

移動体位置情報を用いた交通行動シミュレーションモデルの開発*

Development of Travel Behaviour Simulation Model Using Location Positioning Data of Mobile Objects

杉野勝敏**・朝倉康夫***・羽藤英二****

By Katsutoshi SUGINO・Yasuo ASAKURA・Eiji HATO

1. はじめに

近年、高度な情報・通信技術を応用した交通行動データ収集手法の開発に関心が集まっている。とくに移動体通信の位置特定機能を利用したヒトの交通行動の観測には、GPS (Global Positioning System)、PHS (Personal Handy-phone System)、電波タグなど、さまざまな携帯機器の利用可能性が検討されている。

観測された個々の移動体の位置は、一般には3次元空間(時刻と平面座標)の点列で表される。これは、行動観測システムの構成や携帯機器の種類によらないし、観測対象となる移動体の属性(ヒトでも車でも)同じである。3次元空間の点列が観測されただけでは交通計画に使えない。そこで、個々の点を移動点と滞在点に判別することによって移動体データからトリップデータを抽出したり、そのトリップの経路を特定することが必要となり、そのためのアルゴリズムも開発されている^[1]。

また、ヒトの空間移動を記述するために、2次元平面を複数のブロックに分割し、移動体観測データを用いてより直接的にブロック間の移動をモデル化しようとする試みも行われている。具体的には、ブロック間の推移行列を移動体データから求め、マルコフ連鎖モデルを適用しようとするものである^[2]。この方法では、空間的移動の記述は可能でも、時間要素を持たせることが困難で、せっかく収集した個々の移動体を持つ時間情報が活用できないという問題がある。

一方、交通行動分析の研究領域では、行動モデルを交通政策分析に利用するための方策のひとつとして、マイクロシミュレーションモデルの研究開発が進められている。たとえば、生活行動シミュレータ(PCATS)では、

個人の逐次意思決定過程を仮定することにより、対象地域のすべての個人の1日の生活パターン全体を再現することを狙っている^[3]。意思決定過程の仮説の妥当性と、マイクロなモデル化に使われる交通行動データの信頼性がマイクロシミュレーションによる交通政策評価の有用性を左右すると思われる。

本研究の目的は、PHSの位置特定機能を利用して収集されたヒトを単位とする移動体位置データ(サンプルデータ)を元に、より多くの移動体データを発生させ、対象地域の交通流動を記述するシミュレーションモデルを開発することにある。これは、サンプルデータと同様の属性を持つデータを必要な数だけ発生・増殖させる細胞培養器(incubator)の機能を持つシミュレーションモデルである。このとき、個々の移動点の挙動を行動論的にモデル化するのではなく、観測された様々な分布(確率分布)をできるだけそのまま利用することを考える。移動体の観測データだけでは行動モデルを構築するのに必要な情報が得られないこともその理由のひとつであるが、移動体通信によって得られる精緻な時刻と位置情報をできるだけそのまま利用したいということもこのようなアプローチをとる大きな理由である。

2. サンプルデータ

スポーツイベントの観客を被験者とした行動調査データをサンプルデータとして利用する。この調査は、1999年の春に大阪城ホールで開催された大相撲トーナメント(観客数約1万人)の観客を被験者とし、オンライン型のPHSによって位置データを収集したものである。被験者数は96名で、位置データの収集時間間隔は約2分、調査期間は1日である。被験者ひとりあたり約280の位置データが収集された。位置特定誤差は、大阪城ホールの周辺で平均50m程度、郊外部では平均100m程度である。

移動体位置データの特徴として、集計単位を時刻・位置のいずれも任意に設定することが可能であることが

*キーワード: 交通行動, シミュレーション, 移動体通信

**正員, (株)都市交通計画研究所

(大阪市中央区釣鐘町1-1-11 MUSES1 3F,
TEL 06-6945-0144, FAX06-6946-1069)

***正員, 工博, 神戸大学大学院 自然科学研究科

(神戸市灘区六甲台町1-1, TEL & FAX078-803-6208)

****正員, 博(工), 愛媛大学工学部

(松山市文京町, TEL & FAX 089-927-9830)

挙げられる。たとえば、特定の時刻に特定の空間領域に存在する移動体の数、一定時間に特定の空間断面を通過する移動体の数、およびそれらの時間変化などである。

3. シミュレーションモデルの概念

ここで考えるシミュレーションモデルは、「サンプルデータと同様の属性を持つデータを必要な数だけ発生させる」ものである。そのために、移動体位置データを時間的・空間的に集計することによって得られる様々な分布（確率分布）をできるだけそのまま利用することを考える。この分布を用いて、仮想的に発生させるひとりひとりの個人の移動プロフィールを作成していく。

プロフィールの作成時点では、個人の行動とシステムのパフォーマンスとの相互作用の結果生じる混雑現象は存在しないと仮定する。つまり、個人の行動（移動プロフィール）は混雑を引き起こさず、逆に混雑によって個人の行動が影響を受けることはないとするのである。この前提をおくことにより、分析に必要な数だけの個人のプロフィールを個別に作成すればよいことになる。

プロフィールの作成では、必ずしも個人の行動のすべての側面を反映・記述する必要はない。また、「サンプルデータから得られた時間・空間の確率分布を使う」という共通点以外は、プロフィールの作成方法に様々なバリエーションがあっても構わない。以下に示すのは、個人の一日の行動プロフィールを作成する手順の一例である。

- (i) サンプルデータの居住地の空間分布から、発生させた個人の居住地を決める。
- (ii) 第1トリップの発生時刻分布と最終トリップの発生時刻分布から、ツアーの発生時刻と終了時刻を決める。n=1とする。n: 訪問先の数。
- (iii) 第n番目訪問先の空間分布を用いて、n番目の訪問先の位置を決める。訪問先までの旅行時間を決める。
- (iv) 訪問先での滞在時間分布を用いて、滞在時間と次のトリップの出発時刻を決める。
- (iv) トリップ出発時刻が(ii)で求めたツアー終了時刻以前なら、n=n+1として(iii)へ。そうでなければ、ツアーを終了して居住地に戻る。

このようにして発生させた個人のプロフィールは、サンプルデータと同様のデータ形式（時刻、位置情報を必須とし、必要に応じて移動・滞在などの属性をラベルづ

けたもの）を持つ。移動中の点については、ネットワーク上のリンクまたは位置を属性として与える。個人プロフィールデータはサンプルデータと同様に個々の位置データとしてGIS上で管理・表示することもできるし、必要に応じて時間・空間上で集計することもできる。

4. 大規模イベント時の交通シミュレーションへの適用

大規模イベント時には会場周辺に交通規制が敷かれ、観客の多数が公共交通機関を利用することから、鉄道利用に着目したシミュレーションモデルを作成する。モデルは以下の二つサブモデルから成る。

- (i) 個人属性やその行動を決定する個人行動シミュレーション（個人のプロフィール作成）
- (ii) 駅の混雑率やダイヤなどの条件を与えて駅の状態を予測する駅シミュレーション

シミュレーション全体の流れは、まず個人行動シミュレーションでイベント参加者全員分の個人行動データ、つまり行動予定を作成する。つぎに、駅シミュレーションで駅の利用情報を受けとり、イベント会場周辺の駅について利用者数や混雑度などの状況を計測するという二段階のステップで処理を行う。

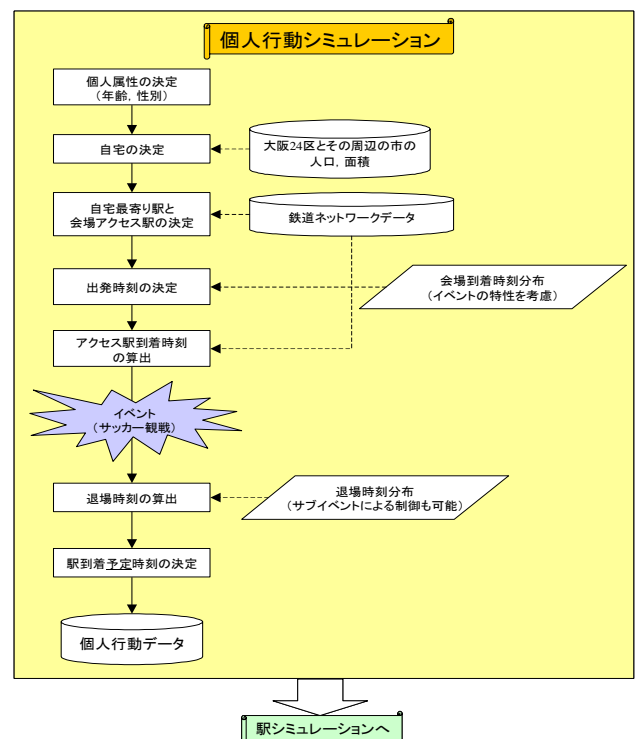


図1 個人行動シミュレーション

(1) 個人行動シミュレーション

フローチャートを図1に示す。最初のステップでは、年齢や性別といった個人属性を決定し、さらに対象となる

エリアの人口や面積といったデータからその個人の自宅位置を決定する。そして、鉄道ネットワークを元に自宅と会場の最寄り駅を算出する。このときの通過経路は最短経路探索により算出し、イベント前後の買い物や食事などといった別目的を持つ派生的なイベントによる立ち回りや待ち合わせなどの立ち寄りとは考慮しないものとする。

次のステップでは大規模イベントの到着時間分布よりイベント開始の何分前に到着するかを決定し、自宅からの所要時間を考慮して自宅の出発時刻も併せて決定する。到着時刻分布はイベントの特性に合わせて与えることが可能である。ここで用いたサンプルデータは96人の被験者の交通行動が観測できた大相撲調査のデータ^[4]であり、それを加工したものを使用した。

次に、会場を後にする時間(退場時刻)をイベントの退場時間分布より求める。このとき、イベント終了直後は観客が一斉に出口に向かい、著しい出口混雑が生じることが予想できる。この混雑を緩和するために、メインイベントの終了後に別のサブイベントを設けて退場時間を分散させるといった対策が考えられる。そこで、サブイベントによる退場時間の分散効果を計測できるよう、任意の時間延長を持つサブイベントをモデル内に付加した。

会場を後にした後は、会場最寄り駅までの徒歩時間より駅に到着する予定時刻を算出する。この時刻は駅の混雑状態によって実際に到着できる時刻とは異なるため、予定時刻として算出しておいて、その時間差を駅での待ち時間としている。

時便などを追加することができるため、車両運行の評価も行える。さらに、車両毎に現在の乗車人数を保持していることから、同一路線において上流側の駅で満車になると下流側の駅では乗車できないといった状況を再現することが可能である。これにより、イベント会場からの退場者を最適な駅へ誘導する効果を調べることができ、イベント時の交通規制評価も行える。

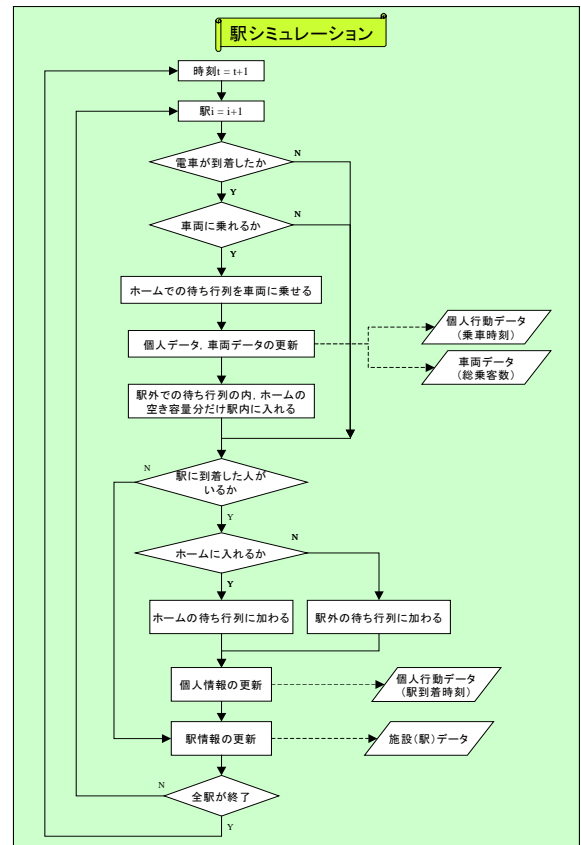


図2 駅シミュレーションの構造

(2) 駅シミュレーション

フローチャートを図2に示す。必要なインプットデータには個人行動データのほかに、鉄道の時刻表データ、施設(駅)データ、車両データなどがある。

このシミュレーションは、時刻を考慮したリアルタイムシミュレーションとなっている。ある時刻において、駅に電車が到着するか、その車両に乗車できるか、ホームに人が入れるかなどを判断して、個人行動や駅の状態を更新する。

駅の状態には、ホームの中で電車を待っている待ち人数、ホームに入りきらないときに駅外で待っている人数などの情報があり、一人一人について待ち時間を求めることができるため、駅の施設評価を行うことができる。

車両については、通常のダイヤの他にイベント時の臨

5. ケーススタディ

大阪市の長居陸上競技場で行われるサッカーイベントを想定したシミュレーションを行い、試合当日の交通混雑に対する対応策の効果を検討した。

(1) シミュレーションの条件

- ・イベント開催日時: 2002/6/12 15:30-17:30とした。試合は通常の試合時間とした。
- ・対象エリア: 大阪市とその周辺の市町村を対象エリアとし、対象エリア外の交通行動は考慮しないものとする。
- ・イベント参加人数: 長居陸上競技場の最大収容人数である50,000人とした。
- ・鉄道データ: 大阪市内を通過するJR, 私鉄, 地下鉄を中心に取り上げている。ネットワークデータに含まれる情

報は駅間の所要時間のみで、料金については考慮していない。また、他路線への乗り継ぎについては、乗り継ぎ可能な駅間にダミーリンクを設け、平均的な徒歩時間を与えている。

・駅データ:会場へのアクセス駅は、会場のある長居公園周辺の7つの駅を設定し、それぞれの駅から会場までいくつかの経路を用意した。

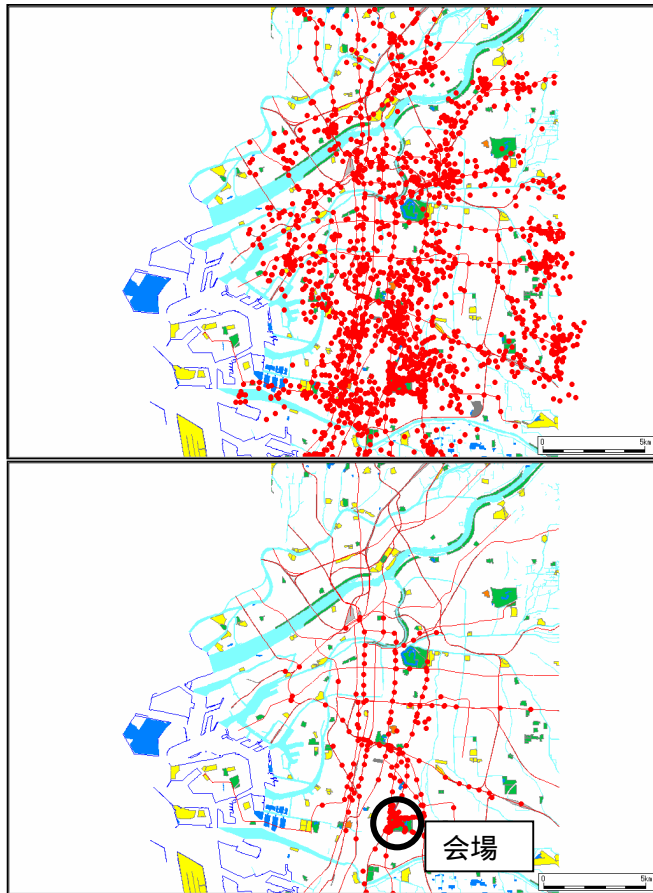


図3 個人行動シミュレーションの結果
(上図:試合3時間前, 下図:試合1時間前)

(2)シミュレーション結果

個人行動シミュレーション結果をGIS上にプロットしたものを図3に示す。赤く丸い点が観客を表している。試合開始が近づき会場周辺に集まっている様子がわかる。

駅シミュレーションを用いて駅誘導を行う効果を調べた。図4は全アクセス駅の利用客数とその駅での乗車待ち時間を示したものである。ここでの乗車待ち時間とは、会場を退場し始めた時刻(席を離れた時刻)から駅で車両に乗り込むまでの時間差を表している。なお、このケースはサブイベントを30分行ったときのものである。

待ち時間について見てみると、平均待ち時間ではあ

まり差が見られない結果となった。最大待ち時間については、誘導無しのほうが2倍以上長くなるという結果となり、全体的には誘導を行う効果が見られるという結果となった。

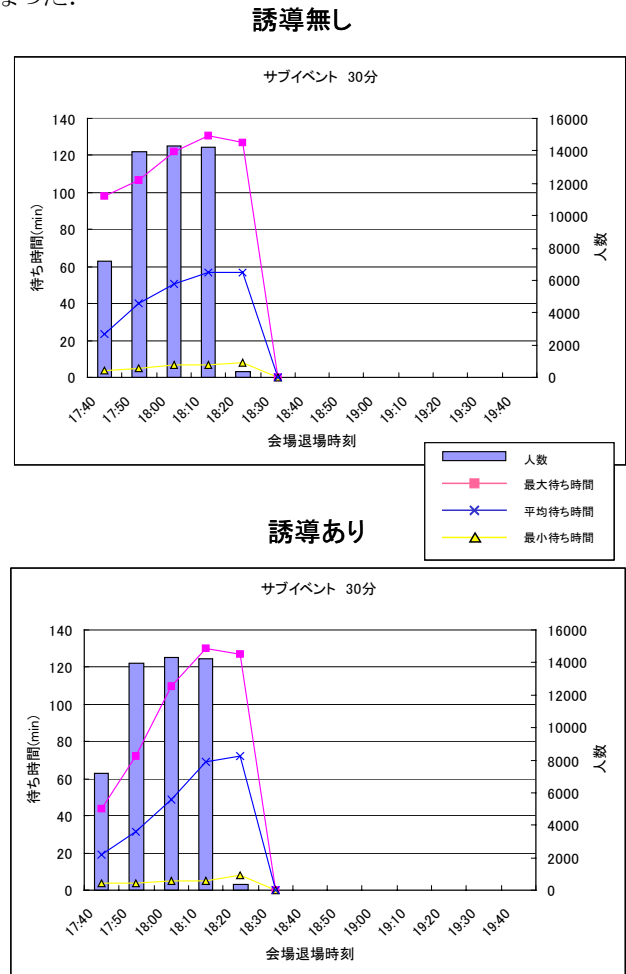


図4 誘導有り無しの比較
(上図:誘導有り, 下図:誘導無し)

参考文献

[1]朝倉康夫, 羽藤英二, 大藤武彦, 田名部淳(2000) PHSによる位置情報を用いた交通行動調査手法. 土木学会論文集, No.653 /IV-48, pp.95-104.

[2]朝倉康夫・羽藤英二(2001)特定地区に集中する交通需要の適正化・分散方策～移動体通信による位置データの利用可能性～. 土木学会第37回土木計画学シンポジウム. pp.263-270.

[3]藤井聡(2001) Micro-Simulation モデルシステムの概要(16章1節). 交通行動の分析とモデリング(北村隆一, 森川高行編著), 技報堂出版.

[4]羽藤英二, 朝倉康夫, 喜村祐二(1999)移動体通信システムを用いた大規模イベント時の交通行動分析. 土木計画学研究・講演集 No.22(1), pp.409-412.