

シミュレーションと観測データの統合による 交通需要予測手法の構築と分析

大竹 司真¹・菊池 輝²

¹学生会員 東北工業大学大学院 工学研究科土木工学専攻 博士前期課程

(〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町35-1)

E-mail:m184801@st.tohtech.ac.jp

²正会員 東北工業大学教授 工学部 都市マネジメント学科

(〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町35-1)

E-mail:akikuchi@tohtech.ac.jp

一般に交通需要予測に用いられている四段階推計法は、予測値の行動論の根拠が不透明であることや時間軸が無視されている問題から、ハード整備よりもソフト施策の適用が中心となっている。一方近年では、ICT技術の発展により空間統計データ等のビックデータが利用可能となってきている。本研究では、従来より提案されていた、需要予測手法の1つである生活行動マイクロシミュレータPCATSと交通流シミュレータを組み合わせた手法に空間統計データを利用したデータ同化の適用を行い、都市圏規模での有効性と配分計算結果を分析することを目的とし、シミュレーションシステムの構築を行った。適用計算の結果、都市圏規模でもデータ同化は有効であり、配分結果も改善されていることが示唆された。

Key Words : activity-simulator, traffic-simulator, data assimilation, spatial statistics data

1. はじめに

交通需要予測に一般的に用いられている四段階推計法には、解析単位がトリップ単位であることや時間軸の無視、誘発需要、抑圧需要が需要予測に反映されない等多数の問題があると繰り返し指摘されてきている¹⁾。このことから、四段階推計法に変わる交通需要予測手法が提案されてきた。その一つが、アクティビティーベースの生活行動シミュレーションモデル PCATS (Prism-Constrained Activity-Travel Simulator) と交通流シミュレータを用いた手法²⁾である。PCATS³⁾は、個人の自由活動に着目し確率的に個人の日を生成し、時空間制約、個人属性といった様々な条件を制約下に置きながら、活動内容、活動時間、活動場所等の個人がどのように行動しているのかを予測するシミュレータである。四段階推計法との最大の相違点は、時空間の概念を取り入れ現況の個人行動と矛盾が起きぬように考慮されていることである。この需要予測手法は様々な交通施策の評価が可能であり、大阪市への適用事例²⁾や京都市におけるCO₂排出量削減に向けた施策の検討⁴⁾、京都市中心部の災害時における消防拠点の評価⁵⁾といった既存研究があげられている。

一方、近年、個人の移動軌跡を蓄積した空間統計データが利用可能となったことから、データ同化手法を用いてアクティビティーベースモデルの予測精度を向上させる研究がなされている。例えば布施ら⁶⁾は、PCATSと観測データの統合により、現況に即した詳細な個人の移動を予測することを目的とした研究を行った。具体的には、PCATSにより対象域内の各個人の1日の移動とその内容を予測した後に、一日の任意の時間帯において逐次観測データによるフィルタリングを行うことで、より現況に即した個人の移動を再現するといったものである。実際に、都心三区で適用計算が行われた結果、有効性が確認されている。当該研究により、PCATSにデータ同化手法を適用させる有効性が示されている一方で、交通需要予測という側面から考えれば、都市圏規模での有効性や、配分計算に及ぼす影響は検証されていない。そこで本研究では、PCATSと交通流シミュレータを組み合わせたシミュレーションシステムに、データ同化の枠組みであるフィルタリング手法を統合し、アクティビティシミュレーションのデータ同化が、都市圏規模でも有効に機能するか、また配分計算結果にどのような影響を及ぼすのか、について考察することを目的とする。

2. シミュレーションシステムとその概要

本研究で用いるシミュレーションシステムは、既存研究にて提案されたもの²⁾を用いる(図-1)。なお交通流シミュレーションモデルには国内の適用実績が豊富な SOUND (Simulation On Urban road Network with Dynamic route choice)⁷⁾を採用した。このシステムは四段階推計法の述語を用いれば、PCATS が発生集中・分布・分担を担っており、SOUND が配分に相当する。以下、システムおよびフィルタリング手法の概要を示す。

(1) 生活行動シミュレータ PCATS³⁾

PCATSは1日の任意の時刻は個人の自由意志で決定可能な自由時間帯と時間利用形態が先決されている固定時間帯から構成されるという仮定に基づいている。この前提のもとで、PCATS は個人についての情報である個人データ(年齢、性別、職業、居住地、就業就学地、免許保有の有無、世帯主・自動車保有台数・高校生中学生人数、固定活動スケジュール:固定活動の場所・開始・終了時刻・活動内容)と活動を実行する可能性のあるすべてのゾーン属性である地域データ(ゾーン人口、ゾーンサービス事業所数、ゾーン面積)ならびに、全ゾーン間の移動抵抗データである交通データ(公共交通機関のOD所要時間・費用・乗換回数、自動車のOD所要時間、ゾーン間距離)に基づいて、自由時間帯での個人の行動を予測するマイクロシミュレータである。PCATS は、個人データに基づき逐次的、段階的な活動決定過程を仮定した上で一日の生活パターンを生成し、任意の時刻における全個人の活動場所・活動内容・移動手段等を出力する。PCATS の特徴の一つは、交通機関や目的地の選択肢集合に時空間プリズム制約を導入している点である。

(2) 交通流シミュレータ SOUND⁷⁾

広域道路網交通流シミュレーションシステムSOUNDには、時間帯別車種別OD表が必要となることから、PCATSの出力情報より集計した時間帯別OD表を入力データとして与える。SOUNDの出力データのうち、各時間帯のリンク別旅行時間を別途抽出し、OD間所要時間を再びPCATSに入力し更新を行う。

(3) 実測データ

本研究では、5つの時間帯区分に分け各時間帯において実測データとの同化を行うこととする(表-1)。また、データ同化を行うに当たって、用いる実測データは、モバイル空間統計データから集計した表-1に示す時間帯ゾーン滞留人口と後述のパーソントリップ調査データより集計した表-1に示す時間帯ゾーン滞留人口を用いている。今回利用するモバイル空間統計データは仙台都市圏

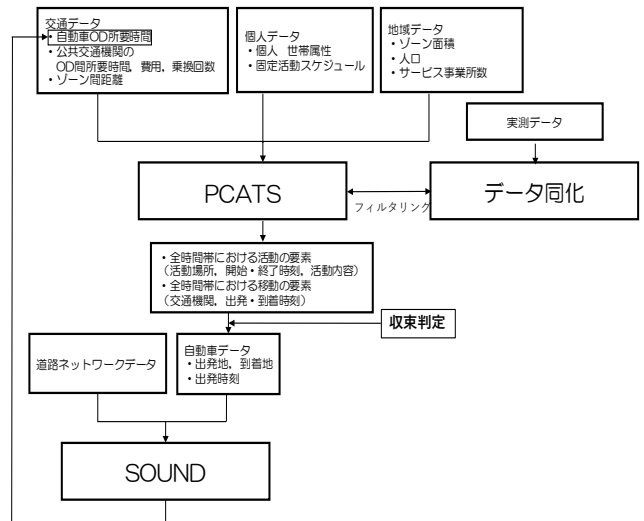


図-1 シミュレーションシステムの概要

表-1 時間帯区分・データ同化適用時刻

時間帯区分	フィルタリング時刻	実測データ
① 3:00 ~ 9:00	9:00	9:00
② 9:00 ~ 12:00	12:00	12:00
③ 12:00 ~ 16:00	16:00	16:00
④ 16:00 ~ 20:00	20:00	20:00
⑤ 20:00 ~ 3:00	同化なし	同化なし

パーソントリップ調査範囲における2017年10月、11月の内8日間のデータを利用している。また、モバイル空間統計データは500mメッシュ単位で集計されているため、面積按分法を用いてゾーン滞留人口とした。モバイル空間統計データはNTTドコモが携帯電話基地局を利用し日本全国1時間ごとに500mメッシュ単位でドコモの携帯電話の普及率を加味し推計、作成している。

(4) データ同化

データ同化は、「実測データを用いて数値シミュレーションモデルの精度・性能を改善し、観測の不足を補い、観測誤差を修正する」枠組みである。今回使用するフィルタリング手法は、布施ら⁶⁾より提案された手法で1日の任意の時間帯において観測値を利用し、逐次フィルタリングによる個人位置の更新を行うことで、自由活動個人の位置を更新するものである。以下にアルゴリズムの概要を記載する。

1. PCATSによる予測

時刻 $t-1$ におけるある個人の滞在場所やスケジュールが分かっているとき、これを入力データに加えることで、PCATSにより時刻 t におけるあるゾーン i の滞在人数 x_t^i が推計される。式(1)で表す。

$$x_t^i \sim p(x_t^i | x_{t-1}^i) \quad (1)$$

2. パーティクルの生成

各個人に対して、フィルタ分布 $p(x_t^i | x_{t-1}^i)$ に従って時刻 t における各ゾーンの滞在人数を表すパーティクル $x_{p,t}^i$ を P 個生成する(本研究の適用計算では

P=100とした)。

3. 一期先予測

パーティクル $x_{p,t}^i$ を生成した後、PCATS により時刻 $t+1$ における予測分布を表す予測パーティクル群 $x_{p,t+1|t}^i$ を得る。

4. 尤度の算出

各パーティクルに対して、実測データであるゾーン別滞在人数 y_t から、各パーティクルの尤度 β_{t+1}^i を、 y_t と $x_{p,t+1|t}^i$ の重み付きユークリッド距離の逆数として、式 (2) により算出する。

$$\beta_{t+1}^i = \frac{w_t^i}{(\sum_{j=1}^N w_{t+1}^j)}, w_t^i = p(y_{t+1}|x_{p,t+1|t}^i) \quad (2)$$

なお、重みは各ゾーン滞在人数の二乗の逆数とする。

5. フィルタリング

各予測パーティクル $x_{p,t+1|t}^i$ を、尤度 β_{t+1}^i に比例する割合で、N個復元抽出し、その最頻値をフィルタリングの推定値 \hat{x}_{t+1}^i とする (本研究の適用計算ではN=100とした)。

6. 活動場所の再配置

推定値 \hat{x}_{t+1}^i をもとに、時空間プリズム制約のもとで、各個人の位置を再配置する。なお、再配置を行うのは当該時間に自由活動実行中の個人のみであり、固定活動や移動をしている個人は再配置をしない。

7. 繰り返し

上のフロー 3~6 をシミュレーションの最後の時刻まで繰り返し行う。なお、本研究では、1日を5つの時間帯に分割した上で適用する。

(5) フィルタリング制約

前述で述べたアルゴリズムにより、PCATS と実測データのフィルタリングを行い自由活動個人の再配置を行うが、制約条件を考慮せずに再配置を行うと、現実には起こり得ない再配置を引き起こしてしまう可能性がある。そこで、より現実的な個人の移動の再現を行うにあたって、今回考慮している点は、「フィルタリング対象個人」と「再配置ゾーン」の2つである。

(a) フィルタリング対象個人

PCATS の出力情報として「固定活動」「宅外自由活動」「宅内自由活動」「移動中」の4つが個人の活動としてあたえられる。その中で、フィルタリング対象個人を、任意の時刻において「宅外自由活動」を行なっている個人に限定した。これは、「固定活動」の個人はPCATS の前提条件で、固定活動は個人の自由意志では変更不可能としているため、フィルタリングによる再配置の対象外、「宅内自由活動」を行なっている個人もこの時点では宅外活動の意思がないものとみなし、再配置は行わず自宅ゾーンのままとし、「移動中」は、次の活

動に固定活動が控えていると時空間プリズム制約の考慮が難しいため再配置対象外としている。

フィルタリングに用いる実測データでは、「固定活動」「宅外自由活動」「宅内自由活動」「移動中」のすべての状態を関係なく集計しているため、「宅外自由活動」を行っている個人人数と大きく人数差が生じてしまうことが考えられる。そこで、フィルタリングを行う際の実測データは、「固定活動」「宅内自由活動」「移動中」の個人をゾーン滞留人口別に算出し、実測データから除いたものを用いることとする。

(b) 再配置ゾーン

PCATS では、個人の活動およびそのための移動を再現するにあたって、時空間プリズム制約を考慮している。それにより、再配置を行なった個人がこのプリズムの範囲外となってしまう。つまり、次に固定活動が控えている個人が異常な位置に配置されてしまい、その後の活動が行えなくなってしまうことはあってはならない。今回は、PCATS で 100 個のパーティクルを生成したのちにフィルタリングで再配置を行なっているため、異常な再配置となることは考えられないが、再配置ゾーン活動可能性があるゾーンがあるのにも関わらず PCATS から予測されたその一部となってしまうことが考えられる。これは、今後検討すべき点でもある。

(6) シミュレーションの繰り返し計算

SOUND の実行に伴う自動車 OD 間所要時間の更新は、PCATS の入力データの更新を意味する。すなわち PCATS と SOUND は相互依存構造となっているため、収束条件 (総自動車発生台数の更新率が±1%以内) を満たすまで、2つのシミュレーションを繰り返し実行する。

3. 仙台都市圏への適用計算

本研究計算適用範囲は、布施の研究事例⁶⁾よりも広範な地域への適用を想定し、仙台都市圏である「仙台市・塩竈市・名取市・富谷市・多賀城市・利府町」の6市町、計 249 ゾーンを設定した (図-2)。ゾーン設定は平成 14 年に行われた第 4 回仙台都市圏パーソントリップ調査 (仙台 PT データ) の中ゾーンを参考にし、仙台市内の影響を考察するために、仙台市以外 5 市町は各 1 ゾーンと設定した。PCATS の入力データの一つである個人データは、仙台 PT データより作成した 69,345 個人、拡大後 1,145,875 個人となった。交通データは公共交通機関の路線・ダイヤからゾーン間の平均移動時間等を別途算出し、地域データは経済産業省 H14 年商業統計より小売業者数をゾーン人口から比例配分して作成した。また、GIS からゾーン中心間距離とゾーン面積を算出している。PCATS の内部モデルの各パラメータは、仙台 PT データ

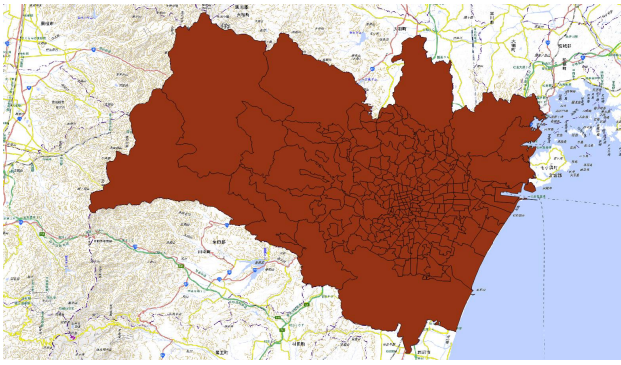


図 - 2 適用範囲

を用いて、パラメータを再推定する方法も考えられるが、既往研究²⁾と同じものを用いた。これは調査年次から 10 年以上経過しておりそもそも実測データと乖離する可能性があること、フィルタリング手法が他地域へのパラメータ移転性に対応可能か否かの考察を行うことによる。また SOUND の道路ネットワークデータは H28 年デジタル道路地図データより作成し、リンク総数 21856、ノード総数 8874、ゾーン総数 249 を設定した。デフォルト設定を基本としリンク容量を一様に 2200pcu/h/レーン、経路選択層は Dial アルゴリズム型に設定、また仙台 PT データを利用していることから小型車のみ考慮している。

以上を用い、シミュレーションシステムを実行した（午前 3 時から翌午前 3 時の 24 時間）。PCATS と SOUND の繰り返し計算は 3 回で収束し、計算時間は約 15 時間であった。本稿では配分結果に着目し、最終回におけるリンク交通量を、H27、H17 年道路交通センサデータと比較した結果を表-1、表-2 に示す。なお比較対象とした路線は、仙台西道路、東二番町通等、計算適用範囲内に存在する道路交通センサの観測地点 14 箇所を選定している。

まず、都市圏規模でのデータ同化の有効性を確認するために、布施ら⁶⁾の精度検証を参考にデータ同化適用の各時間帯にて、実測データのゾーン人口とデータ同化前後のゾーン人口とで RMSE（平均平方二乗誤差）を算出した。結果、データ同化後で誤差が減少しており、都市圏規模でもデータ同化は有効であることが確認できた。

次に、表-1、表-2 に示すそれぞれ 3 つの結果から、いずれもフィルタリングの効果がみられ相関係数の向上が

表 - 1 H27 道路交通センサデータとの比較結果

	実測データ	RMSE	相関係数
仙台 PT データ		17629	0.842
フィルタリング適用	仙台 PT	17758	0.899
	モバイル空間統計	17473	0.900

表 - 2 H17 道路交通センサデータとの比較結果

	実測データ	RMSE	相関係数
仙台 PT データ		19084	0.871
フィルタリング適用	仙台 PT	19304	0.906
	モバイル空間統計	18984	0.915

確認できた。また、H27 年の比較ではモバイル空間統計データが最も相関係数が高いかつ RMSE が低い結果となっている。このことから、10 年に一度のパーソントリップ調査に対して逐次データのモバイル空間統計データを利用することによって精度改善がなされていることを確認した。しかし、調査年次から 10 年以上経過している仙台 PT データでは、実測データと乖離している可能性は払拭できない。そのため、偶発的に相関係数が向上していることも考えられる。さらに、RMSE の値が高い値を示しているのは、PCATS では物流交通や通過交通が含まれていないためと考えられる。

4. まとめ

仙台都市圏への適用計算結果から、1) 広範な都市圏レベルにおいてもフィルタリングは適用可能であること、2) 配分計算結果の改善が示唆されたこと、3) PCATS の内部パラメータが特定地域への依存性が高くなければ、他地域への移転可能性もあることが確認できた。今後の課題としては、仙台 PT データと実測データとの乖離が考えられるため、最新の仙台 PT データを用いて再度検証を行う必要がある。さらに、パラメータの再推定は行わずとも逐次地域の特性を学習させる方法を検討する必要性が考えられる。

参考文献

- 1) 北村隆一：交通需要予測の課題：次世代手法の構築にむけて、土木学会論文集, No.530/IV-30, pp17-30, 1996.
- 2) 菊池輝, 藤井聡, 白水靖郎, 北村隆一：交通流シミュレータ DEBNetS の現況再現性向上とマイクロシミュレーションによる交通政策の評価に関する事例研究, 土木計画学研究・論文集, 18, No.4, pp.611-616, 2001.
- 3) 藤井聡, 大塚祐一郎, 北村隆一, 門間俊幸：時間的空間的制約を考慮した生活行動奇跡を再現するための行動シミュレーションの構築, 土木計画学研究・論文集, No.14, pp.643-652, 1997.
- 4) 藤井聡, 菊池輝, 北村隆一：マイクロシミュレーションによる CO2 排出量削減に向けた交通施策の検討：京都市の事例, 交通工学, Vol.35, pp.11-18, 2000.
- 5) 菊池輝, 藤井聡, 北村隆一：GIS と生活行動シミュレータ PCATS を利用した消防防災拠点の評価, 土木計画学研究・論文集, Vol.19, 2002, p313-320.
- 6) 布施孝志, 原田遼：詳細な交通行動推定のためのアクティビティシミュレーションと観測データの統合に関する研究, 第 57 回土木計画学研究会・講演集.
- 7) SOUND of ITL : www.i-transportlab.jp/products/sound/ (2018 年 7 月 25 日閲覧).

(2018. 7. 30 受付)