

## 社会・産業の発展を支える「モバイル空間統計」 —モバイルネットワークの統計情報に基づく人口推計技術とその活用—

# モバイル空間統計の信頼性評価

モバイル空間統計が防災計画や都市計画など各種計画立案の基礎情報として有用な人口統計であるためには、あるエリアにいる実際の人口（現在人口）をモバイル空間統計が正しく推計していることが必要である。本稿では、モバイル空間統計が現在人口を正しく推計できる性能のことをモバイル空間統計の信頼性と定義し、モバイル空間統計の推計人口と現在人口のずれを測定することでモバイル空間統計の信頼性を評価する。この信頼性は人口推計の対象となるエリアの地理的な細かさ（空間解像度）によって大きく変動するという特徴がある。そこで本稿では、モバイル空間統計の信頼性を空間解像度ごとに評価し、モバイル空間統計の信頼性が確保できる空間解像度についても明らかにする。

## 1. まえがき

モバイル空間統計は、携帯電話ネットワークの運用データに基づいて、日本全国の各エリアにいる実際の人口（以下、現在人口）を推計する新しい人口統計である。モバイル空間統計の信頼性とは、モバイル空間統計が現在人口を正しく推計できる性能のことであり、この信頼性には携帯電話ネットワークの特性に起因するさまざまな理由により制約がある。

例えば、モバイル空間統計がどの

くらいの地理的な細かさ（以下、空間解像度）で正しく現在人口を推計できるかは、モバイル空間統計の作成の基となる運用データを得るために必要な基地局がどのように配置されているかに強く依存する。基地局の配置状況はサービス提供をする地域の人口密度などによって異なるため、基地局の配置が疎な地域と密な地域では、モバイル空間統計の信頼性は大きく異なる。

そこで本稿では、モバイル空間統計の信頼性評価を空間解像度に着目して評価する。この評価を通じてモ

バイル空間統計の信頼性、ならびに信頼性を確保可能な空間解像度を明らかにする。なお、典型的な空間解像度には標準地域メッシュ（1kmメッシュや500mメッシュなど）や行政界（都道府県や市区町村）などがある。

モバイル空間統計の信頼性評価を空間解像度に着目して実施するためには、空間解像度の条件を揃えた状態でモバイル空間統計と現在人口のずれを測定する必要がある。そのためには空間解像度ごとの現在人口を表す正解データが必要であり、信頼

先進技術研究所

おおやぶ ゆうき てらだ まさゆき  
大藪 勇輝 寺田 雅之

やまぐち たかやす いわさわ しゅんや  
山口 高康 岩澤 俊弥

はぎわら じゅんいちろうす こいずみ だいすけ  
萩原 淳一郎 小泉 大輔

性評価では深夜帯に限り現在人口の近似値として常住人口<sup>\*1</sup>を表す国勢調査の夜間人口を正解データに用いる。以降、モバイル空間統計の信頼性評価方法やその評価結果、評価結果から得られた知見についてまとめる。

## 2. 評価方法

本評価では、都道府県や市区町村などの行政界単位や、1次メッシュ(およそ80km四方)～4次メッシュ(およそ500m四方)単位など、モバイル空間統計の応用分野<sup>\*2</sup>で用いられるさまざまな空間解像度のモバイル空間統計について、その信頼性の程度を定量的に明らかにする。

### (1) 評価データについて

モバイル空間統計の統計としての信頼性を評価するにあたっては、本来は「正解データ」を準備し、その正解データの値とモバイル空間統計による推計値との「ずれ」について評価・議論する必要がある。ここで、モバイル空間統計における正解データとは、真の現在人口、すなわち、あるモバイル空間統計の推計対象エリアにおいて、推計対象となった時間帯に「実際にそのエリア内にいた人数」が相当する。

しかし、モバイル空間統計は既存の人口統計と異なる新しい種類の人口統計であるため、実際にはモバイル空間統計の信頼性を正確に検証するための正解データを得ることは非常に困難である。例えば、このような正解データを得るための手段としては、人手によるカウンタ

などで計測した実測値を用いることが考えられる。しかし、あるエリア・ある時間帯のモバイル空間統計に対する正解データを得るために、実際にそのエリアで当該時間帯にいる人数を全員分正確に数えることは、たとえそのエリアが(本評価における最小単位である)500mメッシュであったとしても現実的ではない。

そこで、本評価では、モバイル空間統計が推計の対象とする現在人口は、ほとんどの人が帰宅している時間である深夜帯においては常住人口と近い値になることに着目し、正解データの近似値として、信頼性のある常住人口に関する統計情報である2005年国勢調査<sup>\*3</sup>[1]の夜間人口を用いる。また、評価対象とするモバイル空間統計は、事前調査により常住人口と最も近い値をとることがわかった、午前4時台の人口を用いる。なお、モバイル空間統計の推計対象日は2012年2月の平日とした。

国勢調査の夜間人口は、5年に1度実施される国勢調査の結果から作成される人口統計であり、調査日(実施年の10月1日)時点の常住人口を表す。国勢調査は原則として全数調査により作成されており、日本の人口統計として最も信頼性が高いとされる。しかし、モバイル空間統計の信頼性評価のための比較対象データとして用いるにあたっては、同調査による夜間人口が2005年10月1日時点の常住人口であることに留意し、以下の差異を考慮す

る必要がある。

### ① 現在人口と常住人口の差異

ほとんどの人が帰宅する深夜帯においては現在人口と常住人口の値は近いものとなるが、泊まりがけの出張や旅行、深夜残業の人などの存在により、実際には両者には差がある。

### ② 経年変化による差異

2005年国勢調査の実施日から本評価におけるモバイル空間統計の推計対象日までは約6年半経過しており、その間に人口が増減していると考えられる。

### ③ 季節変動による差異

国勢調査は10月1日に行なわれる一方、モバイル空間統計の推計対象月は2月であり、地域によっては季節による人口の変動による影響を受けることもあると考えられる。

したがって、国勢調査の人口を正解データの近似値としてモバイル空間統計の信頼性を定量的に評価するにあたっては、評価の結果として表れる差異は、真の現在人口に対する差異に比較して、より大きなものとしてみえることに留意が必要である。具体的な影響の例については、各評価結果の中で説明する。

### (2) 評価指標について

前述のとおり、本評価では国勢調査による常住人口(以下、国調人口)とモバイル空間統計による深夜帯の現在人口(以下、推計人口)を

\*1 常住人口：「どのエリアにどのくらいの人が住んでいるか」を表す人口。  
\*2 モバイル空間統計の応用分野：ドコモはまちづくり[2]、防災[3]、地域活性化[4]など公共分野におけるモバイル空間統計の活用を研究している。

\*3 2005年国勢調査：2010年にも国勢調査が実施されているが、本稿執筆時点で2010年国勢調査のメッシュ単位人口は未公表のため2005年分を用いる。

比較し、その差異の大きさにより空間解像度の信頼性を評価する。ここで、「差異の大きさ」を定量的に評価するために、指標として「偏差率」を導入する。

偏差率とは、あるエリアに関する2種類の人口（国調人口と推計人口）の関係が、理想的な状態（両者の値が一致する）からどれだけずれているかを表す評価指標である（図1）。すなわち、エリア*i*の国調人口を $s_i$ 、推計人口を $t_i$ とし、それらの平均を $\mu_i$ とする（ $\mu_i = (s_i + t_i) / 2$ ）。エリア*i*の偏差率 $\delta_i$ とは、推計人口 $t_i$ と平均 $\mu_i$ の差（平均偏差）の、 $\mu_i$ に対する比として定義される（ $\delta_i = (t_i - \mu_i) / \mu_i$ ）。ここで、 $\mu_i = (s_i + t_i) / 2$ を代入すると、偏差率 $\delta_i$ は式(1)で表される。

$$\delta_i = \frac{t_i - s_i}{s_i + t_i} \quad (1)$$

直感的な理解としては、図1に示すとおり、偏差率 $\delta_i$ とは座標 $(s_i, t_i)$ から直線 $s_i = t_i$ に対して垂線を下ろしたときに、その垂線の長さの $\beta_i$ 、直線 $s_i = t_i$ と垂線との交点から原点までの距離 $\alpha_i$ の比に相当する。

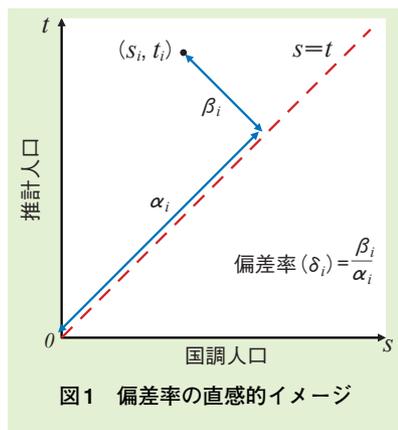


図1 偏差率の直感的イメージ

定義式からわかるように偏差率 $\delta_i$ は-1以上1以下の数値をとり、0に近いほど両者の値に差異が小さく、-1または1に近づくにつれて差異が大きくなることを表わす。また、偏差率が正の場合は推計人口が国調人口に対して過大推計されており、負の場合は逆に過小推計されていることを示す。

### (3) 評価内容について

本評価では、モバイル空間統計による推計人口の信頼性と空間解像度の関係を明らかにするために、以下の観点から分析を行う。

- ①空間解像度ごとの推計人口の信頼性に対する全体傾向の評価
- ②3次・4次メッシュに関する推計人口の信頼性の地理的な傾向の評価
- ③3次・4次メッシュに関する人口密度と推計人口の信頼性との関係の評価

まず、①空間解像度ごとの信頼性に対する全体傾向の評価において、モバイル空間統計の応用分野でよく用いられる以下の空間解像度について、それぞれ偏差率がどのような分布を示すかを評価する。

- ・行政界単位（都道府県単位、市区町村単位）
- ・標準メッシュ単位（1次メッシュ単位～4次メッシュ単位）

なお、1次～4次メッシュ単位は、それぞれ以下の大きさのメッシュ単位である。

- ・1次メッシュ：およそ80km四方
- ・2次メッシュ：およそ10km四方
- ・3次メッシュ：およそ1km四方
- ・4次メッシュ：およそ500m四方

なお、3次メッシュと4次メッシュの評価にあたっては、秘匿処理による影響を排除する観点と、山間地など明らかに3次・4次メッシュでの人口推計が困難なエリアによる影響を排除する観点から、推計人口が500人以上となるメッシュを評価の対象とした。

次に、②3次・4次メッシュに関する地理的な傾向の評価において、上記のうちで細かい空間解像度をもつ単位である3次メッシュ、4次メッシュ単位でのモバイル空間統計の推計人口について、信頼性に関する地理的な傾向を評価する。

最後に、③3次・4次メッシュに関する推計人口と信頼性との関係の評価で、同じく3次・4次メッシュの推計人口を対象として、モバイル空間統計の推計人口がある値をとったときに、それがどの程度の信頼性をもつかを評価する。

## 3. 評価結果

以下、前述の①～③の各評価について、それぞれの評価結果を示す。

### ①空間解像度ごとの推計人口の信頼性に対する全体傾向

2章で述べたそれぞれの空間解像度ごとの推計人口について偏差率を計算した。まず全体的な傾向を把握するために、各空間解像度で偏差率 $\pm 20\%$ 以

下となったエリアの割合、および±10%以下となったエリアの割合を表1に示す。

表1からわかるように、偏差率±20%を基準として見た場合、すべての空間解像度において評価対象エリアの70%以上が基準内となっている。特に、行政界単位（都道府県および市区町村単位）では、島嶼部や過疎地域、および後述の経年変化による影響が著しい一部の市区町村を除き、ほぼすべてのエリアが基準を満たす。

また、都道府県単位では偏差率が±10%以下のエリアの割合も100%であったが、他の空間解像度では、解像度の細かさに応じて割合に落ち込みが見られる。特に3次メッシュ、4次メッシュ単位では、単純な比率だけで言えば半分以上が基準を満たすことができない。これは、1つには基地局の設置間隔がこれらの空間解像度での高精度な推計には不十分な地域が多いことが理由として考えられるが、その一方で前述の国勢調査時点からの経年変化

などの影響についても十分に考慮する必要がある。例えば、埼玉県八潮市の人口は、つくばエクスプレスの新線開通効果などにより2005年から2010年までの間に75,507人から82,971人へと約1割の大幅な増加を示している。その一方、東日本大震災の影響により、一部の被災地では2005年時点に対して人口の大幅な減少があると考えられる。これらの地域では、モバイル空間統計による推計人口が実際の現在人口を正確に反映していたとしても、本評価による偏差率は大きなものになる。

偏差率の大きさと、その偏差率以下となったエリアの割合について、それぞれの空間解像度ごとにグラフで表したもの（x軸を偏差率の絶対値、y軸を累積確率とした、偏差率の絶対値の累積確率分布）を図2に示す。表1における偏差率±20%以下のエリアの割合は、図2において、各空間解像度のグラフと直線 $x=0.2$ の交点の値に相当する。この結果から、市区町

村や1次・2次メッシュは偏差率±20% ( $x=0.2$ ) 付近、3次・4次メッシュは偏差率±30% ( $x=0.3$ ) 付近までエリアの割合が急激に増加するが、それ以降はなだらかに増加していく傾向がわかる。すなわち、偏差率を±30%とした場合、その基準を満たすエリアの割合は、3次メッシュ・4次メッシュを含め、評価対象としたすべての空間解像度で8割以上となることがわかる。

②3次・4次メッシュに関する推計人口の信頼性の地理的な傾向  
次に、細かい空間解像度である3次メッシュと4次メッシュ単位の推計人口に着目し、各エリアの偏差率の地理的な傾向について評価する。

図3(a)は3次メッシュにおける各メッシュの偏差率について、その分布を地図上に東京近郊を中心として可視化したものである。また、図3(b)は同様に4次メッシュについて可視化したものである。

図3(a)を見ると、平野部では一部の例外を除き、ほとんどの

表1 空間解像度ごとの信頼性に対する全体傾向

エリアの単位	エリアの大きさ	対象エリアの総数	偏差率±20%以下のエリアの割合	偏差率±10%以下のエリアの割合
都道府県界	各都道府県の面積	47	100.0%	100.0%
市区町村界	各市区町村の面積	2,337	96.1%	77.1%
1次メッシュ	およそ80km四方	138	92.0%	80.4%
2次メッシュ	およそ10km四方	3,459	81.0%	55.8%
3次メッシュ	およそ1km四方	34,264	70.0%	43.4%
4次メッシュ	およそ500m四方	48,667	71.8%	42.8%

エリアにおいて偏差率が±10%の間の値を取ることがわかる。また、山間部や沿岸部などにおいて、偏差率のばらつきが大きくなる傾向が見てとれる。図3(b)の傾向もほぼ図3(a)と同じではあるが、全体的に図3(a)と比較してばらつきが大きい傾向にある。また、図3(a)ではあまり強く見られなかった、荒川・多摩川などの広い河川敷をもつ河川沿いで偏差率のばらつきが見られる。

また、特徴的な現象として、図3(a)、(b)のいずれにおいても、東京の都心部（千代田区、中央区付近）で偏差率が著しく大きい地域が見られることがわかる。すなわち、国調人口に対し推計人口が大幅に上回る値をとっている。この現象は、主に常住人口と現在人口の定義の違いによる影響と考えられる。

前述のとおり、国勢調査の夜間人口が常住人口を表したものであるのに対して、現在人口の推計値であるモバイル空間統計は、居住しているかいないかにかかわらず、調査の対象時点でそのエリアにいる人口を推計する。千代田区などではドーナツ化現象により常住人口が少なめであるのに対し、オフィスや店舗、ホテルなどの非居住施設が密集しており、定期的に出張者や観光客、深夜労働者などの夜間滞在者が多く存在する。そのため、図3(a)および図3(b)に見られる都心部における偏差率の増加は、これらの状況が反映さ

る。そのため、図3(a)および図3(b)に見られる都心部における偏差率の増加は、これらの状況が反映さ

る。そのため、図3(a)および図3(b)に見られる都心部における偏差率の増加は、これらの状況が反映さ

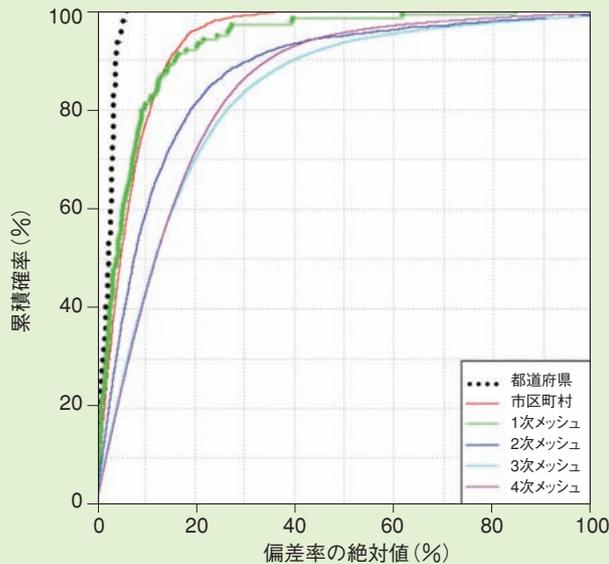
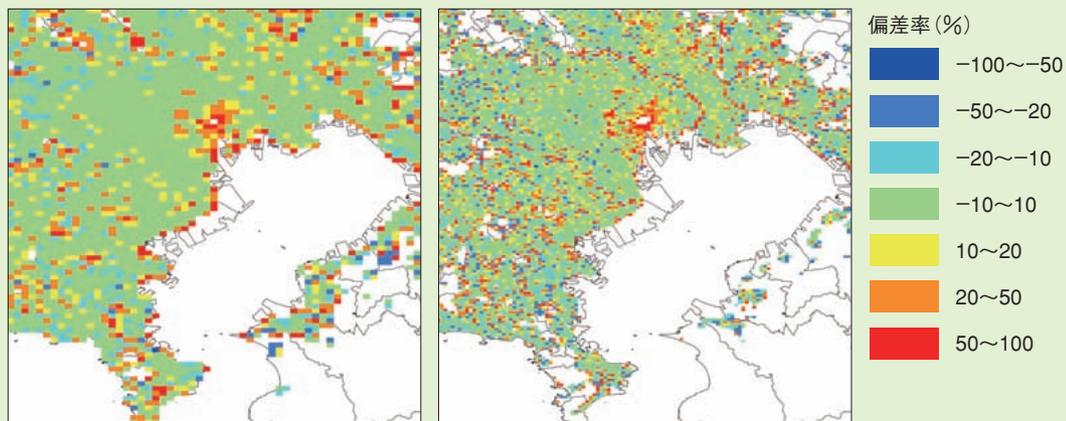


図2 偏差率の絶対値に対するエリアの割合



行政区画図の出典：国土数値情報（行政界H23）国土交通省

行政区画図の出典：国土数値情報（行政界H23）国土交通省

(a) 3次メッシュ

(b) 4次メッシュ

図3 東京近郊の偏差率分布

れた結果であると考えられる。

③3次・4次メッシュに関する人口密度と推計人口の信頼性との関係

最後に、モバイル空間統計による人口密度と推計人口の信頼性との関係の評価する。評価対象は、地理的な傾向の評価と同様に、3次メッシュ・4次メッシュとする。

図4(a)は、横軸にモバイル空間統計による推計人口、縦軸に偏差率をとり、3次メッシュにおける推計人口と偏差率の関係を図示したものである。灰色の各点がそれぞれ1つのメッシュに対応している。また、偏差率の分布に関する両側%分位点を曲線近似した結果を併せて図4に表す。この曲線を見ることで推計人口と偏差率のばらつきを把握できる。図

4(b)は同様に、4次メッシュを対象として図示したものである。

図4を見ると、偏差率の分位点を結んだ曲線が、正領域と負領域ともに人口の増加に伴い、偏差率0に近づくことから、人口の増加に伴って偏差率のばらつきが減少することがわかる。すなわち、推計人口が多い(人口密度が高い)エリアほど、モバイル空間統計はより正確に人口を推計できる。これは、人口が密集している地域ほど、通信負荷の平滑化のために基地局をより多く設置する必要があり、その結果としてモバイル空間統計の空間解像度が向上することを反映している。

また、図4(a)によれば、3次メッシュに関しては推計人口が0人から3,000人程度まで、

各曲線が急速に偏差率0に近づいており、それ以上のエリアでは、8割のエリアがおおよそ偏差率±10%以内になることがわかる。すなわち、例えば人口集中地区\*4において、3次メッシュ単位でのモバイル空間統計は高い信頼性をもつといえる。

その一方、図4(b)によると、4次メッシュにおいては推計人口の増加に対して偏差率のばらつきがなだらかに減少しており、2,000人程度以上のエリアにおいて、8割のエリアがおおよそ偏差率±20%以内となる。人口集中地区と同程度の人口密度4,000人/km<sup>2</sup>は、4次メッシュ(おおよそ500m四方)において人口約1,000人のエリアに相当するため、利用目的にもよるが、4次メッシュでのモバイル空間統計の利用は、人口集中

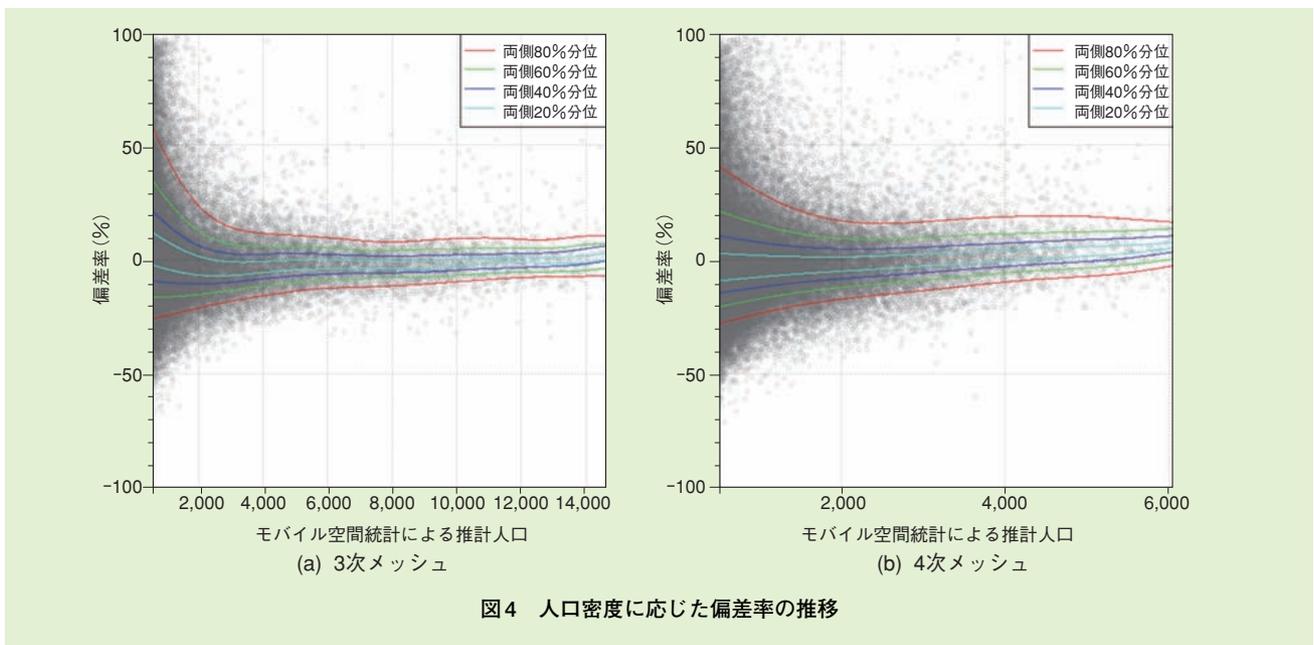


図4 人口密度に応じた偏差率の推移

\*4 人口集中地区：国勢調査において次のように定義される。人口密度4,000人/km<sup>2</sup>以上が隣接しており、それらの地域の人口が5,000人以上を有する地域。

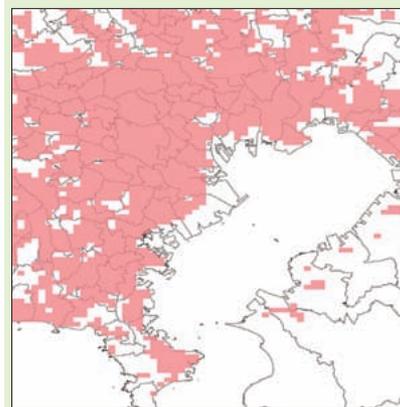
地区より高い人口密度の地域を対象とすることが望ましいと考えられる。

## 4. あとがき

本稿では、モバイル空間統計の信頼性について、空間解像度との関係を中心に評価を行なった。

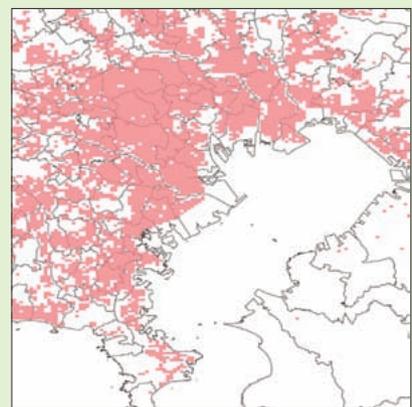
その結果、以下の知見が得られたと考えられる。

- ・モバイル空間統計は、都道府県・市区町村などの行政界単位、また1次メッシュ、2次メッシュなどの大きなメッシュ単位では高い信頼性をもつ。
- ・3次メッシュ、4次メッシュでは、東京近郊の平野部など、ある程度以上に人口が集中している地域では高い信頼性をもつ。ただし、沿岸部や山間部、河川敷周辺など、地形の変化や人口のばらつきが大きい地域では、推計値の扱いに留意が必要となる可能性がある。
- ・特に3次メッシュでは、人口集中地区と定義される地域においては高い信頼性をもつ。3次メッシュにおいて高い信頼性をもつ地域、すなわち人口集中地区は図5(a)に示すとおりである。
- ・4次メッシュも人口が集中している地域ほど高い信頼性をもつ



行政区画図の出典：国土数値情報（行政界H23）国土交通省

(a) 3次メッシュ



行政区画図の出典：国土数値情報（行政界H23）国土交通省

(b) 4次メッシュ

図5 モバイル空間統計が高い信頼性を持つ地域

が、人口集中地区の2倍程度の人口密度をもつ地域を対象とすることが望ましいと考えられる。4次メッシュにおいて高い信頼性をもつ地域、すなわち人口集中地区の2倍程度の人口密度をもつ地域は図5(b)に示すとおりである。

ただし、前述のとおり、2005年国調人口を比較対象として評価を行った関係から、本評価の結果は精度が実際よりも悪く評価されている可能性がある。特に、国勢調査の調査時点から経年変化による影響、および常住人口と現在人口の定義の違いによる影響は強く観察された。今後、これらの影響を除いたより正確な信

頼性の評価方法を検討していくとともに、本評価による知見を活かしてより信頼性が高いモバイル空間の推計方式の検討へと繋げていきたい。

### 文献

- [1] 総務省統計局：“平成17年国勢調査。”  
<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2005/index.htm>
- [2] 小田原, ほか：“モバイル空間統計のまちづくり分野への活用,” 本誌, Vol.20, No.3, pp.30-33, Oct. 2012.
- [3] 鈴木, ほか：“モバイル空間統計の防災計画分野への活用,” 本誌, Vol.20, No.3, pp.34-40, Oct. 2012.
- [4] 永田, ほか：“モバイル空間統計の地域活性化への活用,” 本誌, Vol.20, No.3, pp.41-44, Oct. 2012.