

交通エネルギー・建設エネルギーからみたコンパクトシティの是非*

The Efficiency of the Compact City:

A Contemplation on Transportation and Construction Energy *

坂本 京太郎**・北村 隆一***

By Kyotaro SAKAMOTO**・Ryuichi KITAMURA***

1. 背景と目的

資源問題や環境問題が叫ばれる昨今、化石資源の有効利用に向け、交通部門のエネルギー利用効率化は迫られた課題である。交通需要を抑え、交通エネルギー消費量を削減するための手段として、有効な土地利用形態や都市構造の構築が提案されてきた。その1つが現在、都市計画の分野で議論されているコンパクトシティであるが、実行策が具体化していないのが現状である。

わが国でコンパクトシティの構築を進めていくとすると、現在の都市構造をより高密にする必要がある。しかし、現在多くの都市圏外延部では郊外型の低密で自動車利用に大きく依存する生活様式が定着しており、その生活様式に合わせた商業施設や道路等の公共施設の整備がなされている。このような中でコンパクトシティの構築を実行に移すには、その明らかな有意性が確認される必要がある。

コンパクトシティのような高密な土地利用が、交通エネルギーの効率利用という観点から望ましいということは過去に示されている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。しかしこれらの研究は、都市をコンパクトにした結果のエネルギー効率性について述べているに過ぎず、現状からコンパクトな都市を構築する過程のエネルギー負荷を考慮しているものは見当たらない。この構築の過程を考慮した上で、コンパクトシティ構築の有意性を明らかにしてこそ、実現の可能性が見えてくると言えよう。

本研究では、コンパクトシティを構築することによって削減される交通エネルギーを「正の側面」、反対に構築の際に必要な不可欠となる住居や道路、公

共施設等の整備で消費される建設エネルギーを「負の側面」とみなす。この両側面に着目し、コンパクトシティを構築することがエネルギーの観点から望ましいか否かの分析、評価を行うことを本研究の目的とする。

2. 研究の概要

コンパクトシティの評価を行うために、本研究では現在のわが国にコンパクトシティを構築するというシナリオを設定する。それに順ずる形で、その地区に居住する世帯の仮想的な移住を図り、削減される交通エネルギーと、必要となる建設エネルギーを推定、両者を踏まえた上での評価を行う。

(1) 対象となる都市圏

本研究では、日本の大型都市圏の代表として京阪神都市圏を、モータリゼーションが発展した地方都市圏の代表として、岐阜市を中心とした岐阜都市圏を分析の対象とした。

京阪神都市圏には194の市区町村(ゾーン)が含まれる。これらを福井ら⁵⁾による動的都市類型に基づき分類し、京都、大阪、神戸を中心とした都心と、ベッドタウンとしての性質の強い郊外を明確にした(図-1a)。岐阜都市圏には、岐阜市を中心とした57

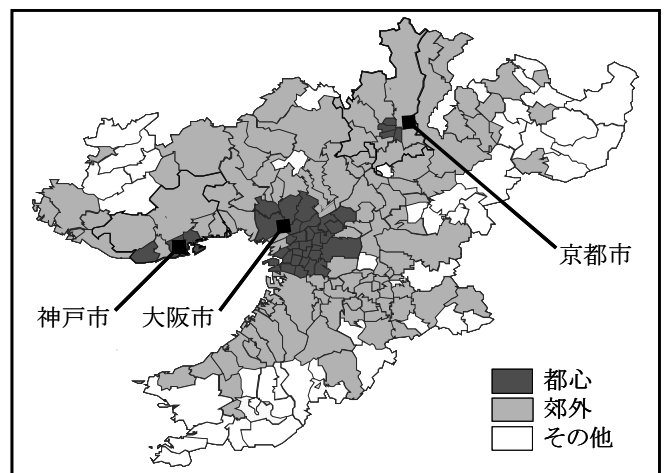


図-1a 対象都市圏：京阪神都市圏

*キーワード：コンパクトシティ、交通エネルギー、建設エネルギー、シナリオ分析

**学生員 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

***正員 Ph.D. 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
(京都市左京区吉田本町、TEL&FAX075-753-5916)

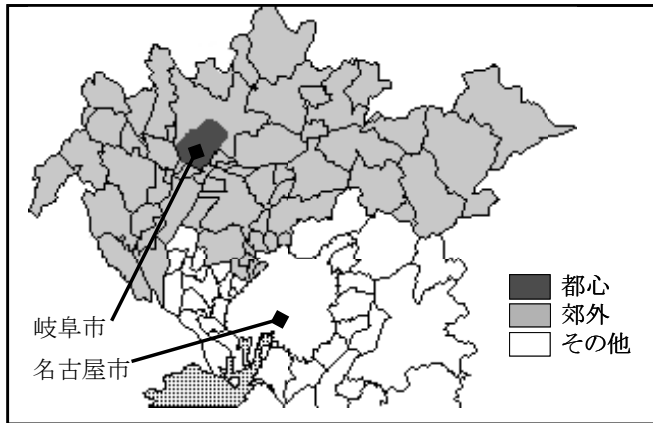


図-1b 対象都市圏：岐阜都市圏

市区町村，211ゾーンが含まれる．岐阜市の中央部から南西部を都心とし，それ以外の地区を郊外とみなした(図-1b)．

分析にはそれぞれ，2000年に行われた第4回京阪神パーソン・トリップ調査及び1991年に行われた第3回中京パーソン・トリップ調査のデータ(以下，PTデータ)を用いた．

(2) 対象となる世帯

分析の対象となるのは，PTデータに含まれる世帯のうち，対象都市圏に居住し世帯主が勤労者の場合はその勤務先も対象都市圏内に位置する世帯である．さらに，調査日に世帯主に通勤トリップが発生した世帯を通勤世帯，発生しなかった世帯を非通勤世帯とした．それぞれの都市圏における対象世帯数を表-1に示す．

表-1 対象世帯数

	全世帯数 (戸)	通勤世帯数(上段) 非通勤世帯数(下段)		(割合)	総個人数 (人)	世帯平均 人員数		通勤世帯(上段) 非通勤世帯(下段)	
京阪神都市圏	165,208	100,622	64,586	60.9%	441,157	2.67	3.03	2.11	
岐阜都市圏	17,980	10,755	7,225	59.8%	56,852	3.16	3.29	2.97	

(3) 本研究におけるコンパクトシティ

コンパクトシティの基本となるのは職住近接という土地利用形態である．さらには都市機能が集中し，高密度に構築されるといった点も挙げられる．以上のことから，現在都心となっている地区に勤務先を持つ世帯(主)が，勤務先と同一のゾーンに住居を構えることによって構築される高密度な都市を，本研究におけるコンパクトシティとする．

3. 世帯の交通エネルギー消費の実態

本研究ではPTデータを基に世帯の交通エネルギー消費量を推定している．各トリップのエネルギー

消費量は表-2に示す，松橋⁶⁾による交通機関別消費原単位を用いて推定している．

表-2 交通機関別エネルギー消費原単位表

	全国平均旅客 人キロ当原単位 (kcal/人・km)	平均速度 (km/min)	所要時間に依存する エネルギー原単位 (kcal/人・min)	移動距離に依存する エネルギー原単位 (kcal/人・km)
原付	105	0.38	-	-
自動二輪	241	0.37	-	-
タクシー	2131	0.33	400	1766
軽自動車	512	0.37	99	439
乗用車	658	0.35	124	545
貨物自動車	1103	0.32	176	949
自家用・貸切バス	125	0.23	16	128
路線バス	326	0.27	42	334
鉄道	104	0.67	-	-

世帯の交通エネルギー消費は，多数の要因の影響を受けていると考えられる．そこで，重回帰分析とバイナリー・プロビット分析による多変量解析を通じ，エネルギー消費の要因を紐解いていく．さらには，後のシナリオ分析で用いる，世帯の交通エネルギー消費量を予測するモデルを構築する．

(1) 世帯のエネルギー消費予測モデル

ここで構築される世帯の交通エネルギー消費の予測モデルは後のシナリオ分析において，移住の対象となる世帯の移住後の交通エネルギー消費量を推定するのに用いられる．モデルの推定には，通勤世帯のデータを用いた．

モデルの中で値が決定される被説明変数は，

世帯主通勤距離 (京阪神都市圏のみ)

世帯主通勤交通手段

自動車保有台数

1日当たりの世帯交通エネルギー消費量

の4つである．通勤距離，通勤交通手段，自動車保有台数は，移住後の状態を直接予測することが困難な上，交通エネルギー消費量に大きく影響すると考えられるために被説明変数とした．モデルは説明変数として世帯属性・居住地特性・勤務地特性・居住地-勤務地間ネットワーク特性を用いてこれらの被説明変数を予測するという形を採る．

モデルは4本の方程式からなり，それらの標準化係数を比較することによって，諸説明変数が被説明変数に影響を与える様子を窺うことができる．

(2) 京阪神都市圏におけるエネルギー消費

京阪神都市圏における交通エネルギー消費量を推定する際，1トリップで複数の交通機関が用いられた場合には，各々の消費量を考慮する形を採っている．さらには移動距離と所要時間の両方を考慮した

ことにより、推定値の誤差は従来の解析に比べ小さいと考えられる。

表-3aに、エネルギー消費の要因分析とモデル推定に用いた変数の一覧、並びにモデルの推定結果を示す。結果から、通勤トリップの形態や自動車保有台数は、世帯の交通エネルギー消費量に大きく影響を与えることが示された。世帯の自動車保有台数をみると、通勤距離には影響されず、さらには勤務地特性や居住地-勤務地間ネットワーク特性にも大きく影響されないことから、京阪神都市圏ではどこに

表-3a モデル推定結果：京阪神都市圏(通勤世帯)

推定値	世帯主通勤距離			世帯主通勤手段			自動車保有台数			世帯交通エネルギー消費量				
	B	β	t	B	β	t	B	β	t	B	β	t		
	世帯主通勤距離			-0.003	40.5			0.116	0.058	16.3			43.9	0.161
世帯主通勤手段												13507.3	0.318	46.4
自動車保有台数														
人員数			0.063	11.3	0.287	0.399	105.1	-1.643	-1.081	-12.9				
勤労者数					0.199	0.164	55.8	3698.7	0.108	27.8				
学生数			-0.082	7.6	-0.207	-0.110	-38.7	5554.3	0.105	29.2				
子供数					-0.228	-0.174	-53.9	2634.3	0.072	17.3				
世帯主年齢	20代ダミー													
	30代ダミー		0.327	3.5	0.014	0.006	2.1							
	40代ダミー		0.359	3.8	-0.055	-0.024	-7.5	-876.5	-0.014	-4.3				
	50代ダミー		0.410	4.4	-0.031	-0.014	-4.9							
	60代ダミー		0.494	5.2				1049.4	0.012	4.0				
	70代ダミー		0.490	4.8										
	80代ダミー		0.683	4.1										
世帯主 性別ダミー(1=男性)			0.327	26.0				928.5	0.015	4.7				
世帯主 免許保有ダミー			1.668	80.9	0.587	0.234	88.6							
世帯主 一次産業従事ダミー			-0.244	5.3	0.373	0.040	16.2	-5953.6	-0.022	-7.6				
世帯主 二次産業従事ダミー			0.061	6.2	-0.034	-0.017	-6.9	1707.8	0.030	10.2				
都心ダミー			-0.084	2.2	-0.100	-0.047	-7.4							
郊外ダミー					-0.020	-0.010	-2.0							
DID人口比			-0.090	2.1	-0.524	-0.128	-27.7							
一次産業従事人口割合					0.769	0.023	6.1	-12099.1	-0.013	-3.0				
二次産業従事人口割合			-0.288	2.9	0.428	0.027	9.2	-21565.6	-0.048	-15.7				
鉄道アクセシビリティ(×10 ³)			-1.809	-0.009	-5.3	-0.142	7.0							
					-0.168	-0.088	-20.9							
都心ダミー			-0.244	3.4										
郊外ダミー			-0.087	3.1										
DID人口比			-0.761	15.8	-0.165	-0.037	-9.9							
一次産業従事人口割合			-0.751	2.1				-20530.5	-0.020	-4.7				
二次産業従事人口割合			1.001	10.2	0.273	0.021	6.5							
事業所密度(×10 ³ 軒/km ²)			-0.118	17.4				-1144.7	-0.051	-8.9				
鉄道アクセシビリティ(×10 ³)			0.960	0.007	3.6	-0.167	8.0							
都心ダミー			-0.352	-0.044	-28.9	0.005	10.4	0.001	0.009	3.2				
郊外ダミー			53.089	0.234	154.9	-0.505	41.7	0.067	0.033	11.8				
都心から都心へ通勤ダミー								-6604.8	-0.115	-34.0				
郊外から都心へ通勤ダミー														
直線距離(100m)			0.851	0.924	337.4			-1466.0	-0.023	-6.4				
鉄道所要時間(min)			0.819	0.136	55.3									
(定数)*2			-24.421	-32.0	0.871	7.7	0.283	10.1	8858.6	14.7				
調整済みR2乗			0.868		0.271		0.438		0.186					
N			100622		100622		100622		100622					

表-3b モデル推定結果：岐阜都市圏(通勤世帯)

推定値	世帯主通勤手段			自動車保有台数			世帯交通エネルギー消費量			
	B	β	t	B	β	t	B	β	t	
世帯主通勤手段										
自動車保有台数										
人員数			0.066	4.5	0.326	0.483	34.0	9768.1	0.200	11.9
勤労者数					0.281	0.257	25.0	5211.8	0.142	10.2
学生数					-0.239	-0.130	-13.9	3314.9	0.054	5.6
子供数					-0.288	-0.251	-21.6			
世帯主年齢	20代ダミー		-0.076	3.1						
	30代ダミー		0.518	2.7						
	40代ダミー		0.788	4.2						
	50代ダミー		0.705	3.7	-0.072	-0.034	-4.2			
	60代ダミー		0.579	3.1						
	70代ダミー		0.546	2.8				-2201.5	-0.021	-2.3
	80代ダミー		0.704	3.0				-5917.5	-0.019	-2.2
世帯主 性別ダミー(1=男性)			0.130	2.6	-0.124	-0.042	-5.2	35487.0	0.018	2.0
世帯主 免許保有ダミー			1.931	36.5	0.942	0.323	41.1	4284.9	0.043	4.5
世帯主 一次産業従事ダミー										
世帯主 二次産業従事ダミー			-0.077	2.3	-0.058	-0.030	-4.1	-4572.9	-0.069	-7.5
都心ダミー			0.281	2.4						
人口密度(人/km ²)			0.000	6.0	0.000	-0.106	-12.7			
一次産業従事人口割合			0.922	2.1	1.048	0.052	6.6			
二次産業従事人口割合								2869.4	0.030	3.3
都心ダミー										
人口密度(人/km ²)			0.000	8.3	0.000	-0.045	-5.8			
一次産業従事人口割合			1.391	2.9						
二次産業従事人口割合			0.261	2.0						
都心から都心へ通勤ダミー			-0.780	18.4						
郊外から都心へ通勤ダミー			-0.358	2.6						
直線距離(m)			0.084	2.5	0.033	0.020	2.7	7839.5	0.142	15.4
(定数)*2			1.600	7.7	-0.274		-8.3	-5380.4		-5.1
調整済みR2乗			0.296		0.470		0.176			
N			10755		10755		10755			

*1 世帯主通勤交通手段の推定には、バイナリー・ロジット・モデルを用いた
 *2 世帯主通勤交通手段では、(定数)ではなく(しきい値)

付記: 空欄部は有意水準 $\alpha = 0.05$ で棄却済
 アクセシビリティ指標は以下のように定義した

$$A_i = \sum_{j=1}^n V_j / t_{ij}$$

V_j = ソーンjの集中交通量 t_{ij} = ij間の鉄道による所要時間
 n = ソーン数 (194) r = 定数 (=1.75)

勤務していようと、世帯の人員数や勤労者数に比例して自動車を持つ傾向があることも読み取れる。

(3) 岐阜都市圏におけるエネルギー消費

岐阜都市圏のモデルは、通勤距離に関する方程式を除く3つの方程式からなっている。表-3bに推定結果を示す。京阪神では自動車通勤する世帯主の割合が4割弱であるのに対し、岐阜では7割強の世帯主が自動車通勤している点が特徴と言えよう。そのこともあってか、世帯主の通勤手段は世帯の自動車保有台数に影響を与えない。また、京阪神ほどではないが自動車保有台数が交通エネルギー消費量に与える影響は大きいと言える。

4. コンパクトシティのシナリオ分析

ここではシナリオ分析を通じて、現在の京阪神都市圏及び岐阜都市圏をコンパクト化することが、交通エネルギー消費削減にどの程度有効なのかを分析する。さらに、コンパクト化に必要な建設エネルギーを推定し、両エネルギーを比較することによって、コンパクトシティ構築のエネルギー効率性について分析と考察を行う。

(1) シナリオの概要

本分析では、郊外に居住し世帯主が都心に通勤している世帯の、都心(勤務地)への移住を想定する。

移住の対象となる世帯は、通勤世帯のうち、郊外に居住し世帯主が都心に勤務している世帯である。対象世帯数は京阪神都市圏のデータで22,784世帯であり、20%、50%、100%の3つのレベルでの移住を想定する。同じく岐阜都市圏での対象世帯は1,061世帯であり、50%、100%の2つのレベルでの移住を想定する。

(2) 削減される交通エネルギー消費

第3章で構築したエネルギー消費予測モデルを用い、都心への移住を図ることによって削減される交通エネルギー消費量を予測する。予測を行うにあたって、移住に対応する形で居住地特性並びに居住地-勤務地間ネットワーク特性の諸変数を修正し、移住後のエネルギー消費量を推定する。

(3) 必要となる建設エネルギー消費

コンパクトシティを構築する際に必要となる建設エネルギーは、住居建設をはじめ、生活配管の整備、公共交通機関の整備、公共・福祉施設の建設など

表-4 推定されたエネルギー消費量の比較

	移住 レベル	移住した世帯数 (全世帯に占める割合)	移住世帯のみの 交通エネルギー削減割合	全世帯における 交通エネルギー削減割合	必要となる建設エネルギーは 削減される交通エネルギーの
京阪神都市圏	20%	4554 2.8%	-42.6%	-1.7%	66 年分
	50%	11331 6.9%	-41.4%	-4.0%	69 年分
	100%	22784 13.8%	-42.2%	-8.3%	67 年分
岐阜都市圏	50%	533 3.0%	-28.6%	-1.1%	69 年分
	100%	1061 5.9%	-27.3%	-2.1%	74 年分

様々であるが、本研究では住居建設に要するエネルギーを考える。高密度な都市を構築するために、移住世帯には一戸建てではなく集合住宅を新たに建設する必要があるとし、住居の床面積は5歳以上世帯人員数に比例、どの地区に建設しても建設エネルギー消費量は等しいと仮定する。

林ら⁷⁾の研究によると、事務所ビルの建設エネルギー平均消費量は11.2(GJ/m²)である(1GJ=10⁹J, 1cal=4.184J)。過去の研究で住居の建設エネルギーを算出した例が無い⁸⁾ため、住居・非住居別の建築資源消費量⁸⁾を用いて換算すると、住居の建設エネルギー平均消費量は8.5(GJ/m²)となる。1人当たりの住居平均床面積は、住宅・土地統計調査から33(m²/人)である。建物の共有部分床面積なども考慮して、1人当たり必要建設床面積は40(m²/人)に設定した。

(4)まとめ

両エネルギーを推定した結果を表-4に示す。移住を行った世帯の交通エネルギーをみると、京阪神都市圏では4割強の削減、岐阜都市圏でも3割弱の削減となっている。対象地域に居住する全世帯の消費量から考えると僅かな削減に過ぎないが、確実に削減が期待できる結果となった。岐阜都市圏の方が期待される交通エネルギーの削減量が少ないのは、都心でも自動車に依存する傾向が強いためと考えられる。

次に、住居の建設に必要なエネルギーであるが、両都市圏で、削減される交通エネルギーを遥かに上回る結果となった。どの移住レベルにおいても、交通エネルギー削減量の約70年分に当たる建設エネルギーを要するという結果となった。

5. 結論

都心、郊外ともに建造物の耐用年数が限られているため、新たな建設エネルギーを必要としない都心居住、すなわち住居の更新が迫られた場合に、郊外から都心に移住することはエネルギー効率的にも望

ましいと言えよう。しかしそれは飽く迄も個人レベルでの移住であり、大規模で長期的な政策としてコンパクトシティの構築を試みるには様々な障壁の存在が予想される。

人口が減少傾向にあり、郊外の施設の整備が行き届いている現在のわが国で、意図的に高密度な地域を作ることは、どこか既存の住居や都市基盤を放棄することを意味する。構造物を新たに建設することが莫大なエネルギーを要することを考えると、これは明らかにエネルギーの無駄遣いである。総合的なエネルギーの効率性を考えると、新たな都市の構築より、既存の施設を長年にわたって使用する工夫や、建物の耐用年数を延ばす技術革新が必要と言える。

今後の課題として次のことが挙げられる。まずは、住居以外に必要な公共施設等の建設エネルギーも考慮に入れるという点、さらには都市の高密度化による物流の変化を考慮し、より精度の高い交通エネルギー消費の予測を行うことなどが考えられる。

参考文献

- 1) 北村隆一, 山本俊行, 神尾亮: 高密度都市圏での交通エネルギー消費削減に向けた土地利用政策の有効性, 土木学会論文集, No.625, pp.171-180, 1999.
- 2) 森本章倫, 小美野智紀, 品川純一, 森田哲夫: 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, No.13, pp.361-368, 1996.
- 3) 藤原章正, 岡村敏之: 広島都市圏における都市形態が運輸エネルギー消費量に及ぼす影響, 日本都市計画学会学術研究論文集, vol.37, pp.151-156, 2002.
- 4) 堀裕人, 黒川洗, 細見昭: 自動車エネルギー消費量から見たコンパクトシティに関する研究—宇都宮都市圏の2時点におけるPTデータを用いて—, 日本都市計画学会学術研究論文集, vol.34, pp.241-246, 1999.
- 5) 福井賢一郎, 明石修, 北村隆一, 菊池輝: 動的都市類型に基づく交通行動変化の経時的分析: モータリゼーション・サブパナイゼーションの功罪, 土木計画学研究・講演集, No.27, CD-ROM, 2003.
- 6) 松橋啓介: 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, 日本都市計画学会学術研究論文集, vol.35, pp.469-474, 2000.
- 7) 林英明, 岡建雄, 小玉祐一郎: 1990年表によるエネルギー消費量と炭素排出量の原単位: 産業連関表による建築物の評価(その5), 日本建築学会計画系論文集, No.511, pp.75-81, 1998.
- 8) 横山計三, 横尾昇剛, 岡建雄: 1995年表による資源消費原単位: 産業連関表による建築物の評価(その10), 日本建築学会環境系論文集, No.568, pp.1-7, 2003.