～5000 人/km<sup>2</sup> のメッシュでは、5000 人/km<sup>2</sup> 以上の人口密度を持つ都市的土地利用が散在していると考えられる。一方で、15000 人/km<sup>2</sup> 以上の地域については、電子住宅地図等で見ると、長屋やマンション等の集合住宅が多数立地している傾向が見られた。



図 5-9 夜間人口密度（人/km<sup>2</sup>）

## 6.1 密度指標とトリップ・エネルギー

人口密度と地域別 TE を回帰分析にかけると、夜間人口密度と TE には弱い負の相関 ( $R^2=0.257$ ) が観察された。ただし、人口密度が低い地域に、TE が回帰直線より外れて高い地域が多い。これは、人口密度を横軸に取るグラフに共通の特徴であり、Newman & Kenworthy (1989) によるグラフでも同様である。

本節では、人口密度の分母を地域面積に限らず、国土数値情報 土地利用面積（平成元年）の建物用地、および都市的土地利用面積を用いた連関分析を試みる。他に、建築用地率も対象とする。また、密度の代わりに密度の逆数の平方根（以下、離散度と呼ぶ）も用いる。この指標は、「点を均等に配置した場合の点相互の距離」として、密度を一般に分かりやすく説明する際に使われることがしばしばある。

各種の密度指標と TE の組み合わせの中から説明力が相対的に高いものを探った。都市的土地利用面積当たりの夜間人口の密度を用いることで、決定係数は 0.414 となった。さらに、その逆数の平方根で求めた離散度を横軸に取ると、図 5-10 に示すように、都心周辺部の人口密度が高い地域で TE が小さく、それ以外の地域で TE が大きい傾向（図 5-10 では外れ値とした堺市臨海部を含む場合  $R^2=0.619$ ）がより明確に示された。ちなみに、離散度 10m,

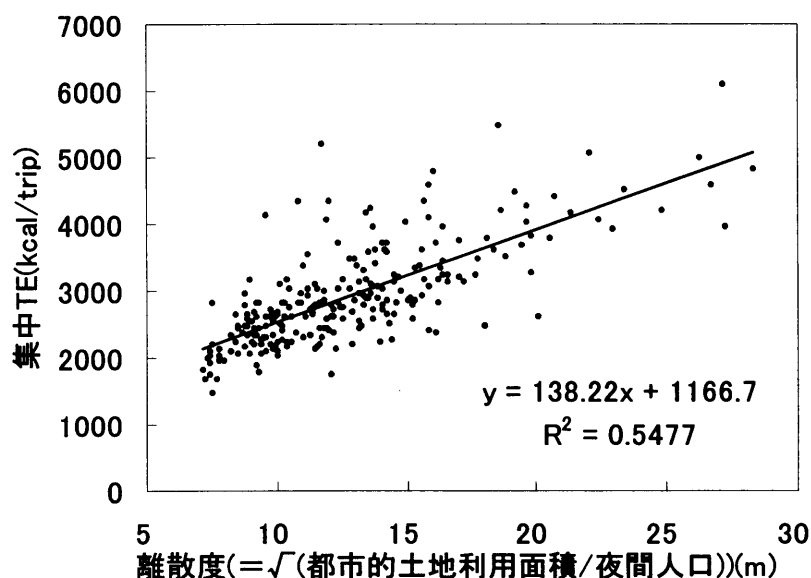


図 5-10 離散度と集中 TE

15m は、人口密度に直すと各々約 10000 人/km<sup>2</sup>、4400 人/km<sup>2</sup>である。

離散度は、都市空間形態が移動距離に関係するとの考えから採用したものであるが、PT から求められる地域別のトリップ平均移動距離と各種の離散度の間にほとんど関係は見られなかった。移動距離には、周辺ゾーンの土地利用密度の分布状況が強く影響していると考えられる。また、発生 TE に対するトリップ平均移動距離やトリップ平均燃費の相関関係は、それぞれ決定係数  $R^2=0.413$ 、 $0.357$  であり、密度指標と比較して弱かった。密度指標は、都市機能の集積地からの距離や、人力で移動可能な範囲内に存在する施設量等を総合的に表す結果として、TE に対して相対的に大きい説明力を持っていると予想される。

## 6.2 手段分担率とトリップ・エネルギー

密度指標に比較して、手段分担率の方が、TE に対する説明力が強かった。中でも、図 5-11 に示すとおり、徒歩と自転車の分担率の和と発生 TE の関係が強かった ( $R^2=0.660$ )。左上に外れている点は堺市臨海部である。本研究では、自転車や徒歩の利用には、エネルギーがかからないとしているため、例えば徒歩と自転車の分担率が 50%を超えるゾーンでは発生 TE は 3000kcal/trip 以下と小さい値となっている。ただし、年齢構成の地域差が大きい場合、特定のゾーンにおいて、徒歩や自転車による通学や買い物のトリップ頻度が非常に高い可能性がある。その場合は、居住地や業務地の立地変更をしても、TE 削減の効果は予想通りには得られない可能性が高いことに注意する必要がある。

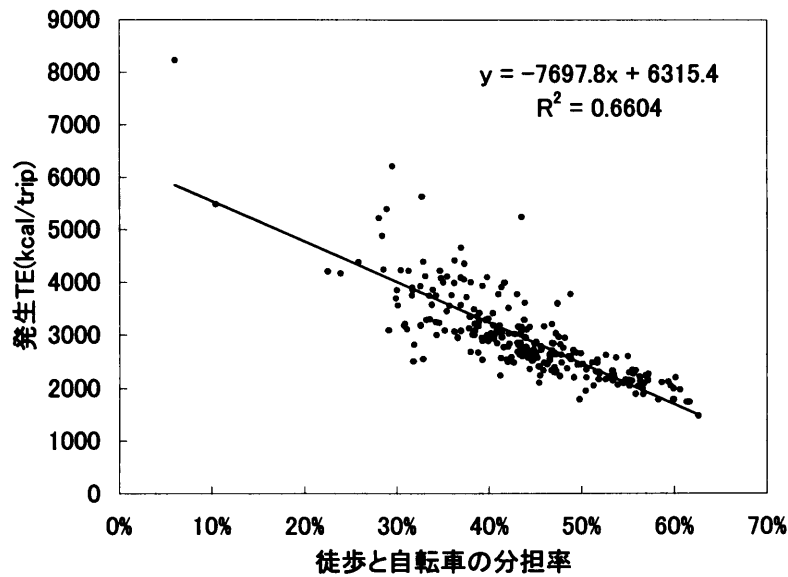


図 5-11 徒歩・自転車の分担率と発生 TE

### 6.3 密度指標と手段分担率

密度指標は、トリップ距離よりも手段分担率に影響している可能性がある。例えば、図 5-12 に示すとおり全昼間人口に対する駅周辺 500m 圏内の昼間人口の比率と鉄道分担率に相関が見られた ( $R^2=0.517$ )。これは、昼間人口の駅周辺 1km 圏内比率よりも相関が強かった。

同様に、図 5-13 に夜間人口密度と乗用車分担率の散布図を示した。人口密度から乗用車分担率を一意に決めることは難しいが、夜間人口密度が 1500 人/km<sup>2</sup>を下回る地域では、乗

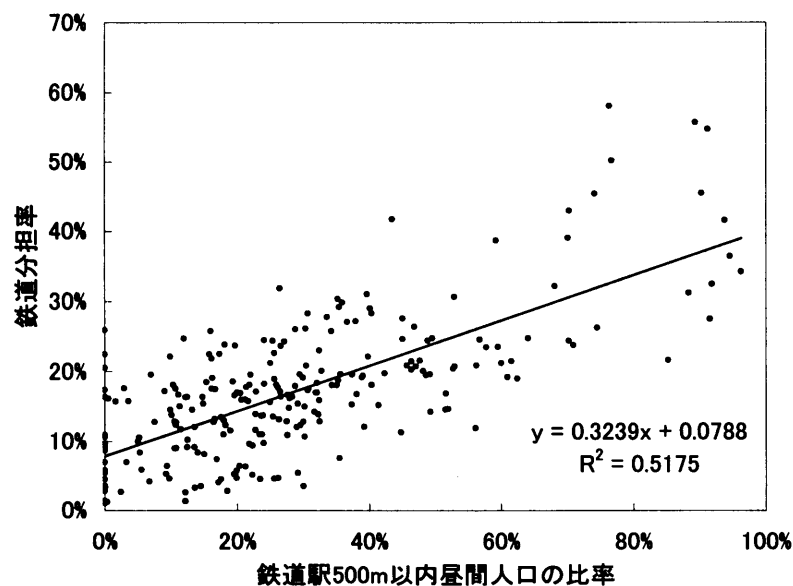


図 5-12 鉄道駅周辺人口比率と鉄道分担率

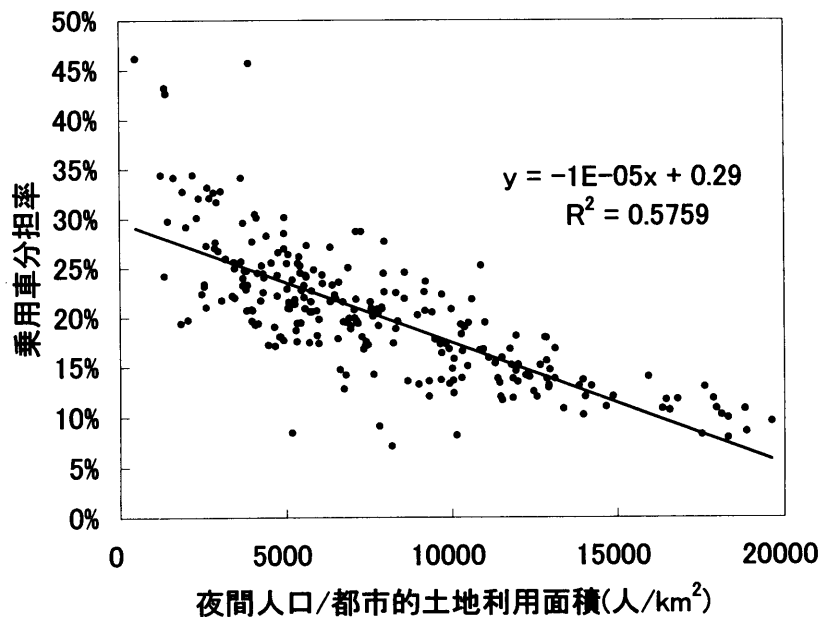


図 5-13 夜間人口密度と乗用車分担率

用車分担率は 17%以上であり、乗用車の走行速度が 20km/h を超える地域や乗用車分担率が 30%を超える地域はほとんどこれに含まれる。人口密度が 7500 人/km<sup>2</sup>を超える地域では乗用車分担率は 18%以下、14000 人/km<sup>2</sup>を超える地域では乗用車分担率が 12%を下回っている。明確に結論づけるためには他地域を対象とした検証を要するが、乗用車分担率が高い地域は、交通発生密度が低く、相対的に駐車場面積や道路面積が十分あり、また公共交通機関が成立するだけの人口密度が無いと予想される。一方、乗用車分担率が低い地域は、駐車場が不足し利用料金が相対的に高く、乗用車の代替となる公共交通手段や徒歩や自転車が利用しやすいだけの十分な人口密度と施設集積があることが予想される。

#### 6.4 土地利用密度と交通エネルギーの関係

本節のここまでの整理から、トリップの平均的な移動距離よりも、第一に、徒歩や自転車等の人力による交通手段の分担率が、地域別 TE に影響していると考えた。地域別 TE を下の式で表すことを考え、徒歩・自転車以外の交通手段の平均燃費を算出した。

$$\begin{aligned} \text{地域別 TE} &= \text{徒歩・自転車以外分担率} \\ &\quad \times \text{徒歩・自転車以外平均移動距離} \\ &\quad \times \text{徒歩・自転車以外平均燃費} \end{aligned}$$

表 5-3 に示す各項と離散度および地域別 TE の相関係数を見ると、TE すなわち一回の移動にかかるエネルギーは、都市的土地利用面積当たりの夜間人口密度から計算した離散度、および徒歩・自転車以外の交通手段の分担率と強く関係していることが分かる。手段の異

表 5-3 地域別 TE と離散度等の相関係数

	TE	離散度	全手段		徒歩・自転車以外の手段		
			平均距離	平均燃費	分担率	平均距離	平均燃費
TE	1.00	0.79	0.65	0.62	0.80	0.32	0.37
離散度	0.79	1.00	0.38	0.60	0.59	0.10	0.44
全手段	平均距離	0.65	0.38	1.00	-0.17	0.67	-0.41
	平均燃費	0.62	0.60	-0.17	1.00	0.42	-0.47
徒歩・自転車以外の手段	分担率	0.80	0.59	0.67	0.42	1.00	0.27
	平均距離	0.32	0.10	0.86	-0.47	0.27	1.00
	平均燃費	0.37	0.44	-0.41	0.91	0.11	-0.68

なる平均距離と平均燃費の相関が高いが、当然として、ここでは考察対象としない。離散度は、平均距離よりも平均燃費に相関があり、徒歩・自転車以外の分担率は、平均距離とのや離散度との相関がある。このことから、人口密度や土地利用密度の上昇は、エネルギーを使用する交通手段の移動距離を短くすることに依ってではなく、主にエネルギー消費原単位が小さいまたはゼロの交通手段の分担率を高めることを通じて、交通エネルギー消費量の削減に寄与するものと考えられる。なお、密度の上昇は、全手段で見ても平均距離の短縮との相関が小さい。徒歩や自転車以外の平均距離と平均燃費に負の相関があることを考え合わせると、高密度の地域にトリップ端を持つ長距離の鉄道利用が多くあることが関係していると考えられる。この分析結果は、高密度の地域においては短距離の移動や鉄道の利用が行いやすく、短距離の移動は徒歩や自転車を利用しやすいという実態を表すものと解釈することができる。

ただし、図 5-10 や表 5-3 に示した通り、都市的土地利用面積と夜間人口を用いた離散度は、その地域に関係する TE に対する説明力は高いと言える。そのことから、第二章や第三章において交通エネルギー消費量の小さい都市空間形態を考える際に、離散度等の密度指標と交通エネルギーの関係を用いることは、近似としては妥当と判断できると考えられる。ただしその一方で、実際の都市をコンパクトにして、交通エネルギーの削減を行おうとする場合には、土地利用密度を上昇させるだけでなく、徒歩や自転車等および鉄道等の利用を容易にするための条件整備を同時に行う必要があることに留意しなくてはならないということが示唆される。

## 7 京阪神都市圏の環境共生型都市空間形態

都市圏を環境共生都市の都市空間形態の検討対象とする場合には、一塊の業務集積地と、それに対応する居住床を対象とすることが妥当と判断した。都市圏全体を対象とすると、第二章のシミュレーションから一塊の都心とそれに隣接した拠点群が求められた場合、結

果の解釈が難しく、またそのような誘導策は非現実的に過ぎると考えられたためである。京阪神都市圏では、例えば図 5-3 の業務 TE および図 5-5 の通勤発生 TE の小さい地域が、都心の業務集積地となっていると考えた。そこから、大阪市、神戸市、京都市等が、一塊の業務集積地となっていると判断し、ここでは、その中では従業者数が最大規模の大阪市を対象とした検討を行うこととした。

大阪市の従業人口構成およびトリップの現状を元に、業務床と居住床を設定し、近隣交通のトリップ頻度を通勤トリップに対して 2.7 とする他は東京都区部の場合と同じ条件を用いて、第二章のシミュレーションを行った。建設等エネルギーを考慮し、従業人口に釣り合う居住床を対象とするとき、全体の半量程度の業務床は都心部に広がり、都心部とその周辺に居住床が約 4～5 層集積して、都心部で 10～12 階、都心部周辺に 5～7 階の平均階数の建物となった。残りの業務床は、拠点分散型の業務核となり、7 階程度の職住近接地と隣接する低層居住床が都心部を取り囲む都市空間形態となった。現状と比較すると、都心部および都心部周辺に居住人口が集積することとなる。この結果は、都心部で通勤発生 TE や業務 TE が小さく、都心周辺部で地域別 TE が小さい本章の結果と一致する結果と言えるだろう。実際には、業務内容に応じて、通勤トリップに対する業務間トリップの比が異なると考えられるため、業務間トリップの比率が高い業務床は都心部に立地し、そこでは居住床の混在立地が避けられ、一方、業務間トリップの比率が比較的低い業務床は分散して、建設等エネルギーが小さくて済む低層の居住床に近接する都市空間形態となることが望ましいと考えられる。こうした床の詳細なタイプ分けは今後の課題の一つである。

第三章の分析結果から考えると、大気汚染曝露防止の観点から、床面積が過度に集積することは望ましくないと言える。また、公園面積や駐車場面積を十分確保するために、土地利用密度を抑えつつ、建物階数を高くすることが望ましい。建物の平均階数については、第三章では 3～4 階程度が望ましいこととなるが、職住床を分けて考える第二章の結果の方に従うと、郊外部では低層、都心部や職住近接地では 7～12 階程度が望ましいこととなる。第二章と第三章の結果を総合すると、業務床に関しては、現状よりやや分散させ、居住床に関しては、都心周辺部に約 2 倍程度に集積させて中層～高層建築とし、一部の業務床については、低層の居住地と組み合わせた拠点分散型となる都市空間形態が望ましいと考えられる。

本研究では、都市規模やトリップの発生頻度を不変としているため、業務核都市化による通勤トリップの短縮等の効果は考慮していないことに注意する必要がある。また、世帯単位の交通行動の把握を行っていないため、複数の就業者が別の都市に通勤している世帯等に関しては、別途検討する必要がある。

## 8 まとめ

本研究では、PT 調査の距離と時間のデータを活用して、鉄道の端末交通手段や都心部の渋滞による乗用車等の燃費の悪化を反映した地域別 TE を求め、その地域特性を把握した。その結果、次の結論が得られた。

- (1) 都市圏内部でも、高密度の地域の方が都市内旅客輸送エネルギー消費量は少ない傾向にある。
- (2) 業務 TE が低い都心部に業務機能が集積している現状は、交通エネルギーの観点からみて望ましい。ただし、都心部は通勤集中 TE や乗用車 TE が高いことから、新規立地に関しては、業務核都市等へ機能分散を図る方が効果的な施策となる場合もありうる。
- (3) 都心周辺部の居住者は、徒歩や自転車、鉄道といった交通手段別 TE の小さい交通手段の分担率が高く、TE が小さい。

交通エネルギーを削減するために、現状の TE が低い地域と同等の条件を持つ地域を誘導する方策が考えられる。ただし、施策の実行前には、行動分析等に基づく効果予測が求められる。ところが、交通行動の選択は居住地選択等とも関係し、関連する変数が非常に多いことから、信頼性の高い予測には困難も多い。一方、パークアンドライドやトランジットモール等を題材に、試行を通じて施策の効果と実現可能性を把握する社会実験が行われており、また、公共交通を指向したまちづくり(TOD)等の取り組みが注目を集めている。都市の現状を分析するために、交通行動調査による詳細データの収集や行動分析の手法改善が重要である。同時に、都心や鉄道駅を中心とした土地利用の集積および徒歩・自転車・鉄道の利用促進を目標とした実践的取り組みを行い、関連調査を踏まえた効果予測を積み重ねることが望ましい。

交通エネルギーと土地利用密度の関係については、手段分担率と移動距離の寄与が大きく、直接的な関係はあまり強くなかった。しかし、そのことに留意した上であれば、土地利用密度によるトリップ短縮効果を交通エネルギーの削減として用いることは、環境共生都市の空間形態を明らかにするという本研究の目的の範囲内では妥当と考えられる。

都心周辺部が交通エネルギーの観点からみて望ましい状態であるという結論は、第二章および第三章から考えられる都心周辺部に居住床が集積する中層の都市空間形態が望ましいという結論と同様である。これらを考え合わせると、現実の都市圏の交通エネルギーを改善するために、トリップ・エネルギーの小さい都心周辺部に居住床を集積させることが、一つの望ましい土地利用施策であると考えられる。

## 参考文献

- Gorham, R.(1998) Land-Use Planning and Sustainable Urban Travel. prepared for the OECD-ECMT Workshop on Land-Use for Sustainable Urban Transport in Linz, OECD, Paris.
- Newman P., Kenworthy J.(1989) Cities and Automobile Dependence. An International Sourcebook, Aldershot, U.K.
- 北村隆一(1998) 省エネルギーに向けての交通政策. エネルギー・資源, 19(4), 352-357.
- 腰塚武志(1995) コンパクトな都市のプロポーショナル. 都市計画学会学術研究論文集, 30, 499-514.
- 鈴木 勉(1993) コンパクトな立体都市空間形態に関する考察. 都市計画学会学術研究論文集, 28, 415-420.
- 鈴木 勉(1997) 都市交通の視点から見た省エネルギー型都市構造とは?. オペレーションズ・リサーチ, 42(1), 14-19.
- 谷口 守, 具 国鎮, 中野 敦(1999a) 住区レベルでの土地利用と自動車利用特性の連関分析. 土木計画学研究・講演集, 22(2), 427-430.
- 谷口 守・村上威臣・森田哲夫(1999b) 個人行動データを用いた都市特性と自動車利用量の関連分析. 日本都市計画学会学術研究論文集, 34, 967-972.
- 外岡 豊, 山内 毅, 神成陽容(2000) トリップ・エネルギー分析による交通環境影響評価. 第 16 回 エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, 561-566.
- 堀 裕人, 細見 昭, 黒川 洗(1999) 自動車エネルギーから見たコンパクトシティに関する研究. 都市計画学会学術研究論文集, 34, 241-246.
- 宮武昌史, 秋澤 淳, 茅 陽一(1995) 運輸エネルギー消費を最小化する最適都市構造の評価. 電学論B, 115(6), 617-623.



森本章倫, 小美野智紀, 品川純一, 森田哲夫(1996) 東京都市圏における PT データを用いた輸送エネルギー推計と都市構造に関する実証的研究. 土木計画学研究・論文集, 13, 361-368.

---

## 第六章 結論

---

### 1 本論文の主な成果と結論

以上、本論文では環境共生都市が満たすべき環境の目標とその都市空間形態の関係について論じ、環境の面から見て望ましくかつ実現可能な職住床の密度分布および建物形態を明らかにした。

第二章では、移動距離の短縮のみを目指したコンパクト・シティが、非常に高密度な都市空間形態を環境共生都市として提示していることを踏まえて、交通エネルギーの削減のみならず都市内における自然環境との共生を考慮に入れた職住床配置のシミュレーションを行った。その結果、現実的かつ一般的に受け入れられると考えられる都市空間形態を提示できることを示した。東京都区部を対象としたシミュレーションでは、現状の通勤交通に対する業務間交通のトリップ数の比が0.6とすると、業務床は現状程度、居住床については都心居住を推進して現状の3倍程度に集積させることで、移動エネルギーは3割程度削減できることを明らかにした。ただし、建築物の建設等にかかるエネルギーを考慮すると、一部の業務床が分散し、それを拠点として低層の居住床が取り巻く都市空間形態が得られた。業務拠点の分散は、通勤交通エネルギーだけでなく、建設等にかかるエネルギーの観点からも、省エネルギーに適していることが分かった。

第三章では、多基準意思決定分析を用いて、交通にかかるエネルギーの最小化だけでなく、公園面積の最大化等を加えた複数の環境の目的をバランスさせる解とそのときの都市空間形態を求めた。都市内空地面積の確保が省エネルギーとトレードオフ関係にあることを示し、駐車場や道路等に広い面積を必要とする自動車は空間占有の面からもエネルギー大量消費型の交通手段であることを指摘した。また、日本ではあまり重要視されていないが、都市的土地利用面積を目的変数に導入し、都市内に確保すべき公園・緑地と都市外に保全すべき公園・緑地等のバランスを考慮しながら、土地利用の効率的を図ることの重要

性を指摘した。さらに、環境負荷の低減と自然環境との共生を同時に満たし、かつ地域特性を反映する環境共生都市の空間形態を検討するためのツールとして、多基準意思決定分析を用いた手法を提案し、望ましい都市空間形態の一例として中層の建物からなる現状よりも高密度な土地利用を示した。

第二章と第三章では、都市空間形態の捉え方についても検討した。一般的には、土地面積を分母とした密度指標が広く用いられている。本研究では、都市規模を一定としたときの都市空間形態の検討を行うために、グロス土地利用密度、空地率、建物形態等の密度指標に代えて、それぞれ床面積を分母とした床当たりの敷地面積、床あたりの建築面積、床当たりの空地面積を用いて都市空間形態を考える方法を提案した。

第四章では、環境の全体像を整理・把握し、環境影響を総合評価するための枠組みを提示した。特に、複雑に絡み合う環境問題の全体像を、環境問題領域と保護対象のマトリクスへと整理することにより、環境問題のまもるべき本質と計測可能な数値との間の連携が重要であることを指摘した。また、環境問題領域間の重み付けの結果から、第三章の意思決定分析に用いた環境目標が環境問題全体に占める相場観を知ることができた。この枠組みは、環境影響総合評価の分野において重要な成果であるが、対象範囲をプラスの側面も含む環境全体へと拡張することで、従来は曖昧で定性的な議論に用いられる傾向があった環境共生都市や持続可能な都市の環境評価項目を明確化することにも利用できる。第三章と第四章の成果は、自治体総合計画や都市マスタープランや環境基本計画を策定する際に、多様な主体の参加の下に環境共生都市の都市空間形態を検討するためのツールとして応用可能であると考えている。

第五章では、パーソントリップ調査のデータから端末交通手段や走行速度を考慮したトリップ・エネルギーを算出し、地域特性と交通エネルギーの関係を検証すると同時に、これまでの成果を大都市圏に適用する場合の課題を整理した。本研究では、第二章と第三章において、土地利用密度とトリップ距離の短縮の関係を所与のものとして扱ってきたが、実際の都市圏においては徒歩や自転車の手段分担率がエネルギー消費量に与える影響が大きいことが分かった。土地利用密度は、徒歩や自転車や鉄道の分担率を上げることを通じて間接的に交通エネルギーに影響すると考えられるが、全体的に見ると交通エネルギーとの関係は強いことが示されたことから、土地利用密度が交通エネルギーの削減に関係するとの仮定は利用可能と考えられた。また、モデル分析から得られた居住床が都心部および都心周辺部に現状より集積することが望ましいとの結論は、実際の都市のトリップエネルギーの観点からみても、望ましいと考えられた。ただし、現状でトリップ・エネルギーの小さい大阪都心周辺部は、低層の密集市街地であり、道路密度が低いことや駐車場が少ないことが、省エネルギーにつながっている可能性があるため、実際の施策効果を予測する

ためには、社会実験等を行いながら交通行動の変化に関する効果分析を行う必要があると考えられる。居住床を集積させる際には、徒歩や自転車や鉄道の手段分担率を上げるための都市基盤整備を行うとともに、公園等の都市内空地を確保しながら高層化を進めること、土地利用密度の低い郊外部をさらに低密度化させることにも留意する必要がある。

全体を通じて、現状の東京都区部を例として、環境共生都市の都市空間形態は、居住床を都心および都心部周辺へ集積させ、一部の業務床とそれに対応する居住床を分散型拠点としてその外側に配置した形態であることを明らかにした。東京都区部以外の都市では、居住床および業務床の総量、通勤交通に対する業務間交通のトリップ数の比、交通手段、確保すべき道路や駐車場や公園の面積、都市に許される土地占有面積、大気汚染の深刻さ、建物にかかるエネルギー等の諸条件に応じて、異なった都市空間形態が求められる。その場合、まず多基準意思決定分析を利用して、多様な決定主体が最新のデータに基づいた重み付けを行うことで、地域特性に合った都市空間形態の概要を決定することができる。次に、その諸条件を用いて、職住床ブロックの再配置シミュレーションを行うことで、望ましい都市空間形態を求めることができる。ただし、都市空間形態を変更する際には、土地利用密度に合わせて徒歩や自転車や公共交通手段の利用を促進し、交通エネルギーを削減する必要がある。

本研究では公共交通手段および道路ネットワークが面的に整備されている都心部と都心周辺部を中心に検討したが、地方都市や途上国の都市においても、都心部では中層の職住近接、その周辺に低層住宅となる都市空間形態が環境共生都市の観点から望ましいと考えられた。ただし、郊外部や地方都市においては、放射状もしくは線状の鉄道に沿って土地利用集積が延びる都市空間形態が望ましい場合もあると考えられる。しかし、都心から離れ過ぎると、鉄道網の整備されていない方向への移動が自動車依存度が高く長距離の移動となる可能性が高くなるため、基本的に、都心と都心周辺部に土地利用を集積させることが望ましいと考えられる。

ちなみに、本研究では都市規模に関する議論は行っておらず、全体の都市規模は変わらないとしている点に留意する必要がある。都市活動の範囲を狭めることを許せば、本研究で議論した環境の目標は、当然のことながら、より容易に達成することができると考えられる。

## 2 環境共生都市の実現施策

本研究では、環境共生都市の都市空間形態を達成するために、都心居住の促進、業務拠

点の分散，郊外居住の抑制，建築物の中層化，都市内緑地の確保，および徒歩や自転車の利用促進が必要であることを明らかにした。そのための施策に関する指針を下記に整理する。

## 2.1 都市計画

環境共生都市を実現するための都市計画施策として重要なものは、ゾーニングおよびマスタープランである。都心居住と拠点分散を可能にするために、特に都心部では、居住用途、業務用途別に容積率制限を設定することが考えられる。一般に、住宅よりも事務所の方が高い家賃収入を期待できるため、利潤最大化の観点から、都心部では可能な限り多くの床を業務用途に利用する傾向がある。現行の用途地域でも、大規模な業務用途については立地を制限することが可能だが、全般的に自由度の高い用途地域が適用されているため、都市全体で見て事務所系の業務床立地が制限されているとは言えない。特別用途地区として適用可能な中高層階住居専用地区のように立体的に用途区分を指定できる規制手段を拡充し、用途別にきめ細かな容積率規制を行うことが、都心部における住宅供給の促進策の一つと考えている。

要綱などに基づく住宅付置義務制度も、都心居住を推進する制度と言える。しかし、付置義務制度は、既存の施設を有効利用することを目標としていることから分かる通り、都心居住用住宅の絶対的供給量としては少ないと考えられる。環境共生都市に求められる十分な量の都心居住用住宅を供給する場合には、公園や学校等の公共施設用地を新規に確保する必要がでてくる。しかし、床用途をより収益率の低い用途へと転換させることは非常に困難な課題である。容積率規制の強化と容積率移転等の制度によって、都心部の都市内空地を確保する手法を検討しておく必要があると考えられる。実際には、業務の種類によって業務間交通の発生頻度が異なるため、業務間交通の発生頻度が高い業務床については、職住近接とせず、業務床のみを集積させることが妥当な地区もある。都市全体として都心居住と業務拠点分散の必要量を算定し、都心部への業務床のみの過度の集中を避けるべく、直接的規制や課税等の政策手段を用いて業務床の立地量をコントロールする成長管理を導入することが、環境共生都市の都市空間形態を達成するためにも有効と考えている。

大都市を検討対象とする場合には都心部の業務床立地の抑制が必要となることが示唆されたが、郊外部においては効率的な土地利用を目指すことがそれよりも重要である。自動車による移動の頻度と距離を減らし、徒歩や自転車の利用を促進するために、低密度な郊外開発を減らしていくことが望ましいと考えられる。そのため、市街化区域外の開発は抑制し、市街化区域内については、計画的な整備を徹底し、場合によっては最低容積率の設

定を検討する余地もあると考えられる。低密度な開発が起りやすい原因として、地価が非常に安い郊外を開発することで得られる利益が大きいことも理由の一つである。この利益を得るために、政治的な働きかけを通じて、必要以上に広い地域を市街化区域に繰り入れる傾向にあることも問題である。一方、都心部や都心周辺部では、相対的に公園等が少なく、生活環境が悪いと考えられていることも、郊外化が進む理由の一つである。郊外開発を制限し、都心とその周辺部に生活環境の良好な住宅を十分かつ安価に供給するためには、土地保有の考え方と税制を見直し、開発利益の適正化を図る政策が必要不可欠と考えている。また、市民参加型の都市マスタープラン作成を通じて、便利かつ効率的な市街地形成ビジョンを提示することも、低密度な開発を抑制するために有効な手段と考えている。中長期的に見て、環境への配慮がより重要となると考えられることから、都市マスタープランに環境共生型の都市空間形態の考え方を反映させることが望ましいと考えている。

## 2.2 土地利用計画と交通計画のリンク

持続可能な都市の実現方法として、たとえば TOD (Transit Oriented Development) のように、公共交通手段の整備と土地利用計画をリンクさせる政策に関心が集まっている。しかし、公共交通手段を整備し、駅を中心とした開発をすれば良いと言い切ることはできない。本研究では、都心部と都心周辺部へ居住床と業務床を集積させ、徒歩や公共交通手段による面的な移動を促進することが重要と結論づけた。なぜなら、都市が公共交通機関に沿って放射状に展開する場合には、公共交通手段が整備されていない方向への移動は自動車依存になりやすく、全体として交通エネルギーの削減が困難になるためである。また、土地利用密度が十分に高くない場合には、徒歩や公共交通手段を利用して到達できる施設量が自動車を利用する場合に比較して非常に少なくなるため、自動車を選択する機会が増加すると考えられるからである。単に公共交通手段の整備に合わせて周辺を開発するだけでなく、緑地を確保しつつ、駅から徒歩圏内の土地利用密度を高め、また公共交通手段を用いた面的な移動が可能なネットワーク整備を行い、便利なまちとすることが重要であると考えている。

具体例として、常磐新線沿線の開発について検討しよう。現在のところ、東京都心への通勤者世帯向けに戸建て住宅を供給することがその開発目的とされており、駅まではバスや自家用車によるアクセスが一定量見込まれている。しかし、通勤以外の移動に用いられる交通手段や、トリップ一回に占める端末交通手段のエネルギーの大きさを考慮すると、駅までのアクセスが徒歩圏内となる範囲内に中高層住宅や商業施設を集積させ、その外側に戸建て住宅を立地させることが望ましいと考えられる。また、徒歩や自転車と公

公共交通手段のみで地域内の面的な移動が可能となるよう、既存の鉄道網とのリンクに配慮し、また、業務および住居が既に集積している筑波研究学園都市への軌道系交通手段の新規導入を検討する必要があると考えられる。

## 2.3 市民参加型の基本計画の作成支援

本研究の成果は、都市マスタープランや環境基本計画作りにおいて目指すべき都市像を検討するための評価ツールおよび合意形成ツールとして利用可能と考えられる。従来は、専門家が市民の意見を反映させて計画を決めていた。しかし今後は、市民参加がさらに促進されるにつれて、市民が計画に直接加わるようになり、多様な主体間の合意形成手法が必要になると考えられる。その際に、計画目標の選択段階から多様な主体の参加を促し、目標間の重み付けを変えながら都市空間形態を検討する手法が有効と考えられる。本研究では環境の目標を中心に扱ったが、環境以外の要素も取り入れて、多様な主体が参加する計画決定プロセスが行われることが望ましい。高齢化社会における社会サービスの効率性の観点からも、空洞化が問題となっている地方都市の中心市街地の活性化の観点からも、コンパクト・シティの考え方の重要性が認識され始めているため、従来型の郊外開発とは異なったコンパクトな市街地形成が目指すべき都市像として提示される可能性が高いと考えている。

## 2.4 エネルギー削減策

交通エネルギーを削減するためには、徒歩や自転車の利用を促進することが重要である。自動車は、道路や駐車場に広いスペースを必要とし、徒歩や自転車の利用を困難にする点が問題である。また、近年、自動車単体の燃費は改善傾向にあるが、車種構成における大型車の割合の増加や走行距離の増大によって、交通エネルギーは逆に増加している。そのため、自動車の利用を前提とする限り、交通エネルギーの大幅な削減は困難であると考えられる。一方で、建築物にかかるエネルギーを小さくすることも、都市からの環境負荷を下げるために重要である。建設エネルギーを削減することと同時に、利用期間を長くすることも必要である。また、断熱性能や機器効率が良い素材を用いることで運用エネルギーを下げることも重要である。

環境共生都市の空間形態の提示は、中長期的には、気候変動防止策としても役立つ。たとえば、炭素税に関して、自動車がないと生活に支障が出る地方部ではガソリン消費の価格弾力性が低いことから、炭素税の導入は住民の家計の圧迫にしかならないという理由で反対の声が挙がっている。本来的には、炭素税の導入に合わせてライフスタイルや都市空

間形態の再編が起こるはずだが、都市空間形態や住宅の購入は長期的な選択であるため、炭素税の導入は容易にはできない実態となっている。そこで、自動車以外の交通手段が利用可能な都市空間形態を計画することで、市民は環境共生型のライフスタイルを送ることが可能になり、同時にガソリン消費の価格弾力性が高まるため、結果として、炭素税の導入によるガソリン消費の削減が容易になると考えられる。

### 3 今後の研究課題

#### (1)都市規模

本研究では、都市規模を一定とした場合の、土地利用密度および建物形態について検討した。そのため、都心部周辺の居住床を高密度化させた場合には、郊外部の居住床を減少させ、都市的土地利用の面積を減少させることになっている。しかし実際には、規制がないままで、利便性の高い空間に余裕が生まれると、例えば他の都市から居住者が流入してくる可能性が高い。そこで次の展開としては、都市規模と環境共生の目標との関係について検討する必要があると考えている。また、本研究では数百万人規模の都市を念頭に置いて一塊の用途床集積を対象とした検討を行ったが、実際の都市は国土レベルや世界レベルでネットワーク状に連なっているため、境界を明らかにすることが困難である。そのため、都市規模の検討と同時に、都市が集積するメカニズムを解明し、都市間の距離を考慮に加えて、国土レベルおよび世界レベルでの都市配置の検討も行う必要があると考えられる。集積メカニズムに関しては、空間経済の研究 (Fujita et al., 2000) に注目している。さらに、情報技術の進展が現実のものとなるにつれ、情報化等の影響予測を踏まえた都市のあるべき姿の検討が容易になると考えられる。

#### (2)貨物輸送

本研究では旅客交通、中でも通勤交通と業務間交通の短距離化を中心に検討したが、都市空間形態が貨物交通に与える影響についても包括的に考慮する必要があるだろう。本研究の検討範囲では、都市間貨物輸送はほとんど変化せず、都市内のルート配送等には業務間交通等と同様の影響を及ぼすと予想している。本来は、都市間貨物輸送は鉄道貨物か都市部を迂回するバイパスを利用することとし、大気汚染による健康影響は避けられるべきである。しかし現実には、貨物交通のディーゼル排気ガスが人体に与える都市内大気汚染の影響が重要な課題とされていることから、土地利用の高密度化は排出源密度と大気中汚染濃度と曝露人口密度の増加につながる観点から望ましくないとされる可能性がある。その場合、大都市と地方都市では大気汚染の深刻さが異なることから、第三章で提案した方



法で貨物輸送による大気汚染の影響を考慮した検討を行うことが有効と考えられる。将来的に情報化が進んで人の移動が減るとすると、物流の効率化が相対的に重要な課題となることから、貨物交通と都市活動の分布に関する研究への展開が必要と考えられる。

### (3)都市環境

本研究では、省エネルギーと都市内空地の導入を中心に、都市の占有面積や大気汚染曝露を含めた検討を行った。今後は、都市空間形態が騒音や日照や悪臭やヒートアイランド現象等の都市環境問題に与える影響を考慮に入れ、それらの変数についてより妥当性の高い定式化を行う努力が必要である。その際には、第四章の環境問題全体における位置づけを踏まえて、優先順位の高い課題から取り組むことが望ましいと考えている。

## 参考文献

Fujita, M., Krugman, P. and Venables, A. J.(2000) The Spatial Economy. The MIT Press.



## 関連論文

### 学位論文

(卒業論文) 都市構造とエネルギー消費の関係について. 東京大学工学部都市工学科都市計画コース卒業論文, 1994.

(修士論文) 移動エネルギーからみた最適都市形態に関する研究. 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻修士論文, 1996.

### 主な研究論文

松橋啓介(1996) 省エネルギー型都市の立体都市空間形態に関する一考察. 都市計画論文集, 31, 43-48.

松橋啓介(1999) 多基準意思決定分析による低環境負荷型都市の土地利用密度に関する考察. 都市計画論文集, 34, 643-648.

松橋啓介・森口祐一・寺園 淳・田辺 潔(2000) 問題領域と保護対象に基づく環境影響総合評価の枠組み, 環境科学会誌, 3(1), 405-419.

松橋啓介(2000) 大都市圏の地域別トリップ・エネルギーから見たコンパクト・シティに関する考察, 都市計画論文集, 35, 469-474.

### その他の研究論文

森口祐一・松橋啓介・寺園 淳(1998) 多様な環境問題とその重大性の認識. 環境情報科学, 27(4), 13-17.

Matsuhashi K.(1997) Application of Multi-Criteria Analysis to Urban Land-Use Planning. IIASA INTERIM REPORT, IR-97-091, IIASA, Austria.

## 主な研究発表

松橋啓介・小出 治・加藤孝明(1996) 移動エネルギーからみた最適職住配置に関する考察. 日本建築学会 1996 年度大会学術講演梗概集, F(1), 417-418.

松橋啓介・寺園 淳・森口祐一(1997) Comparative Risk Assessment による環境総合評価と意思決定支援の課題. 環境経済・政策学会 1997 年大会報告要旨集, 197-202.

松橋啓介・寺園 淳・森口祐一(1998) Comparative Risk Assessment における「環境の行き着く先」の検討. 環境経済・政策学会 1998 年大会報告要旨集, 31-32.

Matsuhashi K., Terazono A., Moriguchi Y.(1998) Identification of Environmental Problem Areas and Safeguard Subjects for a Valuation Process in LCIA. Proceedings of 3rd Int. Conf. Ecobalance, 73-76.

松橋啓介・寺園 淳・森口祐一(1999) 市民参加による異なる環境問題間の重要度比較の試み. 環境経済・政策学会 1999 年大会報告要旨集, 146-147.

Matsuhashi K., Moriguchi Y., Terazono A.(2000) Valuation Process with Public Involvement through Deliberative Workshop. Proceedings of 4th Int. Conf. Ecobalance, 205-206.

## 謝辞

東京大学大学院都市工学専攻の小出治教授には、都市防災・都市情報研究室に受け入れていただき、卒業研究、修士論文、そして本学位論文の作成に渡る長い間、温かいご指導をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。小出研究室助手の加藤孝明先生には、多くの貴重な助言と支援をいただきました。小出研究室の先輩である小林高洋氏（現在、富士通㈱）には、プログラム作成を手助けしていただきました。また、花木啓祐教授、松村茂先生（現在、東北芸術工科大学）、福島茂先生（現在、名城大学）、鈴木勉先生（現在、筑波大学）一ノ瀬俊明氏（現在、国立環境研究所）をはじめとする都市工学分野の先生方との議論は、問題意識の整理に大いに役立ちました。都市工学専攻および小出研究室の関係者の皆様に、心から御礼申し上げます。

第三章は、国際応用システム分析研究所（IIASA：International Institute for Applied Systems analysis, オーストリア）滞在中の研究成果を元に行っています。IIASA の Risk, Modeling and Policy プロジェクトの Marek Makowski 氏には、多基準意思決定分析についてご教授いただきました。また、IIASA 日本委員会をはじめとする関係者の方々には、若手研究者夏期プログラム（Young Scientists Summer Program）への参加の機会を与えていただきました。ここに記して感謝の意を表します。

第四章は、国立環境研究所の特別研究「輸送・循環システムにおける環境負荷の定量化と環境影響の総合評価に関する研究」（平成8～10年度）の一環として行った比較リスク評価に関する一連の会議実験の成果を元に行っています。これらの会議実験は、非常に多くの方々の協力を得て行われました。研究代表者の森口祐一氏をはじめ、中杉修身氏、田辺潔氏、新田裕史氏、寺園淳氏ら国立環境研究所の多数の研究者の方々には、会議の企画・運営にもご協力をいただきました。環境庁、地方自治体、大学、NGO のの方々には、環境問題の専門家として各2日間計3回の会議実験にご協力いただき、熱心な議論を通じて環境問題の整理を行っていただきました。また、第三回目の会議実験には、茨城県南部地域の一般市民の方々にもご参加いただきました。ここに改めて深い感謝の意を表します。

最後に、東京大学大学院都市工学専攻修士課程を修了した後の5年間、国立環境研究所に奉職しながら本論文を完成することができたのは、森口氏をはじめとする研究所の皆様のご理解とご厚情のおかげです。ありがとうございました。

今後ともご指導ご鞭撻のほどよろしくお願いいたします。

2001年2月

松橋 啓介