

経済水準の違いを考慮した都市構造と 交通エネルギー消費の関連性に関する研究

崔 鉉水¹・中川 大²・松中 亮治³・大庭 哲治⁴

¹非会員 京都大学 工学研究科 都市社会工学専攻 (〒615-8544 京都市西京区京都大学桂 Cクラスター)
hyunsu.choi@urban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学教授 工学研究科 都市社会工学専攻 (〒615-8544 京都市西京区京都大学桂 Cクラスター)
nakagawa@urban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

³正会員 京都大学准教授 工学研究科 都市社会工学専攻 (〒615-8544 京都市西京区京都大学桂 Cクラスター)
matsu@urban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

⁴正会員 京都大学助教 工学研究科 都市社会工学専攻 (〒615-8544 京都市西京区京都大学桂 Cクラスター)
tetsu@urban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

近年、世界各都市において、経済水準の向上に伴うモータリゼーションの進展により、人々の交通行動は拡大し、都市人口の郊外化によって都市構造は大きく変化するとともに、交通エネルギー消費は増加の一途を辿っている。しかし、世界各都市における経済水準の違いを考慮に入れた上で、都市構造と交通エネルギー消費の関連性は十分に明らかにされていない。そこで本研究は、経済水準の異なる世界44都市を対象に、PTデータ及び交通統計データと社会経済統計データを収集した上で、交通行動を考慮して交通エネルギー消費量を推計し、都市構造と交通エネルギー消費に関するデータベースを構築した。その上で、経済水準の違いを考慮にいたした都市構造と交通エネルギー消費の関連性について分析した。

Key Words : *Economic level, Transportaion energy consumption, Urban structure, Individual travel behavior, Person trip data*

1. はじめに

近年、世界各都市において、経済水準の向上に伴うモータリゼーションの進展により、人々の交通行動は拡大し、都市人口の郊外化によって都市構造は大きく変化している¹⁾。また、交通エネルギー消費は増加の一途を辿っており、都市環境においても大気汚染や過度なエネルギー消費などの悪影響を及ぼしている。

これまで、交通エネルギー消費削減のための技術開発や交通システムの計画・管理手法が発展してきた。1970年以降からは、持続可能な都市発展の概念に基づいた都市構造に主眼をおいた計画手法や研究が発展してきている²⁾。ヨーロッパでは、コンパクトシティ計画が取り入れられ、都市環境と効率的な都市空間作りに関する都市計画が行われている。日本においても近年では、「集約型都市構造」といった名称で政策中にコンパクトシティ化が基本方針として明示されるようになってきている。

しかし、経済発展に伴うモータリゼーションの進展による、個人モビリティの向上は、低密度な

都市圏の広域化に拍車をかけており、都市郊外化に起因するトリップ長の増加は、交通エネルギー消費を増やす結果とつながるなど、自動車利用の低減や交通エネルギー削減のための政策が決して成功しているとは言い難い。

このように、経済水準の向上に伴うモータリゼーションの進展は、モビリティ向上に貢献してきた反面、都市郊外化や交通エネルギー問題を引き起こしている。しかし、経済発展の観点から都市圏の広域化やモータリゼーションによる交通特性の把握に関する研究は少なく、経済水準の違いを考慮した都市構造と交通エネルギー消費との関連性についての研究が必要と思われる。一方、交通エネルギー消費の削減に向けた都市交通戦略の策定において、それぞれの都市における交通エネルギー消費が何に起因しているのかに関する定量的把握が不十分であり、都市全体の交通エネルギー消費を推計するだけでなく、個人交通行動との関連性を充分把握しておく必要があると考えられる。

そこで本研究は、経済水準の異なる世界21カ国の44都市を対象に、PTデータ及び平均トリップ長・平均トリップ速度などの交通統計データと社

会経済統計データを収集した上で、個人の交通行動を考慮して交通エネルギー消費量を推計し、都市構造と交通エネルギー消費に関するデータベースを構築する。そして、経済水準の観点から世界各国の都市における、都市構造と交通特性、交通エネルギー消費の関連性について明らかにすることを目的とする。

2. 本研究の特徴

Newman and Kenworthy³⁾⁴⁾と Kenworthy ら⁵⁾は、人口密度と交通エネルギー消費との間の強い負の相関を発見し、持続可能な都市発展の研究において大きな貢献を果たした。しかし、Covering と Schwanen²⁾、都市をひとつの有機体として、つまり大きな生命体として一歩離れた観点から都市を見ていた Newman と Kenworthy に対して、各個人の交通パターンがどのような都市要素に影響されるかについては深く考察できていないと指摘している。一方、世界各都市の経済発展とともにモータリゼーションが進展し、都市の交通特性が変化中、世界各都市の経済水準を考慮に入れ、都市構造と交通特性、交通エネルギー消費の関連性について分析した研究には、タイの経済発展とバイク、乗用車の保有の関連性がエネルギー消費や温室ガス排出に及ぼす影響に関して分析したものは見られるが⁶⁾、経済水準に主眼をおいて都市構造と交通特性、交通エネルギー消費との関連性について世界の大都市を網羅している研究は見られない。

そこで本研究は、世界各都市の経済水準の違いに着目し、日本・韓国・ヨーロッパ・アメリカ・開発途上国の21カ国における、世界の各地域のGRDP上下位15%の44大都市を対象し、都市構造と交通特性、交通エネルギー消費との関連性を世界におけるさまざまな大都市を網羅して比較分析する。また、世界各都市のPTデータ及び平均トリップ長・平均トリップ速度などの交通統計データと社会経済統計データを収集した上で、個人の交通行動を考慮した交通エネルギー消費量算定式を活用して、世界各都市における交通特性データベースを構築する。そして、データベースを用いて、世界各地の都市の経済水準の違いによって都市を分類し、都市構造と交通特性、交通エネルギー消費との関連性を分析する。

3. 本研究におけるトリップの定義及び交通エネルギー消費量の算定方法

(1) 本研究におけるトリップの定義

本研究では、個人交通手段を適切にコントロールすることによって交通エネルギー消費の削減が望めるという観点から、個人交通手段(乗用車、バイク、タクシー)によって行われたトリップに限定している。そのため、通過交通が主であり、燃料の供給地と消費地の把握が困難である貨物交通は、本研究で対象外とする。また、ひとつのトリップの中で最もトリップ時間が長いアンリンクトリップで使われた交通手段を、そのトリップの代表交通手段として扱う。そして、抽出した代表交通手段のトリップ速度が4km/h以下のものは、徒歩によるものとして、除外している。

本研究では、以上の定義に従うトリップを、対象都市の全トリップから抽出して交通エネルギー消費量算定に用いる。

(2) 交通エネルギー消費量の算定方法

交通エネルギー消費量の算定にあたって、一般的に多く使われている方法は、実際のガソリン販売量の統計値を用いて、都市の総燃料消費量から単位当たりの発熱量に変えて求めるものである⁷⁾⁸⁾。また、日本では、エネルギー原単位にトリップ長を乗じることによって求める方法が一般的に用いられている。しかし、前者は、排出総量の把握や燃料対策の評価等には適しているが、単独トリップにおける車種の考慮や交通行動対策評価には適していない短所がある⁸⁾。後者は、各種統計資料によりエネルギー原単位の推計値が異なる場合があるため、都市間の比較が困難である⁸⁾。

そこで、本研究は、旧建設省土木研究所が実施したシャシダイナモ実験の測定から定められたガソリン乗用車両の走行速度別燃料消費算定式⁹⁾とPTデータに基づく個人のトリップごとの交通行動特性データを用いて、交通エネルギー消費量を次式により求める。

$$E_k = \frac{\sum_i^{n^k} T_i \cdot I_i \times 365}{P_k} \quad (1)$$

E_k = 都市 k の個人交通手段による年間一人当たり交通エネルギー消費量 (MJ/人)

T_i = 個人交通手段によるトリップ i の交通エネルギー消費量 (MJ)

($i=1, \dots, n^k$; n^k は、都市 k のサンプルトリップ数)

P_k = 都市 k の人口(人), I_i = トリップ i の拡大係数

また、式(1)の、都市 k の個人交通手段によるトリップ i の交通エネルギー消費量は、式(2)により求められる。

$$T_i = FC_{(V_i)} \cdot HV \cdot L_i \quad (2)$$

HV = ガソリンの平均発熱量(MJ/L)

$FC_{(V_i)}$ = 個人交通手段によるトリップ i の走行速度別燃料消費量(cc/km)

L_i = トリップ i の平均トリップ長(km)

V_i = 個人交通手段によるトリップ i のトリップ速度(km/h)

ただし、本研究で、個人交通手段は、個人交通手段；乗用車、バイク、タクシーに限定する。

ここで、個人交通手段の走行速度別燃料消費値は、式(3)によって求める⁹⁾。

$$FC_{(V_i)} = [829.3/V_i] - 0.8572V_i + 0.007659V_i^2 + 64.09 \quad (3)$$

式(3)の回帰パラメータは、旧建設省土木研究所によるガソリン乗用車の測定値⁹⁾を用いる。

ただし、交通行動を考慮して、交通エネルギー消費量を算出する際に、国によってデータの有無が確認できない場合や、PTデータ及び交通統計データにおける全般的なデータ形式が、国ごとに整合しない場合がある。そのため、データの不足や内容の不整合等をふまえた交通エネルギー算出方法を構築する必要がある。

そこで、本研究では、PTデータを入手できない場合を想定し、都市の交通行動特性を代表するデータを用い、交通エネルギー消費量の算定方法として、式(4)のエネルギー原単位法¹⁰⁾を取り入れる。

$$E_k = P_k \cdot G_k \cdot \gamma_k \cdot l_k \cdot e \quad (4)$$

E_k = 都市 k の個人交通手段による交通エネルギー消費量(MJ)

P_k = 都市 k の人口(人),

G_k = 都市 k の平均トリップ数(trip)

γ_k = 都市 k の個人交通手段による分担率(%),

l_k = 都市 k の個人交通手段による平均トリップ長(km/trip)

e = 交通機関別エネルギー原単位(MJ/人・km)

式(4)の、エネルギー原単位 e を、トリップ速度を考慮した式(5)の e_k に改良することによって、個人交通手段による、実際のトリップ速度を変数とする、交通エネルギー消費量を求める。

$$e_k = FC_{(V_k)} \cdot HV \quad (5)$$

e_k = 都市 k の個人交通手段によるエネルギー原単位(MJ/人・km)

$FC_{(V_k)}$ = 都市 k の個人交通手段による平均走行速度別燃料消費値(cc/人・km)

V_k = 都市 k の個人交通手段による平均トリップ速度(km/h)

以上の、式(1)~(5)の交通行動特性を考慮した交通エネルギー消費量算定方法を用いて、世界21カ国44都市の交通エネルギー消費に関するデータベースを構築する。

4. 経済水準の違いによる世界都市の分類及び交通エネルギー消費に関するデータベース構築

(1) 対象都市

本研究では、統一した人口規模を基準に世界122都市を抽出し、その内、経済水準の違いによった都市交通と交通特性の関連性の違いを明確に確認できた、GRDP水準上下位15%の都市を世界の各地域から抽出した。その結果、表-1に示す世界21カ国の経済水準がそれぞれ異なる人口80万人以上の44都市を対象としている。(Asia:10都市(Korea:5都市、Japan:5都市)、Europe:14都市、U.S.A:14都市、Developing countries:6都市)

表-1 本研究での対象都市

抽出した世界の各地域のGRDP上位15%	
Asia	Osaka, Tokyo, Nagoya, Fukuoka, Hiroshima
Europe	Munich, Oslo, Zurich, Hambrug, Paris, Helsinki, London
U.S.A	Charlot, San Francisco-Oakland, Washington, Seattle, Denver Aurora, New York
Developing countries	Sao Paulo, Kuala Lumpur, Tripoli
抽出した世界の各地域のGRDP下位15%	
Asia	Pusan, Kwangju, Suwon, Daegu, Sungnam
Europe	Prague, Valencia, Warsaw, Athens, Seville, Budapest, Moscow
U.S.A	Oklahoma, Tampa-St. Petersburg, Province, San Antonio, Buffalo-Niagara Falls, Jacksonville, Hartford
Developing countries	Managua, Nairobi, Phnom Pehn

(2) 交通統計データ

本研究では、Asia、European countries、U.S.A、Developing countries それぞれについて、KTDB、MLIT、UITP、FHWA、JICAの世界各国の都市・交通関連機関を通じ、PTデータ及び交通統計データを収集した。なお、正式な都市交通関連機関名は、付録を参照されたい。

(3) 都市構造及び交通行動データの定義と算出方法 定義を示す。また、表-3には、本研究で用いられる交通行動に関するデータの算出方法を示す。
 表-2に、都市構造と交通行動に関するデータの

表-2 本研究におけるデータの定義

番号	指標	単位	データ定義	対象国分類 (データ出典番号)
1	都市圏	N/A	核となる都市および、その影響を受ける地域をひとまとめた圏域であり、行政区分を越えた広域的な社会・経済的な繋がりを持った地域	Korea:(3), Japan:(3), Europe:(2), USA:(3), Developing countries:(3),
2	都市人口	人	都市圏に居住する人口数	Korea:(2), Japan:(2), Europe:(2), USA:(2), Developing countries:(2),
3	人口密度	人/ha	単位面積あたりの都市人口	Korea:(2), Japan:(2), Europe:(2), USA:(2), Developing countries:(2),
4	一人あたりGRDP	\$/人	都市圏の都市人口あたり GRDP	Korea:(4), Japan:(4), Europe:(2), USA:(5), Developing countries:(2),
5	乗用車保有台数	台/1000人	都市人口 1,000 人あたり登録乗用車両台数(3/4 輪車、営業用を含め、個人のトリップ目的に利用される乗用車とし、タクシーや公共交通車両は、含めない。)人口は、都市圏に居住する人口数とする。	Korea:(4), Japan:(4), Europe:(2), USA:(4), Developing countries:(2),
6	トリップあたり平均トリップ長	Km/トリップ	対象交通手段は、指標 8 でも述べられる、乗用車、バイク、タクシーまでを含むものとする。トリップ長は、発地-着地の直線距離ではなく、実際にトリップが行われた距離である。着地が都市圏外のものもトリップ対象として含まれる。	Korea:(3), Japan:(3), Europe:(2), USA:(3), Developing countries:(3),
7	一日平均トリップ数	トリップ/日/人	・都市圏における一人一日あたりのトリップ数 ・都市圏に居住し、満 5 歳以上の人の交通行動をトリップ対象とする。 ・トリップは、都市圏内の居住地をベースとし、都市圏内外に着地を持つものを 1 トリップとする。 ・トリップは、全ての交通手段によるものであり、トリップ目的は関係ない。 ・複数の交通手段(徒歩・自転車を含む)によるトリップについては、代表交通手段によるトリップとして数える。	Korea:(3), Japan:(3), Europe:(2), USA:(3), Developing countries:(3),
8	個人移動手段分担率	%	都市圏内総トリップ数あたり、個人交通手段によるトリップ数(番号 7)の割合 (i.e., 乗用車, バイク, タクシー)	Korea:(3), Japan:(3), Europe:(2), USA:(3), Developing countries:(3),
9	一人あたり年間交通エネルギー消費量	MJ/人	個人移動 (番号 8) 手段による一人あたり年間交通エネルギー消費量	Korea:(4), Japan:(4), Europe:(2), USA:(4), Developing countries:(2),

表-3 交通行動データの算出方法

交通行動データ	対象国分類 (サンプル都市数)	データ算定式	データ出典番号	NOTE
平均トリップ長 (km)	Korea (5)	$L_k = Avg_V_k \cdot Avg_D_k$	Avg_D _k : (3), Avg_V _k (4)	Sungnam は、Developing countries の算出方法に従う。
	Europe (14)	$L_k = Avg_L_k$	(2)	
	Japan (5) USA (14)	$L_k = \frac{\sum_i l_i^k}{Num.of\ total\ Trip_k}$	(3)	
	Developing countries(6)	$L_k = \frac{\sum_i d_i^k \cdot Avg_V_k}{Num.of\ total\ Trip_k}$	Avg_V _k : (2), (3)	
平均トリップ速度 (km/h)	Korea (5)	$V_k = Avg_L_k / Avg_D_k$	(4)	N/A
	Europe (14)		(2)	
	Japan (5) USA (14)	$V_k = \frac{\sum_i l_i^k / d_i^k}{Num.of\ total\ Trip_k}$	(3)	
	Developing countries(6)	Avg_V_k	(2)	
平均トリップ数 (トリップ/日/人)	Korea (5)	$T_k = \frac{\sum trip_k}{Num.of\ total\ population_k}$	(3)	N/A
	Europe (14)	$T_k = Avg_T_k$	(2)	
	Japan (5), USA (14)	$T_k = \frac{\sum_i trip_i^k}{Num.of\ total\ Trip_k}$	(3)	
	Developing countries(6)	$T_k = \frac{\sum_i trip_i^k}{Num.of\ total\ Trip_k}$	(3)	
個人移動手段分担率(%)	Korea (5)	$M_k^r = \frac{Num.of\ total\ trips\ on\ mode^k}{Num.of\ total\ trips\ in\ every\ modes}$	(3)	個人交通手段は、乗用車、バイク、(タクシーを含む)
	Europe (14)	$M_k^r = Avg_M_k^r$	(2)	
	Japan (5), USA (14)	$M_k^r = \frac{Num.of\ total\ trips\ on\ mode^k}{Num.of\ total\ trips\ in\ every\ modes}$	(3)	
	Developing countries(6)		(3)	

注釈: K = 都市 ($k=1, \dots, 122$), i = 個票 ($i=1, \dots, n$), l_i = 個票 i のトリップ長, d_i = 個票 i のトリップ時間, r = 代表交通手段 ($r=1, \dots, n$), L_k = 都市 k の平均トリップ長, V_k = 都市 k の平均トリップ速度, D_k = 都市 k の平均トリップ時間, T_k = 都市 k の平均トリップ数, M_k^r = 都市 k の個人交通手段の分担率

表-3では、上記のように、世界都市の交通統計データ収集において、各国におけるPTデータ不足やデータ様式の不整合などの問題に対応するため、交通行動が反映できる、交通特性データ算出方法を国ごとに採用している。

さらに、表-2のデータの定義と、表-3の算出方法により、世界各都市の、都市構造と個人交通行動を考慮した交通エネルギー消費量を表-4に示す。

5. 世界各都市の都市構造と交通特性の関連性と経済水準の違いからみた交通特性の違い

前章で構築したデータベースを基に、都市構造と交通特性および交通エネルギー消費量の関連性を見た上で、経済水準の違いがその関連性に及ぼす影響について分析する。本研究には、人口密度の高い都市から低い都市まで、異なる都市構造を持つ世界の都市が網羅的に収集されている。その結果、都市構造と交通特性、交通エネルギー消費の関連性は、都市構造の類似性によって、ある程度分類される。これは、Newman and Kenworthy³⁾やKenworthyら⁵⁾、高橋ら¹⁾によって明らかになってきたものであり、図-1のように、本研究の対象都市も、既存の研究と同じく、都市構造において世界的な地域分布を反映している。

世界44都市の都市構造と個人交通手段による分担率の関連性を図-1に示す。世界各都市の人口密度は、アメリカ(平均11.5人/ha)、ヨーロッパ(平均54.7人/ha)、アジア(平均75.8人/ha)の順に高くなり、人口密度が低い都市ほど個人交通手段による分担率が高くなっていることが分かる。特に、人口密度が低く、個人交通手段による分担率が高い都市には、アメリカの都市が多く、人口密度が高く、個人交通手段の分担率が低い都市は、日本や韓国のアジアの都市が多いことが分かる。

つづいて、同程度の人口密度の都市を対象に、経済水準の違いと個人交通手段による交通分担率の関連性をみると、ヨーロッパの都市では、人口密度が46.0人/ha程度の、London、Paris、Zurich、Helsinkiなどの経済水準が高い都市が(平均41,742\$/人)、同程度の人口密度(48.0人/ha)のValencia、Warsaw、Budapest、Pragueなど、経済水準が低い都市(平均11,586\$/人)よりも個人交通手段の分担率が高いことがわかる。これに関して、表-5にて乗用車の保有台数を経済水準で比べると、経済水準が高いほど、乗用車の保有台数が多いことが確認できる。次に、韓国、日本のアジア都市の場合、人口密度が101.4人/ha程度のOsaka、Tokyo、Nagoyaといった経済水準が高い日本の都市は、Pusan、Kwangju、Suwonといった相対的に経済水準の低い韓国の都市よりも個人交通手段による分担率が低いことがわかる。これは、人口密度が高いアジアの都市においては、経済水準が高い都市ほど、公共交通の整備

表-4 経済水準によって分類した世界各都市の個人の交通行動を考慮した交通エネルギー消費量

国	都市	GRDP (\$/人)	人口密度 (人/ha)	平均トリップ長 (km/トリップ)	個人交通手段分担率 (%)	一日平均トリップ数 (徒歩・自転車を除く) (トリップ/日)	交通エネルギー消費量 (MJ/人)
アジア地域(日本) GRDP 上位15%							
Japan	Osaka	79,573	124.3	13.8	28.2	2.20	7,244
Japan	Tokyo	72,619	146.1	14.4	12.3	2.18	3,694
Japan	Nagoya	54,184	73.6	8.2	39.3	2.44	6,449
Japan	Fukuoka	49,258	89.5	9.1	37.2	2.37	4,391
Japan	Hiroshima	41,868	73.2	10.3	46.5	2.47	8,163
アジア地域(韓国) GRDP 下位15%							
Korea	Pusan	13,086	38.5	15.0	33.9	2.32	11,883
Korea	Kwangju	12,776	28.1	15.5	37.9	2.13	12,046
Korea	Suwon	12,595	86.2	13.3	48.4	2.19	13,987
Korea	Daegu	11,201	28.6	15.4	44.6	2.21	14,322
Korea	Sungnam	10,550	70.1	11.4	42.1	2.36	12,316
ヨーロッパ地域 GRDP 上位15%							
Germany	Munich	45,800	52.2	15.0	35.5	2.30	17,996
Norway	Oslo	42,900	26.1	9.0	52.4	2.51	14,180
Switzerland	Zurich	41,600	44.5	11.8	48.2	2.37	15,529
Germany	Hamburg	38,800	33.9	10.0	49.4	2.39	15,796
France	Paris	37,200	40.5	8.2	56.3	1.84	11,760
Finland	Helsinki	36,500	44.0	8.2	42.0	2.41	9,813
UK	London	36,400	54.9	9.0	53.4	1.86	12,811
ヨーロッパ地域 GRDP 下位15%							
Czech Republic	Prague	15,100	44.0	8.0	43.7	2.96	10,789
Spain	Valencia	14,300	50.2	11.5	40.9	1.13	10,355
Poland	Warsaw	13,200	51.5	10.0	39.7	1.82	6,600
Greece	Athens	11,600	65.7	10.0	61.9	1.49	11,919
Spain	Seville	11,000	51.1	8.0	49.6	1.09	8,004
Hungary	Budapest	9,840	46.3	9.0	48.8	2.22	9,836
Russia	Moscow	6,060	161.0	12.0	31.9	2.07	10,626

国	都市	GRDP (\$/人)	人口密度 (人/ha)	平均トリップ長 (km/トリップ)	個人交通手段分担率 (%)	一日平均トリップ数 (徒歩・自転車を除く) (トリップ/日)	交通エネルギー消費量 (MJ/人)
アメリカ GRDP 上位15%							
USA	Charlotte	58,797	7.7	18.09	75.0	4.29	39,120
USA	San Francisco-Oakland	55,094	16.6	19.50	85.4	3.91	36,609
USA	Washington	53,667	14.3	22.34	82.6	3.65	39,097
USA	Boston	51,930	7.4	15.72	82.3	4.03	32,808
USA	Seattle	50,319	12.2	15.58	91.5	3.95	39,757
USA	Denver Aurora	49,076	16.2	19.15	86.5	4.21	35,844
USA	New York	48,566	14.5	15.23	77.3	3.72	21,488
アメリカ GRDP 下位15%							
USA	Oklahoma City	32,439	10.2	14.53	91.8	4.59	34,929
USA	Tampa-St. Petersburg	31,663	10.8	13.90	89.7	4.54	32,983
USA	Providence	30,340	9.6	18.98	89.1	4.20	32,667
USA	San Antonio	30,005	12.9	31.20	91.5	4.09	39,224
USA	Buffalo-Niagara Falls	28,301	11.9	14.37	86.3	4.11	27,266
USA	Jacksonville	25,901	9.3	16.09	84.5	4.17	51,049
USA	Hartford	17,419	7.3	17.49	87.8	4.24	31,371
開発途上国 GRDP 上位15%							
Brazil	Sao Paulo	6,420	85.8	9.1	50.0	1.12	6,642
Malaysia	Kuala Lumpur	4,816	57.2	9.8	45.2	2.55	20,504
Lebanon	Tripoli	3,990	87.1	9.5	72.4	2.11	12,541
開発途上国 GRDP 下位15%							
Nicaragua	Managua	620	90.4	12.6	36.3	2.13	10,558
Kenya	Nairobi	421	58.1	8.7	14.9	1.01	1,455
Cambodia	Phnom Penh	215	68.7	8.3	47.4	2.02	5,590

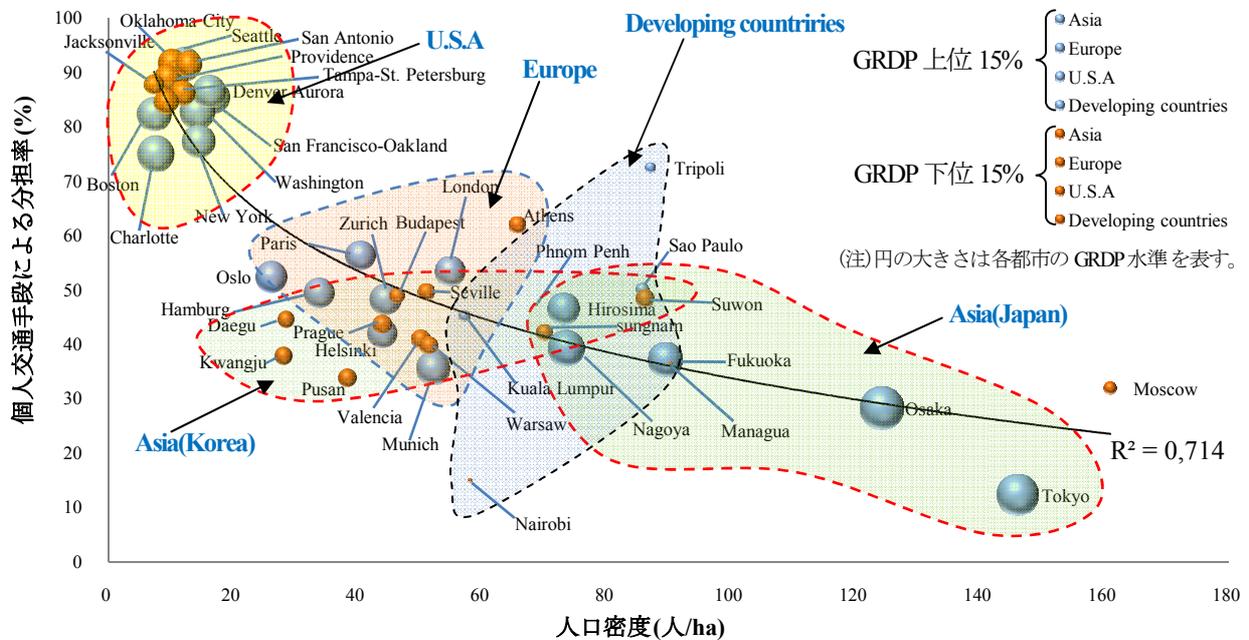


図-1 経済水準の違いによる都市構造と個人交通手段の分担率

表-5 経済水準による各対象国の乗用車保有台数

国	GRDP 上位 15%		GRDP 下位 15%	
	人口密度 (人/ha)	乗用車保有台数 (台/1,000人)	人口密度 (人/ha)	乗用車保有台数 (台/1,000人)
Asia	101.4	313	50.3	263
Europe	42.3	444	67.1	384
U.S.A	12.7	492	10.3	613
Developing countries	76.7	243	72.4	45
Average	51.0	402	45.9	383

や歩行者専用空間などの整備が充実していることが原因として考えられ、各国の交通手段分担率を示した表-6からも、公共交通や徒歩・自転車によるトリップが多いことがわかる。

一方、アメリカの都市をみると、都市間の分担率の差異はあまりみられないものの、経済水準が低い都市ほど分担率が高くなっていることがわかる。これは、アメリカの都市においては、表-6 で示すように、New York、Washington、Seattle、Boston等の経済水準が高い都市(平均52,493\$/人)ほど、公共交通(4.3%)や徒歩・自転車(10.9%)によるトリップが多いことをその原因として考えられる。つまり、人口密度が低いアメリカの都市では、経済水準が高い都市ほど、アジアの都市と同様に、公共交通や歩行者専用空間等の整備が充実していると考えられる。

最後に、開発途上国の都市の場合、人口密度が平均74.5人/haの同程度の都市構造を持っているが、Tripoli、Kuala Lumpurなど経済水準が高い都市(平均5,075\$/人)の方が、Managua、Nairobi、Phnom Penhといった経済水準が低い都市(平均419\$/人)よりも個人交通手段による交通分

担率が高くなっている。ここで、GRDPの値に着目すると、開発途上国の経済水準の高い都市におけるGRDPの伸び率をみると、日本やアメリカにおいてモータリゼーションが急激に発展した60年代と同様、91-95年の伸び率¹²⁾が35%に至ることから、開発途上国の都市で、経済水準の高い都市では、モータリゼーションの進展により、個人交通手段の分担率が高くなっていると考えられる。

以上より、経済水準の違いは、個人交通手段の依存度に影響を及ぼすものの、都市構造の違いによって、異なる傾向を示すことを明らかにした。人口密度が高く経済水準が高い都市では、公共交通や徒歩・自転車による分担率が比較的高く表れているが、人口密度が高い開発途上国の都市では、過去の先進国のモータリゼーションの進展時と同じく、個人交通手段による分担率が高くなっていることを確認した。

次に、図-2に、各国の都市の経済水準の違いにおける人口密度と徒歩・自転車を除いた一日一人当たりの平均トリップ数の関連性について示している。ここでは、人口密度が高くなるほど一人当たりの一日平均トリップ数が減少していくことがみられる。各国の都市を経済水準で分類した都市分布をみると、まず、アメリカ都市の平均トリップ数(4.3トリップ/日)は、ヨーロッパ(2.7トリップ/日)やアジア(日本・韓国)都市(2.3トリップ/日)の約1.5倍にも達しており、他地域に比べて非常に高いことが分かる。アメリカのように人口密度が低い都市では、自由に移動できる個人移動手段の確保が必要となるため、必然的に個人移動手段による分担率が高くなると思われる。

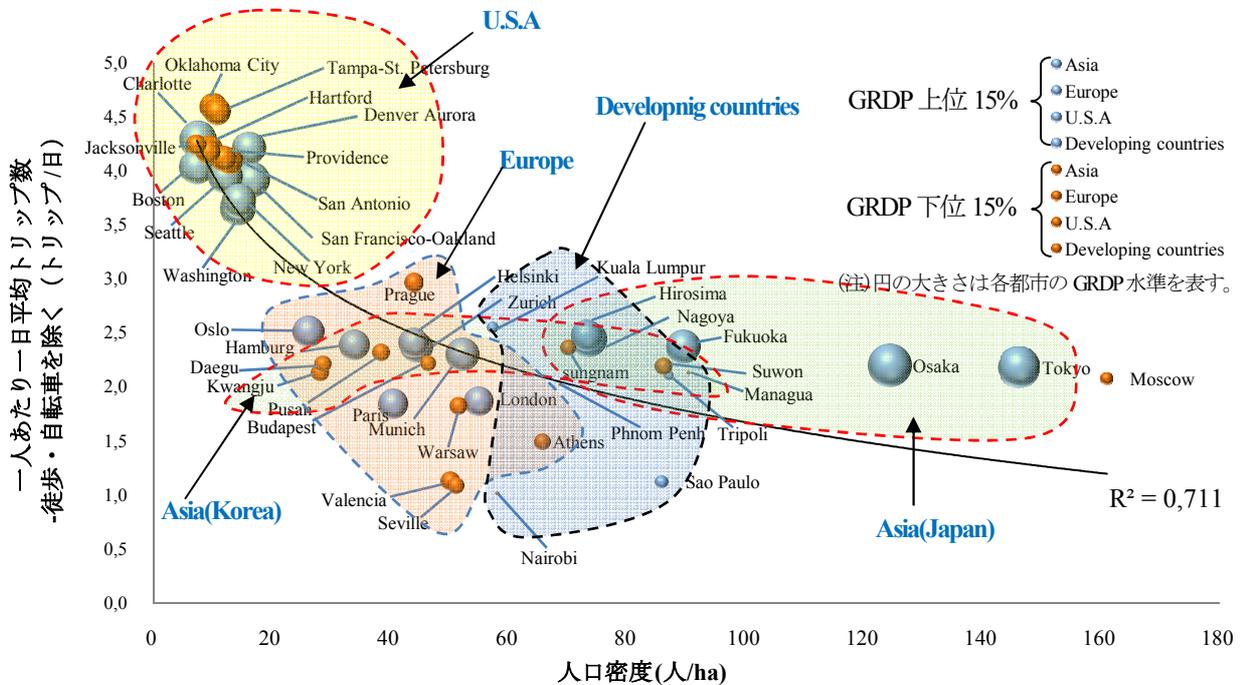


図-2 経済水準の違いによる都市構造と一日平均トリップ数

表-6 経済水準による各対象国の交通手段分担率

国	分担率 (%)	GRDP上位15%			GRDP下位15%		
		個人交通手段	公共交通	徒歩・自転車	個人交通手段	公共交通	徒歩・自転車
Asia	32.7	25.0	42.3	41.4	28.6	30.0	
Europe	47.6	25.0	27.1	50.3	16.4	33.3	
U.S.A	84.9	4.3	10.9	90.0	2.6	7.5	
Developing countries	55.9	18.7	25.4	32.9	47.7	19.4	
Average	56.8	18.0	25.3	56.5	19.4	24.1	

また、表-8で分かるように、アメリカのような私的目的のトリップが活発な都市では、人口密度が低い都市のインフラストラクチャが、交通トリップをより発生させるのではないかと考えられる。一方、図-2では、経済水準が高いアメリカの都市ほど、徒歩・自転車を除いた、一日平均トリップが多いことが分かる。これは、図-1と同じく、経済水準が高い都市ほど、歩行者専用空間などがより整備されていることが、その原因ではないかと考えられる。

次にヨーロッパの都市の場合、表-7で示すように、Munich、Oslo、Zurich、Hamburg、Helsinki等の経済水準が高い都市ほど、平均トリップ数が多いことがわかる。ヨーロッパの都市の都市構造は、Moscowの161人/haを除くと、平均46.5人/haの同程度の人口密度をもっているが、ここでひとつ考えられる点としては、経済水準が高い都市ほど、私的トリップなどの外出機会が多くなり、トリップが多数発生しているのではないかと推測できる。次に、韓国、日本のアジアの都市では、経済水準の違いと一日平均トリップ数との関連が明確にはみられない。ただし、人口密度が低い韓国の対象都市では、

表-7 経済水準による各対象国の人口密度とトリップ数

国	都市構造、トリップ数	GRDP上位15%		GRDP下位15%	
		人口密度 (人/ha)	平均トリップ数 (徒歩・自転車を除く)	人口密度 (人/ha)	平均トリップ数 (徒歩・自転車を除く)
Asia		101.4	2.33	50.3	2.24
Europe		42.3	2.24	67.1	1.83
U.S.A		12.7	3.97	10.3	4.28
Developing countries		76.7	1.93	72.4	1.72
Average		51.0	2.77	45.9	2.69

表-8 経済水準による各対象国のトリップ目的

国	トリップ目的 (%)	GRDP上位15%		GRDP下位15%	
		Working	Private	Working	Private
Asia		28.2	39.4	23.4	25.2
Europe		—	—	—	—
U.S.A		5.7	71.4	5.1	70.6
Developing countries		24.4	18.1	17.5	13.8
Average		19.4	43.0	15.3	36.5

(注) Working トリップは、通勤、Private トリップは、観光、娯楽、レジャー、食事、ショッピング、などの私的トリップである。

人口密度が高い日本の都市よりトリップ数が若干少ない。これは、アメリカの都市とは相反する結果であるが、経済水準が低い韓国の都市では、乗用車の保有台数が比較的少ないことから、トリップ数に小さな差が表れたと考えられる。

最後に、開発途上国の都市の場合、同程度の人口密度(74.5人/ha)をもつ、Sao Paulo、Kuala Lumpur、Tripoli等の都市は、経済水準の違いによりトリップ数に違いがみられる。表-5、表-6、表-7で示すように、開発途上国の都市では、経済水準が高い都市ほど、乗用車の

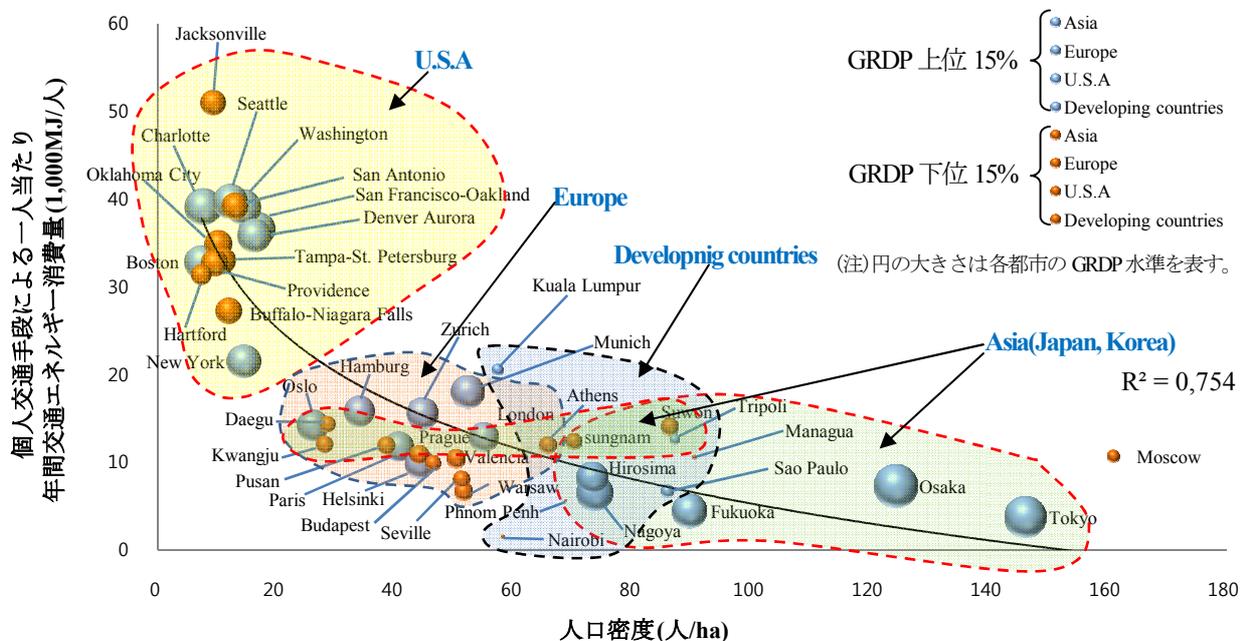


図-3 経済水準の違いによる都市構造と交通エネルギー消費

所有が多く、WorkingやPrivate目的のトリップ割合が多い。つまり、経済が発展している開発途上国では、経済水準が高い都市ほど、個人交通手段への依存度が高く表れ、交通手段による私的目的のトリップがより活発に行われているものと考えられる。

次に図-3に、対象都市の人口密度と一人当たりの交通エネルギー消費量の関連性を示す。Newman and Kenworthy³⁴⁾やKenworthyら⁵⁾の知見と同様、人口密度が高くなるにつれて、個人交通手段による交通エネルギー消費量が低くなっていることが確認できる。

都市群に着目すると、同程度の人口密度(11.5人/ha)をもつアメリカの都市の交通エネルギー消費量は、他の地域群よりも高い値を示す(33,651MJ/人)。経済水準の違いに着目すると、都市間の交通エネルギー消費量の差異はあまり見られない。ただし、New Yorkに限っては、アメリカの他の都市と比べ、交通エネルギー消費量が低く現れていることがわかる。New Yorkの平均トリップ数は、アメリカの都市内で最も少なく(3.81トリップ/日)、平均トリップ長(15.2km/トリップ)も他の都市と比べて短い。また、公共交通の分担率がアメリカの都市内でも高い(7.2%)など、公共交通トリップ分散されることによって、個人交通手段の交通エネルギー消費量がアメリカの中でも比較的少ないのではないかと考えられる。

続いて、ヨーロッパ都市の場合、交通エネルギー消費量は、Munich、Zurich、Oslo、Hamburg等の経済水準が高い都市ほど、交通エネルギー消費量が多いことが確認できる(13,984MJ/人)。ヨーロッパの都市は、同程度の人口密度をもっているが、図-1、図-2に示されるように、経済水準が高いほど、個人交通手段による分担率が高く、平均トリップ数が

多いことなど、自動車による外出機会が多いことがその原因であると思われる。

次に、アジアの都市の場合、経済水準が高い日本の都市は、他の地域群より人口密度が高い都市が多く、交通エネルギー消費量が少ないことが分かる(5,988MJ/人)。これには、個人移動手段による分担率も少なく、徒歩・自転車によるトリップが多いことなど、個人交通手段による依存度が比較的低いことがその原因として考えられる。

一方、経済水準が低い韓国の都市においては、公共交通の分担率には大きな差はみられないが、日本の経済水準が高い都市より人口密度が低く、個人移動手段による分担率が高いことによって、交通エネルギー消費量が比較的高く表れたと考えられる。

最後に、開発途上国の都市は、同程度の人口密度の都市構造ではあるが、経済水準が高い都市ほど、交通エネルギー消費量が多いことがわかる。開発途上国の都市の場合、図-1、表-7で示すように、経済水準が高い都市ほど、個人交通手段による交通手段分担率が高く、私的目的のトリップが多く行われていて、より活発な交通行動が行われていることから、経済水準の違いによって交通エネルギー消費量に差異が生じると考えられる。

図-1、図-2、図-3の結果を通じ、個人交通手段の手段分担率、トリップ数、交通エネルギー消費量は、人口密度の違いだけではなく、経済水準の違いによって異なることが確認できた。本研究を通じ、都市の経済水準の違いは、個人交通手段から公共交通まで、都市の交通モビリティがどれほど確保できているかを判断する際の基準として、そして、人口密度で表すことができる都市構造は、個人交通手段の交通分担率がどれほど高く、交通手段によるトリップの発生度合いや平均トリップ長の程度等を

判断する際の基準として評価できると考えられる。

6. おわりに

本研究では、経済水準の異なる世界44都市を対象に、一人あたりのGRDPによって都市を分類し、PTデータや交通統計データを収集した上で、個人の交通行動を考慮した交通エネルギー消費量を算定し、交通エネルギー消費量に関する世界都市の交通特性データベースを構築し、経済水準の違いによる、都市構造と交通特性(個人交通手段の交通分担率、一日平均トリップ数)および交通エネルギー消費との関連性について分析した。

その結果、同程度の人口密度を持つ類似した都市構造の都市であっても、経済水準の違いによって、都市の交通行動や交通エネルギー消費に違いが生じていることを明らかにした。

経済水準の高い都市では、平均家計所得が比較的高いと思われることから、乗用車の平均保有台数が比較的多く(402台/1000人)、個人交通行動が容易な個人交通手段による平均トリップが増加する(2.77トリップ/日)。また、都市経済水準は、公共交通の整備状況にも影響するため、経済水準の高い都市ほど公共交通での平均分担率が大きい(18.0%)ことを明らかにした。

さらに、PTデータを用いることで、個々人の交通特性(平均トリップ長、平均トリップ速度、交通手段分担率等)を把握し、その結果を交通エネルギー消費量の算定に適用できたため、今後、交通エネルギー消費削減のために、都市内の各個人の交通特性ををどのようにコントロールしていくべきであるかについて考察できると考えられる。

付録

- (1) KTDB: Korean Transport Database, JICA: Japan International Cooperation Agency, UITP: International Association of Public Transportation, FHWA: Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation
- (2) Korea: Population and housing census(2005)Korea National Wealthy Asian: Periodic surveys(censuses, mobility studies) of International Association of (UITP)2001, countries: The study on master plan for urban transport in the metropolitan area-(Cairo, Tripoli,(2001); Phnom Penh, Belem, Chengdu, Jakarta, Kuala Lumpur(2000); Damascus, Managua(1998); Manila(1997); Bucharest(1999); Lima, Hanoi(2005); Ho Chi Minh(2003); Nairobi(2004))
- (3) Korea: Household Travel Survey((2005)-Inchon, Suwon, Sungnam (2006)), Japan: The Nationwide Person Trip Survey(2005), U.S.A: NHTS(National Household Travel Survey. 2001), Developing countries: Household Interview Survey of each country-(Cairo, Tripoli,(2001); Phnom Penh, Belem, Chengdu, Jakarta, Kuala Lumpur(2000); Damascus, Managua(1998); Manila(1997); Bucharest(1999); Lima, Hanoi(2005); Ho Chi Minh(2003); Nairobi(2004))
- (4) Korea: The Statistics Report of each city(2005), Japan: The Statistics Report of each city(2005), U.S.A: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration,

Highway Statistics 2001

- (5) U.S.A: Regional Economic Accounts Bureau of Economic Analysis U.S. Department of Commerce
- (6) 本研究で対象とする個人交通手段は、すべてガソリン車両と仮定する。
- (7) 本研究では、バイクの走行速度別燃料消費量を、乗用車の1/2と仮定する。

参考文献

- 1) 松橋啓介, 後藤祐揮, 上岡直見, 森口祐一: 市区町村の運輸部門CO2排出量の推計手法に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol.32, pp.235-242, 2004.
- 2) Coevering, P.V., and Schwanen, T.: Re-evaluating the impact of urban form on travel patterns in Europe and North-America, *Transport Policy*, Vol. 13, pp.229-239, 2006.
- 3) Newman, P. W.G., and Kenworthy, J. R.: Gasoline consumption and cities. A comparison of US cities in a global survey, *Journal of the American Planning Association*, Vol. 55, pp.24-36, 1989.
- 4) Newman, P.W.G., and Kenworthy, J.R.: *An international sourcebook*, Avebury Technical, Aldershot, 1989.
- 5) Kenworthy, J.R., and Laube, F.B.: Patterns of automobile dependence in cities: an international overview of key physical and economic dimensions with some implications for urban policy, *Transportation Research Part A*, Vol. 33, pp.691-723, 1999.
- 6) Jakapong, P., and Chumnong, S.: Relationship between level of economic development and motorcycle and car ownerships and their impacts on fuel consumption and greenhouse gas emission in Thailand, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, pp.2966-2975, 2010.
- 7) Kenworthy, J.R., Laube, F.B., Newman, P.W.G., Bater, P.A., Raad, T., Poboorn, C., and Guia, B.: *An International Sourcebook of Automobile Dependence in cities 1960-1990*, University Press of Colorado, Boulder, Co., 1999.
- 8) 森本章倫: 交通環境負荷とコンパクトシティに関する研究動向と課題, 土木計画学研究講演集, No.25, 2002.
- 9) 大城温, 松下雅行, 並河良治, 大西博文: 自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係, 土木技術資料, Vol.43, No.11, pp.50-55, 2001.
- 10) 森本章倫・古池弘隆: 都市構造が運輸エネルギーに及ぼす影響に関する研究, 都市計画論文集, No.30, pp.685-690, 1995.
- 11) 高橋清, 志鎌隆: モビリティから見た北海道と欧州の都市構造の比較分析に関する研究, 都市計画論文集, No. 45-3, pp.157-162, 2010.
- 12) 中村英夫, 林良嗣, 宮本和明: Urban transport and the environment, 都市交通と環境—課題と政策, 運輸政策研究機構, 2004. .