

避難誘導効果の検証に向けた人流計測

山下 倫 央^{†1} 副田 俊 介^{†1} 野田 五十 樹^{†1}

本稿では、2009年2月にリバーウォーク北九州(福岡県北九州市)内の北九州芸術劇場中劇場から約600人が実際に避難をおこなった実働避難訓練における避難者人流の計測結果を報告する。この避難訓練では、訓練参加者は劇場から1階ホールまでの避難を2回おこなった。訓練参加者は、1回目には避難誘導がない状況での避難をおこない、2回目には劇場スタッフによる避難誘導がある状況での避難をおこない、避難誘導の有無が避難完了時間や混雑状況にどのように影響するかを比較した。訓練参加者の動きを、アクティブRFIDシステム、ステレオビジョンカメラ、ノートPC上で稼動する通過人数のカウントアプリケーションによって計測した。訓練参加者の避難状況の計測結果から、避難誘導の効果を確認した。

Pedestrian Flow Measurements for Verification of Evacuation Guidance

TOMOHIISA YAMASHITA,^{†1} SHUNSUKE SOEDA^{†1}
and NODA ITSUKI^{†1}

In this paper, we report the result of the pedestrian traffic measurement of the evacuation drill that 600 participants evacuate from Medium-Hall of Kitakyushu Performing Arts Center in complex facility Riverwalk Kitakyushu in February 2009. An active RFID system, stereo vision camera, and counter application on a laptop PC are used for measurement. As a result of analysis of acquired data, we confirm that the effect of evacuation guidance.

^{†1} 独立行政法人 産業技術総合研究所

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

1. はじめに

本稿では、2009年2月にリバーウォーク北九州(福岡県北九州市)内の北九州芸術劇場中劇場から約600人が実際に避難をおこなった実働避難訓練における避難者人流の計測結果を報告する。アクティブRFIDシステム、ステレオビジョンシステム、ノートPC上で稼動する通過人数のカウントアプリケーションによる計測をおこなった。

施設の構造に詳しくない不特定多数の来場者が多く訪れる大規模な商業施設において、自然的及び人為的な災害が発生した場合、来場者を危険な状況から遠ざけるために、避難誘導は最も分かりやすく有効な方法のひとつである。また、指差誘導や吸着誘導といった避難誘導の効果を検証した研究^{(6),(7)}もおこなわれてる。消防法では大規模施設の自衛消防組織が設置し、在館者の避難誘導をおこなうことが定められている。しかし、どこでどのような災害が発生した場合に、どのような避難誘導をおこなえば、どの程度避難完了時間が短縮されるのかといった具体的な知見は蓄積されていないのが現状である。また、各施設では想定している避難誘導をマニュアル化しているが、幸いにして、それらの避難誘導方法が実際の中で利用されることは極めて稀である。そのため、想定している避難誘導が実際に実行可能であるのか、どの程度の混雑低減や避難時間短縮に対して効果があるのか、といった基礎的な項目に関しても、施設の防災管理者が把握できていないのが現状である。そこで本研究では、避難誘導の有効性を論じる第一歩として、どの程度「避難誘導は有効であるか」を定量的に検証するために、実際に施設から避難する実働避難訓練で、各種センサを用いて訓練参加者の避難行動の計測をおこなう。

2. 実働避難訓練の設定

2.1 実働避難訓練の概要

計測の対象となった2009年2月11日に実施された実働避難訓練では、リバーウォーク北九州 北九州芸術劇場中劇場からの避難がおこなわれた。リバーウォーク北九州は、ショッピングモール、スーパーマーケット、飲食店街、美術館、放送局、シネマコンプレックス、大学、複数企業のオフィスを含む複合商業施設である。北九州芸術劇場中劇場は、リバーウォーク北九州の7・8階の一部を占めている。

今回の訓練では、実際に避難をおこなう避難訓練参加者として、北九州市消防局の協力の下、北九州市の消防団員、防災協会の会員、企業の防火管理者の600人が動員され、訓練に参加した。訓練のシナリオは電話で劇場に爆破予告が入ったという状況が採用された。劇

場管理者が避難開始指示を出し、訓練参加者は中劇場から1階広場に避難する、という事態を想定した。

今回の避難訓練では、600人の訓練参加者が、リバーウォーク北九州の7・8階にある中劇場から1階までの避難が2回実施された。1回目は避難誘導がない避難をおこない、2回目は劇場のスタッフが想定する理想的な避難誘導を実施し避難をおこなった。1回目の避難では、訓練参加者には非常時に利用が想定されている非常口、非常階段等を利用を呼びかけずに、避難中には、押さない、走らないといった基本的な注意事項のみを伝えた。2回目の避難では、劇場スタッフを動員した避難誘導がある状態で避難をおこなった。2回目の避難でおこなわれた避難誘導は、北九州芸術劇場の防災担当者が想定する理想的な避難誘導であり、旗や掛け声で訓練参加者を非常口に誘導するため、劇場スタッフが所定の位置に配置され視差誘導や吸着誘導をおこなった。

今回の実働避難訓練の特徴的な部分としては、2回の避難を方法を変えておこない、定量的に比較することである。従来の訓練においても、想定する避難誘導をおこない、訓練参加者を避難させるということはあったが、どの程度上手いだったのか、上手いかなかったのかという定量的な評価基準がなかった。そこで、今回の訓練では、1回目には避難誘導をせず、防災担当者が全く関与しない避難をおこない、この避難状況を評価基準とする。2回目には避難誘導をおこない、その違いを比較することで、避難誘導の効果を定量的に評価する。

また、北九州芸術劇場では600人規模の訓練者が参加する実働避難訓練を実施した経験がなかった。そのため、2回目の劇場のスタッフが想定する理想的な避難誘導が実際の利用状況に近い状況において実行可能であるかということを検証するという意義もある。そして、2回目の避難誘導が想定しているように実現できれば、1回目と2回目の避難を比較することで、避難誘導はどの程度の効果が上げられるのかを検証する。

2.2 避難経路

訓練で利用された避難経路を示すため、北九州芸術劇場中劇場1階席、2階席を含むリバーウォーク北九州6・7・8階の一部の図面と避難経路の概要を以下に示す。訓練参加者は、図1、2における中劇場1階、2階の1階右前出口、1階右後出口、1階左前出口、1階左後出口、2階右後出口、2階左後出口の6つの出口から中劇場の外に出る。その後、図4に示される4経路を通して1階まで避難することが可能である。

- (1) 中劇場の舞台に向かって左側の非常階段Aを利用し、1階まで下る経路
- (2) 中劇場の舞台に向かって右側の非常階段Bを利用し、1階まで下る経路
- (3) 中劇場1階からリバーウォーク北九州6・7階連絡エスカレータを下り、1～6階連絡

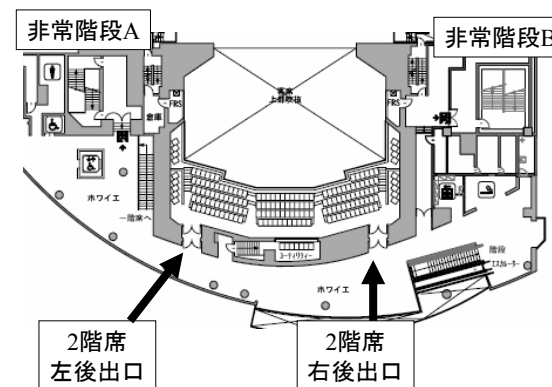


図1 北九州芸術劇場中劇場2階席とその周辺のエリア図面(リバーウォーク北九州8階)

Fig. 1 Ground plan of 2nd floor of Kitakyushu Performing Arts Center (8th floor of RIVERWALK KITAK)

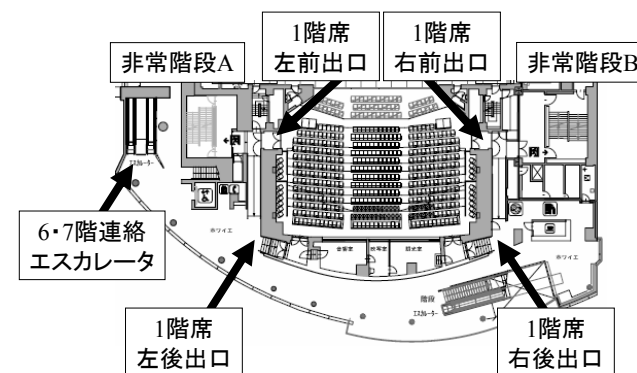


図2 北九州芸術劇場中劇場1階席とその周辺のエリア図面(リバーウォーク北九州7階)

Fig. 2 Ground plan of 1st floor of Kitakyushu Performing Arts Center (7th floor of RIVERWALK KITAKYUSHU)

エスカレータを1階まで下る経路

- (4) 中劇場1階からリバーウォーク北九州6・7階連絡エスカレータを下り、4～6階連絡エスカレータを下り、4階からは1～6階連絡エスカレータに合流し、1階まで下る経路

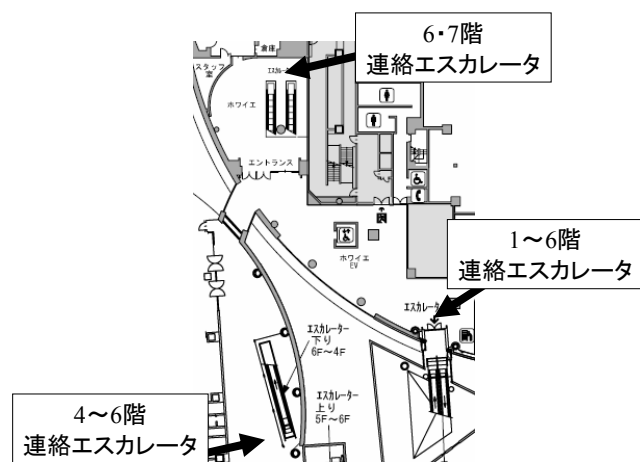


図3 リバーウォーク北九州 6階の図面
 Fig. 3 Ground plan of 6th floor of RIVERWALK KITAKYUSHU

避難1回目では、訓練参加者は上記の4経路のいずれを選ぶべきかの指示や誘導は与えられず、制限なく経路を選択できる。避難2回目では、劇場のスタッフが非常階段A、Bを利用するように訓練参加者を誘導する。また、リバーウォーク北九州6・7階連絡エスカレータを下った後に、1～6階連絡エスカレータを1階まで下る経路のみを利用させるため、4～6階連絡エスカレータへ向かう経路を通過不可とし、誘導スタッフを配置する。避難経路上にエスカレータが多数存在し、訓練参加者はエスカレータを利用して、1階まで移動する。^{*1}その際に、訓練1回目では2系統ある6・7階連絡エスカレータを通常の運転通りの上りと下りに設定し、上りエスカレータは利用不可し、訓練参加者は1系統のみを利用して下るとする。また、訓練2回目では、2系統ある6・7階連絡エスカレータは両方とも利用可能の下りとする。

3. 計測データ

訓練参加者の動きをデジタルビデオカメラ、ノートPC上で稼動する通過人数のカウンタ

^{*1} 訓練の開始時には既にリバーウォーク北九州が開店しており、訓練に参加しない一般来場者もいたため、リバーウォーク北九州内のエスカレータは停止しなかった。

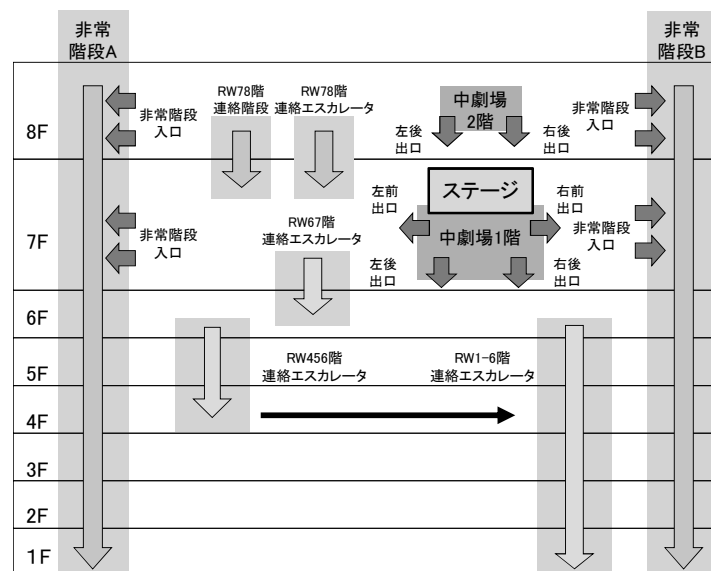


図4 北九州芸術劇場中劇場（リバーウォーク北九州 7,8階）から1階までの避難経路
 Fig. 4 Evacuation route from 7th and 8th floor (Kitakyushu Performing Arts Center) to 1st floor of RIVERWALK KITAKYUSHU

アプリケーション、ステレオビジョンカメラ、アクティブRFIDシステムを用いて計測した。各機器を用いて避難状況を計測した方法と取得したデータを示す。

3.1 デジタルビデオカメラ

デジタルビデオカメラは訓練の状況を記録するために利用する。劇場1階の4箇所の出口へ訓練参加者がどのように移動するかを記録するために4箇所に設置した。図9は、劇場内部において訓練参加者が劇場1階右前出口に移動する様子を記録した動画のスクリーンショットである。

3.2 通過人数カウント

通過人数カウントは、訓練参加者がいつ施設内各所をどのような割合で通過したかを計測するために用いる。

図6に示されるように、訓練参加者があらかじめ設定された通過ラインを通過したときに、カウント要員はノートPC上のアプリケーションを用いて通過時刻を記録する。(1人



図 5 デジタルビデオカメラで撮影した映像例

Fig. 5 Sample shot of the movie recorded by a digital video camera

が通過するたびにアプリケーション上のボタンをクリックすると、通過時刻が自動的に記録される。) このカウント要員は施設内 40 箇所に配置した。

カウント要員によって計測された通過人数に関しては、カウント要員のカウンタアプリケーションに対する練度が低かったため、データとしての精度が下がってしまったことが挙げられる。カウンタアプリによって計測した通過人数を以下に述べる USV で計測したデータと比べると全般的に少ない傾向にある。これは、カウント要員の想定を超えた訓練参加者が一度に設定ラインを通過したため、ノート PC のクリックが間に合わなかったことが原因として挙げられる。そのため、カウント要員によって得られた通過人数は他のセンサによって得られたデータに基づいて補完する必要がある。ただし、経路別の避難完了時間の算出に用いたデータは、各経路の最後の訓練参加者が設定ラインを通過した際にクリックされて取得されたデータであるため、多くの訓練参加者の人数に対してクリック数が少なくなってしまうことに比べて、精度が高いと思われる。

1 階の非常階段 A, B の出口, 1~6 階連絡エスカレータの降口の通過人数カウントデータを集計することで避難完了時間が算出できる。図 7 には、避難開始から、1 階の非常階段 A, B の出口, 1~6 階連絡エスカレータの降口でそれぞれ最後の訓練参加者がカウントされるまでの時間で、各経路における避難完了時間が示されている。避難 1 回目と比べると、2 回目では、いずれの経路でも避難完了時間が短縮されている。また、経路別に見ると、避

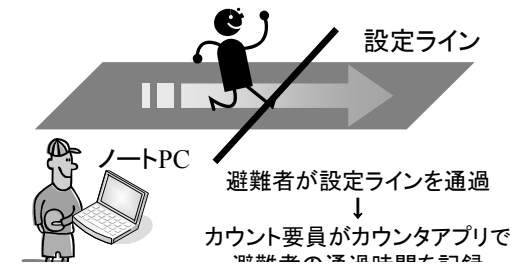


Fig. 6

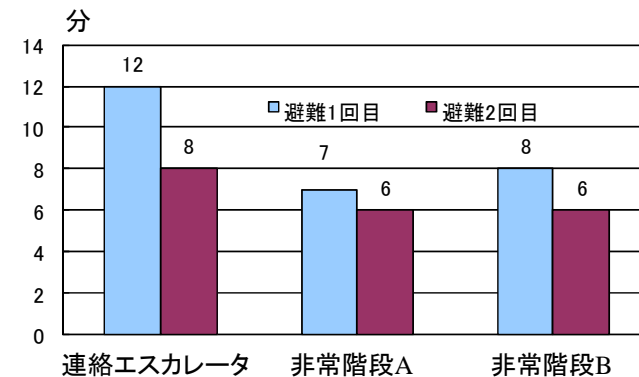


図 7 避難経路別の避難完了時間

Fig. 7 Evacuation time of each evacuation route

難 1 回目, 2 回目の両方において、1~6 階連絡エスカレータを利用するよりも非常階段を利用の方が迅速な避難が実現されている。

図 8 には、各経路を通過した訓練参加者数が示されている。避難 1 回目と比べると、2 回目では、1~6 階連絡エスカレータを利用する訓練参加者が減少し、非常階段 B を利用する訓練参加者が増加している。非常階段 B の利用する参加者が増加しているが、避難完了時間は短くなっている。

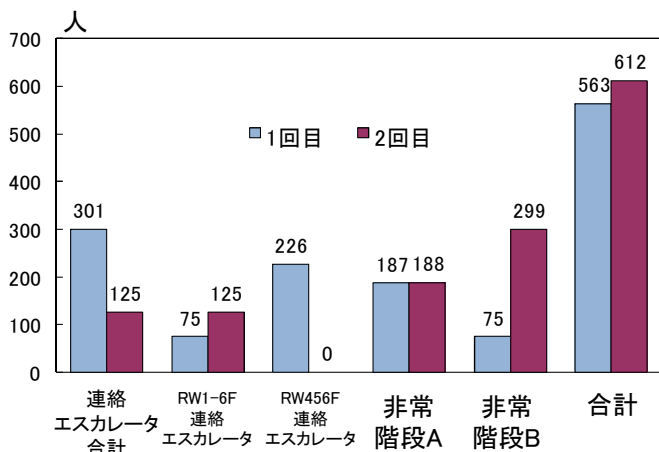


図 8 各避難経路の通過人数

Fig. 8 The number of evacuees choosing each evacuation route

3.3 ステレオビジョンカメラ

ステレオビジョンカメラは範囲内の避難者の動線データの取得するために利用する。ステレオビジョンカメラとしては、産総研で開発されたユビキタスステレオビジョン (Ubiquitous Stereo Vision: USV)^{4),5)} を利用した。USV は二つのカメラの視差を利用して、複数の対象者の頭部を自動認識・追跡する機能を持つため、USV を用いて撮影可能範囲内の訓練参加者数・位置を計測した。USV は地上高 4m に設置すると、約 5m × 5m の範囲の歩行者のデータを取得できる。

今回の避難訓練では、特に訓練参加者が劇場内部から外に出る際に出口前に生じさせる滞留状況を計測するために、中劇場 1 階、2 階の 1 階右前出口、1 階右後出口、1 階左前出口、1 階左後出口、2 階右後出口、2 階左出口の 6 箇所全ての出口 (劇場内部側) の上に USV を設置した。また、6・7 階連絡エスカレータ前の滞留状況を計測するために、6・7 階連絡エスカレータ前に USV1 台を設置した。階段内部での訓練参加者の歩行速度、訓練参加者間の距離を計測するために非常階段 A の内部にも USV1 台を設置した。

図 10, 11 は USV による取得データの範囲を示している。図 10 は劇場出口を通過する訓練参加者を上方から USV で撮影した例であり、図 11 は 6・7 階連絡エスカレータ前を通過する訓練参加者を上方から撮影した例である。

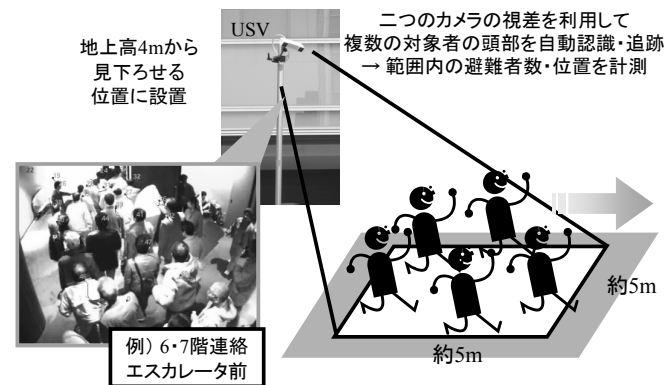


図 9 USV によるデータ取得方法

Fig. 9 Acquisition method of pedestrian data with USV



図 10 USV による取得データ例 (劇場出口を通過する訓練参加者を上方から撮影)

Fig. 10 Sample shot of the movie recorded by USV near the exit



図 11 USV による取得データ例 (6・7 階連絡エスカレータ前を通過した訓練参加者を上方から撮影)

Fig. 11 Sample shot of the movie recorded by USV in front of the escalator from 7F to 6F

図 12, 13, 14 は、USV を用いて計測した劇場 6 箇所の出口を通過する訓練参加者と 6・7 階連絡エスカレータ前を通過する訓練参加者数とその時間変化を表している。図 12 の通過人数をみると、訓練 2 回目の劇場 1 階の左前方出口では、訓練開始直後に他の出口に比べて、通過者数が増加していない。USV で取得された動画を確認すると、訓練参加者がまば

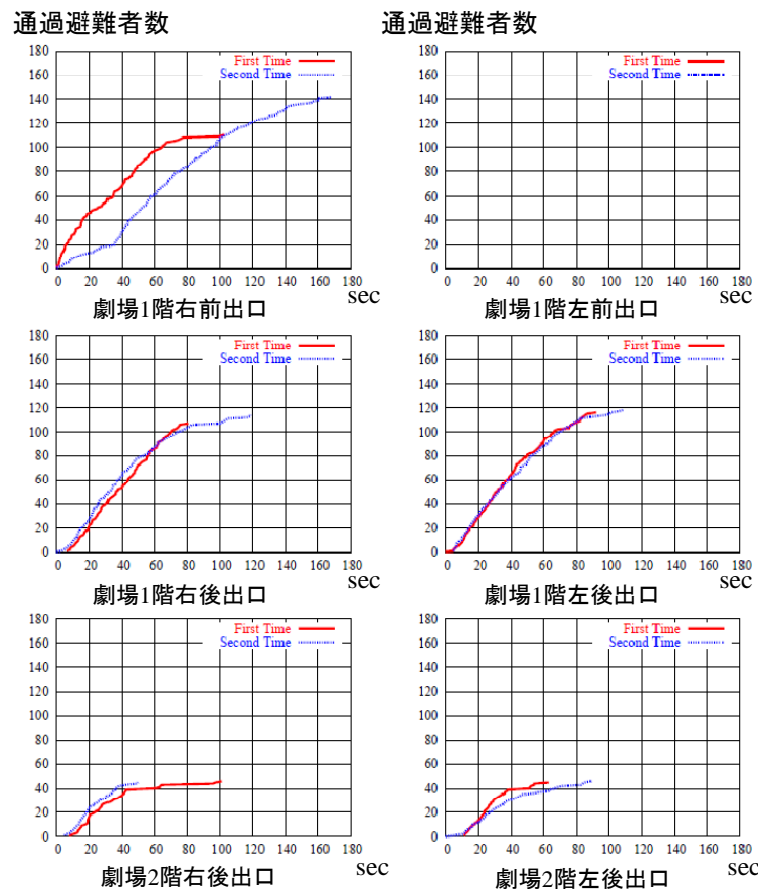


図 12 USV を用いたデータの取得結果 (劇場出口を通過した訓練参加者数の時間変化)
Fig. 12 Time series of the number of evacuees passing through the exit

らに通過しているわけではなく、滞留が発生していることが分かった。訓練後の劇場スタッフへのヒアリングの結果、2 回目の避難開始の際に、劇場スタッフがドアを開けるのが遅れたことが原因であることが確認された。

図 13 の各扉の通過者数を見ると、避難 1 回目と 2 回目で大きな違いは見られない。図 14

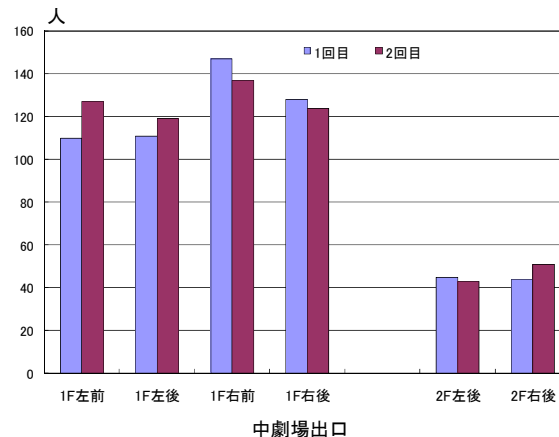


図 13 USV を用いたデータの取得結果 (劇場出口を通過した訓練参加者数の比較)
Fig. 13 The number of evacuees passing through the exit

の通過人数をみると、避難 1 回目比べて、避難 2 回目のエスカレータの総通過人数が減少している。また、避難 2 回目では 2 系統のエスカレータを下りとしているので、避難 1 回目の 1 系統の場合に比べて、通過人数の増加が早い。

3.4 アクティブ RFID システム

アクティブ RFID システムは、タグを持った訓練参加者がどのような経路を通過して 1 階まで避難したか、また RFID レシーバの付近を通過した時刻を把握するために利用する。

アクティブ RFID システムは、図 15 に示されるように、ユニークな ID を発信する RFID タグ (ストラップを利用して訓練参加者の首に提げる)、タグの発信する ID を受信する RFID アンテナと RFID レシーバ、レシーバの受信したデータを蓄積するサーバからなる。取得するデータとしては、RFID レシーバの ID、検知したタグ ID、タグ ID を検知した時刻の系列となる。RFID レシーバ (アンテナ) は、付近にある RFID タグの ID を受信するため、タグの正確な位置を把握することはできない。そのため、アンテナの近くの大まかな通過時刻しか算出できない。今回の計測では、アンテナから約 5m 程度の位置でもタグ ID を受信していた。

今回利用した RFID タグの ID 発信間隔は 0.5 秒に設定し、RFID タグ 450 個を訓練参加者に配布し、ストラップを利用して首に提げた。北九州芸術劇場及びリバーウォーク北九州

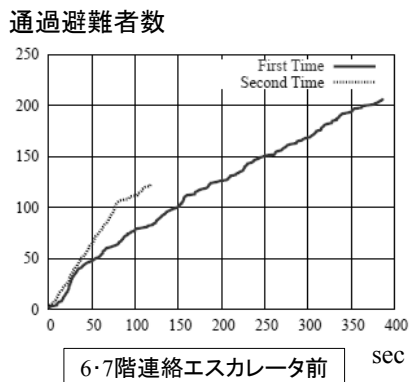


図 14 USV を用いたデータの取得結果 (6・7 階連絡エスカレータ前を通過する訓練参加者数)
Fig. 14 Time series of the number of evacuees passing through the escalator from 7F to 6F

の施設内 28 箇

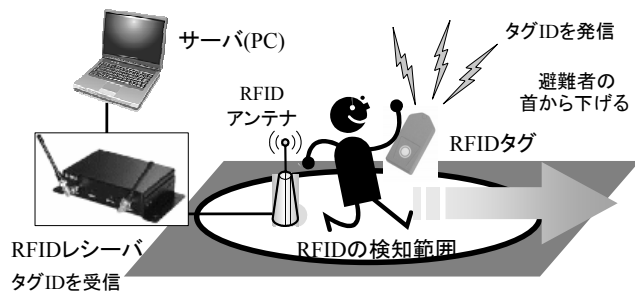


図 15 アクティブ RFID システムによるデータ取得方法
Fig. 15 Acquisition method of pedestrian data with the active RFID system

図 16, 17 は避難訓練 1 回目と 2 回目の訓練参加者が通過した劇場出口とその後を選択した避難経路の関係を表している。避難訓練 1 回目と 2 回目を比較すると、1 回目と同じ出口を通過した避難者がその後異なる経路を選択している割合が多いのに比べて、2 回目では同じ出口を通過するとその後も同じ経路を選択する割合が多い。また、避難誘導に関

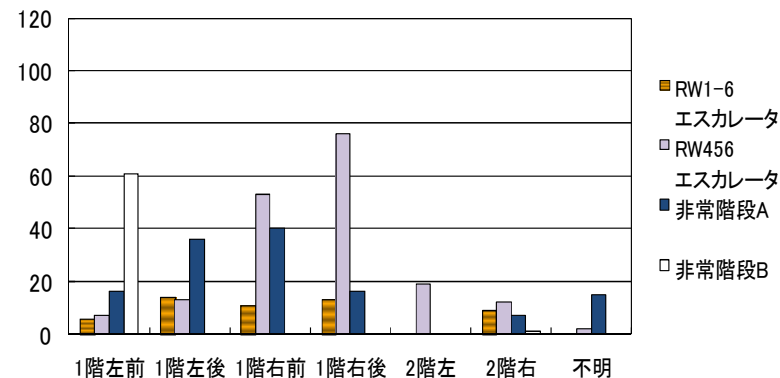


図 16 通過した出口と選択した避難経路の関係 (避難訓練 1 回目：避難誘導なし)

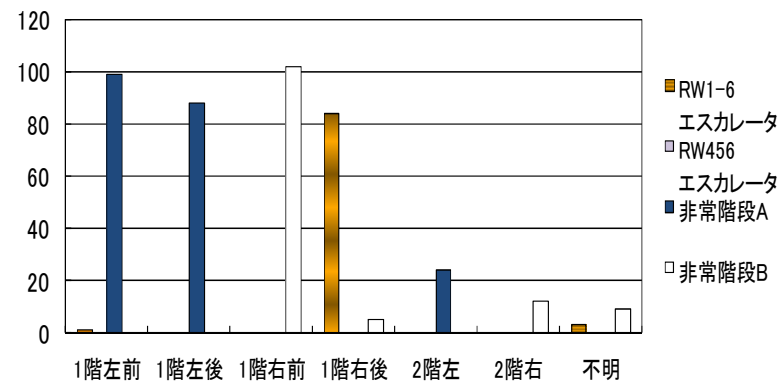


図 17 通過した出口と選択した避難経路の関係 (避難訓練 2 回目：避難誘導あり)
Fig. 17 Relationship between the exit and evacuation route in the second evacuation

して、2 回目ではできるだけ非常階段を使わせるようにして、非常階段に 6・7 階連絡エスカレータを多用させないという方針があったため、1 回目比べて 2 回目では 6・7 階連絡エスカレータの利用者が減り、方針が反映される結果となった。

4. 考 察

2度の避難訓練を比較することで、避難誘導によって非常階段を利用する訓練参加者が増加し、混雑の発生しやすい箇所を通過する訓練参加者が減少することで、北九州芸術劇場中ホールからリバーウォーク北九州の1階までの避難完了時間を12分から8分へと短縮した。ただし、USVの計測データからは、単に劇場から避難するだけであるならば、誘導の有無はあまり影響しないことも確認した。そのため、単に劇場の外に出れば安全が確保される場合とリバーウォーク北九州の外に出れば安全が確保される場合に分けて、避難誘導をおこなうことも考えられる。しかし、状況に合わせて避難方法を変えることは、避難経路を予め複数準備し、発生した災害に対して適切な経路へ誘導することは、災害の発生状況を的確に把握できない場合に、危険箇所への流入増加をおこして、かえって被害を拡大してしまう可能性があるため、防災担当者の立場からは導入することは難しい。また、避難経路の選択肢を増やすと、かえって避難対象者に混乱を招く危険性もある。

施設に慣れていない人にとって、自ら非常口を開けて非常階段を利用することに対して心理的な抵抗があることが十分に考えられる。そのため、避難誘導をおこなう際には、避難誘導員が非常階段は災害発生箇所ではなく安全であることを確認した後、避難対象者を非常階段まで避難誘導することが迅速な避難を実現するために有効であると思われる。また、避難誘導をされる側も、非常階段が有効な避難経路となりうることを知っておく必要がある。さらに、迅速な避難誘導の開始のためには、非常階段へ誘導する側とされる側が共通して、非常階段は避難経路としては有効であるという認識を持つことが重要である。^{*1}

5. おわりに

本稿では、リバーウォーク北九州内の北九州芸術劇場中劇場から約600人が実際に避難をおこなった実働避難訓練において避難者の挙動を計測した。訓練参加者の動きを、アクティブRFIDシステム、ステレオビジョンカメラ、カウンタアプリケーションを用いて計測した。この避難訓練では、訓練参加者は劇場から1階ホールまでの避難を2回おこなった。避難1回目では避難誘導がない状態で避難をおこない、避難2回目では北九州芸術劇場の防災担当者が想定している避難誘導によって避難をおこなった。この2回の避難訓練の比較

から、想定している避難誘導方法が避難完了時間の短縮や混雑の低減に有効であることを確認した。また、訓練参加者の避難状況の計測結果から、防災管理者等がおこなうべき避難誘導に関する考察をおこなった。

謝辞 本研究は文部科学省平成19年度安全・安心科学技術プロジェクト「有害危険物質の拡散被害予測と減災対策研究」によりおこなわれました。また、実働避難訓練の実施や訓練参加者の計測にあたり、全面的に協力していただいた北九州市消防局、リバーウォーク北九州、北九州芸術劇場、北九州市立大学の関係者の皆様に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Nara, M., Kato, S., Huang, H., and Zhu, S.W. (2006) Numerical analysis of fire on disasters with "EVE SAYFA", a fire simulator, and its validation? LES for thermal plume. Summaries of Technical Papers of 2006 Annual Meeting of Architectural Institute of Japan. pp. 317-318, (In Japanese).
- 2) Ohba, R., Kouchi, A., and Hara, T. (2007) Hazard Projection System of Intentional Attack in Urban Area. 11th Annual George Mason University, Conference on "Atmospheric Transport and Dispersion Modeling" (Poster).
- 3) Ohba, R., Yamashita, T., Ukai, O., and Kato, S. (2008) Development of Hazard Prediction System for Intentional Attacks in Urban Areas. Seventh International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia (USMCA2008). pp. 687-696.
- 4) 大西正輝, 依田育士, "動線の軌跡と滞留に着目した動作解析", 電子情報通信学会技術報告 PRMU pp.293-298, 2009.
- 5) 大西正輝, 依田育士, "ファジイクラスティングを用いたステレオ映像からの動線抽出", 電気学会論文誌 C 電子・情報・システム部門誌 128-9, pp.1438-1446, 2009.
- 6) 杉万敏夫, 三隅二不二, 佐古秀一, "緊急避難状況における避難誘導方法に関するアクション・リサーチ 1", 実験社会心理学研究, Vol.22, No.2, pp.95-96, 1984.
- 7) 杉万敏夫, 三隅二不二, "緊急避難状況における避難誘導方法に関するアクション・リサーチ 2", 実験社会心理学研究, Vol.23, No.2, pp.107-115, 1984.

*1 ただし、この知見は、今回の2度の避難訓練における、2回の避難行動を比較した結果に基づくものであるため、今後も避難行動に関する定量的なデータを蓄積していくことが重要である。