コンパクトシティ形成のための移転促進，および交通施策の有効性に関するモデル分析

相川航平[1]，溝上章志[2]，円山琢也[3]

[1]正会員　株式会社大林組（〒107-0062 東京都港区港南2-15-2）
E-mail:
[2]正会員　熊本大学教授　大学院自然科学研究科（〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1）
E-mail: smizo@gpo.kumammoto-u.ac.jp
[3]正会員　熊本大学准教授　政策創造研究教育センター（〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1）
E-mail: takumaru@kumammoto-u.ac.jp

本モデルは，著者らが開発した都市のコンパクト性評価モデルに，1)交通と土地の需要均衡を利用した居住地選択モデルを導入すること，2)交通サービスを構成する交通トリップを目的別手段別トリップに拡張することにより，移転需要と詳細な交通需要パターンが予測可能となるように改良し，コンパクトシティ形成のためにどのような移転施策が有効かを検討することができる分析モデルである．また，3)このモデルを用いて，熊本都市圏を対象にコンパクトシティ形成のための移転施策を導入した際のシナリオ分析を行っている点に新規性がある．．

Key Words : *compact city, utility, residential allocation, transpotatin, scinario based analysis*

1. 序論

近年，我が国では公共公益施設や大型SCの郊外立地，中心市街地における商業機能の郊外移転などにより，自動車を主な移動手段とした都市構造となり，それに伴うエネルギー消費量の増加をどのように押さえるかが課題となっている．また，世界的にも，化石燃料の枯渇や地球温暖化などの問題を受け，いかにエネルギー消費量の削減を図るかが迫られている．このような問題を解決する手段のひとつとして，一人当たりのエネルギー消費量が小さい持続可能な都市形態であるコンパクトシティが注目されている．近年では富山市や金沢市などが都市計画マスタープランの中でコンパクトシティ施策を打ち出す[1)2)3)4)]など，社会全体としてコンパクトシティに対して活発な動きが見られている．

これらを受けて，都市のコンパクト化の効果やコンパクト化のための方策に関する研究もいくつかなされている．例えば，エネルギー消費量を削減するのに適切な住宅タイプやサービス施設量を推計してコンパクト化した都市の持続可能性をTriple Bottom Lineにより評価している鈴木らの研究[5)]，コンパクト化施策と居住者の交通行動特性に合わせたモビリティ・マネジメント方策とを組み合わせて実施することの有効性を検討した研究[6)]や，積み上げ方式の評価システムであるSLIM CITYを用いてコンパクト化施策と水害軽減方策との連携について検討を行っている研究[7)]といった谷口らによる2つの研究などがある．これらは都市のコンパクト化の効果に影響を与える要因が都市の物理的構造だけではないことを明らかにしている点で有用であるが，交通起源のエネルギー消費量を重要な評価指標の一つとしているにも関わらずコンパクト化後の交通需要の予測を行っていない等，十分とはいえない部分も見られる．コンパクト化による都市構造の変化に伴い，交通需要も変化するため，交通起源のエネルギー消費量を評価する際にはその需要予測を行うことが必須である．

一方で都市のコンパクト化に伴う交通需要の変動をエネルギー消費量の算出の際に考慮している研究としては，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らの研究[8]や，交通起源のCO_2排出量を抑えた開発が可能な地区を明確化する手法について提案している森島らの研究[9]などがある．さらに，現在のモビリティ水準を維持しながらエネルギーを最小化する都市構造や交通政策を検討している土井[10]らの研究は興味深い．しかし，都市活動は，交通だけでなく，その他の財の消費によって支えられている．著者らはこれらによって得られる現況の交通サービスに加えて一般財を財として導入し，効用水準を維持するという条件下でエネルギーを最小化する都市構造や交通施策を評価するモデルを提案してきた[11][12]．このモデルを用いて，熊本都市圏を対象とした2時点間比較や，熊本都市圏と長崎都市圏の地域間比較を行い，時間点や地域点でコンパクト性の程度が異なることに加えて，エネルギー削減の施策によって都心周辺部及び幹線道路沿線部の単位エネルギー消費量あたりの効用水準が向上すること，さらに公共交通サービス水準が高い交通拠点やその周辺の生活拠点ゾーンなどに人口を適切に集約する土地利用を図ることで，コンパクトな都市構造を達成することが出来ることや，車から公共交通機関へのモード転換，交通から一般財への消費の転換を行うことで，効用水準を維持しつつエネルギー消費量を削減できることを明らかにしている．一方，土地利用施策あるいは交通施策評価のためには土地利用と交通が相互に影響することを考慮して評価する重要性を指摘し，それを踏まえた土地利用－交通モデルの開発が行われてきている[13]など，人口の移転需要はモデルから内生的に求める必要がある． また，コンパクトシティ形成にあたり，生活圏内において徒歩などによる移動で買い物などの日常的なトリップを完結する，通勤や通学などのトリップに公共交通機関を利用するといった交通サービスや都市構造にすることでエネルギー消費量の削減をすることが重要な要件であり，それらを分析結果から考慮できる必要がある．

そこで本研究では，既存のコンパクト性評価モデルに交通と土地の需要均衡を利用した居住地選択モデルを導入することで，移転需要を計測可能なモデルへと改良し，どのような移転施策が有効かを分析する．また，交通サービスを決める交通トリップを目的別手段別に拡張することでより詳細な交通需要パターンを分析する．本研究は，すでに文献で発表されている理論と実証研究が基礎となっているが，1) 移転施策の評価とより詳細な交通需要パターン分析を可能にするためのモデルの改良 2)それを用いて熊本都市圏において移転施策を導入した際のシナリオ分析を行っている点に新規性がある．

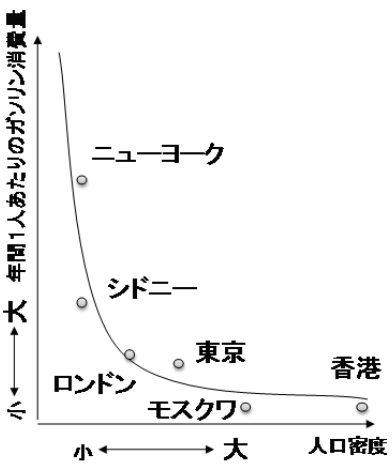

図-1 都市のガソリン消費量と人口密度の相関図

本論文は6章から構成されている．まず，2.でコンパクトな都市形態と交通政策について述べ，3.では，コンパクトシティ形成のための移転施策評価手法を説明する．4.では，前章で説明したモデルのパラメータ推定方法とその結果を述べ，5.で改良したモデルを用いて移転施策の有効性を分析し，最後に6.で本研究の結論と問題点について述べる．

2. コンパクトな都市形態と交通政策

(1) コンパクトシティの定義

コンパクトシティとは，エネルギー消費量が低く，低炭素な環境的にも経済的にも社会的にも持続可能な都市の空間形態として提唱された都市形態であり，都市政策モデルでもある．近年問題となっている，自動車中心社会の進展による都市郊外部へのスプロール化や中心市街地の空洞化，そしてそれらに伴うエネルギー消費量の増加といった問題を解決するための施策としても多くの自治体の都市マスタープランで導入され始めている．しかし，具体的にどのような都市形態や構造がコンパクトなのかについては明確な定義はない．このような中，**図-1**に示すようなKenworthy&Newmanが提唱した有名な発見[14]がある．

これはガソリンの消費量と人口密度との両者の間に反比例の関係があり，交通に起因するエネルギー消費量を削減するには人口密度を大きくする政策が有効であることを示唆している．しかし，単にエネルギー消費量を削減すれば持続可能な都市形態といえるのかについては検討の余地がある．過密な都市構造はスラム街の形成や慢性的な交通渋滞などの問題が発生し，居住者の効用が低下する可能性が高い．持続可能な都市空間を追求する際は，少なくとも個人が現在の効用水準を低下させることなく，いかにエネルギー消費量を削減させるかが重要で

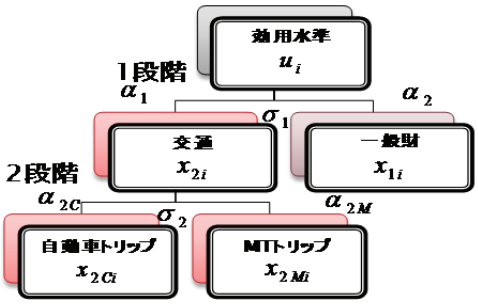

図-2　層化CES型効用関数の構造

ある．さらに，都市の諸活動は交通だけでなくその他の一般財の消費からも構成されている．そこで本研究では，効用水準を低下させることなく1人当たりの都市全体のエネルギー消費量を削減可能な都市形態をコンパクトシティと定義し，その程度をコンパクト性と定義する．

(2)　コンパクト性の評価方法

上記の概念に沿ったコンパクト性の評価モデルのプロトタイプについては，溝上らによって提案されている．ここではこのプロトタイプモデルを用いてコンパクト性を評価する方法を簡単に説明する．

a)　現在の効用水準と都市エネルギー消費量の算出

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財の消費行動を行っている．ゾーンiに居住する代表的個人は，自動車（C）によるトリップx_{2Ci}と公共交通機関（M）によるトリップx_{2Mi}，及びその他の一般財x_{1i}の3つの財を消費すると仮定する．自動車によるトリップx_{2Ci}と公共交通機関によるトリップx_{2Mi}により交通サービスの水準x_{2i}が決まると仮定し，**図-2**に示すようなNested型でかつ各段階において2財間の代替の弾力性を別個に設定できるようなCES型の効用関数を仮定した．

ここでは2段階目で自動車トリップ数と公共交通機関トリップ数から交通サービス水準が，1段階目で一般財と交通サービスの消費量から効用水準が構成される構造になっており，両段階を次に示すような CES 型効用関数で表して定式化する．

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

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

σ_1,σ_2は，それぞれの段階での 2 財間の代替弾力性である．代替弾力性とは，2財間の価格比が 1%変化したときに需要比率が何%変化するかを表すパラメータであり，2 財間の代替性の程度を表す．α_1とα_2，およびα_{2C}とα_{2M}は，一般財と交通サービス，自動車によるトリップ数と公共交通機関によるトリップ数に対する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パラメータである．

この効用関数に対して，所得を制約条件とした効用最大化問題を解くことによって得られた一般財の消費量x_{1i}^*と自動車トリップ数x_{2Ci}^*，公共交通機関トリップ数x_{2Mi}^*を以下の式に代入することで都市全体の総エネルギー消費量Eが算出される．

$$E=\sum_i E_i\cdot Pt_i=\sum_i (e_1 x_{1i}^*+e_{2C}t_{2Ci}x_{2Ci}^*+e_{2M}t_{2Mi}x_{2Mi}^*)\cdot Pt_i \quad (3)$$

ここで，E_iはゾーンiの都市エネルギー消費量(kcal/人・日)，Pt_iはゾーンiの居住人口(世帯)，は一般財の需要量x_{1i}^* (円/世帯･日)，x_{2Ci}^*,x_{2Mi}^*はそれぞれ自動車と公共交通機関によるトリップ数(trip/世帯・日)，e_1,e_{2C},e_{2M}はそれぞれ一般財，自動車，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}はそれぞれ自動車と公共交通機関によるiゾーンから全てのゾーンへの平均所要時間(分)である．

b)　コンパクト性評価モデル

コンパクト性の評価は，現在の効用水準$u_i^*=(x_{1i}^*,x_{2Ci}^*,x_{2Mi}^*)$を維持しながら都市圏全体のエネルギー消費量を最小にする時の$x_{1i}^{**},x_{2Ci}^{**},x_{2Mi}^{**}$によるエネルギー消費量と現在の消費量の差によって計測される．

現在の効用水準を維持するという制約条件下での総エネルギー消費量最小化問題は以下のようになる．

$$\min_{\{x_{1i}^{**},x_{2Ci}^{**},x_{2Mi}^{**}\}} E^{**}=\sum_i E_i^{**}\cdot Pt_i$$
$$=\sum_i (e_1 x_{1i}^{**}+e_{2C}t_{2Ci}x_{2Ci}^{**}+e_{2M}t_{2Mi}x_{2Mi}^{**})\cdot Pt_i \quad (4)$$

$$s.t.\quad u_i\left(x_{1i}^{**},x_{2Ci}^{**},x_{2Mi}^{**}\right)=u_i^*\left(x_{1i}^*,x_{2Ci}^*,x_{2Mi}^*\right) \quad (5)$$

これを解くことにより，消費エネルギー最小時の一般財の需要量，交通機関別のトリップ数の需要関数が導出される．

(3)　シナリオ分析によるコンパクトな都市構造

コンパクト性評価モデルのプロトタイプを用いて，2030年の熊本都市圏における3種類の都市圏構造シナリオを想定したシナリオ分析を行った．想定するシナリオは，2030年の人口を1997年（第3回熊本都市圏PT調査時）のゾーン別人口に比例して配分する趨勢型シナリオA，都市の中心部に集約する一極集中型シナリオB（1997年における市街化区域内の各ゾーンの人口比率に比例させて集約するシナリオB(1)と，市街化区域内の外側から中心に向けて同心円状に人口密度を高めていくシナリオB(2)），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分散型シナリオCの3つで

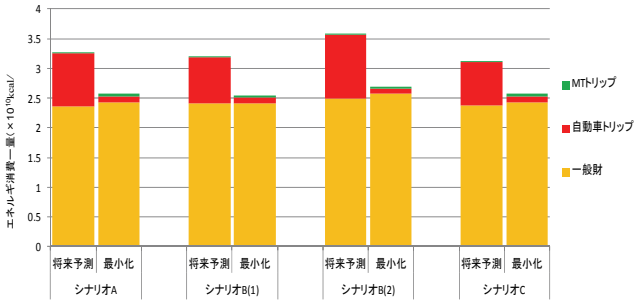

図-3　将来予測と最小化時のエネルギー消費量の結果

表-1　コンパクトシティ形成に向けた自治体の施策

	富山	岐阜	金沢	高岡
施策内容	対象区域以外から対象地域の賃貸住宅へ転居した場合に家賃を3年間助成。	市外から対象区域の賃貸住宅へ転居した場合に1年間家賃を助成。	対象区域において戸建て住宅を住宅ローンにて新築または購入する場合に助成。	対象区域で居住する住宅を新築または購入する場合に助成。
対象区域面積	4.36km^2	5km^2	9km^2	2.63km^2
補助金額	10,000円／月（限度額）	（「実質家賃負担額」－5万円）÷2 20,000円／月（限度額）	2,000,000円	金融機関借入額の5% 1,000,000円（限度額）

ある．将来予測とエネルギー消費量最小化時の結果を図-3に示す．

このシナリオ分析から得られた結果を以下に箇条書きで述べる．

1) 総エネルギー消費量は多極分散型シナリオ C が最もエネルギー消費量の削減につながること，一極集中型の中でも都心部集中シナリオ B(2)はエネルギー消費量の削減には繋がらず，むしろ増大させる．

2) 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を利用しやすい環境の中心部に人口を集約させたことにより，交通手段の転換が行われたためだと考えられる．特にシナリオ C がその趣旨のために乗り換えの量が多いと予想していたが，自動車トリップの減少率はシナリオ C が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 B(2)が最大となった．

3) 総所要時間は，自動車についてはシナリオ B(1)，C がそれぞれ減少しているのに対し，シナリオ B(2)のみ増加している．これは，シナリオ B(2)の中心部において人口を大きく集約させたことにより，過剰な渋滞が発生しているためと考えられる．公共交通機関についてはどのシナリオも総所要時間は減少している．

4) 2)，3)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大きく増加したシナリオ B(2)のみ増加し，他のシナリオでは減少している．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トリップ数の増加が総所要時間の減少よりも大きいためにいずれのシナリオでも増加する．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となった．

5) 将来予測に対する最小時の総エネルギー消費量の比は，シナリオ C が最小解との差が最も小さい．この結果によりシナリオ C がコンパクトな都市構造に最も近いことがわかる．

6) 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することができる．その時，総交通費用は減少させることができるが，総費用は増加する．

7) そのためには，一般財の総消費量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．またこれにより，自動車の総所要時間は減少し，公共交通機関の総所要時間は増大する．

(4) コンパクトシティを推進するための施策

以上より，交通拠点や生活拠点ゾーンに適切な人口集約を行うことによってコンパクト化を実現することが可能であることが示された．しかし，現実的にそれ以外のゾーンからこれらの拠点ゾーンへの誘導をいかに進めるかが課題である．近年では，富山市，岐阜市，金沢市，高山市などが移転を推進するゾーンへの移転誘導を進める施策を打ち出している．その施策をまとめたものを表-1 に示す．富山市と岐阜市は月々に助成する一方，金沢と高岡は一括で助成にしているが，月々の住宅ローン返済に対する助成とした場合，それぞれ 4,761(円/月)，2,380(円/月)となる．ローン年数は 35 年間を使用した [15]．

本研究では，コンパクトシティ形成のためのこれらの移転施策の有効性を検証するのが目的であるが，1)移転誘導地域への移転のための補助施策 2)郊外地域への追加的課税施策という 2 種の移転施策を行った際の居住者の立地変更に伴う都市構造の変化，及びその時のエネルギー消費量とコンパクト性を評価する．

3. コンパクトシティ形成のための移転施策評価手法

移転施策の有効性を分析するためには，2.(2)で説明したコンパクト性の評価方法のプロトタイプでは不十分で

ある．分析モデルでは次のようなことが考慮できる必要がある．

1) 移転誘導施策による移転需要を内生的に求めることが出来る．
2) 移転する需要量よって地価は変動し，土地の需要と均衡する

さらに，コンパクト化により交通に求められる効果をより詳細に分析するために，次のような考察ができることも重要になる．

3) 拠点内で完結する徒歩による買い物や通院といった日常交通目的を考察できる交通手段の明示化
4) 同様に通勤や通学といった通勤・通学交通目的での公共交通機関の利用

そこで本モデルでは，財として新たに土地を導入し，その価格である地価は居住者の人口密度に依存して変動し，一般財，土地，交通サービスの需要から得られる効用と路線商店数や診療所数といったゾーン固有の効用によって移転需要が求められる居住地選択モデルを導入する．また，交通サービスは買い物・通院・娯楽といった日常交通目的のための徒歩トリップと車トリップ，通勤・通学・業務・帰宅といったゾーン間の足の長い通勤・通学交通目的のための公共交通機関トリップと車トリップの4つから決まると仮定する．以下ではそれらを満たす移転施策の評価モデルについて述べる．

(1)で予算制約下での効用最大化問題から個人の効用 u_i を算出する方法，(2) で居住地選択モデルの構造，(3)で移転施策の設定，(4)で算出した効用水準を維持する条件下での都市エネルギー消費量の最小値 E^{**} の算出方法を説明する．

(1) 現在の効用水準の算出

a) 仮定

本モデルでは，ゾーン i に居住する代表的個人は，土地 x_{Li} と交通 x_{Ti} 及びその他の一般財 x_{Gi} から効用を得ていると仮定する．土地は住宅地の消費量であり，個人の住宅地面積で表す．また，交通は目的別手段別トリップで決まるものとし，交通の消費は買い物・通院・娯楽交通目的（以下日常目的）交通トリップ x_{Pi} と通勤・通学・業務・帰宅交通目的（以下通勤・通学目的）交通トリップ x_{Oi} から決まり，日常目的交通トリップは自動車（C）トリップ x_{C1i} と徒歩（W）トリップ x_{Wi} ，通勤・通学目的交通トリップは自動車（C）トリップ x_{C2i} と公共交通機関（M）トリップ x_{Mi} からそれぞれ決まるとする．これにより，買い物や通院といった目的の交通が徒歩圏内に収まることや，通勤に公共交通機関を利用するといった コンパクトシティに求められる都市構造及び交通サービスの評価が可能になる．また，その他の一般財はニュメレール財とする．

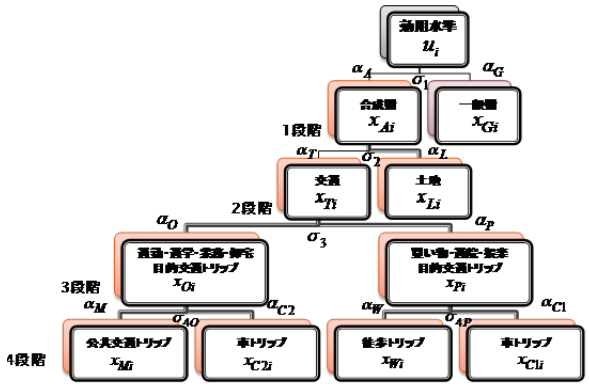

図-4 層化CES型効用関数の構造

b) 効用関数の定義

以上の6つを財とし，**図-4**のような4段階のNested構造を持つCES型効用関数を使用して効用水準を算出する．4段階目ではそれぞれ，自動車トリップと徒歩トリップから日常目的トリップを，自動車トリップと公共交通機関トリップから通勤・通学目的トリップを求められ，3段階目では日常目的トリップと通勤・通学目的トリップから交通水準を，2段階目では交通と土地の消費から合成財 x_{Ai} を，1段階目では合成財と一般財の消費から効用水準を求められる構造になっている．

これらをCES型効用関数で表して定式化するとそれぞれ以下のようになる．

$$u_i(x_{Gi},x_{ai}) = \left\{\alpha_G x_{Gi}^{(\sigma_1-1)/\sigma_1} + \alpha_A x_{Ai}^{(\sigma_1-1)/\sigma_1}\right\}^{\sigma_1/(\sigma_1-1)} \tag{5}$$

$$x_{Ai}(x_{Li},x_{Ti}) = \left\{\alpha_L x_{Li}^{(\sigma_2-1)/\sigma_2} + \alpha_T x_{Ti}^{(\sigma_2-1)/\sigma_2}\right\}^{\sigma_2/(\sigma_2-1)} \tag{6}$$

$$x_{Ti}(x_{Pi},x_{Oi}) = \left\{\alpha_P x_{Pi}^{(\sigma_3-1)/\sigma_3} + \alpha_O x_{Oi}^{(\sigma_3-1)/\sigma_3}\right\}^{\sigma_3/(\sigma_3-1)} \tag{7}$$

$$x_{Pi}(x_{C1i},x_{Wi}) = \left\{\alpha_{C1} x_{C1i}^{(\sigma_{4P}-1)/\sigma_{4P}} + \alpha_W x_{Wi}^{(\sigma_{4P}-1)/\sigma_{4P}}\right\}^{\sigma_{4P}/(\sigma_{4P}-1)} \tag{8}$$

$$x_{Oi}(x_{C2i},x_{Mi}) = \left\{\alpha_{C2} x_{C2i}^{(\sigma_{4O}-1)/\sigma_{4O}} + \alpha_M x_{Mi}^{(\sigma_{4O}-1)/\sigma_{4O}}\right\}^{\sigma_{4O}/(\sigma_{4O}-1)} \tag{9}$$

$\sigma_1,\sigma_2,\sigma_3,\sigma_{4P},\sigma_{4O}$ は，それぞれの段階の2財間の代替弾力性である．代替弾力性とは，2財間の価格比の1%の変化に対して2財の需要比率が何%変化するかを表すパラメータであり，2財間の代替性の程度を表す．また，それぞれ α_G と α_A は一般財と合成財，α_L と α_T は土地と交通，α_P と α_O は日常目的交通トリップと通勤・通学目的交通トリップ，α_{C1} と α_W は自動車トリップと徒歩トリップ，α_{C1} と α_M は自動車トリップと公共交通機関トリップを分配するパラメータであり，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．

c) 現在の効用水準の算出

式(5)～(9)の効用関数は，4段階での自動車と徒歩の発ゾーン別トリップ数 x_{C1i},x_{Wi} 及び自動車と公共交通機関

の発ゾーン別トリップ数x_{C2i}, x_{Mi}，3段階での日常目的と通勤・通学目的の発ゾーン別トリップ数x_{Pi}, x_{Oi}，2段階での土地と交通の消費量x_{Li}, x_{Ti}，1段階での一般財と合成財の消費量x_{Gi}, x_{Ai}の関数となっている．現在の効用水準の算出は，下位の段階から順に予算制約下での公用最大化問題を解いた解を元の効用関数に代入することで求める．

日常目的及び通勤・通学目的の交通トリップが式(8), (9)のようなCES型効用関数のとき，4段階の交通に消費可能な予算制約条件下での目的別交通水準最大化問題はそれぞれ以下のように定式化される．

$$\max_{\{x_{C1i}, x_{Wi}\}} \quad x_{Pi} = \left\{\alpha_{C1} x_{C1i}^{(\sigma_{4P}-1)/\sigma_{4P}} + \alpha_W x_{Wi}^{(\sigma_{4P}-1)/\sigma_{4P}}\right\}^{\sigma_{4P}/(\sigma_{4P}-1)} \tag{10}$$

$$s.t. \quad p_{C1i} x_{C1i} + p_{Wi} x_{Wi} \le I_{4Pi} \tag{11}$$

$$\max_{\{x_{C2i}, x_{Mi}\}} \quad x_{Oi} = \left\{\alpha_{C2} x_{C2i}^{(\sigma_{4O}-1)/\sigma_{4O}} + \alpha_M x_{Mi}^{(\sigma_{4O}-1)/\sigma_{4O}}\right\}^{\sigma_{4O}/(\sigma_{4O}-1)} \tag{12}$$

$$s.t. \quad p_{C2i} x_{C2i} + p_{Mi} x_{Mi} \le I_{4Oi} \tag{13}$$

ここでは，それぞれ自動車と徒歩による発ゾーン別1世帯1日当たりのトリップ数x_{C1i}, x_{Wi}（trip/人･世帯），自動車と公共交通機関によるトリップ数x_{C2i}, x_{Mi}（trip/世帯･日）が変数である．p_{C1i}, p_{Wi}は自動車と徒歩，p_{C2i}, p_{Mi}は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），I_{4Pi}, I_{4Oi}はゾーンiに居住する1人1日当たりの目的別交通費用（円/人･日）である．最適性の1階の条件，及び予算制約式(11), (13)より，日常目的の自動車と徒歩によるトリップ及び通勤・通学目的による自動車と公共交通機関によるトリップの需要関数はそれぞれ以下のようになる．

$$x_{mi} = \left(\frac{\alpha_m}{p_{mi}}\right)^{\sigma_{4P}} \frac{I_{4Pi}}{\alpha_{C1}^{\sigma_{4P}} p_{C1i}^{1-\sigma_{4P}} + \alpha_W^{\sigma_{4P}} p_{Wi}^{1-\sigma_{4P}}} \qquad (m = C1, W) \tag{14}$$

$$x_{ni} = \left(\frac{\alpha_n}{p_{ni}}\right)^{\sigma_{4O}} \frac{I_{4Oi}}{\alpha_{C2}^{\sigma_{4O}} p_{C2i}^{1-\sigma_{4O}} + \alpha_M^{\sigma_{4O}} p_{Mi}^{1-\sigma_{4O}}} \qquad (n = C2, M) \tag{15}$$

これを式(10), (12)に代入することにより，目的別交通トリップ最大化問題の解が得られる．

$$x_{Pi} = (\alpha_{C1}^{\sigma_{4P}} p_{C1i}^{1-\sigma_{4P}} + \alpha_W^{\sigma_{4P}} p_{Wi}^{1-\sigma_{4P}})^{1/(\sigma_{4P}-1)} \cdot I_{4Pi} \tag{16}$$

$$x_{Oi} = (\alpha_{C2}^{\sigma_{4O}} p_{C2i}^{1-\sigma_{4O}} + \alpha_M^{\sigma_{4O}} p_{Mi}^{1-\sigma_{4O}})^{1/(\sigma_{4O}-1)} \cdot I_{4Oi} \tag{17}$$

4段階目で日常目的交通トリップ数x_{Pi}と通勤・通学目的交通トリップx_{Oi}が得られたとき，3段階の所得制約条件下での交通水準最大化問題は以下のように定式化できる．

$$\max_{\{x_{Pi}, x_{Oi}\}} \quad x_{Ti} = \left\{\alpha_P x_{Pi}^{(\sigma_3-1)/\sigma_3} + \alpha_O x_{Oi}^{(\sigma_3-1)/\sigma_3}\right\}^{\sigma_3/(\sigma_3-1)} \tag{18}$$

$$s.t. \quad p_{Pi} x_{Pi} + p_{Oi} x_{Oi} \le I_{3i} \tag{19}$$

ここでは，目的別交通トリップ数x_{Pi}, x_{Oi}が変数であり，p_{Pi}, p_{Oi}は目的別交通トリップの発ゾーン別の1トリップあたりの交通費用（円/trip）である．I_{3i}はゾーンiに居住する1世帯1日当たりの総交通費用（円/世帯・日）である．4段階目と同様にして解くと，交通水準を最大にするような目的別交通トリップの需要関数は以下のようになる．

$$x_{ki} = \left(\frac{\alpha_k}{p_{ki}}\right)^{\sigma_3} \frac{I_{3i}}{\alpha_P^{\sigma_3} p_{Pi}^{1-\sigma_3} + \alpha_O^{\sigma_3} p_{Oi}^{1-\sigma_3}} \qquad (k = P, O) \tag{20}$$

これを式(18)に代入することにより，交通水準最大化問題の解が得られる．

$$x_{Ti} = (\alpha_P^{\sigma_3} p_{Pi}^{1-\sigma_3} + \alpha_O^{\sigma_3} p_{Oi}^{1-\sigma_3})^{1/(\sigma_3-1)} \cdot I_{3i} \tag{21}$$

3段階目で交通水準x_{Ti}が得られたとき，2段階の所得制約条件下での合成財最大化問題は以下のように定式化できる．

$$\max_{\{x_{Li}, x_{Ti}\}} \quad x_{Ai} = \left\{\alpha_L x_{Li}^{(\sigma_2-1)/\sigma_2} + \alpha_T x_{Ti}^{(\sigma_2-1)/\sigma_2}\right\}^{\sigma_2/(\sigma_2-1)} \tag{22}$$

$$s.t. \quad p_{Li} x_{Li} + p_{Ti} x_{Ti} \le I_{2i} \tag{23}$$

ここでは，土地の消費量と交通水準x_{Li}, x_{Ti}が変数であり，p_{Ti}は交通水準の1単位あたりの価格（円/trip）であり，p_{Li}は人口密度を説明変数として内生的に決定される地価（円/m^2）である．I_{2i}はゾーンiに居住する1世帯1日当たりの合成財に費やす費用（円/世帯・日）である．3, 4段階目と同様にして解くと，合成財を最大にするような土地と交通水準の需要関数は以下のようになる．

$$x_{hi} = \left(\frac{\alpha_h}{p_{hi}}\right)^{\sigma_2} \frac{I_{2i}}{\alpha_L^{\sigma_2} p_{Li}^{1-\sigma_2} + \alpha_T^{\sigma_2} p_{Ti}^{1-\sigma_2}} \qquad (h = L, T) \tag{24}$$

これを式(22)に代入することにより，合成財最大化問題の解が得られる．

$$x_{Ai} = (\alpha_L^{\sigma_2} p_{Li}^{1-\sigma_2} + \alpha_T^{\sigma_2} p_{Ti}^{1-\sigma_2})^{1/(\sigma_2-1)} \cdot I_{2i} \tag{25}$$

2段階目で合成財の消費量x_{Ai}が得られたとき，最上段の1段階の所得制約条件下での効用最大化問題は以下のように定式化できる．

$$\max_{\{x_{Gi}, x_{Ai}\}} \quad u_i = \left\{\alpha_G x_G^{(\sigma_1-1)/\sigma_1} + \alpha_A x_{Ai}^{(\sigma_1-1)/\sigma_1}\right\}^{\sigma_1/(\sigma_1-1)} \tag{26}$$

$$s.t. \quad p_{Gi} x_{Gi} + p_{Ai} x_{Ai} \le I_i \tag{27}$$

ここでは，一般財と合成財の消費量x_{Gi}, x_{Ai}が変数であり，p_{Gi}, p_{Ai}は一般財と合成財の1単位あたりの価格である．I_iはゾーンiに居住する1世帯1日当たりの所得（円/世帯･日）である．2〜4段階目と同様にして解くと，効用を最大にするような一般財と合成財の需要関数は以下のようになる．

$$x_{li} = \left(\frac{\alpha_l}{p_{li}}\right)^{\sigma_1} \frac{I_i}{\alpha_G^{\sigma_1} p_{Gi}^{1-\sigma_1} + \alpha_A^{\sigma_1} p_{Ai}^{1-\sigma_1}} \qquad (l = G, A) \tag{28}$$

式(14), (15), (16), (17), (20), (21), (24), (25), (28)よ

り，最終的にゾーン i 発の目的別交通手段 m,n のトリップ数の最適解は次のようになる．

$$x_{mi}=\left(\frac{\alpha_m}{p_{mi}}\right)^{\sigma_{4k}}\alpha_k^{\sigma_3}\alpha_T^{\sigma_2}\alpha_A^{\sigma_1}(\alpha_m^{\sigma_{4k}}p_{mi}^{1-\sigma_{4k}}+\alpha_{ni}^{\sigma_{4k}}p_{ni}^{1-\sigma_{4k}})^{\frac{\sigma_{4k}-\sigma_3}{1-\sigma_{4k}}}$$
$$\left\{\begin{matrix}\alpha_P^{\sigma_3}(\alpha_W^{\sigma_{4P}}p_{Wi}^{1-\sigma_{4P}}+\alpha_{C1}^{\sigma_{4P}}p_{C1i}^{1-\sigma_{4P}})^{1-\sigma_3}\\+\alpha_O^{\sigma_3}(\alpha_M^{\sigma_{4O}}p_{Mi}^{1-\sigma_{4O}}+\alpha_{C2}^{\sigma_{4O}}p_{C2i}^{1-\sigma_{4O}})^{1-\sigma_3}\end{matrix}\right\}^{\frac{\sigma_3-\sigma_2}{1-\sigma_3}}\quad\left(\begin{matrix}m=C1,W,k=P\\m=C2,M,k=O\end{matrix}\right)$$
$$\left\{\begin{matrix}\alpha_L^{\sigma_2}p_{L1}^{1-\sigma_2}+\alpha_T^{\sigma_2}(\alpha_P^{\sigma_3}(\alpha_W^{\sigma_{4P}}p_{Wi}^{1-\sigma_{4P}}+\alpha_{C1}^{\sigma_{4P}}p_{C1i}^{1-\sigma_{4P}})^{1-\sigma_3}\\+\alpha_O^{\sigma_3}(\alpha_M^{\sigma_{4O}}p_{Mi}^{1-\sigma_{4O}}+\alpha_{C2}^{\sigma_{4O}}p_{C2i}^{1-\sigma_{4O}})^{1-\sigma_3})^{1-\sigma_2}\end{matrix}\right\}^{\frac{\sigma_2-\sigma_1}{1-\sigma_2}}\quad(29)$$
$$\left\{\begin{matrix}\alpha_G^{\sigma_1}p_G^{1-\sigma_1}+\alpha_A^{\sigma_1}\{\alpha_L^{\sigma_2}p_{L1}^{1-\sigma_2}+\alpha_T^{\sigma_2}\{\alpha_P^{\sigma_3}(\alpha_W^{\sigma_{4P}}p_{Wi}^{1-\sigma_{4P}}+\alpha_{C1}^{\sigma_{4P}}p_{C1i}^{1-\sigma_{4P}})^{1-\sigma_3}\\+\alpha_O^{\sigma_3}(\alpha_M^{\sigma_{4O}}p_{Mi}^{1-\sigma_{4O}}+\alpha_{C2}^{\sigma_{4O}}p_{C2i}^{1-\sigma_{4O}})^{1-\sigma_3}\}^{1-\sigma_2}\}^{\frac{1-\sigma_1}{1-\sigma_2}}\end{matrix}\right\}^{-1}I_i$$

これらの解を式(26)に代入することで，ゾーン i 別の効用水準 $u_i^*=u_i(x_{Gi}^*,x_{Li}^*,x_{C1i}^*,x_{Wi}^*,x_{C2i}^*,x_{Mi}^*)$ が算出される．ただし，一般消費財 x_{Gi} はニュメレール財として $p_{Gi}=1$ とする．

(2) 居住地選択モデル

各世帯はゾーン i における財の消費による効用水準 u_i と固有の効用 τ_i によって居住地を決定するものとし，居住地選択モデルをロジットモデルを用いて以下のように定式化する．

$$h_{ji}^*=h_j\cdot\frac{\exp(u_i+\pi_i)}{\sum_k\exp(u_k+\pi_k)}\quad(30)$$

ここで，h_{ji}^* はゾーン j からゾーン i に移転する世帯数，h_j はゾーン i の世帯数である．τ_i は例えばの単位面積当たりの診療所数 C_i (数/km^2)や，路線商店数 R_i (数/km^2)，スーパーマーケット数 S_i (数/km^2)，バス運行本数 B_i (本/km^2)，中心商業地ダミー D_i などのゾーン i の特性変数ベクトルである．今回はゾーン j から移転先ゾーン i への実際の移転費用は距離などに依存せず同一と仮定した．

(3) 移転施策の設定

本研究で分析する移転施策を設定する．

a) 施策 1：移転費補助施策

移転費補助施策として人口の集約対象地域に移転する世帯に移転補助金を支給する施策である．ここでは，人口の集約地域は公共交通サービスの利便性の高い交通拠点とその周辺を生活拠点多極連携型とする P1-A と，中心市街地から半径 4km 以内の一極集中型とする P1-B の 2 ケースを考える．補助する移転費用は，いくつかの自治体で実施されている例を参考に，10,000 円/月（1 日当たり 333 円/日）と 5,000 円/月（1 日当たり 166 円/日）の 2 つのケースを考え，1 世帯 1 日当たりの所得 I_i にこれらを加算することによって考慮する．以上の集約対象地域 P1-A と 10,000 円/月，5,000 円/月の補助費用を組み合わせる施策を設定し，これらの施策をそれぞれ P1-A-10,000，P1-A-5,000 のように記述する．同様にして P1-B-10,000 と P1-B-5,000 を設定した．

b) 施策 2：郊外居住課税施策

撤退対象地域に居住する居住者に一定の税金を課税する施策である．市街化区域外を課税対象とし，課税金額は既存文献 [16]を参考に，地代の 10%とし，課税対象ゾーン i の地代 p_{Li} を 1.1 倍にすることで考慮する．

c) 施策 3：移転費補助＋郊外居住課税施策

施策 1 と施策 2 を同時に行う施策である．施策 P1-A-10,000 と施策 2 を同時に行う施策を P3-A-10,000，P1-A-5,000 と施策 2 を同時に行う施策を P3-A-5,000 のように記述する．同様にして P3-B-10,000 と P3-B-5,000 を設定した．

(4) コンパクト性評価モデル

a) 都市エネルギー消費量の定義

一般財，土地，日常目的の自動車トリップと徒歩トリップ，通勤・通学目的の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 を原単位によって以下のように定義する．

$$E=\sum_i E_i\cdot Pt_i=\sum_i(e_G x_{Gi}+e_L x_{Li}+e_C t_{Ci}x_{C1i}+e_W t_{Wi}x_{Wi}+e_C t_{Ci}x_{C2i}+e_M t_{Mi}x_{Mi})\cdot Pt_i\quad(31)$$

ここで，E_i はゾーン i の都市エネルギー消費量(kcal/人・日)，Pt_i はゾーン i の世帯数(世帯)，x_{Gi} は一般財の需要量(円/世帯・日)，x_{Li} は土地の需要量(m^2/世帯・日) $x_{C1i},x_{Wi},x_{C2i},x_{Mi}$ はそれぞれ自動車と徒歩，及び公共交通機関によるトリップ数(trip/世帯・日)，e_G,e_L,e_C,e_W,e_M はそれぞれ一般財，土地，徒歩・自動車・公共交通機関のエネルギー消費原単位(kcal/円，kcal/m^2，kcal/trip・分)，t_{Ci},t_{Wi},t_{Mi} はそれぞれ徒歩と自動車及び公共交通機関によるゾーン i から全ゾーンへの平均所要時間(分)である．所要時間を用いたのは，自動車や公共交通機関によるトリップ数の過度な増加によって引き起こされる混雑の影響を考慮するためである．この式に(29)の解を代入することで，都市エネルギー消費量 E が算出される．

b) 都市エネルギー消費量を最小にする財の消費量

効用水準を制約条件として都市全体の総エネルギー消費量を最小化するコンパクト性評価モデルは以下のようになる．

$$\max_{\{x_{Gi},x_{Li},x_{C1i},x_{Wi},x_{C2i},x_{Mi}\}}\quad E=\sum_i E_i\cdot Pt_i$$
$$=\sum_i(e_G x_{Gi}+e_L x_{Li}+e_C t_{Ci}x_{C1i}+e_W t_{Wi}x_{Wi}+e_C t_{Ci}x_{C2i}+e_M t_{Mi}x_{Mi})\cdot Pt_i\quad(32)$$
$$s.t.\quad u_i(x_{Gi},x_{Li},x_{C1i},x_{Wi},x_{C2i},x_{Mi})=u_i^*\quad(33)$$

これを解くことにより，消費エネルギー最小時の一般財の需要量，土地の需要量，目的別手段別交通機関のトリップ数の需要関数が導出される．ここでは，各世帯の所得が可変的であるという仮定の下で財の需要量を求めている．

式(32)，(33)のエネルギー消費量最小化問題の必要十分条件より，ゾーン i ごとに独立して一般財の需要量 x_{Gi}^{**}，土地の需要量 x_{Li}^{**}，目的別手段別の交通トリップ数 $x_{C1i}^{**}, x_{Wi}^{**}, x_{C2i}^{**}, x_{Mi}^{**}$ の需要関数が導出される．

$$
\begin{aligned}
x_{Gi}^{**} &= [\alpha_G + \alpha_A (\frac{e_C t_C}{e_G}\frac{\alpha_G}{\alpha_A \alpha_T \alpha_P}\frac{1}{\alpha_P \alpha_{C1}})^{(1-\sigma_1)} \{\alpha_L (\frac{e_C t_C}{e_L}\frac{\alpha_L}{\alpha_T}\frac{1}{\alpha_P \alpha_{C1}})^{(\sigma_2-1)} \\
&+ \alpha_T \{\{\alpha_O (\frac{\alpha_O}{\alpha_P}\frac{\alpha_{C2}}{\alpha_{C1}})^{(\sigma_3-1)} \{\alpha_{C2} + \alpha_M (\frac{e_C t_C}{e_M t_M}\frac{\alpha_M}{\alpha_{C2}})^{(\sigma_{4O}-1)}\}^{\frac{(\sigma_3-1)}{(\sigma_{4O}-1)}} \\
&+ \alpha_P \{\alpha_{C1} + \alpha_W (\frac{e_C t_C}{e_W t_W}\frac{\alpha_W}{\alpha_{C1}})^{(\sigma_{4P}-1)}\}^{\frac{(\sigma_3-1)}{(\sigma_{4P}-1)}}\}^{\frac{(\sigma_2-1)}{(\sigma_3-1)}}\}^{\frac{(\sigma_1-1)}{(\sigma_3-1)}}]^{\frac{\sigma_1}{1-\sigma_1}} u_i^*
\end{aligned}
\tag{35}
$$

$$
\begin{aligned}
x_{Li}^{**} &= [\{\alpha_L (\frac{e_C t_C}{e_L}\frac{\alpha_L}{\alpha_T}\frac{1}{\alpha_P \alpha_{C1}})^{\frac{\sigma_1(\sigma_2-1)}{(\sigma_1-\sigma_2)}} \\
&+ \alpha_T \{\alpha_O (\frac{\alpha_O}{\alpha_P}\frac{\alpha_{C2}}{\alpha_{C1}})^{(\sigma_3-1)} \{\alpha_{C2} + \alpha_M (\frac{e_C t_C}{e_M t_M}\frac{\alpha_M}{\alpha_{C2}})^{(\sigma_{4O}-1)}\}^{\frac{(\sigma_3-1)}{(\sigma_{4O}-1)}} \\
&+ \alpha_P \{\alpha_{C1} + \alpha_W (\frac{e_C t_C}{e_W t_W}\frac{\alpha_W}{\alpha_{C1}})^{(\sigma_{4P}-1)}\}^{\frac{(\sigma_3-1)}{(\sigma_{4P}-1)}}\}^{\frac{(\sigma_2-1)}{(\sigma_3-1)}}\}^{\frac{(\sigma_1-\sigma_2)}{(\sigma_2-1)}} \{\alpha_G (\frac{e_C t_C}{e_G}\frac{\alpha_G}{\alpha_A}\frac{1}{\alpha_T \alpha_P \alpha_{C1}})^{(\sigma_1-1)} \\
&+ \alpha_A \{\alpha_O (\frac{\alpha_O}{\alpha_P}\frac{\alpha_{C2}}{\alpha_{C1}})^{(\sigma_3-1)} \{\alpha_L (\frac{e_C t_C}{e_L}\frac{\alpha_L}{\alpha_T}\frac{1}{\alpha_P \alpha_{C1}})^{(\sigma_2-1)} + \alpha_T \{\alpha_O (\frac{\alpha_O}{\alpha_P}\frac{\alpha_{C2}}{\alpha_{C1}})^{(\sigma_3-1)} \\
&\{\alpha_{C2} + \alpha_M (\frac{e_C t_C}{e_M t_M}\frac{\alpha_M}{\alpha_{C2}})^{(\sigma_{4O}-1)}\}^{\frac{(\sigma_3-1)}{(\sigma_{4O}-1)}} + \alpha_P \{\alpha_{C1} + \alpha_W (\frac{e_C t_C}{e_W t_W}\frac{\alpha_W}{\alpha_{C1}})^{(\sigma_{4P}-1)}\}^{\frac{(\sigma_2-1)}{(\sigma_3-1)}\frac{(\sigma_1-1)}{(\sigma_2-1)}}]^{\frac{\sigma_1}{1-\sigma_1}} u_i^*
\end{aligned}
\tag{36}
$$

$$
\begin{aligned}
x_{C1i}^{**} &= [\{\alpha_{C1} + \alpha_W (\frac{e_C t_C}{e_W t_W}\frac{\alpha_W}{\alpha_{C1}})^{(\sigma_{4P}-1)}\}^{\frac{(\sigma_1-1)(\sigma_{4P}-\sigma_3)}{\sigma_1(\sigma_{4P}-1)}} \{\alpha_O (\frac{\alpha_O}{\alpha_P}\frac{\alpha_{C2}}{\alpha_{C1}})^{(\sigma_3-1)} \\
&\{\alpha_{C2} + \alpha_M (\frac{e_C t_C}{e_M t_M}\frac{\alpha_M}{\alpha_{C2}})^{(\sigma_{4O}-1)}\}^{\frac{(\sigma_3-1)}{(\sigma_{4O}-1)}} + \alpha_P \{\alpha_{C1} + \alpha_W (\frac{e_C t_C}{e_W t_W}\frac{\alpha_W}{\alpha_{C1}})^{(\sigma_{4P}-1)}\}^{\frac{(\sigma_3-1)}{(\sigma_{4P}-1)}\frac{(\sigma_1-1)(\sigma_3-\sigma_1)}{\sigma_1(\sigma_3-1)}} \\
&\{\alpha_L (\frac{e_C t_C}{e_L}\frac{\alpha_L}{\alpha_T}\frac{1}{\alpha_P \alpha_{C1}})^{(\sigma_2-1)} + \alpha_T \{\alpha_O (\frac{\alpha_O}{\alpha_P}\frac{\alpha_{C2}}{\alpha_{C1}})^{(\sigma_3-1)} \{\alpha_{C2} + \alpha_M (\frac{e_C t_C}{e_M t_M}\frac{\alpha_M}{\alpha_{C2}})^{(\sigma_{4O}-1)}\}^{\frac{(\sigma_3-1)}{(\sigma_{4O}-1)}} \\
&+ \alpha_P \{\alpha_{C1} + \alpha_W (\frac{e_C t_C}{e_W t_W}\frac{\alpha_W}{\alpha_{C1}})^{(\sigma_{4P}-1)}\}^{\frac{(\sigma_2-1)}{(\sigma_3-1)}\frac{(\sigma_1-1)(\sigma_2-\sigma_1)}{\sigma_1(\sigma_2-1)}} \{\alpha_G (\frac{e_C t_C}{e_G}\frac{\alpha_G}{\alpha_A}\frac{1}{\alpha_T \alpha_P \alpha_{C1}})^{(\sigma_1-1)} \\
&+ \alpha_A \{\alpha_L (\frac{e_C t_C}{e_L}\frac{\alpha_L}{\alpha_T}\frac{1}{\alpha_P \alpha_{C1}})^{(\sigma_2-1)} + \alpha_T \{\alpha_O (\frac{\alpha_O}{\alpha_P}\frac{\alpha_{C2}}{\alpha_{C1}})^{(\sigma_3-1)} \{\alpha_{C2} + \alpha_M (\frac{e_C t_C}{e_M t_M}\frac{\alpha_M}{\alpha_{C2}})^{(\sigma_{4O}-1)}\}^{\frac{(\sigma_3-1)}{(\sigma_{4O}-1)}} \\
&+ \alpha_P \{\alpha_{C1} + \alpha_W (\frac{e_C t_C}{e_W t_W}\frac{\alpha_W}{\alpha_{C1}})^{(\sigma_{4P}-1)}\}^{\frac{(\sigma_2-1)}{(\sigma_3-1)}\frac{(\sigma_1-1)}{(\sigma_2-1)}}]^{\frac{\sigma_1}{1-\sigma_1}} u_i^*
\end{aligned}
\tag{37}
$$

これらの解を式(32)に代入することで，効用水準を維持する条件下での都市の総エネルギー消費量の最小値 $E^{**} = E(x_{Gi}^{**}, x_{Li}^{**}, x_{C1i}^{**}, x_{Wi}^{**}, x_{C2i}^{**}, x_{Mi}^{**})$ が得られる．またこの時，最小化するために必要な追加的費用 P_{ad} は以下のようになる．

$$
\begin{aligned}
P_{ad} &= \sum_i P_{adi} \cdot Pt_i = \sum_i (x_{Gi}^{**} + P_{Li}^{**} x_{Li}^{**} + P_{Ci}^{**} x_{C1i}^{**} + P_{Wi}^{**} x_{Wi}^{**} + P_{Ci}^{**} x_{C2i}^{**} + P_{Mi}^{**} x_{Mi}^{**}) \\
&- (x_{Gi} + P_{Li} x_{Li} + P_{Ci} x_{C1i} + P_{Wi} x_{Wi} + P_{Ci} x_{C2i} + P_{Mi} x_{Mi}) \cdot Pt_i
\end{aligned}
$$

4. モデルの未知パラメータの推定

ここでは，現在の効用水準を維持した上で都市エネルギー消費量を最小化する解を求めるために必要なパラメータの推定方法について述べ，その推定結果について考察を行う．

(1) 代替の弾力性の推定

目的別手段別の交通トリップ数の自己価格弾力性 $\varepsilon_{C1C1}, \varepsilon_{WW}, \varepsilon_{C2C2}, \varepsilon_{MM}$ と交差弾力性 $\varepsilon_{C1W}, \varepsilon_{WC1}, \varepsilon_{C2M}, \varepsilon_{MC2}$ から，代替の弾力性 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_{4P}, \sigma_{4O}$ の推定を行う．自己価格弾力性 ε_{rr} は，ある財 r の価格が 1%変化した時にその財 r の需要が何%変化するかを表したものであり，交差価格弾力性 ε_{rs} は，ある財 r の価格が 1%変化した時に他の財 s の需要が何%変化するかを表したものである．これらはそれぞれ，

$$
\varepsilon_{ry} = \frac{\partial x_r / x_r}{\partial p_y / p_y} \qquad (y = r, s) \tag{38}
$$

で定義される．この時，ゾーン i 別の目的別手段別交通トリップ数 x_{mi} の自己価格弾力性 $\varepsilon_{C1C1}, \varepsilon_{WW}, \varepsilon_{C2C2}, \varepsilon_{MM}$ と交差弾力性 $\varepsilon_{C1W}, \varepsilon_{WC1}, \varepsilon_{C2M}, \varepsilon_{MC2}$ は，それぞれ，

$$
\begin{aligned}
\varepsilon_{mm} &= \frac{\partial x_{mi} / x_{mi}}{\partial p_{mi} / p_{mi}} = -\sigma_{4k} + (\sigma_{4k} - \sigma_3)\frac{p_{mi} x_{mi}}{I_{4ki}} \\
&+ (\sigma_3 - \sigma_2)\frac{p_{mi} x_{mi}}{I_{3i}} + (\sigma_2 - \sigma_1)\frac{p_{mi} x_{mi}}{I_{2i}} + (\sigma_1 - 1)\frac{p_{mi} x_{mi}}{I_i} \\
&\qquad \begin{pmatrix} m=C1,W, k=P \\ m=C2,M, k=O \end{pmatrix}
\end{aligned}
\tag{39}
$$

$$
\begin{aligned}
\varepsilon_{mn} &= \frac{\partial x_{mi} / x_{mi}}{\partial p_{ni} / p_{ni}} = (\sigma_{4k} - \sigma_3)\frac{p_{ni} x_{ni}}{I_{4ki}} \\
&+ (\sigma_3 - \sigma_2)\frac{p_{ni} x_{ni}}{I_{3i}} + (\sigma_2 - \sigma_1)\frac{p_{ni} x_{ni}}{I_{2i}} + (\sigma_1 - 1)\frac{p_{ni} x_{ni}}{I_i} \\
&\qquad \begin{pmatrix} m,n=C1,W, k=P \\ m,n=C2,M, k=O \end{pmatrix}
\end{aligned}
\tag{40}
$$

となる．

これらの自己価格弾力性と交差弾力性の実績値を得るために，ここでは需要関数として，以下のような交通機関別の発ゾーン i におけるロジット型分担率モデルを用いることにする．

$$
W_{mi} = \frac{\exp V_{mi}}{\exp V_{mi} + \exp V_{ni}} \quad \begin{pmatrix} m,n = C1,W \\ m,n = C2,M \end{pmatrix} \tag{41}
$$

ここでは，目的別手段別交通の効用値 $V_{C1i}, V_{Wi}, V_{C2i}, V_{Mi}$ をそれぞれ，都心ダミー D_i と一般化費用 P_{mi} の線形関数と仮定すると，

$$\ln\left(\frac{W_{mi}}{W_{ni}}\right)=\ln\left\{\frac{\exp\left(\xi+\delta\cdot D_i+\gamma\cdot P_{mi}\right)}{\exp\left(\gamma\cdot P_{ni}\right)}\right\}=\xi+\delta\cdot D_i+\gamma\cdot\left(P_{mi}-P_{ni}\right)\quad\begin{pmatrix}m,n=C1,W\\m,n=C2,M\end{pmatrix}\tag{42}$$

となるから，PT 調査データから得られる現況の交通手段別分担率実績値W_{mi}との回帰分析によって効用関数の未知パラメータξ,δ,γを推定することができる．

このパラメータγが得られると，自己価格弾力性値ε_{mmi}と交差価格弾力性値ε_{mni}は，それぞれの定義より以下の式から求めることができる．

$$\varepsilon_{mmi}=\frac{\partial W_{mi}/W_{mi}}{\partial p_{mi}/p_{mi}}=\gamma\cdot P_{mi}\cdot(1-W_{mi})\quad\begin{pmatrix}m,n=C1,W\\m,n=C2,M\end{pmatrix}\tag{43}$$

$$\varepsilon_{mni}=\frac{\partial W_{mi}/W_{mi}}{\partial p_{ni}/p_{ni}}=-\gamma\cdot P_{ni}\cdot W_{ni}\quad\begin{pmatrix}m,n=C1,W\\m,n=C2,M\end{pmatrix}\tag{44}$$

代替の弾力性は，需要の価格弾力性の実証研究の結果が複数財について利用できる場合，代替の弾力性に関する連立方程式として解くことで求めることができる．自己価格弾力性$\varepsilon_{C1C1},\varepsilon_{WW},\varepsilon_{C2C2},\varepsilon_{MM}$と交差弾力性$\varepsilon_{C1W},\varepsilon_{WC1},\varepsilon_{C2M},\varepsilon_{MC2}$の定義式(42)，(43)の右辺に交通サービスの費用$p_{C1i},p_{Wi},p_{C2i},p_{Mi}$とトリップ数$x_{C1i},x_{Wi},x_{C2i},x_{Mi}$，所得$I_{4Pi},I_{4Oi},I_{3i},I_{2i},I_i$を，左辺に式(43)，(44)より求めた値を代入し，以下の代替の弾力性$\sigma_1,\sigma_2,\sigma_3,\sigma_{4P},\sigma_{4O}$に関する連立方程式を解く．

$$\begin{aligned}\varepsilon_{mm}&=-\sigma_{4k}+(\sigma_{4k}-\sigma_3)\frac{p_{mi}x_{mi}}{I_{4ki}}+(\sigma_3-\sigma_2)\frac{p_{mi}x_{mi}}{I_{3i}}\\&+(\sigma_2-\sigma_1)\frac{p_{mi}x_{mi}}{I_{2i}}+(\sigma_1-1)\frac{p_{mi}x_{mi}}{I_i}\end{aligned}\quad\begin{pmatrix}m=C1,W,k=P\\m=C2,M,k=O\end{pmatrix}\tag{45}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_{mn}&=(\sigma_{4k}-\sigma_3)\frac{p_{ni}x_{ni}}{I_{4ki}}+(\sigma_3-\sigma_2)\frac{p_{ni}x_{ni}}{I_{3i}}\\&+(\sigma_2-\sigma_1)\frac{p_{ni}x_{ni}}{I_{2i}}+(\sigma_1-1)\frac{p_{ni}x_{ni}}{I_i}\end{aligned}\quad\begin{pmatrix}m,n=C1,W,k=P\\m,n=C2,M,k=O\end{pmatrix}\tag{46}$$

自己価格弾力性値ε_{mmi}も交差弾力性値ε_{mni}もゾーンiごとに得られるので，代替の弾力性$\sigma_1,\sigma_2,\sigma_3,\sigma_{4P},\sigma_{4O}$もゾーン$i$ごとに得られるが，ここでは下記のようにこれらのゾーン平均値をとった 1 組の代替の弾力性$\sigma_1,\sigma_2,\sigma_3,\sigma_{4P},\sigma_{4O}$を求めた．

$$\sigma_{4P}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{\varepsilon'_{4PWi}+\left(p_{C1i}x_{C1i}/I_{4Pi}-p_{C1i}x_{C1i}/I_{3i}\right)\sigma_3+\left(p_{C1i}x_{C1i}/I_{3i}-p_{C1i}x_{C1i}/I_{2i}\right)\sigma_2+\left(p_{C1i}x_{C1i}/I_{2i}-p_{C1i}x_{C1i}/I_i\right)\sigma_1+p_{C1i}x_{C1i}/I_i}{p_{C1i}x_{C1i}/I_{4Pi}}\right)\tag{47}$$

$$\sigma_{4O}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{\varepsilon'_{4OMi}+\left(p_{C2i}x_{C2i}/I_{4Pi}-p_{C2i}x_{C2i}/I_{3i}\right)\sigma_3+\left(p_{C2i}x_{C2i}/I_{3i}-p_{C2i}x_{C2i}/I_{2i}\right)\sigma_2+\left(p_{C2i}x_{C2i}/I_{2i}-p_{C2i}x_{C2i}/I_i\right)\sigma_1+p_{C2i}x_{C2i}/I_i}{p_{C2i}x_{C2i}/I_{4Oi}}\right)\tag{48}$$

$$\sigma_3=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{\varepsilon'_{4PWi}+\varepsilon_{4PWi}+(I_{4Pi}/I_{3i}-I_{4Pi}/I_{2i})\sigma_2+(I_{4Pi}/I_{2i}-I_{4Pi}/I_{1i})\sigma_1+I_{4Pi}/I_{1i}}{I_{4Pi}/I_{3i}-1}\right)\tag{49}$$

$$\sigma_2=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{\left(\frac{I_{3i}/I_{4Oi}-1}{I_{4Pi}/I_{4Oi}-1}\right)(\varepsilon_{4PWi}+\varepsilon'_{4PWi})+\left(\frac{I_{3i}/I_{4Pi}-1}{I_{4Oi}/I_{4Pi}-1}\right)(\varepsilon_{4OMi}+\varepsilon'_{4OMi})+(I_{3i}/I_{2i}-I_{3i}/I_i)\sigma_1+I_{3i}/I_i}{I_{3i}/I_{2i}-1}\right)\tag{50}$$

$$\sigma_1=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{\left(\frac{I_{2i}/I_{4Oi}-I_{2i}/I_{3i}}{I_{4Pi}/I_{4Oi}-1}\right)(\varepsilon_{4PWi}+\varepsilon'_{4PWi}+\varepsilon_{4PCIi}+\varepsilon'_{4PCIi})+\left(\frac{I_{2i}/I_{4Pi}-I_{2i}/I_{3i}}{I_{4Oi}/I_{4Pi}-1}\right)(\varepsilon_{4OMi}+\varepsilon'_{4OMi}+\varepsilon_{4OC2i}+\varepsilon'_{4OC2i})+I_{2i}/I_i}{I_{2i}/I_i-1}\right)\tag{51}$$

(2) 分配パラメータの推定

分配のパラメータは，各段階における総支出額に対する 2 財への分配比率を表すパラメータである．目的別手段別交通トリップの分配のパラメータ$\alpha_{C1},\alpha_W,\alpha_{C2},\alpha_M$は，式(10)，(12)のそれぞれの交通目的別交通水準最大化問題の最適性の 1 階の条件から，各財の価格$p_{C1i},p_{Wi},p_{C2i},p_{Mi}$と需要量$x_{C1i},x_{Wi},x_{C2i},x_{Mi}$，代替の弾力性$\sigma_{4P},\sigma_{4O}$によって表わされる．ここでも分配のパラメータ$\alpha_{C1},\alpha_W,\alpha_{C2},\alpha_M$はゾーン$i$ごとに得られるので、これらのゾーン平均値をとった 1 組の分配のパラメータ$\alpha_{C1},\alpha_W,\alpha_{C2},\alpha_M$を以下によって求めた．

$$\alpha_m=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{p_{mi}x_{mi}^{1/\sigma_{4k}}}{p_{mi}x_{mi}^{1/\sigma_{4k}}+p_{ni}x_{ni}^{1/\sigma_{4k}}}\right)\quad\begin{pmatrix}m,n=C1,W,k=P\\m,n=C2,M,k=O\end{pmatrix}\tag{52}$$

同様に分配のパラメータ$\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3$もゾーン$i$ごとに得られるので，式(18)，(22)，(26)それぞれの最大化問題の最適性の 1 階の条件から，これらの平均値を以下によって求めた．

$$\alpha_m=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{p_{mi}x_{mi}^{1/\sigma_k}}{p_{mi}x_{mi}^{1/\sigma_k}+p_{ni}x_{ni}^{1/\sigma_k}}\right)\quad\begin{pmatrix}m,n=G,,k=1\\m,n=L,T,k=2\\m,n=P,O,k=3\end{pmatrix}\tag{53}$$

(3) 使用データ

以下に，これらの未知パラメータを推定するために必要な初期データ及びデータの加工の方法を説明する．

a) 目的別手段別交通初期トリップ数$x_{C1i},x_{Wi},x_{C2i},x_{Mi}$

1 世帯 1 日当たりの目的別手段別交通トリップ数$x_{C1i},x_{Wi},x_{C2i},x_{Mi}$（トリップ/人・日）は，PT 調査の 1 日当たりの目的別手段別 OD 交通量を発ゾーン別に集計し，発ゾーンの世帯数で除して求めた． PT データの詳細を表-2 に示す[17]．

b) 平均所要時間t_{Ci},t_{Wi},t_{Mi}

ゾーンiからの目的別手段別交通平均所要時間t_{Ci},t_{Mi}（分）は，自動車の場合は利用者均衡配分，公共交通機関の場合はトランジット配分法を用いて，t_{Wi}はゾーン間の距離を歩行速度（5km/h）で割ることで算出した OD 間所要時間を目的別手段別 OD 交通量（トリップ）で加重平均して求めた．

c) **目的別手段別一般化費用 $G_{C1i}, G_{Wi}, G_{C2i}, G_{Mi}$ と費用 $p_{C1i}, p_{Wi}, p_{C2i}, p_{Mi}$**

JICA STRADA を用いて算出した OD 間の走行速度（km/h）によって OD 別の走行経費原単位（円/km・台）を求める [18]．自動車の費用 p_{C1ij}, p_{C2ij} は，この走行経費原単位を用いて次式から算出した．

OD別自動車費用 p_{C1ij}, p_{C2ij} （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_{C1ij}, G_{C2ij} は，次式のように時間価値によって所要時間を貨幣換算した値を費用にたして求めた．

OD別自動車一般化費用 G_{C1ij}, G_{C2ij} （円/トリップ）
＝OD 別自動車費用 p_{C1ij}, p_{C2ij} （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）

徒歩の費用 p_{Wij} は 1（円/トリップ）とし，一般化費用 G_{Wij} は費用に時間価値（円/トリップ･分）×徒歩の OD 間所要時間（分）を足して求めた．

公共交通機関の費用 p_{Mij} と一般化費用 G_{Mij} は，それぞれ JICA STRADA のトランジット配分（確率的配分法）を用いて算出した費用（分）と一般化費用（分）に時間価値（円/トリップ・分）をかけて求めた．ここで算出した目的別手段別交通一般化費用 $G_{C1ij}, G_{Wij}, G_{C2ij}, G_{Mij}$ と費用 $p_{C1ij}, p_{Wij}, p_{C2ij}, p_{Mij}$ を目的別手段別 OD 交通量（トリップ）で加重平均し，発ゾーン別に目的的別手段別交通一般化費用 $G_{C1i}, G_{Wi}, G_{C2i}, G_{Mi}$ と費用 $p_{C1i}, p_{Wi}, p_{C2i}, p_{Mi}$ を求めた．ここで，時間価値（円/分･人）については，自動車は $\omega_C^{1997} = 38.11$ を，公共交通機関は $\omega_M^{1997} = 40.00$ を使用した [19]．

d) **土地初期消費量 x_{Li} と初期地価 p_{Li}**

1 世帯 1 日当たりの土地消費量 x_{Li} （m²/世帯･日）は市町別に集計された住宅地面積をゾーン別の面積に比例して配分したものを世帯数で除して求めた [20), 21)]．

1 日当たりの地価 p_{Li} （円/ m²･日）は市町別に集計された基準地価をゾーン別の路線化に比例して配分したものを，住宅支援機構の調査で組む住宅ローン年数が最も高い割合を示した 35 年を用いて 1 日当たりに換算して求めた [21)]．

e) **所得 I_i**

発ゾーン別の所得 I_i （円/世帯・日）は，市町別に集計された所得をゾーン別の路線価に比例して配分したものを使う [21)]．

f) **エネルギー消費原単位 e_G, e_L, e_C, e_W, e_M**

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_G （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ものを使う [23), 24)]．

土地のエネルギー消費量原単位 e_L （kcal/m²）は，移転世帯のために新たに建設される住宅の建設エネルギー消費量を住宅ローンを完済する 35 年で分割したもの使う．新築住宅の建設エネルギー消費量は，全住宅における建設エネルギーに住宅の建て替え率を乗じることで算出した [21), 23)]．住宅起源のエネルギー消費量は産業部門に分類されるが，家庭部門と合わせて居住者の生活サイクルでのエネルギー消費量を構成しているため，本研究では推計対象とした．

自動車・公共交通機関のエネルギー消費原単位 e_C, e_M （kcal/トリップ･分）は，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 [24)]．徒歩のエネルギー消費原単位 e_W （kcal/トリップ･分）については，エネルギー消費原単位 e_W （kcal/トリップ･h）を 1 分当たりに換算したものを用いた [26)]．使用するエネルギー消費原単位を表-3

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（世帯）	970,380
自動車保有率（台/1,000 人）	569
総トリップ数（万トリップ）	227

表-3　エネルギー消費原単位

財	原単位
一般財消費量　e_G (kcal/円)	3.044
土地消費量　e_L (kcal/m²)	10.22
自動車トリップ　e_C (kcal/トリップ・分)	137.653
公共交通機関トリップ　e_M (kcal/トリップ･分)	14.498
徒歩トリップ　e_W (kcal/トリップ・分)	0.0556

表-4　交通手段別分担モデルパラメータの推定結果

	日常目的		通勤・通学目的	
	推定値	t 値	推定値	t 値
定数項	1.501	20.2	2.916	27.9
都心ダミー	-1.220	6.56	-1.451	7.47
一般化費用	-5.0×10^{-4}	1.77	-6×10^{-5}	2.05
重相関 R	0.52		0.54	
データ数	134		171	

表-5　自己価格弾力性，交差価格弾力性，代替の弾力性，分配パラメータの推定結果

ε_{C1C1}	ε_{WW}	ε_{C1W}	ε_{WC1}	ε_{C2C2}	ε_{MM}	ε_{C2M}	ε_{MC2}	σ_1	σ_2	σ_3	σ_{4P}	σ_{4O}
-0.0168	-0.196	0.0401	0.0794	-0.00321	-0.204	0.0123	0.0500	0.903	0.942	0.828	1.93	2.15
α_G	α_A	α_L	α_T	α_P	α_O	α_{C1}	α_W	α_{C2}	α_M			
0.925	0.0753	0.793	0.207	0.182	0.818	0.992	0.00831	0.426	0.574			

表-6　居住地選択モデルの推定結果

	推定値	t値
定数項	3.19	8.61
効用水準	1.75×10^{-4}	3.32
診療所数	5.61×10^{-2}	4.13
路線商店数	2.70×10^{-3}	0.622
スーパー数	0.0871	1.32
中心商業地域ダミー	-5.57	-7.23
重相関 R	0.60	

表-7　地価関数の推定結果

	推定値	t値
定数項	3.16×10^{4}	23.2
人口密度	6.37	16.4
重相関 R	0.78	

に示す．

(4)　パラメータの推定結果とその考察

a)　交通手段別分担モデルの推定

自己価格弾力性値 ε_{mmi} と交差価格弾力性値 ε_{mni} を求めるために必要な目的別手段別交通分担モデルの未知パラメータ ξ,δ,γ の推定結果を表-4に示す．ここで都心ダミーとは，熊本都市圏においてバスの第一環状線と中央環状線の内側に設定されたゾーンであり，自動車側の変数である．また，PT調査データから得られた現況の徒歩あるいは公共交通機関分担率の実績値が，$W_{mi}=0$ であるゾーンは除外した．日常目的，通勤・通学目的の両モデルで，一般化費用が高いほど効用は低くなり，発ゾーンが都心ほど自動車の効用は低くなることが分かる．このことから，説明変数の符号条件は論理的であるといえる．また，日常目的の一般化費用を除いて変数の統計的有意性は高い．

b)　代替の弾力性，及び支出分配率の推定

各パラメータの推定結果を表-5 に示す．自己価格弾力性値 ε_{mmi} も交差弾力性値 ε_{mni} もゾーン i ごとに得られているが，ここではこれらのゾーン平均値をとった 1 組

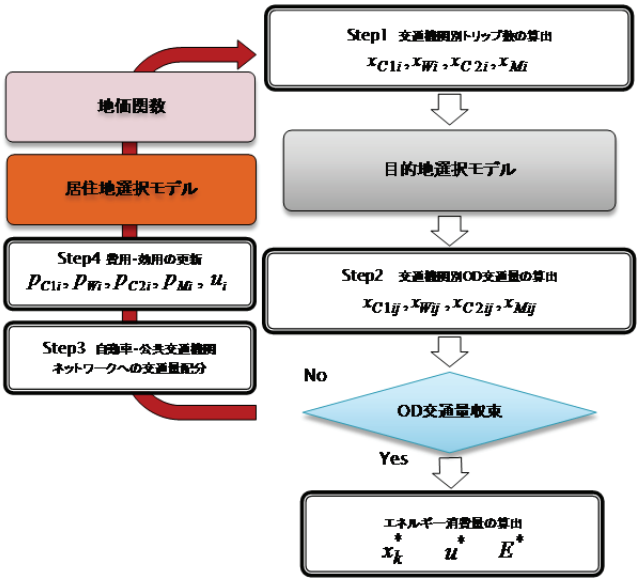

図-5　都市エネルギー消費量算出のフロー

の自己価格弾力性値 ε_{mm}，交差弾力性値 ε_{mn} を示す．

設定したパラメータについて箇条書きで考察を示す．

1) $\alpha_M > \alpha_{C2}$ より，通勤・通学目的の交通に対する支出は自動車への支出比率のほうが公共交通機関への支出比率よりも大きくなっている．

2) $\alpha_{C1} > \alpha_W$ より，日常目的の交通に対する支出は自動車への支出比率のほうが徒歩への支出比率よりも大きくなっている．

3) $\alpha_O > \alpha_P$ より，交通に対する支出は通勤・通学目的への支出比率のほうが日常目的へのそれよりも大きくなっている．これは日常目的の交通に費用が 1（円/トリップ）の徒歩を設定していることが原因と考えられる．

4) $\alpha_L > \alpha_T$ より，土地と交通に対する支出は土地への支出比率のほうが交通へのそれよりも大きくなっている．

5) $\sigma_{4O} > \sigma_{4P}$ 価格比の変化 1%当たりに対する 2 財の需要比率の変化は，日常目的での手段別交通トリップ間（自動車・徒歩）より，通勤・通学目的での手段別交通トリップ間（自動車・公共交通機関）の方が大きい．

6) $\sigma_2 > \sigma_1 > \sigma_3$ より，価格比の変化 1%当たりに対する 2 財の需要比率の変化は，交通と土地間が最も大きく，一般財と交通及び土地からなる合成財間は日常目的交通トリップと通勤・通学目的交通トリップ間より大きい．またこれらはいずれも目的別手段別交通トリップ間のそれ

よりも小さい.

c) 居住地選択モデルの推定

各パラメータの推定結果を表-6 に示す．効用水準が高く，診療所数，路線商店数，スーパーマーケット数が多いほど移転の効用は高くなっており，説明変数の符号条件は論理的である．また，路線商店数を除いて統計的有意性は高い.

d) 地価関数の推定

各パラメータの推定結果を表-7 に示す．人口密度が高いゾーンほど地価が高くなっており，符号条件は論理的である．統計的有意性は高い.

5. コンパクトシティ形成のための各種移転施策の有効性に関する分析

ここでは，3章のコンパクト性評価モデルを用いて移転施策を行った際の分析を行う.

(1) 将来の都市エネルギー消費量算出のフロー

施策を行った際の都市エネルギー消費量を算出するフローを図-5 に示す.

Step-1：発ゾーン別交通機関別トリップ数を算出する.

Step-2：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，費用 P_{C1ij}， P_{C2ij}， P_{Mij} と効用 u_i を更新し，居住地選択モデルによりゾーン i の居住人口を更新する．地価関数によって地価 P_{Li} を更新し，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.

(2) 居住者の住み替え結果

施策 P1-A-10,000，P1-A-5,000, P1-B-10,000, P1-B-5,000, P2, P3-A-10,000, P3-A-5,000, P3-B-10,000, P3-B-5,000 によって変化した人口の割合をそれぞれ図-6～図-14 に示す.

施策 P1 は P1-A，P1-B ともに移転補助金として 10,000 円の補填をする場合はそれぞれ施策の対象地域の人口増加率は 2%前後であり，5,000 円を補填する場合は増加率は 1%前後である.

施策 P2 は増加率は 0.1%となっている．施策 P3 による増加率も施策 P1 と同様に 2%前後であるがは施策 P1 に比べて増加率は 1.1 倍程度に増えている．この結果から，これらいずれの移転施策によっても居住者の住み替えが推進できることががわかる.

(3) 将来の最小都市エネルギー消費量算出のフロー

施策を行った際の最小の都市エネルギー消費量を算出するフローを図-15 に示す.

Step-1：効用関数及び(2)で算出された交通機関別トリップ数より，効用水準を算出する.

Step-2：式(37)より，エネルギー消費量を最小化するの目的別手段別交通トリップ数 $x_{C1i}, x_{Wi}, x_{C2i}, x_{Mi}$ と一般財の需要 x_{Gi}， 土地の需要 x_{Li} を算出する.

Step-3：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-4：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-5：配分結果より，費用 P_{C1ij}， P_{C2ij}， P_{Mij} を更新し，再度，エネルギー最小化モデルを解く.

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.

(4) 目的地選択モデル

(2)，(3)で述べた繰り返し計算を行う際，発ゾーン別交通手段別トリップ数から交通手段別 OD 交通量を予測する交通手段別目的地選択モデルを推定する．ここでは，j ゾーンの都心ダミー D_j とゾーン間の一般化費用 G_{C1ij}，G_{wij}， G_{C2ij}， G_{Mij} に，通勤・通学目的の車と公共交通機関は従業人口 Z_j，日常目的の車と徒歩はスーパーマーケットの数 S_j，診療所の数 C_j，病院の数 H_j，路線商店の数 R_j をそれぞれ加えたものを変数とした集計ロジットモデルを用いた．推定結果を表-8 と表-9 示す.

通勤・通学目的については，従業人口が多く，一般化費用が低いほど効用は高く，都心においては公共交通機関の方が車より効用が高くなるなど，説明変数の符号条件は論理的である．また，公共交通機関の都心ダミーを除いて統計的有意性も高い．車については重相関係数も大きく，高い適合度を示しているが，公共交通機関については重相関係数が 0.52 であり，適合性はそれほど高いとは言えない．日常目的については，両手段とも診療所数や病院数が多く，一般化費用が低いほど効用は高くなること，また，スーパーマーケットの数は多く，路線商店の数は少ないほど車の効用が高くなる一方で，徒歩は効用が低いという結果になった．都心ダミーは，通勤・通学目的の自動車利用では正であったが，負になっており，日常目的では都心に行きにくい構造になっている．統計的有意性は車の病院数，徒歩の都心ダミーと病院数

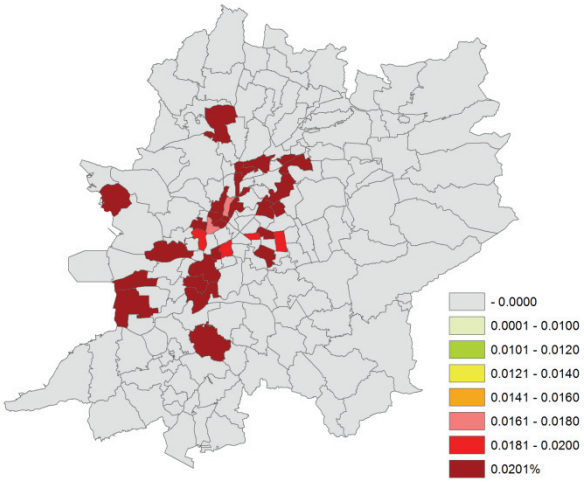

図-6　施策 P1-A-10,000 の人口の変化

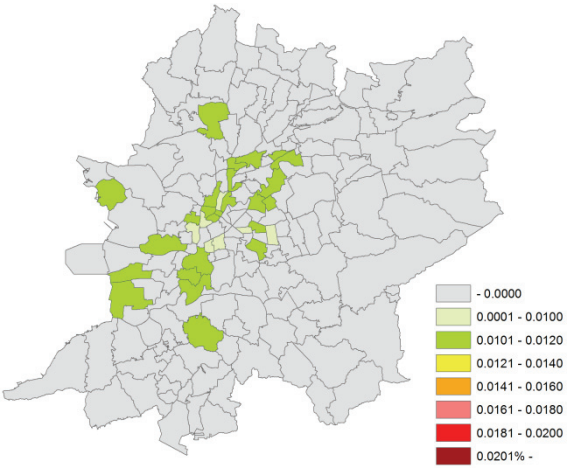

図-7　施策 P1-A-5,000 の人口の変化

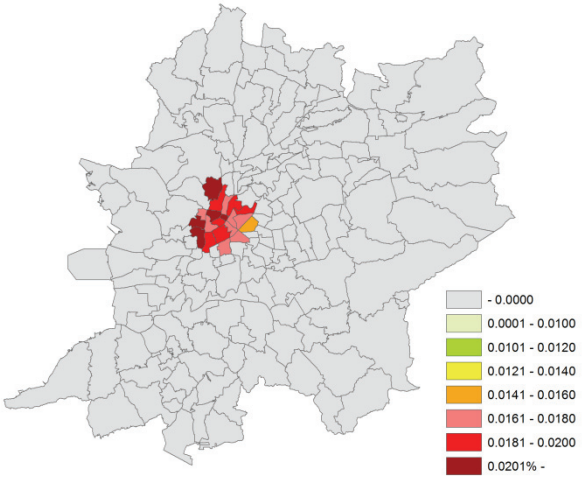

図-8　施策 P1-B-10,000 の人口の変化

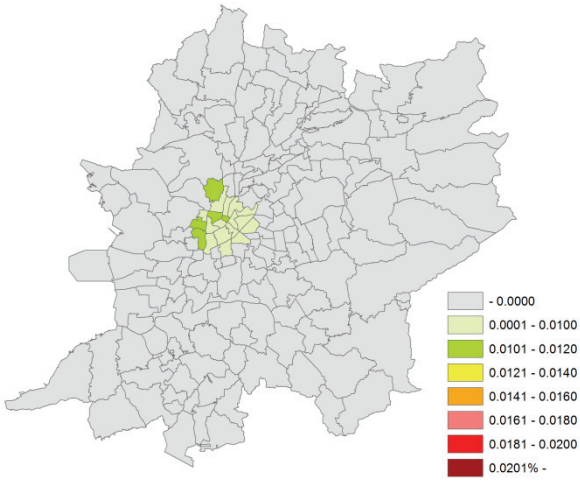

図-9　施策 P1-B-5,000 の人口の変化

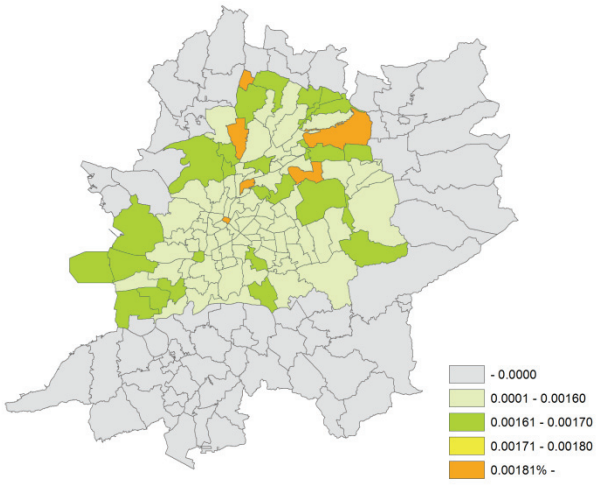

図-10　施策 P2 の人口の変化

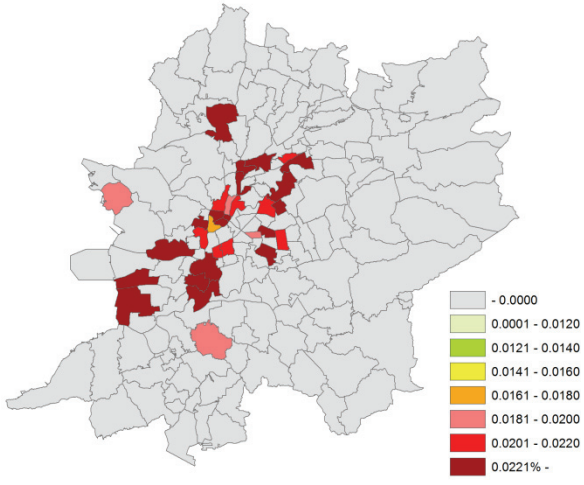

図-11　施策 P3-A-10,000 の人口の変化

を除いて，いずれも高い．

(3)　将来のエネルギー消費量の比較

施策毎に 1 世帯当たりのエネルギー消費量を比較した結果を表-10 と図-16 に示す．表-10 では現況の将来予測の値とそれに対する各施策の比率を示す．また，施策毎に都市全体のエネルギー消費量と一般化費用及び施策 P1 と施策 P3 を行う際に必要な補助金額を表-11 に示す．以下に比較を行った結果について箇条書きで考察を示す．

a)　施策P1の導入効果

1)　現況の総エネルギー消費量と比べて，P1-A-10,000)が 1.009，P1-A-5,000 が 0.9982，P1-B-10,000 が 1.013，P1-B-

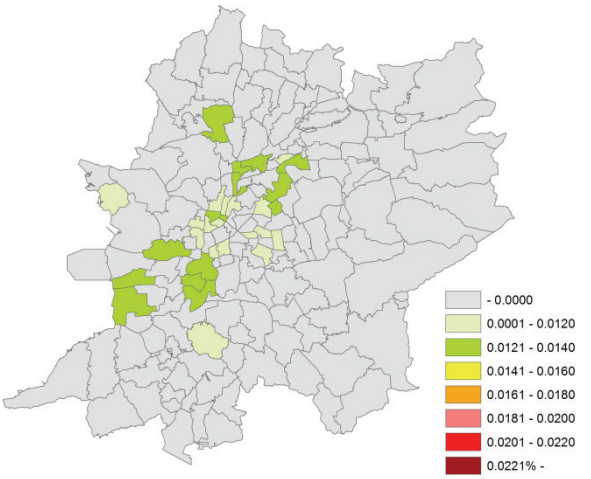

図-12　施策 P3-A-5,000 の人口の変化

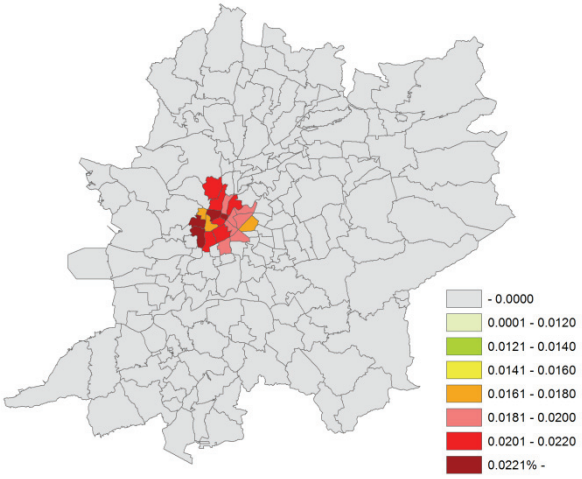

図-13　施策 P3-B-10,000 の人口の変化

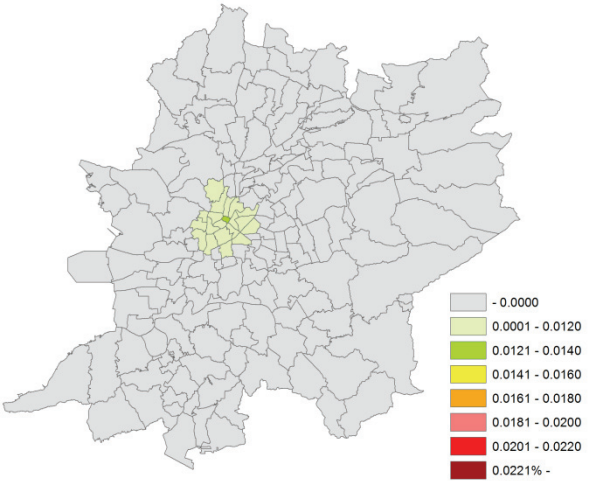

図-14　施策(3-B-5000)の人口の変化

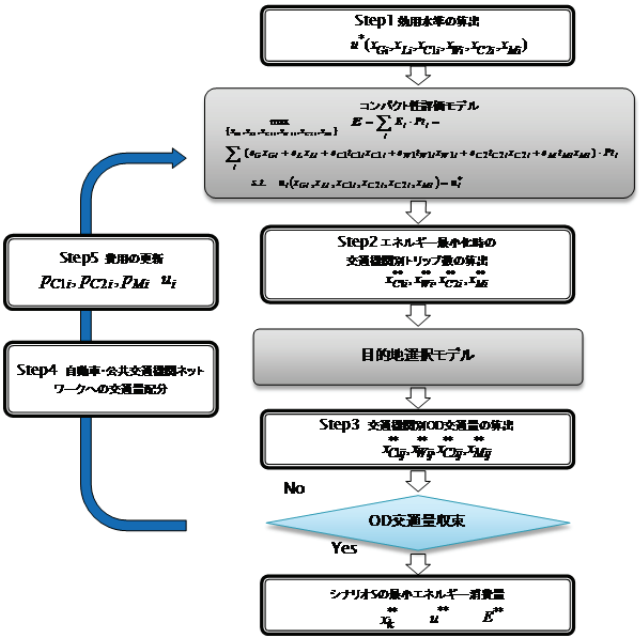

図-15　最小都市エネルギー消費量算出のフロー

5,000 が 1.006 となっている．P1-A-5,000 だけがエネルギー消費量の削減を可能にするが，他はむしろ増大させる．

2) 総費用はいずれも増大しているなかで，総交通費用については P1-A-5,000 だけが 0.9982 と若干ではあるが減少している．これは所得に移転費補助を補填したことで一般財，土地，交通サービスそれぞれの財への費用が増加するなかで，P1-A-5,000 だけが両目的で車費用が減少しているためである．P1-A-10,000 も通勤・通学目的の車費用は減少しているが，その他の交通費用の増加分が上回ったため，総交通費用は増加している．

3) 各財の消費量は，P1-A-5,000 の車交通量のみ 0.9632（日常目的），0.9613（通勤・通学目的）と減少し，それ以外はいずれも増加している．これは所得増加により各財の消費量が増える一方，公共交通機関や徒歩での活動がしやすい中心部への世帯の移転が起こることで車交通量からの手段転換による減少分が所得増加による増加分を上回ったためである．特に，P1-A は公共交通サービスの利便性の高い地域とその周辺を移転費補填対象としたために車交通量からの手段転換の量が多いと予想していたが，徒歩と公共交通機関トリップの増加率は(1-B)の方が高くなった．

4) P1-A-5,000 では日常目的での車トリップから徒歩トリップへの転換よりも通勤・通学目的での車トリップから公共交通機関トリップへの転換の方が多い．

5) 所要時間は車トリップについては，P1-A-10,000 が 0.9961，P1-A-5,000 が 0.9784 と減少しているのに対し，P1-B-10,000 が 1.011，P1-B-5,000 が 1.002 と増加している．中心部への人口移転策である P1-B では，中心部での混雑が進んだためであり，同時に徒歩トリップと公共交通機関トリップについては減少している．

6) 3), 5)より，移転費用の補助施策である施策 P1 は，交通によるエネルギー消費量については公共交通機関トリップと徒歩トリップによるエネルギー消費量はいずれも増加させるが，車トリップによるエネルギー消費量は P1-A では減少，P1-B では増加となる．一般財と土地によるエネルギー消費量はいずれも増加となった．

b) 施策 P2 の導入効果

7) 現況に比べ，総エネルギー消費量は 0.997 に減少しており，その減少率は施策(1)で最大の P1-A-5,000 よりも大きい．

8) 一般財と土地の消費量はそれぞれ 0.9990，0.9751 に減少している．これは課税により土地の費用が上がったことで土地と一般財の消費に当てる所得が減少したためである．交通についても同様のことが考えられるが，公共交通機関や徒歩を利用しにくい郊外から世帯の移転が起こったことにより交通手段の転換が起こり，公共交通機関と徒歩のトリップ数は増加している．

9) P1-A-5,000 と同様，日常目的での車トリップから徒歩トリップへの転換よりも通勤・通学目的での車トリップから公共交通機関トリップへの転換の方が多く，所要時間は車トリップが 0.9939，徒歩トリップが 0.9990，公共交通機関トリップが 0.9990 といずれも減少している．転換量及び所要時間の減少率は P1-A-5,000 よりも小さい．

10) 8), 9)より，施策 P2 は土地，車トリップによるエネルギー消費量を減少させ，徒歩トリップと公共交通機関トリップによるエネルギー消費量を増加させることによって，都市全体のエネルギー消費量の削減を実現させる．交通によるエネルギー消費量は P1-A-5,000 と比べ車トリップによるエネルギー消費量は大きく，徒歩トリップと公共交通機関トリップによるエネルギー消費量は小さい．

c) 施策 P3 の導入効果

11) 施策 P3 を実施した場合，現況に比べ，総エネルギー消費量は P3-A-10,000，P3-B-10,000, P3-B-5,000 はそれぞれ 1.005，1.006，1.003 と増大している．P3-A-5,000 が 0.9951 と減少している．P3-A-5,000 の減少率は施策 P1 の場合と比べて大きい．

12) 総費用はいずれも増大しているなかで，総交通費用は P3-A-5,000 が 0.9882 と減少している．これは P1-A-5,000 と同様の理由のためである．それぞれ P1 の場合と比べると，総費用の増加率は同様で，総交通費用については P3-A-5,000 では減少率が大きくなった．

13) 各財の消費量については，P3-A-5,000，P3-A-10,000，P3-B-10,000 の車交通量が減少し，P3-B-5,000 は増加している．これも P1-A-5,000 と同様の理由であるが，それぞれ

表-8 通勤・通学目的の利用手段別目的地選択モデル

通勤・通学目的	自動車	t 値	MT	t 値
都心ダミー	0.712	36.4	0.0771	0.90
従業人口	1.02×10^{-5}	7.06	2.73×10^{-6}	2.33
一般化費用	-1.49×10^{-3}	92.18	-6.18×10^{-5}	2.92
重相関 R	0.91		0.52	

表-9 日常目的の利用手段別目的地選択モデル

日常目的	自動車	t 値	徒歩	t 値
都心ダミー	- 0.372	6.98	0.234	1.11
スーパー数	0.0551	3.79	-0.0382	4.08
診療所数	0.0167	4.01	0.0231	3.20
病院数	0.0158	1.07	0.111	1.46
路線商店数	-5.24×10^{-4}	5.02	8.36×10^{-4}	2.32
一般化費用	-8.27×10^{-4}	16.5	-6.50×10^{-4}	4.89
重相関 R	0.74		0.68	

P1 の場合と比べると，課税により土地の費用が上がったことで土地の消費量は減少した，また，人口の移転が進んだことで， 交通手段の転換量は大きくなっている．そのため P1-A-10,000，P1-B-10,000 では増加した車トリップが P3-A-10,000, P3-B-10,000 では減少となった．P3-B-5,000 も同様だが，車トリップについて P1-B-5,000 で増加したトリップが減少する程には公共交通機関と徒歩への転換量の増大は影響していない．

14) 各トリップの所要時間についてはいずれの施策でも減少する．施策 P1 の場合と比較すると，いずれの交通機関もエネルギー減少率は高くなった．

15) 13), 14)より，交通によるエネルギー消費量のうち公共交通機関と徒歩によるトリップのエネルギー消費量はいずれも増加し，車トリップのエネルギー消費量は P3-A-5,000，P3-A-10,000, P3-B-10,000 で減少, P3-B-5,000 で増加した．一般財と土地によるエネルギー消費量はいずれも増加となった．それぞれ施策 P1 の場合と比較すると，いずれの施策でも公共交通機関と徒歩トリップによるエネルギー消費量の増加率は大きくなり，P3-A-5,000, P(3-B-5,000 で車トリップのエネルギー消費量の減少率は小さくなった．P3-A-10,000，P3-B-10,000 はいずれの交通手段のエネルギーも増加率が大きくなっている．また，土地によるエネルギー消費量は増加から減少になっている．

表-10　各施策の将来予測の比較

	現況	P1-A-10,000 比率	P1-A-5,000 比率	P1-B-10,000 比率	P1-B-5,000 比率	P2 比率	P3-A-10,000 比率	P3-A-5,000 比率	P3-B-10,000 比率	P3-B-5,000 比率
総エネルギー消費量(kcal/日・世帯)	32,800	1.009	0.9982	1.013	1.006	0.997	1.005	0.9951	1.006	1.003
総費用(円/日・世帯)	8,178	1.010	1.005	1.013	1.006	1.000	1.01	1.005	1.013	1.006
総交通費用(円/日・世帯)	187.1	1.005	0.9931	1.011	1.004	1.000	1.002	0.9882	1.000	1.006
一般財 E 消費量(kcal/日・世帯)	25,240	1.010	1.005	1.013	1.006	1.000	1.01	1.005	1.013	1.006
土地 E 消費量(kcal/日・世帯)	2,343	1.008	1.004	1.003	1.002	0.9757	0.9829	0.9795	0.9791	0.977
(日常)車 E 消費量(kcal/日・世帯)	1,442	1.006	0.9632	1.021	1.005	0.9924	0.9931	0.9591	0.9924	1.002
(通勤・通学)車 E 消費量(kcal/日・世帯)	3,775	1.005	0.9613	1.02	1.004	0.9918	0.9891	0.9531	0.9862	1.001
徒歩 E 消費量(kcal/日・世帯)	1.346	1.010	1.006	1.011	1.006	1.004	1.015	1.012	1.019	1.009
MTE 消費量(kcal/日・世帯)	160.7	1.016	1.011	1.022	1.012	1.004	1.024	1.024	1.036	1.015
一般財量(円/日・世帯)	6937	1.010	1.005	1.013	1.006	0.9999	1.01	1.005	1.013	1.006
土地量(m^2/日・世帯)	229.2	1.007	1.004	1.003	1.001	0.9751	0.983	0.9795	0.9791	0.9769
(日常)車交通量(トリップ/日・世帯)	0.3408	1.003	0.9965	1.008	1.002	1.000	0.9979	0.9862	0.9944	1.004
(通勤・通学)車交通量(トリップ/日・世帯)	0.8948	1.001	0.9941	1.006	1.001	0.9997	0.9936	0.9799	0.9879	1.002
徒歩交通量(トリップ/日・世帯)	0.395	1.012	1.007	1.017	1.009	1.003	1.016	1.012	1.023	1.012
MT 交通量(トリップ/日・世帯)	0.1202	1.017	1.012	1.026	1.013	1.003	1.024	1.022	1.038	1.017
車所要時間(分/日・世帯)	31.09	0.9961	0.9727	1.011	1.002	0.9939	0.9958	0.9784	0.9945	0.9945
徒歩所要時間(分/日・世帯)	59.08	0.9992	0.9995	0.998	0.999	0.9997	0.9988	0.9992	0.9976	0.9986
MT 所要時間(分/日・世帯)	102.9	0.9981	0.999	0.9981	0.999	0.999	0.9981	0.9981	0.9971	0.9981

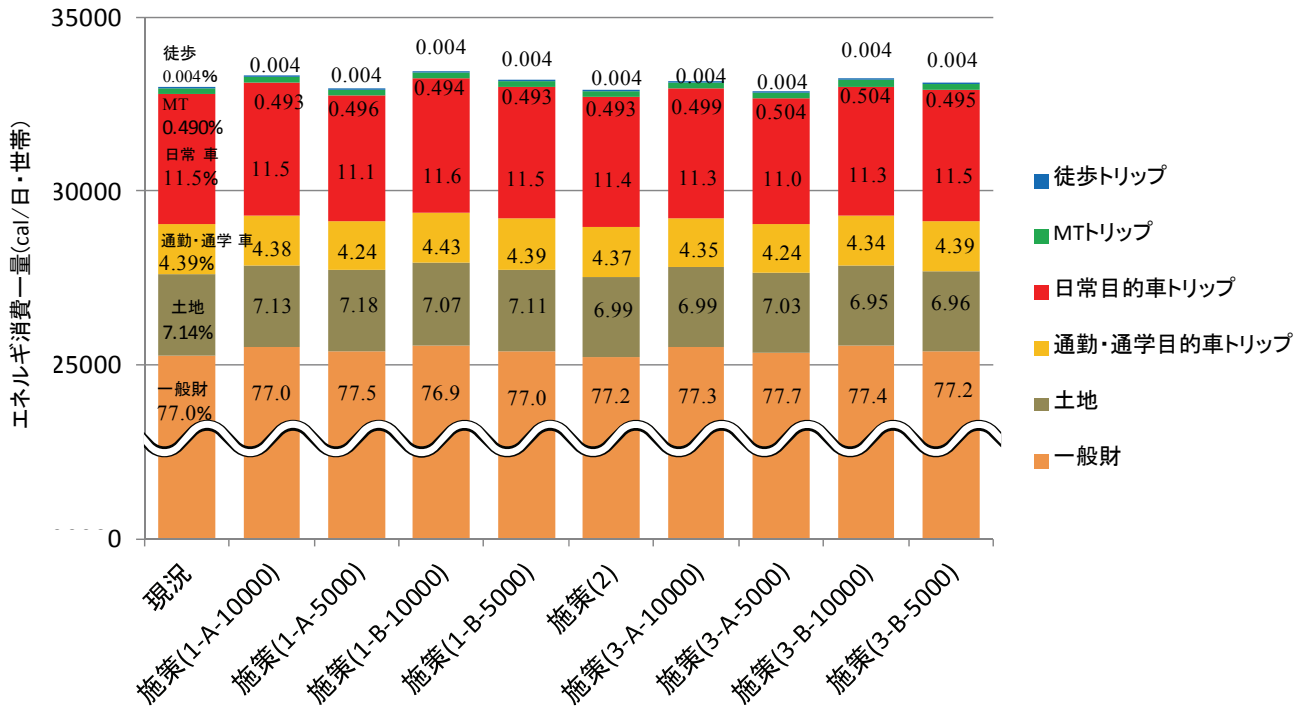

図-16　都市エネルギー消費量の将来予測の比較

(5)　エネルギー消費量最小化時の比較

施策ごとに将来予測時のエネルギー消費量と最小化時のエネルギー消費量を比較した結果を表-11 と図-17 に示す．表-11 では現況の最小化時の値と各施策の将来予測に対する各施策の比率を示す．また，それぞれ最小化する際に必要な追加的費用の結果を表-12 に示す．

表-11　各施策の最小化時の比較

	最小化	比率	P1-A-10,000 比率	P1-A-5,000 比率	P1-B-10,000 比率	P1-B-5,000 比率	P2 比率	P3-A-10,000 比率	P3-A-5,000 比率	P3-B-10,000 比率	P3-B-5,000 比率
総エネルギー消費量(kcal/日・世帯)	32,800	0.8912	0.8915	0.8965	0.8890	0.8909	0.8920	0.8935	0.8977	0.8934	0.8912
総費用(円/日・世帯)	8,178	1.104	1.104	1.103	1.106	1.105	1.104	1.104	1.104	1.106	1.105
総交通費用(円/日・世帯)	187.1	1.099	1.102	1.109	1.097	1.098	1.096	1.105	1.114	1.105	1.093
一般財 E 消費量(kcal/日・世帯)	25,240	1.004	1.004	1.004	1.003	1.004	1.002	1.002	1.002	1.000	1.002
土地 E 消費量(kcal/日・世帯)	2,343	1.317	1.319	1.318	1.327	1.322	1.347	1.350	1.348	1.357	1.353
(日常)車 E 消費量(kcal/日・世帯)	1,442	0.128	0.129	0.134	0.127	0.128	0.129	0.130	0.134	0.130	0.128
(通勤・通学)車 E 消費量(kcal/日・世帯)	3,775	0.027	0.028	0.029	0.027	0.028	0.028	0.028	0.029	0.028	0.027
徒歩 E 消費量(kcal/日・世帯)	1.346	1.227	1.226	1.225	1.226	1.225	1.220	1.217	1.215	1.215	1.220
MTE 消費量(kcal/日・世帯)	160.7	3.134	3.114	3.113	3.101	3.113	3.117	3.084	3.070	3.052	3.099
一般財量(円/日・世帯)	6,937	1.004	1.004	1.003	1.003	1.003	1.002	1.002	1.002	1.000	1.002
土地量(m^2/日・世帯)	229.2	1.317	1.320	1.317	1.328	1.322	1.348	1.349	1.347	1.357	1.353
(日常)車交通量(トリップ/日・世帯)	0.34	0.226	0.227	0.228	0.227	0.227	0.225	0.228	0.230	0.230	0.226
(通勤・通学)車交通量(トリップ/日・世帯)	0.894	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048	0.049	0.049	0.049	0.048
徒歩交通量(トリップ/日・世帯)	0.395	1.300	1.299	1.298	1.299	1.299	1.295	1.292	1.290	1.290	1.294
MT 交通量(トリップ/日・世帯)	0.12	2.992	2.971	2.972	2.952	2.965	2.979	2.953	2.939	2.913	2.956
車所要時間(分/日・世帯)	31.09	0.602	0.599	0.618	0.594	0.600	0.605	0.603	0.614	0.604	0.604
徒歩所要時間(分/日・世帯)	59.08	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
MT 所要時間(分/日・世帯)	102.9	1.020	1.022	1.021	1.022	1.022	1.020	1.020	1.021	1.023	1.022

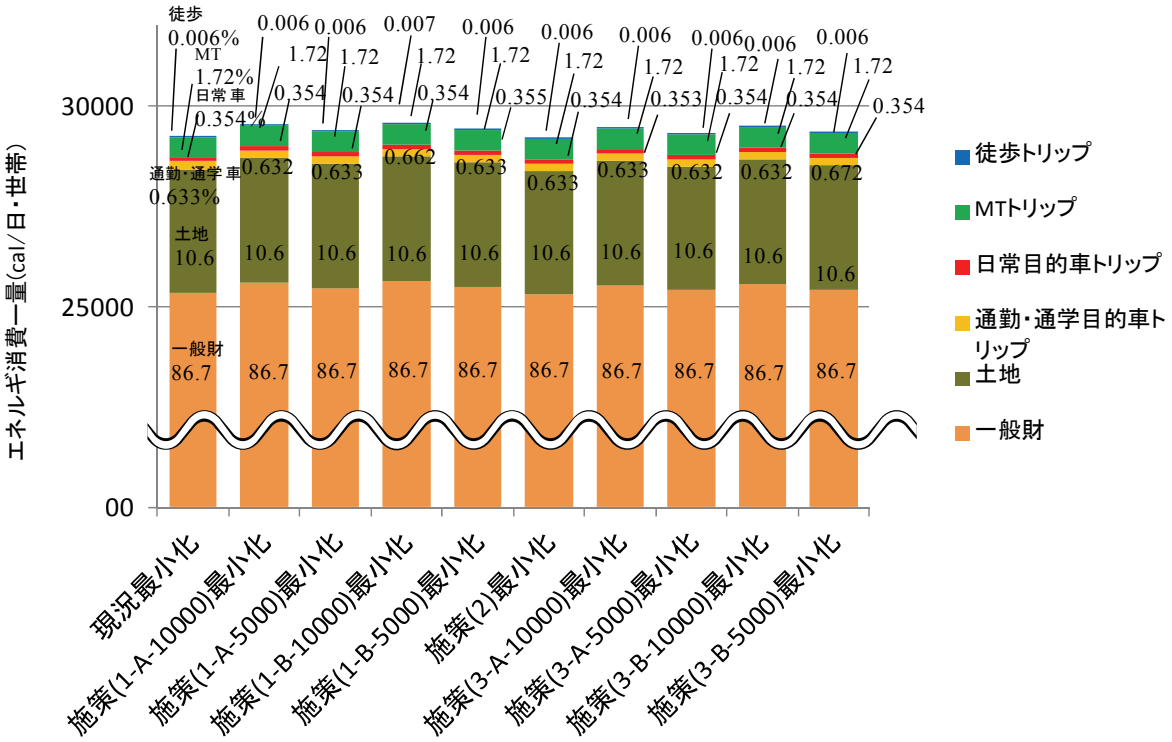

図-17　都市エネルギー消費量の最小化時の比較

以下に比較を行った結果について箇条書きで記す.

1)　将来予測に対する最小時の総エネルギー消費量の比は，施策の順にそれぞれ 0.8912，0.8915，0.8965，0.8890，0.8909，0.8920，0.8935，0.8977，0.8934，0.8912 となっており，P3-A-5,000 が最小解との差が最も小さい．この結果により P3-A-5,000 がコンパクトな都市構造に最も近いことが分かる．次に差が小さいのは P3-A-10,000 で，最も大きいのは P3-B-10,000 となった.

表-12　各施策の最少化のための追加的費用の比較

	現況	P1-A-10,000	P1-A-5,000	P1-B-10,000	P1-B-5,000	P2	P3-A-10,000	P3-A-5,000	P3-B-10,000	P3-B-5,000
追加的費用(円)	8.24×10^8	8.31×10^8	8.25×10^8	8.52×10^8	8.37×10^8	8.27×10^8	8.34×10^8	8.29×10^8	8.54×10^8	8.40×10^8

2) いずれも，一般財,，土地，徒歩トリップ，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することができる．その時，総費用と総交通費用は増加する．

3) そのためには，一般財と土地の総消費量を増大させ，日常目的での車トリップを徒歩トリップへ，通勤・通学目的での車トリップを公共交通機関トリップへ転換させる必要がある．またこれにより，自動車の総所要時間は減少し，公共交通機関の総所要時間は増大する．

4) 最小化する際に必要な追加的費用は現況が 8.24×10^8 と最も小さく，次に P1-A-5,000 が小さいという結果になった．

6. 結論

都市のコンパクト化，ここでは一世帯当りの消費エネルギーの削減を実現する都市政策としてのコンパクトシティは，有効であるが，いかにして交通拠点やその周辺の生活拠点ゾーンへあるいは都市中心部へ人口を集約化させるかがコンパクトシティを実現する際の現実的問題であった．

本研究では，人口集約ゾーンへの移転施策としての移転補助と郊外居住地課税という 2 つの施策の有効性について，従来のコンパクト性評価モデルのプロトタイプを移転需要の計測や生活圏内での徒歩による移動なども考慮することができる拡張されたモデルによりシナリオ分析を行った．

以下に結論と今後の課題を列挙する．

1) 都心部あるいは交通の利便性の高い主要な交通拠点とその周辺ゾーンへの移転に使う移転補助を行うことで，居住者の住み替えを誘導することが可能である．その効果は補填額が大きいほど高い．

2) しかし，過度な金額の移転補填は財の消費量を増やし，逆にエネルギー消費量を増やす結果になった．また，都心部への住み替えが行われた場合，渋滞が発生することにより所得の補填額が適当であっても車によるエネルギー消費量は増大する．

3) 郊外の土地へ課税する施策でも居住者の住み替えを誘導することが出来るが，その移転率は(1)の場合と比べて低い．しかし，所得増加による各財の消費量増加はないため，エネルギー消費量の減少率は大きくなっている．

4) 所得補填と郊外地代課税を組み合わせることで，より居住者の移転率とエネルギー消費量の減少率を大きくすることが出来る．

5) いずれの施策を行った場合でも，日常目的における車トリップを徒歩トリップへ，通勤・通学目的における車トリップを公共交通機関トリップへ転換させたり，車トリップを土地や一般財の消費に転換することで，効用水準を現状の水準に維持したままエネルギー消費量を減少させることが可能である．

6) 交通の利便性の高い主要な交通拠点とその周辺の居住者に対し 5000 円を所得に補填し，かつ郊外に住む居住者には地代に課税をする施策が，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の差が最も小さくなっており，コンパクトな都市構造に最も近いことがわかった．

以上より，どのような移転施策が居住者の住み替え及び都市エネルギー消費量の削減に対して有効であるかを明らかにすることができた．しかし，移転施策を実現するためには，交通と土地利用についてより詳細な影響を分析できるようなモデルの改良や，移転施策の設定パターンを増やしてシナリオ分析を行うなど，実現に向けた精度の高い考察が出来る評価方法を確立する必要や，居住者の施策の受容性向上に向けてコンパクトシティに対する意識調査を実施し、その結果に合わせた施策の提案をしていくこと必要がある．

参考文献

1) 富山市 HP，まちなか住宅家賃助成事業 http://www.city.toyama.toyama.jp/toshiseibibu/toshisaiseiseibika/jyutakuseisaku/machinakayachinjosei.html
2) 岐阜市 HP，岐阜市まちなか賃貸住宅家賃助成事業 http://www.city.gifu.lg.jp/11555.htm
3) 金沢市 HP，まちなか住宅建築奨励金

http://www4.city.kanazawa.lg.jp/29101/jyuutaku/machijyuu/syourei.html
4) 高岡市 HP，まちなかの居住支援制度 http://www.city.takaoka.toyama.jp/kenju/kurashi/jutaku/jose/machinaka/index.html
5) 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，第 43 回土木計画学研究発表会，No.216, 2011.
6) 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，No4-3，pp.44-51，2006
7) 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.
8) 水本斉，森本章倫：都市の集約の違いが CO_2 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.
9) 森島仁：交通起源 CO_2 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，第 40 回土木計画学研究発表会，No.139, 2009.
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) 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，日本都市計画学会・都市計画論文集，No.43-3，pp.127-132，2008.
12) 相川航平，Yin Yanhong，円山琢也：消費エネルギー削減の視点から見た都市圏のコンパクト化の効果と費用, 第 45 回土木計画学研究発表会，No.104, 2012.
13) 笈田翔平，菊池輝，平見憲司，井上紳一，藤井 聡：PT 調査実務における 土地利用・公共交通 LOS の内生変化を加味した交通需要予測手法の提案と活用，土木計画学研究・論文集，Vol.67，No.5，pp.531-540，2011
14) Newman, P., Kenworthy, J., 1999. Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence, first ed.
15) 住宅支援機構 HP,，民間住宅利用者の事態調査 http://www.jhf.go.jp/about/research/loan_user.html
16) 氏原岳人，阿部宏史，藤川和哉：エコ・コンパクトシティ実現のためのスマートシュリンクモデルの構築と適用可能性，土木計画学研究・講演集，vol.45, No.106, 2013.
17) 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.
18) 国土交通省道路局，時間価値原単位および走行経費原単位（平成 15 年価格）の算出方法，pp.92，2003.
19) 国土交通省道路局，時間価値原単位および走行経費原単位（平成 15 年価格）の算出方法，pp.27-41，2003.
20) 国税庁 HP，路線価図・評価倍率表 http://www.rosenka.nta.go.jp/
21) 熊本県庁 HP，熊本のデータ http://www.pref.kumamoto.jp/site/statistics/list1288-2370.html
22) 総務省統計局，政府統計の総合窓口 http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do
23) （財）省エネルギーセンター：EDMC/エネルギー・経済統計要覧，pp.80-81，2004.
24) 南斎規介，森口祐一，東野達：産業関連表による環境負荷原単位データクックブック，CGER-REPORT，ISSN, 1341-4356，CGER-D031，2002.
25) （財）省エネルギーセンター：EDMC/エネルギー・経済統計要覧，pp.116-117，2004.
26) 松雄雄司：歩行のエネルギー消費についての考察(1)，IEEJ, 2013 年 12 月.

A SCENERIO BASED ANALYSIS ON RESIDENTIAL ALLOCATION AND TRANSPORTATION POLICIS FOR ACHIEVING COMPACT CITY

Kohei AIKAWA, Shoshi MIZOKAMI and Takuya MARUYAMA

Compact city policy is widely supported for reducing energy consumption. Recently, the research is proceeding with which kind of compact urban structure is most effective to reduce energy consumption , and suggest that Multi pole structure that concentrates the population around several convenient living core poles, which is highly access to service and public transport, is a better for reducing energy consumption. However, which kind of policy can concentrate the population there and how, the research including it is very few. This paper aims to verify the effectiveness by residential allocation and transpotatin which achieves compact city by using some scenario based analysis method.