

アクティビティモデルとモバイル空間統計を用いた都市圏OD推計の可能性

澤田 茜¹・小原 拓也²・佐々木 邦明³

¹学生会員 山梨大学大学院 医工農学総合教育部 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)

E-mail:g16tc003@yamanashi.ac.jp

²正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ (〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2-14-19)

E-mail:kohara-tk@oriconsul.com

³正会員 山梨大学大学院 医工農学総合教育部 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)

E-mail:sasaki@yamanashi.ac.jp

本研究は、アクティビティモデルを用いたマイクロシミュレーションによる都市のODを推計することを目的としている。また、観測データとして得られるモバイル空間統計を用いてアクティビティモデルのシミュレーション結果を同化させ、より精度の高い推計を可能にする方法について検討を行う。アクティビティモデルには、一日のOD推計に適していると考えている一日の外出行動の効用最大化を行うBowman-Ben-Akivaモデルを採用した。また集計的ゾーン人数を観測データとしたことから、ゾーンの滞在人数分布を状態変数と想定してパーティクルフィルタの考え方をを用いた同化を行った事例を示す。

その結果をベースに、今後の都市圏需要予測を想定して、アクティビティモデルの推定、マイクロシミュレーション及びデータ同化の計算的な実用可能性について議論を行いたいと考えている。

Key Words: *micro simulation, activity model, origin-destination matrix, mobile spatial statistics*

1. はじめに

都市圏のOD推計をする際には、パーソントリップ調査(以下、「PT調査」という。)を用いることが一般的である。我が国のPT調査は、約10年間隔で継続的に調査されているが、甲府都市圏PT調査は平成17年、徳島広域都市圏PT調査は平成12年以降行われておらず、20年近くPT調査が行われていない都市圏が多く存在する。PT調査は大規模に時間や費用がかかるため短期的に行うことができず、時間間隔の開いたデータとなっており、調査からの時間経過につれ正確性や信頼性に疑問が生じる。この課題に対して近年容易に入手可能となったICTデータを代替・援用することが試みられている。

また欧米では、大規模PT調査の実施は減少し、小規模調査を行って、少数のパラメータであるモデルを構築し、OD表の推計を行う事例が増えている。米国では都市圏世帯交通調査とそのアドオン調査によってモデル構築からOD推計を行う事例もある。特に近年そのニーズが高まっているEV等の普及による環境影響評価や、

MMやTDMといった生活の変化を伴う政策に対しての影響を知るためには、従来のトリップベースモデルではなく、アクティビティモデルの適用が望ましいとされている。そこで、アクティビティモデルによるOD推計が一部の都市においてはなされており、社会資本整備による生活の変化を含めた政策評価を可能とする。しかし、非集計ベースのアクティビティモデルには課題も多い。一日全体の複合選択となることからモデルが煩雑になる。部分的に見ても、例えばOD推計に直接的にかかわる目的地選択は、都市圏全体を対象とした場合には、多くの選択肢を含み、大きな選択肢集合はモデル推計の精度を低くする。また、目的地選択モデルに定数項を導入した場合には、再現性は高まるが、その安定性が問題となる。なぜなら、定数項は説明変数では表せなかった効用の期待値と考えることができ、その効果が時系列的に安定しているとは限らないからである。さらに定数項を導入することで精度は高くなるが、多くの定数項を導入することで、非集計モデルの特色が薄れ、ゾーンの定数項が大きな説明力を持つことも危惧される。定数項が大きな説明力を持つと、前述の通りPT調査は時間間隔の開いた

データであるため、現況を予測しようと考えた場合、現況に合わないモデルになってしまう恐れがある。以上のように目的地選択モデルを例にとっても、未だ多くの課題がある。

そこで、本論文ではICTデータを利用しこれらの課題を解決していくことを提案する。近年ICTデータを用いた様々な交通行動に関する研究がなされ、多くの成果が報告されている^{11,12}。本研究では、前述したように精度の低いツアーベースモデルによるOD推計を、何らかの観測データの援用により、改善することを提案・検証する。最初に、観測データとして携帯電話網の運用データを元に作成され、24時間365日全国の人口分布を把握可能であるモバイル空間統計⁹を用いるために、都市圏PT調査と比較することで有用性の検証を行いながら、活用の検討を行う。

その後、データ同化の考え方を援用し、ツアーベースのモデルを用いて予測したOD分布を、観測データに同化させることで、モデルにおいて課題であった目的地選択の改良の可能性を検討していく。ツアーベースの非集計モデルを用いて、予測を行った場合には、ゾーンの時間帯別滞在人数や、時間帯別・手段別の交通量など様々な交通の状態が出力可能である。そこで、観測データに応じて、同化の対象とする状態変数を変更することによって、対象とした状態の予測精度が改善され、結果としては他の出力についても精度が改善される可能性がある。

2. 研究の位置付け

本研究では、適用するモデルとして、既存研究のレビューより、都市圏の一日ODを推計するのに適したアクティビティスケジューリングモデルを用いるが、特に操作性などの点からBowman & Ben-Akiva⁹の提案するモデルをベースとした。このBowman型ツアーベースモデルをベースとしたMohamedら⁹の研究では、甲府都市圏PT調査を用いてパラメータを推定し、各種のTDM政策の評価を行った。結果として公共交通の優先政策は、ピーク時交通の増加をもたらすなど、時間軸を考慮した変化を示すことができた。また、このモデルではPT調査のサンプル数を半数に減らしても結果にほとんど影響がないことを示している。そこで本研究では、Mohamedらの意思決定プロセスをベースとしてモデルを構築し、シミュレーションによる予測を行う。

また近年、ICTデータを代表するデータとして、モバイル空間統計⁹と呼ばれるNTTドコモの携帯電話網の運用データを統計的に処理した人口統計が存在し、モバイル空間統計の人口分布統計の信頼性評価⁷やまちづくり分野への応用⁸、モバイル空間統計の人口流動統計を用いた都市交通調査手法の研究^{9,10,11}といったように数多

くの研究が行われ、有用性が報告されている。本研究では、観測データとしてこのモバイル空間統計を用いたいと考え、甲府都市圏PT調査とモバイル空間統計の人口分布統計を比較し、有用性の検証を行う。

また、観測データとシミュレーションを融合する手法としてデータ同化を用いる。交通の分野でも、データ同化は交通ネットワーク分野で多く適用事例がある。例えば、鈴木ら¹²は各道路区間の交通状態を感知器からのフィードバック作用により推定し、高速道路上の起終点(OD)旅行時間を推定する手法を提案した。Yangら¹³はGPS搭載のスマートフォンや車載センサーと交通流モデルを用いて、データ同化の一つの方法であるパーティクルフィルタに基づく手法を提案し、精度が改善することを示した。また、長谷川ら¹⁴は行動モデルと携帯電話の通信時の記録であるCDR観測の統合にパーティクルフィルタを用いている。長谷川らは「行動モデルのパラメータに対してではなく、推定値そのものを補正するデータ同化手法は、設定するモデルの説明力を保持したまま推定値を補正できる点で、行動モデルに基づく経路推定結果の補正を行うのに適した手法である」としている。

本研究では、このようにすでに多くの適用事例のあるデータ同化の手法に基づき、観測データを用いて行動モデルの予測補正を行う。

3. PT調査とモバイル空間統計の比較検証

(1) 分析対象データ

a) 甲府都市圏PT調査

本研究の分析対象データとして、平成17年に行われた甲府都市圏パーソントリップ調査¹⁵を使用する。調査を行った平成17年当時における甲府都市圏における人口は55.8万人である。全サンプル数は4万2118人であり、分析の対象地域は、甲府都市圏の66のゾーンである(図-1)。モバイル空間統計との比較を行うため、ここでは対象年齢を15歳~79歳に限定する。

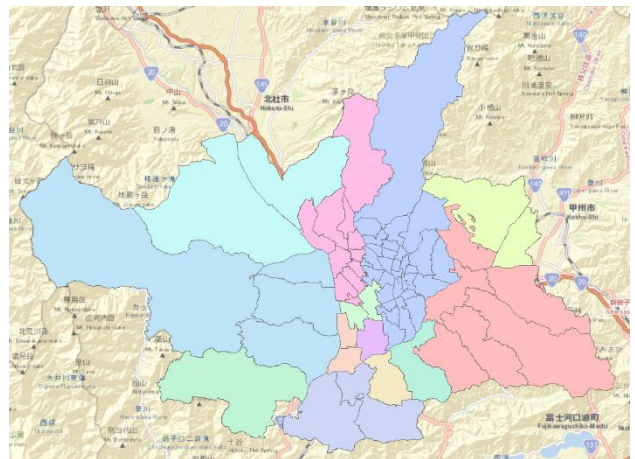


図-1 甲府都市圏PT調査ゾーン図

b) モバイル空間統計-人口分布統計

シミュレーションモデルの観測データとして、モバイル空間統計データの人口分布統計を利用する¹⁶⁾。モバイル空間統計データは、ドコモインサイトマーケティング社が提供するNTTドコモの携帯電話網運用データを使用して作成される人口の統計情報である。モバイル空間統計は、非識別化処理、集計処理、秘匿処理、の3段階のプロセスを経て作成される。運用データからのモバイル空間統計の集計処理は、以下の3段階の推計プロセスから構成される。

① 在圏数推計処理

非識別化された運用データに基づき、運用データのばらつきなどを考慮しつつ、基地局エリアごとの携帯電話の在圏数を推計する。

② 拡大推計処理

在圏数推計処理の結果である基地局エリアごとの携帯電話の在圏数に基づき、ドコモ携帯電話の普及率や偏りや携帯電話の電源断の影響などを考慮しつつ、基地局エリアごとの人口へと拡大推計する。

③ エリア変換処理

拡大推計処理の結果である基地局エリアごとの人口に基づき、基地局エリア単位に推計された人口をメッシュや行政区画単位など、応用分野で活用しやすい集計単位へと変換する。

(2) 分析対象データ概要の比較

それぞれの調査概要を表-1に示した。本研究で用いたモバイル空間統計データは500mメッシュで提供されるデータであるが、PT調査と比較するため面積按分を行い、PT調査と同様に66ゾーンへ変換を行った。甲府都市圏のモバイル空間統計の500mメッシュとPT調査ゾーンを図-2（赤メッシュは平成26年値、青メッシュは27年値）で比較する。PT調査ゾーン全域にメッシュが存在していないが、メッシュの無い地域は山間部であることが確認でき、盆地にメッシュが集中していることが分かった。これは甲府都市圏の山間部は人口が少なく、秘匿処理されてしまっていることが考えられる。

(3) 滞在人口の比較

本研究で用いるモバイル空間統計の人口分布統計は、ある時間帯における人口の分布量を表しており、時間帯における滞在人数の変動を確認することができる。そこで、時間帯、ゾーン別にPT調査とモバイル空間統計の滞在人数の比較検証を行う（図-3、図-4）。両者とも似た変動をしているが、大きく滞在人数の差があることが分かる。この人数の差を検証するために、信頼性のある常住人口に関する統計情報である平成17年国勢調査¹⁷⁾を

表-1 PT調査とモバイル空間統計の比較

項目	甲府都市圏PT調査	モバイル空間統計
調査対象	甲府都市圏内居住者	(株)NTTドコモの携帯電話所有者(法人名義除く)
調査年齢	5歳以上(本研究では15歳~79歳に限定)	15歳~79歳
調査日	H17年10月~H18年2月	H26年6月, H27年6月
調査頻度	概ね10年に1度	毎日可能
時間帯の頻度	分単位	1時間毎
エリアの粒度	人口5000~10000人程度のゾーン区分	500mメッシュ
抽出率	8%程度	全人口の普及率50%

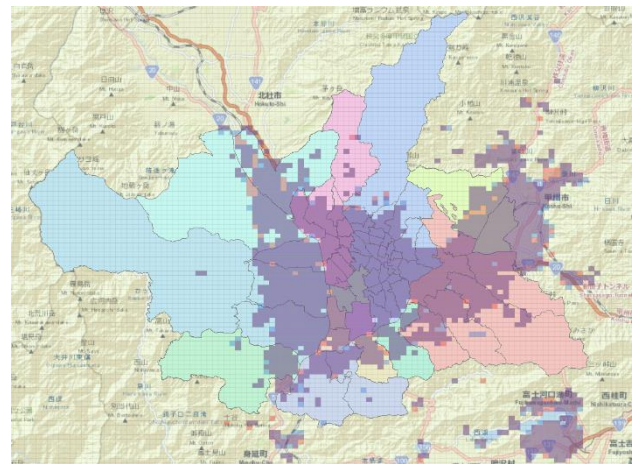


図-2 PT調査ゾーン図とモバイル空間統計比較

用いる。評価対象とする時間は常住人口と最も近い値をとると調査された7午前4時台の滞在人数を用いる。平成17年国勢調査における甲府都市圏に該当する市町村の15歳~79歳人口を集計すると、437,736人であった。また平成22年国勢調査で同様の集計をすると、443,391人であった(市町村の合併があったためPT調査対象地域よりも該当地域が多い)。PT調査における午前4時の滞在人数は449,443人と比較的国勢調査に近い値であったが、平成26年モバイル空間統計における午前4時の滞在人数は285,994人と大幅に国勢調査と差があることを確認した。モバイル空間統計の信頼性の評価¹⁷⁾でも3次4次メッシュにおいて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持つことが確認されているが、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であるとしている。また、甲府都市圏では数多くモバイル空間統計の秘匿が発生している可能性が考えられる。また、図-5、図-6のように割合を比較してみると、時間帯別の滞在人数はモバイル空間統計においては昼間人口が少なく見積もられているが、

図-6でゾーン別の滞在人数は似た割合をとっていることが分かる。しかし、図-6の中でもゾーン38（甲斐市）とゾーン44（昭和町）で差があることが分かる（図-6星印）。甲斐市と昭和町においてはモバイル空間統計の割合が高くなっている。甲斐市では平成16年に市町村合併その後大型商業施設の誘致や駅の改築計画が行われた。その結果PT調査の行われた平成17年以降に駅や駅前改築や大型ショッピング施設ラザウォーク甲斐双葉がオープンした。昭和町では平成23年にイオンモール甲府昭和がオープンし、新規の住宅も増加している地域である。甲府都市圏においては近年昭和町などに郊外化が進んでいると言われており、モバイル空間統計の比率を見ることでPT調査以降からの甲府都市圏の変化を見ることができた。したがって、ゾーン別の比率を用いることで近年の甲府都市圏の変化を考慮できると考えられる。

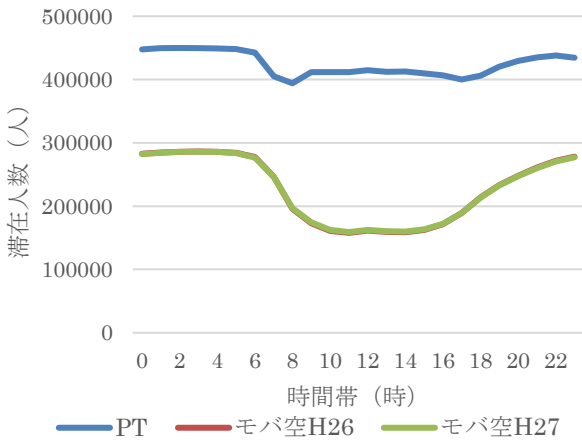


図-3 時間帯別滞在人口の比較

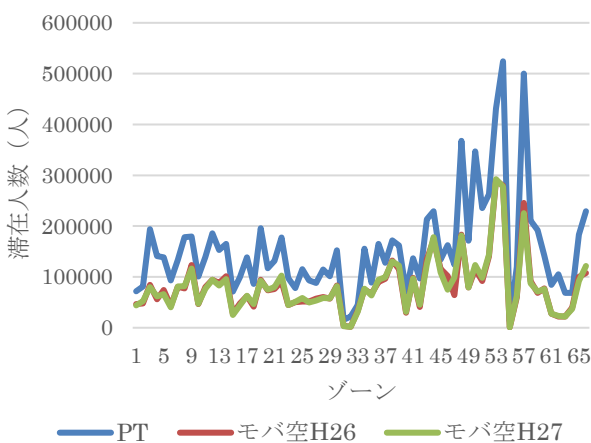


図-4 ゾーン別滞在人口の比較

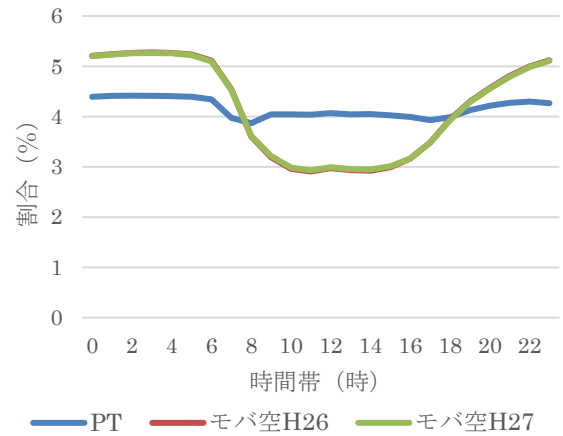


図-5 時間帯別滞在人口の比較 (割合)

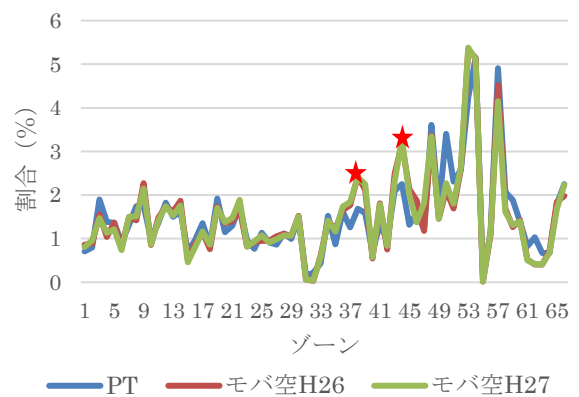


図-6 ゾーン別滞在人口の比較 (割合)

4. アクティビティモデルによるOD推計の可能性

従来のOD推計では、PT調査を基に集計モデルを用いて推計を行っていたが、PT調査は多大な時間と費用がかかり10年に1度程度しか調査されないため、時間経過や行動変化を考慮できていないなど多くの問題が存在する。そこで活動の連関性などを考慮できる非集計モデルの枠組みを用いたOD推計が試みられてきた。その中でも既存研究⁹より、アクティビティモデルを用いることで、政策評価が容易になることやサンプル数を減らしてもほとんど影響を受けないことが示されており、より詳細な政策評価やPT調査の負荷の軽減につながるのではないかと考える。

(1) ツアーベースの行動モデル

本研究では、一日の行動プロセスとして、アクティビティモデルの中でもツアーベースの最適化を行っているとして仮定し、既存研究⁹を参考にしながら、過度に複雑にならないように移動の意思決定プロセスを設定した。

モデルではツアーを2タイプに分類している。1つは主要ツアーでもう1つは二次ツアーである。これらのツアー

一を分類する基準は意志決定者の優先順位を次のように想定した。仕事（学校）を最優先とし、その他の活動と続く。優先順位が高いものが主要ツアー、次に二次ツアーとなる。同じ活動の場合、活動時間の長いものが上位とした。結果として図-7のような意思決定のプロセスを仮定した。本研究では、図-7のように段階的な選択を仮定したことから、選択肢の相関を考慮できるネステッドロジットモデルを用いることとした。モデルのパラメータ推定は段階数が多いため段階推定法を行う。移動の意思決定プロセスに従って、ツリー図を表すと図-8のように表すことができる。この図はトラベルパターン選択でシングルツアーを選択した場合の例である。

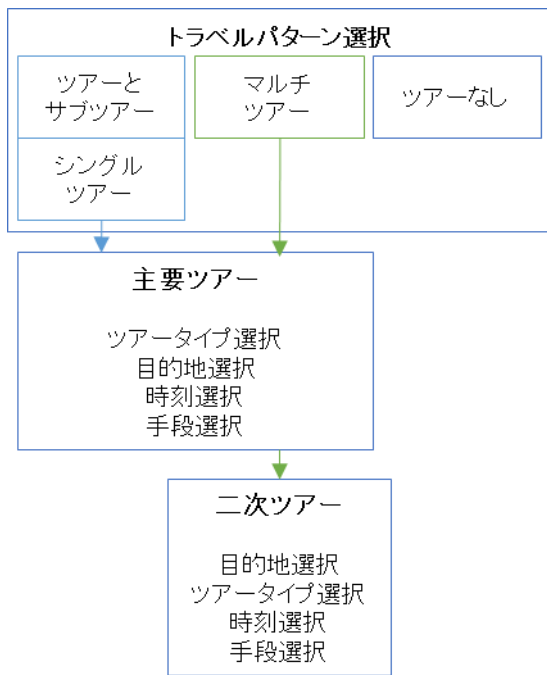


図-7 移動の意思決定プロセス

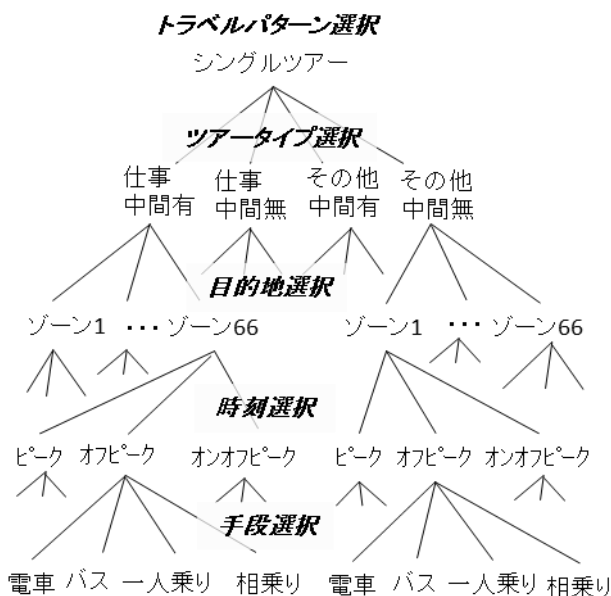


図-8 ツリー図の例

(4) マイクロシミュレーション

a) シミュレーションシステム

構築された甲府都市圏のツアーベースモデルを用いてマイクロシミュレーションを行い、再現性の確認をしていく。このマイクロシミュレーションは、個別の主体の行動原理をモデル化し、それらによって個人の行動を再現し、その積み上げの結果として都市全体の動向を表現することになる。個人ベースのマイクロシミュレーションを行うことで、詳細な主体属性の考慮、主体行動の相互利用や経路依存性の表現など、将来予測に対して大きな可能性を持っている¹⁸⁾。特に個人や世帯単位で政策がもたらす結果の差異を明らかにできる。シミュレーション方法として、誤差項の仮定に従う乱数を発生させ、各段階のランダム効用の確定値を計算して選択を確定させ、すべての段階について選択を決定していく確定的なシミュレーションを行った。誤差項は推計されたパラメータに基づくガンベル分布を用いて個人の一日の行動パターンを再現する。

b) OD表の再現結果

シミュレーションにより各個人の出発地と目的地を求め、集計することによりOD表を作成した。図-9、図-10でシミュレーションによるOD表の結果と実際のPT調査によるOD表の結果を比較した。X軸に起点 (Origin) , Y軸に終点 (Destination) をとり、Z軸で各ODの人数比率を示している。比率で比較しているためZ軸の総数は1であるが、縦軸のスケールが異なる。2つのグラフを比較すると、シミュレーションでは、実際に多い内々トリップが他よりも多くなっているが、内外トリップについては均されていること、内外と内々の差が小さいことが分かる。表-11に示すように主要ツアーの目的地選択のパラメータ推定も決定係数が低く、目的地選択モデルの精度が悪いことがうかがえる。特に効用の誤差項の影響が大きいため内外トリップを含めて均されてしまっていると考えられる。今回は定数項を入れていないため、定数項を入れることで精度は高くなると考えられるが、その後の観測データによる補正可能性を検証するため、今回はあえて定数項を入れていない。これらから、現在のモデルを用いたシミュレーションは交通需要予測の精度は低いと考えられ、目的地選択の精度を改善する必要がある。

(5) データ同化

近年、様々な観測データが入手可能になってきており、先のような精度の低いモデルについては、これらの観測データの活用が求められている。そこで本研究では、ツアーベースの行動モデルに精度の高い観測データを融合させることにより、従来の行動モデルの予測精度改善をはかることが可能であるかを検証する。具体的には精度の高い観測として実際のPT調査から得られたODを用い

る。将来的にはモバイル空間統計やETC2.0などの観測データを取得できた場合にも、適用可能であることを念頭に計算方法を定める。

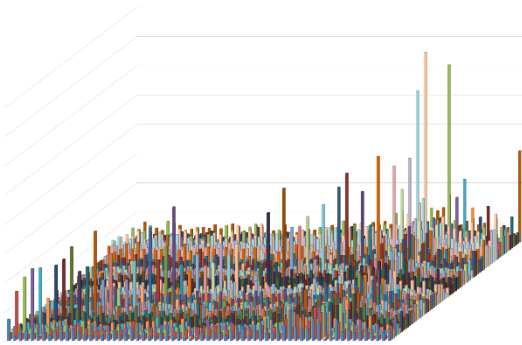


図-9 シミュレーションOD分布

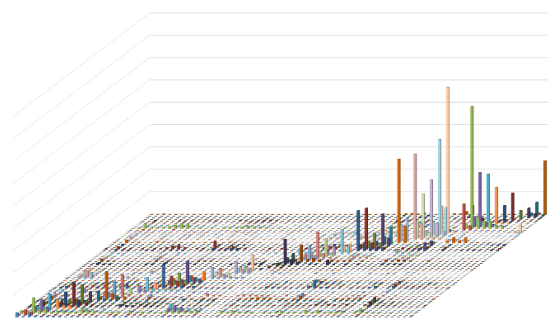


図-10 PT調査によるOD分布

a) アルゴリズム

構築されたツアーベースの非集計モデルを用いてシミュレーションによる予測を行った場合に、様々な変数が状態変数として定義可能であり、それに応じた観測データに同化することによって状態の予測精度が改善されると考えられる¹⁹⁾。そこで本研究では、状態空間モデルの枠組みを採用する。状態空間モデルは図-11に示すような状態ベクトル x_t と観測ベクトル y_t から構成される。時刻 t における状態ベクトル x_t は、直接観測できない、または推定したい変数のベクトルである。観測ベクトル y_t は、状態変数の観測である。システムモデルに基づき次期の状態変数の予測を行い、観測モデルに基づき観測変数を用いてフィルタリングを行い状態変数の事後分布を得る。このアルゴリズムは、観測データや予測時期に応じて随時更新する逐次型のアルゴリズムである。本研究では、定数項を状態変数として更新を行っていくのであるが、直接定数項を状態変数とせず、OD分布マトリクスをいったん状態変数 x_t としマイクロシミュレーションによって次期を予測する。その状態変数から定数項を推計することで、真の状態変数を更新する。さらにその観測（本研究ではPT調査結果を仮定する）を観測変数 y_t として、その際の事後分布の推定法として多様な分布に対応可能なパーティクルフィルタの枠組みを利用する。パーティクルフィルタの基本的考えは、モンテカルロ法の

アルゴリズムを用いており、基本的に予測、尤度計算、リサンプリングで構成されている。予測は、前項で説明したマイクロシミュレーション結果を用いている。リサンプリングとは、「粒子 $x_{t|t-1}^i (i = 1, \dots, M)$ を重み $w_t^i (i = 1, \dots, M)$ に比例して復元抽出すること」である²⁰⁾。本研究のリサンプリングの手法として、北川²⁰⁾が提案した「ランダム・サンプリング」の考え方を用いた。

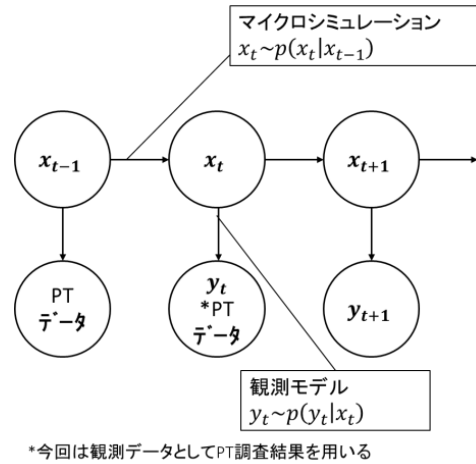


図-11 モデルのフレーム

c) データ同化結果

シミュレーションによる OD 分布の再現、実際の PT 調査による観測 OD 分布を図-9、図-10 に示し、パーティクルフィルタによるデータ同化を行った OD 分布を図-12 に示す。これらと比較すると、同化後では OD 表の構成割合が観測データに近い割合をとっていることが分かる。ただし、OD 表には同じ個人が複数回現れるのに対して、それを識別せずにリサンプリングしている。ツアー数は個人ごとで異なるため、結果としてトリップ総数は一致しないが、表-2 に示すように、PT の OD を基準とした誤差二乗和・偏差を小さくすることができた。

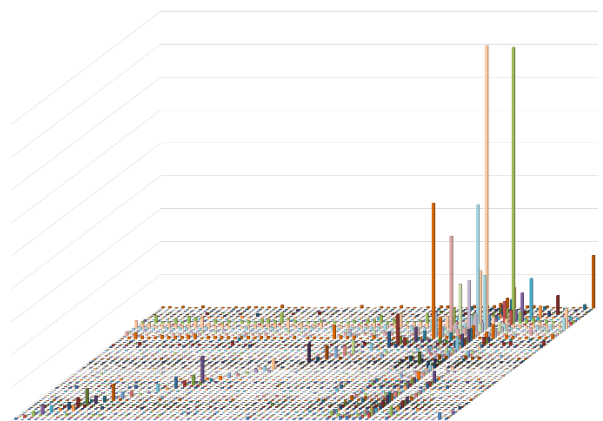


図-12 データ同化OD分布

表-2 シミュレーションとPTの誤差比較

シミュレーション		データ同化	
誤差二乗和	誤差偏差	誤差二乗和	誤差偏差
38.141	0.0935	11.653	0.0517

5. おわりに

本研究では、アクティビティモデルと観測データであるモバイル空間統計を融合させることにより、逐次更新が可能でより精度の高いOD推計につながり、多大な時間と費用のかかるPT調査の援用なるのではないかと考え、モバイル空間統計とアクティビティモデルの元になるPT調査の比較検討を行った。甲府都市圏においては、人口規模が小さな場所が多く、滞在人数が過小評価されていた。その一方、甲府都市圏におけるゾーン別の滞在人数比率を比較すると、モバイル空間統計において近年の甲府都市圏の変化を考慮できていることが分かった。したがって、モバイル空間統計を用いることで時間変化による影響を軽減させることが可能であると考え、両者を融合しながらOD推計することがより良いOD推計になるのではないかと考えた。

また、実際のOD推計手法の開発として、甲府都市圏PT調査に基づいたツアーベースモデルを構築し、それに従ったマイクロシミュレーションを行い、甲府都市圏のOD表を再現した。これを予測と見立て、PT調査による実際のOD表をこのシミュレーションで予測されたOD推計の観測データと措置して、シミュレーション結果を観測データに同化させた。データ同化前後で誤差の比較を行い、シミュレーション結果を観測データの割合に近づけることができることを確認した。さらにツアーベースモデルのシミュレーションからは基本的にはすべてのOD表が推計でき、仮に観測データが時間的に欠落した場合においても、その補完、つまり時点補完が可能になる。また、ツアーベースモデルに基づくOD推計が実用化されることによって、時間帯の変更等のトリップベースではできない政策の評価や需要予測が可能になる。今回は、OD表そのものを状態変数と設定して、同化を行ったが、OD以外の観測データ、例えば、携帯電話ベースのゾーン滞在人数や自動車OD表などであっても、ツアーベースモデルはそれらを出力可能であることから、それを用いて状態推計が可能になる。結果としてそれらの情報を用いて更新されたツアーベースモデルを用いて、精度の高いOD表への更新が可能になると考えられる。

データ同化を用いて更新・補正したOD推計や目的地選択を定数項などに組み込み、次年度以降を推計することで、より望ましい予測やOD推計が可能になると期待される。

アクティビティモデル推計には2~3か月ほどの労力を要し、かなりテクニックが必要な作業である。また、データ同化には計算負荷がかかるのでファイルを複数に分割し数時間の時間と容量が大きなPCが必要である。非集計ベースのOD推計の実用化に向けて、アクティビティモデルを誰もが容易に推計できるような開発が必要であり、データ同化においても通常のPCで計算処理ができるような計算処理方法の確立が必要である。

以上、まだ多くの課題が残されているが、本研究では、モバイル空間統計の有用性と観測データが得られた際に、ツアーベースモデルによるOD推計とそれを観測データで更新する手法を提案し、その有効性を示したと考えられる。

謝辞： 本研究は国土交通省「平成27年度、道路政策の質の向上に資する技術研究開発」の委託研究で実施し、数多くの有益なアドバイスを頂いた。ここに記して感謝の意を表します。また、この研究は科学研究費補助金(課題番号25249071および25289161)の支援を受けています。

参考文献

- 1) 永井政伸, 日比野直彦, 森地茂: ETC-OD データを用いた都市高速道路における経路選択行動に関する研究, 土木学会論文集, Vol.67, No.5, pp.589-597, 2011.
- 2) 鹿野島秀行, 鈴木一史, 野中康弘, 牧野浩志: ETC2.0プローブデータの高速道路単路部ボトルネック分析への適用, 交通工学研究発表会論文集, No.36, pp.215-221, 2015.
- 3) 平井 章一, Jian XING, 甲斐 慎一郎, 堀口 良太, 宇野 伸宏: ETC2.0 プローブデータを活用した都市間高速道路における休憩行動分析, 交通工学研究発表会論文集, No.21, pp.131-137, 2016.
- 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・産業の発展支援ーモバイル空間統計の概要ー, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vo.20, No.3, pp.6-10, 2012
- 5) J.L. Bowman and M.E. Ben-Akiva: Activity-based disaggregate travel demand model system with activity schedules, *Transportation Research Part A* 35, pp.1-28, 2000.
- 6) Mohamed Omer, Kuniaki SASAKI and Kazuo NISHII, Tour-based Travel Demand Modeling using Person Trip Data and its Application for Advanced Policies, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.17, 2009.
- 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, Vo.20, No.3, pp.17-23, 2012
- 8) 小田原亨, 川上博: モバイル空間統計のまちづくり分野への活用, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vo.20, No.3, pp.30-33, 2012

- 9) 今井龍一, 藤岡啓太郎, 新階寛恭, 池田大造, 永田智大, 矢部努, 重孝浩一, 橋本浩良, 柴崎亮介, 関本義秀: 携帯電話網の運用データを用いた人口流動統計の都市交通分野への適用に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.52, 土木学会, 2015.
- 10) 新階寛恭, 今井龍一, 池田大造, 永田智大, 森尾淳, 矢部努, 重孝浩一, 橋本浩良, 柴崎亮介, 関本義秀: 携帯電話網運用データに基づく人口流動統計とパーソントリップ調査手法との比較による活用可能性に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.53, 土木学会, 2016
- 11) 新階寛恭, 池田大造, 小木戸渉, 森尾淳, 石井良治, 今井龍一: 携帯電話網運用データに基づく人口流動統計を用いた都市交通調査手法の拡充可能性の研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.54, 土木学会, 2016
- 12) 鈴木宏典, 中辻隆: フィードバック原理に基づく交通状態推定手法を応用した高速道路上起終点旅行時間の推定, 土木学会論文集, No.695, pp.137-148, 2002
- 13) Yang, S., Kalpakis, K. and Biem, A.: An adaptive observation site selection strategy for road traffic data assimilation, *IWCTS '12*, pp.2-7, 2012.
- 14) 長谷川瑠子, 関本義秀, 金杉 洋, 樫山 武浩: 同化手法を用いたスパースな携帯基地局情報に基づく人の移動推定, 交通工学研究発表会論文集, No.54, pp.321-328, 2014.
- 15) 山梨県: 平成 17 年度甲府都市圏総合都市交通体系調査業務報告書, 2006.
- 16) 寺田雅之, 永田智大, 岩澤俊弥, 小林基成: モバイル空間統計における推計技術, *NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル*, Vo.20, No.3, pp.11-16, 2012
- 17) 総務省統計局, 国勢調査報告-市町村別年齢階層別国調人口, 平成 17 年
- 18) 杉木直, 宮本和明: 土地利用マイクロシミュレーションモデルにおける空間集計・主体集計の影響分析
- 19) 布施孝志, 佐々木邦明, 福田大輔, 菊池輝, 藤井涼, 福山祥代: 多様な観測データの活用による交通状態推定の一般フレーム, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol53, pp.56-01, 2016.
- 20) 矢野浩一: 粒子フィルタの基礎と応用: フィルタ・平滑化・パラメータ推定, *日本統計学会誌*, 第 44 巻, 第 1 号, pp.189-216, 2014 年 9 月.
- 21) 北川源四郎: モンテカルロ・フィルタおよび平滑化について, *統計数理*, No.44, pp.31-48, 1996.

(????受付)

THE ESTIMATION OF OD MATRIX BY THE ASSIMILATION OF ACTIVITY BASED MODEL AND MOBILE-BASED POPULATION

Akane SAWADA, Takuya KOHARA, and Kuniaki SASAKI