

# 都市防災計画のための都市内移動者の時空間分布推定 - 鉄道利用者と自動車利用者を対象として -

大佛俊泰<sup>1)</sup>，島田 廉<sup>2)</sup>

1) 東京工業大学 情報理工学研究科 情報環境学専攻，osaragi@mei.titech.ac.jp

2) 東京工業大学 工学部 建築学科，rshimada@os.mei.titech.ac.jp

## 1. はじめに

近年，首都直下型地震を想定した防災計画に対する関心が高まっており，被害想定に関する調査・研究も数多くなされている．従来の人的被害想定は，国勢調査等から得られる昼間人口分布や夜間人口分布などの静的な人口分布に基づくものが多かった．しかし，実際の都市内人口分布は時々刻々変動しており，人的被害の量およびその空間分布は発災時刻と密接に関連していると考えられる．特に，鉄道利用者や自動車利用者の時空間変動は非常に大きく無視することはできない．

そこで，平成 10 年東京都市圏パーソントリップ調査のデータ（以下「PT データ」と呼ぶ）を原データとして，鉄道利用者および自動車利用者の時空間分布を推定し，その時刻変動および空間変動を把握することを試みた．

## 2. 鉄道利用者の時空間分布推定方法

### 2.1. 鉄道利用者の時空間分布推定モデルの構築

PT データを用いて「どのような人（年齢・性別などの属性）が，いつ（時刻），どこで（位置座標），何を（目的）するために鉄道を利用しているか」といったダイナミックに変化する鉄道利用者の時空間分布を推定するモデルを構築した．具体的には，PT データから鉄道トリップの発着駅の位置情報と時刻情報を抽出し，その情報をもとに，地理情報システム（GIS）におけるネットワーク解析機能を活用して鉄道路線上の空間移動を再現することで，鉄道利用者の時刻別位置情報を求めた．

PT データを用いれば，鉄道利用者の発着駅の位置情報と時刻情報を知ることができる．しかし，発着駅間の移動経路や乗換駅などについては直接知ることができない．そこで，鉄道利用者は「移動に要するコスト（時間コスト）が最小となる経路を選択して移動する」と考え，鉄道利用者の空間移動をモデル化した．ただし，乗換に伴う電車の待ち時間や肉体的な労力，精神的な負荷，経営主体（事業者）の異なる路線間で発生する初乗り料金なども鉄道利用者

の経路選択を左右すると考えられる．また，一般に乗換は同一駅内，または，同一駅名の駅間で行われるが，近距離に位置する駅間では，徒歩で移動し電車を乗り継ぐ場合（徒歩乗換）もある．そこで，鉄道乗換時に発生する様々な抵抗をすべて時間コストに換算しモデルに組み込んだ．具体的には，路線上の移動については，駅間距離と鉄道速度から移動時間を求め「鉄道移動コスト」とした．ただし，鉄道速度は路線によって異なるので，路線ごとの平均駅間距離を用いて鉄道速度を記述するモデルを構成した．一方，路線間の乗換については，駅構内の移動時間および電車の待ち時間と乗換に対する抵抗（乗り換えることで発生する精神的な負荷）を時間コストに換算した値の合計を「駅内乗換コスト」とした．ただし，駅構内の移動時間は駅の規模に依存すると考えられる．そこで，駅の規模を接続路線数で記述しモデルに組み込んだ．また，同一駅名で異事業者路線の駅間移動時間と異事業者路線間乗換の抵抗（初乗り料金の抵抗）を時間コストに換算した値の合計を「駅間乗換コスト」とした．さらに，非同一駅名の駅間の徒歩移動時間と徒歩乗換の抵抗（徒歩で長距離移動しなければならないことによる抵抗）を時間コストに換算した値の合計を「徒歩乗換コスト」とした．

### 2.2. 時間コストパラメータの推定

運輸政策研究機構(2003)において整備されている主要駅一日当たりの総利用者数（乗降者数と乗換者数）に関する統計値との整合性を確認しながら，路線ネットワークの時間コストパラメータの推定を試行錯誤的に行った．具体的には，鉄道利用者の約 1% の鉄道トリップを用いて，複数路線接続駅および一路線接続駅の総利用者数の推定値と都市交通年報の統計値の絶対誤差が小さくなるようにパラメータを推定した．

## 3. 鉄道利用者の時空間分布推定

### 3.1. 鉄道利用者の時空間分布

駅別・駅間別の総利用者数は，都心部から放射状

に伸びる路線上で多く、活発な長距離移動を見て取ることができる(図1)。時刻別に比較すると(図2)、8時、および、18時における移動者数は12時の、それぞれ10倍、および、4倍程度であり、朝夕の激しい利用者集中の様子が現れている。退避や避難の開始は駅構内滞留者よりも路線上海移動者の方が遅く、また、時間がかかる可能性がある。また、脱線や衝突などが発生すれば、高密度で高速に移動する車両の方が、より甚大な被害につながる危険性もある。8時付近および18時以降の路線上海移動者や集中箇所を考慮した防災対策が必要となる。

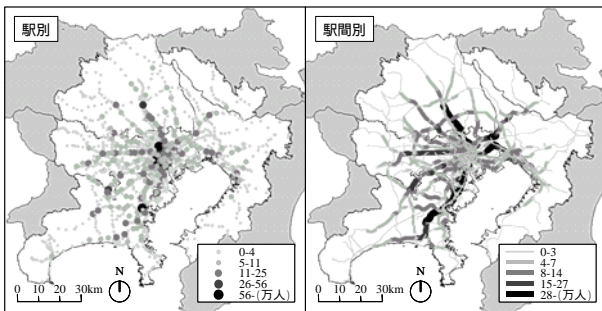


図1 駅別・駅間別の1日の総利用者数

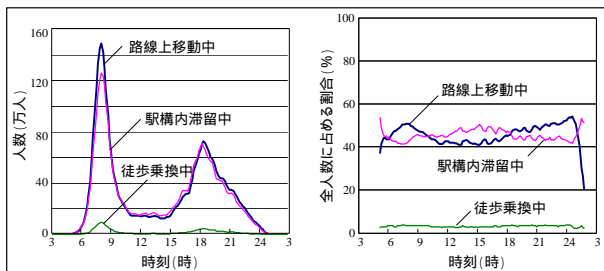


図2 利用状況別の鉄道利用者

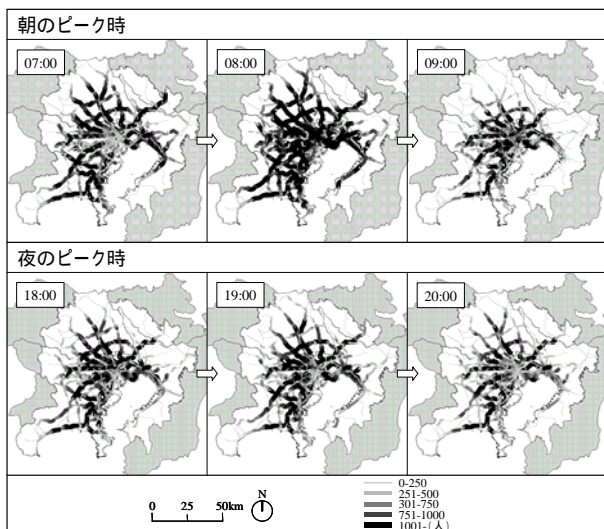


図3 駅間別の路線上海移動者数

駅間別路線上海移動者数の空間分布を見ると(図3)、7時から9時にかけては郊外から都心部へ向けて分布のピークが移動し、18時から20時にかけてはその逆の移動が見取れる。また、これらの時間帯に発災すれば被害が広範囲におよぶ危険性のあることが分かる。鉄道利用のピークを減ずるための方策(時差通勤の推奨など)は、通勤・通学時の快適性を高めるだけでなく防災上でも重要な課題であるといえる。

### 3.2. 鉄道利用者の個人属性別時空間分布

前項で推定した鉄道利用者の時空間分布を個人属性別に把握した(図4~図6)。早朝と深夜には男性利用者の割合が圧倒的に高いのに対し、昼は男性と女性の割合は同程度となる(図4)。また、5~15歳の利用者は数としては少ないが、朝と夕刻には全体に占める割合が一時的に高くなり、70歳以上の利用者は、外出時間の違いから昼にその割合が高い(図5)。また、主婦・主夫および無職の利用者は買物等の外出により、昼にその割合が高くなり、夕刻には生徒・児童・園児および学生の利用集中は著しく、全体の半数以上を占める(図6)。昼から夕刻にかけては路線上海移動者数は少ないものの、幼児や高齢者の割合が高くなるため、こうした災害弱者への配慮が必要といえる。

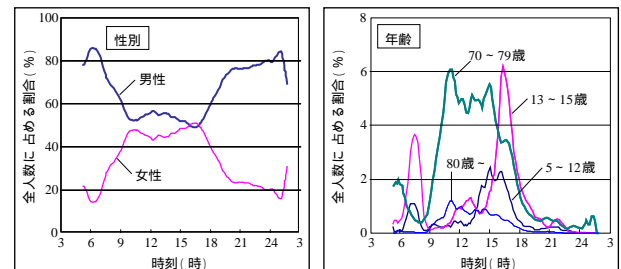


図4 性別別路線上海移動者数(左)

図5 年齢別路線上海移動者数(右)

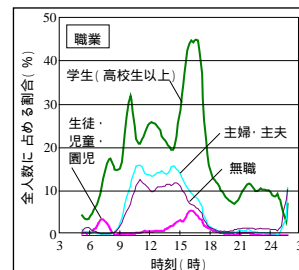


図6 職業別路線上海移動者数

### 3.3. 鉄道利用者の移動目的別時空間分布

前項で推定した鉄道利用者の時空間分布を移動目的別に把握した(図7)。朝と夜は通勤目的者の割合が高いが、昼は買物等目的者の割合が高く、特に15時付近には半数を占める。通勤・通学目的者と異なり、買物等目的者は決まった路線経路を通して

いない可能性も高く、昼に発災した場合は、土地勘のない地域で被災する人の割合が高くなると予想される。空間分布を見ると(図 8)、通勤・通学目的者の空間分布は朝と夜で酷似しているが、買物等目的者は朝と夜で分布が異なる。また、通学目的者は朝夜ともに広範囲に分布しており、これは、高校・大学等が首都圏に広く分布し、通学者が鉄道を利用して広範囲を移動していることを示している。

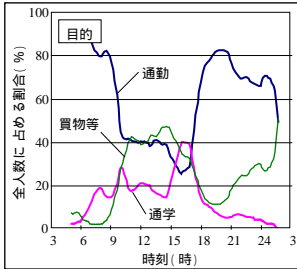


図 7 目的別路線上移動者数

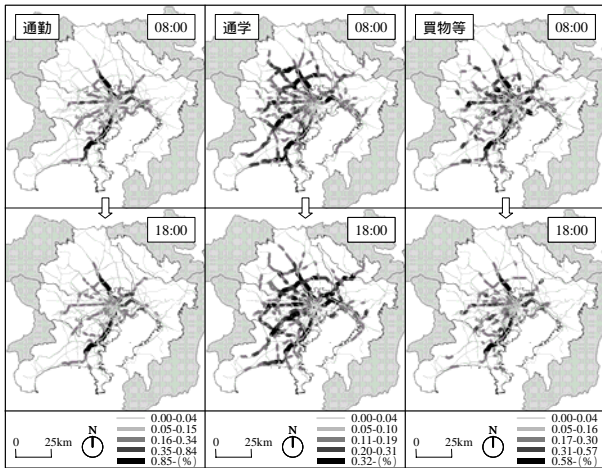


図 8 目的別鉄道利用者の時空間分布

#### 4. 帰宅困難者の時空間分布推定

##### 4.1. 帰宅困難者の時空間分布推定方法

東京都(1997)における帰宅困難想定方法を用いて、帰宅困難者の時空間分布推定を行った(図 9)。具体的には、前章で算出した鉄道利用者の時刻別位置座標から居住地小ゾーン(PT データの集計単位)の中心座標までの距離を帰宅距離とし、帰宅距離に応じて帰宅可能・困難を判断した(ただし、鉄道利用中でない場合の時刻別位置座標は、小ゾーンの中心座標で代表させた)。実際には、地震発生時刻や被害の程度に応じて徒歩で帰宅できる距離は異なってくると考えられる。しかし、帰宅可能・帰宅困難の判断がどのように下されるのかについては今のところ明らかでない。そこで、ここでは簡便な既往の方法を採用することとした。また、以下では鉄道利用者のみを対象としている。したがって、自宅外外出者全員を対象とした場合よりも過少推計となる点

に注意する必要がある。しかし、帰宅困難者となりやすい長距離移動者の多くは鉄道利用者であることを考えれば、重要な推計値のひとつである。

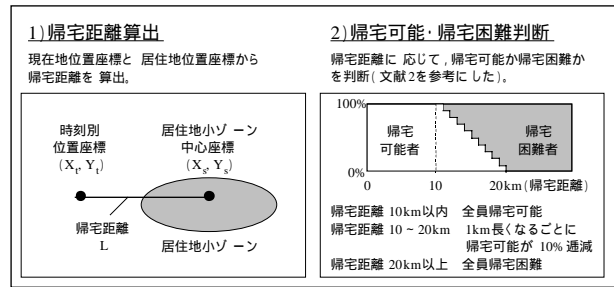


図 9 帰宅困難者の時空間分布推定方法

##### 4.2. 帰宅困難者の時空間分布

帰宅困難者数は7時から9時にかけて急激に増加し、18時から24時にかけて緩やかに減少する(図 10)。帰宅困難者数が最大となるのは14時付近で、その数は約420万人、割合で見ると鉄道利用者全体の約45%と非常に高く、この時間帯に地震が発生し交通機関がストップすると帰宅困難者が大量に発生することが予想される。また、図 11 より、朝と夜には目的地へ移動中の人が多く、特に、夜に地震が発生した場合には、帰宅困難者受け入れ先の迅速な提供が必要となる。空間分布を見ると、帰宅困難者は、朝は路線上沿いに分布し、昼は都心部から西側にかけて広がり、夜は都心部の特に中心に多く分布することがわかる(図 12)。

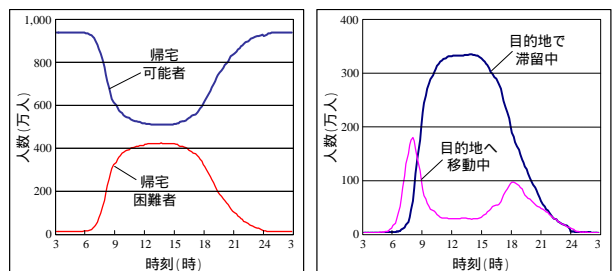


図 10 帰宅可能者と帰宅困難者数(左)

図 11 移動過程別帰宅困難者数(右)

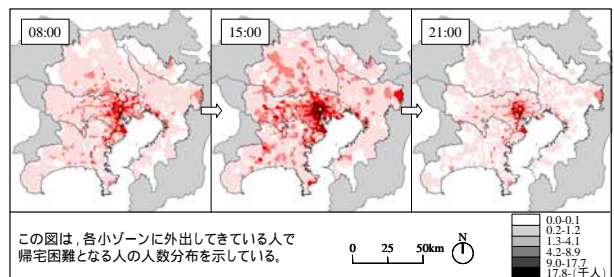


図 12 小ゾーン別の帰宅困難者数

### 4.3. 帰宅困難者の個人属性別時空間分布

個人属性別に帰宅困難者数を求め、その全帰宅困難者数に対する割合の時刻変動を図 13、図 14 に示した。5～18 歳、生徒・児童・園児は、早朝から通学を開始しているため、8 時付近に全体に占める割合が一時的に高くなるのがわかる。また、昼には 70 歳以上、主婦・主夫および無職の割合が高くなる。朝の通学時間帯に地震が発生した場合、5～18 歳、生徒・児童・園児などの未成年者に対する対応が重要と考えられる。

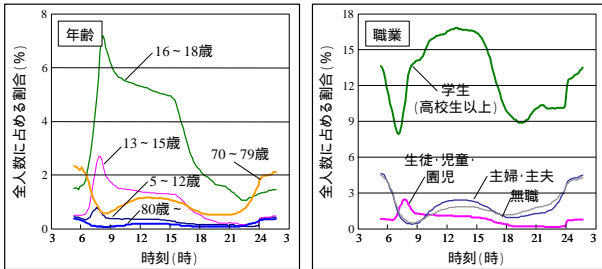


図 13 年齢別の帰宅困難者数(左)

図 14 職業別の帰宅困難者数(右)

### 4.4. 帰宅困難者の移動目的別時空間分布

移動目的別に帰宅困難者数を求め、その全帰宅困難者数に対する割合の時刻変動を図 15 に示した。昼は買物等目的で移動中の帰宅困難者の割合が高いことがわかる。また、昼は通勤・通学先での帰宅困難者の割合が高いが、夜は買物等目的の外出先での割合が高くなる。その空間分布を見ると(図 16)、通勤目的の帰宅困難者は都心部に集中する傾向があるのに対し、通学目的者は一日を通して広範囲に分布する点が特徴的である。買物等目的者については朝は広範囲に分布し、夜は都心に集中する傾向がある。帰宅困難者全体で見ると都心部に集中していても(図 15)、目的別に見ると、保護者の出迎えが必要となる幼児を含む通園・通学目的者や、組織に属さない買物等目的者が時間帯によって広範囲に分布するなどの特徴が見られ、帰宅困難者への対策が必要なのは必ずしも都心部に限定されないということに注意すべきである。

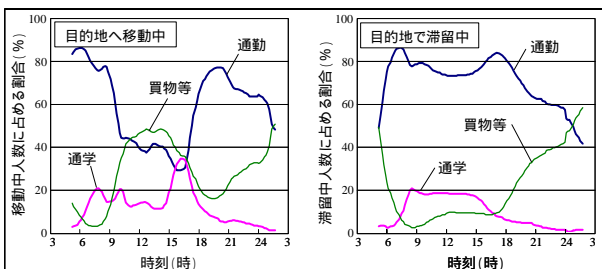


図 15 目的別の帰宅困難者数

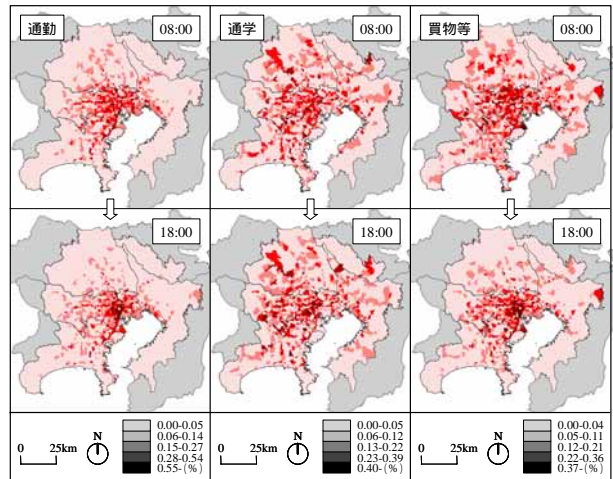


図 16 ゾーン別目的別帰宅困難者の割合

## 5. 自動車利用者の時空間分布推定方法

### 5.1. 推定方法の概要と道路網データの前処理

道路網は鉄道網よりも複雑であり、また、データ量も多く、同じ発着地であっても選択可能な移動経路は非常に多くなる。そのため移動距離の長いトリップについて東京都市圏(1都4県)の道路網データすべてを用いて計算すると膨大な時間を要してしまい実用的ではない。そこで、「出発地点 - 到着地点」間の直線距離と出発ゾーン・到着ゾーン内の道路密度に応じて道路網データを使い分けることで、計算時間の短縮を図る方法を構築した。その概要を図 17 に示してある。

### 5.2. モデルの基本構造とキャリブレーション

自動車交通量を推定する方法として確率均衡型交通量配分モデルが知られている。渋滞を避けようとして発生する迂回行動などを再現するためには、こうしたモデル化が必要であるが、広域にわたり細街路まで含めた複雑な道路網を対象とした場合には、分析データの前処理だけでなく、実計算においても膨大な時間を要してしまう。ここでの目標は出発地点と到着地点のわかっている自動車利用者が、各時刻においておおよそどの地点にいるかを推定することにある。そこで、ここでは道路交通センサス(H17年)から得られる道路リンク別交通量(以下、実測値)にできるだけ近づくように、自動車利用者を配分するという簡便なモデルとした。すなわち、自動車利用者は移動時間が最短となる経路を選択するものと仮定して、各道路リンクの平均速度を外生変数として操作することで、どの経路を通過するかを変化させ、道路交通量の実測値と推定値との差が小さくなる状態へ誘導することで交通量を推定した。

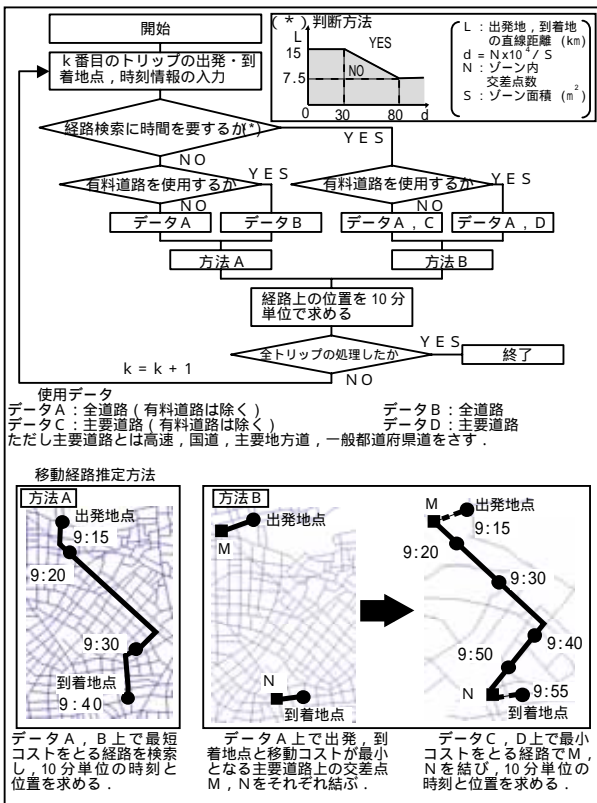


図 17 移動経路推定方法の概要

## 6. 自動車利用者の時空間分布

図 18 に自動車利用者の時空間分布を示してある。ここでは計算時間の制約から分析対象地域を東京都に限定している。時刻に応じて大きく変化する道路網上の空間分布を視覚的に把握することができる。図 19 には震災時の物資運搬や救助活動のための緊急交通路における時空間分布を示してある。ピーク時に相当する 8 時や 18 時には密度が非常に高くなる。こうした自動車利用者の時空間分布地図は詳細な防災計画について検討するための基礎情報として活用することができる。図 20 には都心からの距離に基づき自動車利用者数を再集計した結果を示してある。特に主要道路密度の高い都心部で、自動車利用者密度が午前 7 時以降急激に高まることがわかる。

自動車利用者を移動目的別に分類し、ゾーンごとに再集計した結果を図 21 に示してある。通勤・通学の移動者密度は朝夕で高く、業務・私用の移動者密度は、昼間に高い様子が見て取れる。このことは都心からの距離圏別に再集計した結果(図 22)でも確認することができる。

年齢別に見ると自動車移動している未成年者や高齢者の比率は決して高くないが(図 23)、高齢者の割合は昼間にかけて増加する(図 24)。空間的な分布をみると、山手線周縁部の商業地や住宅地など、都心から比較的近い場所に自動車を利用して移動している高齢者が多い(図 25)。

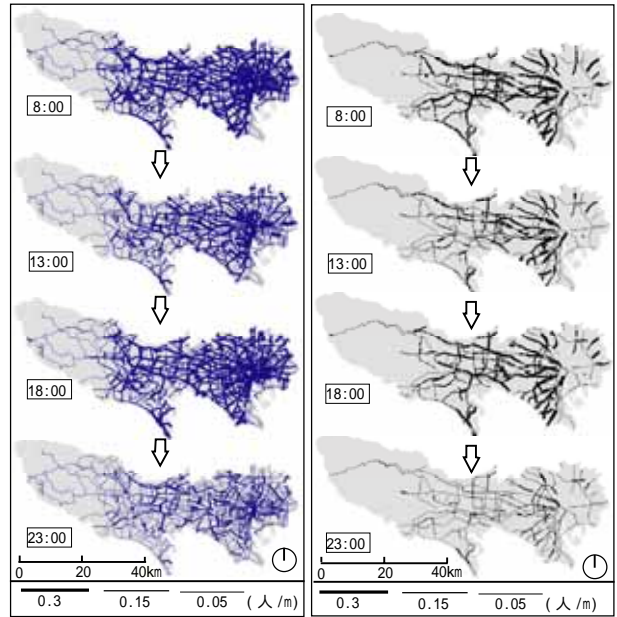


図 18 自動車利用者の時空間分布(左)

図 19 緊急交通路における時空間分布(右)

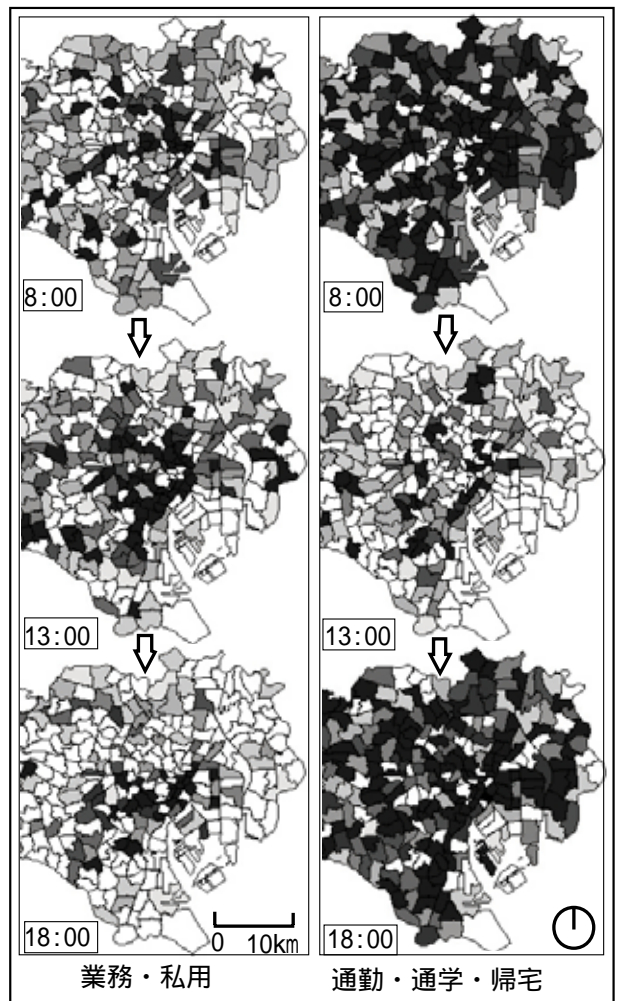


図 21 移動目的別移動者密度の時空間分布

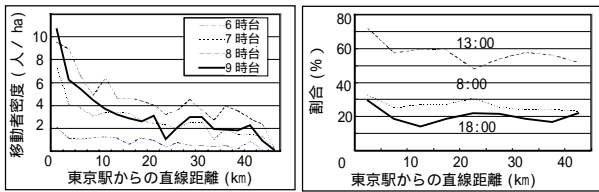


図 20 移動者密度の時刻変動(左)

図 22 業務・私用目的移動者密度の時刻変動(右)

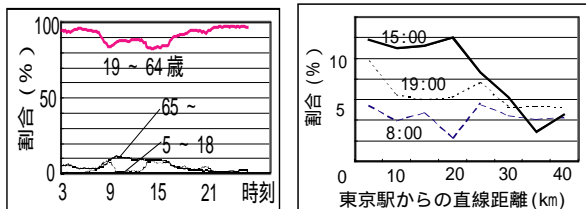


図 23 移動者の年齢構成の時刻変動(左)

図 24 65歳以上の移動者密度の時刻変動(右)

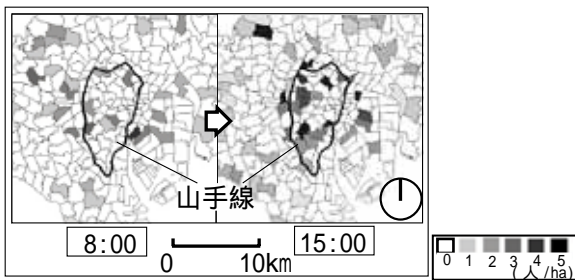


図 25 65歳以上の移動者密度の空間分布

## 7.まとめ

鉄道利用者と自動車利用者の時空間分布を推定するモデルを構築し、首都圏における現実のデータを用いて、時刻や場所に応じて大きく変動する鉄道利用者と自動車利用者の時空間変動を個人属性別、移動目的別に把握した。本モデルを用いれば、首都圏大震災軽減のための基礎的資料として、従来までは捉えられなかった、時刻や場所によって大きく異なる人的被害の程度について、具体的な被災者のプロフィールとともに把握することが可能となる。また、被災者のプロフィールとその時空間分布を合わせて分析することで、時刻と場所に応じた木目の細かい防災計画のための一助とすることができる。

本モデルの改良と推計値の具体的な応用事例についての検討を進めており、今後報告する予定である。

## 謝辞

本報告の一部は大谷郁子氏との共同研究の成果に基づいている。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 運輸政策研究機構：平成 14 年度版都市交通年報，2003
- 2) 東京都：東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書，1997