

# GISを用いた震災時帰宅者行動分析に関する研究

A study on Return Trip at an Earthquake occurrence using GIS

宇佐美沙織\*, 加賀屋誠一\*\*, 内田賢悦\*\*\*, 田口哲明\*\*\*\*  
Saori Usami, Seiichi Kagaya, Kenetsu Uchida, Tetsuaki Taguchi

\* 北海道大学公共政策大学院, 公共政策学教育部(〒060-0809 札幌市北区北9条西7丁目)

\*\*工博, 北海道大学教授 工学研究科(〒060-8788 札幌市北区北13条西8丁目)

\*\*\*工博, 北海道大学助教授 工学研究科(〒060-8788 札幌市北区北13条西8丁目)

\*\*\*\*株式会社アドバンスリサーチ (〒060-0004 札幌市中央区北4条西5丁目1番地アスティ 45ビル13階)

This study examines the effects of damage information provision in the case of earthquake on returning trip of passengers. According to a questionnaire survey carried out to grasp the characteristics of returning trips in the case of earthquake in Sapporo, there is big gap between Returning Home Possibility rate (RHP) and Willing to Return Home rate (WRH). This gap should be narrowed for securing safety returning trips. A binomial logit model developed in this study shows that WRH can decrease by the disaster information provision since it makes passengers who have difficulty in returning home stay where they are. A result obtained by using GIS (ArcGIS 9.3) shows that RHP can increase if information on the minimum travel time path in the case of earthquake is provided to passengers.

*Key Words: Damage information, Returning Home Possibility rate, Return Home rate, GIS*

キーワード: 災害情報, 帰宅意思率, 帰宅可能率, GIS

## 1. 研究の背景・目的

近年、首都圏ではもし地震が発生し、交通機関が不通となった場合、帰宅困難者の存在することが問題となっている。そのため帰宅困難者問題の解決を念頭に、震災時の被害情報や帰宅経路情報の提供を中心とした施策を検討し始めるようになった<sup>1)</sup>。たとえば、新宿区では、交通情報や災害状況、帰宅までの道順を示した帰宅支援マップの設置など具体的な取り組みを行っている<sup>2)</sup>。

札幌市都心部においても、首都圏と同様に、事業所、学校や買物、娯楽施設が集中し、日々、多くの通勤・通学・買物客等が流入、滞在しており、大地震により交通機能等が停止した場合、帰宅困難者が多数発生することが想定され、大きな混乱が予想される。現在の札幌市の地域防災計画の基礎となっている地震被害想定は、阪神・淡路大震災後に行った『第二次被害想定』に基づいている。しかし、その想定以降、地震に関する調査研究の進展や市域の地震環境に関する新たな知見が得られ、昨年地震被害想定の見直しが行われた。その結果、その年9月に『第三次被害想定』が発表された。地震動予測

と被害想定に関する点で見直しがされた結果、内陸型(伏在活断層)地震のマグニチュードは6.5から7.5となり、第二次地震被害想定に比べて地震規模が増大して、震度6以上となるエリアが3.4倍にも増すことがわかった。このように、従来の想定よりも被害が拡大するとされており、首都圏と同様に、帰宅困難者への対応が迫られている<sup>3)</sup>。多くの人が一斉に帰宅行動を開始した場合には、混雑により歩行速度が極端に低下し、帰宅が可能な人まで帰宅できない状況となることが容易に想定される<sup>4)</sup>。ここで考えなければならないのは、こうした状況を回避する方策である。たとえば、震災によって物理的に帰宅が不可能となる人には、その情報を提供することにより、帰宅行動を避けることが考えられる。この点は、二次災害を防ぐ観点からも極めて重要である。

そこで本研究では、想定された地震が発生した場合、帰宅意思を持つものが、どの程度帰宅可能となるかについて推計する方法を提案する。次に得られたモデルを用いて震災時に道路ネットワークに関する被害情報提供、具体的には経路の所要時間情報、時間最短経路情報および家族の安否情報の提供による帰宅行動の変化を予測し、

帰宅困難者の軽減効果を評価することを目的とする。

## 2. 想定地震および検討対象

### 2.1 想定地震

本研究での想定する地震被害は、札幌市が想定している中でも、被害が最大となる札幌市直下型地震とする。その場合、電車、バス、地下鉄等の交通機関は全て不通となり、自動車についても、渋滞や道路被害により使用できず、帰宅には徒歩のみが利用可能であると仮定する。図-1 に本研究で仮定した帰宅時に利用可能な道路ネットワークを示す。札幌市では「災害時帰宅避難道路」についての指定は行っていないため、図-1 に示したネットワークは、「緊急輸送路」（一般道・道々・市道）のみを示している。緊急輸送路とは、市が災害発生時における被災者の避難、及び被災者の生活を確保する物資輸送のために利用する路線として指定する路線である<sup>3)</sup>。

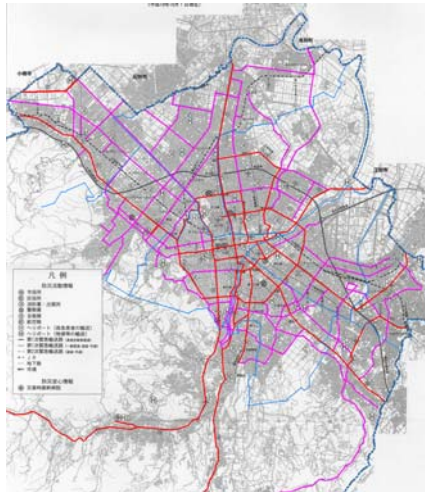


図-1 札幌市防災マップ

### 2.2 対象地域

「第三次被害想定」では、総合評価で道路支障影響度を評価しており、本研究では、道路支障影響度が高いと評価された道路が多く存在する、札幌市北区と東区を分析対象地域として選定した。この地域は、地盤そのものが軟弱で、大地震の際の液状化が予想されるだけでなく、建物の倒壊被害も大きいと予想されている。したがって、それらの被害影響が帰宅困難者問題を引き起こす可能性大きいと考えられる地域と捉えることができる<sup>3)</sup>。

### 2.3 対象者

帰宅対象者は、震災発生後、震災時に滞在していた場所（起点）から自宅まで戻ることを仮定する。起点は、『第4回道央都市圏パーソントリップ調査』<sup>5)</sup> から、昼間人口の最も多い札幌市中央区とし、就学・勤務・買い物などの目的で外出している人を対象とした。

## 3. アンケートによる帰宅行動調査

### 3.1 アンケート調査の目的と概要

震災直後の帰宅行動に影響を与える要因を把握するために、アンケート調査を実施した。本調査では、発災時刻を午後6時に設定した。尚、アンケートの配布場所はパーソントリップ調査に基づき、午後6時において滞在者の最も多い札幌市中央区とし、対象者は勤務・就学・私用で滞在している札幌市民とした。季節、家族の安否情報の有無、待機する場所の環境、そして、中央区から自宅まで帰宅する際の徒歩での所要時間などが帰宅行動に影響すると考えられるため、これらの条件を変えて震災後にすぐに帰宅を開始するか、一時的に待機するかどちらかの行動を選択してもらった。

表-1 にアンケート調査の概要を示す。

表-1 アンケート調査の概要

調査日時	12月12日
配布方法	直接街頭配布
回収方法	郵送回収
調査場所	札幌市中央区大通り駅付近
配布部数	900部
回収数(回収率)	383部(42.6%)
有効回答数	364部
主な質問項目	・震災時の状況に応じた帰宅行動選択 ・個人属性 等

### 3.2 調査結果

#### (1) 帰宅行動モデルの構築

被災者の行動選択は、ランダム効用理論に基づく、非集計モデルを適用して表現した<sup>6)</sup>。本研究での被災者の行動選択は、帰宅するか否かであるため、二項ロジットモデルとして定式化できる。この場合、一般性を失うことなく、帰宅する場合と待機する場合の効用差によって、帰宅確率が表現される。上記の効用差 ( $\Delta V$ ) は、次式に示すように線形関数によって与えた。

$$\Delta V = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k x_k$$

$x_k$  : 説明変数  $k$  の値 (行動選択の際に考慮される因子)

$\beta_k$  : パラメータ

$K$  : 説明変数の総数

帰宅するか否かの行動をとる確率は、それぞれ次のとおり与えられる。

$$P[\text{stay}] = \frac{1}{1 + e^{-\Delta V}} \quad P[\text{go}] = 1 - P[\text{stay}]$$

パラメータ値は、最尤推定法によって推計可能であり、表-2 に使用した説明変数、推定されパラメータ値を示す。パラメータの符号が正である場合、その場に待機させる効果があり、負の場合は、その逆の効果があることを示している。また、パラメータ値の絶対値が大きいほ

ど、そうした影響が大きいことも示している。ここから、待機する場所の環境、帰宅所要時間が震災時の行動選択に大きな影響を与えていることが分かる。

パラメータ	項目名	単位	推定値	T値	P値
$\beta_0$	定数項		-1.894	-14.636	0.000
$\beta_1$	季節	0: 冬	0.000	-7.763	0.000
		1: 夏	-0.674		
$\beta_2$	歩行時間	分	0.008	11.621	0.000
$\beta_3$	安否確認	0: 確認できない	0.000	5.702	0.000
		1: 確認済み	0.494		
$\beta_4$	待機環境	0: 悪い	0.000	13.727	0.000
		1: よい	1.186		
サンプル数					364部

表-2 推定パラメータ

### (2) 帰宅意思率

ここでは、アンケート結果と行動選択モデルにより得られる帰宅行動意思率を推計することにする。帰宅意思率とは、前項で述べた震災直後に、帰宅行動をとる確率である。図-2 に夏期における、帰宅意思率の変化を示す。震災が起きた場合に帰宅までの所要時間が長いほど帰宅意思率は低下し、待機割合が増加することがわかる。また、家族の安否確認が取れた場合、あるいは待機する場所の環境が良い場合に帰宅意思率は低下することもわかる。図-2 より、家族の安否確認に比べて待機する場所の環境が選択行動に与える影響が強いため、帰宅意思率の低下する割合が大きくなっていることが示された。

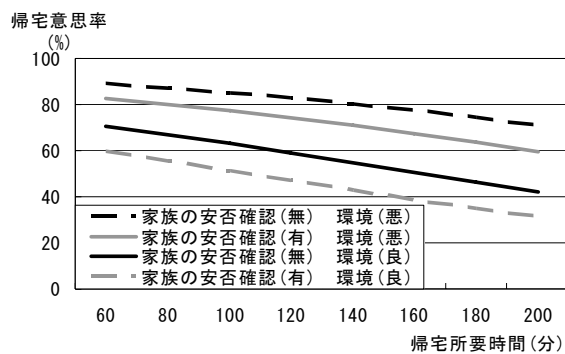


図-2 帰宅意思率の関係

### (3) 帰宅可能率

図-3 に内閣府で公表している帰宅可能率を示す。帰宅可能率とは物理的に徒歩帰宅が可能であると想定された割合を表したものであり、起点から自宅までの距離が10 kmを超えると1 km増すごとに約1割の人が挫折(帰宅不能)し、20 kmを超える距離では全員が帰宅することが出来ないと想定されている<sup>1)</sup>。内閣府で公表している帰宅可能率は、距離によって想定される可能割合であるが、本研究では、夏の歩行速度を既存研究から4km/hと仮定

して<sup>7) 8)</sup>、距離を所要時間に変換し、所要時間を変数とする帰宅可能率として定義することとした。よって本研究では、起点から連続徒歩時間が150分を越えると、15分増すごとに約1割の人が挫折(帰宅不能)し、200分を超える距離では全員が帰宅することが出来ないとする。

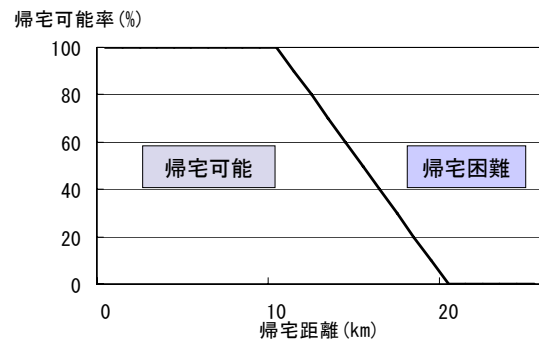


図-3 帰宅可能率

### (4) 帰宅意思率と帰宅可能率の比較

図-4 は、家族の安否情報が無く、待機場所の環境も悪いという条件下で推計した帰宅意思率と帰宅可能率の関係を示している。この図から帰宅可能率と帰宅意思率との間に差が生じていることが分かる。ある帰宅所要時間を境に、帰宅意思率が帰宅可能率を上回っている。震災時、徒歩帰宅が不可能な場所であっても、帰宅行動を開始してしまう、つまり帰宅困難者となる可能性の高い、危険な帰宅者であると考えることが出来る。よって、このような帰宅可能率と帰宅意思率との差を縮めることにより、帰宅困難者となる恐れのある帰宅者を減少させていく必要があると考えられる。

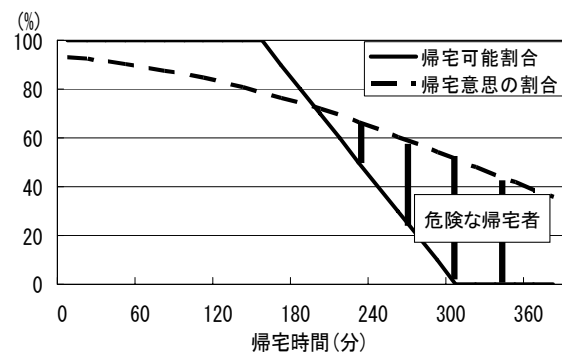


図-4 帰宅意思率と帰宅可能率の比較

## 4. 帰宅意思率と帰宅可能率についての分析

### 4.1 GIS(Geographic Information System)

GISとは、地理情報システムと呼ばれ、空間分析を行うための、コンピューターと専用のソフトウェアおよびデータからなる一群のシステムである。主題の異なる複数の空間データ群が存在するとき、それらのデータを重ね合わせて表現することが出来る<sup>7)</sup>。本研究では、札幌

市の道路被害状況を用いて分析するため、GISを適用し、札幌市のデジタル道路地図データと被害状況データの分析を行った。また、帰宅意思率と帰宅可能率は第3章2節(3)(4)項でも述べたが、ともに震災時に帰宅する際の所要時間によって変化するため、GISを用いて起点から目的地までの所要時間を推計することとした。

#### 4.2 設定条件

札幌市が設定する「第三次被害想定」では、震災時の道路被害は、影響度ランク別にAA、A、B、Cと4つに分類されている<sup>3)</sup>。道路被害の影響度は、第2章2節でも述べたが、地盤の影響・道路そのものの耐震状況・建物の崩壊による影響をふまえた総合的な評価値であり、歩行が困難となる被害状況を示している。表-3に緊急輸送路の道路被害ランクを示す。

表-3 影響度ランクと被害度

影響度ランク	被害度	想定被害割合(%)	色
AA	極めて大規模な被害	75	——
A	大規模な被害	50	——
B	若干の被害	10	——
C	影響なし	0	該当なし

表-3で表された緊急輸送路を影響度ランク別に図-5に札幌市内の緊急輸送路の支障状況を示す。本研究では、既存研究<sup>8)9)</sup>から震災時の歩行速度は道路の被害割合に比例すると仮定し速度の係数を決め、震災時の道路被害を表-4に示すように歩行速度を変化させることにより表現した。この情報を地図データに組み込み、GISによって分析を行っていく。

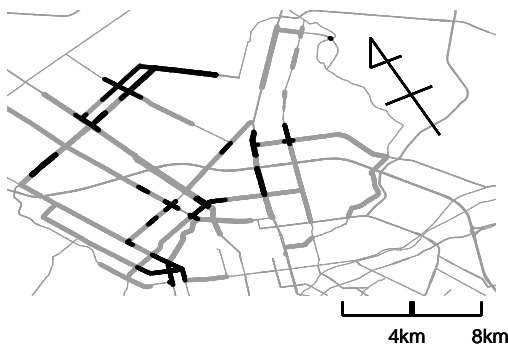


図-5 道路被害設定

表-4 道路被害と歩行速度の関係

影響度ランク	想定被害割合(%)	速度
AA	75	×0.25
A	50	×0.5
B	10	×0.9
C	0	×1.0

分析は、平常時に緊急輸送路のみを使用した場合を仮定し、帰宅行動開始時点からの所要時間が1h,2h,3hである範囲をGISによって推計し、その範囲内で代表点を12地点とり、それらを補間する曲線(等所要時間線)を求めることによって行った。本研究では図-6に示す①②③④の4地点に焦点を当て考察を進めることにする。中央区から地点②に帰宅する場合の時間最短経路を図-7に示す。この経路は道路延長距離で12kmであり、そのうち震災が発生した際に被害の大きいと評価されるランクAAの道路延長距離は2km(約16.7%)、ランクAの道路延長距離は4.4km(約36.7%)存在し、計約6.6kmが震災時において徒歩帰宅が困難となっている。表-5に各地点での被害道路の割合を示す。

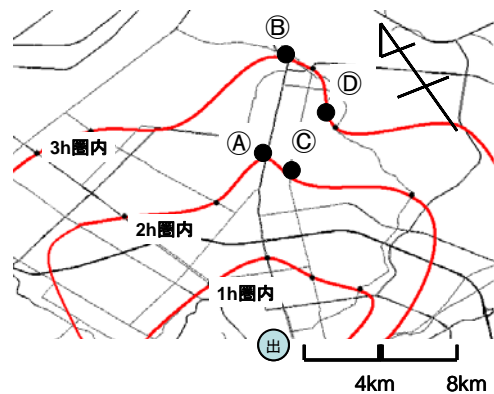


図-6 分析地点

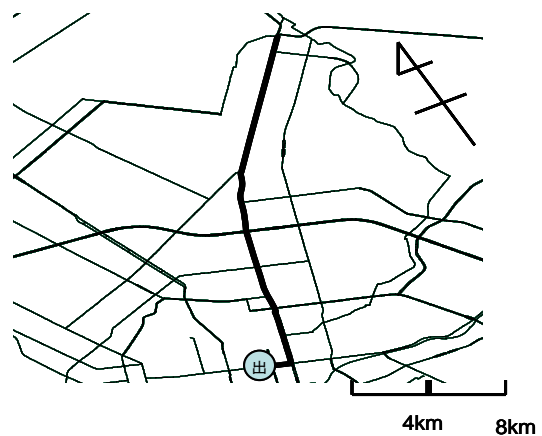


図-7 平常時の時間最短経路

表-5 経路別の道路被害割合

	地点A	地点B	地点C	地点D
距離	8km	12km	8km	12km
被害ランクAA	2km (25.0%)	2km (16.7%)	0.83km (10.4%)	0
被害ランクA	1.7km (21.3%)	4.4km (36.7%)	4.01km (50.1%)	4.23km (35.3%)

帰宅行動に関しては、以下に示す仮定を置いた。

- ・平常時での帰宅経路は中央区から目的地までの時間最短経路を選択する。
- ・道路の混雑状況は全て同一であると仮定し、移動時間は、歩行者数には関係しない。

### 4.3 道路被害があるときの帰宅可能率

表-6 は、震災時に、平常時と同様の経路によって中央区から帰宅した場合の所要時間を示している。この表から、震災時には大幅に所要時間が延びることが示された。次に、震災時の所要時間から計算される帰宅可能率を表-7 に示す。帰宅可能率は図-3 を基に、目的地に到着するまでの歩行時間から算出している。帰宅可能率は第3章2節(3)項でも述べたが、物理的に徒歩帰宅が可能であると想定された割合を表したものと定義されており、本研究では距離を所要時間に変換し、所要時間を変数とする帰宅可能率として定義することとしたため、被害がなくとも起点から目的地までの歩行時間が150分を超える場合は、帰宅可能率は図-3より、100%にならないことに注意したい。その結果、被害の無い状態では帰宅可能な場所であっても、道路被害の影響によって帰宅所要時間が増えてしまい、帰宅可能率が大幅に減少することが分かる。ここで、帰宅者は震災による道路被害をすぐには把握する手段を持ち得ないため、震災時の所要時間を正確に知ることはできない点に注意が必要である。以下では、こうした情報を正確に収集し、帰宅者に提供することができれば、どの程度帰宅困難者を低減させることが出来るかを考えていくことにする。

表-8 は、道路被害の情報(道路被害による所要時間)を提供した場合の被災者の帰宅意思率を示している。道路被害情報を与えることにより、震災直後の帰宅意思率そのものが減少することが分かる。帰宅意思率を抑制することが出来れば、帰宅困難者を低減することが出来ること示された。

表-6 所要時間の変化

	所要時間(分)	
	被害無	被害有
地点A	120	234
地点B	180	324
地点C	120	156
地点D	180	216

表-7 帰宅可能率の変化

	帰宅可能率(%)	
	被害無	被害有
地点A	100	42.8
地点B	80	0
地点C	100	64
地点D	80	52.5

表-8 帰宅意思率の変化

	帰宅可能率	帰宅意思率(%)		滞留意思率(%)
		情報なし	情報あり	
地点A	42.8	82.5	64	16.5
地点B	0	74	45.5	28.5
地点C	64	82.5	77.1	5.4
地点D	52.5	74	66.8	7.6

図-8 は、地点⑧に着目し、以上の分析結果をまとめて示したのである。所要時間の情報がない場合、表-6より、帰宅者はそれを180分と認識しているため、帰宅意思率は74%となる。しかし、実際の所要時間は324分であるため、この情報を帰宅者に与えた場合、帰宅意思率は45.5%に低下し、情報提供により、帰宅困難者の割合を28.5%削減できることを示している。

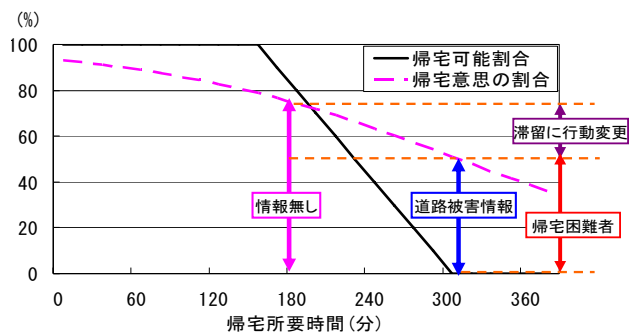


図-8 最短時間情報の提供効果

### 4.4 最短時間経路情報の提供効果

前節では、道路被害情報を被災者に提供することにより、被災者の帰宅意思率を変化させることが出来ること示された。しかし、それでも帰宅してしまう被災者は存在するため、その際の対処を同時に考える必要がある。震災時には、一部の道路区間が利用できない状態になっていると想定されるため、帰宅者が認識している平常時に最短となる経路は、利用できなかったり、あるいは、時間最短となっていなかったりする場合が考えられる。そこで、GISにより時間最短経路を計算し、こうした情報を帰宅者に提供することは有用である。図-9に、震災時における中央区から地点⑧までの時間最短経路(所要時間は250分)を示す。

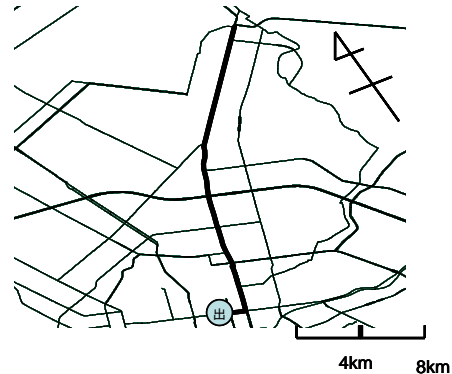


図-9 震災時の時間最短経路

図-7 と比較すると、平常時の時間最短経路とは異なる経路が得られることがわかる。さらに、最短時間経路を利用した場合、帰宅可能率がどのように変化するかを示したものが表-9である。時間最短経路の利用により、帰宅所要時間が短縮されることから、帰宅可能率が向上することが分かる。

表-9 帰宅可能率の変化

	帰宅意思率(%)	帰宅可能率(%)	
		通常経路	最短経路
地点A	82.5	42.8	47.3
地点B	74	0	33.6
地点C	82.5	64	70
地点D	74	52.5	72

図-10は、地点⑩に着目し、以上の分析結果をまとめて示したのである。最短時間経路の所要時間は250分であるため、図-8に示した帰宅困難者のうちの33.6%が帰宅可能となることを示している。その結果、時間最短経路情報を提供することにより、帰宅困難者の割合が11%まで削減できることを示している。

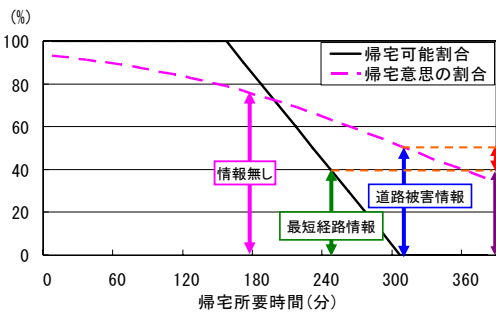


図-10 最短経路情報の提供効果

## 5. まとめ

本研究では、道路被害情報、および時間最短経路情報を帰宅者に提供することにより、帰宅意思率抑制効果および帰宅可能率向上効果があることを明らかにし、情報提供が帰宅困難者となり得る被災者の削減に有効であることを示すことができた。具体的な情報としては、図-11、12に示すように、震災時に予想される歩行時間と到達可能距離の関係を推計し、平常時からこれを提供することが考えられる。冬期の歩行速度は既存研究<sup>8)10)</sup>から約2.5km/h~2.7km/hとされており、夏期と比較すると大きな差がみられることから、到達可能距離が大幅に変わってくる。特に札幌のような積雪寒冷地においては、季節の影響を考慮することが肝要であり、特に冬期間における帰宅困難者の問題を検討することは重要である。また、震災時に被害の起きやすい道路は事前にある程度予測可能であると考えられるため、震災に頑強な道路ネットワーク情報を提供することも有効であると考えられる。道路情報以外の帰宅困難者問題の軽減のために提供する

情報として、家族の安否確認の情報も重要となってくる。情報提供以外では、被災者が安全に待機できる環境の改善も求められる。

本研究で示した分析結果を踏まえると、平常時だけではなく、震災時直後の情報提供は、帰宅困難問題を緩和する上で極めて有効である。しかしながら、震災時には、情報ネットワークもダメージを受ける可能性があり、また、情報ネットワークにダメージがないとしても情報トラフィック量の増大から情報回線が麻痺する可能性もある。このような平常時と異なる混乱状況の中、迅速な被害情報の収集を行うと共に、それを解析して得られる情報を帰宅者に確実に提供するため、災害時の被害情報の収集と発信を行う専用ネットワークを作り、情報を反映させ経路を表示させる掲示板を帰路に設置するなどの方策も十分に検討しなければならない。これは、重要な検討事項であるが、本稿の域を出るため、今後の課題としたい。

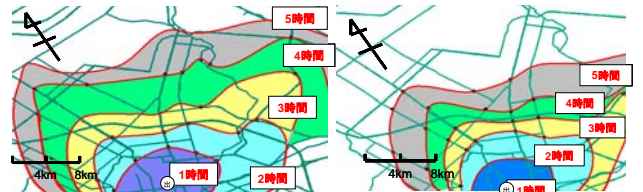


図-11 移動可能距離(夏) 図-12 移動可能距離(冬)

## 参考文献

- 1) 東京都防災会議：東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書。
- 2) 新宿区危機管理 HP  
<http://www.city.shinjuku.tokyo.jp/bousai/kitakusien.kitaku.html>.
- 3) 地域防災計画：札幌市 札幌市危機管理対策室 HP  
<http://www.city.sapporo.jp/kikikanri/>.
- 4) 川崎ラボラトリー 独立行政法人防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター：震災総合シミュレーションシステムの開発。
- 5) 第4回道央都市圏パーソントリップ調査報告書。
- 6) 非集計行動モデルの理論と実際，土木学会，1995。
- 7) 高橋重雄，井上孝，三條和博，高橋朋一：事例で学ぶGISと地域分析，古今書院，pp1-40，2007。
- 8) 石黒裕佳子：マルチエージェントシミュレーションを用いた震災時帰宅行動について，北海道大学大学院工学研究科平成19年度修士論文。
- 9) 吉岡昭雄：歩行者交通と歩行空間(2)-歩行速度・密度・交通量について - 交通工学，Vol.13，no.5，pp41-53，1978。
- 10) 鏡味洋史，加賀屋誠一，萩原亨，高井伸雄，内田賢悦：積雪寒冷地における震災対応マルチエージェントシステムの開発，大都市大震災軽減化特別プロジェクト(平成18年度)成果報告書，pp117-153。

(2009年8月7日受付)