

空間統計データを用いた車両走行推定方式の検証

濱出かほり^{†1} 清原 良三^{†2} 齋藤 正史^{†1}

概要：政令指定都市とは地理的に独立した中核都市において、住民の円滑な移動を確保するための施策を立案するためには移動にかかわる基礎データが必要である。本報告では、5年に一度計測されている多数の地点での交通量である道路交通センサスのデータと携帯電話の利用者の位置情報に基づくメッシュ領域での人数情報を組合せ、任意の日付での交通量を推定する方式の評価・検証結果を報告する。筆者らはこれまでに交通量推定方式の提案を行い、金沢市とその住宅地である野々市市を対象とし、道路交通センサスデータと空間統計データの相関に基づいて回帰式を導出した。導出した回帰式を対象領域全体で評価した結果、 $\pm 20\%$ の誤差を許容すると仮定した場合に、約75%のメッシュにおいて適用可能である回帰式を導出することができた。本報告では、提案方式が他の中核都市において適用可能であることを富山市のデータにより検証した結果を報告する。富山市のデータによる検証により、金沢市・野々市市と同様の仮定をした場合に72%のメッシュにおいて適用可能であることがわかった。また、 t 値による区間推定外のデータも存在する空間統計データの複数日のデータから、該当メッシュの代表値の算出精度の向上のためにブートストラップ法を用いて標本データの性質を反映した代表値を求める評価・検証を行った。生成した代表値を用いて評価・検証を行った結果、中央値を用いた結果が71%のメッシュで適用可能、平均値で72%のメッシュで適用可能と残念ながら改善は見られなかった。本推定方式は、2つの中核都市での検証ではあるものの、中核都市で適用可能であると考えている。今後の更なる精度向上に向けて評価対象拡大も含め研究を継続していく予定である。

キーワード：車両走行推定，トラフィック分析，道路交通センサス，空間統計データ，中核都市，回帰分析

An Evaluation of Vehicle Driving Volume Estimation Method using Spatial Statistics Data

Kahori HAMADE^{†1} Ryoza KIYOHARA^{†2} Masashi SAITO^{†1}

1. はじめに

政令指定都市とは地理的に独立した中核都市において、住民の円滑な移動を確保するための施策を立案するためには移動にかかわる基礎データが必要である。そのような施策の一つとして、中核都市とその周辺の市町村を組合せ、周辺市町村からの通勤・通学による移動を高度化・スマート化するものがある。この際、通勤・通学時間の増加や金銭的負担増加などの痛みを伴わない公共交通を優先可能とする体系とすることが望まれている。

中核都市の多くでは、バス路線と運行本数増加などの施策も実行されているだけでなく、LRTやライドシェアの実現などの検討も進められている。自動運転によるライドシェアなどの技術動向も含めて、中核都市に合致した交通施策を立案するためには、移動に関する基礎データの充実が必要である。

基礎データの充実を図ることができれば、祭事や行事開催における交通量の推定に役立てることが出来るだけでなく、将来の人口減に向けた道路計画での活用も考えられる。

筆者らは、5年に一度計測されている多数の地点での交通量である道路交通センサス^{[1],[2],[3]}のデータと携帯電話の利用者の位置情報に基づくメッシュ領域での人数情報であるモバイル空間統計^{[4]*}を組合せ、任意の日付での交通量を推定する方式を提案した^[5]。提案手法は金沢市とその住宅地である野々市市を対象とし、道路交通センサスデータと空間統計データの相関に基づき回帰式を導出した。導出した回帰式を対象領域全体で評価した結果、 $\pm 20\%$ の誤差を許容すると仮定した場合に、約75%のメッシュにおいて適用可能である回帰式を導出することができた。本報告では、本方式が他の中核都市において適用可能であることを富山市の市街地周辺のデータにより評価・検証した結果を報告する。

2. 関連研究

道路交通センサスは、5年に1度の秋のある平日を年間の平均的な交通データとして扱っている。上坂らは宮城県仙台市の一般国道4号線のある地点において、道路交通セ

^{†1} 金沢工業大学
Kanazawa Institute of Technology
^{†2} 神奈川工科大学
Kanagawa Institute of Technology

* モバイル空間統計®
データ提供元:(株)NTTドコモ、(株)ドコモ・インサイトマーケティング
「モバイル空間統計®」は株式会社NTTドコモの登録商標です。

ンサスと同じ調査年度に常時観測機器を用い 365 日分の交通量を計測し、道路交通センサスにおける交通量と比較をした結果、年間で 6,000 台(+10%)から-27,000 台(-30%)もの差があることを示している^[6]。この結果から 5 年に 1 度の特定日を対象にした道路交通センサスでは必ずしも道路行政ニーズに合致したデータが取得できるとは限らないことが分かる。

橋本らは、全国の直轄国道に設置された常時観測機器を活用して、道路交通センサスで調査された昼間 12 時間の交通量と同じ区間及び観測日の常時観測機器での昼間 12 時間の交通量との比を出し、任意の日での常時観測機器の昼間 12 時間の交通量をかけることを中心に、一般道路を網羅した日々の交通量を算定するアルゴリズムを開発している^[7]。しかしながら、常時観測機器のデータは一般にアクセスできるものではないだけでなく、常時観測機器が設置されていない道路の交通量に関しては、領域全体における平均値を用いて推定おり、算定精度の課題がある。

大藪らはモバイル空間統計が現在人口を正しく推計が行われているかの信頼性評価を行っている^[8]。モバイル空間統計と国勢調査のメッシュ別人口との比較が行われており、都道府県、市区町村などの行政区単位 1, 2 次メッシュ(一辺 80km, 10km)などの大型メッシュの場合では高い信頼性を持っていることを示している。また、3, 4 次メッシュ(1km, 500m)などの小型のメッシュに関しては、東京などのある程度人口が集中している地域だと高い信頼性を持っていることも示している。

筆者らは道路交通センサスのデータと携帯電話の利用者の位置情報に基づくメッシュ領域での人数情報を組合せ、任意の日付での交通量を推定する方式を提案^[5]し、その評価を金沢市と野々市市において行った。±20%の誤差を許容すると仮定した場合に、約 75%のメッシュにおいて適用可能である回帰式を導出した。

3. データマッピング

3.1 道路交通センサスデータの地図表示

富山市は富山県の 30%を占め、都道府県庁所在地の中では 2 番目に広い面積を持っているが約 6 割が林野地である。富山市での評価・検証の準備段階として、地図上に道路交通センサスの調査路線と区間データとモバイル空間統計の調査エリアを対応付けるためには、各データの位置を把握する必要がある。対応付けには、オープンソースの GIS ソフトである QGIS^[9]を利用し、地図データについても OpenStreetMap^[10](以下 OSM と称す)を用いている。

QGIS で表示した地図データに対し、道路交通センサスの箇所別基本表と Google マップ^[11]を参照しながら道路交通センサスの調査路線と調査地点を特定する。図 1 に OSM データに Google マップ地図を合成したものを示す。

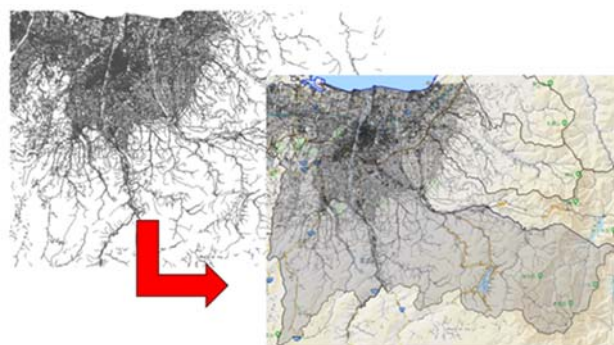


図 1. OSM データと Google マップの合成

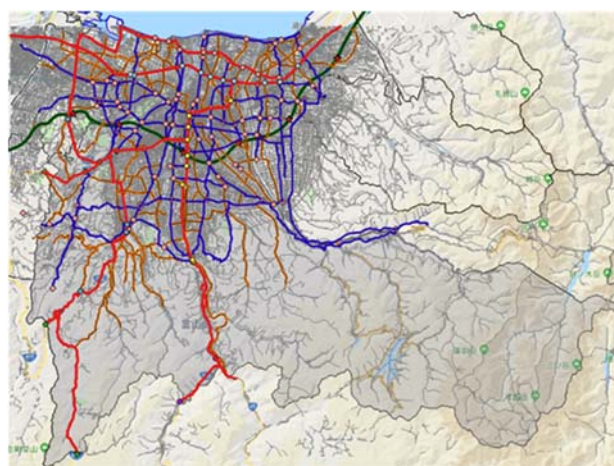


図 2. 富山市における道路交通センサスの調査エリア

高速自動車国道は国土交通省に存在する路線データを参照し、それ以外の路線は調査地点のノードを作成後、ノードを繋ぐためのリンクを作成する^[11]。富山市全域における道路交通センサスの調査エリアを図 2 に示す。林道は道路交通センサスの調査区域外であるため、路線マッピングは行っていない。図 2 より、調査路線が住居区域ならびに繁華街である富山湾付近に集中していることがわかる。

富山市における道路交通センサスの計測地点であるノードは 631 個である。図 2 からわかるように、道路交通センサスのデータは主要地方道までとなっているため、計測されていない道路が多数存在している。

本データを作成するために多大な労力が必要であり、道路交通センサスのデータに緯度経度の位置情報ならびにリンクを示すメタデータが含まれていると活用範囲が広がると考えられる。

3.2 モバイル空間統計データの地図表示

行政区画は人工的に区切られている場合もあるが、山の稜線や河川などにより区切られている。モバイル空間統計のデータが地図上でどの位置となるかについても明確にする必要がある。

中核都市においては、メッシュで区切った人数データ数の絶対量がそれほど大きくないこともあり、入手できた富

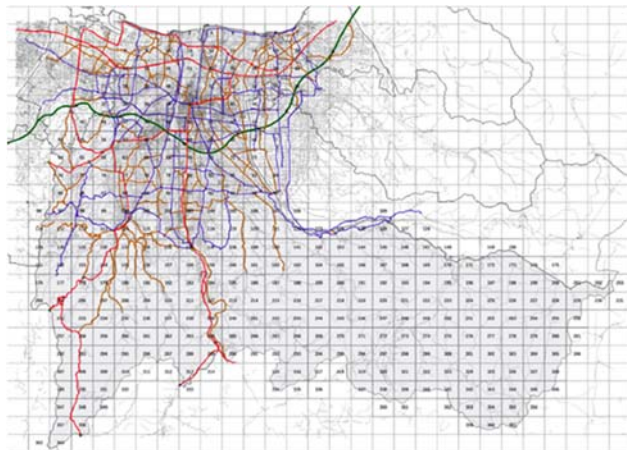


図 3. 富山市のメッシュデータエリア

山市のデータは金沢市同様に 2km 四方のメッシュデータである。その位置を同様に QGIS 上に対応付ける(図 3)。

図 3 で示したメッシュに対し、モバイル空間統計で計測されているエリアに項番を振る。富山市は 363 個のメッシュよりなる。

3.3 都市計画図と両データとの対応

図 3 を元に、富山市の都市計画図^[13]を参考にし、繁華街、住宅街、その他の 3 種のエリアに分類する。図 4 の橙色の領域が繁華街であり、緑色の領域が住宅街である。これらのデータを整理した結果、繁華街が 6 メッシュ、住宅街が 47 メッシュ、その他が 310 メッシュと富山市にはほとんどが林野地であることがわかる。

全部で 363 メッシュあるうちの 171 メッシュに、道路交通センサス対象路線が存在する。しかし、交通センサスの交通量調査区間の指標となる交通調査基本区間の起点と終点データに欠損値がある路線が多く、交通量調査区間を正確に割り出すことができないメッシュが 54 メッシュ存在した。そこで、これらのメッシュを除いた 117 メッシュを対象とし、筆者らが導出した回帰式を評価する。図 4 中の青色の領域が交通センサスデータにおいて位置が確認できたメッシュである。

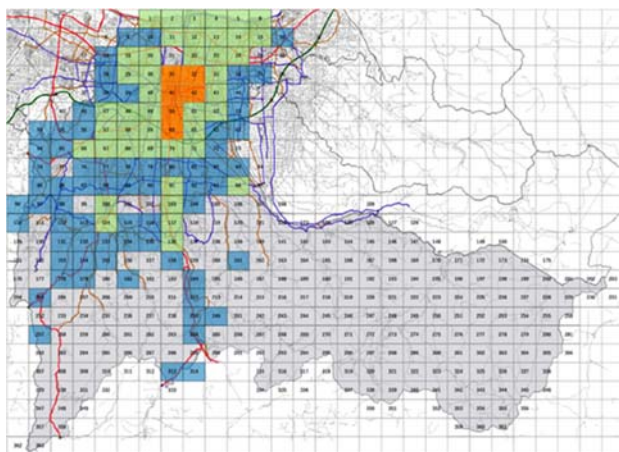


図 4. 都市計画を加味したデータの対応付け

117 メッシュの昼間 12 時間のデータ(1,404 個)に対して、道路交通センサスデータとモバイル空間統計データとの相関から導出する回帰式での計算結果として、80%のメッシュにおいて誤差±20%以内を評価指標として設定している。

4. 相関に基づく回帰式の導出

4.1 メッシュにおけるモバイル空間統計の代表値

道路交通センサスデータとモバイル空間統計データとの相関を調べるために、モバイル空間統計の 1 メッシュに対する時間帯別人口の代表値を決める必要がある。道路交通センサスは秋のある平日に調査が行われているため、9 月から 11 月までの平日のモバイル空間統計データを抽出する。

この条件に合致するモバイル空間統計の保有データは、2015 年 11 月 16 日~20 日と 24 日~25 日の合計 7 日分のデータのみである。この 7 日分のデータを用いて、7 日分の時間帯別人口との誤差が最も小さい代表値を決定する必要がある。

代表値の候補として以下の 4 種のデータフィルタリングを行い、それぞれの平均値、中央値、最大値と最小値の平均値の 3 つの値、合計 12 種類を代表値として取り上げる。

- ① 秋平日全体(7 日分)から求める。(加工を行わない)
- ② 秋平日全体の時間帯別に対して t 値による区間推定(有意水準 5%, 自由度 6)を行い、時間帯別の信頼限界を作成。その範囲内に存在するデータのみを残し、信頼限界外のデータを削除する。
- ③ 秋平日全体の時間帯別に対する平均から標本のデータを引き、各標本の絶対偏差を求める。そこから時間帯別の各標本の絶対偏差の占める割合を出し、30%以上のデータを削除する。(各時間最大 2 つまで削除可能)

これらの 9 種類の累積誤差を表 1 に示す。累積誤差の評価結果は金沢市・野々市市のデータと富山市のデータは類似している。①の中央値、即ちデータ加工をしないデータの中央値が最も小さく、この値を代表値として使用することとした。なお、富山市の累積値は繁華街 2 メッシュ、住宅街 4 メッシュ、その他 5 メッシュの合計値である。

表 1. 代表値候補の累積誤差

	金沢/野々市市	富山市
①-平均値	125,251	110,178
①-中央値	116,639	88,430
①-最大最小平均	150,761	94,424
②-平均値	121,907	95,163
②-中央値	117,698	89,558
②-最大最小平均	127,864	92,058
③-平均値	120,973	92,683
③-中央値	118,324	89,675
③-最大最小平均	124,206	90,997

4.2 メッシュ別道路交通センサスの代表値

道路交通センサスデータは調査日が1日のみであり、標本との誤差を比較する必要はない。しかし、モバイル空間統計の1メッシュに対して、道路交通センサスの調査データでは上下線、車種の分類があるため、それらは合算することとする。

また、1メッシュ内に単一の調査区間、複数の調査区間が存在する場合がある。それらを3つのパターンに分類し、代表値として、図5に示すものを採用する。

- ① 単一路線の調査区間が1ヶ所のみ
- ② 複数路線で、それぞれの調査区間が存在
- ③ 同一路線で、複数の調査区間が存在

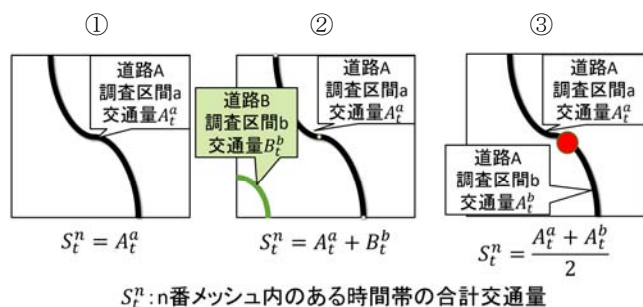


図5. 道路交通センサスの代表値計算方法

4.3 相関分析

これまで説明した方法で、1メッシュに対する道路交通センサスの時間帯別交通量をy軸、1メッシュに対するモバイル空間統計の時間帯別中央値人口をx軸として散布図を作成する。図6が金沢市と野々市市のデータであり、図7が富山市のデータである。また、図4で示した都市計画の種別毎に記載記号を変更している。図6、図7の散布図は類似しており、都市計画の種別ごと、ならびに全体として凸型の回帰が予想できる。そこで、2次多項式回帰を導出した。図6には全体の回帰式を実線で示し、都市計画種別毎の回帰式を点線で示している。

金沢市で導出した回帰式を式1に、富山市で導出した回帰式を式2に示す。

$$\text{金沢市: } y = -1.0 \times 10^{-5} x^2 + 0.69x + 1029.7 \quad \text{---式1} \\ R^2 = 0.58$$

$$\text{富山市: } y = -1.0 \times 10^{-5} x^2 + 0.62x + 770.5 \quad \text{---式2} \\ R^2 = 0.58$$

全体での回帰式の決定係数 R^2 は両方共 0.58 という値であり、説明できる可能性があるという程度である。この2次多項式回帰を利用した交通量推定では精度が低すぎる。

5. 任意日時の交通センサスデータの導出

5.1 金沢市・野々市市における最良の推定方式

筆者らの先行研究^[2]において、モバイル空間統計のデータを用いた道路交通センサスデータの推定方式における評

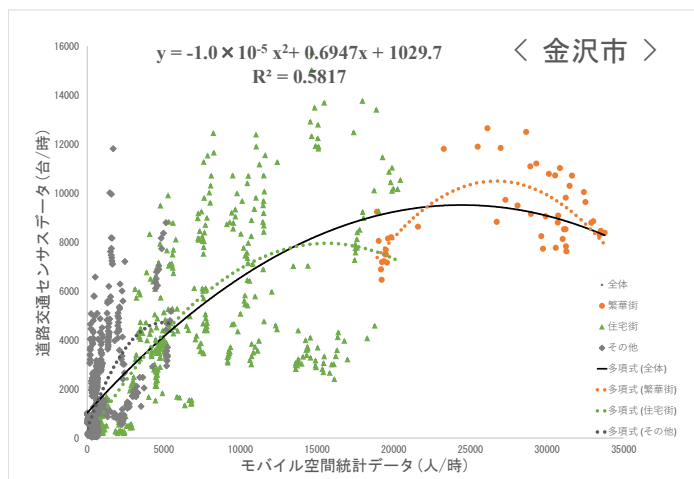


図6. 道路交通センサスとモバイル空間統計の相関(金沢/野々市市)

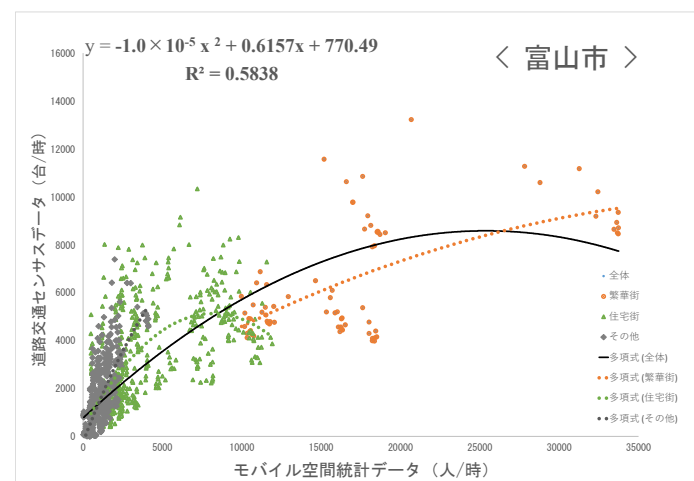


図7. 道路交通センサスとモバイル空間統計の相関(富山市)

価指標は標本値と導出値との誤差の割合が±20%以内に収まっている(以降 想定誤差と呼ぶ)時間帯毎のメッシュの数を数え、そのメッシュ数が全体に占める割合である。

モバイル空間統計の時間帯毎のデータの変移は移動に基づくものであると考えられる。公共交通機関の整備が脆弱な中核都市においては、それらの移動は道路交通センサスのデータである自動車による移動と強い相関があると推測できる。繁華街では頻繁な移動あり、住宅街は多くの時間で変化が少ないことが読み取れる。また、その他のエリアでは人の絶対量が少ないこともあり、移動数も小さいことがわかる。

モバイル空間統計の変移を用いた2次多項式回帰の係数をメッシュ毎に当該メッシュのモバイル空間統計と道路交通センサスデータから変更する方式が金沢市・野々市市における評価において最良の結果を示した推定方式である。

モバイル空間統計データの変移がない場合には、道路交通センサスデータを用い、変移があった場合には以下の式により道路交通センサスデータを推定する。

$$y = 0.0007x_t^2 - 0.83x_t + 3240$$

係数a 係数b 係数c



$$y_n = a_n x_t^2 + b_n x_t + c_n \quad n: \text{個別メッシュ番号}$$

ここで各メッシュにおける2次多項式の係数 c_n はそのメッシュに対応した道路交通センサデータの時間帯別交通量の全時間帯の中央値を使用する。なお、 a_n 及び b_n はそれぞれ0.0007と-0.83を用いる。本方式を以降ではデータ変移補正方式と呼ぶ。

5.2 富山市におけるデータ変位置

富山市における各時刻・各メッシュのデータ変移量を図8に示す。図8の形状は金沢市・野々市市のものに類似している。

5.3 富山市におけるデータ変移補正方式検証

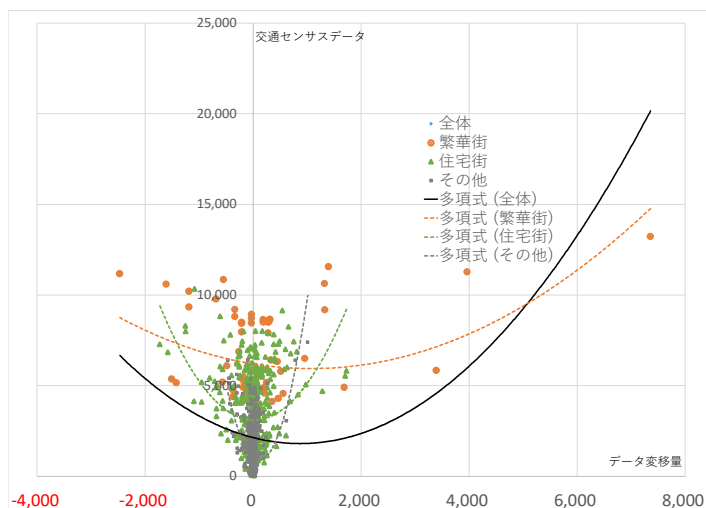


図8. 道路交通センサとモバイル空間統計データ変移(富山市)

富山市の117メッシュに対して5.1節で説明したデータ変移補正方式を評価する。評価の代表値はデータ加工をしない各時間の中央値と平均値を使用する。各時間の交通量が想定誤差内であったデータを表2に示す。

表2. 富山市における交通量推定検証結果

	繁華街	住宅街	その他	合計	精度
全体数	72	516	816	1,404	
中央値補正	61	390	558	1,009	72%
平均値補正	63	352	472	887	63%

金沢市・野々市市での評価結果はそれぞれ75%と74%であり、若干の劣化はあるものの中央値補正を行った場合には同等の精度である。したがって、データ変移補正方式を用いることにより多くの中核都市での交通量データを道路交通センサデータとモバイル空間統計データにより導出できると考えている。

6. 推定方式の精度向上

6.1 ブートストラップ法による代表値

データ変移補正方式では、4.1節で説明した累積誤差が最小である中央値を用いている。しかし、他の代表値との差異はそれほど大きくないだけでなく、モバイル空間統計の各メッシュの時間ごとの人数はばらつきがあり、より適切な代表値を使用する必要がある。

ブートストラップ法^{[15],[16]}は、ある標本集団から母集団の性質を推定するための方法であり、復元抽出法により標本集団から重複を許して、同数個のデータをランダムに再抽出し、新たな母集団として統計値を計算するものである。

ブートストラップ法を用いて各メッシュの平均値と中央値を算出し、分散が小さい値をモバイル空間統計の時間帯別代表値人工としてデータ変移補正方式を評価する。

6.2 ブートストラップ法による評価結果

図3の富山駅を含むメッシュ31の午前8時台の秋の平日の人数データ例を表3に示す。

表3. メッシュ31の7時台の人数データ

日付	1116	1117	1118	1119	1120	1124	1125
人数	12,635	12,692	13,143	13,269	12,937	12,591	13,279

表3のようなデータをブートストラップ法により1,000種類の再抽出した各データの平均値と中央値の分散について評価を行った。メッシュ31における再抽出データの平均値と中央値の分散を計算した結果の一部を表4に示す。分散の小さな値となった時刻を太枠で示している。

表4. 時間ごとの分散値比較

時刻	7	8	9	10	11	12	13
平均値	9,770	3,213	7,008	23,950	14,020	26,875	15,501
中央値	39,052	6,331	4,670	37,773	45,869	35,529	18,044

時間帯別に分散の小さな値を11メッシュに対して比較した結果、平均値の分散が小さい時刻別メッシュが131、中央値の分散が小さいものが12となった。

この結果はこれまで中央値を代表値として使用してきたが、平均値を用いた方がより良い結果を導き出す可能性を示唆している。そこで、ブートストラップ法を用いて再抽出した各データの平均値の平均値、ならびに中央値の中央値のデータを代表値として用いた評価結果を表5に示す。

表5. ブートストラップ法を用いた交通量推定

	繁華街	住宅街	その他	合計	精度
全体数	72	516	816	1,404	
中央値補正	63	384	556	1,003	71%
平均値補正	61	382	563	1,006	72%

ブートストラップ法を用いた評価において、平均値補正については精度が若干増加したが、中央値補正については精度が悪化した。ブートストラップ法の再抽出データ数に

関しての評価結果によると 200 の再抽出データの分散に比較して 1,000 の再抽出データの場合の分散のほうが小さい値となっているが、必ずしも収束に向かっていとは言えない。モバイル空間統計で使用可能な秋の平日が 7 日間、すなわち各時刻において 7 データのみであり、データ量の少なさが精度向上に寄与しなかった原因の一つであると考えている。

7. まとめと今後の課題

本報告では、5 年に一度 計測されている多数の地点での交通量である道路交通センサスのデータと携帯電話の利用者の位置情報に基づくメッシュ領域での人数情報を組合せ、任意の日付での交通量を推定する方式を、これまで評価を行った金沢市・野々市市に加えて他の中核都市として富山市を取り上げ評価・検証を行った。±20%の誤差を許容すると仮定した場合に、約 72%のメッシュにおいて富山市においても推定可能であることを示した。

評価・検証量として 54 ある中核都市すべてで適用可能であるとの断言はできないが、データ変移補正方式を用いることにより一定精度の推定ができると考えている。

また、推定精度の向上を目指し、代表値データの選定のためにブートストラップ法を用いて使用しているデータの分散が小さなものを選定し再評価を行った。しかしながら、本報告の範囲において精度向上を見ることが出来なかった。

本研究を継続する際に障害となったことは、種別の異なるオープンデータを組み合わせることが困難であったことである。データの欠損も含めて、それらの補間方法を検討していく必要がある。

今後も、一層の精度向上のための方式の検討、ならびに他の都市での検証を通して、モバイル空間統計データを用いた任意の日付の道路交通センサスデータを推定する方式を確立する計画である。また、田園・山麓・山地などの林野地はデータがまばらではあるものの、今後の検討対象に加えていく計画である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 16K00433 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 国土交通省 道路局企画課. 平成 27 年度 全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査結果の概要について. 国土交通省, 2017.
- [2] 国土交通省 国土技術政策総合研究所. 国土技術政策総合研究所資料. 国土交通省, 2012.
- [3] 国土交通省. 箇所別基本表及び時間別交通量表に関する説明資料. 国土交通省, 2017.
- [4] 岡島一郎, 田中聡, 寺田雅之, 池田大造, 永田智大. 携帯電話ネットワークからの統計情報を活用した社会・産業の発展支援-モバイル空間統計の概要-, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル Vol. 20, No. 3, pp6-10, 2012.
- [5] 齋藤正史, 波多野太樹, 清原良三. 空間統計データを用いた車両走行推定方式の位置提案. 情報処理学会研究報告, 2018-ITS-72, No. 27, pp1-6.
- [6] 上坂克巳, 門間俊幸, 橋本浩良, 松本俊輔, 大脇鉄也. 道路交通調査の新たな展開～5 年に 1 度から 365 日 24 時間へ～. 土木計画学研究講演集, Vol. 43, No. 286, 2011.
- [7] 橋本 浩良, 山崎 恭彦, 上坂 克巳. 交通量常時観測データを活用した一般道路の交通量データの算定アルゴリズムの開発. 土木学会論文集 F3, Vol. 68, No. 2, ppI_64-I_72, 2012.
- [8] 大藪勇輝, 寺田雅之, 山口高康, 岩澤俊弥, 萩原淳一郎, 小泉大輔. モバイル空間統計の信頼性評価. NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル Vol. 20, No. 3, pp17-23, 2012.
- [9] “QGIS”. <https://www.qgis.org/>, (参照 2017-08-01).
- [10] “OpenStreetMap”. <https://www.openstreetmap.org/>, (参照 2017-08-01).
- [11] “Google Map”. <https://www.google.com/maps>, (参照 2017-08-01)
- [12] “国土数値ダウンロードサービス”, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>, (参照 2017-08-10).
- [13] 富山市活力都市創造部都市計画課. 富山市都市計画総括図, 富山市, 2018.
- [14] 総務省統計局. 地域メッシュ統計の特質・沿革. 総務省, 2018.
- [15] B.Efron. “Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife”/ The Annals of Statistics Vol.7, No. 1, pp1-26, 1979.
- [16] 吉原健一. Excel によるブートストラップ法を用いたデータ分析. 培風館, 2009.