

地下駅舎における出口探索時の行動特性に関する実験的研究 Experimental study for evacuation planning of subway stations

佐藤 歩¹・西田 幸夫²・市原 茂³・辻本 誠⁴

Ayumu SATO・Yukio NISHIDA・Shigeru ICHIHARA・Makoto TSUJIMOTO

One of the base on the fire safety planning is that evacuation route is simple and short distance. But now, ground space in urban is more complex sterically-congested than ever. With regard to subway station, the platform is 40m over in depth and the evacuation route is not simple, more complex.

Our aim in this paper is to show the concern exercise indicators and psychological indicators from experiment result.

We have the exploratory experiment for exit in 4 kinds of subway stations. — the platform's depth is shallow or deep; the evacuation route is simple or complex. We direct test subjects to go ahead to minimum distance route from platform to ground, moving on one's own judgment in case of firing in the platform of subway station.

The analysis suggests as follow, (1) the psychology load is increased in proportion to the evacuation time and to the physical strength, (2) the turning point is about 15~25kcal for calories-out, about 2~3minutis for time, (3) the evacuation time depend on finding stairs to the gate in the concourse level, choosing a course to an exit above the ground in the gate level.

Key Words : subway station, exploratory behavior for exit, evacuation route from fire, field experiment

1. はじめに

不特定多数が利用する公共交通施設の安全性を語る時, 日常時はさることながら, 非常時についてもその考慮は欠かすことができない. 特に地下空間の火災は, その頻度は少ないが, 一度発生すると大きな災害になるとされている. これは, 空間の密閉性による煙の影響が大きいことや避難時の支障が生じることから, 既往研究^{1), 2)}でも地下空間の避難の重要性が語られている.

また, 地上空間での避難と比較して, 地下空間の安全水準は異なる. 例えば, 煙の向きと避難方向の関係について, 地上からの避難では, 火点階から一層分降りれば, 煙は下へ降りてこないのに対し, 地下空間では, その方向が同じであることから, 地上まで到達しないとその安全性は確保されていない.

避難安全設計では, 避難完了時間と煙降下時間の比較によって, 火災避難安全について評価しているが, 避難時の体力的負荷は考慮されていない. しかし, 水平歩行時と階段上り時を比較して, 消費エネルギーが2~3倍多く, 地下駅舎の避難では40m以上の深度を有する場合もあり, 階段上り動作が多くなる. また, 避難者は, 迷うことなく最短経路で地上まで辿るという前提で避難時間を算出するが, 地下駅舎では, 従来1本道の避難経路が複数の連絡通路があり, 実際の避難時に前提通りになるか, 定かではない. 本研究では, フィールド実験からそれらを明らかにする.

キーワード: 地下駅舎 出口探索行動 避難経路 フィールド実験

¹非会員 東京理科大学大学院 理工学研究科 建築学専攻 火災科学コース博士課程

²正会員 東京理科大学 総合研究機構 火災科学研究センター COE 技術者

³正会員 首都大学東京 都市教養学部人文社会系 心理学研究室 教授

⁴非会員 東京理科大学 工学部 第2部建築学科 教授

2. 目的

避難経路の明快性は、避難安全設計の基本の一つである。しかし、都市の地下空間は、地下施設の増加により、立体的に複雑になっている。特に、地下駅舎の中には、大深度化や他線への乗換通路設置により、従来1本道であった避難経路が、駅構内に分岐点を有することで複雑になっている。また、非常時にエレベーター、エスカレーターが使えないことを加味すると、地下駅舎空間の非常時の危険性が増大しているように筆者は考えている。

本研究は、実際の駅舎でフィールド実験を行い、実験条件として地下駅舎ホームから地上までの経路が自己判断のもと最短経路になるよう指示された被験者の探索行動の分析を行い、その探索行動における運動指標と心理指標の関係を把握することを目的とする。

3. 研究の構成

実験駅の選定について、ホーム深度が浅いか、深いかという指標と、避難経路が単純か、複雑かという指標から4駅を選ぶ。そして、実験駅ごとに、避難を想定した出口探索実験を行い、実験から測定された探索時間、水平歩行距離、身体負荷の運動指標と、実験後に得たアンケートによる心理指標との関係をもとに、心理量の限界がどのくらいの物理量に値するかを導き、分析する。

4. 既往研究

地下鉄道火災において、多大な被害を出した事例は、過去日本ではない。海外の事例で詳細な報告がなされている例として韓国大邱地下鉄火災があり、地下鉄道の火災避難行動の事例的研究^{3), 4), 5), 6)}として報告されている。問題点として、駅舎の排煙能力や、駅員による火災初期時の避難誘導、初期消火活動が有効に行われなかった等が挙げられる。また、定性的にいわれていた地下空間での避難困難性について、興味深い点が挙げられる。例えば、生存者のなかで誘導灯を頼りに避難した者は、一人もいなかったこと。煙により、照明の明るさが失われ、階段等見つけるのに時間を要したこと。避難したコンコース層にて地上出口に通じる階段に至ることが困難であった等の状況報告がなされている。このように実際の火災事例報告からも、地下駅舎からの火災避難時に地上へ通じる階段を見つけることの困難性が明らかであるが、階段位置等避難経路の明快性について具体的基準はない。

また、地下空間の避難実験に関する既往研究として、以下にいくつか挙げる。

市原ら⁷⁾は、大深度地下駅舎での、高齢被験者と学生被験者を比較した身体的負担の違いに着目した実験を行った。これは、40m以上の深度を有する地下駅舎において、ホームから地上までの避難を想定し、予め決められた経路を実際に歩行して、その階段上昇による身体的負担について、心拍計測定から高齢者群と学生群の比較実験検討を行った。その結果、高齢者群が、学生群よりその生体負担が高いことが確認された。

森山ら⁸⁾は、大規模地下街における避難行動特性に関する実験的研究を行った。大規模地下街で、避難実験を行い、その避難行動特性について考察した。平面状に広がった地下空間で、交差点における経路選択について、出口前を素通りする確率、避難者タイプ(単独健常者、群集健常者、インスタントシニア着装健常者)の避難行動特性について考察した。到達出口、到達時間、到達人数にばらつきが発生した原因として、交差点における経路選択、出口を素通りする確率、避難者タイプによる行動特性の違いであると結論づけている。特に単独健常者の避難行動特性は、情報量やその収集能力が少ないことから、群集健常者と比較して、時間を要する結果となった。

大野ら⁹⁾は、地下駅舎の避難誘導アナウンスの有効性に関する研究を行った。実際の地下駅舎で、アナウンス誘導による初動避難行動の動向について実験を行った。その結果、避難時には細かな指示を含めるべきという提言をしている。また、下向き階段により避難することについて、その心理的な抵抗感が確認された。

文野ら¹⁰⁾は、地下街空間において避難実験を行った。これは、非常照明を含めた照明の有無、出口制限等の実験条件ごとに、避難時間測定やアンケートを実施した。地上への避難においては、避難可能経路について正しい誘導あるいは情報の提供を速やかに行うことを提案した。

また、加藤ら¹¹⁾は、地下街で目標探索時に案内サイン、標識がどのように利用され、非常口表示・案内がどのように認知されているかについて調査した。その結果、目標探索時ではサイン等が、他の探索手段と比較して利用

頻度が高かった。しかし、その設置数の認知については、実際に設置されている数よりも非常に少なく、非常口表示や避難口の案内の認知の割合も少ないことが示された。このことから、日常時に見つけることが困難な標示や案内が多いことは、非常時にはおそらくその認知について困難なことが予想され、混乱の誘引する一因になりかねないことを指摘した。

また、萩原ら¹²⁾は、地下空間の避難を想定した、高層ビルの階段を上がる実験を行った。深さに応じた歩行速度が見出され、歩行速度と疲労感に関するアンケートから、避難時の体力的限界として、3つのレベルが存在し、地下空間からの避難は、疲労を考慮して深さに応じた避難計画とすべきだと提案したが、具体的な体力負荷量との関係は明らかにしていない。

避難時の行動特性について考察した文献はあるが、地下駅舎の避難時の身体的負荷について具体的指標と、心理的指標の関係を用いて考察した文献は見付けられない。

5. 定義

実際の火災避難時は、煙による生体的影響や避難経路の視認性の低下、避難者の心理的圧迫感等、その影響は多岐に渡る。しかし、被験者を用いた避難実験を行うとき、実験で再現できる状況は限定的である。

本実験では、実際の地下駅舎の営業中に行ったもので、実際の火災時と比較すると、非常に限定された状況であり、以下について定義する必要がある。

(1)、(2)は、実験上想定される出口探索行動と火災状況について定義した。(3)から(6)は、実験から算出される測定値について定義した。

(1) 出口探索行動

空間のわかりやすさと目的探索行動を結びつけた研究は多数なされている。ある地点から目標地点までの探索歩行時の経路選択機構や情報収集機構について研究されたものである。本研究での探索行動は、空間の全体像がつかめなくとも、最短経路の地上出口にたどり着くかという点で異なる。

また、実際の火災避難時の出口探索行動と比較して、煙等の影響による心理的切迫感や群集流動時の心理的負荷や避難の滞留時間については範囲外とする。

(2) 実験上想定される火災状況

実験は、実際の地下駅舎で営業中に実施したため、他の乗客への影響を考慮した結果、実際の火災避難状況と照らし合わせて、以下の通りとした。避難者は、ホーム上で火災発生を確認し、地上まで避難開始する。地上までの経路は、自己判断で地上までなるべく迅速に最短経路で避難を試みる。火災進展状況は、初期であり、火煙等の影響はない。また、駅員等の避難誘導はない。避難者は、他の乗客の追従行動はなく、又は集団の先頭に立った状態を想定した。

本想定では、駅員の避難誘導が行われなかった場合、避難者はどのような経路を辿って地上出口を目指すのかフィールド実験から明らかにしたものであり、特に避難集団の先頭者の成否によって、後続の避難者が無事地上まで辿り着けるか等、大いに影響を与えることが考えられ、本実験から得られた知見は、重要な意義を持つ。

(3) 水平歩行距離

ビデオ画像から探索経路の軌跡を1/200の平面図上に手書きで記入する。それに基づいて、CADソフトを用いてその軌跡を入力し、その探索歩行距離となる周りの長さを実スケールにあわせた。

(4) 探索時間

駅空間内を大きくコンコース層、改札層に分け、ホーム層～ホーム階段～改札層～改札通過～地上階段～地上出口について部分ごとに、ビデオ画像から各水平部分、各階段部分にラップ時間を算出した。

(5) 平均歩行速度

水平歩行距離を探索時間で除して算出した。ただし、踊り場部分は、距離が短いことから、階段部分とみなす。また、改札ラッチ通過時の歩行速度低下については、短距離のため、考慮しない。

(6) 身体負荷

ある運動時の身体的強度の指標として、運動強度 RMR (Relative Metabolic Rate) が挙げられる¹³⁾。

運動強度は、ドレッドミドル等を用いて呼気ガスの成分分析を行うことによって得られる酸素摂取量から算出可能であり、例えば水平歩行時では、歩行速度に応じて運動強度は増加する。図-1¹⁴⁾の数値を用いて運動強度を決定した。

以上より、ある運動時のエネルギー消費量 E_w は、式(1)のようにその運動強度 RMR と、被験者の年齢、性別、体重により決定される基礎代謝率 BMR と体重 w と運動時間 t_w の積で求めることができる。それらを用いて、ホームから地上までの探索時運動代謝量を、消費カロリーとして、それぞれの歩行形態とその運動時間の積の総和から、算出した。

$$E_w = (RMR + 1.2) \times BMR \times t_w \times w \quad (5-1)$$

ただし、水平歩行時の運動強度は、各層ごとの平均水平歩行速度に応じた値を用いた。また、階段昇降時の運動強度については、歩行速度に応じた値はなく、一定の値を用いた。

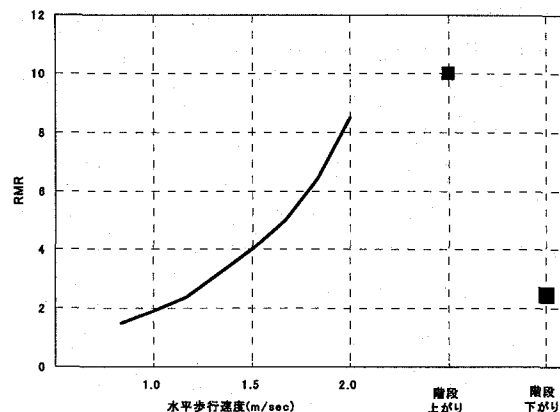


図-1 速度に応じた水平歩行、階段上がり下り時の運動強度の関係

6. 実験の概要

(1) 実験日時と被験者

2007年4月14日土曜日に実施した。平日と比較して、乗客の利用が少ない曜日とした。実験合計時間は、移動時間を含め、約3時間であった。全体を午前と午後の部に分けた。被験者は、22才から28才までの健常な男性8人、女性8人の合計16名であった。4つの実験駅を初めて利用する被験者を全て確保することは困難であると考え、実験後にその実験駅の利用頻度を確認した。被験者には、事前に実験駅について知らせなかった。

(2) 被験者への教示内容

火災避難を想定した実験であり、ホーム上の指定された階段口から地上へ目指すこととした。地上への経路については、自分が最短経路であると判断した経路を辿ることとした。EV、ESは使用せず、階段のみを利用することとした。また、立ち止まらず、歩行しながら、案内板、サイン等の情報を得ながら、改札を経て最短地上出口を目指すこととした。また、人に道を尋ねないこととした。

(3) 実験対象駅の選定

地下駅舎の空間構成は、階層ごとにみると、ホーム層、他線乗換通路等を有するコンコースレベル、改札層があり、それらをつなぐ縦動線として、ホーム階段、地上階段、乗換階段、エレベーター（以下EV）、エスカレーター（以下ES）に分類される。

ここで、避難の容易性とは、地上出口まで体力的負荷がかかり過ぎないことと、地上出口まで迷わない避難経路であると仮定し、その二つの基準から実験対象駅を選定した。

まず、ホーム深度が浅いか（10～20m）（以下、浅）、深いか（30～40m）（以下、深）の基準と、次に、避難経路上のホーム層と改札層の間に複層のコンコースを有しているか否か（単純・複雑）という基準を用いた。

それらを用いて、実際に東京都内の地下駅舎を調査した上で、主観的な判断から、4駅を選定した。その結果、A駅〈浅・単純〉、B駅〈浅・複雑〉、C駅〈深・単純〉、D駅〈深・複雑〉とした。

ホーム深度とは、ホーム中央部レベルとその上部の地上レベルとの高低差を示す。

(4) 実験駅の特徴

ここでは、実験駅とその乗換可能駅との建設経緯及び、実験想定範囲の概要について記載する。また、各実験駅の空間構成は、図-2 に示す。

a) A 駅

ホーム深度は、10.3mで、乗換はなく単純な避難経路に属する。開業は、実験駅の中で最も古く、1932 年である。

階層は、ホーム層、改札層の 2 層からなる。ホームにはそれぞれの両端に階段が 2 箇所あり、実験スタートとなる階段（以下、実験スタート階段）を上ると、改札に出る。改札を通過すると、左右 2 手に分かれ、それぞれ出口階段がある。左手すぐの出口階段を上ると、地下店舗前を通り抜けて、地上へ到達する。また、改札右手後ろに、もう一つの出口階段がある。他路線への乗換はできない。ホーム形式は島式である。

b) B 駅

B 駅は、b1 線にあり、3 線への乗換ができ、浅く複雑な駅に属す。b2 線は、b1 線の上部で立体的に交差し、b1 線の端部で b3 線が交差している。b1 線ホーム上の実験スタート階段を上ると、道なりに左手 90 度の折れ、さらに階段を上る。同様にして、道なりに左手 90 度の折れ、さらに階段を上る。すると、b2 線ホームに出る。左手折れると、T 字路へ出る。右手は、下り階段を経て、b3 線に通じる連絡通路であり、左手は、上り階段を経て、改札へ通じている。改札は、3 面あり、最短経路なら、左手の改札を通過する。その後左右二手に分かれる。それぞれの出口階段を上ると、地上へ到達する。

ホームの深度はそれぞれ、b1 線 18.1m、b2 線 9.5m、b3 線 12.9m である。B 駅の開業は、1967 年で、階層は、ホーム層、b1 線ホーム及び b3 線乗換通路を有する層、改札層の 3 層からなる。b2 線は、1932 年の建設時、島式ホームであったが、1967 年 b1 線、1963 年 b3 線が開通し乗換ができるようになると、混雑が一層増大した。その混雑緩和のため、1985 年に新たに b2 線新ホームと b1 線 b2 線連絡通路階段、コンコースの拡張、地上出口の増設がなされた¹⁵⁾。その結果、b2 線は変形相対ホームとなり、また、b1 線ホームから b2 線新ホームへの直接連絡通路が増設された。本実験の実験範囲は、主にその増設された連絡階段通路であり、増設時には新設時と異なり、既存部分とのつながり等大きな制約があり、複雑な経路になった背景がある。

c) C 駅

C 駅は、c1 線にあり、深く単純な駅に属す。実験想定範囲では、1 線に連絡可能で、その階段配置は、折り返し状となっている。実験スタート階段を上り、1 つ目の階段折返層を経て、階段をさらに上ると、2 つ目の階段折返層にでる。ここでは、手前と奥の 2 つの上り階段がある。手前階段を上ると、c4 線乗換通路に通じている。ただし、手前階段と奥階段は、双方階段途中の踊り場でつながっている。階段を上ると、正面に改札が見えてくる。改札を出ると、左右二手に分かれる。最短経路なら、右手に折れ、T 字路にぶつかる。左に曲がり出口階段を経て、地上へ至る。

c4 線が 1959 年にまず建設され、その後、その下部に c1 線が 1972 年に建設、乗り入れした。その後、c2 線と c3 線が新名称駅として同時に 1997 年に建設、乗り入れした。ホームの深度はそれぞれ、c1 線 36.9m、c2 線 8.4m、c3 線 15.2m、c4 線 10.2m である。階層は、ホーム層、階段折返層 2、c4 線連絡通路層、改札層の 5 層からなる。

d) D 駅

D 駅は、d1 線にあり、5 線で乗換可能で深く複雑な駅に属す。実験スタート階段を経て、乗換コンコースに至る。さらに改札層に向かうためには、裏手の階段を上る。正面の階段は途中から ES のみになるため実験上通行不可とした。改札を通過すると、3 箇所に階段があり、最短経路なら左手奥の出口階段を進む。

建設当初別名称駅として、d2 線がまず 1938 年、その後、d3 線は 1959 年に建設、乗り入れした。d2 線は建設時、上下式ホームであったが、d3 線乗り入れにより、上下相対式ホームとなった。その後、1974 年に d4 線が建設されたが、乗換は可能ではなく、駅名も別々であった。その後、1979 年の d1 線建設によって、4 路線乗換が可能となった。また、d1 線と d4 線の乗換コンコースが設置された。さらに、1997 年に d5 線が建設された。ホームの深度はそれぞれ、d1 線 35.0m、d2 線、d3 線共に 10.9m、d4 線 22.7m、d5 線 25.7m である。これにより、乗換コンコースでは 6 手に分かれるようになった。改札へ通じる上り階段口は 2 箇所（内 1 箇所は途中から ES のみになる。）ある。改札 EV 連絡通路、d1 線連絡下り階段、d4 線連絡下り階段、d5 線連絡通路がある。階層は、ホーム層、乗換コンコース層、改札層の 3 層からなる。

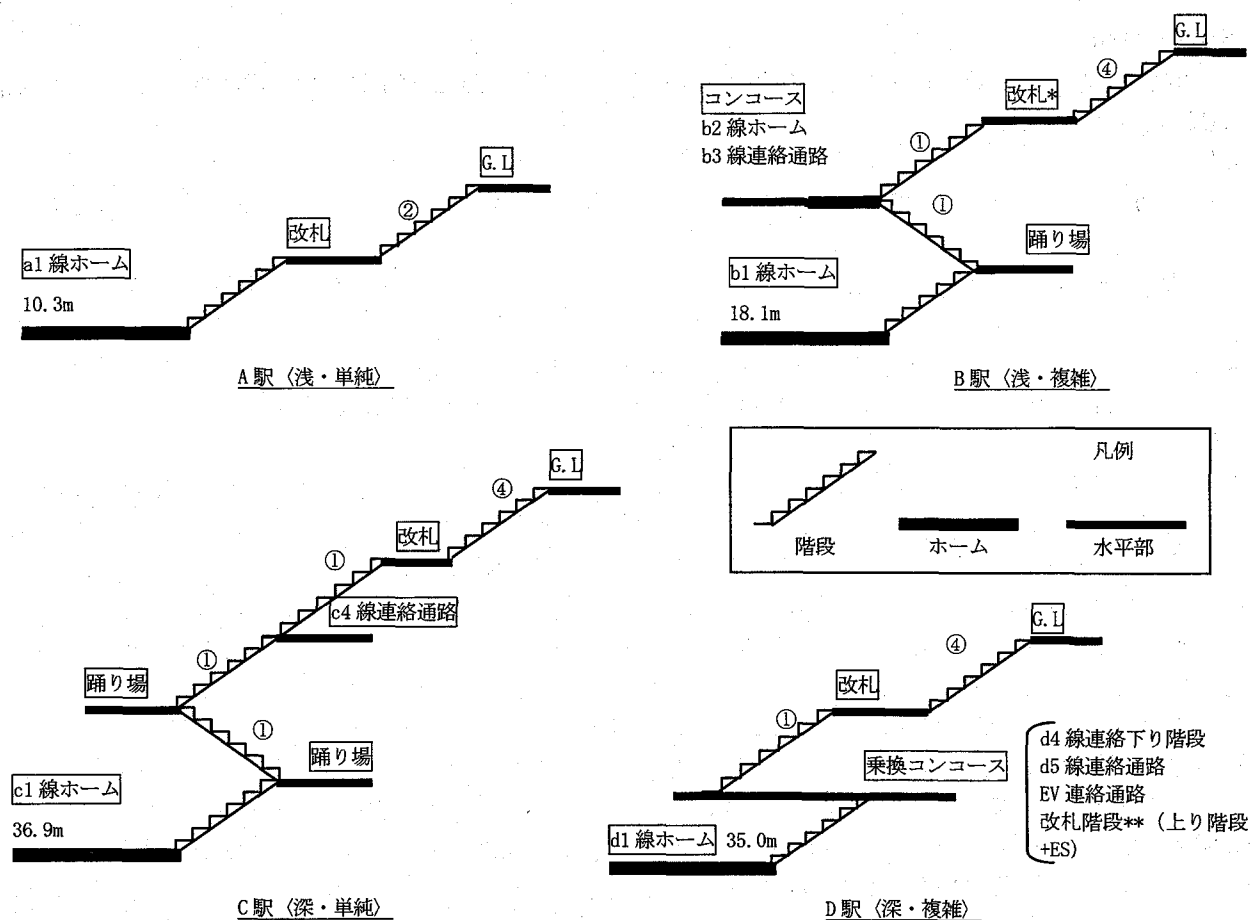


図-2 各実験駅の空間構成

(5) 測定項目

被験者全員の行動をデジタルビデオカメラで撮影し記録した。各駅実験後、記入方式でアンケートを行った。

アンケートの調査項目は、性別、体重、各実験駅の利用頻度について、さらには「迷い」の程度について、また、「時間がかかること」、「体力が必要なこと」、「EV、ESが避難時に使用できないこと」、「最短出口が見つからないこと」、「階段位置がわからないこと」、「分かれ道があること」、「案内板が多数設置され、どちらに進めばよいかわからないこと」に対する不安感の程度について、それぞれ5段階の順序尺度で評価した。また、自由意見欄を設けた。

また、一部の被験者には、アイカメラ、心拍計を着装し、探索行動時の眼球運動、生体反応を測定した。これらは、今後報告予定である。

(6) 実験方法

実験は、1人の被験者と1人の実験者を1組とし、4組を1班とした。午前と午後でそれぞれ2班編成し、合計4班16人を被験者とした。

実験者と被験者は、集合場所から実験駅まで地下鉄道を利用し移動した。実験駅に到着後、実験開始地点となる指定された実験スタート階段付近に待機した。待機場所付近には、案内板等駅構内の情報が無い場所とした。1つの班で、1人の被験者と、その探索行動を撮影する1人の実験者を1組として実験を開始し、順次4組実験を行った。実験開始のタイミングとして、下車直後の他の乗客の流れの影響を受けない時とした。各被験者は、実験スタート階段をまず上り、以後自己判断のもと、探索行動をしながら最短経路で改札を経て地上へ進むよう指示した。地上出口到着後、アンケートを記入した。その後、駅構内の指定された場所に集合し、班ごとに次の実験駅舎へ地

下鉄を利用して移動し、順次4駅で実施した。

実験スタート階段を指定した理由は、ホーム上に複数の階段があるが、迷いが生じる場所としてコンコースや改札部分を主な実験対象空間と想定しているためである。また、実験前に実験想定範囲を通ることのないように、移動経路を考慮した。移動時に案内図等を見ないように指示した。各実験駅の順番について、1班は、B駅→A駅→D駅→C駅、2班は、C駅→D駅→B駅→A駅の順とし、順序効果について考慮した。

実験上EV、ESを用いない理由は、EV、ESは、建築基準法上避難経路としてみなされていない。特にESについて、安全性が確認されていない点がいくつかある。例えば、避難時にESを運行するのか、停止するのか等、非常時の使用マニュアルが定められていない。また、ESは、昇り口附近の感知器作動により防煙垂れ壁とES急停止作動が連動する。そのため、ESを使用して避難した場合、感知器連動により急停止する恐れがある。さらに、停止したES上の歩行は、そもそも使用上想定されておらず、ES内ベルトが多数の避難者の荷重により下方へ擦れ落ちる恐れがある。また、停止ES上の歩行は、階段上り歩行と比較して、蹴上高さが一定でないこと等その停止状態での歩行の安全性が確認されていない。また、階段と停止ESの歩行を比較して、その行動特性の違いが高橋らの研究⁶⁾で確認されている。上記に基づき、本研究では、EV、ESを使用せず、階段のみを使用することとした。

7. 結果及び考察

探索実験から、探索時間、水平歩行距離、消費カロリーの運動指標と、アンケートから得られた心理指標を得た。これらから以下の結果が得られた。

(1) 各実験駅の到達地上出口と探索時間の関係について

図-3から図-6において、実験駅ごとに各到達地上出口に対し、その出口へ至った被験者の人数順に①から番号を振り、それをx軸とし、第1軸に実験駅ごとに各被験者の探索時間を実験駅の利用経験の有無に分けて散布図で表し、第2軸にその到達出口へ至った被験者数を棒グラフで示した。なお、散布図のプロットしたドットが各々重ならないように軸上にばらつかせた。これらから、到達地上出口ごとに探索時間と到達人数の関係を示した。

各実験駅での利用経験の有無について、初めて利用する被験者は、A駅で14名(88%)、B駅で8名(50%)、C駅で11名(69%)、D駅で10名(63%)であった。

A駅では、経路の選択が改札部分にしかなく、1名は地上出口A-②、その他は地上出口A-①に到達した。平均探索時間は、約45秒で被験者間のばらつきが少ない結果であった。

B駅では、1名の被験者は、b3線連絡通路へ誤って進み、途中で引き返したため、時間ロスが生じた。また、改札層では、3面ある改札の内、1名の被験者が異なる改札を通過し、B-③出口へ進んだ。探索時間も100~150秒程度であった。

C駅では、全員の被験者が同一の改札を通過し、4箇所の地上出口に分散した。また、16人中9名の被験者は、最短経路であるC-①地上出口へ進んだ。探索時間は、最大で200秒を越えた。

D駅では、1名を除いた被験者が同一の改札を通過後4箇所の地上出口に分散した。ここで、最短時間で地上へ到達できるD-②出口に最多数の被験者が到達しなかった。これは、改札から最も近い階段をまず目指したため、かえって遠いD-①地上出口への経路を辿ったからである。また、1名の被験者は、乗換コンコース層で、b4線連絡下り階段を経てb4線ホームを通過し、D-④地上出口へ至った。探索時間は、最大で約360秒でA駅と比較して、約8倍の差がでた。

(2) 実験駅利用の経験の差と探索時間の関係について

図-3から図-6によると、実験駅の利用の経験の差によって、その探索時間に大きな差がみられなかった。その理由として、日常通る経路と実験での出口探索経路は異なるため、実験駅の利用経験の有無が結果に反映されにくかったこと。また、単純な駅では分岐点がなく、被験者間で探索経路にばらつきが生じることが少なかったこと。また、複雑な駅では、乗換に利用されることが多く、利用経験があると答えた被験者の中には、乗換のためだけに利用ただけで、地上までの経路を経験していなかった人が少なからず含まれている可能性があるなどが考えられる。つまり、実験駅の利用経験の差が探索時間に影響を及ぼさなかったのは、日常時の目標探索行動と非常時の最短経路探索行動の違いに起因するのではないかと考えられる。

(3) 探索時間、探索水平歩行距離と累積度数分布の関係について

図-7 は、実験駅ごとに探索時間と、被験者の累積度数分布を示した。また、図-8 は、実験駅ごとに水平歩行距離と、被験者の累積度数分布を示した。それぞれの線形が傾けば傾くほど、駅ごとの探索時間、水平歩行距離について被験者間のばらつきが大きくなることを示している。図-7, 8 共に、値の大きさは A, B, C, D の順で大きかった。特に D 駅では、最も大きな傾きで被験者間の探索時間、水平歩行距離のばらつきが大きかった。B, C を比較すると、図-8 ではほぼ同じ線形をしているが、図-7 での探索時間に差が生じたのは、C 駅ではホーム深度が大きく、階段での歩行距離が大きい影響がでたと考えられた。

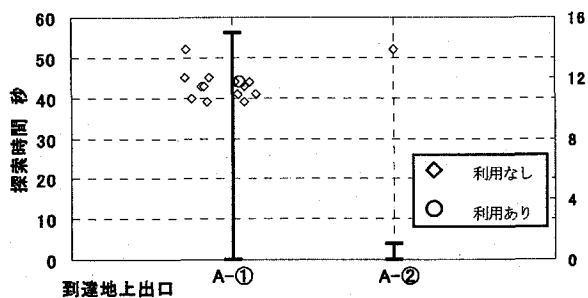


図-3 A 駅 到達地上出口ごとの探索時間と到達人数

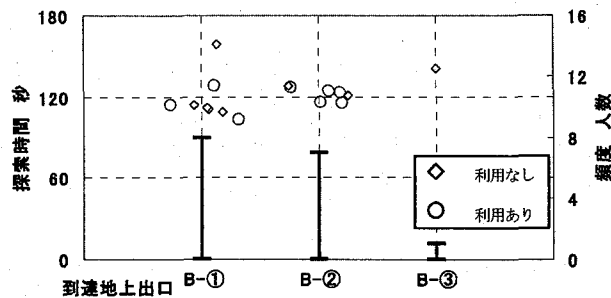


図-4 B 駅 到達地上出口ごとの探索時間と到達人数

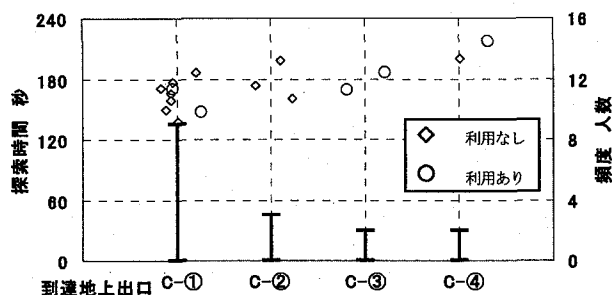


図-5 C 駅 到達地上出口ごとの探索時間と到達人数

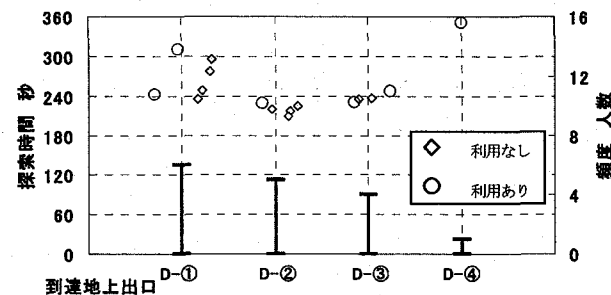


図-6 D 駅 到達地上出口ごとの探索時間と到達人数

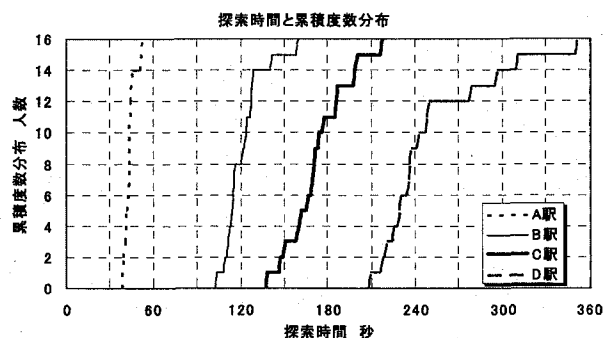


図-7 探索時間と累積度数頻度

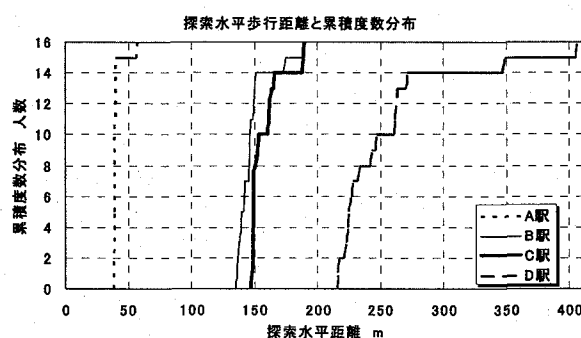


図-8 水平歩行距離と累積度数頻度

(4) 被験者間の探索経路軌跡のばらつきの発生する場所について

単純な駅では、分岐点がなく被験者間の探索経路軌跡がばらつかないことが考えられる。つまり、わかりやすい避難経路は、被験者間の探索経路軌跡がばらつかないと仮定すると、被験者間の探索経路軌跡でばらつきの生じる場所が迷いの生じる場所であると考えられる。実験結果から被験者間の探索経路軌跡を比較すると、被験者間の探索経路軌跡でばらつく場所は、乗換連絡通路が複数あるコンコース部分と、地上出口が複数ある改札通過以後が挙げられた。

また、コンコースでの探索時間は、いかに早く改札に通じる階段が見つかるかで増減した。改札通過以後の探索時間は、複数ある地上出口階段の内どの方向に進むかに依存した。また、そこでの経路選択傾向として、地上へ行こうとするため、まず目に入った階段へ進むといった経路選択性が顕著に挙げられた。

(5) 運動指標と心理指標との関係について

図-9 に「探索時間」と「地上まで階段で避難した場合に時間がかかることについての不安感」についての関係について、実験駅ごとに示す。あわせて、それぞれの平均±標準偏差を示す。これから、探索時間が増加するに従って、その地上までの到達時間に関する不安感が増加した。また、その不安感が「どちらでもない」から「やや不安」へ変化する探索時間として、2～3 分の間で変化した。

次に、図-10 では、「消費カロリー」と「地上まで階段で避難した場合に体力が必要なことについての不安感」との関係について、実験駅ごとに示す。これから、図-9 と同様に消費カロリーが増加するに従って、その体力に関する不安感が増加することがわかる。また、その不安感が「どちらでもない」から「やや不安」へ変化する消費カロリーとして、15～25kcal の間で変化した。

探索時間とその不安感の間の相関係数は、0.79、消費カロリーとその不安感の間の相関係数は、0.65 であった。両者とも正の大きな相関があった。

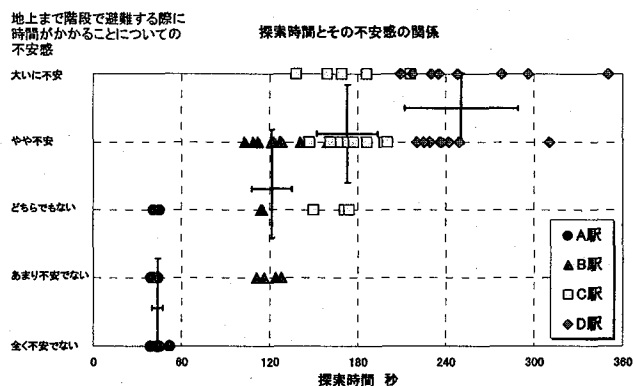


図-9 探索時間とその不安感の関係

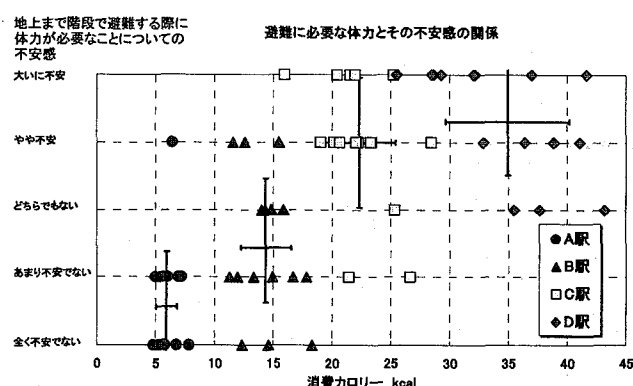


図-10 避難に必要な体力とその不安感の関係

8. まとめ

本研究では、実際の地下駅舎空間でのホームをスタート地点として、地上出口までの最短経路探索実験を行い、実験から得られた身体負荷量や探索時間といった運動指標と不安感等の心理指標との関係を見出し、駅舎の大深度化や避難経路の複雑化の影響について多面的に避難安全の面から考察したものである。実際の火災避難状況と比較して、限定された火災初期の避難状況を想定した実験ではあるが、以下の知見を列挙する。

- (1) 従来避難安全性の検証として、具体的数値基準は避難完了時間のみであったが、身体負荷から評価することで、駅舎の大深度化や避難経路の複雑化の影響についてより実態に即して評価することができた。
- (2) 駅間の探索時間差は、最大で約 8 倍で、探索時間が増加するにつれて、被験者間の探索時間のばらつきが増大した。
- (3) 心理指標と運動指標の関係から、探索時間に関して 2～3 分、消費カロリーに関して 15～25kcal でその心理的不安度が増大することを見出すことができた。
- (4) ホーム深度に応じて、探索時間、体力負荷や心理的不安度が増加する傾向が確認された。
- (5) コンコースでの探索時間はいかに早く階段を見つけるかに依存し、改札通過以後の探索時間は複数ある出口階段の内、選択する経路に依存して、増加した。
- (6) 被験者間の探索経路軌跡を比較して、その軌跡が異なる場所として、コンコース、改札通過以後が挙げられた。実際の避難時でも同様の場所で避難者が迷う可能性が考えられる。そういった迷いが生じるであろう場所に駅員の避難誘導配置場所とすることで、少ない駅員で効率よく誘導できることを示唆している。

最後に、筆者の研究成果¹⁷⁾によると、文献調査から国内での地下鉄道火災による乗客の死者は、確認できない。また、駅舎の大深度化によって、地上まで到達するのに体力面から避難に支障が生じた事例や地上に至るまでに迷いが生じ、受傷した事例は確認できない。しかし、海外では多数の死傷者が発生した地下鉄火災事例があり、悪意の放火、テロ、地震火災等迅速な避難完了が要求されることから、その検討もより重要になってくる。

また、本研究結果がただちに火災避難の危険性に結びつくのではなく、実際の火災避難時には、駅員の誘導等

があり、ハードとソフトの両輪が機能して火災避難安全性が確保されているのは、言うまでもない。

また、ホーム深度が増加するにつれて、避難完了時間や体力負荷が増加し、同様に心理的負荷も増加した。地下駅舎の避難安全の理想形として、ホーム深度が増大しても心理的不安度が必要以上に増大しないような処置が取られるのであるが、現状ではそのような措置ははまだ取られていない。ホーム深度に応じた適切な防火避難対策が早急に図られるべきである。

9. 課題

実験は、営業中の駅舎を利用したため、制約があり、被験者数は少なかったが、今後数を増やしていく。また今回被験者となったのは、学生被験者であり、災害弱者といわれる高齢者についても、今後研究対象としていく。

また、避難経路選択は、様々な要因が関わっており、それらの相互要因や優先順位などについて検討することで、避難時の経路選択についてさらに検討を進めていく。

謝辞 東京地下鉄株式会社 関係部署の方々には、実験趣旨をご理解して頂き、実験場所の提供等の協力を得たことに感謝する。

本研究は、土木学会地下空間研究委員会 心理小委員会での研究成果の一部であり、各委員から貴重なご意見及び実験遂行に多大な尽力を頂いた。ここに謝辞申し上げる。

- 1) 地下空間に係る安全・防災対策に関する調査・研究報告書＝地下空間の安全性評価研究＝，日本損害保険協会， pp. 41-57, 1993
- 2) 運輸省：長大駅間・深層地下鉄道研究会報告書 概要版， pp. 173-180, 1991
- 3) 辻本誠：「対岸の火事」か「他山石」かー韓国地下鉄火災が投げかけた課題ー， 建築設備&昇降機 No. 44, pp. 3-5, 2003.
- 4) 森田武：韓国大邱廣域市地下鉄火災から学ぶ， 月刊フェスク， pp. 26-47, 2003.
- 5) 山田常主，鄭炳表：大邱地下鉄中央路駅火災の概要， 火災 Vol. 53 No. 2, pp. 1-8, 2003.
- 6) 松下敬幸：韓国テグ地下鉄火災時における人間の対応行動・避難行動， 地下空間における避難と消防活動支援のための煙制御に関する研究， pp. 1-10, 2005.
- 7) 市原茂，本多薫，西田幸夫：地下鉄駅での移動が心理的・生理的疲労度に与える影響について， 地下空間シンポジウム論文報告集，第11巻， pp. 143-150, 2006.
- 8) 森山修治，小川純子，長谷見雄二，佐野友紀：大規模地下街における避難行動特性に関する実験研究， 日本火災学会研究発表会梗概集， pp. 18-19, 2007.
- 9) 大野隆造，田巻秀和，添田昌志，山田常主：地下鉄駅の空間構成等を考慮した放送内容が初期避難行動に及ぼす影響， 日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）， pp. 213-214, 2005.
- 10) 文野洋，西田幸夫，向井希宏，大谷亮：地下街の照明および出口の制限が避難行動に与える影響， 土木学会地下空間シンポジウム論文・報告集 第7巻， pp. 195-202, 2002.
- 11) 加藤義明，尾見康博：地下空間行動学より見た災害時行動ー通常時の地下認知研究からのサジェスションー， 総合都市研究 第61号， pp. 201-210, 1996.
- 12) 萩原一郎，北後明彦：地下空間からの避難計画 階段における連続昇降実験， 日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）， pp. 1327-1328, 1992.
- 13) 池上晴夫：運動処方の実例， 大修館書店， pp. 156-160, 1987.
- 14) 佐藤方彦：人間工学基準数値式便覧， 技法堂出版， pp. 204-206, 1992.
- 15) 帝都高速度交通営団：東京地下鉄道有楽町線建設史， 帝都高速度交通営団， pp. 1173-1174, 1996.
- 16) 高橋康代，岸本文一，矢島規雄，直井英雄：エスカレーターを昇降する人間の歩行動作特性解析， 日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）， pp. 783-784, 2004.
- 17) 佐藤歩，辻本誠：文献調査から得られた東京地下鉄道の火災実態について， 日本火災学会 研究発表会梗概集， pp. 260-261, 2007.