

ミクロ解析による土地利用変化要因分析のためのツール開発

Development of the Tool for an Analysis of Land-use Changes Using A Microscopic Land-use Data

早坂 俊広* 稲村 肇** 平野 勝也***

by Toshihiro HAYASAKA, Hajime INAMURA and Katsuya HIRANO

1. はじめに

近年、地区計画に代表されるように、居住環境の向上といった、地区レベルでの計画行為が非常に重要視されてきている。このような状況を受け、小規模地域における土地利用計画の必要性が高まっており、研究の分野においてもメッシュデータを用いた様々な土地利用分析^{1) 2) 3) 4) 5)}が行われてきた。

このような小規模地域の分析においては、最短経路等の現実の経路に即した距離に基づく分析や、その地区固有の立地性向を把握する必要性から時系列的なデータに基づく分析、さらに立地要因に大きく関わる画地面積の把握が不可欠である。しかし、整備されているデータの中で、最も詳細な10mメッシュを用いても、100m²単位で立地要因を捉えることには無理がある点、幅員6m程度の区画街路すら、隣接した連続なメッシュに現れることは希で、最短経路探索も不可能である点から、事実上、地区レベルの分析には適さないものとなっている。また、メッシュのサイズや原点の取り方によってデータの値が変わり、地区計画などを策定する際必要となる街区規模での正確なデータを定量的に入手することが困難であり⁶⁾、小規模地域への適用に対し問題がある。

一方、近年GISのような地図情報システムの整備が進んでいるが、ベースマップ作成の労力とコストが膨大なため、過去のベースマップは作成される予定もなく、時系列データを入手することは事実上困難である。また、デジタイザを用いてベクター型

データを作成し小規模地域の土地利用情報を入手する手法も提案されているが⁷⁾、データ作成の労力が膨大で時系列データまで作成する場合相当のコストが必要となる。つまり、コストを度外視しなければ、ミクロレベルの土地利用計画は行えないのが現状となっている。そこで、本研究は、小規模地域における土地利用分析のために必要となる経路把握が可能でかつ、時系列データを短時間に容易に作成しうるデータ作成ツールの開発を目的とする。さらに、開発したツールをもちいて作成したデータと、10mメッシュデータを用いて分析した結果を仙台市青葉区旭が丘を例に比較し、本ツールの有用性を検討した。

2. データ作成ツールの概要

本研究で作成したツールの手順(図-1)は、まず、地域のデータを住宅詳細地図からビデオスキャナ(150dpi)で読みこむ。次にデータの加工を容易にするための文字を削除、線の切れ目補正を行う。続いてマウスを用いて土地利用用途別に階調を変えて色を塗る。各ドットの階調ををそれぞれの座標のデータとして格納する。といった一連の作業で行われる。以下の章で、各手順について概説する。

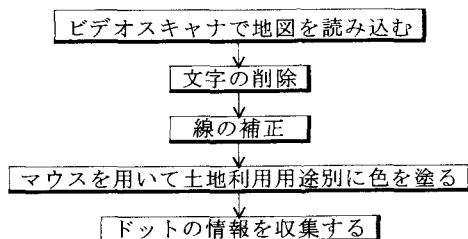


図-1 ツールの構成

Key Words ドット分析 文字の削除 地区計画

* 学生員 東北大学情報科学研究科

(〒980 仙台市青葉区荒巻字青葉)

** 正会員 工博 東北大学大学院情報科学研究科 教授

***正会員 工修 東北大学工学部 土木工学科 助手

3. 地図データの読み込み

(1) データ作成の基本地図

土地利用用途が表されているデータ作成ツールの基本となる地図には、土地利用現況図、住宅詳細地図が挙げられる。土地利用現況図は、時系列データがない場合が多く、データ収集上の問題がある。また、計算機での処理も土地利用用途をカラーで読み込むには、塗りむらなどの自動認識技術に相当コストがかかる上、計算処理時間の上でも不利である。従って、全国的にデータを入手でき、時系列的にも地図が揃っている住宅詳細地図を用いた。ただし、住宅詳細地図は1/2500都市計画基本図から作成されているものの、縮尺や図面精度に若干の問題が存在する。また、実際の都市計画においては地積や占用物件など座標情報を持つデータも多く、住宅詳細地図を用いることは、これらのデータとの整合も含め、精度の問題が残ることになる。

そこで、後述する本ツールの有用性検討の対象地域とした仙台市青葉区旭が丘において、都市計画基本図を基に住宅詳細地図の精度検討を簡単に行った。

(2) 住宅詳細地図の精度検討

(a) 精度検討の方法

住宅詳細地図が持つ誤差を検討するために、都市計画基本図(1/2500)と住宅詳細地図(1/1900)において同じ箇所の長さを0.05mm精度で測定した。また、一般に住宅詳細地図は、画地割りに関して誤差が大きいので、測定を、10～30m程度の画地割レベルと50～100m程度の街区レベルの2つに分け、それぞれ無作為に30組測定した。この測定データをそれぞれの縮尺で割り戻した上で、相対誤差比率を求めた。ここで相対誤差比率は

$$\text{相対誤差比率} = 1 - \frac{\text{住宅詳細地図}}{\text{都市計画基本図}}$$

である。この相対誤差比率の平均及び分散を基に住宅詳細地図の誤差の検討を行った。

(b) 測定結果

測定の結果、画地割レベルと街区レベルの相対誤差比率は95%信頼区間で、以下の通りである。

画地割レベル	-7.39 ± 3.94 %
街区レベル	1.92 ± 0.86 %

ここでそれぞれのレベルで相対誤差比率の符号が異なっており、一見矛盾があるが、これは基本的にサンプル数の問題と、双方無作為抽出のため、画地割りサンプルと街区サンプルを必ずしも同じ街区から抽出していないためである。

(c) 考察

画地割りレベルでは、都市計画基本図上で、塀や柵などで明確に画地割りを表しているものだけで測定した。実際には、都市計画基本図で画地割りが現れていない部分は住宅詳細地図調製時に新規に作られているため、比較できなかった画地割りの線が、相当大きな誤差を持っている可能性が高い。従って、実際の住宅詳細地図が画地割りレベルで持つ誤差は、これよりもかなり大きくなることが推定される。つまり、住宅詳細地図を用いる以上、画地割りレベルの分析には、面積に対して少なくとも2割程度の誤差を覚悟する必要がある。一方、街区レベルでは、住宅詳細地図は長さで2%しか都市計画基本図に対し誤差はなく、本研究で目的とする土地利用モデルに対し、十分な精度を有していると考えられる。

以上より、土地利用モデル適用時は、画地割りレベルでの分析後、一旦、街区レベルで調整すれば、精度の問題はほぼないと考えられる。また、住宅詳細地図は、この精度検討からも明らかな様に正確な座標情報に対して整合性をとれる精度ではない。しかし、本研究の目的は実施設計支援ではなく、あくまで土地利用モデルの適用であり問題ないと考えられる。

(3) 読み込み解像度の決定

解像度を上げることによるデータの肥大化、住宅詳細地図の誤差以上の精度は必要ない点、区画街路が連続したドットとなる必要がある点などから、解像度を決定し、読み込みは150dpi、256階調で行った。この場合1ドットが0.422m×0.431mとなる。スキニングしたドットデータを、作業の簡便化のためそのまま素データとした。

このデータは、原理的には、単に非常に詳細なメッシュデータにすぎないが、格段のメッシュの細かさ表現するために、「ドットデータ」という用語を取って用いた。

4. 文字の削除

次に、この素データに含まれる文字情報を削除し、白地図を生成する。これには、線を抽出する方法と文字を認識する方法の2通り考えられるが、本研究では複雑な過程を必要とする文字認識ではなく、線のみを認識し抽出することによって文字、その他のノイズを削除する方法を用いた。

(1) 既往の線の抽出手法

線の抽出方法として様々な既存手法があるが地図のような文字と直線と曲線を含む複雑なものを扱う簡便な方法は提案されていないのが実状である。以下に代表的な線の検出手法の概要^{8) 9)}と地図に適用する際の問題点を示す。

(a) Hough変換による線の抽出

Hough変換は、直線、円、楕円などのパラメータ表現された図形を検出する方法として、様々な図形に対して使われてきた線の抽出手法である。x y 平面上の2値の原画像と、画像とは別のu v座標で表されるu v平面を設定する。画像を走査し、抽出したい線を構成する階調のドットがあったら、次式で、u v座標系に平面を描く。

$$v = x_i \cos u + y_i \sin u$$

ただし、線を構成するドットがある座標を (x_i, y_i) とする。この処理を全画像中の線を構成するドットに対して行い、x y座標系の線を構成するドットの数と同じだけの曲線をu v座標系に描く。x y座標中で同一の直線上に複数の点があると、それらの点に対応するu v座標系の曲線は1点で交わる。この交点の座標を (u_c, v_c) とすると、直線は次式となる。

$$v_c = x_c \cos u_c + y_c \sin u_c$$

したがって、u v座標系の交点を逆にx y座標系の直線に変換することにより、画像中の直線の位置と傾きを求めることができる。

近年では任意形状図形の検出を行うことのできるように改良されてはいるが¹⁰⁾、本研究が目的とする地図のような複雑な図形を、簡便に扱うためには、計算時間、精度の点で問題が生じるため、適当な手法とは言い難く、適用には相当の改良が必要となる。

(b) フィルタリングによる線の抽出

この手法は線の形状に合わせたフィルタを用いることによって、線を抽出する方法である。つまりあるドット (i, j) の処理前の階調値を $f(i, j)$ 、処理後の階調値を $g(i, j)$ とする。周囲8ドットの階調値を使う場合次のような式で表される。

$$g(i, j) = \{k_{11}f(i-1, j-1) + k_{21}f(i, j-1) + k_{31}f(i+1, j-1) + k_{12}f(i-1, j) + k_{22}f(i, j) + k_{32}f(i+1, j) + k_{13}f(i-1, j+1) + k_{23}f(i, j+1) + k_{33}f(i+1, j+1)\}K$$

ここで、 $k_{11}, k_{21}, k_{31}, k_{12}, k_{22}, k_{32}, k_{13}, k_{23}, k_{33}$ は各ドットにかける定数であり、 K は全体にかける定数である。この $k_{11} \sim k_{33}$ の定数をフィルタといい、様々なフィルタを用いて処理を行う。線を抽出する場合は、図-2のようなフィルタを用いる。

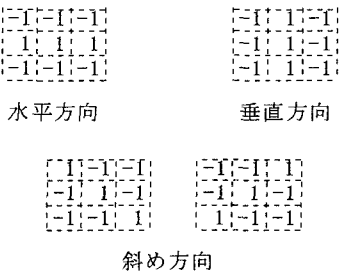


図-2 線抽出フィルタ

7×7までフィルタを拡張してこの手法を試行してみたが、実際の文字を7×7ドットで表現できないことから明かなように、この手法は、地図上の文字消去には適さない。また、フィルタをさらに拡大すれば、文字消去が可能となるが、必要な線を消去する可能性や計算速度の点から適切ではなく適用には相当の改良が必要と考える。

プログラム技術の問題もあり正確な比較はできないが、筆者らの技術レベルで試行した結果、既存手法と今回用いた手法では、どれで行っても一つの線抽出に30秒程度しか要していない。これは即ち、全体の作業時間を鑑みれば、この段階を優れたアルゴリズムで短縮しても、作業全体を律速するものではないことを意味する。従って、既存手法の大幅改良ではなく、本研究は、次の手法を用いて、次の方法で線の抽出を行った。

(2) 本研究で用いた線の抽出方法

(a) 線の抽出方法

まず、256階調のデータを操作しやすくするために、階調値が255の完全な白以外を全て黒に二値化する。二値化したデータから黒のドットを検索し、黒ドットが存在した場合は、その黒ドットの連続性を調べる。設定したしきい値以上連続している場合のみ線として抽出する。連続性を調べる方法は、図-3のフローの通りである。まず左上を原点とし、X軸正の方向に黒ドットがあるか検索していく。線を構成するドットが存在した場合、それぞれの座標について図-4の検索マトリックスの順で連続している黒ドットを随時検索する。ただし、図-4の枠内の数字は検索する順序で、距離が近い順に、同じ場合は時計回りに検索していく。この連続している検索マトリックス範囲内に格納していないドットがない場合、直前に格納したドットに戻り、検索していない座標に線を構成するドットがあるかを調査する。一連の連続した黒ドットを格納し、そのトータル数が設定したしきい値以上なら線と認識し、しきい値以下だったら文字またはノイズと認識して抽出しない。

具体的な線の抽出方法を図-5に示す。ただし、黒い点が線を構成するドットである。まず、ある座標Aがドットだと認識されたら検索マトリックスの順に検索し、マトリックスの座標3で分岐点座標nに進む。検索マトリックスの順に調べマトリックスの座標2で矢印1の方向に進んで、格納したドット以外に線を構成するドットが検索マトリックス内に存在しなくなるドット（座標B）まで進んだ後、格納した座標に逆に戻っていき随時検索マトリックス内で調査していない座標（4以降）について探索していく。マトリックスの座標18でドットが存在するのでそのドットに進み、同様に調査し矢印2→3→4→5と進み、このトータル数がしきい値以上の場合線とみなして抽出する。

(b) 検出結果

線を抽出するプログラムを実際の住宅詳細地図に実行させた結果を以下に示す。図-6がプログラム実行前の地図を2値化したものであり、図-7は3×3、図-8は5×5の検索マトリックスを用いたものであ

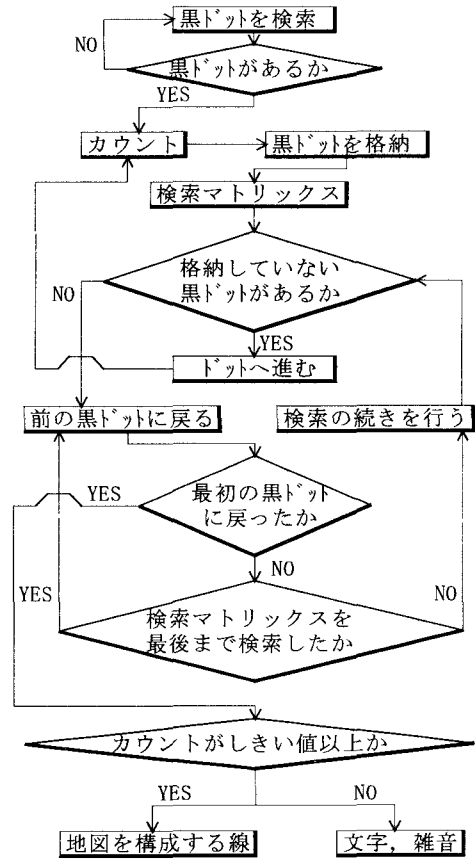


図-3 線抽出のフロー

24	20	9	13	21
19	8	1	5	14
12	4		2	10
18	7	3	6	15
23	17	11	16	22

図-4 検索マトリックス

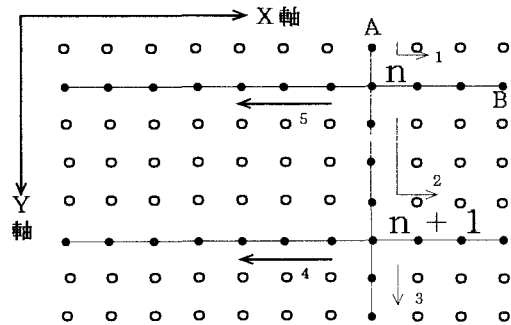


図-5 線の抽出



図-6 原画像

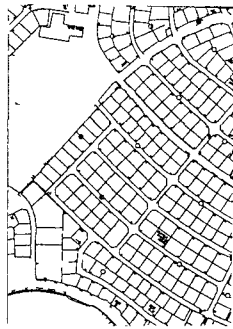


図-7 3×3

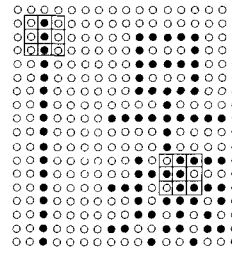


図-10 文字部の消去

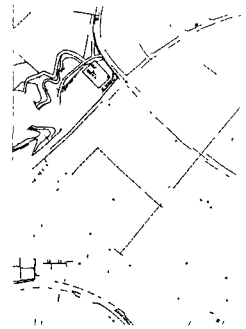


図-11 文字のみ消去



図-8 5×5

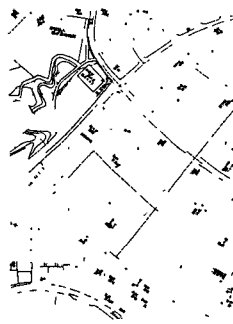


図-9 比較結果

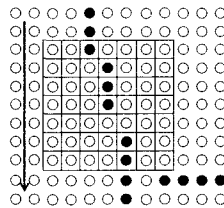


図-12 線の補正

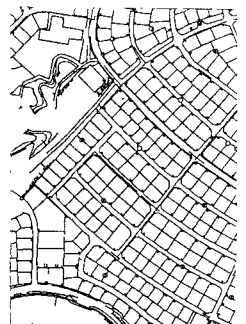


図-13 完成図

る。図-7では左下の住宅を表している格子が消えているが、これは肉眼ではつながっているように見えても、実際1ドット以上離れてる箇所があり、しきい値以上連続せず、線とみなされなかったためと思われる。図-8は直線は全て抽出されているが、1ドット以上離れているドットも連続しているとみなすので、文字がかなり残っている。

(c)各箇所の補正

この問題点を解決するために、図-7と図-8が重なる部分を消去して、図-8のみに残っている図（図-9）から文字図のみ消去し、図-7の図に戻す。図-9の状態から文字部だけ消去するために、文字部ではドットの密度が線部より大きいことを利用して文字と線の識別をした。識別手法を図-10を例に具体的に説明する。線の抽出方法で用いた線をたどる方法で連続しているドットを3×3のマトリックスを用いて検索していく。それぞれのドットをたどる過程で検索しているドットの周辺8座標内に存在するドットの個数を調べ随時足し合わせていき、一連のつながっているドットで、

$$\frac{\text{足し合わせたドットの総数}}{\text{検索したドットの総数}} \geq 4.5$$

の場合文字部と判断し消去し、それ以外の場合線部と判断した。実際に文字部のみ消去した結果を図-11、3×3のマトリックスで検索した図-7にもどす。この結果、線と連続している文字以外は消去することができた。この段階では、見た目にはつながっているように見えても切れている箇所があり、後に使う水漏れ探査方式において、色が線を漏れてしまう場合がある。この線の切れ目を補正するために、線の抽出方法で用いた線をたどる方法で連続しているドットを7×7のマトリックスで検索していく。検索していく過程で線が切れている場合は、図-12のように次に検索するドット（斜線）が現在いるドット（中央）の周りの8つの座標でなくその外側のマトリックスになる。そこで、次に検索する座標が周りの8座標以外の場 間の座標にドットを加える。最後に、線と連続しているため消去できない文字、つまり、3×3のマトリックスで残った文字をマウスを用いて消去する。完成した白地図を図-13に示す。

5. 土地利用用途の入力

以上の要領で作成された白地図に対し、土地利用用途を入力する。土地利用の原単位となる敷地は、この白地図上では黒の点で囲まれた白の閉領域として表されている。この白地の閉領域を水漏れ探索方式で認識し、属性データとして土地利用用途を持たせる。この際、属性データを白地図段階で白地であった閉領域に256階調の階調値として持たせれば、一般の画像フォーマットで対応でき、簡便性が高い。この方法には連続値が扱えない問題があるが、土地利用解析において最も重要となる「用途」は離散値であり、かつ床面積などの連続値も、離散化すれば、取り扱いが可能である。以上のような理由より、各ドットの階調番号を各座標の土地利用データとした。なお、閉領域の指示はマウスによって行い、用途別階調値はデータ作成者が手入力を行った。

6. データ作成ツールの適用と結果

本章では、以上の手順で作成したデータを実際の地図に適用し、メッシュデータとの簡単な比較分析を行うことにより本ツールの有効性を検討するものである。

(1) 対象地域の選定

仙台市営地下鉄南北線（1987年開通）旭ヶ丘駅周辺、横1280m、縦800mを対象地域に選定した。旭ヶ丘は小規模計画が混在し、地下鉄開業に合わせて駅から新たに幹線道路が開通し土地利用変化が激しく、また地下鉄沿線の中では自然発展に近いため分析対象地域とした。なお土地利用用途は次のように15種類を6つに分類した。

1. 住宅地区（一般住宅地区 中高層住宅）
2. 商業・業務地区（商業地区 業務地区）
3. 空地
4. 運輸施設地区
5. 公共施設地区（文教施設 公共業務地 厚生地区 供給処理施設）
6. その他（工業 公園緑地 運動競技施設 改変工事中 運輸施設等の地区 道路）

(2) データの作成

(a) メッシュデータの作成

5mm×5mmのメッシュ（現寸では10m×10m）を作成し各メッシュの土地利用用途を読みとる。土地利用用途分類方法は、独立最大面積法を用いた。

(b) ドットデータの作成

メッシュデータと同じ基礎資料を用い、4章までの方法でドットデータを作成した。従って、このときのドットの規模は原寸で0.422m×0.431mとなる。

(3) 分析手法

地下鉄と幹線道路開通による、駅からの距離に依じた土地利用変化を時系列的に表すために、1986年と1994年の土地利用図を作成し、土地利用変化を駅からの距離100m毎の土地利用比率を求めて分析する。次にミクロな変化を捉えるため、変化の著しい100m区間を10m毎に土地利用比率を求め、ドットデータとメッシュデータを用いた分析の結果を比較する。

(4) 分析結果

対象地域内の地下鉄旭が丘駅を中心とした100m毎、旭が丘駅から東に延びている幹線道路から100m毎の住宅の立地率と商業の立地率をメッシュデータとドットデータに分けて分析した。ここで立地率とは、

新規立地床面積＝1994年床面積－1986年床面積

住宅（商業）立地率＝ $\frac{\text{新規立地床面積}}{\text{区間内の全面積}}$

である。

図-14は駅から100m毎、図-15は幹線道路から100m毎の住宅立地率について図-16、図-17はそれぞれ商業・業務立地についてメッシュとドットの両データを比較したものである。両データとも駅からの距離があるほど負の立地傾向があり、幹線道路に関しては距離があるほど正の立地傾向があることが分かる。商業立地に関しては、駅からの距離が100mから300mの間に正の強い立地傾向があるのが分かる。幹線道路からの距離に関してはメッシュデータの分析では幹線道路に近い付近だけ強い正の立地傾向があるが、ドットデータの分析では立地傾向に波がみられる。これは、ドットデータでは南北に走る準幹線道路の

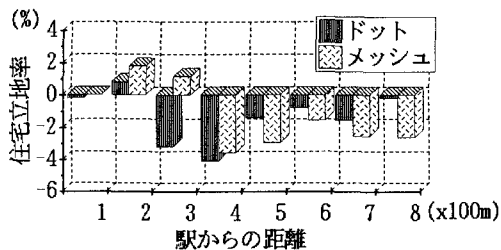


図-14 駅から100m毎の住宅立地率

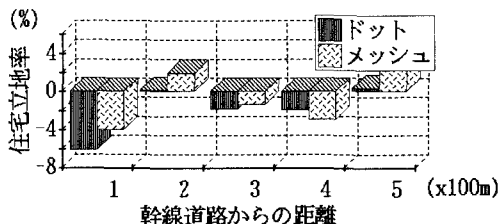


図-15 幹線道路100m毎の住宅立地率

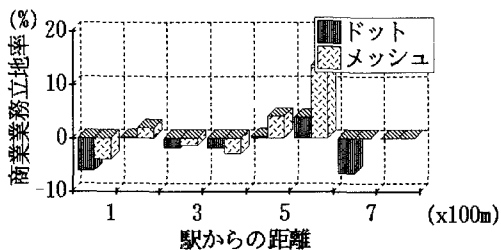


図-16 駅から100m毎の商業業務立地率

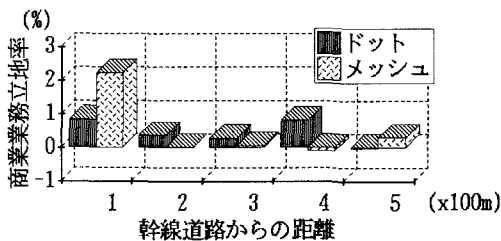


図-17 幹線道路から100m毎の商業業務立地率

影響も捉えることができたためと思われる。ドットデータとメッシュデータで立地傾向が似通っている図-15の住宅立地率の変化について、さらに10m毎に区間を切って分析した結果を図-18に示す。この結果は、10m間隔というミクロな視点でみると、立地傾向には、10mメッシュとはかなりの差があることがわかる。

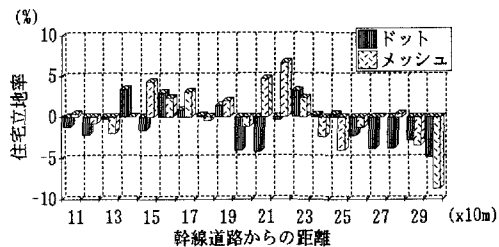


図-18 幹線道路から10m毎の住宅立地率

7. まとめ

今回開発したツールを用いて、住宅詳細地図から文字を消し、白地図を作成することができた。

また、約1 km²の範囲を住宅詳細地図から白地図を作成するまでの作業時間は一人で30分程度、今回行った6区分の土地利用用途の入力に一人で10時間程度の作業時間であった。同面積のメッシュデータを作成するのに、独立最大面積法では一人で2ヶ月程度かかっていることから、十分実用的な作業時間であるといえる。

メッシュデータを用いた分析と比較すると、地区計画上、限界の距離となる100m間隔の分析でさえ、ドットデータと比較してかなりの差がみられ、100m間隔でメッシュデータとドットデータの両方とも同じように変化を捉えている区間でも、10m間隔の分析ではメッシュデータとドットデータではかなり立地傾向が異なる。これは、メッシュ内で単一の土地利用に近似する従来のメッシュ分析に対しドット分析の土地利用の精度が明らかに正確であり、今まで分析できなかった詳細な傾向も、このドット分析で行える可能性を示している。もちろん、ドットデータには住宅詳細地図が持つ位置的な誤差を含んでいるが、土地利用が複雑になればなるほどメッシュデータの土地利用の誤差が拡大するのに対し、ドットデータの位置的な誤差が拡大することはない。この点でも土地利用分析におけるドットデータが有利であると考えられる。

今後、より精緻な議論のために、このドットデータによる分析の限界を明らかにする必要がある。特に、住宅詳細地図の精度、コピーやビデオスキャナのひずみによる誤差などについて、精緻な検証が必要である。

< 参考文献 >

- 1) 天野, 阿部, 近藤: 都市における土地利用とその変動に関する実証的研究, 第16回日本都市計画学会学術研究発表会論文集, pp. 223-228(1981)
- 2) 中原, 太田: 地価形成要因よりみた都市の土地利用変容予測に関する研究, 第18回日本都市計画学会学術研究発表会論文集, pp. 241-246(1983)
- 3) 佐藤誠治: 土地利用の変化と用途地域との関連, 第25回日本都市計画学会学術研究発表会論文集, pp. 379-384(1990)
- 4) 谷口, 天野: 既存建築物の更新実態とその変容に係わる物的条件について, 第18回日本都市計画学会学術研究発表会論文集, pp. 277-282(1983)
- 5) 玉川英則: 都市内における土地利用パターン及びその変化の計量的分析, 第19回日本都市計画学会学術研究発表会論文集, pp. 343-348(1984)
- 6) 青木, 大佛, 尚: 都市メッシュデータ解析におけるメッシュサイズの効果, 第21回日本都市計画学会学術研究発表会論文集, pp. 247-252(1986)
- 7) 天野, 山中, 木村: 住宅地図による地区情報システムの開発とその応用について, 土木計画学研究・講演集 No. 11, pp.597-604(1988)
- 8) 安居, 中嶋, 木見尻: c言語による画像処理, 昭晃堂(1990)
- 9) 高木, 下田(監修): 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会(1991)
- 10) 松山, 長尾: Hough変換の幾何学的性質と直線群検出への応用, 情報処理学会論文誌, pp. 1069-1078(1985)

ミクロ解析による土地利用変化要因分析のためのツール開発

早坂 俊広, 稲村 肇, 平野 勝也

近年, 地区計画に代表されるように, 小規模地域における土地利用計画の必要性が高まっている。ところが, 従来のメッシュデータを用いた土地利用分析では, 小規模地域を分析するには, メッシュの規模が大きく定量的にデータを入手できず, また, 細かいメッシュデータを作成する労力が膨大である。そこで, 本研究ではドット単位のデータを作成できるツールを開発しメッシュデータを用いた分析と比較しながら, その適用を試みた。その結果, 従来のメッシュデータより, 精度, 利用可能性, 省力化の点で有用であることが実証できた。

Development of the Tool for an Analysis of Land-use Changes Using A Microscopic Land-use Data

by Toshihiro HAYASAKA, Hajime INAMURA and Katsuya HIRANO

According as increase needs for better environment in residential area, a microscopic regional planning is getting more important. Although a very detail land-use analysis is required for this purpose, the conventional mesh data analysis is completely not enough in terms of accuracy. This paper first proposes a computer package program to compile a dot basis of 0.25 square meter land-use from widely published residential map. Second, a small case study to confirm the superiority of the dot basis data by the pro-posed tool is carried out in a small area in Sendai city. It was found out that the tool is quite powerful to analyze dynamic of land-use in many time.