

# 消費エネルギー削減の視点から見た コンパクトな都市圏の構造とその効果

相川 航平<sup>1</sup>・溝上 章志<sup>2</sup>・YIN Yanhong<sup>3</sup>

<sup>1</sup>非会員 (株)MDI (〒273-0865 船橋市夏見1-1-1)  
E-mail: Kohei\_aikawa@mdi.co.jp

<sup>2</sup>正会員 熊本大学教授 大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1)  
E-mail: smizo@gpo.kumamoto-u.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 Assistant Professor, Faculty of Maritime and Transportation, Ningbo University  
(303, ZongRuiHangHai Building, No. 818 Fenghua Road, Jiangbei District, Ningbo, China)  
E-mail: yinhanhong@nbu.edu.cn

近年、日本では自動車中心社会の進展によるエネルギー消費量の増加が問題となっている。この問題を解決する手段として、一人当たりのエネルギー消費量が少ない都市形態であるコンパクトシティへの誘導が有効とされている。本研究では、個人のエネルギー消費量を削減することが可能な都市形態、および交通サービス体系はどのようなものかを分析することを目的とする。ここでは、熊本都市圏における2030年の人口をベースとして、人口集約の方法が異なる3つの都市圏構造シナリオを想定し、エネルギー消費量の比較を行った。その結果、公共交通輸送サービスの利便性が高い交通拠点とその周辺地域に人口を集約し、その間を公共交通機関でサービスする多極連携型が最も効果が大きいという結果が得られた。

**Key Words :** compact city, energy consumption, future prediction, level of utility, scenario analysis

## 1. はじめに

我が国では、1960年代から2007年まで続いた人口の増加と地価の高騰、自動車化社会の進展により、市街地のスプロールと低密度化が進行した。これに伴って生じた公共交通輸送サービスの削減による高齢者などの交通弱者の移動可能性の低下や商・住機能の郊外移転による中心市街地の空洞化などの問題が顕著になっている。また、エネルギー消費量の増加をどのように抑制するかも解決すべき大きな課題となっている。世界的に見ても、化石燃料の枯渇やCO<sub>2</sub>排出量の増大に起因する地球温暖化の深刻化を受け、エネルギー消費量の削減は喫緊の課題となっている。

これらの課題を都市・交通政策の側面から解決するためには、エネルギー効率やCO<sub>2</sub>排出原単位の改善を目指すと共に、エネルギー消費量が小さく、かつ持続可能な都市形態であるとされるエコ・コンパクトシティへの誘導が有効であると言われている。我が国でも、多くの自治体がマスタープラン等でその実現に向けた政策を導入している<sup>1)</sup>。それに伴って、幾つかの視点からコンパクトシティに関する学術研究がなされてきている。本研究

では、エコ・コンパクト化水準の定量化指標として一人当たりのエネルギー消費量を採用し、どのような都市圏構造や交通政策が一人当たりのエネルギー消費量をより小さくできるか、つまりエコ・コンパクトシティが持つべき都市の構造や機能、交通政策はどのようなものかを明らかにしたい。

同様の趣旨でなされた研究には、一極集中型や複数拠点連携型など、典型的な都市圏構造シナリオを設定し、コンパクト性の程度を定量化する指標を用いて、いずれの都市圏構造シナリオが最もコンパクトであるかを経験的な方法で検証するといったシナリオ分析を行っているものが多い(表-1参照)。例えば、名古屋都市圏を対象とした鈴木ら<sup>2)</sup>、戸川ら<sup>3)</sup>は、鉄道駅周辺に段階的に設定した移転率に応じて配置される移転人口と同時に、公共空間やサービス施設を配置する集約化を行い、その持続可能性をTriple Bottom Lineによる評価を行っている。谷口ら<sup>4,5)</sup>は、倉敷都市圏を対象として、コンパクト化施策と公共交通サービス整備や水害軽減方策とを組み合わせた幾つかの連携シナリオを設定した。豊田都市圏を対象とした研究では、都市マスタープランに沿って都心重点地区に市街地を集約化する際に、居住人口だけでなく、

表-1 代表的なコンパクトシティ研究

特徴	著者	コンパクトシティの考え方	比較指標	比較の方法	結果
将来の行動予測なし	鈴木ら (名古屋市)	・2050年までの実質転移人口を、鉄道駅周辺の6つの地域(地域属性等から分類)に集約 ・地域内部の公共空間系、業務系、住居系の施設量を推計	(1)環境 (CO <sub>2</sub> 排出量) (2)経済 (インフラ維持費用) (3)社会 (居住 QOL 及び業務の付加価値性)	・将来の行動予測を行わずに指標を算出 ・人口の転移率 (1.09, 0.5, 0.3) を変化させ、シナリオ分析	駅周辺への転移のみでは必ずしも効果が高くなく、転移する駅の周辺地区の決定方法やサービス施設の集約を考慮することが必要
	谷口ら (豊田市)	・コンパクト: マスタープランによる都心重点地区の13住区に人口を集約 ・公共交通改善: 鉄道本数とバス停密度を増加 ・水害回避: 浸水被害を被ると予想された地区から上述の13地区に人口を集約	(1)平日自動車燃料消費量 (2)自都市内自由滞留時間	・将来の行動予測を行わずに指標を算出 ・1非コンパクト(都心からの距離が5Km以上かつ現実的に開発が成立可能と考えられる計16住区に人口増加分を集約) 2コンパクト 3コンパクト+公共交通改善 4コンパクト+水害回避 でシナリオ分析	都市コンパクト化政策と水害軽減策との連携については突出した影響は出ていないものの、効果が增大する部分が見られる
	谷口ら (倉敷市)	・コンパクト: 撤退優先順位の高い住宅地から撤退優先度の低い住宅地に人口を集約 ・交通行動変容 I: 車依存公共交通併用タイプ全員を日車依存一般タイプに行動変容 ・交通行動変容 II: 車依存行動タイプ人数を平成12年と同数にする	(1)平日及び休日自動車燃料消費量	・将来の行動予測を行わずに指標を算出 ・1趨勢 2交通行動変容 I 3交通行動変容 II 4コンパクト+行動変容なし 5コンパクト+交通行動変容 I 6コンパクト+交通行動変容 II でシナリオ分析	コンパクトシティ化政策はモビリティ・マネジメント策と連動することで効果を得ることが出来る
将来の交通行動を予測	森嶋ら (名古屋市)	・土地利用誘導: 現況から算出される「CO <sub>2</sub> 排出量最大・最小ゾーン」をもとに人口を現在のゾーン別人口比率で上乗せ、または削減 ・都市交通政策: 鉄道駅・バス停へのアクセス時間、乗り継ぎ時間及びバス路線の待ち時間を半分に削減	(1)環境 (CO <sub>2</sub> 排出量) (2)活力 (公共交通利用割合) (3)快適 (道路混雑率) (4)安心 (交通事故件数)	・将来の交通行動予測を行い指標を算出 ・1現況 2土地利用誘導のみ 3都市交通政策のみ 4土地利用誘導+都市交通政策 でシナリオ分析	土地利用誘導と都市交通政策を融合させることで高い効果を得ることが出来る
	水本ら (宇都宮市)	・各種床面積と人口の回帰モデル式を構築 ・計画的集約: 床面積を都心部外から経年ごとに徐々に都心部に集約 ・ランダム集約: 床面積を都心部外から経年的にランダムに都心部に集約	(1)CO <sub>2</sub> 排出量	・将来の交通行動予測を行い指標を算出 ・1趨勢 2計画的集約 3ランダム集約 でシナリオ分析	計画的な集約が効果的なCO <sub>2</sub> 排出量低減に繋がる

居住者の行動変容を考慮したモビリティ・マネジメント施策との組み合わせシナリオを設定している。両者ともコンパクト化の定量化指標は自動車による燃料消費量であるが、コンパクト施策と他の施策との連携の効果や効果の連動を分析するなど、コンパクトシティ政策を包括的に評価し、その中で都市のコンパクト化の効果に影響を与える要因が都市圏構造だけではないことを明らかにしている点は興味深い。

しかし、これらの研究では現状と異なる都市構造にした後の居住者の交通行動の変化を考慮していない。コンパクトシティ政策とはその圏域内で日常的な活動をほぼ完結させることによってエネルギー消費やCO<sub>2</sub>排出量を抑制するような都市圏構造を実現しようという政策である。したがって、どのような都市圏構造がよりコンパクトかを検証するに当たっては、集約化された後の居住者の交通の発生頻度や目的地、交通手段などの交通需要の変化を予測するプロセスをエネルギー消費量の評価モデルの中に組み込むことは必須であろう。

何らかの交通需要予測モデルをエネルギー消費量評価シナリオ分析の中に組み込んでいる研究としては、名古屋都市圏を対象とした土地利用誘導策と都市交通政策シナリオに対し、通常の四段階推定法を用いて交通需要を予測しながら、交通起源のCO<sub>2</sub>排出量を抑え、その他の交通に対する評価指標を改善する開発が可能な地区を明確化する手法を提案した森島<sup>9)</sup>の研究や、用途別床面積を順次、都心部へ集約化させる幾つかのシナリオを設定し、交通需要を予測しながら、効果的な環境負荷低減に繋がるコンパクトシティ化への形成過程を検討している

水本・森本<sup>7)</sup>の研究などが挙げられる。ただし、これらの研究でも、変動するのは目的地や交通手段といった交通需要だけであり、発生量の変動については考慮されていない。

本研究では、一人当たりのエネルギー消費量を推計する際に、市場は交通サービスと一般財から成り、都市圏構造シナリオごとに集約化された居住者は、彼の所得制約の下で効用を最大にするような両財の需要量を予測し、それらの消費から生じるエネルギー消費量を算出するという著者らが開発した方法<sup>8)</sup>を用いている。したがって、財の需要の変化に伴って交通需要も変化する構造になっている。そこでは、熊本都市圏を対象としてPT調査が実施された1984年と1997年の2時点間比較や、集約化の程度が異なる長崎都市圏との地域間比較を行うことによって、都心部、および鉄道や幹線道路の沿線部のエネルギー効率(効用水準/エネルギー消費量)が高いことを明らかにしており、それらの周辺に生活圏を集約するような施策を行うことが都市圏のコンパクト化に寄与することが示唆されている。

さらに、本研究ではコンパクトシティを実現する際の費用についても検討を行っている。一人当たりのエネルギー消費量が小さいエコ・コンパクトシティであっても、その実現のための費用が大きい施策の実効性は低い。そこで、現在の一般財と交通サービスの消費から得られている効用水準を維持するという条件の下で、都市圏全体の消費エネルギーを最小化するための追加的費用を算出し、いずれの都市圏構造が追加費用が少ないか比較を行っている点にも新規性がある。

本研究は5章で構成される。まず、2.で都市圏構造シナリオの設定方法について述べる。3.では都市圏のコンパクト性の程度を評価する方法を概説する。4.では、熊本都市圏を対象にして2.の方法で設定した3つの都市圏構造シナリオに対し、3.で概説した評価方法を用いた実証分析を行い、どのような都市圏構造が消費エネルギー削減の観点からコンパクト性が高いかを検討する。最後に、5.で本研究の成果と今後の研究課題について述べる。

## 2. 都市圏構造シナリオの設定

### (1) 都市圏構造シナリオの概要

1.で示した既存研究で検討されている都市構造シナリオの設定の方法について、表-1 に紹介する。いずれも都市マスタープランなどの上位計画に沿って、都心重点住区や鉄道駅周辺の交通拠点地区に人口を集約するというシナリオを設定している。少子高齢化のために、我

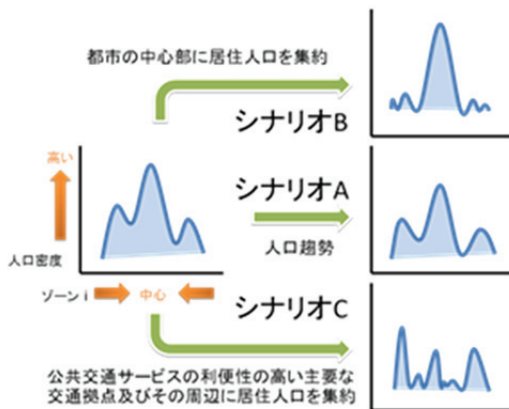


図-1 シナリオ想定概要図



図-2 熊本市都市マスタープランの都市構造<sup>9)</sup>

が国の人口は 2007 年をピークに急激に減少する。政令市である熊本市を含む熊本都市圏（以下では、1997 年実施の第 3 回熊本都市圏 PT 調査対象地域を示す）でも例外では無く、平成 22 年国勢調査実績 1,036 千人から平成 27 年には 969 千人（平成 24 年度人口問題研究所推計値）まで、7.5%も減少することが予想されている。このような状況の下で、図-1 にその概念を示すような居住人口の集約方法により、従来の研究で取られているのと同様、以下に示す 3 種類の典型的な熊本都市圏構造シナリオを設定した。なお、想定するのは 2030 年である。

シナリオ A：第 3 回熊本都市圏 PT 調査が実施された 1997 年から 2030 年への趨勢シナリオ

シナリオ B：都市圏中心部に 2030 年人口を集約する一極集中シナリオ

シナリオ C：公共交通輸送サービスの利便性の高い交通拠点とその周辺地域に 2030 年人口を集約する多極連携シナリオ

なお、ここでは目標年次における自動車の燃費等のパラメータ値は現在のままと仮定している。

### (2) 居住人口の集約方法

以下に、シナリオごとの人口の集約化の方法を詳細に説明する。

#### a) シナリオ A

空間的な生活圏が現況と変化しないことを想定し、2030 年の都市圏全域の人口を全てのゾーン、ここでは第 3 回熊本都市圏 PT 調査の C ゾーンに、現況の人口に比例させて配分するシナリオである。

#### b) シナリオ B

2030 年の都市圏人口を、熊本都市計画区域の市街化区域内へ集約するというシナリオである。その際、B(1)：1997 年における市街化区域内の各ゾーンの人口比

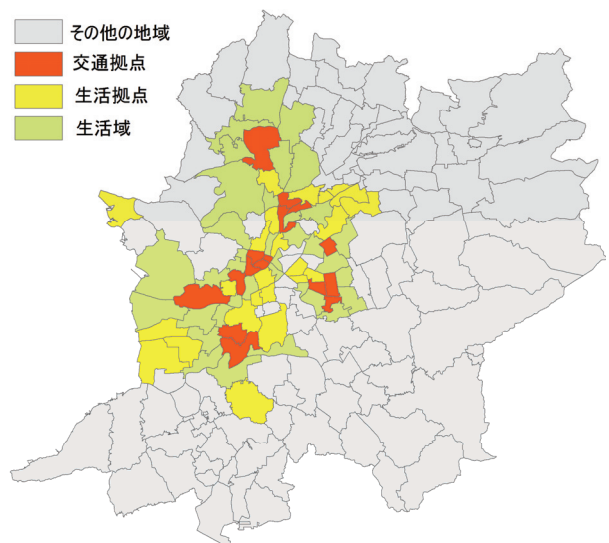


図-3 交通拠点及びその周辺のゾーン

率に比例させて配分する方法と、B(2)：熊本都市圏の中心ゾーンから半径 3, 6, 9, 12, 15km の順に人口が 40, 24, 18, 12, 6%になるよう、市街化区域内の中心部から郊外に向けて同心円状に人口密度が順次、減少し、それ以遠には居住者がいないように配分する方法を用いて、2つのシナリオを設定した。

c) シナリオ C

図-2 に示す熊本市都市計画マスタープラン<sup>9)</sup>で提案されている都市圏構造に整合させて、2030年の都市圏人口を、公共交通サービスの利便性の高い主要な交通拠点ゾーン、およびその周辺ゾーンに集約するシナリオである。熊本市都市マスタープランでは、都心部から周辺へ諸機能が段階的に立地する市街地構造を目指しており、熊本市を5つのエリア(区に一致)に分け、エリア毎に核となる地域を設定している。設定されている核には、交通機能が発達しており行政機関等も充実している都市核と地域コミュニティの中心として住民の生活の拠点となっている生活核がある。今回はこの都市核と生活核が存在する交通拠点ゾーンと生活拠点ゾーン、および交通拠点ゾーンを囲むゾーンを生活域ゾーンとし、2030年人口を配分した。その際、2030年人口を交通拠点と生活拠点の各ゾーンの1997年における人口比率に比例させて配分し、残りの人口を生活域の各ゾーンの人口が等しくなるように配分した。ここで、交通拠点ゾーンへの配分比率と生活拠点ゾーンへの配分比率に差を付けるため、これらの拠点ゾーンの1997年における人口比率を1.5倍とした。図-3に設定した交通拠点ゾーンと生活拠点ゾーン、および生活域ゾーンを示す。これらは図-2の都市核、生活核と対応していることが分かる。

3. コンパクト性評価手法の概要

ここでは、各シナリオのコンパクト性を評価する手法について以下に簡単に説明する。詳細については文献8)を参照されたい。

各個人は所得制約条件下で効用水準を最大化するように交通サービスと一般財の消費量を決定すると仮定する。このとき、各シナリオに沿って再配分された人口配置の下で予測される各財の最適消費によって生じるエネルギー消費量を算出し、これらをシナリオ相互に比較しようとするのが推計エネルギー消費量(利用者最適値)分析である。この推計エネルギー消費量とこれらの人口配置シナリオによって達成できると最小エネルギー消費量(システム最適値)との差が小さいシナリオほど、コンパクト性が高い都市構造シナリオであると評価できるであろう。しかし、都市圏全域での総エネルギー消費量を

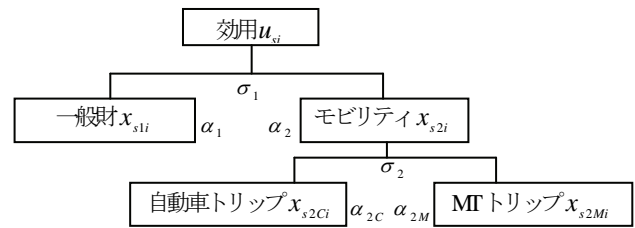


図-4 層化 CES 型効用関数の構造

最小化させるには、現在の効用水準を低下させるような財の消費を強いられる個人が出てくる。シナリオごとに個人が満たしている効用水準を低下させることなく達成できる次善の最適状態との比較を行う必要がある。そこで、コンパクト性の評価には、現在の効用水準を維持しながら都市全体のエネルギー消費量を最小化する財のモデル<sup>8),10),11)</sup>を使用する。

(1)で予算制約下での効用最大化問題から各シナリオの個人の効用  $u_i^*$  とそのときのエネルギー消費量  $E_i^*$  の算出方法を説明し、(2)では算出された効用水準  $u_i^*$  を維持する条件下での次善の都市エネルギー消費量の最小値  $E_i^{**}$  の算出方法を説明する。

(1) 都市エネルギー消費量の算出

a) 財と市場

シナリオ  $s$  において、ゾーン  $i$  に居住する代表的個人は一般財と交通サービスを消費し、その需要量は  $x_{s1i}$  (円/人・日)、 $x_{s2i}$  である。交通サービスは自動車  $C$  と公共交通機関  $M$  によるトリップ数  $x_{s2Ci}$  と  $x_{s2Mi}$  (trip/人・日) により決まる。

b) 効用関数

ゾーン  $i$  に居住する代表的個人は交通サービスと一般財の消費によって効用を得ている。これらの需要量を求めるために、図-4のような自動車と公共交通機関によるトリップの選択、交通サービスと一般財の選択を2段階のNested型選択構造で表現し、効用関数には各段階における2財間の代替の弾力性を別個に設定できるという柔軟性を持つCES型効用関数<sup>12)</sup>を仮定する。このとき、上位、下位段階の関係はそれぞれ次式のようになる。この章ではシナリオを示す下付き添え字  $s$  は省略する。

$$u_i(x_{1i}, x_{2i}) = \left\{ \alpha_1 x_{1i}^{(\sigma_1-1)/\sigma_1} + \alpha_2 x_{2i}^{(\sigma_1-1)/\sigma_1} \right\}^{\sigma_1/(\sigma_1-1)} \quad (1)$$

$$x_{2i}(x_{2Ci}, x_{2Mi}) = \left\{ \alpha_{2C} x_{2Ci}^{(\sigma_2-1)/\sigma_2} + \alpha_{2M} x_{2Mi}^{(\sigma_2-1)/\sigma_2} \right\}^{\sigma_2/(\sigma_2-1)} \quad (2)$$

$\sigma_1, \sigma_2$  は、それぞれ1段階目と2段階目の2財間の代替弾力性である。また、 $\alpha_1$  と  $\alpha_2$ 、および  $\alpha_{2C}$  と  $\alpha_{2M}$  は一般財と交通サービス、および自動車によるトリップと公共交通機関によるトリップへの分配パラメータであり、それぞれの段階での総支出額に対する各財への配分支出比率を表す。

1 段階目では、交通サービスとそれ以外の一般財との間に代替性を仮定している。交通は派生需要であるため、その他の財との代替性があるかどうかについては別途、精緻に検証する必要があるかもしれない。しかし、本モデルで設定した CES 型効用関数は代替弾力性パラメータの推定値からその有無や大きさを実証的に検証でき、後述するように実際に代替性が確認された。また、買い物トリップの代替として宅配サービスやネットショッピングなどの需要が変動することは知られている。

c) 効用水準の算出

式(1), (2)の効用関数は、シナリオ  $s$  の 2 段階目の自動車と公共交通機関の発ゾーン別トリップ数  $x_{2Ci}, x_{2Mi}$  と、1 段階目の一般財の消費と交通サービス水準  $x_{1i}, x_{2i}$  の関数で表されている。効用水準は、順次、下位の段階から以下のように算出していく。

交通サービス水準が式(2)のような CES 型効用関数のとき、2 段階目の交通に消費可能な予算制約条件下での交通サービス水準最大化問題は以下で定式化される。

$$\max_{x_{2Ci}, x_{2Mi}} : x_{2i} = \left\{ \alpha_{2C} x_{2Ci}^{(\sigma_2-1)/\sigma_2} + \alpha_{2M} x_{2Mi}^{(\sigma_2-1)/\sigma_2} \right\}^{\sigma_2 / (\sigma_2-1)} \quad (3)$$

$$\text{s.t.} \quad p_{2Ci} x_{2Ci} + p_{2Mi} x_{2Mi} \leq I_{2i} \quad (4)$$

ここでは、シナリオ  $s$  の自動車と公共交通機関による発ゾーン別 1 人 1 日当たりのトリップ数  $x_{2Ci}, x_{2Mi}$  (trip/人・日) が変数である。  $p_{2Ci}, p_{2Mi}$  はそれぞれ自動車と公共交通機関による発ゾーン別の 1 トリップあたりの交通費用 (円/trip) であり、  $I_{2i}$  はゾーン  $i$  に居住する 1 人 1 日当たりの総交通費用 (円/人・日) である。

1 階の最適性条件、および予算制約式(4)より、自動車と公共交通機関によるトリップの需要関数は以下のようにになる。

$$x_{2mi}^* = \left( \frac{\alpha_{2m}}{p_{2mi}} \right)^{\sigma_2} \frac{I_{2i}}{\alpha_{2C}^{\sigma_2} p_{2Ci}^{1-\sigma_2} + \alpha_{2M}^{\sigma_2} p_{2Mi}^{1-\sigma_2}} \quad (m=C, M) \quad (5)$$

$$x_{2i}^* = (\alpha_{2C}^{\sigma_2} p_{2Ci}^{1-\sigma_2} + \alpha_{2M}^{\sigma_2} p_{2Mi}^{1-\sigma_2})^{1/(\sigma_2-1)} \cdot I_{2i} \quad (6)$$

2 段階目では、個人は所得制約下での効用最大化を行っているから、その行動は以下のように定式化される。

$$\max_{x_{1i}, x_{2i}} : u_i = \left\{ \alpha_1 x_{1i}^{(\sigma_1-1)/\sigma_1} + \alpha_2 x_{2i}^{(\sigma_1-1)/\sigma_1} \right\}^{\sigma_1 / (\sigma_1-1)} \quad (7)$$

$$\text{s.t.} \quad p_{1i} x_{1i} + p_{2i} x_{2i} \leq I_i \quad (8)$$

一般財と交通サービスの需要関数は、この最適化問題の解として以下のように表される。

$$x_{ki}^* = \left( \frac{\alpha_k}{p_{ki}} \right)^{\sigma_1} \frac{I_i}{\alpha_1^{\sigma_1} p_{1i}^{1-\sigma_1} + \alpha_2^{\sigma_1} p_{2i}^{1-\sigma_1}} \quad (k=1, 2) \quad (9)$$

式(5), (6), (9)より、ゾーン  $i$  発の交通機関  $m (=C, M)$

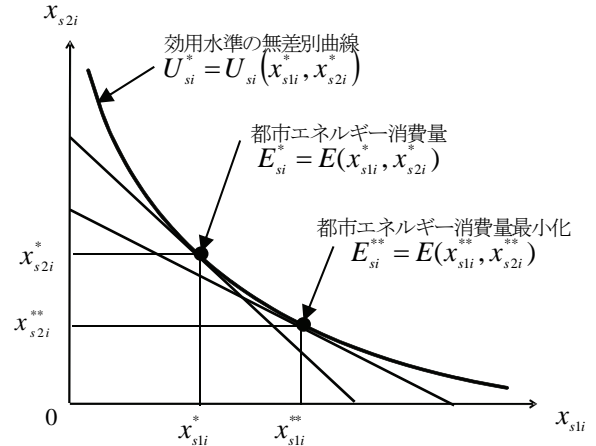


図-5 エネルギー消費量最小化問題

によるトリップの需要関数は以下となる。

$$x_{2mi}^* = \left( \frac{\alpha_{2m}}{p_{2mi}} \right)^{\sigma_2} \alpha_2^{\sigma_1} (\alpha_{2C}^{\sigma_2} p_{2Ci}^{1-\sigma_2} + \alpha_{2M}^{\sigma_2} p_{2Mi}^{1-\sigma_2})^{\frac{\sigma_2-\sigma_1}{1-\sigma_2}} \cdot \left\{ \alpha_1^{\sigma_1} p_{1i}^{1-\sigma_1} + \alpha_2^{\sigma_1} (\alpha_{2C}^{\sigma_2} p_{2Ci}^{1-\sigma_2} + \alpha_{2M}^{\sigma_2} p_{2Mi}^{1-\sigma_2})^{\frac{1-\sigma_1}{1-\sigma_2}} \right\}^{-1} \cdot I_i \quad (10)$$

これらの解を式(1)と(2)に代入することで、ゾーン  $i$  の現在の効用水準  $u_i^* = u_i(x_{1i}^*, x_{2Ci}^*, x_{2Mi}^*)$  が算出される。

d) 都市エネルギー消費量の算出

一般財、自動車トリップと公共交通機関トリップの消費による都市全体の総エネルギー消費量  $E$  (kcal/人・日) は、それぞれの消費原単位によって

$$E = \sum_i (e_1 x_{1i} + e_{2C} t_{2Ci} x_{2Ci} + e_{2M} t_{2Mi} x_{2Mi}) \cdot pop_i \quad (11)$$

のようになる。ここで、  $pop_i$  はゾーン  $i$  の居住人口 (人)、  $e_1, e_{2C}, e_{2M}$  はそれぞれ、一般財、自動車と公共交通機関のエネルギー消費原単位 (kcal/円, kcal/trip・分)、  $t_{2Ci}, t_{2Mi}$  は自動車と公共交通機関によるゾーン  $i$  から他の全てのゾーンへの平均所要時間 (分) である。

(2) コンパクト性評価モデル

シナリオごとのコンパクト性の程度を評価したい。ここでは、シナリオ  $s$  によって達成される効用水準  $u_i^*(x_{1i}^*, x_{2Ci}^*, x_{2Mi}^*)$  を維持するという条件下で都市全体の総エネルギー消費量を最小にする次善解を求めたい。この問題は以下のように定式化できる。

$$\min_{x_{1i}, x_{2Ci}, x_{2Mi}} : E(x_{1i}, x_{2Ci}, x_{2Mi}) = \sum_i (e_1 x_{1i} + e_{2C} t_{2Ci} x_{2Ci} + e_{2M} t_{2Mi} x_{2Mi}) \cdot pop_i \quad (12)$$

$$\text{s.t.} \quad u_i(x_{1i}, x_{2Ci}, x_{2Mi}) = u_i^*(x_{1i}^*, x_{2Ci}^*, x_{2Mi}^*) \quad \forall i \quad (13)$$

この問題から得られる次善のシステム最適なエネルギー消費量と式(10)との差が小さいほど、シナリオ  $s$  の人口集約化によって形成される都市構造はシステム最適の視点から、よりコンパクト性が高いといえる。

(12)と(13)の解より, 都市全体のエネルギー消費量を最小化する次善の各財の需要量は下記ようになる.

$$x_{i_i}^{**} = \left[ \alpha_1 + \alpha_2 \left( \frac{e_{2c} t_{2Ci} \alpha_1}{e_1 \alpha_2 \alpha_{2c}} \right)^{(1-\sigma_1)} \cdot \left\{ \alpha_{2c} + \alpha_{2M} \left( \frac{e_{2c} t_{2Ci} \alpha_{2M}}{e_{2M} t_{2Mi} \alpha_{2c}} \right)^{(\sigma_2-1)} \right\}^{\frac{\sigma_1-1}{\sigma_2-1}} \right]^{\frac{\sigma_1}{1-\sigma_1}} u_i^* \quad (14)$$

$$x_{2mi}^{**} = \left[ \alpha_1 \left( \frac{e_{2m} t_{2mi} \alpha_1}{e_1 \alpha_2 \alpha_{2m}} \right)^{(\sigma_1-1)} \cdot \left\{ \alpha_{2m} + \alpha_{2n} \left( \frac{e_{2m} t_{2mi} \alpha_{2n}}{e_{2n} t_{2ni} \alpha_{2m}} \right)^{(\sigma_2-1)} \right\}^{\frac{(\sigma_1-1)(\sigma_2-\sigma_1)}{\sigma_1(\sigma_2-1)}} + \alpha_2 \left\{ \alpha_{2m} + \alpha_{2n} \left( \frac{e_{2m} t_{2mi} \alpha_{2n}}{e_{2n} t_{2ni} \alpha_{2m}} \right)^{(\sigma_2-1)} \right\}^{\frac{\sigma_2(\sigma_1-1)}{\sigma_1(\sigma_2-1)}} \right]^{\frac{\sigma_1}{1-\sigma_1}} u_i^* \quad (15)$$

これらを式(11)に代入することで, シナリオ  $s$  で達成可能な効用水準を低下させることなく達成可能な最小の都市全体の総エネルギー消費量  $E_i^{**} = E(x_{i_i}^{**}, x_{2c_i}^{**}, x_{2m_i}^{**})$  が

得られる. 図-5はこれらの関係を示している.

#### 4. 実証分析

##### (1) シナリオ毎の人口集約結果

2030年時点における推計都市圏人口<sup>13,14)</sup>を, シナリオA, シナリオB(1), シナリオB(2), およびシナリオCの配分方法によって配分した時のゾーン別人口密度分布を, それぞれ図-6, 図-7, 図-8, 図-9に示す. シナリオごとに集約化された人口分布の違いが明瞭に表現されている.

##### (2) 使用データ

以下に, 本章で使用した初期データおよびデータの作成方法を説明する.

##### a) 交通機関別初期トリップ数 $x_{s2Ci}, x_{s2Mi}$

一人一日当たりの交通機関別トリップ数  $x_{s2Ci}, x_{s2Mi}$  (トリップ/人・日)は, PT調査の一日当たりの交通機関別OD交通量を発ゾーン別に集計し, 発ゾーンの居住人口で除して求めた. PTデータの詳細<sup>11)</sup>を表-2に示す.

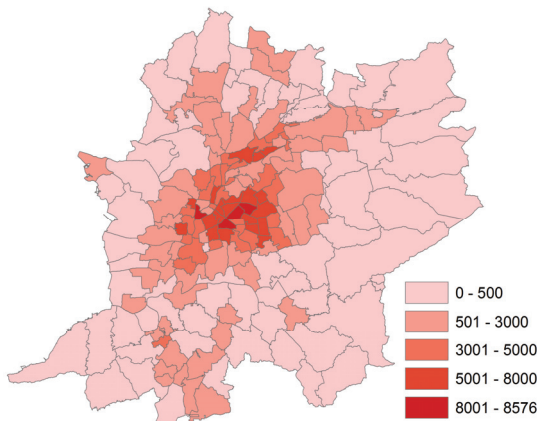


図-6 シナリオAの人口密度

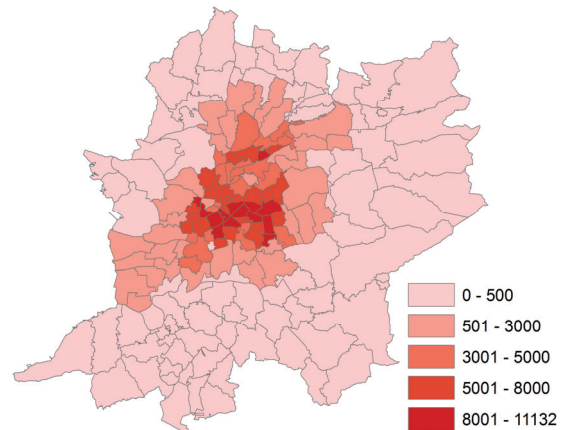


図-7 シナリオB(1)の人口密度

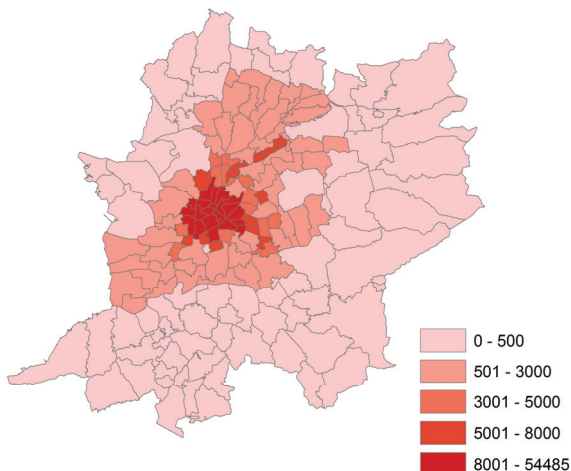


図-8 シナリオB(2)の人口密度

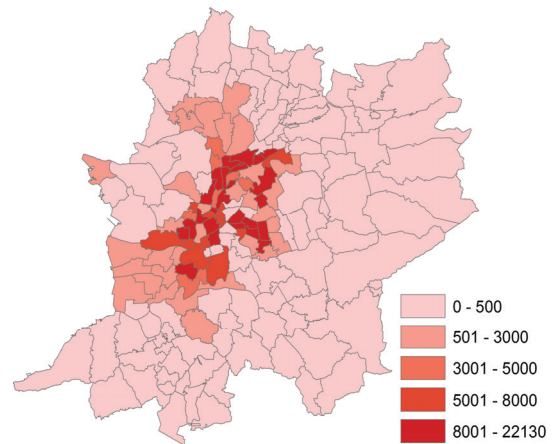


図-9 シナリオCの人口密度

b) 交通機関別トリップ数  $X_{s2Ci}, X_{s2Mi}$

シナリオ  $s$  の総交通機関別トリップ数  $X_{s2Ci}, X_{s2Mi}$  (トリップ/日) は, a) で求めた一人一日当たりの交通機関別トリップ  $x_{s2Ci}, x_{s2Mi}$  にシナリオ  $s$  におけるゾーン  $i$  の居住人口  $pop_{si}$  をかけて求めた. シナリオ A の居住人口  $pop_{Ai}$  は, PT 調査の人口に 2030 年で予測された人口変化率を乗じて求め<sup>9)</sup>, シナリオ B, C の居住人口  $pop_{Bi}, pop_{Ci}$  は, シナリオ A の総人口である  $pop_A$  をそれぞれの設定する方法で配分して求めた.

c) 効用関数のパラメータ  $\sigma_1, \sigma_2, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_{2C}, \alpha_{2M}$

効用関数の特定化パラメータは表-3<sup>8)</sup>を用いた.  $\alpha_{2M} < \alpha_{2C}$  は交通関連支出に占める公共交通機関への支出比率の方が自動車へのそれより小さいことを示しており, 妥当な結果となっている. また, 総支出額に占める一般財と交通サービスの配分比率である  $\alpha_1$  と  $\alpha_2$ , および 2 財の価格比の単位変化に対する需要量比の変化率を示す  $\sigma_1$  と  $\sigma_2$  は, 常識的で妥当な値となっている.

d) 平均所要時間  $t_{s2Ci}, t_{s2Mi}$

シナリオ  $s$  のゾーン  $i$  からの交通機関別平均所要時間  $t_{s2Ci}, t_{s2Mi}$  (分) は, それぞれ利用者均衡配分, 確率的配分法を用いて算出した OD 間所要時間  $t_{s2Cij}, t_{s2Mij}$  を交通機関別 OD 交通量 (トリップ) で加重平均し, 発ゾーン別に求めた.

e) 交通機関別一般化費用  $G_{s2Ci}, G_{s2Mi}$  と費用  $p_{s2Ci}, p_{s2Mi}$

OD 間の自動車費用  $p_{s2Cij}$  は, OD 間の平均走行速度 (km/h) によって得られる走行経費原単位 (円/km・台) を用いて次式から算出した.

OD別自動車費用  $p_{s2Cij}$  (円/トリップ)  
 = 走行経費原単位 (円/km・台) × OD 間距離 (km) / 平均乗車人員 (トリップ/台)

自動車の一般化費用  $G_{s2Cij}$  は次式より求めた.

OD別自動車一般化費用  $G_{s2Cij}$  (円/トリップ)  
 = OD 別自動車費用  $p_{s2Cij}$  (円/トリップ) + 時間価値 (円/トリップ・分) × 自動車の OD 間所要時間 (分)

ここで, 公共交通機関の費用  $p_{s2Mij}$  と一般化費用  $G_{s2Mij}$  は, 公共交通機関利用の OD 交通量を公共交通ネットワーク上の第 3 番目までの最小一般化費用経路に確率的配分法を用いて配分し, 配分された交通量による重み付け期待値をとることによって算出する.

算出した交通機関別一般化費用  $G_{s2Cij}, G_{s2Mij}$  と費用  $p_{s2Cij}, p_{s2Mij}$  を交通機関別 OD 交通量 (トリップ) で加重平均し, 発ゾーン別の交通機関別一般化費用  $G_{s2Ci}, G_{s2Mi}$  と費用  $p_{s2Ci}, p_{s2Mi}$  とする. このときの時間価値 (円/分・人) は, 自動車では  $\omega_c^{1997} = 38.11$ , 公共交通機関では  $\omega_M^{1997} = 4000$  を使用した.

f) 所得  $I_i$

発ゾーン別の所得  $I_i$  (円/人・日) については統計が

表-2 PT 調査の概要

対象地域	17 市町村 (177 ゾーン)
対象地域の人口 (人)	970,380
自動車保有率 (台/1000 人)	569
総トリップ数 (万トリップ)	227

表-3 効用関数パラメータ

$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_{2C}$	$\alpha_{2M}$
0.788	1.123	0.998	0.002	0.726	0.274

表-4 エネルギー消費原単位

財	原単位
一般消費財 $e_1$ (kcal/人・円)	3.639
自動車トリップ $e_{s2C}$ (kcal/人・分)	137.653
公共交通機関トリップ $e_{s2M}$ (kcal/人・分)	14.498

表-5 目的地選択モデルパラメータ<sup>8)</sup>

	自動車	公共交通機関
都心ダミー $a$	-0.443	0.016
従業人口 $b$	$2.96 \times 10^5$	$1.73 \times 10^5$
一般化費用 $c$	-0.002	287.81

ないため, 市町別所得をゾーン別の平均路線価に比例させて配分した値を用いる<sup>8)</sup>. また, 将来のゾーン別の 1 人 1 日当たりの所得についてはその将来推計値が存在しないので, ここでは現在と同じと仮定する. ただし, 総人口は同じでも, シナリオによってその分布は異なることから, 都市圏全体の総所得はシナリオごと異なってくる.

g) エネルギー消費原単位  $e_1, e_{s2C}, e_{s2M}$

一般財の消費支出は 1 世帯当たりの総消費支出から交通・自動車等関係費を除いたものとする. 一般財のエネルギー消費原単位  $e_1$  (kcal/円) は, 家庭部門の 1 世帯当たりのエネルギー消費量 (kcal/世帯・月) を一般財の消費支出 (円/世帯・月) で除して求められた値を使う. 自動車・公共交通機関のエネルギー消費原単位  $e_{s2C}, e_{s2M}$  (kcal/トリップ・分) については, シナリオ  $s$  の内々交通を除いた交通機関別 OD 交通量 (トリップ) で加重平均した速度 (km/分) にエネルギー消費原単位 (kcal/トリップ・km) をかけて求められたものを使う. これらのエネルギー消費原単位を表-4 に示す.

(3) 目的地選択モデル

発ゾーン別交通機関別トリップ数  $x_{s2Ci}, x_{s2Mi}$  から, 交通機関別目的地選択モデルを用いて交通機関別 OD 交通

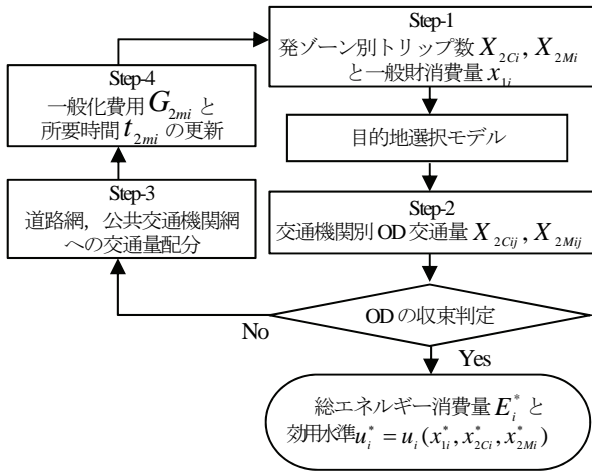


図-10 都市エネルギー消費量の算出フロー<sup>8)</sup>

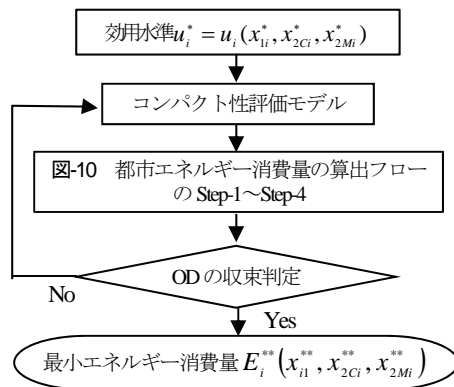


図-11 コンパクト性評価の分析フロー<sup>8)</sup>

量を予測する。ここでは、 $j$ ゾーンの都心ダミー $D_j$ と従業人口 $Z_{sj}$ 、ゾーン間の一般化費用 $G_{s2Cij}$ 、 $G_{s2Mij}$ を説明変数とした集計ロジットモデルを用いる。目的地選択モデルで使用するパラメータは表-5のものを用いる<sup>8)</sup>。公共交通機関利用者については、目的地選択モデルにおける一般化費用の符号が正になっており、一見、論理的ではないようにも見える。しかし、公共交通機関利用者にとって一般化費用が大きいゾーンの方が効用は大きく、目的地として選択しやすいという解釈は、実態から言っても合理的でないとは言えないであろう。

(4) 将来の都市エネルギー消費量算出のフロー

シナリオ $s$ の都市エネルギー消費量を算出するフローを図-10に示す。

Step-1: (2)で述べた方法により交通機関別トリップ数を算出する。

Step-2: 前述した目的地選択モデルによって、交通機関別OD交通量を求める。

Step-3: 交通機関別OD交通量を自動車は利用者均衡配分、公共交通機関は確率配分でそれぞれのネットワークに配分する。

Step-4: 配分結果より、所要時間 $t_{s2Ci}$ 、 $t_{s2Mi}$ と一般化費用 $G_{s2Ci}$ 、 $G_{s2Mi}$ を更新し、3章で説明した効用関数より、再度交通機関別トリップ数を算出する。

これらのステップを交通機関別ODが収束するまで繰り返す。

(5) 将来の最小都市エネルギー消費量算出のフロー

シナリオ $s$ の最小都市エネルギー消費量を算出するフローを図-11に示す。このフローはシナリオ $s$ 別の効用水準を算出するステップ、式(14)と(15)からエネルギー消費量を最小化する交通機関別トリップ数 $x_{s2Ci}^{**}$ 、 $x_{s2Mi}^{**}$ と一般財の需要 $x_{sli}^{**}$ を算出するステップが図-10に加わり、所要時間 $t_{s2Ci}$ 、 $t_{s2Mi}$ と一般化費用 $G_{s2Ci}$ 、 $G_{s2Mi}$ を更新してコンパクト性評価モデルを解きながら、交通機関別ODが収束するまで収束計算を繰り返すというフローとなる。

(6) 最小化のための追加的費用

シナリオ $s$ において効用水準を維持するという条件下で都市全体の総エネルギー消費量を最小にするためには、下記に示す追加的な費用を必要とする。

$$\Delta I_i = I_i(x_{li}^{**}, x_{2Ci}^{**}, x_{2Mi}^{**}) - I_i(x_{li}^*, x_{2Ci}^*, x_{2Mi}^*) \quad (16)$$

5. シナリオ間の都市エネルギー消費量の比較

(1) エネルギー消費量の比較

表-6にはシナリオごとのエネルギー消費量や費用などの比較を示す。ここでは、総エネルギー消費量などの推計値と共に、シナリオAの値を基準とした比率をそれらの右側に示している。

比較、考察を行った結果を以下に箇条書きで述べる。

1) シナリオAに比べ、総エネルギー消費量はシナリオB(1)が0.98倍、シナリオB(2)が1.10倍、シナリオCが0.97倍となっている。これらの中では多極連携型集約シナリオCが最もエネルギー消費量の削減につながる都市圏構造であるといえる。これは、自動車トリップの減少と公共交通機関トリップの増加に伴い、自動車による消費エネルギーが14%も減少しているためである。これに対して都心部集約シナリオB(2)はエネルギー消費量をむしろ増大させる。これは自動車と公共交通機関の消費エネルギーが19%、9%も増加したためである。

2) 本モデルの仮定より、3つの財の消費による総費用は都市圏全体の総所得に等しい。この総所得は、所得水準の高い市街化区域内に人口を集約するシナリオB(1)とB(2)では、それぞれシナリオAの場合の1.02倍、1.06倍に増加し、シナリオCでは0.99倍と、わずかではある



表-6 シナリオ毎のエネルギー消費量の比較

		シナリオ A	シナリオ B(1)		シナリオ B(2)		シナリオ C	
総エネルギー消費量(kcal/日)		$3.26 \times 10^{10}$	$3.21 \times 10^{10}$	0.98	$3.58 \times 10^{10}$	1.10	$3.15 \times 10^{10}$	0.97
総費用(円/日)		$6.80 \times 10^9$	$6.92 \times 10^9$	1.02	$7.19 \times 10^9$	1.06	$6.80 \times 10^9$	0.99
総交通費用(円/日)		$3.29 \times 10^8$	$3.02 \times 10^8$	0.92	$3.13 \times 10^8$	0.95	$2.85 \times 10^8$	0.86
消費エネルギー (kcal/日)	一般財	$2.36 \times 10^{10}$ (72.2)	$2.41 \times 10^{10}$ (75.2)	1.02	$2.50 \times 10^{10}$ (69.9)	1.06	$2.37 \times 10^{10}$ (75.2)	1.01
	自動車トリップ	$8.90 \times 10^9$ (27.3)	$7.79 \times 10^9$ (24.3)	0.88	$1.06 \times 10^{10}$ (29.6)	1.19	$7.62 \times 10^9$ (24.2)	0.86
	MTトリップ	$1.67 \times 10^8$ (0.5)	$1.73 \times 10^8$ (0.5)	1.04	$1.81 \times 10^8$ (0.5)	1.09	$1.76 \times 10^8$ (0.6)	1.06
一般財の総消費額(円/日)		$6.48 \times 10^9$	$6.62 \times 10^9$	1.02	$6.26 \times 10^9$	0.97	$6.51 \times 10^9$	1.01
自動車の総交通量(トリップ/日)		$1.76 \times 10^6$	$1.71 \times 10^6$	0.97	$1.73 \times 10^6$	0.98	$1.64 \times 10^6$	0.93
MTの総交通量(トリップ/日)		$8.83 \times 10^4$	$9.99 \times 10^4$	1.13	$1.09 \times 10^5$	1.23	$1.02 \times 10^5$	1.16
自動車の総所要時間(分)		$8.09 \times 10^7$	$7.94 \times 10^7$	0.98	$9.53 \times 10^7$	1.18	$7.84 \times 10^7$	0.97
MTの総所要時間(分)		$9.45 \times 10^7$	$8.45 \times 10^7$	0.89	$8.27 \times 10^7$	0.87	$8.15 \times 10^7$	0.86

注) ( )内の数字は比率を示す

表-7 最小エネルギー消費量との比率

		シナリオ A	シナリオ B(1)		シナリオ B(2)		シナリオ C		
総エネルギー消費量(kcal/日)		$2.57 \times 10^{10}$	0.79	$2.61 \times 10^{10}$	0.81	$2.69 \times 10^{10}$	0.75	$2.57 \times 10^{10}$	0.82
総費用(円/日)		$6.84 \times 10^9$	1.01	$6.97 \times 10^9$	1.01	$7.24 \times 10^9$	1.01	$6.85 \times 10^9$	1.01
総交通費用(円/日)		$1.95 \times 10^8$	0.59	$1.92 \times 10^8$	0.64	$1.95 \times 10^8$	0.62	$1.84 \times 10^8$	0.65
消費エネルギー (kcal/日)	一般財	$2.42 \times 10^{10}$ (94.1)	1.03	$2.47 \times 10^{10}$ (94.3)	1.02	$2.57 \times 10^{10}$ (95.5)	1.03	$2.43 \times 10^{10}$ (94.3)	1.02
	自動車トリップ	$1.13 \times 10^9$ (4.4)	0.13	$1.09 \times 10^9$ (4.2)	0.14	$0.82 \times 10^9$ (3.0)	0.78	$1.08 \times 10^9$ (4.2)	0.14
	MTトリップ	$3.88 \times 10^8$ (1.5)	2.33	$3.83 \times 10^8$ (1.5)	2.22	$4.21 \times 10^8$ (1.5)	2.33	$3.74 \times 10^8$ (1.5)	2.13
一般財の総消費額(円/日)		$6.26 \times 10^9$	1.03	$6.26 \times 10^9$	1.02	$6.26 \times 10^9$	1.13	$6.26 \times 10^9$	1.02
自動車の総交通量(トリップ/日)		$8.62 \times 10^5$	0.49	$9.10 \times 10^5$	0.53	$8.77 \times 10^5$	0.51	$8.70 \times 10^5$	0.53
MTの総交通量(トリップ/日)		$1.99 \times 10^5$	2.26	$2.14 \times 10^5$	2.14	$2.41 \times 10^5$	2.21	$2.15 \times 10^5$	2.10
自動車の総所要時間(分)		$2.12 \times 10^7$	0.26	$2.11 \times 10^7$	0.27	$1.98 \times 10^7$	0.21	$2.07 \times 10^7$	0.28
MTの総所要時間(分)		$9.80 \times 10^7$	1.04	$8.77 \times 10^7$	1.04	$8.55 \times 10^7$	1.03	$8.45 \times 10^7$	1.04
追加的費用(円/日) (%)		$0.04 \times 10^9$	0.58	$0.05 \times 10^9$	0.72	$0.05 \times 10^9$	0.69	$0.05 \times 10^9$	0.74

注) ( )内の数字は比率を示す

が減少することになる。これを費用の側面から見ると、交通機関別費用の総和である総交通費用は全てのシナリオで減少するにもかかわらず、総費用はシナリオ B(1)と B(2)では増加し、シナリオ C だけが減少することになる。これは、シナリオ C の一般財の総消費額の増加以上に総交通費用の減少額が大きいためである。

3) いずれのシナリオでも自動車トリップは減少し、公共交通機関トリップは増加している。これは、郊外に比べて公共交通機関の利便性の高い都心部に人口を集約させたことにより、公共交通への手段転換が起きたためである。多極連携という特徴のために、シナリオ C では乗り換えトリップが多くなっている。自動車トリップの減少率は最大となっているものの、公共交通機関トリップの増加率はシナリオ C でなく、シナリオ B(2)が最大となった。

4) 総所要時間は、自動車についてはシナリオ B(1), C

がそれぞれ 0.98 倍, 0.97 倍と減少しているのに対し、シナリオ B(2)のみ 1.18 倍に増加している。これは、シナリオ B(2)では都心部に人口を集約させたために交通混雑が増大したためである。公共交通機関についてはどのシナリオにおいても総所要時間は減少している。

5) 3), 4)の理由から、自動車トリップによる消費エネルギーは総所要時間が増加したシナリオ B(2)だけが増加し、他のシナリオでは減少した。公共交通機関トリップによる消費エネルギーについては、利用トリップ数の増加が総所要時間の減少よりも大きくなったために、いずれのシナリオでも増加した。また、一般財消費エネルギーはいずれのシナリオでも増加するという結果となった。

6) シナリオ A の総エネルギー消費量に対して、シナリオ B(1)では 2%, シナリオ C できさえも 3% だけしか、削減率は大きくないという結果となった。これは、シナリオ A でも 2030 年の人口が 2014 年の 12% 減になって総エ

エネルギー消費量は減少するために、減少率が相対的に小さくなることによる。しかし、シナリオ B(2)では道路交通混雑の影響を受けて総エネルギー消費量は10%も増加する結果となっている。以上より、本モデルの感度が小さい訳でなく、シナリオの違いによる総エネルギー消費量の変化を感度良く予測しており、その変化量があまり大きくなることを示している。

7) 以上より、多極連携型集約化シナリオ C が消費エネルギー削減の視点から見て最もコンパクトな都市構造であるといえる。

## (2) 消費エネルギー最小時との比較

シナリオ毎に都市エネルギー消費量と最小都市エネルギー消費量を比較した結果を表-7 に示す。以下に結果の考察を箇条書きで記す。

- 1) 将来予測に対する総エネルギー消費量最小時の比は、それぞれのシナリオで 0.79 倍, 0.81 倍, 0.75 倍, 0.82 倍となっており、シナリオ C が消費エネルギー最小時の解との差が最も小さい。この結果からもシナリオ C がコンパクトな都市圏構造に最も近いといえる。
- 2) いずれのシナリオでも、一般財と公共交通機関トリップによる消費エネルギーを増加させ、自動車トリップによる消費エネルギーを減少させることにより、現在の効用水準を維持したままで総エネルギー消費量を最小化させることができる。その時、総交通費用は減少させることができるが、一般財の総消費額を含む総費用は増加する。
- 3) そのためには、一般財の総消費額と公共交通機関のトリップ数を増大させて、自動車のトリップ数を減少させる必要がある。これにより、自動車の総所要時間はかなり減少させることができるが、公共交通機関の総所要時間は増加せざるを得ない。
- 4) 式(16)で示される追加的費用は、表-7 の総費用から表-6 の総費用を引いた値であり、いずれも  $0.04 \times 10^9 \sim 0.05 \times 10^9$  程度で、シナリオによって大きな差はない。また、これらの値はシナリオごとの総費用のおよそ 0.58% ~ 0.74% であり、総エネルギー消費量を最小化するための追加的費用はそれほど大きくない。

## 6. おわりに

本論文では、熊本都市圏における将来の生活圏をベースに、人口集積のタイプが異なる3つの都市圏構造シナリオを想定し、コンパクト性評価モデルを用いたシナリオ分析を行って、エネルギー消費量の視点からコンパクト性の評価を行った。これにより、将来どのような都市形態および交通サービスにすることで都市全体のエネルギー消費量を削減することが可能かを分析した。以下に結論を列挙する。

1) 人口を公共交通サービスの利便性の高い主要な交通拠点とその周辺に集約する多極連携型の都市構造にすることにより、エネルギー消費量の削減をすることが可能である。さらに、総費用も削減することができる。

2) 人口を都市中心部の一極に集約する構造でもエネルギー消費量を削減することが可能である。しかし、その効果は多極連携型の場合よりも小さい上、総費用は増加する。

3) また、都市中心部への過度な人口集約は交通混雑の増加に起因したトリップによるエネルギー消費を増加させ、総エネルギー消費量の増大を引き起こす。

4) いずれの都市構造でも、自動車トリップを公共交通機関トリップに転換させたり、交通サービスの消費を一般財の消費に転換させたりすることで、効用水準を現状の水準に維持したままで総エネルギー消費量をさらに減少させることが可能である。

5) その中でも、多極連携型都市構造は将来予測時に対するエネルギー最小時の総エネルギー消費量との差が最も小さくなっており、コンパクトな都市圏構造に最も近いことがわかった。

以上より、多極連携型は都市圏全体の消費エネルギー削減の視点から見たコンパクトシティを実現するのに適切な都市構造であることを明らかにすることができた。

しかし、具体的な都市構造を検討するためには、人口集約パターンと交通サービス形態について、より多様で詳細な条件を設定した上で評価シミュレーションを実施する必要がある。また、評価シミュレーションを構成する目的地選択モデルなどのサブモデルやエネルギー原単位などの精緻化が望まれるところである。さらに、これらの都市構造と交通サービス形態を実現するためには、コンパクトシティに対する市民の受容可能性を明らかにすること、人口集約化を可能にする移転や縮退モデルと政策の検討が次の研究課題<sup>15)</sup>となる。

## 参考文献

- 1) 魚路 学, 村橋正武: 地方都市活性化のための都市構造のあり方に関する研究, 都市計画論文集, No.39, pp.3-8, 2004.
- 2) 鈴木祐大, 戸川卓哉, 加藤博和, 林 良嗣: 持続可能性からみた都市圏空間構成再構築案の評価システム, 土木計画学研究・講演集, CD-ROM (216), 2011.
- 3) 戸川卓哉, 加藤博和, 林 良嗣: トリプルボトムライン指標に基づく小学校区単位の地域持続性評価, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.68, No.5, pp.I\_383-I\_396, 2012.
- 4) 谷口 守: コンパクトシティとモビリティ・マネジメント, 国際交通安全学会誌, Vol.31, No.4, pp.44-51, 2006.

- 5) 谷口 守, 松中亮治, 中道久美子: SLIM CITY を用いた都市コンパクト化政策と水害軽減方策の連携に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.22, No.1, pp.171-176, 2005.
- 6) 森島 仁: 交通起源 CO<sub>2</sub> 排出量を考慮した都市空間構造の将来シナリオ評価に関する研究, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM (139), 2009.
- 7) 水本 斉, 森本章倫: 都市の集約の違いが CO<sub>2</sub> 排出量に与える影響に関する研究, 土木計画学・論文集, Vol.44, No.323, pp.1-6, 2011.
- 8) 溝上章志: 効用水準とエネルギー消費の視点から見た都市のコンパクト性評価法, 都市計画論文集, No.43-3, pp.127-132, 2008.
- 9) 熊本市都市マスタープランー都市空間の将来像(案)ー [http://www.city.kumamoto.kumamoto.jp/Content/Web/Upload/file/Bun\\_26793\\_22tosikuukannnosyouraizou.pdf](http://www.city.kumamoto.kumamoto.jp/Content/Web/Upload/file/Bun_26793_22tosikuukannnosyouraizou.pdf)
- 10) 土井俊祐, 青山吉隆, 中川 大, 柄谷友香, 近成純: モビリティを考慮した都市交通エネルギー施策に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.23, pp.887-894, 2006.
- 11) Yin, Y., Mizokami, S., Maruyama, T.: An analysis of the influence of urban form on energy consumption by individual consumption behaviors from a microeconomic viewpoint, *Journal of Energy Policy*, Vol.61, pp.909-919, 2013.
- 12) 金本良嗣, 蓮池勝人, 藤原 徹: 政策評価マイクロモデル, 東洋経済新報社, 2006.
- 13) 国立社会保障・人口問題研究所, 結果表 I 将来の市区町村別人口および指数, 2013.
- 14) 熊本県都市計画課, 熊本都市圏総合都市交通体系調査報告書, 1999.
- 15) 相川航平, 溝上章志, 円山琢也: コンパクトシティ形成のための移転促進, 及び交通施策の有効性に関するモデル分析, 土木計画学研究・講演集, No.49, PaperNo.50, 2013.

(2014. 7. 4 受付)

## A SCENARIO BASED ANALYSIS ON THE EFFECT OF COMPACT CITY REDUCING INDIVIDUAL ENERGY CONSUMPTION

Kohei AIKAWA, Shoshi MIZOKAMI and YIN Yanhong

This paper examines the effect of compact city on energy consumption by simulating the effect of three typical kinds of compact urban structure. The relationship between the urban structure and the effectiveness in reducing energy consumption is made clear. The energy consumption can be estimated by a model based on individual consumption behaviors of composite goods and mobility goods. This model is applied to four scenarios on the combination of urban structure and transportation services in Kumamoto metropolitan region in 2030. Results from scenario based simulation analysis suggest that multi-pole urban structure, which is made up of several convenient residential core poles around transit terminals and is connected by public transport service, is the best choice of compact urban structure.