

外出活動と都道府県特性を考慮した 部門別エネルギー消費原単位に関する分析

桑野 将司¹・塚井 誠人²

¹正会員 鳥取大学大学院准教授 工学研究科社会基盤工学専攻 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101)
E-mail: kuwano@sse.tottori-u.ac.jp

²正会員 広島大学大学院准教授 工学研究院社会環境空間部門 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1)
E-mail: mtukai@hiroshima-u.ac.jp

本研究では、過去4時点に渡って実施された都道府県単位の社会生活基本調査を用いて、外出活動特性と都市特性が、家庭・業務・乗用車の部門別エネルギー消費原単位に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。共分散構造分析を用いて、家庭・業務・乗用車の部門別エネルギー消費原単位に影響を及ぼす要因を分析したところ、家庭エネルギー消費原単位の低減には温暖少雨な自然環境の影響が大きく、業務エネルギー消費原単位と乗用車エネルギー消費原単位の低減には外出活動の時間的集約性の影響が大きいたことが明らかとなった。また、部門別エネルギー消費原単位低減のためには、外出活動の時間的集約性を高めることが有効であるが、外出活動の時間的集約性と都市の空間的集約性はトレードオフの関係にあり、外出活動の時間的集約性を高めると1人当たりの県内総生産が低下することが明らかとなった。

Key Words : *out-home activity, local characteristics, sector energy consumption*

1. はじめに

近年、少子高齢化、通信インフラの整備などを背景にして、働き方や生活パターンなどのライフスタイルの多様化が進行し、人々の外出活動の時間帯が分散する傾向にある。一方でサービスの供給側では小売店、飲食店、娯楽施設などの商業施設の店舗数が増加すると共に、営業時間は延長、もしくは24時間化される傾向がある。これらはいずれも、都市施設の運営に要するエネルギー消費量の増加をもたらし、1人当たりエネルギー効率の低下につながると考えられる。一方、家庭においては、生活水準の向上や、夜型のライフスタイルの浸透によって集約的なエネルギー消費が行われなくなり、1人当たりのエネルギー効率が低下している。交通に関しては、交通網の整備や乗用車の保有率の増加によってモビリティが改善されているが、個別ニーズに対応した移動需要の増加によって、1人あたりエネルギー効率は低下する傾向がある。

都市における1人当たりのエネルギー効率を上げるため、これまで、主にコンパクトシティ政策など都市の空間的集約性を高める政策が検討されてきた。しかしながら、これまでの研究では人々の外出時間帯に着目した議

論はほとんど行われておらず、外出活動の時間的集約性と1人当たりのエネルギー効率の関係は、著者らの知る限り未だ議論がなされていない。しかしその一方で、環境負荷の小さい都市を目指すために都市の空間的集約性を高めると、外出時間帯が多様になる、あるいはサービス供給が24時間化するなどの効果が卓越すれば、結果的にエネルギー消費量が増加する可能性がある。コンパクトシティ政策を着実にエネルギー消費量の低下に結びつけるためには、自然環境や人口構成などの都市特性、および都市の空間的集約性と部門別エネルギー消費量の関係について分析を行うばかりではなく、外出活動の時間的集約性にも着目した分析を行い、それらの総合的な効果に関して十分な検証を行う必要がある。なお以下では、1人あたりエネルギー効率を、エネルギー消費原単位と呼ぶ。

本研究では、社会生活基本調査¹⁾を用いて時間帯別外出者割合の算出を行い、都道府県別、時点別の外出活動時間帯の実態を把握する。次に算出した外出活動特性と都道府県別の自然環境や施設立地状況、人口構成などの都市特性を用いて、業務・家庭・交通の各部門におけるエネルギー消費原単位への影響要因を明らかにする。

2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

都市の空間的な集約性が環境負荷低減に寄与するか否かについては、土地利用規制、後に主にコンパクトシティ論の観点から分析が行われてきた。林ら²⁾は1人当たりの交通エネルギー消費量および単位面積あたりの交通エネルギー消費量について、都市形態および都市交通手段に着目して都市間比較を行った。その結果、人口密度の上昇は1人当たりのエネルギー消費量を低下させる一方で、単位面積あたりの交通エネルギー消費量が増大し、局地的な環境負荷が悪化することを指摘した。すなわち、必ずしも人口密度の上昇が環境負荷の低減に繋がらないことを示唆している。小根山ら³⁾は交通機関別のCO₂排出量を試算し、環境負荷と都市構造・交通体系の関係について検証を行った。その結果、都市面積が大きいと都市内における1トリップ当たりの移動距離が長くなるため、1人当たりのCO₂排出量が大きくなることを示し、環境負荷の小さい都市構造のためには都市活動の集中、土地利用の適正配置、自動車交通から環境負荷の小さい交通機関への転換が重要であることを示した。また、中井ら⁴⁾は民生部門の電気消費量と運輸部門のエネルギー消費量をそれぞれ推計し、居住形態や家族形態の視点から、コンパクト化によるエネルギー消費量の低減効果を算出している。その結果、郊外の戸建住宅にする単身・夫婦世帯を都心部の集合住宅に移住させ、核家族化を抑制することがエネルギー消費量の削減に有効であることを定量的に示した。

以上のように、既往研究において、都市の空間的集約性が部門別エネルギー消費量に及ぼす影響に着目した分析の蓄積は多い。しかしその多くは、ある特定の部門に着目しているか、複数部門のエネルギー消費量を扱う場合であってもそれらを独立に扱っており、部門間のトレードオフや各部門の消費効率に着目した研究は少ない。社会全体の環境負荷低減を考えるためには、民生部門、産業部門、運輸部門など複数部門を対象として、エネルギー消費にそれぞれどのように影響を及ぼし、どのようなトレードオフが見られるかを、同時に分析する必要がある。例えば、都市のコンパクト化により、住民の移動距離が減少し、乗用車部門で1人当たりのエネルギー消費量が減少しても、他方で家庭部門における1人当たりのエネルギー消費量が大幅に増加すれば、都市のコンパクト化は社会全体ではエネルギー効率に負の影響を与える。そこでエネルギー消費量に影響を与える要因を各部門同時に、かつ定量的に分析を行うことによって、エネルギー消費量に影響を与える要因と、それらの弾性値を明らかにすることが重要である。

また既往研究の多くは、主にコンパクトシティ政策など都市の空間的集約性を高める政策実施による影響を分

析しており、それらの研究では、都市の空間的集約性の改善は、特に交通部門の1人当たりのエネルギー効率の改善に資することが示されている。しかし、都市のコンパクト化は公共交通網の発達や商業施設を都心部に集約させる必要があるため、多大なコストを要するばかりでなく、整備完了までに長期間を要し、実現が難しい。一方、各市町村の生活活動の時間的集約を行う政策は、サービスの提供時間に関する営業時間規制等によって実現できるため、施設整備は不要である。ただし同政策が社会的に同意されるためには、そもそも時間的集約性が1人当たりのエネルギー消費量の低減につながるか否かの検証が必要である。そこで本研究では、「都市の時間的集約性を高めるとエネルギー消費原単位が低下する」という研究仮説の検証を行う。

なお既往研究より、エネルギー消費原単位は都市の空間的集約性や地域特性にも大きく影響されることは明らかである。よって以下の分析では、データの入手可能性も考慮して、都道府県を単位とした全国の長期にわたるエネルギー消費に影響する要因を明らかにする。

分析手順の概略は以下の通りである。まず社会生活基本調査を用いて外出活動の時間的集約性、都市の空間的集約性、及び自然環境や人口構成などの都市特性を算出し、これらと各部門のエネルギー消費原単位への影響要因を表現した統計モデルの推定を行う。なお本研究では、人々の生活活動に着目するため、民生部門、産業部門、運輸部門のうち、生活活動にエネルギー消費量が影響を受けると考えられる、民生家計部門、民生業務他部門、家計乗用車部門に着目する。

3. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

(1) 使用データの概要

社会生活基本調査の概要を表-1に示す。社会生活基本調査は全都道府県を対象に5年毎に行われ、昭和51年の第1回調査以来、平成18年まで累計7回実施されている。調査期間は、10月中に設定される9日間のうち、連続する2日間である。すなわち、調査は必ずしも全国一斉に実施されるわけではなく、調査区ごとに実施期間は異なる。なお調査対象区域は、全国で約6700区設定されている。調査対象世帯は、調査区別に無作為抽出され、その総数は全国で約8~10万世帯である。調査対象年齢は昭和61年、平成3年の調査では15歳以上、また平成8年、平成13年、平成18年の調査では10歳以上である。なお本調査では、サンプルの詳細な調査区に関する情報は2005年を除いて秘匿されている。よって、所在地に関する分析は、都道府県単位で行う。なおサンプルは各都道府県の人口や性別比、年齢構成比と一致するように、補正係数

を用いて拡大されている。

時間利用に関する調査方式は、昭和51年から平成8年の第1～5回調査までとそれ以降で、異なっている。1日における15分毎の時間帯について回答欄を設け、調査票の回答欄に予め活動の分類を設けて質問する、調査Aが用いられていた。なお、調査Aの調査人数は1時点当たり約20～25万人である。上述の方式に加えて、平成13年から、活動の生活時間配分、およびその内容について詳細な結果を得るために、記入者自身が生活時間を日誌のように記入する調査Bが、新たに導入された。なお、調査Bは、各時点で約1万人のサンプルしか得られていないため、都道府県間比較を行うことが難しい。そこで本研究では、調査時点数と調査人数が多い、調査Aの個票データを用いる。

表-1 社会生活基本調査の概要

調査名	社会生活基本調査
実施機関	総務省統計局
目的	国民の社会生活の実態に関する基礎資料を得ること
調査年	昭和 51, 56, 61 年 平成 3, 8, 13, 18 年
サンプル数	約 20～25 万人×連続した 2 日間
調査方法	訪問配布・訪問回収

(2) 自宅内活動・自宅外活動の分類基準の設定

調査Aの調査事項には、時間帯別の活動内容は含まれているが、活動場所は含まれていない。すなわち各活動が自宅内、自宅外のどちらで行われたかについて、データは得られない。そこで、各時間帯の活動内容やその同時活動者から、各活動が外出活動か否かを判定する基準を設定し、時間帯別に活動場所を自宅内か自宅外かの情報を付加した。分類手順の概略を以下に示す。

<手順1> 表-2に従って、プリコードされた20種類の活動をA) 自宅内、B) 自宅外、C)調査項目により判別、D)同時活動者より判別、E)どちらにも分類できない、の5種類に分類する。なお、各分類の活動時間が1日に占める平均割合は、分類Aが56.2%、分類Bが7.5%、分類Cが12.4%、分類Dが9.5%、分類Eが14.5%であった。

<手順2> 分類C)について、「仕事」は通勤時間が0分なら自宅内、通勤時間が0分でない場合、同時活動者が家族であった場合は自宅内活動、それ以外は自宅外活動とした。なお介護のみ、自宅内・自宅外の区別を記入する欄が設定されている。ただし、この項目は両方同時に回答できるため、「自宅外」の項目のみ記入した人の「介護」を自宅外活動とみなし、それ以外の「介護」は自宅内活動とした。

<手順3> 分類D)については、同時活動者により判別を行った。具体的には一緒にいた人が学校・職場の人であれば自宅外活動、それ以外は分類E)とした。

<手順4> 分類E)については、確定的な分類が難しいため、0.5人が自宅内活動を行い、0.5人が自宅外活動を行っているものとした。

表-2 自宅内・自宅外の分類基準

A)自宅内	睡眠、身の回りの用事、家事、介護、テレビ・ラジオ・新聞・雑誌
B)自宅外	通勤・通学、買物、移動（通勤・通学を除く）、スポーツ、ボランティア活動・社会参加活動
C)調査項目より判別	仕事、介護
D)同時活動者より判別	食事、学業、学習・研究（学業以外）
E)どちらにも分類できない	育児、休養・くつろぎ、趣味・娯楽、交際・つきあい、受診・療養、その他

(3) 時間利用構造の定義

活動時間帯を t 、時点 y 、個人を i とする。時点 y の都道府県 j_y における人口を N^{j_y} 、サンプルに付与される観測可能な個人属性に基づいて、各都道府県別に算出された拡大係数の総和によって得られる各時間帯の外出者数を $m_i^{j_y}$ とすると、各時間帯における都道府県 j_y の外出者割合 $P_t^{j_y}$ は式(1)より算出される。

$$P_t^{j_y} = \sum_{i \in j_y} m_i^{j_y} / N^{j_y} \quad (1)$$

なお社会生活基本調査の時間帯 t の定義は、0～24 時を 15 分単位で分割しており、 $t=1, \dots, 96$ である。本研究では、全時間帯にわたって連ねた $P_t^{j_y}$ を時間利用構造と呼ぶ。図-1 に、(1)式で算出される時間利用構造を、平成 18 年の東京を例に示す。

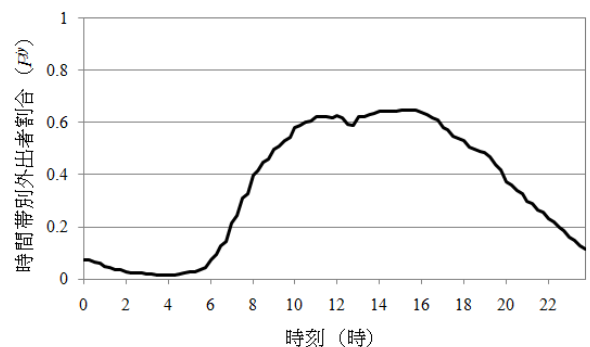


図-1 時間利用構造 (平成 18 年, 東京)

(4) 時間利用特性の算出

式(1)で定義した時間利用構造は、時点別、都市別に96の要素を含むベクトルであり、情報量が多すぎるため扱いにくい。これに代えて外出活動特性を端的に表す指標を用いるため、以下の分析では、最小二乗法によって時間利用構造を台形近似する。台形は、下底のみ時間軸に接するという制約条件を設定する。この近似によって得られる台形の頂点や斜辺から、それぞれ1日の外出活動の外出活動開始時刻、外出活動終了時刻、外出開始時刻集中度、外出終了時刻集中度、日中平均外出者割合を算出することとして、都道府県別の外出活動特性の縮約を試みる。

時間帯別外出者割合 P_t^{jy} の座標を (x_t^{jy}, y_t^{jy}) とする。なお、以下簡単のため、特に支障のない限り添字 t, y, j を省略する。次に、図-2 に示す台形の頂点を、それぞれ点 $A(x_a, y_a)$ 、点 $B(x_b, y_b)$ 、点 $C(x_c, y_c)$ 、点 $D(x_d, y_d)$ とする。

$$\text{台形条件: } \begin{cases} y_a = y_d = 0 \\ y_b = y_c \end{cases} \quad (2)$$

を考慮すると、台形の頂点はそれぞれ点 $A(x_a, 0)$ 、点 $B(x_b, y_b)$ 、点 $C(x_c, y_b)$ 、点 $D(x_d, 0)$ となる。線分 $D_1(AD)$ 、 $L_1(AB)$ 、 $D_2(BC)$ 、 $L_2(CD)$ はそれぞれ式(3)~(6)で表される。

$$y = 0 \quad (x_d < x < x_a) \quad (3)$$

$$y = y_b(x - x_a)/(x_b - x_a) \quad (x_a \leq x < x_b) \quad (4)$$

$$y = y_b \quad (x_b \leq x < x_c) \quad (5)$$

$$y = y_b(x - x_d)/(x_c - x_d) \quad (x_c \leq x < x_d) \quad (6)$$

それぞれ条件に合う範囲の x_i を D_1, L_1, D_2, L_2 に代入したときの y の予測値を \hat{y}_i とする。さらに対象都道府県の近似台形の面積は時間帯別外出者割合 y_i の積分値に等しいとする。すなわち、

等面積条件:

$$\{(x_d - x_a) + (x_c - x_b)\} \frac{y_b}{2} = \sum_{i=1}^{96} y_i \quad (7)$$

を制約条件として加える。以上より y_i と \hat{y}_i の誤差二乗和 $E = \sum_{i=1}^{96} (y_i - \hat{y}_i)^2$ が最小となる x_a, x_b, x_c, x_d, y_b を最小二乗法によって求める。得られた台形情報 x_a, x_b, x_c, x_d, y_b を用いて、外出活動開始時刻、外出活動終了時刻、外出開始時刻集中度、外出終了時刻集中度、日中外出者割合の5外出活動特性を、それぞれ以下に示す式(8)~(12)によって求める。

$$\text{外出活動開始時刻: } x_a \quad (8)$$

$$\text{外出活動終了時刻: } x_d \quad (9)$$

$$\text{外出開始時刻集中度: } y_b / (x_b - x_a) \quad (10)$$

$$\text{外出終了時刻集中度: } y_b / (x_d - x_c) \quad (11)$$

$$\text{日中平均外出者割合: } y_b \quad (12)$$

以上の5指標を時間利用特性と呼び、時点 t 、都市別に算出して、時間利用構造を表す指標として用いる。なお、1日当たりの平均外出時間長は、式(8)~(12)の5指標が定まれば、台形の面積から算出可能であるため、時間利用構造を表わす指標からは除外することとする。

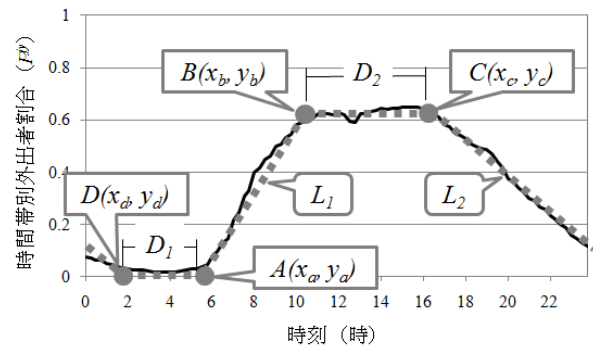


図-2 時間利用構造の台形近似
(台形の頂点と線分の定義)

(5) 時間利用構造の基礎集計分析

(a) 時間利用構造の時点間比較

外出活動特性の時点間比較を行う。時間利用構造の台形当てはめを行った結果を図-3に示し、算出した時間利用特性を表-3に示す。なお、表-3には、5種類の時間利用特性から算出される1日当たりの平均外出時間長も記している。なお点A、Dの定義、ならびに等面積条件(7)より、外出活動開始・終了時刻は、それぞれ最も早い外出時刻と、最も遅い帰宅時刻の都道府県平均値を表す点に注意を要する。

表-3より、平成8年の外出開始時刻が最も遅く、それ以降は早まる傾向にあることが分かる。一方、外出終了時刻は平成3年以降、経年的に遅くなる傾向がある。また、外出開始時刻集中度は経年的に低下しており、外出終了時刻集中度および日中外出者割合は、平成13年から平成18年にかけてわずかに増加しているものの、ともに全体的に低下傾向が見られる。これらより、人々の外出時間帯は経年的にばらつく傾向があり、特に外出終了時刻は遅くなっていることがわかる。

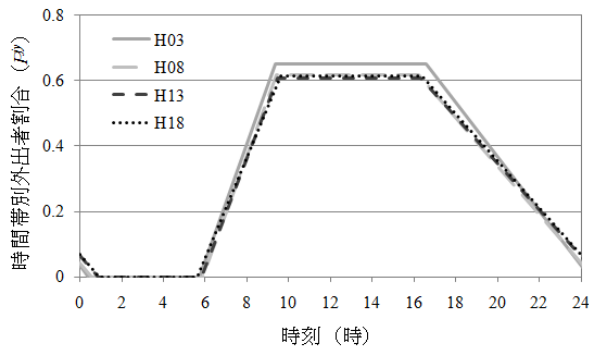


図-3 時点別の時間利用構造の比較

表-3 時点別の時間利用特性の比較

	H03	H08	H13	H18
開始時刻	5:43	5:51	5:49	5:36
終了時刻	24:24	24:34	24:53	24:56
開始時刻集中度	0.178	0.174	0.167	0.153
終了時刻集中度	0.083	0.074	0.071	0.072
日中外出者割合	0.651	0.617	0.608	0.614
平均外出時間長	8:26	7:53	7:52	8:03

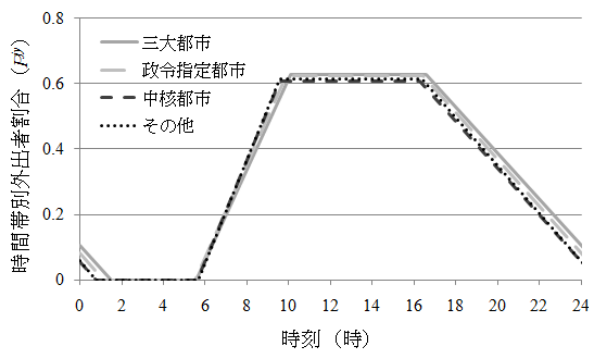


図-4 人口規模別の時間利用構造の比較

表-4 人口規模別の時間利用構造の比較

	三大都市 ^{a)}	政令指定都市 ^{b)}	中核都市 ^{c)}	その他 ^{d)}
開始時刻	5:33	5:28	5:35	5:39
終了時刻	25:30	25:08	24:47	24:48
開始時刻集中度	0.139	0.142	0.154	0.158
終了時刻集中度	0.070	0.072	0.072	0.073
日中外出者割合	0.629	0.624	0.608	0.614
平均外出時間長	8:19	8:10	7:53	7:58

- a) 三大都市(東京都区部・大阪市・名古屋市を含む都道府県)
 b) 人口 50 万人を超える政令指定都市を含む都道府県
 c) 人口 30 万人を超える中核市を含む都道府県
 d) それ以外の都道府県

(b) 時間利用構造の都道府県比較

外出活動特性の都市間比較を行う。しかし、都道府県は 47 県あり、全ての都道府県間で比較を行うと結果が複雑となるため、ここでは平成 18 年のみを対象に、都道府県を人口規模別に分類し、その平均値によって比較を行う。分類は三大都市（東京都区部・大阪市・名古屋市）を含む都道府県、人口 50 万人を超える政令指定都市を含む都道府県、人口 30 万人を超える中核市を含む都道府県、それ以外の都道府県に分類した。人口規模別の時間利用構造を図-4 に、人口規模別の時間利用特性を表-4 に示す。

表-4 より、外出開始時刻には人口規模による大きな差は見られない。しかし、外出終了時刻と外出開始時刻集中度は、人口規模が大きくなるほど低く、また外出活動終了時刻は遅い傾向が見られた。人々の外出開始と終了の時間帯が分散していることから、人口規模が大きいほど夜型のライフスタイルを取る人が多いと考えられる。

4. 部門別エネルギー消費量の推移

(1) 使用データの概要

本章で用いるエネルギー消費量データは、経済産業研究所が実施した都道府県別エネルギー消費統計⁵⁾である。このデータは 1990 年以降、部門別エネルギー消費量について毎年調査されている。

本研究では、このうち民生家計部門、民生業務他部門、家計乗用車部門のエネルギー消費量を分析に用いる。

なお本研究において各部門で消費されたエネルギー消費量を都道府県の人口で除した値を、それぞれ都道府県別の家庭エネルギー消費原単位、業務エネルギー消費原単位、乗用車エネルギー消費原単位と呼ぶ。

(2) エネルギー消費原単位の経年比較

各部門のエネルギー消費原単位の推移を、図-5 に示す。各時点において、エネルギー消費原単位は、高い順に業務、家庭、乗用車の順であった。これらの値は平成 3 年から平成 18 年にかけて全部門で増加しており、各部門のエネルギー消費原単位の増加率は、それぞれ 47%、27%、52%であった。家庭エネルギー消費原単位の増加率と比較すると、乗用車エネルギー消費原単位と業務エネルギー消費原単位の増加率が高い。

乗用車エネルギー消費量は、車輛エネルギー消費原単位と走行距離の積で算出される。車輛エネルギー消費原単位は、技術革新による燃費の向上効果や車のダウンサ

イズ傾向を考慮すると、減少傾向にある。したがって、乗用車エネルギー消費量の増加要因として、自動車走行距離の増加が考えられる。

一方の業務エネルギー消費原単位の増加要因の1つに、近年の活動の時間制約の緩和による商業施設などの営業時間の長時間化、および施設数の増加が考えられる。すなわち、利用人数の少ない時間帯での営業や、個人のみが使用する施設が増加するため施設運用効率性が低下し、その結果、都道府県全体の業務エネルギー消費原単位の増加につながっていると考えられる。

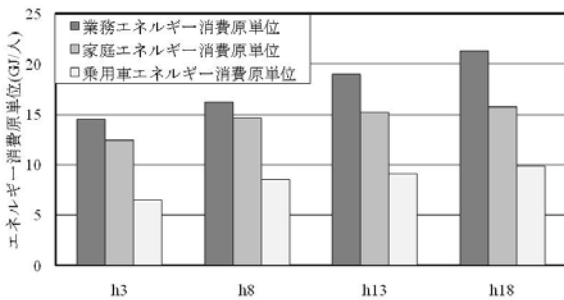


図-5 部門別エネルギー消費原単位の推移

5. 空間的集約性と時間的集約性がエネルギー消費量に及ぼす影響分析

(1) 共分散構造モデルの構築

本節では、複雑な構造を有する変数間の因果関係を表現できる共分散構造分析手法を用いて、部門別エネルギー消費原単位の因果構造モデルを構築する。

共分散構造モデルは、構造方程式と測定方程式から構成されている⁹⁾。構造方程式は観測されていない潜在変数間の因果関係を表現した式で、測定方程式は潜在変数から観測変数への影響を表す式である。

$$\eta = \mathbf{B}\eta + \mathbf{\Gamma}\xi + \zeta \quad (13)$$

$$x = \mathbf{\Lambda}\xi + e \quad (14)$$

ここで、 η は内生潜在変数、 ξ は外生潜在変数、 x は観測変数、 ζ 、 e は誤差変数、 \mathbf{B} 、 $\mathbf{\Gamma}$ 、 $\mathbf{\Lambda}$ は未知パラメータマトリクスである。

なお分析には、4 時点×47 都道府県の 188 サンプルを用いた。都道府県別、時点別の変数として、都市特性に関する変数と 3 章で算出した外出活動特性を入力側変数として、出力側に部門別エネルギー消費原単位パス構造を仮定したモデルを推定した。

都市特性データは、民力⁷⁾や総務省統計局地域別統計データベース⁸⁾を用いた。これらの都市特性データの一覧を表-5 に示す。なお、社会生活基本調査の調査年 (h3,

h8, h13, h18) と都市特性に関するデータの調査年が一致しない場合は、それぞれ直近年度の統計値を用いた。

表-5 に示す都市特性データをモデルの説明変数として、様々なパス構造を仮定してパラメータ推定を行う、探索的推定法を試みた。ただし、説明変数の選定には、事前に変数間の相関を算出し、相関が高い変数は同時に用いないこととした。また、探索候補としたモデル間の比較は、モデル全体の適合度、およびパスの有意性の 2 つの観点から行うこととする。

表-5 都市特性に関するデータ

人口	工場用地面積
人口密度	コンビニ数
年少人口 (15 歳未満)	飲食店数
生産年齢人口 (15~64 歳)	会社数
老年人口 (65 歳以上)	病院数
外国人人口	保育所数
昼間人口/夜間人口	第 1 次産業総生産割合
就業者総数	第 2 次産業総生産割合
第 1 次産業就業者数	第 3 次産業総生産割合
第 2 次産業就業者数	1 人当たりの県民所得
第 3 次産業就業者数	県内総生産 (総額)
世帯数	農業産出額
単身世帯率	漁獲総量
子供がいる世帯の割合	労働者平均給与
共働きの世帯数	平均貯蓄率 (勤労者世帯)
核家族率	高速自動車国道総延長
母子家庭・父子家庭の割合	年間輸送人員鉄道
総面積	年間輸送人員旅客バス
可住地面積	年間輸送人員航空
人口集中面積	道路舗装率
耕地面積	自動車保有台数
一般病院年間新入院患者数	快晴日数 (日/年)
通院者率	降水日数 (日/年)
平均寿命 (男)	雪日数 (日/年)
平均寿命 (女)	日照時間 (時間/年)
年平均気温 (°C)	降水量 (mm/年)

出典：民力 2008, 総務省統計局地域別統計データベース

(2) モデルの推定結果

最も適合度が高く、有意なパスが得られたモデルの推定結果を図-6 に示す。モデル適合度の指標である AGFI は 0.357 と低く、本モデルの現況再現性は必ずしも良好とは言えない。これは、建物の形状、建物設備の種類や性能、使用量、自動車の車種別エネルギー消費量などのエネルギー消費量を直接決定している要因が、説明変数で十分に考慮されていないためと考えられる。しかしながら、これら要因はマクロレベルでのデータ入手可能性が極めて低いため、モデル適合度を高めるための関連データ整備は今後の重要な課題である。

図-6 においては、観測変数に影響を与える因子として、潜在変数 (構成概念) が現れる。これらの潜在変数は観測変数とのパスの符号を考慮して以下のように名付けた。年少人口割合を増加させ、老年人口割合を低下させる潜在変数を「少子高齢化の程度」とする。年平均気

温を増加，降水日数を低下させる潜在変数を「温暖少雨な自然環境」とする。可住地面積当たりの会社数，人口，コンビニ数を増加させる，つまり都市に業務，人口，商業施設の集約させる潜在変数を「都市の空間的集約性」とする。外出活動開始時刻を遅く，外出活動終了時刻を早く，外出開始時刻集中度を増加，外出終了時刻集中度を増加，日中平均外出者割合を増加させる，つまり人々の1日の外出時間帯が短く，かつ外出の開始と終了の時刻が集中して，さらに日中の外出者割合を高くする潜在変数を「外出活動の時間的集約性」とする。

図-6の推定結果から，各変数が他の変数に及ぼす影響を表わす標準化総合効果の算出を行った結果を表-6に示す。なお，標準化総合効果は，標準化直接効果と標準化間接効果の和として定義される⁶⁾。ここで，標準化直接効果とは，変数間に直接パスがあるときの影響度を，標準化間接効果とは，いくつかの変数を経由して及ぼす影響度をそれぞれ表す。

図-6と表-6から，以下の知見が得られた。

少子高齢化の程度は外出活動の時間的集約性に負の影響を与える。これは，高齢者は時間帯が制約された活動がないために，高齢者の割合が高い都市は外出活動の時間的な集約性が低くなるためと考えられる。また15歳以下の若年者の多くは通学者であり，時間帯の固定された活動があるため，外出活動の時間的な集約性が高くなると考えられる。温暖少雨な自然環境は家庭エネルギー消費原単位を大きく低下させ，業務エネルギー原単位を低下させる。これは寒い地域の方が暖房をよく使うため，エネルギー消費量が大きくなるためと考えられる。また，雨や雪が多い都市は，1人当たり家庭エネルギー消費量が大きい傾向が示された。一方，業務他部門についてはその影響は小さい結果となった。これは天候に関係なく業務が行われるためと考えられる。また，乗用車部門に対して自然環境のパスの推定値は有意とならなかった。この結果は，乗用車の使用は，天候や気温とは無関係なことを示していると考えられる。

都市の空間的集約性は，業務エネルギー消費原単位を増加させ，乗用車エネルギー原単位を低下させ，1人当たり県内総生産を増加させる。家庭エネルギー消費原単位に対しては，直接パスの推定値が有意な値とならなかった。これは，都市の空間的集約性が高まると，乗用車での移動距離が短縮される上，公共交通機関が発達するため，結果として乗用車エネルギー消費原単位が低下すると考えられる。また，都市機能が集約することで1人当たりの県内総生産が上昇すると共に，業務エネルギー

消費原単位も増加する。都市の可住地面積が一定ならば，人口が増えることによって1人当たりの県内総生産は増加する一方で，エネルギー消費原単位は減少する可能性も予想されたが，それ以上に単位可住地面積あたりの商

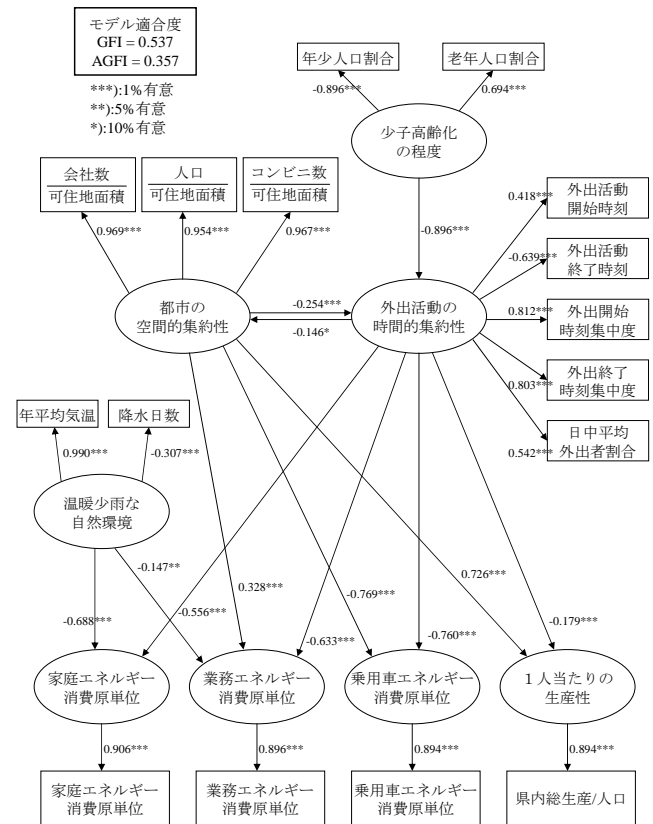


図-6 因果構造モデルの推定結果

表-6 標準化総合効果

	外出活動の時間的集約性	都道府県の空間的集約性	少子高齢化の程度	温暖少雨な自然環境
外出活動の時間的集約性	0.039	-0.264	-0.930	0
都道府県の空間的集約性	-0.152	0.039	0.136	0
家庭エネルギー消費原単位*	-0.523	0.133	0.468	-0.623
業務エネルギー消費原単位*	-0.634	0.455	0.568	-0.132
乗用車エネルギー消費原単位*	-0.601	-0.535	0.538	0
県内総生産/人口	-0.265	0.716	0.237	0
日中平均外出者割合	0.563	-0.143	-0.504	0
外出終了時刻集中度	0.834	-0.212	-0.747	0
外出活動開始時刻	0.434	-0.110	-0.389	0
外出活動終了時刻	-0.663	0.169	0.594	0
外出開始時刻集中度	0.844	-0.214	-0.756	0
人口/可住地面積	-0.145	0.990	0.130	0
コンビニ数/可住地面積	-0.147	1.004	0.132	0
会社数/可住地面積	-0.147	1.006	0.132	0

業施設数や会社数が増加することによって、結果的に都市の空間的集約性が1人当たりの業務エネルギー消費原単位を増加させたと考えられる。

さらに、表-6より、空間的集約性が家庭・業務・乗用車部門のエネルギー消費原単位に及ぼす標準化総合効果は、それぞれ0.133, 0.455, -0.535となった。ただし、共分散構造モデルでは、モデルの説明変数の入力値、および推定パラメータは標準化された値である。そのため、各エネルギー部門のエネルギー消費量の増減が、3部門の合計エネルギー消費量の増加、あるいは減少に寄与するかを、標準化総合効果の値から直接判断することはできない。そこで、式(15)を用いて、3部門のエネルギー消費量の増減が、合計エネルギー消費原単位に及ぼす影響を簡便的に算出する。

$$\Delta E = \sum_i \gamma_i \sigma_i S_i \quad (15)$$

ただし、 ΔE は3部門の合計エネルギー消費量の増減量、 γ_i は都道府県の空間的集約性部門から部門*i* (*i*=家庭、業務、乗用車)への標準化総合効果、 σ_i は部門*i*のエネルギー消費量の標準偏差、 S_i は部門*i*のエネルギー消費量が合計エネルギー消費量に占める割合である。

式(15)を用いて、空間的集約性が全体のエネルギー消費量に及ぼす影響を算出した結果、0.0503とわずかながら正の値が得られた。つまり社会全体では都市の空間的集約性は移動エネルギーの低下に資するものの、業務エネルギーや家庭エネルギーの増加によってその影響が相殺されるため、エネルギー消費原単位には、ほとんど影響を与えないか、やや上昇する傾向が明らかとなった。

外出活動の時間的集約性は全ての部門別エネルギー消費原単位を低下させ、1人当たりの県内総生産もわずかに低下させる。家庭において、家族が外出する時間帯が同一であれば、エアコンやテレビといった家電製品の使用が共有されるため、エネルギー消費原単位が低下すると考えられる。また乗用車に関しても、家族で乗用車の使用が共有されることによってエネルギー消費原単位が低下すると考えられる。業務部門において、人々の外出活動の時間帯が集中すると、それに伴い、小売店、飲食店、娯楽施設などの商業施設の営業時間帯は集約され、施設運営に要するエネルギー消費量の低下をもたらし、1人当たりエネルギー効率を増加させると考えられる。

都市の空間的集約性と外出活動の時間的集約性は、互いに負の影響を及ぼし合っている。これは空間的集約性が高い都市では、外出時の移動距離が小さい、あるいは外出先が多いなどの傾向によって、時間帯によらず外出

できる可能性が高くなるため、外出活動の時間的集約性が低い傾向を示していると考えられる。また、外出活動の時間的集約性が高い都市では、外出時の移動距離が長い、あるいは外出先が少ないなどの傾向によって、都市の空間的集約性が低い傾向があることが示された。

さらに現在日本で進行している少子高齢化が今後も継続すると、外出活動の時間的集約性が低くなり、各部門のエネルギー消費原単位が増加する可能性があることが示された。以上より、都市の空間的集約性を高めることは、確実に運輸エネルギーの低下につながるものの、業務活動の活性化や外出活動の時間的な集約性が低下する副次的効果を生じることが明らかとなった。

ここで、都市活動の空間的・時間的集約性を高める政策について考察しよう。まず、前提として、共分散構造分析の結果は現実の各都道府県データに基づいており、現存する都市全体に共通する傾向を示している点に注意する必要がある。すなわち、特定の都市の空間的集約性を高めたからといって、直ちに外出活動が多様化して、その都市の時間的集約性が低下し、最終的にエネルギー消費原単位が増加するわけではない。そうではなく、空間的集約性を高めた都市でその傾向が実際に現れるまでには、タイムラグがある、と考えるべきだろう。

つまり、空間的集約性を高める政策を実施した都市が、その後、他都市と類似の推移を辿るなら、いずれエネルギー消費原単位が増加する。よって、時間的集約性の向上は、エネルギー消費原単位の増加を補償するための対抗策として、空間的集約性を高める政策の実施と並行して検討すべきである。その際、都市活力の指標として設定した1人当たり生産性の低下を防ぐことが、最も重要である。なお、空間的集約性を高める際に、ある地区から人口を完全に撤退させる空間的縮退政策をとる場合は、本モデルにとっては外挿的な状況となるため、本研究の知見をそのまま適用することはできない。その場合、空間的集約性・時間的集約性がエネルギー消費原単位や総エネルギー消費量に及ぼす影響は、さらに検討する必要がある。

6. まとめ

本研究では、外出活動特性と都道府県別の自然環境や施設立地状況、人口構成などの都市特性が、家庭・業務・乗用車の部門別エネルギー消費原単位への影響要因の分析を行った。

社会生活基本調査データを用いて外出活動特性の時点間、都市間、および個人属性間の比較を行った結果、

人々の外出時間帯は経年的にばらつく傾向があり、特に外出終了時刻は遅くなっていることが明らかとなった。また、都市の規模が大きくなるほど夜型の時間利用構造をとり、外出活動の時間帯が分散する傾向にあることが明らかとなった。1人当たりの部門別エネルギー消費量は経年的に増加する傾向がみられ、特に1人当たりの乗用車エネルギー消費量の増加が顕著であった。

共分散構造分析を用いて、家庭・業務・乗用車の部門別エネルギー消費原単位に影響を及ぼす要因を分析したところ、家庭エネルギー消費原単位の低減には温暖少雨な自然環境の影響が大きく、業務エネルギー消費原単位と乗用車エネルギー消費原単位の低減には外出活動の時間的集約性の影響が大きいことが明らかとなった。すなわち、「都市の時間的集約性を高めるとエネルギー消費原単位が低下する」という研究仮説が支持された。また、1人当たりの県内総生産の増加には都市の空間的集約性の影響が大きいことが明らかとなった。よって、部門別エネルギー消費原単位低減のためには、外出活動の時間的集約性を高めることが有効であるが、外出活動の時間的集約性と都市の空間的集約性はトレードオフの関係にあり、外出活動の時間的集約性を高めると1人当たりの県内総生産が低下することが明らかとなった。

以上のように、本研究ではマクロな観点から都市の空間的集約性と時間的集約性、およびエネルギー消費量の関係を明らかにしたが、残された課題も多い。以下に今後の課題をまとめる。

本研究では、都道府県レベルでは外出活動の時間的集約性がエネルギー消費原単位の低減に有意に働くことを明らかにしたが、モデル適合度が低くモデル精度の向上は重要な課題である。そのためには、エネルギー消費原単位に影響を及ぼすと考えられる指標についてのマクロレベルでのデータ整備が不可欠である。また、本研究では、標本数を補うために、複数時点のデータを同時に取り扱った。そのため、例えば、そのため、技術進歩によ

るエネルギー消費原単位の経年変化が考慮できておらず、モデル構造の改善が必要である。また化石燃料から二次エネルギーである電気等へのエネルギーの形態の転換効率を考慮していない。環境負荷低減を目指すためには部門別のエネルギー変換効率を考慮した分析を行う必要がある。また今後は、これらを踏まえて具体的な規制誘導策について、シミュレーション分析等を通じて検討する必要がある。

参考文献

- 1) 総務省統計局；社会生活基本調査，(1996-2006).
- 2) 林良嗣，富田安夫，土井健司，スバラット・リチカ，加藤博和；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，土木計画学研究・講演集，15，(1992)，939-944.
- 3) 小根山裕之，大西博文；環境負荷の小さい都市構造・交通体系に関する一考察，土木計画学研究・講演集，20-2，(1997)，129-132.
- 4) 中井秀信，森本章倫；コンパクトシティ政策が民生・交通部門のエネルギー消費量に与える影響に関する研究，土木学会論文集D，64-1，(2008)，1-10.
- 5) 戒能一成；都道府県別エネルギー消費統計，独立行政法人経済産業研究所ホームページ，<http://www.rieti.go.jp/users/kainou-kazunari/energy/index.html>，(閲覧日 2011.01.30).
- 6) 豊田秀樹；共分散構造分析 [理論編]，朝倉書店，2007.
- 7) 朝日新聞出版；民力 2008，(2008)，CD-ROM.
- 8) 総務省統計局；地域別統計データベース，<http://www.e-stat.go.jp/SG1/chiiki/CommunityProfileTopDispatchAction.do?code=2>，(閲覧日 2011.01.30).

(2013.8.2 受付)

ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION CONSIDERING OUT-HOME ACTIVITY AND LOCAL CHARACTERISTICS

Masashi KUWANO and Makoto TSUKAI

In recent years, an individual duration of out-home activity is staggered due to the diversified lifestyle. On the other hand, the business or retail activities extends the business hour so that the energy consumption of those sectors have been increased. The purpose of this study is to clarify the effect of out-home activity characteristics and local characteristics on sector energy consumptions. This study use the Survey on Time Use and Leisure Activities conducted by the Ministry of General Affairs in 1991, 1996, 2001, and 2006. Since the original data do not include the location of each activity, the activities are classified into two types: in-home activity, and out-home activities. Based on the individual disaggregated data, the aggregated indices of out-home activity characteristics, such as departure time of out-home, arrival time to home, intensity of departure, intensity of arrival, and the average share of out-home activity over population are calculated. The analysis of covariance structure showed that home sector energy consumption was significantly influenced by local environment, and business and transport sector energy consumption was significantly influenced by the intensity of out-home activity.