

都市の OR における流動データの利用

三浦 英俊

1. はじめに

「都市の OR」は、我々の住む地域や都市における人の活動、活動を支える都市インフラ、さらにはこれら全体を内包する地域の構造を数理的な視点から解析する研究である。本稿では、都市の OR で使用される都市内および地域間の流動データを切り口として、流動を取り扱う研究の最前線について紹介する。

本稿で述べる「流動」とは人の流動のことに限定する。データは『〇〇地域から××地域まで移動した人は△△人である』という内容を集計したものを取り上げる。データによっては〇〇から××までの経路が複数ある場合に経路ごとに集計したもの、□□時から☆☆時までといった通過時間を区切って集計したもの、年齢・性別といった人の属性が分かるものなどもある。なお流動として、他にも物資の輸送、サプライ・チェーン、通信ネットワークにおける電子データのやりとり、大気循環なども重要な流動であるが、ここでは取り上げない。

2. 都市の OR と流動データ

都市の OR における研究のアプローチには、

- (1) 都市における複雑な現象を単純な数理モデルで表わして隠された都市の本質的な構造を追求する（都市構造追求研究）、
- (2) 大規模なデータを利用してリアリティの高い都市モデルを構築し都市における諸問題の解決策を議論する（都市問題解決研究）、

というものがある。これらのアプローチは都市の OR の両輪である。(2)で使用するリアリティの高い都市モデルは、モデル設計の指針を(1)の成果である都市の本質的な構造に求めることができる。(2)で得られる大規模な都市モデルを問題の本質を失うことなく単純化する

ことに成功すれば、(1)のアプローチへフィードバックさせて都市構造を解析する有益な都市モデルを作成することができるだろう。

都市とは人が高い密度で活動する場である。お互いの距離が近いことは、効率よく活動できるという利点がある反面、活発に活動するほど順番待ちや渋滞などの混雑が生じる。情報技術の進展は、これらの問題を解決してくれるはずであったが、都市住民は新しい技術を活動の効率を高めることに使うことはあっても、それを使って混雑を減らす努力に役立てる人が大多数であるとは言えないようだ。つまり順番待ちや混雑は、都市の本質的な宿命なのであろう。流動データは、都市における活動とこれに伴う混雑について容易に調べることができるデータであるとともに、都市の OR において先述した二つのアプローチをつなぐ役割を果たすのである。

流動データにはいろいろなものがあるが、眺めてみると人の様々な動きが分かって面白い。

(その1)

例えば福岡県から札幌市に通勤している人が何人いるかご存じか。大変な遠距離通勤であるが、国勢調査によれば10人もいる。ただし、彼らが毎日通勤しているかどうかは保証の限りではない。

(その2)

JR 東日本のホームページに年度別の JR 駅乗車人員ベスト 100 を記載したページがある¹。1999 年度と 2003 年度を見比べると、1 位新宿、2 位池袋、以降ほとんど順位は変わっていないが 4 年間で利用者は数%ずつ減っている。これは、主として景気低迷による通勤需要の減少、少子化による通学定期客の減少が原因と考えられる。特に、これらの駅のうちで目黒駅だけは 110,348 人から 98,561 人へ 11%も大幅に減少している。これだけ大きな減少の原因は、どうやら前述の社会的変化だけでない別のことがありそうだ。そこで

みうら ひでとし

明海大学

〒279-8550 浦安市明海 8

¹ <http://www.jreast.co.jp/passenger/index.html>

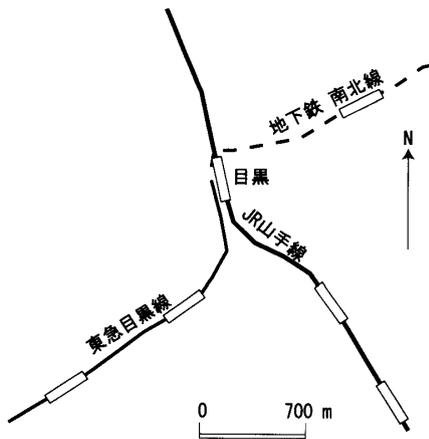


図1 目黒駅付近の地図

目黒駅周辺の4年間の変化を調べてみると、2000年9月から東急目黒線が地下鉄南北線と相互乗り入れしている。このためJR目黒駅で乗り換える人が減少したのでであろうと推測できる(図1)。

3. 流動データ紹介

ここでは容易に入手可能な流動データをいくつか紹介する。

国勢調査²は、我が国の人口の状況を明らかにするため大正9年以来ほぼ5年ごとに行われている。調査は10年ごとの大規模調査と、その中間年の簡易調査とに大別されている。今年2005年に行われる国勢調査は簡易調査である。国勢調査では流動に関連する調査項目として、

- (1) 5年前の住居の所在地(大規模調査のみ)
- (2) 従業地または通学地(毎回調査。従業地とは仕事をする場所のこと)
- (3) 従業地または通学地までの利用交通手段(大規模調査のみ)

がある。これら3項目の調査から5年間の住居の移動に関する世帯の流動と通勤に関する流動ならびに交通機関が明らかになる。我が国に住んでいるすべての人を対象とした全数調査データであり、長期にわたって継続的に行われている調査であることから、信頼性の高いデータであるといえるだろう。

前節で福岡県から北海道まで通勤している人がいることを紹介したが、長距離の移動として一般的な旅行を扱っているデータとしてJTB宿泊白書³がある。これは、旅行代理店のJTBで販売された旅行チケット

ト販売データをもとに、日本国内の宿泊旅行に関するデータをまとめたものである。およそ2,600万人泊のデータが集計されている。調査対象者はJTBを利用した客だけであるが、都道府県単位の宿泊旅行に関する出発-到着人数データや有力観光地の宿泊人数データを見ることができる。

これら二つは出発地-到着地間の人数を集計した統計データであり、流動の途中経路は調査されていない。一方、パーソントリップ調査⁴は出発地-到着地間の人数のみならず、途中の経路も明示されたデータである。パーソントリップ調査とは、主として都市における交通の実態を調査することを目的として、交通の最小単位である人の移動(これをパーソントリップと呼ぶ)を詳細に調べる調査である。サンプルとなる個人の1日の移動について、交通の出発地および到着地、交通目的、利用交通手段などを調査票に記入してもらう。東京、仙台などの大都市を中心とした通勤圏を単位として調査が実施されている。例えば、東京都市圏では昭和43年から10年おきにこれまで4回の調査が行われている。最新の平成10年調査では対象地域人口の3%に相当する90万人分のデータが集計されている。

大都市交通センサス⁵とは、首都圏、中京圏、近畿圏の三大都市圏について、大量公共交通機関の利用実態を把握することを目的に昭和35年から5年ごとに、国土交通省によって調査されているものである。鉄道ならびにバスの定期券利用者には自宅から目的地までの移動に関する調査(住所や最寄駅までの交通手段、出発・到着時刻、途中乗換駅など)を行う。普通の切符利用者には乗降駅名を尋ねる。パーソントリップ調査が個人を単位として調査を構成しているのに対して、大都市交通センサスは鉄道およびバスに限定して、利用者を対象として駅間の利用者人数ならびに途中の路線通過人数を調査している。なお航空旅客流動、幹線鉄道旅客流動、道路流動を調べる**全国幹線旅客純流動調査**という調査データもある。

道路交通センサス⁶とは、全国の道路と道路交通の実態を把握することを目的として、一般交通量調査、自動車起終点調査、駐車場調査、機能調査などから構成されている。なかでも一般交通量調査では主要道路(高速道路、国道、都道府県道)における自動車や自

² <http://www.stat.go.jp/data/kokusei/>

³ http://www.tourism.jp/publication/jtb_whitepaper.html

⁴ 例えば <http://www.tokyo-pt.jp/person/index.html>

⁵ <http://www.jterc.or.jp/inforlib/datacopi.htm>

⁶ <http://www.jice.or.jp/census/census2/>

転車の交通量、速度などを計測しており、データは交通量の需要予測などに活用されている。

さて、人の流動統計調査は通勤・通学・旅行だけではない。社会保障・人口問題研究所は**人口移動調査**⁷を実施し、およそ1万4千世帯を対象として世帯員の属性、現住所への移動時期・移動理由および前住地、生涯の移動経験などを調査している。国勢調査でも住居の移動について知ることができるが、人口移動調査はより詳細な調査項目を用意している。

文部科学省の行う**学校基本調査**⁸では、出身高校の所在地県別大学入学者数という調査データがある。すなわち、ある県の高専卒業生がどの県の大学に進学したか、その人数を集計したデータであり、これもまた流動データの一つと見ることができる。データの一例を紹介しよう。平成16年度に東京都の高等学校を卒業して大学に進学した12万人のうち地元東京の大学を選択した人は約3割の4万人である。鹿児島県の高専卒業生が地元の大学に進学する割合は4千人のうち6割およそ2千6百人である。

4. 流動データを使った都市のOR

流動データを用いた都市のORの一部を紹介する。これらの研究内容は次の3点のようにまとめられる。

- (1) 流動を記述するモデルを構築して流動の傾向を把握し、交通インフラ整備の効果予測や将来予測を行うための基礎を構築する研究
- (2) データでは得られないミクロな流動を推定する研究
- (3) 特別な地図を作成して流動を表現することに力を置いた研究

これらをごく簡単に紹介してみよう。

田口[1, 2]は鉄道時刻表データを用いて東京都市圏の列車運行ネットワークを作成し、列車に通勤・通学流動を利用者均衡配分問題を解いて割り付けている。利用者均衡配分問題では、リンク通過に伴うコスト関数（移動時間、混雑状況をコストで表わす）を与えて、利用者はすべてのリンクのコストに関する情報を知っていること、ならびに利用者が目的地まで最小コストとなる経路を選択することを仮定する。すると出発地から目的地までの経路が複数ある場合、利用される経路はすべてコストが等しく、利用されない経路はそれ

よりも等しいか大きい状態になる。このような利用者の配分を求めれば、すべての利用者が最小コストを達成する経路を選択しているという条件下でのリンクの利用状況を導くことができる。リンクコスト関数を**大都市交通センサス**データによる実際の通勤・通学流動を再現するように調整し、現実の通勤・通学流動を再現し、できあがったネットワークモデルを用いて、時差通勤による通勤ラッシュ時の混雑緩和予測ならびに少子化・高齢化による電車利用の変化予測を行った。

島海・鹿島・田口は文献[3]で航空写真を用いて細街路を走行する自動車の交通量を推計する手法を提案した。さらに文献[4]では1km×1kmの範囲を単位として、範囲内の幹線道路の延長やガソリンスタンド・駅の数などの地理情報から、範囲内で発生する交通量を推定する手法を提案し、**東京都市圏パーソナリティ調査**データと比較した。閑静な住宅街であれば交通量は少ないが、商店が建ち並ぶエリアは交通量は多い、といったように地域の交通発生量はその地域の土地利用に大きく依存していることを推定の根拠としている。細街路交通量の推定は**道路交通センサス**で得られる幹線道路を補完し、都市全体の自動車の流れを把握することが可能となる。

同じくミクロな地域の交通発生量を扱った研究として扇谷・鈴木[5]がある。ここでは渋谷駅東口の歩行者流動に焦点を当て、著者らで歩行者流動実地調査を行い、歩行者の経路選択モデルの構築を行った。

学校基本調査を使って将来の大学入試出願者数の予測を行った研究として古藤[6]がある。**国勢調査**から18歳人口予測データを使用し、大学の定員の推移予測とともに確率モデルを用いて受験生の出願校数を推定し、2010年まで出願者数は減少し続けるという予測を行った。

また、人の流動データでなく電話データを使った研究として、古藤は文献[7]でNTTの固定電話間の発信回数・通話時間データを用いて地域間のつながりの傾向や通話の構造を分析する方法を示し、全国の通話構造を表現する仮想地図を描く方法を提案した。

5. 流動を考察するための理論モデル

これらの研究は流動を考察するための理論的研究（都市構造追求研究）ならびにモデルの基礎の上に成立している。都市のORは、都市・地域を直接対象とするものだけでなく、建築学からネットワーク理論、計算幾何学、統計学まで幅広い背景を持つが、ここで

⁷ <http://www.ipss.go.jp/>

⁸ http://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/001/05011201/index.htm

は直接地域を扱うものに絞ってごく簡単に述べる。

地域間流動量の性質、特に距離との関係を記述するモデルは**空間相互作用モデル**と総称されている。重力モデル、ハフモデル、エントロピー最大化モデル、ロジットモデルなどがこれに当たる[8]。

2地域間の流動は、空間的な距離が増加するほど減少する傾向にある。一方で目的地の吸引力が強いほど流入する交通量は増える。ここでいう目的地の吸引力とは、買い物するために行ってみたい、あるいは仕事のため行かなければならない、といった個人の移動目的の強さを包括する仮想的な力であり、地域の店舗床面積や人口を用いることが多い。これら二つの性質を持つ流動記述モデルとして、ニュートンの重力の法則になぞらえた重力モデルと、これを多都市間の流動に拡張したハフモデルがある。これらのモデルでは地域が人を引っ張る仮想的な力を考える。力の影響は地域と人の距離が離れるほど小さくなる。流動データとハフモデルを組み合わせれば、地域の吸引力や距離による力の減衰の程度を容易に推定することができる。

複数の地域間の流動を考えると、流出する人数と流入する人数は各地域ごとに分かっているが、2地域間の流動人数はデータがないことがある。このようなときは空間相互作用モデルの一つであるエントロピー最大化モデルを利用すると、2地域間の流動人数を推定することができる。モデルにおける推定の枠組みは、全体の移動距離が一定という制約の下で、エントロピーが最大となる（すなわち与えられた制約下で最も尤度が高い）地域間流動人数を求めることにある。

ロジットモデルは、個人の目的地選択行動が最大効用原理に基づくことを仮定して流動を記述するモデルであり、選択によって目的地で得られる個人の効用は、ガンベル分布と呼ばれる確率分布に従ってばらつくことが仮定される。このばらつきは効用の個人差、計測誤差などから生じるものであり、個人が最大効用が得られる目的地を選ぶことと合わせて、目的地ごとの選択確率を記述する。

地域が平面上にあることを基礎とした地域の流動に関する理論モデルは、腰塚[9]、大津・腰塚[10]、大津・腰塚[11]に詳しい。これらで展開される議論と流動モデルは、地域を連続平面で表わすことで道路や鉄道といった経路に縛られることなく目的地まで一直線に移動できること、地域内で一様に流動が発生することを仮定している。現実の地域間流動からすると、かなり強い仮定のようなのであるが、複雑な現実の流動への

適用の筋道を用意したうえで、流動に関する厳密な議論を展開している。

道路網の形状に連続平面、格子状、放射・環状の3種類の規範的パターンを仮定して、目的地までの距離と通過交通量について論じた研究として、栗田[12]や田中・栗田[13]などがある。また田村・腰塚[14]は任意のネットワーク上で発生する交通に対して、任意の地点の通過交通量や距離の分布を求める手法を提案した。これらの研究は、道路や鉄道のような交通インフラストラクチャの構造が流動に与える影響について議論している。

6. おわりに

本稿では、流動データを軸として最新の都市のORを概観した。都市のORが対象とするものは、大多数の読者諸賢にとって身近な存在であろう。データ、研究、理論モデルから都市のORを眺めていただき、興味を持っていただければ幸いです。

最後になりましたが、本稿の着想を下された文教大学の根本俊男先生、原稿に目を通していただき貴重なコメントを下された中央大学の田口東先生に感謝いたします。

参考文献

- [1] 田口 東 (2004): 時間依存利用者均衡配分による首都圏電車利用モデル, 第16回 RAMP シンポジウムアブストラクト集, pp. 119-132.
- [2] 田口 東 (2004): 首都圏電車ネットワークにおける時差出勤の効果の予測, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集, pp. 94-95.
- [3] 鳥海重喜・鹿島 茂・田口 東 (2004): 航空写真計測による細街路交通量の推計, 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, pp. 180-181.
- [4] 鳥海重喜・鹿島 茂・田口 東 (2004): 細街路交通量と交通行動, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集, pp. 96-97.
- [5] 扇谷公輔・鈴木 勉 (2004): 渋谷駅東口周辺地区における歩行者流動量, 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, pp. 184-185.
- [6] 古藤 浩 (2004): 大学入試出願者数の予測, 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, pp. 190-191.
- [7] 古藤 浩・長谷川文雄 (2004): 逆算距離を利用した通話地図による日本の構造分析, GIS—理論と応用, Vol.

- 12, No. 2, pp. 165-175.
- [8] 日本建築学会 (1992) : 建築・都市計画のためのモデル分析の手法, pp. 111-121.
- [9] 腰塚武志 (1992) : 都市域の流動に関する理論的考察, 都市計画論文集, No. 27, pp. 343-348.
- [10] 大津 晶・腰塚武志 (1997) : 都市域の交通流集中に関する数理的分析, 都市計画論文集, No. 32, pp. 133-138.
- [11] 大津 晶・腰塚武志 (1998) : 都市内流動量分布に関する基礎的研究, 都市計画論文集, No. 33, pp. 319-324.
- [12] 栗田 治 (2001) : 円盤都市における道路パターンの理論一直線距離, 直交距離ならびに放射・環状距離の分布一, 都市計画論文集, No. 36, pp. 859-864.
- [13] 田中健一・栗田 治 (2001) : 放射・環状道路網を有する扇形都市平面上の通過交通量の分布一渋滞のない都市設計のための道路面積の適正割り当て分析一, 都市計画論文集, No. 36, pp. 865-870.
- [14] 田村一軌・腰塚武志 (2000) : 道路網上の距離分布と流動量分布に関する基礎的研究, 都市計画論文集, No. 35, pp. 1021-1026.