

## 第2章

### 調査・データ分析

#### 2.1 移動空間計画の俯瞰

##### 2.1.1 移動の概念

都市で生活していく上において，都市内のあらゆる活動を繋ぐ要素である移動は最も重要な活動の1つであると言える．一般的に交通分野では，移動を表す最小単位として「トリップ (trip)」という概念を用いる．トリップの例を図 2.1 に示す．

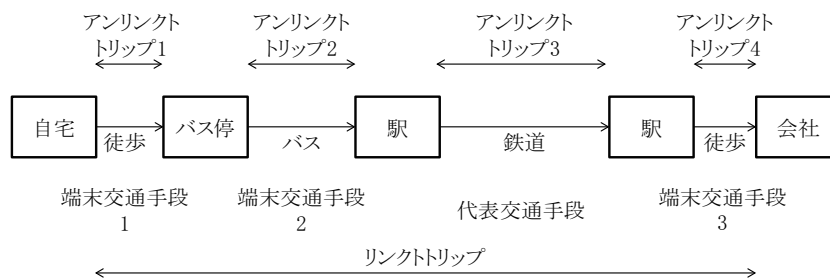


図 2.1 トリップの例

トリップは1つの移動に対して出発地，目的地（これらをトリップエンドと呼ぶ），移動目的，移動手段などの情報を含んでいる．トリップは，移動手段ごとに移動を分割したアンリンクトトリップと，1つの目的の移動を1トリップとするリンクトトリップに大別される．リンクトトリップには交通手段

が複数含まれる場合があり、主要な交通手段である代表交通手段とその他の端末交通手段に分けることができる。

トリップを集計的に取り扱い、交通量の予測を行う手法としてこれまで4段階推定法と呼ばれる手法が多く用いられている。次項では4段階推定法について取り上げ、概説すると同時にトリップベースの手法である4段階推定法の持つ問題点について整理する。

### 2.1.2 4段階推定法

4段階推定法はトリップを単位とした交通需要予測手法の1つで、現在も世界中で広く使用されている手法である。この手法は需要予測を、トリップの発生・集中、分布、交通機関分担、ネットワーク配分の4段階に分けて予測する手法で、これら4段階を実行する順番から、図2.2に示すように、以下の2つに大別される。

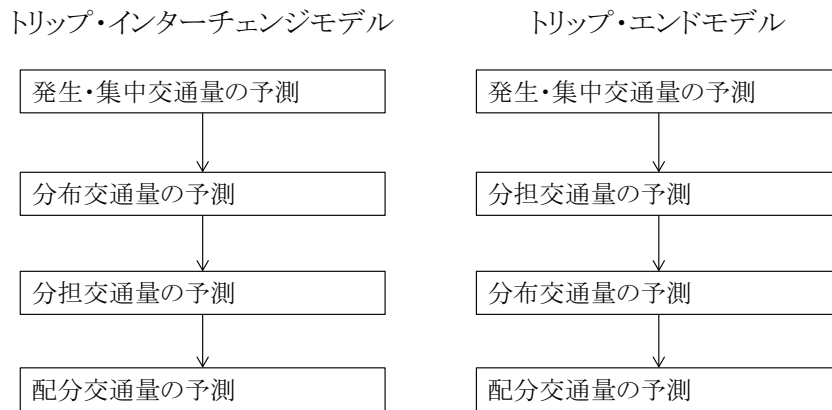


図 2.2 4段階推定法の推定フロー

#### トリップエンドモデル

発生・集中→分担→分布→配分の順に推定する手法。まず各ゾーンから発生するトリップ及び各ゾーンに集中するトリップの総量が推定される。次に、これらのトリップを交通手段別に振り分ける。そして

各交通手段の、発トリップの目的地あるいは着トリップの出発地が推定される。最後に、これらの交通手段及びODが推定されたトリップを経路に分割してネットワーク上のリンクの交通量が求まる。

#### トリップインターチェンジモデル

発生・集中→分布→分担→配分の順に推定する手法。発生・集中および配分の推定手順はトリップエンドモデルと同じであるが、分担と配分の推定順序が異なる。このモデルでは、先に各トリップのODの分布を推定し、そのODごとの機関分担を推定する。

このように、段階的な推定手法をとることで、単純なモデルの組み合わせによってネットワーク上の交通需要を予測することが可能となる。以下では、各段階の具体的な手法についてまとめる。

##### (a) 準備

4段階推定法を行うために、以下のような準備が必要となる。

#### 対象地域の設定

交通需要予測を行う際には、交通計画の目的を考慮したうえで対象地域を適切に設定する必要がある。具体的には、OD、移動経路ともに全てが対象地域内にあることが理想である。一般には、計画している交通施設の利用圏域を対象地域に設定することが多い。

#### ゾーン・ネットワークの設定

4段階推定法では、対象地域をゾーンに分割し、これらのゾーンをODの単位とするトリップの予測を行う。ゾーンをまたがる交通は、各ゾーンのセントロイドと呼ばれる代表地点間によってのみ生じると仮定している。このため、現実の交通ネットワークの粗密に応じてゾーンの大きさを適切に設定する必要がある。またネットワークは、交通結節点や発生・集中ノードからなるノード、とノード間を結ぶリンクから構成される。この時リンクは均質な区間を表すように設定する必要があり、さらに各リンクには料金や車線数といった属性を与えることで、これらの属性を考慮した推定を行えるようにする必要がある。

### 社会経済指標の収集

各段階でのモデル式に入力するためのデータとして、一般に年齢・性別人口や従業人口といった社会経済指標を用いる。これらの指標は、計画を評価するうえで現在の値と将来の値をともに持たなければならず、またより現実をうまく再現することができるという「再現性」と、指標そのものにモデルにおける意味があるという「有意性」を同時に持たなければならない。

#### (b) 発生・集中交通量の予測

4段階推定法において、まず初めに行われるのが生成交通量の予測である。生成量の予測には一般的に交通量原単位、すなわち個人が1日に生成するトリップ数の期待値を用いることが多い。生成原単位には、調査日当日に外出した人のみ集計したネット生成原単位と、外出していなかった人を含めて集計したグロス生成原単位が存在する。

これらの生成交通量をもとに、各ゾーンにおける発生交通量および集中交通量を予測する。予測手法は主に原単位法と回帰モデル法の2つが存在する。

#### (c) 分布交通量の予測

分布交通量の予測とは、ゾーン $r$ から発生し、ゾーン $s$ に集中する交通量 $t_{rs}$ を予測することである。これら交通量は一般的に発生地・集中地の2次元の配列でまとめて示されることが多く、この配列をOD表という。

OD表の各要素、すなわち $t_{rs}$ を求める手法として、成長率法、重力モデル法がある。

#### (d) 分担交通量の予測

交通手段別の交通量を推定する手法は、ゾーン単位で分担割合を推計する集計モデルと、個人や世帯の分担割合を推計する非集計モデルに大別される。前述のトリップエンドモデルとトリップインターチェンジモデルそれぞれの場合の推定手法について概説する。

### トリップエンドモデルの場合

ゾーンごとの発生・集中交通量1つ1つに対して交通手段別選択割合を推定するモデルで、各ゾーンについてアクセシビリティ指標や個人属性構成比を推計し交通手段の選択割合を求める。ゾーンの特性をより

考慮することができる反面、ゾーン間の交通手段の比較や目的地の分布を考慮できず、交通政策の変化を反映しにくいという問題点がある。

#### トリップインターチェンジモデルの場合

分布交通量が既に推定されているため、ODごとの交通手段分担率を推定するモデルである。交通手段別の所要時間差と選択比率の関係を表した転換率曲線が使われることが多い。更に、非集計モデルを利用することで、所要時間差だけでなく料金など他の要因も含めた一般化費用(効用)とすることが可能である。

##### (e) 配分交通量の予測

配分交通量予測では、ある交通手段の1つのOD交通量に対し、その交通量が交通ネットワーク上でどのように流れるかを予測する。一般的に自動車交通に対して交通量配分が行われることが多い。自動車における交通配分は、経路選択の問題に置き換えることができる。このとき、配分原則と呼ばれる、ドライバーの経路選択に関する前提条件に基づいて交通量配分を行う。なお、配分原則には、時間比原則・等時間原則・総走行時間最小化原則の3種類が存在する。

##### (f) 4段階推定法の課題

以上のように、4段階推定法は需要予測を4つの段階に分割し、推定を行うことで比較的単純な手法で需要の予測を可能にしている。しかし、このような手法による推定は以下に示すような問題を抱えている。

#### トリップ単位のモデルである

4段階推定法では1つのトリップを独立したものとして扱っている。しかし、現実的には個人のトリップにはつながりがある。例えば、会社帰りに買い物に向かう場合、買い物場所は帰宅経路の途中にあることがほとんどである。しかし、4段階推定法では帰宅トリップと買い物トリップを別々に扱っているため、このような状況を再現できない。

#### ゾーン単位のモデルである

4段階推定法は、対象地域をゾーンに区切り、ゾーン間の移動を推定している。このため、ゾーン内での目的地の選択といった、ミクロな

範囲での移動の記述が困難である。そのため、駅前広場の設計などミクロなスケールでの交通計画には適さない。

#### 個々の段階のモデルが独立である

4つの段階、特に分布交通量と分担交通量を独立に推定しているため、移動主体の選択行動を正確に表せない場合がある。例えばトリップエンドモデルでは交通手段分担率の推定を分布交通量の推定より前に行っているが、現実には目的地が先に決定され、その後交通手段が決定されることが多い。4段階推定法は、このように本来独立であるべきでないモデルを独立に扱ってしまっている。

#### 時間の概念が存在しない

4段階推定法で推定できる交通量は、1日の総交通量である。ピーク時の交通量は総交通量に係数をかけたものとして計算されるが、現実的には都心と郊外で時間ごとに混雑具合は異なるなど、地域によって時間変化の仕方が異なる。このように時間による変動が推定の概念から欠如してしまっている。

#### 生成交通量をベースにしている

発生・集中交通量は生成交通量をベースに予測されているが、この最初の段階で生成交通量が決まってしまうため、政策の変化などによって生じる誘発交通の存在を無視してしまう。

以上のように、4段階推定法は多くの問題点をはらんでいる。それが現在まで世界のいたるところで活用されてきたのはひとえにその手法の簡易さ故である。この推定法が開発された当初は、インフラの整備によって人口の増大や急激な都市化に対応するため、トリップ単位のこうした予測手法で十分であった。しかし現在では情報処理の能力は飛躍的な進歩を遂げており、交通需要の特性をより直接的に表現する予測手法の転換が迫られているといえよう。

## 2.2 調査の設計

調査は交通計画にとどまらず、広域計画から地域計画、都市計画、地区計画といったあらゆる計画の立案に対して実施される。調査の内容・方法は目的に応じて変化し、適切な調査の設計と実施が求められる。四段階推定法をベースにした既存の計画・配分手法の変化に伴って調査の設計についても新しい手法が開発されてきている。本節では現在の調査設計の手法を俯瞰し、概説する。

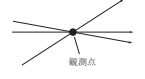

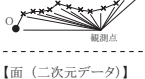
### 2.2.1 調査設計の手法

調査の設計は、把握したい現象や計画の目的に合わせて行われることが望ましく、これまでもさまざまな調査手法が考案されてきた。逆説的には、調査から得られるデータを分析した結果として出される指標・アウトカムに対して仮説を立て、その結果を得るための調査手法を設計するということになる。調査は複数の手法・データを組み合わせて用いることで、それらの関係性など、より複雑な問題の解明へとつなげられる。

まず、交通計画における調査手法を俯瞰すると、その内容は大きく「移動内容の調査」と「移動文脈の調査」に分けられる(図 2.3)。移動内容の調査とはさまざまな交通機関・徒歩の移動そのものを流動として把握する調査である。その際、観測の方法によって、「点(断面データ)」の調査、「線(トリップデータ)」の調査、「面(二次元データ)」の調査に大別される。「線」の調査に関してはさらに、出発地・到着地のみを観測する OD 調査と、GPS 技術を援用して移動中の軌跡を詳細に観測するプローブ調査に分類している。調査手法によって得られる移動内容データの特性や追加取得データが異なるため、計画の規模や内容に応じて採用する調査を検討する必要がある。

移動内容の調査は、調査手法に応じてデータ特性が大きく異なる。図 2.4 は、図 2.3 で挙げた移動内容調査から得られるデータの特性を分類したものである。横軸は調査期間を示しており、1 日単位から常時観測が行われる調査までがある。縦軸は移動の捉え方を表しており、定点観測で決まった場所

移動内容に関する調査

集計単位・粗	調査分類	調査例	追加で取得できるデータ
密	<b>【点 (断面のデータ)】</b> 	検知器 VICS 大都市交通センサス 道路交通センサス 一般交通量調査 自動車 OD 調査	なし
	<b>【線 (トリップデータ)】</b> 	PT (パーソントリップ) 調査 ETC IC カード	個人属性 (年齢 / 性別 / 住所 / 職業 / 家族構成…) 移動目的 / 移動手段 / 時刻 利用料金 / 購買履歴
	<b>【面 (二次元データ)】</b> 	オート GPS PP (プローブパーソン) 調査 Bcals ビデオ調査	個人属性 / 移動目的 / 移動手段 / 時刻 加速度 / 気圧 / 歩数 / 運動負荷… なし (同行者 / 性別 / 年齢などを観測者が判断)

移動文脈に関する調査

調査分類	調査例	把握できる内容
アンケート調査 (紙 / Web)	SP 調査 (実験計画法) 潜在意識調査 施設・空間利用実態調査 イメージ・マップ	意向・選好 現状に対する意識・機会 LOS (移動要因), 同行者, 習慣 空間認知
ヒアリング調査	オーラル・ヒストリー調査	個人史・感情・

図 2.3 移動データの分類と事例

の交通量や交通状態などのデータから、移動体に着目してその動きを把握したデータまでがある。

一方、移動文脈の調査は、移動の内容に対してその心理的・物理的要因を把握する調査である。調査の手法に応じて「アンケート調査」と「ヒアリング調査」に大別される (図 2.3)。従来、アンケート調査は紙ベースで行われてきたが近年ではインターネットの普及により Web 上でのアンケート調査も盛んに行われるようになってきている。こうした調査からは移動の要因に加えて計画に対する意向、参加機会や意識、感情など、手法に応じて細かい



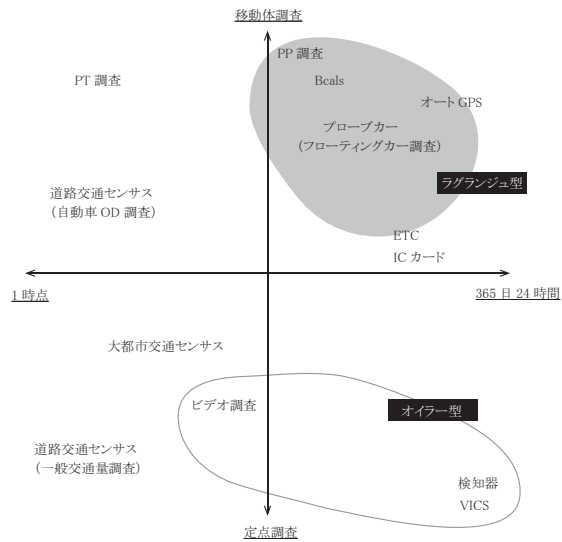


図 2.4 移動内容データの時空間特性

観測を可能とする。

(a) 移動内容の調査

移動内容に関する調査の各手法について説明を行なう。

**車両検知器**

車両検知器を車線上に設置することで、車両が車線上を通行した時刻を記録することができる。交通量や車頭間隔などを把握することができ、高速道路の混雑の把握や予測に用いられる。毎日・毎時刻の交通データが蓄積されるため、時刻・日・週での変動といった交通状態変化の分析が可能である。

**VICS**

「VICS」とは Vehicle Information and Communication System の略称であり、日本道路交通情報センター（道路上に設置された車両感知器・検知器）から送られる渋滞や交通管制などの道路交通情報を編集し、カーナビゲーション

ンなどの車載機にリアルタイムに送信するシステムである。VICS 情報があるリンクでは5分毎の道路交通状況が365日24時間データ化され続ける。

#### 大都市交通センサス

大都市交通センサスは首都圏、中京圏、近畿圏の三大都市圏を対象として大量公共交通機関の利用実態を把握する調査であり、5年ごとに1回行われる。内容は大きく、「鉄道調査」と「バス・路面電車調査」に分類され、それぞれに「定期券・普通券等利用者調査」、「OD調査」、「輸送サービス実態調査」、そして両者の「乗り換え施設実態調査」が行われる。

#### 道路交通センサス

道路交通センサスは全国を対象として自動車の動きを把握する調査であり、5年ごとに1回行われる。内容は大きく、アンケートによって自動車の1日の動きを把握する「自動車OD調査」と、道路現況調査・交通量調査・旅行速度調査からなる「一般交通量調査」に分類される。最近の調査ではこれらに加えて駐車場の実態を調べる「駐車調査」、道路の機能を把握する「機能調査」も実施されている。

#### PT（パーソントリップ）調査

PT調査は、交通量よりも交通行動そのものの調査の必要性が検討されるようになった第2次世界大戦後の米国で生まれ、1960年代後半に日本でも適用され始めた、マクロな人の「行動」に着目した代表的な調査手法である。PT調査は特定の都市・地域を対象に行われ、無作為に抽出された世帯の1日の行動についてその内容、手段、目的などをアンケートによって尋ねることで、世帯構成員によって生成されるすべてのトリップについて正確な情報を得ることを目的としている。世帯構成員は5歳以上を対象とし、「典型的な1日」を調査日として行われてきた。集計単位として、対象地域を複数の段階的なゾーンに分割することで、ゾーン間のOD表を得ることができる。

PT調査の問題点としては、まずトリップ報告の精度が挙げられる。紙媒体で行われるアンケート調査のため、短いトリップや業務トリップなどの抜け落ちや、時刻が丸められることによって分析にバイアスがかかる。さらに近年、施設の拡充によって需要を捌いていた時代が終焉を迎え、1km×1km程度を基本とするゾーン単位の集計的な分析では評価できないほど地区計画の方法が多様化している。そうした多様な施策が交通行動に及ぼす影響を検

証することは重要な課題である。その際、1日単位の行動結果からは得られない日・週・季節変動の情報や、詳細なLOSデータの作成が重要になってきており、こうしたデータの取得は既存のPT調査では難しい。また、ゾーンを基礎集計単位とする調査手法では、年々注目が高まっている歩行者の行動を捉えることは難しく、新たな調査手法との組み合わせが必要とされている。

### ETC

ETC(Electronic Toll Collection System)は高度交通道路システムの一つである。有料道路を利用する際に料金所で停止することなく通過できるノンストップ自動料金収受システムである。交通調査のためのシステムではないが、その利用記録からETC対応車両がいつ、どの料金所を通過したかを把握することができる。利用者の大半の毎日・毎時刻の交通データが蓄積されるため、時刻・日・週での変動といった交通状態変化の分析が可能である。

### ICカード

ICカード(Integrated circuit card)は、カード内に半導体メモリを組み込むことにより、情報の記録や演算ができるカードである。近年、日本の鉄道会社は非接触型のICカード(Suica, PASMOなど)を導入している。改札通過時にICカードにチャージした金額から運賃を引くというシステムとなっている。交通調査のためのシステムではないが、その利用記録からICカード利用者がいつ、どの改札を通過したかを把握することができる。利用者の大半の毎日・毎時刻の交通データが蓄積されるため、時刻・日・週での変動の交通状態変化の分析が可能である。

### PP(プローブパーソン)調査

プローブパーソン調査(以下、PP調査とする)は、被験者に携帯型端末を携帯してもらって車両に各種センサを搭載して行われる。取得データはGPSデータが一般的であるが、携帯型端末やセンサーの発達・低価格化により、近年では加速度や気圧などのデータも同時に所得されるようになってきた。また、PP調査では自動的に取得されるデータに加えて利用した交通手段や移動目的、目的地・出発地などを尋ねるWebダイアリー調査も同時に行われ、個人属性や行動の決定要因の観測が可能である。取得したデータの選別や各データの取得間隔・調査形式は、調査の方針によって最適なものが選択される。

PP 調査の大きな特徴はまず、詳細な位置情報が膨大なデータ（1?10 秒間隔）として取得できることにある。これによって経路レベルでの個人の移動軌跡が得られ、従来の調査では得られなかったゾーン内のマイクロな行動が把握できる。位置情報に加えて観測日時も自動的に記録されるため、報告式の調査手法で問題となっていた時刻の丸めといった問題も解消でき、より正確な解析を可能とする。さらに、同一個人について複数日に渡り調査を行なうことで、個人の行動の周期や曜日・季節による変動、繰り返しによる学習効果などを観測することができる。1 日の行動調査からは現れない施策の影響、長期的効果などを考慮するうえでも非常に重要な特性であるといえよう。

また、前述したように近年では技術の進展によって加速度や気圧データ、歩数や運動負荷といった新しいデータも取得することが可能になった。移動中の加速度によって従来個別に尋ねた移動手段を自動で判別することや、歩数・運動負荷といった情報を用いて個人の活動量を分析することも可能になる。

PP 調査は一般的に特定の個人に対して 2 週間?1 ヶ月に渡って調査が行われる一方で、被験者を数百人規模で集めることは難しく、母集団の代表性という面では PT 調査に劣る。また、スマートフォンなどの携帯機器を用いているため操作の難しさや、操作のし忘れなどによって情報の漏れが発生する。特に高齢者には機器の操作が難しいことが大きな課題である。近年では地下鉄内でも電波の届く路線が登場するなど、時代を経るにつれて調査環境は良化しているものの、まだ GPS の位置情報には場所によって大きなずれが生じるといった問題点がある。

### Bcals

Bcals は GPS センサ・3 軸加速度センサ・気圧センサ・通信モジュールを搭載したプローブパーソン専用端末である。加速度データは 32Hz または 16Hz で測定可能である。PP 端末に比べて、加速度データを把握できる点が特徴的である。加速データを用いることで、被験者が交通手段を入力することなく、交通機関の高精度での自動判別が可能となる。また、GPS 観測では観測精度が落ちる建物内やアーケード内の移動を観測することが可能である。他にも、単純な GPS 移動軌跡からだけでは把握できない移動状態（道路状態や歩行者の疲労）といったことも把握可能となる。近年、スマートフォンにも加速度センサや搭載されており、被験者のスマートフォンに Bcals アプリを

インストールすることで Bcals 調査や PP 調査をすることが可能である。

### ビデオ調査

ビデオ調査は、特定の空間において、その構築環境や人と人との相互作用の影響を捉えることを目的とし、ミクロな人の行動を詳細に観測する調査手法である。交通行動分析では主に「トリップ」という単位で個人の行動が捉えられてきたが、空間改変による歩行者の微視的な行動の変化や駅・交差点での群衆行動、自動車の車線変更といった瞬間的な行動の変化を考えれば、重要な調査手法であるといえよう。

ビデオ調査は個人の瞬間的な判断によって起こる行動変化を捉えるという点で、他の行動調査にはない優れた特徴を持つ一方で、視覚的観測に依るため個人属性や移動目的等の情報が得られない点や、観測がビデオで撮影可能な範囲に限られる点、そしてそのデータ化に膨大な作業が必要となる点に課題が残されている。

#### (b) 移動文脈の調査

移動文脈に関する調査の各手法について説明を行なう。

### アンケート調査

アンケート調査の大きな特徴は、観測者が直接得ることのできない、個人属性や心理的要因、他者との関係性などの情報を得ることのできる点にある。仮想の状況下での選好意思表示を尋ねる SP (Stated Preference) 調査は、実施の可能性がある施策に対して、その導入効果を予測できる点に大きな特徴がある。SP データを使用した分析については交通行動分析においても多くの研究がなされてきている。なお、SP データに対して、実際の状況における選択行動を観測したデータを RP (Revealed Preference) データと呼ぶ。また、近年では個人の行動を決定する重要な要因として同行者や近所付き合いといった準拠集団が挙げられるようになってきており、アンケート調査によって個人の SN (Social Networks) を特定することは重要な調査であるといえよう。特殊な技術・機器を要することなく、また対象者の選好や認識などの直接観測できないところまでデータを得られるという点で重要性が高い調査である。一方で、設問の質が調査の善し悪しに関わってくるためその内

容・尋ね方には十分な注意が必要であること、また調査に手間や時間を要する点が難しさとして挙げられる。調査の方法としては、従来は紙媒体が一般的であったが、近年ではインターネットを用いたウェブアンケートが普及してきている。調査員と直接話をしながら記入することのできる紙媒体の方が回答精度が高いことも考えられる一方で、ウェブ上で行われる調査は同時に手早く回答・回収することが可能である。

### インタビュー調査

インタビュー調査は、特定の個人との会話、質疑を通じてアンケートで設問として想定できない個人の心理的要因、行動の決定要因など詳細な情報を得ることができる。尋ね方によっては、1日の行動について詳しく把握することや、ある1つの行動に対してその時何を見て、何を考えていたかといった情報を得ることも可能である。また、長期間のことについて尋ねればライフヒストリーといった個人の歴史についてデータを得ることもできる。

## 参考文献

- [1] 北村隆一, 森川高行, 佐々木邦明, 藤井聡, 山本俊行: 交通行動の分析とモデリング, 技報堂出版, 2002.
- [2] 王立暁, 姜美蘭, 山本俊行, 森川高行: プローブカーデータと VICS データの融合による旅行時間推定に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol. 23, pp. 1011-1018, 2006.

### 2.2.2 サンプル理論

#### (a) サンプル数の決定方法

ある母集団に関する調査において対象となる全てについて調べる調査を全数調査、母集団の中から一部だけを抽出して調べる調査を標本調査と呼ぶ。大規模な交通調査では、都市圏に住む人口や交通サービスの利用者は多く、母集団の中から被験者を抽出して調査が行われる。標本調査では集計や推定を行う場合、標本誤差が含まれる。

大数の法則によると、母集団から無作為抽出された標本数を多くしていくと、真の平均へと近づく。期待値  $\mu$  となる確率変数  $X_1, X_2, \dots, X_n$  が独立であるとき、その算術平均  $[X_n]$  は以下のように表される。

$$[X_n] = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (2.1)$$

このとき、 $n$  が十分大きいとき、標本の平均は真の平均へと近づく。

$$\lim_{n \rightarrow \infty} [X_n] = \mu \quad (2.2)$$

また、中心極限定理により、標本数が十分大きいとき標本の分布は正規分布に近づく。確率変数  $X_1, X_2, \dots, X_n$  が期待値  $\mu$ 、分散  $\sigma^2$  に従うとき、確率変数列の和を  $S_n = X_1 + X_2 + \dots + X_n$  とすると、

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\left(\frac{S_n - n\mu}{\sqrt{n}\sigma} \leq \alpha\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\alpha} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx \quad (2.3)$$

となる。以上より、 $n$  が十分大きいとき、標本平均  $[X_n]$  と真の平均との誤差  $[X_n] - \mu$  は、正規分布  $N(0, \frac{\sigma}{n})$  に従う。

以上を踏まえて、交通調査における標本数の決定方法を考える。標本があるカテゴリー（利用した交通機関など）に属する確率を  $p$  とおくと、カテゴリーの構成比率を精度  $\Delta p$  で求めるとする。求めたい標本数を  $n$  とすると、標本の平均値の分散  $\sigma^2$  は以下のように表される。

$$\sigma^2 = \frac{(N-n)p(1-p)}{(N-1)n} \quad (2.4)$$

このとき、信頼区間を 95% とすると、標準正規分布の信頼区間 95% に対応する誤差は 1.96 となる。このとき、必要となる標本数  $n$  は以下の等式と解くことによって決定することができる。

$$\frac{\Delta p}{p} = 1.96 \sqrt{\frac{(N-n)p(1-p)}{(N-1)n}} \quad (2.5)$$

$N$  が十分大きいとき、 $\frac{N-n}{N-1} = 1$  と近似することができる。

PT 調査では、トリップはゾーン、目的、手段ごとに集計が行われる。国土交通省 (2007) では、都市圏 PT 調査における抽出率の決定方法を以下の関係式から定めるものとしている。

$$\frac{\Delta p}{p} = K \sqrt{\frac{(ZK - 1)(1 - r)}{rN}} \quad (2.6)$$

ただし、 $K$  は信頼係数、 $ZK$  はカテゴリー数、 $r$  は標本率である。全国統一の値として、 $K = 1.96$  (信頼区間 95%)、相対誤差  $\frac{\Delta p}{p} = 0.2$  としている。カテゴリー数  $ZK$  は基本ゾーン数  $\times$  目的分類数  $\times$  手段分類数である。

北海道 (2003) によると、旭川都市圏における平成 14 年度旭川圏街路交通情勢調査では、以下のように信頼係数、母集団、カテゴリー数、相対誤差が設定され、抽出率が設定された。

信頼係数：95% ( $K = 1.96$ ) で設定。

母集団総数：(1 人あたり平均トリップ数)  $\times$  (5 歳以上人口)  
 $= 2.83[\text{トリップ/人} \cdot \text{日}] \times 383,584[\text{人}] = 1,085,543[\text{トリップ/日}]$

カテゴリー数：4 目的 (通勤通学/業務/私用/帰宅)、4 手段 (徒歩二輪/自動車/バス/鉄道)、52 ゾーンで設定。

$4 \times 4 \times 52 = 832[\text{カテゴリー}]$

相対誤差：20% として設定。

上記の数値を関係式に代入すると、 $r = 0.0684$  が得られ、6.8% 以上の抽出率を確保することで調査結果の精度が保証される。なお、実際の調査における抽出結果は、世帯数ベースで抽出率 10.2% であった。

#### (b) 標本抽出方法

交通調査では、調査の目的に応じて適切な標本抽出方法を用いる。それぞれの抽出方法を整理する。なお、調査における標本抽出理論全般については、浅井 (1992) が詳しい。ここでは、抽出方法を大きく分けて外生標本抽出と、内生標本抽出に分けて扱う。

#### 単純無作為抽出法



単純無作為抽出法 (simple random sampling) は、ある母集団から標本として選ばれる確率を、全ての個体について等しく持つようにして抽出する方法である。個体はランダムに抽出され、特定の個体が他の個体よりも選ばれる確率が高かったり、低かったりすることはないようにする。

標本の抽出には 0~9 の数字が無作為に並んだ乱数表が用いられる。乱数表は日本工業規格 (JIS) の「乱数表」(JIS Z 9031) が多く用いられる。乱数を用いた方法では、個体全てに順番に番号を振り、それらに対して乱数表から個体番号をカバーできるだけの桁数だけの番号を選んで、その番号を標本として引いていく。

近年は、コンピュータの Excel をはじめとしたソフトウェアや、各種プログラム言語において擬似乱数の発生が可能である。コンピュータによる擬似乱数を用いることで容易に無作為抽出が可能となっている。

パーソントリップ調査は単純無作為抽出法により調査対象者を決定する調査であり、平成 20 年に行われた第 5 回東京都市圏パーソントリップ調査では東京都市圏に居住する約 1600 万世帯のうち、各市区町村の住民基本台帳より約 140 万世帯が抽出され、郵送にて調査が行われた。無作為抽出では、標本サイズが十分に大きく、抽出のバイアスがなければ、大数の法則により代表性が保証され、全体の一部を調べるだけで母集団の情報がかみることができる。しかしながら、発生頻度の少ない非日常的な交通行動や、利用者の少ない交通手段を利用する行動の標本を十分に得るためには、大量のデータを取得しなければならず、効率が悪くなる。パーソントリップ調査においても、ゾーン間の OD 表を作成するためには、ゾーンを細かく取れば取るほど標本数は多くする必要がある。なお、パーソントリップ調査における実際の抽出率の例を挙げると、平成 20 年東京都市圏パーソントリップ調査では約 2.6%、平成 19 年の松山都市圏のパーソントリップ調査では約 4.7%となっている。

#### 系統抽出法 (等間隔抽出法)

系統抽出法 (systematic sampling) は、母集団内の個体に割り振られた番号を、抽出率に応じた一定の間隔で選んでいく方法である。等間隔抽出法とも呼ばれる。系統抽出法では、抽出率の逆数を抽出間隔として、最初の番号

を乱数で選んだ後は、抽出間隔ごとに標本を抽出する。

系統抽出法は作業が単純であり、また抽出率を決定すればはじめから標本数を決定しなくても良い。一方で、標本に何らかの周期性が含まれる場合は、標本誤差が生じる可能性がある。

パーソントリップ調査においても、東京都市圏パーソントリップ調査や京阪神都市圏パーソントリップ調査などでは、実際の標本決定段階では系統抽出法がとられており、住民基本台帳と外国人登録原票からの系統抽出法により標本が抽出されている。

### 層別抽出法

層別抽出法 (stratified sampling) は、母集団を個人属性や社会経済属性などにより外生的に相互に排他的なグループに分けた上で、各グループごとに無作為に標本を抽出する方法である。層化抽出法とも呼ばれる。調査の対象となる対象となる行動とは関連しないことが、外生標本抽出となるためには必要である。層別抽出では、少数グループや分散の大きいグループについて重点的に抽出を行うことで、推定の正確さを高めることができる。一方で、グループについての母集団内での比率などの正確な情報がなければ、偏りが生じる。

### 内生標本抽出法

内生標本抽出法は、層別に標本を抽出するときに、標本として選ばれる確率が対象とする行動と何らかの相関を持つような形で抽出がなされる方法である。内生標本抽出法を用いて抽出された標本の分析や拡大においては、歪みを修正する重み付けが必要となる。重み付けの方法を推定するモデルの中で考慮する手法は4章にて解説する。ここでは、代表的な2つの内生標本抽出法を挙げる。

### 選択肢別抽出法

選択肢別抽出法 (choice-based sampling) は層別抽出の一種であるが、分析対象とする選択構造において、それぞれの実際の選択結果に応じて標本抽出を行う方法である。交通調査においては、交通手段選択において鉄道利用

者のデータを駅や列車内で取得して自動車利用者のデータを駐車場で取得する方法や、目的地選択において各商業施設ごとに調査を行う方法が選択肢別抽出法にあたる。選択肢別抽出法が層別抽出法と異なる点は、層別抽出法ではグループが外生的に与えられていたのに対して、選択肢別抽出法では選択結果という形で内生的にグループが決定されていることである。選択結果という内生的な変数による分類を行う場合、選んだ標本と選ばれなかった標本の特性の差に起因する系統的な誤差による選択性バイアスが生じることが問題となる。

### 加重層別抽出法

加重層別抽出法 (enriched sampling) は、無作為抽出による標本に、選択肢別抽出による標本を足し合わせる方法である。交通行動調査では、発生頻度の少ない行動の標本を確保するために用いられ、観光行動や低密度地域での公共交通機関利用などで用いることで効率的な調査となる。(森地・屋井, 1984) 加重層別抽出法も内生標本抽出による方法である。

#### (c) 実験計画法

##### 水準の数と値の設定

ここでは、調査の設計理論として、SP 調査における選好意識調査で使用する水準について取り上げる。SP 調査では、現実の行動結果を回答する RP 調査と異なり、選択肢を任意に調査者が設定できることから操作性が高い。水準の決定方法については、藤原 (1993) に詳しい。

藤原 (1993) は、水準の値の決定においては、回答者にとって現実的な値とすることと、水準値が回答者の意思決定の基準となる境界値を含むような範囲とすることを挙げている。基準値の設定では、RP データの値を用いることが一般的である。

水準の数については、属性間のトレードオフを保つためには2つ以上の値が必要であり、属性の非線形な影響を仮定する場合には3つ以上の値が必要である。例としてある地区内交通サービスについて、料金・アクセス時間・1日の運行頻度の3つの属性についてそれぞれ2水準 (400円/600円)・(5分/10分)・(30分/60分)を設定した場合について表2.5に示す。

表 2.1 2水準3属性の水準設定例

代替案	料金	アクセス時間	1日の運行頻度
1	400円	5分	30分
2	400円	5分	60分
3	400円	10分	30分
4	400円	10分	60分
5	600円	5分	30分
6	600円	5分	60分
7	600円	10分	30分
8	600円	10分	60分

表 2.2 直交表 L4

実験番号	因子		
	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

#### 完全要因配置計画と一部要因配置計画

表 2.5 のように、考えられる組み合わせを全て挙げる実験計画を完全要因配置計画と呼ぶ。完全要因配置計画では、代替案数は水準数のべき乗となり、水準や要因が増えると代替案の数は膨大になる。

そこで、一般的に用いられる方法が一部要因配置計画である。一部要因配置計画では、実験計画法の直交表を用いて、代替案数を削減する方法である。

直交表は、任意の 2 因子について、同じ水準の全ての組み合わせが同数回ずつ表れる性質を持つ、水準の割り付け表である。直交表では、水準間の交互作用がないことを仮定すれば、個々の属性の作用を全て考慮することができる。例として直交表 L4 を表 2.3 に示す。直交表 L4 では全ての 2 因子の組み合わせにおいて、(1,1)、(1,2)、(2,1)、(2,2) の組み合わせが 1 回ずつ表れている。

SP 調査の代替案設定においても、直交表による一部要因配置計画を用いることで代替案を減らすことができる。表 2.5 の例に対して、直交表 L4 を用いて代替案を作成した例を表 2.3 に示す。2 水準 3 因子では、L4 の直交表を用いれば良い。

直交表は、2 水準の場合、3 要因までであれば L4、7 要因までであれば L8

表 2.3 直交表 L4 を利用した一部要因配置計画例

代替案	料金	アクセス時間	1日の運行頻度
1	400 円	5 分	30 分
2	400 円	10 分	60 分
3	600 円	5 分	60 分
4	600 円	10 分	30 分

を適用できる。3水準の場合は4要因までであればL9、13要因までであればL27の適用が可能である。

### 代替案の削除

上記の方法で用意した代替案は全ての組み合わせを考慮しているため、非現実的な組み合わせ生成される可能性がある。栗山(2000)はSP調査において、非現実的なプロファイルの削除が必要と指摘している。例えば、所要時間が大きく増加しているにもかかわらず料金が安くなるような代替案は、通常は考えられず、回答者にとっても受け入れにくい代替案となる可能性がある。一方で、あまり多くの代替案の削除を行うと、代替案間の水準の直交性が崩れる可能性もあり、注意が必要である。

#### (d) データ同化

##### 観測データとシミュレーションモデル

交通に関するデータでは、速度や密度など時系列で取得されているデータが多く、プローブデータの移動軌跡や加速度等のデータもその一つである。交通流に関するモデルはこれらの観測データを用いてシミュレーションモデルとして適用することができる。

近年、大容量のデータが観測される中で、観測データとシミュレーションモデルを統合する方法として注目されている手法がデータ同化であり、プローブデータ、車両検知器などのデータが取得されつつあるなかで交通分野での適用例もみられるようになってきている。

データ同化は理論に基づいたシミュレーションモデルのパラメータを観測データを用いて適切に構成する方法であり、気象学や海洋学で発展した手法である。(中村ら, 2005)ここでは、データ同化手法の代表例である一般状態空間モデルを用いて、サンプリングされたデータとシミュレーションモデルの融合方法を説明する。

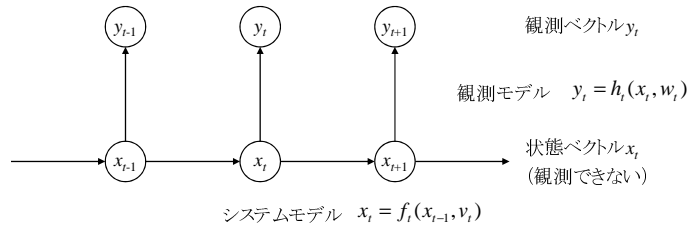


図 2.5 一般状態空間モデルの概念図

### 一般状態空間モデル

一般状態空間モデルでは、状態は時刻  $t$  において定義される値を並べたベクトル  $x_t$  で表す。

$$x_t = \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \vdots \\ \xi_M \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

ここで、 $\xi_t$  は時刻  $t$  での物理量を示す状態変数を表し、状態変数の次元は  $M$  で表す。このとき、実際の事象では時刻  $t$  における真の状態は  $x_t$  となるが、観測データは観測ノイズを含むため、真の状態は観測できない。観測ノイズには、観測機器の特性に起因する測定誤差のほか、シミュレーションモデルの不備分が全て含まれる。一般状態空間モデルの全体の概念図を図 2.5 に表す。時刻  $t$  での観測値のベクトルを  $y_t$  とすると、システムを表す状態ベクトル  $x$  と観測を表す観測ベクトル  $y$  の関係は以下ようになる。

$$x_t = f_t(x_{t-1}, v_t) \quad (2.8)$$

$$y_t = h_t(x_t, w_t) \quad (2.9)$$

ここで、 $v_t$  および  $w_t$  はシステムノイズ、観測ノイズを表す。また、式 2.8 はシステムモデル、式 2.9 は観測モデルと呼ばれる。

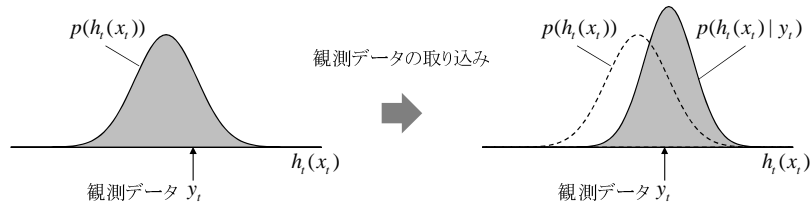


図 2.6 システムモデルへの観測データの取り込み

シミュレーションモデルを観測データとの比較によって更新する概念図を図 2.6 に示す。システムモデルによる観測データの予測値  $h_t(x_t)$  はシステムノイズが存在するため確率分布として表される。ここで観測データ  $y_t$  が得られたとき、観測データを用いて確率分布  $p(h_t(x_t))$  を改善することで、シミュレーションモデルがより現実のデータに近い、予測精度の高いモデルとすることができる。

#### 交通分野での適用事例

交通分野においても、時系列データとシミュレーションモデルを用いて、観測や推定の精度を高める研究例が見られる。福田 (2012) は交通状態の推定に関する近年の研究動向をまとめている。Sau et al. (2007) は携帯電話の位置情報を用いて、旅行時間の予測を行っている。また、Cheng (2006) も時系列の検知器データからパーティクルフィルタの手法を用いて渋滞流の再現を行っている。中村ら (2013) は PT データから生成した人の流れのデータに対して、駅や道路リンク交通量観測値を用いてパーティクルフィルタによる補正を行っている。

交通量変動の予測に関しても、佐々木ら (2012) によりカルマンフィルタ等のベイズ型の統計モデルを用いてモデルの更新・蓄積を行う事例が報告されている。また、マイクロシミュレーションと観測データを組み合わせた例としては、大藤ら (2006) による阪神高速・首都高速などでリアルタイムデータを用いたシミュレーションの実証例がみられる。

## 2.3 データの正規化

### 2.3.1 データ構成

土木計画・交通計画の変化にともない、データ収集方法や調査項目も変化している。交通行動分析では、適切なデータを用いるべきであり、データの特性を理解する必要がある。また、複数のデータを融合する場合にも、共通項目やそれぞれの個別項目を把握しなければならない。ここでは、パーソントリップ (PT) 調査とプローブパーソン (PP) 調査を中心に、データの観測と処理におけるスケールを整理する。

#### (a) PT 調査の調査項目

従来の交通需要予測で用いられている四段階推定法については、PT 調査により必要となるデータが取得されてきた。表に、平成 20 年度に行われた第 5 回東京都市圏パーソントリップ調査の調査項目を表 3.3 に整理する。

PT 調査では、自宅、勤務先、トリップ発着地、乗換地点などは PT ゾーンと呼ばれるゾーン単位で集計されている。PT ゾーンは都道府県-大ゾーン-中ゾーン-計画基本ゾーン-小ゾーンと階層的区分に分かれており、ゾーン単位で OD 表を作成することが可能となる。最も細かい小ゾーン単位の場合、東京 23 区の範囲は 265 のゾーンに分けられている。

位置情報がゾーン単位と粗くなっているため、トリップ発着地に関する情報や乗換地点に関する情報は、離散項目選択による回答や駅・インターチェンジ単位のデータにより補完されている。

PT 調査では、これらの調査項目にアンケート形式で回答し、また 1 日の行動を事後的に思い起こして回答するものであるため、被験者の負担が大きく完全な情報を得られにくい。また旅行時刻や出発/到着時刻についても分単位でのデータになっているものの、毎正時や 30 分などで丸められる傾向がある。



表 2.4 第 5 回東京都市圏パーソントリップ調査主な調査項目

調査項目	集計単位	備考
【個人・世帯属性】(紙ベースの調査用紙に記入)		
世帯人数	人数	5 歳未満、5 歳以上で分類
現住所	PT ゾーン	
自動車車両	有無/車種別台数	車種 4 分類
二輪車両	有無/車種別台数	車種 3 分類
性別	男/女	
年齢	5 歳階級	
職業	16 分類	
就業形態	5 分類	
勤務先・通学先	PT ゾーン	
保有免許	4 分類	
自由に使える自動車	3 分類	
【トリップ属性】(紙ベースの調査用紙に記入)		
出発/到着地	PT ゾーン	
出発/到着施設	13 分類	
出発/到着時刻	分単位	
移動目的	14 分類	
交通手段	15 分類	
乗換地点	駅・停留所	PT ゾーン単位でも集計
自動車運転	有無	
自動車所属	4 分類	
自動車乗車人員	人数	
駐輪場所	4 分類	
駐車場所	11 分類	
有料道路乗降 IC	インターチェンジ	PT ゾーン単位でも集計

## (b) PP 調査の調査項目

GPS とインターネットを利用した PP 調査では、移動軌跡、機器の速度、加速度等の状態は機器において記録されたのち、通信ネットワークを利用してセンターサーバにデータが送信されて蓄積される。プローブパーソン調査では記録データは、機器そのものにより記録される移動軌跡や加速度データ、交通行動時に被験者が web アプリで記録するトリップデータ、被験者に別途調査を行う個人・世帯属性データにわけることができる。これらの取得データは調査目的により柔軟に変更することが可能である。

PP 調査では調査項目が多岐にわたる場合、詳細な位置や加速度のデータが多く取り扱いが難しくなる。調査実施者は大量のデータを取り扱うためには、データベースを構築する必要がある。調査前にデータの仕様を調査項目に応じて設定し、必要なデータベースを設計する。調査項目間は、トリップデータとユーザデータなど、参照関係にある項目も存在するため、属性間の関係を ER 図に書いて整理することで、データ構造を把握しやすくなる。松山市で 2005 年に行われた PP 調査データの ER 図を図 2.7 に示す。例では、調査で取得する書くデータの変数名と変数型、また参照関係が整理されている。施設名や移動目的などの離散的に選択するデータについては、選択肢にコードが割り振って管理を行う。

PP 調査の大きな特徴は、位置と時刻に関する解像度が非常に高い点である。PT 調査では位置情報は原則としてゾーン単位での集計であったが、PP 調査では緯度経度情報での点データとして取得することが可能である。また、位置や時刻は自動的に機器により計測されるため正確である。

GPS や加速度の取得間隔は短い間隔で行うほど精度が高まり、多様な分析に用いることができるが、一方で通信料が大きくなる問題や、機器の電源消耗が早くなる問題が存在する。また、これらのデータを機器やサーバでの集計により、合成加速度や歩数、運動強度、速度や DRM データとのマッチング結果等を出力することも可能である。

Web アプリを用いた PP 調査では、交通手段は移動軌跡データ及び加速度データのみから識別することが可能となりつつある。個人・世帯属性と移動データの属性から全てのデータが得られれば被験者の負担は軽減でき、特に

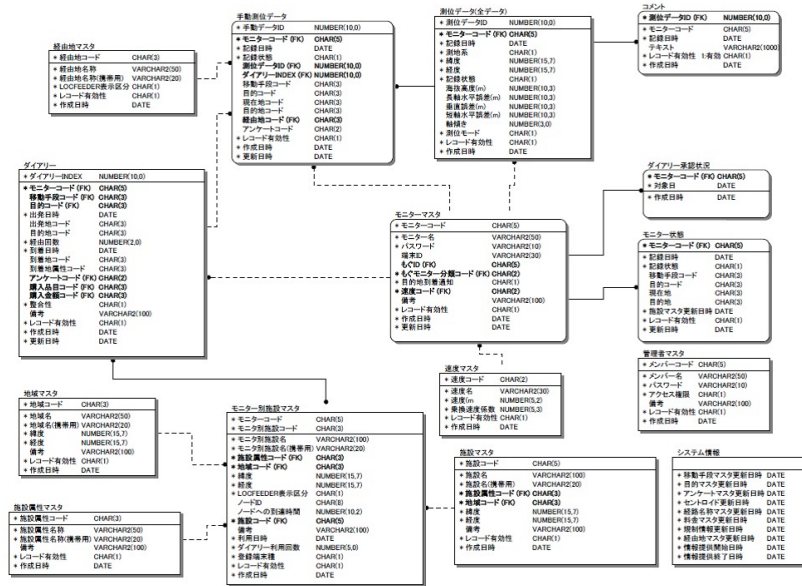


図 2.7 PP 調査データ ER 図の例

表 2.5 2012 年周南市プロープパーソン調査主な調査項目

調査項目	集計単位	備考
【個人・世帯属性】(紙ベースの調査用紙に記入)		
世帯人員	人数・間柄・年齢	
現住所	町丁目単位	個人情報の保護に留意
自動車免許有無	有無	
自動車車両	有無	
二輪車両	有無	
性別	男/女	
年齢	1 歳単位	
職業	自由記述	
勤務先・通学先	町丁目単位	個人情報の保護に留意
【トリップ属性】(web ダイアリーにより入力)		
出発/到着地	緯度経度	
出発/到着時刻	秒単位	
移動目的	9 分類	
交通手段	12 分類	
乗換地点	緯度経度	
【移動データ属性】(スマートフォン機器により自動計測)		
GPS 位置座標	緯度経度、高度、1 秒間隔	移動中でない場合 300 秒間隔
GPS 測位誤差	メートル	
3 軸加速度	最大 100Hz (1/100 秒間隔)	交通手段により周期レベルに差

被験者が高齢者の場合などに有効であることが期待される。

#### (c) データ観測とモデリングスケールの関係性

データの精度に応じて、記述可能なスケールも変わってくる。交通行動調査において観測精度が高まってくることに応じて、より微視的な表現が可能となってきた。データの種類とモデリングの関係と可能性を整理する。

##### 1) ゾーンレベルでの交通行動分析

PT 調査を基礎とした四段階推定法のためのデータの観測と集計が相当する。PT 調査は 1950 年代にアメリカ・デトロイトでの DMATS (Detroit Metropolitan Area Traffic Study) で初めての一括的な大規模な調査が行われた。国内では 1967 年に広島都市圏で行われた PT 調査を端緒とする。それ以降国内の各都市圏で紙の調査票を用いた PT 調査が行われてきた。PT 調査では調査票は個人や世帯ごとに配布されて回答・回収が行われ、調査により調査項目の差はあるがトリップに関する情報を記入することとなってきた。

PT 調査で用いられる集計スケールは、空間的にはゾーン単位であり、時間的には時間帯単位が用いられる。PT 調査で設計するスケールは OD 表の作成を念頭に置いた設定であるといえる。OD 表では、各ゾーン間での交通量が交通手段別に集計される。時刻については、調査票では分単位での回答が行われているが、OD 表の作成では多くの場合 1 日単位または 1 時間単位で集計される。OD 表での実際の交通量の算出では、調査対象空間を区切ったゾーンに関して個人属性別の人口を国勢調査から求めることで、ある観測データがゾーン内の何人分のデータを代表しているかを表す拡大係数を計算し、得られたデータは拡大される。1 日または 1 時間の時間帯別の OD 交通量は、ネットワーク上で配分計算を行うことで、道路や鉄道の各路線の交通需要の予測が行われる。

図 2.8 に PT 調査で得られるデータ例とその集計の概念図を示す。PT 調査では、トリップは手段・出発ゾーン・出発時刻・到着ゾーン・到着時刻などが項目として得られる。得られたデータは他のデータと合わせて集計・拡大され、交通手段別のゾーン間 OD 交通量として整理される。PT 調査で得られる情報は、原則としてトリップの起終点に関するゾーン単位のデータであり、利用した駅やインターチェンジなどを除いてトリップの詳細な経路はわからない。また、被験者の記憶を頼りとした記入に頼っているため、図 2.8 の点線で示したトリップのように、短時間の滞在に関するトリップや、短時間のトリップはまとめられたり、切り捨てられたりすることが指摘されている。また、ゾーン単位の集計であるため、ゾーン内で完結するトリップは交通需要の予測において反映されない。ゾーン内トリップは中心市街地の行動や自宅周りの行動では重要となり、また交通量配分の現況再現の上でも必要となるため、表現できないことは課題となってきた。

## 2) 非集計レベル、グラフレベルでの交通行動分析

1990 年代以降に発展した非集計分析を基本としたアクティビティベーストモデルでは、PT 調査よりも細かな集計単位で観測が行われるといえる。対象とする観測単位は個人や世帯単位となり、意思決定理論に基づく 1 人 1 人の交通行動の表現ができる。トリップは具体的な座標上での点として取り扱うことができ、従前の手法では考慮できなかったアクセス/イグレスの考慮や、

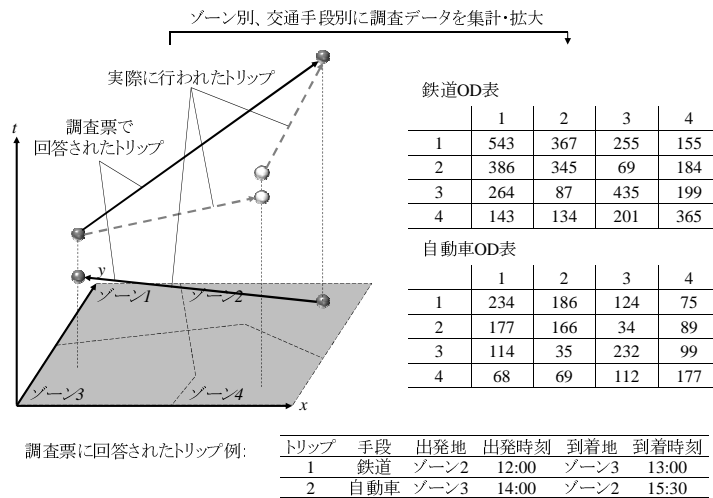


図 2.8 PT 調査で観測する交通行動と集計スケール

経験則ではない交通手段の選択構造が記述できるようになった。経路や交通量の記述も、ネットワーク構造を表すグラフレベルでの経路選択や確率的均衡配分を用いたアプローチがとられる。経路を明示的に扱うことから、マイクロ交通シミュレーションによる交通状況の再現も可能となる。

1人1人の細かなレベルでの移動や滞在場所が観測できるようになった背景には観測技術の向上が背景に存在する。GPS機能を持つ専用端末やスマートフォンによるPP調査では、被験者の移動軌跡が取得できるようになっており、移動を行った時刻も機器により正確に観測できるようになった。

PP調査での観測される交通行動のイメージと、その一次処理の概念図を図2.9に示す。PT調査では、生データは時系列に並んだ位置座標（緯度・経度・高度）と加速度により取得される。生データの解像度は位置については数メートルから数十メートル単位、時刻については秒単位で得られる。位置座標や時刻の「点」として観測データのままでは直接分析を行うことはできないため、一次処理によりデータの正規化を行う。

一次処理では、位置座標と加速度データを用いて、交通機関判別と移動滞

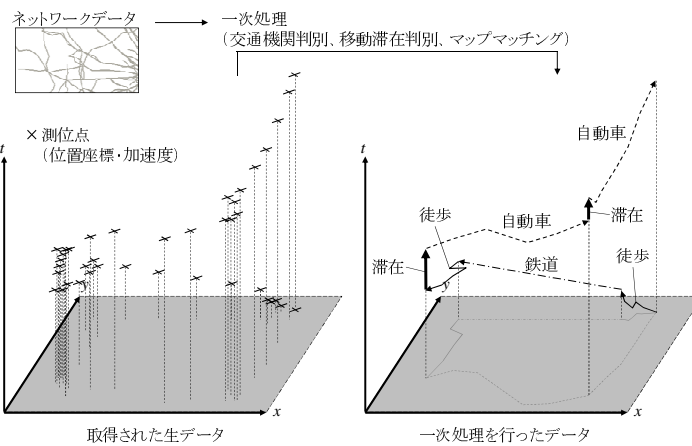


図 2.9 PP 調査で観測する交通行動と集計スケール

在判別が行われ、得られた行動データはトリップ単位に分解でき、移動時間や滞在時間、また利用した交通機関が得ることができる。なお、web アプリの操作によりトリップの開始/終了及び交通機関の変更が記録されている場合は、web アプリデータを用いて判別を行うことも可能である。PP 調査では、PT 調査では観測できなかった移動経路が観測可能であることが特徴であるといえ、観測データをマップマッチングアルゴリズムによりネットワークデータと結び付けることにより、交通ネットワーク上での経路をすることができ、経路やリンク単位での分析が可能となる。ネットワークデータを用いることから、路線や区間ごとの交通需要予測や、街路の移動速度の分析などグラフレベルでの分析が主となる。

位置データや時刻についても、解像度と信頼性の高いデータが得られていることから、データを任意のスケールで集計することが可能である。交通量配分や交通シミュレーションにおいて交通量を発生させる場合は、観測データから、発着点や出発時刻を確率分布として扱い、乱数発生によりサンプリングする方法をとることができる。

### 3) 非集計データを集計的に扱う交通行動分析

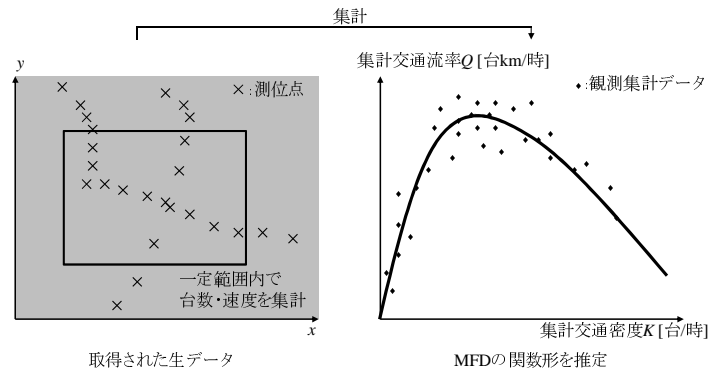


図 2.10 プローブデータを用いた MFD 推定の概念図

プローブデータに代表される非集計の観測データをマクロな視点から分析するとき、集計的に扱って正規化することによりモデル化するアプローチをとることができる。このアプローチは 1) と 2) の中間の立場のアプローチであるといえ、集計レベルを任意で設定できることや、集計範囲内の分散を記述することができることなどが大きな特徴であるといえる。

Geroliminis and Daganzo (2008)[?] はプローブカーの移動軌跡データから一定範囲内の速度と交通密度の集計値同士の関係性が関数によって表されることを示し、自動車の流入制御に活用を図っている。集計の概念図を図 2.10 に示す。プローブの 1 台 1 台の移動軌跡について、ある時点で一定範囲であるエリア内に存在する車の台数を集計交通密度、エリア内での走行距離を集計交通流率として集計すると、それらの間には関係性が認められる。この関係を Macroscopic Fundamental Diagram (MFD) と呼ぶ。あるエリアの中で観測された集計交通流率と集計交通密度についての MFD を表した関数のグラフは上に凸の式で表され、交通流率に関して最適な密度が存在することがわかる。

#### 4) 微視的な二次元空間の交通行動分析

近年の画像処理技術や微視的な歩行者挙動研究の進展により、ビデオ撮影による画像データを用いた広場や屋内空間の行動の分析が行われている。時



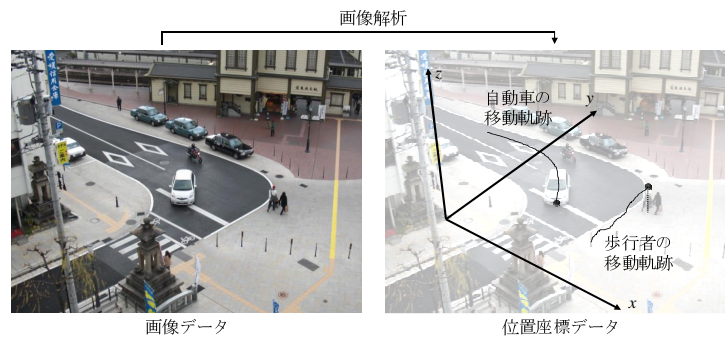


図 2.11 ビデオデータで観測する交通行動と集計スケール

間スケールは秒もしくはそれ以下の単位で扱われ、数センチメートル～1メートル程度のスケールで挙動の表現がなされる。図 2.11 にビデオ調査で得られるデータ例と処理の例を示す。ビデオの画像データは、画像解析によって二次元である画像から、設定した三次元の位置座標への変換を行う。自動車や歩行者の位置座標は、ビデオのコマごとに推定でき、それらをつなぎ合わせることによって移動軌跡を得られる。微視的な二次元空間でのモデリングでは人間自体のスケールを考慮して移動中に影響を与える他者や物体への距離を考え、目的変数として進行する角度や速度を決定する。

##### 5) 新たなデータと交通行動分析の融合

交通調査データの他に、新しい技術やサービスにより得られるようになりつつあるデータが交通行動分析においても適用することが行われている。新たな種類のデータ断片的なデータが多いが、交通調査ではこれまで得られて来なかった属性や状況を捉えられることが特徴であるといえる。

位置情報が付加されたソーシャルネットワークにおける投稿を用いた分析では、事故の検知や交通行動に関する意識の分析が行われている (Mai and Hranac (2013)[?], 高柳ら (2012)[?])。Twitter や Facebook のデータでは、位置情報が文字情報とともに取得されており、リアルタイムに投稿文章から単語の抽出やテキストマイニングを行うことによって細かな状況や意識・感情の分析が可能となる。

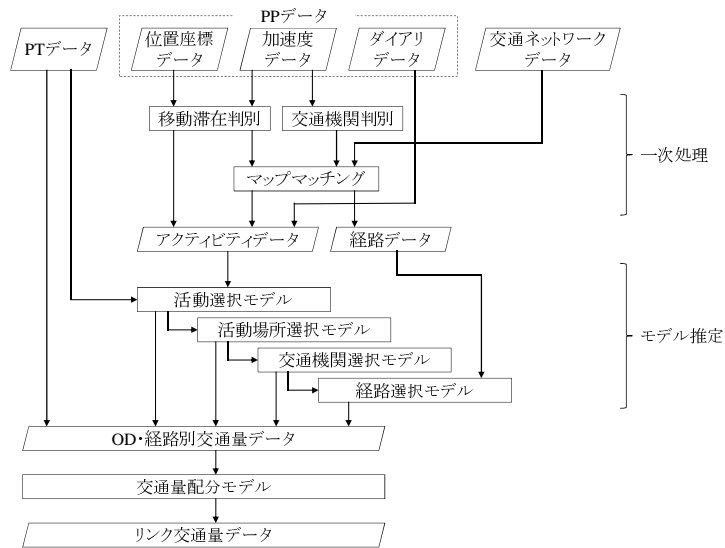


図 2.12 PT 調査と PP 調査を用いた交通需要予測

また、交通データにおいても、鉄道・バスの IC カードデータや、高速道路の ETC カードなどのデータが取得可能となっており、既存の PT データと交通型 IC データを融合した交通需要の長期変動の分析（日下部・朝倉 (2012)[?]）や、ETC データを用いた高速道路ランプ間 OD 交通量の推定（中山ら (2009)[?]）などがみられる。

#### (d) 複数のデータを用いたスケールの接続

交通行動分析においては、これらのスケールが単独ではなく、複合的に考えなければならない状況が多い。例えば、都市圏を対象とした鉄道旅客の分析では、広域での駅から駅への旅客需要はゾーン単位でのデータを用いて OD 表が作られることが基本となるだろう。しかしながら、交通手段分担において重要な駅回りのアクセス・イグレスにおいては街路単位でのデータが用いられるべきであるし、また駅構内の流動を考えるならば詳細な図面レベルでの歩行者の動きをモデル化する必要がある。これらの異なるスケールは、駅や乗降点などの結節部において、発生需要のフローや個人属性をそれぞれの

階層で合わせ、受け渡す方法により、包括的に表現することが可能となる。PT 調査と PP 調査を用いた交通需要予測例のデータとモデルのフロー図を図 2.12 に示す。

旅客だけでなく、物流についてもスケールの違いは考慮されるべきである。都市間や都市圏単位では、道路交通センサスのゾーン間データを用いて需要が与えられるが、貨物の積み替えや地区レベルでの配送計画を考える際には、街路レベルの経路の選択と、ゾーンスケールでの配送規模の転換を両方考えて輸送の最適化問題とするべきである。スケール間での相互依存性を踏まえ、異なる集計スケールのデータを複合的に用いることが、交通計画では必要となる。

