

空間統計データを用いた車両走行推定方式の一提案

齋藤 正史^{†1} 波多野 太樹^{†2} 清原 良三^{†3}

概要: 政令指定都市とは地理的に独立した金沢市のような中核都市において、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。これらは、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。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提案する。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いて回帰式を導出するものである。回帰式を対象領域全体で評価した結果、±20%の誤差を許容すると仮定した場合に、約63%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。本研究を進めるにあたり、種別の異なるオープンデータを組み合わせることが容易ではないことを示すと同時に、データの粒度が重要であることについても示す。中核都市においては、繁華街と住宅街、その他の領域でそれぞれ交通量に特徴があり、それらを個別に推定することも可能ではあるが、データの粒度が粗い場合には、細分化は必ずしも良い結果を生じないことも示す。また、現時点での評価では約75%のメッシュにおいて適用可能な回帰式も導出できたが、その結果はメッシュ内の人数が急激に増加しても交通量がそれほど増えないものであり、自動車が主な交通機関である中核都市の実情とは合わないものであった。本推定方式は、他の中核都市での評価が未実施ではあるものの、今後の更なる精度向上に向けて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

A Proposal of Vehicle Driving Volume Estimation Method using Spatial Statistics Data

Masashi SAITO^{†1} Daiki HATANO^{†2} Ryoza KIYOHARA^{†3}

1. はじめに

政令指定都市とは地理的に独立した金沢市のような中核都市において、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。

金沢市は、「新金沢交通戦略」を2007年に策定し、歩行回廊整備によるマイカーへの依存脱却、放射環状型バス路線網の構築とパークアンドライド、交通結節点整備事業などが推進されている。2007年~2008年に実施された金沢都市圏において調査票を用いた交通実態調査が実施され、1995年に比して、全体の交通量は減少しているものの、自家用車は約11%増加しており、全体の67%を占めている。

2015年の北陸新幹線金沢開業後のデータについては公開されていないが、週末の金沢駅と繁華街間の交通量の増加、

駐車場の混雑の増加を実感している。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。

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^{[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する。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する。導出した回帰式を対象領域全体で評価を行った結果についても述べる。

^{†1} 金沢工業大学

Kanazawa Institute of Technology

^{†2} 金沢工業大学 (現: (株) インテック)

Kanazawa Institute of Technology (Present: Intec Inc.)

^{†3} 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。

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^[5]。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^[6]。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^[7]。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界単位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。

本研究はモバイル空間統計を用いて道路交通センサスに対応した路線区間の交通量データを簡易に求めることを目指している。

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

推定方式の準備段階として、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^[8]を利用し、地図データについてもOpenStreetMap^[9]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^[10]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。

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

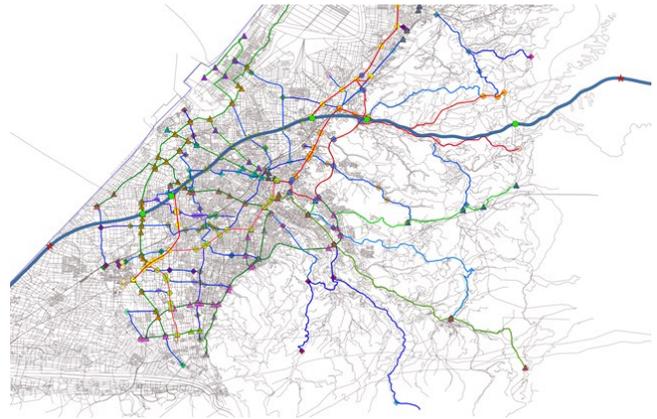


図1. 金沢市と野々市市の道路交通センサスの調査エリア

ドを繋ぐためのリンクを作成する^[11]。作成結果を図1に示す。

本報告で対象とする金沢市と野々市市においては、道路交通センサスの計測地点であるノードは313個、それらのリンク数は312個である。図1からもわかるように、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。

また、この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

行政区域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。

金沢市のような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、入手できたデータは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2)。

図2で示したメッシュに対し、モバイル空間統計で計測

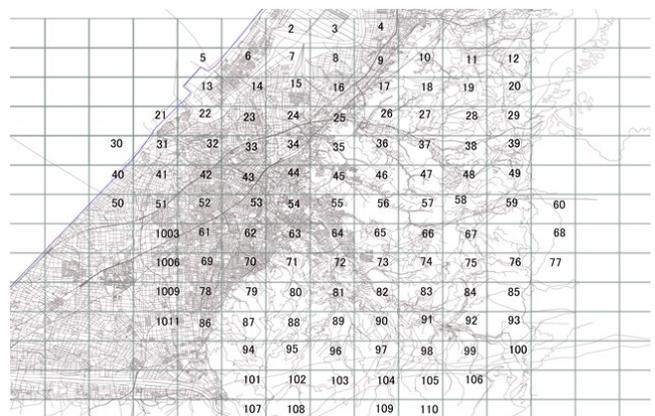


図2. 金沢市と野々市市のメッシュデータエリア

されているエリアに項番を振る。金沢市には112個、野々市市は4個のメッシュよりなる。野々市市のメッシュを区別するために、4桁の数字を割振ることとする。行政区域を複数持つメッシュが存在しているために野々市市の項番は連続したものとなっていない。重複しているメッシュのモバイル空間統計データは金沢市のものを優先することとする。

3.3 都市計画図と両データとの対応

図3に道路交通センサスデータとモバイル空間統計のメッシュを重ね合わせたものを示す。図3を元に、金沢市と野々市市の都市計画図^{[12],[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の内側の矩形領域が繁華街であり、外側のハッチング部分が住宅街である。これらのデータを整理した結果、全部で116メッシュあるうちの85メッシュに、道路交通センサス対象路線が存在することがわかる。

データ自体は広範に存在していることが確認できたため、最初の目標を定義する。

85メッシュの昼間12時間のデータ(1020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することとした。

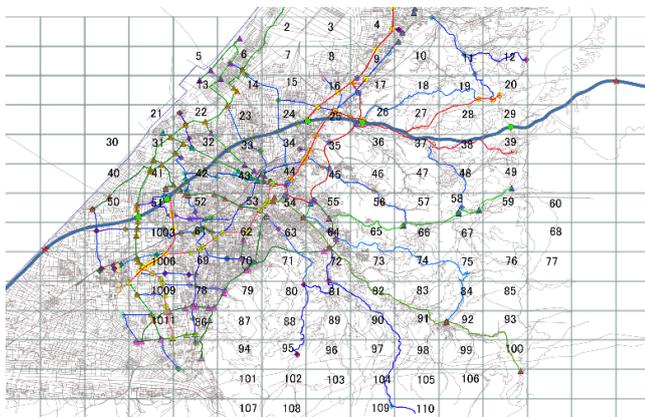


図3. 道路交通センサスデータとモバイル空間統計データ

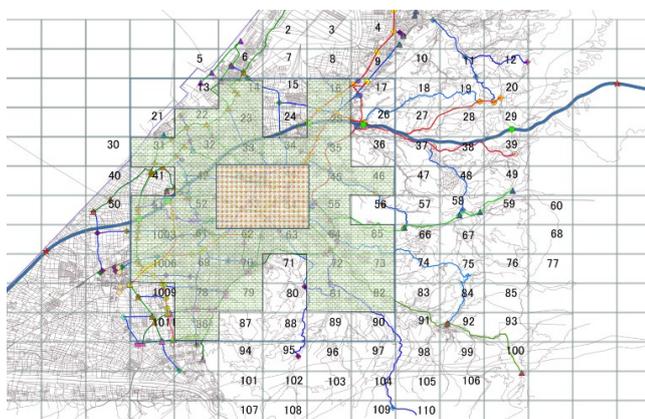


図4. 都市計画を加味したデータの対応付け

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)
- ④ 平日全期間の各時間帯に対する平均から一定倍率をかけることにより、秋の平日の時間帯別代表値が定まると予想し、それらの値を計算し、倍率を求める。

これらの12種類の累積誤差を表1に示す。累積誤差の評価結果より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。

表1. 代表値候補の累積誤差

①-平均値	125,251
①-中央値	116,639
①-最大最小平均	150,761
②-平均値	121,907
②-中央値	117,698
②-最大最小平均	127,864
③-平均値	120,973
③-中央値	118,324
③-最大最小平均	124,206
④-平均値	159,406
④-中央値	157,406
④-最大最小平均	178,925

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

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)。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の散布図を概観すると、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。

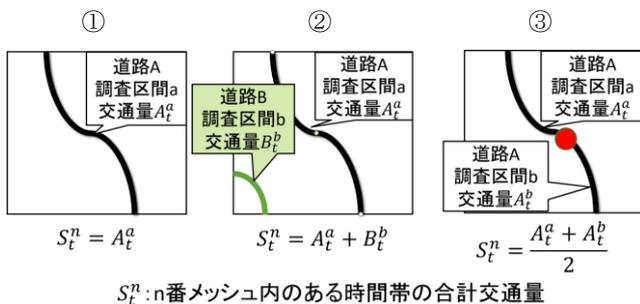


図5. 道路交通センサスの代表値計算方法

導出した回帰式を以下に示す。

$$y = -1.0 \times 10^{-6}x^{-6} + 0.69x + 1029.7$$

全体での回帰式の決定係数 R^2 は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り、この2次多項式回帰を利用しての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 導出方式の策定方針

本研究では、中核都市における任意日時の交通センサスデータをモバイル空間統計データから導出することである。本報告においては、中核都市として金沢市のみを評価対象としているが、他の中核都市において個別に評価しなければならない手法となるのは得策ではない。

そこで、導出するための方法として4.2節で説明した代表値を元にした2次多項式回帰の決定係数のみを評価指標として用いるのではなく、3.3節で説明した評価方式、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を評価指標として使用する。

5.2 隣接メッシュ平均化

図6の散布図に示したように、都市計画種別ごとの2次多項式回帰の方が全体での2次多項式回帰よりも標本値に近い。誤差の大きさを隣接メッシュと平均化することにより、推定値とする方式を評価する。

評価結果として、想定誤差内のメッシュ数は108であり、全エリアのメッシュ数1020の11%である。安易な平均化では解決できていない。また、想定誤差内のメッシュを都市計画種別で分類した所、繁華街と住宅街では使用できない(図7)。

5.3 モバイル空間統計データ変移

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

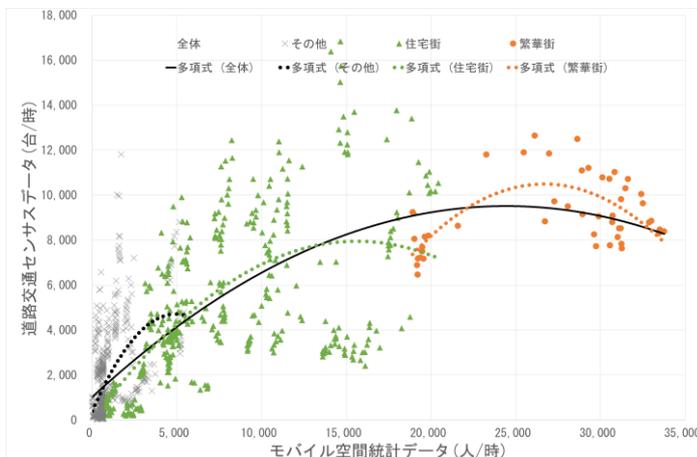


図6. 道路交通センサスとモバイル空間統計の相関

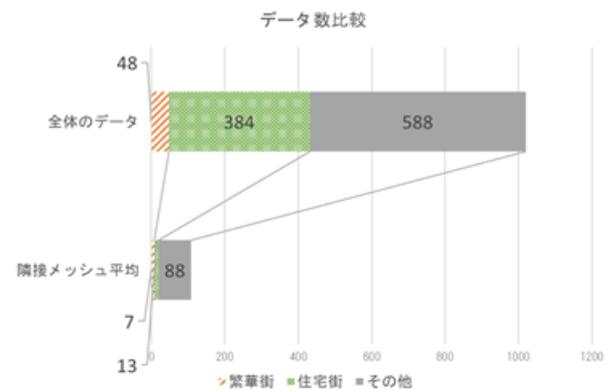


図7. 隣接メッシュ平均方式の評価結果

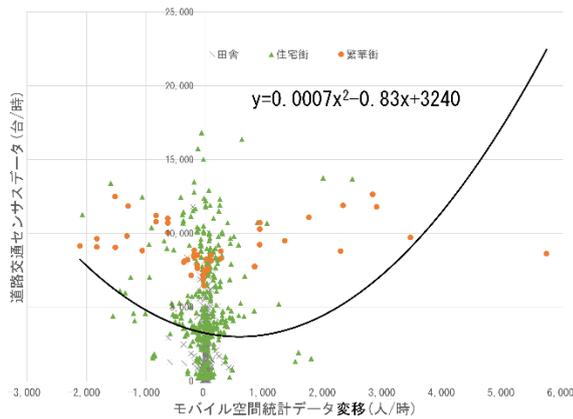


図 8. モバイル空間統計データ変移との相関

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。そこで、道路交通センサとモバイル空間統計の時間毎の変移と相関を確認する。

図 8 の散布図からは、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。

しかしながら評価結果としては想定誤差内のメッシュ数は 159 で全体の 16% であり、モバイル空間統計データ変移だけでは適切でない。

5.4 回帰式係数のメッシュ特徴による変更

モバイル空間統計の変移を用いた 2 次多項式回帰においても推定精度が悪い。そこで、導出された 2 次多項式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データから変更する方式を評価する。

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



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

図 8 の散布図を確認すると、y 軸の値は、時間帯別道路交通センサの合計交通量である。そこで、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が関わってくると推測できる。

1 メッシュ毎の時間帯別交通量の全時間帯の平均値、ないしは中央値を係数 c_n として使用する。

メッシュ毎に上記の係数 c_n として平均値を用いて評価を行った結果、想定誤差内のメッシュ数は 757 となり全体の 74% のメッシュで適用可能となる。

また、係数 c_n として中央値での評価では、想定誤差内のメッシュ数は 768 となり全体の 75% のメッシュで適用可能となる。

5.5 モバイル空間統計データの比率と変移の利用

5.4 節の導出方式を用いると、評価結果の数字としては一定の精度が確保できているようにみえる。しかし、係数 c

は定数であり、メッシュ内の人口が増加、すなわち x_t が増加した場合にも、係数 a は非常に小さな値であり 100 人増加してようやく 7 台の増加が見込めるだけである。係数 b は負値であるため、100 人の増加で 83 台の減少となる。

そこで、メッシュ毎の人数変移に加えて、中央値人口に対する各時間帯の人数比率の 2 つの説明変数を用いて重回帰分析を行った。導出された回帰式を以下に示す。

$$y = 3431x_t + 0.58x_{t'} - 64.3$$

ここで、 x_t は時刻 t の人口の中央値を全時間帯に対する人口の中央値に対する人数比率であり、 $x_{t'}$ は時刻 $t+1$ の人口の中央値から時刻 t の人口の中央値を減じた人数変移である。

この重回帰式による評価では、想定誤差内のメッシュ数は 176 となり全体の 17% のメッシュでのみ適用可能という結果である。

5.6 メッシュ別台数補正

5.5 節の結果から、人数の変移が車両台数に及ぼす影響は小さく、1 メッシュ毎に存在する 1 日の車両台数の補正の影響が大きいためとして評価を行う。メッシュ毎の各時間の人数比率と、メッシュ毎に存在する車両台数を全時間帯の中央値で補正する方式を評価する。

1 日の標準的な車両台数はメッシュ毎に定数として扱い、道路交通センサの時間帯別交通量の値から全時間帯の中央値台数を減ずる。減じた値を y 軸の値とし、メッシュの中央値人口に対する各時間帯の人数比を説明変数として重回帰分析を行う。導出された一次多項式にメッシュ毎の車両台数中放置で補正をした式を以下に示す。

$$y = 740x_t - 595 + c$$

ここで、 x_t は時刻 t の人口の中央値を全時間帯に対する人口の中央値に対する人数比率であり、 c は 5.4 節で用いたメッシュの全時間帯の中央値である。

本方式を用いた評価では、想定誤差内のメッシュ数は 647 であり、63% のメッシュで適用可能となる。

メッシュの人数が増加した場合には、推定する道路交通センサの値も増加し直感とも合致する。しかし、1 次多項式であるため自明ではあるが、人数が減少した場合においても交通量は増加するべきであるがその状況が見いだせていない。

6. 推定方式の全体評価

5 章で説明した各方式について、標本値と導出値との誤差の割合が $\pm 20\%$ 以内に収まっている時間帯のメッシュの数が全体に占める割合を図 9 にまとめる。

現時点では、5.6 節で説明したメッシュ別台数補正が最も確からしい推定式であると考えている。

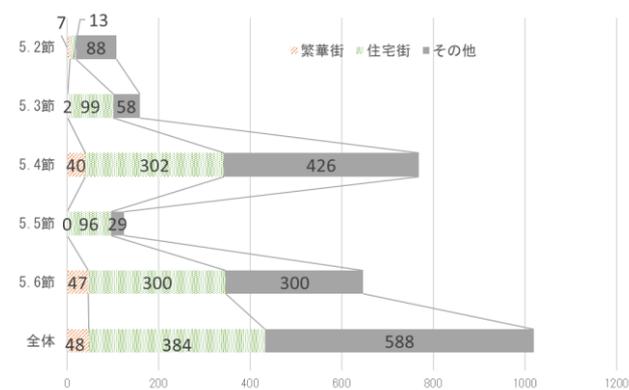


図9. 推定方式の全体評価

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提案し、その評価を行った。±20%の誤差を許容すると仮定した場合に、約63%のメッシュにおいて適用可能である回帰式を導出し、本方式が中核都市における道路交通センサスデータの推定として、現時点では最も確からしいと考えている。

本研究を進めるにあたり、種別の異なるオープンデータを組み合わせることが容易ではないことを示すとともに、データの粒度が重要であることについても示した。中核都市においては、繁華街と住宅街、その他の領域でそれぞれ交通量に特徴があり、それらを個別に推定することも可能ではあるが、データの粒度が粗い場合には、細分化は必ずしも良い結果を生じないことも示した。

しかし、評価結果としては精度として満足の行くものではないと共に、他の都市でも同様の方式が適用可能であるかについては未検証である。

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。

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帯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] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] “QGIS”. <https://www.qgis.org/>, (参照 2017-08-01).
- [9] “OpenStreetMap”. <https://www.openstreetmap.org/>, (参照 2017-08-01).
- [10] “Google Map”. <https://www.google.com/maps/>, (参照 2017-08-01)
- [11] “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).
- [12] 金沢市都市整備局都市計画課. 金沢市集約都市形成計画. 金沢市, 2017.
- [13] 野々市市都市計画課都市計画係. 野々市市都市計画図. 野々市市, 2016.