

メッシュデータを用いた人口減少の将来推定

M2018SS010 佐藤慎也

指導教員：三浦英俊

1 はじめに

現在日本では、少子高齢化などの人口問題が深刻化しており、それに伴い既成市街地における空き家の増加や過疎地域となり、都市機能が低下するなど様々な問題が進行してきている。

日本の総人口は元々増加傾向で、1970年には初めて総人口が1億人を超え、その後も右肩上がりに増えていったが、2010年のおおよそ1億2800万人をピークに減少に転じた [1]。人口減少は大正9年の国勢調査開始以来、初めてのこととなる。今後も日本は人口減少していくと考えられる。

そこで本研究では地球統計学の手法の一つであるクリギング法 [2] を用いて1つの都道府県などではなく、メッシュ単位での将来人口の予測を行い、将来どの地域の人口が減少するのか、またさらに減少していき過疎地域や人口が0人となる地域となりうるのかの把握を行う。クリギング法は距離が近いほど似た値を示す性質を持つ空間データに対して、既知観測データの空間分布に基づいて未知データを予測する手法であるため、周りの人口の変化を考慮しての予測を行うことができると考えた。またクリギング法を用いた論文を読んだ際 [3]、人口予測をテーマに扱っている前例が無く、人口予測の際の新たな手段としてクリギング法を適用することも可能ではないかと考え、本研究ではクリギング法を用いた人口予測を行うこととした。

2 研究方法

2.1 クリギング法

クリギング法とは、距離が近いほど似た値を示す性質をもつ空間データに対して、既知観測データの空間分布に基づいて未知データを予測するものであり、1950年代初頭、南アフリカの鉱山技師 D.G.Krige と統計学者 H.S.Sichel とフランス人技師 G.Matheron らによって「Kriging」と命名された。クリギング法は鉱山学の手法として誕生し、近年では空間分布を取り扱う分野で広く応用されている。

2.2 メッシュとは

メッシュとは地域を緯度、経度ごとに区切った区画のことで、区画単位に整備したデータがメッシュデータとなる。メッシュには1次メッシュから3次メッシュそして、さらに細分化した分割地域メッシュなどがある。

本研究では、5年に1度行われる総務省統計局の国勢調査 [1] より1995年から2015年までの5年ごとの3次メッシュにおける人口データを使用して人口予測を行う。また今回は1995年から2015年の間で人口が0人であった3次メッシュを除き、それ以外の3次メッシュを対象とした。

2.3 記号の説明

クリギング法で使用する式に用いる記号を以下のように定義する。

I : 3次メッシュの集合

K : 年の集合

($k = 1$: 1995年, $k = 2$: 2000年, $k = 3$: 2005年, $k = 4$: 2010年, $k = 5$: 2015年)

$a_{i,k}$: k 年の3次メッシュ i の人口 ($i \in I, k \in K$)

$b_{i,k} = a_{i,k} - a_{i,k-1}$:

k 年の3次メッシュ i と5年前の3次メッシュ i との人口の増減数 ($i \in I, k \in K \setminus \{1\}$)

x_i : 3次メッシュ i の位置 ($i \in I$)

$Z(\mathbf{x}) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n b_{i,k}$:

x の位置における5年後の人口の増減数 ($i \in I$)

クリギング法による3次メッシュ x_0 の5年後の人口の増減数の予測値 $\tilde{Z}(\mathbf{x}_0)$ を求める式は以下のように書ける。

$$\tilde{Z}(\mathbf{x}_0) = \sum_{i=1}^n w_i Z(\mathbf{x}_i) \quad (1)$$

$Z(\mathbf{x}_i)$: 3次メッシュ i の位置における実データによる5年後の人口の増減数

w_i : 3次メッシュ i における重み ($i \in I$)

x_0 : 予測位置

n : 予測に用いる3次メッシュの数

クリギング法の手順としては、始めに各2次メッシュの二次定常性の把握を行う。その結果二次定常性の性質を持つメッシュならば(1)式で使用する重みの値を求め、各3次メッシュの5年後の人口の増減数の予測値 $\tilde{Z}(\mathbf{x}_0)$ を導出する。

本研究では研究対象とする1次メッシュに含まれている2次メッシュごとに二次定常性の把握を行っていき、その2次メッシュに含まれる3次メッシュの5年後の人口の増減数 $Z(\mathbf{x}_i)$ を使って予測を行う。

2.4 研究対象とする1次メッシュ

本研究では図1のメッシュコード5336の1次メッシュを対象に人口予測を行う。この1次メッシュには、愛知県、岐阜県、滋賀県、福井県の4つの県が含まれている。

2.5 二次定常性について

クリギング法は対象とする空間が何らかの定常性を持つことを大前提で行う手法である。そのためクリギング法を用いて予測を行う前に各2次メッシュが定常性の性質を持つかどうかを調べる必要があるため、初めに各2次メ

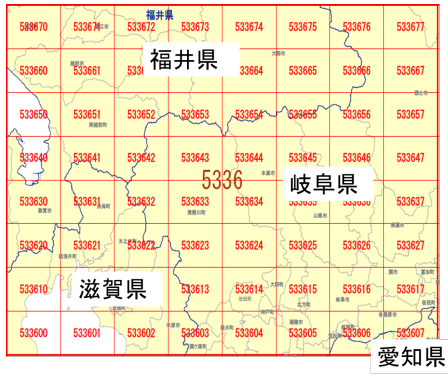


図1 本研究で取り扱う1次メッシュ

シュにおいて二次定常性の性質を持つかどうかを調べる。

定常性とは与えられた k 個の点の組が互いの相対的位置関係を保ったまま他の部分に移動しても特徴が不変となるものであり、次の二つの性質を持つとき、対象とする空間データが二次定常性の性質を持つと言える。

1. 領域の任意の点 \mathbf{x} において $Z(\mathbf{x})$ の平均が存在し、その値は場所に依らずに一定である。
2. 点 \mathbf{x} と点 \mathbf{y} における $Z(\mathbf{x})$ と $Z(\mathbf{y})$ の共分散関数は2点間のベクトル $\mathbf{h} = \mathbf{x} - \mathbf{y}$ のみに依存する。

$$\text{Cov}[Z(\mathbf{x}), Z(\mathbf{y})] = C(\mathbf{x} - \mathbf{y}) = C(\mathbf{h})$$

バリオグラム関数がベクトル \mathbf{h} の大きさ $\|\mathbf{h}\| = r$ だけで決まる時「等方的」と言い、以降本研究では対象地域の人口の増減の二次定常性は等方的であるとして議論を進める。

2.6 二次定常性の把握方法

始めに各2次メッシュが二次定常性の性質を持つかどうかの把握を行う。把握方法としては各2次メッシュごとに、その中に含まれている3次メッシュの5年後の人口の増減数 $Z(\mathbf{x}_i)$ を用いて、すべての3次メッシュのペアについて差の二乗の値を求める。そしてその値をメッシュ間距離の範囲ごとに分け、それぞれの範囲に該当する値を合計し、その範囲における平均値を求める。

またメッシュ間距離は3kmまでを考え、3kmを0.5kmずつに範囲を区切って行う。

d_{ij} : 3次メッシュ i と3次メッシュ j 間の直線距離 ($i, j \in I$)

R : メッシュ間距離の集合

$(r = 1 : 0 < d_{ij} \leq 0.5, r = 2 : 0.5 < d_{ij} \leq 1.0,$

$r = 3 : 1.0 < d_{ij} \leq 1.5, r = 4 : 1.5 < d_{ij} \leq 2.0,$

$r = 5 : 2.0 < d_{ij} \leq 2.5, r = 6 : 2.5 < d_{ij} \leq 3.0)$

v_r : メッシュ間距離 r 内にある3次メッシュの人口の増減数の差の二乗の平均値

$$f_{rij} = \begin{cases} 1 & \text{3次メッシュ } i, j \text{ 間距離が } r \text{ 内である時} \\ 0 & \text{上記以外} \end{cases}$$

$$v_r = \frac{1}{\sum_{i,j \in I} f_{rij}} \sum_{i,j \in I} f_{rij} \times (Z(\mathbf{x}_i) - Z(\mathbf{x}_j))^2 r = (1, \dots, 6)$$

求めた値をもとにグラフを描き、グラフから各2次メッシュが二次定常性の性質を持つのかの判断を行う。

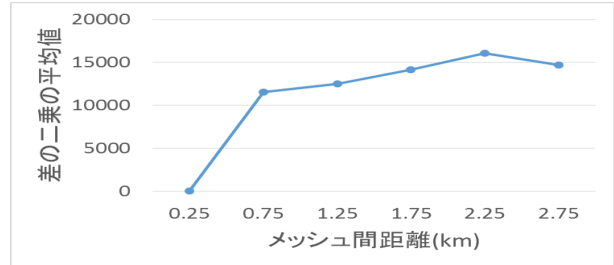


図2 グラフの一例

本来はグラフの形がメッシュ間距離が離れば離れるほど値の差が大きくなっているもの、すなわち右肩上がりのグラフが二次定常性の性質を持つ2次メッシュと判断できるが、本研究では右肩上がりのグラフだけでなく線形近似が傾きがマイナスのもの（線形近似が右肩下がりなもの）、そして切片がマイナスのものを除いたそれ以外のものに関して二次定常性の性質を持つ2次メッシュであると判断した。

このように判断した理由としては、各2次メッシュごとに二次定常性の性質を持つかどうかの確認をした後、通常型クリギング法を用いて、各3次メッシュの重みの値を求める。その際、重みの値は予測するメッシュに近いほど大きくなり、遠くなればなるほど値の大きさは小さくなるが、線形近似の傾きがマイナスのものや切片がマイナスのものに関しては予測するメッシュに近いほど重みの値が小さく、遠くなればなるほど大きくなるという傾向が見られたため、線形近似の傾きや切片がマイナスとなる2次メッシュを除き、それ以外の2次メッシュに関して二次定常性の性質を持つと判断した。

図3において丸に囲まれている53個の2次メッシュが二次定常性の性質を持つものとなる。



図3 二次定常性の性質を持つ2次メッシュ

2.7 通常型クリギング法

クリギング法にはいくつか種類があり、本研究ではその中の通常型クリギング法を使用して重みの値を求め、予測を行う。通常型クリギング法は、最も一般的に幅広く使用されているクリギング手法であり、共通の平均値（もし存在するとして）が未知でも使える手法となる。データ $Z(\mathbf{x}_1), Z(\mathbf{x}_2), \dots, Z(\mathbf{x}_n)$ の線形結合 $\tilde{Z}(\mathbf{x}_0) = w_1 Z(\mathbf{x}_1) + w_2 Z(\mathbf{x}_2) + \dots + w_n Z(\mathbf{x}_n)$ で未観測の位置 \mathbf{x}_0 での値 $Z(\mathbf{x}_0)$ を予測する。重みの係数 w_1, w_2, \dots, w_n は不偏性 $E[\tilde{Z}(\mathbf{x}_0) - Z(\mathbf{x}_0)] = 0$ が成り立つ範囲で平均二乗予測誤差 $E[\tilde{Z}(\mathbf{x}_0) - Z(\mathbf{x}_0)]^2$ が最小となるように決められる。また重み w_i は予測点から近いほど大きくなる。

$$\begin{aligned} \min . & E[\tilde{Z}(\mathbf{x}_0) - Z(\mathbf{x}_0)]^2 \\ \text{s.t. } & \sum_{i=1}^n w_i = 1 \end{aligned}$$

各 3 次メッシュの重みはバリオグラム $\gamma(r)$ を用いて求める。バリオグラムと共分散とは以下の式で関係づけられる

$$\gamma(r) = C(0) - C(r)$$

本研究ではバリオグラム $\gamma(r)$ を求めるために各 2 次メッシュにおいて、線形モデルである以下の式を使用する。

$$\begin{aligned} \gamma(r) &= \alpha r + \beta \\ \alpha, \beta &: \text{パラメータ} \end{aligned}$$

本研究では予測を行う 3 次メッシュからメッシュ間距離が 3km 以内に含まれる 3 次メッシュの 5 年後の人口の増減数 $Z(\mathbf{x}_i)$ を使い、予測を行う 3 次メッシュの 5 年後の人口の増減数の値の予測を行う。

3 予測結果

3.1 予測精度の検証

本研究では通常型クリギング法を用いて、各 3 次メッシュの重みの値を求め、その後各 3 次メッシュにおける 5 年後の人口の増減数の値の予測を行った。

予測精度を検証するために、1995 年から 2010 年までのデータを使い、クリギング法で各 3 次メッシュにおける 5 年後の人口の増減数の値を予測したのちに、2010 年の人口の実データに求めた予測値を加え 2015 年の人口の予測値を求め、2015 年の人口の実データと比較を行った。さらにクリギング法による予測精度を比較するために回帰予測による結果も表示する。

図 4 のグラフがクリギング法での予測による 2015 年の人口の散布図で、図 5 のグラフが回帰予測による 2015 年の人口の散布図となる。これらの散布図はすべての 3 次メッシュ 2568 個の中から人口データが 300 人以下のデータ 1460 個を取り出したものとなる。クリギング法での予測と比べ、回帰予測の方がばらつきが多くみられ、実デー

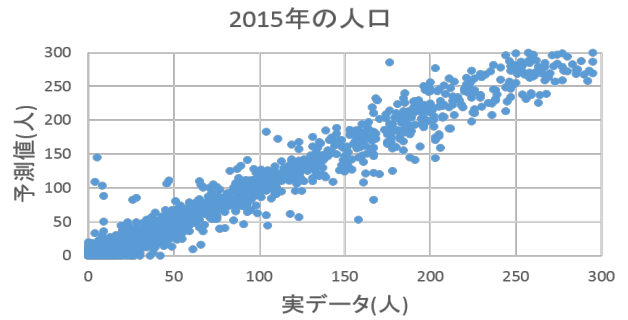


図 4 クリギング法を用いた予測による散布図

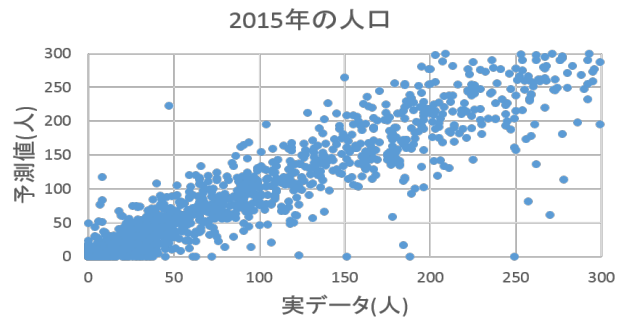


図 5 回帰予測による散布図

タに対して予測値が 0 人となるものもいくつか見られた。決定係数もクリギング法での散布図では 0.925 に対して回帰予測での散布図では 0.7514 となっている。回帰予測は周りをメッシュの人口の増減数の値を考慮せず、自身のメッシュの人口の増減数の値のみで予測を行ったのに対し、クリギング法では周りのメッシュの人口の増減数の値を考慮しての予測となっている。この結果から人口はおおよそ周りの人口の増減の影響を受け、人口が増減する場合も考えられ、予測をする際も周りの値を考慮して行うことも効果的であると言える。

3.2 将来予測の結果

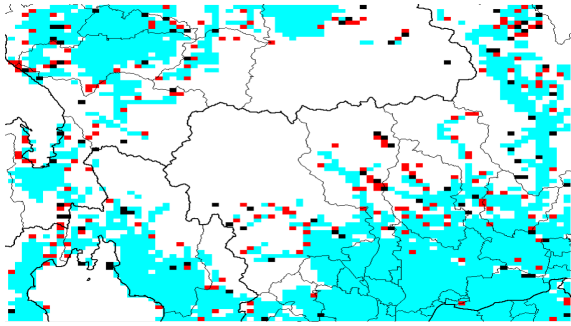
3.1 節の結果をふまえ、1995 年から 2015 年までのデータを使い、クリギング法を用いて、各 3 次メッシュにおける 5 年後の人口の増減数の予測値を求め、2015 年の人口の実データに予測値を足していき将来人口を求める。また本研究では将来予測の方法としては今後 5 年ごとに予測値に比例して人口が増減していくという仮定のもとを行った。

本研究では 2015 年から 25 年後の 2040 年の将来予測を行う。

表 1 人口 0 人メッシュ数

	2015年	2040年
0人メッシュ(個)	94	600
それ以外(個)	2474	1968

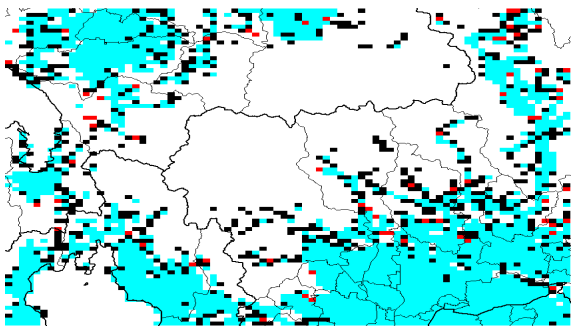
2015 年の段階では人口が 0 人であるメッシュが 94 個であったのに対し、2040 年の将来予測では 600 個となっ



*図中の色分け

黒色：人口が 0 人のメッシュ、赤色：人口が 1~9 人のメッシュ、水色：人口が 10 人以上のメッシュ、白色：1995 年から 2015 年のすべての年で人口が 0 人であるメッシュと二次定常性の性質を持たないメッシュ

図 6 2015 年の人口分布



図中の色分けは図 6 と同様である

図 7 2040 年の将来予測

た。0 人メッシュが占める割合を見ると 2015 年では全体の 3.6% に対して 25 年後の 2040 年では全体の 23% を占めるものとなった。

本研究で取り扱う 1 次メッシュは中心部が山々が連なる地帯となっており、人が住んでいる地域がほとんどないものとなっている。2015 年の段階でも比較的中心部に近いメッシュが 0 人メッシュとなっているが将来予測を行った結果としては中心部の周りから次第に人口 0 人となるメッシュの範囲がさらに拡大していくものとなった。また中心部付近以外でも、山の近くや海沿いのメッシュは将来的に人口が 0 人となる可能性が高くなる傾向が見られた。

3.3 異なる範囲における予測結果

本研究ではクリギング法で予測する際、予測するメッシュから 3km 以内にあるメッシュの値を使用して予測を行ったが、使用するメッシュの範囲を変えるとどのような結果となるのか、いくつかのメッシュを取り上げて見ていく。範囲としては 3km 以外に 2km, 4km, 5km で計算を行った。人口データがある 3 次メッシュの数が異なり、バラバラの場所にある 6 つの 2 次メッシュを対象とした。結果としてはどのメッシュも 5km 以内ならば決定係数を比較した時、単回帰予測よりも高いものとなった。

図 8 が 6 つの 2 次メッシュにおける決定係数の推移とな

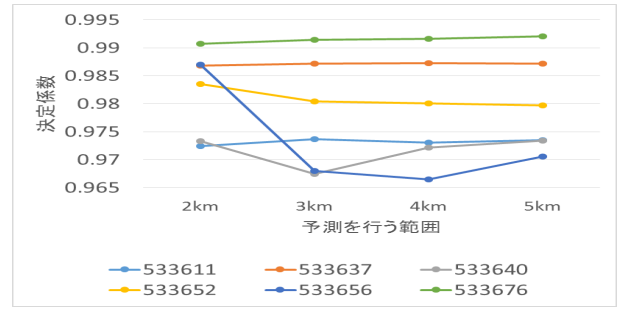


図 8 決定係数の推移

る。決定係数が 2km までの予測が一番高いものもあれば、5km までの予測が一番高いものもあった。またすべてではないが 3km, 4km, 5km においては多少の差があるものの似たような値となった。この結果からメッシュを含める範囲を 2km までにするかしないかで決めるのが良いと言えるが 2km までとすると範囲内にある 3 次メッシュが 0 個となり、予測値を求めることができないものもあつたり、4, 5km まで含めるとメッシュの数が多くなり計算に時間がかかるため本研究で行った 3km までのメッシュを含めるのが妥当であると言える。

4 おわりに

本研究では人口予測を行う手段としてクリギング法を用いて行った。近いメッシュ同士では人口の増減は似たような傾向があり、遠いほどその関係は無くなるという仮定をした上でクリギング法を採用した。クリギング法では二次定常性の性質を持たないメッシュには適応できないが、適応できるメッシュにおいては単回帰予測よりも予測精度が高い結果が得られたため人口予測を行う手段としてクリギング法を採用する価値はあると言えた。今後の課題としては、各 2 次メッシュにおいて二次定常性の性質を持つ基準を定めたがその基準がどの 1 次メッシュを選択しても、適応可能かを調べていきたい。また将来予測は 5 年ごとに予測値に比例して人口が増減するという仮定のもと予測を行っているが、例えば予測値に重みを与え、人口の増減を変化させるなどして 5 年ごとに加える予測値を変えていき、将来予測を行っていければいいと考える。

参考文献

- [1] 総務省統計局：平成 27 年国勢調査結果
<https://www.e-stat.go.jp/gis/statmap-search?type=2>, 2020 年 1 月閲覧
- [2] 間瀬茂：「地球統計学とクリギング法 R と geoR によるデータ解析」, 株式会社 オーム社, 2010 年, 2020 年 1 月閲覧
- [3] 三浦英俊：普遍クリギングを用いた最短旅行時間予測, オペレーションズ・リサーチ, 53(3), 173-178, 2008 年, 2020 年 1 月閲覧