

# RBF ネットワークによる モバイル空間統計のダウンスケーリング

生越 拓実<sup>1</sup>・有村 幹治<sup>2</sup>・浅田 拓海<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 学生会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 環境創生工学系専攻 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)  
E-mail:14041016@mmm.muroran-it.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 暮らし環境系領域 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)  
E-mail:arimura@mmm.muroran-it.ac.jp

<sup>3</sup> 正会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 暮らし環境系領域 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)  
E-mail:asada@mmm.muroran-it.ac.jp

近年、コンパクトシティ政策等の都市施策に関する計画情報の一つとして、マイクロデータの活用が注目されている。本研究では、モバイル空間統計および都市計画基礎調査の 2 つのマイクロデータを統合的に用い、RBF ネットワークにより、分析単位をダウンスケールしながら時間帯別入込人口を推定する方法を開発した。具体的には、3 次メッシュの建物用途別延床面積から対象メッシュの入込人口を算出するモデルを構築し、その学習後のモデルを用いて、4 次、5 次メッシュレベルでの入込人口推定を試みた。その結果、上記のダウンスケールにより推定された入込人口をマップに可視化することで、3 次メッシュでは困難であった詳細な入込人口分布を捉えることが可能となった。

**Key Words:** Compact City, Mobile Spatial Statistics, Basic Survey of City Planning, RBF Network

## 1. はじめに

我が国が抱える問題の一つとして少子高齢化がある。2016 年 3 月では 1 億 2692 万人となっていた人口は今後減少していき、国立社会保障・人口問題研究所 (2014 年 1 月推計) によれば、20 年後の 2036 年には死亡、出生中位仮定において 1 億 1117 万人、40 年後の 2056 年には 9090 万人にまで人口が減少すると予測されている<sup>1)</sup>。このような社会・経済情勢変化に応じた持続可能な都市構造への再構築の方策として、都市の中心部に住宅や公共施設、商業施設など様々な機能を集約し、徒歩や自転車、公共交通で移動しやすい環境を創出しつつ市街地を集約するコンパクトシティ・プラス・ネットワーク施策がある。しかし、コンパクト・プラス・ネットワーク施策の展開を地方都市において検討する際には、例えば、どの種別の都市施設を、どの規模で、どの地区に集約させるべきか、また、その結果どの程度の賑わいを創出できるか等、施設誘導と人の活動量に関する諸課題を検討する必要があるだろう。また、一概にコンパクト・プラス・ネットワーク施策を掲げても、対象となる都市の特性に応じて施策展開の方向性は異なるものと考えられる。

一方、近年では、諸都市の状況に応じた計画情

報を得るため、マイクロデータの適用が期待されている<sup>2),3)</sup>。例えば、コンパクト・プラス・ネットワーク政策の立案支援のためにマイクロデータを用いた研究事例として、著者らは、過去の研究において、複数のマイクロデータの統合化による建物用途別メッシュ入込人口の推計を行っている<sup>4)</sup>。この研究では、帯広都市圏を対象として、NTTDocomo<sup>5)</sup>が提供するモバイル空間統計を用いてメッシュ別入込人口を求め、これを目的変数とし、都市計画基礎調査の建物用途別延床面積のメッシュ集計値を説明変数として重回帰分析を行い、3 次 (1km) メッシュ内の建物用途別構成によるメッシュ入込人口の推定した。その結果、入込人口に影響を与える建物用途が明らかになった。しかし、重回帰分析を用いていることから、統計的に有意な一定の建物の説明変数しか採用されず、データ中に存在する他の多くの変数の影響が無視されること、また、データが 3 次メッシュレベルで得られるため、分析結果の空間分解能が低いこと、以上の 2 つが課題となっていた。

そこで、本研究では、全 31 種類ある建物用途別変数を活用するため、非線形近似が可能なニューラルネットワークモデルの一種である RBF ネットワークを用いてメッシュごとの対象時間帯の入込人口を推計すること、また、より細かいメッシュ

により空間分解能をダウンスケールし、詳細な入  
 込人口を明瞭に可視化すること、以上の 2 つを目的  
 としてモデルの構築と分析を行った。

本研究の構成は、以下の通りである。第 1 章は、  
 本研究の背景と目的である。第 2 章では、使用した  
 モバイル空間統計と都市計画基礎調査の 2 つの  
 データについて概説する。第 3 章では、ダウンス  
 ケーリングの方法について説明し、その適用結果  
 から本方法の妥当性を検証する。最後に、第 4 章  
 で結論を示す。

## 2. 使用データ

### (1) 帯広圏都市計画基礎調査

都市計画基礎調査は、都市計画区域の現状及び  
 将来の見通しを把握するために、人口や産業、建  
 物など国土交通省令で定められる項目について約  
 5 年ごとに実施される。近年では、調査成果のデ  
 ジタル化が進められ、建物の用途、構造、建築面  
 積、延床面積などの情報が収録されており、都市  
 政策の企画・立案及び都市計画の運用に資するた  
 め、土地利用現況、建物現況、都市施設、市街地  
 整備の状況等についてデータベースの積極的に進  
 められている<sup>9)</sup>。本研究で用いる平成 21 年度帯広  
 圏都市計画基礎調査データは、帯広市および隣接  
 する幕別町、音更町、芽室町の 1 市 3 町の市街化  
 区域が対象であり、GIS での可視化、解析のため、  
 建物単位でポリゴンデータとして構築されている。  
 対象地域における建物分布を図-1 に示す。JR 帯  
 広駅を中心に商業系建物が集まり、その周りには  
 住宅系建物が広く分布している。工業系建物は、  
 帯広市の北西部に集まり、それ以外ではほとんど  
 見られない。同じ系統が偏りって分布する傾向に  
 あるものの、その中に他の系統や系統内の多様な  
 建物が混在しており、エリア毎に色合いが異なっ  
 ている。

本研究では、上記のように地域内に混在する建  
 物用途 (31 種) の延床面積から入込人口を推定で  
 できると考え、以下に説明するモバイル空間統計デ  
 ータと同じ 3 次メッシュ (図-1) で集計してデー  
 タセットを作成した。

### (2) モバイル空間統計

モバイル空間統計とは、都市内の人口分布をと  
 らえる新たな手法として近年注目されている統計  
 であり、NTTDocomo の携帯電話ネットワーク運  
 用データを用いて年齢・性別ごとにメッシュ人口  
 を推計したものである。各携帯端末の分布に伴う  
 ため、実際の人口分布の直接的な推計値が求めら  
 れ、さらに、広く利用されている携帯電話ネット  
 ワークの運用データを用いることで対象者および  
 対象地域、対象時間帯を幅広くかつ詳細に扱うこ  
 とができる。本研究では、対象都市である帯広圏

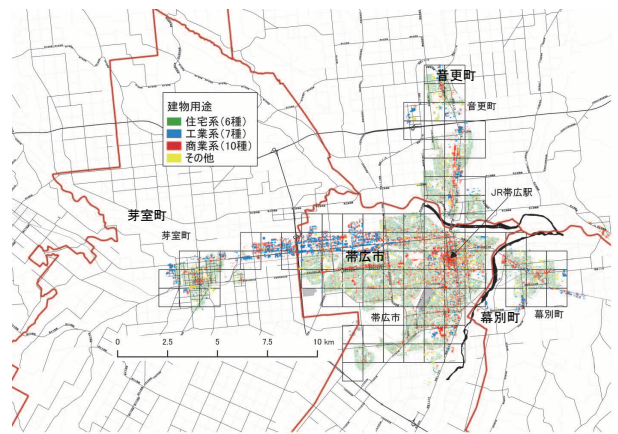


図-1 対象地域における建物分布

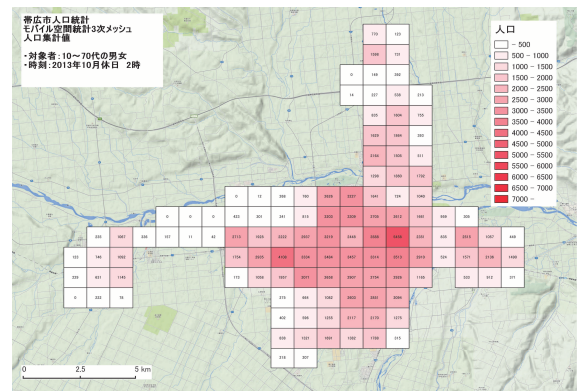


図-2 モバイル空間による人口分布 (休日 2時)

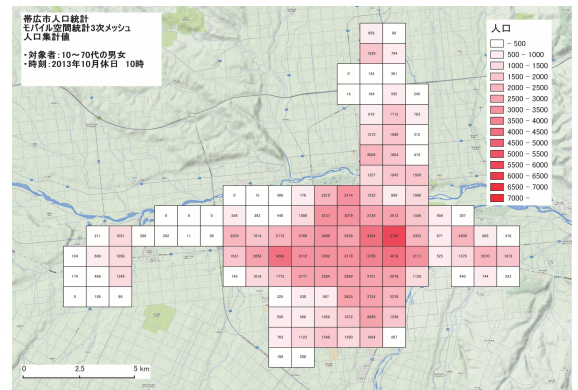


図-3 モバイル空間による人口分布 (休日 10時)

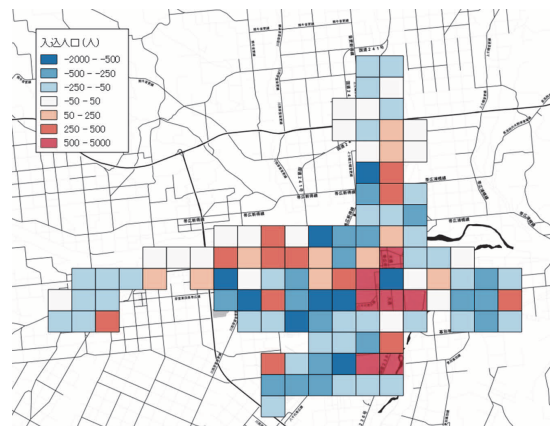


図-4 入込人口の分布 (休日 10時)

都市計画区域の市街化区域を網羅するモバイル空間統計データを用いる。

### 3. RBF ネットワークによるダウンスケーリング

人口の検出日時は、2013 年 10 月 20 日（休日）の 2 時および 10 時の 2 つの時間帯とした。なお、この人口データは 3 次（1km×1km）メッシュレベルで集計されている。

対象時間帯における人口分布を図-2、図-3 に示す。両時間帯ともに、商業系建物が多いたエリアに人口が多く、特に、JR 帯広駅周辺で多いことがわかる。2 時と 10 時を比較すると、全体的には大きな違いはないが、10 時になると、商業系エリアでは人口の増加する箇所が見られるが、それ以外の住宅系建物が多いたエリアなどでは大きく減少するケースが多い。

上記のような人の移動を把握するために、分析対象時点における「入込人口」を求めた。具体的には、午前 2 時の人口を夜間人口とし、午前 10 時の人口との差分をその時点の入込人口とした。10 時における入込人口の分布を図-4 に示す。可視化したことで上述した商業系地域での人口増加等の特徴を含め、人の移動を明瞭に視認することができる。

本研究では、メッシュサイズをダウンスケールさせながら、都市計画基礎調査データの建物用途別延床面積から入込人口を推定する方法について検討した。推定モデルとしては、非線形モデルであり、汎化性能が高いと言われる RBF ネットワークを採用した。

#### (1) RBF ネットワークの概要

RBF ネットワークは、有限個の入出力データを補完する方法として提案されたニューラルネットワークの一つであり、入力層、中間層、出力層の 3 層から構成され、中間層にあたる複数の RBF（放射基底関数）に重みをもたせ足し合わせることににより、任意の非線形関数の近似が可能である。さらに、最小二乗法によって任意の非線形関数の最良近似法を導くことができるという特徴がある。

なお、入出力層に対応する数値  $n$  は  $0 < n < 1$  の範囲に収める必要があるため、学習時には、入力層、出力層毎に、それらの平均値、標準偏差、最大値、最小値を用いて数値変換を行った。学習後のモデル適用（テスト）によって得られる出力値については、学習時における出力層の上記 4 つのパラメータを用いて、人口値に逆変換する必要がある。

#### (2) モデルのハイパーパラメータの設定

本研究では、教師データとして 3 次メッシュの

表-1 交差検証の結果

相関係数		繰り返し回数		
		500回	1000回	1500回
中間層パターン	60:36	0.46	0.48	0.49
	90:54	0.46	0.48	0.53
	120:72	0.45	0.5	0.53

入込人口（休日 10 時）が用意されている（図-2）。そこで、まずは、3 次メッシュレベルで、建物用途別延床面積を入力層に、入込人口を出力層にセットし、モデルの設定を行う。

通常、RBF ネットワークを含む機械学習では、中間層パターンや学習の繰り返し回数等、ハイパーパラメータをチューニングする必要がある。これらの組み合わせによって、得られる精度が異なるため、最適な組み合わせを調べる必要がある。そこで、交差検証により、各組み合わせにおける精度を算出し、最も精度の高い中間層パターンおよび学習の繰り返し回数を決定した。

交差検証では、分析に用いる 110 メッシュをランダムに A と B の 2 つに等分し、学習用とテスト用のデータを作成する。まず、データ A を用いてモデルの学習を行ない、そのモデルをデータ B に適用して精度を算出する。次に、A と B を入れ替えて、同様に精度を算出し、得られた 2 つの精度の平均値を当該ハイパーパラメータによる精度とする。

中間層パターンについては、著者らの過去の研究を参考に、2 層構造として、ユニット数の組合せを 60:36、90:54、120:72 の 3 パターンとした。また、繰り返し回数については、500 回、1000 回、1500 回の 3 パターンとした。以上の 3×3 の計 9 パターンの組み合わせで交差検証を行った。精度に関しては、入込人口の観測値とモデルによる推定値との相関係数によって評価した。

ハイパーパラメータの各組合せにおける精度を表-1 に示す。この内、中間層パターンが 90:54、繰り返し回数が 1500 回の場合に最も精度が高くなった。したがって、以下の分析では、このハイパーパラメータをモデルに用いた。

#### (3) ダウンスケーリングによる入込人口推定

上記のモデルを、3 次から 4 次、5 次へと細分化したメッシュの建物用途別延床面積に適用することで、各メッシュレベルにおける入込人口を推定する方法について検討する。

まず、前節で得られたハイパーパラメータを、用いて、全 110 メッシュの建物用途別延床面積と各メッシュ入込人口に適用し、学習を行うことで、モデルを構築した。このモデルを以下の各メッシュレベルで適用し、入込人口の空間分解能を高め



るダウンスケーリングを行い、その精度について検証する。上記のプロセスを図-5 に示す。

3 次メッシュについては、建物用途別延床面積を入力すれば、各メッシュの時間帯別入込人口が推定され、観測値と推定値を直接、比較することで精度を確認できる。しかし、4 次以上のメッシュレベルでは、観測データがないため、比較ができない。そこで、図-5 に示したように、例えば、4 次メッシュレベルでは、当該メッシュで集計した建物用途別延床面積をモデルに入力すると、対応するメッシュの入込人口が算出される。精度検証のためには、その入込人口を観測値が得られている 3 次メッシュレベルで集計し、その値と観測値を比較する。各メッシュレベルにおける観測値と推定値の関係を図-6 に示す。

3 次では、推計値と観測値の関係は、ばらつきがあるものの、1 対 1 の関係を示し、相関係数は 0.78 と高い精度が得られたが、ダウンスケールするほど、精度は低下した。6 次においては、相関はほぼないが、4 次、5 次については、相関係数がそれぞれ 0.66、0.44 と若干小さいものの、1 対 1 の関係は保持されている。したがって、今後、精度の向上が課題となるが、以下では、5 次までのモデルを採用し、その適用結果について示す。

まず、3 次メッシュレベルで推定された入込人口の空間的分布を図-7 に示す。3 次においては、上述のように、高い精度が得られていることから、図-4 に示した観測データと同様な分布となるが、入込人口の絶対値が観測値よりも小さくなる箇所も見られる。次に、4 次メッシュでの入込人口推定値を図-8 に示す。4 次メッシュは、3 次メッシュを 4 等分したサイズである (500m メッシュ)。3 次メッシュにおける入込人口に対して、その中でも、さらに、細かく区分し、増加する箇所や減少する箇所が現れていることがわかる。

5 次メッシュでは、さらに 4 等分されたサイズ (250mメッシュ) での入込人口推定値となり、図-9 に示すように、3 次メッシュよりも詳細に入込人口の増減を把握することが可能となる。

本研究では、休日 10 時を対象としており、4 次、5 次レベルでの入込人口を推定した。その結果 (図-8、図-9) を見ると、商業系地域においては、入込人口の増加は、3 次では大きく増加となる箇所でも、ダウンスケールすると人口が等分され増加が平均化される箇所と、偏りが生じ増加が顕著に現れる箇所に分かれた。後者については、JR 帯広駅の近辺や、それ以外の郊外の大型商業施設などがある箇所であり、休日朝 10 時に人が集まる箇所が高い分解能で把握できる。

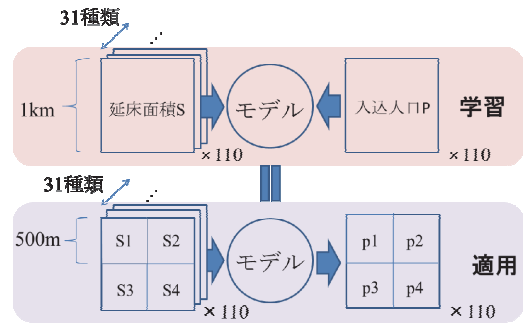


図-5 ダウンスケーリング方法

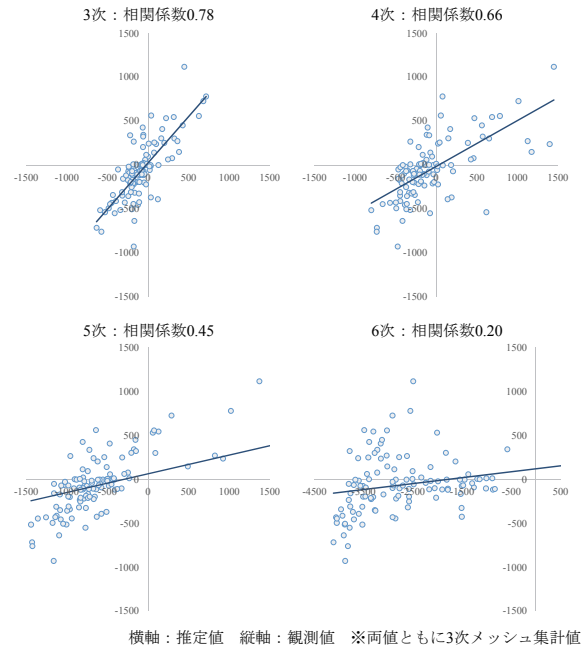


図-6 入込人口の観測値との推定値の関係

#### 4. 結論

本研究では、都市計画基礎調査とモバイル空間統計の2つのマイクロデータにRBFネットワークを適用して、メッシュサイズを細分化しながら、建物用途別(31種)延床面積から対象時間帯の入込人口を推定する方法を開発した。さらに、本方法を用いて、帯広都市圏を対象に、メッシュサイズ毎の入込人口分布を可視化し、その結果をもとに本方法の妥当性について検討した。得られた結論を以下に示す。

- 3 次メッシュから 4、5 次メッシュにダウンスケールすることにより詳細な入込人口の増減を可視化することを明かした。
- RBF ネットワークを用いたことで、ダウンスケール後の分割されたメッシュにおいても建物用途ごとの特徴を把握することを明かした。
- ダウンスケールする度に用いるデータ量が単純に増えていくため、RBF ネットワークの学習が収束されず、精度が低下する。



図-7 3次メッシュでの入込人口推計値



図-8 4次メッシュでの入込人口推計値

本研究では、ハイパーパラメータの設定段階で繰り返し回数を 500, 1000, 1500 回, 中間層パターンを 60:36, 90:54, 120:72 としたが, 今後は, より多くの組み合わせでハイパーパラメータのチューニングを行ない, 精度向上を検討する. また, 6次, 7次とメッシュをダウンスケールするだけでなく, 建物のポリゴンレベルで入込人口を推定する方法について検討する.

#### 参考文献

- 1) 国立社会保障・人口問題研究所：  
<http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/Mainmenu.asp>  
(2015年4月12日閲覧)
- 2) 金崎智也, 北詰恵一: マイクロシミュレーションによる都市居住誘導政策評価, 土木計画学研究・講演集, Vol.51, CD-ROM, 2015.
- 3) 菊池浩紀, EMBERGER Guenter, 福田敦, 石坂哲宏: 交通・土地利用モデルによる都市コンパクト化政策の評価 —新潟都市圏を例として—, 土木計画学研究・講演集, Vol.51, CD-ROM, 2015.
- 4) 有村幹治, 鎌田周, 浅田拓海: モバイル空間統計を用いた帯広都市圏メッシュ人口の推計, 土木計画学研究・講演集, Vol.51, CD-ROM, 2015.
- 5) NTTDocomo のモバイル空間統計に関する情報：  
[http://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile\\_spatial\\_statistics](http://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile_spatial_statistics) (2015年4月12日閲覧)
- 6) 国土交通省都市局都市計画課都市計画調査室-都市計画基礎調査データ分析例-：  
<https://www.mlit.go.jp/toshi/tosiko/kisotyousa99.html>  
(2015年4月12日閲覧)

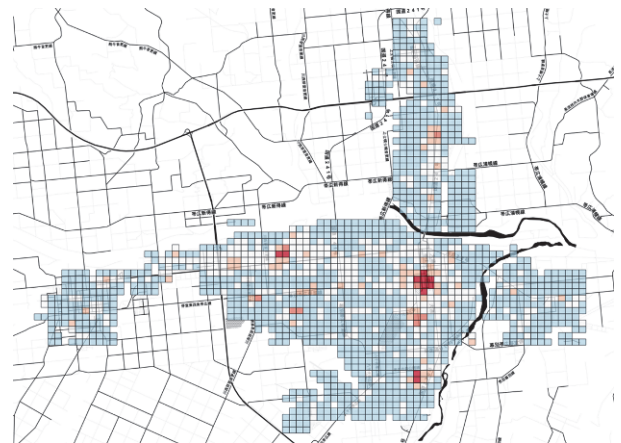


図-9 5次メッシュでの入込人口推計値