

# 地震発生時における東京都内滞在者の 帰宅行動モデル

Behavior Model for Return Home after Devastating Earthquake  
in the Tokyo Metropolitan Area

下原 祥平<sup>1</sup>・渡邊 泰史<sup>2</sup>・島崎 敏一<sup>3</sup>・金子 雄一郎<sup>4</sup>

<sup>1</sup>修士(工学) 日本大学助手 理工学部土木工学科 (E-mail:shimohar@civil.cst.nihon-u.ac.jp)

<sup>2</sup>修士(工学) 静岡市役所 (E-mail:watanabe\_chb@city.shizuoka.lg.jp)

<sup>3</sup>工学博士 日本大学教授 理工学部土木工学科 (E-mail:shimazak@civil.cst.nihon-u.ac.jp)

<sup>4</sup>博士(工学) 日本大学専任講師 理工学部土木工学科 (E-mail:kaneko@civil.cst.nihon-u.ac.jp)

首都直下を震源とする大地震が発生した際の都心部特有の深刻な被害の一つに「帰宅困難者の発生」がある。本論文は地震発生後に鉄道が比較的早期に運行を再開するという状況を想定し、アンケートにより帰宅行動の意識調査を行い、徒歩のみならず鉄道利用も考慮した選択モデルを導出した。その結果、被災後に鉄道が利用可能な状況においては、多くの帰宅困難者が鉄道による帰宅を選択すること、また選択の要因は滞り場が影響し、日常的に利用している場所で滞りできない人は鉄道利用の割合が高まることが分かった。

**キーワード：**首都直下型地震、帰宅困難者、帰宅行動モデル

## 1. 研究の背景と目的

近年、首都直下を震源とする大地震の発生が危惧され、地震の揺れによる建造物の倒壊や地震後の火災に備えて、建造物の耐震性や耐火性は向上されつつある。しかし、膨大な人口を抱える東京都心部が大地震に見舞われた場合、倒壊や火災などの被害のみならず、「帰宅困難者の発生」という都心部特有の深刻な被害が起り得る。

震度5弱以上の地震が観測されると、鉄道路線は建造物や車両の損傷の有無にかかわらず、運行を停止し安全確認を行う。また道路交通においても、震災発生時には主要幹線道路の通行止めなどの交通規制が行われ、その機能は著しく低下することが想定される。このように交通機能がマヒすれば、都内に滞在していた人の移動は徒歩に限定され、中には帰宅が困難となる人が現れる。

一般に被災した場所から自宅までの距離が10km圏内の人は、ほぼ100%の人が徒歩で帰宅することができ、その距離が10kmから1km増すごとに、徒歩による帰宅が可能な割合が10%ずつ減ると言われている<sup>1)</sup>。つまり、被災した場所から自宅までの距離が20km以上であると徒歩による帰宅は困難となり、帰宅困難者と定義される。内閣府<sup>1)</sup>の想定によると、昼12時に首都直下地震が発生した場合、帰宅困難者数は、東京都のみで約390万人、1都3県で約650万人に上る。

阪神・淡路大震災以来、鉄道路線は耐震性が高められており、地震の規模によっては建造物は大きな損傷を受

けずに済み、地震発生から数時間での運行の再開が期待できる。しかし、鉄道路線の安全確認は各鉄道事業者が路線ごとに行うため、全路線が一斉に運行を再開するとは限らず、路線ごとに運行再開時期が異なることが考えられる。鉄道路線のネットワークが不完全な状態で運行が再開されることとなれば、それまで都内に滞在していた帰宅困難者が一斉に鉄道を利用して帰宅することが考えられる。すなわち、帰宅を急ぐ人々が不完全な状態の鉄道ネットワークに集中することとなり、駅周辺や駅構内が混雑し、異常な乗車率となる路線が発生することが想定される。

これまで都内滞在者の帰宅行動に関する問題については、主に徒歩帰宅による道路混雑の危険性が指摘され、混雑状況のシミュレーション分析<sup>2)</sup>や、帰宅所要時間の推定に関する研究<sup>3)</sup>が進められてきている。しかし、鉄道の耐震性が高められたことにより鉄道の早期運行再開が可能となった状況において、帰宅手段を徒歩から鉄道利用へ転換することによる危険性を指摘し、その危険性を定量的に評価している研究は少ない。既存研究にはその危険性や輸送力低下を指摘するもの<sup>4)5)</sup>はあるが、具体的な鉄道の利用者数を推計しているものは見当たらない。

鉄道の利用者数を推計するためには、まず都内滞在者が徒歩による帰宅か被災地に滞在するかを選択行動モデルにより都内の滞在者数を推計し、次に鉄道の運行が再開された際の、再開状況に応じた鉄道か徒歩による帰宅の選択行動モデルを導出する必要がある。

そこで本研究は、被災後に鉄道が比較的早期に運行を再開するという状況を想定し、徒歩のみならず鉄道利用も考慮した帰宅行動モデルを導出することにより、被災者の帰宅行動に影響を与える要因を抽出することを目的とする。

## 2. 研究方法の概略

### 2.1. 用語の定義

本研究では、帰宅するための選択行動を「帰宅行動」と定義する。また被災者のうち、地震に遭遇した地区の住民ではなく、その地区外から仕事や学業、私事などを目的として来訪し滞在していた者を「滞在者」と定義する。さらにその滞在者が、地震に遭遇した地区内に留まり続けることを「滞留」と定義する。

帰宅行動を分析するために、まずアンケートにより意識調査を行う。アンケートを行うにあたり、対象者へは地震の規模、震源、発生時刻などのシナリオを提示し、帰宅行動に関する回答を得る。その結果より、滞在者の帰宅行動を状況ごとにモデル化を行う。

### 2.2. 想定する地震のシナリオ

滞在者の帰宅行動は、地震発生時の天候や地震後のライフラインの状況など様々な外的要因により変化する可能性がある。そこで、4つのシナリオを用意し意識調査を行う。シナリオは、震源、地震の規模などすべてのシナリオにおいて共通する項目と、地震発生時刻と家族の安否情報をそれぞれ変化させた項目によって構成する (Table 1 参照)。

東京都は首都直下地震の被害について、東京湾北部地震、多摩直下地震の2種類に分け、それぞれマグニチュード6.9および7.3の規模と想定している<sup>9)</sup>。シナリオの共通項目については、多摩直下地震、マグニチュード6.9の被害想定を用いる。その理由として、この被害想定によると、鉄道の構造物には機能の支障に至る大きな被害が起こらず、地震後に鉄道事業者の点検により安全が確認され次第、鉄道の運行は再開される可能性があるためである。また地震発生日や季節は特定せず、天候は晴れ、平均気温18℃、日出時刻は6:00、日没時刻は18:00とする。変化させる項目については、地震発生時刻は都内滞在者が最も多くなる12:00と、発生時刻が日没時となり徒歩による帰宅が困難となる18:00の2種類を設定する。加えて、帰宅の効用に影響を与えと考えられる家族の安否情報の有無も設定する。

### 2.3. アンケート調査の概要

アンケート調査の方法はポスティングによる留置、郵送回収方式とする。対象者の中には平常時に鉄道を利用

Table 1 想定する地震のシナリオ

＜共通項目＞		
震源：	東京都多摩地区	
規模：	マグニチュード 6.9	
天候：	晴れ	
日出時刻：	6:00	日没時刻：18:00

＜シナリオ固有の項目＞		
No.	地震発生時刻	家族の安否情報
1	12:00	有り
2	12:00	無し
3	18:00	有り
4	18:00	無し



Fig.1 調査対象路線と調査票配布駅

して通勤・通学を行っている人と、これに該当しない人がいると想定される。後者の場合、被災する場所が様々でかつ徒歩帰宅が困難であるとも限らない。そこでこのような人には、私事で「新宿駅周辺」を訪れていたときに被災するという状況を想定してもらう。新宿駅は様々な鉄道路線の終着駅であるため、首都圏に居住する人であれば、一度はこの駅を利用した経験があるものと考えられる。そのため、対象者が回答する際に比較的イメージがしやすいものと思われる。

対象地は西武新宿線 (西武新宿駅 - 拝島駅間) と中央線 (新宿駅 - 八王子駅間) からそれぞれ10駅ずつ抽出し、各駅において、徒歩で駅にアクセスできる概ね500m圏内の世帯に150部ずつ調査票を配布する (Fig.1 参照)。この2路線は、新宿駅から多摩方面に向かってほぼ直線的に延伸しているため、被災した場所から自宅までの多様な距離データを取得することができる。

質問項目はシナリオにかかわらず共通である。個人特性に関する質問項目は、「性別」「年齢」「職業」「家族との同居の有無」「最寄駅」、地震発生後の行動については、「歩行可能時間」「滞留予定場所」とする。また、平常時に鉄道を利用して通勤・通学をしている人に対しては「平常時の鉄道の利用経路」「地震発生後すぐに業務を終了することができるか」「地震発生による業務の変化」「平常時の勤務時間を超過するか」という項目を加える。

以上の項目を説明変数とし、一方帰宅行動である「徒歩帰宅を行うか否か」「徒歩帰宅開始予定時刻」「鉄道が帰宅経路の全線で運行を再開したときの利用の有無」「鉄道が帰宅経路の自宅側で運行を再開したときの利用の有

無と許容歩行時間」[鉄道が帰宅経路の滞留地点側で運行を再開したときの利用の有無・途中駅到着後の行動・許容歩行時間]を目的変数としてモデルの導出をする。

アンケートは対象者1人につき1種類のシナリオに回答してもらうことが望ましいが、回答精度の向上とより多くのサンプルを得るため、1人の調査対象者が回答する地震のシナリオは、1つの地震発生時刻における安否情報が有るシナリオと、それが無いシナリオとする(付録参照)。また、調査票には東京都が公開している首都直下地震による東京の被害想定報告書<sup>6)</sup>より、多摩直下地震による東京都の震度分布図と、建物倒壊数分布図を同封した。調査票の配布部数は、地震発生時刻12時、18時の調査票を3000部ずつ、合計6000部とする。

2.4. 帰宅行動の分析



鉄道利用を考慮した被災者の帰宅行動の流れを示したのが Fig.2 である。鉄道の運行が再開された際の滞在者の帰宅行動をモデル化するため、まず運行が再開される以前の時間経過ごとの都内滞在者数の推計モデルが必要である。そこで、被災後に徒歩帰宅を行うか被災した場所に滞留するかを選択確率を表現する Model 1, 徒歩帰宅開始時刻を推定する Model 2 の導出を行う (Table 2 参照)。その際、徒歩での帰宅は、建物の倒壊や帰宅者による道路混雑の影響による歩行時間の増加が想定されるが、実際に被災した直後の状況において、被災者は断片的な情報しか取得できないと考え、被験者へはシナリオ以上の情報は提示せず帰宅行動のモデル化を行う。

次に鉄道の運行再開時の帰宅行動のモデル化を行う。その際、鉄道の運行再開の状況は次の3つの状況を想定し、分析を行う。

- ① 滞在者の帰宅経路の全線で運行が再開した場合 (以降、全線再開) (Table 3 参照)
- ② 滞在者の帰宅経路の自宅側で一部が運行を再開した場合 (以降、自宅側再開) (Table 4 参照)
- ③ 滞在者の帰宅経路の滞在地側で一部が運行を再開した場合 (以降、滞在地側再開) (Table 5 参照)

また、鉄道の再開後の滞在者の状況は想定したもの以外も起こり得るが、本研究ではこれらの状況のみを対象とする。

Table 2 鉄道運行再開以前の帰宅行動モデル (Model 1,2)

滞在者の状況	
	
滞在地	自宅
表現する内容	
Model 1	滞在者が、滞在地から自宅まで直接徒歩にて帰宅を行うか、滞在地に滞留するかを選択確率の推計
Model 2	滞在者が、何時になると徒歩帰宅を開始するかを推計

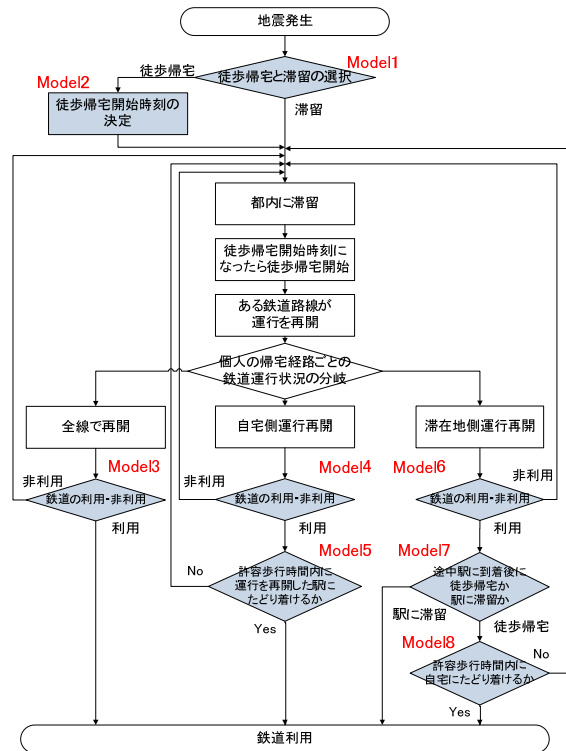


Fig.2 地震発生から鉄道利用までのフロー

Table 3 全線再開時の帰宅行動モデル (Model 3)



滞在者の状況	
	
滞在地	自宅
表現する内容	
Model 3	滞在者が、滞在地から自宅まで全経路で運行が再開された場合、鉄道にて帰宅を行うか、滞在地に滞留するかを選択確率の推計

Table 4 自宅側再開時の帰宅行動モデル (Model 4,5)





滞在者の状況	
	
滞在地	自宅
表現する内容	
Model 4	滞在者が、滞在地から自宅まで自宅寄り的一部経路で運行が再開された場合、鉄道にて帰宅を行うか、滞在地に滞留するかを選択確率の推計
Model 5	徒歩帰宅を選択した滞在者の、運行再開駅に到着までの許容歩行時間の推計

Table 5 滞在地側再開時の帰宅行動モデル (Model 6,7,8)

滞在者の状況	
	
滞在地	自宅
表現する内容	
Model 6	滞在者が、滞在地から自宅まで滞在地寄り的一部経路で運行が再開された場合、鉄道にて帰宅を行うか、滞在地に滞留するかを選択確率の推計
Model 7	滞在者が、途中駅に到着後、そこから徒歩にて帰宅を行うか、駅にて滞留を行うかを選択確率の推計
Model 8	徒歩帰宅を選択した滞在者の、途中駅から自宅までの許容歩行時間の推計

### 3. アンケートによる意識調査結果

#### 3.1. 鉄道運行再開前の帰宅行動

2.で実施したアンケートの調査票の回収結果と被験者の属性を Table 6 に示す。回収率は9%程度であるが、モデル化を行うための必要サンプルは得られた。また、分析に被験者の年齢は10代から80歳以下とした。

人が徒歩による帰宅が被災地にて滞留するかを選択するうえで、どのような要因が影響しているかを考察するため、地震発生時刻別に徒歩による帰宅行動の選択結果

Table6 アンケート回収結果と被験者の属性

調査票種別	配布部数	回収部数	回収率(%)	有効回答部数	有効回答率(%)
地震発生時刻12時	3000	271	9.0	242	89.3
地震発生時刻18時	3000	282	9.4	258	91.5
合計	6000	553	9.2	500	90.4

		年代							計
		10代	20代	30代	40代	50代	60代	70代	
性別	男性	8	13	27	44	50	62	40	244
	女性	13	27	31	58	56	45	26	256
	計	21	40	58	102	106	107	67	500

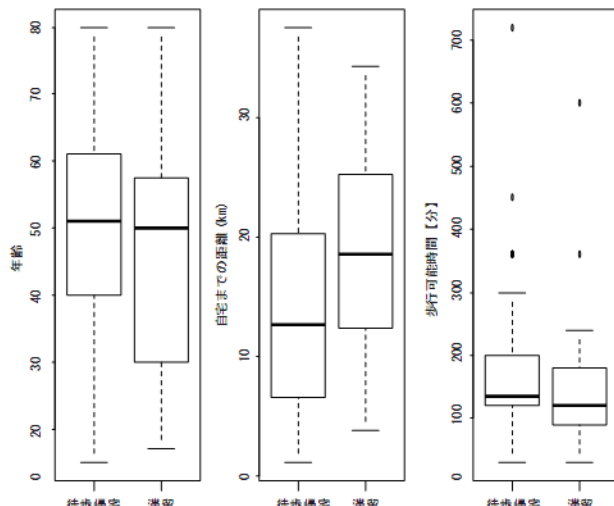


Fig.3 地震発生時刻12時の徒歩帰宅行動選択結果

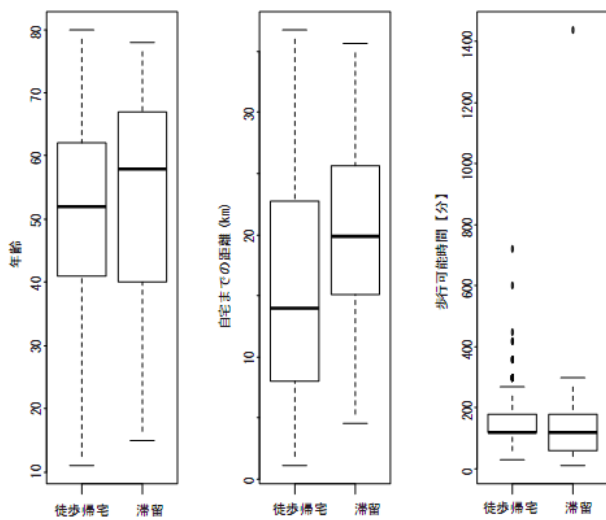


Fig.4 地震発生時刻18時の徒歩帰宅行動選択結果

と年齢、自宅までの距離、歩行可能時間、都内での滞在目的、家族の安否情報の有無との関係を見る。なお年齢、自宅までの距離、歩行可能時間は連続型のデータのため箱ひげ図で Fig.3, Fig.4 に示す。また、都内での滞在目的、家族の安否情報の有無については、カテゴリカル型のデータのため棒グラフにて Fig.5, Fig.6 に示す。

Fig.3, Fig.4 より、徒歩帰宅の選択と年齢の関係に着目すると、発生時刻18時では、滞留を選択する人の中央値が徒歩帰宅より高い値を示した。一方12時では、選択結果と年齢に大きな差はみられなかった。これより、年齢が高い人ほど徒歩帰宅を選択する可能性は低く、また日照がない場合には、年齢が高い人のほうが滞留を選択する傾向があると考えられる。次に自宅までの距離との関係は、両発生時刻とも徒歩帰宅を選択する人の距離は短く、中央値については18時の方が長い結果となった。これより、自宅までの距離が長い人ほど滞留を選択する可能性が高く、年齢と同様に日照による影響を受けていることも考えられる。なお徒歩帰宅の選択と歩行可能時間との関係は、選択結果に大きな差はみられなかった。

帰宅行動と滞在目的との関係については Fig.5 に示すとおり、利用目的に関わらず被災時には徒歩帰宅を選択する傾向が強い傾向がみられる。発生時刻が18時の場合は学業、私事において滞留を選択する割合が増加しているが、学業についてはサンプルが少ないことから必ずしも有為な結果ではない。安否情報の有無との関係は Fig.6 のとおり、若干だが安否が確認できる場合において滞留の割合が高くなったが、安否情報の有無に関わらず人は帰宅を選択する傾向が高いことが分かる。

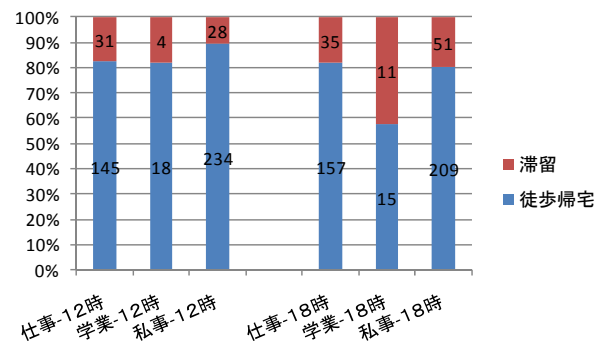


Fig.5 滞在目的別の徒歩帰宅行動選択結果

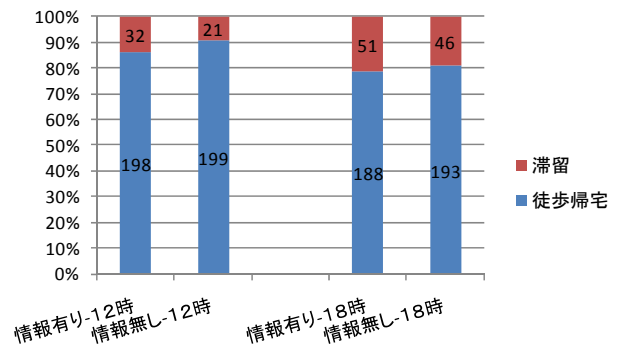


Fig.6 安否情報の有無による徒歩帰宅行動選択結果

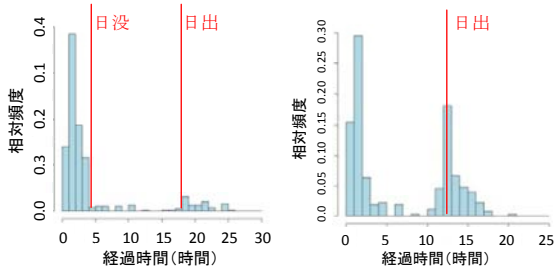


Fig.7 地震発生時刻 12 時 (左) と 18 時 (右) の時間経過ごとの徒歩帰宅開始者数の分布

時間経過ごとの徒歩帰宅開始者数の分布を示したのが Fig.7 である。これより、両地震発生時刻とも共通して被災後 3 時間以内に半数近くの人が帰宅行動を開始することが分かる。また、そのピークは地震発生後 1 時間から 2 時間の間となっており、徒歩帰宅を選択する人も、直ちに帰宅行動を開始しない結果となった。

発生時刻別に傾向をみると、12 時の場合では、日没の 2 時間前までに徒歩帰宅を選択する人のほとんどが帰宅を開始しており、また日出後に徒歩帰宅を開始する人が増加している。これより、人は徒歩帰宅の開始時刻を決定するにあたり、日没までに自宅に徒歩にて帰宅できるかを逆算しているものと考えられる。一方 18 時の場合では、地震発生と同時に日没しているため、日出後に帰宅を開始する人が増加する点は 12 時と同様の傾向であるが、日照に関わらず帰宅行動を選択する人も多いことが分かる。

### 3.2. 鉄道運行再開後の帰宅行動

鉄道の運行再開後の意識調査結果の集計については、鉄道の運行再開時刻の設定が困難なことから、地震発生時刻で場合分けせずに全データを用いて集計を行った。

運行再開状況別に鉄道利用者の割合を示したのが Fig.8 である。これよりいずれの運行再開状況でも鉄道利用を選択する割合は高くなっている。また、運行再開後も再開前と同様、安否情報が確認できない場合において、滞留を選択する人の割合が低くなる傾向がある。

滞在者の滞在目的と滞在予定場所の割合を Fig.9 に、滞在予定場所と帰宅行動の割合を Fig.10 にそれぞれ示す。Fig.9 より、仕事、学業を目的とする人の多くはそれぞれ勤務先、学校と日常滞在している場所に留まるが、私事においては避難所で滞留する割合が高まる。また Fig.10 より、いずれの鉄道の再開状況においても、滞留予定地が勤務先、学校、親戚・友人宅といった日頃から慣れ親しんだ場所で滞留をしている場合には、鉄道の利用割合が下がる傾向にあり、避難所、駅舎にて滞留する人は利用割合が上がる傾向にある。このことを確認するため、カイ二乗検定を行ったところ両者に有意差あり、滞在場所が帰宅行動に影響を与えていることが分かった。

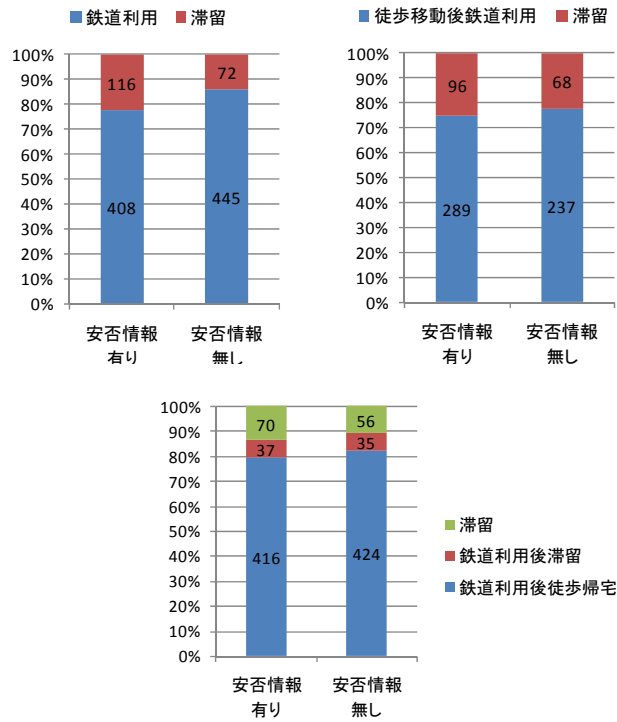


Fig.8 運行再開状況別の鉄道利用行動の割合 (左上：全線再開，右上：自宅側再開，下：滞在地側再開)

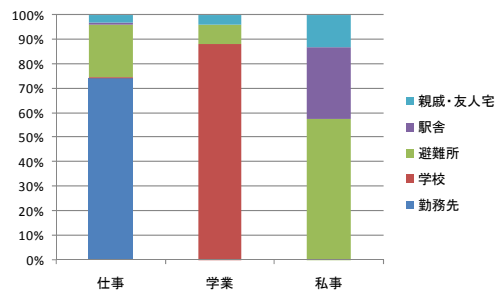


Fig.9 滞在目的と滞在予定場所の関係

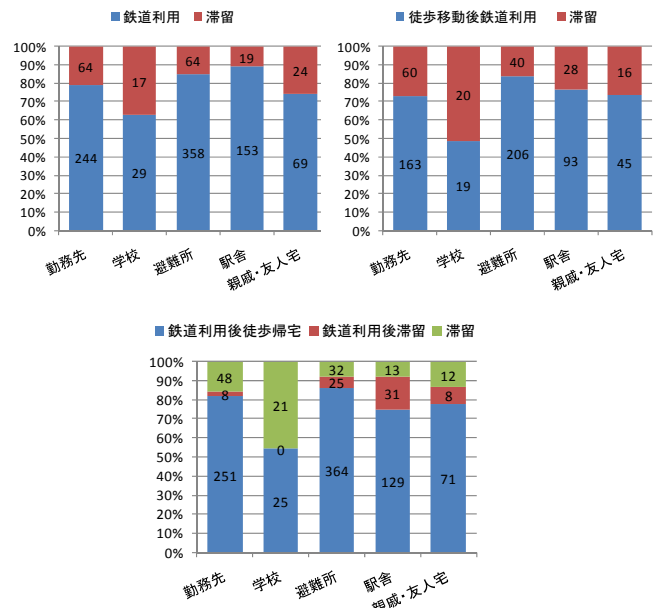


Fig.10 滞在予定場所別の鉄道利用行動の割合 (右上：全線再開，左上：自宅側再開，下：滞在地側再開)

## 4. 帰宅行動モデルの推定

### 4.1. 徒歩帰宅と滞留の選択行動モデル

地震発生後、徒歩帰宅を行うか滞留し続けるかの選択行動は2肢の選択行動のため、2項ロジットによりモデル化をし (Model 1)、そのパラメータ推定の結果を Table 7 に示す。この結果は、地震発生時刻 12 時、18 時の両データを用いて推計をしたものある。パラメータの符号は正が徒歩による帰宅を選好し、負が滞留である。目的変数は徒歩帰宅選択確率  $P_0$  と滞留選択確率  $P_1$  とする。説明変数は 2.2 で示した変数の中から年齢、自宅までの距離、歩行可能時間、性別、滞在目的の学業、私事が採用された。モデルの適中率は 83.8%、決定係数 (推計値と実績値の決定係数、以下同様) は 0.722 となった。これらの値は異なる地震発生時刻で分類して推定を行ったものと比較しても、的中率などに大きな差はなかった (Table 8, Table 9 参照)。

また、安否情報の有無は t 値が低く採用されなかった。これより、徒歩帰宅と滞留の選択行動は、個人特性のみによって決定されていると考えられる。つまり、被災した都内滞在者に強い帰宅の意思があったとしても、自宅までの距離や自らの年齢、歩行可能時間などによって、帰宅を諦めざるを得ない人が存在すると考えられる。また、このことは中央防災会議の報告とは異なる結果であるが、中央防災会議の調査は本研究より広範な地域に住む帰宅困難者を対象に調査を行ったものであり、調査対象が異なることが原因として挙げられる。

### 4.2. 徒歩帰宅開始時刻の決定モデル

地震発生から徒歩帰宅開始までの経過時間を目的変数として、共分散分析によりモデルの推定を試みた (Model 2)。共分散分析を用いる理由は、目的変数が連続型で、説明変数に連続型の変数とカテゴリカル型の変数がそれぞれ 1 つ以上含まれているためである。

推定を行った中で最も当てはまりが良かった結果を Table 10 に示す。推定したパラメータによる決定係数は低く、この結果を採用することはできなかった。

この結果より、徒歩帰宅開始時刻は個人特性に関わらず決定されていることが考えられる。Fig.7 に示した時間経過ごとの徒歩帰宅開始者数の分布をみると、地震発生から数時間後までと翌日の日出時に対数正規分布に類似した分布がみられることが分かる。そこで、当日帰宅と翌日帰宅にデータを分けて確率変数の対数を取り、正規性を検定した。その結果、地震発生時刻が 12 時の場合の当日帰宅の分布と 18 時の場合の当日帰宅および翌日帰宅の分布に、それぞれ正規性が認められた。したがって、時間経過ごとの徒歩帰宅開始者数は対数正規分布に従うことができる (Fig.11 参照)。しかし、これはあく

Table7 全データを用いたパラメータ推定結果

	推定パラメータ	推定標準誤差	t値	p値
定数項	3.229	0.443	7.283	3.36E-10
年齢	-0.024	0.007	-3.554	3.80E-03
自宅までの距離(km)	-0.076	0.011	-6.993	2.68E-12
歩行可能時間(分)	0.002	0.001	2.323	2.01E-02
性別(男性:1, 女性:0)	0.671	0.197	3.415	6.40E-04
滞在目的(学業)	-1.477	0.415	-3.557	3.80E-04
滞在目的(私事)	0.740	0.214	3.454	5.50E-04

的中率=83.8%, 決定係数  $\rho^2=0.722$

Table8 地震発生時刻 12 時のパラメータ推定結果

	推定パラメータ	推定標準誤差	t値	p値
定数項	1.399	0.488	2.846	0.0044
自宅までの距離(km)	-0.062	0.016	-3.876	0.0001
歩行可能時間(分)	-0.004	0.003	2.287	0.0222
性別(男性:1, 女性:0)	0.685	0.298	2.135	0.0327
滞在目的(私事)	1.014	0.309	3.284	0.001

的中率=86.7%, 決定係数  $\rho^2=0.780$

Table9 地震発生時刻 18 時のパラメータ推定結果

	推定パラメータ	推定標準誤差	t値	p値
定数項	4.829	0.648	7.463	8.49E-14
年齢	-0.048	0.010	-4.739	2.15E-06
自宅までの距離(km)	-0.078	0.015	-5.176	2.27E-07
性別(男性:1, 女性:0)	0.698	0.265	2.638	8.33E-03
滞在目的(学業)	-2.251	0.576	-3.906	9.40E-05
滞在目的(私事)	0.661	0.289	2.285	2.23E-02

的中率=79.7%, 決定係数  $\rho^2=0.676$

Table10 被災後の徒歩帰宅開始時刻のモデル (Model 2) のパラメータ推定結果

	推定パラメータ	推定標準誤差	t値	p値
定数項	2.1204	0.1852	11.45	2.00E-16
滞在目的(私事)	-0.5231	0.1878	-2.785	5.60E-03
家族との同居(無:1, 有:0)	0.6129	0.2567	2.387	1.75E-02
安否情報(無:1, 有:0)	-0.3803	0.1806	-2.105	3.60E-02

自由度調整済み決定係数  $R^2=0.042$

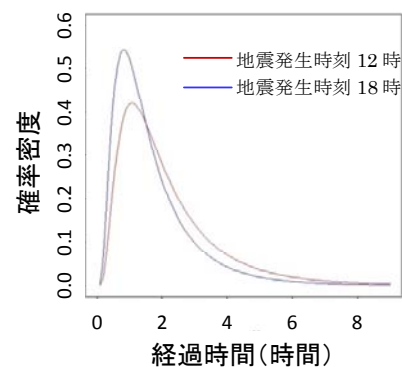


Fig.11 地震発生後9時間後までの徒歩帰宅開始者数の確率分布

まで地震発生時刻が 12 時の場合と 18 時の場合において認められることであるため、今後様々な地震発生時刻を想定して確認する必要がある。現段階では対数正規分布に従って、時間経過ごとの徒歩帰宅開始者数が推計できるものとする。

### 4.3. 鉄道による帰宅行動モデル

#### (1) 全線再開時の鉄道利用モデル

帰宅経路において、鉄道路線が全線で運行した際に鉄道を利用して帰宅を行うかの選択行動モデルを導出する (Model3)。目的変数は鉄道利用選択確率  $P_0$  と滞留選択確率  $P_1$  とする。Model 1 同様に 2 項ロジットによりモ

Table 11 全線再開時の帰宅行動選択モデル (Model 3) のパラメータ推定結果

定数項	推定パラメータ	推定標準誤差	t値	p値
自宅までの距離(km)	1.243	0.206	6.044	1.50E-09
滞留予定場所:勤務先	0.021	0.010	1.964	4.95E-02
滞留予定場所:親戚宅・友人宅など	-0.407	0.195	-2.090	3.67E-02
滞留予定場所:学校・大学	-0.811	0.285	-2.847	4.42E-03
家族の安否情報:無	-1.174	0.341	-3.443	5.80E-04
徒歩帰宅と滞留の選択:滞留	0.641	0.175	3.668	2.40E-04
	-0.546	0.217	-2.515	1.19E-02

的中率=80.8%, 決定係数  $\rho^2=0.692$

デル化を行い、パラメータの推定結果を Table 11 に示す。パラメータの符号は正が鉄道利用による帰宅を選好し、負が滞留となる。モデルの適中率は 80.8%, 決定係数は 0.692 となった。採用された説明変数をみると、滞留予定場所を親戚宅・友人宅、勤務先、学校・大学を選択する人は、鉄道で帰宅する確率が低くなること分かる。このことより、帰宅経路の鉄道路線の運行が確認できた時点で滞在地が日頃から慣れ親しんだ場所で滞留している際には、帰宅に対する効用が下がると考えられ、Fig.10 で示した意識調査の結果とも符合する。また、Model1 の徒歩帰宅か滞留の選択結果が採用されていることから、滞留をしていた人は運行再開後も滞留を続ける傾向がある。このことより、鉄道運行以前に徒歩による帰宅を選ばなかった人は、帰宅に対する効用が低い、もしくは、帰宅の交通機関が確保されたため、早期の帰宅を選ばず滞留することが考えられる。

(2) 自宅側再開時の鉄道利用モデル

帰宅経路の自宅側のみ鉄道路線が運行した場合は全線再開時とは異なり、鉄道を利用するためには運行が再開した途中駅まで徒歩移動をしなければならない。そこでまず、滞在者が途中駅まで徒歩で移動をするかの選択モデル (Model 4) を用いて鉄道の利用者を推計する。次に、徒歩移動選択した人の許容歩行時間の推定モデルを導出する (Model 5)。許容歩行時間とは、意識調査において被験者が、徒歩で何分以内の場所であればその途中駅まで徒歩で移動するかを回答した値である。

Model 4 の目的変数は徒歩選択確率  $P_0$  と滞留選択確率  $P_1$  とし、Model 1 と同様に 2 項ロジットによりモデル化を行う。パラメータ推定結果を Table 12 に示す。モデルの適中率は 84.9%, 決定係数は 0.751 となった。採用された説明変数を見ると Model 3 とほぼ同様だが、自宅側運行再開時においては、途中駅まで徒歩で移動する必要があることから、歩行可能時間が選択行動に影響していることが分かる。

次に、Model 5 の許容可能歩行時間の推定を共分散分析モデルにてを行い、その結果を Table 13 に示す。モデルの自由度調整済み決定係数は 0.479 となった。その値は高くないが、許容歩行時間を推計する上でこのパラメータが現時点で最良であるため、この推定結果を採用する。

(3) 滞在地側再開時の鉄道利用モデル

帰宅経路の滞在地側のみが運行を再開した際は、まず、滞在者は途中駅まで鉄道で移動するか滞在地に滞留するかを選択を行う (Model 6)。次に、鉄道利用を選択した滞在者は、途中駅から徒歩で自宅まで帰宅をするか新たな運行再開まで途中駅で滞留するかを選択を行う (Model 7)、さらに、途中駅から自宅までを徒歩移動選択した滞在者が、どの程度の移動時間なら許容可能かを導出する (Model 8)。

Model 6 は、目的変数は鉄道利用選択確率  $P_0$  と滞留選択確率  $P_1$  とし、Model1 と同様に 2 項ロジットによりモデル化を行う。パラメータ推定の結果を Table 14 に示す。モデルの適中率は 88.1%, 決定係数は 0.816 となった。採用された説明変数には、滞在目的の学業、私事があり、この符合に着目すると、滞在目的が私事の人ほど鉄道を利用する確率が高くなり、学業の人は低くなる結果となった。滞在目的によって帰宅行動が異なっていることが分かる。

Model 7 の目的変数は徒歩帰宅確率  $P_0$  と途中駅滞留確率  $P_1$  とし、2 項ロジットによりモデル化を行う。そのパラメータ推定結果を Table 15 に示す。モデルの適中率は 92.0%, 決定係数は 0.874 となった。選択された説明変数は年齢、自宅までの距離、歩行可能距離、滞留予定場所の駅舎である。これより、被災後の滞留場所として駅舎を選択している人は鉄道での帰宅の意識の高いことが考えられ、途中駅にて滞留し鉄道での帰宅の確率が高まる。

Table 12 自宅側再開時の帰宅行動選択モデル (Model 4) のパラメータ推定結果

定数項	推定パラメータ	推定標準誤差	t値	p値
歩行可能時間(分)	1.877	0.230	8.171	3.05E-16
家族との同居:無	0.003	0.001	2.558	1.05E-02
滞留予定場所:勤務先	-0.475	0.237	-2.001	4.54E-02
滞留予定場所:学校・大学	-0.480	0.213	-2.258	2.40E-02
家族の安否情報:無	-1.841	0.366	-5.025	5.03E-07
徒歩帰宅と滞留の選択:滞留	0.391	0.196	1.998	4.57E-02
	-1.655	0.206	-8.039	9.05E-16

的中率=84.9%, 決定係数  $\rho^2=0.751$

Table 13 自宅側再開時の許容歩行時間推定モデル (Model 5) のパラメータ推定結果

定数項	推定パラメータ	推定標準誤差	t値	p値
歩行可能時間(分)	13.470	6.434	2.094	3.66E-02
性別:男性	0.556	0.021	25.968	2.00E-16
滞在地:学業	13.340	4.769	2.797	5.28E-03
滞在地:私事	-40.702	13.179	-3.088	2.08E-03
家族の安否情報:無	12.729	4.944	2.575	1.02E-02
徒歩帰宅と滞留の選択:滞留	15.006	4.671	3.213	1.37E-03
	-26.489	7.236	-3.661	2.70E-04

自由度調整済み決定係数  $R^2=0.479$

Table 14 滞在地側再開時の滞在地での帰宅行動選択モデル (Model 6) パラメータ推定結果

定数項	推定パラメータ	推定標準誤差	t値	p値
滞在地:学業	2.186	0.173	12.642	2.00E-16
滞在地:私事	-1.492	0.343	-4.347	1.38E-05
徒歩帰宅と滞留の選択:滞留	0.611	0.227	2.691	7.12E-03
	-1.387	0.225	-6.176	6.57E-10

的中率=88.1%, 決定係数  $\rho^2=0.816$

Table 15 滞在地側再開時の途中駅での帰宅行動選択モデルの (Model 7) パラメータ推定結果

	推定パラメータ	推定標準誤差	t値	p値
定数項	4.314	0.708	6.092	1.12E-09
年齢	-0.030	0.009	-3.272	1.07E-03
自宅までの距離(km)	-0.045	0.015	-2.963	3.04E-03
歩行可能時間(分)	0.006	0.002	2.997	2.73E-03
滞在予定場所滞り予定場所: 駅舎	-1.011	0.281	-3.602	3.20E-04

的中率=92.0%, 決定係数  $\rho^2=0.874$

Table 16 滞在地側再開時の許容歩行時間推定モデルの (Model 8) パラメータ推定結果

	推定パラメータ	推定標準誤差	t値	p値
定数項	27.356	5.817	4.703	3.05E-06
歩行可能時間(分)	0.607	0.021	28.932	2.00E-16
性別: 男性	12.275	4.717	2.602	9.45E-03
滞在目的: 私事	14.182	4.784	2.964	3.13E-03
徒歩帰宅と滞留の選択: 滞留	-36.940	7.010	-5.269	1.79E-07

自由度調整済み決定係数  $R^2=0.539$

Table 17 運行再開状況ごとの許容歩行時間の平均

自宅側で運行再開した場合	滞留地点側で運行再開した場合
121(分)	136(分)

Model 8 にて、途中駅からの徒歩帰宅を選択した人の許容歩行時間の推計を共分散分析モデルにより行い、その結果を Table 16 に示す。モデルの自由度調整済み決定係数は 0.539 となった。その値は高いとはいえないが、許容歩行時間を推定する上で、このパラメータが現時点で最良であるため、この推定結果を採用する。

#### (4) 運行再開状況による許容歩行時間の比較

帰宅経路の自宅側で運行が再開された場合の許容歩行時間 (Model5) と、滞留地点側で運行が再開された場合の許容歩行時間 (Model8) 平均値の差の有意性を有意水準 5% で検定をした。その結果、後者の平均値の方が大きいことが示された。その結果を Table 17 に示す。つまり、滞留地点から運行を再開した途中駅に向かって徒歩移動する場合より、途中駅まで鉄道を利用し、その途中駅から自宅に向かって徒歩移動する場合の方が、人は長く歩行できるということである。この理由としては、一般に都心の滞在地周辺より、自宅周辺の方が地理に詳しいと考えられる、そのことが許容歩行時間の差に影響したのではないかと考えられる。

### 5. 結論と今後の課題

本研究は、地震発生後に鉄道が比較的早期に運行を再開するという状況を想定し意識調査を行うとともに、被災者の帰宅行動について、徒歩帰宅のみならず鉄道利用も考慮した帰宅行動モデルを導出した。意識調査の結果より、鉄道が運行を再開する前の都内滞り者は、地震発生時刻に関わらず多くの人が徒歩による帰宅を開始する

という結果となり、滞り者の帰宅に対する効用は非常に高いことがうかがえる。鉄道の運行再開後は、再開状況に関わらず鉄道利用を選択する割合は高くなった。

帰宅行動へ影響を与える要因は、鉄道が運行再開前の徒歩と滞留の選択については、安否情報は影響しておらず、自宅までの距離、年齢、滞在目的などが影響している。鉄道が再開された状況においては、全線開通、自宅側再開、滞在地側再開のいずれに再開状況においても共通して滞在場所が影響する結果となった。このことから、日常よく利用する滞在場所の有無が選択に影響をしていると考えられる。

また運行再開状況ごとの許容歩行時間の推計結果より、帰宅経路の鉄道が部分的に運行を再開した状況においては、自宅側再開、滞在地側再開のいずれも徒歩時間が 2 時間程度であれば、徒歩を経て鉄道を利用し帰宅するとの結果となった。

これらの結果より、被災後の帰宅行動の選択には被災した際の滞在場所が影響しており、職場など日常的に利用している場所では滞留するが、買い物など私事での出先では帰宅を選択する割合が高まる。このため、被災地周辺の土地勘がない被災者は帰宅を開始する割合が高いことから、このような被災者に対し一時避難場所などの情報提供を行うことが、帰宅困難者の一斉帰宅を減少させるには有効である。また、被災後に鉄道の運行が再開された場合は、運行状況を問わず被災者は鉄道による帰宅を選択する割合が高まることから、駅構内および駅周辺では混雑が予想される。そのため、被災者に情報提供を行う際には、鉄道の運行状況のみならず、駅の混雑状況なども併せて提供する必要がある。

今後の課題として、地震発生後の鉄道利用者数を推計し、滞り者が集中する鉄道路線、鉄道駅を抽出し混雑などの予測を行う必要がある。

### 参考文献

- 1) 内閣府：防災情報のページ, <http://www.bousai.go.jp/>
- 2) 独立行政法人防災科学技術研究所防災システム研究センター川崎ラボラトリー：文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト成果報告書, 2007.
- 3) 中央防災会議首都直下地震避難対策等専門調査会：首都直下地震避難対策等専門調査会報告参考資料, pp.481-546, 2008.
- 4) 大野恭司：首都震災時の鉄道による帰宅行動がおよぼす危険性について, 土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集, pp.307-308, 2007.
- 5) 高浜勉, 翠川三郎, 大堀道広：鉄道事業者の地震時対応の調査に基づいた地震発生後の鉄道輸送能力低下に関する



る検討, 地域安全学会論文集 No.8, 2006.

6) 東京都: 首都直下地震による東京の被害想定報告書, 2006.

・この日の天候は晴れで, 気温は 18°C 前後です.

・この日の日没時刻は, 17 時 00 分, 翌日の日出時刻は, 6 時 00 分とします

## 付録

### 被験者に対し提示した地震のシナリオ

#### ①安否情報ありの場合のシナリオ

- ・平日の昼 12 時に, 多摩直下を震源とする地震 (別紙資料参照) が発生しました.
- ・あなたが被災した場所は, 通勤先の職場や, 通学先の大学や学校などです.
- ・地震発生から数分が経過し, 周囲の状況も把握できるようになりました.
- ・あなたにけがはなく, 周囲にも大きなけがをした人はいません.
- ・あなたがいる建物にも大きな被害はなく, 電気・ガス・水道などのライフラインも問題なく機能しています.
- ・あなたのご家族とも連絡がとれ, ご家族全員の無事が確認されました. また, ご自宅の倒壊もないことが確認されました.
- ・外の様子を見ると, 道路上の車は事故などで渋滞しており, バスやタクシーなどの交通機関は利用できそうにありません.
- ・鉄道は, 全線で運行が停止されており, 運行再開時期はまったくわかりません.

#### ②安否情報なしの場合のシナリオ

- ・平日の昼 12 時に, 多摩直下を震源とする地震 (別紙資料参照) が発生しました.
- ・あなたが被災した場所は, 通勤先の職場や, 通学先の大学や学校などです.
- ・地震発生から数分が経過し, 周囲の状況も把握できるようになりました.
- ・あなたにけがはなく, 周囲にも大きなけがをした人はいません.
- ・あなたがいる建物にも大きな被害はなく, 電気・ガス・水道などのライフラインも問題なく機能しています.
- ・しかし, あなたのご家族とは連絡がとれず, ご家族の無事やご自宅の倒壊の有無などは, まったく確認できません.
- ・外の様子を見ると, 道路上の車は事故などで渋滞しており, バスやタクシーなどの交通機関は利用できそうにありません.
- ・鉄道は, 全線で運行が停止されており, 運行再開時期はまったくわかりません.
- ・この日の天候は晴れで, 気温は 18°C 前後です.
- ・この日の日没時刻は, 17 時 00 分, 翌日の日出時刻は, 6 時 00 分とします.

---

## Behavior Model for Return Home after Devastating Earthquake in the Tokyo Metropolitan Area

Shohei SHIMOHARA<sup>1</sup>, Yasushi WATANABE<sup>2</sup>, Toshikazu SHIMAZAKI<sup>3</sup> and Yuichiro KANEKO<sup>4</sup>

<sup>1</sup>M.Eng., Res.Assoc., Nihon University, Dept. of Civil Engineering (E-mail:shimohar@civil.cst.nihon-u.ac.jp)

<sup>2</sup>M.Eng., Shizuoka City Government (E-mail:watanabe\_chb@city.shizuoka.lg.jp)

<sup>3</sup>Dr.Eng., Professor, Nihon University, Dept. of Civil Engineering (E-mail:shimazak@civil.cst.nihon-u.ac.jp)

<sup>4</sup>Dr.Eng., Assistant Professor, Nihon University, Dept. of Civil Engineering (E-mail:kaneko@civil.cst.nihon-u.ac.jp)

After the earthquake on capital, public transportation will stop, and many people become difficult to go home. About the escape behavior in case of an earthquake, many existing papers assume coming home on foot. Earthquake resistance of the railway and subway has been raised after the Kobe earthquake, it will be possible to come home by using railway or subway. The purpose of the paper is build behavior model for return home on the situation which railway will restore after the earthquake soon. As a result of modeling, the earthquake victim prefers using railway to on foot, and a place of refuge influences this preference.

**Key Words:** Earthquake on Capital, Return Home Behavior