

PHSによる位置情報を用いた交通行動調査手法

朝倉 康夫¹・羽藤 英二²・大藤 武彦³・田名部 淳⁴

¹正会員 工博 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 松山市文京町)

²正会員 博士 (工学) 愛媛大学助手 工学部環境建設工学科 (同上)

³正会員 (株) 都市交通計画研究所 主任研究員 (〒540 大阪市中央区釣鐘町 1-1-11)

⁴正会員 (株) 都市交通計画研究所 主任研究員 (同上)

PHS(Personal Handy Phone System)の位置特定機能を用いると、通信可能な都市内のあらゆる場所で個人の位置特定が可能である。大阪地域に居住する10人の被験者を対象に、2週間にわたってPHS調査とダイアリー調査を実施した。位置特定誤差は、90%タイル値で180mであった。得られた位置特定データを時空間行動データへと変換するために、移動距離と滞在時間の制約を設けて個々の点が移動点か滞在点かを識別する方法と、連続した移動点から経路を推定する方法を開発した。ダイアリー調査の結果と照合したところ再現性は良好であり、交通行動調査のために移動体通信システムの利用が技術的には可能であることが確認できた。

Key Words: travel behaviour, mobile communication, PHS

1. 背景と目的

交通需要予測において、個人の交通行動を把握することの重要性は述べるまでもない。近年では、交通行動を正確に記述するためのモデル化手法はますます高度になってきている¹⁾。合理的個人と効用最大化原理に基づく個人選択モデルは、マーケティング手法との融合や動的解析などの新しい展開がなされている²⁾。情報化社会・知識社会での行動モデルのあり方についても、新たな展望が示されている³⁾。

交通行動モデルの精緻化に伴い、モデル推定のための行動データの精度への要求も厳しくなっている。しかしながら、モデルの精緻さが向上しつづけているのに比較すると、高精度の行動データを取得するための行動調査手法の体系的改善は、ほとんど行われていないように思われる⁴⁾。

パーソントリップ(PT)調査に代表される交通行動調査では、被験者に調査票を配付し、被験者の記憶に基づいて行動を調査票に記入するのが一般的である。調査員が訪問する形式の調査でも、被験者に電話で問い合わせる形式の調査でも、被験者が自らの行動を回答する点は共通している。被験者の負担が少なく精度が高いとされるアクティビティダイアリー調査や、インターネットを用いた調査⁵⁾でも、被験者が自身の記憶に基づいて回答

する点は変わらない。

アンケート形式の行動調査により、詳細で正確な交通行動データを得る方法は、次のような問題点を持っている。(1) 詳細な行動データを得ようとすればするほど質問項目が増加し、被験者の負担が増加することは避けられない。(2) 行動の記述は被験者の記憶に依存するため、記述もれや記述の誤りが発生する。とりわけ、時刻の記述は難しい。(3) 地図上に行動を記述する場合を除けば、位置(経路)の特定は難しい。被験者が経路を記述する場合でも、習慣的行動以外は正確な記述は容易ではない。(4) 調査票に記載された行動内容をコーディングするためのコストが大きい。

一方、情報・通信技術の高度化に伴い、GPS、携帯電話、PHSなどに代表される移動体通信システムは飛躍的にその利用者数を増加させつつある。移動体通信による位置特定サービスは福祉や保安面で既に商用化段階⁶⁾にあり、ある特定の場所周辺の情報を簡単に取得することのできるモバイルインフォサーチ⁷⁾にも関心が高まっている。移動体通信システムを利用すれば、携帯機器を持つ個人の位置データを入手できるということは、交通行動における活動の位置特定が可能であることを意味する。

そこで、本研究の目的は、移動体通信システムの位置

特定機能を用いた交通行動調査の可能性を検討することにある。従来のアンケート調査による方法は、被験者自身が過去の行動を想起するものであるのに対して、移動体通信による調査方法は被験者の行動を外部から観測するという形式をとる点で異なっている。

外部からの行動の観測は、行動心理学や動物行動の分析ではむしろ一般的⁹⁾であるが、観測により時間・空間を移動する人間の交通行動を調査した例は少ない。動物園での観客の追跡調査¹⁰⁾や、実ネットワークでの経路選択行動を調査車両に同乗して観測した事例¹¹⁾に限定される。計測装置を搭載した車両により約2,000台日の利用形態を調べたINRETの調査¹²⁾は、個人ではなく車ベースの行動調査であるが、それによると、ダイアリーデータによる1日のトリップ数の報告値は実際の自動車利用と比較して過小であり、短距離のトリップの記述が欠落する傾向にあるとしている。

外部観測による調査では行動目的を知ることができないから、外部観測調査のみで交通行動のすべての側面を調査できるわけではない。しかしながら、外部観測による方法は、想起式のアンケート調査と比較して、詳細な行動データ、とりわけ活動の位置と時刻のデータを正確に得られる点で優れている。移動体通信による位置特定機能を援用すれば、容易に位置データを取得できるが、それを交通行動分析のための行動データへ変換する方法は確立されていない。本研究では、位置特定データの点列から移動・滞在を識別する方法、および、起点・終点間の経路を特定化する方法を提案し、大阪地域での実証分析を行うものである。

本稿の構成は次のとおりである。第2章では、移動体通信による行動調査の先行研究を紹介し、本研究の位置付けを示す。第3章では、大阪地域で行った実態調査による観測結果を示す。第4章では位置データから行動データへの変換方法を述べ、第5章では観測データによる実証分析の結果を示す。最後に第6章で結論と今後の課題を述べる。

2. 移動体通信システムによる行動調査事例

(1) GPSを用いた事例

世界的に広く利用されているという意味で、移動体通信システムの代表はGPS(Global Positioning System)である。GPSは人工衛星により原子時計の時刻のズレを計測することで緯度経度座標を特定するシステムであり、ドップラー効果を利用すれば速度の計測も可能である。D-GPS(Differential GPS)は、移動局で得られた緯度経度データを別途の基地局位置データにより補正することにより精度を向上させている。

GPSを利用した交通調査事例として、Zito et al.¹³⁾や

Sermons and Koppelman¹⁴⁾を挙げることができる。これらの研究はいずれも車両の軌跡を追跡することが狙いであり、行動データの取得を目的とするものではないが、車両の位置や速度の計測にGPSが利用可能であることを検証した研究事例である。

交通行動調査にGPSを利用した研究として大森他¹⁵⁾は、携帯型のGPS機器を用いて、徒歩、自転車、車での移動を比較している。いずれの手段の移動でも、出発地・到着地・経路の特定が可能であるが、位置特定の誤差が50~150mであることを確認している。米国FHWAによるレキシントン地域での行動調査¹⁶⁾は、100人規模の被験者に対してGPSにより自動車利用による行動を観測するとともに、ダイアリー調査を並行して実施し、両者の比較を行っている。GPSによる結果と被験者自身の想起による結果を比較すると、トリップ開始時刻やトリップ距離がかなり異なることが示された。トリップ数では、GPS調査の方がダイアリー調査のそれを上回ること、逆に、トリップ時間や距離では、ダイアリー調査による報告値がGPSによる観測値を上回ることが確認された。

GPSによる行動調査は、車での行動調査に限定すればかなり有効である。GPSと自律航法によるマップマッチング技術を組み合わせた高精度の位置特定が可能カーナビゲーションシステムが広く商品化されている我が国では、ナビゲーションシステムから車両の軌跡を得ることも可能であろう。しかし、GPSによる行動計測は次のような問題を持っている。(1)人工衛星の電波を受信するために常にアンテナを露出させておく必要があること。(2)建物内部、地下街、アーケード、公共交通の車内などGPS電波を受信できない場所での行動の追跡が不可能であること。(3)携帯できるように小型化されているとはいえ、調査のための装置を持ち歩く必要があること。

(2) 携帯電話・PHSによる方法

米国の連邦通信委員会(Federal Communication Committee)により、携帯電話の通信事業者に対して、緊急時にRMS誤差で410 feet(125 m)以内の位置特定精度を2001年までに保証するよう義務付けられたことも原因となり、携帯電話による位置特定に関する研究開発が急速に進められている。世界市場への対応が要求される中で、わが国でも携帯電話による位置特定技術とその応用への関心が高まっている。

携帯電話による位置特定の方法には様々な方法がある。電波の方角、時刻、電界強度、基地局の位置データベースなどを独立に、もしくは組み合わせて利用するものなどがある。その中で、たとえばSnap Trackの方法は、GPS電波を携帯電話で受信し、センターに転送して位置特定するというものである。GPS電波を受信するためのアンテナを携帯電話に装填することが難しい等の指

摘もあるが、建物内でも50mの精度が得られたとする報告¹⁷⁾もある。

携帯電話の地上基地局の配置密度は薄いため、基地局の位置から移動局である携帯電話の位置を特定することは難しい。これに対して、PHS(Personal Handy Phone System)の電波は微弱であるために、基地局の配置密度が相対的に高い。都市内ではほぼ毎100m程度の密度で基地局が配置されており、地下街、地下鉄の構内や、建物内にも配置されている。一方、PHSは複数(3~5)の基地局のID番号と電界強度を常に把握している。LOCUSの位置特定システム¹⁸⁾は、このようなPHSの特性を活用したものである。基地局の位置座標は既知であるから、PHSが受信している基地局のIDと電界強度から位置特定が可能である。PHSによる位置特定サービスは、1998年4月から開始され、福祉、保安、観光などに利用されている。首都圏や近畿圏の他、PHSの通信事業者が基地局の位置データベースを提供する地域であれば大都市圏以外でも位置特定サービスを受けることができる。

PHSの問題点は、高速での移動中にデータ送信が困難であること、基地局密度が薄い郊外では位置特定精度が落ちることである。前者については、平面街路を車で移動する程度であれば十分に送信可能である。また、鉄道駅には基地局が設置されているため、駅を通過する都度、位置特定が可能である。PHSの利点としては、GPS電波が届かない地下街や建物内でも位置特定ができる点にある。このことは多層化された都市空間において、シームレスに人の行動を観測する道具として、「現時点では」PHSの利用価値が高いことを意味している。

PHSを交通行動調査に利用した事例は、建設省と計量計画研究所によっても報告¹⁹⁾されている。同報告は、高度情報機器を利用した交通実態調査の可能性を検討したものであり、GPSとPHSの機能性能を比較している。PHSの精度は高く、交通行動の把握に利用可能であるとされている。

(3) 本研究の位置付け

本研究は、都市空間における人の行動をシームレスに観測できるという特性を持った移動体通信機器としてPHSに注目する。PHSによる位置座標の特定システムを利用すれば、位置座標データを短い時間間隔(最小は15秒)で取得できる。被験者にPHSを貸与し、一日ないしは数日の行動を連続して記録すれば、位置座標ベースでの行動データが得られる。PHSによる位置特定サービスは、もともとオンラインによる位置特定を想定したものであるが、本研究では、得られた一日分の位置座標データをオフラインで行動データに変換することに限定して検討を加えるものとする。

先に述べたように、移動体通信による外部観測のみで人の交通行動が完全に把握できるわけではない。PT調査のような大規模な行動調査を即時に代替できるとも考えられない。移動体通信を用いた新たな行動調査手法を開発するには、位置特定データが個人の交通行動をどの程度記述できるかを明らかにしておく必要がある。その中でも、位置座標データから行動データへの変換は、どのような機器で位置座標データを取得したとしても必須のプロセスである。将来、より高精度の位置特定データを利用できるようになった場合でも、それを交通行動調査に使うには行動データへ変換しなければならない。したがって、位置特定データから行動データへの変換方法を開発しておく必要性は高く、そこに本研究の狙いがある。

上述のように、交通移動の際に鉄道などを用いた場合を含め、都市空間の様々な場所でPHSによる位置特定は可能である。このことは本研究で実施した実態調査の際にも確認しているが、現時点ではPHSによる交通行動の把握が都市空間でどの程度可能であるかについての包括的な議論を行うためのデータは必ずしも十分には得られていない。PHSによって得られたデータを用いて交通行動の多様な側面を記述するための基礎的な道具として、連続的な位置座標データを交通行動データに変換するために必要な方法論を提案することが本稿の目的である。具体的には、「移動点と滞在点の識別」および「経路の特定」の方法である。

3. 調査システム構成と実態調査

(1) PHSによる交通行動調査システム

PHSによる位置座標特定を利用した行動調査システムの全体構成を図-1に示す。この調査ではまず、行動調査に同意した被験者にPHSターミナルを配送する。被験者は、一定期間そのPHSを常に携帯することになる。調査は、調査者が被験者の持つPHSに調査開始スクリプトを転送することによって開始される。スクリプトには、調査開始の指示とデータ収集間隔についての情報が含まれる。

スクリプトを受けたPHSは、その時刻にPHSが受信している基地局(複数)のID番号と電界強度を基地局経由で通信センター(LOCUS)に転送する。通信センターでは、基地局の位置座標と電界強度から、その時刻におけるPHSの位置座標(緯度経度座標)をGIS上で特定する。位置座標は個々のPHSごとに時刻の順に保存される。調査者は適当な時間間隔を開けて通信センターにログインし、インターネットを介して位置座標データを取得する。この段階で移動軌跡データをGIS上で確認することができる。調査者側の端末(パソコン)に位置座標データを保存すると同時に、距離計算を容易にするために、

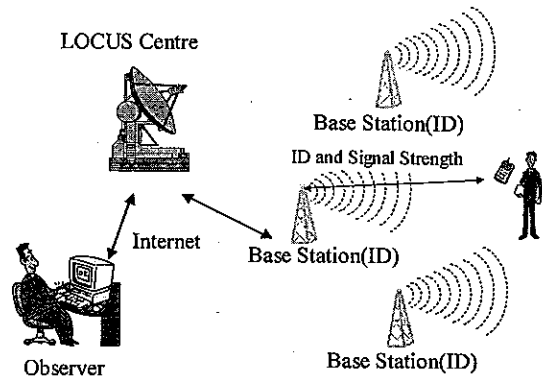


図-1 調査システムの構成

緯度経度座標を UTM 座標に変換する。

(2) 実態調査の概要

後述する2週間調査に先立って、1998年8月13日(木曜)に事前調査を実施した。事前調査の目的は、システムの機能把握を行うことと、位置特定精度の検証用データセットを得ることである。阪神高速道路を含む大阪市域で、PHSのオフライン装置により15秒間隔で走行データを取得した。事前調査によって機器の機能が確認されたので、1998年11月03日(火曜、祝日)～16日(水曜)の14日間、阪神高速道路公団のモニター10名を対象に実態調査を実施した。PHS調査の時間帯は、朝6時～24時の18時間、データ取得間隔は約2分である。位置特定データの内容は、「時刻、緯度、経度」である。

得られたデータサイズは、135人日であり、地点数では41,827ポイントである。一日一人当たり平均310地点のデータを取得したことになる。PHSの障害(フラッシュメモリのバグによりデータ転送時にトラブル発生)などで通信不能の日があったこと、PHSの通信不能地区での行動があるため、日によって取得データ数は一定ではない。

PHS調査と並行して、すべての個人に毎日の活動記録(activity diary)を記入するよう依頼した。2週間、毎日の行動を各人が記入する標準的な様式のものである。さらに、11/03(火曜、祝日)と11/12(木曜、平日)の2日間については、交通行動を通常書式のPT用紙を用いて調査した。これらはいずれもPHSデータの再現性の比較検討のために用いるものである。なお、本稿では紙幅の制約から、PHS調査とダイアリー調査、PT調査の詳細な比較検討結果は示さない。

(3) データの精度¹⁹⁾

PHSによる位置特定精度を調べるために、活動調査の

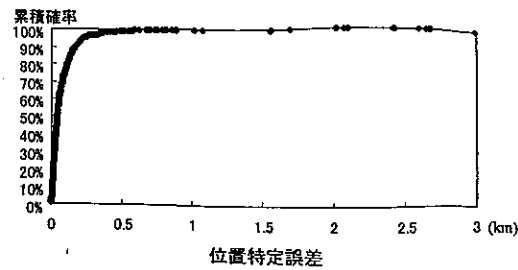


図-2 位置特定誤差の累積分布曲線 (n=6,360)

結果から、自宅(座標は既知)に滞在していたと判断される時間帯のサンプルを用いて限定して、位置特定データの精度を検証した。個人nが自宅に滞在していた時間帯の重心座標を (\bar{x}_n, \bar{y}_n) として、同一個人についてt番目の点 (x_m, y_m) の重心からの誤差を次式の距離で評価する。

$$d_m = \sqrt{(x_m - \bar{x}_n)^2 + (y_m - \bar{y}_n)^2} \quad (1)$$

自宅滞在時の全データ6360個を対象に個人ごとに誤差を求めてその平均を求めると、誤差の平均は77.2mであった。しかし、誤差の値は自宅の位置によってかなり異なっている。大阪市内在住者(4名)の誤差の平均は、43.53m (n=2,416)であるのに対し、大阪市内外在住者(6名)の誤差の平均は97.97m (n=3,944)であり、ほぼ2倍である。PHSによる位置特定誤差は基地局の密度に依存し、密度の高い大阪市内では位置特定誤差が小さく、大阪市内外では位置特定誤差が大きくなる事が確認された。

図-2はすべての個人の自宅滞在時の誤差の累積分布曲線である。この図から誤差のパーセンタイル値を求めると、90%タイル値が168.0m、95%タイル値が223.8m、99%タイル値が544.6mであった。PHSによる位置特定データは、様々な理由で通信エラーを避けることができず、5～10%の危険率で200m程度の誤差が発生する可能性がある。

4. PHSデータに基づく交通行動の特定化方法

位置特定システムによって得られるデータを計画情報とするには、位置特定データを正確に時空間行動データへと変換する方法の開発が必要である。位置特定データに基づく時空間行動データに持たせるべき属性は、地点速度、トリップエンドの施設、交通手段、経路など様々であるが、本稿ではこの中で、個々の点が移動点か滞在点を識別する方法と、連続した移動点から経路を特定する方法を提案する。

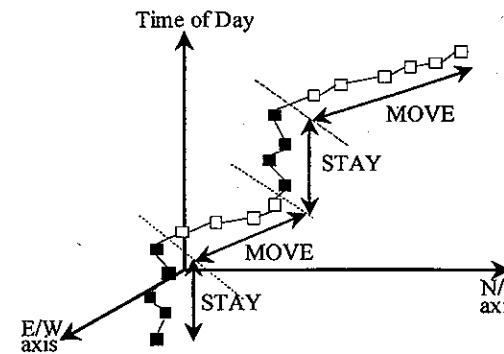


図-3 PHSによる位置座標データと時空間パス

(1) 移動点と滞在点の識別

図-3はPHSによる1人の個人の位置座標データを時空間にプロットしたときのパスのイメージを示したものである。PHSによる位置座標データだけでは、位置特定点が移動中の点(移動点)か滞在中の点(滞在点)であるかは不明である。そこで以下に述べる「識別ルール」を適用して、個人の一日の位置座標点すべてを判別し、移動か滞在のいずれかのラベルを貼ることを考える。記述を簡略化するために、時刻を離散的に表現し、各時刻ごとに位置座標データが得られているとする。

基本的考え方は、時間的に連続する2つの位置特定データ間の距離

$$d = \sqrt{(x_{t+1} - x_t)^2 + (y_{t+1} - y_t)^2} \quad (2)$$

が事前に与えた閾値D内にあるとき、時刻t～t+1の間に移動はないとみなすというものである。

判別は、時刻の順に進めていく。今、時刻tまでの識別が終わっていると、時刻t+1の識別を考えよう。時刻t+1の点の判別は、時刻tの点が滞在点であるか、移動点であるかによって異なる。また、時刻tが滞在点であることは時刻t+1の条件と時刻tの条件によって決められるが、移動点であるかどうかは時刻tとt+1との関係を計算しない限り決まらない。したがって、移動点には、暫定的な移動点と、確定した移動点の2種類があることになる。

a) 時刻tの点が「滞在」の場合

<Step.1> 時刻t以前の時間的に連続するN個の点(時刻 $(i=t-N+1, \dots, t)$)は滞在点である。それらの点の重心位置 (\bar{x}, \bar{y}) と、判別対象点である時刻t+1の点 (x_{t+1}, y_{t+1}) との距離を求める。

$$d = \sqrt{(x_{t+1} - \bar{x})^2 + (y_{t+1} - \bar{y})^2} \quad (3)$$

ここに、 $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=t-N+1}^t x_i$, $\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=t-N+1}^t y_i$ である。

<Step.2-1> 距離が閾値以内なら、時刻t+1の点は時刻tまでの点と同じ位置での滞在点である。平均値および、連続する点の数を更新(N=N+1)する。

<Step.2-2> 距離が閾値を越えているなら、時刻t+1の点を暫定的な移動点とみなす。

b) 時刻tの点が「暫定的移動点」の場合

<Step.1> 時刻tの点と時刻t+1の距離を式(2)により計算する。

<Step.2-1> 距離が閾値以内なら、時刻tの点と、時刻t+1の点はいずれも同一地点での滞在点である。2点の平均位置座標を求めておく。

<Step.2-2> 距離が閾値以上なら、時刻tの点と時刻t+1の点は異なる点である。時刻tの点は真の移動点であり、時刻t+1の点は暫定的な移動点である。

c) 補足的制約

上記のルールだけで点を識別すると、結果的に必ずしも現実的な行動軌跡を再現できないことがわかった。そこで以下の制約を補足した。

滞在時間制約: 短時間滞在を除外する。同一地点に5分以上滞在しない限り、滞在とはみなさない。このルールを導入しなければ、トリップ途中での一時停止を滞在与判断し、トリップ数を過大に(トリップ時間を過小に)推定してしまう。逆に、コンビニやキオスクでの真に5分以内の滞在(short stay)を再現できないという欠点も持つことになる。

移動時間制約: 短時間トリップを除外する。移動時間が5分以上でなければ、トリップとみなさない。PHSの位置特定誤差があるために、実際は移動していないにもかかわらず移動点であるとみなすような判別が発生するためである。

いずれの制約でも、5分を判断基準としている。その理由は、PHSのデータ取得単位時間が約2分であり、1個のデータが欠落する(これはしばしば発生する)と約5分の間隔でしかデータが取得できないからである。このことにより、5分未満のトリップや滞在を把握できないという限界はあるものの、平行して実施したダイアリー調査の結果をみると5分未満のトリップや滞在はほとんど記録されておらず、両者の比較という面では著しい支障は生じないものと考えられる。

(2) 経路の特定

一日の位置座標点を滞在/移動のラベルをつけることができれば、次に、経路を特定化する。経路の特定化は1つのトリップ単位で行う。まず、位置座標の点列の中で、着目するトリップに対応した一連の移動点列を

む滞在(起点)/移動/滞在(終点)の点列を取り出す。起点(r)の位置座標 (x_r, y_r) は、着目した移動点列の直前の滞在点列の重心座標とする。同様に、終点(s)の位置座標 (x_s, y_s) を、着目した移動点列の直後の滞在点列の重心座標とする。移動点の位置座標は、PHSデータをそのまま読み込む。この段階で異常点であることが明らかな点は除外する。異常点とは、観測単位時間(2分)に物理的に移動できない位置に座標が特定された点をいう。経路特定の前に、各移動点について連続した前後の点との距離を調べ、著しく距離が離れた点を除外しておく。

なお、以下に述べる経路特定のルールは交通網の種類を問わず適用できるが、説明を複雑にしないために道路網を想定した図表現を用いていることを断っておく。

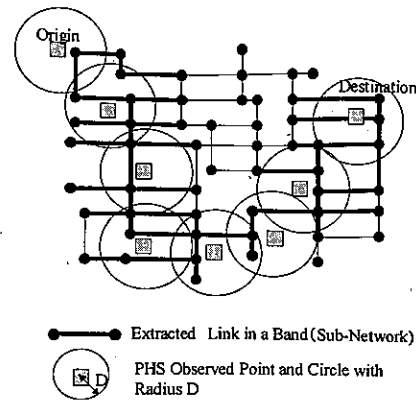


図4 帯状のサブネットワークのイメージ

基本ルール

OD間の経路の特定の基本的考え方は、まず、移動点列を用いて起点(r)、終点(s)を含むサブネットワーク(リンクの集合)を抽出する。サブネットワークは移動点列に添った帯の形状を持つが、この帯の中で最も尤らしい経路を特定するというものである。図4は抽出されたサブネットワークのイメージを示している。帯の中でルートを特定化する最も単純なルールは、最短距離の経路を抽出するというものである。

経路特定化のアルゴリズムは以下の通りである。

<Step.1> 点列の読み込み。帯の幅Dの初期設定。帯幅は移動/滞在識別時の閾値Dに連動させる。

<Step.2> 帯に含まれるリンク集合の抽出。点列中のそれぞれの点から、半径D以内に存在するすべてのリンクを取り出す。半径Dの円内にリンクの一部が存在するすべてのリンクが該当する。

<Step.3> 連結網の判定。抽出したリンク集合が起点/終点間で連結網でない場合、帯の幅Dを大きくして、再度、帯の抽出を行う。起点/終点間で連結網なら、リンク集合全体は連結網でなくてもよい。移動点の位置座標が異常値なら、帯+島のリンク集合となる。この場合は、島は異常値とみなす。

<Step.4> 連結網である帯を構成するリンク/ノード集合に対し、起点および終点からの最近ノードをそれぞれ起点ノード、終点ノードとする。

<Step.5> 起点/終点間で最短経路探索を行う。最短経路を構成するリンクの集合を求める。

<Step.6> 移動点を最短経路上のリンク(最近接リンクまたは最近接ノード)に置く。連続した2点間の旅行速度を計算する。

設定した帯の幅Dと、特定化される経路との定性的関係は以下の通りである。Dが過小であれば、点列から抽出されたリンクの集合が「帯」ではなく「列島」になるため、再度、Dを設定しなおす必要が生じる。一方、

Dを過大に設定すれば、帯の幅が大きくなるため、経路特定の精度が落ちる。たとえば、矩形の2辺を真の経路とするような場合、起点/終点間で帯の幅が広すぎると、起点/終点を直結する最短のルートが選ばれてしまう可能性がある。その意味で、「移動/滞在の識別ルール」で用いた閾値と整合性のある帯幅を設定して、帯に含まれるリンクを抽出するものとする。

修正ルール (Screening 法)

基本ルールでは、起点/終点ではない途中の点を経路の特定に用いていない。そこで、連続した移動点にできるだけ一致するように経路を抽出するために、帯の中で経路を距離の短い順に列挙し、移動点との近接性条件を満足するものを抽出するような修正を加えることを考える。この考え方は、非補償型の説明変数を持つ経路選択モデルにおけるScreening法²⁰⁾を援用したものである。

移動点 $i(i=1, \dots, I)$ とルートとの距離は次のようにして求める。

<Step.1> 移動点の位置 (x_i, y_i) からルート上のリンク a に下ろした垂線の足が当該リンクにあるとき、垂線の長さ d_{ia} が距離である。垂線の足がリンク上にないとき、リンク両端のノードへの距離のうち短いほうをリンクへの距離 d_{ia} とする。

<Step.2> ルートを構成するすべてのリンクへの距離の中で、最小値を移動点とルートとの距離 d_i とする。

$$d_i = \min_a \{d_{i1}, \dots, d_{ia}, \dots\}$$

<Step.3> すべての移動点に対して求めた距離の平均

$$\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I d_i$$

を移動点とルートとの距離と定義する。

なお、移動点とリンクとの距離は、事前に求めておいた方がよいであろう。移動点から帯の幅以内の距離にあるすべてのリンクへの距離を求めておくだけで済む。

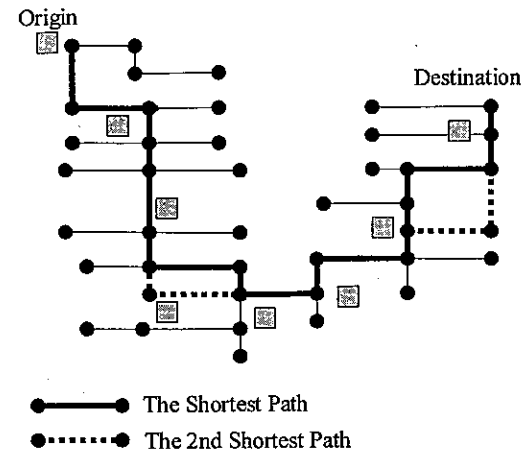


図5 修正ルールによる経路抽出の概念図

Screeningにより、移動点の位置座標とのズレが許容範囲以内にあるルートのうち、OD間の距離が最短のルートを探する方法は以下の通りである。

<Step.1> 移動点とルートとのズレの許容範囲を設定する。帯幅D以内にルートが存在することは確実であるから、便宜的にD/2とする。

<Step.2> k番目最短経路を順に(k=1から順に)取り出して、移動点の位置座標との距離(上述)が許容範囲にあるか否かを調べる。

<Step.3> 許容範囲を満たすルートが出てきたら、それが求めるルートである。移動点とルートとの距離が許容範囲にないなら、<Step.2>へ戻り、k+1番目ルートを取り出す。

図5は修正ルールを適用した場合の経路抽出の概念を図化したものである。ルート抽出の際には、もともと帯でリンクを限定しているから、最短経路(k=1)が選ばれる可能性が高い。帯幅を大きくしたときは、最短経路と移動点とのズレが大きい可能性があるから、何本かの経路を調べる必要がある。逆に極端に帯幅が狭いと許容範囲内のルートが存在しないかもしれない。その場合は、許容範囲を緩めて条件を満足する経路を特定化することになる。

5. PHSデータによる交通行動の再現性

前章で述べた方法論の特性を知るため、得られたPHSデータの中から1個人の1日分のみを取り出して、交通行動データへ変換する。分析に用いた個人の1日の行動をダイアリー調査から見ると、長時間のトリップと短時間のトリップの両方が含まれている。立ち寄り先での滞在時間も長時間の滞在と短時間のものから構成されてお

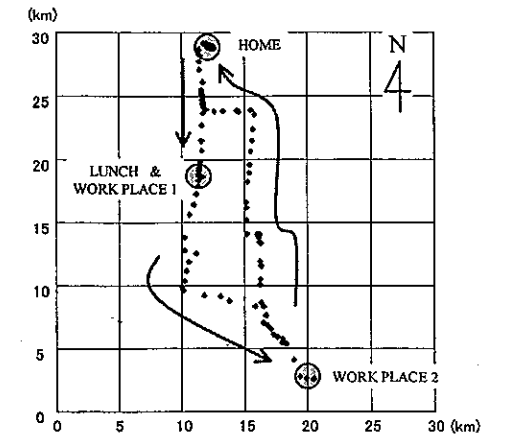


図6 特定個人の一日の行動軌跡の例

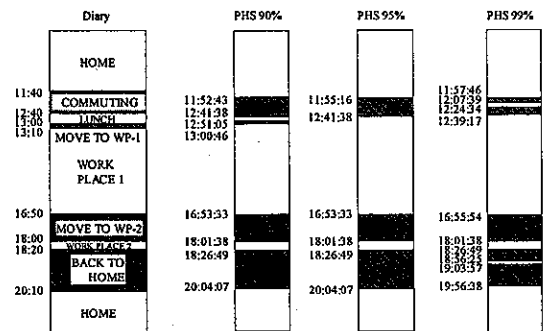


図7 特定個人の一日の時間利用パターン比較

り、移動と滞りの判別のためのサンプルとして適切であると考えられる。また、PHSによる位置座標データを見ると、直線的ではない経路が利用されていることが伺われる。このことは経路特定ルールの特性を知る上で有効であろう。

(1) 特定の一日の時間利用パターンの再現性

特定個人の行動軌跡を2次元UTM座標にプロット(n=369)したのが図6である。東西10km、南北30kmの範囲で移動していることがわかる。ダイアリー調査の結果と比較することにより、自宅での滞在、第1番目の仕事先への移動、第2番目の仕事先への移動、自宅への帰宅を読み取ることができる。ダイアリーによれば、この被験者は第1番目の仕事先の近くで昼食を取ったと報告しているが、この図から昼食地点と1番目の仕事先を判別することはできない。

PHSデータから推定される1日の時間利用パターンをダイアリーから得られる1日の時間利用の報告値と比較したのが図7である。PHSデータの再現の際の2点間の

Step #0
移動/滞在の識別

Step.1, 2, 3, 4
帯に含まれるリンク集合の抽出

Step.5, 6
帯上での最短経路探索

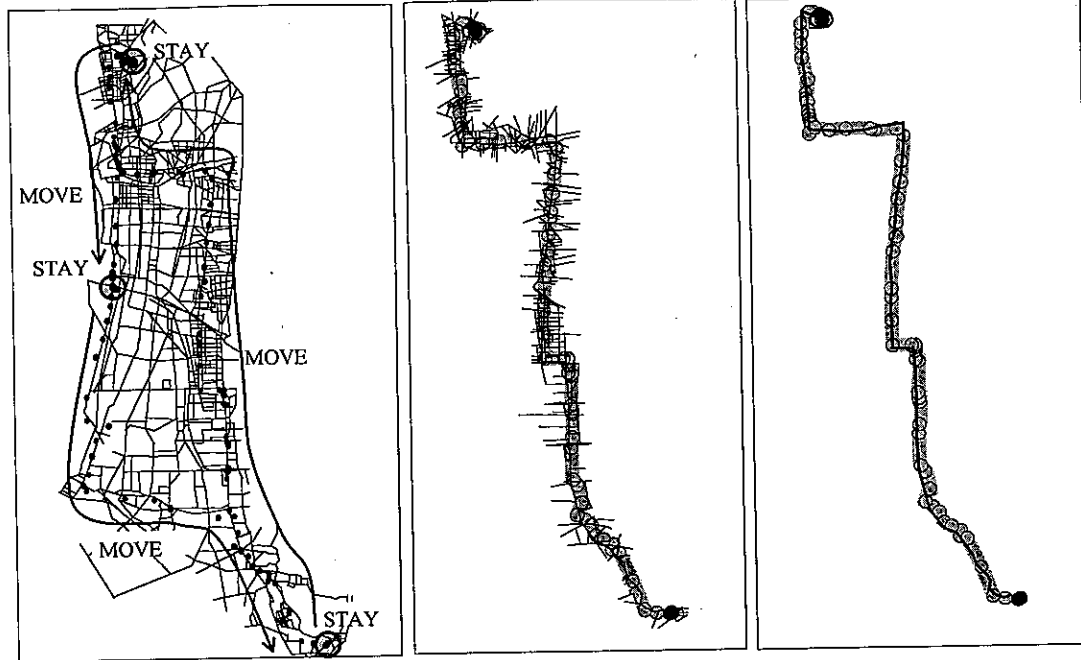


図-8 経路抽出の例

距離の閾値としては、すべての誤差の累積分布のタイル値 (90%, 95%, 99%) を用いた。具体的には、各タイル値に対してそれぞれ、168.0m, 223.8m, 544.6mである。

ダイアリーによれば、この被験者はこの日に4回のトリップを行って、総旅行時間は250分である。第2番目のトリップ時間が10分とやや短いことを除けば、他の3トリップはいずれも60分以上である。交通手段はすべて車である。

90%タイル (168m) を距離の閾値に設定してダイアリーを再現し時間利用を推定した場合は、ほぼダイアリーと一致している。トリップ数は4回である。総旅行時間は223分で、ダイアリーと比較して1割程度短い。

95%タイル (224m) を距離の閾値に設定した場合は、ダイアリーで報告された第2番目のトリップを再現できていない。この被験者は第1番目の仕事先に向かう前に昼食を取っているが、その際の滞在と昼食先から仕事場へのトリップが再現されていない。昼食先と仕事場との距離が短いこと、滞在時間が短いことが原因であろう。結果的にトリップ数は3回である。総旅行時間は212分であり、第2番目のトリップを再現できなかった分だけ旅行時間が短くなっている。

99%タイル (545m) を距離の閾値に設定した場合は、ダイアリー報告値との差違がさらに拡大する。95%の場

合同様に、第2トリップを再現できていないことに加えて、第1および第4トリップをそれぞれ2つの短トリップに分割 (トリップ途中で滞在が入る) してしまっている。この理由は、旅行速度が遅いことが原因であると思われる。たとえば、帰路では約40kmの距離を約1.5時間 (旅行速度30km以下) で移動している。途中で渋滞と見られる速度低下箇所があり、そこできわめて低速での移動となっている。99%タイル (545m) を閾値とした時は、データ更新間隔である約2分間に545mの移動がなければ、移動点とみなさない。移動速度に換算すると、時速約16kmであるから、この速度以下になれば移動と停止を正しく判別することは困難である。むしろこの結果は、19時前後にトリップメーカーが渋滞に遭遇した可能性を示唆するものとして理解するべきであろう。

(2) 特定の個人のODペア間の経路の抽出

図-8は図-6に示した個人の行動軌跡の中で自宅への帰宅トリップに着目し、経路の特定化を試みた過程を示したものである。ベースとなるネットワークはデジタル道路地図から取り出した。帯幅Dは、99%タイル値である545mに設定した。トリップ長が約40km以上と比較的長く、帯幅に対して帯の長さが相対的に長いこともあって、サブネットワークを抽出した段階で経路の形状を

おおむね把握することができている。

基本ルールを適用して、サブネットワーク上での最短経路探索により抽出した経路を図-8 Step5,6に示す。抽出した経路は、ほぼ帯の中央部に位置するリンクを順に経由するものとなっている。真の経路データを入手できなかったため、取り出した経路が真の経路と一致するかどうかを判定することはできないが、連続した位置座標データからある程度現実的な経路を特定することには成功したと言えよう。

この例に示すように、トリップ長が長くODペア間の位置特定点が十分に多い場合には、帯の抽出の段階で経路がほぼ特定できる。しかしトリップ長が短い場合には、本研究で設定した約2分間隔でデータ収集を行うと、たかだか2~3個の位置特定点が得られるに過ぎないこともある。データ収集間隔を短縮しない限り、そのようなケースでの経路の特定はここに示した方法では困難であり、必要に応じて新たな方法を開発しなければならないであろう。

6. おわりに

本研究は、近年急速に普及しつつある携帯電話やPHSといった移動体通信の技術を応用した交通行動調査の可能性を検討したものである。従来のPT調査やダイアリー調査では、データの精度が被験者の記憶に依存するが、とくに活動の時刻と場所の特定は難しい。これに対して、PHS等の移動体通信システムはほぼ正確に時刻と場所が特定できる。本研究で用いた観測システムはPHSの位置特定機能を利用したものである。PHSは郊外の基地局密度が低いという欠点はあるが、都市内では、GPSベースの機器と比較してよりシームレスに行動データの収集が可能であるという利点を持っている。地下街や高層ビル内の移動や、異なった交通手段を乗り換える際の行動も把握できる。

本研究では、大阪地域に住む10名の被験者を対象に、約2分間隔で2週間にわたって行動を観測した。得られたデータを用いてPHSの位置特定誤差を調べると、平均誤差が77m、誤差の90%タイル値が180mであった。交通行動の特定のための位置データとしては、おおむね十分な精度であると考えられる。

PHSによる位置特定データだけでは交通計画情報として不十分である。本研究では「移動点と滞在点の識別」、「経路の特定化」という2点に絞って、行動データへの変換方法についての基本的考え方を示した。PHSによる位置特定データを時空間の交通行動データに変換し、ダイアリー調査の結果と照合したところ、2点間の距離の閾値を適切に設定すればPHSデータによる移動と滞在の識別が可能であることが確認できた。また、経路の

特定に関しても、ある程度現実的な経路を抽出できることがわかった。分析の対象としたサンプルは特定の1サンプルに限定されているため慎重に判断しなければならないが、提案した方法により一日の総トリップ時間やトリップ数の記述は可能であると考えられる。なお、トリップ長の短い移動や、滞在時間が短い活動を正確に識別するには、距離と時間の許容値の設定方法を検討する必要があることはいうまでもない。

高精度の行動データを収集できることは、移動体通信を利用した行動調査の大きな利点である。得られた行動データは、精緻な交通行動モデルを適用するために利用することができるであろう。もちろん、移動体通信を利用した行動調査のような外部観測のみで行動のすべてが完全に把握できるとは限らないことは明らかである。たとえば、行動目的を外部観測から推定することは難しい。外部観測とダイアリー調査などの併用を検討する必要があるであろう。

現時点では、従来型の紙ベースの調査と新たなタイプの調査の役割を議論できるほど十分な観測データが蓄積されていないので明確に結論づけることはできないが、移動体通信システムを利用した調査は、PT調査のような大規模な交通行動調査を補完する役割を果たすものと期待される。移動体通信機器やシステムの技術革新の速度は著しく早いため、特定の機材やシステムにとらわれることなく、小サンプルでの観測を通して利用可能性を継続的に検討していくことが重要であろう。

なお、本稿の狙いをPHSによる位置座標データから行動データへの変換方法の提案に置いたため、紙面の都合上、PHSの特徴のひとつである多層化された都市空間での人の交通行動のシームレスな観測結果についての分析結果を紹介することはできなかった。実態調査で得られた全てのサンプルを用いた集計分析の結果については別稿で発表の予定である。

謝辞：最後に、本研究を開始する時点で貴重な助言をいただいた京都大学名誉教授で南山大学教授の長谷川利治先生、実態調査に御支援いただいた阪神高速道路公団、および被験者となってくださった同公団のモニターの方々へ深く感謝いたします。また、調査の実施に際しては、愛媛大学大学院の高橋厚年君をはじめ多くの学生諸兄の協力を得た。ここに記して感謝します。

参考文献

- 1) Garling, T., Laitila, T. and Westin, K.: Theoretical Foundations of Travel Choice Modeling, Pergamon Press, Amsterdam, 1998.
- 2) 森川高行: 個人選択モデルの新展開と再構築. 土木計画学研究・論文集, No.12, pp.15-27, 1995.
- 3) 小林潔司: 知識社会における交通行動: 課題と展望. 土木計

- 画学研究・論文集, No.12, pp.1-13,1995.
- 4) Eterna, D., Timmermans, H. and Veghel, L.V. : Effects of Data Collection Methods in Travel and Activity Research. *For European Institute of Retailing and Services Studies*. <http://www.fhwa.dot.gov/ohim/trb/reports.htm>, 1996.
 - 5) Axhausen, K. : Can We Ever Obtain the Data We Would Like to Have ? in Garling, T. et al. (eds.) *Theoretical Foundations of Travel Choice Modeling*. Pergamon Press. Amsterdam., pp.305-234,1998.
 - 6) 羽藤英二,香月伸一,朝倉康夫,平井千智: 交通情報提供下の経路選択行動データの収集方法に関する一考察. 第18回交通工学研究発表会論文報告集. pp.1-4,1998.
 - 7) LOCUS: Location Information Services by Portable Phone Networks. <http://www.locus.ne.jp/regular/e/locus2.system.htm>,1999
 - 8) 高橋克己,三浦信幸,大坪理恵,島健一: モバイル環境における消費行動の支援. 第6回マルチエージェントと協調計算ワークショップ(MACC'97), 1997.
 - 9) Martin, P. and Bateson, P. : *Measuring Behaviour: an introductory guide*. Cambridge University Press, Cambridge. (粕谷英一・近雅博・細馬宏通(訳) 行動研究入門. 東海大学出版会), 1985.
 - 10) 佐佐木綱松井寛: 会場内の観客流動モデル. 土木学会論文集. 第159号, pp.90-95,1968.
 - 11) 朝倉康夫,羽藤英二,宗貞孝太郎,真浦泰久: 実道路網上でのドライバーの経路選択・変更行動に関する実証分析. 第18回交通工学研究発表会論文報告集. pp.9-12,1998.
 - 12) Andre, M. : Vehicle Uses and Operating Conditions: On-Board Measurement. In Stopher, M. and Lee-Gosselin, M. (eds.) *Understanding Travel Behaviour in an Era of Change*. pp.469-481,1997.
 - 13) Zitto, R., D'Este, G. and Taylor, P. : Global Positioning Systems in the Time Domain: How Useful a Tool for Intelligent Vehicle-Highway Systems ? *Transportation Research C*. Vol.3, No.4, pp.193-209, 1995.
 - 14) Sermons, M.W. and Koppelman, S. : Use of Vehicle Positioning Data for Arterial Incident Detection. *Transportation Research C*. Vol.4, No.2, pp.87-96,1996.
 - 15) 大森直暁,室町泰徳,原田昇,太田勝敏: 交通行動調査へのGPSの適用可能性に関する研究. 第18回交通工学研究発表会論文報告集. pp.5-8,1998.
 - 16) Battelle Transportation Division : Lexington Area Travel Data Collection Test: Global Positioning Systems for Personal Travel Surveys. Final Report to FHWA (Federal Highway Administration). <http://www.fhwa.dot.gov/ohim/trb/reports.htm>, 1997.
 - 17) SnapTrack: An Introduction to SnapTrack Server-Aided GPS Technology. <http://www.snaptrack.com/>,1999.
 - 18) 建設省建築研究所, (財) 計量計画研究所: 都市交通調査の新たな実態調査手法の検討調査報告書, 1999.
 - 19) 高橋厚年,羽藤英二,朝倉康夫: 移動体通信システムによる交通行動データ特性に関する基礎的分析. 土木計画学研究・講演集 22(1), pp.413-416, 1999.
 - 20) D'Este, G.: Hybrid Route Choice Procedures in a Transport Network Context. *Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies*. Vol.2, No.3, pp.737-752,1997.

(1999. 9. 6 受付)

MONITORING TRAVEL BEHAVIOUR USING PHS BASED LOCATION DATA

Yasuo ASAKURA, Eiji HATO, Takehiko DAITO and Jun TANABE

The possibility of using mobile communication devices for travel activity survey is discussed. The PHS based system gives the precise location of an individual. Through the field test in Osaka, it is found that a person will be at the calculated position within 180 meters of the accuracy with 90% of confidence. A rule-based procedure of transforming the positioning data to the activity diary of individuals is developed. A series of individual data is calculated in the conditions of the maximum moving distance and the minimum stopping time. The estimated time-space path in a day is compared with the travel diary obtained by the questionnaire survey of the conventional form. It is found that the estimated travel diary using the PHS data is consistent with the diary of the conventional survey form. The mobile communication systems would be available in a supplemental survey of a large scale travel behaviour survey.