

令和2年度 学士學位論文

金沢市野町地区における災害時の避難路を考慮した
減災案に関する検討

～避難指示灯の効果に関するシミュレーション～

金沢大学理工学域環境デザイン学類

平成29年度入学

高山 恵里花

指導教員	宮島 昌克	教授
指導教員	池本 敏和	講師
指導教員	村田 晶	助教

令和3年2月8日 提出

金沢市野町地区における災害時の避難路を考慮した減災案に関する検討 ～避難指示灯の効果に関するシミュレーション～

目次

第1章 序論	
1.1 研究の背景	・・・1
1.2 既往の研究	
1.2.1 平成30年野町地区の大規模避難実験	・・・2
1.2.2 マルチエージェントシミュレーションを用いた避難実験の再現	・・・12
1.3 本研究の目的・概要	・・・14
第2章 対象地区の現状把握と課題の抽出	
2.1 本研究の対象地区	・・・15
2.2 対象地区の避難路に関する現地調査	
2.2.1 現地調査の概要	・・・16
2.2.2 調査結果	・・・18
2.3 対象地区の課題	・・・22
第3章 避難指示灯を用いた解決案の提案と検証	
3.1 対象地区の課題解決案	
3.1.1 解決案の提案	・・・23
3.1.2 避難指示灯の概要	・・・23
3.2 危険箇所の選定と順位付け	・・・25
3.3 マルチエージェントシミュレーションを用いた避難行動の検証	
3.3.1 避難モデルの行動ルール設定	・・・29
3.3.2 避難行動の検証結果	・・・32
3.3.3 検証結果の考察	・・・34
第4章 結論	
4.1 本研究の結論	・・・38
4.2 今後の方針	・・・39

参考文献

謝辞

第1章 序論

1.1 研究の背景

我が国では地震が多く発生しており、近年では2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震が、2016年4月14、16日に熊本地震が発生した。近い将来には、東海地震や東南海地震のような大規模地震の発生が懸念されている。このような災害発生時において、人的被害は逃げ遅れやパニックの発生により拡大すると考えられ、多くの課題が存在する。金沢はひがし茶屋街や寺町寺院群といった古い街並みが広がり、それらは観光地として賑わっている。さらに、北陸新幹線開業によってますます観光客が増加している。第一に、このような観光地で災害が発生した場合、避難が必要な人は必ずしも滞在している場所の道路事情や避難所の位置を把握しているとは限らない。第二に、災害時には避難路となる道路自体も被災している可能性がある。このような状況下では、避難中に危険な道路に多くの人が集まってしまうことで、さらなる人的被害につながってしまう可能性も考えられる。

大規模災害時において人的被害を軽減するためには、災害発生時に被災しうる人々に適切な情報を発信し、迅速かつ安全な避難行動を促すことが重要である。そこで、山崎ら¹⁾は大規模災害時におけるEMSS(Evacuation Mutual Support System)：避難共助支援システムの有用性を確かめるべく、携帯端末を用いた大人数での大規模避難実験を行った。この実験により、避難者間で共有される情報が多数ある条件での避難行動が明らかになってきた。しかし、未だ避難者の行動に関しては分析が十分に行われておらず、端末間の通信方法や避難者に共有する情報は確立されていない。EMSSの構築には、避難者の行動を改めて観察し、把握しなおすことで情報共有方法について考え直すことと、実験を繰り返すことによって通信システムを向上させていくことが必要である。そこで橋爪ら²⁾は、マルチエージェントシミュレーションソフト *artisoc* を用いて山崎らが行った大規模避難実験のデータログを二次元の動画に変換し、詳細に観察することで、人々の経路選択傾向を定性的に把握しなおした。そして、人々の避難行動の傾向を反映した行動ルールをつくり、これを代入したマルチエージェントシミュレーションによって実験の再現モデルを作成した。

1.2 既往の研究

1.2.1 平成30年野町地区の大規模避難実験

1) 実験概要

平成30年8月26日に開催された金沢市市民防災訓練の一環として山崎らによって実験が実施された。実験の対象地域は金沢市の中央部に位置する野町地区で、参加者は528名、その地域の拠点避難場所は旧野町小学校である。金沢市では、災害発生時、住民はまず各町会の一次避難場所に避難し、その後町会よりも少人数のくくりである班ごとに地域の拠点避難場所に避難する。野町地区でも同様に、各町会の一次避難場所に避難したのち、班に分かれて拠点避難場所である旧野町小学校に避難する。なお、実験対象地域は26町会140班で構成される(図-1.1参照)。今回の防災訓練は、班を一人の避難者として考え、避難行動や意思決定の手段の把握を行った。

実験では、野町の住民が避難者となり、住民の一部に位置情報を共有するアプリケーションを使用してもらい、避難行動を記録した。各班に1台、アプリケーションを起動したiPhoneを所持し、避難を行った。また、避難行動を多様化するために、被験者の一部には、表示情報を制限したアプリケーションを使用させ、避難行動を調査した。さらに、実際の災害時には、道路が被災していることを想定し、一部道路を通行不可能箇所を設定することで、人々の避難行動特性を把握した。通行不可能箇所は、ブロック塀が面している狭い通路や瓦が道路側に落下する可能性のある場所など、災害時に危険となり得る箇所を調査し、野町の防災士の方などと決定した。避難者が通行不可能箇所を発見した際、通行不可能箇所の情報を他の携帯端末と共有した。上記により、避難者が通行箇所に対面したときの行動および情報を共有することによる住民の意思決定の変化を調査した。



図-1.1 実験対象地区の一次避難場所と通行不可能箇所を設定する位置

2) 避難共助支援システムの利用方法

実験では、独自に開発したアプリケーションを使用した。本アプリケーションは、①使用者の現在位置、②他の使用者の現在位置、③通行不可能箇所、④拠点避難場所、を地図上に表示する。また、避難者の行動を分析するため、5秒ごとに携帯電話の位置座標を記録する機能を搭載した。アプリケーションの条件設定画面を図-1.2 に示す。

a)タイプ

自分の位置情報の表示アイコンの選択であり、「人」を選択した場合は赤いピン、「物」を選択した場合には通行不可能マークとなる。

b)グループ

表示情報の制限の選択であり、「1」を選択した場合は前述の①④、「2」を選択した場合は前述の①②④、「3」を選択した場合は前述の①②③④を表示する。

c)年代・性別

年齢・性別の選択であり、使用者の年齢・性別を選択する。

また、アプリケーション起動時の画面例を図-1.3 に示す。図-1.3 のアプリケーションはグループ3で設定したため、自分（使用者）の位置情報、他人（他の使用者）の位置情報、通行不可能箇所が表示されている。（拠点避難場所は表示範囲内にない）同時にアプリケーションを起動している他人の位置情報が複数表示される。



図-1.2 アプリケーション設定画面



図-1.3 アプリケーション画面

地震発生アラートが発令後、図-1.1 中の一次避難場所に避難してきた住民に、アプリケーションの条件設定が完了した iPhone を渡す。その後、住民は通行不可能箇所を迂回しながら、拠点避難場所を目指す。アプリケーションの条件設定において、グループ「1」～「3」はランダムに決定する。また、各一次避難所に配置したスタッフは土地勘のない観光客役として、上記と同様の方法で避難する。通行不可能箇所に配置したスタッフは、住民が通行不可能箇所に到達した時点でアプリケーションのタイプ「物」を選択し、起動することで、他の端末に通行不可能箇所の情報を共有する。拠点避難場所に避難した住民から iPhone を受け取り、通過経路のデータログをサーバに送信する。

3) 実験で得られた成果

実験結果の一部を図-1.4~1.9 に示す。各図は通過経路のデータログを示しており、図-1.4 は収集した 145 個のデータログを重ね合わせたものである。この図から、拠点避難場所への移動行動には、細街路ではなく、できるだけ幅の広い道路を利用しながら避難行動がとられていること、設定した通行不可能箇所において、通行を許可されなかった移動行動記録が多くあることが確認できる。

次に、5 人分の避難経路データを確認しながら、位置情報を共有することによる効果を確認する。表-1.1 は、今回取り上げる 5 人分の被験者情報であり、それはそれぞれ図-1.5~1.9 に対応している。このうち、図-1.5,1.6,1.7 は図-1.1 の一次避難場所「①」から出発した被験者のデータログで、図-1.8,1.9 は一次避難場所「②」から避難を開始した被験者のデータログである。

最初に、①を出発した、図-1.5,1.6,1.7 の避難パターンを分析する。表-1.1 の避難開始時間（一次避難場所から動き始めた時間）に注目すると、図-1.5,1.6,1.7 の順であり、最初に出発した図-1.5 では拠点避難場所の近くの通行不可能箇所を進路を阻まれて一度戻り迂回するような行動をとっていることが分かる。一方で、13 分後に出発して、通行不可能箇所・他の人の行動情報などを得ているグループ「3」である図-1.6 の被験者は、通行不可能箇所を迂回する最短経路を進めていることが確認できる。アプリケーションによって避難情報が共有されることで、図-1.6 のように後から続く避難者が効率的な経路で避難できるようになることが期待される。そして、さらに後で出発した図-1.7 の被験者は、一切の追加情報を与えられていないグループ「1」であり、共有情報を入手できないため、図-1.5 と同じように通行不可能箇所へ一度向かい、そこで迂回する行動をとっている。本実験では、とくに口頭による伝達を禁止しているわけではなく、図-1.5,1.6,1.7 のような拠点避難所に近く比較的まわりの避難者と遭遇しやすい場所であっても口頭伝達では十分に情報が伝わっていないことが確認できる。

続いて、図-1.8（グループ「3」）と 図-1.9（グループ「1」）の間での違いを見ていく。表-1.1 から時間的には 1 分差というほとんど変わらない時間差で出発していることがわかる。それぞれの避難経路に注目すると、全共有情報を入手している図-1.8 の避難者は通行不可能箇所を迂回する最短経路を迷わずに選択している一方で、情報を得ていない図-1.9 の避難者は、口頭伝達や周りの人についていく行動などが考えられるが、通行不可能箇所の情報を入手することができずに通行不可能箇所に向かい U ターンして別の経路を選択していることが確認できる。

以上のことから、本実験データの基礎的な分析を通じて、以下の 2 点が明らかになった。(1)口頭伝達のみでは、地域の住民であっても通行不可能箇所や危

険箇所に関連する情報は十分に伝わらずに、逆に通行不可能箇所に多くの人が殺到してしまうような状況となること、(2)アプリケーションによって情報伝達された人には、先行している避難者の情報を入手して効率的な経路選択に成功した人がいた。

しかし、グループ3であっても、アプリケーションを使いこなすことが出来ずに、他の被験者と共に避難を行い、通行不可能箇所に直面してしまった被験者も見られた。このことから、多くの情報を所有していても、アプリケーションを使いこなすことが出来なければ、効率のよい避難ができないことが分かる。したがって、今後はデータを共有する方法だけでなく、より利用が容易なアプリケーションを作成し、システムに導入することが重要であると考えられる。

表-1.1 各被験者のグループと避難開始時刻

	グループ	年代	性別	避難開始時刻
図-1.5	3	50	男	8時05分25秒
図-1.6	3	60	男	8時18分34秒
図-1.7	1	20	男	8時30分37秒
図-1.8	3	60	男	8時07分11秒
図-1.9	1	70	男	8時05分52秒

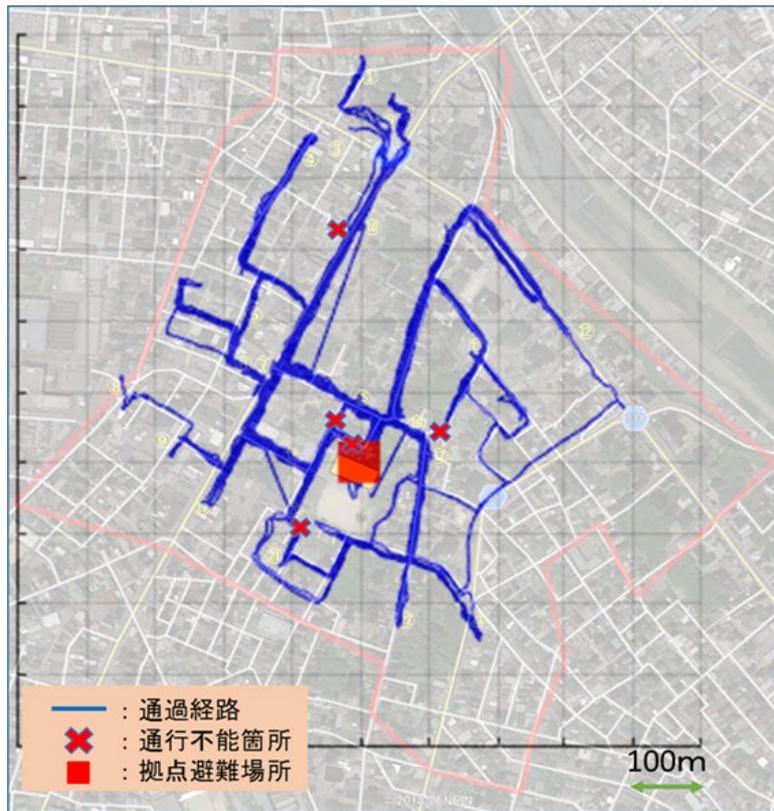


図-1.4 全被験者のデータログ

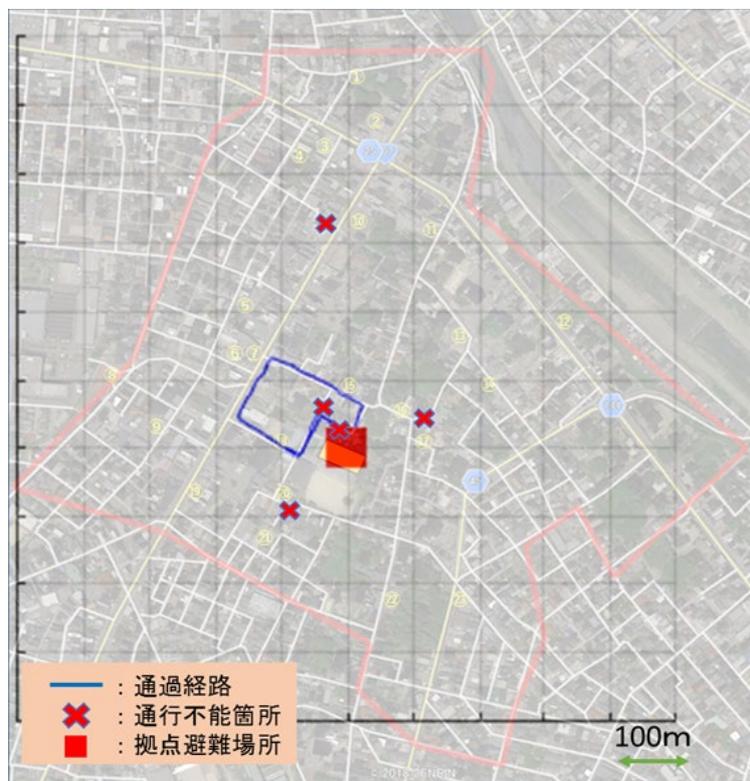


図-1.5 データログ1 (50代, 男性)

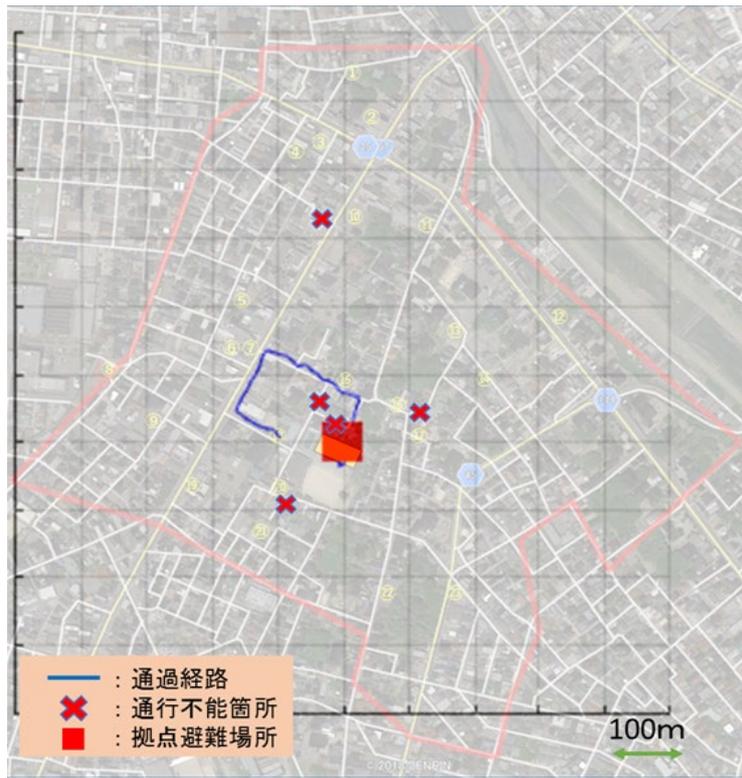


図-1.6 データログ 2 (60代, 男性)

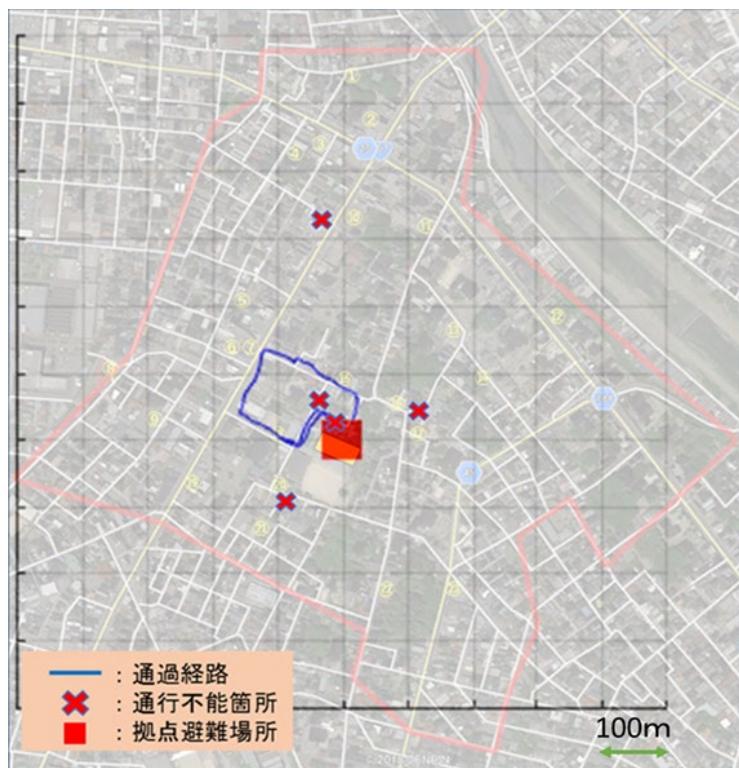


図-1.7 データログ 3 (20代, 男性)

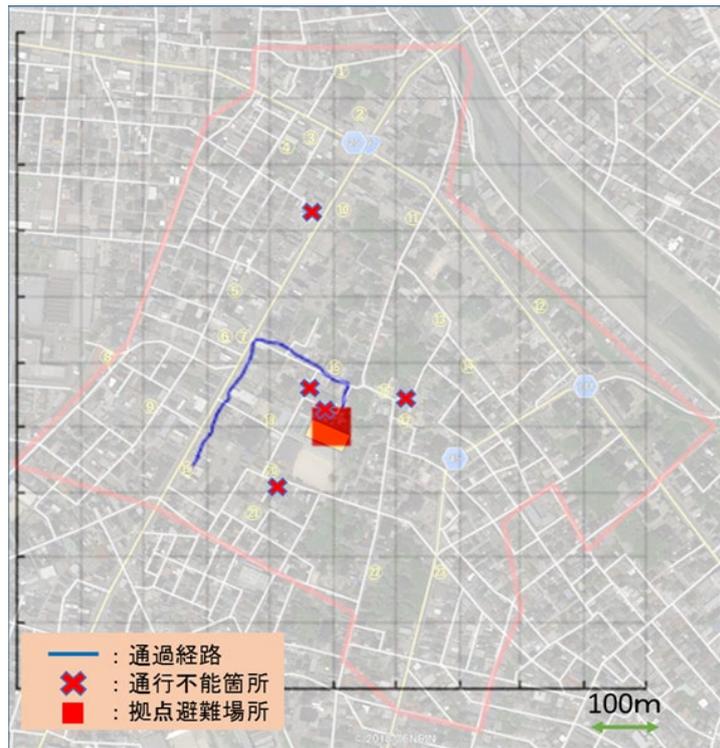


図-1.8 データログ 4 (60代, 男性)

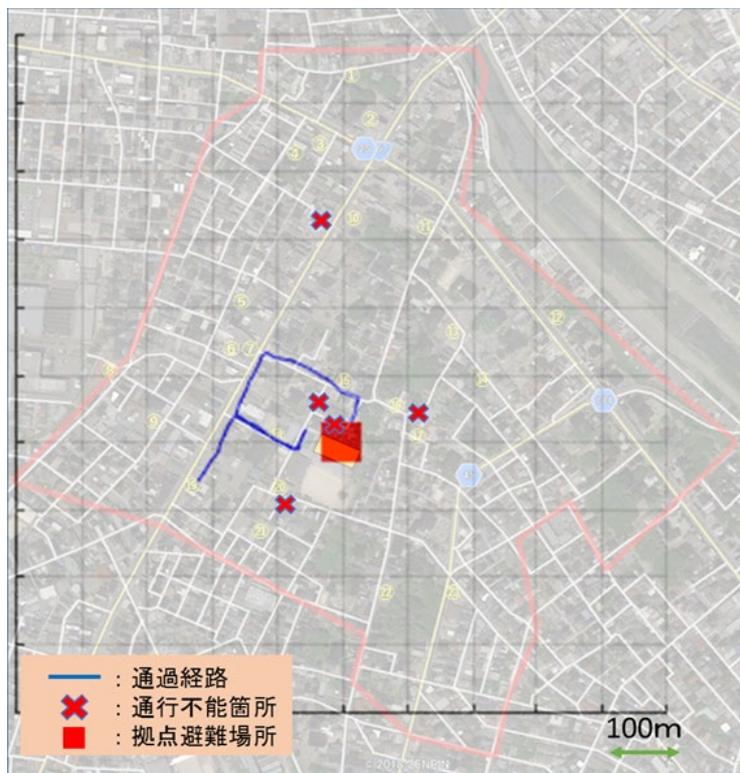


図-1.9 データログ 5 (70代, 男性)

1.2.2 マルチエージェントシミュレーションを用いた避難実験の再現

避難実験の再現モデルをつくるには、人々の経路選択基準となっている考え方を理解する必要がある。マルチエージェントシミュレーションソフトの `artisoc` を用いて平成30年野町地区の大規模避難実験で得られたデータログを二次元の時刻歴データとして可視化することで、避難者は必ずしも最短経路を通るわけではないことがわかった。そこで、避難者は分岐に差し掛かった時、目的地までの経路距離と、道幅を主な判断要因とする安全性とを脳内で比較検討し、どちらかを優先して選んでいるのではないかと仮説を立てた。

シミュレーションにおいて人間の行動を再現するには、分岐地点において人間が危険を負ってでも道幅の狭い道を選ぶような目安となる経路距離の差を定量的に求める必要が出てくる。このためには、分岐において、一方は最短だが道幅が狭く、他方は道幅が広いが経路距離が長いような道路に直面した時にどちらの道を選ぶかという二択形式のアンケートを取り、データを集めて統計的に目安値を求めた。アンケートより、人々は迅速さだけでなく安全さも同じくらい重視していることがわかった。さらに、一車線道路と片側一車線道路とが、人々が危険と感じる道路幅の境界に近いのではないかと考え、シミュレーションにおける行動ルールを書き換えた。一車線道路における車線の標準幅と路側帯の最低幅を合計すると $3.0\text{m} \times 2 + 0.5\text{m} \times 2 = 7.0\text{m}$ であるため、経路距離の差にかかわらず、道路幅 7.0m 以下の道路は避けるというルールになる。これらを元に経路選択に対して道路幅を基準に重み付けをしてシミュレーションを行い、データログとの整合性を確かめた。

仮説を元にした再現モデルの行動ルール設定を以下に示す。

- ・速度は被験者 ID ごとに平均速度で定義する。
- ・経路選択については、基本的に最短ルートで進む。道幅を元に換算した重み付けで、狭い道を選びにくくする。

$$(\text{重み}) = 1 - (7 - \text{道幅}) \div 7 \quad (0 < \text{道幅} \leq 10)$$

$$(\text{道のり}) = (\text{距離}) \div (\text{重み})$$

上記の関係式でおもみを定義する。片側1車線道路の標準幅 7m ($=3\text{m} \times 2 + 0.5\text{m} \times 2$) の重みを選びやすさの基準値1とした。道幅は上限を 10m とした。(それ以上広くても経路選択に寄与しないと仮定)

- ・タイプ A のエージェント (実験時、通行不可能箇所の位置情報を共有した被験者に相当するエージェント) は、通行不可能箇所の位置情報を端末で共有し、迂回する。
- ・タイプ B のエージェント (実験時、通行不可能箇所の位置情報を共有されな

かった被験者に相当するエージェント)は通行不可能箇所に突き当たったら引き返す。

- ・半径 2m で、通行不可能箇所のロコミをする。ロコミを受けたエージェントは相手の持っている通行不可能箇所の位置情報を受け取る。

図-1.10 に、被験者 ID ごとのデータログとの避難時間の差を示す。グラフから、全体的には避難時間の差が少ない被験者が多いが、十数名特出して避難時間の差が大きい被験者がいるということがわかる。これらの被験者を抽出して、改めて実験時の行動を観察する。

避難時間のデータログと再現モデルとの差の合計の絶対値を被験者数で割った値、つまり避難時間のデータログとの差の平均値を、上記の 4 パターンで計算したものを図-1.11 に示す。重み、ロコミのルールを追加したことで避難時間のデータログとの差の平均値が小さくなったことから、モデルの再現性が高まったことがわかる。

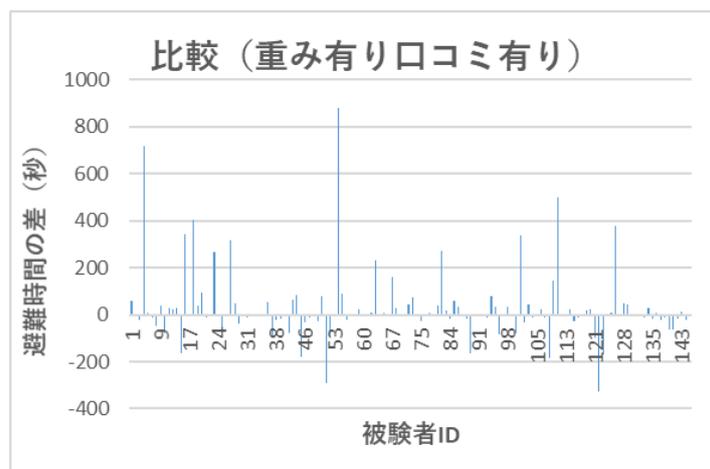


図 - 1.10 データログとの避難時間の差

図 - 1.11 避難時間のデータログとの差の平均値

	重み有	重み無
□コミ有	69.581	74.015
□コミ無	71.272	81.662

1.3 本研究の目的・概要

山崎らの実験により、避難時の情報共有の有用性が明らかになってきた。特に通行不可能箇所の位置情報の共有は迅速な避難に有効であることが分かっている。しかし、人々の避難行動の傾向の解明は未だ十分に行われておらず、情報提供方法も確立されてはいない。避難実験は何度も行えないため、橋爪は、シミュレーションにより実験を再現するモデルの考え方の確立に取り組んできた。

大規模災害時において人的被害を軽減するためには、災害発生時に被災している人々に適切な情報を発信し、迅速かつ安全な避難行動を促すことが重要である。そこで、本研究では、災害時の避難路に注目し、安全な避難を支援する案の検討を行う。

第2章 対象地区の現状把握と課題の抽出

2.1 本研究の対象地区

本研究では、図-2.1 で示す金沢市野町地区を対象地区とする。この地区は、にし茶屋街や寺町寺院郡などの観光地があり、また、戦災を受けておらず、元々城下町であるため、細街路が多い。ゆえに、観光客などの非居住者が道路事情や避難所を把握しているとは限らないため、避難が困難である可能性がある。さらに、幅員が狭い箇所では、塀の倒壊などによって避難路での被災が起こりやすいと考えられる。



図-2.1 金沢市野町地区

2.2 対象地区の避難路に関する現地調査

2.2.1 現地調査の概要

現地調査の目的は、野町地区の避難路の現状把握を行い、課題を抽出することである。

対象地区は、金沢市野町地区であり、2020年8月25日に調査を実施した。メジャーとSK逆目盛検測桿（図-2.2）を用いて、道路幅員と塀がある場合は塀の高さの測定を行う。測定箇所は、平成30年に同地区で行われた大規模避難実験を参考にして決定した図-2.3に示す箇所である。その際、写真撮影も行う。



図-2.2 SK 逆目盛検測桿



図-2.3 測定箇所

2.2.2 調査結果

測定結果を表-2.1に示す。また、測定箇所の様子を写真-2.1に示す。写真-2.1より、狭隘で、似たような道路が多いため、土地勘のない非居住者がスムーズに避難することは難しいと考えられる。また、災害対応機能³⁾から4m以上が望ましいとされているが、表-2.1の測定結果より、測定箇所の道幅は、13箇所中12箇所が4m以下である。さらに、塀のある8箇所中7箇所が塀の高さが道幅の9割以上になり、塀が倒壊した場合、通行不可能になる可能性が高いと考えられる。

表-2.1 各箇所の測定結果

	道幅(m)	塀の高さ(m)	塀の高さ/道幅
①	2.40	2.30	0.96
②	2.00	2.16	1.08
③	2.30	2.42	1.05
④	3.10		
⑤	2.10		
⑥	2.70		
⑦	1.95	2.33	1.19
⑧	4.80	2.55	0.53
⑨	1.70		
⑩	3.50		
⑪	2.20	2.02	0.92
⑫	2.25	2.52	1.12
⑬	1.90	1.79	0.94



①



②



③



④



⑤



⑥



⑦



⑧



⑨



⑩



⑪



⑫



⑬

写真-2.1 測定箇所の様子

2.3 対象地区の課題

対象地区の特徴や現地調査より、細街路が多いため、土地勘のない非居住者にとってはスムーズな避難が難しいこと、地震発生時に塀の倒壊などによって通行不可能になる可能性が高いことが課題として挙げられる。

第3章 避難指示灯を用いた解決案の提案と検証

3.1 対象地区の課題解決案

3.1.1 解決案の提案

対象地区の課題を解決するには、避難路に避難指示灯（以下「指示灯」とする）を設置し、危険箇所を回避することが効果的ではないかと考えた。そこで、対象地区の危険箇所を選定し、マルチエージェントシミュレーションを用いて、指示灯を設置した場合の避難行動（時間、通過経路など）の比較、検討を行う。

3.1.2 避難指示灯の概要

指示灯について、実用段階では住民の意見や景観面の規制などを踏まえる必要がある。そこで、ここでは指示灯のデザイン案を二つ示すこととする（図-3.1、図-3.2）。

指示灯の役割は、指定した避難路が二次災害発生の恐れがあることを知らせ、迂回を推奨することである。さらに、避難所への誘導や暗闇でも認知可能であり、住民や景観、交通面などへの配慮も必要である。



図-3.1 避難指示灯のデザイン案1

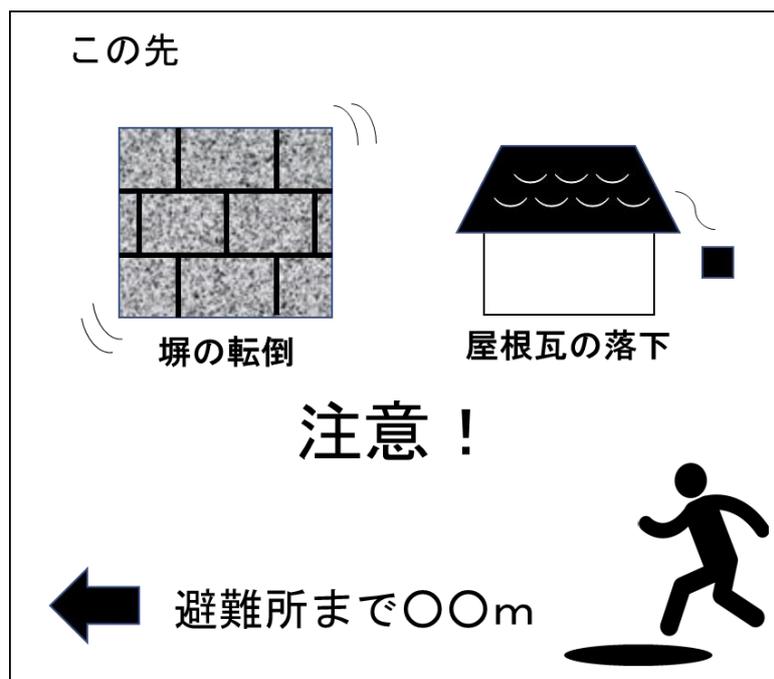


図-3.2 避難指示灯のデザイン案2

3.2 危険箇所の選定と順位付け

指示灯の設置箇所を検討するために、危険箇所の選定を行う。危険箇所の基準は、災害対応機能³⁾（延焼防止効果、消防活動など）から幅員は4m以上が望ましいとされているため、幅員が4m未満かつ、塀や瓦が避難路に崩壊する向きにあることとする。幅員はGoogle Earthを、塀と屋根瓦はGoogle ストリートビューを用いて調査を行った。調査結果（図-3.3）より、危険箇所を図-3.4に示すとともに、その諸元を表-3.1（13箇所）とした。④、⑤、⑧、⑬の塀の高さは現地調査で測定した値であり、その他の塀の高さと屋根瓦の高さは、Google ストリートビューを用いて比から求めた値である。また、表-3.2に示すような重みで危険箇所に順位付けを考え、結果を表-3.3に示す。重みについて、対象地区で想定される地震の種類は直下型地震であるため、同じく直下型地震である兵庫県南部地震の塀や屋根瓦の倒壊についての文献調査を行ったが、明確な基準が得られず、危険箇所の危険度を段階的に分けるのであれば、表-3.2に示す重みでよいと判断した。二次災害が起こる危険度が高い順に、⑫>④,⑤,⑪>②,⑦,⑨,⑬>⑥>①,③,⑧>⑩である。

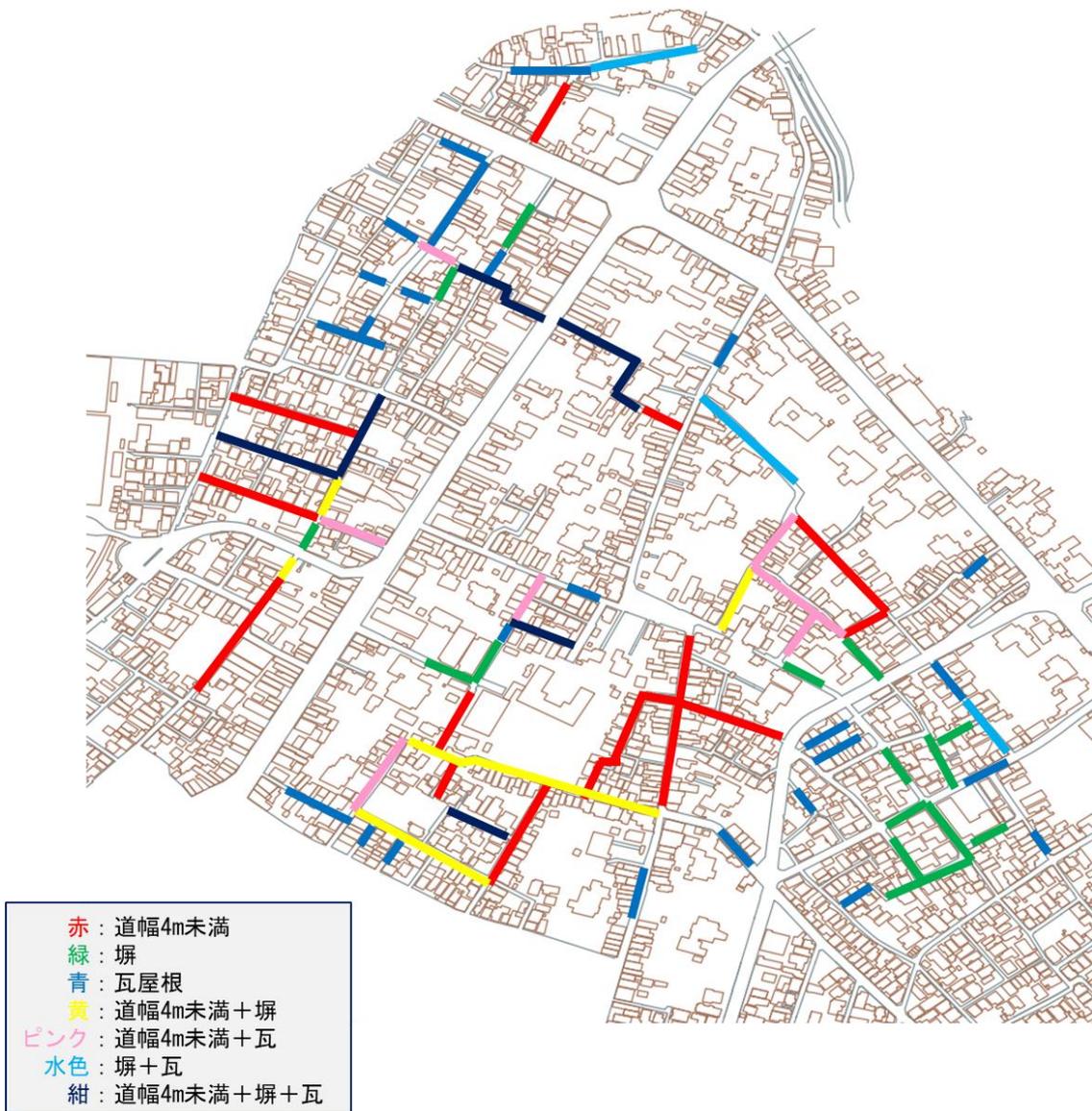


図-3.3 危険箇所の調査結果



図-3.4 危険箇所の位置

表-3.1 危険箇所の諸元

	幅員(m)	塀の高さ(m)	瓦屋根の高さ(m)
①	2.5	1.3	4.0
②	2.3	1.9	4.6
③	3.1		6.2
④	2.0	2.3	5.0
⑤	2.0	2.4	5.0
⑥	3.5		7.0
⑦	3.6	2.9	5.5
⑧	2.6	2.0	
⑨	3.2	2.6	5.2
⑩	3.4	2.7	
⑪	1.7	2.0	4.0
⑫	2.0		6.0
⑬	2.0	2.3	

表-3.2 各避難路の危険度

	階級	危険度
幅員	2m未満	3
	2m以上3m未満	2
	3m以上	1
塀(塀の高さ/ 幅員)	1.0以上	4
	0.8以上1.0未満	3
	0.6以上0.8未満	2
	0.6未満	1
瓦	7m以上	4
	6m以上7m未満	3
	5m以上6m未満	2
	5m未満	1

表-3.3 危険箇所の順位付け

	幅員		塀の高さ			瓦屋根の高さ		危険度の 合計点
	(m)	危険度	(m)	塀の高さ/幅員	危険度	(m)	危険度	
①	2.5	2	1.3	0.52	1	4	1	4
②	2.3	2	1.9	0.826	3	4.6	1	6
③	3.1	1	/	/	/	6.2	3	4
④	2	2	2.3	1.15	4	5	2	8
⑤	2	2	2.4	1.2	4	5	2	8
⑥	3.5	1	/	/	/	7	4	5
⑦	3.6	1	2.9	0.806	3	5.5	2	6
⑧	2.6	2	2	0.769	2	/	/	4
⑨	3.2	1	2.6	0.813	3	5.2	2	6
⑩	3.4	1	2.7	0.794	2	/	/	3
⑪	1.7	3	2	1.176	4	4	1	8
⑫	2	2	/	/	/	6	8	10
⑬	2	2	2.3	1.15	4	/	/	6

3.3 マルチエージェントシミュレーションを用いた避難行動の検証

危険箇所すべてに指示灯を設置するのは経済的ではないため、ここでは、避難と経済的なバランスが最適となる指示灯の設置位置を考えることを目的としたシミュレーションから避難行動の検証を行う。

3.3.1 避難モデルの行動ルール設定

危険箇所は二次災害（塀の倒壊，屋根瓦の落下等）を防止するために通行不可能とする。各エージェント（以下，避難者とする）は，居住者を想定し，各居住地（番地ごととし，全80か所）から拠点避難所へ向かうものとする。道路情報は，橋爪らの避難モデル²⁾をもとにしており，出発地点である居住地（番地）を追加する形で避難モデルの作成を行った（図-3.5，図-3.6）。避難者は出発地点から避難所までの最短経路を選択するため，指示灯がある場合は通行不可能箇所を回避することができ，指示灯がなければ，引き返して経路の選択を再度行う。避難速度は，平成30年に行われた大規模避難実験¹⁾のデータ（表-3.4）より求めた避難者の平均速度1.05(m/s)とする。また，信号機や避難路の混雑による速度低下は考慮しない。指示灯の設置箇所は，危険度が小さい箇所から指示灯を減らした下記の（ア）～（キ）の全部で7パターンのシミュレーションを行う。

- （ア）危険箇所のすべて（13箇所，図-3.4参照）に指示灯を設置
- （イ）危険箇所の約9割（12箇所）に指示灯を設置
危険箇所の⑩を除く
- （ウ）危険箇所の約7割（9箇所）に指示灯を設置
危険箇所の①，③，⑧，⑩を除く
- （エ）危険箇所の約6割（8箇所）に指示灯を設置
危険箇所の①，③，⑥，⑧，⑩を除く
- （オ）危険箇所の約3割（4箇所）に指示灯を設置
危険箇所の①，②，③，⑥，⑦，⑧，⑨，⑩，⑬を除く
- （カ）危険箇所の約1割（1箇所）に指示灯を設置
危険箇所の①，②，③，④，⑤，⑥，⑦，⑧，⑨，⑩，⑬を除く
- （キ）危険箇所に指示灯を設置しない

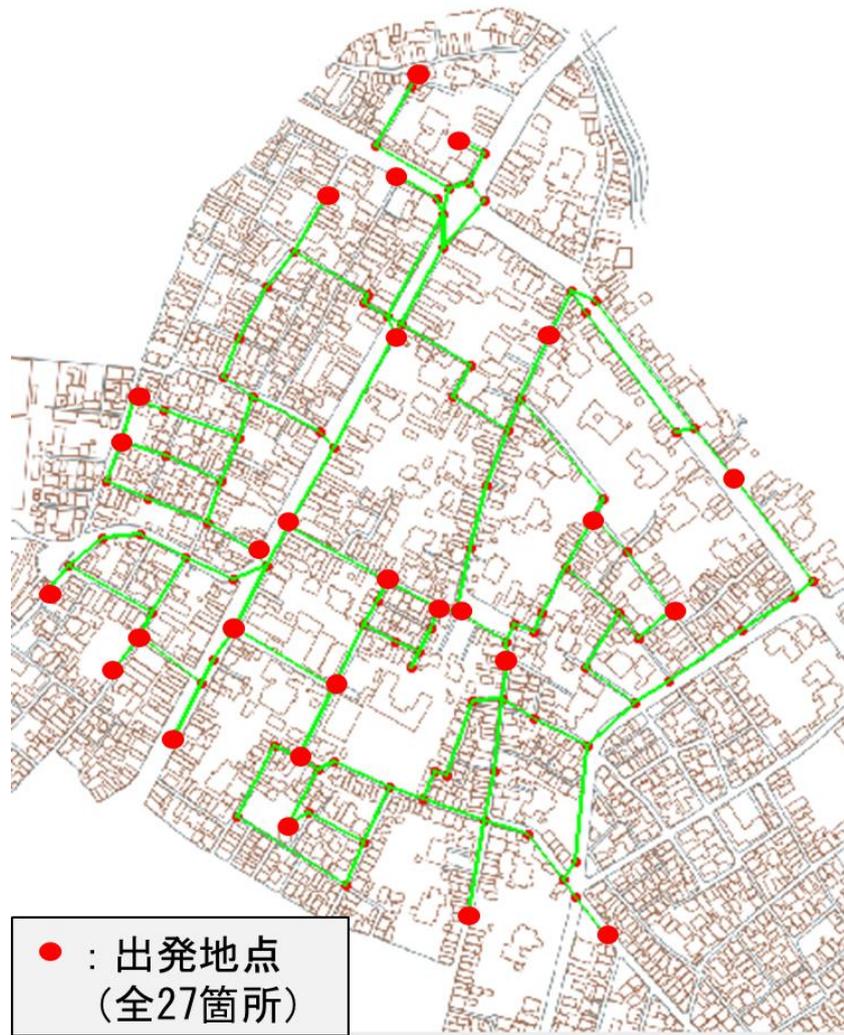


図-3.5 橋爪らの避難モデル²⁾

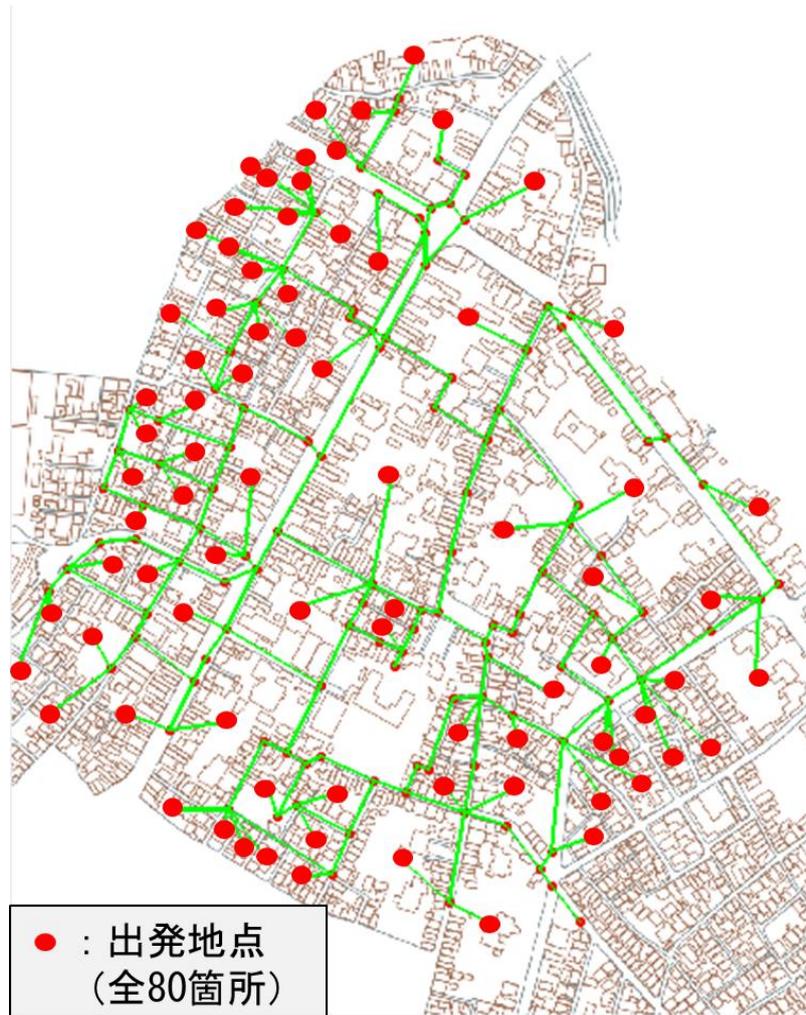


図-3.6 新たに作成した避難モデル

表-3.4 大規模避難実験の速度

年齢	人数(人)	平均速度 (m/s)	全体の平均 速度 (m/s)
10	3	0.84	1.05
20	18	1.22	
30	6	1.09	
40	18	1.04	
50	30	1.05	
60	32	1.05	
70	32	1.07	
80	4	1.03	

3.3.2 避難行動の検証結果

7 パターンの避難完了までにかかった時間を表-3.5 に示す。最短避難時間は66.7 秒であり、全パターンで変わらなかった。すべての指示灯ありと9割設置の場合で559.6 秒、66.7 秒、828.6 秒と、1割と指示灯なしの場合で620.6 秒、66.7 秒、952.4 秒と、平均・最短・最長避難時間が同じ結果になった。また、最長避難時間において、7割と6割の場合で904.8 秒と同じ結果となった。さらに、避難時間と指示灯の個数の関係を図-3.7 に示す。図-3.7 より、避難時間と指示灯の個数に線形的な変化は見られない。

表-3.5 避難完了までにかかった時間

		平均避難時間 (s)	最短避難時間 (s)	最長避難時間 (s)
指示灯 あり	すべて(13箇所)	559.6	66.7	828.6
	9割(12箇所)	559.6	66.7	828.6
	7割(9箇所)	585.2	66.7	904.8
	6割(8箇所)	595.7	66.7	904.8
	3割(4箇所)	620.7	66.7	952.4
	1割(1箇所)	620.6	66.7	952.4
指示灯なし		620.6	66.7	952.4

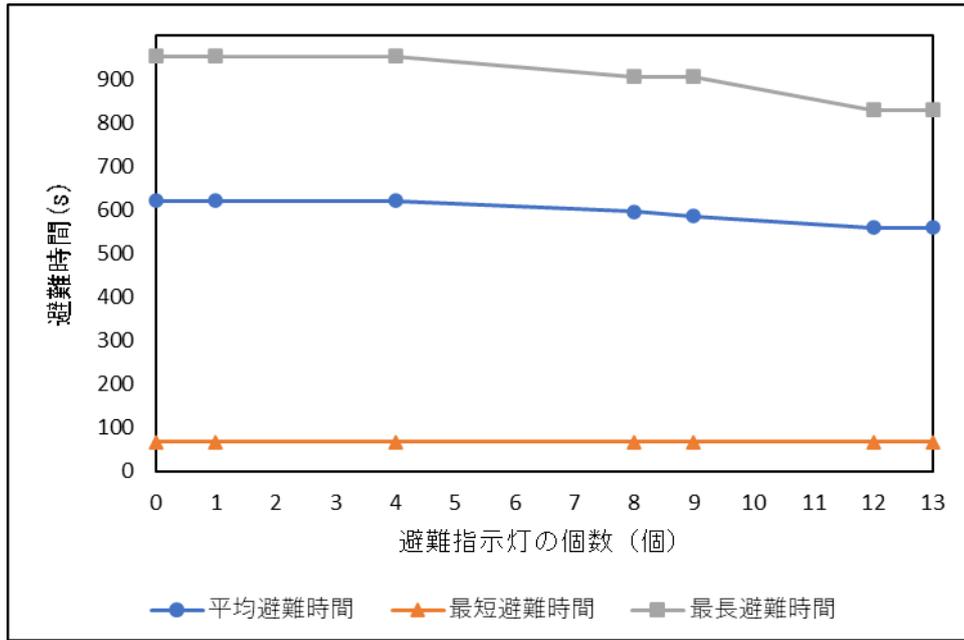


図-3.7 避難完了までにかかった時間

3.3.3 検証結果の考察

すべての指示灯ありと9割の場合で平均・最短・最長避難時間が559.6秒、66.7秒、828.6秒と同じ結果であることから、⑩の危険箇所の指示灯は避難時間短縮の効果を発揮していないことがわかる。ゆえに、9割の場合（⑩の危険箇所に指示灯を設置しない）でも、すべて指示灯ありの場合と同じく迅速で安全な避難が可能である。最長避難時間に注目すると、9割と7割の場合での最長避難時間の差が76秒であり、これは指示灯なしの最長避難時間（ $76.2/952.4=0.08$ ）の約1割となる。これは、避難時間がさらに長くなった場合（避難距離が伸びた場合）、大きな影響を与えると考えられる。また、約1分あれば、火元や家族の安全を確認することができる。

以上から、迅速な避難を考慮すると、指示灯の設置を9割から7割にした場合、避難行動に影響を与えると考えられる。また、7割と6割に指示灯を設置する場合の避難行動は、最長避難時間が同じことから、その差は僅少であると言える。

また、危険箇所のすべてに目印を設置する場合と目印を設置しない場合の通過経路を図-3.8と図-3.9に示す。図-3.8と図-3.9を比較すると、目印ありでは通過していないが、目印なしでは通過している経路がある（図-3.10）。これより、目印を設置することで、通行不可能箇所につながる避難路を避けた避難が可能であることがわかる。



図-3.8 目印あり（すべて）の場合の通過経路



図-3.9 目印なしの場合の通過経路

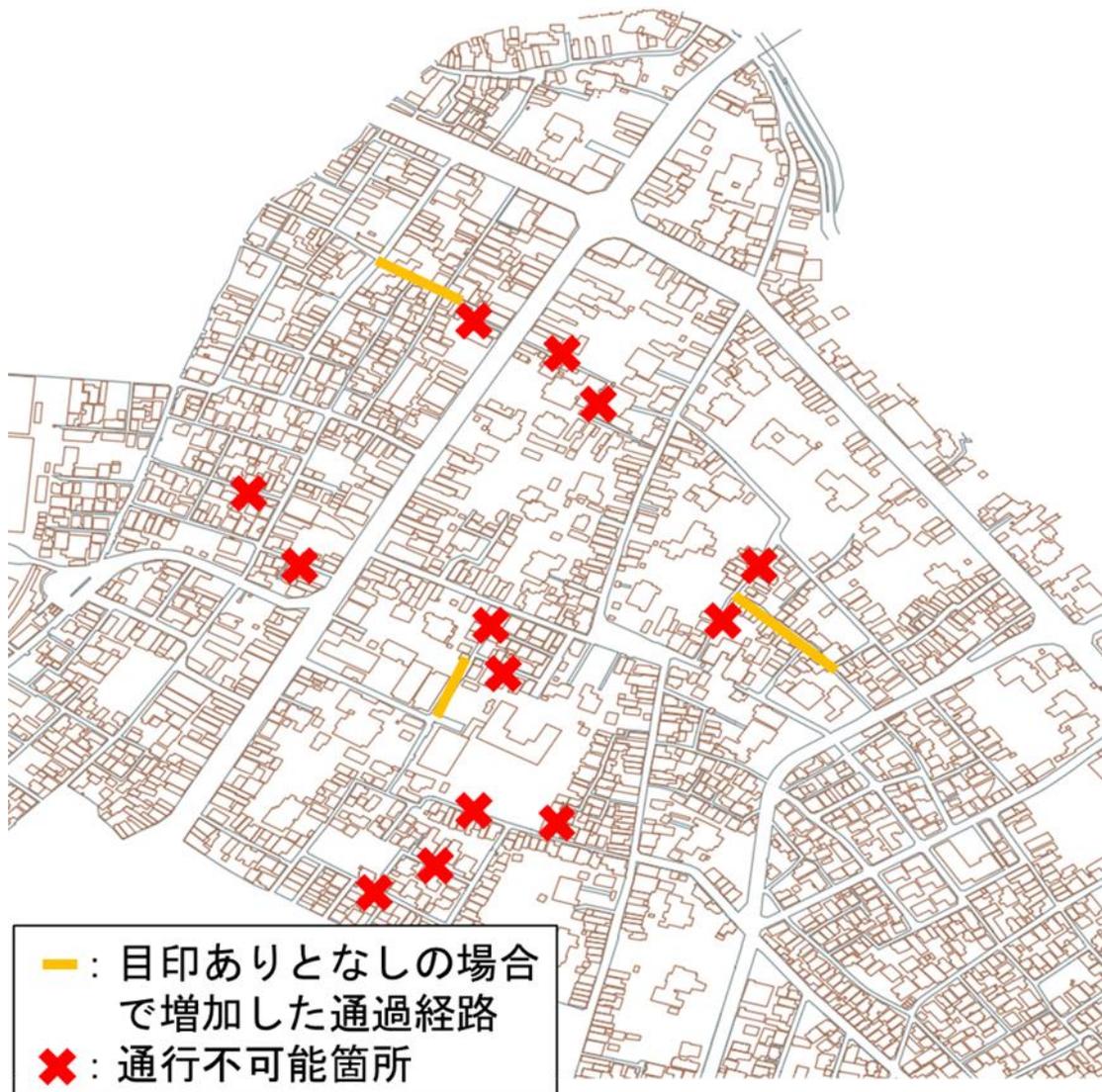


図-3.10 目印ありとなしの場合で増加した通過経路

第4章 結論

4.1 本研究の結論

本研究では、減災案として「避難路の危険箇所には避難指示灯を設置すること」を検討してきた。以下に指示灯の設置箇所についての結論をまとめる。

避難路の危険箇所には避難指示灯を設置することで、危険箇所や通行不可能箇所（危険箇所）につながる避難路を避けた避難が可能であることがわかった。避難時間について、すべての指示灯ありと9割の場合で結果が同じこと、また、9割の場合と7割の場合での最長避難時間の差が、指示灯なしの最長避難時間の約1割減であることから、避難行動時間に影響を与えていると言える。さらに、国土交通省監修の地下駅の火災安全対策の基準⁴⁾が、ホームから避難を開始しコンコースへの避難が完了する時間を7分以下、英国の文化・メディア・スポーツ省発行のスタジアムの設計基準⁴⁾が、観客席から避難を開始し避難施設への避難が完了する時間を8分以下としている。これは過去の研究や、経験から避難者が動揺やストレスを感じずに避難できる上限と解説されており、8分以下の迅速な避難が重要であり、推奨される要因である。

以上より、最適な指示灯の設置箇所は、危険箇所の約9割（12箇所）に設置する場合（図-4.1）がよいと考える。また、④と⑤、⑪と⑫は通行不可能箇所が繋がっているため、指示灯はまとめても効果は変わらない。ゆえに、指示灯を10箇所に設置する場合が最適であると言える。

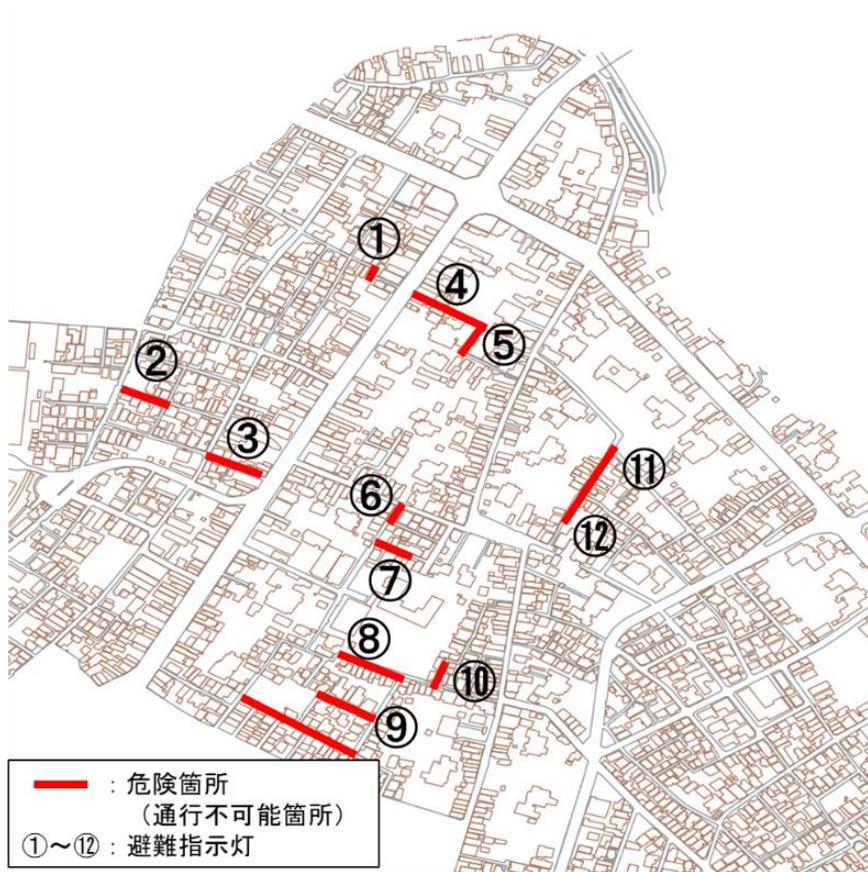


図-4.1 避難指示灯の設置箇所

4.2 今後の方針

本研究では、避難路の危険度に注目し、指示灯の設置箇所を減じた効果について最長避難時間を基に検討したが、今後は、避難者数、避難路を通行する人数や回数にも注目して設置箇所の検討を行う必要があると言える。また、避難指示灯のデザインについて、景観関連条例や住民の意見を考慮して決定していく。

他にも減災案として、一時避難所に住民が集まってから避難所に避難する段階的な避難など、多方面から検討を行っていく。

参考文献

- 1) 山崎智大：避難時における位置情報共有アプリケーションの効果を示す大規模避難実験，平成 30 年度金沢大学学士学位論文，2019.
- 2) 橋爪直人：マルチエージェントシミュレーションを用いた避難経路選択に関する分析，平成 31 年度金沢大学学士学位論文，2020.
- 3) 土岐悦康，高見沢邦郎，井上赫郎，井上隆：「2 項道路」における 4 メートル幅員の意義とその実現について，都市計画論文集，18 巻，pp.344，1983.
DOI <https://doi.org/10.11361/journalcpj.18.343>
- 4) 国土交通省都市局街路交通施設課：地下街の安心避難対策ガイドライン，pp35，2020.

2021 年 2 月 5 日アクセス

謝辞

本研究を遂行するにあたり、研究内容を指導して下さった池本敏和講師、全体ゼミの際、数多くのアドバイスをいただきました宮島昌克教授、村田晶助教、小川福嗣講師に心より感謝申し上げます。

マルチエージェントシミュレーションを用いたモデルの構築に関してご協力いただきました構造計画研究所の玉田正樹様に心より感謝申し上げます。

研究を進めるうえで先輩の山崎智大様と橋爪直人様にはたくさんのアドバイスを頂いたこと、心より感謝致します。

地震工学研究室で楽しく生活できたのは、同輩のB4、先輩方、先生方のおかげです。ありがとうございました。

最後に、4年間何不自由ない大学生活を送らせていただいた両親にこの場を借りて感謝の意を記します。ありがとうございました。

高山恵里花