

都市交通によるエネルギー消費およびその環境負荷への影響に関する比較

A Comparative Study on Urban Transport Energy Consumption
and its Influences on the Environment

林 良嗣* 富田 安夫** 土井 健司*** スパラット・リチカ**** 加藤 博和****

by Yoshitsugu HAYASI, Yasuo TOMITA, Kenji DOI, Suparat RITHICA and Hirokazu KATO

As a basic analysis for land use-transport policies to lighten the environmental burden, this study examines the relationship between urban density and transport energy consumption efficiency and also its factors by means of comparative analysis among cities. In conclusion, the followings have been observed:
1) European cities which have high population density and relatively low energy consumption, is superior to US ones which are contrary to European type in terms of global environment.
2) The energy consumption intensity in high density cities are higher than the lower ones. However the comparison shows that population density around 50-100 person/ha is an optimize density.
3) To lighten the environmental burden, land use transport policies such as land use control, transport infrastructure improvement for congestion relieving and strict emission standards are necessary.

1. はじめに

産業部門のエネルギー消費量は、途上国では増大傾向にあるものの、先進国では1970年代以降では現状維持あるいはむしろ減少傾向に転じた国もある。これに比べて、交通部門のエネルギー消費量は、途上国、先進国を問わず増加傾向にあり、これによる地球環境および局地環境の両面での負荷増加が重大な問題となっている。

このような交通エネルギー消費による環境負荷への影響の削減策を検討するにあたっては、交通エネルギー消費に影響を及ぼす要因間の関連性を明らかにすることが必要である。本研究は、交通エネルギー消費効率および強度について、その都市形態および都市交通との関連性を、都市間比較によってマクロ的ながら明らかにしようとする試みである。

なお、使用データとしては、世界の主要都市に関しては主に文献1)を利用し、特に、詳細な比較を行っているロンドン（グレーター・ロンドン）、名古屋市、バンコク市に関しては独自にデータの収集・整理を行っている。

2. 交通エネルギー消費効率

2.1 都市形態と交通エネルギー消費効率²⁾

交通エネルギー消費の効率化、すなわち人口あたり交通エネルギー消費量をできるだけ低く抑えることは地球環境負荷の軽減となる。地球環境負荷と都市形態との関連性をみるために、都市形態の最も基本的な指標である人口密度と、人口あたりの交通エネルギー消費量との関係をプロットしたものが図1である。この図より以下のことが読み取れる。

キーワード：交通エネルギー消費、環境負荷

* 正会員 名古屋大学工学部地圏環境工学教室
(〒464 名古屋市千種区不老町)

** 正会員 神戸大学工学部建設学科

*** 正会員 東京工業大学工学部土木工学科

**** 学生会員 名古屋大学大学院地圏環境工学専攻

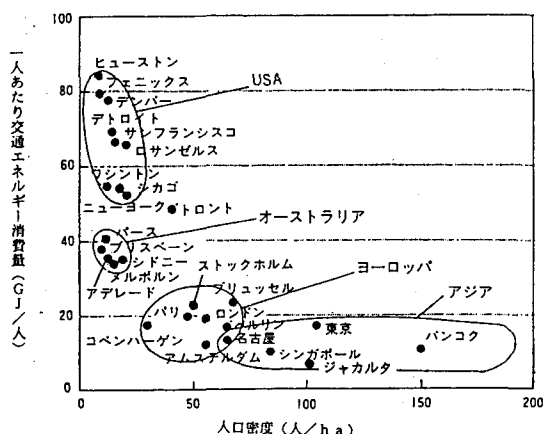


図-1 人口密度と1人あたり交通エネルギー消費との関係(1980年)

1) 人口密度との関係

全体的な傾向としては人口密度が高いほど、人口あたりエネルギー消費量は低くなる傾向がある。したがって、地球環境負荷を軽減するためには人口密度を高めることが必要である。

また、人口密度が50~100人/haあたりに明かな屈曲点がみられ、このレベル以下では人口密度増加に対するエネルギー消費減少の感度は極めて高いが、それ以上では感度は低い。したがって、50~100人/ha以上に人口密度を高めることは地球環境負荷を軽減する上で必ずしも大きな効果は得られないことがわかる。

2) 低人口密度の都市群

アメリカやオーストラリアの都市はいずれも人口密度が低く10~20人/ha程度の低い人口密度に位置しているが、人口あたりエネルギー消費量には大きな差がある。これは都市の市街地面積の違いによるものであり、すなわち、同じ人口密度でも都市が広域化しているほど平均トリップ長は長くなり、エネルギー消費量も増大するためと考えられる。

3) 中・高人口密度の都市群

ヨーロッパおよびアジアの都市では、人口密度に大きな差があるにもかかわらず、人口あたり交通エネルギー消費量にはほとんど差がない。これは、ヨーロッパや日本の都市の場合には人口密度の高い都市ほど鉄道系交通施設が整備され効率的な輸送が行われているためと考えられる。また、バンコクやジャカルタのようなアジアの途上国の場合には、自動

車が十分に普及していないためと考えられるが、シンガポールについては例外であり市街地の地理的制約によるものである。

2. 2 交通エネルギー消費効率の要因^{3), 4)}

前節では都市形態というマクロ的な観点から都市ごとの交通エネルギー消費効率の違いを論じた。ここでは、こうした都市間の差異の要因を詳細に検討するために、都市形態および交通の状況が異なる3都市として、ロンドン(グレート・ロンドン)、名古屋市、バンコク市を取り上げ、交通エネルギー消費および効率に関わる要因について比較する。

1) エネルギー消費の増大要因 - 走行台キロ

図-2は人口当たり走行台キロと人口当たりエネルギー消費量との関係を示したものである。両者の伸びを比較すると、ロンドンでは両者の伸びは一致しているが、バンコクおよび名古屋では走行台キロの伸び以上にエネルギー消費量が伸びている。その要因としては、バンコクの場合には、顕著な道路混雑によるエネルギー消費効率の低下によるところが大きく、また、名古屋の場合には乗用車の大型化によるエネルギー効率の低下なども影響しているものと考えられる。

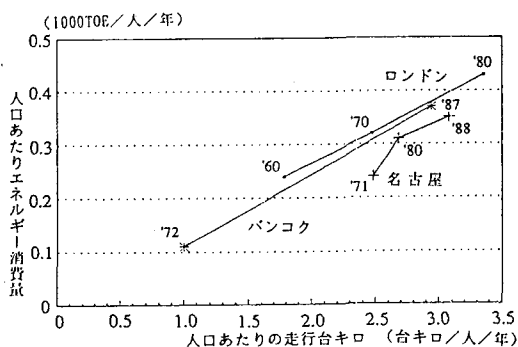


図-2 人口あたりの走行台キロと人口あたりエネルギー消費量の関係

2) エネルギー消費効率の要因 - 走行速度

図-3は、自動車の単位走行距離あたりのエネルギー消費効率(1988年)を示したものである。名古屋では100km走行するのに10.0リットルを必要とし、ロンドンでは11.3リットル、バンコクではもっとも効率が低く13.4リットルである。この要因としては、バンコクでは自動車の走行速度が低いことと、車齢の高い自動車が多く利用されていることなどが考えられる。例え

ば、ピーク時の平均走行速度（1988年）をみると、バンコク14km/h、ロンドン27km/h、名古屋24km/hであり、バンコクがもっとも走行速度が低いことがわかる。

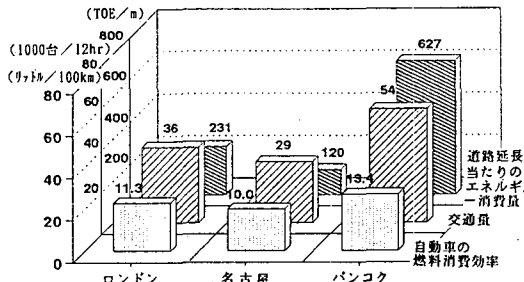


図-3 自動車の燃料消費効率、交通量、道路延長あたりのエネルギー消費量

3) 走行速度低下の要因－道路の整備水準－

エネルギー消費効率を低下させる要因である道路混雑は、自動車保有水準と道路整備水準のかい離によって生じるものである。自動車保有水準の指標として「人口1000当たりの自動車保有台数」、道路整備水準の指標として「自動車1台当たりの道路延長」を用い、両者の関係を示したものが図-4である。これによると、バンコクの1988年の自動車保有水準は名古屋の1972年とほぼ同水準にある。しかし、道路整備水準は1972年の名古屋の約1/4程度に過ぎず、バンコクにおいてはかなり道路整備が遅れており、これが前述のように平均走行速度が低い要因となっている。また、名古屋においても、1972年から1987年の15年間に、道路整備水準は約1/2まで低下している。

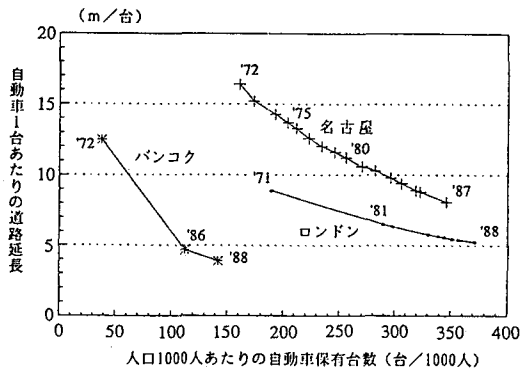


図-4 自動車保有水準と道路整備水準の関係

3. 交通エネルギー消費強度

3. 1 都市形態と交通エネルギー消費強度

交通エネルギー消費強度、すなわち単位面積あたり交通エネルギー消費量が大きいほど、都市内の平均的な局地環境負荷は高いと考えられる。局地環境負荷と都市形態との関連性をみるために、世界の主要都市について、単位面積あたりエネルギー消費量と人口密度の関係をプロットしたものが図-5である。この図から次のことが読み取れる。

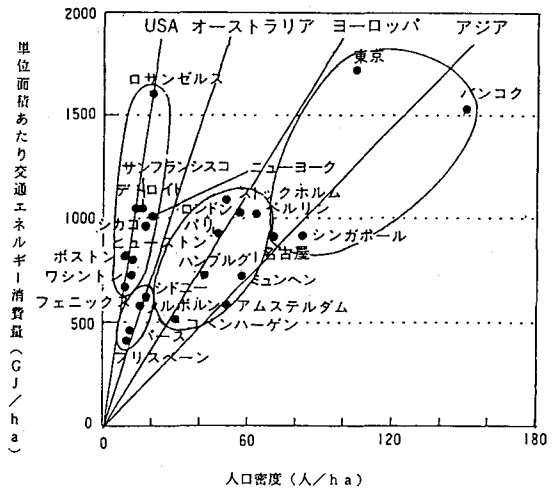


図-5 人口密度と単位面積あたり交通エネルギー

1) 人口密度との関係

全体的には、人口密度が高い都市ほど、単位面積あたり交通エネルギー消費量は大きい。したがって、局地環境負荷の小さな都市とするためには、人口密度を低く抑えることが必要である。

2) 地域間の比較

アメリカの都市はヨーロッパおよびアジアの都市に比べ、人口密度増加に対するエネルギー消費量の感度が高い。これはアメリカの都市の方が自動車依存率が高いためであると考えられる。

3) 都市間の比較

局地環境負荷の最も高い都市は東京であり、次いでバンコク、ロサンゼルス順である。特に、ロサンゼルスでは人口密度の割に、局地環境負荷が高いが、その要因としては、低層・低密住宅が広域にわたっているためにトリップ長が大きいこと、鉄道がなく自動車にほぼ100%依存した都市であること、排気量の大きな自動車の使用や渋滞の慢性化等によっ

てエネルギー消費効率が低下していることなどが考えられる。

3. 2 大気汚染濃度の推移とその要因

局地環境負荷、すなわち交通エネルギー消費強度の増加は最終的には大気汚染濃度の増加という形で現れる。ここでは、ロンドン、名古屋、バンコクにおけるCOやNO₂濃度の推移（図-6、図-7）をもとに、その要因を考察する。

なお、COおよびNO₂濃度としては、道路沿道の観測値を平均した「沿道濃度」の他に、道路沿道以外での観測値の平均である「バックグラウンド濃度」を参考値として示している。この両者の差は大気汚染に対する自動車交通の寄与度を表しており、図中の両濃度を比較すると、明らかにバンコクにおいては自動車交通による影響が他都市に比べ顕著であることがわかる。

1) 大気汚染濃度の推移

ロンドンにおけるCOやNO₂沿道濃度の推移は、横ばいあるいは微増傾向にある。しかしながら、図-8に示すようなディーゼル車によるエネルギー消費の減少は、NO₂およびCO沿道濃度の減少をもたらすはずであるが実際にはそのような傾向は見られ

ない。これは、ディーゼル車の減少による効果に比べ、自動車増加による影響の方が卓越していたためと考えられる。

名古屋では、CO沿道濃度は1975年以降減少傾向にある。これは1975年のガソリン車に対する厳しいCO排出規制による効果の現れであると考えられる。一方、NO₂沿道濃度はほぼ横ばいであり、1985年以降は微増傾向にある。これはガソリン車には厳しいNO₂規制が課されたもののディーゼル車への規制は緩く、しかもこのディーゼル車が急速に増加したことが影響しているものと考えられる。

なお、バンコクについては十分な時系列データが得られていないため省略する。

2) 都市間の比較

CO沿道濃度（図-6）は、1989年値をみるとバンコクがもっとも高く、ロンドンの約2倍、名古屋の約4.5倍である。これは、バンコクでの道路延長当たりのエネルギー消費量が、ロンドンの2.7倍、名古屋の5倍であることとほぼ対応している（図-3）。

NO₂沿道濃度（図-7）は、1989年値をみるとロンドンがもっとも高く、次にバンコク、名古屋の順である。バンコクの方がロンドンに比べ道路延長あ

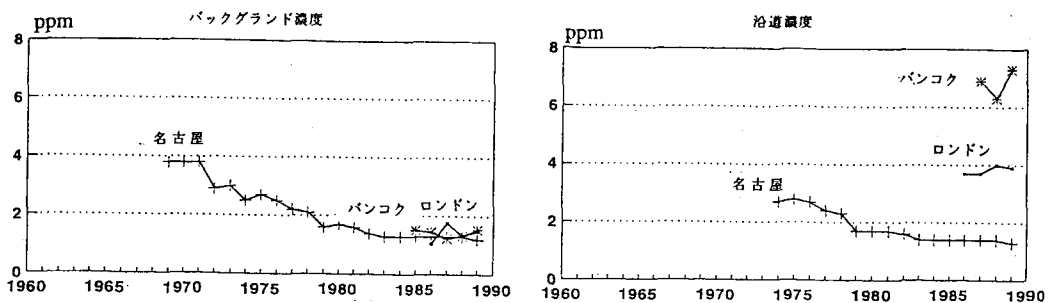


図-6 年平均CO濃度の推移

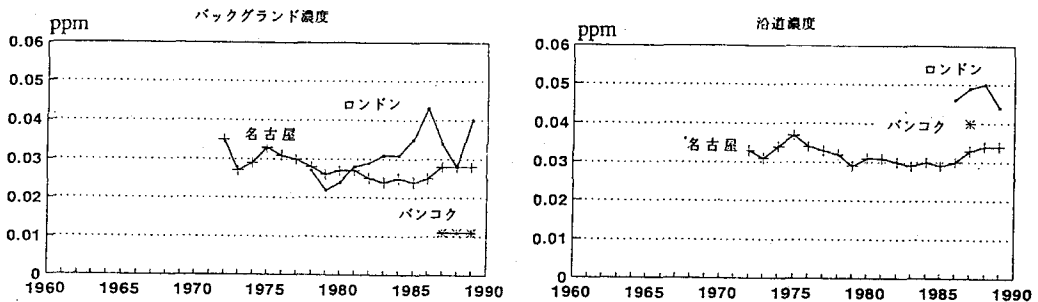


図-7 年平均NO₂濃度の推移

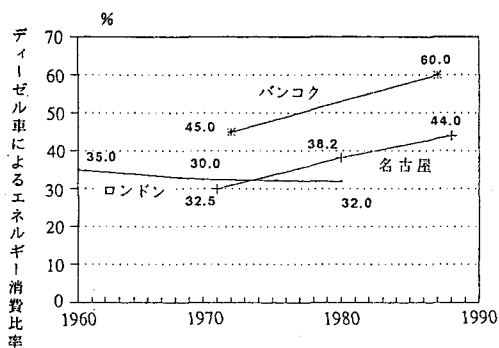


図-8 エネルギー消費量に占めるディーゼル車による割合

たりエネルギー消費量が大いにもかわらず NO_2 濃度が低い。この要因としては、バンコクでは渋滞による発進・停止の繰り返しによってエンジンの燃料と空気の混合比(=燃料/空気)は高まり、このことによって CO の排出係数は急速に上昇するが NO_2 の排出係数は低下するというエンジンの一般的な特性⁵⁾に起因していると考えられる。また、これに加えてディーゼル車が多いことも一つの要因である。

また、ロンドンと名古屋の NO_2 沿道濃度と道路延長あたりのエネルギー消費量の関係を見ると、ロンドンの NO_2 沿道濃度は名古屋の約1.4倍であるのに対して、道路延長あたりのエネルギー量では約2倍である。このようにロンドンではエネルギー消費の大きさほどには NO_2 濃度が高くない。この要因としては、図-8に示すようにロンドンでは名古屋に比べディーゼル車によるエネルギー消費の割合が低いことなどが影響しているものと思われる。また、このようにロンドンが名古屋やバンコクに比べディーゼル車の少ないのは、軽油とガソリンの価格格差の違いが一つの要因であると考えられる。図-9は実際に、1人あたりGDPにより基準化したガソリン価格と軽油価格(1988年)を図示したものであるが、これによると、ロンドンでは軽油価格はガソリン価格の0.9倍であるのに対し、名古屋およびバンコクではそれぞれ0.6倍、0.7倍であり軽油はガソリンに比べてかなり低価格となっている。バンコクの場合にはバスの分担率が高いこともディーゼル車の多い一つの要因と考えられる。

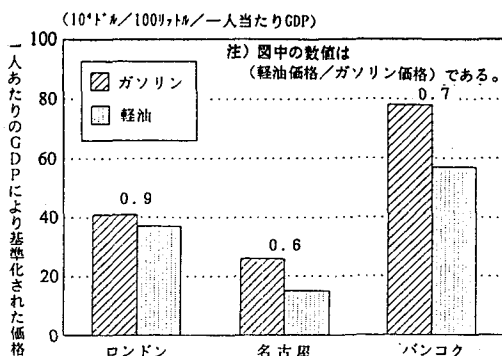


図-9 ガソリン及び軽油の価格(1988年)

4. まとめ

以上の比較結果をまとめると次のとおりである。

1) 都市形態と地球環境負荷

アメリカの都市は低人口密度・高エネルギー消費型の都市であり、一方、ヨーロッパおよび日本の都市は高人口密度・低エネルギー消費型の都市である。したがって、地球環境負荷の観点からはヨーロッパおよび日本型の都市が望ましい。しかしながら、既にできあがってしまったアメリカの都市を、ヨーロッパ型の都市に改造することは、土地利用が不可逆的現象であることから極めて困難である。そこで、今後、成長しつつあるアジア等の途上国の都市(バンコクなど)はできるかぎりヨーロッパ型の都市に誘導することが必要である。これの成否によって、今後の地球環境負荷への影響は大きく異なったものとなると考えられる。

2) 地球および局地環境からみた適切な人口密度

地球環境負荷を軽減するためには人口密度を高くし、交通エネルギー消費効率を高める必要があるが、局地環境負荷の軽減のためには人口密度を下げ交通エネルギー消費強度を低下させる方がよい。しかしながら、交通エネルギー消費効率はヨーロッパの都市の人口密度レベルに相当する50~100人/ha以上に高めても必ずしも効果が十分得られないことから、50~100人/ha程度が地球環境および局地環境の両面からみてほぼ適当な人口密度を示しているものと思われる。

3) 環境負荷削減方策

環境負荷の増大は、自動車総走行台キロの増大と単位走行距離あたり環境負荷物質の排出率の増大とによるものである。前者の要因としては主に経済発

展に伴う都市形態の変化や所得の増大に伴う自動車保有・利用の増大などがあり、後者の要因としては道路混雑による速度低下、緩い排気ガス規制・車検制度の未整備、燃料価格の低廉性によるディーゼル車の増大などがある。そこで、環境負荷軽減のためには、都市ごとに重点方策は異なるが、①厳しい土地利用コントロール、②道路混雑を解消するための道路および鉄道インフラの整備、③厳しい排気ガス規制や車検制度の導入、④ディーゼル車を優遇しない燃料価格の設定などの方策が必要とされている。

最後に、本研究は文部省科学研究費重点領域「人間・環境系」（代表：中村英夫・東京大学教授、国際比較調査主査：浅野直人・福岡大学教授）の研究補助金による成果の一部分であることを付記し、併せて謝意を表したい。また、近いうちに関連成果も含めてより詳しく報告する予定である。

<参考文献>

- 1) Newman, P. and Kenworthy, J.: Cities - and Automobile Dependence -, Gower, 1991
- 2) 林良嗣：環境負荷削減のための都市の土地利用・交通政策，季刊・環境研究，No. 86，pp66-73，1992
- 3) Hayashi, Y., Doi, K., Suparat, R., and Sakurai, K.: Comparing the Environment between Cities in Different Stages of Economic Development and Urbanization, Civilizing Transport, Proceedings of the PTRC 19th Summer Annual Meeting. London: PTRC, 1991, pp95-106
- 4) Hayashi, Y., Tomita, Y., Doi, K. and Suparat, R.: An International Comparative Study on Land Use-Transport Planning Policies as Control Measures of the Urban Environment, WCTR, 1992
- 5) Gilbert, M. Masters: Introduction to Environmental Engineering and Science, Prentice-Hall International, Inc. p360, 1991
- 6) Annual Abstract of Greater London Statistics (1988-1989), London Research Centre, 1991
- 7) Dasgupta, Mira: Commuting Patterns and Urban Change in London, Past Trends and Future Prospects, TRRL, 1990
- 8) Air Pollution Associated with Transport in London, Romford, LPAC, 1990
- 9) Transport Statistics Report, London Traffic Monitoring Report for 1989, The Department of Transport, 1990
- 10) Environmental Data, OECD, 1989
- 11) 名古屋市百年の年輪 - 長期統計データ集 -, 名古屋市, 1989年
- 12) 名古屋市一般交通量概況 (道路交通センサス報告書), 名古屋市, 1971年~1990年
- 13) 公害の現況, 名古屋市, 1980年~1990年
- 14) Bangkok Statistics Yearbook, Bangkok Metropolitan Administration, 1974, 1985-1990
- 15) The Study on Medium to Long Term Improvement/Management Plan of Road and Road Transport in Bangkok, JICA, 1990
- 16) Energy Use in Road Transport (Bangkok), The National Energy Administration, 1988
- 17) Air and Noise Pollution in Thailand 1989, Bangkok, ONEB, 1990
- 18) Roadside Air Quality in Bangkok, ONEB, 1983-1989