

# 空間相互作用モデルを用いた土地利用の予測

—福岡市を事例として—

渡邊 大輔

## 1. 研究の背景と目的

将来の土地利用は都市構造を論じる上で最も基礎的な情報の一つである。特に都市プロジェクトによる効果や影響を予測する政策シミュレーションに対する計画サイドの期待は大きい。

従来の土地利用予測モデルの多くはトレンド推計によるものが主であり、トレンド通りに土地利用が推移していく場合には威力を発揮してきた。しかしながら、直近のトレンドとして考慮せざるを得ない90年代にはバブル崩壊という社会的転機があり、トレンドとしての有効性に疑問を残している。また、これまで増加の一途を辿ってきた人口は減少傾向に転じつつあり、現在の社会状況は著しい変化をみせている。

一方、トレンドベースではない予測手法として空間相互作用モデルを用いる方法がある。空間相互作用モデルは任意の一時点のデータを基に推計単位間の相互作用を求め、配分を決定するものであり、過去の多時点のデータを必要としない。政策に関しても様々な方法で容易に組み込むことができる特徴がある。このように空間相互作用モデルはシミュレーションしやすくかつ現在の社会状況に適したモデルといえる。

そこで本研究では、空間相互作用モデルを用いて土地利用の定量的な将来予測を行うことを目的とする。具体的には、福岡市<sup>注1)</sup>を対象として、2015年時点の住宅用地面積を推計する。

## 2. 研究の対象

### 2.1 対象地域

本研究で対象とする福岡市は、都市機能が高度に集積した九州の中核都市である。福岡市とその周辺市町村は空間的にも経済的にもつながりが深く、自立的都市圏を形成している。そこで本研究では、福岡都市圏<sup>注2)</sup>を圏内と圏外との移動や直接的影響がない完結したエリアであると仮定し、福岡都市圏内の地域間の空間相互作用を考えることで福岡市の土地利用を予測することとする。

### 2.2 推計単位の設定

まず、福岡市内の1,100の町丁目について、人口密度(人/ha)、容積率(%),土地利用別面積(m<sup>2</sup>),建物用途構成比(%)のデータ(計9項目)を基に相関行列を用いた

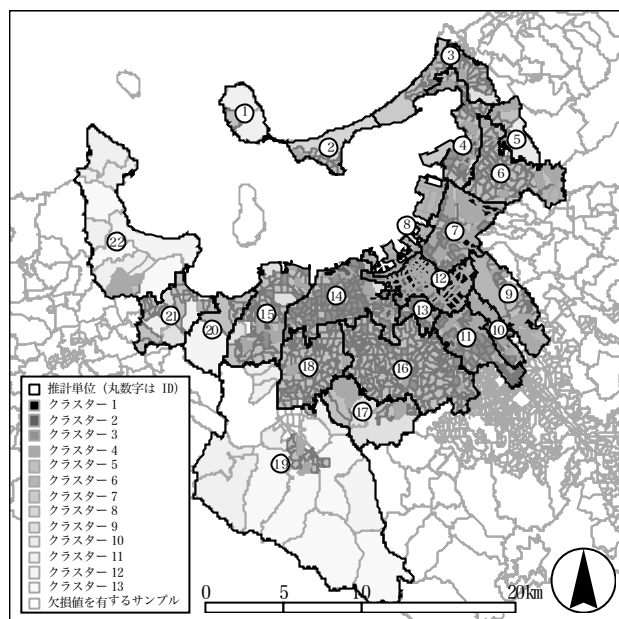


図1 クラスタ分析結果によるグルーピング

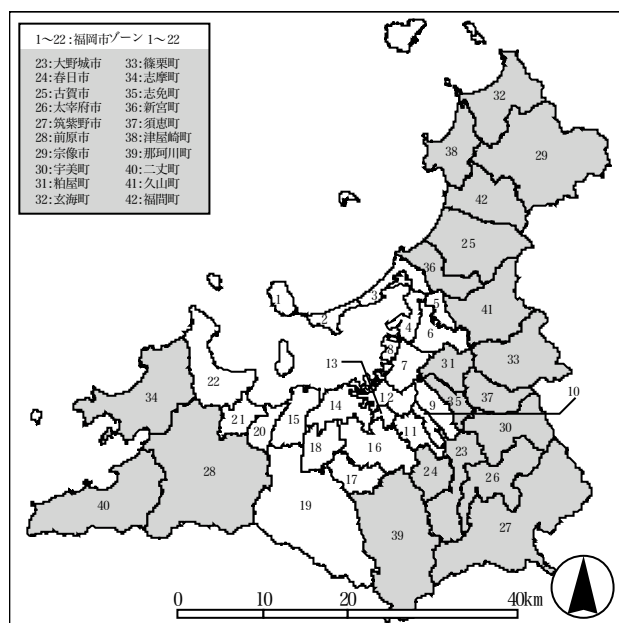


図2 推計単位

主成分分析を行い、第4主成分まで採用した。

続いて、第1～第4主成分得点によるクラスタ分析を行い、13クラスタに分類した(図1)。さらに、クラスタ分析の結果を地図上に表示し、その分布から類似する特性を持つ近隣の町丁目をグルーピングすることで推計単位として福岡市において22ゾーンを設定した。これに福岡都市圏の他の20市町村を市町村単位で加えた計42ゾーン(図2)を空間相互作用モデルの推計ゾーンとして扱う。

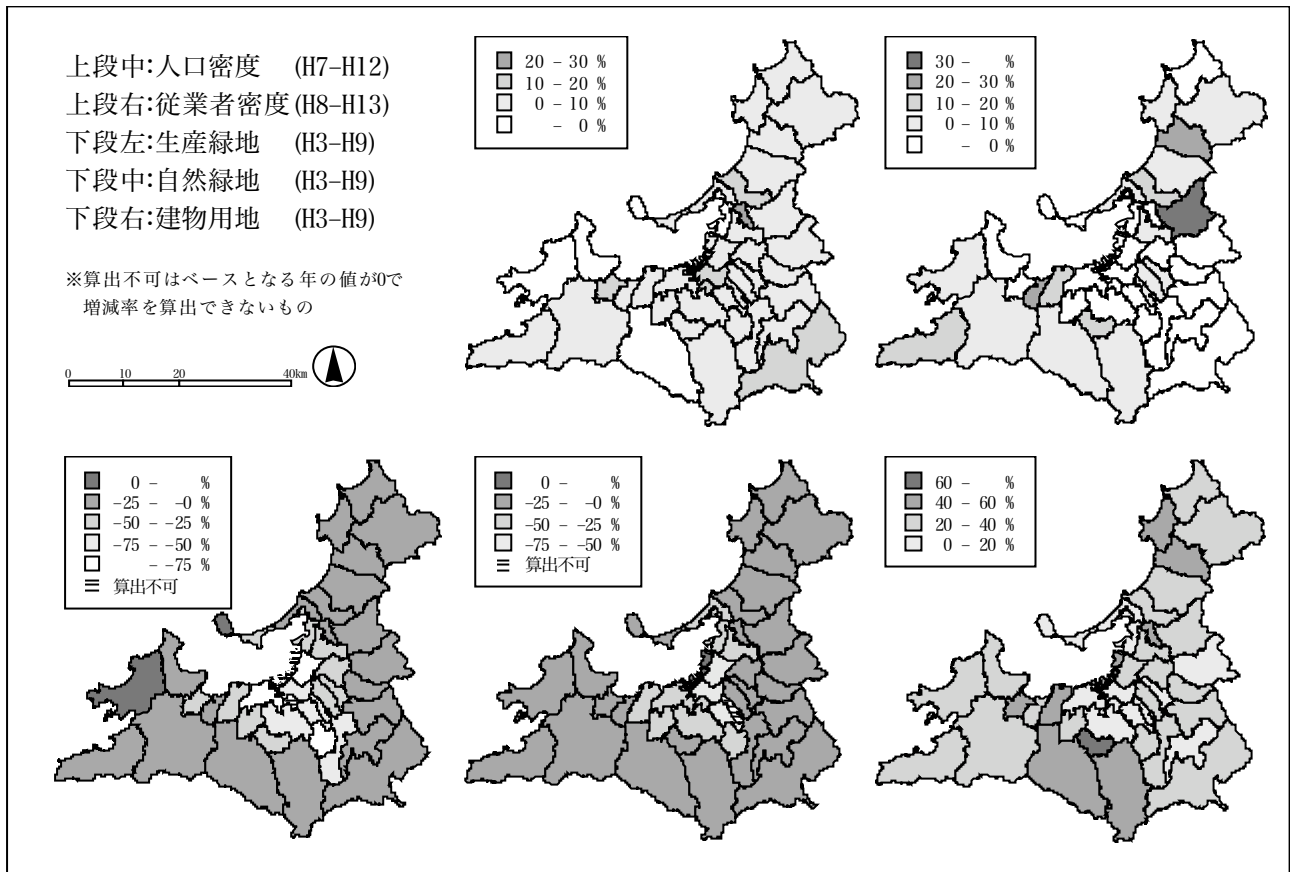


図3 ゾーン別の動向(増減率)

## 2.3 動向分析

次に、設定したゾーンに基づいて人口密度、従業者密度、土地利用の3つの指標の動態について考察する(図3)。それぞれデータは国勢調査(平成7, 12年), 事業所企業統計調査(平成8, 13年), 国土数値情報(平成3, 9年)を基に作成した。

### (1) 人口密度

人口密度は多くのゾーンが微増の傾向を示している。西部の方では若干の減少が確認できる。

### (2) 従業者密度

従業者密度は都心のゾーンや大野城市, 太宰府市, 筑紫野市といった福岡平野一帯で減少傾向を示している。一方で, 山間部の周辺市町村においては比較的増加している。

### (3) 土地利用<sup>注3)</sup>

生産緑地と自然緑地は似た傾向を示している。都心のゾーンでは減少傾向が顕著で, 周辺市町村で若干の減少がみられる。建物用地については全ゾーンで増加傾向を示しているが, 都心のゾーンでは周辺に比べてやや増加率が低い。このことから都心のゾーンでの開発は一応の終息をみせつつあることを窺わせるが, 周辺のゾーンでは依然として開発が続いており, 市街地が拡大していると考えられる。

## 3. 空間相互作用モデルのパラメーターの推計

### 3.1 前提条件

42ゾーンを扱い, 福岡市内の22ゾーンの住宅用地面積をアウトプットとして得る。2000年を初期値として, 2015年を目標年次と設定する。

### 3.2 エントロピー最大化による空間相互作用モデル

本研究で用いる始点制約型のエントロピー最大化による空間相互作用モデルについて以下に説明する。まず, 記号を以下のように定義する。

$T$  : 全ゾーンの常住人口

$T_{ij}$  : ゾーン*i*に住み, ゾーン*j*で働く従業者数

$W_i$  : ゾーン*i*の住宅地としての魅力度

$C_{ij}$  : ゾーン*i*-*j*間の距離

$\alpha$  : 魅力度のパラメーター

$\beta$  : 距離のパラメーター

$n$  : ゾーンの数

$E_j$  : ゾーン*j*で働く従業者数

モデルの目的関数 $F$ は次式(1)で表される<sup>1)</sup>。

$$F = \log(T! / \prod T_{ij}!) - \alpha \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{ij} \log(1/W_i) - \beta \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{ij} C_{ij} \quad (1)$$

ここで,  $T$ と $T_{ij}$ は十分に大きな値であるため, 式(1)の第一項はスターリング(Stirling)の公式を適用し, 次のように近似できる。

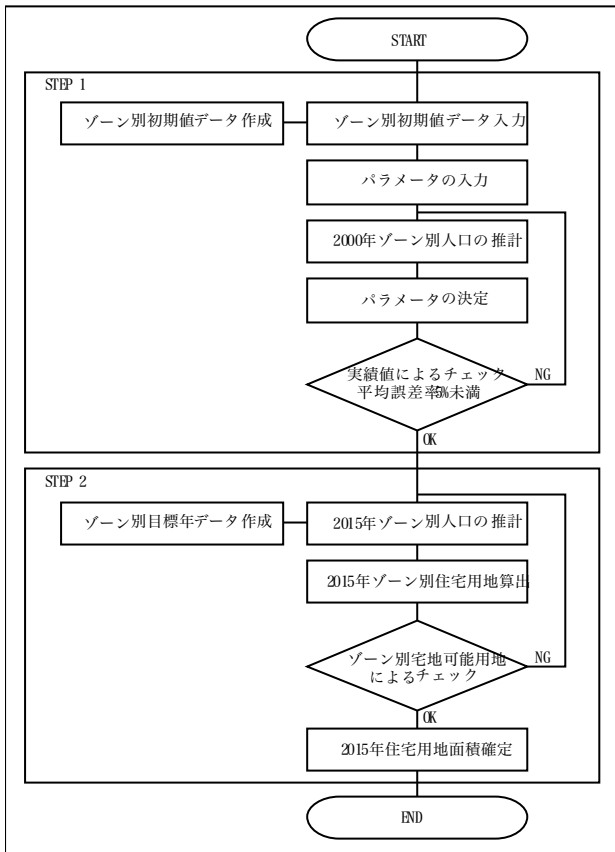


図4土地利用予測のフロー

$$\begin{aligned}
 \log(T! / \prod T_{ij}!) &= \log T! - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \log T_{ij}! \\
 &\approx T \log T - T - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (T_{ij} \log T_{ij} - T_{ij}) \\
 &= T \log T - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{ij} \log T_{ij} \quad (2)
 \end{aligned}$$

よって、目的関数  $F$  は次のようになる。

$$\begin{aligned}
 F &= T \log T - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{ij} \log T_{ij} \\
 &\quad - \alpha \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{ij} \log(1/W_i) - \beta \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{ij} C_{ij} \quad (3)
 \end{aligned}$$

始点制約, 非負条件を考慮して, モデルの制約条件は次のようになる。

$$\sum_{i=1}^n T_{ij} = E_j \quad j = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$T_{ij} \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, n \quad (5)$$

従って, 式(4), (5)のもとで式(3)の  $F$  を最大にする  $T_{ij}$  を求める非線形計画問題に帰着する。

### 3.3 予測のフロー

土地利用予測のフローを図4に示す。予測は大きく二段階に分かれており, 第一段階として, 初期値データを用いて魅力度と距離のパラメータを推計する。次に第二段階として, 求めたパラメータ及び目標年次の予測

表1パラメータ推計の入力データ

記号	データ作成方法
$C_{ij}$	ゾーンの重心をノードとするネットワークモデルから算出 ゾーン内距離はゾーンを円形と仮定したときの半径の2/3
$W_i$	H12国勢調査「一世帯あたり住宅延床面積」から算出(一部補正)
$E_j$	H13事業所企業統計「従業員数」から算出

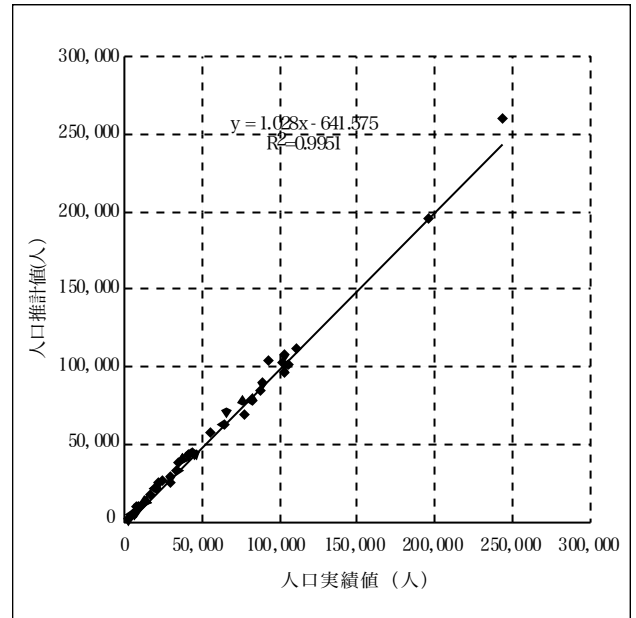


図5実績値と推計値の回帰分析

従業者数のデータを用いて土地利用を予測する。

### 3.4パラメータ推計

初期値データを用いて, 2000年人口の実績値に推計値が最も近くなるパラメータを求めるために繰り返し計算を行った<sup>注4)</sup>。なお, 周辺市町村を含む全42ゾーンで実績値と推計値の挙動を観察し, パラメータを決定した。パラメータ推計に用いたデータを表1に示す。

その結果,  $\alpha=1.025$ ,  $\beta=0.009$ のときに概ね妥当な結果が得られたと判断し, この値を解として採用した。そのときの推計値と実績値の関係を図5に示す。実績値と推計値の回帰分析では決定係数0.9951と高い数値を示していることから本モデルの再現性は高いと考える。

## 4. 空間相互作用モデルによる土地利用の予測

### 4.1 許容値によるチェック

推計された住宅用地の増分が立地可能かどうか検討する必要がある。本モデルでは宅地化可能用地の面積によるチェックを行う。宅地化可能用地として, 利用空地, 未利用空地, 田, 畑, 樹園地, 採草地の面積<sup>注5)</sup>を用いる。許容値を越える場合には, 許容値による部分制約を行い, 再度推計した。

### 4.2 単純予測

はじめに, プロジェクトを考慮しない単純予測を行った。表2に入力データを示す。図6は全ゾーンの2000年

住宅用地実績値に対する2015年住宅用地推計値の平均増減率を1としたときの各ゾーンの増減率を表している。

#### 4.3 プロジェクトを想定したシミュレーション

次に、福岡市において近年取り組まれているアイランドシティ(人工島)、九州大学新キャンパス、福岡空港問題の3つの都市プロジェクトを想定したシミュレーションを行う。入力データは表2に示す。

表2 予測・シミュレーションの入力データ

	Cj	Wi	Ej <sup>2(3)</sup>	Ri <sup>※1</sup>
単純予測	※2	※2	2015予測値	無制約
シミュレーション	※2	魅力度増加(空港)	2015予測値 +従業者数増加(九大)	人口増加(人工島)

※1 Riはゾーンに住む従業者数、※2表1と同じ

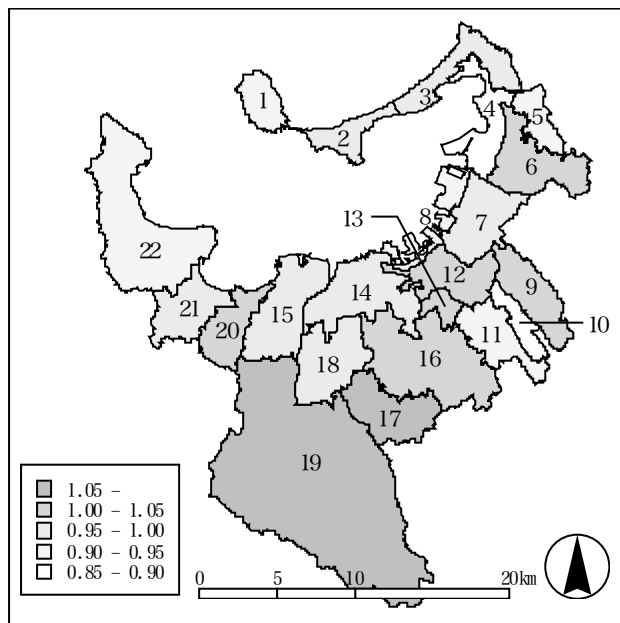


図6単純予測の結果(平均増減率に対する比率)

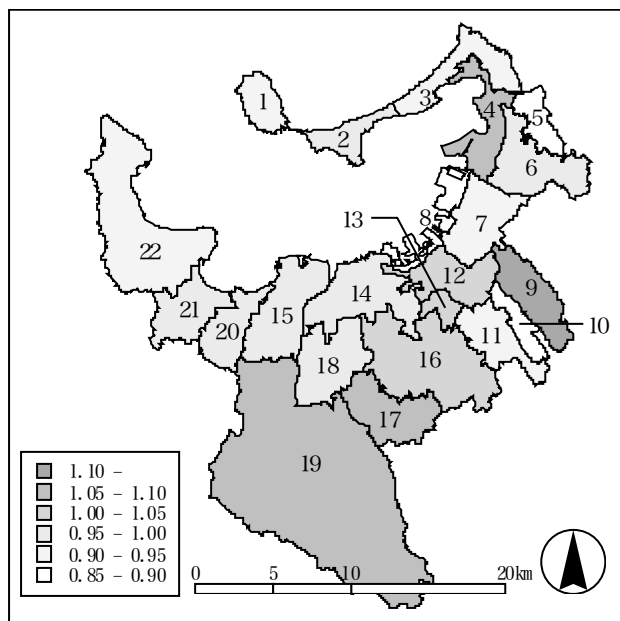


図7シミュレーション結果(平均増減率に対する比率)

アイランドシティ<sup>4)</sup>はゾーン4の沖の埋立地に建設中の先進的モデル都市であり、計画人口は18,000人である。この値をゾーン4の単純推計値に加え、固定した。九州大学は福岡市西区に新キャンパス計画を推進中である。ここでは、移転後の従業者数を予測した資料<sup>6)</sup>を基に、21, 22, 28, 34, 40の5つのゾーンで従業者数が計20,000人増加すると仮定して単純推計値に上乘せした。福岡空港は単位時間あたりの離発着数が容量的に限界を迎えており、その対応策が模索されている。いくつか挙げられている候補の一つに、新宮沖への空港移転案がある。その場合、現在の空港用地(ゾーン9)の20%が宅地に転用され、周辺地域とほぼ同様の容積率30%分の住宅面積が現在のゾーン9の魅力度に加えられると仮定した。このように、3つのプロジェクトに対して3通りの方法でシナリオをモデルに組み込み、シミュレーションを行った。

その結果、図7に示すように、単純予測の場合に比べてアイランドシティのゾーン4と空港のゾーン9における住宅用地の増加が目立つ。その他はいくつか若干の減少を示しているゾーンが確認できる。新キャンパスのゾーン21, 22に変化がみられなかったことについては、人口が他のプロジェクトによって吸収されたことと、魅力度を操作していなかったことが原因にあると考える。

#### 5. 総括

本研究では、空間相互作用モデルを用いて住宅用地の変化の予測を行った。以上のように、アイランドシティ、九大新キャンパス、空港の3つのシナリオを想定した場合の住宅用地の変化傾向を示すことができた。

#### 注釈

- 注1) 能古島などの離島は対象から除く。
- 注2) 2000年当時の市町村区分を用いている。市町村合併が進んだ現在の区分とは一部異なる。
- 注3) 生産緑地は田、畑の和、自然緑地は森林、荒地の和、建物用地は建物用地A、建物用地Bの和で算出している。
- 注4) 計算には株式会社数理システムの「NUOPT Ver.7」を用いた。
- 注5) 平成15年都市計画情報システムデータ(POSMAP)の区分による。

#### 参考文献

- 1) 趙世晨, 萩島哲, 出口敦, 坂井猛, 鶴心治: 空間相互作用モデルを用いた住宅立地モデルの改善—エントロピー最大化による空間相互作用モデルに関する基礎的研究—, 日本建築学会計画系論文集, 第477号, 133-142, 1995年11月
- 2) 財団法人福岡都市科学研究所: 2010年福岡の都市像に関する研究(福岡市の産業・職業構造分析編) 報告書, 平成6年3月
- 3) 国立社会保障・人口問題研究所 HP  
<http://www.ipss.go.jp/>
- 4) アイランドシティ HP  
<http://www.island-city.net/>
- 5) 財団法人九州大学学術研究都市推進機構 HP  
<http://www.pkusc.com/>
- 6) 福岡空港問題(福岡市 HP)  
<http://www.city.fukuoka.jp/>