メッシュデータに立脚した同種・異種土地利用の集塊性の把握手法

A METHOD TO ANALYZE CHARACTERISTICS OF AGGLOMERATION OF
THE SAME AND DIFFERENT KINDS OF LAND USE USING GRID DATA

吉川 徹*

Tohru YOSHIKAWA

The objective of this article is to develop a method to analyze characteristics of agglomeration of land use based on grid data. To this end, a method which uses the average ratios of edges of each grid with the same and different kinds of land use (called as Edge Ratios : ERs) is formulated based on JOIN-COUNT statistics and Same Edge Ratio (SER) . Among ERs, the average ratios of edges with the different kinds of land use are especially called as Different Edge Ratios : DERs. The expected value and the variance of DER are calculated and a statistical test is formulated.

Keywords: land use, agglomeration, grid data, JOIN-COUNT statistics, edge ratio

土地利用, 集塊性, メッシュデータ, join分析, 辺率

1 はじめに

この論文の目的は土地利用の集塊性の分析手法の開発である。このためメッシュ土地利用データを使った、各メッシュの周囲の4辺(join)が種々の土地利用と接する辺の比率(辺率と呼ぶ)に基づく分析手法を提案する。なお、この論文の内容は著者による既口頭発表¹⁾に新たな研究成果を加えたものである。

土地利用のパターンの特徴のなかで都市計画で重要なものとして、同種や異種の土地利用の集塊性が挙げられる。このため、後述のようにこれを分析する様々な手法が提案されてきた。この集塊性には様々な切り口が考えられる。たとえば一戸の低層住宅にとっては、土地利用に関する基本的な関心事は隣接する敷地の土地利用であろう。このように、一戸の低層住宅などの一単位の土地から見たときの隣接する土地利用の状態を調べることは有意義であろう。そこでここでは、一単位の土地の周囲に同種や異種の土地利用がどのように隣接しているかという観点から土地利用の集塊性を分析する。この観点から見た集塊性を隣接集塊性と呼ぼう⁴⁾。

同種の土地利用の隣接集塊性は吉川²⁾³⁾⁴⁾が扱っているので、これを発展させて異種土地利用を含めた隣接集塊性を分析する手法を開発しよう。なお、土地利用区分が2種類しかない場合には、同種と異種の土地利用の隣接集塊性は同じ現象の表裏を見ていることになる。

そこでここでは土地利用区分が3種類以上ある場合を扱う。

2 join 分析

土地利用の集塊性を分析する既存の手法としては、join 分析^{5)6)7)8)9) 10)11)12)}、エントロピー⁶⁾⁸⁾⁹⁾¹³⁾¹⁴⁾、clump 分析⁶⁾⁸⁾¹⁰⁾、土地利用の隣接行列の固有ベクトル¹⁵⁾、土地利用の敷地間接触線数¹⁰⁾、土地利用の隣接長¹⁰⁾¹⁶⁾、土地利用の塊の形状係数¹⁶⁾や形態指数¹⁷⁾¹⁸⁾、同種の土地利用への隣接集塊性を測る同辺率^{2)3) 4)}などが挙げられる。これらの中には特に異種土地利用を含めた隣接集塊性に着目したものは見当たらない。

しかし join 分析はメッシュを土地利用の単位とした土地利用の隣接状態の分析手法であり、これに立脚して隣接集塊性の分析手法を構成できると期待される。この手法はメッシュ土地利用データにおいて、対象地域の内部(境界は含まない)のメッシュの辺のうち、土地利用 α と β が接している辺(α - β joinと呼ぶ)の数を指標とするものである。特に土地利用が3種類以上ある場合は、color join 分析と呼ばれる手法が提案されている。

たとえば図1では、太線の内側を対象地域とすれば、低層住宅-中高層住宅 join は3本となる。この数が多いほど、土地利用 α と β は隣接する傾向が高いと判断される。

* 東京都立大学工学研究科建築学専攻 助教授・博士(工学)

Assoc. Prof., Division of Architecture, Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University, Dr. Eng.

図 1: メッシュ土地利用図の例

このときに問題になるのが join の数の大小の判断基準である。代表的なものは次のふたつである。

ランク値 ランダムな土地利用図での join の確率分布を根拠として、次式で計算する⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾¹²⁾。

$$\text{ランク値} = \frac{\text{join 数} - \text{join 数の期待値}}{\text{join 数の標準偏差}}$$

これは、統計処理で多用される z 変換と呼ばれる基準化手法である。join 数ではこの値はメッシュ総数が増加すれば漸近的に標準正規分布に従うことが既に証明されている^{たとえ 8)}。

絶対値 武内¹¹⁾は混在程度の絶対的な大きさを評価する場合には join 数そのものが基準として妥当だとした。

以上を踏まえ join 分析を修正した手法を開発しよう。

3 辺率

たとえば一戸の低層住宅を考えたとき、隣接集塊性の指標としてもっとも簡明なものは、敷地の周囲のうち、道路、中高層住宅などの土地利用と接している部分の占める比率であろう。これはメッシュを単位とすれば、周囲の 4 辺のうち特定の土地利用のメッシュと接している辺 (join) の比率を指標とすることに相当する。

たとえば図 1 のメッシュ土地利用図の黒枠の内側を対象地域としよう。低層住宅のメッシュ (5 個) に着目すると、中高層住宅に接している辺の数はそれぞれ 0, 1, 1, 1, 2 となり、4 で割って比率に直すと 0, 0.25, 0.25, 0.25, 0.5 となる。その平均値 0.25 は、対象地域の低層住宅のメッシュを一個任意に取り出したときに、その周囲 4 辺のうち中高層住宅に接している辺の比率の期待値となる。そこでこの値を低層住宅メッシュから見た中高層住宅メッシュの辺率 (低層住宅-中高層住宅辺率と略そう) と呼んで、隣接集塊性の指標としよう。図 1 で辺率を計算すると表 1 が得られる。

表 1: メッシュ土地利用図の例での辺率

土地利用	メッシュ数	構成比	辺率		
			低層住宅	高層住宅	その他
低層住宅	5	.278	.250	.250	.500
高層住宅	3	.167	.250	.250	.500
その他	10	.556	.250	.100	.650

この辺率のうち低層住宅-低層住宅辺率など同種の土地利用に対する辺率は吉川²⁾³⁾⁴⁾による同種土地利用の隣接集塊性の指標である同辺率に一致する。したがって辺率は同辺率を異種土地利用まで拡張した指標である。以降では、辺率のうち低層住宅-中高層住宅辺率など異種の土地利用に対するものを特に区別する必要があるときには、これを異辺率と呼ぶことにする。

なお、1 から同辺率を引いた値は、土地利用の塊の周囲の join 数をメッシュ数の 4 倍で割った値になる。したがって、同辺率は土地利

用の塊の面積を周長で除した形状係数¹⁶⁾や、画素単位で周長を面積で除した形態指数¹⁷⁾¹⁸⁾と類似性を持っている。

しかし、形状係数¹⁶⁾はメッシュなどの一単位の土地に着目したのではなく、また形態指数¹⁷⁾¹⁸⁾は、join ではなくメッシュあるいは画素の数をもって境界線長とする点で、辺率とは異なった指標である。

3.1 辺率とメッシュサイズ

吉川⁴⁾は同辺率に関してメッシュサイズを変化させたときの挙動は未解決の課題であることを指摘した。同様に異辺率もメッシュサイズを変えると変化する。したがって、辺率の解釈に当たってはメッシュサイズを念頭に置く必要があり、原則として同じメッシュサイズから算出された辺率を比較すべきである^{注 1)}。

3.2 東京都八王子市・多摩市における事例

事例として表 2 に東京都八王子市明神町付近の 500m 四方の地域の 1989 年の辺率を示した。土地利用の資料は国土地理院細密数値情報 10m 土地利用データ¹⁹⁾を用いた。したがって、メッシュ数は 50 × 50 で 2500 個となる。またメッシュサイズは 10m × 10m となり、面積は 100m²と市街地での小規模な宅地の規模にほぼ該当している。

なお、細密数値情報の土地利用区分のうち、農地系と空地系を空地、一般低層住宅と密集低層住宅を低層住宅に、公園緑地と公共公益施設とその他を公共施設にそれぞれ併合した。

表 2: 東京都八王子市明神町付近の 1989 年の辺率

区分	辺率						
	空地	工業用地	低層住宅	高層住宅	商業業務	道路	公共施設
空地	.549	.016	.165	.033	.102	.114	.022
工業	.011	.584	.213	.034	.097	.046	.014
低	.025	.055	.724	.033	.089	.047	.027
高	.027	.046	.168	.401	.115	.239	.003
商	.023	.040	.138	.035	.616	.128	.021
道	.036	.027	.101	.097	.185	.499	.056
公	.011	.008	.077	.003	.037	.076	.787
比	.049	.087	.326	.062	.214	.151	.110

この表の、特に低層住宅と高層住宅の隣接集塊性に着目しよう。低層住宅の周囲のうち高層住宅はおおよそ 3% を占める。一方で高層住宅の周囲のうち低層住宅の占める割合はおおよそ 17% と高い。ここで比較のため、東京都多摩市愛宕について、同様に 500m 四方の対象地域で低層住宅と高層住宅に関する辺率を計算した。

表 3: 東京都多摩市愛宕付近の 1989 年の辺率 (一部)

区分	辺率						
	空地	工業用地	低層住宅	高層住宅	商業業務	道路	公共施設
低	.172	.000	.646	.011	.011	.143	.018
高	.072	.000	.017	.851	.001	.055	.005
比	.366	.006	.205	.131	.030	.200	.061

この結果から、愛宕では低層住宅-高層住宅辺率はおおよそ 1%、高層住宅-低層住宅辺率はおおよそ 2% と、明神町に比べて低いことがわかる。そこで両地域の、低層住宅、高層住宅の分布図を作成した (図 2)。これを見ると、既成市街地に高層住宅が立地する明神町では、小規模な高層住宅が散在している。これに対して、多摩ニュータウンを

含む愛宕では、高層住宅が集中して立地している部分がある。この両地域の成り立ちの違いが辺率の違いに反映していることがわかる。

図 2: 明神町と愛宕の低層住宅、高層住宅の分布

3.3 辺率の定義

以下の議論のために、ここで辺率を記号を使って定義しておこう。まず用語と記号を定義する。

内部メッシュ 対象地域に含まれるメッシュ

外接メッシュ 対象地域に隣接するメッシュ

内部 join 内部メッシュ同士が接する join. $y_i(\alpha, \beta)$, $i = 1 \dots N(y)$ で表わす。ここで α と β は土地利用を、 $N(y)$ は内部 join の総数を表わす。 $y_i(\alpha, \beta)$ の値は、 y_i が α - β join ($\alpha \neq \beta$) ならば 1, y_i が α - α join (つまり $\alpha = \beta$) ならば 2, これ以外は 0 とする。

境界 join 内部メッシュと外接メッシュが接する join。つまり対象地域の境界の join. $z_j(\alpha, \beta)$, $j = 1 \dots N(z)$ で表わす。ここで $N(z)$ は境界 join の総数とする。 $z_j(\alpha, \beta)$ の値は、その境界 join の内部メッシュの土地利用が α かつ外接メッシュの土地利用が β であれば 1 ($\alpha = \beta$ の場合を含む)、それ以外では 0 とする。

さらに対象地域内の土地利用 α のメッシュ数を M_α としよう。すると α - β 辺率 $x(\alpha, \beta)$ は次式で定義される。

$$x(\alpha, \beta) = \frac{1}{4M_\alpha} \left(\sum_{i=1}^{N(y)} y_i(\alpha, \beta) + \sum_{j=1}^{N(z)} z_j(\alpha, \beta) \right) \quad (1)$$

4 ランダムな土地利用図での挙動に基づく辺率の解釈

上記の例のように、辺率はそれ自体が周囲の覆われ方という意味を持ち、絶対値による解釈や比較が可能である。しかし土地利用構成比の大小を加味して解釈したい場合もある。この時には別の判断基準が必要である。

土地利用の分析では、第 2 章で述べたように、このような場合に判断基準としてランダムな土地利用図での指標値の挙動を参照することがよくある。同辺率は、ランダムな土地利用図では漸近的に期待値が土地利用構成比に収束することが判明している³⁾⁴⁾。そこでここでは、異辺率のランダムな土地利用図での挙動を調べることで、土地利用構成比の大小を加味した辺率の解釈方法を検討しよう。

ランダムな土地利用図のモデルとしては、吉川²⁾³⁾⁴⁾と同様に各メッシュが独立に一定の出現確率で特定の土地利用になるもの²⁰⁾を採用しよう。なお、このモデルでは、特定の土地利用のメッシュ数が 0 になることがある。 α - β 辺率は分母が土地利用 α のメッシュ数となるので、これが 0 になると定義できない。そこでここでは α - β 辺率の期待

値は土地利用 α のメッシュ数が 0 になる場合を除いて計算しよう。

異辺率の挙動を調べるには、原点回りの k 次モーメントを定式化すると便利である。そこでまずこの定式化を行っておこう。

始めに記号を定義する。対象地域の全メッシュ（内部メッシュ）の総数を t とする。 $t = 1$ のときは対象地域が 1 個のメッシュであるので自明であるから、 $t \geq 2$ とする。内部メッシュの辺（総数 $4t$ ）は、境界 join と、向かい合う 2 辺が構成する内部 join に分かれる。従って境界 join 数 $N(z)$ は $4t - 2N(y)$ となる。また土地利用 α, β の出現確率をそれぞれ p_α, p_β としよう。

ここで土地利用 α のメッシュ数が M_α である確率を $P_\alpha(M_\alpha)$ とし、これを $M_\alpha = 0$ の場合を除外して計算すると、次式が得られる。

$$P_\alpha(M_\alpha) = \binom{t}{M_\alpha} \frac{p_\alpha^{M_\alpha} (1 - p_\alpha)^{t - M_\alpha}}{1 - (1 - p_\alpha)^t} \quad (2)$$

これを用いると、辺率 x の原点回りの k 次モーメント $E[x^k]$ は次式になる。なおこの式では、土地利用 α のメッシュ数が M_α であるという条件のもとでの、確率変数 w の期待値を $E[w|M_\alpha]$ で示してある。

$$\begin{aligned} E[x^k] &= \sum_{M_\alpha=1}^t P_\alpha(M_\alpha) E[x^k | M_\alpha] \\ &= \sum_{M_\alpha=1}^t \frac{P_\alpha(M_\alpha)}{(4M_\alpha)^k} \\ &= E \left[\left(\sum_{i=1}^{N(y)} y_i(\alpha, \beta) + \sum_{j=1}^{N(z)} z_j(\alpha, \beta) \right)^k \middle| M_\alpha \right] \end{aligned} \quad (3)$$

4.1 辺率の期待値

上記のように同辺率は、ランダムな土地利用図では漸近的に期待値が土地利用構成比に収束するので、土地利用構成比と同辺率を比較することで解釈が可能である⁴⁾。そこで、異辺率についても期待値を算出しよう。

α - β 辺率は、対象地域の任意の土地利用 α のメッシュを取り出した時の、その周囲の 4 本の join のうちの土地利用 β と接する join の比率の平均値である。したがって、直観的には辺率の期待値は土地利用 β の出現確率 p_β に等しいと予想される。しかし、実際に式 (3) で $k = 1$ として期待値 $E[x(\alpha, \beta)]$ を計算すると、次の式が得られる。

$$E[x(\alpha, \beta)] = p_\beta + p_\beta \frac{N(y)}{2} \left(\frac{1 - \frac{p_\alpha}{1 - (1 - p_\alpha)^t}}{(t - 1)(1 - p_\alpha)} - \frac{1}{t} \right) \quad (4)$$

この式から上記の予想は成立しないことがわかる。そこで期待値の挙動を調べるため、上式を吉川⁴⁾による同辺率（つまり α - α 辺率）の期待値 ($E[x(\alpha, \alpha)]$) と書こうと比べると、次式が得られる。

$$E[x(\alpha, \beta)] = \frac{p_\beta}{1 - p_\alpha} (1 - E[x(\alpha, \alpha)]) \quad (5)$$

この式から、 $E[x(\alpha, \alpha)] = p_\alpha$ であれば上記の予想が正しいことがわかる。しかし実際には $E[x(\alpha, \alpha)] < p_\alpha$ であることが判明している⁴⁾。ただし対象地域が 50×50 程度のメッシュ地図より大きければ両者はほぼ等しいことが判明している⁴⁾。

したがって $E[x(\alpha, \beta)]$ は p_β より大きい、対象地域が 50×50 メッシュより大きければ p_β で近似できる。以上より、対象地域の規模が 50×50 メッシュ程度より大きければ、ランダムな土地利用図では α - β 辺率は、同辺率つまり $\alpha = \beta$ の場合を含めて、土地利用 β の出現確率（つまり構成比） p_β にほぼ等しい。

4.2 期待値に基づく辺率の解釈

このことから、実際の α - β 辺率が土地利用 β の構成比より大きければ、土地利用 α の周囲には土地利用 β が集まる傾向があると判断できる。ただしこの傾向が有意であるかどうかは別途判断する必要がある。このためには、異辺率の確率分布が判明していれば便利である。しかし、この確率分布を正確に求めることは極めて困難であると予想される。この理由として、後述のように、式(1)の y_i, z_j は互いに独立でないことや、辺率が離散的な値を取ることが挙げられる。

そこで、モンテカルロシミュレーションによって確率分布を近似的に求めて、これをもとに統計的検定を行った。シミュレーションにあたっては、ランダムな土地利用図を1,000,000回発生させた。結果として、八王子市明神町(表2)においては、下線がない項目は1%有意、一重下線の項目は5%有意となった。また、多摩市愛宕(表3)においては、すべての項目が1%有意であった。

ここで、表2、表3を見ると、ほとんどの土地利用区分で、同辺率は有意に土地利用構成比より大きく、異辺率は有意に土地利用構成比より小さいことがわかる。これは、対象地域では10m×10mのメッシュを単位として見れば、同種の土地利用は集まる傾向があり、異種の土地利用は互いに離れる傾向があることを意味している。この例外は、八王子市明神町の高層住宅と道路の間の関係であり、両者の間の異辺率はともに有意に土地利用構成比より大きい。このデータが10mメッシュであることを考慮すると、八王子市明神町においては、高層住宅の周囲には広幅員の道路が多く、また広幅員道路の周囲には高層住宅が多いことがわかる。

5 辺率の z 変換

以上より、土地利用構成比を勘案した辺率の解釈が可能になった。これをより簡単に行う方法として、第2章で述べたjoinのランク値を参考にして、辺率を z 変換することが考えられる。このためには、辺率の分散を求める必要がある。このうち、同辺率の分散については既に論じられている⁴⁾ので、ここでは異辺率の分散を調べよう。

5.1 異辺率の分散の解析的な算出

分散(σ^2 とする)は、式(3)の辺率 x の原点回りの k 次モーメント $E[x^k]$ を用いれば、次式で求められる。

$$\sigma^2 = E[x^2] - (E[x])^2 \quad (6)$$

ここで第2項は式(4)の期待値の自乗であるので、第1項、つまり原点回りの2次モーメントを求めよう。

しかしこれを求めるのは、同辺率の場合⁴⁾と同様に、期待値ほど簡単ではない。式(3)を $k=2$ として展開すると、 $y_i y_j, y_i z_j, z_i z_j$ といった項の期待値が出現する。これらの項の期待値は、ペアになったjoinが図3に示すように互いにメッシュを共有する、つまり独立でない場合と、それ以外では異なる。そこで、メッシュを共有するjoinのペアを数え尽くす必要がある。

まず記号を定義しよう。

$N(y \cdot y)$: 内部join 同士のペアのうち内部メッシュを共有するペアの数(図3のAのふたつのパターン)

$N(y \cdot z)$: 内部join と境界join のペアのうち内部メッシュを共有するペアの数(図3のBのふたつのパターン)

図3: メッシュを共有するjoinのペア⁴⁾

$Ni(z \cdot z)$: 境界join 同士のペアのうち内部メッシュを共有するペアの数(図3のCのふたつのパターン)

$No(z \cdot z)$: 境界join 同士のペアのうち外接メッシュを共有するペアの数(図3のDのふたつのパターン)

$\min(a, b)$: a と b のうちの小さい方の値

$$q_\beta = p_\beta / (1 - p_\alpha)$$

$$M(1) = N(z)p_\beta + 2N(y)q_\beta + 2Ni(z \cdot z)p_\beta^2 + 2N(y \cdot z)p_\beta q_\beta + 2N(y \cdot y)q_\beta^2$$

$$M(2) = 2No(z \cdot z)p_\beta + 2(N(y \cdot y) - N(y))q_\beta + (2N(y)N(z) - N(y \cdot z) + N(z)(N(z) - 1) - 2(Ni(z \cdot z) + No(z \cdot z)))p_\beta^2 - 2N(y \cdot z)p_\beta q_\beta + (N(y)(N(y) - 1) - 6N(y \cdot y))q_\beta^2$$

$$M(3) = -2N(y \cdot y)q_\beta - 2(N(y)(N(y) - 1) - N(y \cdot y))q_\beta^2$$

$$M(4) = (N(y)(N(y) - 1) - 2N(y \cdot y))$$

これらを使用することで、式(3)で $k=2$ とした結果を整理すれば、 $E[x^2]$ が次式として得られる。

$$E[x^2] = \sum_{M_\alpha=1}^t \frac{P_\alpha(M_\alpha)}{16M_\alpha^2} \left(\sum_{c=1}^{\min(M_\alpha, 4)} M(c) \frac{M_\alpha!(t-c)!}{(M_\alpha-c)!t!} \right) \quad (7)$$

なお、縦 m メッシュ、横 n メッシュからなる長方形の対象領域では次式が成り立つ⁴⁾。

$$N(y \cdot y) = 6mn - 6(m+n) + 4 \text{ (玉川⁸⁾を参照)}$$

$$N(y \cdot z) = 4$$

$$Ni(z \cdot z) = 6(m+n) - 8, \quad No(z \cdot z) = 0 \quad (8)$$

これらを代入すれば原理的には式(7)が求められる。しかし、この式には式(2)の $P_\alpha(M_\alpha)$ が含まれており、これが二項分布確率を含む。このため、計算時にメッシュ総数 t から任意の個数を選ぶ組み合わせの数の算出が必要となる。 t が大きくなると組み合わせの数が膨れあがるので厳密な計算が困難になる。したがって、別の方法で分散を推定する必要がある。

5.2 モンテカルロシミュレーションによる分散の算出

そこで、検定と同様に、モンテカルロシミュレーションによって分散を求めよう。ランダムな土地利用図を1,000,000回発生させて八王子市明神町(表2)について分散を求めた結果は次表になる。ただしこの表では分散の平方根をとって標準偏差で表示した。

表 4: 八王子市明神町の 1989 年の辺率の標準偏差

区分	標準偏差						
	空地	工業用地	低層住宅	高層住宅	商業業務	道路	公共施設
空	.014	.014	.023	.012	.020	.017	.015
工	.008	.014	.018	.009	.016	.014	.012
低	.005	.007	.013	.006	.010	.009	.008
高	.009	.012	.021	.014	.018	.016	.014
商	.006	.008	.013	.007	.014	.010	.009
道	.007	.009	.015	.007	.013	.014	.010
公	.008	.010	.016	.008	.014	.012	.014

ここで式 (7) を見ると、 $E[x^2]$ は、 p_α については複雑な関数であるが、 q_β が定義より p_β の 1 次式であることに注意すると、 p_β については 2 次式であることがわかる。また、 $(E[x])^2$ は式 (4) より p_β の 2 次式である。以上より分散 σ^2 は p_β の 2 次式になる。そこで、上記のモンテカルロシミュレーションの結果に共通の p_α ごとに p_β の 2 次式を当てはめるところ、次の結果が得られた。なお同辺率は分散の式が異なる⁴⁾ので当てはめから除外した。

図 4: 分散への 2 次式のあてはめ

$$\text{空地} : \sigma^2 = -0.0023p_\beta^2 + 0.0024p_\beta - 1 \times 10^{-06}$$

$$\text{工業用地} : \sigma^2 = -0.0013p_\beta^2 + 0.0014p_\beta + 8 \times 10^{-07}$$

$$\text{低層住宅} : \sigma^2 = -0.0004p_\beta^2 + 0.0006p_\beta + 9 \times 10^{-07}$$

$$\text{高層住宅} : \sigma^2 = -0.0019p_\beta^2 + 0.0019p_\beta - 1 \times 10^{-06}$$

$$\text{商業業務} : \sigma^2 = -0.0006p_\beta^2 + 0.0007p_\beta + 7 \times 10^{-07}$$

$$\text{道路} : \sigma^2 = -0.0009p_\beta^2 + 0.001p_\beta + 1 \times 10^{-07}$$

$$\text{公共施設} : \sigma^2 = -0.0012p_\beta^2 + 0.0012p_\beta - 1 \times 10^{-06}$$

決定係数は、低層住宅が 0.9999 であり、ほかはすべて 1.0 である。この高い決定係数から、モンテカルロシミュレーションから求められた分散の精度は高いと考えられる。また、定数項は分散の値に比べて小さく、ほとんど 0 に等しい。これは、異辺率の定義から、 $p_\beta = 0$ のときは異辺率もかならず 0 となり、結果として分散も 0 となることから納得できる。

5.3 辺率の z 変換

以上で求められた辺率の分散を使って、表 2 の辺率を z 変換した結果、表 5 が得られた。この表によれば、表 2 で帰無仮説が棄却されなかったり、相対的に有意度が低い 5% 有意であったところでは、z 変換

値の絶対値が相対的に小さく、ほぼ 2 程度である。このことから、z 変換値が比較の目安として使用できることがわかる。

しかし、join の場合とちがって、辺率では z 変換値が漸近的にせよ標準正規分布に従うことは未だに証明されていないので、あくまでもこの値は目安と考えるべきである。

表 5: 八王子市明神町の 1989 年の辺率の z 変換値

区分	z 変換値						
	空地	工業用地	低層住宅	高層住宅	商業業務	道路	公共施設
空	35.8	-5.2	-7.0	-2.6	-5.6	-2.1	-5.8
工	-4.6	35.6	-6.2	-3.1	-7.5	-7.7	-8.1
低	-4.6	-4.6	30.2	-5.0	-12.2	-11.8	-10.8
高	-2.3	-3.3	-7.6	24.2	-5.5	5.6	-7.8
商	-4.4	-6.0	-14.2	-4.2	29.4	-2.3	-10.4
道	-2.0	-6.8	-15.2	4.6	-2.3	25.1	-5.6
公	-5.1	-8.1	-15.1	-7.1	-12.3	-6.0	48.7

6 おわりに

この論文では、同辺率²⁾³⁾⁴⁾を拡張して、同種・異種の土地利用の隣接集塊性を分析する指標としての辺率を提案した。また、ランダムな土地利用図における辺率の挙動、特に従来は不明であった異辺率の挙動を解析し、辺率の解釈の方法について論じた。

残された課題としては、辺率の z 変換値のより厳密な解釈の方法や、単純なランダムな土地利用図よりも実際の土地利用図に近いモデル土地利用図での辺率の挙動の解析が挙げられる。

また、吉川⁴⁾で指摘された同辺率のメッシュサイズを変えたときの挙動を含めて、メッシュサイズを変えたときの辺率の挙動もこれからの課題として残っている^{注 1)}。

なお、実際の都市においては、土地利用の間に外部性などの複雑に相互に影響を及ぼし合う関係が存在する。この論文の手法はこれらの複雑な関係は一旦捨象して、土地利用区分相互の隣接関係を計量することを目的とした。したがって、より複雑な相互関係を織り込んだ指標の開発も将来の課題である。

謝辞

この研究に当たって東京都立大学都市研究費共同研究「大都市地域の地域情報と空間システムに関する計画論 (1994~97 年度)」「循環型社会とまちづくりに関する総合的研究 (1998~2001 年度)」の援助を受けた。また本稿の匿名査読者より下記の注を含めて有益な助言を得た。ここに記して謝意を表したい。

注

注 1) 匿名査読者の指摘による。

参考文献

- 1) 吉川徹: メッシュデータを使った同種・異種の土地利用の集塊性の分析手法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, F-1 分冊, pp.667-668, 1997
- 2) 吉川徹: 同一辺数比率に着目したメッシュ土地利用データ分析手法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, F-1 分冊, pp.543-544, 1995
- 3) 吉川徹: メッシュ当たりの同一辺数による土地利用の集塊性の分析手法, 総合都市研究 (東京都立大学都市研究所紀要), 第 56 号, pp.61-71, 1995
- 4) 吉川徹: メッシュデータに立脚した土地利用の集塊性の把握手法について, 日本建築学会計画系論文集, No.495, pp.147-154, 1997
- 5) 小出治: 土地利用混合度の適用並びにその検定, 日本都市計画学会学術研究論文集, 第 12 号, pp.79-84, 1977

- 6) 玉川英則：土地利用の秩序性の数理的表現に関する考察，日本都市計画学会学術研究論文集，第17号，pp.73-78，1982
- 7) Upton, G. and Fingleton, B. : *Spatial Data Analysis by Example*, Vol.1, John Wiley & Sons, p158, 1985
- 8) 玉川英則：都市内における土地利用の秩序性の計量的表現に関する研究，東京大学工学系研究科都市工学専門課程博士論文，1986
- 9) 文泰憲，萩島哲，大貝彰：土地利用混合度指標に関する研究，日本都市計画学会学術研究論文集，第26号，pp.505-510，1991
- 10) 福島徹：GISデータを用いた土地利用評価指標，GIS-理論と応用，第2巻，pp.75-82，1994
- 11) 武内和彦，恒川篤史：環境資源と情報システム，古今書院，pp.121-130，1994
- 12) 奥野隆史：都市と交通の空間分析，pp.5-15，大明堂，1996
- 13) 日本科学技術研究所：望ましい都市規模，形態，分布に関する基礎調査報告書，pp.74-81，1979
- 14) 恒川篤史，李東根，米林聡，井手久登：土地利用混在の定量化手法，環

境情報科学，第20巻第2号，pp.115-120，1991

- 15) 山中知彦，原広司，藤井昭，渡辺健一，小駒幸江：グラフ化による土地利用図の分析，日本都市計画学会学術研究論文集，第16巻，pp.13-18，1981
- 16) 吉川徹，坂内正夫，大沢裕，峯村治実：ベクトル化による土地利用図のデータ化とその定量的分析のための手法に関する一考察，日本不動産学会秋季全国大会梗概集，第2号，pp.31-34，1986
- 17) 関谷忠夫，八重樫直人，伊藤邦明：都市域における植生の「連続性」「塊状性」に関する定量化手法，日本建築学会大会学術講演梗概集，F-1分冊，pp.679-680，1996
- 18) 山崎正晴，伊藤圭，関谷忠夫，野村希晶，伊藤邦明：塊状植生被覆を用いた都市植生の評価手法に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，F-1分冊，pp.655-656，1998
- 19) 建設省国土地理院：数値地図ユーザズガイド（第2版補訂版），（財）日本地図センター，1998
- 20) 青木義次，永井明子，大佛俊泰：遷移確率行列を用いた土地利用分析における誤差評価，日本建築学会計画系論文集，第456号，pp.171-177，1994

(1998年9月24日原稿受理，1998年12月16日採用決定)