

交通エネルギー消費の推移と都市構造に関する研究*

A Study on Transition of Relation between Transportation Energy Consumption and urban structure*

森本章倫**, 古池弘隆***

By Akinori MORIMOTO**, Hirotaka KOIKE***

1. はじめに

近年、環境問題への関心の高まりや化石エネルギー資源の枯渇予測等を受け、エネルギー問題は深刻化し、その緊急性・重要性が叫ばれている。有限なエネルギー資源の有効活用は、肥大化する都市域においては必要不可欠である。しかし、わが国では交通エネルギー消費量は依然として増加傾向にあり、近い将来現在の社会活動を逼迫する恐れがある。

これまでも交通エネルギーに着目し、全国 PT を用いて実際の交通行動から交通特性と都市特性の関連を検討した研究が行われてきた。森本ら(1995)¹⁾は第2回全国 PT 調査をもとに都市別の土地利用分布や都市形状とエネルギー消費量の関係を分析している。また、谷口ら(1999)²⁾は第1回及び第2回全国 PT 調査をもとにエネルギー消費量の推移について都市特性との関連性を分析している。ここでは、過去3回(S62,H4,H11)の全国 PT 調査を用いて、交通エネルギー消費の経年的傾向を詳細に検討する。その中でどのような都市特性をもった都市が交通エネルギー消費量を増大させるのかについて焦点を当てる。

特に次の2つの都市指標との関係を検討する点に本研究の特色がある。

①道路施設整備による交通エネルギー消費の変化を検討する。ここでは道路施設整備が交通の発生や交通機関分担にどの程度影響するのか、あるいは交通エネルギー消費の削減にどの程度寄与するのかについて分析する。

②都市構造の違いによる交通エネルギー消費の変化を明らかにする。具体的には都市のコンパクト性が、交

通エネルギー消費の経年的変化にどのような影響を与えてきたかについて検討する。

また、S62 から H4 にかけての消費量の変化と H4 から H11 にかけての変化を対比させることで、我が国の交通エネルギー消費の動向を明らかにし、環境負荷の少ない都市形成に向けての都市政策、交通政策に有用な知見を得ることを目的とする。

2. 交通エネルギー推計と既存研究

交通エネルギー推計にあたって、一般的にはエネルギー原単位にトリップ長を乗じることで消費量を求めることが多い。しかし、エネルギー原単位においては各種統計資料により推計値が異なるため、算出される消費量も変化する。そこでまず、わが国で利用されているエネルギー原単位の分類を行う。

既存研究の分類の結果、原単位の推計値としては(1)エネルギー経済統計要覧、(2)運輸エネルギー要覧、(3)家計調査年報が主として使われており、その他に(4)各種調査資料、(5)独自推計があることがわかった。そこでこの5つの資料をもとにした既存研究をあげる。

① エネルギー経済統計要覧

エネルギー原単位には、交通部門別輸送機関別エネルギー消費原単位(kcal/人・km)を用いている。エネルギー推計においては、東京都市圏 PT データを利用し個人の一日の交通エネルギー消費量を居住地ベースで推定したもの^{3) 4)}や、都心居住と郊外居住の比較分析を行ったもの⁵⁾、全国 PT データを利用し都市構造と運輸エネルギーとの関係を分析したもの^{1) 2)}がある。

② 運輸エネルギー要覧

エネルギー原単位には、輸送機関別エネルギー消費原単位(kcal/人・km)を用いている。エネルギー推計においては、都市を同規模の地区(クラスター)で構

*Key Words：全国 PT、交通エネルギー、時系列推移
交通と土地利用

**正員 工博 宇都宮大学工学部建設学科

***フェロー Ph.D. 宇都宮大学工学部建設学科
(栃木県宇都宮市陽東 7-1-2, TEL/FAX:028-689-6221)

成し原単位に移動数と平均移動距離を乗じたもの⁶⁾、P&R システム利用者の通勤形態の変化によるエネルギー消費削減量を分析したもの⁷⁾、PT データを基に推計したものがある^{3) 8) 9) 14)}。

③ 家計調査年報

エネルギー原単位には、都道府県の1世帯あたり年間ガソリン購入数量(1/世帯・年間)を利用し、都市別のガソリン購入数量の実態、都市交通(道路普及状況、マイカー通勤率、公共交通利便性)との関係、DID 状況との関係を分析したもの¹⁰⁾がある。

④ 各種調査資料

地球環境工学ハンドブックにおけるエネルギー原単位を用いた研究には、手段別エネルギー原単位(kcal/人・km)を用い、立体都市空間形態を移動するエネルギー消費量を推計したもの^{11) 12)}がある。また、環境庁監修の環境情報普及センターのエネルギー原単位を用いたものとして、手段別エネルギー原単位(kcal/trip・m)を用い、都市を同規模の地区(クラスター)で構成し原単位に移動数と平均移動距離を乗じた研究⁶⁾がある。一方、運輸省 自動車輸送統計年報(97)、野村総合研究所(98)のエネルギー原単位を用いた研究として、手段別旅客輸送人キロ当エネルギー原単位(kcal/人・km)を用いPT データの移動距離、所要時間等を基に推計したものがある⁸⁾

⑤ 独自推計

交通機関別・エネルギー種類別年間消費量(ガソリン、軽油、電力)に種類別換算率を与え、交通機関別エネルギー消費量を推計したもの¹³⁾、走行速度による燃料推定式を算出したもの^{14) 15) 16)}、格子状道路網の信号数と距離から、ガソリン消費量を推定したもの¹⁷⁾、自動車分担率と所得/ガソリン価格を用いたもの¹⁸⁾がある。

3. 交通エネルギー推計

(1) 対象都市について

全国PTでは人口100万人以上の都市すべてと、全国から偏らないように選ばれた都市が調査対象となっている。本研究では過去3回のPT調査から重複して調査されている54都市を対象とした。

(2) 自動車トリップの補正方法

全国PTでは混合トリップは全移動時間や距離が代

表交通手段に費やされたとして推計する場合が多い。谷口ら²⁾は自動車と徒歩を利用した混合トリップについては次の連立方程式と制約条件により具体的に推計を行っている。本研究ではこれを参考にし、自動車のみのトリップ距離を正確に把握した。なお、徒歩速度を時速4km、自動車速度は、自動車のみを利用したトリップから求めた各都市の平均自動車速度に等しいものと仮定した。

$$E_i^k = P_i * G_i * r_i^k * d_i^k * e^k$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{人口: } P(\text{人}) \\ \text{平均トリップ数: } G \\ \text{交通手段別構成比: } r^k \\ \text{交通手段別平均トリップ距離: } d^k (\text{km}) \\ \text{機関別交通エネルギー原単位: } e^k (\text{kcal/人} \cdot \text{km}) \end{array} \right.$$

なお、前述したように交通手段別のエネルギー原単位は算出方法によりさまざまであるが、今回は計量分析センターの以下の推計値を用いて算出を行った。

表.1 エネルギー原単位 (kcal/人・km)

年度	鉄道	バス	自動車
S62	47	137	484
H04	47	139	519
H11	51	165	584

鉄道とバスの平均トリップ長は所要時間をもとに、三大都市圏と地方都市圏に分けて算出した交通手段別平均速度(表.2)を用いて距離に換算した。

表.2 交通手段別平均速度 (km/h)

	鉄道			バス		
	S62	H4	H11	S62	H4	H11
三都	25.4	25.9	28.4	11.4	10.6	12.7
地方	32.5	33.2	38.7	11.0	10.9	11.9

(3) 都市別交通エネルギー消費量推計

以上より各都市の年度別交通エネルギー消費量を算出した。これを5つの都市圏に分けその最大・最小値、平均値(図中の数値)を以下に示す(図.1)。

これによると三大都市圏・その他、地方中枢都市圏、地方中心都市はH4からH11にかけての消費量が20%以上の伸びを示すなど、依然として大幅な上昇傾向にある。これに対し、三大都市圏・政令市ではエネルギー消費量の経年変化は小さく安定しており、独特な傾向を示していることがわかる。

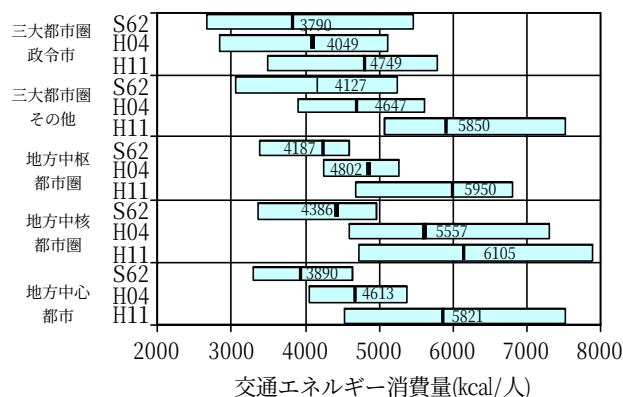


図.1 一人当たり交通エネルギー消費量の最大・最小値

4. 交通施設とエネルギー消費量

交通施設として鉄道整備・道路整備とエネルギー消費量の関係について検討する。鉄道分担率と駅数から都市を公共交通指向型と自動車指向型に分類し、道路整備によるエネルギー消費量の変化を検討する。以下にエネルギー消費量とその伸び率をまとめた(表.3)。なお、道路整備の大小は平均値を基準とした。

表.3 道路整備と交通エネルギー消費量(kcal/人)の伸び率

	道路整	S62	S62/H4	H4	H4	H11/H4	H11
公共 交通	大	4281	8%増	4548	4343	24%増	5417
	小	3834	13%増	4255	4375	23%増	5322
自動 車	大	4065	25%増	5042	5159	12%増	5702
	小	4324	24%増	4351	4895	20%増	5897

これによると、公共交通指向型都市のほうが自動車指向型都市よりもエネルギー消費量は低い値を示している。S62 から H4 にかけては公共交通指向型都市のほうがエネルギー消費量の伸びは小さく、公共交通整備の十分な都市では道路整備をしてもエネルギー消費量の伸びは小さかった。しかし、H4 から H11 にかけては逆に公共交通指向型都市のほうがエネルギー消費量の伸びは大きくなっている。これは、近年公共交通指向型都市でも鉄道分担率が減少し、自動車分担率が大きく上昇したためである。また、近年自動車指向型都市でも道路整備をするほどエネルギー消費量の伸びは小さくなる傾向が見られる。

5. 都市構造とエネルギー消費量

(1) コンパクト性の定義

都市構造との関連性として、コンパクト性とエネルギー消費量について考察する。コンパクト性については佐保¹⁹⁾により提案された定義を踏まえ、都市機能の集積圏

域と集積密度から都市の類型化を試みた。

集積圏域からみた都市構造のコンパクト性は、都市化度(=DID 人口密度/総人口*100)と市街化度(=DID 面積/市街化区域面積*100)の組み合わせから定義する。また、集積密度からみた都市構造のコンパクト性は、都市化度と DID 人口密度から定義する。

(2) 都市のコンパクト性とエネルギー消費量

以上の過程より 54 都市を集積圏域及び密度からみて両方共コンパクト性の高い都市を高、両方共低い都市を低、どちらかが高い都市を中とし3つに分類した(表.4)。それぞれの最大・最小値、平均値(図中の数値)は以下のようになる(図.2)。

表.4 コンパクト性による対象都市の分類

人口	コンパクト性		
	高 (18都市)	中 (11都市)	低 (22都市)
50万人以上 (17都市)	東京都区部 横浜市 大阪市 (都市)	名古屋市 京都市 川崎市 (都市)	神戸市 福岡市 堺市 (都市)
20万人から50万人 (20都市)	静岡市 松戸市 奈良市 (都市)	所沢市 呉市 甲府市 (都市)	金沢市 盛岡市 高知市 (都市)
20万人未満 (14都市)	弘前市 宇治市 熊谷市 (都市)	松江市 桐生市 塩釜市 (都市)	新居浜市 徳山市 (都市)
			札幌市 北九州市 広島市 仙台市 (8都市)
			千葉市 熊本市 鹿児島市 浜松市 (8都市)
			姫路市 岐阜市 宇都宮市 豊橋市 (8都市)
			富山市 郡山市 下関市 大津市 (8都市)
			津市 上越市 今治市 (都市)
			海安市 南州市 安来市 (都市)

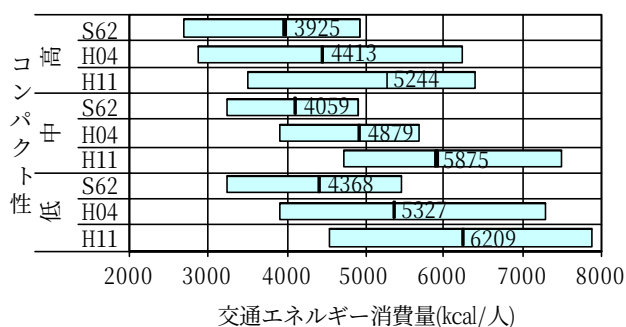


図.2 コンパクト性と交通エネルギー消費量の最大最小の幅

コンパクト性の高い都市では経年的に最大・最小値、平均値とも低い、コンパクト性が低くなるに連れこれらの値は増加する傾向にある。平均値の伸び率では、S62 から H4 にかけてはコンパクト性が高くなるに連れ、低い値を示す傾向にあった。しかし、H4 から H11 にかけて伸び率はコンパクト性に関係なくほぼ同じ値を示し、コンパクト性がエネルギー消費量に与える影響は小さくなってきた。

6. 都市施設・都市構造からみたエネルギー消費量

道路整備とコンパクト性の両方からエネルギー消費量を見ると以下(表.5)のようになる。

表.5 道路整備・コンパクト性からみた消費量と伸び率

指向型	コンパクト	道路整備	S62	伸び	H4	H4	伸び	H11
公共交通指向	高	大	3924	1.08	4254	4097	1.15	4708
		小	3744	1.11	4101	4082	1.23	4991
	中・低	大	4459	1.08	4696	4528	1.32	5948
		小	4106	1.18	4718	4347	1.23	5337
自動車指向	高	大	4166	1.27	5089	4536	1.11	4969
		小	4214	1.17	4899	5175	1.18	6002
	中・低	大	4135	1.26	5172	5319	1.10	5765
		小	4309	1.28	5487	5504	1.23	6740

公共交通指向型ではコンパクト性が高ければ道路整備をするほど消費量の抑制につながっている。しかし、コンパクト性が低い都市では、近年の自動車保有数の伸び(3.43%/年)がコンパクト性の高い都市(2.63%/年)より多いこともあり、道路整備が道路依存を招き負荷を増大させている。自動車指向型ではコンパクト性にあまり関係ないようで、過去では自動車保有数の伸びが5.10%/年と、道路整備が誘発交通の発生につながり負荷の増大を招いたと考えられる。しかし、近年は、自動車保有数の伸びが3.99%/年と減り、道路整備により混雑緩和が進み消費量の抑制につながっているようである。

7. おわりに

本研究では3時点のPT調査を用いることで経年的な推移をより細かく把握できた。道路整備、コンパクト性ともS62からH4にかけては交通環境負荷の増加抑制に有効であった。しかし、近年はさまざまな要因が関与し、これらの施策は単体では必ずしも有効であると断言できなくなってきた。今後、各種の施策を複合化することによりエネルギー消費量を抑制することが望まれる。

今後の研究では、道路整備による渋滞緩和の影響の考慮や、都市の内部構造を考慮したコンパクト性の定義が課題となる。また、複数の施策から見たエネルギー消費量の推移の検討も必要であると考ええる。

本研究は、国土交通省全国都市パーソントリップ調査ワーキング(座長：原田昇東京大学教授)における分析作業の一部である。なお、集計分析作業においては野呂徹氏(現：青森県庁)、既存研究整理において富田芽夢氏(現：宇都宮大学大学院)に協力いただいた。記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 森本章倫、古池弘隆(1995)：都市構造が運輸エネルギーに及ぼす影響に関する研究、第30回日本都市計画学会学術研究論文集、pp685-690
- 2) 谷口 守、村川威臣、森田哲夫(1999)：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、都市計画論文No.34、pp967-972
- 3) 関恵子、石田東生(1996)：交通部門のエネルギー消費量と地域特性及び個人特性との関連について、土木学会第51回年次学術講演会、pp 294-295
- 4) 森本章倫、古池弘隆(1998)：都市構造からみた輸送エネルギー削減施策の効果推計に関する研究、第33回日本都市計画学会学術研究論文集、pp181-186
- 5) 杉田浩、橋詰貴志、谷下雅義、鹿島茂(2000)：交通エネルギー消費量、交通費用、都市整備費用からの都心居住と郊外居住の比較分析、第20回交通工学研究発表会論文報告集、pp 225-228
- 6) 田頭直人(1998)：都市の空間構造とエネルギーに関する一考察－エネルギー削減を目指した諸システムの導入効果について－、第33回日本都市計画学会学術研究論文集、pp61-66
- 7) 盛岡 通、城戸由能、西原達也(1993)：パークアンドライドシステム導入によるエネルギー削減効果とその社会的費用に関する研究、土木計画学研究・講演集No. 16 (1)、pp 1049-1054
- 8) 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、第35回日本都市計画学会学術研究論文集、pp 469-474
- 9) 北村隆一、山本俊行、神尾亮(1999)：高密度都市圏での交通エネルギー削減に向けた土地利用政策の有効性、土木学会論文No. 625/IV-44、pp 171-180
- 10) 鳴井聡、中村隆司、岩崎征人(1998)：家庭のガソリン消費と都市の形態に関する研究、土木計画学研究・論文集 No.15、pp267-274
- 11) 鈴木勉(1993)：コンパクトな立体都市空間形態に関する考察、第28回日本都市計画学会学術研究論文集、pp415-420
- 12) 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、第31回日本都市計画学会学術研究論文集、pp43-48
- 13) 川端彰、明神証、天野雅人(1993)：都市交通によるエネルギー消費の推計、土木計画学研究・講演集No. 16 (1)、pp1041-1047
- 14) 峯岸良昌、杉田浩、谷下雅義、鹿島茂(1999)：交通エネルギー消費量を用いた都市圏比較(東京・宇都宮)、土木学会第54回年次学術講演会、pp 140-141
- 15) 堀裕人、細見昭、黒川洗(1999)：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、第34回日本都市計画学会学術研究論文集、pp 241-246
- 16) 富田安夫、小原和浩(1995)：自動車走行速度の影響を考慮した交通エネルギー消費量推計モデルの開発の試み、土木学会第50回年次学術講演会、pp 714-715
- 17) 腰塚志志(1994)：走行時間や走行エネルギーを最小にする道路密度、第29回日本都市計画学会学術研究論文集、pp 319-324
- 18) 林良嗣、加藤博和、木本仁、菅原敏文(1995)：都市交通のモーダルシフト政策に伴うCO2排出量削減効果の推計、土木計画学研究・講演集 No.17、pp 659-662
- 19) 佐保 肇(1998)：中小都市における都市構造のコンパクト性に関する研究、都市計画学会学術研究論文集No33、pp73-78