

地下街浸水時における情報伝達を考慮した避難行動シミュレーション

Simulation of evacuation behavior from flooded underground mall considering information transmission

古田均*, 竹内三保子**, 石垣泰輔***, 戸田圭一****, 島田広昭*****
Hitoshi Furuta, Mihoko Takeuchi, Taisuke Ishigaki, Keiichi Toda, Hiroaki Shimada

*工博, 関西大学教授, 総合情報学部総合情報学科 (〒569-1095 高槻市霊仙寺町 2-1-1)

**富士ゼロックス (〒106-0032 東京都港区六本木 3-1-1)

***工博, 関西大学教授, 環境都市工学部都市システム工学科 (〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35)

****工博, 京都大学教授, 防災研究所 (〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

*****工博, 関西大学専任講師, 環境都市工学部都市システム工学科 (〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35)

Recently, there happens a lot of inland flooding due to the local downpour. In the inland flooding, water tends to pour into undergrounds. Therefore, underground malls may suffer from the high risk caused by inland flooding, because it is always crowded with many passengers and customers. Then, it is necessary and important to prepare an effective evacuation program for the passengers and customers. Although some flood simulation is available, it is desirable to investigate the influence of information transmission. In this study, an attempt is made to develop an evacuation simulation that can take into account the effect of information by using the cell automata technique. A numerical example is presented to illustrate the applicability of the proposed method.

Key Words: Evacuation, flood, information, simulation, underground mall

キーワード: 避難, 浸水, 情報伝達, シミュレーション, 地下街

1. はじめに

近年, 都市部において, 集中豪雨による都市型水害が頻繁に起こっている. 代表的な例として 1999 年の JR 博多駅での地下浸水被害や 2000 年の東海豪雨がある. 都市部に水が流れ込むと, 注意しなければならない場所は地下街である. 地下街は最深部に位置しており, また面積が狭いので水かさが増し, ドアが開かなくなる恐れや, 地下 2 階にある電気設備の部屋が浸水し停電になる恐れがあるなど, 水害時には非常に危険な場所となる.

大阪地下街は普段歩いていても人とぶつかりそうになるくらい, 利用客がとて多い場所である. そのような場所が浸水状態になると地下街の利用客はパニック状態になり, 出口の階段に人が殺到し, さらに将棋倒しなどの 2 次災害を起こす危険性が大きいにある.

しかし地下街では, 災害時にそのような危険な場所になる恐れがあるにも関わらず, 人々の危険意識度がとても低いと言われている. 雨が降っていても, 地下街を利用すると言う利用客が全体の 50% 近くもいることが, 関西大学工学部のアンケート調査の研究¹⁾で明らかとなっている. 大阪では過去に水害による大きな被害が起こっていないため, 大阪の人々は水害を身近な問題として受け止めにくいのが現状である. 東海豪雨における教訓よ

り, 全国の地下街に対して水害への対策を検討することが強く求められている. そのために, 防災についての研究が急務となっている.

既存の研究では京都の御池地下街をモデルに避難シミュレーション²⁾などが行われている. 大阪地下街に対しても, 止水板の数や出入り口の危険度評価に関する研究³⁾が行われている.

本研究では, 内水氾濫による浸水被害が起こった際に, 地下街の利用客に対して非常放送による情報伝達を伝え, その内容を比較する研究を行い, 利用客を迅速かつ安全に地上などの高い所へ避難させることを目的とする.

利用客を避難させるのに重要となってくるのが, 情報伝達の仕方である. 手段や時間, 何回行かうか, その仕方によって地下街を利用する人々の行動も変わってくる. 地下街は健康者だけでなく, お年寄り, 子供, 障害者などの災害弱者も多く利用している. 時間帯, 平日休日の違いによって, 利用する人々の年齢層にも差が出てくる.

そこで, 本研究では, 地下街を利用する時間帯による年齢を調査し, 人々にアンケートを行い, その結果に基づいた情報伝達の強度の比較を行い, 利用客が出口へ避難する様子をシミュレーションによって示す. 適用手法としては, 人は何か災害が起こると自分の判断だけではなく, 周りの状況にあわせて行動することから, 本研究

では、人工生命技術の1つであるセルオートマトンを用いる。セルオートマトンは、簡単なルールで高度な動きを実現できるという利点を持ち、災害時の体制・対策・復旧時の対応、常時の教育・訓練などの備えを検討するのに有効である。

2. 大都市の内水氾濫について

2.1 大都市の内水氾濫と地下街の危険性

(1) 内水氾濫とは

大都市の市街地部で集中豪雨が降ると、マンホールから水が噴き出し、中小河川の堤防を越えて、水が市街地部へ浸水入することがある。河川の計画水位よりも低い低平地では、下水道事業部で排水ポンプを設置し、市街地部が浸水しないように排水している。しかしその能力にも限界があり、結果として浸水してしまう。このような河川から水が直接溢れるのではなく、町や農地に降った雨がそのまま溜まりマンホールから水が溢れてくることによる浸水を「内水」による浸水（内水氾濫）と呼び、河川の堤防が決壊することで氾濫し、浸水する場合を「外水」による浸水（外水氾濫）と呼んでいる（図-1）⁴⁾。

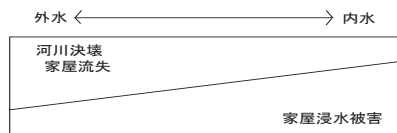


図-1 外水と内水

内水氾濫による被害状況は全国では約半分であるが、東京都など都心部の水害は80%を占めている。都市部の地面は、ほとんどがコンクリートやアスファルトといった水が浸透しない素材で覆われているため、水が地表に溜まりやすくなっている。近年では、ヒートアイランド現象などによる短時間豪雨も合わせて、内水氾濫が起きやすい環境になっている。

このような状況を踏まえ、早急な内水災害への対策が求められており、東京都では、神田川、環状7号線地下調節池と呼ばれる地下巨大トンネルを建設している。しかし、このようなハード対策を行うには多大な費用と時間が必要であり、緊急の対策としても有効ではない。そのため、効果的かつ低コストの緊急対策として、利用客の適切な避難が求められる⁵⁾。

(2) 内水氾濫に対する地下街利用客の危険意識

地下街は低いところに位置するため、水害時にはとても危険な場所となる恐れが高い。しかし地下街の利用客、また地下街を管理する人たちは、水害に対する危険意識度がとても低いことが関西大学工学部によるアンケート調査で示されている¹⁾。図-2に地下街利用客に対しての「大雨時に地下街を利用するか」のアンケート調査結果を示す¹⁾。

図-2によると、「大雨時に地下街を利用する」と答えた利用客が466人のうち61%、つまり284人もいることがわかる。大雨時に地下街は危険な場所になるにも関わらず、そのことを利用客が十分に理解していないということがこの調査結果から判断できる。これに対し、利用客一人一人に地下街は大雨時にとても危険な場

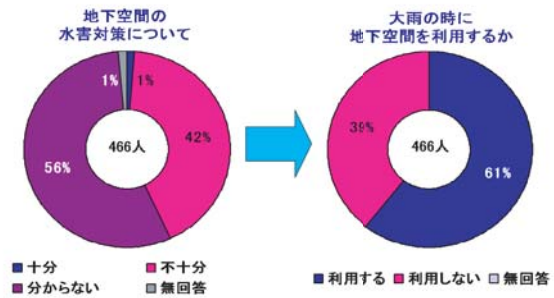


図-2: 大雨時に地下街を利用するかどうか

所となることを提示しなければならない。次に図-3に地下街利用客に対し「地下浸水発生時に避難を始める地下水深」の段階についてのアンケート調査結果を示す¹⁾。

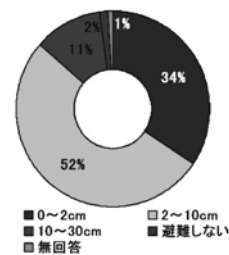


図-3: 地下浸水発生時に避難を始める地下水深

図-3によると、水深0cm~2cmの段階で避難を開始すると解答した利用客が34%、それ以外の人、つまり2cm以上の水深にならないと避難を開始しない利用客が66%もいることがわかる。地下街の水深が全体で2cm以上にもなると、水の流入階段の越流水深がかなり深くなると言える。その状況で階段を上って避難することは困難である。それが全体の66%の人数で全員が階段に殺到すると、将棋倒し等の2次災害の発生する恐れが大いにある。

2.2 地下浸水時における避難行動について

地下街浸水時において地下街の利用客が避難するにあたって、以下のような行動パターンがあると予想され、情報伝達が求められる。

- ・危険を察しすぐ避難する
- ・指示に従う
- ・周りの人の行動に従う
- ・ギリギリの状態になって避難する
- ・避難しない

また、利用客の状態や、起こり得る状況として以下の点が挙げられる。

- ・パニック状態
- ・階段に人が殺到し、将棋倒し等の2次災害
- ・適切な情報伝達がなかった場合の地下街に対して苦情の殺到
- ・災害弱者が避難困難な状態となる

3. 情報伝達について

3.1 大阪地下街の現状対策

大阪は過去に、内水氾濫による大きな水害被害が起こ

っていないのが現状である。そのため、人々の水害に対する危険意識が低い。集中豪雨による都市型水害による対策として、水防法が改正され、大阪地下街に対しても対策をとる必要がでてきた。「ホワイトいうめだ」を代表とする5つの地下街を管理している大阪地下街株式会社は、水害への対策は、非常放送、誘導旗、止水板の3つを現状対策としている。

(1) 非常放送

大阪地下街「ホワイトいうめだ」には常時館内放送の音楽が流れている。非常時に非常放送に切り替わり、利用客やお店に地下街が危なくなることを伝える。水害時には、水が入ってきていない状態であれば有効だと思われる。しかし、地下2階の電気施設に水が流れ込むと地下街は停電になり、非常放送も使えなくなる。

(2) 誘導旗

災害が起こった際に、防災要員が出口付近や地下街通路に立ち、誘導旗を振ることで、利用客を安全な出口へと誘導する。直接避難誘導を行うという点から、利用客を避難させるには有効な手段である。問題点としては、誘導できる人数が限られていること、浸水時には防災要員も避難しなければ危険な状態になる恐れがあること等が挙げられる。

(3) 止水板

ホワイトいうめだには、地上へ繋がる出入り口が接続ビルを経由するものを含め、88ヶ所存在する。そのうち81ヶ所に止水板を設置している。しかし止水板の本来の目的は人を避難させることではなく、物的損害を防ぐものであり、止水板を設置しても、まず利用客を安全に避難させることが第一の課題となる。

(4) 現状における大阪地下街の問題点

利用客や地下街管理者にとって、水害は火災や地震など他の災害よりも危険意識度が低いことは第2章で示した。また大阪は、危険意識度が全国の中でも低い。浸水と言えば福岡と答える人が多く、水害を身近な問題として受け止めにくいのが現状である¹⁾。

3.2 アンケート調査による地下街における情報伝達の効果

地下街は、設計法に基づき20m間隔に外へ出る階段があるので、利用客は特に用事がなければすぐに階段を上ることができる。すなわち、水害時には、自宅と比べて非常に避難しやすい場所だと言うことができる。現在、地下街にある情報伝達手段には誘導旗と非常放送がある。ここでは、地下街の利用客にとって非常放送がどのくらいの影響力があるかを知るため、地下街を利用する20代から60代までの173人に対し、アンケート調査を行った。アンケートの主な内容を表-1に、アンケート結果を表-2にそれぞれ示す。

アンケートの内容

地下街の通路を利用しているときに、以下のような非常放送が1番から間隔をおいて順番に流れてきました。

あなたはどの段階で、地上へ避難しますか?

表-1 情報伝達の種類

情報伝達 1	「大雨洪水警報が発令されました。地下街は危険な場所となります」
情報伝達 2	「淀川の水位が上昇しています。地下街に水が入ってくる恐れが大いにあります」
情報伝達 3	「〇〇付近の階段から水が入ってきています」

表-2 アンケート結果

	情報伝達 1	情報伝達 2	情報伝達 3
避難者	38%	78%	90%
追従者	29%	13%	5%
避難しない	33%	9%	5%

3.3 アンケートの結果と考察

アンケートを実施する前は、非常放送は全く有効ではないと予測していたが、実際調査を行うと、1の段階で逃げると答えた利用客が38%にも達することがわかった。しかしながら、実際に地下街に非常放送が流れた時に、アンケート結果と全く同じ行動が見られるかは定かではない。全く違った行動を取る利用客が多数現れる可能性も大いにある。現時点で、アンケート結果から、内容よりも「非常放送を流すこと」そのものに効果があるということがわかる。また、「避難をしてください」という勧告を付け足すことにより、避難を開始する人数が大幅に増えている。避難する必要性を明確に伝える、非常放送の内容も工夫する必要がある。非常放送は、短く、かつ的確に伝えることが重要である。

4. 人工生命技術

本研究では、人工生命技術である、セルオートマトンを用いてシステムを構築する。ここでは、その技術について簡単に説明する。

4.1 セルオートマトン

セルオートマトン (Cell Automaton) とは、まず解析対象を区分領域に分割し、自分と周りのセルの状態を見て次の自分の状態を決定する手法である。空間全体に対し、単純なルールであるが、生命現象、結晶の成長、乱流など複雑な動きを実現することができる。代表的なセルオートマトンの例に、ライフゲームや交通シミュレーションがある。災害時における人々の避難行動も、複雑な計算式を用いるよりも簡単に避難行動を実現することができる。また、次元、状態、近傍により、様々なものを生み出すことができる。また超並列コンピュータへの応用が期待されている。次に、簡単に1次元セルオートマトンの説明をする。

4.2 1次元セルオートマトン

1次元 3近傍のセルオートマトンのプログラムを作成

する。現在の左隣，自身，右隣の状態を見て，次の状態を決定する。例えばルールを

$$\begin{aligned} f(0, 0, 0) &= 1, & f(0, 0, 1) &= 0, & f(0, 1, 0) &= 1, \\ f(0, 1, 1) &= 0, & f(1, 0, 0) &= 0, & f(1, 0, 1) &= 1, \\ f(1, 1, 0) &= 1, & f(1, 1, 1) &= 1, \end{aligned}$$

とした場合，次の結果になる。(ただし，セルは循環しているものとし，右端のセルの右隣は左端のセル，左端のセルの左隣は右端のセルになる)

初期世代:0011100011
2 世代目:0001001000
3 世代目:1101001011

このルールを使って人間の行動を決定する。

5. システム概要

本研究では，内水氾濫が発生した場合において，非常放送の内容を比較したシミュレーションを行う。対象モデルは大阪地下街株式会社ホワイティうめだを簡略化した地図(図-4)ものを用いる。

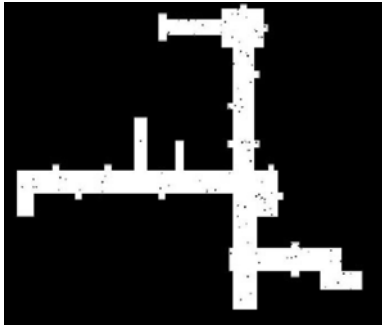


図-4 ホワイティうめだモデル

5. 1 人間のモデル化

利用客の避難行動モデルを表-2 のアンケート結果に沿って，避難者，追従者，避難しない，の3パターンのモデルにわけると(表-3)。本研究の人間の避難行動モデルは，参考文献⁶⁾を参考にしている。

表-3: 人間の行動モデル

	行動
避難者	非常放送が鳴ったら，それぞれ一番近い階段出口に向かう
追従者	周りの人々の行動に沿って次の行動を決定する。
避難しない	地下街をランダムに歩き続ける

またモデルの属性として，次の3つの属性を用いる。

- ・ 向かう方向
- ・ 向かう方向の強さ
- ・ 動く早さ

(1) 視野

人間の属性として，すべての人間に視野を持たせる。視野の範囲は前方と斜め前方向 2 マスずつとする。それぞれ向いている方向のセルの状態を探っていく。視野の条件は以下の通りとする。避難者と避難しない人は，視野内に壁があれば，進む向きを変える。追従者はそれに加え，視野内にいる人の数を数え，自分の次の行動を決定する。

(2) 追従者の方向選択

避難者，追従者，避難しない人は表-4 の内容に従ってそれぞれ行動する。追従者に関しては，人工生命技術のセルオートマトンを取り入れた方向選択を行う。追従者の方向選択に関わる要因は，近傍の人が向かう方向である。近傍の人が向かう方向が多い方向は，選択される確率を高く設定する。具体的に説明すると，自分の一定の範囲内に存在する人々の数を向きごとに数え，そこで，自分がどの方向に進めば良いかの確率を決定する。追従者の周りに 10 人いると仮定した条件例を表-4 に示す。

表-4: 方向選択の条件例

周りの人の人数	10/人
周りの人の向きが北である人数	3/人
周りの人の向きが東である人数	2/人
周りの人の向きが西である人数	1/人
周りの人の向きが南である人数	4/人

表-4 の条件の時，次の式に従って追従者は行動を決定する。

$$\text{北:東:西:南} = 3:2:1:4 \quad (1)$$

式(1) の比を基に，次の計算式で確率的に向かう方向を選択する。この場合，「南」方向が選択される確率が 40% と，最も高い。

$$\text{北へ進む確率} = 3 \div 10 \times 100 = 30\% \quad (2)$$

$$\text{東へ進む確率} = 2 \div 10 \times 100 = 20\% \quad (3)$$

$$\text{西へ進む確率} = 1 \div 10 \times 100 = 10\% \quad (4)$$

$$\text{南へ進む確率} = 4 \div 10 \times 100 = 40\% \quad (5)$$

追従者の行動をこのように設定することで，追従者の周りに避難者が多く集まっていると，最寄りの階段出口に向かう人が多いので，追従者も必然的に出口へ向かい，避難することになる。追従者の周りが避難しない人が多ければ，追従者も出口には向かわずに避難しない人の行動に従って行動する。追従者のフローチャートを図-5 に示す。

5. 2 システムの流れ

シミュレーションをスタートした段階で，非常放送による情報伝達を提示する。避難者，追従者，避難しない人はそれぞれ行動し，階段の出口に到達した段階で避難完了とする。それぞれ 100 ステップずつ行う。

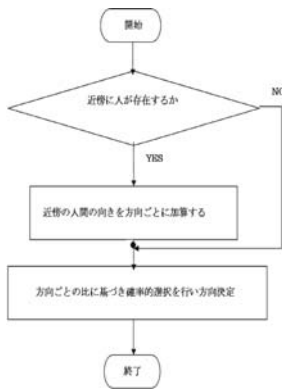


図-5: 追従者の方向選択フローチャート

6. 適用結果と考察

6.1 適用結果

まず、情報伝達 1 のみを適用した結果を図-6 に、情報伝達 2 のみを適用した結果を図-7 に、情報伝達 3 のみを適用した結果を図-8 に示す。

また、情報伝達 1 を適用した実行結果の MAP を図-9 に示す。

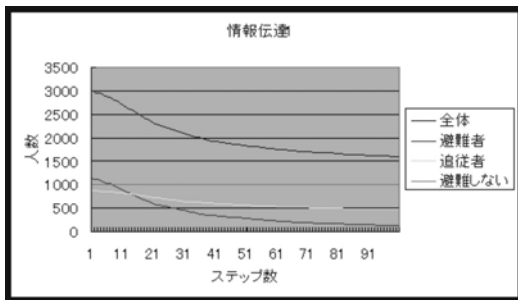


図-6: 情報伝達 1 の適用結果

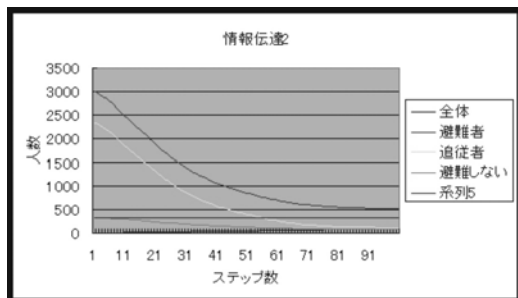


図-7: 情報伝達 2 の適用結果

6.2 考察

当初情報伝達 1 →情報伝達 2 →情報伝達 3 の順番でシミュレーションを行う予定であったが、情報伝達 1 を適用した結果の段階で、人が避難できなくなったので、

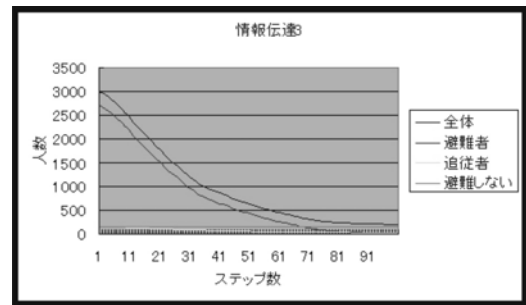


図-8: 情報伝達 3 の適用結果

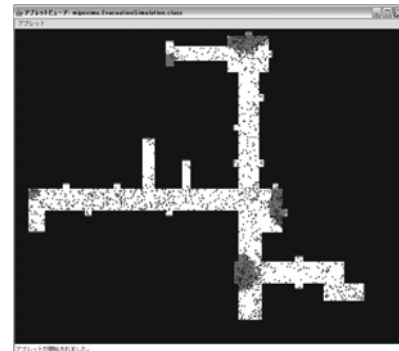


図-9 情報伝達 1 を適用した後の MAP

その状態のままでは次に情報伝達 2 を適用することができなくなった。そこで、それぞれの情報伝達を適用した結果を表示し、それぞれについて考察していく。

情報伝達 1 を適用した結果 (図-6) において、避難する際に階段出口へ人が殺到し、出口付近に人が群がり、30 ステップ目あたりで身動きが取れなくなり、避難ができなくなる人が増える現象が見られた。情報伝達 2 を適用した結果でも、出口に人が殺到し情報伝達 1 の結果と同じような状況が起こったが、情報伝達 1 と比べると比較的混雑はしていなかった。情報伝達 3 の結果では、出口に人が殺到するものの、ほとんどすべての人が 100 ステップで避難を完了する様子を見ることができた。

情報伝達 1 では、避難者が 39%、追従者が 39%、避難しない人が 22%と、情報伝達 2, 3 と比べて追従者と避難しない人の割合が比較的多い。こういったことから、避難者が出口へ向かう際に、追従者、また避難しない人も一緒に巻き込んでしまい、その結果避難者も身動きが取れなくなったという現象が起こったと考えられる。このことに対し、情報伝達 2 の結果では情報伝達 1 の時よりも「避難する」と答えた人が多いことから、出口へ人が殺到したものの、ほとんどの人が「出口へ向かう行動」と同じ行動をしていたことから、情報伝達 1 よりも比較的スムーズに避難を完了できる人数が増えたのではないかと考えられる。

情報伝達 3 を適用した結果では、避難者が 9 割と、情報伝達 1, 2 のアンケート結果と比べ、「避難をする動き」が多いことから、一番スムーズに避難を完了する様子を見ることができたのではないかと考えられる。しかし、避難を完了できているからといって安心はできない。階段出口に人が殺到した時に、将棋倒し等の 2 次災害が起こっている恐れがある。2 次災害が起こっているかをシミュレーション上ではっきりと「起こっている」と断言はできないが、出口へ向かう際に階段に人が群が

っている様子から、起こっている可能性も大いにありと考えられる。

実際の災害で適用結果と同じ現象が起こるのを防ぐために、情報伝達の内容の問題点を挙げる。情報伝達 1 の「大雨洪水警報が発令されています。地下街は危険な場所となります」について、適用結果は避難しようとした利用客の一部が避難できなくなった。このことから、情報伝達 1 の内容に問題があると思われる。

次に、まず「大雨洪水警報」が発令された時点で非常放送を行い、地下街に対して避難勧告を呼びかけることについて考察する。警報が発令された時点で、地下街が浸水状態になる危険性は極めて低い。アンケート調査結果により、非常放送による避難勧告のあり方が利用客にとって、相当の効果があることがわかった。非常放送のタイミングが、利用客が安全に地上へ避難できるかどうか大きく関わってくる。よって、「情報伝達 1」は適切な情報伝達とは言えないと考察できる。

情報伝達 2「淀川の水位が上昇しています。地下街に水が入ってくる恐れが大いにあります。」について考察すると、避難者が情報伝達 1 の時より、スムーズに避難を完了することができた。しかし、さらに避難する利用客を増やすために、どの程度上昇しているのか、またどれくらい危険なのかを具体的に伝える方が良いと考えられる。

情報伝達 3「地下街の〇〇付近の階段から水が入ってきています。」について考察する。シミュレーション結果で出口に人が殺到したものの、具体的な情報が利用客に伝わったことで、ほぼすべての利用客が避難を完了することができたことから、これは適切な情報伝達だと言える。問題点を挙げるとすれば、2 次災害が発生する恐れと、すでに浸水状態になり、利用客がパニック状態になっている時や水の流れが激しい時に伝えても、他の音がうるさく、非常放送自体が聞こえないという状況の可能性が出てくることである。

また、情報伝達 1 の場合において、シミュレーションを何回も行うと、避難できる人数が大きく変わる様子が見られた。避難者の周りに避難者が多いと、避難しやすくなる。それに対し、避難者の周りが追従者や避難しない人など、違う行動をとる人が多いと、避難したくても避難できない状態になってしまう。このことからランダムに配置した初期位置によって、利用客自身が避難を完了できるかどうかが変わってくると言える。

7. 結論と今後の課題

本研究では、大阪地下街に対して、非常放送の情報伝達を考慮した避難行動シミュレーションを行った。実際に地下街利用客に対しアンケートを実施し、現実により近いモデルを設定することで、実際と近い避難行動を観測することができた。それによると、情報伝達 1 を適用した結果では、階段出口付近に人が群がり、避難しようとした利用客の一部が避難できなくなる現象が見られた。情報伝達 2 を適用した結果では、出口に人が殺到したが、情報伝達 1 ほどの混雑は見られなかった。情報伝達 3 になると、ほとんどすべての人が避難を完了する様子を観測することができた。

情報伝達 1 は、アンケートで「避難する」と答えた人数が、情報伝達 2、3 と比べて少ない。その結果、避難者が出口に向かう時に、出口付近にいる追従者、また避難しない人に巻き込まれてしまい、身動きが取れなくなり、避難できない現象が見られた。これに対して、情報

伝達 2 の結果では情報伝達 1 の時よりも避難者が多いことから、情報伝達 1 よりもスムーズに避難できる人数が増えたと考えられる。情報伝達 3 を適用した結果では、避難者が 9 割と、情報伝達 1、2 と比べると多いので、一番スムーズに避難する様子を観測する事ができた。

関西大学工学部のアンケート調査¹⁾によると、地下街の利用客の 66% は地下街の水深が 2cm 以上にならないと避難しないと回答していたが、本研究のアンケート調査では、地下街に水が流れ込んでくる前の「非常放送」による情報伝達の提示で 9 割近くの人が「避難する」と答えた。このことから、災害時には情報伝達による効果が有効であるといえる。しかしながら実際の状況では、利用客がアンケートで答えた内容と全く同じ行動をとるとは限らない。非常放送を全く聞かずに、地下街が浸水した状態、また階段から水が流れてきてから避難を開始する恐れがある。

本研究では通路を歩く客に対し、非常放送で浸水情報を伝え、シミュレーションを行った。しかし、実際の災害時では地下街の各店舗の社員による誘導などの協力を得ることができる。また利用客だけでなく社員の避難についても考えなければならない。

本研究では、浸水を考慮していないが、今後、浸水や、利用客の水に対する情報の設定が必要である。

また本研究ではステップ数で時間を表しており、歩くスピードや浸水までの時間など、時間の正確な推移を取り入れていない。また、地図も簡略化しており、通路の幅や階段までの距離を正確に表してはいない。地図のより正確なデータをモデルに取り入れる必要がある。

従って現実に即したモデルに仕上げるにはこれらを改善することが求められる。

本研究は、平成 18 年度関西大学重点領域研究助成金において、研究課題「都市型水害時における地下空間の危険度評価とその減災対策に関する研究」として研究費を受けたものの成果として公表するものである。

参考文献

- 1) 石垣, 戸田, 馬場, 中川, 井上: 地下空間からの避難困難度に関する実験と調査, 関西大学工学部都市環境工学科環境防災水工学研究室
- 2) 錦織, 戸田, 間島, 岩村: 浸水時の多層地下空間からの避難に関する研究, 河川技術論文集, 第 11 巻, 2005.6.
- 3) 畑中, 山佳: 大規模地下空間出入り口の浸水時避難危険度評価に関する研究, 関西大学卒業論文, 2006.
- 4) わが家の大雨対策「安心な暮らしのために」, (財) 日本建築防災協会
- 5) 西村: 内水氾濫における住民避難に関する研究, 関西大学修士論文, 2005
- 6) 安井: 人工生命技術を用いた地下街の避難行動シミュレーション, 関西大学卒業論文, 2002.

(2007年8月17日受付)