

# 土地利用が都市の持続可能性に与える影響に関する研究 —福岡市を事例としたLCCO<sub>2</sub>分析—

高橋 美保子

## 1.はじめに

### 1-1 研究の背景

地球規模の環境問題の顕在化や人口減少時代、高齢化社会の到来を控え、右肩上がりの経済発展とそれに支えられた都市の拡大・成長を前提とした都市モデルから持続可能な新しい都市モデルを模索する動きが高まっている。

そのような中、多くの自治体でコンパクトシティを持続可能な都市の目標像とする傾向が見られる。いまや「持続可能」という言葉は一種のイデオロギーとなっている感があるが、コンパクトシティが持続可能であるかどうかという疑問には異論も多く未だ結論は出ていないとされており<sup>1)</sup>、その原因のひとつに定量的分析の不足が挙げられる。

コンパクトシティが持続可能であるかという命題に対し回答を見つけるためにも、土地利用が都市の持続可能性に与える影響を定量的に分析する必要がある。

### 1-2 研究の目的

そこで本研究では、持続可能性のうち特に環境という側面に着目し、都市の環境的側面から見た持続可能性を定量化する手法を開発し、その手法を用いて土地利用が環境的側面から見た持続可能性に与える影響を定量的に分析することを目的とする。具体的には以下の3点を目的として調査、分析を進める。

- (1)都市の環境的側面から見た持続可能性をCO<sub>2</sub>を指標として定量化する手法を構築する。
- (2)構築した手法を福岡市に適用し、福岡市の環境的側面から見た持続可能性を定量化すると同時に、手法の有効性を検証する。
- (3)異なる土地利用モデル間の分析を通じ、土地利用が都市の持続可能性にどのような影響を与えているか明らかにする。

### 1-3 研究の位置付け

持続可能性の定量化に関する手法や研究は近年数多く見られるが、それらの多くは一般的な人口指標や経済指標を用いて行うもので、土地利用の違いに着目したものは見られない。

また、ライフサイクルアセスメント(以下LCA)の手

法により都市の環境負荷を算出した研究として、建物の棟数や階数を変化させた場合のCO<sub>2</sub>排出量について分析を行った武元ら<sup>2)</sup>による研究やニュータウンにおけるCO<sub>2</sub>排出量と抑制方法について分析を行った伊藤ら<sup>3)</sup>の研究があるが、土地利用の変化に伴う人の動きの違いという視点は入っていない。

本研究で提案する手法は、土地利用による持続可能性の違いに着目し、土地利用による人の動きの違いを定量化している点に特色がある。

### 1-4 本研究における持続可能性の定義

近年持続可能な都市及びコンパクトシティという言葉は多用されているが、その定義は明確でなく、混同されている感がある。本研究ではコンパクトシティを都市の空間像、持続可能性はその評価尺度であると捉え、コンパクトシティを「都市の形態ある機能の混合によって、都市活動の空間的密度が高い都市」と定義する。また、都市の持続可能性は環境、社会、経済の3側面を有し、環境的側面から見た持続可能性を環境負荷が少ないことと捉えることとする(図1)。

## 2.都市の環境持続可能性の定量化手法

本研究で提案する手法は、CO<sub>2</sub>を指標とし、LCAの手法を都市に適用したものである。本研究での評価の対象とLCAの考え方を図2に示す。

### 2-1 インフラ・建築物から排出されるCO<sub>2</sub>量の算出

インフラ・建築物から排出されるCO<sub>2</sub>量は、既往の文献等<sup>4)~8)</sup>より整理したライフサイクルの各段階におけるCO<sub>2</sub>排出原単位に面積等に乗じることで求める。

### 2-2 人の動きから排出されるCO<sub>2</sub>量の算出

人の動きから排出されるCO<sub>2</sub>量の算出には、パーソナルトリップ調査(以下PT調査)データを用い、PT調査データに含まれているトリップごとの交通手段と所要時間

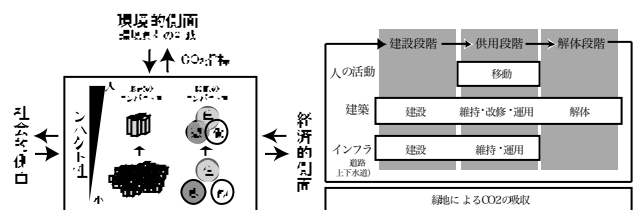


図1 本研究におけるCO<sub>2</sub>と持続可能性の捉え方

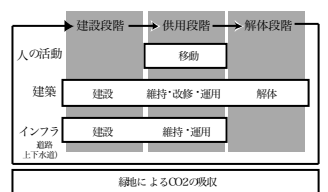


図2 本研究におけるライフサイクルの対象と考え方

から排出されるCO<sub>2</sub>量(以下PTCO<sub>2</sub>量)を以下のように計算する。

$$PTCO_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (T_{ij} \times S_j \times U_j)$$

$T_{ij}$ : トリップi手段jにおける所要時間 [h]  
 $S_j$ : 手段別平均速度 [km/h]<sup>9)~11)</sup>  
 $U_j$ : 手段別CO<sub>2</sub>排出原単位 [g-C/km]<sup>9)~11)</sup>

### 2-3 緑地により吸収されるCO<sub>2</sub>量の算出

植物にはCO<sub>2</sub>を吸収する働きがある。土地利用の違いにより空地や緑地の面積が変化するため、前述のLCAの手法に加え、既往文献<sup>10)</sup>の原単位を用いて緑地によるCO<sub>2</sub>吸収量を算出する。

### 3. 福岡市におけるケーススタディ

ここでは、福岡市の2005年から2035年までに排出されるCO<sub>2</sub>量を土地利用の異なる4つのモデル毎に算出し、土地利用と排出されるCO<sub>2</sub>量の関係を明らかにする。福岡市の人口は2025年まで上昇を続け、それ以降は減少に転じると予測されている<sup>13)</sup>。

#### 3-1 使用するデータと将来延床推計のフロー

データには都市計画基礎調査データ(H5、H10)と北部九州圏PT調査データ(H5)を用いる。将来の延べ床面積は人口に比例するものとし、図3のフローにしたがって推計する。分析はPT調査のCゾーン(以下地区<sup>注1)</sup>)を単位として行う。また、道路の将来需要は困難であるため、①現在決定されている都市計画道路は2035年までに全て整備される、②それ以外に新たな道路は建設されないとの仮定に基づき計算を行う。上下水道については①福岡市では既にほぼ整備済みである、②現在の使用量等を人口に比例させて人口が最大となる2025年の使用量等を推計したところ、処理能力を上回らないことが明らかとなったため、新たな整備や建設はないものとする。この仮定では土地利用の変化によるインフラからのCO<sub>2</sub>排出量の違いを明らかにすることができないが、今回はインフラからのCO<sub>2</sub>排出量が全体のCO<sub>2</sub>排出量に占める割合を示す意味でCO<sub>2</sub>排出量を算出する。

#### 3-2 土地利用モデルの設定

##### (1) 現状トレンドモデル

各地区の用途別、構造別延床面積は一人当たり延床面積と人口から求めた用途別、構造別延床面積の総量をコントロール値として、H5とH10の都市計画基礎調査から求めた各地区の伸び率によって増加するものとする。

##### (2) 都心集中-職住分離モデル

2005年以降の商業、業務の延床増加分が、天神と博多駅を中心から半径2kmの円の内部に集中し、その他の用途は現状トレンドモデルと同様にトレンドによって

増加するものとする。

##### (3) 都心集中-職住近接モデル

2005年以降の商業、業務、住宅、文教厚生 of 延床増加分が、天神と博多駅を中心から半径3kmの円の内部に集中し、その他の用途は現状トレンドモデルと同様にトレンドによって増加するものとする。その際、郊外部の戸建住宅の増床分は都心部では集合住宅に変わるものとする。

##### (4) 副都心形成モデル

2005年以降の商業、業務、住宅、文教厚生 of 延床増加分が、西新、香椎、大橋から半径1kmの円の内部に集中し、その他の用途は現状トレンドモデルと同様にトレンドによって増加するものとする。

### 3-3 PTCO<sub>2</sub>量の予測式の作成

土地利用が変化した場合、トリップの距離や利用交通手段も変化するため、土地利用とPTCO<sub>2</sub>量の関係を明らかにし、土地利用が変化した場合のPTCO<sub>2</sub>量を求める予測式を作成する。まず、H5のPT調査データからH5の目的別トリップ当たりPTCO<sub>2</sub>量を求め、次に目的別トリップ当たりPTCO<sub>2</sub>量と関連する土地利用関係指標から、PTCO<sub>2</sub>量の予測式を求める。

#### 3-3-1 土地利用関係指標

トリップ当たりPTCO<sub>2</sub>量は、トリップの距離、利用交通手段によって決定されるものである。そこで、トリップ距離に影響を及ぼすと考えられる都心からの距離、従業利便性、商業利便性、用途の混合度合い及び住宅集中度合い、交通手段の選択に影響を及ぼすと考えられる公共交通の利便性をトリップ当たりPTCO<sub>2</sub>量に影響を及ぼす主な要因であると推測し、それらの土地利用を示す指標を以下の通り作成する。

##### (1) 従業利便度、商業利便度、住宅集中度

$$Ri = \sum_{j=1}^n Aj / Dij$$

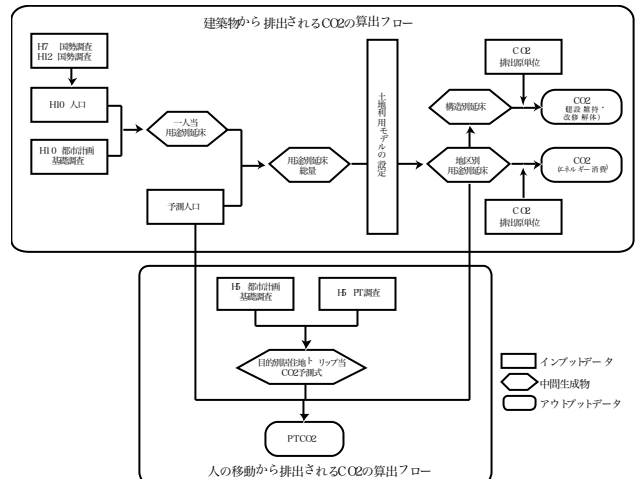


図3 建築物から排出されるCO<sub>2</sub>とPTCO<sub>2</sub>の将来推計フロー

Ri:地区jの利便度または集中度

Aj:地区jの用途別延床

(従業利便度には商業、業務の延床面積の合計、商業利便度には商業の延床面積、住宅の集中度には住宅の延床面積を使用)

Dij:地区iからjまでの距離

(2)用途の混合度

$$\text{混合度} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n n_i(n_i-1)}{100(100-1)}$$

ni:地区内の用途別建物延床面積の構成比

(住宅、商業、業務の面積構成比を使用)

(3) 鉄道、バス利便指標

鉄道駅、バス停からの一定圏域(=利便エリア)がその地区の面積に占める割合で(図4)鉄道、バスそれぞれについて「鉄道利便指標」「バス利便指標」として算出したもの。一定圏域には、鉄道駅に関しては500m、バス停に関しては300mという値を用いる<sup>14)</sup>。

(4)都心からの距離

面積から求めた各地区の重心と、福岡市の中心である天神1丁目を含む地区の重心までの直線距離。

3-3-2 予測式の作成

目的別トリップ当たりPTCO<sub>2</sub>量と相関の見られた指標を用いてステップワイズ法による重回帰分析を行った。その結果通勤、買物、帰宅目的のトリップ当たりPTCO<sub>2</sub>量について以下の予測式を作成することができた。有意確率は1%で標準化係数、共線性の統計量等の値は表1に示す。

(1)通勤目的(R=0.804)

$$\text{PTCO}_2/\text{Trip} = -0.016 \times W - 66.928 \times R + 277.201$$

(2)買物目的(R=0.794)

$$\text{PTCO}_2/\text{Trip} = 0.004 \times H - 25.5 \times R + 0.008 \times D - 23.974$$

(3)帰宅目的(R=0.674)

$$\text{PTCO}_2/\text{Trip} = -49.507 \times M - 41.416 + 0.003 \times D + 132.984$$

W:従業利便度 R:鉄道利便指標 H:住宅集中度  
D:都心からの距離 M:用途の混合度

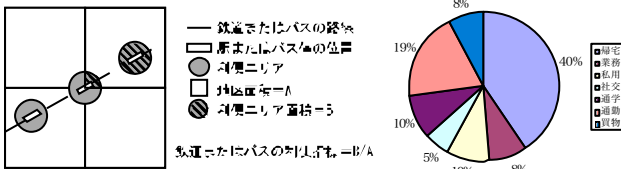


図4 交通利便指標の考え方 図5 目的別トリップ数の割合

表1 重回帰分析の係数等

従属変数	説明変数	非標準化係数	標準化係数	共線性の統計量	
				許容度	VIF
帰宅PTCO <sub>2</sub>	定数	132.984	-	-	-
	用途の混合度	-49.507	-0.227	0.601	1.663
	鉄道利便指標	0.003	0.322	0.721	1.386
	都心までの距離	-41.416	-0.309	0.762	1.306
通勤PTCO <sub>2</sub>	定数	277.201	-	-	-
	従業利便度	-0.016	-0.608	0.71	1.409
	鉄道利便指標	-66.928	-0.291	0.71	1.409
買物PTCO <sub>2</sub>	定数	-23.974	-	-	-
	住宅集中度	0.008	0.965	0.195	5.137
	鉄道利便度	-25.500	-0.201	0.892	1.12
	都心までの距離	0.004	0.305	0.205	4.879

業務・通学・私用・社交目的のトリップ当たりPTCO<sub>2</sub>量については、相関の高い説明変数が見つからなかったため、土地利用の変化による違いはないものとして取り扱う。上記3目的のトリップ数は全トリップ数の約7割を占めるため、モデル間の比較に問題はないと判断した(図5)。

4 結果と比較分析

4-1 現状トレンドモデルのCO<sub>2</sub>排出量推計結果

福岡市で2005年から2035年の30年間に排出されるCO<sub>2</sub>量の合計は208,529,137tで、ライフサイクルの段階別のCO<sub>2</sub>排出量を見ると供用段階が99%を占める。これは建築物の運用段階での電気、ガスといったエネルギー消費が占める割合が大きいためである(表2)。

4-2 モデル間の比較分析

設定した4つのモデルを比較すると、CO<sub>2</sub>排出総量では都心集中-職住分離モデル、副都心形成モデル、都心集中-職住近接モデルの順で少なくなることがわかる。そこで、その要因を考えるために、建築物から排出されるCO<sub>2</sub>量、PTCO<sub>2</sub>量、緑地によるCO<sub>2</sub>吸収量という3つの分類での増減を見てみると、建築物から排出されるCO<sub>2</sub>量の違いは、建築物の構造に起因するものと戸建と集合という住宅の形態に起因するものがあるが、その差はほとんど見られない(図6)。

それに比べ、人の動きから排出されるCO<sub>2</sub>量はモデル間での違いが大きい。まず、都心集中-職住分離モデルはCO<sub>2</sub>排出総量で現状モデルを下回っているにも関わらず、PTCO<sub>2</sub>量はわずかに増加しているが、これは商業、業務施設が都心に集中したことで、都心部以外でのトリップ当たりPTCO<sub>2</sub>量が増加したことと(図7)、その都心部以外で

表2 現状トレンドモデルのCO<sub>2</sub>排出量推計結果

	建設	供用	解体	合計
インフラ	373	1,066	-	1,439
建築物	1,327	206,135	168	207,630
人の動き	-	3,702	-	3,702
小計	1,700	210,903	168	212,771
LC段階別割合(%)	0.80	99.12	0.08	100
緑地による吸収	-	-	-	-4,242
合計				208,529

千tC

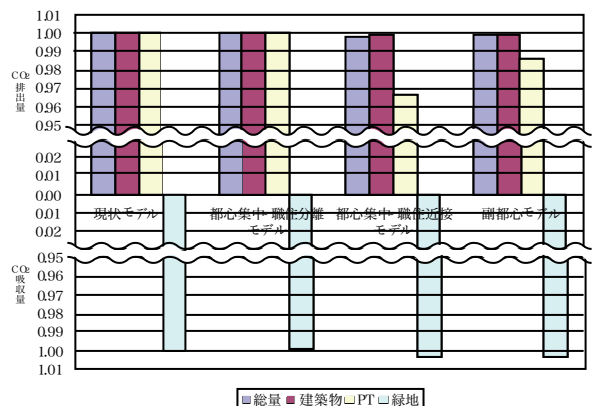


図6 モデル間の排出CO<sub>2</sub>量比較(現状モデルを1とした場合)

人口が増加したことが原因と考えられる。また、PTCO<sub>2</sub>量が4つのモデル中で最も減少した都心集中-職住近接モデルでは、トリップ当たりPTCO<sub>2</sub>量の少ない都心部で人口が増加し、それ以外での人口増加が抑えられたことがPTCO<sub>2</sub>量が減少の原因であると考えられる(図8)。副都心形成モデルのPTCO<sub>2</sub>量減少原因も同様に考えることができる。

#### 4.3 まとめ

今回比較した4つのモデルの中では都心集中-職住近接モデルのPTCO<sub>2</sub>量が最も小さく、福岡市においては人の移動から排出されるCO<sub>2</sub>量削減のためには都心居住の推進と都心部への開発集中が有効であると推測できる。また、推計した2005年の総延床面積5.77%にしか満たない将来の増床面積の立地場所変更により、3.44%のPTCO<sub>2</sub>量削減効果が得られるということは、土地利用によって人の動きをコントロールすることの重要性を示していると考えられる。

しかし、CO<sub>2</sub>排出総量としては、コンパクト性の異なる4つの都市モデルを比較してもほとんど変化が見られず、コンパクトシティによるCO<sub>2</sub>削減効果はCO<sub>2</sub>排出総量からするとわずかなものである。

#### 5. おわりに

本研究ではCO<sub>2</sub>を指標に人の動きを考慮に入れた都市のLCAの手法を用いて都市の環境的側面から見た持続可能性を定量化する手法を構築し、土地利用が都市の環境的側面から見た持続可能性に与える影響について解明を試みた。その結果は以下のようにまとめることができる。

(1)CO<sub>2</sub>を指標として都市の環境的側面から見た持続可能性を定量化する方法を構築したことで、土地利用の異なる都市モデルの環境的側面から見た持続可能性を比較することが可能となった。

(2)その手法を福岡市に適用したところ、都心への商業、業務機能の集中より、都心居住の推進による用途の混合のほうが人の移動から排出されるCO<sub>2</sub>量の削減効果が高いことが明らかとなった。

(3)建築物等の立地場所変更によって高めることのできる都市の環境的持続可能性はCO<sub>2</sub>排出総量からするとわずかなのであるが、社会的、経済的側面から見た持続可能性が高まることも考えられるため、社会的、経済的側面から見た持続可能性の定量化が今後の課題である。

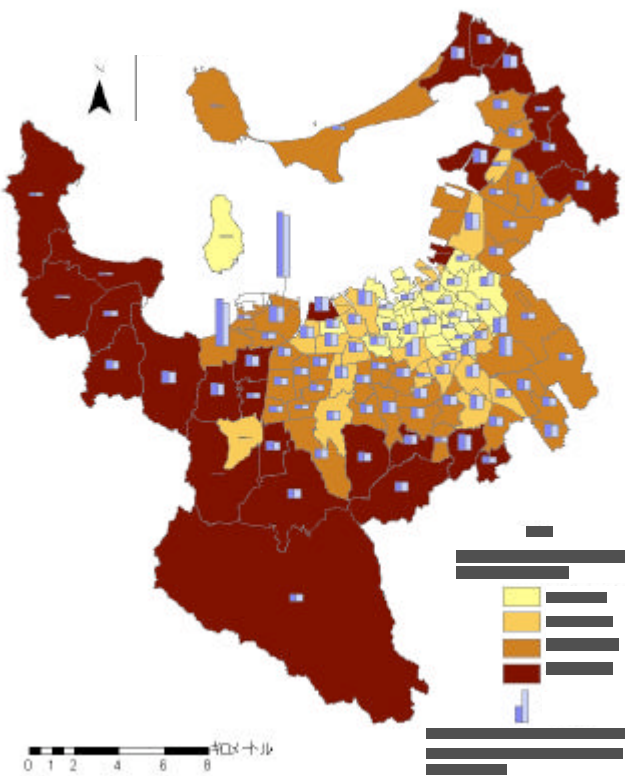


図8 都心集中-職住集中モデルの地区別トリップ当PTCO<sub>2</sub>量と現状トレンドモデルとの地区人口の比較

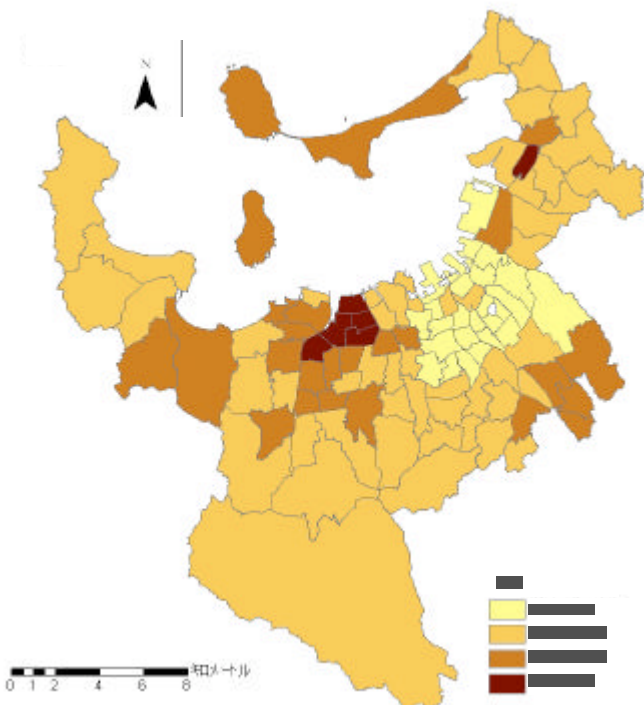


図7 都心集中-職住分離モデルと現状モデルのPTCO<sub>2</sub>量比較(現状モデルを1とした場合)