

都市環境負荷の長期予測シミュレータ開発と住宅・事務所セクタにおける2050年までのCO₂排出量予測

寺地, 愛優
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻修士課程

杉田, 匡英
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻修士課程

山本, 高広
九州大学工学部建築学科

赤司, 泰義
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

他

<https://doi.org/10.15017/20650>

出版情報：都市・建築学研究. 17, pp.63-74, 2010-01-15. Faculty of Human-Environment Studies, Kyushu University

バージョン：

権利関係：



都市環境負荷の長期予測シミュレータ開発と 住宅・事務所セクタにおける2050年までのCO₂排出量予測

Development of a Simulator for Long-term Prediction of Urban Environmental Loads
and Prediction of CO₂ Emission from Residential and Office Buildings until 2050

寺地愛優*¹, 杉田匡英*¹, 山本高広*², 赤司泰義*³, 渡辺俊行*³,
有馬隆文*³, 志賀 勉*³, 趙 世晨*³, 鶴崎直樹*³, 山口謙太郎*³

Ayu TERACHI, Tadahide SUGITA, Takahiro YAMAMOTO, Yasunori AKASHI,
Toshiyuki WATANABE, Takafumi ARIMA, Tsutomu SHIGA, Shichen ZHAO,
Naoki TSURUSAKI and Kentaro YAMAGUCHI

This study aims to clarify the amount of urban environmental load reduction according to the introduction and spread of different technologies and social systems for urban sustainability. As the analysis tool, we are now developing a simulator for long-term prediction of the urban environmental loads using the System Dynamics method, in which we consider a city as a non-linear urban system including complicated social dynamics. In this paper, we showed the outline of the simulator development, modeled each sector on population, households, residential buildings and office buildings which partially composes the urban system, and verified the accuracy of the models by comparison with actual statistical data. In addition, we aggregated these models and predicted the CO₂ emission from residential and office buildings until 2050.

Keywords: City, Simulator, Environmental load, Long-term prediction, System Dynamics

都市, シミュレータ, 環境負荷, 長期予測, システムダイナミクス

1. はじめに

2008年7月の洞爺湖サミットでは、2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量の少なくとも50%を削減することが合意され、今後は「ポスト京都議定書」に向けた都市・建築分野の取り組みが一層強化されることになった。一方、日本ではこれまで様々な技術を開発してきたが、年間総エネルギー消費量の増加に歯止めが利かず、社会全体のエネルギー消費量の約40%が建築関連分野で消費されている。持続可能な都市・建築を構築するには、これまでのようなトップダウン的な目標設定と技術開発だけでは限界があり、どのような技術が普及できるのか、如何に技術を普及させるのか、普及させるためにはどういった社会制度や経済的支援が必要なのか、といったボトムアップ的な方法論が欠かせない。その方法論の一つに、都市・建築を複雑な社会動態が包含される都市システムとして捉え、そのシステムで生じる環境負荷（エネルギー消費量、CO₂排出量など）を要素技術・社会制度・経済的支援等の環境負荷削減対策の導入

と普及に応じて長期的に予測し、都市・建築の持続化の観点から効果的な施策立案を支援していくことが考えられる。

これまでCO₂排出量の予測に関する研究としては、建築環境分野では、伊香賀ら¹⁾が、将来推計人口、建物運用時CO₂原単位、産業連関分析に基づく建設時CO₂原単位、電力のCO₂原単位変化を考慮して様々な対策シナリオの建築関連CO₂排出量を2050年まで予測した。都市計画分野では、高橋ら²⁾が、世界各地で考案されているサステナビリティ評価手法の特徴や課題を整理した上で土地利用政策のサステナビリティ評価手法を開発している。建築構造分野では、星野ら³⁾が、木造建築物を対象として木材循環利用技術の多段階活用を実施することによる環境改善効果を定量的に算定している。また、交通運輸の分野では加藤ら⁴⁾が、新規鉄軌道整備の計画段階において想定される利用・運行状況の違いを考慮した新規鉄軌道整備によるCO₂排出量変化のライフサイクル評価手法を開発した。

このように各分野において、CO₂排出量を把握し、予測しようとする研究は近年特に活発になっているが、社会動態を包含した都市と建築の総体における環境負荷の

*1 空間システム専攻修士課程

*2 工学部建築学科

*3 都市・建築学部門

長期予測に基づいて、技術開発の方向性や社会制度のあり方を決定する方法論やツールは存在していない。また、これまで我々は、要素技術等を独立に建築単体に適用し、その導入効果のある時間断面もしくはライフサイクル上で静的に評価してきたが、今後は建築群やインフラを含む都市を対象に社会動態との相互作用を考慮して環境負荷削減対策を複合的かつ動的に評価することが求められている。

このような背景のもと、本研究では都市・建築の持続化に向けた施策立案を支援する方法論の構築を目指して、都市・建築を複雑な社会動態が包含された非線形性の強い都市システムとして捉え、システムダイナミクス手法によりその環境負荷を長期的に予測することによって要素技術や社会制度の導入と普及に応じた環境負荷削減可能性を明らかにすることを目的とする。本報では、都市における環境負荷の長期予測シミュレータの開発方法を示すとともに、都市システムの部分的な構成要素である人口、世帯、住宅、事務所に関するセクタを取り上げてモデル化を行ない、実績値や統計値との比較によりモデル精度の検証を行なった。また、これらの人口、世帯、住宅、事務所セクタのモデルを統合し、住宅と事務所に関する2050年までのCO₂排出量の予測を行なった。

2. シミュレータの開発方法

都市規模での将来予測手法には主に統計的手法とシステムダイナミクス手法がある。統計的手法は過去実績値から重回帰式を作成する一般的な手法で、説明変数と目的変数の関係が線形的で構造変化が無い場合には予測の精度が高い。システムダイナミクス手法は時間の経過とともに変動する動作システムの内部構造をモデル化するもので、変数間の関係が把握し易く、広域的な俯瞰が困難な社会システム等の予測に適している。

都市システムにおける変数間の因果関係の概念図を図1に示す。人口という一つの要素を考えたとき、転入数は移住の魅力によって変化する。医療水準が高いなど居住環境が良ければ、移住の魅力は上がり人口は増加する。しかし、人口が増加すると、人口密度も増加して居住環境が悪化し、移住の魅力は下がり人口は減少する。このように、都市を多様な変数で構成される一つのシステムとしてモデル化することで、都市の複雑な社会動態を再現できると考えられる。統計的手法によるモデル化では、将来にわたって過去の実績値に現れたトレンドを保持するので、構造変化を考慮しにくいという欠点がある。そこで本研究では、システムの動的変化や変数間の因果関係を容易に扱うことができるシステムダイナミクス手法を用いてモデル化を行う。

システムダイナミクス手法を用いた都市システムモデルは、都市システムを表現する多様な変数と変数間の因

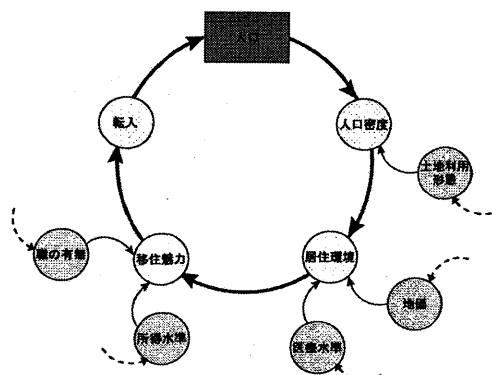


図1 都市システム内の因果関係の概念図

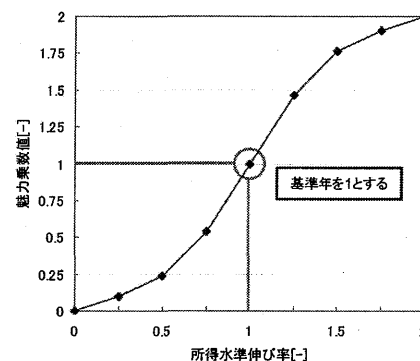


図2 所得水準による転入率への魅力乗数

果関係によって構成される。変数間の因果関係は構造方程式によって表わされるが、この構造方程式を魅力乗数によって推定する。魅力乗数とは、例えば都市の住環境や職の魅力などを数値化した指標であり、専門家の知見やアンケート調査に基づいて過去の実績値の挙動と適合するように任意に出力値と入力値の関係を決めたグラフ関数にあてはめ、その影響の大きさを定義する。例えば図2は転入率に対する所得水準の魅力乗数を示しているが、この意味は、所得水準伸び率が1.5倍になれば、転入率が約1.75倍になる、ということである。

図3に本研究で開発するシミュレータの全体フローを示す。元来、都市システムには膨大な変数が介在するが、環境負荷に動的な変化をもたらす主な変数群を規定できれば良い。また、ここでは、関係性の強い変数群をセクタという概念でグループ化し、セクタのモデルを統合することによってシミュレータを構築する。現在、都市システムを図3に示す16セクタのモデルによって表現することとしている。

3. 人口セクタ、世帯セクタ、住宅セクタ、事務所セクタのモデル化

ここでは、図3の16セクタのうち、人口セクタ、世帯セクタ、住宅セクタ、事務所セクタのモデル化について述べる。各セクタのモデルのフローは図3を参照されたい。これらのセクタのモデル化と精度検証を行うにあたっては、モデル化が完了していない他のセクタからの変数には過去の時系列実績値を与えた。

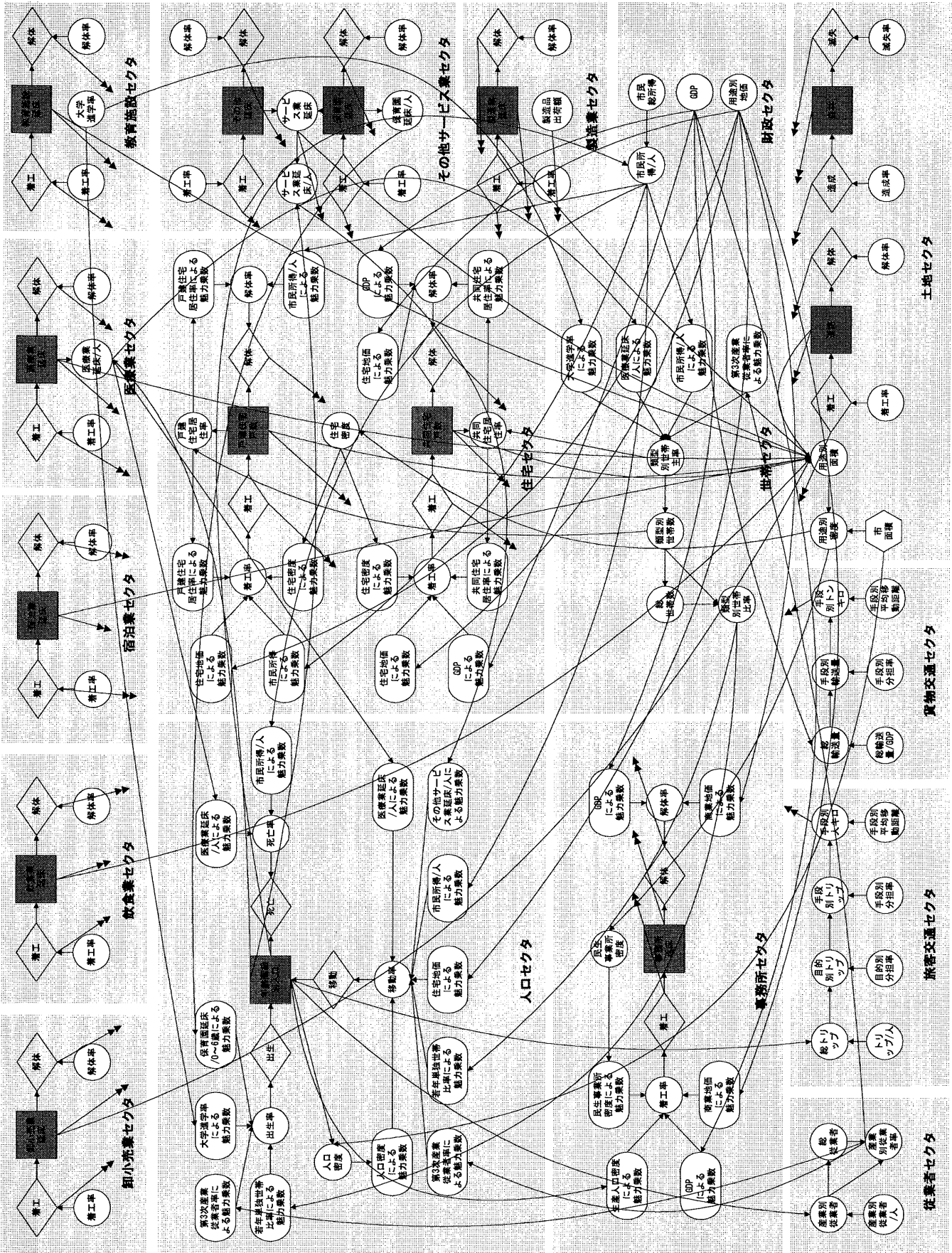


図3 シミュレーターの全体フロー図

■ : 魅力乗数
 ○ : ストック
 ● : 変数
 ◇ : フロー
 ◆ : 定数
 → : 環境負荷への影響

3.1 人口セクタのモデル化と精度検証

人口はシステムの動的変化を規定する重要な要素である。本研究では、生産人口の変化や人口の高齢化などの人口構造の変化を表現するために、コーホート要因法による5歳階級別人口モデルとして作成した。コーホート要因法とは、コーホート（年齢階級）ごとの2時点における人口増減を出生と死亡による自然増減と転入と転出による社会増減によって捉える方法である。一般的には人口の社会増減は転入と転出に分けて推計するが、市区町村レベルでは転入数、転出数に関する統計資料が不十分であるため、転入と転出をまとめた移動数（転入数と転出数の差）を社会増減としてモデルに使用した。

出生数、死亡数、移動数は出生率、死亡率、移動率により変化し、出生率、死亡率、移動率はそれぞれの魅力乗数により変化する。出生率、死亡率、移動率に対する影響因子を表1に示す。

表1 出生率、死亡率、移動率に対する影響因子

セクター分類	構成要素	影響因子	単位	相関
人口	出生率	0~6歳一人あたり保育園延床面積	[㎡/人]	[+]
		若年単独世帯比率	[-]	[-]
		大学進学率	[-]	[-],[+]
	死亡率	第3次産業従業者率	[-]	[-],[+]
		一人あたり市民所得	[百万円/人]	[-]
		一人あたり医療業延床面積	[㎡/人]	[-]
	移動率	第3次産業従業者率	[-]	[+]
		一人あたり市民所得	[百万円/人]	[+]
		一人あたりその他サービス業延床面積	[㎡/人]	[+]
		一人あたり医療業延床面積	[㎡/人]	[+]
		若年単独世帯比率	[-]	[-]
		住宅地価	[円/㎡]	[-]
	人口密度	[人/㎢]	[-]	

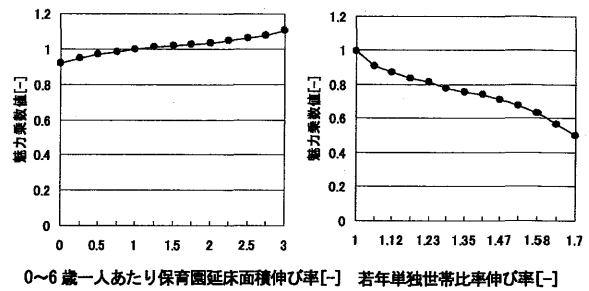


図4 20~24歳出生率への魅力乗数

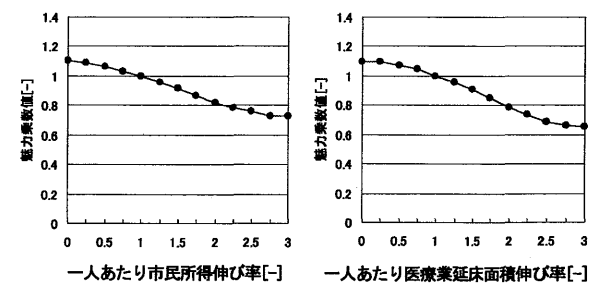


図5 65~69歳死亡率への魅力乗数

【出生率に対する魅力乗数】

出生率への影響には、0~6歳一人あたり保育園延床面積、若年単独世帯比率、大学進学率、第3次産業従業者率による魅力乗数を設定した^{5)~9)}。設定した20~24歳出生率への魅力乗数を図4に示す。

<0~6歳一人あたり保育園延床面積による魅力乗数>

核家族化が進行して近隣に親戚や知人のいないケースが増加している状況においては、保育園への依存度が高い。そこで、保育園の充実度を表す0~6歳一人あたり保育園延床面積が増加すると、出生率が増加するとして魅力乗数を設定した。

<若年単独世帯比率による魅力乗数>

ライフスタイルの変化により、世帯構造は大きく変化しており、独身で出産することは極めて少ない。そこで、独身者の割合を表す若年単独世帯比率が増加すると、出生率が減少するとして魅力乗数を設定した。

<大学進学率による魅力乗数>

大学等の高等教育を終えた後に就職し、すぐに就業を中断することは少ない。そこで、高学歴化を表す大学進学率が増加すると、出生率が減少するとして魅力乗数を設定した。

<第3次産業従業者率による魅力乗数>

産業構造のサービス化により女性の社会進出が増加するため、子育てが難しくなる。そこで、産業構造のサービス化を表す第3次産業従業者率が増加すると、出生率が減少するとして魅力乗数を設定した。

【死亡率に対する魅力乗数】

死亡率への影響には、一人あたり市民所得、一人あたり医療業延床面積による魅力乗数を設定した^{10)~11)}。設定した65~69歳死亡率への魅力乗数を図5に示す。

<一人あたり市民所得による魅力乗数>

食生活など生活水準の向上によって、寿命が延びる。

そこで、生活水準を表す一人あたり市民所得が増加すると、死亡率が減少するとして、魅力乗数を設定した。

<一人あたり医療業延床面積による魅力乗数>

医療技術の進歩や医療施設の増加などといった医療水準の向上によって、高齢者をより長く延命させることが可能になり、治療可能な病気も増加する。そこで、医療水準を表す一人あたり医療業延床面積が増加すると、死亡率が減少するとして魅力乗数を設定した。

【移動率に対する魅力乗数】

移動率への影響には、第3次産業従業者率、一人あたり市民所得、一人あたりその他サービス業延床面積、一人あたり医療業延床面積、若年単独世帯比率、住宅地価、人口密度による魅力乗数を設定した^{12)~14)}。設定した20~24歳移動率への魅力乗数を図6に示す。

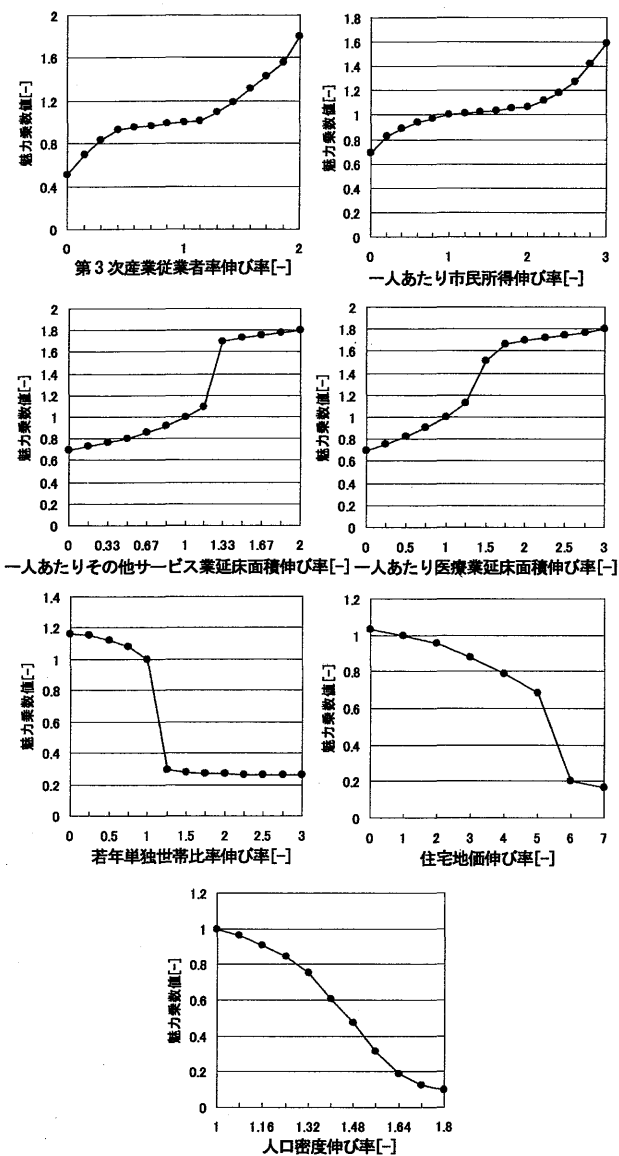


図6 20~24歳移動率への魅力乗数

<第3次産業従業者率による魅力乗数>

産業構造のサービス化によって、人口移動の多い生産人口の転入を促す。そこで、産業構造のサービス化を表す第3次産業従業者率が増加すると、移動率が増加するとして魅力乗数を設定した。

<一人あたり市民所得による魅力乗数>

一般に都市では所得水準が全国平均より高いため、所得が多い場所を求めて人口は移動する。そこで、所得水準を表す一人あたり市民所得が増加すると、移動率が増加するとして魅力乗数を設定した。

<一人あたりその他サービス業延床面積による魅力乗数>

映画館やスポーツ施設などのレジャー施設の普及によって余暇活動のための環境が充実し、その利用を求めて人口は移動する。そこで、レジャー施設の普及を表す一人あたりその他サービス業延床面積が増加すると、移動率が増加するとして魅力乗数を設定した。

<一人あたり医療業延床面積による魅力乗数>

健康に対する安心感を求めて、医療技術や医療施設な

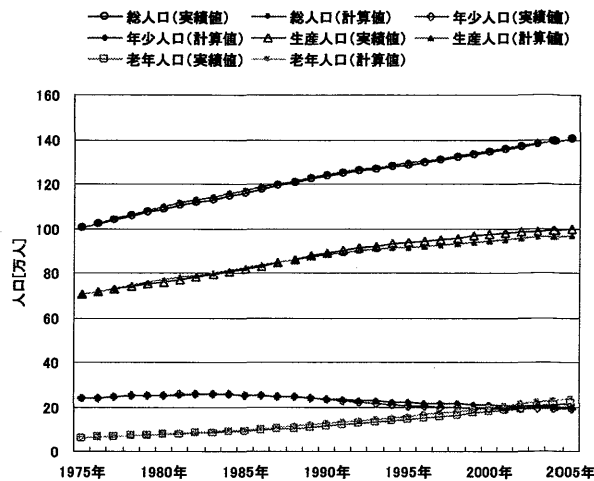


図7 人口の比較(福岡市)

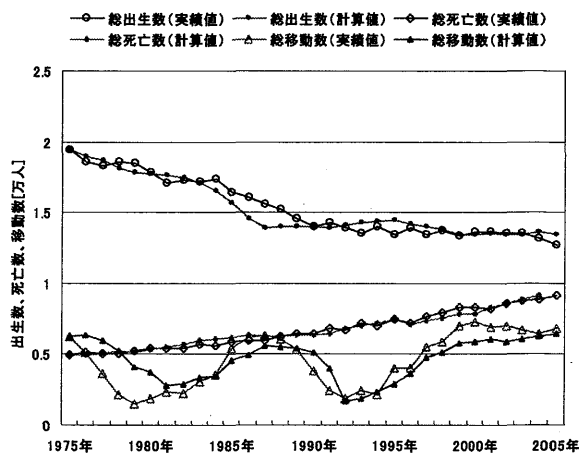


図8 出生数、死亡数、移動数の比較(福岡市)

どの医療水準の充実した場所に人口は移動する。そこで、医療水準を表す一人あたり医療業延床面積が増加すると、移動率が増加するとして魅力乗数を設定した。

<若年単独世帯比率による魅力乗数>

若年者の単独世帯は進学や就職、転勤によって転出することが多い。そこで、若年者の単独世帯を表す若年単独世帯が増加すると、移動率が減少するとして魅力乗数を設定した。

<住宅地価による魅力乗数>

都市部など住居費の高い地域では居住が困難になる。そこで、住居費を表す住宅地価が増加すると、移動率が減少するとして魅力乗数を設定した。

<人口密度による魅力乗数>

都市の混雑が進むと、公共交通機関や道路が混雑し、生活環境が悪化する。そこで、混雑度を表す人口密度が増加すると移動率が減少するとして魅力乗数を設定した。

福岡市における1975~2005年までの実績値を用いて、モデルの精度検証を行う。人口の比較を図7に、出生数、死亡数、移動数の比較を図8に示す。人口はその内訳となる年少人口、生産人口、老年人口ともに実績値の推移を良く捉えている。また、出生数、死亡数、移動数については、計算値と実績値の乖離が大きい期間があるものの、増減の傾向は良く反映されている。

3.2 世帯セクタのモデル化と精度検証

世帯モデルは若年単独世帯や高齢者世帯の増加といった世帯構造の変化を表現するために、世帯主率法による5類型別世帯数を推計できるモデルとして作成した。世帯主率法とは世帯数が世帯主数に等しいことを利用して、人口に世帯主率（人口に占める世帯主数の割合）を乗じることで世帯数を算出する方法である。国勢調査と本研究における世帯類型区分を表2に示す。世帯類型区分は国勢調査の区分を5類型に分類した。

世帯数は世帯主率により変化し、世帯主率は魅力乗数により変化する。世帯主率に対する影響因子を表3に示す。

【世帯主率に対する魅力乗数】

世帯主率への影響には大学進学率、第3次産業従業者率、一人あたり市民所得、一人あたり医療業延床面積による魅力乗数を設定した^{15)~17)}。設定した若年単独世帯主率への魅力乗数を図9に示す。

<大学進学率による魅力乗数>

大学進学などの高学歴化の進行によって離家が起る。そこで、高学歴化を表す大学進学率が増加すると、世帯主率が增加（その他世帯主率は減少）するとして魅力乗数を設定した。

<第3次産業従業者率による魅力乗数>

産業構造のサービス化によって晩婚化や晩産化が進み、小規模な勤労世帯が増加する。そこで、産業構造のサービス化を表す第3次産業従業者率が増加すると、世帯主率が增加（その他世帯主率は減少）するとして魅力乗数を設定した。

<一人あたり市民所得による魅力乗数>

所得水準の向上により生活の質が向上し、ライフスタイルが多様になり、世帯の小規模化が進行する。そこで、所得水準を表す一人あたり市民所得が増加すると、世帯主率が增加（その他世帯主率は減少）するとして魅力乗数を設定した。

<一人あたり医療業延床面積による魅力乗数>

親の健康状態が悪ければ同居率が高まる。医療水準が向上すれば、治る病気も増え、健康状態も改善する。そこで、医療水準を表す一人あたり医療業延床面積が増加すると、世帯主率が增加（その他世帯主率は減少）するとして魅力乗数を設定した。

福岡市における1975~2005年までの実績値を用いて、モデルの精度検証を行う。類型別世帯数の比較を図10に示す。世帯数はその内訳となる若年単独世帯数、高齢単独世帯数、若年夫婦世帯数、高齢夫婦世帯数、その他世帯数ともに実績値の推移を良く捉えている。

3.3 住宅セクタのモデル化と精度検証

住宅モデルでは世帯構造変化による住宅の建て方別着

表2 国勢調査と本研究における世帯類型区分

国勢調査における一般世帯の世帯類型区分		本研究における世帯類型区分		備考
核家族世帯	夫婦のみの世帯	類型3	若年夫婦世帯	夫婦がともに64歳未満の世帯
		類型4	高齢夫婦世帯	夫婦のいずれかが65歳以上の世帯
親族世帯	夫婦と子供からなる世帯	類型5	その他の世帯	
	両親と子供からなる世帯			
	父親と子供からなる世帯			
	夫婦と両親からなる世帯			
	夫婦と一人親からなる世帯			
	夫婦、子供と両親からなる世帯			
	夫婦、子供と一人親からなる世帯			
	夫婦と他の親族からなる世帯			
	夫婦、親と他の親族からなる世帯			
	夫婦、子供、親と他の親族からなる世帯			
兄弟姉妹のみからなる世帯				
他に分類されない世帯				
非親族世帯				
単独世帯		類型1	若年単独世帯	64歳未満の単独世帯
		類型2	高齢単独世帯	65歳以上の単独世帯

表3 世帯主率に対する影響因子

セクター分類	構成要素	影響因子	単位	相関
世帯	世帯主率	大学進学率	[]	[-], [+]
		第3次産業従業者率	[]	[-], [+]
		一人あたり市民所得	[百万円/人]	[-], [+]
		一人あたり医療業延床面積	[m ² /人]	[-], [+]

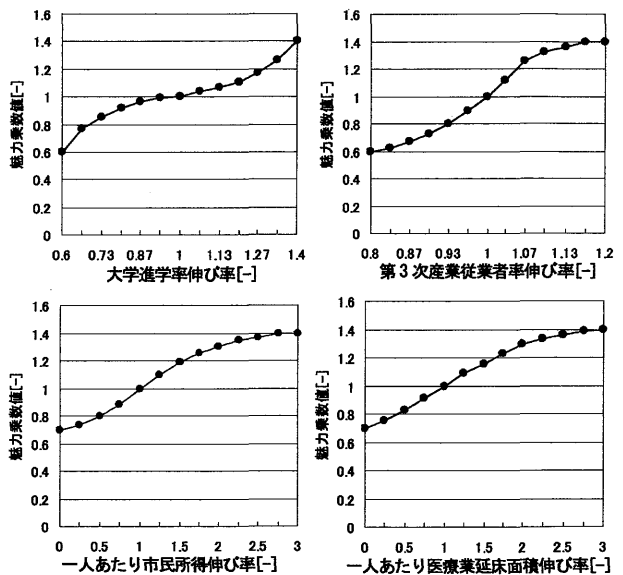


図9 若年単独世帯主率への魅力乗数

—○— 総世帯数(実績値) —●— 総世帯数(計算値) —◇— 若年単独世帯数(実績値)
 —△— 若年単独世帯数(計算値) —□— 高齢単独世帯数(実績値) —○— 高齢単独世帯数(計算値)
 —▽— 若年夫婦世帯数(実績値) —◇— 若年夫婦世帯数(計算値) —△— 高齢夫婦世帯数(実績値)
 —□— 高齢夫婦世帯数(計算値) —○— その他世帯数(実績値) —◇— その他世帯数(計算値)

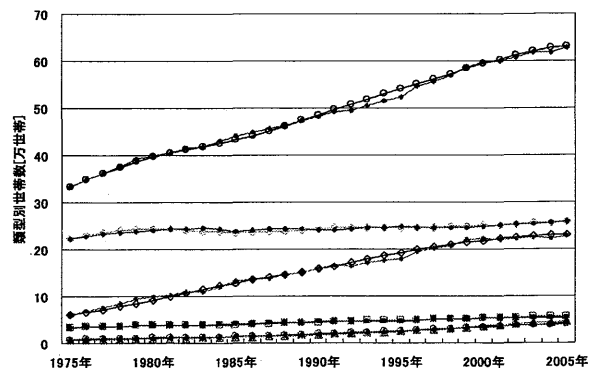


図10 類型別世帯数の比較(福岡市)

工傾向をモデル化するため、建て方別に戸建住宅と共同住宅に分類し、住宅数が着工戸数と解体戸数により変化

表4 住宅着工率、住宅解体率に対する影響因子

セクター分類	構成要素	影響因子	単位	相関	
民生家庭	戸建住宅	着工率	戸建住宅居住率	[-]	[+]
			住宅地価	[円/㎡]	[-]
			一人あたり市民所得	[百万円/人]	[+]
		解体率	戸建住宅居住率	[-]	[-]
			一人あたり市民所得	[百万円/人]	[-]
	共同住宅	着工率	共同住宅居住率	[-]	[+]
			住宅地価	[円/㎡]	[+]
			GDP	[百万円]	[+]
		解体率	住宅密度	[戸/km ²]	[-]
			共同住宅居住率	[-]	[-]
		住宅地価	[円/㎡]	[+]	
		GDP	[百万円]	[+]	

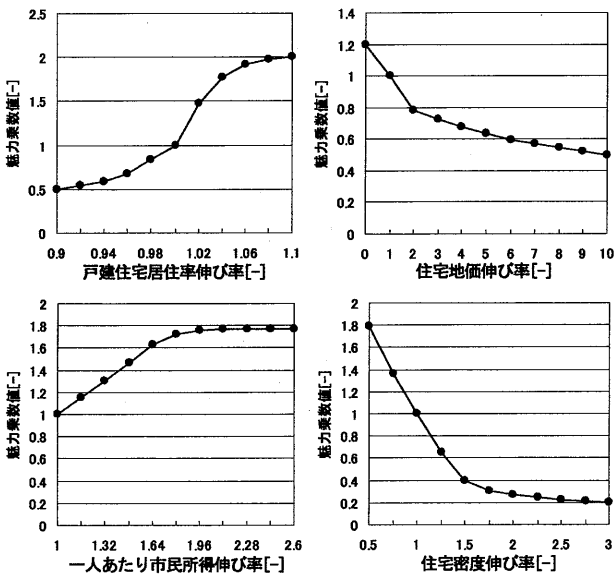


図11 戸建住宅着工率への魅力乗数

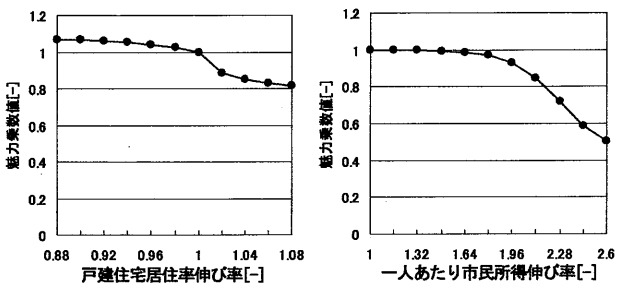


図12 戸建住宅解体率への魅力乗数

するモデルとして作成した。着工戸数、解体戸数は着工率、解体率により変化し、着工率、解体率はそれぞれの魅力乗数により変化する。戸建住宅、共同住宅それぞれの着工率、解体率に対する影響因子を表4に示す。

【戸建住宅着工率に対する魅力乗数】

戸建住宅着工率への影響には戸建住宅居住率（戸建住宅数に占める戸建住宅居住世帯数の割合）、住宅地価、一人あたり市民所得、住宅密度による魅力乗数を設定した^{18)~21)}。設定した魅力乗数を図11に示す。

<戸建住宅居住率による魅力乗数>

戸建住宅数に対して戸建住宅に居住する世帯数が多ければ、さらに戸建住宅を建てる必要がある。そこで、戸

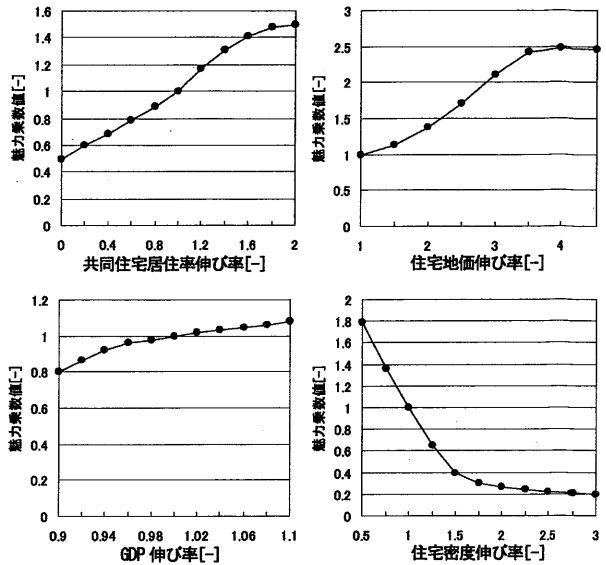


図13 共同住宅着工率への魅力乗数

建住宅に居住する世帯の割合を表す戸建住宅居住率が増加すると、戸建住宅着工率が増加するとして魅力乗数を設定した。

<住宅地価による魅力乗数>

一般的に戸建住宅の着工は、個人の戸建住宅購入によるものである。住宅地の地価が高ければ、それだけ購入する負担が大きく、着工が抑制される。そこで、住宅地の地価を表す住宅地価が上昇すると、戸建住宅着工率が減少するとして魅力乗数を設定した。

<一人あたり市民所得による魅力乗数>

所得水準が高ければ高いほど、住宅を購入する余裕が増え、着工が増加する。そこで、所得水準を表す一人あたり市民所得が増加すると、戸建住宅着工率が増加するとして魅力乗数を設定した。

<住宅密度による魅力乗数>

住宅は住宅建設の可能な土地がなければ建てることできない。そこで、土地の不足を表す住宅密度が増加すると、戸建住宅着工率が減少するとして魅力乗数を設定した。

【戸建住宅解体率に対する魅力乗数】

戸建住宅解体率への影響には戸建住宅居住率、一人あたり市民所得による魅力乗数を設定した^{18)~21)}。設定した魅力乗数を図12に示す。

<戸建住宅居住率による魅力乗数>

戸建住宅数に対して戸建住宅に居住する世帯数が多ければ、不必要な戸建住宅の解体が減少する。そこで、戸建住宅に居住する世帯の割合を表す戸建住宅居住率が増加すると、戸建住宅解体率が減少するとして魅力乗数を設定した。

<一人あたり市民所得による魅力乗数>

戸建住宅の購入は家計の負担が大きく、購入後長年居住するのが一般的である。所得水準が高ければ、修繕や改修が増加し、より長く居住することが可能になる。そ

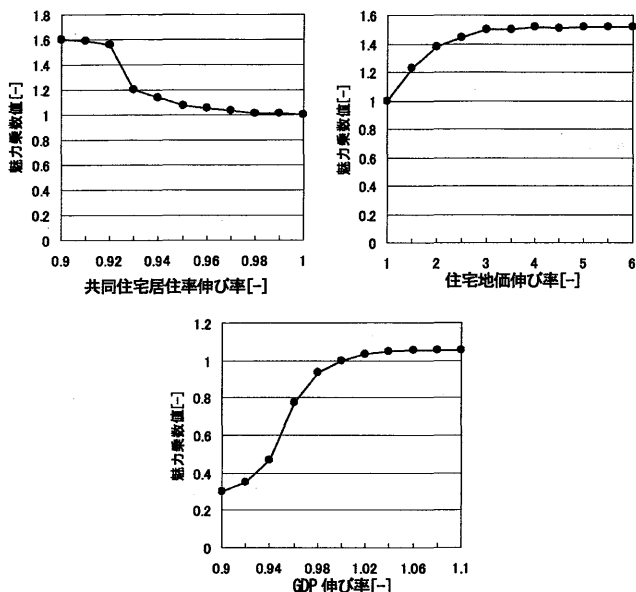


図14 共同住宅解体率への魅力乗数

ここで、所得水準を表す一人あたり市民所得が増加すると、戸建住宅解体率が減少するとして魅力乗数を設定した。

【共同住宅着工率に対する魅力乗数】

共同住宅着工率への影響には共同住宅居住率（共同住宅数に占める共同住宅居住世帯数の割合）、住宅地価、GDP 成長率、住宅密度による魅力乗数を設定した^{18)~22)}。設定した魅力乗数を図13に示す。

<共同住宅居住率による魅力乗数>

共同住宅数に対して共同住宅に居住する世帯数が多ければ、さらに共同住宅を建てる必要がある。そこで、共同住宅に居住する世帯の割合を表す共同住宅居住率が増加すると、共同住宅着工率が増加するとして魅力乗数を設定した。

<住宅地価による魅力乗数>

一般的に、共同住宅の着工は企業によるものである。住宅地の地価が高ければ、それだけ経済状況が良く、着工が促進される。そこで、住宅地の地価を表す住宅地価が上昇すると、共同住宅着工率が増加するとして魅力乗数を設定した。

<GDP 成長率による魅力乗数>

景気が良くなると、より質の高い居住水準を求めて世帯の住み替えが発生し、その需要に応じた共同住宅の建て替えが増加する。また、戸建住宅と異なり共同住宅の施主は企業であることが多い。そこで、景気を表すGDP 成長率が増加すると、共同住宅着工率が増加するとして魅力乗数を設定した。

<住宅密度による魅力乗数>

住宅は、住宅建設の可能な土地がなければ建てることできない。そこで、土地の不足を表す住宅密度が増加すると、共同住宅着工率が減少するとして魅力乗数を設定した。

【共同住宅解体率に対する魅力乗数】

共同住宅解体率への影響には共同住宅居住率、住宅地

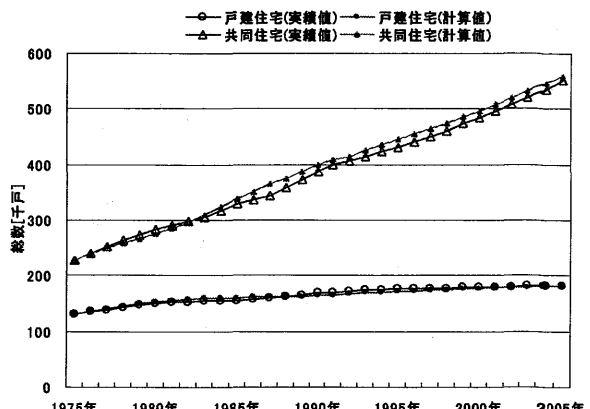


図15 住宅総数の比較（福岡市）

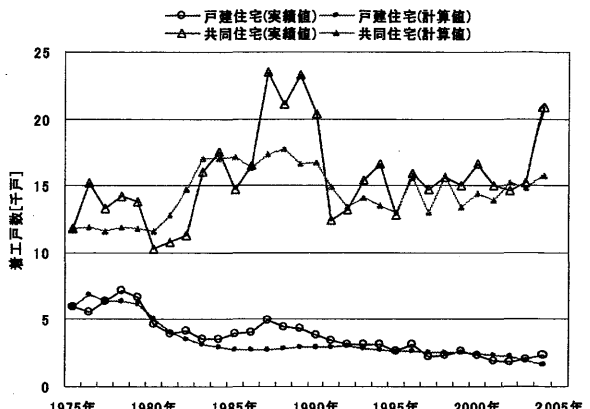


図16 着工戸数の比較（福岡市）

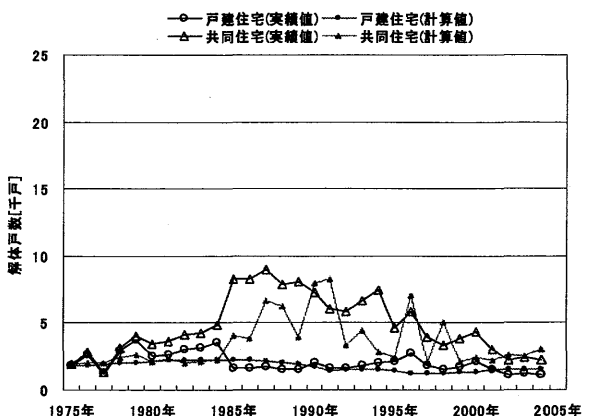


図17 解体戸数の比較（福岡市）

価、GDP 成長率による魅力乗数を設定した^{18)~22)}。設定した魅力乗数を図14に示す。

<共同住宅居住率による魅力乗数>

共同住宅数に対して共同住宅に居住する世帯数が多ければ、不必要な共同住宅の解体が減少する。そこで、共同住宅に居住する世帯の割合を表す共同住宅居住率が増加すると、共同住宅解体率が減少するとして魅力乗数を設定した。

<住宅地価による魅力乗数>

住宅地の地価が高ければ、それだけ経済状況が良く、建て替えが促進される。そこで、住宅地の地価を表す住宅地価が増加すると、共同住宅解体率が増加するとして魅力乗数を設定した。

<GDP 成長率による魅力乗数>

景気が良くなると、より質の高い居住水準を求めて世

帯の住み替えが発生し、その需要に応じた共同住宅の建て替えが増加する。そのため、景気の向上は解体に対してプラスの効果をもたらす。そこで、景気を表す GDP 成長率が増加すると、共同住宅解体率が増加するとして魅力乗数を設定した。

福岡市における 1975～2005 年までの実績値を用いて、モデルの精度検証を行う。住宅総数、着工戸数、解体戸数の比較を図 15～図 17 に示す。総数に関しては、戸建住宅、共同住宅ともにその傾向を良く捉えている。着工数、解体数に関しては、平均値は良く捉えているが、1985～1990 年において共同住宅着工戸数は差が大きく、共同住宅解体戸数は計算値に時間的な遅れが生じている。これは、バブルによる地価上昇の影響を過小に見積もっていることに起因すると考えられる。

3.4 事務所セクタのモデル化と精度検証

民生業務部門のエネルギー消費傾向は建物用途による違いが大きい。本研究では、資源エネルギー庁のエネルギー白書における民生業務部門用途分類に対応させて、事務所、卸小売業、飲食業、宿泊業、医療業、教育施設、その他サービス用の 7 用途に分類してモデル化を行なう。ここでは、事務所セクタのモデル化について説明する。

事務所モデルは事務所延床面積が着工床面積と解体床面積により変化するモデルとして作成した。着工床面積、解体床面積は着工率、解体率により変化する。着工率、解体率に対する影響因子を表 5 に示す。

【着工率に対する魅力乗数】

事務所着工率への影響には生産人口密度、商業地価、GDP 成長率、民生事業所密度（福岡市面積に占める民生業務部門延床面積の割合）による魅力乗数を設定した^{23)～25)}。設定した魅力乗数を図 18 に示す。

＜生産人口密度による魅力乗数＞

労働力の供給が容易な地域は開業を促す。そこで、労働力の供給を表す生産人口密度が増加すると、事務所着工率が増加するとして魅力乗数を設定した。

＜商業地価による魅力乗数＞

商業地の地価が高ければ、それだけ経済状況が良く、建て替えが増加する。そこで、商業地の地価を表す商業地価が上昇すると、事務所着工率が増加するとして魅力乗数を設定した。

＜GDP 成長率による魅力乗数＞

景気が良ければ、市民からの需要が増えるため、需要に応じて開業も増える。そこで、景気を表す GDP 成長率が増加すると、事務所着工率が増加するとして魅力乗数を設定した。

＜民生事業所密度による魅力乗数＞

民生業務部門の新しい事業所は既存の事業所の集積の

表 5 事務所着工率、事務所解体率に対する影響因子

セクタ分類	構成要素	影響因子	単位	相関
民生業務 事務所	着工率	生産人口密度	[人/km ²]	[+]
		商業地価	[円/m ²]	[+]
		GDP	[百万円]	[+]
	解体率	民生事業所密度	[m ² /km ²]	[+], [-]
		商業地価	[円/m ²]	[+]
		GDP	[百万円]	[+]

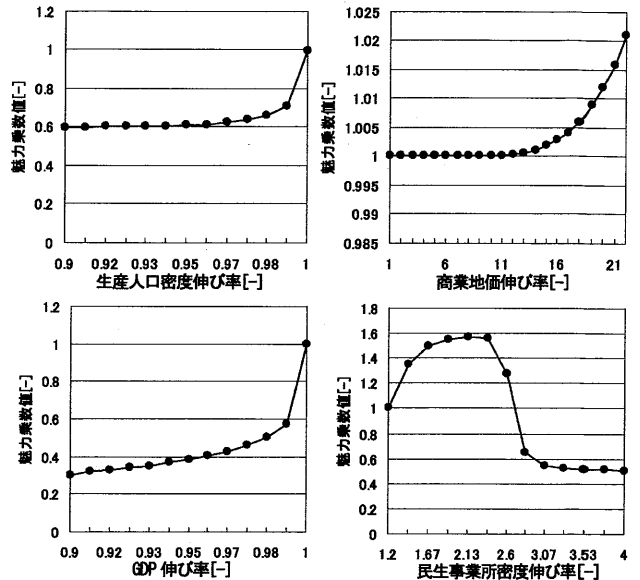


図 18 事務所着工率への魅力乗数

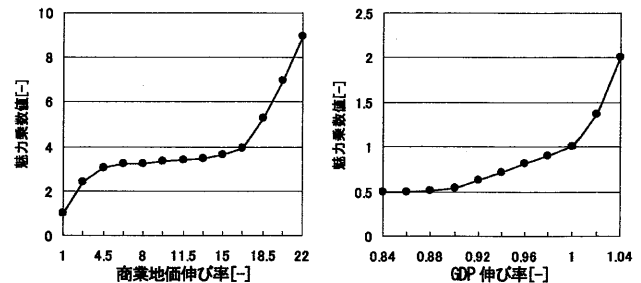


図 19 事務所解体率への魅力乗数

上に成り立つ。すなわち、他の経済主体が多く、集積が高いところにあらゆる新規事業所は設立される。ただし、建設が可能な土地が減少すると着工が抑制される。そこで、民生業務部門の事業所の集積を表す民生事業所密度が増加すると、事務所着工率が増加するが、民生事業所密度が増加し過ぎると着工率が減少するとして魅力乗数を設定した。

【解体率に対する魅力乗数】

事務所解体率への影響には商業地価、GDP 成長率による魅力乗数を設定した^{23)～25)}。設定した魅力乗数を図 19 に示す。

＜商業地価による魅力乗数＞

商業地の地価が高ければ、それだけ経済状況が良く、建て替えが増加する。そこで、商業地の地価を表す商業地価が上昇すると、事務所解体率が増加するとして魅力乗数を設定した。

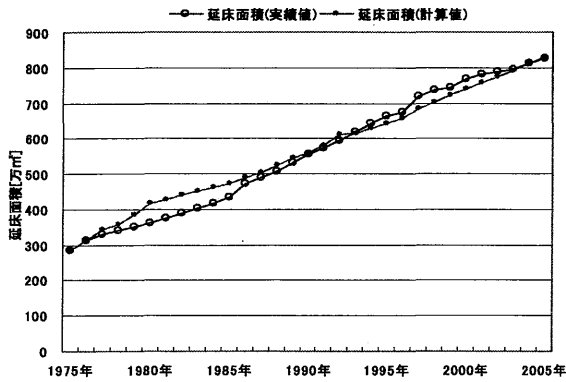


図20 事務所延床面積の比較 (福岡市)

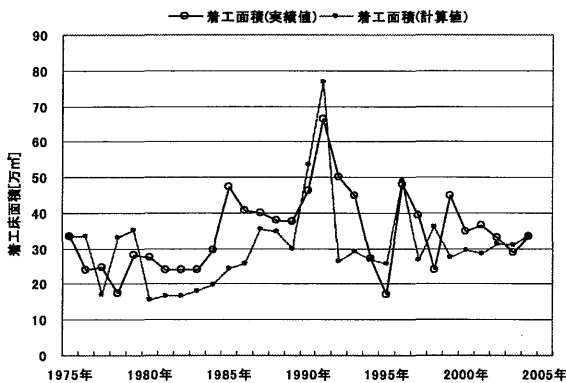


図21 事務所着工床面積の比較 (福岡市)

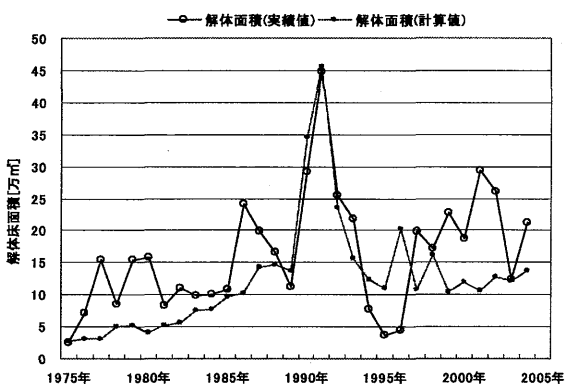


図22 事務所解体床面積の比較 (福岡市)

<GDP 成長率による魅力乗数>

景気が良ければ、市民からの需要が増えるため、需要に応じて建て替えが促進される。そこで、景気を表す GDP 成長率が増加すると、事務所解体率が増加するとして魅力乗数を設定した。

福岡市における 1975~2005 年までの実績値を用いて、モデルの精度検証を行う。延床面積、着工床面積、解体床面積の比較を図 20~図 22 に示す。延床面積に関しては、1980 年前後に若干大きく計算されているものの、1990 年以降の傾向は概ね捉えている。着工床面積と解体床面積に関しては、平均的には計算値が若干小さくなっているが、1990 年のピークは捉えている。

4. 2050 年までの CO₂ 排出量の予測

前節までに作成した各セクタのモデルを統合し、住宅

表6 資材製造、建設、修繕、解体段階の CO₂ 排出原単位

	民生家庭部門 (t-CO ₂ /戸・年)		民生業務部門 (t-CO ₂ /m ² ・年)
	戸建	共同	事務所
資材製造	43.70	69.22	0.807
建設	37.25	52.10	0.484
修繕	1.19	1.41	0.023
解体	0.25	0.21	0.002

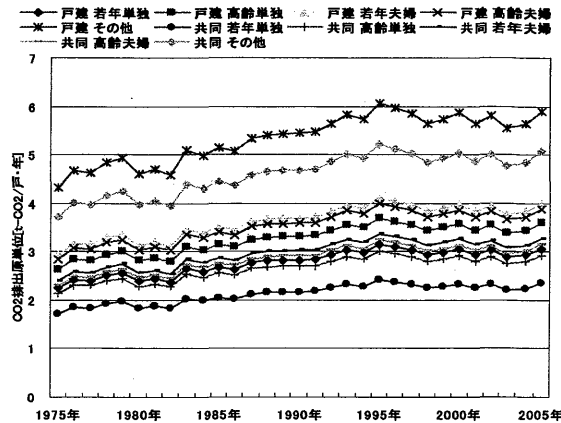


図23 住宅の運用段階の CO₂ 排出原単位

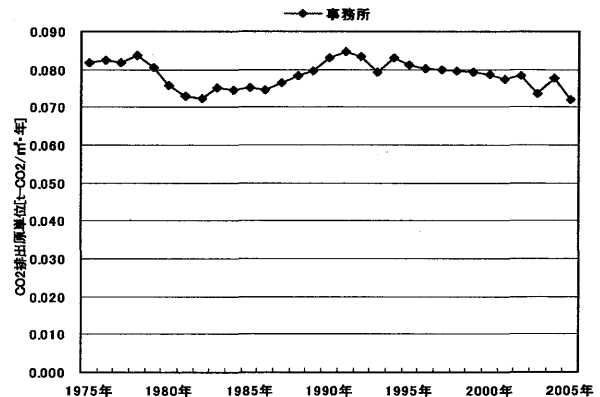


図24 事務所の運用段階の CO₂ 排出原単位

と事務所における 2050 年までの CO₂ 排出量の将来予測を行なう。CO₂ 排出量は、活動量に CO₂ 排出原単位を乗じて算出する。ここで、活動量とは、戸建住宅、共同住宅では世帯類型別世帯数、着工戸数、解体戸数を、事務所では延床面積、着工床面積、解体床面積を指す。なお、今回、モデルを作成していないセクタの変数については、1975~2005 年においては実績値を与え、2005 年以降は 2005 年の値を一定に与えている。

4.1 CO₂ 排出原単位の推計

住宅と事務所の資材製造段階から解体段階までの段階別 CO₂ 排出原単位の推計方法について説明する。

【資材製造段階、修繕段階】

戸建住宅、共同住宅に関しては、標準とする住宅モデル²⁶⁾の見積もり実例から作成した。事務所に関しては、「建物の LCA 指針」²⁷⁾の見積もり実例から作成した。

【建設段階】

住宅、事務所ともに「建物の LCA 指針」²⁷⁾の値を使用した。

【運用段階】

住宅に関しては、世帯類型別に多数室室温変動熱負荷計算プログラム Trp²⁸⁾を用いて推計したエネルギー消費原単位を、全国推計であるエネルギー消費原単位の伸び率²⁹⁾を用いて1975～2005年まで各年変化させた値にCO₂排出係数³⁰⁾を乗じて算出した。事務所に関しては、1975～2005年の全国推計エネルギー消費原単位²⁹⁾にCO₂排出係数^{30),31)}を乗じて算出した。

【解体段階】

「木質系部材等地球環境影響調査報告書」³²⁾の値を使用した。

資材製造段階、修繕段階、建設段階、解体段階のCO₂排出原単位を表6に、住宅と事務所の運用段階のCO₂排出原単位を図23、図24に示す。住宅の運用段階のCO₂排出原単位は、家電製品の普及などの理由により1975年から約35%増加している。事務所の運用段階のCO₂排出原単位は、給湯、暖房等の燃料転換や機器性能の向上により1970年代後半から1980年代初頭にかけて大きく減少しているが、1985年から1990年までOA機器の普及により増大し、その後緩やかに減少している。

4.2 2050年までのCO₂排出量の予測結果

2050年までの住宅と事務所のCO₂排出量の予測結果を図25～図27に示す。戸建住宅については、着工数の減少により資材製造と建設段階のCO₂排出量は減少するが、総数が微増するため運用段階のCO₂排出量は増加し、戸建住宅のCO₂排出量は緩やかに増加する。共同住宅については、着工数が大幅に減少するため、共同住宅CO₂排出量は減少する。また、事務所については、総数の増加に伴い、事務所のCO₂排出量は緩やかに増加する。

5. 終わりに

本報では、シミュレータを構成する人口セクタ、世帯セクタ、住宅セクタ、事務所セクタのモデル化を行なうとともに、その計算値を実績値や統計値と比較することでその精度検証を行なった。その結果、モデルによる計算値は実績値や統計値の推移を良く捉えており、モデルの有効性が示された。また、作成したモデルを統合して住宅と事務所における2050年までのCO₂排出量の予測を行なった。今後は、その他のセクタのモデル化を行ない、都市の環境負荷の長期予測シミュレータ開発を進め、シミュレータを用いた様々な環境負荷削減対策の有効性を検証することにつなげる。

【謝辞】

本研究は、平成21年度文部科学省科学研究費補助金基盤研究(B)「ハビタットシステムの未来シナリオと環境負荷削減可能性に関する研究」(課題番号:21360277, 研究代表者:赤司泰義(九州大学))により実施したものである。関係者各位に謝意を表します。

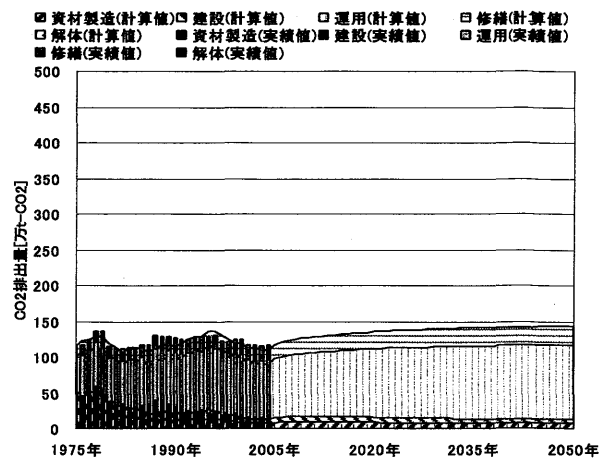


図25 戸建住宅のCO₂排出量(福岡市)

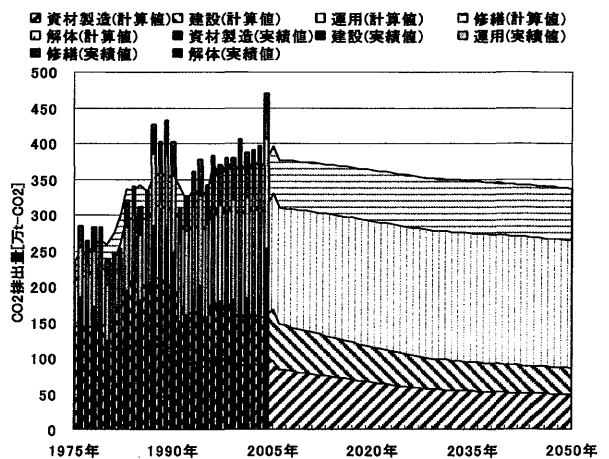


図26 共同住宅のCO₂排出量(福岡市)

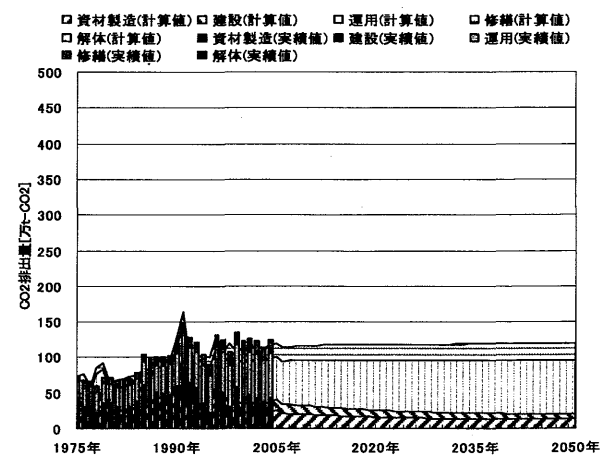


図27 事務所のCO₂排出量(福岡市)

【参考文献】

- 1) 伊香賀俊治, 他: 我が国の建築関連CO₂排出量の2050年までの予測, 日本建築学会計画系論文集, pp.53-58, 2000年9月
- 2) 高橋美保子, 他: サステナブル・ディベロップメントの概念と都市のサステナビリティ評価手法に関する研究, 都市・建築学研究, 2007年6月
- 3) 星野陽介, 他: 木材循環利用施策の計画とその環境改善効果の算定, 第60回土木学会年次学術講演会第VII部門, VII-165, 2005年
- 4) 加藤博和, 大浦雅幸: 新規鉄軌道整備によるCO₂排出量変化のライフ・サイクル評価手法の開発, 土木計画学研究・論文集, No.17, 2000年9月

- 5) 米谷信行：我が国の出生率低下の要因分析，都道府県別データに基づくクロスセクション分析，大蔵省財政金融研究所「フィナンシャル・レビュー」，pp.1-23，1995年2月
- 6) 伊達雄高，清水谷論：日本の出生率低下の要因分析，実証研究のサーベイと政策的含意の検討，ESRI Discussion Paper, No.94，2004年4月
- 7) 石塚優：統計的に見る北九州市の少産化の現状と要因，北九州産業社会研究所紀要，45号，pp.61-72，2004年3月
- 8) 阿部一知，原田泰：子育て支援策の出生率に与える影響，市区町村データの分析，会計検査研究，No.38，pp.1-16，2008年9月
- 9) 江藤勝：少子化問題について，東京経大会誌第，249号，pp.115-127，2006年3月
- 10) 高俊珂，梯正之：都道府県の平均寿命と社会・経済指標および栄養指標との関連性，広大保健学ジャーナル，vol.5，pp.62-69，2006年
- 11) 堀内四郎：死亡パターンの歴史的変遷，人口問題研究，pp.3-30，2001年12月
- 12) 日比野直彦，他：首都圏における人口移動要因に関する一考察，土木計画学研究・講演集，24号，pp.189-192，2001年11月
- 13) 川上光彦，高山純一：地域生活圏における人口移動と地区特性に関する一考察：金沢市におけるケーススタディ，日本都市計画学会学術研究発表論文集，pp.1-6，1979年11月
- 14) 山崎正亮：出生年コーホートの県外転出傾向に関する基礎的研究，都道府県パネルデータを用いて，団塊世代・団塊ジュニア世代の動態と国内人口分布の今後，東京工業大学工学部社会学科学士論文梗概集，No.37，2006年3月
- 15) 田淵六郎：老親・成人子同居の規定要因，子どもの性別構成を中心に，人口問題研究No.54，pp.3-19，1998年9月
- 16) 大江守之，世帯主のコーホート変化に着目した家族類型別世帯数の推計手法，その2 世帯形成期の配偶関係推計と家族類型別世帯主率推計，人口問題研究，No.49，pp.1-22，1994年1月
- 17) 福田節也：日本における若年者の世帯変動，離家傾向の推移と近年における居住形態の変化，経済学研究論集，第19号，pp.1-19，2003年9月
- 18) 堤洋樹，小松幸夫：居住者の改善行為から見た戸建住宅の建て替え要因に関する研究，日本建築学会計画系論文集，第556号，pp.289-295，2002年6月
- 19) 本間正明，他：住宅の資本コストと持家住宅概要，大蔵省財政金融研究所「フィナンシャル・レビュー」，pp.1-13，1987年11月
- 20) 小松幸夫：住宅寿命について，住宅問題研究，vol.16，No.2，pp.1-20，2000年6月
- 21) 麗澤大学国際経済学部，都市開発政策B，講義ノート，1996年
- 22) 山田浩久：東京大都市圏中心部におけるマンション立地と地価変動との関係，山形大学歴史・地理・人類学論集，第9号，pp.1-12，2008年3月
- 23) 長田直俊，渡辺千俣：地域における創業の動向と要因の分析，研究・技術計画学会講演要旨集，第16号，pp.317-320，2001年10月
- 24) 黒瀬誠，大塚章弘：産業別の開業率に対する地域要因の影響，47都道府県データによる製造業とサービス業との比較分析，地域経済研究，第18号，pp.19-33，2007年3月
- 25) 小林伸生：地域における開業率規定要因に関する一考察，関西学院大学経済学部研究会，経済学論研究，第57巻第1号，pp.59-86，2003年4月
- 26) 宇田川光弘：日本建築学会環境工学委員会熱分科会第15回熱シンポジウム標準問題の提案，-住宅用標準問題，1985年
- 27) (社)日本建築学会地球環境委員会 LCA 指針策定小委員会：建物の LCA 指針 LCA データベース 1995 年産業連関表分析データ版 Ver.2.2，2003年
- 28) 林徹夫：マイコンによる住宅の多数室室温変動・熱負荷計算システムの開発，住宅研究財団研究年報，No.20，1992年
- 29) (財)省エネルギーセンター：エネルギー・経済統計要覧，1975年-2004年
- 30) 環境省：排出係数一覧表，2006年3月
- 31) 九州電力：温室効果ガス排出量算定時に用いる「電気の使用に係る CO2 排出係数」について，2008年
- 32) (財)日本木造総合情報センター：木質系部材等地球環境影響調査報告書，1993年

(受理：平成 21 年 12 月 3 日)