東北芸術工科大学 紀要

BULLETIN OF
TOHOKU UNIVERSITY
OF ART AND DESIGN

第26号 2019年3月

人口規模の影響を考慮した人口増減指標の研究
～仙台･山形地域メッシュデータへの適用

Study of Population Growth Indicator without Effect by Population Size

～ Applied to Mesh Data of Sendai – Yamagata Region

古藤 浩 | KOTO Hiroshi

人口規模の影響を考慮した人口増減指標の研究

〜 仙台・山形地域メッシュデータへの適用

Study of Population Growth Indicator without Effect by Population Size
〜 Applied to Mesh Data of Sendai – Yamagata Region

古藤 浩 | KOTO Hiroshi

In this research, we propose indices concerning population increase and decrease which are not influenced by the scale of population, and show examples of analysis by Japanese grid-system data.
In Japan, the era of population decline has come and population analysis is becoming increasingly important issues for local governments.

In this research, we analyze the population increase from the census of 2010 to the census of 2015, with 1/2 regional mesh of the primary section range of 1 / 200,000 topographic map of Sendai as target data.

When examining the population increase and decrease in small areas such as mesh data, various values can be seen from -100% to very big percentage (+ ∞ if originally 0-person mesh) by population increase in 5 years. It is worthwhile to answer the question of which is more likely to occur in the original population and the increase or decrease from there. It is an answer to the question of whether it is more necessary for administrators to develop new infrastructure or expand infrastructure.

In this research, answer to the question as to which of these cases is easy to occur from the population growth number of data at two points of time. It is realized by standardizing excluding the influence of scale. Also, by making use of assumptions in the index setting, it is possible to analyze spatial changes of population change that is normally invisible.

Keywords:
人口変化　人口規模　モランのI統計量　メッシュデータ
population increase and decrease, scale of population,Moran's I, grid-system data

1. 研究の目的

本研究では人口の規模に影響されない人口増減に関する指標を提案し,それによるメッシュデータでの分析例を示す。

本格的な人口減少時代に突入し、人口分布がどうなりつつあるかは自治体などにとってますます重要な問題となっている。

本研究では、仙台20万分の1地勢図の一次区画範囲の1/2地域メッシュを対象データとし、2010年の国勢調査時点から2015年国勢調査時点への人口増加を分析する。

メッシュデータなど小地域での人口増減を調べると、5年間の人口増加で-100%から+数百%（元々が0人のメッシュであるならば+∞）まで様々な値が見られる。人口が数人というメッシュもあるためであるが、例えば人口10人が100人に変化した場合と、1000人が2000人に変化した場合でどちらに注目すべきか、どちらがより発生しうることなのだろうか、といった疑問に本研究は答える。それは行政側に、新たなインフラの整備か、インフラの拡充のどちらがより多く必要となりそうかといった疑問への答えとなるだろう。

この研究では、2時点のデータの人口増加数から、このような場合のどちらがおきやすいことなのかといった疑問に答えを与える。それは、規模の影響をある程度除いた標準化した指標によって提示する。また、指標設定での仮定を活用して、単純には見ることができない人口変化の空間分析を可能とする。

2. 人口増加の指標:局所標準偏差と疑似標準偏差

メッシュでの一期間の人口増加を考える。本研究での計算例では国勢調査の5年間が一期間となる。メッシュiの期初人口をp^i、増加人口をg^i、期末までの人口増加率をr^iとおく。個々の居住者に注目して言えば、平均的に1人がから$(1+r^i)$人になったともいえる。すると、一人あたりの増加人数がr^i人であることから式

$$g_i = \sum_{i=1}^{p_i} r_i$$

が成立する。対象地域全体の平均人口増加率から求められる平均増加率をsとする。平均的な期末人口は期初人口の (1+s)倍なのだから個々の居住者では平均的に1人が(1+s)人になるともいえる。

別の見方をすればメッシュiの人口個々は地域全体よりも$(r_i\text{-}s)$人多く増えたといえる。

メッシュiの人口増加は対象地域全体の人口増加傾向に従っているが、統計的な揺らぎ・偶然・個々個別の事情によって人口増加率r_iが達成されたと考えるとばらつきがあるのは当然である。そこでメッシュiの人口増加から推計される分散σ_i^2を考えれば、メッシュiでは平均的に個々がr_i-s人になったわけなので、

$$\sigma_i^{\,2} = \frac{1}{p_i}\sum_{k=1}^{p_i}(r_i - s)^2 \rightarrow p_i\sigma_i^{\,2} = \sum_{k=1}^{p_i}(r_i - s)^2$$

となる。

一方、メッシュiの増加人口と平均増加数の差の二乗は

$$\begin{aligned}(g_i - p_i s)^2 &= \left(\sum_{k=1}^{p_i}(r_i - s)\right)^2 \\ &= \sum_{k=1}^{p_i}(r_i - s)^2 + 2\sum_{k=1}^{p_i-1}\sum_{m=k+1}^{p_i}(r_k - s)(r_m - s) \\ &= p_i\sigma_i^{\,2} + 2\sum_{k=1}^{p_i-1}\sum_{m=k+1}^{p_i}(r_k - s)(r_m - s)\end{aligned} \tag{1}$$

となる。式(1)の右辺第二項はMoranのI統計量の分子と等価なので、空間的自己相関がなければ右辺の第2項が0になる。また、その値の正負によって空間的自己相関の正負が決まる。

式(1)を変形すると、

$$\frac{(g_i - p_i s)^2}{p_i} = \sigma_i^{\,2} + \frac{2}{p_i}\sum_{k=1}^{p_i-1}\sum_{m=k+1}^{p_i}(r_k - s)(r_m - s) \tag{2}$$

となるので、もしも空間的自己相関が無ければメッシュiの人口増加数から求められる個々の人口増加の標準偏差σiは式(3)になる。

$$\sigma_i = \left| r_i - p_i s \right| / \sqrt{p_i} \tag{3}$$

本研究では、式(3)の値をメッシュiの局所標準偏差σ_i、局所標準偏差の対象全メッシュでの平均を、対象地域の疑似標準偏差σ_pと定義する。すると、個別のメッシュで求めたσ_iとσ_pの差の因子は、式(1)の右辺第二項の値、空間的自己相関量となる。式(3)の値がσ_pよりも大きいほど、式(1)の右辺第二項も大きいので、正の空間的自己相関の存在が推定される。

各メッシュ個人別に式(1)の右辺第二項を計算することはできないので、ムーア近傍8メッシュの値から検証することを考える。それは、9メッシュすべてにデータがあるメッシュについて、自メッシュを含んだ9メッシュそれぞれを一つのデータと考えた場合の式(1)の右辺第二項に相当する値

$$\sum_{k=1}^{8}\sum_{m=k+1}^{9}(r_k - sp_k)(r_m - sp_m) \tag{4}$$

から空間的自己相関の分子を計算して、中央のメッシュの$\sigma_i-\sigma_p$と比較する。すなわち式(4)と$\sigma_i-\sigma_p$の符号が概ね等しければσ_iとσ_pの差は空間的自己相関の反映と判断できよう。なお、人口はメッシュそれぞれの値で同じではないので、個人をベースに考える式(1)の真の傾向とはある程度異なると思われる。

全体平均で引いているので、σiは平均が0になると考えられる。また、σ_iは個人ベースで考察しているので人口規模の影響を受けておらず、その意味で単純な誤差の分布となると考えればσ_pが標準偏差となる正規分布となることが期待できる。そこから、各メッシュの人口増減が地域全体で見たときに特別なレベルかどうかの判定をすることができる。つまり、σ_iから得られる仮想的なz値、

$$\tilde{z}_i = \frac{(\text{符号付き})\sigma_i}{\sigma_p} = \frac{r_i - p_i s}{\sigma_p \sqrt{p_i}} \qquad (5)$$

を考えることができる。ここでの注目点は、単なる人口の増減率または人数ではなく、各メッシュの既存の人口規模に対応して、その増減が確率的に特異なレベルであるかどうかの判定に使えることが特徴である。例えば「はじめに」で書いた“人口10人が100人に変化した場合と、1000人が2000人に変化した場合でどちらに注目すべきか”という問題であるならば、式(5)の分母の人口の平方根によって、前者は3.2、後者は約32となり、同じ人数の増減でのインパクト、確率的な発生の希少性で前者は後者の約10倍あることになる。式(5)の値を**疑似z値**と呼ぶ。

3. 仙台・山形地域での計算結果

本研究では、仙台20万分の1地勢図に対応する一次区画を分析対象とする。この区画は仙台市、山形市を含む区画で、南西の角が長井市、北東の角が大崎市になるような区域である。そして、対象データは2010年と2015年の2分の1メッシュ（500mメッシュ）とする。

対象地域の人口は2010年が225万5039人、2015年が228万1447人で、1.261%の増加が見られる。すなわち、ここでのs=0.01261となる。

対象データで、2時点両方に人口が正値のメッシュは8530、いずれかだけの人口が正値のメッシュは665ある。人口がなくなる・新たに人口が張り付くメッシュがあるだけでなく、年による計数のずれも考えられる。そこで、以下では2時点両方に人口がある8530メッシュを分析対象とする。

疑似標準偏差σ_p=1.996人となった。局所標準偏差σ_iとσ_pの差が正規分布に従って分布すると考えれば、1人に対し±2人程度の5年間での変化が7割ほど(注1)の確率で見込まれることになる。

メッシュ人口と局所標準偏差（式(3)）の関係は図1に示される。縦軸の値2付近の横線は、疑似標準偏差の水準、灰色の波線は、人口が少ない順で100データでの局所標準偏差の移動平均値である。すると、移動平均値が大きいのはメッシュ人口が500人前後と2500人以上の場合、逆に疑似標準偏差を下回って小さいのはメッシュ人口が大変少ない場合とわかる。

つまり、メッシュ人口が500人前後と2500人以上の場合は空間的自己相関が正であり、メッシュ人口が大変少ない場合は空間的自己相関が負であると推計される。

メッシュ人口と人口増加率の関係は図2のようになり、人口1000人未満では減少傾向のメッシュが比較的多く、2000人以上では増加傾向のメッシュが多い。図1、図2を併せて考えれば、メッシュ人口が500人前後ではどちらかといえば一体となって人口が減る傾向にあり、2500人以上の場合は正に相関して人口が増える傾向、人口が大変少ない場合や1500人前後のメッシュでは、減ると増えるが共存して起きることが多いと推定される。

疑似z値を調べ、その度数分布を調べたのが図3である。−3未満、3以上といった極端な値が目立ち、正規分布とは裾野が異なる分布となったが、-2～2の間に92%のデータが入り、-1～1の間に69%のデータが入っているので、中央部では正規分布に近い分布となっていると思われる。

本研究での目的である人口増減のおきやすさは疑似z値から評価できる。疑似z値が同じ人口増減は同じくらいおきやすいことになる。例えば疑似z値が1（増加が多い順で16%）と-1（減少が激しい順で16%）の増減は元の人口との関係で表1のように示される。なお、推計人口が負になる場合は0人とした。例えば10人が16人以上になるのと、1000人が1076人以上になるのは同じくらいの頻度で発生するということができる。

疑似z値をメッシュ地図にプロットしたのが図5である。地図の範囲を示すため図4に対象地域の略図を示す。図5で赤は疑似z値が3を超えるメッシュ、青が−3未満のメッシュである。仙台市中心部、泉区、仙台市愛子、大崎市中心部や山形県の村山盆地北部で正の値が見られる一方、仙台市の海岸沿いなどで負の値が見られる。正値はメッシュ内で一体となって人口が増加する傾向、負値は逆に一体となって人口減が推定される。そして、赤色のメッシュは

2010年 人口	疑似z値 1の増加	標準値 （ z= 0）	疑似z値 -1の減少
1	3	1	0
10	16	10	4
100	121	101	81
1000	1076	1013	949

表1　疑似z値と人口増減

開発された住宅地に多く、青は東日本大震災の後、災害危険地域に指定された地区などが該当している。

同じ範囲について、人口増加人数で同じ程度のメッシュが赤や青で塗られるように閾値を決めて図示すると図6になる。図6では元々の人口が多い仙台市域や山形市域が目立ち、青色も沿岸部だけでなく人口が多い大都市周辺部でよく見られる。比較すると、疑似z値による図5では人口規模によらず、相対的に稀といえる変化を示したメッシュが

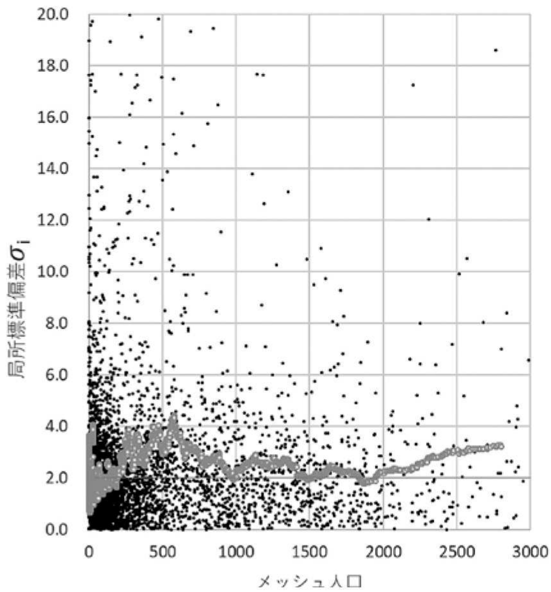

図1　メッシュ人口と局所標準偏差

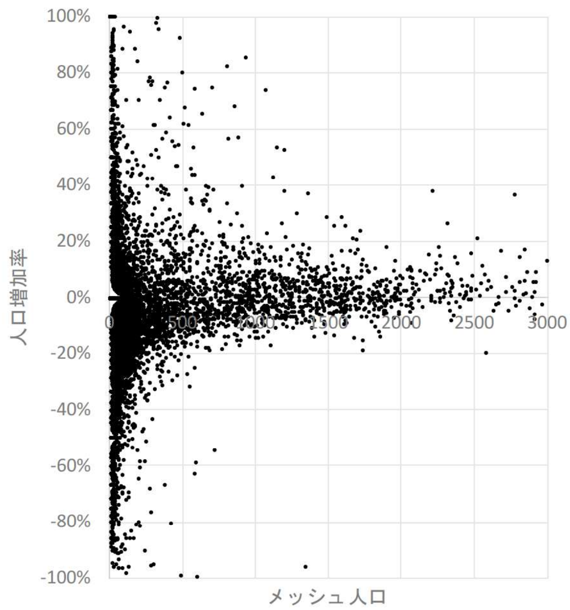

図2　メッシュ人口とメッシュの人口増加率

検出されていることがわかる。

ムーア近傍8メッシュと中央の計9メッシュに空間的自己相関に関連する式(4)の値から、図5で示した推定されるメッシュ内の空間的自己相関が妥当かを検証する。ここでは9メッシュすべてに2010年人口が入っている2429メッシュについて、計算を行った。

結果として式(4)の値は、最大が962万、最小が−39万、

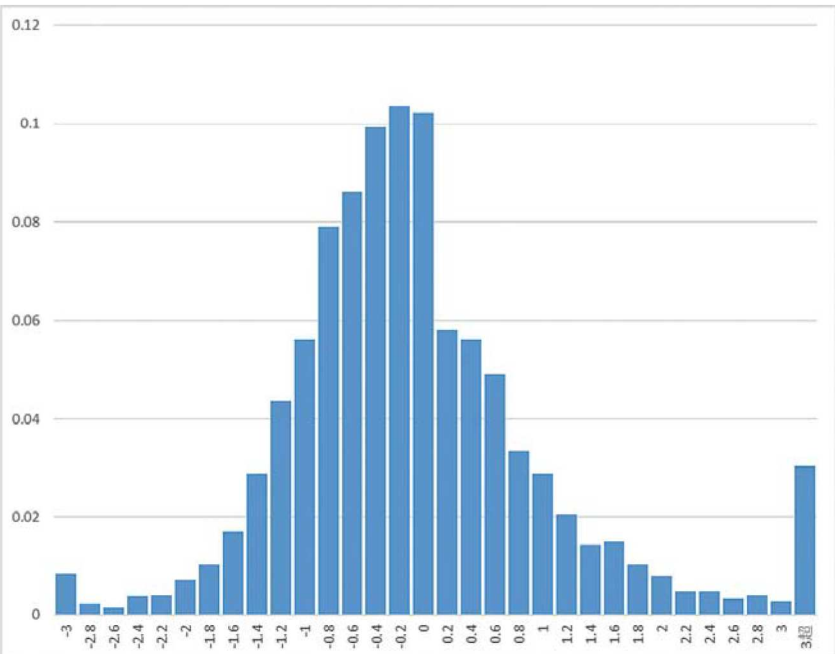

図3　疑似z値の度数分布

図4　対象地域略図（©二宮書店）

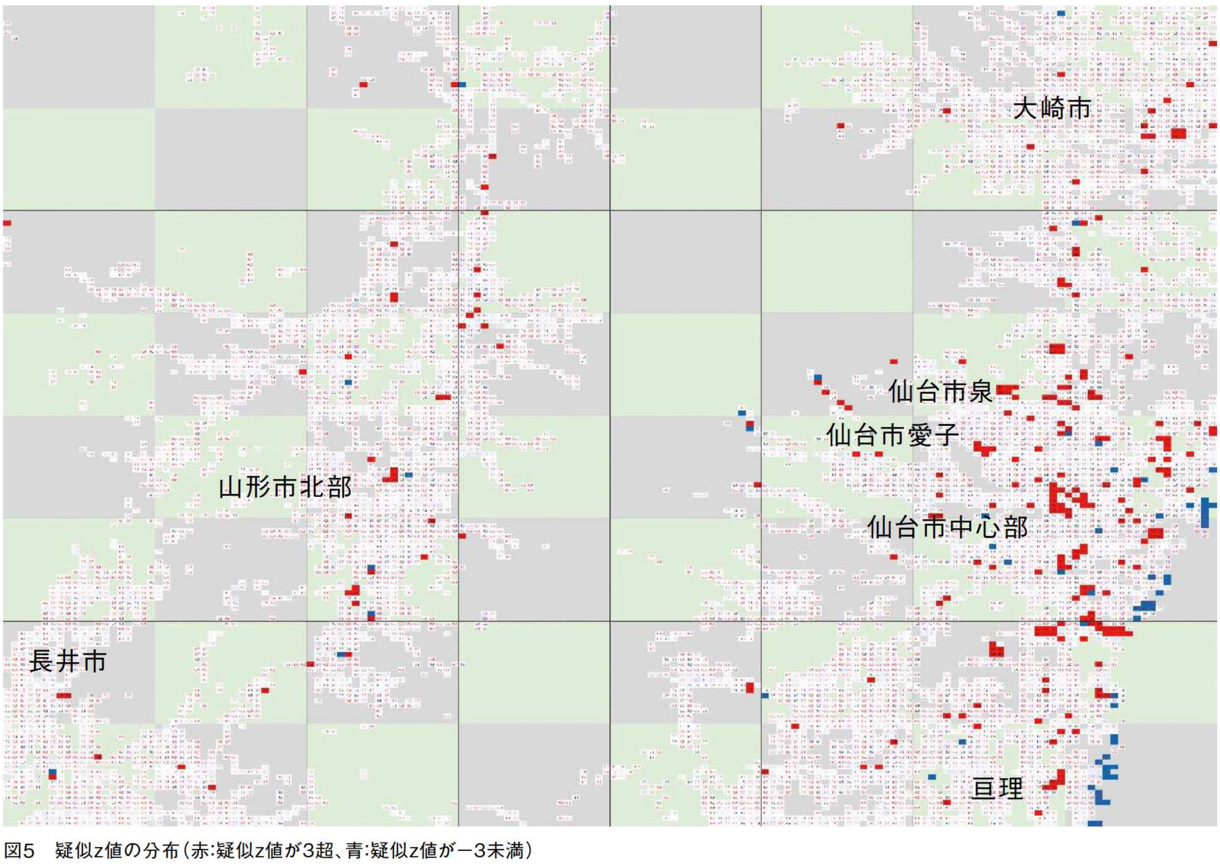

図5　疑似z値の分布（赤:疑似z値が3超、青:疑似z値が－3未満）

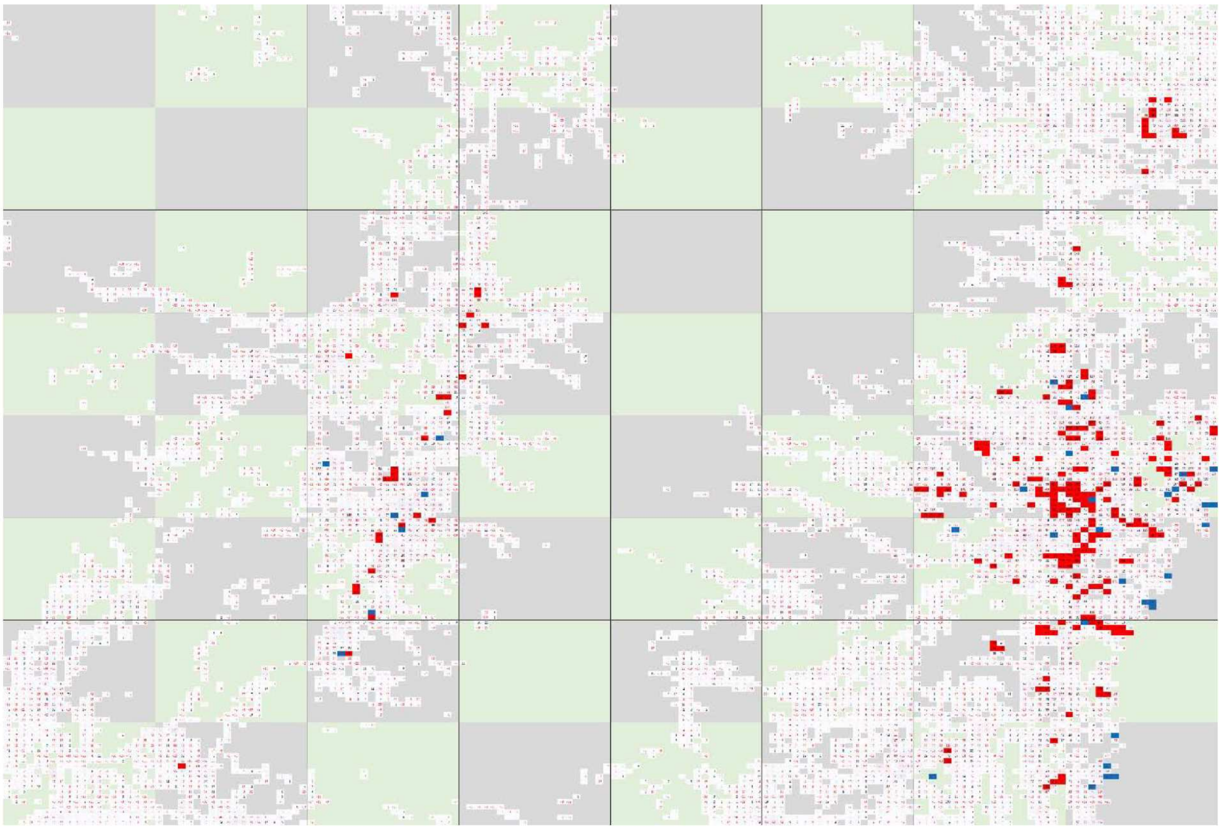

図6　人口増加数による彩色（赤:150人以上の増加、青:150人以上の減少）

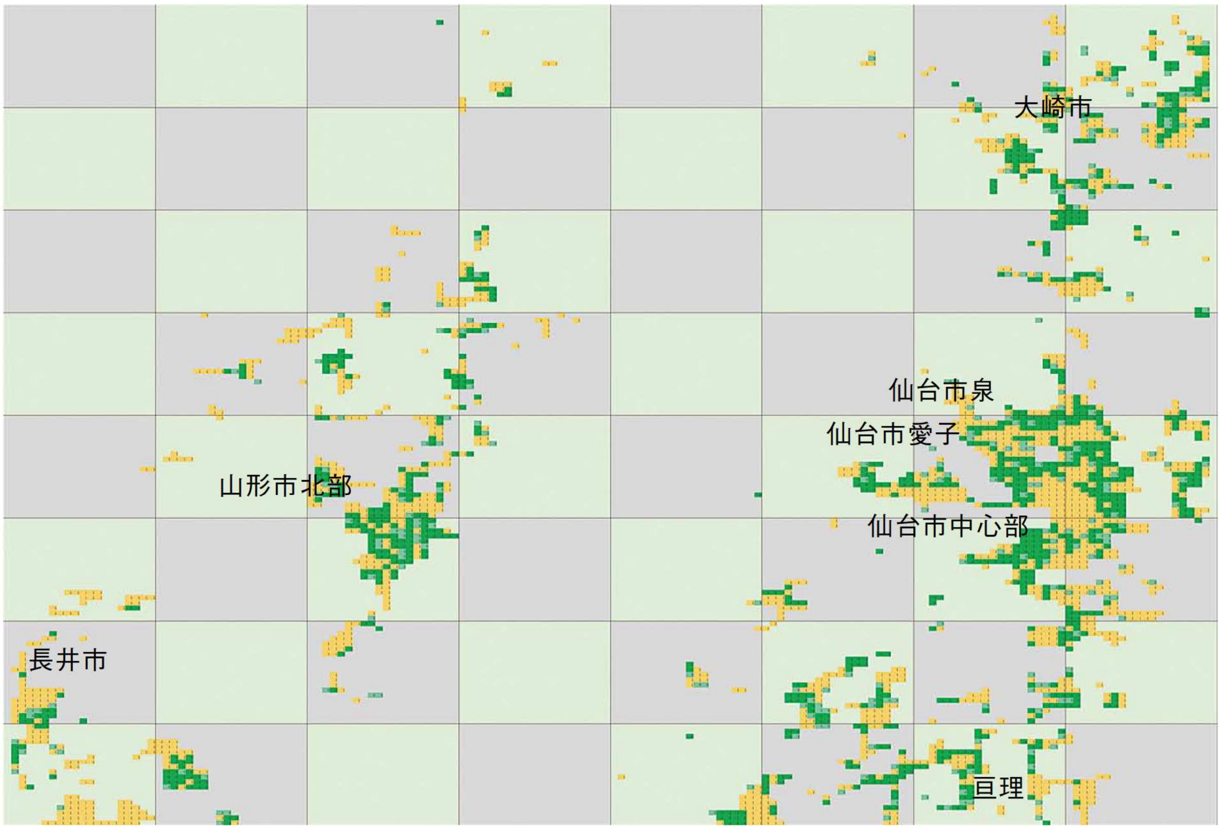

図7　ムーア近傍と中央の9メッシュでの空間的自己相関の正負（正が黄色、負が緑）

平均値が88713、中央値が726となった。最大や最小、平均から考えると中央値はゼロに近い値と考えられよう。984メッシュが正値、1445メッシュが負値となった。符号について地図上に示したのが図7である。図5の傾向とある程度似た傾向となった。式(4)を計算したメッシュに関する中央のメッシュの疑似z値と式(4)の値の相関係数は0.448である。このように、本研究の考え方は一定程度正しく、人口変化に関するメッシュ内の様相まで推定できると思われる。

4. おわりに

本研究の成果は次の2点である。第一は表1に見るような、人口規模に応じてどのような増減がどの程度の確率でおきうるか、その稀少性を測る尺度を提案したこと、第二はそこからメッシュ内での人口の増減の一体性を推計する尺度を得たことである。

疑似標準偏差と局所標準偏差の差の理由は空間的自己相関だけでなく、単なる揺らぎの可能性もある。それゆえ、第2の成果は限定的であるが、それでも可能性として示される考察の材料を提示できることは価値があることだろう。

註

1） 正規分布での$\pm\sigma$のことなのでより正確には68%。ただ、z値の議論で示したとおり相当な誤差を含んでいるように思えるので大まかに七割と記述した。

参考文献

1） 古藤浩(2018) 人口規模に影響されない推計残差の分析. 2018年　日本OR学会春季研究発表会アブストラクト集,pp. 112−113.

2） 古藤浩(2018) 人口規模の影響を考慮した人口増減指標の研究.2018年　日本OR学会秋季研究発表会アブストラクト集,pp.34−35.

3） 貞広ほか(2018)空間解析入門.朝倉書店.

4） 瀬谷・堤(2014)空間統計学.朝倉書店