

# 仙台都市圏の人の流れの時空間的詳細化\*

## Spatio-temporal Interpolation of People Flow in Sendai Metropolitan Area\*

平野 貴俊\*\*・谷下 雅義\*\*\*・関本 義秀\*\*\*\*

By Takatoshi Hirano\*\*, Masayoshi Tanishita\*\*\* and Yoshihide Sekimoto\*\*\*\*

### 1. 背景・目的

都市において、いっどこにどれだけの人がいるかという時空間分布は、地震や火災などでの二次災害の回避、新型インフルエンザなどのウイルス感染の拡大<sup>1)</sup>や大気汚染物質の体内取り込み量を通じた健康リスク<sup>2)</sup>などを知る上で重要である。そうしたニーズに答えるための基礎となるデータの一つとしてパーソントリップ調査がある。

パーソントリップ調査は、人（パーソン）の一日の移動（トリップ）を把握するために行われる調査票記入方式によるアンケート調査であり、人がいつ、どこからどこへどのような交通手段を利用して移動したのかなどを知ることができる。しかしこのような調査票におけるデータは断片的な時空間位置のみで、回答者の負担や調査費用の面からもトリップの移動経路を調査することは困難であり、先に書いたニーズに対して必要な詳細で精度の高いデータであるとは言えない。

そうした限界があるものの、このデータをもとに、時刻別の位置についてデータを補間することで人の流れについての時空間的把握が関本ら（2008, 2009）<sup>3,4)</sup>により進められている。

その研究では時刻別の位置を同定するために、まずパーソントリップ調査の町丁目ベースで記載されたデータからアドレスマッチングを行い経緯度に変換し、交通手段別に最短経路で経路検索を行いつつ、特定した経路に対しては空間内挿を行って、実際の道路や鉄道ネットワークに沿った形でデータ補間している。また、時間的な詳細化を行う時などは経路上のどこにいるのかを求める必要があり、1分単位でそれぞれのネットワークに沿う形で時間分割を行っている。



図-1 OD位置から時空間経路の算出イメージ

しかしながら先行研究では、アドレスマッチング後最短経路検索によって特定されたネットワーク上を等間隔で時間分割することで詳細化を行っているため、徒歩や自動車、鉄道などの交通手段の違いによる速度の違いを表していない。

そこで本研究は仙台都市圏を対象とし、さまざまな交通の中から地方都市では重要な役割を担っている路線バスを利用した交通に注目し、交通手段ごとに別々の速度分布を持ちそれぞれの速度分布に従った速度で移動していると仮定し、最短経路検索によって特定されたネットワーク上で移動手段の違うアンリンクトリップ（トリップが一つの目的を一単位としているのに対し、一つの交通手段を一単位としておりそれ以上分けることのできない最小単位の分け方）別々に時間分割を行うことで、交通手段の違いによる速度の違いを表すことで、よりより実態に近い時空間位置を求めることを目的とする。

### 2. データ

データには平成14年度に行われた第4回仙台都市圏のパーソントリップ調査<sup>5)</sup>のマスターデータを使用する。調査地域は仙台市を中心とした仙台市、塩竈市、名取市、多賀城市、岩沼市、大河原町、村田町、柴田町、川

\*キーワード：パーソントリップ 時空間 速度分布

\*\*千葉県庁

\*\*\*中央大学理工学部

\*\*\*\*東京大学空間情報科学センター

表-1 トリップの分類・トリップ数

全トリップ (236, 214)	
単一手段トリップ	複数手段
自家用車 (97, 268)	路線バス を含まない (14, 123)
徒歩 (45, 713)	路線バス を含む (12, 906)
自転車(21, 908)	
その他 (貨物車・2輪車・送迎バス) (13, 039)	

崎町, 亘理町, 山元町, 松島町, 七ヶ浜町, 利府町, 大和町, 大郷町, 富谷町, 大衡町, 鹿島台町, 鳴瀬町の 20 市町で 91, 377 人 236, 214 トリップのデータを扱う. その内トリップが単一手段で表わされているものは 179, 128 トリップ, トリップが複数手段で表わされているものは 27, 029 トリップになる. 複数手段で表わされるトリップなどさまざまなパターンがあり、例えば

- ・徒歩-路線バス-徒歩
  - ・徒歩-路線バス-電車-電車-路線バス-徒歩
- と言うように全部で 290 パターンのトリップがある. この中で交通手段に路線バスを含むパターンは 110 パターンあり, トリップでは 12, 906 トリップになる.

今回扱っているトリップの中には同一ゾーン内の移動を行っているデータがある. その数は 26, 839 トリップで, このうち徒歩の割合が最も多く 18, 169 トリップが徒歩での移動になっている.

詳細は表-1 のとおりである.

### 3. 方法

まず全体のフローを図-2 に示し, 以下説明を行う.

#### 3. 1. 内挿できないデータの抜き出し

まずパーソントリップデータのマスターデータから内挿出来ないデータを抜き出すことをする. 内挿できないデータとは, 航空機や船舶を利用しているようなアドレスマッチングのできないデータや, 出発時刻, 到着時刻の不明なデータといったように場所や時刻の特定ができないデータのことである. また, 抜き出すときはパーソン単位で抜き出すことをしている. パーソン単位で抜き出す理由として, 本研究では一人一人ずつの一日の動きを視

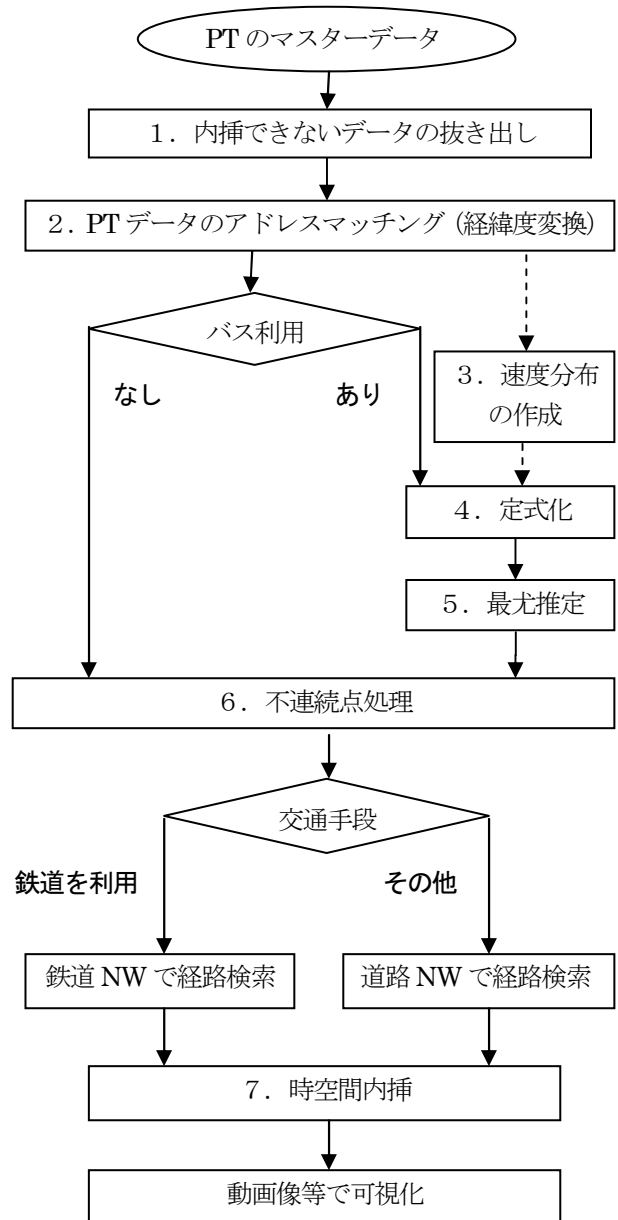


図-2 パーソントリップデータの処理フロー

覚化するため1トリップのみ抜き出してしまうと, そのトリップをしていた時間帯が停滞として扱われてしまい, 人の一日の移動の正確な内挿ができなくなってしまうためである.

#### 3. 2. アドレスマッチング

次にこれらのデータを除いた残りのデータについてアドレスマッチングを行い町丁目ベースのデータを緯度経度のデータに変換する. ただしゾーンコードは, 場所によっては町丁目単位ごとにそれぞれ違うコードが与えられているところもあれば, 複数の町丁目が同一のコードで表されている地域などがあり, ゾーンの単位が密であるところと疎であるところがでてしまう. このときは, 判断基準を設けてそれに沿って経緯度への変換をする.

今回過密になっている場所に対してはそのまま使用し,

過疎にあたる場合はその重心を求め重心にあたる経緯度をそのゾーンコードの経緯度として扱っている。ただし重心を使う場合も例外はあり、重心を求めた結果その位置が海の上のように移動のできないような場所に決まったときなどは別の方法を使い移動可能な別の位置の経緯度を使用している。

### 3. 3. 速度分布の作成

速度を考慮して路線バスの内挿を行うためにまず交通手段ごとに分けて速度分布図を作成することをした。速度分布図を作成するにあたり仙台都市圏のパーソントリップ調査のデータを利用している。仙台都市圏のパーソントリップ調査には、一つのトリップ内で単一の交通手段のみで表わされている（アンリンクトリップそのものがトリップを表わしている）データとトリップ内に複数の交通手段を利用している（いくつかのアンリンクトリップで一つのトリップを表わしている）データとがある。このデータから速度分布図を作るのだがトリップが複数の交通手段で表わされているデータは乗り換え時間や乗車時間等のデータがないため正確な移動を表わすことができずデータの補間が必要なものとなる。逆に単一手段でトリップを表わしているデータは出発地点や出発時刻、到着地点や到着時刻のデータがあるのでデータを補間することなく速度を調べることが出来る。

よって、単一手段でトリップを表わしているデータから速度分布図を作成することをした。しかし、単一手段でトリップを表わしているデータの中に路線バスの移動を表わしているトリップはなく送迎バスと路線バスの速度分布図はほぼ一緒の速度分布だと仮定して送迎バスの速度分布から路線バスの速度分布を推定している。トリップデータの速度分布は図-3、図-4のとおりである。

しかし、下の表を作成するにあたって利用したデータそのものが正確な値を利用しているともいえない。

パーソントリップ調査は移動をゾーン単位での集計をしている。そのためゾーン内にいる人はすべてそのゾーンの代表点から他のゾーンの代表点への移動でしか表現できていないため移動距離が正確なものではない。

またパーソントリップ調査はアンケート調査であるため、移動時間に関しておおよそで答えている可能性がある。例えば実際は徒歩の移動が3分だったり7分だったりした場合そのまま正確に答えるのではなく大体5分と言ったように答えている可能性がある。そのため移動時間に関しても正確であるとは言えないからである。

なお今回速度分布を作成するにあたって速度を持たない(0km/h) データは除いて作成している。本研究ではゾーンの代表点から代表点への移動を表わしているため同一ゾーン内での移動は表わすことができない。そのため同一ゾーン内での移動は実際には移動していたとしても

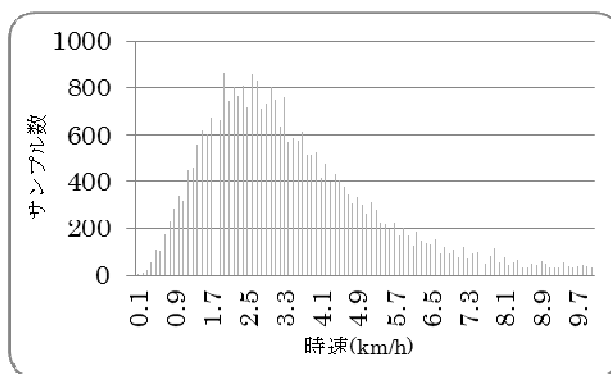


図-3 徒歩の速度分布

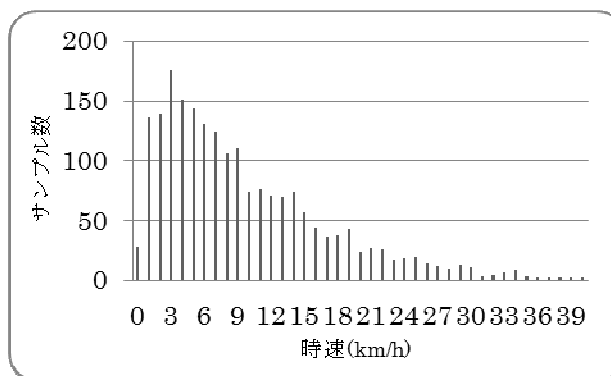


図-4 路線バスの速度分布

それを表現することはできず速度を持たないデータとなっているからである。

### 3. 4. バスおよび徒歩の移動速度の推定

本研究では、これらの速度分布をもとに、それぞれベータ分布に従うと仮定した (図-5, 6)。このベータ分布の妥当性の検証は今後の課題である。

仙台都市圏のパーソントリップデータでは、トリップの所要時間とOD間の距離が得られており、そして①バス停の位置はゾーン中心から最も近いバス停である、②出発地からバス停に到着するまでの徒歩速度とバス停を降りて目的地に到着するまでの徒歩速度を同じと仮定すると、推定すべき変数は、バスの乗車時間Tとし、以下のような定式化を行った。

出発地点からバス停までの距離 : L1

バス停から到着地点までの距離 : L3

バスでの移動距離 : L2

出発時刻 : T1

到着時刻 : T2

とする。ここでバス乗車時間 : Tを決めると、徒歩速度Vと路線バス速度VbはTを用いて以下のように表現できる。徒歩速度

$$V = \frac{L1 + L3}{T2 - T1 - T} \quad (1)$$

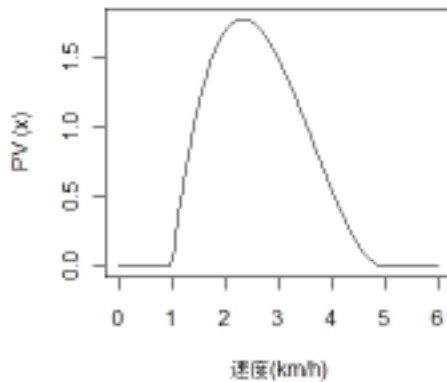


図-5 徒歩ベータ分布の密度関数  
(時速1~5kmで2.4kmに最頻値を有する)

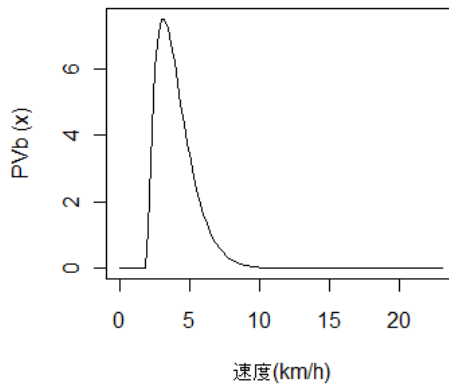


図-6 路線バスベータ分布の密度関数  
(時速2~24kmで4kmに最頻値を有する)

路線バス速度

$$V_b = \frac{L_2}{T} \quad (2)$$

徒歩速度  $V$  とバス速度  $V_b$  は、ベータ分布に従うと仮定したから、こうした速度が実現する  $P(V)$  および  $P(V_b)$  の確率の積が最大にするようにバスの乗車時間  $T$  を決める。

$$\text{Max}_T P(V) \times P(V_b) \quad (3)$$

本研究ではトリップ内で徒歩と路線バスを利用しているサンプルに関して乗車、降車時刻の推定を行っている。この方法は交通手段が3つ4つと増えてもそれぞれ速度分布の積を最大化することですべてのトリップに対して利用できる。

### 3. 5 不連続トリップの処理

次に交通手段別の最短経路検索を行う。このときそのままのデータを使うとアンリンクトリップ間で不連続な点ができるデータがある。これは  $n$  番目のアンリンクトリップ到着地の駅・バス停コードと  $n+1$  番目のアンリンクトリップの出発地の駅・バス停コードが違うコードで書かれていることで起こる。例えば仙台駅ではJRの在来線と地下鉄とは違うコードが割り当てられており、JRの駅に到着し地下鉄の駅から出発すると不連続な点が出てしまう。こういった場合どちらか一方のコードを経由地とし他方のコードを経由地としたコードに変換して不連続点をなくして内挿を行うことをする。

### 3. 6. 各ネットワーク内経路検索

こうして加工したパーソントリップデータを交通手段ごとに最短経路検索をする。電車なら鉄道の最短経路、徒歩なら道路の最短経路などである。このとき、仙台都市圏パーソントリップデータには出発時刻と到着時刻のデータしかないのでトリップ内で利用した交通手段ごとの速度を使い速度の違いで按分を行う。

また、これだけだと人の流れを流動的に表すことができないので算出した最短経路のネットワーク上に時間的案分を行ったポイント間をさらに一分間ごとの時間分割することで補間し、時刻ごと(1分間単位)の画像を作成する。本研究では時間的案分をする上で本来考慮すべき待ち時間、例えば道路ネットワークだと信号、鉄道ネットワークだと乗り換えなどの待ち時間などはないものとして考えている。

最後に作成した画像データを連続的に表すことでアニメーションを作り詳細化を行う。今回アニメーションを作る上で仙台駅周辺の交通について交通手段ごとにそれぞれ色を分けて内挿している。

## 4. 結果

### 4. 1 除外データアドレスマッチング

データの中にはアドレスマッチングができないデータや内挿ができないデータがあり、航空機や船を利用しているデータ、廃線になった鉄道を利用しているデータはアドレスマッチングができない。また、出発時刻、到着時刻が不明なデータ、域外へ出ているデータについては、アドレスマッチングはできるが時間内挿ができないため除外する。これらの今回除外したトリップデータの数は表-2のとおりである。

表-2 理由別のトリップ・パーソンの除外数

除外の理由	Tri	Per
交通手段が不明・航空機船舶利用	233	144
出発時刻・到着時刻が不明	0	0
アドレスマッチングができなかったコードを利用	164	75
PT調査上のコードがゾーンコード表にない	10,027	4,381
アドレスマッチングできない駅コードを利用	36	24
計	10,333	4,520

除外したデータの総数は、全236,214トリップ中4.3%にあたる10,333トリップであった。人数に関しては91,377人中4.9%にあたる4,520人除外している。

本研究ではアドレスマッチングするにあたり第4回ゾーンコード表、駅コード表も合わせて使っている。ゾーンコード表は全部で12,379ゾーンに分けられていて、字ごとにコードが振られている場所やいくつかの字を一つのゾーンとしてコードを振っているところ、町単位を一つのゾーンとしてコードを振っている地域などがある。また駅コードは全部で844コードある。

ゾーンコードから経緯度に変換するアドレスマッチングには、国土地理院の数値地図、国土交通省国土計画局国土情報整備室の街区レベル位置参照情報、加除出版の地理データを使用から最も当てはまりの良いものを使用している。

バス停に関してはゾーンコードの代表点から最も近くにあるバス停の位置をそのゾーンで利用しているバス停と仮定し位置を定めた。

#### 4.2 路線バス交通

本研究では仙台駅周辺を移動するトリップ（徒歩-路線バス-徒歩の順に移動している）2,403トリップについて推定を行った。

推定後の速度分布については図-7、図-8のとおりである。

しかしながら、101のトリップに関しては推定結果を得ることができなかった。それらのデータの特徴は移動時間が極端に長かったりもしくは短かったりするものが多かった。移動時間は最長のもので210分、最短のもので3分というものがあつた。これらのデータについてはエラーデータとし除外することとした。

#### 4.3 不連続点処理

アンリンクトリップ間で不連続になるデータがあり、アンリンクトリップの到着地と次のアンリンクトリ

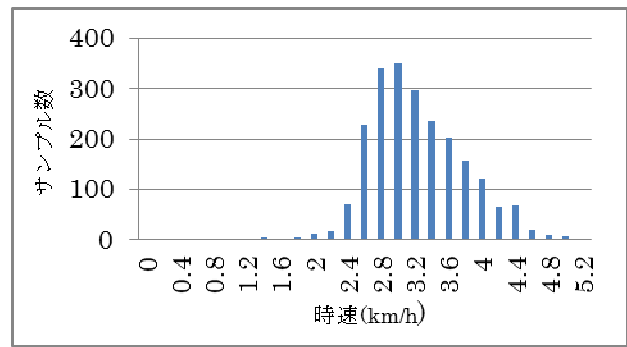


図-7 推定後の徒歩速度

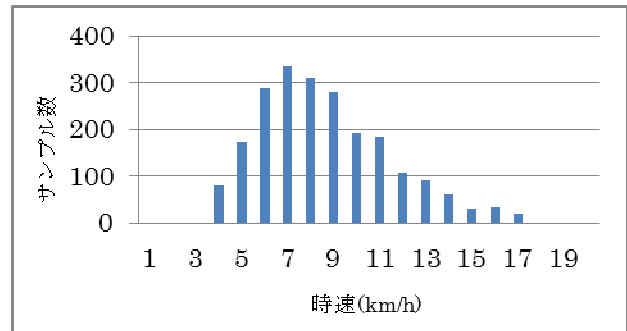


図-8 推定後の路線バス速度

表-3 不連続データ

不連続パターン	Point
出発地のみコードがわかる	3,333
到着地のみコードがわかる	3,339
出発地・到着地が違うコード	1,009
計	7,681

ップの出発地で書かれているコードが違うもののほかに出発地、到着地のみコードが書かれていて不連続になっているものもあり、その総数を表-3に整理した。

#### 4.4 時空間内挿

今回内挿するにあたり仙台駅周辺を利用しているパーソンに対して時空間内挿を行った。内挿を行った人数は10,525人になる。ひとつのバスを利用したトリップの出力結果は図-9のとおりである。

これまでアドレスマッチング後最短経路検索によって特定されたネットワーク上を等間隔で時間分割することで詳細化を行っているため、徒歩や自動車、鉄道などの交通手段の違いによる速度の違いを表していなかった。

今回、最尤法の考え方をを用いて速度分布を考慮した結果、時刻別の位置で最大約1km、トリップ長に占める比率で最大で約30%に相当する。

今回の速度分布の考慮は、この結果を何に用いるかにも依存するが、たとえば大気汚染物質の体内取り込み量



図-9 あるトリップの出力結果

(点線が手段による速度の違いを考慮しない従来の場合、実線が速度による違いを考慮した本研究の場合)

を計算するときなどにおいては結果に少なからず影響を与えるものであるといえる。

## 5. おわりに

本研究では交通手段に路線バスを含むトリップ、中でも徒歩-路線バス-徒歩のトリップに関して1パターンのみ速度分布を利用した内挿を行なった。これは路線バスを利用するトリップ12,906のうち7,901トリップにあたり残りの109パターン5,005トリップに関しては速度分布を利用しておらず正確な内挿を行なっていない。これらのトリップに関しても本研究で行なったように交通手段それぞれの速度になるときの確率の積が最大になるようにして内挿する必要がある。

また、ゾーン内の移動に関していうと実際は移動しているにもかかわらず、本研究では代表点から代表点への移動でしか表すことしかできていないため移動を表現できず同じ場所にとどまっているように表現されている。これらのデータに関しては速度分布に従うようにゾーン内で分散させ移動を表現させる必要がある。

パーソントリップ調査には利用したバス停のデータがある。しかし本研究ではデータに書いてあるバス停の利用しているのではなくトリップの出発地、到着地から最も近いバス停を利用している。これはゾーンサイズが大きい場合ゾーンの代表点からバス停までの距離が遠くなってしまい速度分布の当てはまりが悪くなってしまからである。これに関しても実際利用しているバス停の位置から速度分布に従ってゾーン内に出発地、到着地を分散させることが必要である。

## 参考文献

- 1) 江島啓介, 鈴木秀幸, 合原一幸「東京都市圏パーソントリップ調査データに基づく新型インフルエンザ感染伝播の数理モデリング」運輸と経済, 70(1), pp. 54-62, 2010.
- 2) JD Marshall, PW Granvold, AS Hoats, et al. Inhalation intake of ambient air pollution in California's South Coast Air Basin. *Atmospheric Environment*, 40(23). 2006.
- 3) 関本義秀, 菊地英一, 佐藤圭一, 秋山祐樹「パーソントリップデータを活用した人の流れの時空間的な詳細化」第28回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 197-200, 2008.
- 4) 島崎 康信, 関本 義秀, 柴崎 亮介「人の流れによる時間帯別人口と店舗数との相関関係についての研究-パーソントリップ調査の時空間内挿データと国勢調査データとの比較分析」都市計画論文集 (44), pp. 781-786, 2009
- 5) 仙台都市圏パーソントリップ調査  
URL:<http://www.pref.miyagi.jp/tosikei/pt/index.html>, 2009/12/14 アクセス