

## そのとき、人が動いた

## 大佛 俊泰 研究室～情報環境学専攻



大佛 俊泰 教授

大佛研究室では、時間と空間両方の要素を包括した、都市に関する時空間データを用いて、大規模なモデル化やシミュレーションを行っている。長年にわたって、図書館などの地域施設計画の研究や、土地利用の用途がどのように変遷するかという内容の研究など、都市解析という分野において非常に幅広い研究を行ってきた。

本稿で取り上げるのは、最近注目を浴びている都市の防災に関する研究だ。ダイナミックに変化する都市内の人の空間分布を明らかにしている一連の研究は、防災計画などに活用されている。

## 人 震災時、人はどう動く？

かねてより、首都圏で大規模な地震が起こった際に帰宅困難者が大量に発生することが問題視されてきたが、具体的かつ抜本的な対策はなされることがなかった。そのような状況のなか、2011年3月11日に東日本大震災が発生し、首都圏の人々は実際に帰宅困難な状況を体験した。そこで、地震時の人の行動を予測し、問題の解決に活かすことが必要だと改めて認識されたのである。

問題を解決する際の有効な手段として、大佛先生の研究の一つに、首都直下地震時の人の行動のモデル化がある。この研究は、任意の時刻でどのような人がどこにいるのかコンピュータ上で表現することによって、震災時の人の行動を予測可能にしている。そして、その予測は、震災時に発生しうるさまざまな問題の解決に役立つのである。

首都直下地震とは、関東地方南部で歴史的に繰り返し発生してきたマグニチュード7級の大地震のことだ。南関東は他の地域と比べ揺れの大きくなりやすい地域であることに加え、人口の密集した地域でもある。そのため、大地震が発生した際、大量の帰宅困難者が発生するといった混乱が一層警戒される。防災の観点から、首都直下地震時の

人の動きを予測することが非常に重要なのだ。

さて、大佛研究室が行った首都直下地震時の人間行動のモデル化では、震災が発生した条件下で人がどこで何をするか、図やグラフで表している。モデル化とは、ある問題から注目したい部分を抜き出し、その部分を理解し解決するために図やグラフ、数式で表すことである。ここで注意しなければならないのは、モデル化の際に単純化が行き過ぎた場合や不足した場合に、その注目したい部分を十分に理解できなくなるということだ。

従来の、大地震被害想定やシミュレーション分析では、いつどこにどれほどの人がいるのかという基礎的な情報が不足していたため、昼間人口と夜間人口を用いた二通りの分析しか行われていなかった。また、どのような人がどこにいるのかという情報も不足していたため、年齢や性別などの属性を無視した分析がなされていた。言い換えると、人の属性を考慮に入れず、その分布は時間の経過によって流動的な変化をしないものと仮定していたのだ。

この仮定では、細やかで精度の高い予測ができない。なぜなら、地震は人々がちょうどオフィス

や学校にいる時間帯や、家で寝ている時間帯に起きるとは限らない上に、性別や年齢などによってどのような行動をとるかが全く異なるからだ。

そこで先生が提案するのは、性別や年齢といった属性をもった人がどこに分布しているのかを、時間と共に連続的に変化させて地図上に表現するシミュレーションである。具体的には、普段人が

いつどこで何をしているかという基礎的情報を把握し、それを使って震災時に人々がどのように帰宅行動をとるか、モデル化を行いシミュレーションするのだ。これを帰宅行動シミュレーションと呼ぶ。このシミュレーションによって、今まで見落としていた課題の発見や検討、きめの細かい地域防災計画の立案が行えるのである。



## 帰宅行動シミュレーション

帰宅行動シミュレーションがどのように行われるのか述べる。このシミュレーションでは、首都直下地震の際に帰宅困難者がどのように発生するかを予測するために、人が帰宅することを決めて行動する一連の流れを推測し、地図上に示している。また、首都直下地震によって交通網が麻痺した状態を前提とし、帰宅手段はすべて徒歩とする。

シミュレーションを行うために、まず平常時に人がどこで何をしているのかという分析から始め

る。次に、その情報をもとに都市内滞留者の分布が任意の時刻においてわかるようなモデルを作る。都市内滞留者とは、震災時に東京近辺にいるとみなす人々だ。そして、人がどのような条件で帰宅することを選択し、また帰宅する場合、途中で帰宅を断念するのかシミュレーションを行う。

まずは、人がいつどこにいるのかということ把握するための手段である時空間分析について、その概要を述べる。

### 時空間分析、その必要性

ここで行う時空間分析とは、時間と空間によって変化する人の分布を分析することだ。従来のシミュレーションでは、個人の持つ属性や、人の分布の時間変化を考慮しなかった。しかし、被害の規模や様相は、地震が起きる時間と、どのような属性をもつ人がどこにどれだけいるかによって異なるため、従来の方法では考慮が不十分なのだ。

ここで、被害の規模や様相が異なる例を挙げる。早朝6時頃に発生した阪神・淡路大震災では死因の殆どが家屋倒壊による圧死で、交通機関に関する死者が比較的少なかった。これは早朝の発災であったため、多くの人がまだ建物の中にいたことが原因である。また、救助活動を行えるような人

の多くが出勤前などの理由で家にいたため、自主的に救助が行われていたのも特徴の一つだ。

もう一つの例を挙げる。昼の3時頃に発生した東日本大震災では、首都圏のみに注目すると、多くの人がオフィスや学校という外出先にいたために帰宅困難者が大量に出た。これがもし夜遅くに発生していたら、帰宅困難者は比較的少なかっただろう。この二つの例によっても、地震が起きる時刻や、どのような人がどこにいるかによって、被害の規模や様相が異なることがわかる。

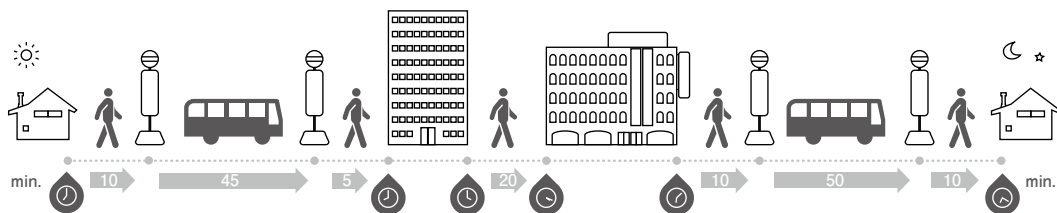
このため、属性をもった人がどこに分布しているのかを連続的に変化させ、地図上に表現するシミュレーションを行う必要がある。

### パーソントリップ調査・時空間分布推定

時空間分析を行うためには、どんな人がいつどこで何をしているのか知ることが必要だ。これを把握するために、国土交通省が行ったパーソントリップ調査のデータを用いた。パーソントリップ調査とは、ある人がある一日にどのように移動するかについての調査である。例えば、朝7時に自宅を出てバスに乗って会社に到着し、夕方5時に会社を出てデパートに行った後バスに乗って自宅

に帰った、というようなある一日の移動を調べる(図1)。この調査は首都圏に住む人々を対象に約80万人分の調査が行われているかなり大規模なもので、これによって首都圏にいる人々の移動の発着地点とその時刻、移動手段が細かくわかる。

このパーソントリップ調査のデータを人の移動がわかる形にして図やグラフに表し、今まで行ったさまざまな研究とあわせて考察することで、時



上の図はパーソントリップの具体例。ある人が、ある一日どのように移動したのか、経路と発着時刻についてわかるようになっている。

図1 パーソントリップ調査

空間分析を行った。

まず、得られた情報を地理的な基準で分割した小ゾーンごとにまとめ、小ゾーン内にいる人の数を密度別に色分けして地図上に表した。このまとめ方によって、得られた地図を時系列にして並べるだけでおおまかな人の流れはわかるようになった(図2)。

しかし、ある場所に何人いるかという情報が小ゾーンごとにしかわからないため、柔軟性がなく、帰宅行動シミュレーションに必要な他の研究とのすり合わせができない。なぜなら、他の研究で決められている境界と小ゾーンの境界が必ずしも合致しているとは限らないからだ。

この問題を解消するために、施設内にいる人と施設外にいる人とを分類し、小ゾーンごとのデータをもとに人の時空間分布をモデル化した。これは大佛研究室が以前より行っている調査・研究の一環である。具体的には、自動車利用による移動者、鉄道利用による移動者、建物内の滞留者などという分類ごとに細かくモデルを作ったのだ。これらの研究によって、それぞれの分類ごとにより細かな人口分布を任意の時刻で推定できる。

このようなモデル化をきめ細かく行うことで、東京都市圏にいる人々がいつどのように分布しているのかということを把握することができた。つまり、時空間分布が推定できたのである。

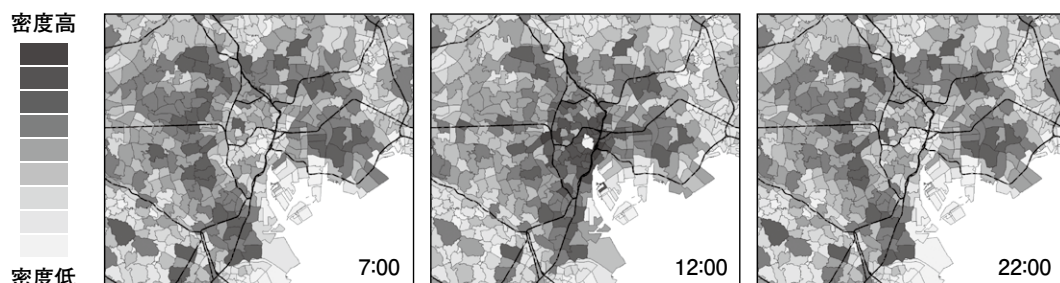


図2 時空間推定マップ

## 帰宅意思モデルと帰宅行動シミュレーション

時空間分布推定の次に、人がどのように帰宅行動を選択し、どのようにして移動するのかというシミュレーションを行った。

首都直下地震の際に人がどのように帰宅するのかを予測するのが帰宅行動シミュレーションだ。例えば、東工大にいたAは一時間悩んだ後に自宅に帰り始めたが、体力的に途中で断念してしまったとする。このような個人の動きが集まった全体の動きをシミュレーションしようというものだ。

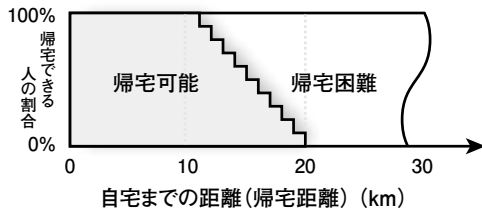
まず、首都圏に分布しているそれぞれの人がど

のような条件で帰宅を決定するのか調べ、この結果をもとにさまざまな条件下で帰宅意思の有無を判別する帰宅意思モデルを作った。そして次に、そのモデルを用いて帰宅行動シミュレーションを行った(図3)。このシミュレーションでは、途中で帰宅を断念する人を判別したり、帰宅開始のタイミングを設定したりするために大佛研究室の他の研究を補助モデルとして用いた。

ところで、一般に普及している帰宅可能・困難の判別方法は自宅までの距離のみに依存したもの





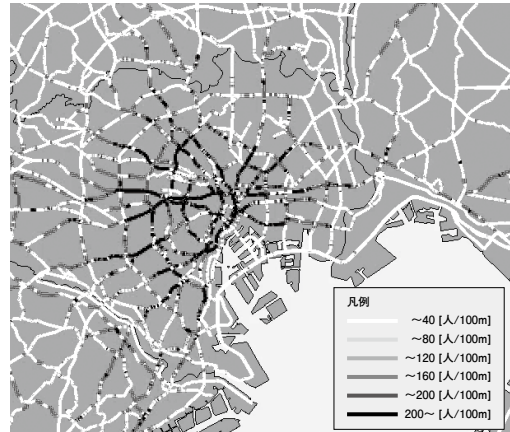


自宅までの距離が10km以上になると、1km遠くなるごとに帰宅可能者は10%ずつ減ると仮定している。

図4 従来の帰宅困難者の意思判別方法

的に用いることで、複雑なシミュレーションが行えるのである。

大佛先生の行った帰宅行動シミュレーションでは、補助モデルとして四つのモデルを用いた。一つ目は体力の消耗による帰宅断念モデルで、文部科学省が行っている体力・運動能力調査のデータを用いることにより、ある人の年齢と帰宅距離に対して体力的に帰宅を断念する確率が求められている。二つ目は日没による帰宅断念モデルで、日没前と日没後の帰宅意思率の差から日没後に帰宅を断念する確率が自宅までの距離に対して求められた。三つ目は帰宅開始時間モデルだ。人が帰宅を開始するタイミングを、一斉帰宅の場合、帰宅する人が時間に対してランダムに発生する場合、施設内滞留者のみ帰宅時間を1, 2, 3時間遅らせる場合の3パターンを想定した。四つ目は、道路混雑と歩行速度モデルである。歩道を歩く群集の密度によって歩行速度が変化する様子を表したもので、速度は1.5 [人/m<sup>2</sup>]から直線的に減少し、



帰宅行動シミュレーションによる、発災3時間後の道路混雑予想。徒歩帰宅者の密度が表されている。

図5 帰宅行動シミュレーション

6 [人/m<sup>2</sup>]でほぼ止まってしまうというものだ。

これらの補助モデルを用いてシミュレーションを行う。まず都市内滞留者が帰宅意思をもつかもたないか判別し、そして帰宅意思のある人は帰宅行動シミュレーションによって自宅に到達するか、あるいは体力の消耗・日没のどちらかによって断念するかシミュレートする。帰宅意思のない人はその理由でも分類する(図3)。以上により、首都直下地震時に東京都市圏でどのように人が動くのかきめ細かな設定でシミュレーションを行うことができた(図5)。この結果を時間経過で変化させる地図上に表示することで、わかりやすい提示できるとともに、新たな研究の素材として活かすこともできる。

## 帰宅行動シミュレーションの向こう

帰宅行動シミュレーションは複合的なシミュレーションであり、従来よりも細かい設定のため、震災による帰宅行動の際に起こりうるさまざまな問題が浮き彫りになった。

まず、通勤通学によく用いられる鉄道の利用者が移動中に帰宅困難となった場合について注目する。発災時刻別にみて、帰宅困難者の総数が最も多いのは昼の時間帯である。しかし、移動者と滞留者とを分けると、滞留者については従来通り昼時が最も多いが、移動中の帰宅困難者が最も多くなるのは朝夕のラッシュ時であることがわかった(図6)。目的地へ移動中の人々が帰宅困難となる

と、滞留中の人々が都心から郊外へ帰るときとは違った問題が発生する。移動を中断された人々の進む方向がランダムな状態となり、人の流れが都心から郊外へという一方通行にならないからだ。そのとき、さまざまな原因で群集の流れが局所的に乱れ、過密によって集団転倒などの事故が起きる可能性がある。このような事故を群集事故といい、大佛先生はこの危険性を指摘している。

次に、徒歩で帰宅する人々が遭遇する可能性のある危険について注目する。体力的に帰宅を断念する人には、20代女性、40, 50, 60代男性が多く、より年配の人から断念していく傾向がある。また、

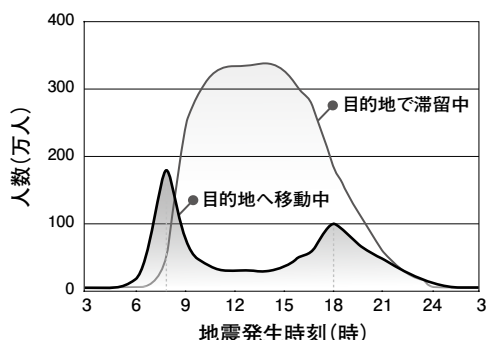


図6 帰宅困難者数の推移

日没により断念する人については、帰宅開始時刻が遅れるほど帰宅断念者が増えてしまう傾向がある。帰宅断念者が増えると駅や路上の混雑を招くだけでなく、帰宅断念者自身がさまざまな危険に晒されることが問題となる。

この問題に対しては帰宅支援計画の策定などが必要だ。具体的には、シミュレーションによって帰宅断念者が集中することが判明した早稲田通り、青梅街道などの幹線道路に人の滞在できる施設をつくることや、毛布や飲料水などの支援物資を配置することが対策として挙げられる。

また、震災時には市街地で多くの火災が同時に発生する恐れがある。都心部は鉄筋コンクリート造の建物が多く、防火対策が進んでいるので比較的安全である。ところが、施設内滞留者が帰宅する際には、火災危険度の高い地域を通る可能性が大きい。また、帰宅断念者が多く出る地域と火災

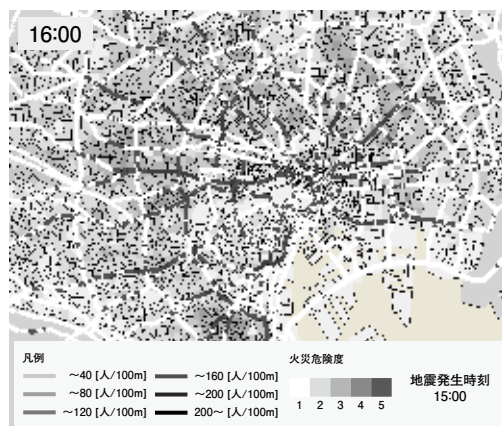


図7 火災危険度と徒歩帰宅者

危険度の高い地域がおおむね重なっていることも問題であり、火災による混乱に起因する群集事故の危険もある(図7)。

帰宅者が遭遇する危険への総合的な対策として、滞留者を組織的に帰宅させず、あえて帰宅困難者として留め置きすることが必要だと大佛先生は指摘する。組織的な帰宅困難者の留め置き策を講じておけば、食料や寝場所も確保され、火災の危険から遠ざけることもできる。

このように、帰宅行動シミュレーションは、広く社会に役立てることのできる一面をもっている。また、このシミュレーションは単なる結果ではなく、この研究の結果を素材として利用した新しい帰宅支援計画の策定、新しい研究などへの幕開けともなっているのだ。

## 人 大佛研究室のこれから

大佛研究室では、首都直下地震時の人間行動のモデル化を5年前より行っている。この研究は、早朝のラッシュ時、周囲を和ませている低学年児童が地震で立ち往生したらどうなるのか、という素朴な疑問に端を発している。また、防災の研究をすることになったときに建物の構造や地盤ではなく、人間のことを扱っている研究者が少なかったこともきっかけのひとつだと大佛先生は語る。

このように、少しでも興味深いと思ったことから、さまざまな研究を行っているのが大佛研究室だ。大佛先生の研究は幅広く、帰宅行動シミュレーションは一例にすぎない。今後も、都市に関する現象は我々にとって身近な研究課題として存在し続けるだろう。時空間データを用いた都市解析という、裾野の広い分野における大佛研究室のこれからの活躍に期待したい。

大佛先生のお話はとても面白く、ユーモアあるお人柄がにじみ出ていました。興味をもった物事を、すぐに研究材料として取り上げる先生の姿勢

は、とても素敵だと思いました。最後になりましたが、お忙しいなか取材に快く応じてくださった大佛先生に厚く御礼申し上げます。(岡見 幸)