

都市避難に関する研究紹介

東京電機大学理工学部
教授 高田和幸

1

交通計画の視点に立って

避難者の利用する交通モードと地域ごとの問題点の比較

地域	交通モード	地域の例	生じうる問題点
都心部	鉄道	東京23区内	・帰宅困難者の発生(大) ・鉄道の運行を待つ滞留者の発生(大)
郊外部	鉄道&自動車	川崎市	・帰宅困難者の発生(中) ・鉄道の運行を待つ滞留者の発生(小) ・送迎の問題
地方部	自動車	気仙沼市	・自動車を用いた津波避難による交通渋滞

地域によって避難時に生じうる問題が異なる

→避難対策が異なる可能性(災害の種類・都市/地域規模)

→地域ごとの避難行動の特性を明らかにする必要性

2

避難に関する研究事例のご紹介 東日本大震災以降

都心部

- (1)高田和幸, 藤生慎, 杉山茂樹:東北地方太平洋沖地震により生じた首都圏の帰宅困難者の行動特性分析-首都圏における鉄道通勤者を対象として-, 土木学会論文集A1(構造・地震工学) Vol. 68, No. 4, 2012.
- (2)高田和幸, 藤生慎, 入子直樹, 大沢祐輔:東北地方太平洋沖地震による帰宅困難者の移動開始時刻に関する分析, 日本地震工学会論文集Vol. 12 (2012) No. 5 特集号「2011年東日本大震災」その2, pp.180-191.
- (3)藤生慎, 沼田宗純, 高田和幸, 松原全宏, 大原美保, 目黒公郎:東北地方太平洋沖地震における首都圏の帰宅困難者の特性に関する分析, 日本地震工学会論文集, Vol. 12, No. 4 特集号「2011年東日本大震災」その1, pp. 177-188, 2012.

郊外部

- (1)高田和幸, 藤生慎, 小崎伸悟:大規模地震災害後の首都圏郊外部における帰宅困難者の推計-川崎市の就業者を対象として-, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 69, No. 4, pp. I_1053I_1059, 2013.
- (2)高田和幸, 藤生慎, 小崎伸悟:通勤時の利用交通手段が首都直下地震発生後の帰宅/滞留選択行動に及ぼす影響の分析-首都圏郊外における帰宅困難者を対象として-, 第32回交通工学研究発表会論文集, CD-ROM, 2012.

地方部

- (1)高田和幸, 藤生慎, 小野村広平:東北地方太平洋沖地震時の自動車による津波避難の状況再現手法に関する研究-宮城県気仙沼市街地を対象として-, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 69, No. 4, pp. I_973I_979, 2013.
- (2)藤生慎, 石川哲也, 高田和幸:言語解析を用いた東北地方太平洋沖地震による津波からの避難実態分析-宮城県気仙沼市の被災者を対象として-, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 69, No. 4, pp. I_798I_806, 2013.

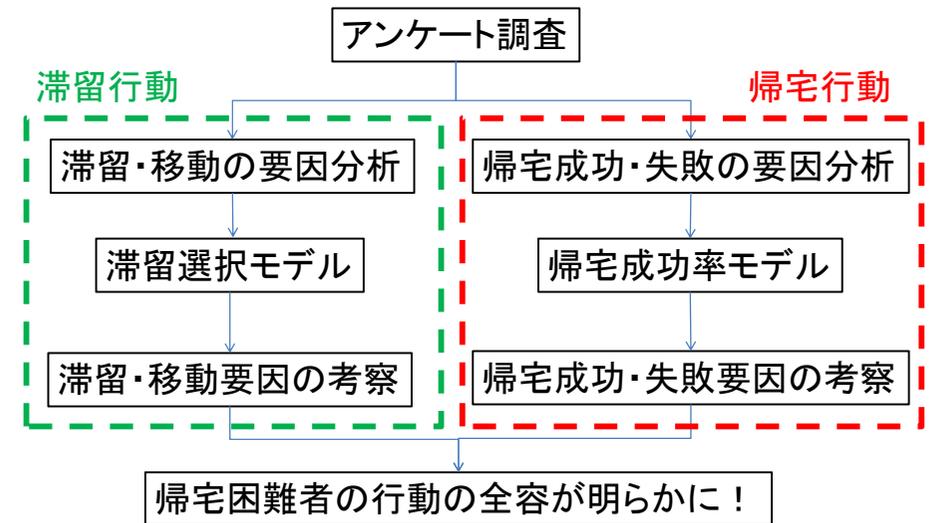
研究紹介

以降, モデル分析系・行動把握系に分類して研究紹介を行う
帰宅困難者(都心部)・帰宅困難者(郊外部)

4

「東北地方太平洋沖地震における首都圏の帰宅困難者の行動分析」

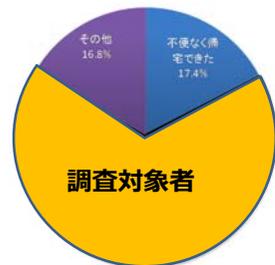
分析のフロー



スクリーニング調査

調査対象者：1都3県居住者、通勤通学時に鉄道を利用する者
 調査項目：日常の鉄道利用頻度、震災当日の帰宅行動
 震災発生当日の最終滞在場所
 調査日：2011年4月7日

(質問)不便なく帰宅できましたか？ 当日の最終滞在場所の割合



調査対象者
 当日の状況 (N=60000)

最終滞在場所	無作為抽出 標本数	シェア
	(N)	
自宅	21049	64.4%
就業場所	8158	25.0%
知人(家族・親戚・友人など)宅	1511	4.6%
宿泊施設(ホテル、旅館など)	592	1.8%
緊急設置避難場所(高校、大学、公共施設など)	435	1.3%
商店・飲食店(ネットカフェ、カラオケ、飲食店など)	412	1.3%
建物内(駅構内、コンビニなど)、その他	526	1.6%
計	32683	100.0%

最終滞在場所別に一定数のサンプルを確保を目的とする

本調査の概要

調査実施日：2011年4月13日-18日

調査数：5052

調査項目：

震災当日の行動

- 地震発生時にいた場所
- 目的地への移動の有無
- 目的地への移動を試みた場所
- 震災当日の最終滞在場所
- 宿泊意思
- 帰宅、移動経路
- 帰宅困難意識

個人属性

- 性別
- 年齢
- 婚姻の有無
- 職業
- 居住地
- 子供の有無

層別標本抽出

最終滞在場所	無作為抽出	シェア	層(滞在地)	層別抽出率	拡大係数
	標本数 (N)		別標本数 (S)	(S/N)	
自宅	21049	64.4%	1246	5.9%	16.9
就業場所	8158	25.0%	1320	16.2%	6.2
知人(家族・親戚・友人など)宅	1511	4.6%	1117	73.9%	1.4
宿泊施設(ホテル、旅館など)	592	1.8%	406	68.6%	1.5
緊急設置避難場所(高校、大学、公共施設など)	435	1.3%	358	82.3%	1.2
商店・飲食店(ネットカフェ、カラオケ、飲食店など)	412	1.3%	302	73.3%	1.4
建物内(駅構内、コンビニなど)、その他	526	1.6%	303	57.6%	1.7
計	32683	100.0%	5052		

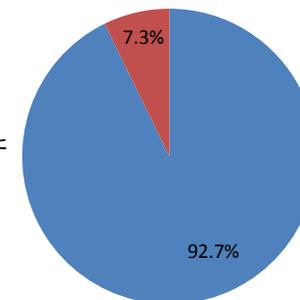
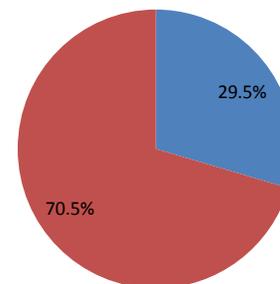
集計を行う際には、最終滞在場所の層別抽出率に合わせて拡大

9

震災当日の行動特性

(質問)地震発生後、当初の目的地への移動を試みましたか？

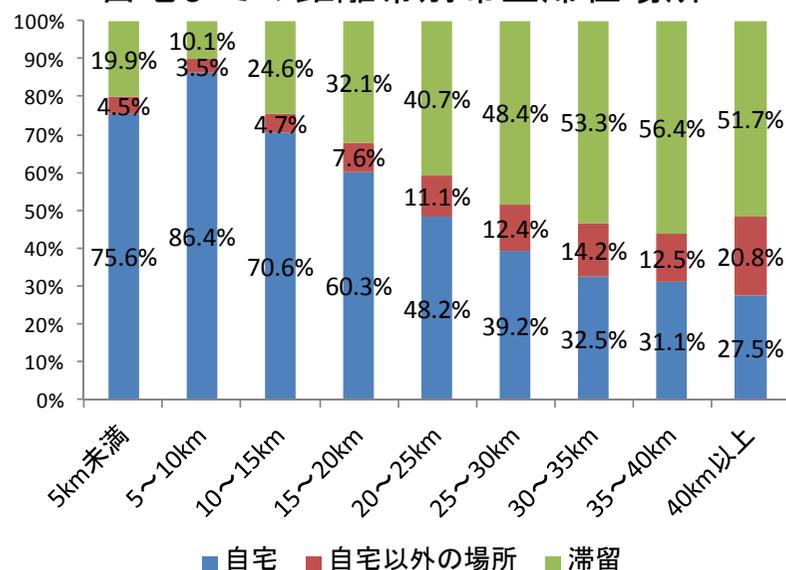
(質問)自宅に帰ることが出来ましたか？



■ 自宅に帰れた ■ 自宅に帰れなかった

10

自宅までの距離帯別希望滞在場所

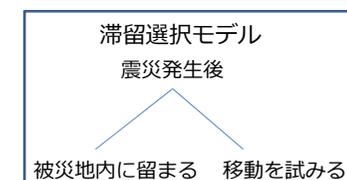


長距離になるにつれて滞留希望者が増加

11

滞留選択モデルの推定

- 滞留/移動の意思決定モデル (二項ロジット)
- WESML推定



滞留の効用関数

$$V_{\text{滞留}} = \theta_1 \times (\text{自宅までの距離}) + \theta_2 \times (\text{性別}) + \theta_3 \times (\text{子供の有無}) + \theta_4 \times (\text{連絡がとれない}) + \dots + \text{定数項}$$

$$\text{滞留選択確率 } P_{\text{滞留}} = \frac{\exp[V_{\text{滞留}}]}{\exp[V_{\text{滞留}}] + \exp[V_{\text{移動}}]}$$

$$\text{対数尤度関数 } \max_{\theta} L = \sum_{\theta} \left[\frac{Q}{H} \cdot \ln P_{\text{滞留}n} + \frac{Q}{H} \cdot \ln P_{\text{移動}n} \right]$$

Q: 滞在所別の母集団のシェア

H: 滞在所別の標本数のシェア

最尤推定法を用いて推定

12

滞留選択モデルの推定結果

変数名		パラメータ	t値
自宅までの距離	(km)	0.234	6.46
性別	(男性:1, 女性:0)	-0.072	-0.85
年齢	(才)	0.0028	0.68
移動手段に関する情報がない	(困った:1, 困らなかった:0)	0.348	4.78
帰宅希望ダミー	(地震発生後に帰宅を希望した者:1, それ以外:0)	-2.404	-28.57
建物内ダミー	(建物内:1, 建物外:0)	2.046	6.18
連絡が取れない	(困った:1, 困らなかった:0)	-0.241	-2.68
定数項		0.127	0.59
ρ2値		0.295	
的中率		67.1%	

滞留の促進要因

・自宅までの距離 ・地震発生時に建物内いたこと ・移動手段に関する情報がない

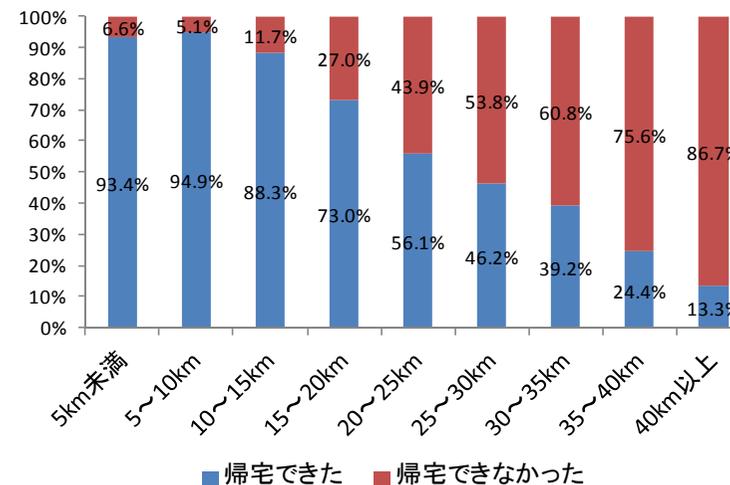
移動の促進要因

・連絡がとれなかったこと ・帰宅希望ダミー

13

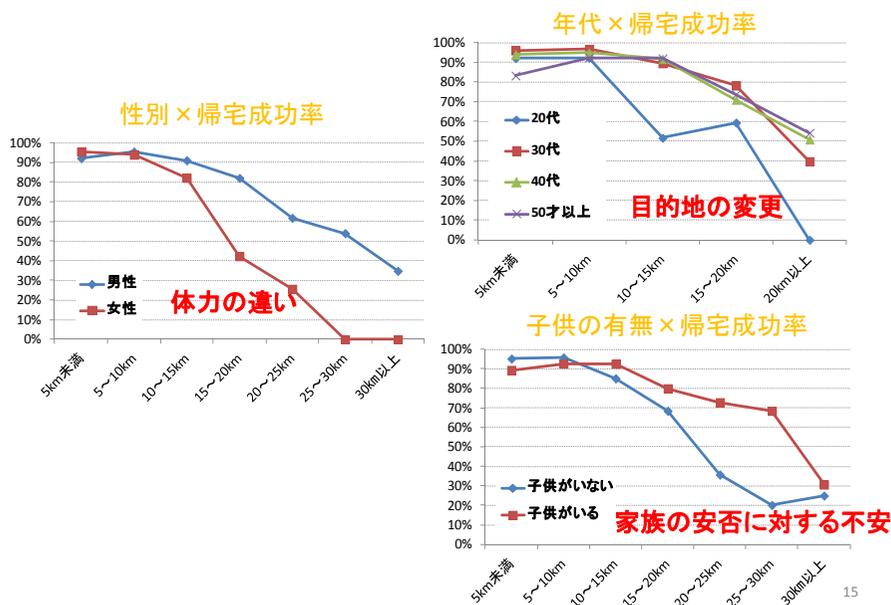
帰宅行動の特性

自宅までの距離×帰宅成功率（徒歩帰宅者）



14

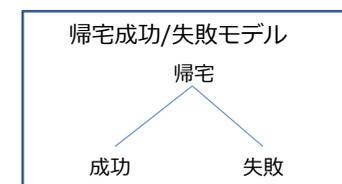
帰宅成功率の要因（徒歩帰宅者）



15

帰宅成功率モデルの推定

- ・帰宅成功/失敗の決定モデル (二項ロジットモデル)
- ・WESML推定



帰宅成功の効用関数

$$V_{成功} = \theta_1 \times (\text{自宅までの距離}) + \theta_2 \times (\text{性別}) + \theta_3 (\text{子供の有無}) + \theta_4 (\text{連絡がとれない}) + \dots + \text{定数項}$$

$$\text{帰宅成功率 } P_{成功} = \frac{\exp[V_{成功}]}{\exp[V_{成功}] + \exp[V_{失敗}]}$$

$$\text{対数尤度関数 } \max_{\theta} L = \sum \left[\frac{Q}{H} \cdot \ln P_{成功} + \frac{Q}{H} \cdot \ln P_{失敗} \right]$$

Q: 滞在所別の母集団のシェア

H: 滞在所別の標本数のシェア

最尤推定法を用いて推定

16

帰宅成功率モデルの推定結果

変数名	単位	パラメータ	t値
自宅までの距離	(km)	-0.128	-10.62
性別	(男性:1, 女性:0)	0.441	1.73
子供の有無	(子供あり:1, 子供なし:0)	0.655	2.21
20代ダミー	(20代:1, 20代以外:0)	-0.119	-0.48
宿泊場所に関する情報が無い	(困った:1, 困らなかった:0)	-1.351	-5.52
移動経路に関する情報が無い	(困った:1, 困らなかった:0)	-0.798	-3.33
家族・知人の安否がわからない	(困った:1, 困らなかった:0)	-0.359	-1.53
定数項		4.281	10.56
P ² 値		0.544	
的中率		66.7%	

帰宅成功率を高める要因

- ・ 性別による違い
- ・ 子供がいるもの

帰宅成功率を低下させる要因

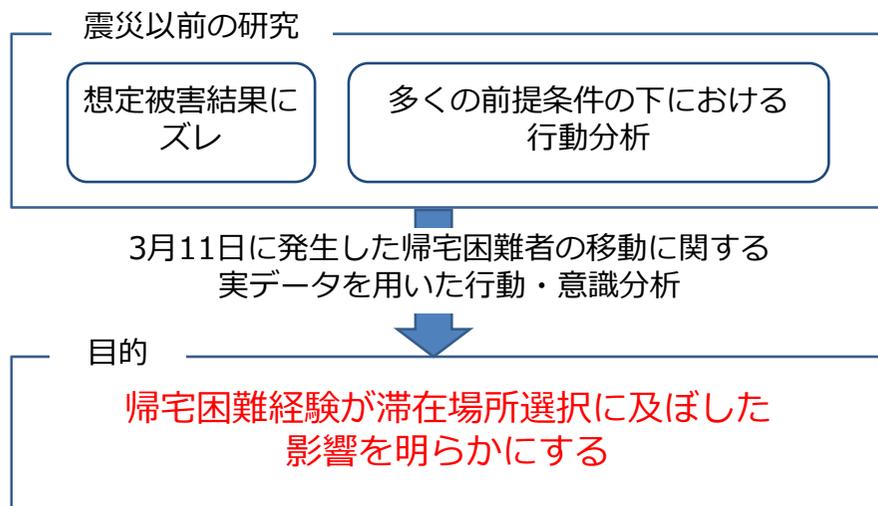
- ・ 自宅までの距離, 宿泊場所に関する情報が無い, 移動経路に関する情報が無い

17

帰宅困難経験が震災時の滞在場所選好意識に及ぼした影響に関する分析

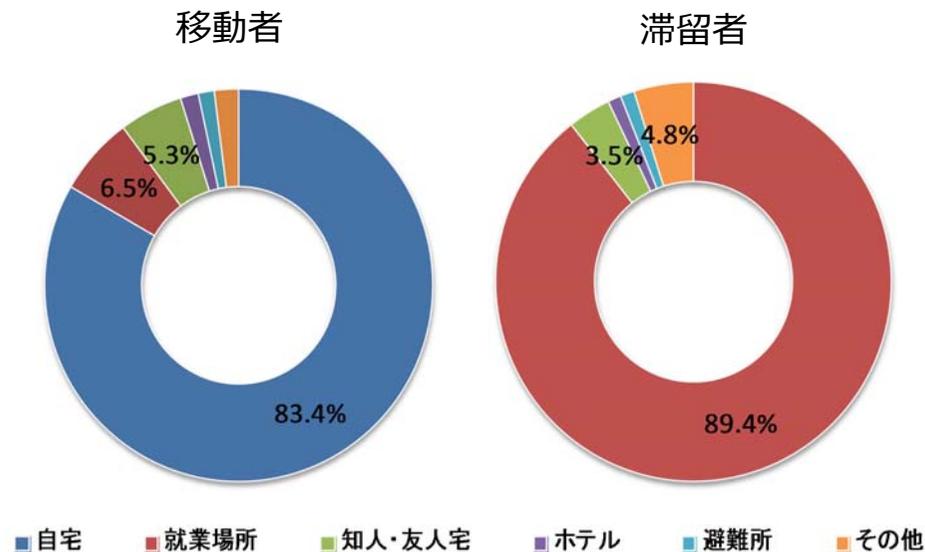
18

目的



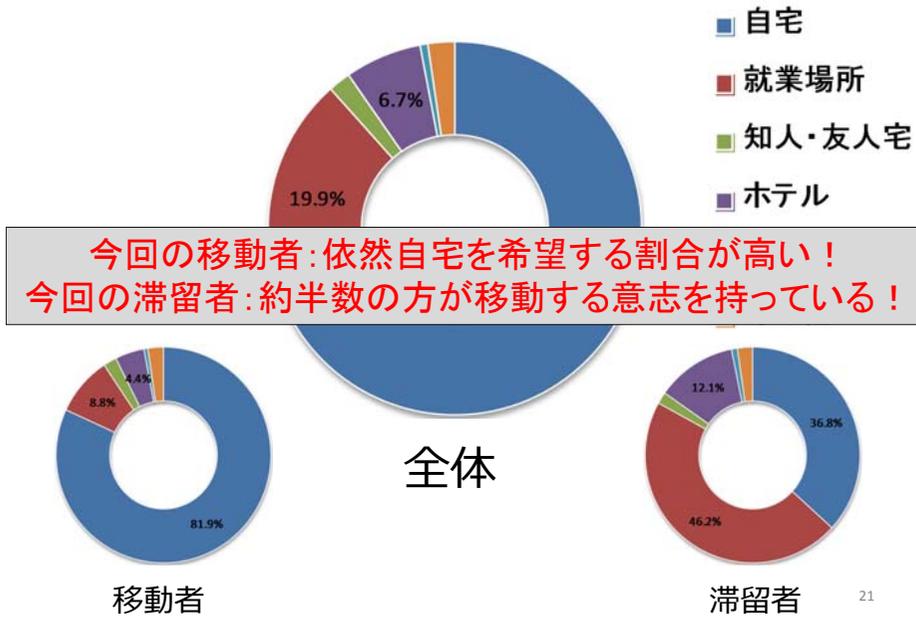
19

発災当日の最終滞在場所

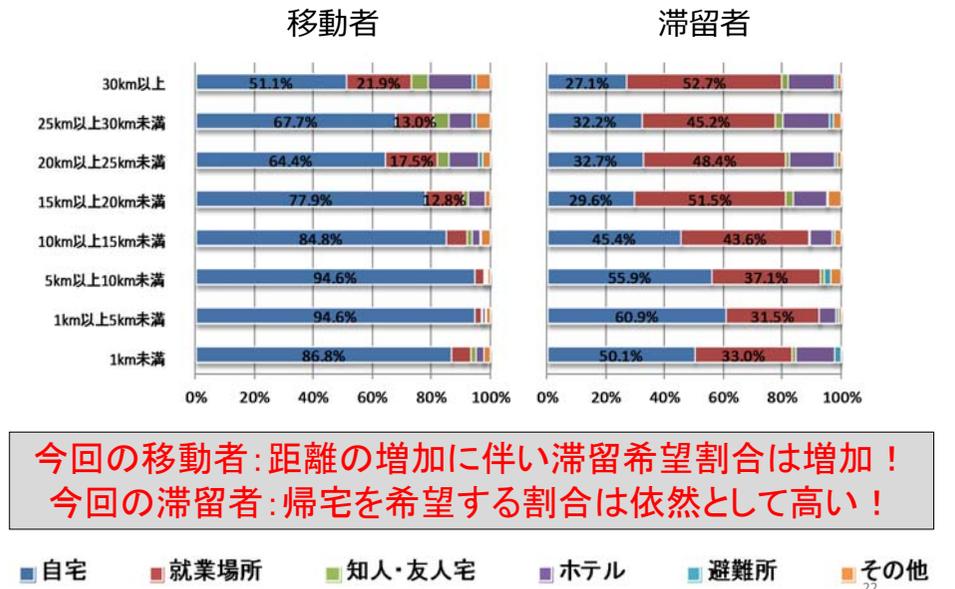


20

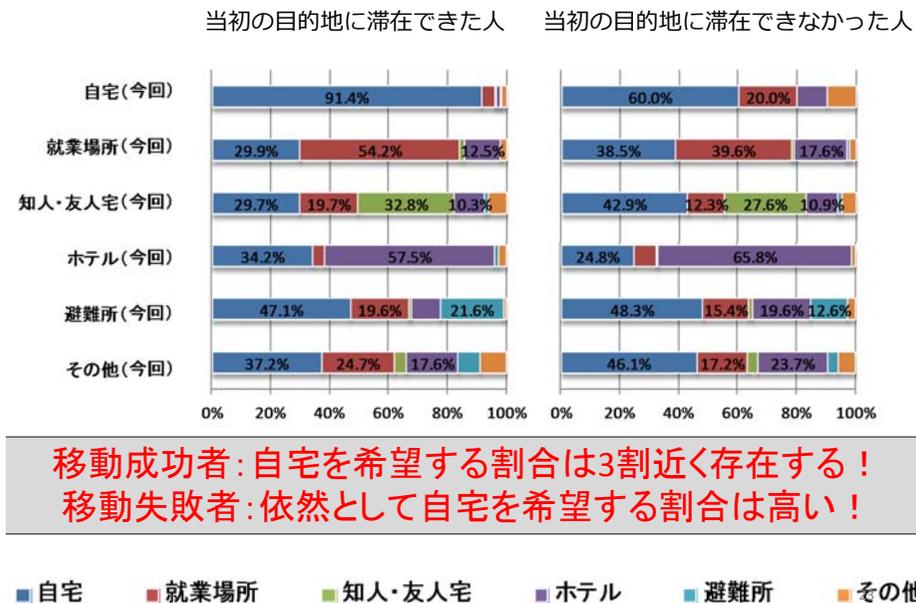
次回震災時の希望滞在場所



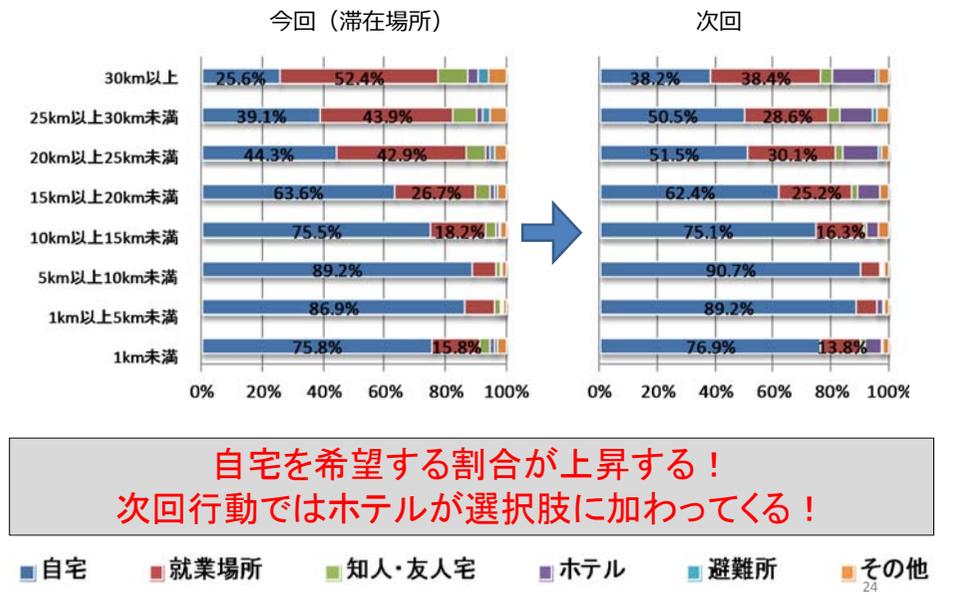
自宅までの直線距離×次回希望滞在場所



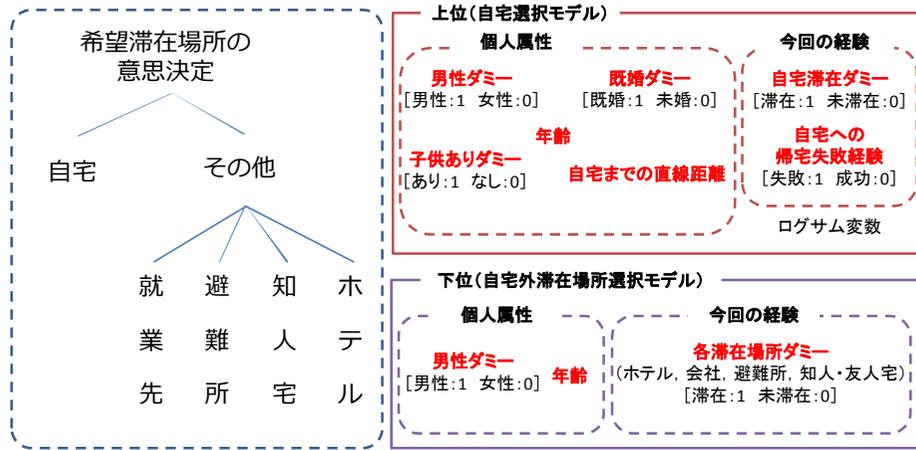
今回の最終滞在場所×次回希望滞在場所



希望滞在場所の変化



滞在場所選択モデル概要



モデルの階層構造

- 5か所の滞在場所選択
- 滞在場所の選択可能性
- 層(滞在場所)別標本抽出



ネスティッドロジットモデル
全て選択可能
WESML推定

25

希望滞在場所選択モデル 推定結果

自宅選択モデル				自宅外滞在場所選択モデル			
説明変数	パラメータ値	t値		説明変数	パラメータ値	t値	
自宅	滞在ダミー(自宅)	4.41	4.99	就業先	滞在ダミー(就業先)	1.47	12.82
	自宅距離	-0.05	-4.99		年齢(LN)	-0.75	-2.65
	年齢(LN)	-1.13	-2.95		男性ダミー	0.17	1.18
	子供の有ダミー	0.09	0.50	定数項	2.80	2.76	
	男性ダミー	0.54	2.70	ホテル	滞在ダミー(ホテル)	-1.00	-0.81
	既婚ダミー	-0.02	-0.13		年齢(LN)	-0.09	-0.13
帰宅失敗経験	0.55	2.69	男性ダミー		-0.28	-0.80	
	定数項	4.88	3.64	定数項	-1.66	-0.67	
その他	ログサム変数	0.63	5.65	滞在ダミー(避難所)	-1.80	-1.33	

自宅, 就業先に泊まった経験は次回も同じ場所を選好する要因として働く!
帰宅の失敗経験は自宅への選好要因として働く!

的中率	73%	的中率	35%
サンプル数		4613	
ρ^2 値		0.591	

26

今後の帰宅困難者対策への示唆

「移動の安全が確認されるまでは
とにかく滞留を促す」



自宅: 情報提供(安否情報, 危険情報)

就業先: 備蓄の強化

ホテル: 受け入れ態勢の強化

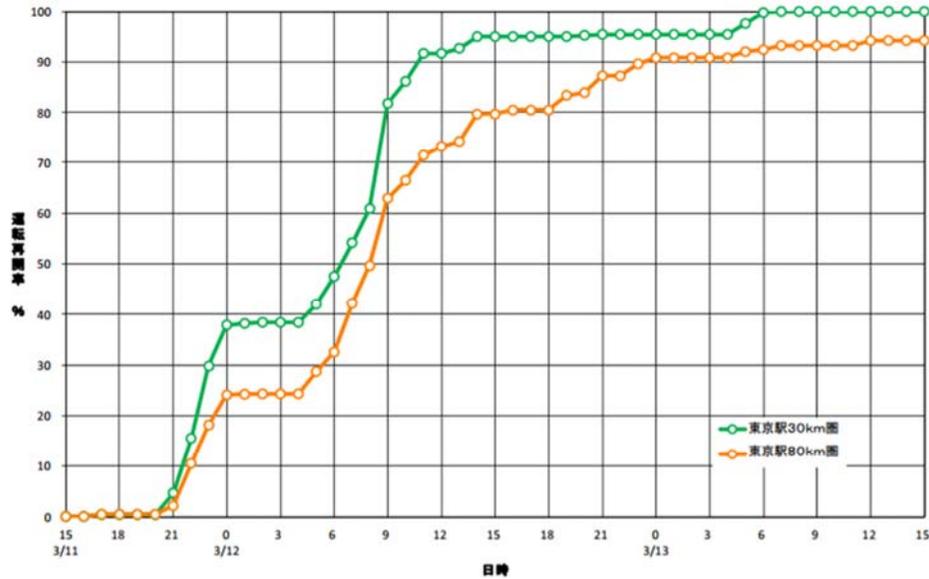
避難所: 水準の向上

27

東北地方太平洋沖地震による帰宅困難者の移動開始時刻に関する分析

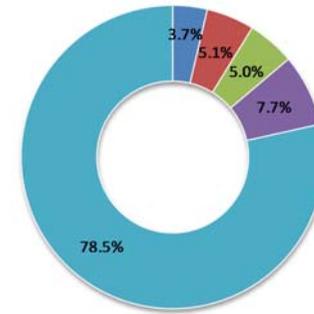
28

首都圏鉄道運行再開率



29

鉄道利用形態と行動(都心3区)

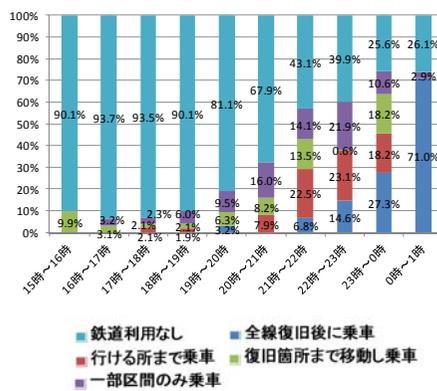


鉄道利用形態の割合

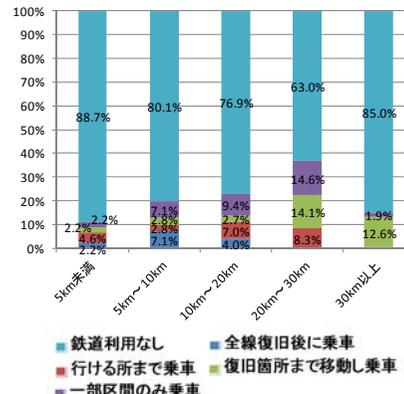
鉄道利用形態別の帰宅成否割合

30

鉄道利用形態と行動(都心3区)



移動開始時刻別の鉄道利用形態



自宅までの距離帯別の鉄道利用形態

31

帰宅困難者の移動とその危険性

首都直下地震後の移動に伴う危険性は？

首都直下地震後の東京都心から帰宅する際の危険を回避する方法は？

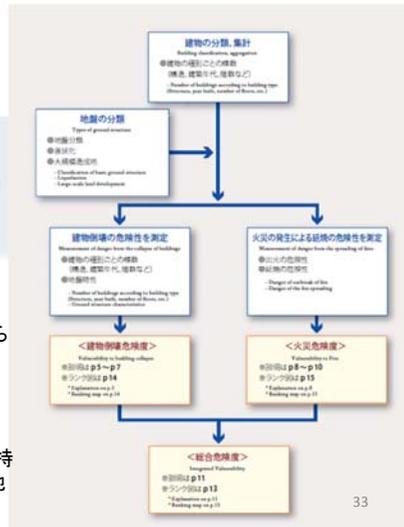
自助・公助・共助による適切な危険回避行動の必要性

32

東京都地域危険度評価

東京都「震災対策条例」に基づき5年おきに実施している調査

- 建物倒壊危険度 (建物倒壊の危険性)
- 火災危険度 (火災の発生による延焼の危険性)
- 総合危険度 (建物倒壊や延焼の危険性)



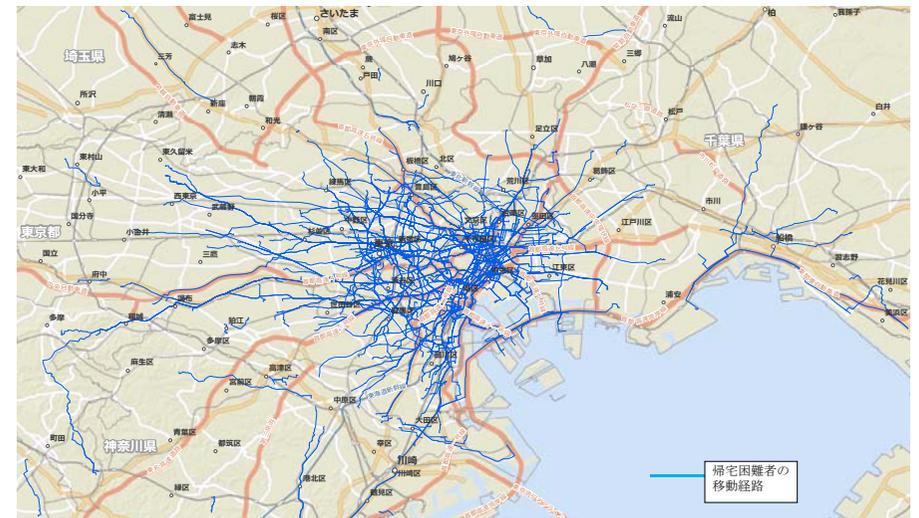
被害想定

発生確率が高い特定の地震を想定。そのため、震源から遠い地域では被害は小さく見積もられる。

地域危険度

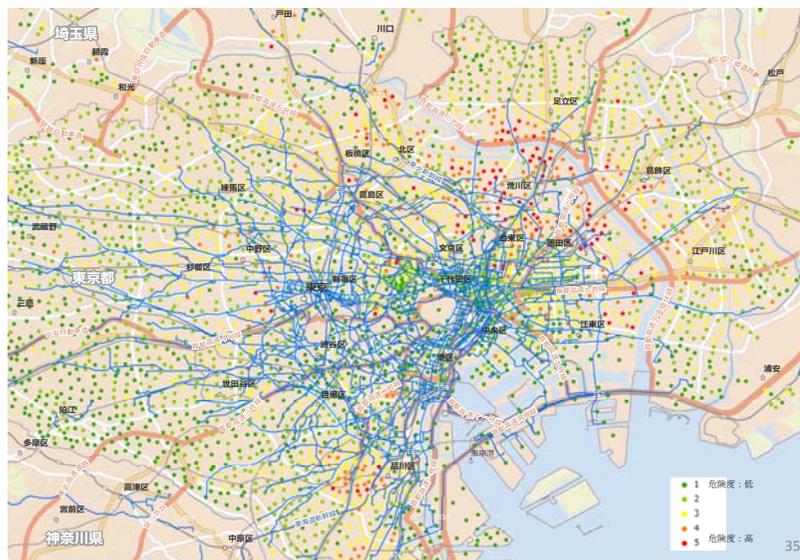
都内の町丁目地震に対する危険性を比較するため、特定の地震を想定するのではなく、全ての町丁目直下の地盤で同じ強さの揺れが生じた場合の危険性を測定

東北地方太平洋沖地震(2011年3月11日)の帰宅困難者の帰宅経路



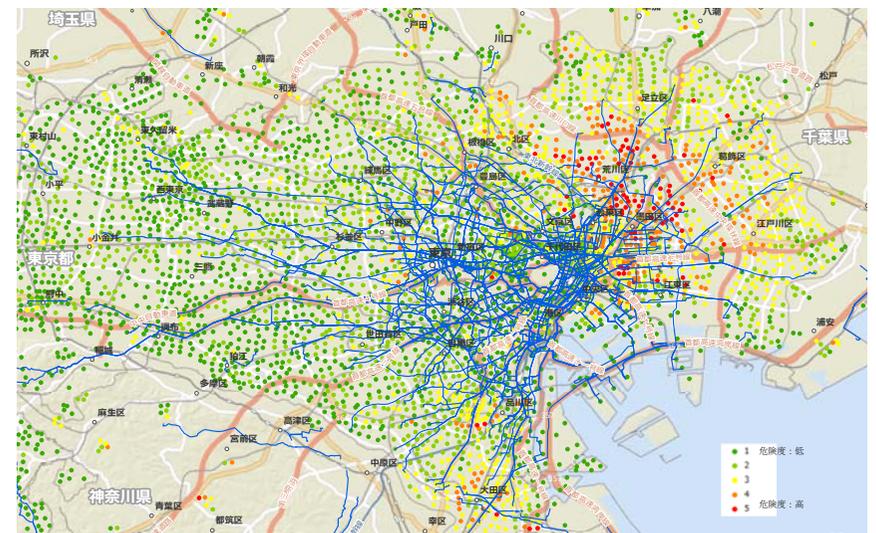
東北地方太平洋沖地震(2011年3月11日)の帰宅困難者の帰宅経路

× 総合危険度



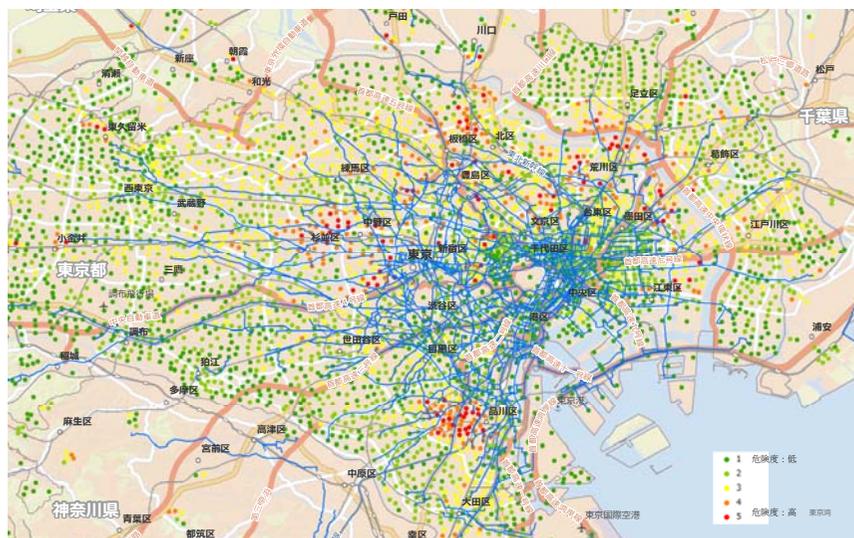
東北地方太平洋沖地震(2011年3月11日)の帰宅困難者の帰宅経路

× 建物倒壊危険度



東北地方太平洋沖地震(2011年3月11日)の
帰宅困難者の帰宅経路

× 火災危険度



首都圏郊外における震災時の 帰宅行動に関する分析

-川越市とその周辺部を就業地と
する者を対象として-

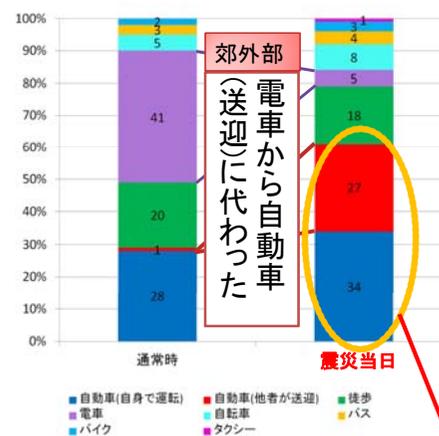
目的

- ・震災当日の都心部と郊外部の帰宅行動の違いを検証
- ・首都直下地震を想定した郊外部の帰宅選択モデルの構築

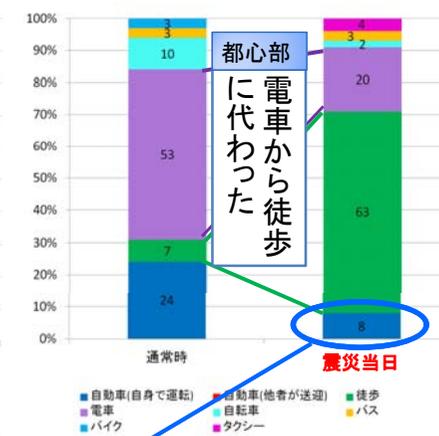
データ概要

- ・調査日時: 2012年1月11日(水)~13日(金)
- ・調査方法: 街頭配布, 就業地配布, 後日郵送回収
- ・調査対象: **川越市周辺の就業者**
- ・配布場所: 駅(川越, 本川越)および就業場所
- ・配布部数: **2000部(回収部数536/回収率26.8%)**
- ・調査項目: (1)東北地方太平洋沖地震発生当日の帰宅行動について
(2)東北地方太平洋沖地震発生当日の困ったこと
(3)首都直下地震が発生した場合の帰宅行動について
(4)個人属性(性別, 年齢, 子供の有無, 住所, など)

郊外部の利用交通手段



都心部の利用交通手段



都心部に対して郊外部の自動車の利用割合は約6割

郊外部では自動車に依存した移動は明らかである

帰宅困難者調査の実施(SP調査)

首都直下地震時に郊外部で想定される被害状況を想定

地震発生後の周囲の状況

「車道の混雑」、「歩道の混雑」、「鉄道運行の復旧見込み」、「家族の安否確認」、「火災の延焼」、「落下物」、「周辺のケガ人の発生」の7つの状況変数を考慮

被害状況	被害項目						
	車道混雑	歩道混雑	鉄道の復旧	家族の安否	火災の延焼	落下物	周辺のケガ人
①	あり	あり	復旧の目途なし	安否確認が取れる	危険性なし	被害なし	いない
②	あり	なし	3時間後復旧	安否確認が取れない	危険性なし	危険性あり	いる
③	なし	なし	復旧の目途なし	安否確認が取れない	危険性なし	被害なし	いる
④	あり	あり	復旧の目途なし	安否確認が取れない	危険性あり	危険性あり	いる
⑤	なし	あり	3時間後復旧	安否確認が取れる	危険性なし	危険性あり	いない
⑥	なし	あり	3時間後復旧	安否確認が取れる	危険性あり	危険性あり	いる
⑦	あり	なし	3時間後復旧	安否確認が取れない	危険性あり	被害なし	いない
⑧	なし	なし	復旧の目途なし	安否確認が取れる	危険性あり	危険性あり	いない

帰宅困難者調査の実施(SP調査票)

※調査時 東京周辺ではM7.0以上の巨震が想定され、今後10年以内に70%の確率で発生すると予想されています。以下2つのシナリオで首都直下地震が発生したことを想定して、調査にお答えください。

地震発生時の状況: 車道: ①(車道混雑, 歩道: ②(歩道混雑), ③(歩道に歩けない), ④(歩道に歩けない), ⑤(歩道に歩けない), ⑥(歩道に歩けない), ⑦(歩道に歩けない), ⑧(歩道に歩けない)

被害状況: ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧

被害項目: 車道, 歩道, 電車の復旧, 家族の安否, 火災の延焼, 落下物, 周辺のケガ人

回答欄: (A) 帰宅困難者に関する質問, (B) 帰宅方法に関する質問

備考欄: ①～⑧の被害状況は、必ずしも発生するとは限りません。また、被害状況は、必ずしも発生するとは限りません。また、被害状況は、必ずしも発生するとは限りません。

地震発生時の状況別帰宅/滞留選択行動モデル

帰宅/滞留選択行動モデルは、「帰宅すると思う」、「帰宅しないと思う」を選択肢とする二項選択ロジットを採用

行動モデルを用いて車、徒歩別の大規模地震災害時の想定帰宅者数の推計を実施

変数		昼(13:00) 晴れ		昼(13:00) 雨		夜(19:00) 晴れ		夜(19:00) 雨		
		パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値	
被害状況	電車復旧目途	復旧目途なし:1, 3時間後に復旧予定:0	-0.468	-2.79	-0.781	-4.47	-0.685	-4.11	-0.877	-4.37
	火災の危険有無	巻き込まれる危険あり:1, それ以外:0	-0.500	-2.82	-0.665	-3.48	-0.384	-2.21	-0.591	-2.81
	家族安否確認	確認がとれない:1, 常に確認がとれる:0	0.528	3.05	0.305	1.68	0.459	2.73	0.445	2.23
	けが人の発生	周囲に多くいる:1, それ以外:0	-0.415	-2.36	-0.204	-1.10	-0.468	-2.74	-0.562	-2.79
	車道混雑	混雑:1, それ以外:0	-0.322	-1.92	-0.257	-1.44	-0.421	-2.56	-0.156	-0.80
個人属性	歩道混雑	スムーズに歩けない:1, それ以外:0	-0.143	-0.86	-0.289	-1.64	-0.305	-1.88	-0.431	-2.24
	落下物危険有無	危険あり:1, それ以外:0	-0.196	-0.90	-0.023	-0.10	-0.298	-1.39	-0.418	-1.63
	運転免許有無	保有:1, 非保有:0	0.681	2.55	1.122	3.35	0.642	2.11	1.515	3.04
	子供有無	小学生以下の子供あり:1, それ以外:0	0.856	3.02	-0.237	-1.26	0.828	4.41	0.744	2.93
	性別	男:1, 女:0	0.026	0.15	-0.494	-2.74	-0.140	-0.85	-0.271	-1.36
自宅までの距離	km	-0.039	-6.32	-0.038	-4.90	-0.026	-4.50	-0.054	-3.46	
定数項		1.330	3.915	1.740	4.336	1.345	3.62	1.082	1.87	
	ρ^2 値	0.158		0.201		0.129		0.150		
	的中率	72.4%		74.6%		69.1%		69.9%		

感度分析(帰宅の選択確率)

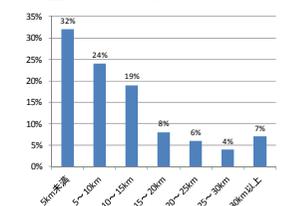
設定条件は首都直下地震を想定

「電車復旧目途」、「火災の危険有無」、「家族安否確認」、「けが人の発生」、「車道混雑」、「歩道混雑」、「落下物危険有無」の各被害状況は、悪状況に設定
 「運転免許有無」、「子供有無」の設定
 →帰宅選択率を高める要因であるため、運転免許を保有、小学生以下の子供ありに設定
 「性別」の設定
 →川越市内の就業者は男性の割合が多いため、男性に設定
 距離の設定方法
 自宅～就業者の直線距離が30km以上の人が少ない為、最大距離を30kmに設定

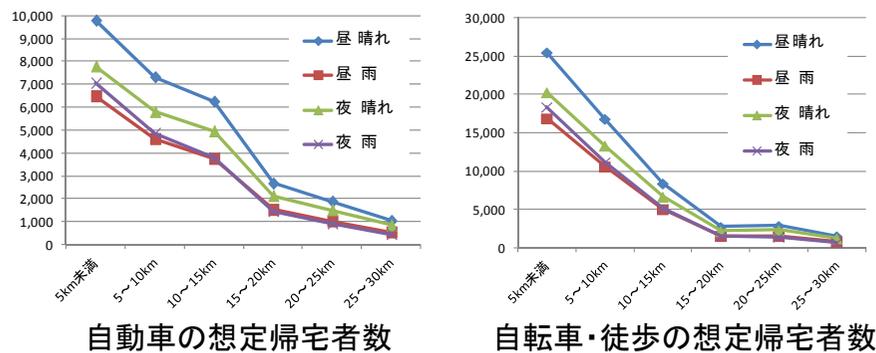
感度分析の設定条件地震発生状況別の帰宅選択確率

項目	設定状況	昼 晴れ	昼 雨	夜 晴れ	夜 雨
電車復旧目途	復旧目途なし	0~5m	77%	51%	55%
火災の危険有無	巻き込まれる危険あり	5~10km	73%	46%	48%
家族安否確認	確認がとれない	10~15km	69%	41%	42%
けが人の発生	周囲に多くいる	15~20km	64%	37%	35%
車道混雑	混雑	20~25km	60%	32%	29%
歩道混雑	スムーズに歩けない	25~30km	55%	28%	24%
落下物危険有無	危険あり				
運転免許有無	保有				
子供有無	小学生以下の子供あり				
性別	男				

通勤距離分布(埼玉県)



首都直下地震が発生した際の想定帰宅者数(川越市内)



地震発生状況が「昼、晴れ」の場合の合計帰宅者数

自動車・・・28950人
 自転車徒歩利用者・・・57840人

同時刻で帰宅した場合は、車道、歩道の混雑は免れないため、道路のキャパシティの検討の必要がある。

御清聴ありがとうございます