

早稲田大学審査学位論文  
博士（人間科学）

鉄道駅における行動モデルに基づく  
避難安全性評価手法

Behavioral-Model Based Evaluation Method  
of Evacuation Safety in Railway Stations

2015年1月

早稲田大学大学院 人間科学研究科  
藤井 皓介  
FUJII, Kosuke

研究指導教員： 佐野 友紀 教授



# 目次

## 第1章 序論

1.1 研究背景	1
1.1.1 社会的要求	2
1.1.2 鉄道駅における本研究の対象部分	2
1.1.3 駅舎の防災計画に関わる法規	3
1.1.4 平常時と非常時の利用者の移動形態の変化による危険発生の可能性	7
1.1.5 鉄道駅における火災安全の現状に基づく火災時の避難計画に関する検討事項	9
1.2 既往研究	13
1.2.1 鉄道駅の避難行動及び避難行動に影響を与える要因に関する研究	13
1.2.2 経路探索行動に関する研究	13
1.2.3 案内標識及び誘導灯の視認性に関する研究	14
1.2.4 改札口及び間隙通過に関する研究	15
1.2.5 鉄道駅における混雑に関する安全性評価に関する研究	16
1.3 研究目的	18
1.4 論文概要	19
1.5 鉄道駅及びその他施設に関する用語の定義	21

## 第2章 大規模鉄道駅の避難経路探索時における経路選択行動特性

2.1 はじめに	24
2.2 大規模鉄道駅における火災時を想定した避難経路探索実験	26
2.2.1 実験概要	26
2.2.2 実験日時及び場所の選定	27
2.2.3 被験者の選定	29
2.2.4 スタート地点及びゴール地点の設定	30
2.2.5 実験方法	31
2.3 鉄道駅火災避難時の知識・行動に関する質問紙調査	35
2.3.1 調査概要	35
2.3.2 調査内容	36
2.4 地点毎の発話に基づく経路選択要因の抽出	38
2.4.1 経路探索プロセス分析の前提	38
2.4.2 経路選択要因の抽出方法	39
2.4.3 経路選択要因の集計方法	40

2.4.4	経路選択要因の抽出結果	41
2.5	立ち止まり及び後戻り行動の発生状況	42
2.6	質問紙調査に基づく火災避難知識及び行動の傾向	44
2.6.1	経路選択要因の把握	44
2.6.2	誘導灯の存在についての認識	47
2.6.3	妨害要因の把握	48
2.7	考察	50
2.7.1	立ち止まりを生じやすい空間と要因	50
2.7.2	代表的な単独避難者の経路探索行動モデル	50
2.7.3	利用者に対する避難誘導計画の作成方法	52
2.8	まとめ	54

### 第3章 鉄道駅経路指示標識の煙中における視認性

3.1	はじめに	56
3.2	煙中における案内標識及び誘導灯の視認性実験	57
3.2.1	実験概要	57
3.2.2	実験方法	58
3.2.3	実験条件一覧	59
3.2.4	煙の種類及び発生方法	60
3.2.5	煙濃度の測定方法	61
3.2.6	照明の性能及び配置と実験想定	62
3.2.7	標識の種類及び性能と水平角	63
3.2.8	標識の確認方法	65
3.2.9	実験計画の作成	67
3.3	実験時の煙濃度と実験条件の関係	71
3.3.1	減光係数の傾向に基づく減光計の選定	71
3.3.2	視認性の分析における減光係数の使用方法及び導出	81
3.4	標識の種類及び角度と減光係数の関係による視認距離の予測式	102
3.4.1	視認距離と標識の種類及び角度の関係	103
3.4.2	予測式の導出	114
3.5	予測式の適応範囲に関する考察	127
3.5.1	減光係数の下限値	127
3.5.2	消防法の有効範囲において誘導灯を視認できる減光係数	128
3.5.3	減光係数及び水平角の視認距離に対する影響度	128

3.5.4	視認距離に対する水平角の影響に基づく標識の設置方法	129
3.5.5	標識設置時における視認距離の有効範囲算出に用いる減光係数	130
3.5.6	異なる等級の誘導灯に対する予測式の適用	130
3.6	まとめ	132

## 第4章 鉄道駅改札口通過時における群集流動特性

4.1	はじめに	135
4.2	改札口及び通路通過実験	137
4.2.1	実験概要	137
4.2.2	実験条件	137
4.2.3	実験方法	139
4.3	改札口通過前の被験者位置及び通過後の目的地とレーン選択の傾向	141
4.3.1	単独群集の群集内における位置と各レーンの通過人数	141
4.3.2	合流する群集の配置場所と各レーンの通過人数	141
4.4	改札口に接近する群集の形態とレーン選択の関係	142
4.4.1	単独群集内の配置列とレーン選択の関係	143
4.4.2	合流する群集の配置場所とレーン選択の関係	144
4.5	改札口に接近する群集の形態に基づくレーン選択のモデル	146
4.5.1	単独群集の群集内位置に基づくレーン選択確率モデル	146
4.5.2	合流する群集の接近方向に基づくレーン選択確率モデル	148
4.6	配置場所と目的地が各レーンの流動量に与える影響	150
4.7	流動量に基づく肩幅を含めた有効幅員	152
4.7.1	改札口及び通路の流動量	152
4.7.2	有効幅員の導出	153
4.8	避難時における改札口通過群集の流動性状に基づく流動係数の導出	154
4.9	まとめ	155

## 第5章 鉄道駅における合流及び滞留を考慮した避難時間評価手法

5.1	はじめに	158
5.2	シミュレーションに基づく流動量と改札口有効幅員の検証	160
5.2.1	歩行者シミュレーションシステム SimTread の概要	161
5.2.2	シミュレーションにおける設定	162
5.2.3	各通路形状の流動量の比較に基づく有効幅員の検証	164

5.3	鉄道駅避難シミュレーションにおける設定条件	165
5.3.1	再現空間の設定と避難者の配置	165
5.3.2	歩行者の行動と避難経路の設定	168
5.3.3	水平面上の順次避難における避難順序の設定	171
5.4	鉄道駅避難シミュレーションによる水平面上の順次避難状況の解析結果	172
5.4.1	各ブロックにおける避難完了時間	172
5.4.2	各ブロックにおける合流による遅延時間	172
5.4.3	各ブロックにおける単位時間あたりの階段流入者数	173
5.4.4	各ブロックにおける流入者数に対する合流の影響	174
5.4.5	各ブロックにおける歩行速度割合と滞留評価指標の比較	178
5.5	合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価のための指標の作成	180
5.5.1	避難者の合流による滞留の分類方法	181
5.5.2	避難者の合流状況別の避難計算方法	192
5.5.3	避難者の合流による滞留の評価	194
5.6	合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価式の運用方法	196
5.6.1	出口における通過人数の想定及び算出方法の提案	197
5.6.2	改札口及び出口における合流による滞留の分類及び計算方法とその拡張方法	200
5.6.3	出口通過人数に基づく滞留時間の調整方法	204
5.6.4	改札口通過人数に基づく出口滞留時間の調整方法	206
5.7	災害時要援護者が改札口通過時に周囲の健常者群集の流動に与える影響	207
5.7.1	シミュレーションにおける設定条件	208
5.7.2	各ケースにおける改札口の流動量の比較	210
5.7.3	各ケースにおける改札前空間の密度変化の比較	210
5.7.4	各ケースにおける車いす使用者に対する健常者の改札口先行通過人数の比較	211
5.7.5	健常者による追い越し及び改札口先行通過条件	212
5.8	まとめ	214

## 第6章 鉄道駅における避難計画の作成方法と評価方法の効果

6.1	はじめに	218
6.2	鉄道駅利用者に対する避難経路の誘導計画方法	218
6.2.1	利用者の避難経路探索行動に基づく避難誘導計画の作成方法	218
6.2.2	視認性に基づく標識の設置計画の作成方法	220
6.3	鉄道駅避難時の滞留評価に基づく避難計画評価方法	222

6.3.1	改札口における滞留時間の計算方法	223
6.3.2	合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価方法	223
6.3.3	ボトルネックにおける車イス使用者の合流状況評価方法	224
6.4	まとめ	226

## 第7章 結論

7.1	総括	228
7.2	まとめ	230
7.3	今後の展望	239

## 参考文献

本論文を構成する主要な学術論文

発表研究一覧

謝辞





---

第 1 章 序論

## 1.1 研究背景

---

近年、駅内商業施設等の新しい用途の導入により駅構内及び周辺街区の接続が複雑化するとともに、鉄道駅利用者が多様化している。多数の旅客が利用する大規模鉄道駅においてその傾向は顕著であり、駅内施設種別の増加により利用者の移動形態が複雑化している。特に駅内施設間の利用者の移動は平常時と非常時では異なり、非常時を想定した避難安全計画は必要不可欠である。

鉄道駅では避難計画に関わる法規が存在しない部分がある。従来、鉄道駅は法規上、建築物ではなく運輸施設として取り扱われていたことから、鉄道駅改札内のホーム・コンコース部分においては、鉄道・運輸の基準が用いられており、建築基準法避難関係規定による避難計算を適用しない部分がある。鉄道営業法に基づく鉄道駅における火災に対する基準として「鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準」も存在するが強制力はなく、鉄道事業者が自身で定めた実施基準を用いることも可能である。加えて、同基準は地下鉄道駅に限定されたものであり、一般の鉄道駅を対象としたものではない。地下鉄道駅の火災対策基準は必ずしも一般の鉄道駅に適するものではない。

建築基準法の新・建築防災計画指針では、動線計画、誘導計画、群集制御計画等の避難計画と避難計算による評価により避難計画が為される。評価により計画の見直しと改善が行われ、計画と評価の繰り返しにより、避難計画の作成が完了する。鉄道駅の避難計画においても建築基準法のような規制と鉄道駅の特徴を考慮した計画の作成方法が必要と考えられる。なお、本研究では、計画と評価を含む避難計画全体を避難安全設計とし、この行程で行う動線計画等の避難計画とその評価をそれぞれ避難計画と避難計画評価とする。

本研究は、鉄道駅の避難安全性評価として、避難安全設計における避難計画の作成方法と評価方法の確立を目指す。本節では、大規模鉄道駅における火災時の避難安全設計の必要性について、その社会的背景を述べる。

### 1.1.1 社会的要求

ターミナル施設の火災安全対策について、地方及び国家行政を起点とした検討・施策がなされ、社会的要求の高まりが認められる。

例を挙げると、地方公共団体におけるターミナル施設の施策として、東京都では、商業施設の設置や周囲の建築物・都市との接続によりその防火対策について駅を含めてターミナル施設に対して推進する必要性が挙げられ、平成 21 年 6 月、東京都知事から東京消防庁火災予防審議会に対して「複合化するターミナル施設の防火安全対策のあり方」の諮問が行われた。同委員会は鉄道ターミナルを検討の中心とし、平成 23 年 3 月に報告書<sup>1)</sup>を公開している。また、内閣府中央防災会議により、平成 17 年 9 月に首都直下（東京湾北部）地震に対する被害軽減対策を目的とした「首都直下地震対策大綱<sup>2)</sup>」が策定され、高層ビル、地下街、ターミナル駅等、不特定多数の者が利用する都市の施設について、国、地方公共団体、施設管理者による出火防止対策の促進について述べられている。

### 1.1.2 鉄道駅における本研究の対象部分

現状、鉄道駅において火災等により屋外へ避難する必要性が生じた場合、鉄道事業者による避難計画では駅利用者を屋外に避難可能な出口（避難口）から駅施設外に誘導することになっている。鉄道駅の避難経路は避難口から遠い方から、車両・ホーム→改札内コンコース・通路→改札口→改札外コンコース・通路→出口（避難口）→屋外となっており、避難経路上、避難者の滞在箇所を車両、ホーム、改札内空間、改札外空間の 4 箇所で大別できる。なお、改札外に出入り口を持つ商業施設の内部は鉄道事業者の避難計画における避難者の避難経路に含まれない。消防法の規制により、かかる商業施設は出入り口が火災時には防火区画として閉鎖される。なお、建築基準法により、駅員事務室、運転士控室、倉庫、便所等は建築物として取り扱うこととなっており、避難関係規定の対象となるが、利用者の日常動線上にない、または、滞在時間が短く非居室として利用者の避難計算が為されないことから、事業者の避難計画の対象となっていないと考えられる。

本研究では、上述した鉄道事業者の計画する避難経路を想定し、鉄道駅の施設において、この経路上の空間を対象として取り扱うこととする。

### 1.1.3 駅舎の防災計画に関わる法規

通常、建築物内における火災時の避難安全設計については、建築基準法における新・建築防災計画指針及び避難安全検証法と、消防法により規定されている。鉄道に関しては鉄道営業法が存在し、プラットホームを地下に持つ地下鉄道駅の避難計画について基準が示されている。地下鉄道駅に対する基準についての概要及び、建築基準法と消防法について、火災時の避難を含め防災計画に関する規制の鉄道駅に対する適用範囲に関する内容を以下に述べる。

#### (1) 駅舎に対する法とその適用範囲

##### ○建築基準法の適用範囲

建築基準法における火災時の安全に関する規制としては防火区画、避難計画等がある。鉄道駅の運輸施設部分は、従来は建築基準法の適用外として取り扱われて来た。建築基準法第2条第1号において、「鉄道及び軌道の線路敷地内の運転保安に関する施設並びに跨線橋、プラットホームの上家、貯蔵槽その他これらに類する施設」は建築基準法の定める「建築物」の定義から除かれている。

鉄道駅が建築基準法適用外とされて来た理由として、鉄道駅は運輸目的であり、改札内には火災の原因となるような施設が少なかったことが挙げられる。駅事務所、トイレ、駅そば屋、キオスク、弁当店など、従来ある施設に関してはこれまで火災発生の可能性は少ないと考えられて来た。しかしながら、いわゆる駅ナカ等の改札内商業施設の導入により建築基準法の適用範囲は増加している。

平成16年度の日本建築行政会議における統一見解によると、「改札内のコンコース、プラットホーム、線路横断のための跨線橋、地下通路等の部分は、『建築物』として取り扱わない」ことを原則とする一方、「橋上駅、地下駅に至る通路、コンコース等（駅ビル地下街の部分を除いた施設の部分に限る）に面して設けられる駅員事務室、運転士控室、倉庫、便所等については、改札外の当該通路（地上の出入口部分を含む。）、コンコース等の部分を含めて、『高架又は地下の工作物内に設ける事務所、店舗その他これらに類する施設』の『建築物』として取り扱う」としている。

「改札口内の通路専用の部分とプラットホームは建築基準法の適用対象外とするが、改札外の通路専用部分と（改札内外にかかわらず）駅員事務室など通路以外の部分は建築基準法の適用対象とする。」と言い換えることが出来る。すなわち、改札内について見ると、区画された店舗等の商業施設は建築基準法の適用対象となるが、そこから出たコンコース部分は建築基準法の適用対象外となる。

○消防法の適用範囲

消防法における火災時の安全に関する規制としては、スプリンクラー、排煙設備、誘導灯、誘導標識、消火器の設置に関するものなどがある。通常の建築物にかかる消防法は適用範囲内であるため、これら消防法の規制は適用されている。

消防法施行令別表第一に定める防火対象物について用途、延床面積及び収容人員等に応じて消防用設備等の設置及び防火管理者の選任等が義務付けられており、同表 10 項の「車両の停車場又は船舶若しくは航空機の発着場」において、航空旅客ターミナル、バスターミナル、船舶ターミナルと同様の枠組みとして区分されている。左記に挙げた交通機関の乗降場では、飲食店や物販店舗が設置されており、鉄道駅においてはターミナル駅における設置数が多くなる傾向にある。「主たる用途に機能的に従属している」もしくは「主たる用途との床面積の割合等により従属している部分とみなす」とされ、異なる用途であっても消防法施行例別表第一 10 項に定める駅舎単独用途の防火対象物として取り扱うことが出来る。また、大規模商業施設が混在または併設されている場合は、上表 16 項イの複合用途となる他に、防火区画などにより別棟として防火対象物の用途判定をする場合がある。

表 1.1.2-1：消防法施行令別表第一 10 項

車両の停車場又は船舶若しくは航空機の発着場(旅客の乗降又は待合いの用に供する建築物に限る。)
--

表 1.1.2-2：総務省消防庁通知 昭和 50 年 4 月 15 日消防予第 41 号、消防安第 41 号（抜粋）

<p>消防法施行令（以下「令」という。）第 1 条の 2 第 2 項後段に規定する「管理についての権原、利用形態その他の状況により他の用途に供される防火対象物の部分の従属的な部分を構成すると認められる」部分とは、次の(1)又は(2)に該当するものとする。</p> <p>(1) 令別表第 1(1)項から(15)項までに掲げる防火対象物（以下「令別表対象物」という。）の区分に応じ、別表(イ)欄に掲げる当該防火対象物の主たる用途に供される部分（これらに類するものを含む。）に機能的に従属していると認められる同表(ロ)欄に掲げる用途に供される部分（これらに類するものを含む。）で、次の(ア)から(ウ)までに該当するもの</p> <p>(ア) 当該従属的な部分についての管理権原を有する者が主たる用途に供される部分の管理権限を有する者と同一であること。</p> <p>(イ) 当該従属的な部分の利用者が主たる用途に供される部分の利用者と同一であるか又は密接な関係を有すること。</p> <p>(ウ) 当該従属的な部分の利用時間が主たる用途に供される部分の利用時間とほぼ同一であること。</p> <p>(2) 主たる用途に供される部分の床面積の合計（他の用途と共用される廊下、階段、通路、便所、管理室、倉庫、機械室等の部分の床面積は、主たる用途に供される部分及び他の独立した用途に供される部分のそれぞれの床面積に応じ按分するものとする。以下同じ。）が当該防火対象物の延べ面積の 90%以上であり、かつ、当該主たる用途以外の独立した用途に供される部分の床面積の合計が 300 m<sup>2</sup> 未満である場合における当該独立した用途に供される部分</p> <p>別表</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>区分</th> <th>(イ)</th> <th>(ロ)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>(10)項</td> <td>乗降場、待合室、運転指令所、電力指令所、手荷物取扱所、一時預り所、ロッカー室、仮眠室</td> <td>売店、食堂、旅行案内所</td> </tr> </tbody> </table>			区分	(イ)	(ロ)	(10)項	乗降場、待合室、運転指令所、電力指令所、手荷物取扱所、一時預り所、ロッカー室、仮眠室	売店、食堂、旅行案内所
区分	(イ)	(ロ)						
(10)項	乗降場、待合室、運転指令所、電力指令所、手荷物取扱所、一時預り所、ロッカー室、仮眠室	売店、食堂、旅行案内所						

## ○地下鉄道駅に対する基準の概要

鉄道に関する火災対策基準として、法的拘束力はないが、地下鉄道駅を対象とした基準が定められている。現在の火災対策基準としては、国土交通省鉄道局より定められた「平成14年3月8日 国技第157号 鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準」が存在する。同基準は、鉄道営業法第1条に基づき制定された「平成13年12月25日 国土交通省令第151号 鉄道に関する技術基準を定める省令」に基づきその具体的内容を定めたものである。また、同基準は「平成16年12月27日 国技第124号 鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準の一部改正について」により内容が改正された。

建造物の不燃化、防災管理室の完備、警報設備、通報設備、避難誘導設備等の整備、係員用の火災対策マニュアルの整備に関する項目が示されるとともに、排煙量と避難時間を照らし合わせることで避難安全性について照査することが求められており、この計算方法が示されている<sup>3)</sup>。

表 1.1.3-1：平成16年12月27日 国技第124号 鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準の一部改正について（抜粋及び要約）

1 想定火災と避難安全性の照査方法		
車両及び駅における想定火災は、通常火災と大火源火災とする。		
表：想定火災		
火災	種 類	出 火 源
通常火災	車両	車両床下機器からの出火
	売店	ライター等による放火
大火源火災	車両	ガソリンによる放火
	売店	ガソリンによる放火
避難安全性の照査方法は、旅客が避難場所（最終的には地上）に安全に避難できることを基本とし、それぞれの火災性状および煙流動性状の特性に応じた以下の方法で照査する。		
ホーム階の通常火災の場合は、煙濃度が $C_s=0.1$ (1/m) 以下であること、コンコース階の通常火災の場合は、避難時間より算出した煙拡散容積以上とすること、避難時間と照らし合わせて大火源火災の場合の避難上支障のある床面から煙層下端までの高さが 2.0 (m) 以上であることが照査される。		
2 避難時間の算定		
避難時間算定のための滞留時間は、次式により算出する。		
$T = Q / (N \times B) \quad T: \text{滞留時間 (sec)} \quad Q: \text{要避難者数 (人)}$ $N: \text{群集の流出係数 (人/m/sec)} \quad B: \text{階段幅員等 (m)}$		
避難経路における歩行所要時間 $t$ と滞留時間 $T$ の算出に用いる避難者の歩行速度及び流出係数は、以下のとおりとする。		
歩行速度 : 水平部 1.0 (m/sec)      階段部 0.5 (m/sec) 流出係数 : 水平部 1.5 (人/m・sec)      階段部 1.3 (人/m・sec)		
3 要避難者数の算定方法		
避難安全性の照査における要避難者数の算定方法が定められている。車両の乗車率とホームの待ち旅客を乗車率により換算した割合を合計した乗車率を、車両定員に掛けたものを用いて避難者数を算定する。乗車率は、3大都市圏の内外、ホームの形状、火災発生箇所（車両、ホーム売店、コンコース）、想定火災の種類により分類され、定められている。なお、想定火災がコンコースの場合においてコンコースに売店が設置されていない駅の要避難者数は 0 人とする。		

特に、避難計算では、避難安全性の照査における要避難者数の算定方法が定められている。ガソリンによる放火を想定した大火源火災の想定及び、火源に応じたホーム及び車両からの避難者数の算出が定められることになり、鉄道駅の乗降者数及び火源の規模、場所等、火災に応じた計算を行うことが求められている。

## (2) 各法の適用範囲と避難・防災上の課題

従来、鉄道駅は法規上、建築物ではなく運輸施設として取り扱われていたことから、鉄道駅改札内のホーム・コンコース部分においては、鉄道・運輸の基準が用いられており、建築基準法避難関係規定による避難計算を適用しない部分がある。この背景としては、旧国鉄時代、鉄道駅は運輸施設としての機能が重視されていたことが挙げられる。民営化後しばらくして列車の運行以外に関する業務である商業に力が注がれる様になった。このことにより、可燃物量の多いいわゆる駅ナカ等の改札内商業施設が導入され、鉄道駅における建築基準法の適用範囲が拡大することとなった。

鉄道駅は多人数の通行を主たる目的としており、防火区画による安全確保が困難な場合がある。現在、駅内商業施設など建築基準法の適用範囲となる施設（レストランや売店などは店舗毎もしくはエリア一帯など）は防火区画されているが、そこから出たコンコース部分は建築基準法対象外である。この様に、駅構内は建築物として取り扱う部分と運輸施設として取り扱う部分が混在している特殊な空間である。ただし、利用者はこのような区別を認識せず利用している実態がある。このような前提をふまえて、駅について火災時の避難計画及び関連する防災計画を検討する必要がある。

また、通路部分に設置された商業店舗等の駅構内に設置されている商業施設により火災の発生源となる場所が増加し、火災時の被害が大きくなることが懸念されている。しかしながら、鉄道駅改札内の通路部分の一部、建築基準法の適用範囲とはなっていないため、鉄道駅の避難計画は必ずしも適切ではなく、駅利用者にとって明快な避難経路が設定されているとは言い難い。避難方向が提示されなければ、逃げ遅れだけでなく、より大きな混乱により二次災害の発生が予想される。

鉄道営業法に基づく鉄道駅における火災に対する基準も存在するが、地下鉄道駅に限定されたものであり、一般の駅舎を対象としたものではない。大規模鉄道駅の様なコンコース及び通路内を常に利用者が移動する鉄道駅では、避難者数の及び改札内商業施設の増加により火災源の増加の観点から、コンコース及び通路における避難者数の算定及び当該箇所からの避難を想定する必要がある。地下鉄道駅の火災対策基準は必ずしも一般の駅舎に適するものではない。さらに、鉄道事業者は自身で定めた実施基準について提出及び審査を受ける必要があるが、解釈基準には強制力がないため、地下鉄道駅であっても必ずこの基準に沿っているとは限らない。

#### 1.1.4 平常時と非常時の利用者の移動形態の変化による危険発生の可能性

平常時においては目的とする方向に移動する群集が、非常時においては目的とする方向を変更することになる。駅構内での火災時において多数の利用者が一斉に移動することにより、平常時以上の混乱が予想される。群集が混乱状態に陥ることにより、将棋倒しや群集雪崩のような群集事故及び避難経路への円滑な移動が疎外されることによる逃げ遅れが発生する可能性がある。鉄道駅には、ホーム上の階段周囲、階段、通路、改札口といった多数の利用者の移動においてボトルネックとなる部分があり、これによる滞留・減速から避難時間の増加や二次災害の発生が懸念される。このような状況を回避するためには適切な避難経路の確立が不可欠である。

現状、鉄道駅において火災等により屋外へ避難する必要性が生じた場合、鉄道事業者による避難計画では駅利用者を屋外避難出口から駅施設外に誘導することになっている。その際、改札内の利用者を屋外避難出口に接続する階に設置された改札口に誘導し、その後屋外避難出口に誘導を行う。改札内の駅利用者は屋外への避難時に改札口を通過する必要がある。

通常の建築物の居室等において避難に用いられる扉等の開口部はおおむね 700mm 以上であり、狭い寸法の開口が並列して隣接することはないが、現状の改札口の基本形態として、550mm～600mm の間隔で自動改札機が並ぶことで、歩行者 1 人が通過できる通行部分が並列する。これにより、建築物の開口部と異なり群集が柵状に分けられることになる。また、避難時において利用者を通過させる際には、駅員の操作によって自動改札機の集改札機能を停止させ改札口を全開放とすることができ、利用者は切符の挿入や IC カードのタッチ動作を行うことなく改札口を通過できる。通常時と避難時において改札口通過に伴う利用者の動作は異なる。避難時の鉄道駅改札口通過群集について、流動性状の把握が必要と考えられる。

先述の様に、日本における建築物を対象とした火災時の避難安全性能評価の方法には、新・建築防災計画指針と避難安全検証法がある。指針法と検証法では方法は多少異なるが、おおむね、避難者数、出口までの歩行距離、出口の開口幅、流動量に基づいて出口通過時間の計算が行われる<sup>4)5)</sup>。鉄道駅改札内の通路部分は一部、建築基準法の適用範囲外であるため、コンコースや改札口における流動について、必ずしも避難関係規定による検討がなされるとは限らない。

上記避難計算方法と同様の方法として、法的強制力はないが、国土交通省鉄道局より定められた「鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準」により、地下鉄駅における避難計算方法が示されている。この計算においては、避難経路上の歩行距離と改札口や階段等の開口幅に基づいた通過にかかる時間の算出に基づき最後尾の避難者がかかる避難時間と煙流動性状に応じた避難安全性の照査が行われている<sup>3)</sup>。



この計算においては、ホーム階及び車両の利用者のみに限定しており、異なる階層のコンコース及び通路上の避難者の存在が、開口部における通過時間の算定に含まれていない。利用客が多く、ホームと異なる階層に存在するコンコースや通路において利用者が常に存在する鉄道駅においては、当該階における利用客の通路や開口部における滞留や利用者同士の合流による混雑が生じる可能性がある。改札内外の利用客の合流等、建築基準法と同様、在館者の合流を考慮した計算方法が必要と考えられる。

近年、駅舎等における商業施設の導入による建築的観点での防災要求の高まりから、駅にも建築分野での避難計算の手法を取り入れるための検討が必要である。

### 1.1.5 鉄道駅における火災安全の現状に基づく火災時の避難計画に関する検討事項

従来、建築基準法適用外であった駅改札内（改札内コンコース、プラットホーム）についても、建築基準法や消防法で規制されている要件を検討する必要性が生じていることから、火災時の避難計画及び関連する防災計画を検討する必要がある。中でも、避難行動中の計画について検討する必要がある。

建築物の避難安全性の評価では、避難にかかる時間の合計（総避難時間）と火煙による危険が波及する時間（危険波及時間）の比較を行う。この際、総避難時間が危険波及時間内であれば、安全と評価することが出来る<sup>4)~6)</sup>。出火から避難完了とその後の煙降下及びフラッシュオーバーに至るまでにおける、火災時の行動時間と危険波及時間の関係を以下に示す。

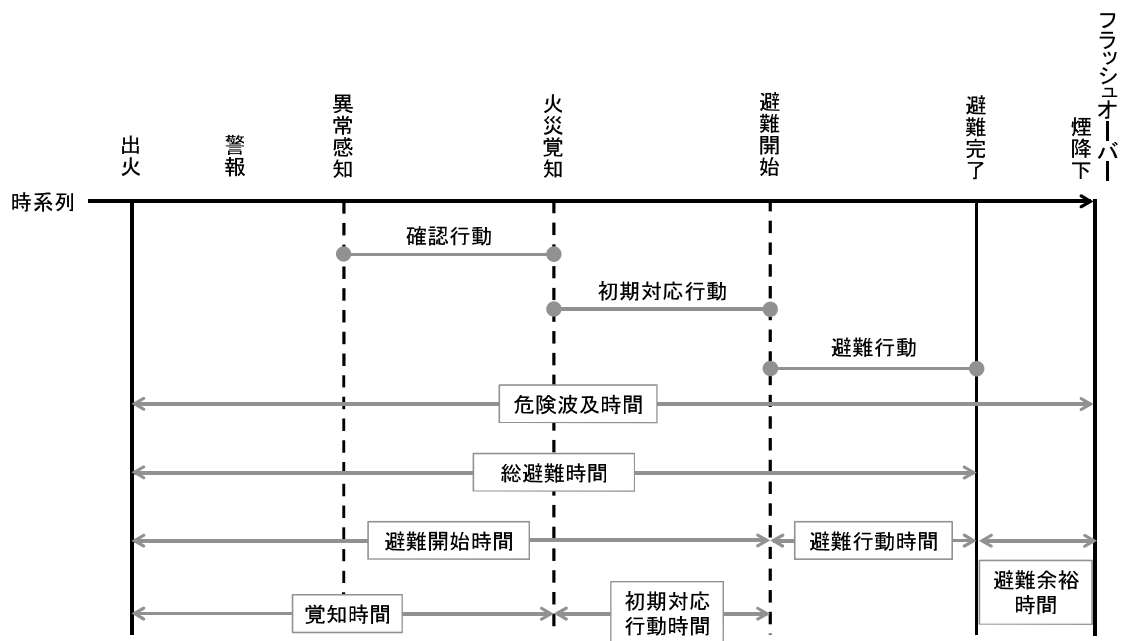


図 1.1.4-1：火災時における避難シナリオ

施設の避難安全性の評価で想定される避難行動時間内において、避難者がとる行動を避難行動とする。先述の 1.1.2～1.1.4 で述べた大規模鉄道駅における避難安全設計の検討課題は、この避難行動について述べたものである。

建築基準法の新・建築防災計画指針に基づく避難安全設計は、動線計画、誘導計画、群集制御計画等の避難計画と避難計算による評価により行われる。評価により計画の見直しと改善が行われ、計画と評価の繰り返しにより、設計が完了する。また、大多数の一般利用者を主眼におき、その上で災害時要援護者を考慮して作成される。本研究では、この避難安全設計の考え方に基づいた場合における鉄道駅の避難安全上の課題について検討を行う。以降、鉄道駅における避難安全設計について、具体的な検討課題を述べる。

鉄道事業者の計画する利用者の避難誘導過程において、先述の鉄道駅の現状から 5 項目の検討課題が生じる。上記の避難誘導過程上における検討課題の発生箇所、及び検討課題による避難の阻害状況例をまとめた図を以下に示す。

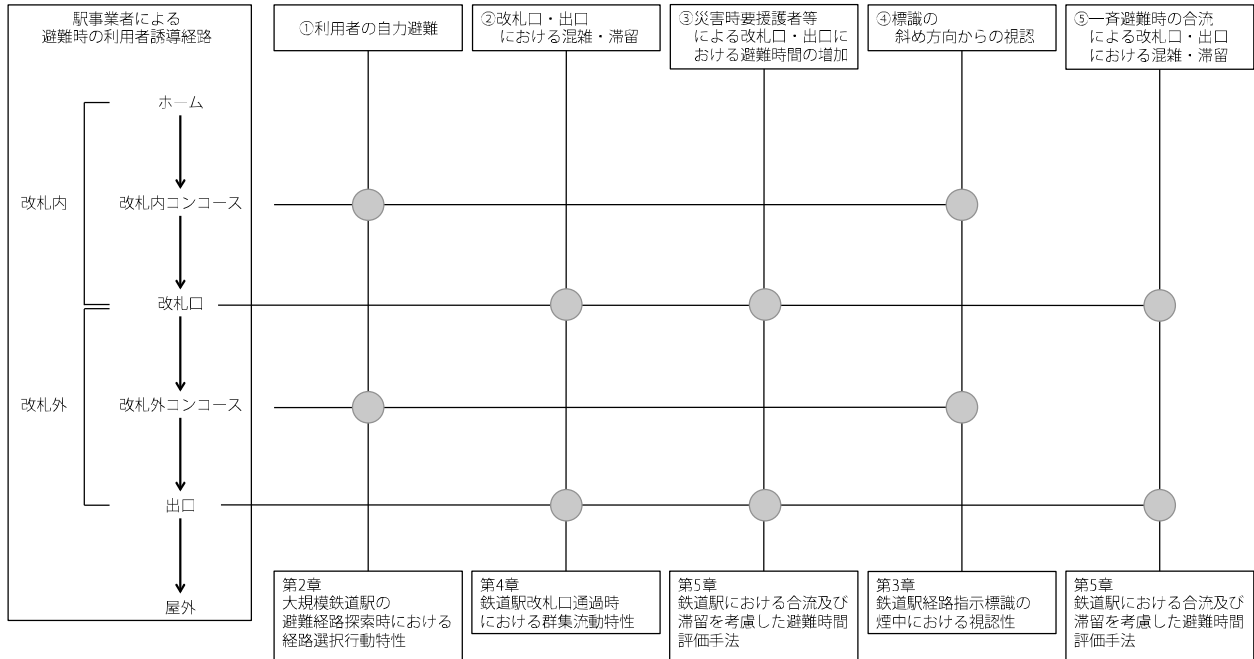


図 1.1.4-2：鉄道事業者による利用者の避難誘導過程と検討課題の関係

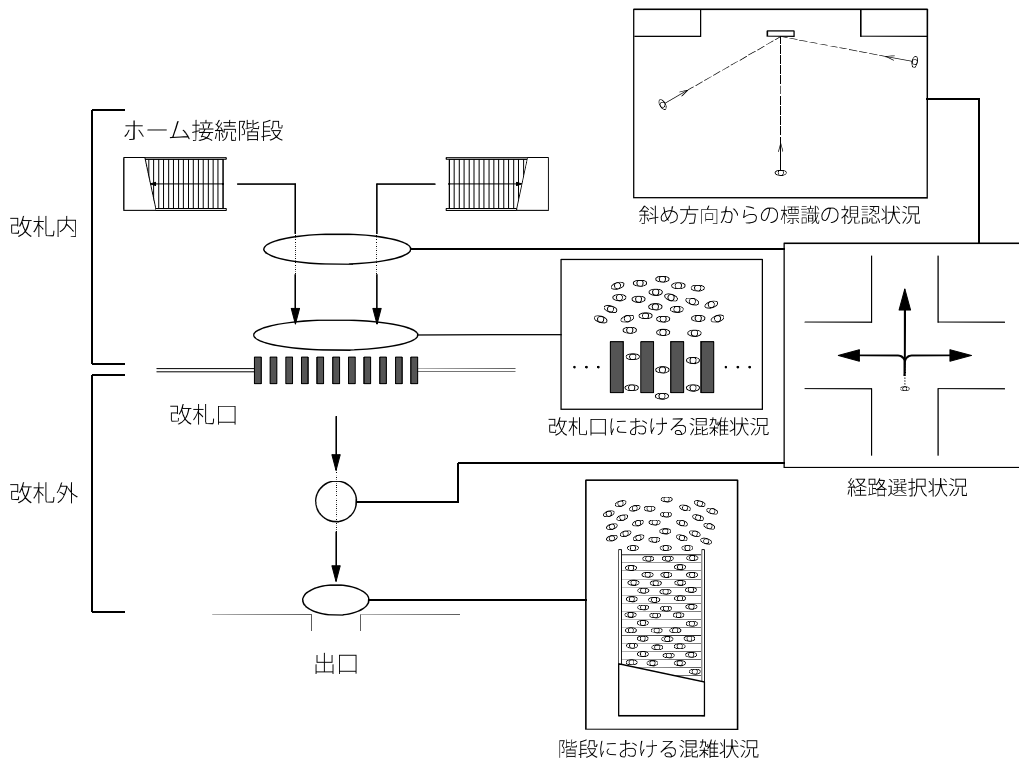


図 1.1.4-3：鉄道事業者による利用者の避難誘導経路上において発生し得る避難の阻害状況例

現状、鉄道駅において火災等により屋外へ避難する必要性が生じた場合、鉄道事業者による避難計画では駅利用者を屋外避難出口から駅施設外に誘導することになっている。その際、改札内の利用者を屋外避難出口に接続する階に設置された改札口に誘導し、その後屋外避難出口に誘導を行う。これにより以下3点の課題が生じると考えられる。

- ①利用者の自力避難：非常に大規模であり、即時に全体の空間把握が難しく、火災時の状況把握も困難である大規模駅において、駅員による人的対応による避難誘導は困難であり、自力避難が可能な利用者については利用者自身による避難の完了が必要となるが、避難経路を誤る可能性がある。
- ②改札口・出口における混雑・滞留：改札口、階段、出口等のボトルネック部分に大量の利用者が集中することにより、利用者が滞留・減速する可能性が高い。
- ③災害時要援護者等による改札口・出口における避難時間の増加：上記②において、災害時要援護者等の歩行速度の遅い歩行者が存在した場合、滞留及び避難時間の増加が発生する可能性がある。

①より、非常時における避難計画の評価及び明確な避難経路の策定が、鉄道駅における避難計画に必要な不可欠であると考えられる。避難経路の提示方法については消防法により誘導灯及び誘導標識が規定されている。また、駅特有の経路表示設備として日常的に出口・経路を示す案内標識が鉄道駅の基準に従い設置されている。両者はそれぞれの基準で設置されているが、ともに出口方向を示すものである。後述する本論文の「2章」において案内標識が避難経路選択時に用いられる頻度が高いことが示唆されたことから、誘導灯・案内標識の影響を考慮した避難誘導も重要であると考えられる。建築物として避難経路選択に影響を与える可能性の高い誘導灯・案内標識の影響を考慮した避難誘導が必要となる。特に、煙中において視界が限定され周囲の状況把握が困難な状態において、経路表示設備である誘導灯・案内標識が重要な経路選択要因となる。

鉄道駅構内の誘導灯は、日常利用目的である案内標識と互いに視認を阻害しない形で設置されている。ただし、鉄道駅のコンコース、大規模鉄道駅のコンコースや通路では幅員が広い場合、利用者の位置によって通路の端から斜め正面方向誘導灯を見る場合や、狭い連絡通路等の側壁面に設置された通路誘導灯を通路中央から見る場合には、避難者は表示面に対して斜めから確認するが生じる。避難者が視認する角度により誘導灯の見え方は異なるため、視認する角度を考慮して設置することが望ましい。以上より、以下の課題について検討する必要がある。

④標識の斜め方向からの視認：経路誘導のためのサインの重要度が高いため、視認性の低下が問題となる誘導灯及び案内標識について、煙の濃度及び標識の視認角度が視認性を与える影響が把握する必要がある。

加えて、鉄道駅コンコースは、常に利用者の移動が生じており、通行を遮断することは望ましくない場合が多いため、防煙区画は可能となるが多数の防火区画を定めることは困難な形状である。一般的な建築物に用いられる段階的な安全区画の設定は困難な場合があり、建築基準法において規定される建築物に接する部分を除いて水平面上における安全区画の設置義務が規定化されていないことから、構外への一斉避難が想定される。多数の利用者が存在する大規模駅では、水平面上における一斉避難を行った場合、避難群集の合流による混雑や出口や改札口等における混雑とともに滞留が生じ、転倒及び群集事故等の2次災害が発生する可能性が高い。避難群集の合流による滞留及びボトルネック部分における滞留状況について検討・評価する必要がある。しかしながら、以下の課題が存在する。

⑤一斉避難時の合流による改札口・出口における混雑・滞留：多数の利用者が存在する大規模鉄道駅において水平面上における一斉避難を行った場合に生じる可能性のある、避難群集の合流による滞留と、改札口や階段、出口等のボトルネック部分における滞留の検討及びそのための評価方法が確立されていない。

以上①～⑤の課題に基づき、本論文の各章において検討する内容を以下に示す。

第2章：大規模鉄道駅の避難経路探索時における経路選択要因及び行動の把握（課題①）

第3章：視方向に対する標識の水平角が煙中における誘導灯及び案内標識の視認距離に与える影響の把握（課題④）

第4章：改札口を通過する群集の流動性状に基づく避難計算手法及び検証方法の作成（課題②）

第5章：鉄道駅における合流による滞留評価指標の検討及び健常者の改札口通過時における災害時要援護者の避難安全の評価方法と避難方法の検討（課題③、⑤）

## 1.2 既往研究

### 1.2.1 鉄道駅の避難行動及び避難行動に影響を与える要因に関する研究

鉄道駅を含め、避難行動及び行動に影響を与える要因について、不特定多数の利用者が存在する公共空間について研究が為されている。

鉄道駅の避難安全に関する研究として、中西ら<sup>7)</sup>は、梅田地区地下街においてデザインや表現方法の不統一及び同一地点での二方向表示などの案内標識の表示内容、誘導灯の設置状況に問題があることを明らかにしている。佐藤ら<sup>8)</sup>は、地下鉄道駅舎における身体負荷量や探索時間等の運動指標及び不安感等の心理指標との関係性から、地下駅の大深度化及び複雑化による身体的・心理的負荷を考慮した避難対策の必要性を述べている。鉄道駅に限らず避難行動に関する研究として、避難中の行動について様々な研究が行われている。北後ら<sup>9)</sup>は、地下街の通路を撮影した写真を用いたスライド提示実験により、通路幅・サインの有無・人の有無により生じる進路条件である進路の見えやすさが避難経路選択に影響を与えることを明らかにしている。森山ら<sup>10)</sup>は、大規模地下街においては避難者が最も近い出口を選択せず一定の歩行速度で避難しない可能性を示唆し、群集避難の長時間化と避難シミュレーション内の経路選択における確率的要因導入の必要性を述べている。秋月ら<sup>11)</sup>は、旅客施設である空港における避難経路上のサインの設置状況を、等距離射影方式の円周魚眼レンズを用いた定点撮影後に射影方式の変換処理をした画像を用いて求めたサインの立体角投射率を基に、誘導灯よりも広告の視界に占める割合が多いことを示している。

実際の施設を用いた経路探索実験として、佐藤らは地下鉄道駅、森山らは大規模地下街において実施している。本研究の対象となる大規模ターミナル駅は、上記実験に用いた地下鉄道駅とは空間構成、大規模地下街とは利用形態及び「1.1.3 駅舎の防災計画に関わる法規」の「消防法の適用範囲」で述べた法規制において異なる。

利用形態・空間構成・経路表示設備・法規制など、通常の建築物と異なる特徴を持つ鉄道駅の火災時における避難者個人の行動特性及び行動と環境要素の関係性について、実存する都心の大規模鉄道駅を用いた調査・実験等により把握された例は少ない。したがって、大規模鉄道駅においては、空間構成の複雑さと広大さから避難経路探索行動が生じると考えられるが、大規模鉄道駅特有の経路探索行動と行動に影響を与える要因については明らかにされていない。

### 1.2.2 経路探索行動に関する研究

経路探索行動については、日常時の建築及び都市空間における目的地探索時の行動や認知プロセスを対象とした研究が行われている<sup>12)~19)</sup>。

習熟度の高くない場所における経路探索では、目的地に至る経路の決定に標識が用いられ

る傾向の高いことが経路探索分野における日色らの既往研究<sup>14)</sup>により知られている。また、経路探索時にサインが用いられることから、探索行動時のサインの使用状況について着目した研究<sup>19)</sup>や、空間自体の持つ情報及びサイン情報と始めての利用者による目的地の探索行動の関係に着目した研究<sup>15)</sup>が行われている。

日常時の建築・都市における経路探索では、回遊行動を除き特定の目的地を目指すことになる。これは、鉄道駅でも同様であると考えられ、屋外にある目的とする場所に応じて特定の出口を目指すと考えられる。しかしながら、避難時の大規模鉄道駅においては、屋外に到達することが重要であり、屋外に通じる複数の出口から1つの出口を探索し、目指すことになる。鉄道駅を含め、このような状況における経路探索方法を検討した例は見られない。

「2章」において述べる本研究の経路探索実験手法は、大規模鉄道駅という空間形状と初期火災避難という状況想定に基づくものである。このことから、単一の目的地を目指す日常生活を想定した目的地指定型の実験手法ではなく、複数の目的地（安全な出口）から1つの目的地を被験者が探索する目的地探索型の実験手法をとる。日常的な都市街路及び建築内通路の経路探索行動・空間認知の把握といった通常の実験では、特定の単一地点を終着点とするため、本研究において用いる手法とは異なる。

### 1.2.3 案内標識及び誘導灯の視認性に関する研究

鉄道駅における避難経路の提示方法については、一般の建築物同様、誘導灯及び誘導標識が消防法の規定に従い設置されているが、駅特有の経路表示設備として案内標識が設置されており、この両者が経路選択に影響を与える可能性が高い。誘導灯及び誘導標識の視認性に関して過去に複数の研究が実施されている。

煙中における誘導標識及び誘導灯の視認距離に関する研究として、神<sup>20)</sup>は、白黒標識を用いて異なる建材により発生する煙中における標識の見透し距離の比較を行い、反射型標識と発光型標識のそれぞれについて減光係数と見透し距離の積が一定範囲内にあることを明らかにしている。上記関連研究として、神<sup>21)</sup>は、標識の場所の事前把握の有無が標識の輝度と標識の探索時間との関係を明らかにするとともに、刺激性煙の白煙と無刺激性煙の黒煙中における避難口誘導灯の視認限界、色の識別限界、文字の判読限界それぞれの見透し距離と煙濃度との関係を明らかにしている。神<sup>22)</sup>は、各種建材について赤色と青色光を発する2種の標識の見透し距離を比較し、赤色光の方が青色光に比べて見透し距離が大きいことを明らかにしている。同種研究として、山田ら<sup>23)</sup>は、白煙中における新旧誘導灯の見透し距離の比較を行い、新型B級誘導灯は旧型誘導灯に比べて効果が高いことを明らかにしている。視認距離に限らず、誘導灯及び誘導標識に関する研究が行われている。森山ら<sup>24)</sup>は、大規模地下街において通常照明、通路誘導灯、避難口誘導灯、店舗広告を変更して避難経路選択実験を行い、

誘導灯の理解の不足が避難出口の素通り及び避難経路の長距離化に繋がることを示し、誘導灯を強調することの必要性を述べている。田中ら<sup>25)</sup>は、質問紙及びコンピュータを用いた被験者実験により、避難出口通過後の情報を付加した避難口誘導灯の単独避難者に対する効果について検証している。横石ら<sup>26)</sup>は、健常者とインスタントシニアによる被験者実験により高輝度蓄光式誘導標識設置下における避難時間及び避難時の安心感、経路の視認性について明らかにしている。秋月ら<sup>27)</sup>は、旅客施設である空港における避難経路上のサインの設置状況を、等距離射影方式の円周魚眼レンズを用いた定点撮影後に射影方式の変換処理をした画像を用いて求めたサインの立体角投射率を基に、誘導灯よりも広告の視界に占める割合が多いことを示している。石井ら<sup>28)</sup>は、表示面の寸法が B 級に相当する高輝度誘導灯を作成し、背景輝度及び誘導灯の輝度を変化させるとともに段階的に角度を回転させ、評価対象となる誘導灯について基準となる誘導灯に対する比較評価を段階尺度評定法により行うことで、輝度値と回転角の組み合わせ毎に 300~1200[cd/m<sup>2</sup>]の背景輝度下において消防法の設置限界距離から見た際の誘導灯の有効性を回転角別に評価している。

平成 11 年の消防法改正に伴い新型誘導灯が導入され、各製造販売会社で取り扱う誘導灯は新型に移行し、従来型の取り扱いは少なくなっている。このため、本研究では新型誘導灯を対象とするが、新型誘導灯について煙中における視認性の観点から、視方向に対する標識の水平角と視認距離の関係について把握した例は見られない。

本研究では、消防法により規定された誘導灯の視認性及び鉄道駅での実測をもとに模擬的に作成した案内標識模型の視認性を、被験者実験により把握する。煙中における人の視認に基づき、煙濃度と水平角別の視距離の関係を把握する点において、新規性を有すると考えられる。

#### 1.2.4 改札口及び間隙通過に関する研究

建築物や運輸施設、都市空間において歩行者が通過する経路には、歩行者の身体寸法や人数に対して幅員が狭い場所が存在し、このような場所では歩行者が歩行する際に物理的制約の生じない空間と比較して歩行性状が異なると考えられる。鉄道駅の改札口やスタジアムのゲートを群集が通過する場合など、狭い場所を通過する行為は日常的に生じると考えられる。歩行時に必要な寸法については建築設計において求められ、現在に至るまで研究・資料の作成が行われている<sup>29)~33)</sup>。

松下ら<sup>29)</sup>は、机、イス、壁によって囲まれた通路において、身体動作に必要な非接触領域（アキ寸法）と通路幅の関係を求めている。山本ら<sup>30)</sup>は、鉄道駅における高密度の旅客流動を再現し、通路における屈曲部及び狭隘部における流動及び滞留状況を把握している。

Warren ら<sup>31)</sup>は、肩を回転させずに開口部を通過するためには肩幅の少なくとも 1.3 倍の幅員



が必要であることを、開口部通過実験及び実験被験者に対する心理評価に基づき求めている。小原ら<sup>32)</sup>は、人間の人体寸法及び行動に適した家具や設備等の検証を行う他、通路幅員や開口部の寸法について資料収集を行うことで、人間行動を基準とした家具・通路等の基本寸法に関する今日の資料作成に貢献している。

鉄道駅において、改札口は鉄道利用者に対する集改札の機能を持つことから、乗降客の多い鉄道駅においては、同様に日常的に大量の利用者が通過する。このため、改札口の幅員・流動・利用に関する研究が為されている。

北澤ら<sup>34)</sup>は、有人改札口を通過する長距離旅客の歩行性状を調査し、幅員の狭いことを示している。佐野ら<sup>35)</sup>は、都内鉄道駅の有人改札口と自動改札口における流動状況の実測調査に基づき、両者の流動特性について求めている。都築ら<sup>36)</sup>は、有人改札口及び自動改札口における流動状況の実測調査を基に、改札口の流動評価手法を提案している。

上記研究事例は日常利用を対象としたものであり、避難を想定した調査・検討は見られない。改札口の避難時における流動性状及び避難計算方法について、別途検討する必要がある。

避難計算において用いられる建築物の開口部の流動係数については、戸川の調査<sup>37) 38)</sup>に基づき  $1.5 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$  と定められているが、開口部の形状や開口部通過前後の流動状況によって流動係数が変化すると考えられ、避難時における開口部の流動に関して研究が為されている。

建部ら<sup>39)</sup>は、防火戸とシートシャッターの通過実験を行い、歩行者の属性と歩行状況に基づき流動量と動作特性の関係を明らかにしている。城ら<sup>40)</sup>は、居室開口部外側の廊下に滞留が発生する状況を想定した避難実験を、実物大模型を用いて実施し、その後のシミュレーション分析と合わせて居室開口部外側の滞留状況による流動量の変化を明らかにしている。

建築物の出口や防火戸などの開口部における避難時の流動に関しては、研究も為されているが、詳細に分析し、定量的に捉えているものではない。駅舎についても建築的観点での防災要求の高まりから、駅にも建築分野での避難計算の手法を取り入れるための検討が必要である。特に、改札口の様な駅特有の設備に対しては、コンコース及び改札口を建築物の出口とみなした計算方法も考えられるが、間隙が連続する柵状の通路の流動特性については必ずしも明らかになっていない。

### 1.2.5 鉄道駅における混雑に関する安全性評価に関する研究

改札口及び階段への集中に伴う避難時間の増加や混雑による2次災害を防止する必要から、大規模鉄道駅では日常的に存在する多数の利用客について、日常時・避難時ともに混雑時の安全性を確保する必要がある。鉄道駅の日常時・避難時ともに混雑状況に対する安全性に着目した研究が為されている。

鉄道駅における日常時の混雑状況に関する研究として、吉村、山本ら<sup>41)~46)</sup>は通路、ホーム、

階段における旅客群集による混雑状況を対象とし、流動状況について把握を行っている。火災避難時の安全性に関する研究として、志村ら<sup>47)</sup>は、改札外通路に店舗群が形成されていることで火災時の安全性に課題のある実在するターミナル駅を対象として、煙流動等と避難計算によるシミュレーションに基づき実駅における避難安全性の検証と改善策の提案を行っている。同種研究として、榎本ら<sup>48)</sup>は、同ターミナル駅の一部を対象として、日常時の流動及び動線調査結果に基づきマルチエージェントモデルシミュレーションを実施し、避難安全性の検証と改善策に関する指針の提案を行っている。また、志村ら<sup>49)</sup>は、大深度地下空間に存在し、垂直性と閉鎖性を有する大深度地下利用駅舎における火災時の避難安全性に着目し、煙流動と避難計算によるシミュレーションを用いて、避難安全性を確保できる大深度地下駅舎のプロトタイプを提案を行っている。

混雑状況の詳細な把握については日常時を対象とした研究のみであり、避難時を対象とした研究は見られない。避難計算については滞留時間の設定、マルチエージェントモデルについては、鉄道駅の一部構内の状況再現に留まっている。現状、避難時の実データがないことに加えて、日常時・避難時ともに鉄道駅における流動・動線データの取得が困難であることが要因であると考えられる。大規模鉄道駅については利用客が広い空間内を多様な方向に移動するため、在館者数の算定が困難となる。このため、鉄道駅構内全体について混雑状況も含めた避難安全性の評価は行われていない。

消防法においては防火対象物としての区分があるが、消防法施行規則第1条の3においてはその算定は従業員数となっており、従業員を明らかに超える利用客の人数は考慮に入られていない。ただし、16項(イ)の特定防火対象物として判定される場合もあり、この場合は鉄道駅における商業施設の構内設置及び併設が増加している状況から、算定方法は4項の百貨店に区分されると考えられる。この前提に基づいた混雑を含めた避難時間の評価について検討の余地がある。

### 1.3 研究目的

---

本研究は、鉄道駅の火災時における避難時の移動円滑化に資する避難計画の作成方法及び評価方法の確立を目的とする。そのためには、避難時の移動における問題点を把握する必要がある。具体的には、実測及び質問紙調査、被験者実験、シミュレーションに基づき把握した避難安全上の問題点を基に解決策を検討し、避難計画の作成方法及び評価方法を求める。

はじめに、鉄道駅について避難時の移動に関する問題点を把握するために、現状の鉄道駅における避難行動特性を把握する。実際の大規模鉄道駅における避難経路探索実験及び質問紙調査により得られた結果を基に、火災避難時の経路探索行動に与える環境的要因及び避難者の行動モデルの把握を行い、現状の鉄道駅における避難時の移動に関する問題点を把握する。

消防法により規定される誘導灯及び鉄道駅の案内標識について、設置空間の煙濃度、視方向に対する標識の水平角を条件とした被験者実験により煙中における視認距離を把握することで、煙の濃度・標識の種類・標識の設置状況が視認距離に与える影響を明らかにする。この結果を基に、火災避難時に活用し得る誘導灯・案内標識について設置方法の指標の作成を行う。

実物大の実験空間による群集の改札口通過実験の実施を通し、改札口通過群集の流動を把握する。群集の数と改札口への接近方向の観点から改札口流入時の群集の流動特性を明らかにすることで改札口通行部の選択確率モデルと通過時の避難計算方法を検討する。以上に基づき、鉄道駅改札口通過群集の流動性状に基づく避難計算手法及び検証方法を得ることを目的とする。

大規模鉄道駅を対象とした避難シミュレーションに基づく避難状況の再現を通して、避難中の混雑状況化で発生する滞留の評価方法を作成することを目的とする。具体的には、多数の利用者が存在する都心の大規模鉄道駅をモデルとしたシミュレーションを行うことにより、混雑及び滞留による避難時間の変化を評価する指標を作成する。加えて、健常者による災害時要援護者の追い越し及び改札口の先行通過するための条件を示す式を作成するとともに、災害時要援護者の存在を考慮したシミュレーションを行い、災害時要援護者の有無による改札口通過時の混雑状況に対する影響を評価する。災害時要援護者を同時避難させる場合と安全な場所に待機させた後に避難させる場合の2通りについて比較を行う。広幅員の改札口を通過する車いす利用者の群集内における配置及び待機の有無が、改札口における流動量及び混雑に与える影響を把握し、健常者の避難状況下における災害時要援護者の避難安全の評価方法と避難方法を得る。

これらを通して、大規模鉄道駅の火災時における避難時の移動円滑化に資する避難計画の作成方法及び評価方法を作成する。

## 1.4 論文概要

---

本論文は、「第1章 序論」以下、全7章で構成されている。本節では各章の概要について述べる。

### 第1章

本研究の背景、既往研究、目的、論文概要を示す。

### 第2章

実際の大規模鉄道駅における避難経路探索実験及び質問紙調査により得られた結果を基に、火災避難時の経路探索行動に与える環境的要因及び避難者の行動モデルの把握を行い、現状の鉄道駅における避難時の移動に関する問題点を把握する。

### 第3章

誘導灯及び案内標識について、設置空間の煙濃度、視方向に対する標識の水平角を条件とした被験者実験により煙中における視認距離を把握することで、煙の濃度・標識の種類・標識の設置状況が視認距離に与える影響を明らかにする。この結果を基に、火災避難時に活用し得る誘導灯・案内標識について設置方法の指標の作成を行う。

### 第4章

実物大の実験空間による群集の改札口通過実験の実施を通し、改札口通過群集の流動を把握することで改札口通行部の選択確率モデルと通過時の避難計算方法を検討する。

### 第5章

多数の利用者が存在する都心の大規模鉄道駅をモデルとしたシミュレーションを行うことにより、合流が混雑と避難時間に与える影響を把握するとともに、混雑及び滞留による避難時間の変化を評価する指標を作成する。

加えて、健常者による災害時要援護者の追い越し及び改札口の先行通過するための条件を示す式を作成するとともに、災害時要援護者の存在を考慮したシミュレーションを行い、災害時要援護者の有無による改札口通過時の混雑状況に対する影響を評価することで、健常者の改札口通過時における災害時要援護者の避難安全の評価方法と避難方法を得る。

### 第6章

第2章～5章において作成された、鉄道駅における避難計画の作成方法および評価方法の避難安全設計に対する効果について考察を行う。

### 第7章

本研究の結びとして、総括と今後の展望を記す。

本論となる第2章～第6章について各章の関係を以下に図示する。

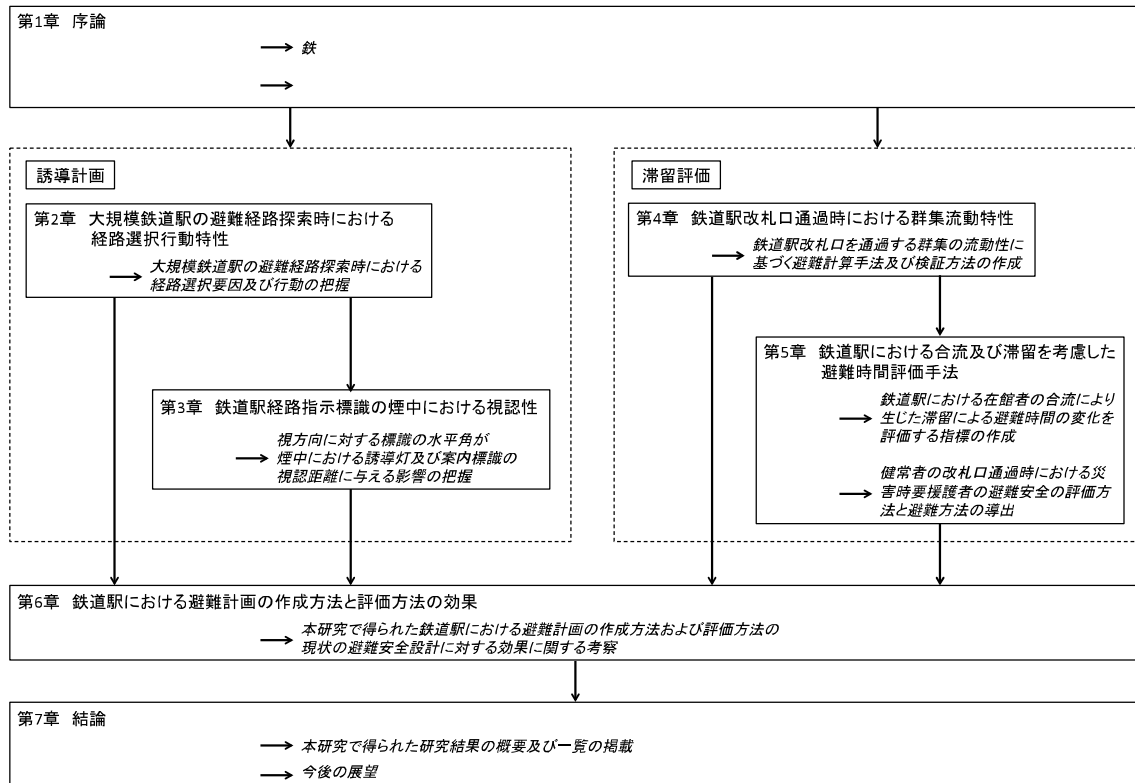


図 1.4-1：本論における各章の関係

## 1.5 鉄道駅及びその他施設に関する用語の定義

本研究は鉄道駅を対象としたものである。本研究の対象を明確にするため、鉄道駅及びその他施設とそれら施設内に関する用語を以下に示す様に定義する。なお、本用語の定義については、東京消防庁火災予防審議会の作成した「複合化するターミナル施設の防火安全対策のあり方 -火災予防審議会答申-」及び財団法人鉄道総合技術研究所の編集した「鉄道技術用語辞典」を参考にした。

### ◇ 複合化

利用者の利便性向上等のため、ターミナル施設内に多数の飲食店、物品店舗等の商業施設が設置されるなど、同施設の一部に商業施設が設置されたものを指す。

### ◇ ターミナル施設

不特定多数の人が集まるとともに多くの交通機関が集まっている施設(バスターミナル、客船ターミナル、鉄道ターミナル、航空旅客ターミナル)をターミナル施設とする。

### ◇ 周辺施設

管理、用途等においてターミナル施設とは別の建物であり、自由通路などで接続された建物を周辺施設とする。

### ◇ 鉄道駅

本研究では、鉄道事業法に基づき鉄道事業者により建設された線路上を走行する車両が発着し、旅客の乗降または貨物の積み降ろしを行う施設を指す。また、建物部分とそれに面する線路を含み、旅客の乗降または貨物の積み降ろしを行う場所全体を指すものとする。なお、軌道法に基づき道路上に併設された軌道を持つ路面電車の停留場を除く。加えて、専用の敷地に設置された軌道を持つ路面電車の停留場については、駅舎と同様の建物を有するものも存在するが本研究においては鉄道駅の定義から除くものとする。

### ◇ ターミナル駅

ターミナル施設のうち、鉄道に関するものをターミナル駅とする。複数路線の乗り入れがあり、利用客数の多い駅としてターミナル駅が挙げられる。日本におけるターミナル駅とは、以下のものを指す。(鉄道技術用語辞典)

(1)路線の終端の駅。路線の間中であっても、終着となる列車が多い駅も指す。

(2)乗降人員が多い駅や複数の路線が乗り入れる駅。駅施設の他に大規模な商業施設や宿泊施設などが併設されることが多い。

### ◇ 大規模(鉄道)駅

利用者数、建築規模が大量、大容量のものを指す。本研究における大規模鉄道駅は、ターミナル駅の(2)の定義を満たした上で、さらに以下の項目を満たすものとする。

(1)同一階に存在し、外部に通じる出口に接続する改札口を持つ改札内空間が連続せずに複数ある場合、もしくは互いに連続性のない改札外空間に接続する改札口を複数持つ単一の改札内空間において、改札口が互いに見えない場合。

(2)改札口を異にする複数の事業者の路線が近接して存在する場合、事業者の管理する改札外の空間が、施設内部において通路等で空間的に連続していること。

以上により、単一の広域空間における出口までの避難過程で、経路探索の必要性が生じるものを大規模鉄道駅とする。本研究では、後述する「2章」において対象としたターミナル駅を大規模鉄道駅の代表例として、ターミナル駅の内、延床面積が5万50,000 m<sup>2</sup>を超えるものを選定した。

◇ 駅舎

鉄道駅の建物部分のみを指し、敷地内に設置された線路は含まないものとする。

◇ 改札口

切符の改札・集札を行う場所。改札機間の通路単体ではなく、壁や柱等の構造物間にある改札機及びその間の通路全体を指す。

◇ 改札柵（ラチ）

改集札を行うためのボックス、柵、改札機、及びそれから隣接する施設までの柵の総称を指す。改札口の設備部分を指す。

◇ 改札内・改札外（ラチ内・ラチ外）

改札口・改札柵を境界として、駅利用者が改札を終えて改札口を通った後の空間の範囲を改札内（ラチ内）とし、それ以外の範囲を改札外（ラチ外）とする。

◇ 出口

駅舎と屋外をつなぐ出入口のみを指す。鉄道駅構内と接続する商業施設やオフィスビルの建築物等の出入り口は含まないものとする。

◇ 鉄道駅において建築基準法の適用範囲外となる空間

平成16年度の日本建築行政会議における統一見解では、「改札内のコンコース、プラットホーム、線路横断のための跨線橋、地下通路等の部分は、『建築物』として取り扱わない」ことを原則としている。

◇ 鉄道駅において建築基準法の適用範囲内となる空間

平成16年度の日本建築行政会議における統一見解では、「橋上駅、地下駅に至る通路、コンコース等（駅ビル地下街の部分を除いた施設の部分に限る）に面して設けられる駅員事務室、運転士控室、倉庫、便所等については、改札外の当該通路（地上の出入口部分を含む。）、コンコース等の部分を含めて、『高架又は地下の工作物内に設ける事務所、店舗その他これらに類する施設』の『建築物』として取り扱う」としている。

◇ 鉄道事業者による鉄道駅の避難計画において対象範囲となる空間

鉄道事業者による避難計画では駅利用者を屋外に避難可能な出口（避難口）から駅施設外に誘導することになっている。鉄道駅の避難経路は避難口から遠い方から、車両・ホーム→改札内コンコース・通路→改札口→改札外コンコース・通路→出口（避難口）→屋外となっており、避難経路上、避難者の滞在箇所を車両、プラットホーム、改札内空間、改札外空間の4箇所で大別できる。



---

## 第 2 章

### 大規模鉄道駅の避難経路探索時における経路選択行動特性

---

## 2.1 はじめに

---

近年、駅内商業施設等の新しい用途の導入により鉄道駅利用者が多様化している。鉄道駅本来の運輸施設としての乗降・乗換動線に加えて、商業のための動線が付加され、目的地の多様化にともない、そこまでの移動およびそのための誘導が複雑化している。また、駅内施設間の利用者の移動は平常時と非常時では異なり、非常時を想定した配慮は必要不可欠である。

鉄道駅は多人数の通行を主たる目的としており、防火区画による安全確保が困難な部分がある。このため火災時の急速な火煙の拡大に備えて、避難計画及び関連する防災計画を検討する必要がある。特に駅員等の人的対応による個別の避難誘導は限界があり、自力避難が可能な利用者は利用者自身による避難が求められる。この際、混雑による群集事故や逃げ遅れによる二次災害の発生を回避するためには、駅による適切な避難経路と誘導方法の確立が重要である。以上の様に、非常時における避難計画の評価と明確な避難経路の検討が鉄道駅における避難安全計画に必要不可欠であると考えられる。「1.1.5 鉄道駅における火災安全の現状に基づく火災時の避難計画に関する検討事項」で述べた様に、本研究では、建築基準法避難関係規定における建築物の避難安全性の評価で想定される、避難開始から避難終了までの避難行動時間内において避難者がとる行動を避難行動とする。鉄道駅において想定される、避難行動に影響を与える要素として重要なものを以下に述べる。

### 【避難行動に標識が与える影響】

駅のように複数の出口を持つ施設における火災避難時には、複数の出口から外部へ通じる直近の出口を選択し移動する必要がある。これは日常時の1つの目的地に向かって経路を選択する状況とは異なる。この様に、避難時には複数出口を持つ駅では利用者がそれぞれ別の出口を目指す可能性がある。このため、利用者個人の行動特性を把握し、避難安全計画に活かすことは有効であると考えられる。なお、駅構内を熟知していない利用者が個人で避難を行う場合、サイン等の経路表示設備を用いる可能性が高い。

避難経路の提示方法については消防法により誘導灯及び誘導標識が規定されている。避難計画及び避難計算の前提として、避難者は「立ち止まりや後戻りをせず最短距離で出口まで移動すること」を想定しており、これが現状の避難計画における理想的な避難行動となる。誘導灯もこの考えに適合し、最短距離で避難経路を提示する様に設置されている。

一方で、駅特有の経路表示設備として日常的に出口・経路を示す案内標識が存在し、これが利用者の避難経路選択に影響を与える可能性が高い。日常、鉄道駅の利用者は駅構外にある目的地に向かうため、そこに通じる一部もしくは特定の改札口・出口を目指す。このため、案内標識は、利用者が目的とする地点や方面に向かうための具体的な経路を示すものとして設置されている。また、駅における避難では、利用者は屋外につながる複数の出口の中から、

最短の出口を目指して移動する必要がある。このため、空間・地理に対する事前の知識を持たない場合、駅内のサインを含む情報を利用し、経路を判断すると考えられる。

案内標識は、利用者が目指す個別の出口や改札口、方面に向かうための具体的な経路を示すが、最短距離については示されていない。案内標識に従って避難した場合、最短距離にある改札口・出口以外を目指す可能性がある。また、大規模鉄道駅では、複数の改札口・出口が分散して設置されることから、案内標識等の案内の情報には複数の改札口・出口への方向が表示される。避難者は複数の方向の中から1つの方向の経路を選択する必要性があり、立ち止まりや後戻りが生じることで避難時間が延びる可能性がある。このため、案内標識が経路選択に与える影響について把握する必要がある。

### 【火災避難時の判断能力】

空間内における火や煙の波及状況によって、避難行動は異なると考えられる。状況が切迫するに従い、避難者の心理的不安も増加し、経路選択時の判断にも影響が生じると考えられるが、煙にまかれ避難口や屋外に辿り着けない様な、生命の危機を回避できない状況にならない限り、避難者は理性を失わずに避難行動をとると考えられる。正常な判断を失った過去の火災事例としては、千日前ビルにおける火災（千日デパート火災）における死亡事例が挙げられる<sup>1)2)</sup>。関連する既往研究として Fahy ら<sup>3)</sup>は、理性を失った状態で行動することをパニックとした場合、実際の火災時にパニックは滅多に見られないことを、事例分析を通して示している。さらに、初期火災時においては煙の拡散範囲は狭く、建築基準法避難関係規定に基づく避難計画上の避難行動の段階において、出火場所を除く大多数の避難者は火煙の影響を大きく受けないため、比較的平常状況に近く理性を持った状態で判断・行動すると考えられる。

建築物における避難計画では、煙到達前に避難を完了することが求められ、建築基準法避難関係規定により定められている。同法規のかかる規制範囲内では、避難者は理性を保った状態で避難すると考えられる。

本章では、これらの前提の下、鉄道駅の初期火災避難時における利用者の避難方略を検討する。実際の大規模鉄道駅における避難経路探索実験及び質問紙調査により得られた結果を基に、火災避難時の経路探索に影響を与える環境的要因及び避難者単独の行動モデル明らかにし、現状の鉄道駅における避難時の移動に関する問題点を把握する。これにより、避難計画作成時の指針として利用者の行動モデルに基づく避難経路の誘導計画方法について考察する。以上に基づき、避難誘導計画に資する知見を得ることを目的とする。

## 2.2 大規模鉄道駅における火災時を想定した避難経路探索実験

### 2.2.1 実験概要

本実験は、多数の利用者が存在する都心の大規模鉄道駅において、火災避難時を想定した経路選択実験を行うことにより、火災避難時の経路探索行動を把握することを目的とする。

本実験は、初期火災時において一定の理性的な判断が可能な避難者を想定した経路探索実験である。実際の大規模鉄道駅である G1 駅と G2 駅で避難経路探索実験を行い、無煙下において避難中の被験者の行動・判断の把握を行動観察により行う。これは、火災時の出火点近傍以外の部分で煙がうすい、または無い状態で空間の視認性が低下しない状況を想定している。なお、建築基準法避難関係規定における避難シナリオとして、煙到達前に避難完了すること想定されている。本実験の空間が無煙下であることは当該法規に準拠するものである。

以上の条件の下、駅構内の各スタート地点に立たせた被験者が改札口もしくは出口に至るまでの経路選択行動と選択時の発話内容を記録する。以下に、実験状況として実験の日時、場所、被験者、実験条件の一覧を示す。

#### (1) 実験日時

G1 駅：2010/10/1（金）,10/2（土）,10/3（日）

10:00～17:30（10:00～,13:00～,15:30～ 各 2 時間）

G2 駅：2011/10/16（日）,10/17（月）

10:00～17:30（10:00～,11:30～,13:30～,15:00～ 各 2 時間）

#### (2) 実験場所

格子状通路を持つ大規模鉄道駅構内「G1 駅改札内／G2 駅改札外」

#### (3) 被験者

G1 駅：一般利用者 23 名（性別：男性 13 名、女性 10 名／年齢：21～24 歳）

G2 駅：一般利用者 22 名（性別：男性 10 名、女性 12 名／年齢：21～55 歳）

#### (4) 実験条件

##### i) スタート地点

G1 駅「A：乗り換え改札口正面（交差点）、B：乗り換え改札口正面（交差点）、C：ホーム接続階段、D：ホーム接続階段、E：店舗内」

G2 駅「A：改札口正面、B：改札口正面、C：改札口正面、D：改札口正面、E：交差点、F：交差点」

##### ii) ゴール地点

G1 駅（改札内）：屋外に通じる改札口

G2 駅（改札外）：屋外避難出口

## 2.2.2 実験日時及び場所の選定

### (1) 実験日時

経路探索時の歩行に支障が出ない様、利用者が最も多い朝の通勤・通学時間帯、夕方の帰宅時間帯を避け、利用者の少ない時間帯に実験を実施する。G1 駅、G2 駅それぞれについて実験を実施した日時を以下に示す。

G1 駅：2010/10/1（金）,10/2（土）,10/3（日）

10:00～17:30（10:00～,13:00～,15:30～ 各 2 時間）

G2 駅：2011/10/16（日）,10/17（月）

10:00～17:30（10:00～,11:30～,13:30～,15:00～ 各 2 時間）

なお、実験当日の歩行者は少なく、利用者の歩行を阻害するものではなかった。

### (2) 実験場所

実験空間は、メインの格子状通路とそれに接続する階段、出口、改札口を持つ空間である。格子状通路は交差点が多く経路選択行動が発生し易いと考えられることから、G1 駅の改札内及び G2 駅の改札外を選定した。

対象とする実験空間は格子状空間であることから、両駅ともに交差点と通路の 2 種類に分解出来る。また、日常における鉄道駅の動線計画及びそれに伴うサイン計画についても両駅ともに同様のものとなっている。交差点の定義及び鉄道駅特有の動線・サイン計画について、以下に述べる。

#### i) 交差点の定義

交差点とは複数の通路の交差部とし、ここでは、交差点と交差点に連結する通路の境界を結節点とする。交差点は、結節点と結節点同士を繋ぐ連続した壁面によりなる空間と言える。

#### ii) 鉄道駅特有の動線・サイン計画

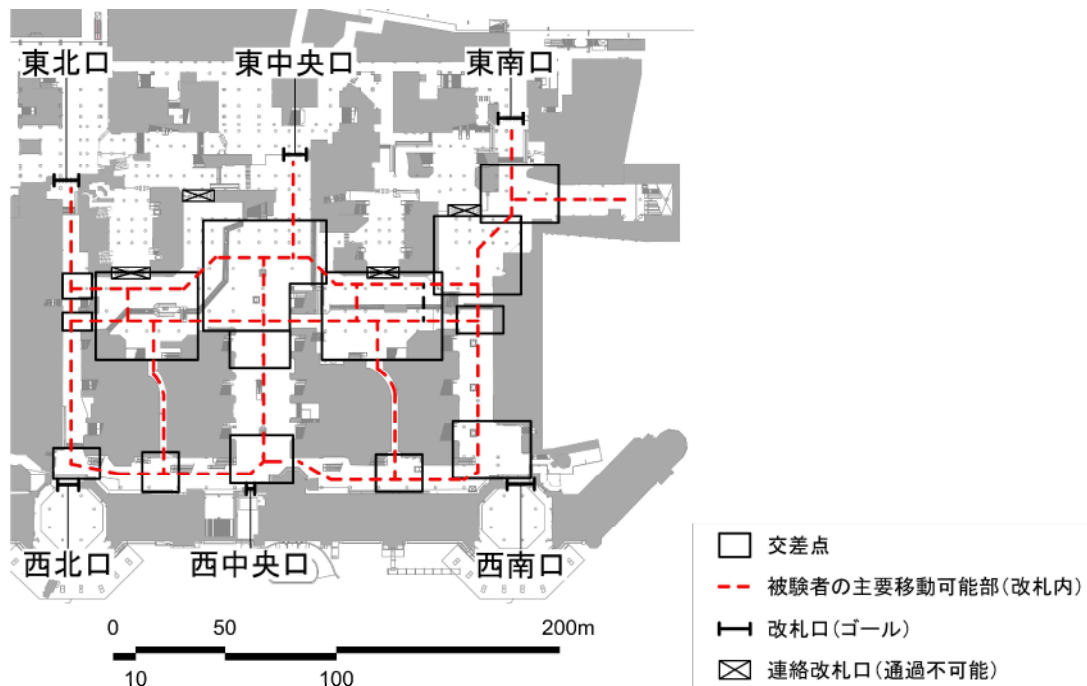
鉄道駅における利用者の日常的な動線計画としては、降車方向と乗車方向に分けて誘導することになっており、サイン計画もこれに従う。誘導する経路として、降車方向はホーム→改札内コンコース→改札口→改札外コンコース→屋外に通じる出口となり、乗車方向は降車系の逆の経路となる。また、降車方向と乗車方向で、サインの色彩が異な

る。降車方向については、JIS 規格<sup>5)</sup>により定められていることから、ホームから屋外に通じる出口に至るまで黄色を用いることが基本となっており、G1 駅及び G2 駅も規格に準じている。また、ピクトグラムや言語についても同様のものを用いており、差異は見られない。

上記の点から、G1 駅改札内と G2 駅改札外は全体的な空間構成として格子状通路を有するとともに設置されたサインの表示形式が同様であり、同様の空間であると仮定出来る。G1 駅及び G2 駅について、実験対象空間の平面図と交差点の位置を図 2.2.2-1 及び図 2.2.2-2 に示す。

本研究においては、平面上での移動方略を検討するため、避難実験の行動範囲は G1 駅改札内と G2 駅改札外ともに 1 階層に限定している。G1 駅改札内は屋外避難出口接続階、G2 駅改札外は屋外直通階段及び外部開放空間に接続する階段を有し、接続先の空間はいずれも建築物における避難階に相当する。

なお、本実験では、鉄道事業者の管理する施設全体を駅構内とし、改札内外の両方を含めるものとして実験対象地とする。ただし、「1.1.3 駅舎の防災計画に関わる法規」の「消防法の適用範囲」で述べた法規制により出入り口が火災時には防火区画として閉鎖されるとともに、鉄道事業者の避難計画における避難者の避難経路に含まれない。このことから、改札外に出入り口を持つ百貨店等大型商業施設の内部は含めないものとし、被験者の経路探索行動の範囲から除外する。



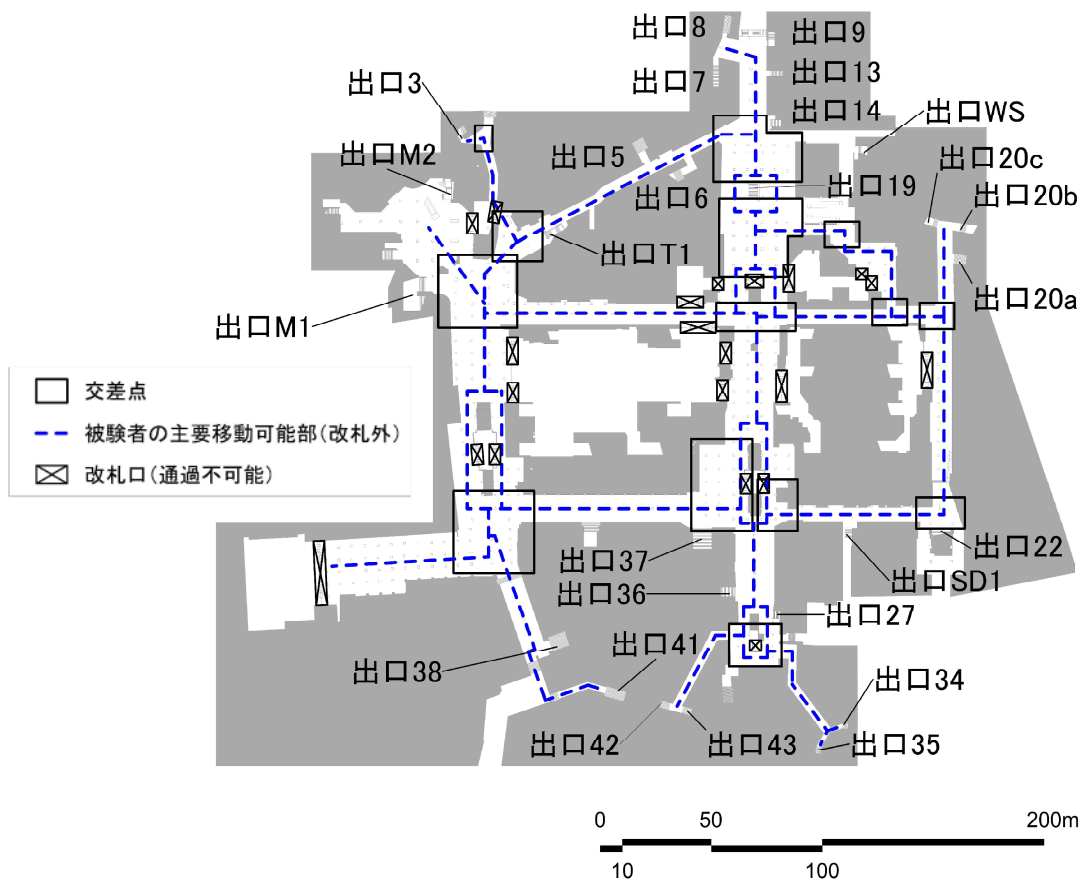


図 2. 2. 2-2 : G2 駅平面図と交差点の位置

### 2. 2. 3 被験者の選定

実験における被験者を選定する際、予め対象となる鉄道駅についての知識を十分に持たない被験者を集めるために、対象となる鉄道駅周辺を居住地及び通勤・通学先とせず、対象駅について知識を持たない者を募集し、以下に示す被験者を選定した。

G1 駅：一般利用者 23 名（性別：男性 13 名、女性 10 名／年齢：21～24 歳）

G2 駅：一般利用者 22 名（性別：男性 10 名、女性 12 名／年齢：21～55 歳）

被験者の選定に際、被験者に対して当該駅の利用頻度及び構内の把握に関する自己認識度合いを質問し駅に対する知識の高いものは除外した。

[質問 1]G1 駅/G2 駅の利用頻度はどのくらいですか？

「①1 年に 1 回未満 / ②1 年に 1 回～1 ヶ月に 1 回未満 / ③1 ヶ月に 1 回以上」

[質問 2]G1 駅/G2 駅の構内をどのくらい知っていますか？

「①全く知らない / ②あまり知らない / ③やや知っている / ④よく知っている」

上記[質問 1]については①もしくは②、[質問 2]については②を選択した者を選定した。被験者は当該駅の「利用が 1 ヶ月に 1 回未満」及び「構内をあまり知らない」者となる。

## 2.2.4 スタート地点及びゴール地点の設定

### (1) スタート地点

スタート地点は改札内もしくは改札外で火災発生時において滞在もしくは通過すると想定される箇所として、ホームからの階段、店舗内、店舗正面、改札口前、地下など特徴のある地点を選定する。なお、出来るだけ空間的に分散させ、ゴール地点を視認出来ない場所に設定する。各スタート地点は以下の通りである。

G1 駅「A:乗り換え改札口正面(交差点)、B:乗り換え改札口正面(交差点)、C:ホーム接続階段、D:ホーム接続階段、E:店舗内」(図 2.4.1-1)

G2 駅「A:改札口正面、B:改札口正面、C:改札口正面、D:改札口正面、E:交差点、F:交差点」(図 2.4.1-2)

### (2) ゴール地点

本実験において、ゴール地点は鉄道事業者及び消防により想定された避難経路上に複数設定した。鉄道駅構内において火災が発生した場合、鉄道事業者における避難計画では、駅利用者を屋外避難出口から駅施設外に誘導することとなっている。その際、改札内の利用者は屋外避難出口に接続する階に設置された改札口に誘導を行う。改札口に誘導した後、そこを起点として同階の屋外避難出口に利用者を誘導する。なお、駅施設においても誘導灯は消防法に従い設置される。改札内においては、屋外避難出口接続階に設置された改札口に、通路誘導灯を用いて誘導する様に設置されている。

以上より、本実験における避難完了地点を、改札内については屋外に通じる改札口、改札外については屋外避難出口とした。



図 2.2.4-1 : G1 駅におけるスタート地点と改札口



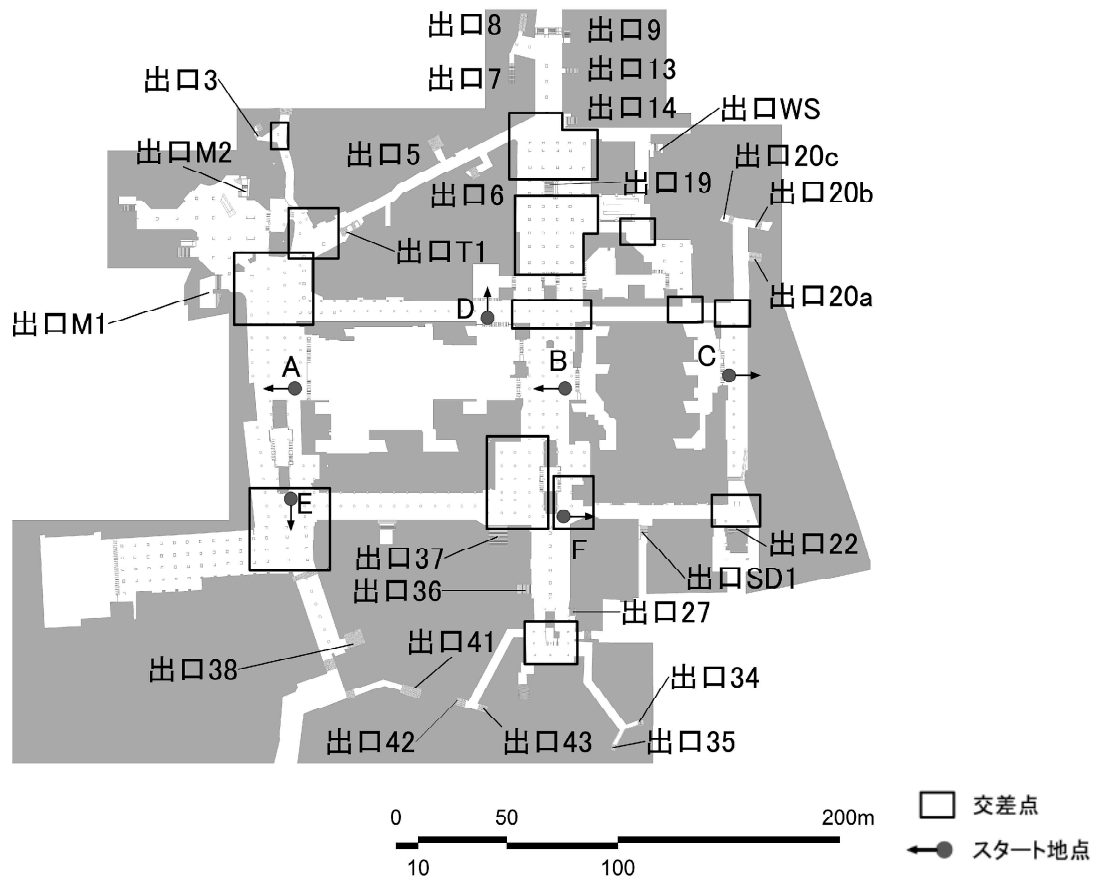


図 2.2.4-2 : G2 駅におけるスタート地点と出口

### 2.2.5 実験方法

各被験者は全スタート地点から避難を開始するものとし、スタート地点の誘導順序は被験者毎にランダムとする。各スタート地点から 1 名ずつ被験者を出発させ、被験者の避難中は同一のスタート地点から他の被験者を避難させないこととする。ゴール地点についての被験者は目隠しをして次のスタート地点まで、実験場所をなるべく通らない経路で実験者が誘導し、移動させる。

実験者・被験者が 2 人 1 組になり、以下の①～④をスタート地点分繰り返す、実験を行う。

- ①スタート地点において教示により実験を開始する。
- ②被験者後方からのビデオカメラ撮影及び被験者の胸に付けたワイヤレスマイクで経路選択理由の発話・行動を記録する。
- ③改札口（屋外への出口）に到達した時点で避難者が到着を宣言し、避難実験終了とする。
- ④被験者に帽子を着用させ、次のスタート地点に移動する。

全実験終了後に被験者に対して質問紙調査を実施する。

以下に、被験者のスタート地点への誘導から避難中の実験者及び被験者の動きについて、実験者に対する留意点及び被験者に対する教示を含めて説明する。

### (1) スタート地点への誘導方法

実験者が被験者をスタート地点へ案内する。その際、被験者が駅の空間構成を学習することを防ぐ必要がある。被験者には帽子を被り、なるべく周囲を見ない様にスタッフの足元を見て歩いてもらう。帽子には、視界を遮る様につばの左右に透過性の低い黒布を取り付けることで、被験者の正面下方以外の視界を遮る形としている。さらに、スタート地点への誘導の際には、被験者の空間把握を防ぐために空間に不連続感を出すため、避難実験を行う階と異なる階のホームを経由、エレベータ及びエレベータを使用する。

### (2) 避難方法

スタート地点到着後、被験者は実験者の教示により避難を開始する。以下、スタート地点到着から避難終了までの避難方法について述べる。

#### i) 避難開始

スタート地点到着後、被験者を所定の向きに立たせる。その後、実験者が被験者に対して教示を行う。その際、教示終了まで帽子を外さない様被験者に指示をし、教示終了時点で帽子を外させる。教示の内容を以下に示す。

<p>駅構内で火災が発生しました。</p> <p>現在1階/地下1階（スタート位置に合わせて変更）にいます。</p> <p>1階の出口（改札口）/同じ階の屋外まで避難して下さい。</p> <p>避難時間の目安は3分としますが、走らずに歩いて、速やかに避難して下さい。</p> <p>案内図を見たり、周囲の人と会話をしたりしないでください。</p>
---

上記の教示については、駅構内で火災が発生した想定、実験におけるゴール地点の確認を行うものである。被験者には教示の時点にいる階と目的地の種類及び目的地のある階を伝える。改札内においては改札口、改札外においては屋外を目的地とすることを伝えるが、目的地となる改札口・出口の名称は伝えないこととする。本実験は、空間構成の把握が不十分な避難者について経路選択時の環境的要因を把握することを目的とする。被験者に対し、特定の目的地を把握させずに目的地及び目的地までの経路を選択させることが必要となるため、教示を上記に示す形とした。

また、出火場所は特定せず、火災の発生みを伝える。被験者が出火場所を想定もしくは

特定することで生じ得る避難行動への影響を排除するためである。

避難時間の目安はスタート地点の位置に関わらず3分とする。本実験は火災避難時を想定しているため、被験者が制限時間を気にせず回遊行動をするなど、避難行動への影響を防ぐ必要がある。そのため、制限時間の超過は問題としない。実験時には一般利用者がいるため、被験者には走らずに歩いて避難させ、なおかつ速やかに避難することを指示する。

必要以上の構内の把握を避けるため、被験者に案内図の使用及び他者との会話を禁止する。以上の内容を含む避難中の禁止事項については、避難者のスタート地点へ誘導する前の集合時点で教示を行うが、被験者に対して再度確認させるために教示を行う。

## ii) 避難中

被験者は避難経路の選択理由を発話しながら避難を行う。実験者は被験者の避難行動を背後からビデオカメラにより撮影するとともに、ビデオカメラ対応の **Bluetooth** 型ワイヤレスマイクを被験者に装着させ、被験者の発話を録音する。撮影の際の留意点を以下に示す。

- ・被験者の上半身と周囲の風景（サインなど）が映るように撮影する。
- ・被験者と離れすぎない様にする。
- ・被験者の発話が拾えているかイヤホンで確認し、声が小さければ被験者に注意する。
- ・被験者の発話が少なすぎる場合は発話を促す

被験者に対して、経路探索行動中は考えていることを出来るだけ多く声に出す様、指示をした。経路選択の理由について話すこととしている。ただし、発話する内容を限定した場合、発話する内容の実験意図に対する適切さについて考える場合が考えられる。これによる悩みが生じることがない様に、経路選択理由のみに限定せず、思ったことをなるべく多く話す様に指示をした。

避難中、実際の避難計画の原則に従うため及び避難の長時間化を防ぐために被験者の避難経路を制限する。被験者には実験開始前の集合時点において伝える。制限事項を以下に示す。

- ・エスカレータ及びエレベータの使用不可
- ・案内図の使用不可
- ・矢印や文字で案内するサインの使用可能
- ・他者との会話の禁止
- ・他者の後をついて行くことの禁止
- ・百貨店などの店舗中への入場不可
- ・新幹線の乗換口の通過の不可及び避難出口としての使用不可

避難計画上の原則に基づき、エスカレータ・エレベータの使用不可、百貨店などの店舗の中には避難出来ないこと、新幹線の乗換口には避難出来ないことを予め伝える。G1 駅、G2 駅のそれぞれについて被験者が避難中に上記の移動禁止場所に行きそうになった場合、実験者は被験者を静止して違う経路を探させる。

実験者の駅構内に対する空間の把握を防ぐため、構内図面の案内図の使用を禁止し、構内の把握に直接的に関係しない矢印や文字で案内するサイン及び誘導灯の使用は可能とすることを被験者に予め伝える。

構内を移動する一般利用者を含めて他者の移動に影響を受けない様、他者の後について行くことも不可とすることを予め伝えた。また、他者との会話の不可も不可とした。

### iii) 避難終了

被験者が「改札口／出口に着きました」と宣言した時点で避難を終了する。被験者が改札口の 5m 以上手前もしくは屋外の見えない位置で歩行を停止した場合は、改札口に近づく様もしくは屋外が見える位置まで進む様に注意する。屋外に繋がりに、なおかつ屋外が見える場所（階段・通路）で被験者を止める。

## 2.3 鉄道駅火災避難時の知識・行動に関する質問紙調査

### 2.3.1 調査概要

鉄道駅における一般利用者の避難に関する知識・判断・行動の把握を質問紙調査により行う。また、被験者に対しても実験に関する質問を加えた同様の質問紙を用いて調査を行う。一般利用者に対する調査により得られた経路選択判断・行動と被験者が実験時にとった判断・行動を比較することで、一般利用者の想定する火災避難時の知識・判断・行動と実際の避難における知識・判断・行動の違いを把握することを目的とする。また、実験において経路選択時の発話に反映されなかった被験者の経路選択判断・行動及び実験において想定されていない状況下における経路選択判断・行動の把握を行うことも目的とする。

以下に、一般利用者に対する調査と被験者に対する調査の概要を示す。

#### 【一般利用者に対する調査】

i)調査日時：2010/10/5（火）

ii)調査対象：大学生 147名(年齢：平均 20.1 歳、標準偏差 1.53 歳)

当該調査において、質問紙に対する影響の成否は専門的知識の有無であり、属性及び年齢が回答に影響を与える可能性は低いと考え、火災に対する専門的知識を持たない成人健康者の代表として調査対象を選定した。

iii)調査方法：質問紙を室内で配布、回答後はその場で回収する。

iv)調査項目

- ・サインの知識
- ・実火災時において想定する避難経路選択判断

#### 【経路探索実験被験者に対する調査】

i)調査日時：経路探索実験実施日 実験終了後

G1 駅：2010/10/1（金）,10/2（土）,10/3（日）

G2 駅：2011/10/16（日）,10/17（月）

各被験者の経路探索実験終了後、実験の一貫として直ちに実施した。

ii)調査対象：経路探索実験被験者

G1 駅：一般利用者 23 名（性別：男性 13 名、女性 10 名／年齢：21～24 歳）

G2 駅：一般利用者 22 名（性別：男性 10 名、女性 12 名／年齢：21～55 歳）

iii)調査方法：質問紙を待機場所にて配布、回答終了後はその場で回収する。

iv)調査項目

- ・サインの知識
- ・実験時における避難経路選択判断
- ・実験時の避難の妨害要因

### 2.3.2 調査内容

実空間の実験における行動（実験行動）について駅実験被験者に行った質問紙調査、及び想定される避難行動（想定行動）について、別途成人健常者に行った質問紙調査の結果の比較を行う。

実験行動の質問では、実験において避難した際、被験者が下した「経路選択の判断」及び被験者が「避難しづらいと感じた避難の妨害要因」について設問項目に対する当てはまり度合いを調査した。想定行動の質問では、火災時において想定される「経路選択の判断」について、成人健常者の想定における当てはまり度合いを調査する。

経路選択要因及び妨害要因の回答は、段階尺度評定法により 4 段階評価とした。評価について、1：全く当てはまらない、2：あまり当てはまらない、3：やや当てはまる、4：よく当てはまるとして評価値を与える。

火災時における経路選択要因の質問項目は既往の知見<sup>6)</sup>を基に作成した。既往の知見に挙げられた特性に加えて、駅員による誘導についても人的対応は困難となるが、放送等においては行われることが想定されるため、質問項目に反映させた。また、経路探索においては、情報収集のためにとりあえず移動する判断が生じると考えられるとともに、地下の場合には、地上の方に 以上より、避難経路選択の特性として、成人健常者に対する質問項目に反映させた特性及向かおうとすることが想定されるため、これら判断も質問項目に反映させた。質問項目に反映させた特性及び判断を以下に示す。

- ・ 記憶や習慣に関わる日常動線志向性
- ・ 明るい方へ逃げる向光性
- ・ 開かれた感じのする方へ逃げる向開放性
- ・ 目につき易い経路や階段、出口に向かう易視経路選択性
- ・ 火災や煙の直接的な影響による本能的危険回避性
- ・ 鉄道駅においては案内図の利用も含まれる理性的安全指向性
- ・ 他者の追従に関する付和雷同性
- ・ 標識の見える方向に逃げようとする特性
- ・ 駅員の誘導に従おうとする判断
- ・ とりあえず移動して、情報を収集しようとする判断
- ・ (地下で) 地上の方に向かおうとする判断

また、本実験では対象駅に関する知識を十分に持たない被験者を用いており、被験者には、実験中の案内図の使用及び他者との会話、他者の後をついて行くことを禁止している。加えて、実験では火や煙の影響、駅員による誘導は考慮していない。このため、想定行動に関する質問のうち、日常動線志向性、本能的危険回避性、理性的安全志向性、付和雷同性、駅員による誘導に関する項目については、被験者を対象とした実験行動に関する質問では項目から除外した。

成人健常者に対する質問項目及び反映させた特性と、その内で実験被験者に対する質問項目への反映の有無を下表に示す。

表 2.3.2-1 発話地点の分類規則

経路選択時の特性・判断	成人健常者に対する質問項目	実験被験者に対する質問項目への反映の有無
本能的危険回避性	火や煙から遠ざかる方向に向かおうとする	×
駅員の誘導に従おうとする判断	駅員の誘導に従おうとする	×
日常動線志向性	よく知っている出口に向かおうとする	×
	見覚えのある方に向かおうとする	×
付和雷同性	人の流れの方向に向かおうとする	×
理性的安全指向性	地図型の案内図を見て、経路を確認しようとする	×
標識の見た方向に逃げようとする特性	避難口誘導灯(緑色)に従おうとする	○
	改札口方向を示す案内サインに従おうとする	○
向光性	明るい方に向かおうとする	○
向開放性	ひらけた方に向かおうとする	○
易視経路選択性	改札口が見えた方に向かおうとする	○
地上の方に向かおうとする判断	(地下で)地上の方に向かおうとする	○
情報収集しようとする判断	とりあえず移動して、情報を収集しようとする	○

上記の調査項目の中で出口までの最短経路を示す誘導灯の使用の有無は避難において重要となるとともに、その存在の認知が重要となる。特に重要と考えた誘導灯の存在の認知に関して、想定行動について回答した成人健常者と実験行動に回答した被験者を対象として、前述の避難行動に関する調査と同一の質問紙上で調査を行った。

## 2.4 地点毎の発話に基づく経路選択要因の抽出

### 2.4.1 経路探索プロセス分析の前提

本研究において、行動モデルは経路探索行動において経路の選択が行われる「経路選択地点」における行動の集積とし、選択地点における経路選択要因及び行動を、次に示す実験における発話プロトコル及び質問紙調査から把握する。これは、駅における避難実験の結果が後述する過去の経路探索の知見と類似し、説明可能であると考えたからである。発話プロトコルの分類について以下に述べる。

本研究における発話の分類方法は、既往研究である日色らの問題解決のプロトコル分析の手法<sup>4)</sup>を基に行う。当該研究では、経路探索プロセスの分析を人間の側から捉え、都市空間及び記憶に基づく情報を利用することにより形成される行動プランを実行する、問題解決のプロセスとしてプロトコル分析を行っている。行動プランについては、課題解決に直接的に結びつくことと予想出来、獲得した指示情報に基づく A プランと、課題解決に直接的に結びつくかはっきりせず依拠する情報を特定できないことの多い B プランに分類している。加えて、移動経路とコード化した発話プロトコルに基づき、経路選択に関わる意思決定が行われた地点を「選択地点」としている。さらに、地点を通り過ぎた後に行われる、回顧的に説明を続けていると解釈出来る発話を含めて選択地点における発話としてグループ化することで、選択地点毎の発話として扱っている。本研究は当該研究の手法にならい、選択地点毎に発話を記録・集計し、分析に用いる。

ここで、本研究では当該研究が提示する行動プランを再編し、被験者の行動を課題解決（避難完了）に結びつくことと予想して行う「情報に基づく行動」と、課題解決に直接結びつくかはっきりしない「とりあえず行動」に分類する。被験者の経路選択は指示情報によるものとは限らず、また、本研究では被験者の経路探索に影響を与える環境的要因を明らかにすることを目的としていることから、本研究において指示情報以外の情報に基づく行動を課題解決に結びつくことと予想して行う「情報に基づく行動」に含めることとする。この場合、行動を生起させる「情報」と「とりあえず」が経路選択要因となる。

本実験では実験対象である駅の空間構成に対する把握が不十分な被験者を選定したため被験者の利用する情報は実験環境に存在し、被験者が認識出来る情報のみであり、これが経路探索時の環境的要因となる。これに対して、当該研究の指示情報の分類には記憶から探し出す記憶情報が存在するが、本報では不案内な被験者を用いていることから分析の対象としない。

なお、日色らは、経路探索を緊張度の高い順に避難、日常的状況、散策に分類し、日常的状況を習熟度の高い順に通い、探索、探査としている。本実験の被験者の習熟度を上記の日常的状況に対する分類に当てはめると探査に該当する。本研究では、習熟度については同様の被験者を対象としていることから、経路探索の用語を用いる。



## 2.4.2 経路選択要因の抽出方法

実験で抽出した経路選択に関する全発話数は 614（G1 駅：272、G2 駅：342）となる。この経路選択に関する発話が生じる場所として、スタート地点、避難中の交差点、ゴール前の 3 種類に分類できる。分類規則を、表 2.4.2-1 に示す。

表 2.4.2-1 発話地点の分類規則

発話地点	分類規則
スタート地点	実験において設定したスタート地点周辺に存在する標識等の経路選択要因について発話したもの
交差点	交差点と交差点に接続する通路の結節点及び交差点内部における経路選択要因について発話したもの
ゴール前	到達した改札口・出口周辺の経路選択要因について発話したもののうち、ゴール到着前の最後に発話したもの *交差点上に存在する改札口・出口に関する発話は、ゴール前に分類する。 *改札口・出口への到着完了を実験者に報告した発話については経路選択要因の発話から除外し、分類には用いない。

なお、本実験において、スタート地点は実際の避難時に通過・滞在する場所として設定しており、移動中の経路と同様に扱うことも出来るが、実験開始直後でその場所の空間把握が十分ではない可能性があり、発話の傾向に差異が生じる場合が想定される。このため、各駅の被験者の発話プロトコルを用いて、スタート地点、交差点、ゴール前の 3 地点について経路選択要因の把握を行う。

経路選択時の発話から経路選択要因を抽出し、発話を「情報に基づく行動」と「とりあえず行動」を生起させたものに分類した。加えて、「情報に基づく行動」を生起させた発話についてはその要因である「環境情報」が複数抽出され、環境情報毎に発話を分類した。「環境情報」と「とりあえず」を伴う発話の特徴を表 2.4.2-2 に示す。なお、経路選択要因の抽出時に、一度の発話内において階段/改札口の要因と標識の 2 要因は類似していることから、この 2 つの要因を発話から判別した。

表 2.4.2-2 発話における要因と発話の特徴

行動	要因	発話の特徴
情報に基づく行動	①改札口/階段 ②案内標識	・○○口の改札口/階段が見えたので～(具体名の発話あり)
	改札口/階段	・改札口/階段が見えたので～(具体名の発話なし)
	案内標識	・○○(標識の表示内容)の案内/サイン/指示があるので～ ・○○(標識の表示内容)に向かいます。
	誘導灯	・誘導灯があるので *誘導灯を正式名称で述べない場合(非常口等)を含む
	その他サイン	・○○(案内標識と誘導灯以外の方向を示す表示)があるので～
	広告	・○○(看板等の宣伝をするための掲示物)があるので
	距離感	・近そう/遠そうなので～ ・近そうな方に行きます。
空間形状	・施設/地下に入りそうなので	
とりあえず行動	ととあえず	・ととあえず/なんとなく○○します。 (理由に別の要因の発話なし)

また、各被験者から生じた地点毎の経路選択に関する発話について、地点の種類と要因を整理した表を作成し、続く経路選択要因の集計に用いた。以下に表の一部を例として示す。

スタート地点	地点	地点の種類	被験者(修正番号)	第1要因	第2要因	発話
A	スタート地点A	スタート地点	1	標識		黄色い出口表示があるので左に向かいます。
A	スタート地点A	スタート地点	2	標識		看板があるので左に行こうと思います。
A	スタート地点A	スタート地点	3	標識		案内が見えるので右に行きたいと思います。
A	スタート地点A	スタート地点	4	標識		(標識を見て)東口に行きます。
A	スタート地点A	スタート地点	5	標識		表示に従って西武口方面行きます。
A	スタート地点A	スタート地点	6	標識		西武口方面で書いてあるのでそっち行きます。
A	スタート地点A	スタート地点	7	距離感		右か左か、右邊そうなので左行ってみます。
A	スタート地点A	スタート地点	8	標識		西武口方面行きます。
A	スタート地点A	スタート地点	10	標識		西口方面、北口方面の方に向かって歩きたいと思います。
A	スタート地点A	スタート地点	11	標識		西口方面に向かいます。
A	スタート地点A	スタート地点	12	標識		東口方面の矢印があるので左に曲がります。
A	スタート地点A	スタート地点	13	標識		階段がここからは見えないので、とりあえず左の西武口。
A	スタート地点A	スタート地点	14	とりにあらず		左手の方から出れそうなので、とりにあらずそのまま行く行ってみます。
A	スタート地点A	スタート地点	15	とりにあらず		左に何となく行ってみます。
A	スタート地点A	スタート地点	16	標識		(東口を目指します。)
A	スタート地点A	スタート地点	17	標識		西武口方面へ向かってみます。
A	スタート地点A	スタート地点	18	標識		西武口、メトロポリタン方面
A	スタート地点A	スタート地点	19	標識		西武口を使ってみようと思います。
A	スタート地点A	スタート地点	20	とりにあらず		とりにあらず左
A	スタート地点A	スタート地点	21	標識		西武口方面の左の黄色い看板が見えるので左行きます。
A	スタート地点A	スタート地点	22	標識		西武口方面の看板があるので左行きます。
A	北交差点1	交差点	1	標識		丸の内北口って書いてある方があるんで行ってみます。
A	北交差点1	交差点	15	標識		八重洲北口があるので右に行きます。
A	北交差点2	交差点	1	標識		とりにあらず丸の内北口っていう所に向かってみます。
A	北交差点2	交差点	2	標識		丸の内北口と八重洲北口の標識があるのですが、左の丸の内北口になんとなく進みます。
A	北交差点2	交差点	7	標識		表示が見えたので右曲がります。
A	北交差点2	交差点	8	距離感		左か右、どっちか行けば良いんですけど右の方が近そうなので右行ってみます。
A	北交差点2	交差点	10	標識		八重洲北口右の表示があるので右折して直進したいと思います。
A	北交差点2	交差点	11	距離感		どっちに行っても良いんですが、八重洲北口の方に進みます。何となく近そうです。
A	北交差点2	交差点	12	距離感		八重洲北口の方が近そうなのでそっち行きます。
A	北交差点2	交差点	13	標識		八重洲北口という目印があるのでそれに従って行きます。
A	北交差点2	交差点	16	標識		八重洲北口の案内があったので右側に行きます。

図 2.4.2-1：地点及び被験者毎の発話における地点の種類及び経路選択要因に関する整理表の例

### 2.4.3 経路選択要因の集計方法

各地点での一度の発話内において複数の要因が抽出される場合がある。本研究では、被験者が経路探索を行い、ゴールに辿り着く途中課程において、情報（要因）が、経路選択行動に影響を与えた度合いを把握することを目的とする。このため、一度の経路選択行動内に複数の要因が存在する場合には要因に重み付けを行う。一度の経路選択時に発話される要因が2つあった場合は、各要因を0.5として合計が1になる様に要因に重みを与える。なお、G1駅とG2駅のいずれの実験においても、一度の発話で3要因以上が抽出されることはなかった。

#### 2.4.4 経路選択要因の抽出結果

発話プロトコルを前述の分類方法に基づき、「情報に基づく行動」と「とりあえず行動」に分類し、「情報に基づく行動」については環境情報毎に分けて集計した。結果を図 2.4.3-1 に示す。

いずれの地点においても G1 駅・G2 駅ともに経路選択時の要因として案内標識の割合が高く、駅間に差は見られない。スタート地点においては 7 割以上、交差点においては 8 割、ゴール前においては約 5 割となる。誘導灯を要因にあげた人はほとんど見られない。よって、駅構内において、案内標識は経路選択の主要因となることが明らかになった。

地点毎に見ると、スタート地点においては、「とりあえず」が両駅ともに 2 番目に割合が高く、G1 駅は 17%、G2 駅は 10%となる。交差点においては、「距離感」が G1 駅で約 13%、「とりあえず」が G2 駅で約 10%となり、2 番目に高い。ゴール前では、「改札口/階段」が両駅ともに高く、G1 駅は約 47%、G2 駅は約 50%となり、案内標識と同様の値となる。ゴール地点では「改札口/階段」も「案内標識」と同様に経路選択の主要因と言える。なお、案内標識以外に、出口・改札口の方向を示すサインを指す。経路選択実験において被験者に使用されたものは、G1 駅床面に直接描画されたサインのみである。

以上より、スタート地点及び交差点における経路の選択については案内標識を判断に用いる傾向が高く、誘導灯を要因とする人は少ない。案内標識以外では「とりあえず」もしくは感覚的な「距離感」に基づいて経路選択を行うと考えられる。ゴール前では、改札口・階段といった出口の視認と案内標識の両方を判断に用いる傾向が高いことが明らかとなった。

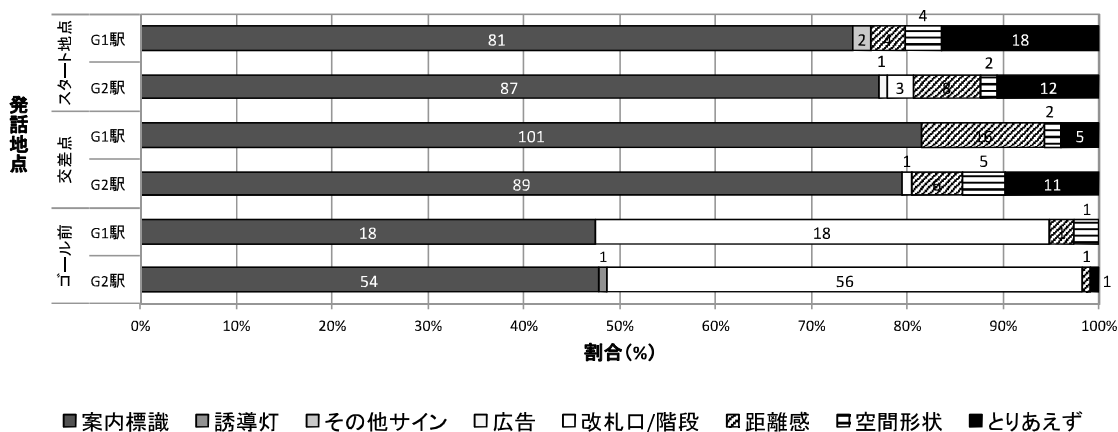


図 2.4.4-1 発話地点毎の発話における経路選択要因

## 2.5 立ち止まり及び後戻り行動の発生状況

交差点及び通路における立ち止まり及び後戻り行動の発生割合を実験者の行動を観察することと求めた。各駅の交差点と通路における、立ち止まり行動の発生数及び発生割合を表 2.5-1 に示す。また、各駅における立ち止まり行動及び後戻り行動の発生状況を図 2.5-1 と 2.5-2 に示す。

被験者の立ち止まり行動は、通路部分では少なく、G1 駅・G2 駅とも交差点部分で多い。発生割合は G1 駅では 97.5%、G2 駅では 84% となる。この内、G2 駅のスタート地点 B と D のある通路の交差点において駅中における 24% の立ち止まりが生じている。当該交差点は分岐が多く 5 叉路となっており、交差点の中で最も多くの通路と繋がっているため、経路選択の判断を行う必要が生じていると考えられる。

また、立ち止まり行動と比較して少ないが、後戻り行動も発生しており、G1・G2 駅ともに交差点において生じている。

表 2.5-1：各駅における地点毎の立ち止まり発生数

各駅における空間毎の立ち止まり行動発生数			
	交差点	通路	合計
G1 駅	39 (97.5%)	1 (2.5%)	40 (100%)
G2 駅	42 (84%)	8 (16%)	50 (100%)

\* ( ) 内は駅毎の発生割合

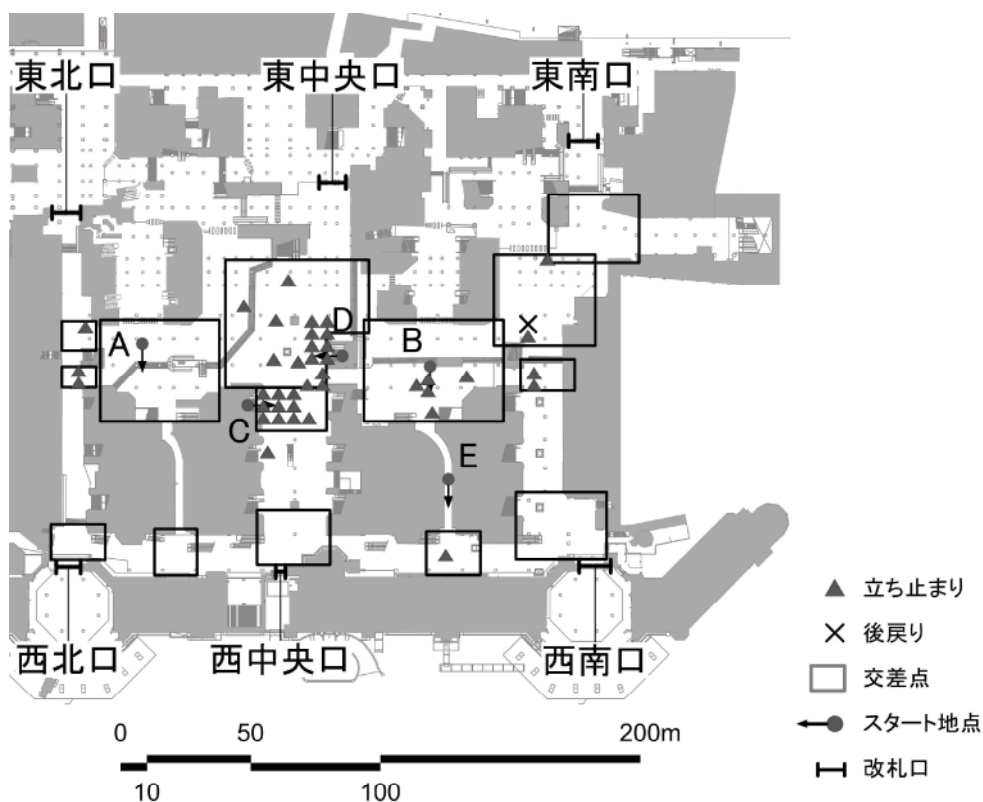


図 2.5-1 G1 駅被験者の立ち止まり・後戻り行動

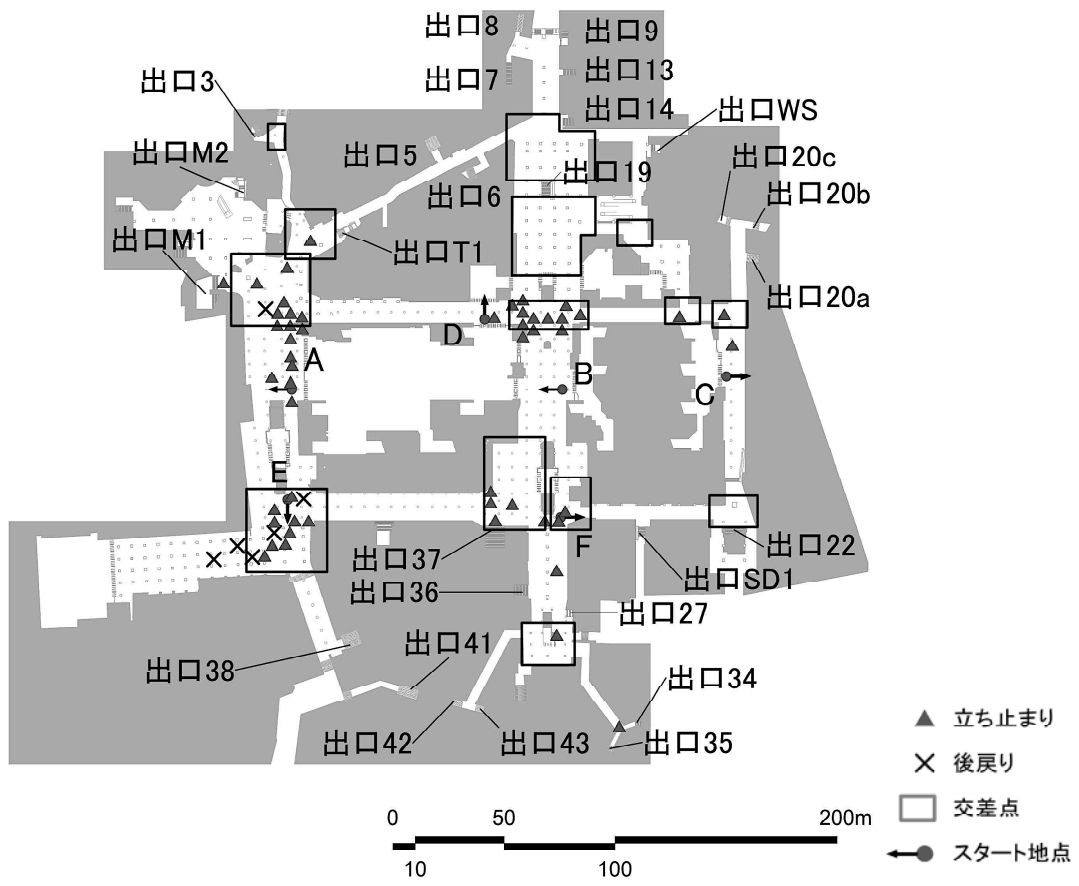


図 2.5-2 G2 駅被験者の立ち止まり・後戻り行動

## 2.6 質問紙調査に基づく火災避難知識及び行動の傾向

### 2.6.1 経路選択要因の把握

経路選択要因の質問に対する成人健常者、G1 駅、G2 駅のそれぞれの回答について、質問項目毎に 4 段階評価の平均値を求める。この平均値を基に、Tukey-Kramer の HSD 検定を用いた平均値の多重比較を行い、各項目の平均値について有意水準 5%における有意差を示す。同じアルファベットでつながっていない項目の水準間に有意差が見られた。アルファベットがつながり、有意差がない項目同士を 1 まとまりとし、グループとして分析する。成人健常者、G1 駅、G2 駅内で各項目の順位を比較することで、各回答者属性における項目の寄与の度合いを把握する。各項目の平均値及び有意差検定の結果を図 2.6.1-1、同種の項目に対する回答者属性間の平均値の差異を図 2.6.1-2 に示す。

#### (1) 経路選択の主要因

想定行動の調査より、「(地下で) 地上の方に向かおうとする、改札口方向を示すサインに従おうとする、改札口が見えた方に向かおうとする」ことを避難時の判断として「よく当てはまる、やや当てはまる」(以下、当てはまるとする。)とした回答者がおおむね 8 割以上となる。前述の有意差検定において、いずれも平均値 3 以上の平均値の高いグループに含まれる。避難者は、出口に向かってしていると判断出来る環境情報を、避難時の判断根拠としている可能性が高い。実験中の経路選択要因として、G1 駅における改札口と G2 駅における階段・出口を被験者のゴール地点として集計すると、G1 駅・G2 駅ともに 8 割以上の駅実験被験者がこれらの判断を選択している。これらの項目はいずれも G1 駅と G2 駅ともに平均値 3.5 以上の最も高いグループに分類される。

この結果は発話プロトコルの分析において案内標識を経路選択要因とした割合が高いことを追認している。改札口・出口も同様にゴール地点における発話の分析結果を追認しているものと考えられる。

#### (2) 向開放性及び向光性

想定行動の調査では「ひらけた方に向かおうとした、明るい方に向かおうとした」についてそれぞれ 71%、61%が「当てはまる」と回答している。実験行動ではそれぞれの要因について「当てはまる」と回答した被験者が G1 駅では 70%、52%、G2 駅では 55%、45%となる。

2 項目ともに、経路選択の判断として案内標識の利用より低い順位となっている。経路選択の主要因ではないと考えられる。

実火災時を想定した判断		評価の回答割合 4:よく当てはまる, 3:やや当てはまる, 2:あまり当てはまらない, 1:全く当てはまらない				平均	平均値の有意差(P<5%) によるグループ分類			
成人健常者による 実火災時の 想定行動	(1) 火や煙から遠ざかる方向に向かおうとする	98	42	5	2	3.63	A			
	(2) 駅員の誘導に従おうとする	92	50	5	5	3.61	A			
	(3) (地下で)地上の方に向かおうとする	93	45	3	6	3.53	A	B		
	(4) 避難口誘導灯(緑色)に従おうとする	87	46	11	3	3.49	A	B		
	(5) 改札口方向を示す案内サインに従おうとする	62	68	15	2	3.29		B	C	
	(6) 人の流れの方向に向かおうとする	47	83	15	2	3.19			C	
	(7) よく知っている出口に向かおうとする	58	58	29	2	3.17			C	
	(8) 改札口が見えた方に向かおうとする	58	58	29	2	3.15			C	
	(9) ひらけた方に向かおうとする	49	61	31	5	3.05			C	D
	(10) 見覚えのある方に向かおうとする	23	81	36	7	2.82				D E
	(11) 明るい方に向かおうとする	34	55	47	11	2.75				E
	(12) 地図型の案内図を見て、経路を確認しようとする	24	55	54	14	2.60				E
	(13) とりあえず移動して、情報を収集しようとする	13	70	56	8	2.59				E
							*異なるアルファベットの項目の間に有意差あり			
割合(%)							*異なるアルファベットの項目の間に有意差あり			
<input type="checkbox"/> よく当てはまる <input type="checkbox"/> やや当てはまる <input type="checkbox"/> あまり当てはまらない <input type="checkbox"/> 全く当てはまらない										

実験時の判断		評価の回答割合 4:よく当てはまる, 3:やや当てはまる, 2:あまり当てはまらない, 1:全く当てはまらない				平均	平均値の有意差(P<5%) によるグループ分類			
G1駅 被験者による 実験行動	(5) 改札口方向を示す案内サインに従おうとした	21	2			3.91	A			
	(8) 改札口が見えた方に向かおうとした	18	5			3.78	A			
	(13) とりあえず移動して、情報を収集しようとした	5	16	2		3.13		B		
	(9) ひらけた方に向かおうとした	2	14	7		2.78		B	C	
	(11) 明るい方に向かおうとした	3	9	10	1	2.61			C	
	(4) 避難口誘導灯(緑色)に従おうとした	1	5	17		1.30				D
							*異なるアルファベットの項目の間に有意差あり			
割合(%)										
G2駅 被験者による 実験行動	(8) 昇り階段が見えた方に向かおうとした	18	3	1		3.73	A			
	(5) 出口方向を示す案内サインに従おうとした	16	4	1	1	3.59	A	B		
	(3) 地上の方に向かおうとした	16	3	2	1	3.55	A	B		
	(13) とりあえず移動して、情報を収集しようとした	3	13	6		2.86		B	C	
	(9) ひらけた方に向かおうとした	3	9	8	2	2.59			C	
	(11) 明るい方に向かおうとした	3	7	6	6	2.32			C	
(4) 避難口誘導灯(緑色)に従おうとした	4	4	14		1.55				D	
							*異なるアルファベットの項目の間に有意差あり			
割合(%)										
<input type="checkbox"/> よく当てはまる <input type="checkbox"/> やや当てはまる <input type="checkbox"/> あまり当てはまらない <input type="checkbox"/> 全く当てはまらない										

図 2.6.1-1 実火災時の想定及び実験に基づく経路選択要因

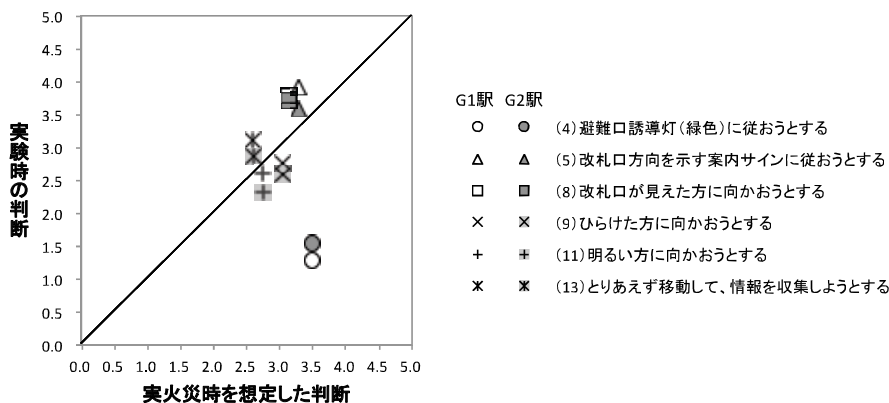


図 2.6.1-2 想定及び実験に基づく経路選択行動に対する当てはまり評価の平均値比較

### (3) とりあえずの経路選択判断

「とりあえず移動して、情報を収集しようとする」ことについて、想定行動では 58%、実験行動では G1 駅被験者の 91%、G2 駅被験者の 73%が「当てはまる」としている。

とりあえず移動することについて、想定行動では実験行動と比較して経路選択時の判断として低い順位となっている。実験結果から、避難経路に関する情報が無い場合にとりあえず移動する状況が見られるが、この様に情報のない状況については想定行動では十分に考えられていない。

### (4) 実験想定対象外の要因

想定行動の調査において「人の流れの方向に向かおうとする、よく知っている出口に向かおうとする、見覚えのある方に向かおうとする」ことを「当てはまる」とした回答者は、それぞれ 88%、79%、71%となる。平均値の有意差検定においては平均値が 2.8 以上と 3 以上のグループに分類される。今回の実験では、対象駅に不案内な被験者単独の判断としたため想定していないが、避難者の経路選択において人の流れや記憶が要因となる可能性が高い。また、ほぼ全ての回答者が「駅員の誘導に従おうとする、火や煙から遠ざかる方に従おうとする」と回答しており、火煙の存在や駅員の誘導が駅利用者の避難経路の決定に大きな影響を与えと考えられる。

「地図型の案内図を見て、経路を確認しようとする」ことを「当てはまる」とした回答者は 53%となり、有意差検定において平均値が 3 未満の最も低いグループに分類される。経路選択において地図型の案内図を用いる可能性はそれほど高くはないと言える。

### (5) 誘導灯の利用

想定行動の調査より、「避難口誘導灯（緑色）に従おうとする」については、「当てはまる」とした回答者が約 9 割となり、平均値の有意差検定においては平均値の最も高いグループに含まれる。対して、実験行動についての回答では G1 駅で約 4%、G2 駅で約 20%となり、いずれも平均値 2 未満の最も低いグループに含まれる。案内標識の利用については想定行動、実験行動のいずれについても平均値 3.5 以上の高いグループに属する。

誘導灯と降車方向の案内標識はいずれも外に通じる出口もしくはそこに通じる改札口の方角を示すものであり、想定における避難時の判断としてはいずれも回答率は高い。両駅の実験被験者も同様に案内標識については高い値をとるが、誘導灯については低い値をとる。鉄道駅であることから、案内標識の日常的な使用による習慣や、標識の色や大きさによる誘目性が影響を与えている可能性が高い。



## 2.6.2 誘導灯の存在についての認識

成人健常者を対象とした調査において、鉄道駅における誘導灯の存在を「知らなかった」とした回答者が約 60%となった。鉄道駅における誘導灯の存在についての一般的な認知度は高くはない。実験被験者を対象とした調査において、G1 駅は約 64%、G2 駅は約 65%となる。実験被験者と成人健常者の認知率は同等であり、適切な実験被験者を選定したこと及び認知率の一般性を確認した。

成人健常者と実験被験者のうち、4 割弱が鉄道駅に誘導灯が設置されていることを知っていた。ただし、ほとんどの実験被験者が案内標識を使用していた。この様に、誘導灯が設置されていることを知っていたとしても案内標識に従って経路を選択する傾向があると考えられる。

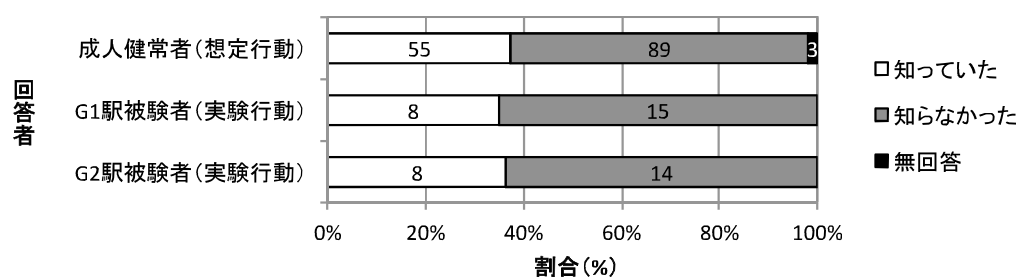


図 2.6.2-1：鉄道駅に設置された誘導灯に対する各属性の回答者の認知傾向

### 2.6.3 妨害要因の把握

妨害要因の質問に対する G1 駅、G2 駅のそれぞれの回答について、経路選択要因の質問と同様に質問項目毎に 4 段階評価の平均値を求め、Tukey-Kramer の HSD 検定を用いた平均値の多重比較を行う。これにより、各回答者属性における項目の寄与の度合いを把握する。各項目の平均値及び有意差検定の結果を図 2.6.3-1、同種の項目に対する両駅被験者間の平均値の差異を図 2.6.3-2 に示す。

#### (1) 改札口及び出口の視認性

G1 駅被験者の「改札口が見えづらい」、G2 駅被験者の「出口が見えづらい、地上への階段が見つけづらい」に対して「当てはまる」とした回答がともに 8 割以上と高く平均値の最も高いグループに含まれる。改札口・出口ともに見つけづらい状況があったことが分かる。

#### (2) 空間の見通し

「見通しが悪い」について「当てはまる」とした被験者が G1 駅では 78%、G2 駅では 86% となり、両駅ともに平均値の高いグループに含まれる。G1 駅、G2 駅ともに通路及び交差点上に柱が存在する。柱や空間を分節する壁の存在と空間の折れ曲がり、段差が存在し、直線的な見通しがしづらい空間となっていることが要因と考えられる。このために、G1 駅の改札口と、G2 駅の外に通じる階段の一部は通路に正対しているが、交差点やそこから延びる通路からは構造上、直接視認しづらいものが存在する。また、G2 駅の階段は駅周縁部の通路と交差点の側壁に設置されているものが多く、通路の進行方向に対して正対していないものが多い。このため、G2 駅においては通路上からは直接視認出来ないものが多い。改札口・外に通じる階段を含めた空間の見通しが避難のしやすさにおいて重要であると考えられる。

#### (3) 出口までの距離情報

G1 駅被験者に対する質問紙調査の自由記述欄では、23 人中 6 人が出口までの距離情報の不足により経路の選択に悩んだことを述べていた。このため、その後に行った G2 駅被験者に対する質問項目に「出口までの距離が分からない」を追加したところ、G2 駅被験者の 9 割以上が避難しづらい要因として「当てはまる」と回答しており、平均値は最も高い。出口までの距離を示す情報がないことが避難の妨害要因となる可能性が高い。

#### (4) 通路の幅及び段差の有無

「通路幅が狭い」について、「当てはまる」と回答した被験者は、G1 駅と G2 駅ともに 22%、「段差を通らなければならない」については G1 駅では 13%、G2 駅では 22%となる。平均値が 2.5 未満の低いグループに含まれる。通路幅が狭いことと段差の存在は避難経路選択の妨害要因となる可能性は低い。

質問文：今回の実験において避難した際、避難しづらいと感じた要因として、以下の項目はどのくらい当てはまりますか？ 各項目について4段階で評価し、当てはまる番号に1つだけ○をつけてください。		評価の回答割合 4:よく当てはまる、3:やや当てはまる、2:あまり当てはまらない、1:全く当てはまらない		平均	平均値の有意差(P<5%) によるグループ分類				
G1 駅	(1) 改札口が見えづらい	7 10 6			3.04	A			
	(2) 見通しが悪い	5 13 3 2			2.91	A			
	(3) 通路幅が狭い	1 4 11 7			1.96	B			
	(4) 段差を通らなければならない	3 14 6			1.87	B			
		0% 20% 40% 60% 80% 100%				*異なるアルファベットの項目の間に有意差あり			
G2 駅	(5) 出口までの距離が分からない	16 5 1			3.64	A			
	(1) 出口が見えづらい	7 13 2			3.23	A			
	(6) 地上への階段が見つけづらい	6 14 2			3.18	A			
	(2) 見通しが悪い	5 14 3			3.09	A			
	(3) 通路幅が狭い	1 4 14 3			2.14	B			
(4) 段差を通らなければならない	5 11 6			1.95	B				
*()内は同種の項目を同一の番号で表示 *項目は平均値の高い順に表示		0% 20% 40% 60% 80% 100%				*異なるアルファベットの項目の間に有意差あり			
		割合(%)				<input type="checkbox"/> よく当てはまる <input type="checkbox"/> やや当てはまる <input type="checkbox"/> あまり当てはまらない <input type="checkbox"/> 全く当てはまらない			

図 2.6.3-1 実験時における被験者の避難妨害要因

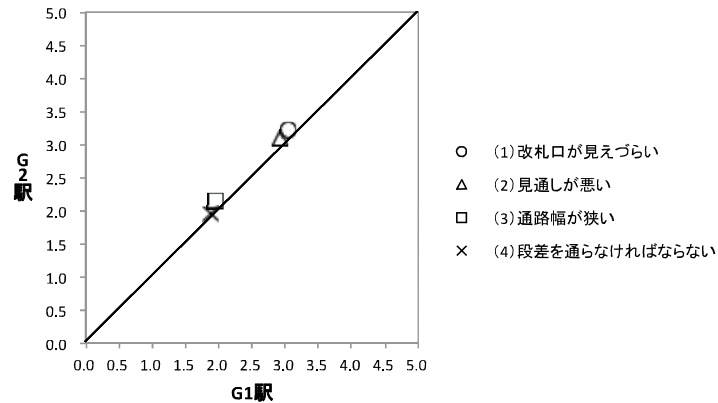


図 2.6.3-2 実験における被験者の妨害要因に対する当てはまり評価の平均値比較

## 2.7 考察

### 2.7.1 立ち止まりを生じやすい空間と要因

2 駅の実験結果より、立ち止まりを生じやすい場所及び状況は交差点等の通路分岐点であると考えられる。交差点においては、案内標識を利用する傾向が高い。出口方向を指示する環境情報である案内標識がない場合、被験者は明確な環境情報を経路選択要因とせず、主に感覚的な「距離感」と「とりあえず」を要因とする。課題解決に直接的に結びつく環境情報である案内標識がないことで、経路を判断する必要が生じ、立ち止まりが生じやすくなると考えられる。

案内標識の有無に加えて、質問紙で得られた経路選択要因と避難の妨害要因より、改札口、出口、通路といった空間の見通しも経路選択の判断に影響を与えることから、これらも立ち止まりの発生に大きく寄与していると考えられる。また、避難の妨害要因として「改札口・出口までの距離情報がない」ことが挙げられており、案内標識などにより出口もしくは改札口に向かう経路を認識していたとしても、距離等の判断を含む選択時に経路を決定するために立ち止まりが生じる可能性があると考えられる。

### 2.7.2 代表的な単独避難者の経路探索行動モデル

#### 2.7.2.1 行動過程

本研究では、駅における経路探索実験の結果から通路部分での判断は少なく、交差点を「経路選択地点」として、避難時の経路探索行動を交差点における問題解決のプロセスとして捉えていると考える。このことは、交差点において、立ち止まり行動から見た経路選択行動の発生と発話プロトコルから見た経路選択行動の発生が見られることにより追認出来る。

よって、空間構成の全体把握が不十分な避難者の避難経路探索行動は、交差点等の経路選択が必要な場所毎に経路選択を繰り返して行うと考え、行動のモデル化を試みる。

#### 2.7.2.2 避難経路探索行動モデルの構築

実験と質問紙調査の結果から空間構成の全体把握が不十分な場所における代表的な避難経路探索行動モデルを構築する。作成した行動モデルは、図 2.7.2.2-1 に示す。

##### (1) 経路選択地点における行動モデル

質問紙調査より、経路選択要因として案内標識及び出口・改札口・通路の広がりなど、出口（外部）に向かっていると判断出来るものに基づいて経路選択を行うことが分かった。また、発話に基づく経路選択要因の発生割合より、スタート地点及び交差点では案内標識が主要因となることが分かった。

なお、交差点において、出口方向を指示する環境情報である案内標識がない場合、被験者は明確な環境情報を経路選択要因とせず、主に複合的な環境情報からなる感覚的な「距離感」と依拠する情報のないもしくは情報を確定出来ない「とりあえず」を要因とする。

以上より、“1)経路や空間の情報収集を行う”、“2)-a 標識がある場合は標識に従う”、“2)-b ない場合にとりあえずもしくは感覚的な距離感に従い経路を選択する”という一般化した行動順序が得られる。

加えて、「見通しが悪い」ことが質問紙調査により避難の妨害要因として認められることから、案内標識、距離感、とりあえずといった要因に基づく経路選択行動に対してさらに空間の見通しが影響を与えると考えられる。

## (2) ゴール前地点における行動モデル

ゴール前の地点については改札口・階段といった出口の視認と案内標識の両方を判断に用いる傾向が高いことが発話に基づく経路選択要因の発生割合より把握出来る。また、発話より感覚的な「距離感」が経路選択要因となること、質問紙調査より出口までの距離が分からないことが避難の妨害要因となることから、被験者は自身で距離が近いと判断した出口を目標していると言える。

一方で、被験者に対する質問紙調査から、出口となる階段や改札口の見えづらい場合があることが分かった。これにより、被験者が避難の途中で直近の改札口・屋外避難出口に気づかない可能性が示唆される。

以上より、視認した場所を出口と判断した場合は、視認出来た出口に向かい、視認出来ない場合には経路選択地点で決定した経路選択要因に従い、そのまま移動を行うと考えられる。

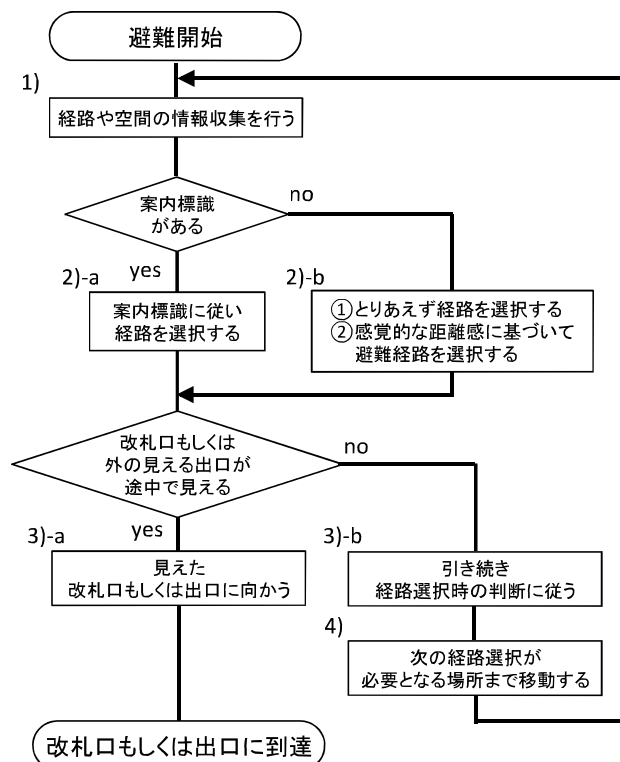


図 2.7.2.2-1 鉄道駅火災避難時における経路探索行動モデル

一般化した行動順序は、“3)-a 改札口もしくは外が見える出口が途中で見えた場合はその方向へ移動する”、“3)-b 見えない場合には引き続き経路選択地点における判断に従う”となる。

3)-b に至った場合、経路探索の途中経路であることから、次の経路選択地点まで移動し、経路を選択する必要がある。一般化した行動順序は、“4)次の経路選択が必要となる場所まで移動する”となり、交差点等の経路選択地点に到達後は再度、“1)経路や空間の情報収集を行う”と考えられる。

### 2.7.2.3 出口までの距離情報の影響

空間の全体把握が不十分な被験者の場合には、経路選択は出口までの実際の距離に基づいて行われたい。これは、交差点等で経路選択に用いるための距離情報がないことが要因と考えられる。また、質問紙調査より改札口・出口までの距離情報がないことが避難の妨害要因として大きい。発話においても感覚的な距離感が案内標識に続く経路選択要因となる。このことから、交差点等に距離情報を追加した場合、経路選択時に有効に働く可能性が高いと考えられる。

### 2.7.3 利用者に対する避難誘導計画の作成方法

本章において、火災避難時の経路探索行動に与える経路選択時の環境的要因及び避難者の経路探索行動モデルの把握を行った。本項では、この結果に基づき利用者の行動に基づく標識を用いた誘導の必要性和現状に対する改善案の検討を通して、避難計画作成時の指標となり得る利用者に対する避難計画の作成方法として避難経路の誘導計画方法について考察する。

一般的な利用者が考える想定上の避難行動では、人の流れ、火や煙の存在、駅員の誘導、記憶や習慣を判断として用いることが想定されている。大規模鉄道駅は利用者数の多さと空間の広さから、駅員の人的誘導には限界がある。可能な限り利用者自身が最短経路を選択して避難することが必要となる。また、上記の判断要因の内、人の流れ、火や煙の存在、記憶や習慣に基づく行動は、一部の改札口・出口に避難者が集中することによる混雑や最短ではない経路の使用による避難時間の長期化につながる可能性が高い。設備等により避難者の経路探索を補助することで経路を誘導する方法が必要となると考えられる。

避難を行う駅について不慣れ（空間構成の把握が不十分）な利用者が避難経路選択時において、案内標識を用いる傾向が高いことが実験により示されるとともに一般利用者の想定においても案内標識を判断に用いる傾向が高いことが示された。鉄道駅避難時の経路選択判断に際して、利用者は案内標識を利用することが推測される。しかしながら、案内標識は日常利用を想定されており、利用者が目指す個別の出口や改札口、方面に向かうための具体的な経路を示すが、最短距離にある改札口・出口は示されていない。案内標識に従って避難した場合、距離の遠い改札口・出口を目指す可能性がある。また、実験より不慣れな利用者の場合は案内標識に

距離情報がないことが避難しづらいこと、経路選択の判断として距離感を案内標識の次に用いることが分かっている。案内標識の表示内容に距離情報を付加することにより、慣れている利用者と不慣れな利用者ともに案内標識を使用することで、両者の最短経路の選択に有効に働くと考えられる。

避難経路の提示方法については消防法により誘導灯及び誘導標識が規定されているが、鉄道駅の避難経路選択において使用されるとは限らない。一般利用者の想定では誘導灯に従うことが避難時の判断として選択される傾向が高いが、実験において誘導灯はほとんど使用されることはなかった。加えて、誘導灯の鉄道駅における認知率については、認知していなかった利用者が実験被験者と質問紙調査の回答者ともに6割と低いことに加えて、4割の実験者が知っているに関わらず使用していない結果となった。誘導灯がその存在に気づかないこと及び使用されないことも避難経路の長距離化に影響を与えられられることから、誘導灯の使用を促す方法も必要と考えられる。

加えて、実験から、不慣れな利用者の避難経路探索行動は、交差点等の経路選択が必要な場所毎に経路選択を繰り返して行う。実験の被験者は主に案内標識を経路選択時の判断に使用していることから、避難者が経路表示設備に従うとすれば、誘導する避難経路上において連続した標識の配置が必要となるとともに、標識の配置については特に交差点等の通路分岐点において重要となると考えられる。

案内標識に表示されている改札口・出口については、最短距離以外のものについても距離情報が必要である。建築物における避難計画では二方向避難という考えに基づき、異なる方向にある階段・出口へ異なる経路を移動して避難する様に避難経路を計画することが求められる。火源が最短経路上に存在する等、最短経路が使用出来ない場合を想定している。最短距離以外のものについても距離表示があることで、利用者は最短距離に続く距離の経路を選択することが出来、二方向避難の安全性を高めることが出来ると考えられる。

## 2.8 まとめ

---

本研究は、大規模鉄道駅の避難誘導計画に資する知見を得ることを目的とし、実際の大規模鉄道駅において避難経路探索実験における避難中の被験者の行動・判断の把握を行動観察により行い、実験被験者及び一般利用者の避難に関する知識・判断・行動の把握を質問紙調査により行うことで、大規模鉄道駅の避難経路選択要因及び空間構成の全体把握が不十分な場所における単独避難者の経路探索行動モデルの導出を行った。これにより、現状の鉄道駅において避難時の移動に関する問題点を把握するとともに、避難計画作成時の指針として利用者の行動モデルに基づく避難経路の誘導計画方法について考察した。

### (1) 実空間で行った経路探索実験

- ・ スタート地点、交差点の経路選択では案内標識が主要因となる。
- ・ 案内標識がない場合、とりあえずもしくは感覚的な距離感に基づいて経路選択を行う。
- ・ ゴール前については改札口・階段といった出口の視認と案内標識が経路選択の主要因となる。
- ・ 途中で改札口・階段を視認し出口と判断した場合は、視認した当該出口に向かう。
- ・ 駅構内において誘導灯は必ずしも経路選択の主要因とはなっていない。

### (2) 避難行動想定及び実空間実験行動に関する質問紙調査

- ・ 想定上の避難行動では、とりあえず移動することは想定されていない。
- ・ 想定上の避難行動として、人の流れ、火や煙の存在、駅員の誘導、記憶や習慣を判断として用いる可能性が高い。
- ・ 想定上の避難行動として、地図型の案内図を用いて経路選択を行う可能性は高くない。
- ・ 想定、実験ともに、鉄道駅での誘導灯の存在について認知率は4割弱となり高くはない。
- ・ 出口までの距離が分からないことが避難の妨害要因となる。
- ・ 出口を含めた空間の見通しの悪さが避難の妨害要因となる。
- ・ 通路幅が狭いことと段差の存在は避難の妨害要因となる可能性は低い。

### (3) 実空間実験及び質問紙調査の統合的考察

- ・ 誘導灯に従うことが避難時の判断として想定される傾向が高いが、実際の避難において誘導灯はほとんど使用されず案内標識が使用される可能性が高い。
- ・ 交差点等の経路選択場面で、出口までの距離情報がないことが経路判断を阻害する。



#### (4) 鉄道駅利用者に対する避難経路の誘導計画方法

- ・ 駅員の人的誘導には限界があり、可能な限り利用者自身が最短経路を選択して避難することが必要となることから、設備等により避難者の経路探索を補助することで経路を誘導する方法が必要となる。
- ・ 案内標識の表示内容に距離情報を付加することにより、避難を行う駅構内の移動に慣れている利用者と慣れていない利用者のいずれも案内標識を使用することで、両者の最短経路の選択に有効に働く。
- ・ 誘導灯がその存在に気づかないこと及び使用されないことも避難経路の長距離化に影響を与えられられることから、誘導灯の使用を促す方法も必要となる。
- ・ 被験者は主に案内標識を経路選択時の判断に使用していることから、避難者が経路表示設備に従うとすれば、特に交差点等の通路分岐点において重要となる。
- ・ 最短距離以外のものについても距離表示があることで、利用者は最短距離に続く距離の経路を選択することが出来、二方向避難の安全性を高めることが出来ると考えられる。



---

## 第3章

### 鉄道駅経路指示標識の煙中における視認性

---

### 3.1 はじめに

鉄道駅は運輸施設であるため、平常時の多数の利用者の移動を主目的として計画されているが、利用者の非常時における動線計画は平常時と異なる場合がある。非常時に配慮して避難経路を提示し、利用者を適切に誘導することは必要不可欠である。避難経路の提示方法については消防法により誘導灯<sup>注1)</sup>及び誘導標識が規定されている。また、駅特有の経路表示設備として日常的に出口・経路を示す案内標識が鉄道駅の基準に従い設置されている。両者はそれぞれの基準で設置されているが、ともに出口方向を示すものであり、利用者の避難経路選択に影響を与える可能性が考えられる。建築物として避難経路選択に影響を与える可能性の高い誘導灯・案内標識の影響を考慮した避難誘導が必要となる。

鉄道駅構内の誘導灯は、日常利用目的である案内標識と互いに視認を阻害しない様に考慮され、設置される傾向にある<sup>注2)</sup>。ただし、大規模鉄道駅のコンコースや通路では幅員が広いため、図 3.1-1 の様に、利用者の位置によって通路の端から斜め正面方向誘導灯を見る場合や、狭い連絡通路等の側壁面に設置された通路誘導灯を通路中央から見る場合には、避難者は表示面に対して斜めから確認するが生じる。避難者が視認する角度により誘導灯の見え方は異なるため、視認する角度を考慮して設置することが望ましい。また、建築基準法に基づく避難計画上では、煙到達前における避難完了が想定されているが、避難者の逃げ後れが生じる状況を考慮する必要がある。誘導灯の設置については、煙中において利用される可能性があるため、煙中における誘導灯の使用を考慮する必要がある。

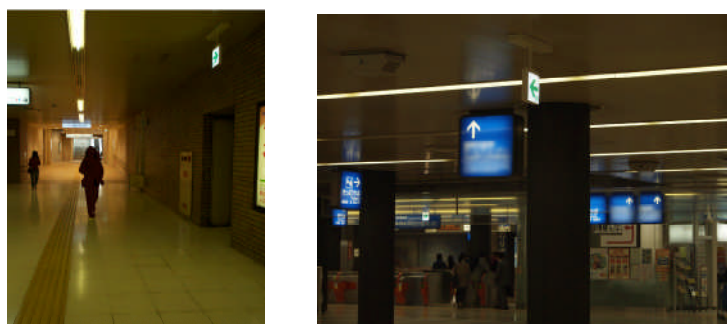


図 3.1-1：標識の斜め方向からの視認例

平成 11 年の消防法改正に伴い新型誘導灯が導入され、各製造販売会社で取り扱う誘導灯は新型に移行し、従来型の取り扱いは少なくなっている。このため、本研究では新型誘導灯を対象とするが、「1.2 既往研究」で述べた様に、新型誘導灯について煙中における視認性の観点から、視方向に対する標識の水平角と視認距離の関係について把握した例は見られない。

本研究では、消防法により規定された誘導灯の視認性及び鉄道駅での実測をもとに模擬的に作成した案内標識モデルの視認性を、被験者実験により把握するものである。煙中における人の視認に基づき、煙濃度と水平角別の視距離の関係を把握する点において、新規性を有すると考えられる。

本研究は、消防法により規定される誘導灯及び鉄道駅の案内標識模型について、設置空間の煙濃度、視方向に対する標識の水平角を条件とした被験者実験により煙中における視認距離を把握することで、煙の濃度・標識の種類・標識の設置状況が視認距離に与える影響を明らかにする<sup>注3)</sup>。この結果を基に、火災避難時に活用し得る誘導灯・案内標識について配置指標とすることを目的とする。

## 3.2 煙中における案内標識及び誘導灯の視認性実験

### 3.2.1 実験概要

本実験の目的は、煙濃度及び標識の水平角が案内標識及び誘導灯の視認距離に与える影響を把握することである。実験の日時、場所、被験者を以下に示す。

#### 【実験日時】

実験 1 : 2011 年 9 月 14 日 9:30~17:00

実験 2 : 2012 年 11 月 5, 16 日 9:00~18:00

#### 【実験場所】

東京理科大学 火災科学研究センター 実験棟 実験空間 (図 3.2.1-1)

#### 【被験者】

20 歳代の大学生・大学院生 (視力 1.0 以上) 実験 1・2 ともに 20 名



図 3.2.1-1 : 実験空間の外観及び内観

実験条件となる標識の水平角は実験結果を実務に反映させることを想定したため、度数法に基づき水準を設定した。また、本実験では、現行の誘導灯の内、最も視認距離の小さい高輝度 C 級誘導灯を基準、床面照度は駅舎通路を想定し、照明の種類を蛍光灯、煙の種類を白煙として条件を設定した<sup>注4)</sup>。

水平角の水準を変更し 2 回の実験を実施した。実験 1 (2011 年) において、水平角  $0^{\circ}$  ~  $60^{\circ}$  の間で視認距離に対する影響に大きな差異は見られなかった。このため、実験 2 (2012 年) では水平角の角度をより大きくし、 $70^{\circ}$  及び  $80^{\circ}$  を追加した。

なお、実験に用いた誘導灯は消防法の規定通りのものであり、案内標識は公式に寸法データ等が公開されていないため鉄道駅に実存する標識をもとに作成したモデルを利用した。鉄道駅に設置された案内標識の表示面に記載されているピクトグラム及び文字の寸法を測定し、その比率を用いて表示面の縦幅を誘導灯に合わせている。

### 3.2.2 実験方法

スモークジェネレータを用いて、スモーク液をフォグマシーンにより気化させることで実験空間内に白煙を発生させる。設定した煙濃度に調整し、減光計により電圧を測定する。実験空間内の煙は一様になる様、攪拌を行い、設定した煙濃度に調整する。この電圧を減光計により測定し、減光係数を算出する。水平角は計画した実験試行毎の条件に従い煙濃度調整前に変更する。被験者 1 名あたりの試行回数 (実験 1 : 8 回、実験 2 : 10~11 回) 及び実験順序は実験計画法により調整する。

被験者・実験者の各 1 名が、以下の①~⑤を実験の総試行回数分 (実験 1 : 160 回、実験 2 : 210 回) 繰り返す。

- ① 実験者が被験者を実験室に誘導し、両者が 2 人 1 組となり実験室に入る。
- ② 被験者をスタート位置に立たせ、教示を行う。
- ③ 被験者が、標識を認識できると申告する距離まで歩かせる。
- ④ 被験者が立ち止まった位置と時刻を測定し被験者に質問をする。
- ⑤ 質問に対して被験者が誤答をした場合、被験者が立ち止まっている位置において誤答をしたことを伝え、③④の手順を再度行う。
- ⑥ 正答後、位置と時刻を記録し、被験者を実験室から出す。



### 3.2.4 煙の種類及び発生方法

本実験では、倫理上の観点から人体に対する影響の少ない白煙のみを使用した。各種建材により発生する煙は、刺激や臭いの点で人体への侵襲が大きい。このことから、火災訓練の煙体験で用いられるスモーク液を気化させた白煙を用いることとした。スモークジェネレータを用いて、スモーク液をフォグマシーンにより気化させることで実験空間内に白煙を発生させる。スモークジェネレータは気化器によりスモーク液の温度を上昇させて気化させることで白煙を発生させる。

スモーク液はロスコ社製のスモーク液スタンダードを用い、フォグマシーンは株式会社ギミックの Viper-NT を使用した。スモーク液の概要と煙の発生状況を以下に示す。

表 3.2.4-1 : スモーク液の概要

製品名	ロスコ スモーク液スタンダード
におい	ほぼ無臭
刺激性	無し
大気中残存時間	約 10 分



図 3.2.4-2 : スモークジェネレータの設置状況及び煙の発生状況



### 3.2.5 煙濃度の測定方法

実験空間内に発生させた白煙を設定した煙濃度に調整し、減光計により電圧を測定する。実験空間内の煙は一様になる様、攪拌を行う。

本実験は、減光計において測定した半導体レーザー光の受光量による電圧変化を基に煙濃度の算出を行う。レーザー光は投光・受光端末の2機間で発生させ、電圧は各投受光端末に接続したアンプを用いて測定する。投受光端末となるセンサーヘッドはキーエンス社製のLX2-01（光源：780nmの赤外線半導体レーザー、最小検出物体：φ0.05mmの不透明体）とし、アンプは同社製のLX2-v10（出力電圧：±5v）とした。本研究では、投受光端末及びアンプを1組とし、減光計と呼ぶ。減光計による投受光の様子を以下に示す。

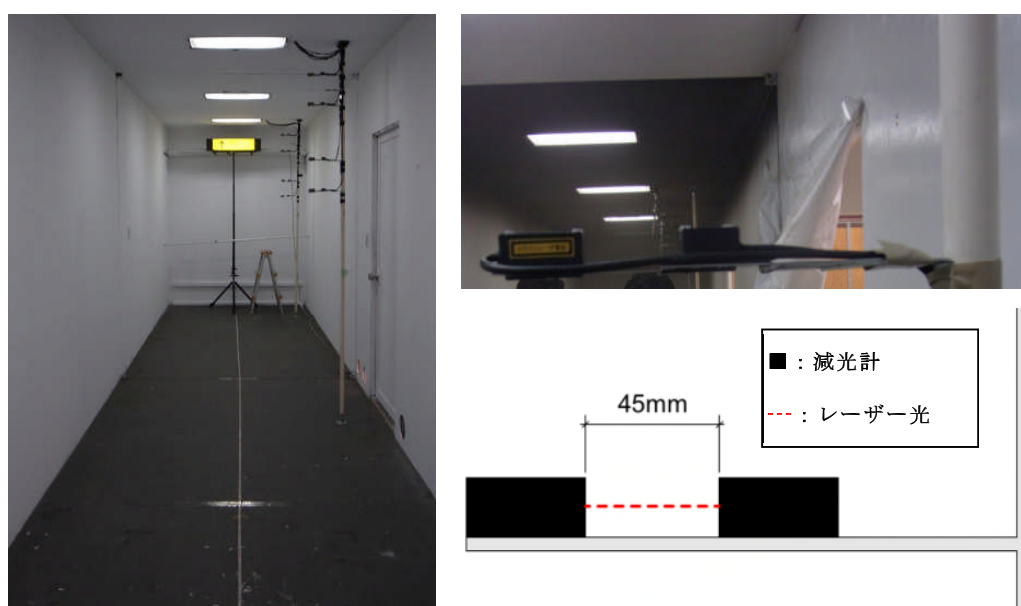


図 3.2.5-1：減光計の設置状況例及び投受光方法

本研究では、減光計で測定される電圧を基に減光係数の算出を行い、煙濃度の数値化を行う。減光係数の算出は Lambert-Beer の法則により得られる下式に基づく<sup>1)</sup>。

$$C_s = (1/L) \times \ln(I_0/I)$$

$C_s$ : 減光係数[1/m]      $d$ : 減光計のレーザー投光面から受光面までの距離[m]

$I_0$ : 基準電圧[V]      $I$ : 計測電圧[V]

本実験に用いる減光計は、投光面から受光面までの距離が 45mm (= 0.045 [m]) であり、基準電圧が 5.0v である。したがって、本研究では、減光係数  $C_s$  の算出式において、 $I_0 = 5.0$ [V]、 $d = 0.045$ [m]とする。

減光計の位置は、被験者の標識視認時における視線上の煙の濃度を測定することを目的として設置した。高さは目線及び誘導灯の設置高さとなる天井付近とし、水平方向はスタート地点、中央付近、誘導灯正面直近とした。1回目は標識近傍に多数、2回目は1回目の結果をもとに必要数とした。各実験について、実験空間における減光計の番号と設置位置を以下に示す。

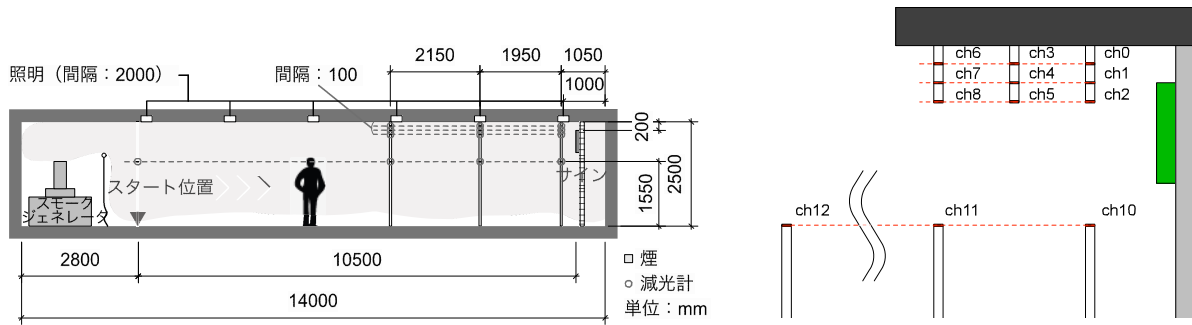


図 3. 2. 5-2 : 実験 1 における減光計の番号と設置位置

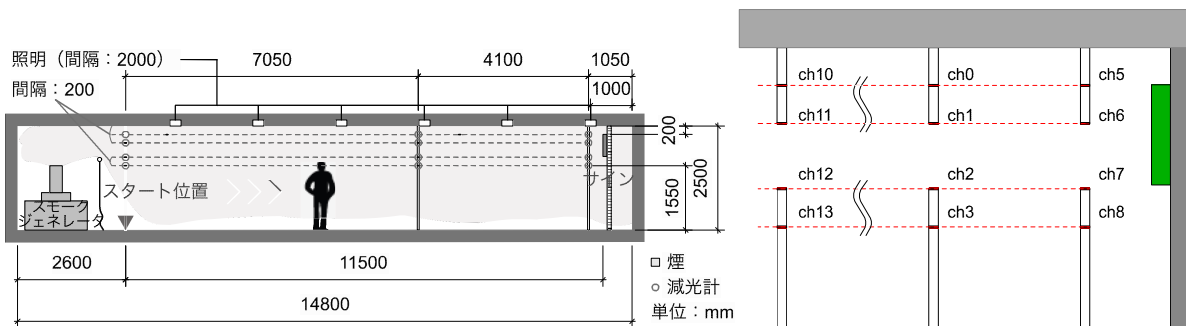


図 3. 2. 5-3 : 実験 2 における減光計の番号と設置位置

### 3. 2. 6 照明の性能及び配置と実験想定

天井照明は 20w の白色蛍光灯 2 本を壁から 2m 間隔で均等に配置した。煙のない状態において壁から 1m 間隔でスタート地点まで測定した床面照度の平均値は 114lx である。

床面照度は、駅舎通路を想定し、JIS Z 9110 照明基準総則において規定される駅舎通路における照度に合わせた。JIS Z 9110 : 2010 照明基準総則<sup>2)</sup>において維持照度及び照度均斉度、JIS Z 9110 : 2011 照明基準総則(追補 1)<sup>3)</sup>において照度範囲を規定している。駅舎の照度基準は 1 日の乗降客数により異なる。通路の維持照度は A 級駅、B 級駅、C 級駅の順に 200、100、75lx、照度均斉度は 3 駅ともに 0.4 となる。実験空間における平均照度 114lx は、B 級駅の照度範囲 75~150lx を満たすとともに、A 級駅に求められる照度の最小値を満たすものである。大規模駅は A 級駅に含まれる。大規模駅は空間が広く、加えて節電対策による照明が削減されているため、照度分布にばらつきが出ると考えられる。

### 3.2.7 標識の種類及び性能と水平角

本実験で使用する標識は、通路誘導灯（左方向）、通路誘導灯（両方向）、避難口誘導灯、案内標識の4種類である。実験に用いた誘導灯は消防法の規定通りのものであり、案内標識は公式に寸法データ等が公開されていないため鉄道駅に実存する標識をもとに作成したモデルを利用する。

誘導灯は、LED内照式の高輝度誘導灯C級を使用した。案内標識は、大規模鉄道駅の案内標識の表示面に記載されているピクトグラム及び文字の寸法を測定し、その比率を用いて表示面の縦幅を誘導灯に合わせて作成した。また、案内標識表示面の言語は日本語のみとした。鉄道駅に設置された案内標識の表示面に記載されているピクトグラム及び文字の寸法を測定し、その比率を用いて表示面の縦幅を誘導灯に合わせている。以下に、各標識の写真と寸法を示す。



図 3.2.7-1：標識の種類

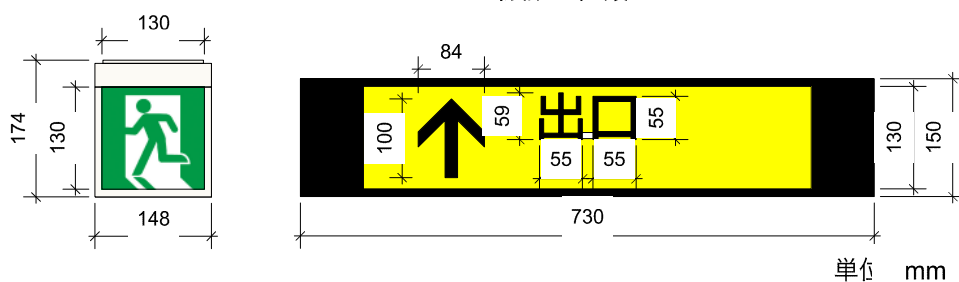


図 3.2.7-2：誘導灯及び案内標識の寸法

誘導灯及び案内標識の表示面の平均輝度と本実験における背景輝度を下表に示す。いずれも煙のない初期状態における値である。なお、案内標識については表示周辺の輝度を測定した。

表 3.2.7-1：各標識の表示面平均輝度と背景輝度

標識	平均輝度[cd/m <sup>2</sup> ]	背景輝度[cd/m <sup>2</sup> ]
通路誘導灯(左方向)	369	25
通路誘導灯(両方向)	475	25
避難口誘導灯	251	25
案内標識	472	25

各標識について、水平角を変更して実験を実施した。実験条件となる標識の水平角は実験結果を実務に反映させることを想定したため、度数法に基づき水準を設定した。なお、実験1(2011年)と実験2(2012年)において、水平角の水準を変更して実施した。実験1(2011年)において、水平角 $0^{\circ}$ ～ $60^{\circ}$ の間で視認距離に対する影響に大きな差異は見られなかった。このため、実験2(2012年)では水平角の角度をより大きくし、 $70^{\circ}$ 及び $80^{\circ}$ を追加した。以下に、各実験において変化させた標識の水平角を示す。

表 3.2.7-2：各実験における水平角の条件

	水平角				
	$0^{\circ}$	$30^{\circ}$	$60^{\circ}$	$70^{\circ}$	$80^{\circ}$
実験1	○	○	○	—	—
実験2	○	—	○	○	○

標識の水平角の大きさに従い、正対して視認した場合の面積(正対面積)が変化するため、視認できる標識表示面の大きさが異なる。各水平角における誘導灯の正対面積と水平角 $0^{\circ}$ に対する面積比を表3.2.7-3、水平角に応じた誘導灯の見え方の例を図3.2.7-3に示す。

表 3.2.7-3：水平角と視認する誘導灯表示面面積の関係

水平角[ $^{\circ}$ ]	0	30	60	70	80
誘導灯の正対面積[ $\text{m}^2 \times 10^{-2}$ ]*	1.690	1.460	0.845	0.578	0.293
$0^{\circ}$ に対する面積比	1.00	0.86	0.50	0.34	0.17

\* 被験者が正対時に視認する誘導灯表示面の面積

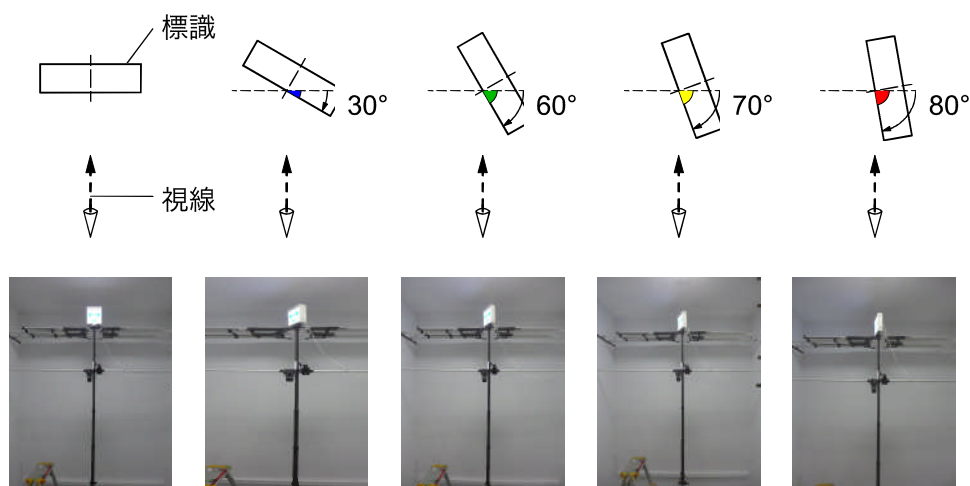


図 3.2.7-3：標識水平角の回転角度(俯瞰図)

### 3.2.8 標識の確認方法

標識の視認性を確認する方法として、誘導灯と案内標識それぞれについて矢印の向き等を変更したパターンを含む複数の表示面の例を紙面上に印刷した質問紙を用いる。被験者への質問の際は、誘導灯と案内標識のそれぞれについて複数の例を提示し、見えた誘導灯または案内標識と同じものを選択させる。なお、被験者には、実験開始前に教示を行い、実験者が標識に関する質問を実施することを伝える。教示及び質問の流れについて以下に示す。

#### 【教示】

正面に標識があります。標識の内容が分かる位置までまっすぐ歩いて進んで下さい。分かる位置まで来たら、そこで立ち止まり、横にいる被験者に「ここです。」と伝えて下さい。実験者が標識について質問をするので、その質問に答えて下さい。

#### 【質問】

- ①実験者が被験者に対し、案内標識もしくは誘導灯のピクトグラムが描かれた表を見せる。
- ②実験者が被験者に対して「正面にある標識に書かれたピクトグラムはどれですか?」と聞く。
- ③実験者は被験者の回答内容が標識に描かれたピクトグラムと同じか確かめる。
- ④被験者の回答が正しい場合は実験終了。間違っていた場合は⑤へ。
- ⑤実験者が「描かれている内容と違います。その場で立ち止まるか前進してもう一度確認し、立ち止まった場所で実験者に『ここです。』と言ってから書かれた内容を伝えて下さい。」と、被験者に伝える。

※通路誘導灯が設置されている場合、隅のピクトグラムのみを答えた場合は「他には何か書(描)かれていませんか?」と聞く。

質問に使用するピクトグラムの表を以下に記載する。

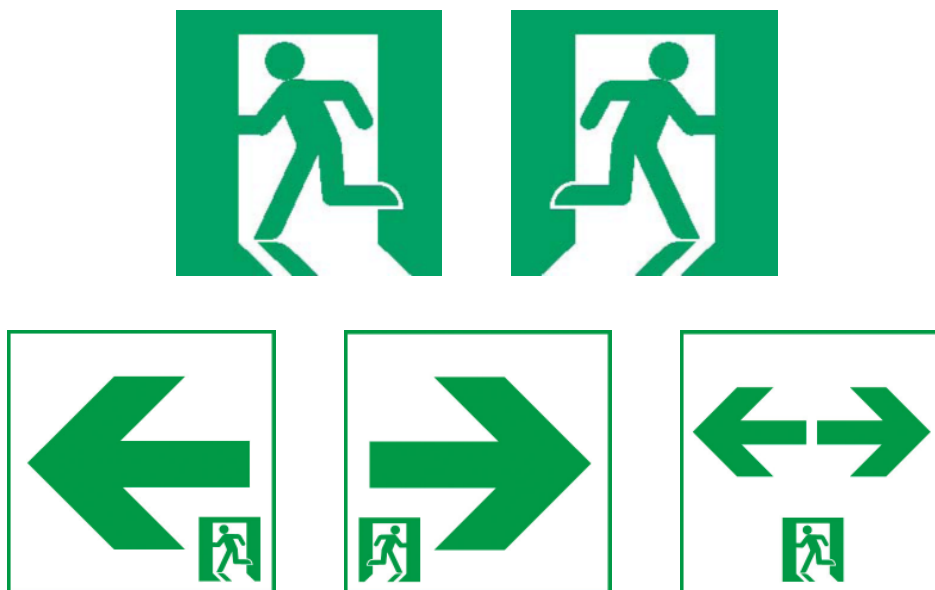


図 3.2.8-1：標識表示内容の確認質問用ピクトグラム（誘導灯）



図 3.2.8-2：標識表示内容の確認質問用ピクトグラム（案内標識）

### 3.2.9 実験計画の作成

本実験の要因に基づき完全実施要因計画を行った場合、実験の総試行回数は実験 1 で 720 試行、実験 2 で 1280 試行となることから、本実験における試行順序は、実験計画法の一部実施要因計画を用いて実験計画を行う。これにより、実験の効率化を図る。実験計画法の使用に際し、統計解析ソフトウェア JMP9 Pro (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) を用いる。煙濃度 (減光係数)・標識の種類・標識の水平角の各要因が視認距離に与える影響を把握することを目的としていることから、減光係数及び水平角に対する視認距離の重回帰式を想定した場合における減光係数と水平角の偏回帰係数の推定精度に重点をおき、「D-最適計画」を作成する。これにより、要因の偏回帰係数の最小二乗推定量の分散が最小となる様に計画が作成される。

以下、実験計画法による実験 1 試行毎の要因の組み合わせと実施手順を含めた実験計画の作成手順について述べる。

#### (1) 実験計画法による要因の組み合わせ方法

本実験において測定対象となる特性値は視認距離である。これに対して濃度、標識の種類、水平角を要因としている。実験計画法による一部実施要因計画の使用に際して、被験者を要因として用いる。以下に、実験計画法に用いた要因と水準を示す。

表 3.2.9-1 : 実験計画法に用いる要因と水準

要因	水準							
	実験1 (2011年)				実験2 (2012年)			
	2011年9月14日				2012年11月16日		2012年11月5日	
煙濃度	level1 (うすい)	level2 (中間)	level3 (濃い)		level1 (うすい)	level2 (ややうすい)	level3 (やや濃い)	level4 (濃い)
標識	案内標識	通路誘導灯 (左方向)	通路誘導灯 (両方向)	避難口誘導灯	案内標識	通路誘導灯 (左方向)	通路誘導灯 (両方向)	避難口誘導灯
角度	0°	30°	60°		0°	60°	70°	80°
被験者	被験者番号1~20				被験者番号11~20		被験者番号1~10	

実験日をブロック因子とし、各実験日における被験者の無作為割り付け (完全無作為化法) を基本とする。しかしながら、この場合は標本として抽出した被験者毎の変動が考慮されない。被験者間要因しかない場合、データ数と被験者数が等しくなるため、被験者の効果は全水準の誤差に含まれる。被験者は視力に問題のない者を選定しているが、個人差により測定される視認距離に幅が生じる可能性を考慮し、被験者要因を設定し、被験者個人を水準として計画に含める。

各要因の主効果及び考えられる交互作用全てを推定できる完全実施要因計画に対し、一部実施要因計画は実施回数を節約するためのモデルに含めない交互作用を他の要因と交絡させる。煙濃度、標識、水平角と被験者の各要因における 1 次の交互作用を考慮し、全要因について 2 要因間の交互作用項を設定する。他の要因における偶然誤差から、被験者の個人差と交互作用それぞれによる効果を想定し、被験者要因を他 3 要因と計画上直交させる。

## (2) 実験計画の作成手順

被験者の負担及び標識の設置・煙濃度の調整・水平角の変更に要する時間と各要因の試行回数を考慮し、D-最適計画を作成する。その後、被験者の参加時間帯、標識、煙の濃度、水平角の順に作成した計画を分割し、実験計画の作成を行う。

はじめに、D-最適計画を実施し、各実験日における総試行回数を把握する。1 回の試行に要する時間を 2 分とし、煙の供給及び排出に要する時間、標識の変更に要する時間、標識の回転に要する時間を鑑みて、総試行回数の検討を行う。

この際、作成された D-最適計画における全要因を用いた 2 要因毎の各組み合わせについて、各要因の 1 水準同士の組み合わせ間における試行回数の差が可能な限り出ない様な計画とする。このため、作成した D-最適計画について、全要因による 2 要因間の 1 水準同士の組み合わせにおける試行回数を確認する必要がある。例として、実験 1 において各被験者が 4 種類それぞれの標識を視認する試行回数を以下に示す。

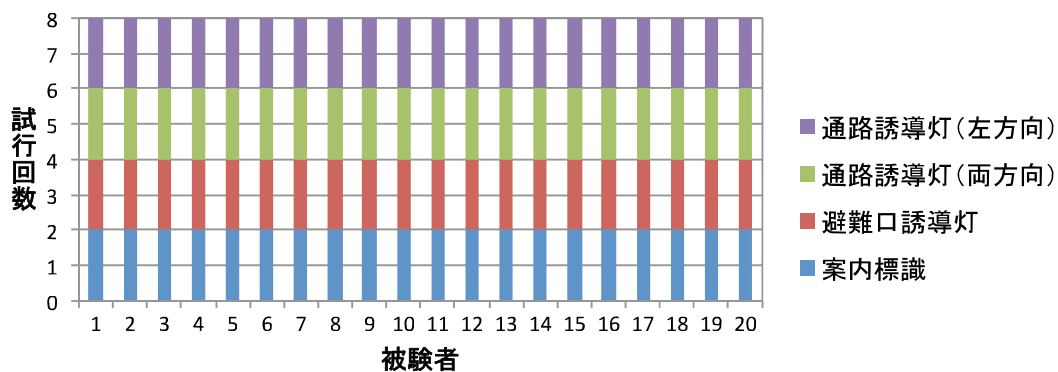


図 3. 2. 9-1 : D-最適計画において被験者毎に各標識を視認する試行回数 (実験 1)

上図において、要因は被験者と標識となり、各要因の水準はそれぞれ被験者 1~20 の 20 水準と案内標識等の 4 水準となる。20×4 水準の組み合わせ全ての試行回数が可能な限り等しくなることが望ましい。このため、各被験者内における各標識の試行回数及び標識毎の各被験者の試行回数の両方ともに試行回数のバランスを確認した。上図では、被験者 1 における案内標識の試行回数など、各被験者における標識毎の試行回数は全て 2 回となっており、全水準の組み合わせについて試行回数が全て等しくバランスがとれている。



上記の様に、作成した D-最適計画に対して 2 要因毎の全組み合わせについて試行回数を確認した。試行回数のバランスが取れる様に総試行回数を調整し、繰り返し D-最適計画の作成を行った。

以上の検討の結果として、各被験者について実験説明及び待機に要する時間を含めて実験において拘束する時間の合計を 3~4 時間とし、拘束時間内における被験者 1 人あたりの実験回数を決定した。被験者の実験回数は、実験 1 において 8 回、実験 2 において 10 回を基準として最適化計画を実施し、D-最適計画の作成を行う。この際、実験 1 と実験 2 とともに、被験者の標識に対する学習効果を考慮する。被験者 1 名が各標識を確認する回数は標識 1 種類あたり 2~3 回とし、その内、水平角は回毎に異なる。

これにより、被験者 1 名に対して標識と水平角の組み合わせが同一となる試行がなくなり、被験者の経験による効果が緩和される。なお、各被験者の煙に対する曝露回数は実験回数と等しく、実施において見込まれる曝露時間は 30 分を超えないことが推測される。被験者の負担も含めて考慮した結果である。

D-最適計画は、要因の偏回帰係数の最小二乗推定量における分散の最小化 (D-最適性) を基準に作成される。本研究では、減光係数と水平角の偏回帰係数の推定精度に重点をおいたため、D-最適計画を用いた。このことから、D-最適計画を作成する際には、以上の手法に加えて D-最適性に対する達成度合いの指標 D-効率 (D-efficiency) を参考にした。最終的に得た D-最適計画について、D-効率は実験 1 で 0.85、実験 2 で 0.81 となり、要因と水準の組み合わせに問題はないと考えられる。

最終的に得た D-最適計画を用いて、実験 1 及び実験 2 のタイムテーブルを作成する。以下に各実験のタイムテーブル作成の手順を示す。

実験 1 では、被験者 20 名 (20 水準)、標識 4 種類、標識の水平角 3 水準及び煙濃度 4 水準を用いて最適化計画を実施する。最適化計画において得られた 160 の組み合わせを被験者番号 1~20 の順に並べ、番号の小さい方から順に 5 名ずつを 1 グループとする。標識を案内標識、通路誘導灯 (左方向)、通路誘導灯 (両方向)、避難口誘導灯の順に小グループを作り、小グループ内において濃度をうすい、中間、濃い順にさらに小グループを作成する。

実験 2 では、同じ実験日に参加する被験者を 10 名ずつとし、各実験日について被験者 10 名 (10 水準)、標識 4 種類、標識の水平角 4 水準及び煙濃度 2 水準を用いて最適化計画を実施する。最適化計画の結果として 2 実験を合わせて 210 の組み合わせが得られた。標識を案内標識、通路誘導灯 (左方向)、通路誘導灯 (両方向)、避難口誘導灯の順に小グループを作り、小グループ内において 11 月 16 日は濃度をうすい、ややうすい、11 月 5 日はやや濃い、濃い順にさらに小グループを作成する。

以上に加えて、煙の大気中残存時間を考慮した攪拌のタイミングと実験の進行時刻、標識・煙濃度の変更、実施体制等の情報を加えたものを実験のタイムテーブルとする。以下に、実験 1 のタイムテーブルの一部を例として示す。

時刻	実験番号	煙濃度	標識	角度	被験者	グループ	被験者へ説明
9:30~9:45							被験者へ説明
9:45	1	うすい	案内	0	1	グループ1	
9:47	2	うすい	案内	0	4	グループ1	
9:49	3	うすい	案内	30	3	グループ1	
9:51	4	うすい	案内	30	5	グループ1	
9:53	5	うすい	案内	60	2	グループ1	
9:55~9:56	<b>煙を加える</b>						
9:56	6	中間	案内	0	3	グループ1	
9:58	7	中間	案内	0	5	グループ1	
10:00	8	中間	案内	30	2	グループ1	
10:02~10:03	<b>煙を加える</b>						
10:03	9	濃い	案内	30	4	グループ1	
10:05	10	濃い	案内	60	1	グループ1	
10:07~10:12	<b>標識交換+排煙+給煙</b>						
10:12	11	うすい	通路左	0	5	グループ1	
10:14	12	うすい	通路左	30	4	グループ1	

図 3.2.9-2 : 標識視認性実験タイムテーブル抜粋 (実験 1)

### 3.3 実験時の煙濃度と実験条件の関係

#### 3.3.1 減光係数の分布傾向に基づく減光計の選定

実験において使用した減光計の内、計測結果に異常が生じたものを分析から除外する。除外は年度別に行い、減光係数の測定結果に基づき機器の異常により近傍の機器との測定値がいちじるしく異なるものを除外した。以降の分析に用いる減光計として、実験 1 は計 7 台、実験 2 は計 11 台を選定した。減光計は、標識から異なる水平距離間隔で 3~4 ヶ所に設置しているが、選定した減光計は水平距離上の各位置に設置されている。分散した場所で計測しており、ほぼ同様の値を示していることから、一様の煙の計測値としては妥当と言える。減光計の選定における減光係数の分析に関する内容について以下に述べる。

##### 3.3.1.1 実験 1 測定値に基づく分析

###### (1) 各設定濃度における減光係数の経時変化の検討

ch0~ch12 の各減光計について、実験条件である 3 段階の各濃度における減光係数の推移を以下に示す。以下、図 3.3.1.1-1~3.3.1.1-3 のグラフは設定濃度「レベル 1」「レベル 2」「レベル 3」において測定された減光係数を時間順に並べたものである。

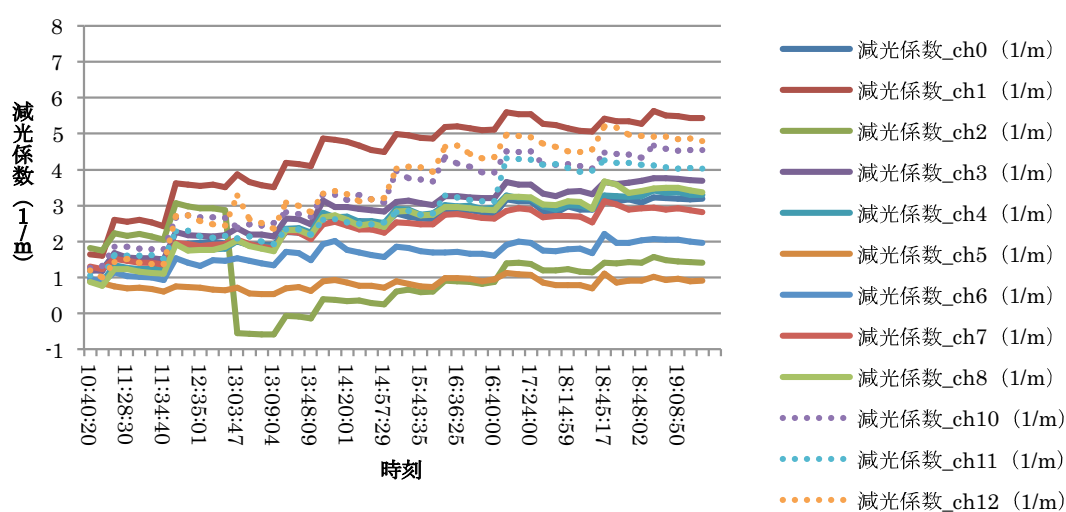


図 3.3.1.1-1 : 濃度「レベル 1」における各 ch の減光係数推移

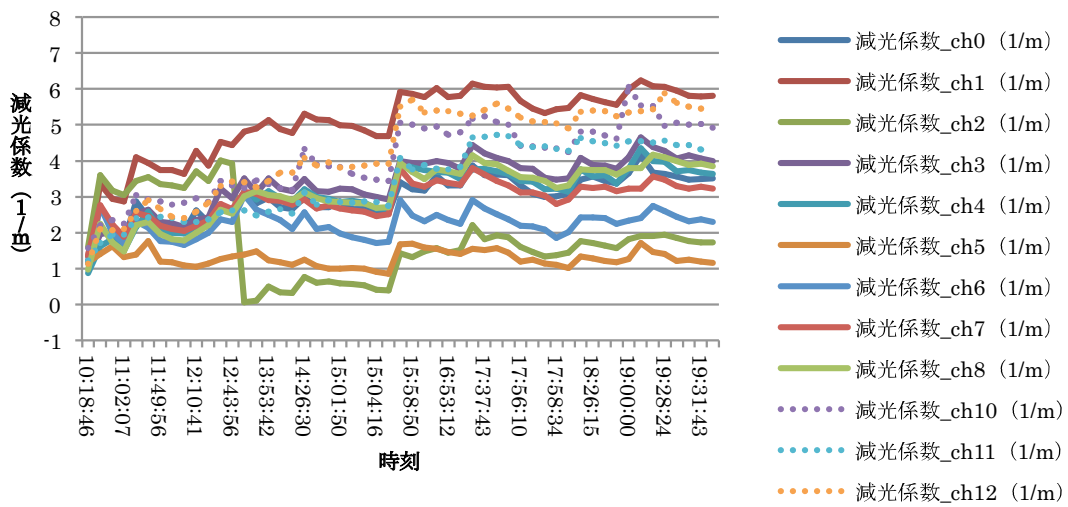


図 3.3.1.1-2 : 濃度「レベル 2」における各 ch の減光係数推移

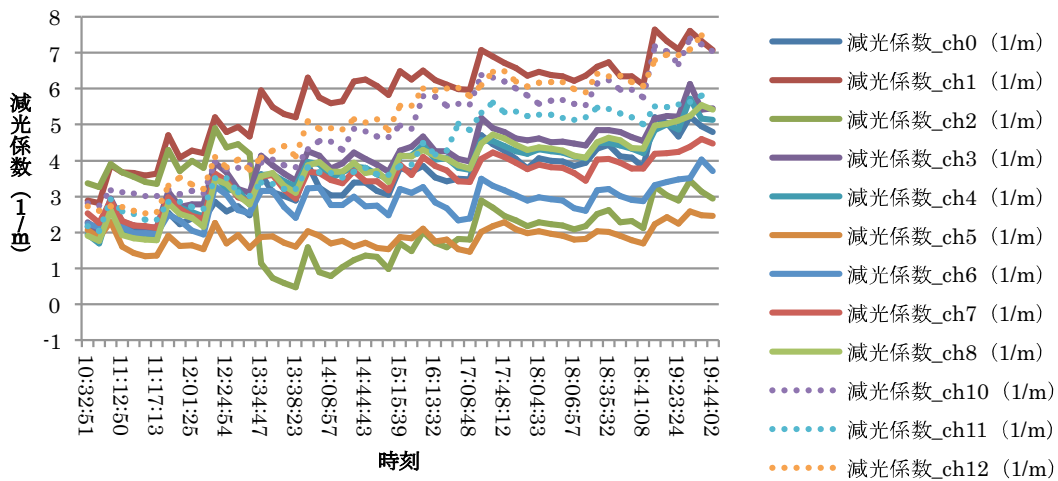


図 3.3.1.1-3 : 濃度「レベル 3」における各 ch の減光係数推移

いずれの濃度においても計測された減光係数は時間が経つに従い、増加する傾向にある。設定濃度「レベル 1」「レベル 2」「レベル 3」の各条件において、目視によりそれぞれ同様の煙の状態を形成していることから、本来であれば減光係数値は一定となるべきである。

増加傾向より、いずれの濃度においても減光係数の推移は 3 パターンに分かれる傾向があると考えられる。3 パターンに分けられる減光係数が計測された減光計は同じものであることが伺え、以下の 3 パターンに大別される。

高 : ch1, 10, 12

中 : ch3, 4, 7, 8, 9, 11

低 : ch2, 5, 6

## (2) 各濃度における減光計毎の減光係数分布傾向の把握

各減光計について計測される減光係数の分布を求めた。ここでは、減光係数の分布例として特に他の減光計と異なる傾向を示したものについて示す。示す分布は濃度「レベル2」において減光計 ch2 で得られた減光係数についてのものである。

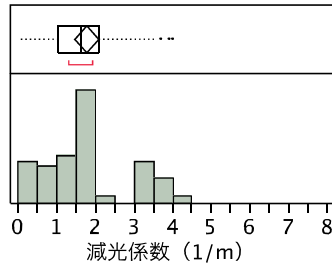


図 3.3.1.1-4 : 濃度「レベル2」における ch2 の減光係数分布

濃度毎における各減光計の減光係数は濃度「レベル2」において外れ値が見られる。特に ch2 の外れ値のみ他の減光計においては外れ値とはならない。また、実験番号8のデータは複数の減光計において低い値をとり、外れ値となっている。

(3) 各濃度における減光計間の減光係数分布比較

各減光計において測定される減光係数について比較を行い、減光計間における減光係数測定傾向の差異を調べる。濃度毎及び濃度を総合した場合において、各減光計で計測される減光係数について一元配置分散分析を行い、有意水準 5%において有意差を認められる場合には、その後 Tukey-Kramer の HSD 検定を実施する。各濃度及び全濃度について、減光計毎に測定される減光係数の散布図及び検定結果を以下に示す。

はじめに、散布図及び平均値の差の検定結果の見方を下図に示す。以降、本章において掲載する同様の散布図と検定結果の見方は下図に従うものとする。

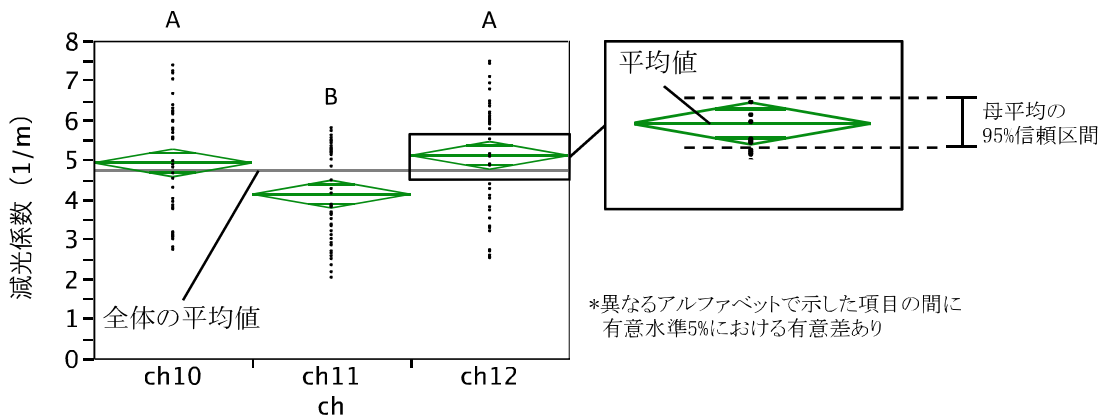


図 3.3.1.1-5 : 散布図及び平均値の差の検定結果の見方

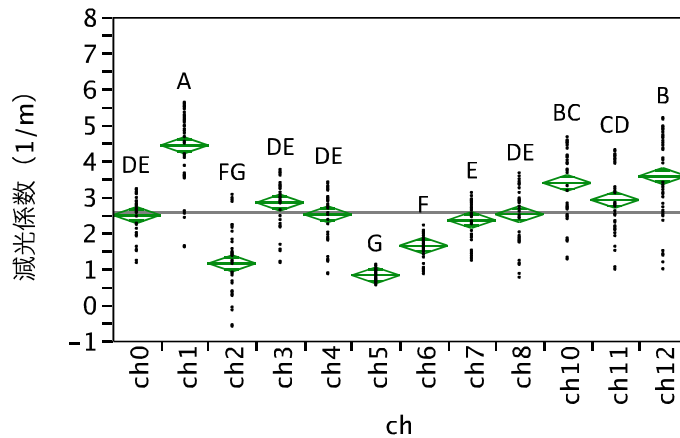
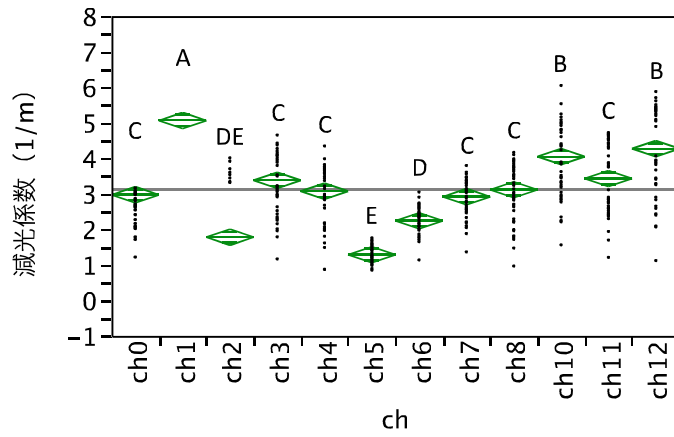
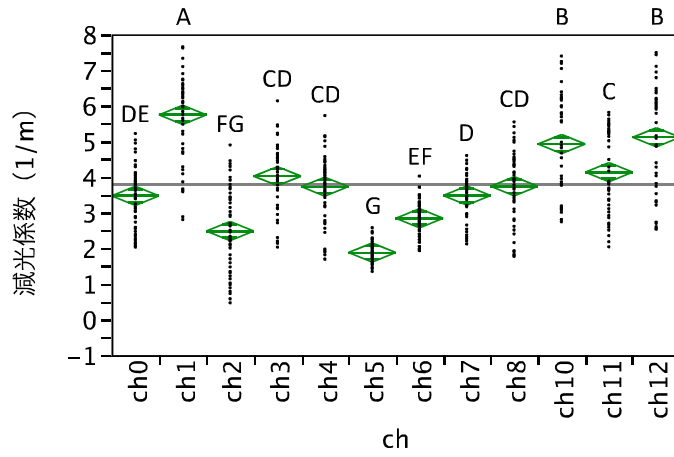


図 3.3.1.1-6 : 濃度「レベル 1」における ch 間の減光係数比較



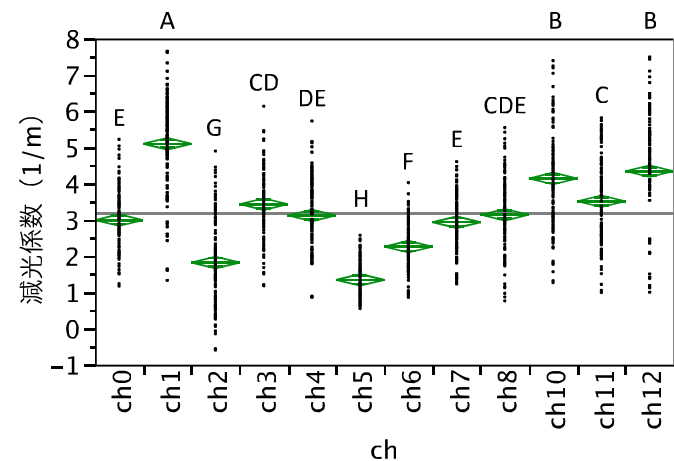
\*異なるアルファベットで示した項目の間に有意水準 5%における有意差あり

図 3.3.1.1-7 : 濃度「レベル 2」における ch 間の減光係数比較



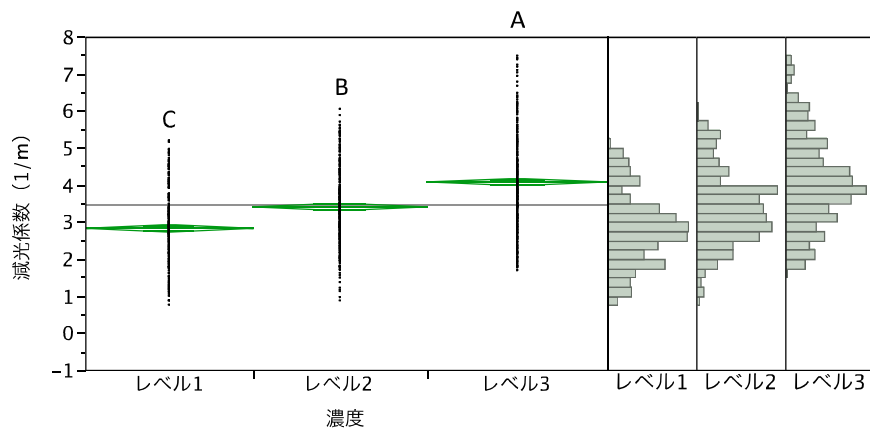
\*異なるアルファベットで示した項目の間に有意水準 5%における有意差あり

図 3.3.1.1-8 : 濃度「レベル 3」における ch 間の減光係数比較



\*異なるアルファベットで示した項目の間に有意水準 5%における有意差あり

図 3.3.1.1-9 : 全濃度における ch 間の減光係数比較



\*異なるアルファベットで示した項目の間に有意水準 5%における有意差あり

図 3.3.1.1-10 : 全濃度間の減光係数比較

いずれの散布図においても、分散分析の F 検定における有意確率が 0.001 未満であることから、各減光計における平均値の内、いずれかの際に有意水準 5%において有意差が存在すると思われる。すなわち、各減光計と減光係数の値には関係性があるとみなせる。

濃度を総合した場合及び濃度別の場合について HSD 検定において求められる減光計間の有意水準 5%における有意差より、測定される減光係数により減光計は、平均値の高い順に以下の 4 グループに分類される。

- ①ch1
- ②ch10, 12
- ③ch0, 3, 4, 7, 8, 11
- ④ch2, 5, 6

上記グループの内、減光計数が最も多く中間的な値をとる③が標準とみなせる。検定結果より、グループ①、②、④はいずれの濃度においても③とは有意差が存在する。しかしながら、②は①及び④に比べて③に近いと考えられる。各濃度及び全濃度の比較において②は①及び④よりも③に近く、濃度「レベル 1」においては ch10 と ch11 の間に有意差は見られない。以上より、以降の分析には ch3, 4, 7, 8, 10, 11, 12 を用いることとする。

加えて検定結果より、(2) の図 3.3.1.1-4 に示した ch2 のヒストグラムにおける外れ値は ch2 に機能的な問題もしくは周囲の機器による煙の流動性状の問題があったと考えられる。



### 3.3.1.2 実験2 測定値に基づく分析

#### (1) 各設定濃度における減光係数の経時変化の検討

ch0～ch13 の各減光計について、実験条件である 3 段階の各濃度における減光係数の推移を以下に示す。実験順序は「3.1.1 実験概要」で述べた様に濃度によらずランダムであるため、以下、図 3.3.1.2-1～3.3.1.2-4 のグラフは設定濃度「レベル 1」「レベル 2」「レベル 3」「レベル 4」において測定された減光係数を時間順に並べたものである。

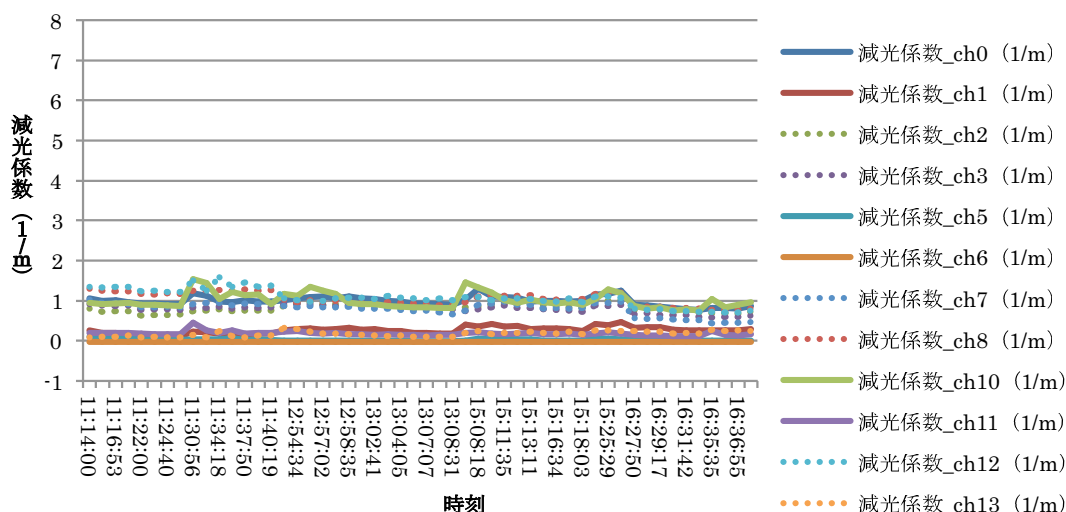


図 3.3.1.2-1 : 濃度「レベル 1」における各 ch の減光係数推移

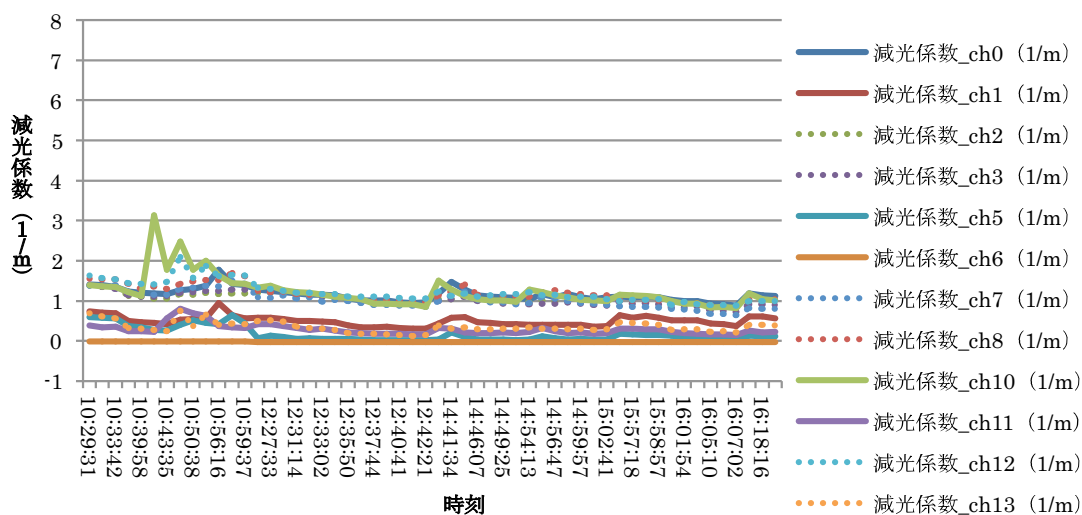


図 3.3.1.2-2 : 濃度「レベル 2」における各 ch の減光係数推移

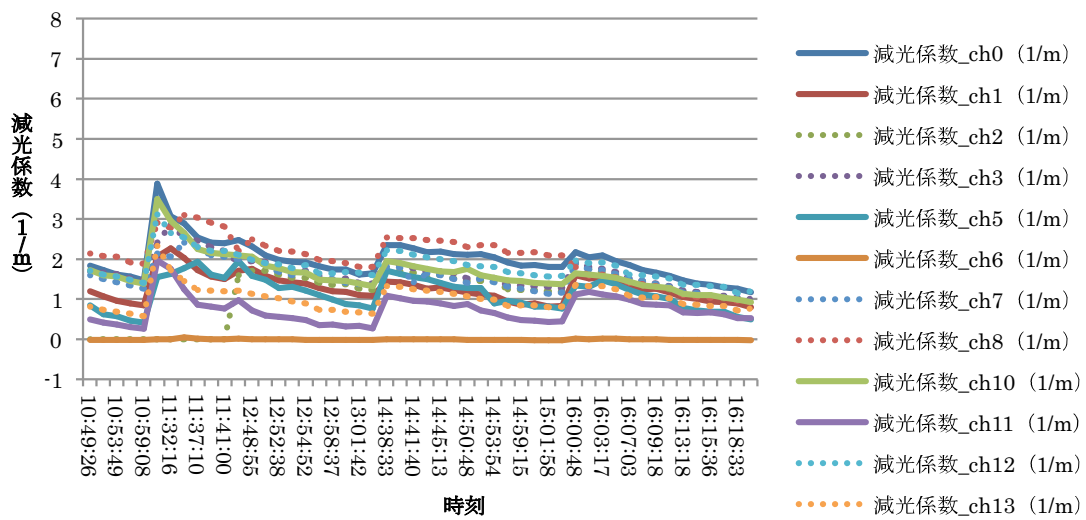


図 3.3.1.2-3 : 濃度「レベル 3」における各 ch の減光係数推移

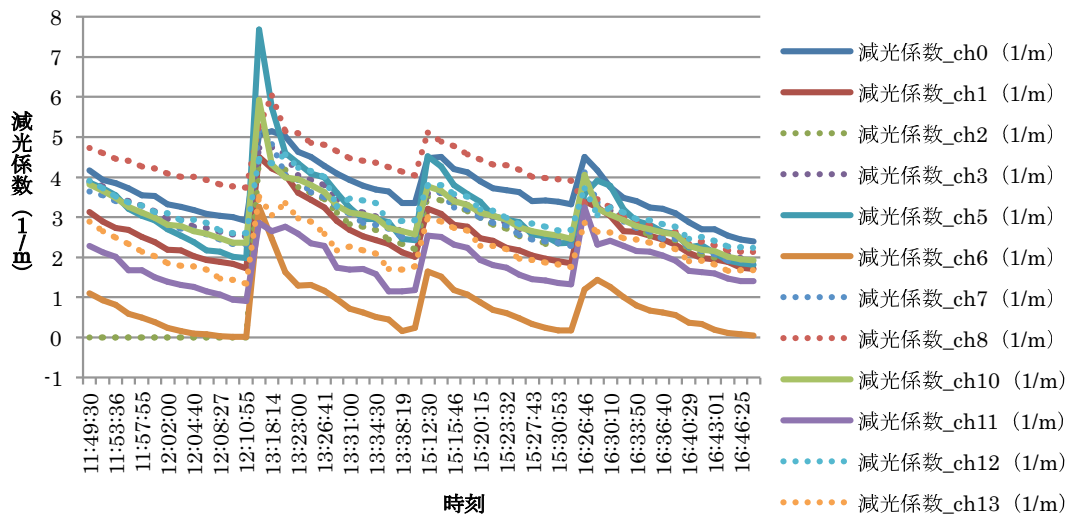


図 3.3.1.2-4 : 濃度「レベル 4」における各 ch の減光係数推移

実験条件の濃度が濃くなる程、一度実験空間内に発生させた煙を使用した時刻の範囲内において測定された減光係数は時間が経つに従い、減少する傾向にある。加えて、実験条件の濃度が濃くなる程、各減光計で測定した減光係数に幅が生じる。減光計間の減光係数の推移に高低差が生じており、濃度が低くなる程顕著となる。その推移傾向は全ての濃度について同じ減光計に見られる。

煙が床面に堆積して実験空間内の煙濃度に疎密が生じることを防ぐために5~6試行毎に試行間において攪拌を行っている。設定濃度「レベル 1」「レベル 2」「レベル 3」「レベル 4」の各条件において、試行間に煙を攪拌していることから減光係数値は一定となるべきである。減光係数の推移より、いずれの濃度においても減光係数の推移は 2 パターンに分かれる傾向

があると考えられる。2 パターンに分けられる減光係数が計測された減光計は同じものであることが伺え、以下の 2 パターンに大別される。

高 : ch0, 2, 3, 7, 8, 10, 12

低 : ch1, 5, 11, 13

Ch6 は濃度「レベル 1」「レベル 2」「レベル 3」において減光係数が 0 付近を推移している。濃度「レベル 4」においては、ch6 の次に低い値を推移している ch11 と比較し、全試行を通して 1.0 (1/m) 低い値を推移している。ch6 のみ、他の減光計とは異なる推移を示している。

## (2) 各濃度における減光計毎の減光係数分布傾向の把握

各減光計について計測される減光係数の分布を求めた。

濃度「レベル 2」「レベル 3」「レベル 4」において外れ値が見られる。濃度「レベル 2」においては、標識からの水平距離に従い、同距離上に設置された減光計については、同試行の減光係数が外れ値となる傾向がある。濃度「レベル 3」においては、ch0, 1, 3, 10, 11, 12, 13 について同試行の減光係数が外れ値となる傾向が高く、それらの試行は ch5, 7, 8 でもほぼ全ての値が上位 90%の範囲となる。ch2 については、当該試行の部分については測定値が存在しない。いずれの減光計も同試行の減光係数が外れ値もしくは高い値を取る傾向があり、スモークジェネレータ近傍及び実験空間中央付近の減光計が同試行において外れ値を取る傾向が高い。濃度「レベル 4」においては、全減光計について同試行の減光係数が外れ値となる傾向がある。

以上より、各減光計において測定される減光係数の推移は、全体的な経時変化は見られない。加えて、減光計間の減光係数の推移の高低差は濃度が低くなる程顕著となり、その推移傾向は全ての濃度について同じ減光計に見られる。このことから、各減光計の時間的推移における減光係数の分散に基づいた平均値の比較を行う必要はないと考えられる。

実験条件の濃度が濃くなる程、同一煙の減光係数が減少し、各減光計で測定した減光係数に幅が生じる。実験に使用した白煙はヒートガンにより温度を上昇させることで大気中を上昇させたものであることから、時間とともに大気中の温度と熱平衡状態に向かうことにより温度が下がり、鉛直方向に降下する。従って、上記の減少傾向は煙の物理的性質によるものであり、減光計の測定した減光係数は大気中を漂う煙の濃度を測定したものであると言える。

また、(1) の図 3.3.1.2-1～図 3.3.1.2-4 に示した ch6 の推移は、煙の影響による電圧変化が他の減光計と異なることを示している。ch6 の電圧変化は、濃度「レベル 1」「レベル 2」「レベル 3」において生じず、濃度「レベル 4」においては小さいことから、ch6 の測定感度は他の減光計と比較して低いと考えられる。このことから、ch6 に機能的な問題があったと考えられる。

ch6 を除く減光計における外れ値は、各濃度において同試行に発生する傾向があり、特定の減光計における機器異常ではなく、実験調整時の誤差によるものと考えられる。

以上より、以降の分析には ch1, 2, 3, 5, 7, 8, 10, 11, 12 を用いることとする。

### 3.3.2 視認性の分析における減光係数の使用方法及び導出

実験 1 及び 2 のそれぞれについて、分析に用いる減光係数を導出した。実験空間内の煙は可能な限り一様となる様に攪拌をしたことから、計測不良により除外したものを除くすべての点について各減光計の計測値を平均化したものを、視線上有る煙の減光係数の代表値とし、以降の分析に用いる。なお、実験 1 については実験試行の繰り返しの伴い、減光計の測定電圧が低減する状況が見られたため、減光係数の変化を一様増加と仮定した補正值を用いている。以降、減光係数の使用方法の決定に必要な減光係数の把握及び使用する減光係数の算出過程について述べる。

#### 3.3.2.1 実験 1 測定値に基づく分析

##### (1) 設置位置による減光係数の分布傾向の把握

減光計は 12 機あり、減光計毎に設置位置がそれぞれ異なる。実験空間内の煙は濃度が一樣になる様に攪拌を行っているが、減光計の水平方向の位置と高さにより測定される減光係数に差が生じる可能性がある。以下、減光計の水平位置及び高さによる減光係数の分布傾向を把握する。

12 機ある各減光計の設置位置は水平方向の位置と床面からの高さについてそれぞれ 4 ヶ所に分けられる。水平方向の位置を「ch 位置」、床面からの高さを「ch 高さ」とし、それぞれに名称を与える。各減光計の ch 位置及び ch 高さを以下に示す。

表 3.3.2.1-1 : 各減光計の ch 位置及び ch 高さ

		ch 位置			
		4	3	2	1
ch 高さ	a		ch 6	ch 3	ch 0
	b		ch 7	ch 4	ch 1
	c		ch 8	ch 5	ch 2
	d	ch 12	ch 11		ch 10

ch 位置毎に計測された減光係数の分布傾向について把握する。ch 位置毎における減光係数のヒストグラムを以下に示す。

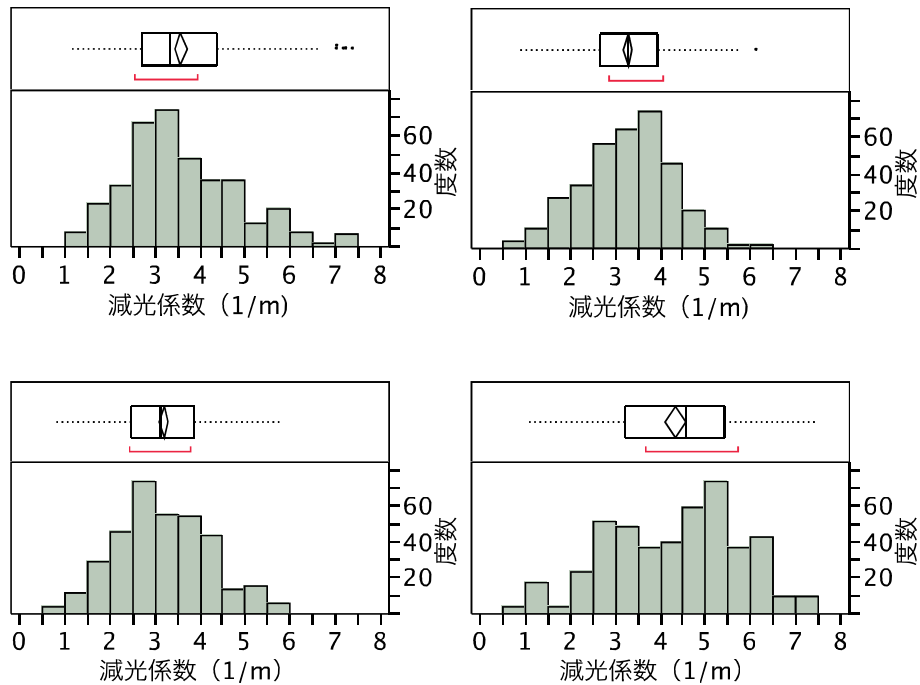


図 3.3.2.1-1 : 水平方向の計測位置における減光係数分布の比較

(左上 : ch 位置 1、右上 : ch 位置 2、左下 : ch 位置 3、右下 : ch 位置 4)

各 ch 位置における減光係数の度数分布は正規分布に近似した傾向を示している。したがって、後述する ch 位置間の比較においては平均値により比較を行う。

各 ch 位置において測定される減光係数について比較を行い、ch 位置間における減光係数測定傾向の差異を調べる。濃度毎に各 ch 位置で計測される減光係数について一元配置分散分析を行い、有意水準 5%において有意差を認められる場合には、その後 Tukey-Kramer の HSD 検定を実施する。各濃度について、減光計毎に測定される減光係数の散布図及び検定結果を以下に示す。

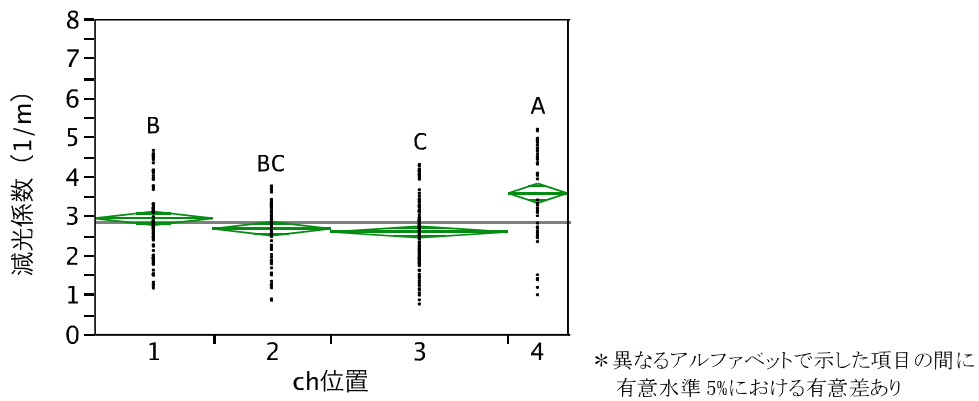


図 3.3.2.1-2 : 濃度「レベル 1」における測定位置間の減光係数比較

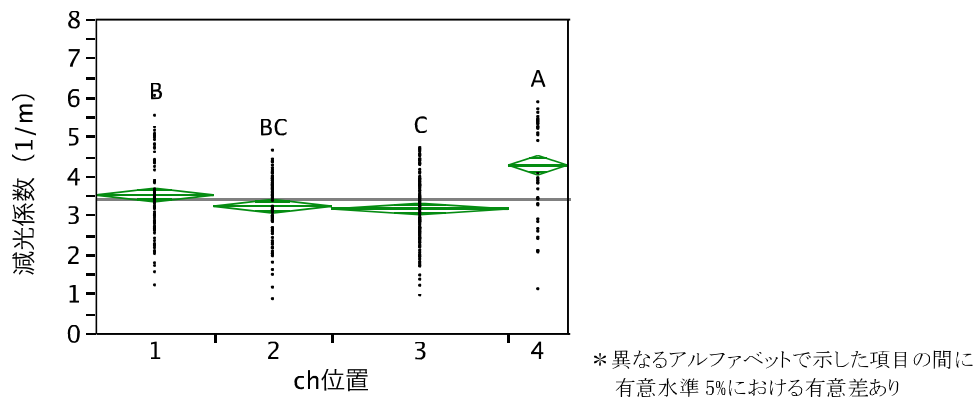


図 3.3.2.1-3 : 濃度「レベル 2」における測定位置間の減光係数比較

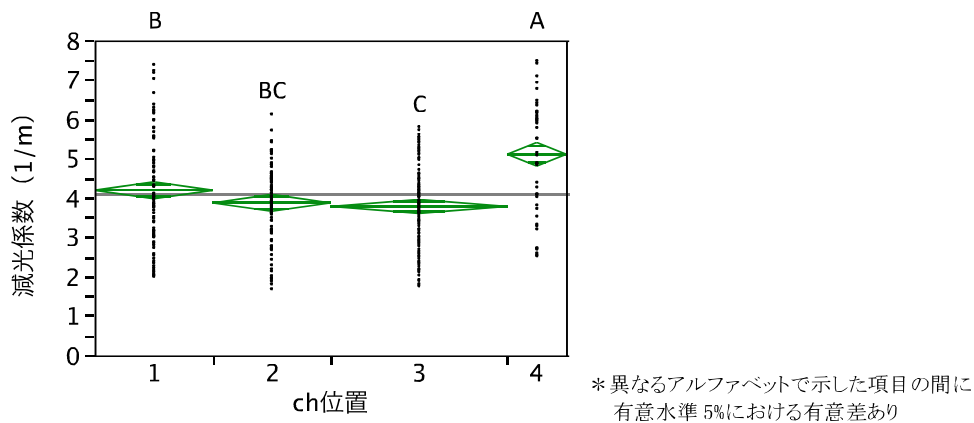


図 3.3.2.1-4 : 濃度「レベル 3」における測定位置間の減光係数比較

いずれの濃度においても減光係数の平均値は 1, 2, 3 の順に低くなり、4 で急激に高くなっている。標識からの距離で見ると、標識側から順に低くなり、最も標識から離れた所で急激に高くなるのが分かる。いずれの散布図においても、分散分析の F 検定における有意確率が 0.001 未満であることから、各 ch 位置における平均値の内、いずれかの際に有意水準 5%において有意差が存在すると考えられる。すなわち、減光計の水平位置と減光係数の値には関係性があるとみなせる。

濃度毎の HSD 検定より、有意水準 5%において ch 位置 1, 2, 3 で測定される減光係数の平均値間には有意差がなく、ch 位置 1, 2, 3 と ch 位置 4 の間には有意差が見られる。実験実施時の実験空間における水平方向の煙の流動性上としてスモークジェネレータ付近が最も濃くなり、続いて、スモークジェネレータから最も離れた標識付近が濃くなると考えられる。また、標識からスモークジェネレータに近づくにつれてある地点までは薄くなった後、再度濃くなっていくと考えられる。



ch 高さ毎に計測された減光係数の分布傾向について把握する。ch 高さ毎における減光係数のヒストグラムを以下に示す。

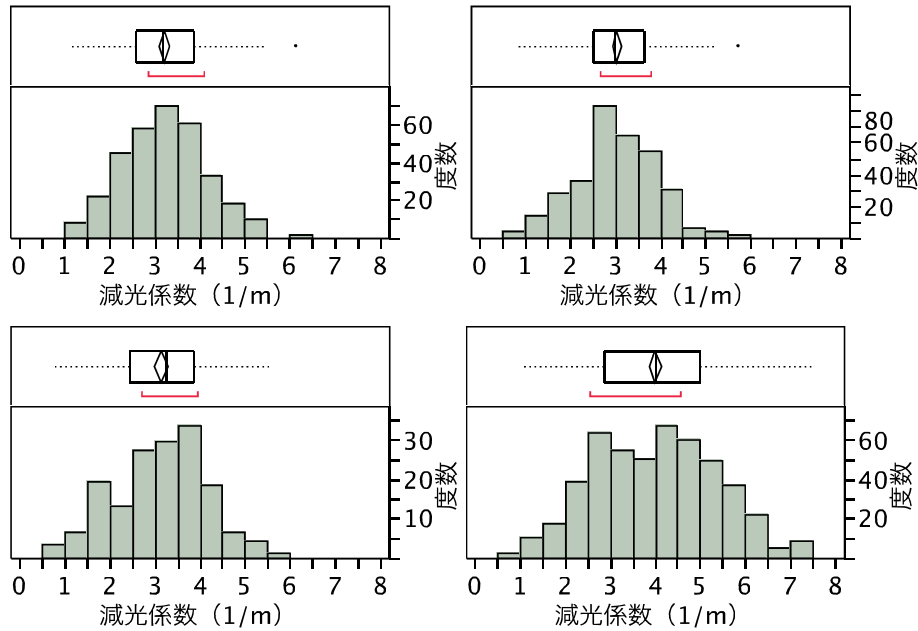


図 3.3.2.1-5 : 計測高さ毎の減光係数分布比較

(左上 : ch 高さ a、右上 : ch 高さ b、左下 : ch 高さ c、右下 : ch 高さ d)

各 ch 高さにおける減光係数の度数分布は正規分布に近似した傾向を示している。したがって、後述する ch 高さ間の比較においては平均値により比較を行う。

各 ch 高さにおいて測定される減光係数について比較を行い、ch 高さ間における減光係数測定傾向の差異を調べる。濃度毎に各 ch 高さで計測される減光係数について一元配置分散分析を行い、有意水準 5%において有意差を認められる場合には、その後 Tukey-Kramer の HSD 検定を実施する。各濃度について、減光計毎に測定される減光係数の散布図及び検定結果を以下に示す。

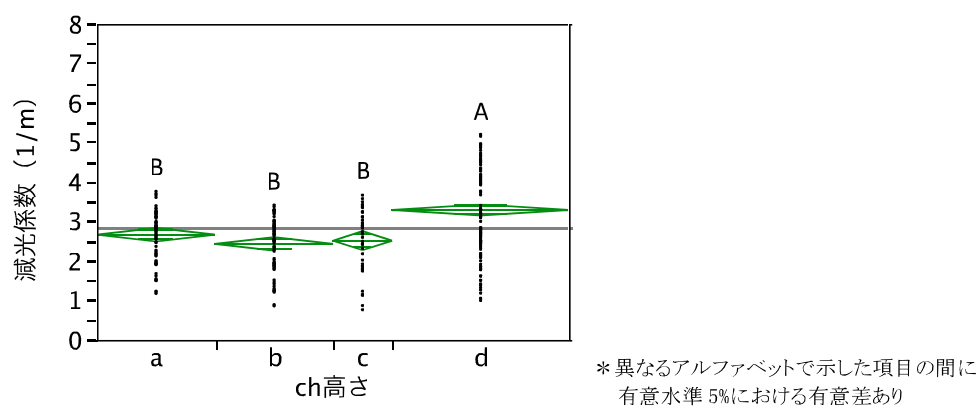


図 3.3.2.1-6 : 濃度「レベル 1」における測定高さ間の減光係数比較

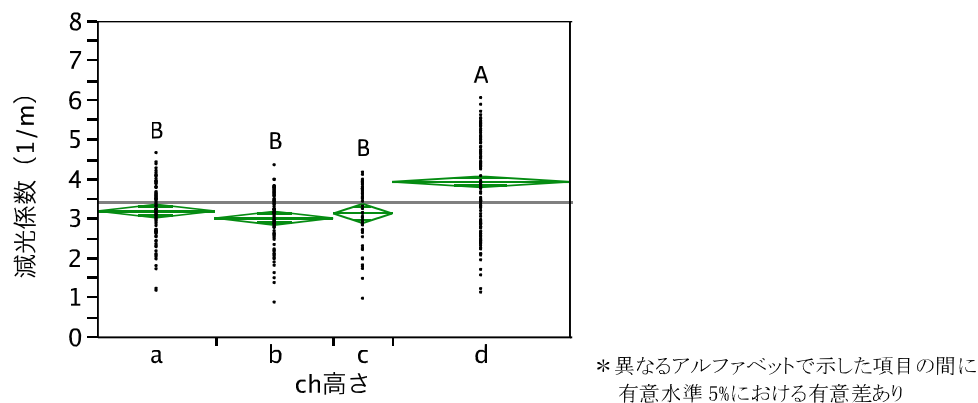


図 3.3.2.1-7 : 濃度「レベル 2」における測定高さ間の減光係数比較

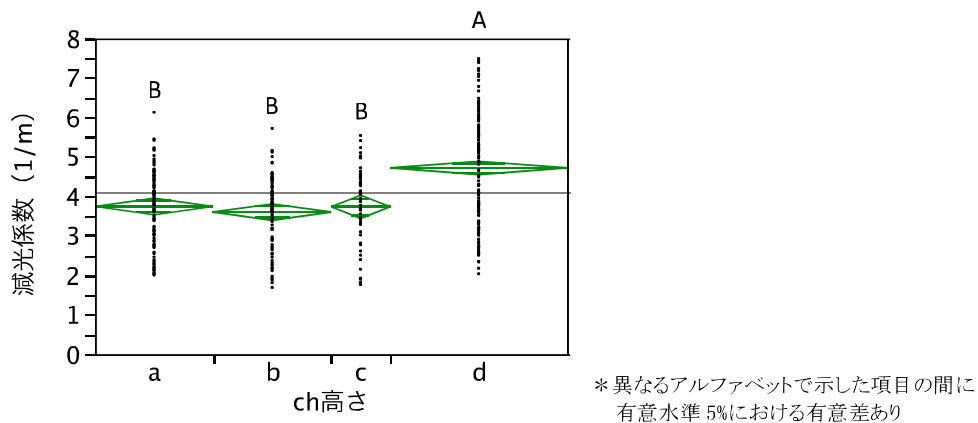


図 3.3.2.1-8 : 濃度「レベル 3」における測定高さ間の減光係数比較

いずれの濃度においても減光係数の平均値は a, b, c の順に低くなり、d で急激に高くなっている。高さで見ると、天井付近は同程度であり、下がると高くなることが分かる。いずれの散布図においても、分散分析の F 検定における有意確率が 0.001 未満であることから、各 ch 高さにおける平均値の内、いずれかの中に有意水準 5%において有意差が存在すると考えられる。すなわち、減光計の高さと減光係数の値には関係性があるとみなせる。

濃度毎の HSD 検定より、有意水準 5%において ch 高さ a、b、c で測定される減光係数の平均値間には有意差がなく、ch 位置 a、b、c と ch 高さ d の間には有意差が見られる。実験実施時の実験空間における鉛直方向の煙の流動性上として天井付近に比べて、中間付近が濃くなると考えられる。すなわち、天井付近の煙が床面に向かって下降していると考えられる。

水平位置及び高さ両方の位置関係による減光係数の傾向を把握する。各水平位置及び高さにおける減光係数の平均値を示すバブルプロットを以下に示す。

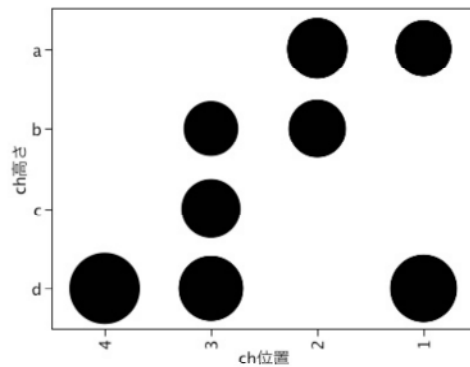


図 3.3.2.1-9 : 濃度「レベル 1」における水平位置及び高さとの減光係数の関係

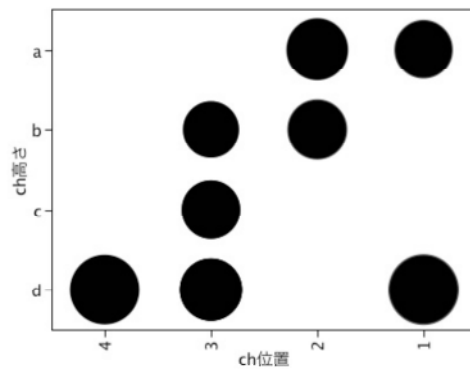


図 3.3.2.1-10 : 濃度「レベル 2」における水平位置及び高さとの減光係数の関係

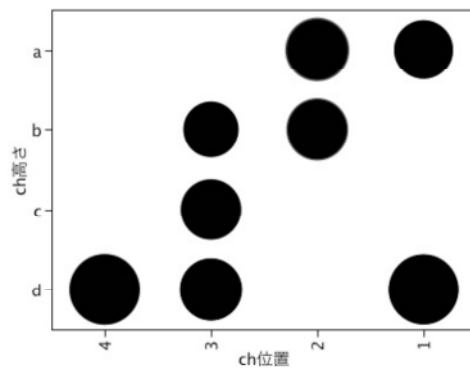


図 3.3.2.1-11 : 濃度「レベル 3」における水平位置及び高さとの減光係数の関係

減光係数の平均値は 1-d 及び 4-d、すなわち減光計 ch10 及び ch12 がどの濃度においても大きくなる。各位置における平均値を見ると、abc と d で分けた場合、その差異は小さいと考えられる。

濃度毎に各 ch 位置における減光計間の減光係数の比較を行う。各減光計間における減光係数の平均値の差を把握することで各 ch 位置において測定される減光係数の ch 高さによる影響を明らかにする。濃度毎に各 ch 位置に設置された減光計で計測される減光係数について平均値を求め、減光計が複数の場合には比較を行う。減光計が 2 機の場合には Student の t 検定を行い、3 機の場合には Tukey-Kramer の HSD 検定を実施する。各濃度について、減光計毎に測定される減光係数の散布図及び検定結果を以下に示す。

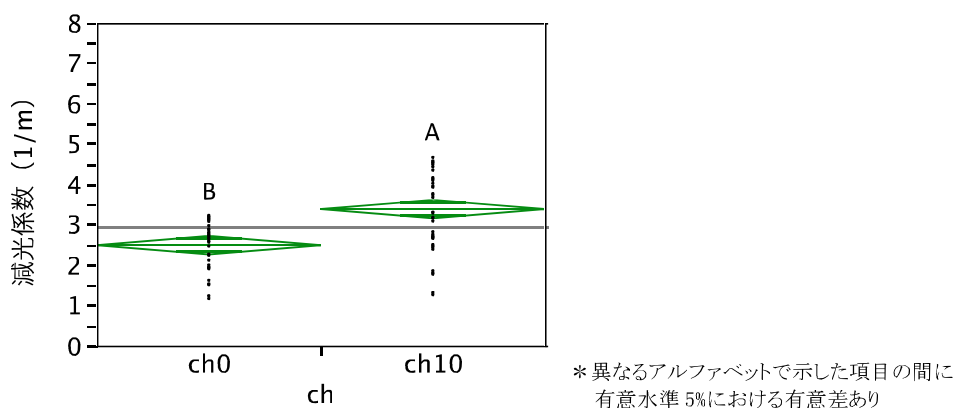


図 3.3.2.1-12 : 濃度「レベル 1」における ch 位置 1 測定減光係数比較

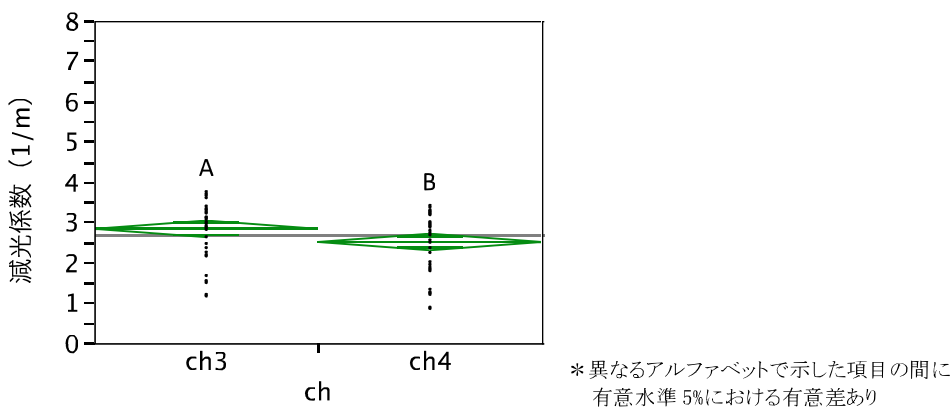


図 3.3.2.1-13 : 濃度「レベル 1」における ch 位置 2 測定減光係数比較

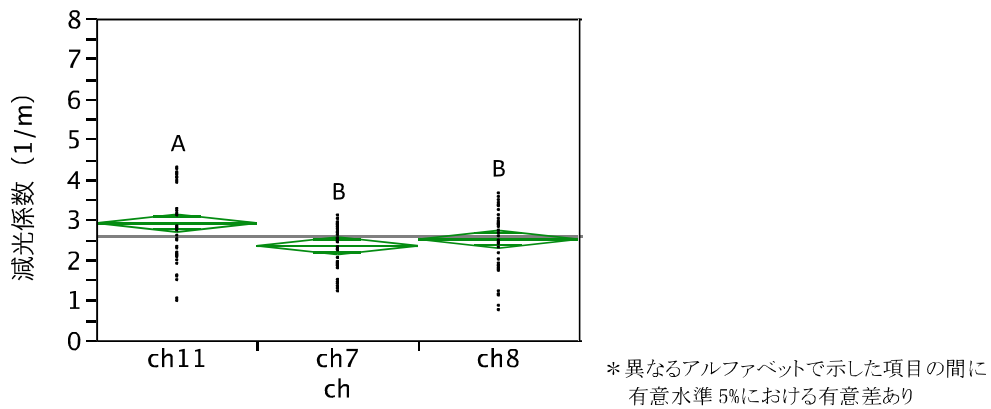


図 3.3.2.1-14 : 濃度「レベル 1」における ch 位置 3 測定減光係数比較

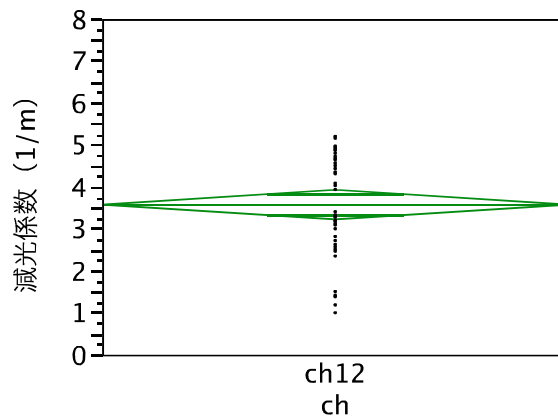


図 3.3.2.1-15 : 濃度「レベル 1」における ch 位置 4 測定減光係数比較

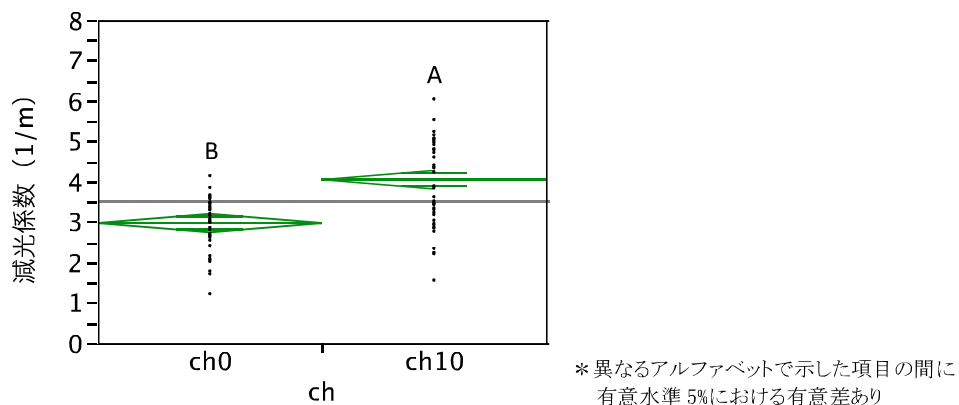
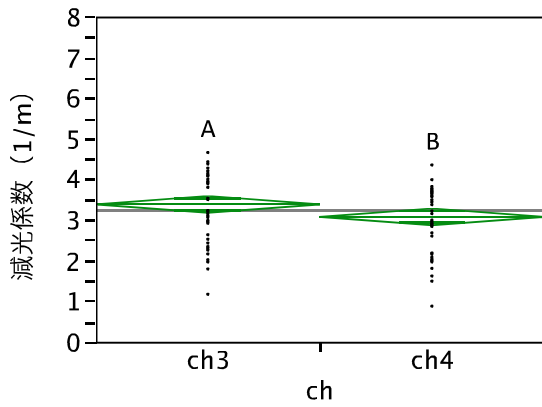
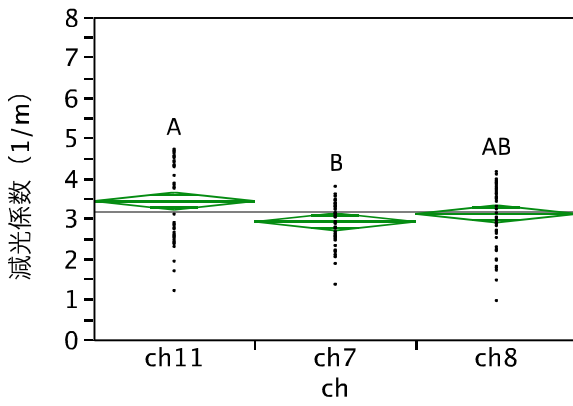


図 3.3.2.1-16 : 濃度「レベル 2」における ch 位置 1 測定減光係数比較



\*異なるアルファベットで示した項目の間に有意水準 5%における有意差あり

図 3.3.2.1-17 : 濃度「レベル 2」における ch 位置 2 測定減光係数比較



\*異なるアルファベットで示した項目の間に有意水準 5%における有意差あり

図 3.3.2.1-18 : 濃度「レベル 2」における ch 位置 3 測定減光係数比較

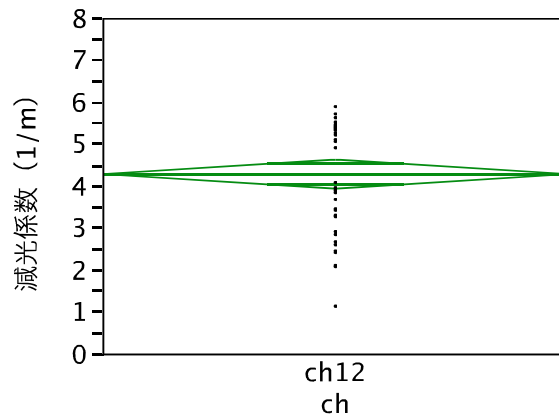
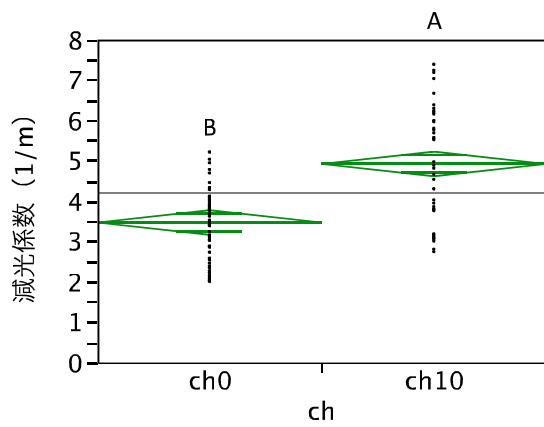
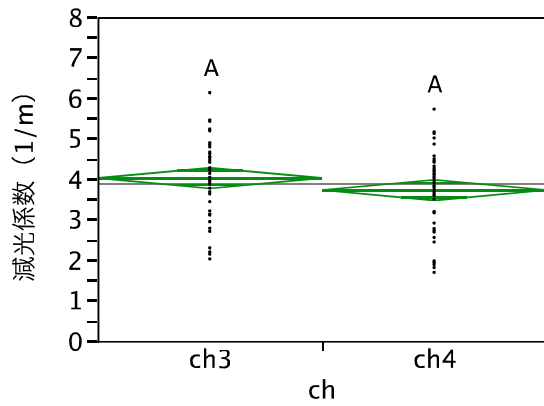


図 3.3.2.1-19 : 濃度「レベル 2」における ch 位置 4 測定減光係数比較



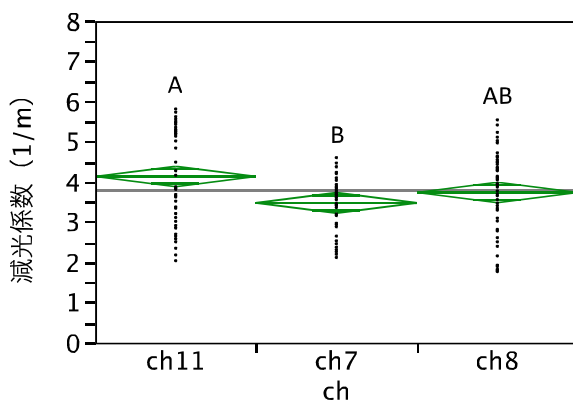
\*異なるアルファベットで示した項目の間に有意水準 5%における有意差あり

図 3. 3. 2. 1-20 : 濃度「レベル 3」における ch 位置 1 測定減光係数比較



\*異なるアルファベットで示した項目の間に有意水準 5%における有意差あり

図 3. 3. 2. 1-21 : 濃度「レベル 3」における ch 位置 2 測定減光係数比較



\*異なるアルファベットで示した項目の間に有意水準 5%における有意差あり

図 3. 3. 2. 1-22 : 濃度「レベル 3」における ch 位置 3 測定減光係数比較



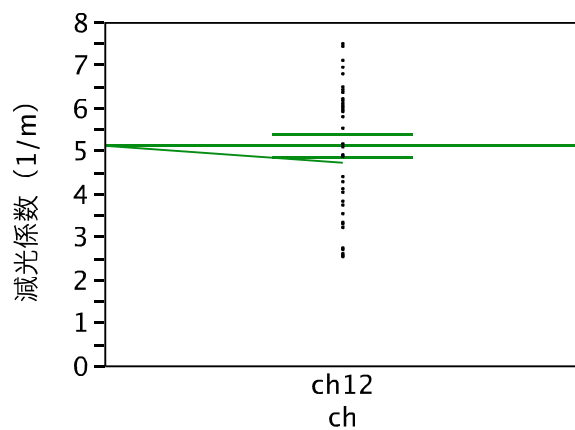
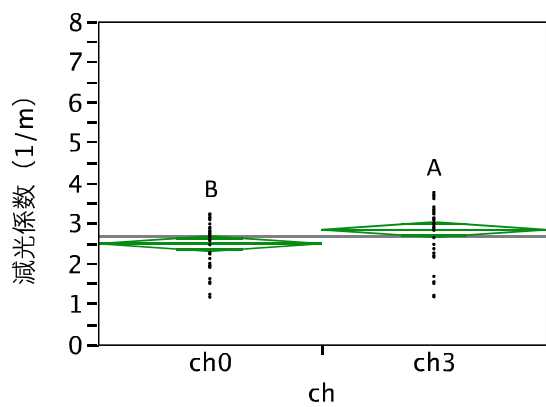
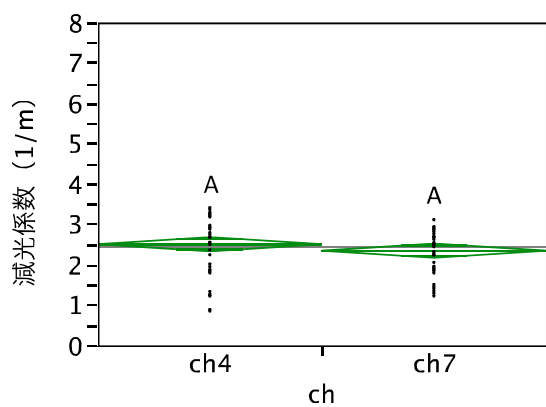


図 3.3.2.1-23 : 濃度「レベル 3」における ch 位置 4 測定減光係数比較



\*異なるアルファベットで示した項目の間に有意水準 5%における有意差あり

図 3.3.2.1-24 : 濃度「レベル 1」における ch 高さ a 測定減光係数比較



\*異なるアルファベットで示した項目の間に有意水準 5%における有意差あり

図 3.3.2.1-25 : 濃度「レベル 1」における ch 高さ b 測定減光係数比較

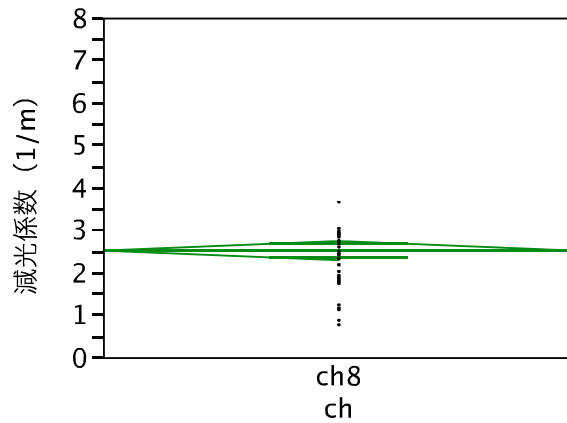
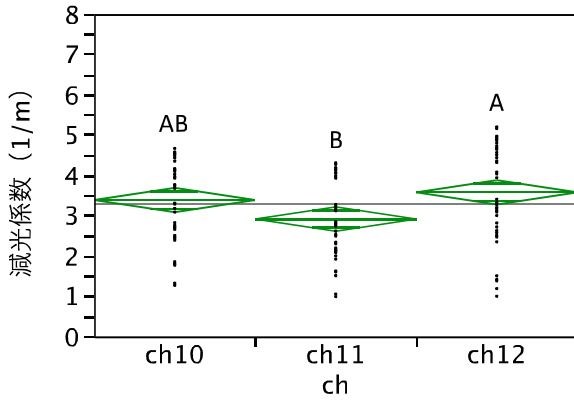
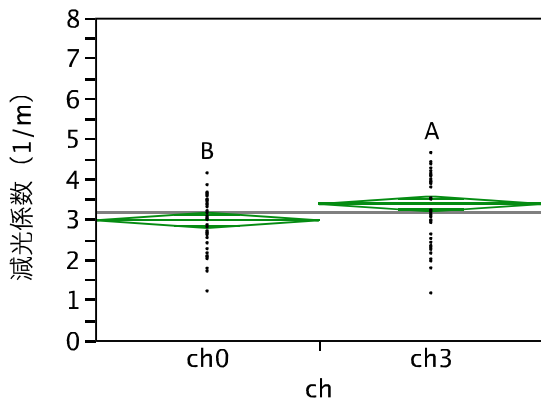


図 3.3.2.1-26 : 濃度「レベル1」における ch 高さ c 測定減光係数



\*異なるアルファベットで示した項目の間に有意水準 5%における有意差あり

図 3.3.2.1-27 : 濃度「レベル1」における ch 高さ d 測定減光係数比較



\*異なるアルファベットで示した項目の間に有意水準 5%における有意差あり

図 3.3.2.1-28 : 濃度「レベル2」における ch 高さ a 測定減光係数比較

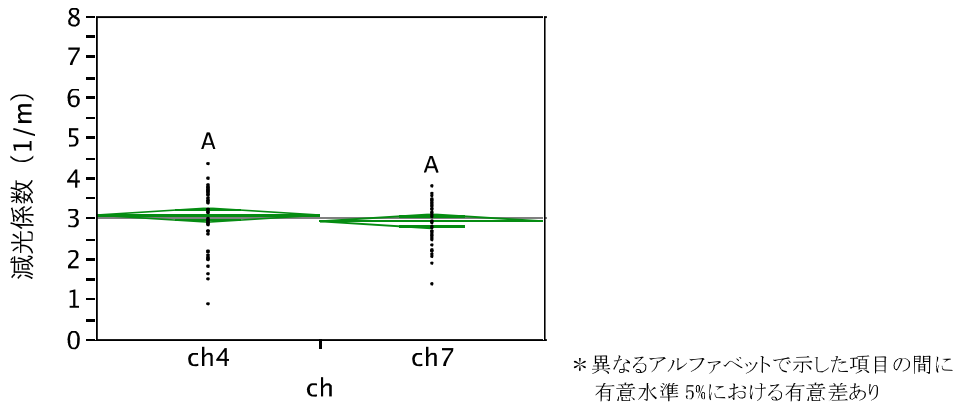


図 3.3.2.1-29 : 濃度「レベル 2」における ch 高さ b 測定減光係数比較

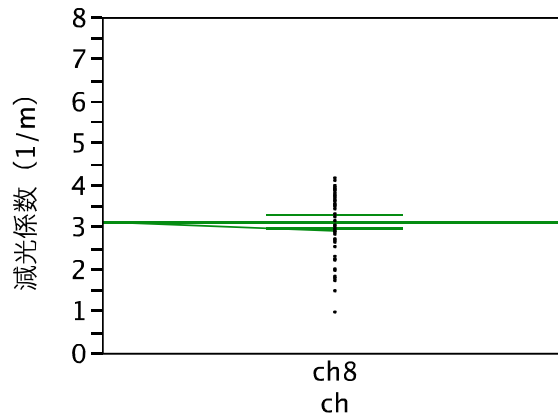


図 3.3.2.1-30 : 濃度「レベル 2」における ch 高さ c 測定減光係数比較

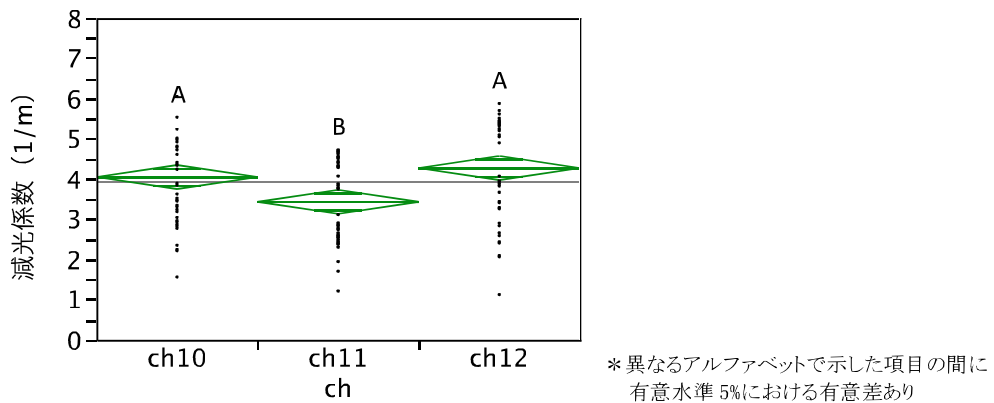
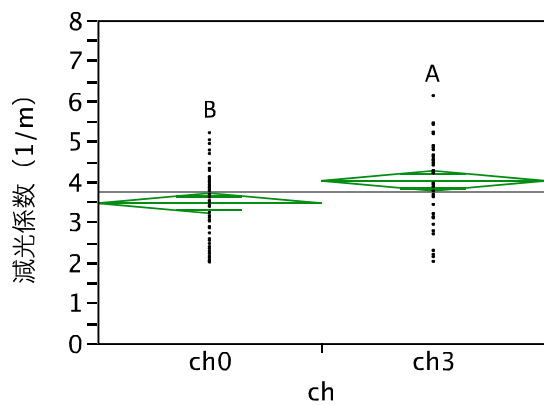
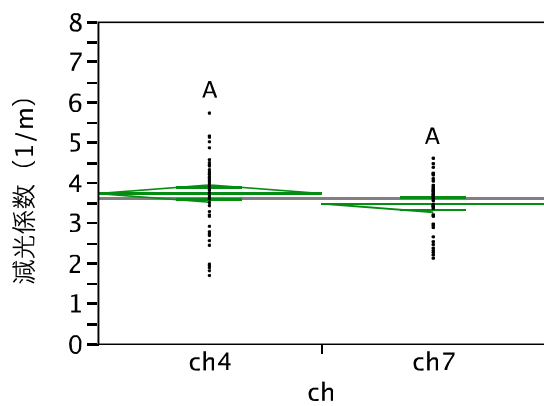


図 3.3.2.1-31 : 濃度「レベル 2」における ch 高さ d 測定減光係数比較



\*異なるアルファベットで示した項目の間に有意水準 5%における有意差あり

図 3.3.2.1-32 : 濃度「レベル3」における ch 高さ a 測定減光係数比較



\*異なるアルファベットで示した項目の間に有意水準 5%における有意差あり

図 3.3.2.1-33 : 濃度「レベル3」における ch 高さ b 測定減光係数比較

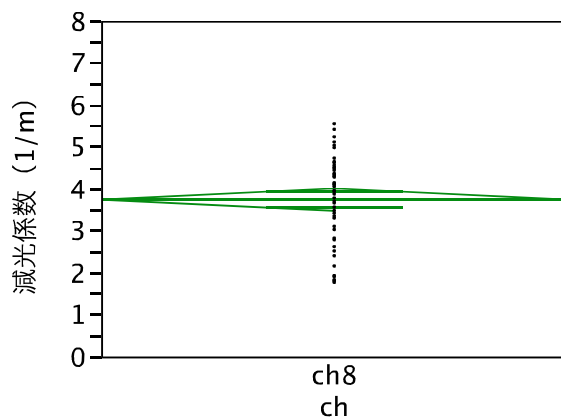


図 3.3.2.1-34 : 濃度「レベル3」における ch 高さ c 測定減光係数比較

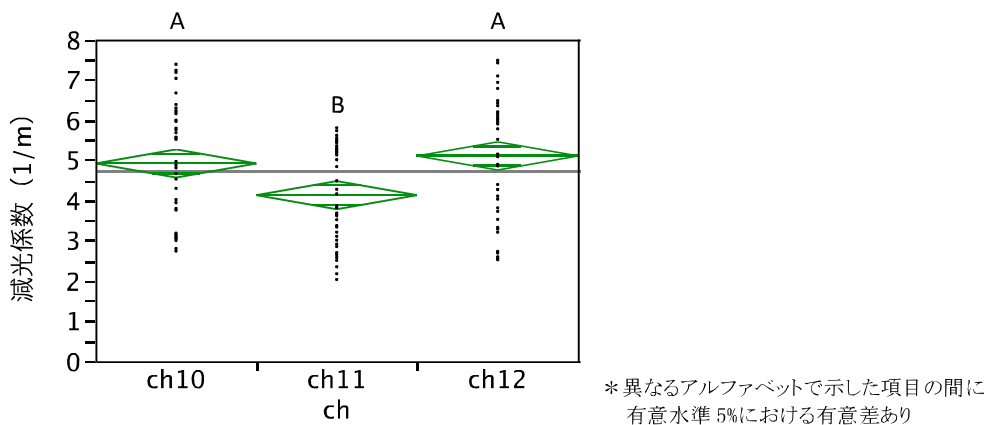


図 3.3.2.1-35 : 濃度「レベル 3」における ch 高さ d 測定減光係数比較

減光係数の傾向は ch 高さ abc と d にまず分けられる。abc の中では ch 位置  $3=2>1$  となり、d の中では  $4=1\geq 3$  となると考えられる。ch 位置による差異も見られるが、バブルプロット及び各減光計の平均値の比較より、abc と d の差と比較して、その差は小さいと言える。

以上より、減光係数の傾向から標識の視認時に被験者の視線にある煙は上下 2 層に分かれると考えられる。以下、図 3.3.2.1-36 にその状況を示す。

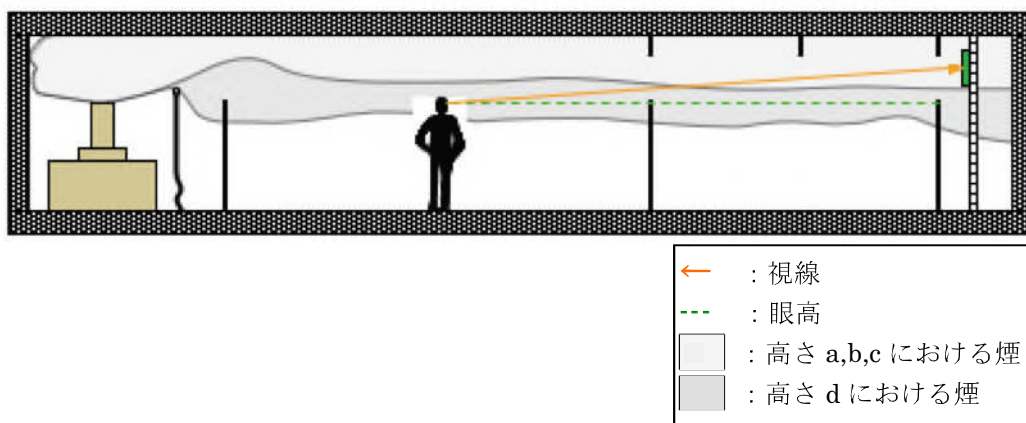


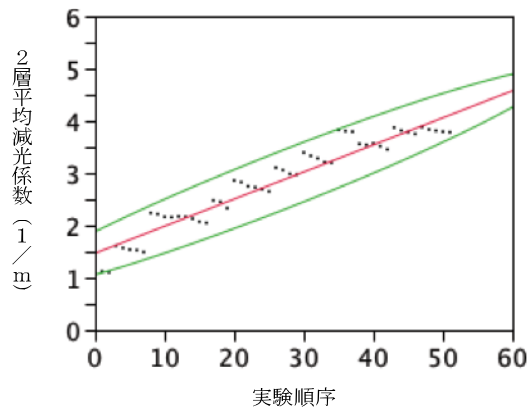
図 3.3.2.1-36 : 視線における白煙の状況

## (2) 視認性の分析に用いる減光係数の算出

標識の視認時に被験者の視線にある煙は ch 高さ abc と d の上下 2 層に分かれることから、減光係数と視認距離の分析に用いる減光係数の値は上層である ch 高さ abc 及び下層である ch 高さ d の減光計で測定される減光係数それぞれについて平均したものをさらに平均した値を用いる。この平均値を 2 層平均減光係数とする。

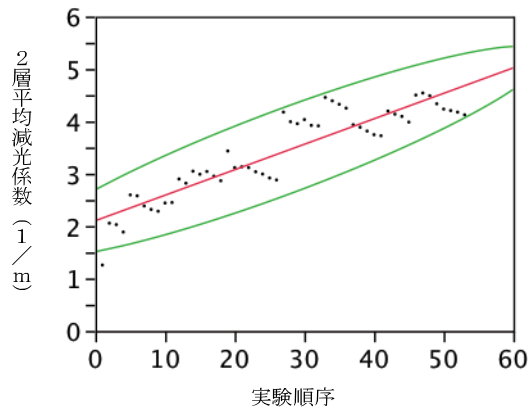
2層平均減光係数には、付着する煙により減光計の測定電圧が下がることで、減光係数が煙単独以外の要因により値が上がる影響が含まれる。実験が進むにしたがい、減光計に付着する煙（以降、堆積煙）は堆積し、減光係数はその影響により本来測定される煙（以降、流動煙）の濃度以上に上昇する。視認距離との関係を把握する際には流動煙以外の要因による影響を除外する必要がある。

濃度毎に実験順序に従った2層平均減光係数の分布について相関を把握し、分散分析による回帰式の導出を行う。この際、用いる減光係数は視認距離10.5mにおける値を除外する。視認距離10.5mはスタート地点における測定値であり、測定の限界値である。実際の視認距離より短い可能性があることから、減光係数との関係を正確に表していない。測定される減光係数は実験順序の影響に加えて、測定した視認距離において測定される減光係数より下降する可能性がある。視認距離10.5mを除外することにより、実験順序以外による影響を除外する。回帰式により実験順序が1の時の2層平均減光係数の予測値を算出し、その値を流動煙において測定された減光係数とする。その値に実験順序毎の2層平均減光係数と回帰式の残差を濃度調整時の変動値として加え、各試行において流動煙のみの影響により測定された減光係数を推定する。実験順序と減光係数の散布図及び分散分析により求められる回帰式を以下に示す。



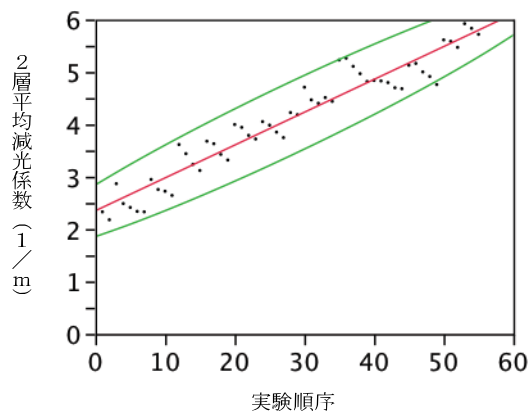
— : 単回帰直線 2層平均減光係数 =  $1.4678611 + 0.0518313 \times$  実験順序  
 — : 95%確率楕円 (2変量の正規分布を仮定した上で95%のデータが存在する範囲)

図 3.3.2.1-37 : 濃度「レベル1」における実験順序と2総平均減光係数



— : 単回帰直線 2層平均減光係数 =  $2.1038732 + 0.0486255 \times$  実験順序  
 — : 95%確率楕円 (2変量の正規分布を仮定した上で95%のデータが存在する範囲)

図 3.3.2.1-38 : 濃度「レベル2」における実験順序と2総平均減光係数



— : 単回帰直線 2層平均減光係数 =  $2.350768 + 0.0626981 \times$  実験順序  
 — : 95%確率楕円 (2変量の正規分布を仮定した上で95%のデータが存在する範囲)

図 3.3.2.1-39 : 濃度「レベル3」における実験順序と2総平均減光係数

各濃度において有意水準 5%における有意確率が 0.001 未満であり、単相関係数は濃度「レベル 1」において 0.96、濃度「レベル 2」において 0.91、濃度「レベル 3」において 0.96 となり、極めて強い相関があると言える。各濃度において分散分析を用いて求められる回帰式はそれぞれ以下の様になる。

$$\text{濃度「レベル 1」: 2 層平均減光係数} = 1.47 + 0.052 \times \text{実験順序}$$

$$\text{濃度「レベル 2」 : 2 層平均減光係数} = 2.10 + 0.049 \times \text{実験順序}$$

$$\text{濃度「レベル 3」 : 2 層平均減光係数} = 2.35 + 0.063 \times \text{実験順序}$$

いずれの濃度においても分散分析の F 検定における有意確率が 0.001 未満であることから、有意水準 5%において回帰式は統計的有意性を持ち、予測に役立つと言える。また、決定係数は濃度「レベル 1」において 0.92、濃度「レベル 2」において 0.82、濃度「レベル 3」において 0.92 となり、回帰式の精度は高いと言える。

実験順序 = 1 を各濃度における回帰式に代入すると 2 層平均減光係数はそれぞれ以下の様になる。

$$\begin{aligned} \text{濃度「レベル 1」: 2 層平均減光係数} &= 1.47 + 0.052 \times 1 \\ &= 1.52 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{濃度「レベル 2」 : 2 層平均減光係数} &= 2.10 + 0.049 \times 1 \\ &= 2.15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{濃度「レベル 3」 : 2 層平均減光係数} &= 2.35 + 0.063 \times 1 \\ &= 2.41 \end{aligned}$$

上記の各値を、流動煙のみを測定した減光係数の基準値とし、2 層平均減光係数と回帰式の残差を濃度調整時の変動値として加えることで、各試行における流動煙のみによる減光係数の値を求める。流動煙のみによる減光係数を残差補正減光係数とし、この値と視認距離の関係を求めることで白煙中における標識の視認性を把握する。



### 3.3.2.2 実験2 測定値に基づく分析

#### (1) 設置位置による減光係数の分布傾向の把握

減光計の位置により測定される減光係数に差異は見られない。したがって、減光係数の傾向から標識の視認時に被験者の視線にある煙は一樣であると考えられる。

#### (2) 視認性の分析に用いる減光係数の算出

標識の視認時に被験者の視線にある煙は一樣であると考えられることから、減光係数と視認距離の分析に用いる減光係数の値は、ch0, 1, 2, 3, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13 の各減光計において試行毎に測定される減光係数それぞれについて平均した値を用いる。この平均値を平均減光係数とする。この値と視認距離の関係を求めることで白煙中における標識の視認性を把握する。

### 3.4 標識の種類及び角度と減光係数の関係による視認距離の予測式

実験 1 及び実験 2 の結果それぞれについて、回帰式の導出を行う。導出にあたり、線形関係を確保するため水平角を正対面積（被験者が正対時に視認する標識表示面の面積）に換算して説明変数に用いる。水平角と正対面積の関係は  $S_{ha} = S \cos \theta$  ( $S_{ha}$  : 正対面積[m<sup>2</sup>],  $S$  : 標識表示面の面積（内容記載部の方形面積）[m<sup>2</sup>],  $\theta$  : 水平角[°]) で表される。

実験 1 と 2 では、水平角と濃度の条件が異なるため、結果を統合して分析した場合、視認距離・減光係数・正対面積の 2 変数の分布に影響を与え、相関係数及び回帰式の予測精度に影響を与える可能性がある。単一の年度について分析をした方が、分布に偏りがなくなり回帰モデルの形状を確実に把握できると考えられる。濃度と水平角の範囲が広い実験 2 の結果に基づき回帰モデルを決定し、実験 1 及び実験 2 の結果を統合したデータに基づき予測式を導出する。

予測式の導出手順として、①全変数を用いた重回帰分析（最小 2 乗法）、②変数選択、③回帰診断（データ診断、構造診断、モデル診断）を行う。②変数選択において、ステップワイズ法を用いる場合、変数増減法を用いて最小 2 乗法において用いた説明変数から有効な変数を選択して回帰式を求める。有効な変数の見落としを防ぐため、回帰係数の有意水準を 25%とする。③回帰診断では、①と②で得られた回帰モデルの評価を行う。

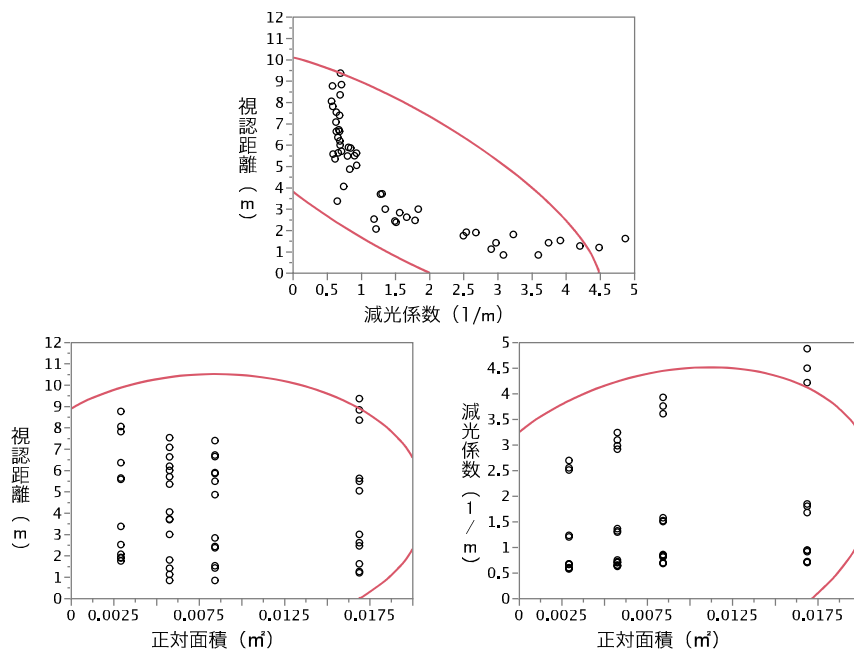
なお、回帰診断（Diagnostic Regression Analysis）は、少数のデータの影響によるモデルの歪みをモデル自身に評価させることでデータ構造を把握するものであり、データ診断、構造診断、モデル診断に分類される。データ診断では、説明変数と目的変数、両方の外れ値を求める。構造診断では、変数選択と多重共線性の把握を行う。モデル診断では、残差分析によりデータの構造とモデルの形の整合性を把握する。

特に、モデル診断では、データの構造による回帰式の前提条件の崩れを検討することで、得られた回帰式の予測モデルとしての妥当性を診断する。具体的には、説明変数及び目的変数の残差の関係性から判断する。残差については、説明変数が 2 変数以上の場合には、スチューデント化（標準化）を行ったスチューデント化残差（標準化残差）を用いることで変数の単位を考慮せずに残差と変数の関係性を確認することが出来る。各標識についての減光係数及び水平角とスチューデント化した残差の関係から、2 説明変数の回帰式に対する妥当性を診断する。

### 3.4.1 回帰モデルの決定

#### 3.4.1.1 変数間の相関

視認距離を減光係数、正対面積について標識毎に 2 変数毎の相関分析を行う。以降、各標識について、2 変数ごとの散布図を示し、相関について分析を行う。



— : 95%確率楕円 (母集団における 2 変量の正規分布を仮定した上で 95%の確率で母集団のデータが存在する範囲)

図 3.4.1.1-1 : 通路誘導灯 (左方向) における 2 変数毎の散布図

表 3.4.1.1-1 : 通路誘導灯 (左方向) における 2 変数の相関

変数1	変数2	相関係数	度数	下側95%信頼区間	上側95%信頼区間	有意確率
減光係数 (1/m)	視認距離 (m)	-0.794	52	-0.877	-0.666	<0.0001*
正対面積 (m <sup>2</sup> )	視認距離 (m)	0.010	52	-0.264	0.282	0.946
正対面積 (m <sup>2</sup> )	減光係数 (1/m)	0.226	52	-0.050	0.470	0.107

減光係数と視認距離の相関について見ると、無相関検定の有意確率が 0.0001 未満であり、有意水準 5%において相関係数は統計的に有意である。単相関係数は-0.794 となり、負の相関があると言える。他の 2 変数は無相関検定において有意確率 0.05 以上の値をとっており、有意水準 5%において統計的有意性は見られない。

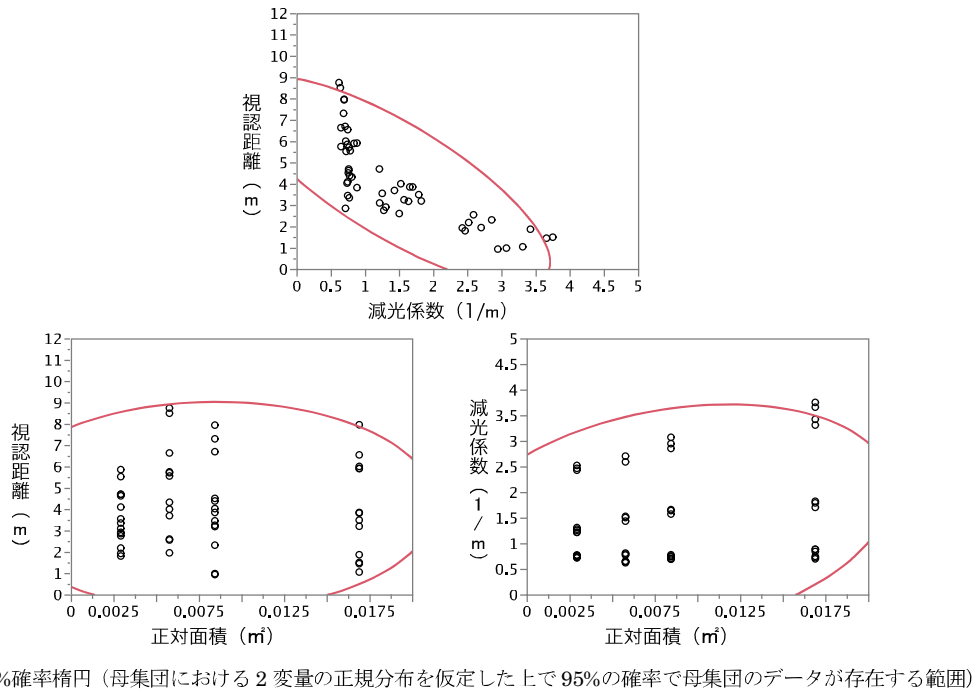
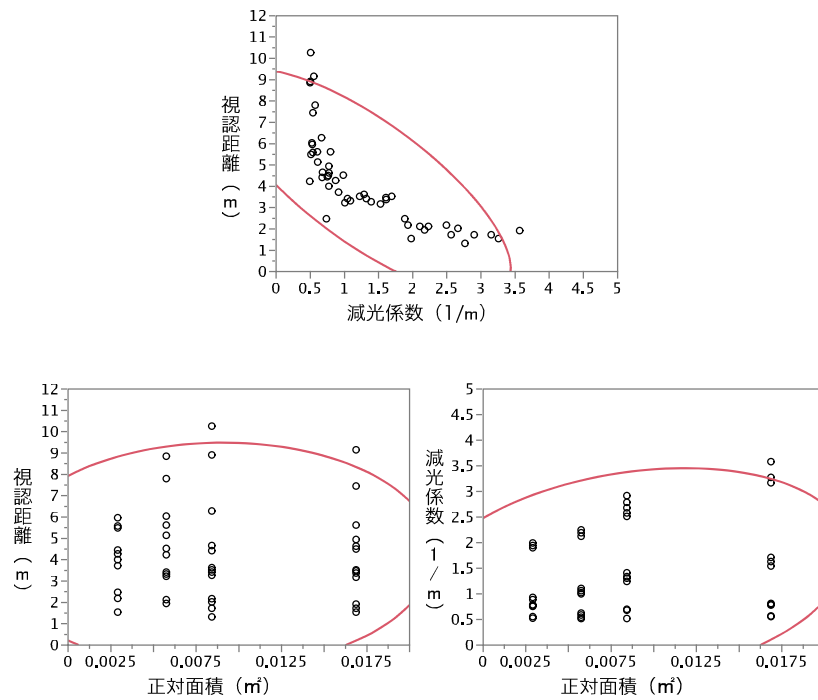


図 3.4.1.1-2 : 通路誘導灯 (両方向) における 2 変数毎の散布図

表 3.4.1.1-2 : 通路誘導灯 (両方向) における 2 変数の相関

変数1	変数2	相関係数	度数	下側95%信頼区間	上側95%信頼区間	有意確率
減光係数 (1/m)	視認距離 (m)	-0.783	53	-0.869	-0.650	<0.0001*
正対面積 (m <sup>2</sup> )	視認距離 (m)	0.012	53	-0.259	0.282	0.930
正対面積 (m <sup>2</sup> )	減光係数 (1/m)	0.267	53	-0.004	0.501	0.053

減光係数と視認距離の相関について見ると、無相関検定の有意確率が 0.0001 未満であり、有意水準 5%において相関係数は統計的に有意である。単相関係数は-0.869 となり、高い負の相関が認められる。他の 2 変数は無相関検定において有意確率 0.05 以上の値をとっており、有意水準 5%において統計的有意性は見られない。



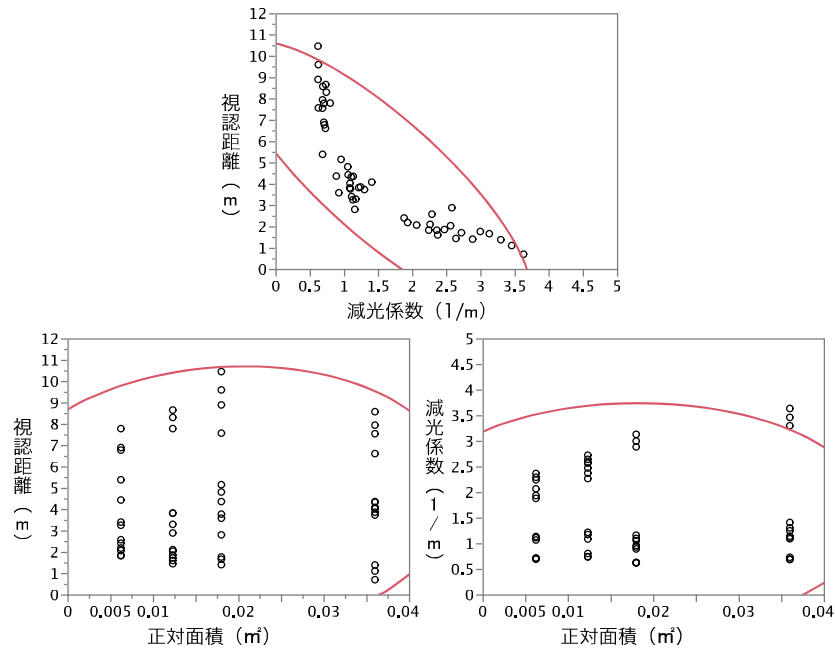
— : 95%確率楕円 (母集団における2変量の正規分布を仮定した上で95%の確率で母集団のデータが存在する範囲)

図 3.4.1.1-3 : 避難口誘導灯における2変数毎の散布図

表 3.4.1.1-3 : 避難口誘導灯における2変数の相関

変数1	変数2	相関係数	度数	下側95%信頼区間	上側95%信頼区間	有意確率
減光係数 (1/m)	視認距離 (m)	-0.764	51	-0.859	-0.619	<0.0001*
正対面積 (m <sup>2</sup> )	視認距離 (m)	0.029	51	-0.249	0.302	0.841
正対面積 (m <sup>2</sup> )	減光係数 (1/m)	0.245	51	-0.033	0.487	0.084

減光係数と視認距離の相関について見ると、無相関検定の有意確率が0.0001未満であり、有意水準5%において相関係数は統計的に有意である。単相関係数は-0.859となり、高い負の相関が認められる。他の2変数は無相関検定において有意確率0.05以上の値をとっており、有意水準5%において統計的有意性は見られない。



— : 95%確率楕円 (母集団における2変数の正規分布を仮定した上で95%の確率で母集団のデータが存在する範囲)

図 3.4.1.1-4 : 案内標識における2変数毎の散布図

表 3.4.1.1-4 : 案内標識における2変数の相関

変数1	変数2	相関係数	度数	下側95%信頼区間	上側95%信頼区間	有意確率
減光係数 (1/m)	視認距離 (m)	-0.824	52	-0.896	-0.711	<0.0001*
正対面積 (m <sup>2</sup> )	視認距離 (m)	0.093	52	-0.184	0.357	0.511
正対面積 (m <sup>2</sup> )	減光係数 (1/m)	0.005	52	-0.269	0.277	0.974

減光係数と視認距離の相関について見ると、無相関検定の有意確率が0.0001未満であり、有意水準5%において相関係数は統計的に有意である。単相関係数は-0.824となり、高い負の相関が認められる。他の2変数は無相関検定において有意確率0.05以上の値をとっており、有意水準5%において統計的有意性は見られない。

4 標識について、2 変数毎の相関係数と有意水準 5%における無相関検定の結果の一覧を以下に示す。

表 3.4.1.1-5：各標識における 2 変数間の相関係数一覧(実験 2)

		視認距離[m]	減光係数[1/m]	正対面積[m <sup>2</sup> ]
通路誘導灯 (左方向)	視認距離[m]	1.000	-0.794*	0.010
	減光係数[1/m]	-0.794*	1.000	0.226
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	0.010	0.226	1.000
通路誘導灯 (両方向)	視認距離[m]	1.000	-0.783*	0.012
	減光係数[1/m]	-0.783*	1.000	0.267
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	0.012	0.267	1.000
避難口誘導灯	視認距離[m]	1.000	-0.764*	0.029
	減光係数[1/m]	-0.764*	1.000	0.245
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	0.029	0.245	1.000
案内標識	視認距離[m]	1.000	-0.824*	0.093
	減光係数[1/m]	-0.824*	1.000	0.005
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	0.093	0.005	1.000

\* は有意水準5%で有意となることを示す

いずれの標識においても、視認距離と平均減光係数の間のみ無相関検定における有意確率が 0.05 未満、相関係数が-0.79 以下となる。上記 2 変数間のみ相関が見られる。

### 3.4.1.2 直線回帰式の導出

各標識について、減光係数及び正対面積に対する視認距離の、最小 2 乗法による直線回帰式を求める。交互作用項を含める場合と含めない場合について比較し、交互作用項の効果を検証する<sup>注5)</sup>。

はじめに、各標識について交互作用を含める場合と含めない場合の全変数を用いた最小 2 乗法による重回帰式の導出を行う。分析結果を以下に示す。

表 3.4.1.2-1：交互作用項と直線回帰式の決定係数(実験 2)

	交互作用項の有無	自由度調整 決定係数	誤差の標準 偏差(RMSE)	F値	有意確率
通路誘導灯 (左方向)	なし	0.655	1.466	49.431	<0.0001*
	あり	0.664	1.447	34.607	<0.0001*
通路誘導灯 (両方向)	なし	0.651	1.180	49.600	<0.0001*
	あり	0.645	1.190	32.557	<0.0001*
避難口誘導灯	なし	0.618	1.341	41.427	<0.0001*
	あり	0.617	1.342	27.883	<0.0001*
案内標識	なし	0.676	1.487	54.164	<0.0001*
	あり	0.679	1.481	36.923	<0.0001*

\* は有意水準5%で有意となることを示す

交互作用の有無に関わらず、有意水準 5%において全標識について回帰式は統計的有意性を持ち、予測に役立つと言える。各標識の自由度調整済み決定係数の変化は、交互作用項の投入前と比較して最大 0.01 程度であり、交互作用項の投入による変化は少ない。

表 3.4.1.2-2 交互作用項と直線回帰式の偏回帰係数(実験 2)

	交互作用の有無	項	偏回帰係数	標準化偏回帰係数	有意確率	VIF
通路誘導灯 (左方向)	なし	減光係数[1/m]	-1.738	-0.839	<0.0001*	1.054
		正対面積[m <sup>2</sup> ]	97.651	0.200	0.0221*	1.054
	あり	減光係数[1/m]	-1.843	-0.890	<0.0001*	1.225
		正対面積[m <sup>2</sup> ]	94.847	0.194	0.0244*	1.056
		(減光係数[1/m]-1.557)× (正対面積[m <sup>2</sup> ]-0.0084)	47.955	0.134	0.1349	1.182
通路誘導灯 (両方向)	なし	減光係数[1/m]	-1.825	-0.846	<0.0001*	1.077
		正対面積[m <sup>2</sup> ]	89.535	0.238	0.0072*	1.077
	あり	減光係数[1/m]	-1.859	-0.861	<0.0001*	1.308
		正対面積[m <sup>2</sup> ]	88.503	0.235	0.0086*	1.084
		(減光係数[1/m]-1.447)× (正対面積[m <sup>2</sup> ]-0.0084)	12.844	0.036	0.6977	1.26
避難口誘導灯	なし	減光係数[1/m]	-2.062	-0.820	<0.0001*	1.064
		正対面積[m <sup>2</sup> ]	95.688	0.229	0.0143*	1.064
	あり	減光係数[1/m]	-2.145	-0.853	<0.0001*	1.218
		正対面積[m <sup>2</sup> ]	96.300	0.231	0.0139*	1.064
		(減光係数[1/m]-1.332)× (正対面積[m <sup>2</sup> ]-0.0087)	41.149	0.090	0.3411	1.151
案内標識	なし	減光係数[1/m]	-2.402	-0.825	<0.0001*	1.000
		正対面積[m <sup>2</sup> ]	22.573	0.097	0.2295	1.000
	あり	減光係数[1/m]	-2.486	-0.853	<0.0001*	1.091
		正対面積[m <sup>2</sup> ]	22.346	0.096	0.2321	1.000
		(減光係数[1/m]-1.544)× (正対面積[m <sup>2</sup> ]-0.0182)	24.443	0.100	0.2345	1.091

\* は有意水準5%で有意となることを示す

各標識について有意水準 25%における交互作用項の統計的有意性は異なる。交互作用項の投入前後で主効果の有意確率に大きな変化は見られない。有意水準 5%における統計的有意性は変化せず、標準化偏回帰係数の差も小さい。交互作用項の効果は小さいと言える。したがって、交互作用投入後において交互作用項を含めて全要因の VIF が 1 程度となり要因の独立性は高いと考えられるが、直線回帰において減光係数と正対面積間の交互作用は無視できる(表 6)。



続いて、説明変数を減光係数と正対面積とした回帰式について回帰診断を行う。データ診断、構造診断の後、モデル診断を行った。モデル診断については、各標識についての減光係数及び水平角とスチューデント化した視認距離の残差の関係から、残差分析を行った。残差分析では、スチューデント化残差と2説明変数の関係から、説明変数の回帰式に対する妥当性を診断した。モデル診断の残差分析より、各標識について減光係数に対するスチューデント化残差の関係に曲線的な傾向が見られた。以下に2変数の散布図を示す。

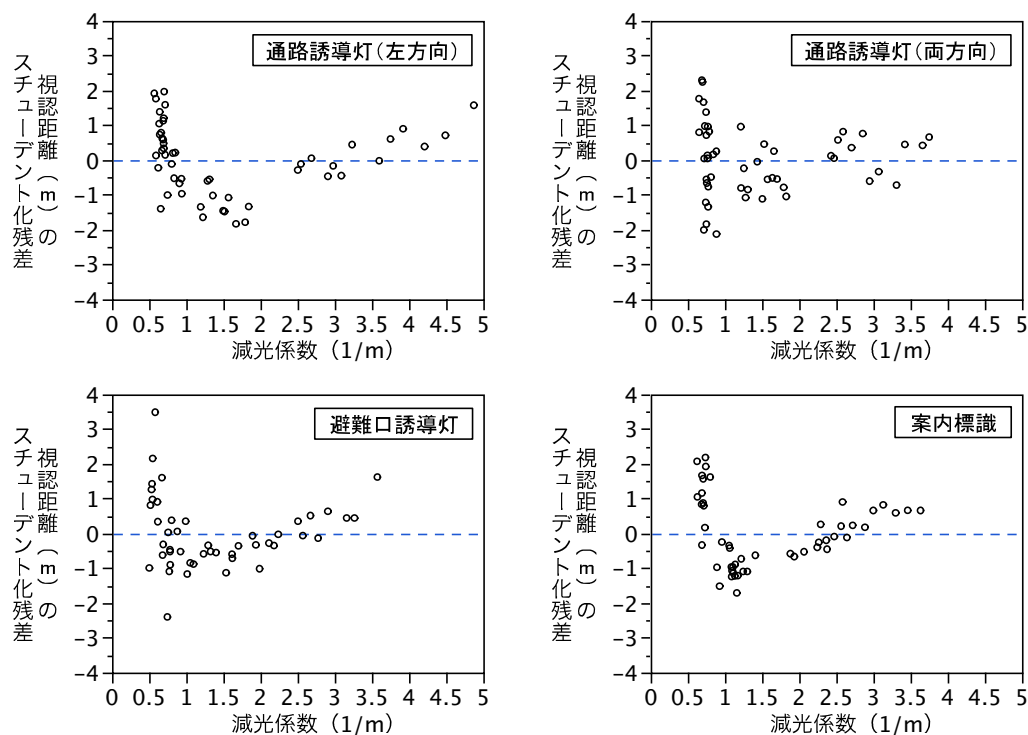


図 3. 4. 1. 2-1: 各標識の減光係数と視認距離のスチューデント化残差の関係 (実験 2, 直線回帰)

モデル診断の残差分析より、各標識について減光係数に対するスチューデント化残差の散布図を見ると、-1 次の曲線的な分布傾向が見られる。減光係数は-1 次の項とすることで回帰式に対する当てはまりが良くなると考えられる。

この検討により、予測式は直線ではなく減光係数を-1 次とする曲線( $y = 1 / x$ )の式を用いることが適切であることが明らかとなった。

### 3.4.1.3 曲線回帰式の導出

直線回帰式のモデル診断に基づき、減光係数の項を-1次とし、各標識について、減光係数及び正対面積に対する視認距離の最小2乗法による曲線回帰式を求める。また、直線回帰と同様に、交互作用項の有無が重回帰式に与える影響を検証する。

はじめに、各標識について全変数を用いた最小2乗法による重回帰式の導出を行う。分析結果を以下に示す。

表 3.4.1.3-1：交互作用項と曲線回帰式の決定係数(実験2)

	交互作用項の有無	自由度調整決定係数	誤差の標準偏差(RMSE)	F値	有意確率
通路誘導灯 (左方向)	なし	0.874	0.887	177.67	<0.0001*
	あり	0.894	0.812	144.695	<0.0001*
通路誘導灯 (両方向)	なし	0.729	1.041	70.8087	<0.0001*
	あり	0.737	1.025	49.5715	<0.0001*
避難口誘導灯	なし	0.796	0.981	98.436	<0.0001*
	あり	0.806	0.956	70.1654	<0.0001*
案内標識	なし	0.896	0.843	220.399	<0.0001*
	あり	0.895	0.846	146.200	<0.0001*

\* は有意水準5%で有意となることを示す

交互作用の有無に関わらず、有意水準5%において全標識について回帰式は統計的有意性を持ち、予測に役立つと言える。各標識の自由度調整済み決定係数の変化は、交互作用項の投入前と比較して最大0.02程度であり、交互作用項の投入による変化は少ない。

表 3. 4. 1. 3-2 : 交互作用項と曲線回帰式の偏回帰係数(実験 2)

	交互作用の有無	項	偏回帰係数	標準化偏回帰係数	有意確率	VIF
通路誘導灯 (左方向)	なし	逆数(減光係数[1/m])	4.639	0.964	<0.0001*	1.058
		正対面積[m <sup>2</sup> ]	115.281	0.236	<0.0001*	1.058
	あり	逆数(減光係数[1/m])	4.740	0.985	<0.0001*	1.078
		正対面積[m <sup>2</sup> ]	126.012	0.258	0.7099	1.08
		(逆数(減光係数[1/m])-0.99258)×(正対面積[m <sup>2</sup> ]-0.00836)	144.716	0.149	0.0022*	1.033
通路誘導灯 (両方向)	なし	逆数(減光係数[1/m])	3.897	0.873	<0.0001*	1.032
		正対面積[m <sup>2</sup> ]	62.302	0.166	0.0284*	1.032
	あり	逆数(減光係数[1/m])	3.845	0.862	<0.0001*	1.042
		正対面積[m <sup>2</sup> ]	69.670	0.185	0.6774	1.061
		(逆数(減光係数[1/m])-0.9497)×(正対面積[m <sup>2</sup> ]-0.00836)	100.212	0.117	0.1139	1.046
避難口誘導灯	なし	逆数(減光係数[1/m])	3.467	0.915	<0.0001*	1.042
		正対面積[m <sup>2</sup> ]	88.586	0.212	0.0021*	1.042
	あり	逆数(減光係数[1/m])	3.479	0.918	<0.0001*	1.043
		正対面積[m <sup>2</sup> ]	92.547	0.222	0.9228	1.049
		(逆数(減光係数[1/m])-1.07465)×(正対面積[m <sup>2</sup> ]-0.00873)	91.290	0.117	0.0686	1.007
案内標識	なし	逆数(減光係数[1/m])	5.621	0.946	<0.0001*	1.004
		正対面積[m <sup>2</sup> ]	7.142	0.031	0.501	1.004
	あり	逆数(減光係数[1/m])	5.616	0.945	<0.0001*	1.005
		正対面積[m <sup>2</sup> ]	7.247	0.031	0.6541	1.005
		(逆数(減光係数[1/m])-0.87652)×(正対面積[m <sup>2</sup> ]-0.01815)	20.833	0.037	0.4137	1.001

\* は有意水準5%で有意となることを示す

交互作用項は、案内標識のみ有意水準 25%における有意性が認められない。交互作用項の投入前後で正対面積の有意確率が大きく変化する。交互作用投入前において正対面積は案内標識のみ 25%水準で有意とはならず、他 3 標識では有意となる。交互作用投入後、正対面積の有意確率は全標識で上昇し、50%以上となる。減光係数については有意水準 5%における統計的有意性は変化せず、標準化偏回帰係数の差も小さい。交互作用項の効果は小さいと言え、曲線回帰での減光係数と正対面積間の交互作用は除外する。

採択した回帰曲線について、回帰診断を行う。データ診断により視認距離の残差が誤差の標準偏差（RMSE）の2倍を超えるデータを外れ値とし、各データについて要因を把握した。この際、濃度が薄い場合に視認限界以上に近づくことが要因と考えられるものについて、分析から除外した。また、構造診断により説明変数の選択を行ったところ、案内標識のみ正対面積の偏回帰係数が有意水準25%を満たさず、除外された。以下に、交互作用項除外後の曲線回帰式について、決定係数と偏回帰係数を示す。

表 3.4.1.3-3 : 回帰診断後の曲線回帰式の決定係数(実験 2)

	自由度調整 決定係数	誤差の標準 偏差(RMSE)	F値	有意確率
通路誘導灯 (左方向)	0.902	0.786	232.130	<0.0001*
通路誘導灯 (両方向)	0.792	0.925	96.066	<0.0001*
避難口誘導灯	0.873	0.725	162.969	<0.0001*
案内標識	0.923	0.740	584.387	<0.0001*

\* は有意水準5%で有意となることを示す

表 3.4.1.3-4 : 回帰診断後の曲線回帰式の偏回帰係数(実験 2)

	項	偏回帰係数	標準化 偏回帰係数	有意確率	VIF
通路誘導灯 (左方向)	逆数(減光係数[1/m])	4.735	0.975	<0.0001*	1.050
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	105.088	0.213	<0.0001*	1.050
通路誘導灯 (両方向)	逆数(減光係数[1/m])	4.094	0.906	<0.0001*	1.026
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	54.573	0.144	0.0320*	1.026
避難口誘導灯	逆数(減光係数[1/m])	3.482	0.953	<0.0001*	1.034
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	73.356	0.190	0.0008*	1.034
案内標識	逆数(減光係数[1/m])	5.812	0.961	<0.0001*	—

\* は有意水準5%で有意となることを示す

採択された重回帰モデルの VIF は全標識について 1 に近似し、多重共線性はないと言える。

モデル診断の残差分析より、各標識について減光係数に対するスチューデント化残差の関係に直線回帰式と比較して変化が見られた。以下に2変数の散布図を示す。

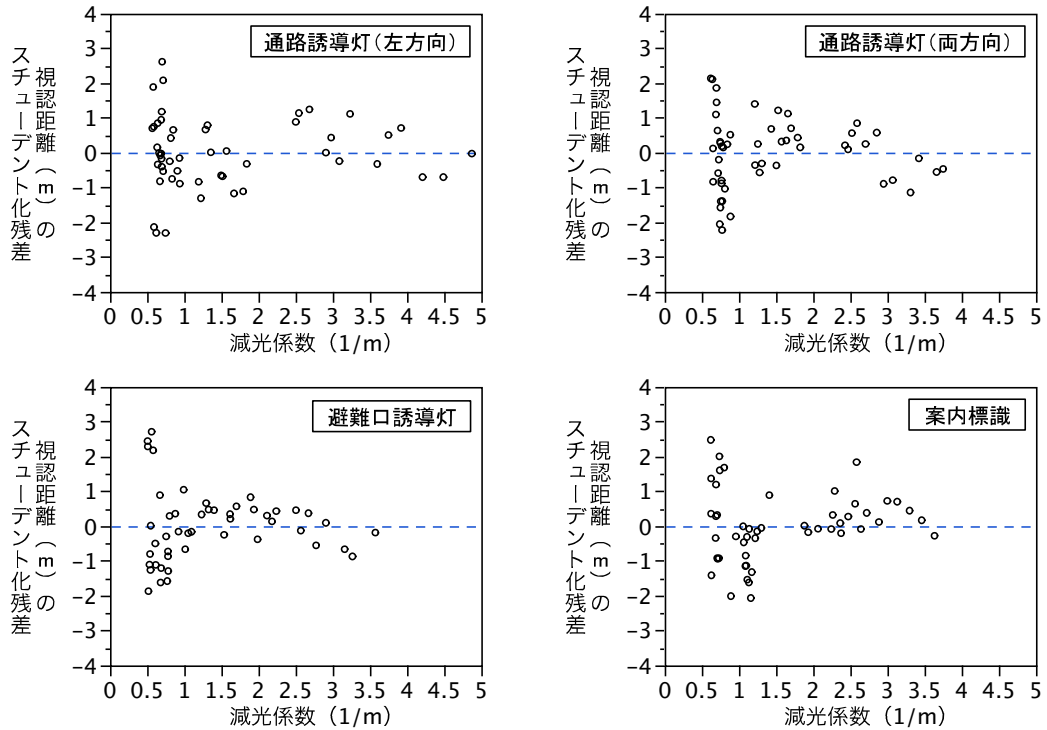


図 3. 4. 1. 3-1: 各標識の減光係数と視認距離のスチューデント化残差の関係(実験 2, 曲線回帰)

モデル診断として、各標識の減光係数に対するスチューデント化残差の散布図を見ると、直線回帰と比較して減光係数に対する-1 次の曲線的な分布の傾向が解消されている。

以上の検討により、予測式は減光係数と正対面積の主効果のみを説明変数とすることが適切であることが明らかとなった。

### 3.4.2 予測式の導出

本研究では、現場において使用される各誘導灯及び案内標識の一例について、それぞれの視認距離の予測式を導出する。これらの標識は既存かつ表示内容の変更が少ないものであることから、ピクトグラム、文字や矢印などの個別要素を取り扱うのではなく、一体としての視認距離を評価する。

#### 3.4.2.1 変数間の相関

実験1・2のデータより視認距離、減光係数、正対面積について標識毎に2変数毎の相関分析を行う。

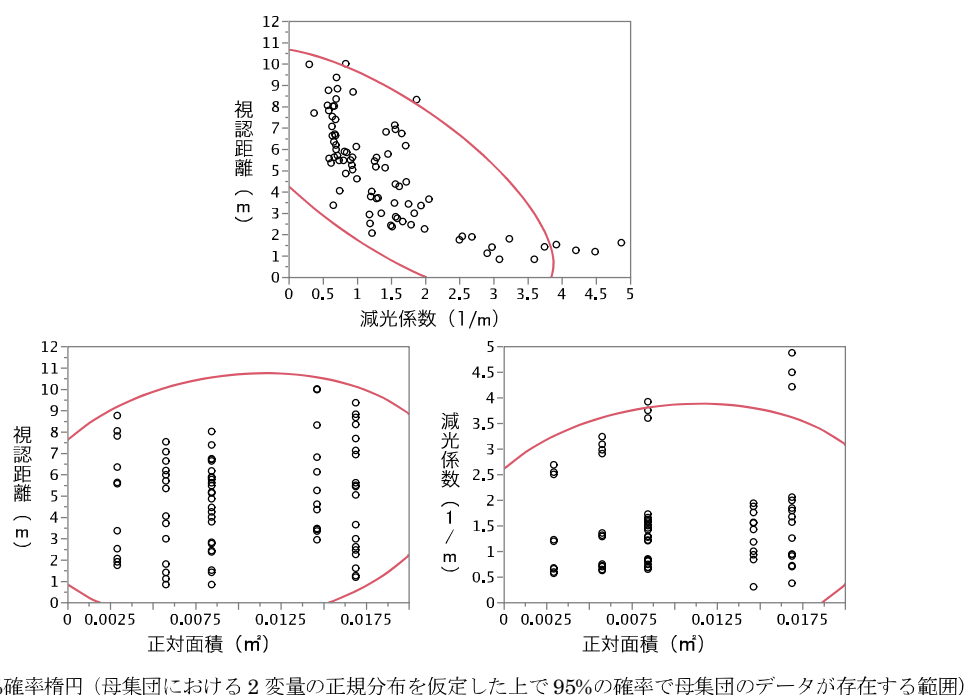
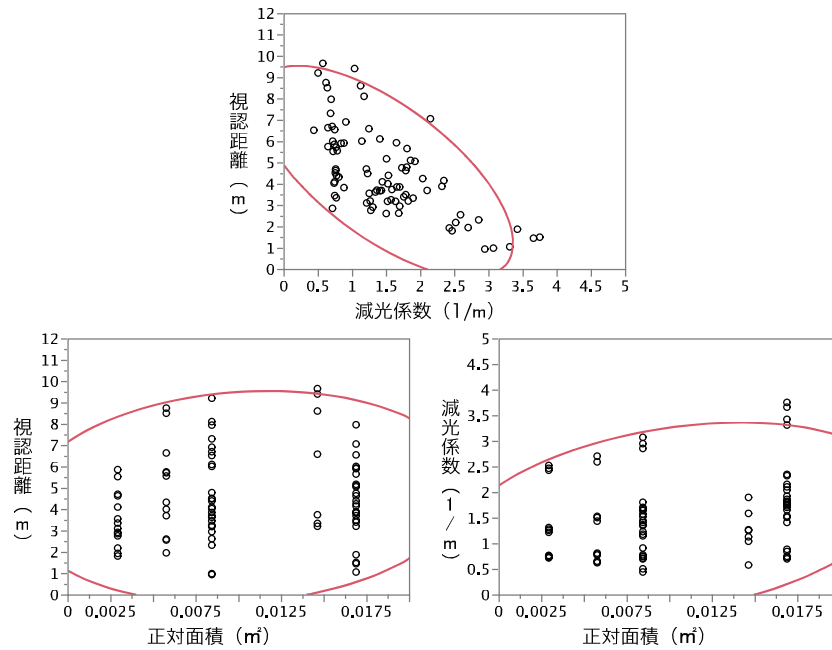


図 3.4.2.1-1 : 通路誘導灯 (左方向) における 2 変数毎の散布図

表 3.4.2.1-1 : 通路誘導灯 (左方向) における 2 変数の相関

変数1	変数2	相関係数	度数	下側95%信頼区間	上側95%信頼区間	有意確率
減光係数 (1/m)	視認距離 (m)	-0.730	85.000	-0.816	-0.612	<0.0001*
正対面積 (m <sup>2</sup> )	視認距離 (m)	0.135	85.000	-0.081	0.338	0.218
正対面積 (m <sup>2</sup> )	減光係数 (1/m)	0.127	85.000	-0.088	0.332	0.245

減光係数と視認距離の相関について見ると、無相関検定の有意確率が 0.0001 未満であり、有意水準 5%において相関係数は統計的に有意である。単相関係数は-0.730 となり、負の相関があると言える。他の 2 変数は無相関検定において有意確率 0.05 以上の値をとっており、有意水準 5%において統計的有意性は見られない。



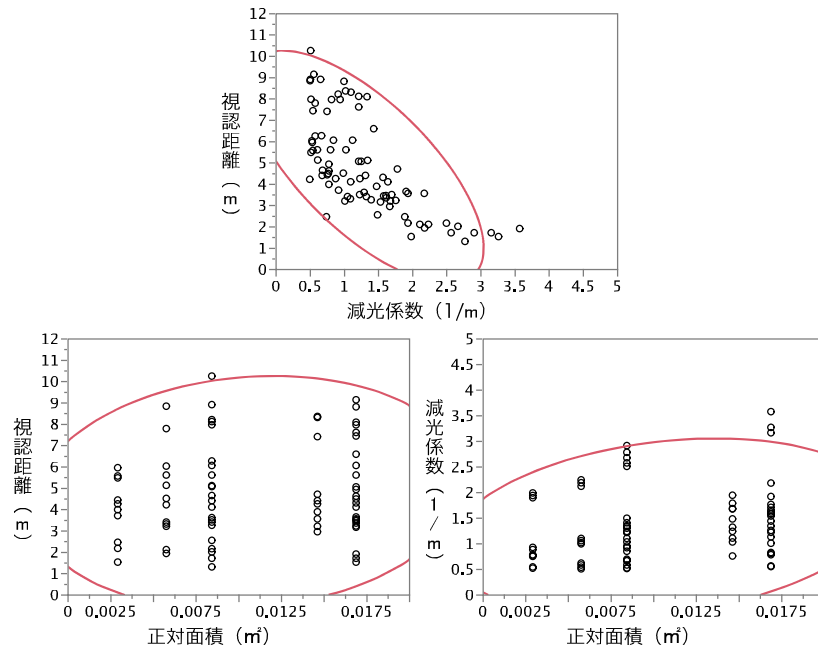
— : 95%確率楕円 (母集団における2変量の正規分布を仮定した上で95%の確率で母集団のデータが存在する範囲)

図 3.4.2.1-2 : 通路誘導灯 (両方向) における2変数毎の散布図

表3.4.2.1-2 : 通路誘導灯 (両方向) における2変数の相関

変数1	変数2	相関係数	度数	下側95%信頼区間	上側95%信頼区間	有意確率
減光係数 (1/m)	視認距離 (m)	-0.673	89	-0.773	-0.541	<0.0001*
正対面積 (m <sup>2</sup> )	視認距離 (m)	0.110	89	-0.101	0.311	0.305
正対面積 (m <sup>2</sup> )	減光係数 (1/m)	0.299	89	0.097	0.478	0.004*

減光係数と視認距離の相関について見ると、無相関検定の有意確率が0.0001未満であり、有意水準5%において相関係数は統計的に有意である。単相関係数は-0.773となり、負の相関があると言える。他の2変数は無相関検定において有意確率0.05以上の値をとっており、有意水準5%において統計的有意性は見られない。また、正対面積と減光係数については、有意水準0.004で相関係数0.299となり、有意水準5%において統計的有意性を持ち、弱い正の相関が認められる。



— : 95%確率楕円 (母集団における2変量の正規分布を仮定した上で95%の確率で母集団のデータが存在する範囲)

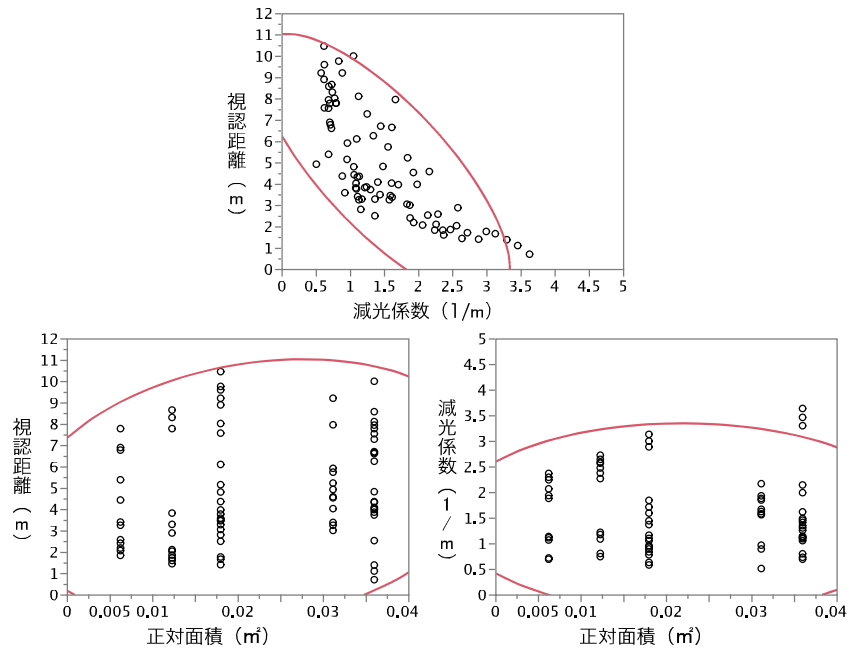
図 3. 4. 2. 1-3 : 避難口誘導灯における2変数毎の散布図

表3. 4. 2. 1-3 : 避難口誘導灯における2変数の相関

変数1	変数2	相関係数	度数	下側95%信頼区間	上側95%信頼区間	有意確率
減光係数 (1/m)	視認距離 (m)	-0.697	86	-0.792	-0.570	<0.0001*
正対面積 (㎡)	視認距離 (m)	0.116	86	-0.098	0.320	0.288
正対面積 (㎡)	減光係数 (1/m)	0.244	86	0.034	0.433	0.024*

減光係数と視認距離の相関について見ると、無相関検定の有意確率が0.0001未満であり、有意水準5%において相関係数は統計的に有意である。単相関係数は-0.697となり、負の相関があると言える。正対面積と視認距離については、無相関検定において有意確率0.05以上の値をとっており、有意水準5%において統計的有意性は見られない。また、正対面積と減光係数については、有意水準0.024で相関係数0.244となり、有意水準5%において統計的有意性を持ち、弱い正の相関が認められる。





— : 95%確率楕円 (母集団における2変数の正規分布を仮定した上で95%の確率で母集団のデータが存在する範囲)

図 3.4.2.1-4 : 案内標識における2変数毎の散布図

表3.4.2.1-4 : 案内標識における2変数の相関

変数1	変数2	相関係数	度数	下側95%信頼区間	上側95%信頼区間	有意確率
減光係数 (1/m)	視認距離 (m)	-0.765	84	-0.841	-0.658	<0.0001*
正対面積 (m <sup>2</sup> )	視認距離 (m)	0.204	84	-0.011	0.401	0.062
正対面積 (m <sup>2</sup> )	減光係数 (1/m)	-0.008	84	-0.222	0.207	0.943

減光係数と視認距離の相関について見ると、無相関検定の有意確率が0.0001未満であり、有意水準5%において相関係数は統計的に有意である。単相関係数は-0.841となり、負の相関があると言える。他の2変数は無相関検定において有意確率0.05以上の値をとっており、有意水準5%において統計的有意性は見られない。

4 標識について、実験 1・2 を合わせたデータを用いて 2 変数の相関分析を行った。2 変数毎の相関係数と有意水準 5%における無相関検定の結果の一覧を以下に示す。

表 3.2.4.1-5：各標識における 2 変数間の相関係数 (2 実験統合)

		視認距離[m]	減光係数[1/m]	正対面積[m <sup>2</sup> ]
通路誘導灯 (左方向)	視認距離[m]	1.000	-0.73*	0.135
	減光係数[1/m]	-0.73*	1.000	0.127
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	0.135	0.127	1.000
通路誘導灯 (両方向)	視認距離[m]	1.000	-0.673*	0.110
	減光係数[1/m]	-0.673*	1.000	0.299*
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	0.110	0.299*	1.000
避難口誘導灯	視認距離[m]	1.000	-0.697*	0.116
	減光係数[1/m]	-0.697*	1.000	0.244*
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	0.116	0.244*	1.000
案内標識	視認距離[m]	1.000	-0.765*	0.204
	減光係数[1/m]	-0.765*	1.000	-0.008
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	0.204	-0.008	1.000

\* は有意水準5%で有意となることを示す

全標識について視認距離と減光係数について、無相関検定における有意確率が 0.05 未満、相関係数が-0.67 以下となる。上記 2 変数間において相関が認められ、視認距離と正対面積、減光係数と正対面積間の相関は弱い、もしくはないことが分かった。

### 3.4.2.2 水平角と視認距離の関係

各標識について、正対面積（水平角）に対する視認距離の関係を把握する。ここでは、水平角の変化による視認距離の変化傾向を把握するため、スタート地点において視認した場合の視認距離の値（2011年度：10.5m、2012年度：11.5m）を分析に含めることとする。

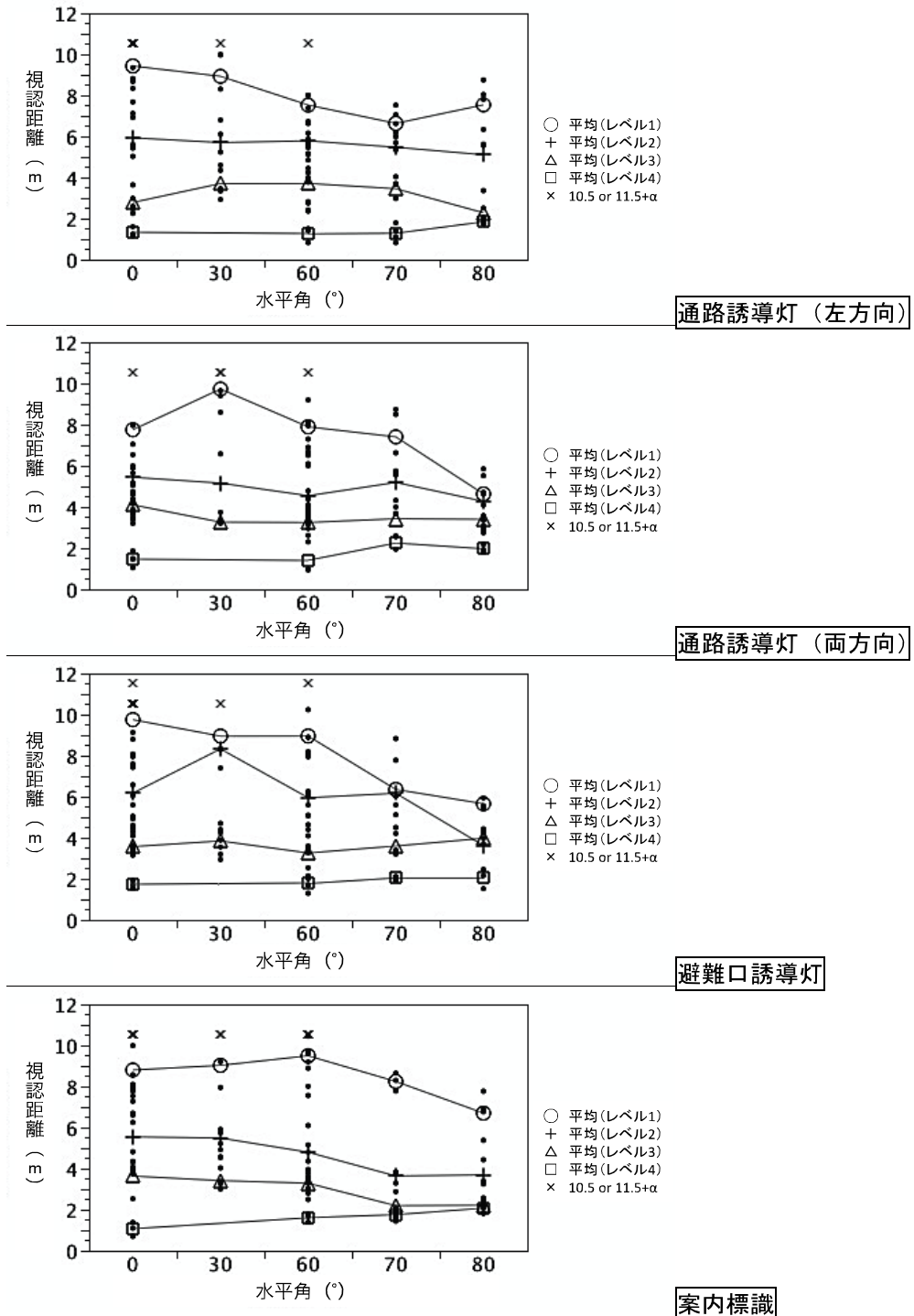


図 3.4.2.2-1 濃度条件毎の水平角と視認距離の関係（2 実験統合）

同一濃度レベル下での視認距離の平均値より、いずれの標識も設定濃度が濃くなるに従って、水平角 $0^{\circ}$  から $80^{\circ}$  に変化させた際の視認距離の低下が小さくなることが読み取れる。ただし、誘導灯についてはレベル3と4において、案内標識についてはレベル4において、水平角の変化に対する視認距離の減少は見られない。

誘導灯のレベル1と2、案内標識のレベル1～3については水平角の増加に従って視認距離の減少が認められる。誘導灯については、通路誘導灯（左方向）及び通路誘導灯（両方向）のレベル1、避難口誘導灯のレベル1と2において、案内標識ではレベル1～3において、近い水平角間の視認距離の差が大きく1m以上となる部分がある。案内標識のレベル1については、 $60^{\circ}$  と $70^{\circ}$  及び $70^{\circ}$  と $80^{\circ}$  の間、レベル2及び3については $60^{\circ}$  と $70^{\circ}$  の間において視認距離に1m以上の差が認められる。通路誘導灯（左方向）のレベル1については、 $30^{\circ}$  と $60^{\circ}$  の間に、通路誘導灯（両方向）のレベル1については、 $30^{\circ}$  と $60^{\circ}$  及び $70^{\circ}$  と $80^{\circ}$  の間に認められる。避難口誘導灯のレベル1については、 $60^{\circ}$  と $70^{\circ}$  の間に、レベル2については $30^{\circ}$  と $60^{\circ}$  及び $70^{\circ}$  と $80^{\circ}$  の間に認められる。

濃度が低い程、水平角の増加に伴う視認距離の減少が大きくなり、濃度が高くなると水平角による視認距離の減少は見られなくなる。特に誘導灯については、水平角が高くなるに従って、濃度間における視認距離の差は小さくなる。視認距離、減光係数、正対面積（水平角）を2変数間の関係で見た場合、減光係数と視認距離のみ相関が認められるが、視認距離と水平角を濃度で分けた場合、濃度が低い程両者の関係性が認められる。水平角と視認距離の関係に減光係数が、減光係数と視認距離の関係に水平角が影響を与えている可能性が考えられるが、水平角と減光係数には事象としての関係性はなく、回帰モデルの検討より交互作用項の効果は除外される。よって視認距離に対して減光係数と正対面積（水平角）が独立して影響を与えていると言える。

### 3.4.2.3 予測式の導出

実験 1 及び実験 2 の実験結果を統合し、予測式の導出を行う。実験 2 の実験結果に基づき導出した重回帰式より、求める予測式の回帰モデルを決定した。各標識について、減光係数及び正対面積に対する視認距離の最小 2 乗法による曲線回帰式を求める。説明変数を減光係数と正対面積の 2 変数とし、減光係数を-1 次の項とする。以下に、曲線回帰式の決定係数と偏回帰係数を示す。

表 3.4.2.3-1：回帰式の決定係数(2 実験統合)

	自由度調整 決定係数	誤差の標準 偏差(RMSE)	F値	有意確率
通路誘導灯 (左方向)	0.593	1.497	61.482	<0.0001*
通路誘導灯 (両方向)	0.532	1.390	50.918	<0.0001*
避難口誘導灯	0.557	1.486	54.525	<0.0001*
案内標識	0.655	1.497	79.723	<0.0001*

\* は有意水準5%で有意となることを示す

全標識について決定係数は有意水準 5%における統計的有意性を持ち、予測に役立つと言える。自由度調整済み決定係数が 0.5 以上となり、回帰式の精度はある程度認められる。

表 3.4.2.3-2：回帰式の偏回帰係数(2 実験統合)

	項	偏回帰係数	標準化 偏回帰係数	有意確率	VIF
通路誘導灯 (左方向)	逆数(減光係数)[1/m]	3.286	0.775	<0.0001*	1.018
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	101.827	0.217	0.0029*	1.018
通路誘導灯 (両方向)	逆数(減光係数)[1/m]	3.528	0.764	<0.0001*	1.101
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	129.995	0.341	<0.0001*	1.101
避難口誘導灯	逆数(減光係数)[1/m]	3.525	0.787	<0.0001*	1.117
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	160.211	0.370	<0.0001*	1.117
案内標識	逆数(減光係数)[1/m]	4.911	0.789	<0.0001*	1.001
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	52.218	0.229	0.0007*	1.001

\* は有意水準5%で有意となることを示す

全標識について、減光係数及び正対面積の偏回帰係数に対する有意確率は5%未満となり、25%水準及び5%水準のいずれについても統計的有意性を持つ。標準化偏回帰係数において減光係数が正対面積の2~4倍となり、実験2の最終モデルにおける4~7倍に対して正対面積の回帰式に対する影響が大きくなる。

以上の回帰式について、回帰診断を行う。データ診断により視認距離の残差が誤差の標準偏差 (RMSE) の 2 倍を超えるデータを外れ値とし、各データについて要因を把握した。濃度が薄い場合に視認限界以上に近づくことが要因と考えられるものについて、分析から除外した。構造診断において、採択された重回帰モデルの VIF は全標識について 1 に近似し多重共線性はないと言える。以下に、構造診断に用いた回帰式について、決定係数と偏回帰係数を示す。

表 3.4.2.3-3 : 回帰診断後の回帰式の決定係数 (2 実験統合)

	自由度調整 決定係数	誤差の標準 偏差(RMSE)	F値	有意確率
通路誘導灯 (左方向)	0.717	1.204	100.854	<0.0001*
通路誘導灯 (両方向)	0.645	1.128	76.382	<0.0001*
避難口誘導灯	0.734	1.069	107.356	<0.0001*
案内標識	0.782	1.144	142.953	<0.0001*

\* は有意水準5%で有意となることを示す

表 3.4.2.3-4 : 回帰診断後の回帰式の偏回帰係数 (2 実験統合)

	項	偏回帰係数	標準化 偏回帰係数	有意確率	VIF
通路誘導灯 (左方向)	逆数(減光係数)[1/m]	4.382	0.887	<0.0001*	1.092
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	142.002	0.314	<0.0001*	1.092
通路誘導灯 (両方向)	逆数(減光係数)[1/m]	3.782	0.846	<0.0001*	1.103
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	114.607	0.326	<0.0001*	1.103
避難口誘導灯	逆数(減光係数)[1/m]	3.676	0.903	<0.0001*	1.107
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	137.192	0.347	<0.0001*	1.107
案内標識	逆数(減光係数)[1/m]	5.380	0.870	<0.0001*	1.003
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	50.607	0.232	<0.0001*	1.003

\* は有意水準5%で有意となることを示す

モデル診断の残差分析より、各標識について減光係数に対するスチューデント化残差の関係に傾向は見られなかった。以下に 2 変数の散布図を示す。

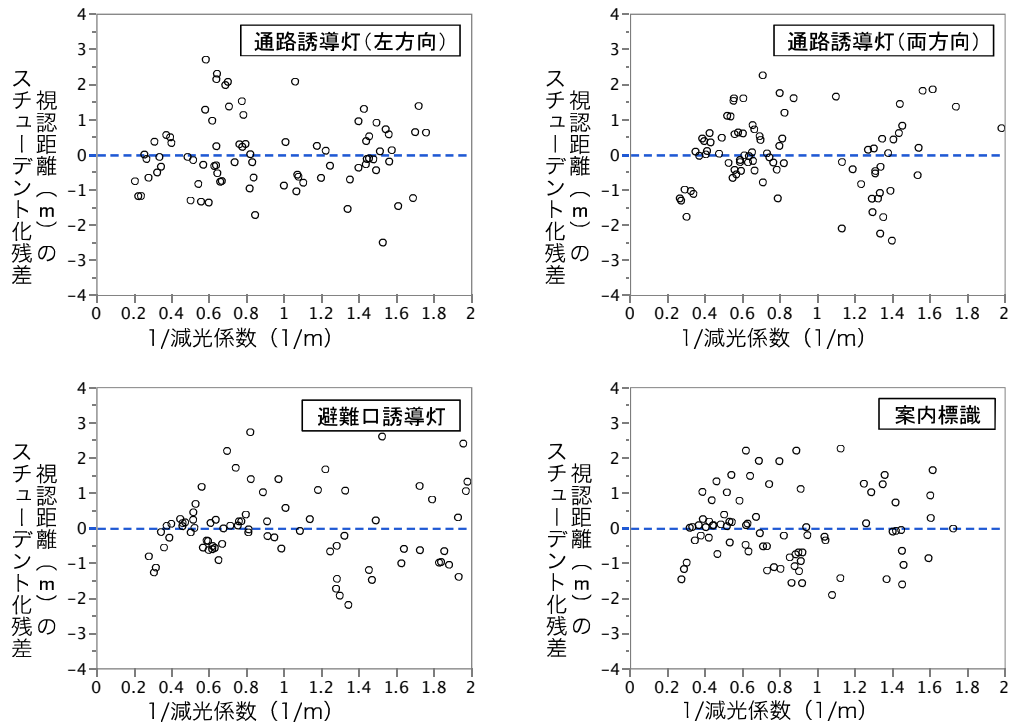
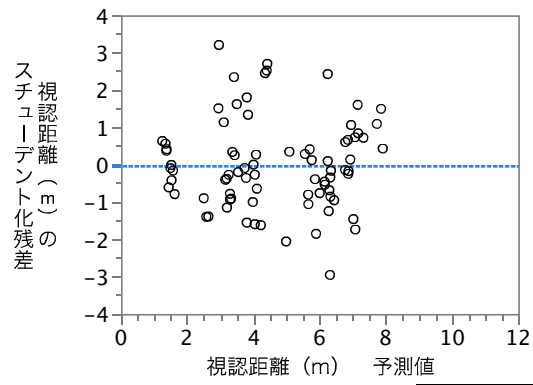
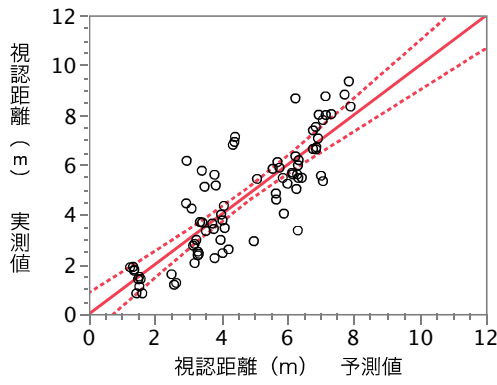


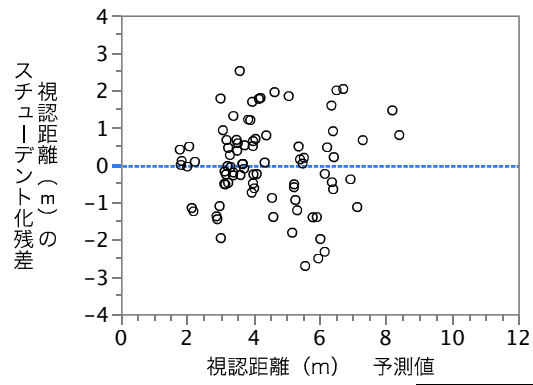
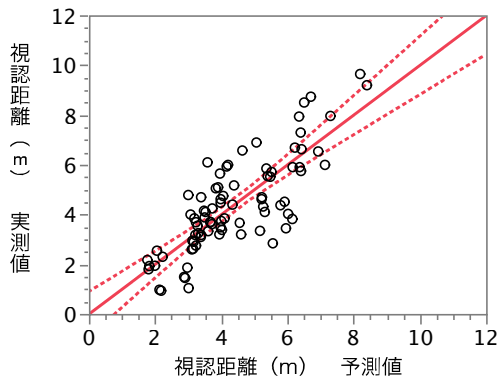
図 3.4.2.3-1 : 各標識の減光係数と視認距離のスチューデント化残差の関係 (2 実験統合)

モデル診断の残差分析より、各標識について 2 説明変数に対するスチューデント化残差の散布図において、分布に傾向は見られない。

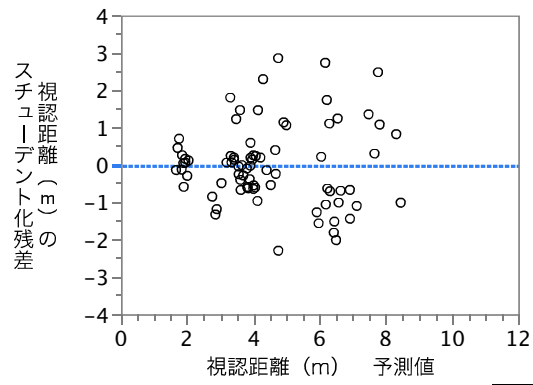
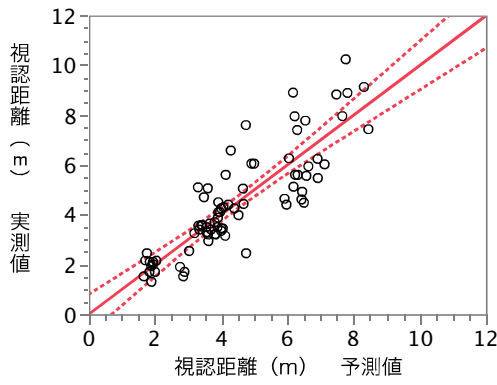
以上より、表 14、15 に示した回帰モデルが採択された。以下に、採択されたモデルについてモデルの精度を示すものとして、視認距離の予測値に対する実測値の散布図及び視認距離の予測値に対する残差の散布図を示す。



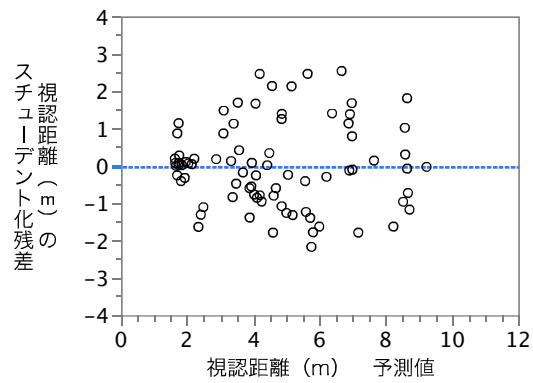
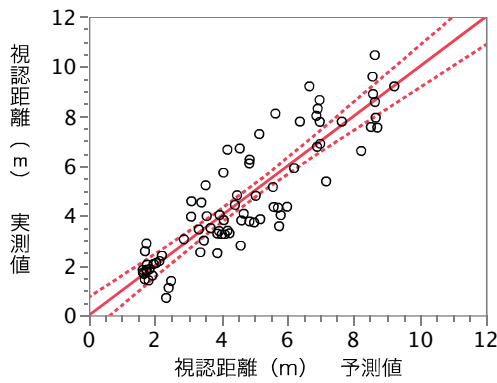
通路誘導灯 (左方向)



通路誘導灯 (両方向)



避難口誘導灯



案内標識

図 3.4.2.3-2 : 回帰診断後の重回帰式のモデル精度に関する散布図 (2 実験統合)



各標識について正対面積と減光係数に基づく視認距離の予測式を以下に示す ( $L$ : 視認距離[m],  $C_s$ : 減光係数[1/m],  $S_{ha}$  ( $= S \cos \theta$ ): 正対面積[m<sup>2</sup>],  $S$ : 標識表示面の面積 (内容記載部の方形面積) [m<sup>2</sup>],  $\theta$ : 水平角[° ]).

通路誘導灯 (左方向) :  $L = -0.81 + 4.38/C_s + 142.00 \cdot S_{ha}$  . . . 式(1)

通路誘導灯 (両方向) :  $L = -0.07 + 3.78/C_s + 114.61 \cdot S_{ha}$  . . . 式(2)

避難口誘導灯 :  $L = -0.59 + 3.68/C_s + 137.19 \cdot S_{ha}$  . . . 式(3)

案内標識 :  $L = -0.97 + 5.38/C_s + 50.61 \cdot S_{ha}$  . . . 式(4)

上式は正対時の面積  $S_{ha}$  を水平角  $\theta$  と標識表示面の面積  $S$  に分解できる ( $S_{ha} = S \cos \theta$ )。これにより、表示面の面積と水平角の代入により視認距離を求めることができる。また、水平角の回転時に表示面の縦幅は一定値である。縦幅を定数として予測式の傾き(偏回帰係数)に含めることで右辺の単位系が[m]で統一され左辺と一致する。

各標識における減光係数と視認距離の関係と水平角  $0^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $80^\circ$  のそれぞれについて予測式を以下に示す。予測式から、水平角度が大きくなるに従い、視認距離が長くなる傾向が見て取れる。

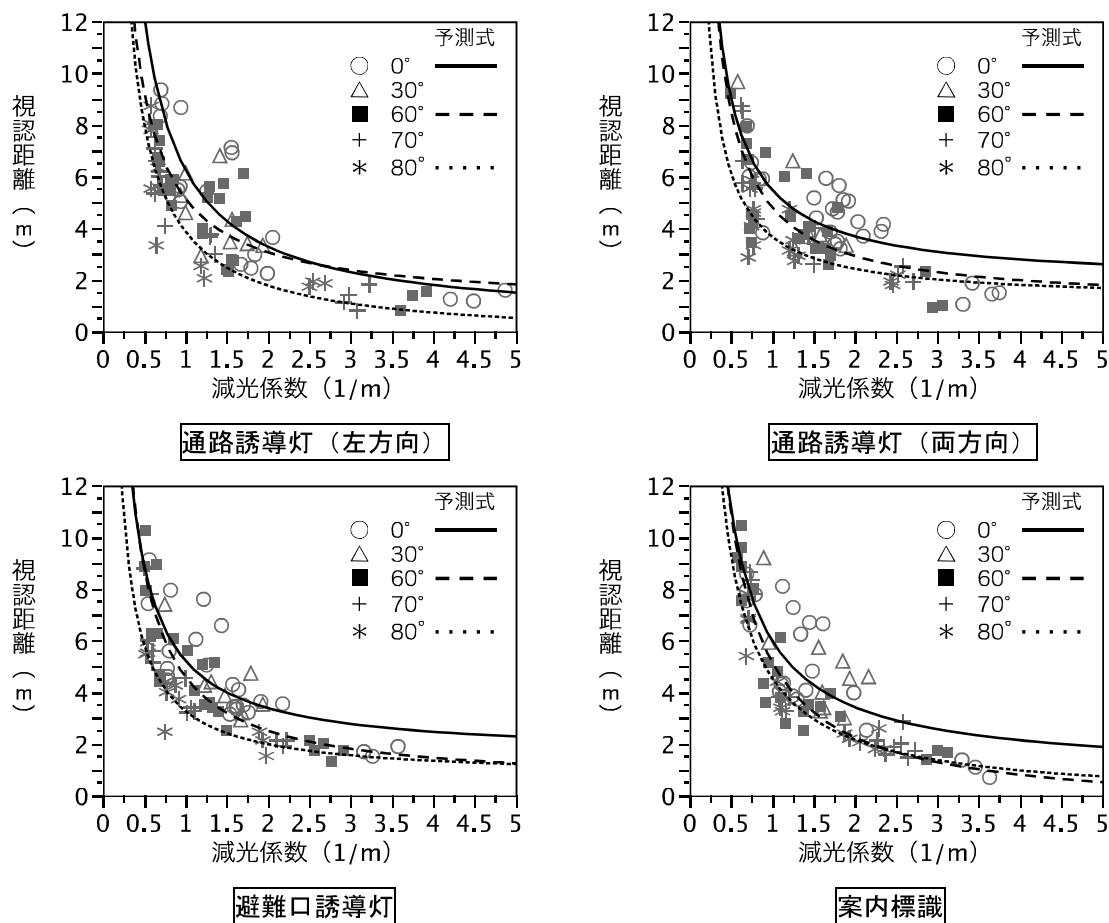


図 3.4.2.3-3 : 水平角毎の減光係数と視認距離の関係 (2 実験統合)

導出した 4 つの予測式の内、通路誘導灯（左方向）と通路誘導灯（両方向）の消防法における設置基準等の取り扱いは、通路誘導灯として同一のものとして取り扱われている。

消防法における誘導灯の取り扱いに従い、通路誘導灯（左方向）及び通路誘導灯（両方向）を同一のものとして両誘導灯のデータを統合し、正対面積と減光係数に基づく視認距離の予測式を求める。これを、通路誘導灯についての予測式として以下に示す（ $L$ ：視認距離[m]， $C_s$ ：減光係数[1/m]， $S_{ha}$ （= $S \cos \theta$ ）：正対面積[m<sup>2</sup>]， $S$ ：標識表示面の面積（内容記載部の方形面積）[m<sup>2</sup>]， $\theta$ ：水平角[°]）。

$$\text{通路誘導灯} : L = -0.44 + 4.10/C_s + 127.54 \cdot S_{ha} \quad \cdot \cdot \text{式(5)}$$

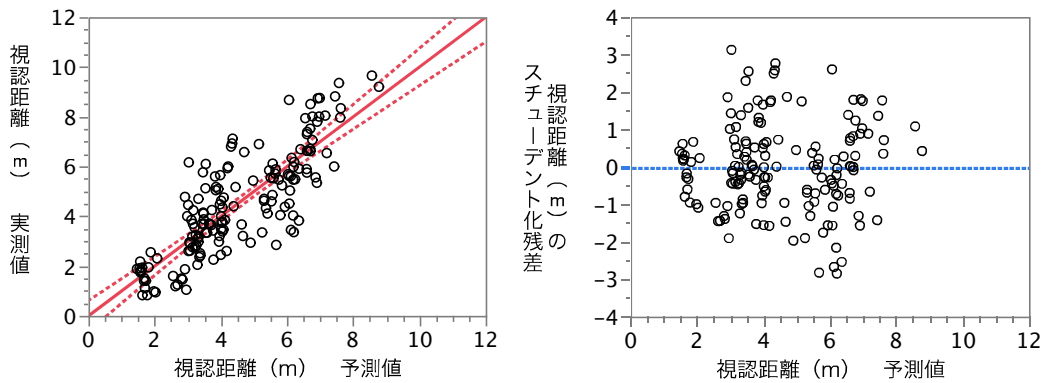


図 3.4.2.3-4：通路誘導灯の重回帰式のモデル精度に関する散布図（2 実験統合）

表 3.4.2.3-4：通路誘導灯の回帰式の決定係数(2 実験統合)

	自由度調整 決定係数	誤差の標準 偏差(RMSE)	F値	有意確率
通路誘導灯	0.687	1.163	180.062	<0.0001*

\* は有意水準5%で有意となることを示す

表 3.4.2.3-5：通路誘導灯の回帰式の偏回帰係数(2 実験統合)

	項	偏回帰係数	標準化 偏回帰係数	有意確率	VIF
通路誘導灯 (左方向)	逆数(減光係数)[1/m]	4.103	0.869	<0.0001*	1.098
	正対面積[m <sup>2</sup> ]	127.541	0.319	<0.0001*	1.098

\* は有意水準5%で有意となることを示す

上記重回帰式は、決定係数は有意水準 5%における統計的有意性を持ち、予測に役立つと言える。自由度調整済み決定係数が 0.687 となり、回帰式の精度が認められる。また、減光係数及び正対面積の偏回帰係数に対する有意確率は 5%未満となり、5%水準で統計的有意性を持つ。

また、減光係数と正対面積の偏回帰係数は通路誘導灯（左方向）と（両方向）それぞれの予測式の中間的値をとる。

### 3.5 予測式の適応範囲に関する考察

本報で導出した予測式(1)～(4)は、条件を限定した実験に基づくものである。予測式は、実験条件である減光係数 0.7～2.5[1/m]及び水平角 0°～80° の範囲で得たものであり、当該範囲における信頼性が最も高いと考えられる。しかしながら、避難計画に適用するに当たり、減光係数について、より大きな範囲で適応できること及び実際の状況と対応した数値と関連づけて把握することが望ましい。予測式の適応範囲について以下に述べる。

#### 3.5.1 減光係数の下限値

予測式(1)～(4)については、煙の濃度による視認性への影響を減光係数の項により説明している。表示内容の視認には距離によるもの、すなわち視力の限界により視認できなくなる要因と、煙の阻害により視認できなくなる要因が考えられる。本予測式は、この視力による距離の限界を超えない範囲内で行った実験に基づき導出しているため、視力限界については反映していない。

本研究に先立ち、誘導灯及び案内標識の予備的な実験により無煙時 (= 0[1/m]) において水平角を 0°～80° とした時に、消防法において避難口誘導灯の設置限界距離として定められている、誘導灯から 15m の地点で視認できることを確認している。このため、前提として視認距離の限界は 15m 以上であると言える。視認距離 15m 以下において本予測式により求められる視認距離は妥当と言える。ここでは、視認距離 15m の時に求められる減光係数を、本予測式の減光係数の下限値とし、これを求めることとする。

また、これと合わせて建物に不慣れな人が避難を始める減光係数は 0.1[1/m]程度<sup>4)</sup>、建物をよく知っている人でも避難に支障が出る減光係数は 0.3[1/m]<sup>4)</sup> 程度であることが知られているため、これらの状況における視認性について考察する。なお、減光係数と視認距離の関係は、下表のようになる。とされている。

表 3.5.1-1：減光係数と視認距離の関係<sup>4)</sup>

減光係数(1/m)	状況説明
0.1	うっすら煙が漂う時の濃度。煙感知器はこの程度の濃度で作動する。また、建物に不慣れな人はこれ以上濃くなると避難に支障が出る。
0.3	建物を良く知っている人でも避難する時に支障が出る。
0.5	薄暗い感じがする時の濃度。手探り的な避難になる。
1.0	ほとんど前方が見えなくなる。
10	最盛期の火災階の煙の濃度。暗闇状態でほとんど何も見えない。誘導灯も見えない。

予測式(1)～(4)において水平角  $0^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $80^\circ$  のそれぞれにおける視認距離 15m の時の各標識の減光係数を求めると、通路誘導灯（左方向）は 0.33、0.30、0.28[1/m]、通路誘導灯（両方向）は 0.29、0.27、0.26[1/m]、避難口誘導灯は 0.28、0.25、0.24[1/m]、案内標識は 0.38、0.36、0.34[1/m]となる。すなわち、これらの減光係数の値以下の煙濃度であれば視認可能となる。

不慣れな人が避難し始めるとされる減光係数 0.1[1/m]<sup>4)</sup>において、標識の種類、水平角に関わらず 15m からすべてが視認できることが確認できる。建物をよく知っている人でも避難に支障が出るとされる減光係数 0.3[1/m]<sup>4)</sup>では、通路誘導灯（左方向）の  $70^\circ$  及び  $80^\circ$  と通路誘導灯（両方向）及び避難口誘導灯の全水平角において、15m からは視認できないことが示唆される。また、案内標識は誘導灯に対して遠い距離から視認可能であることが分かる。

以上より、減光係数を予測式に代入した際、視認距離が 15m 以下となり視認距離を精度よく算出できる減光係数の下限値は、通路誘導灯（左方向）で 0.33[1/m]以上、通路誘導灯（両方向）で 0.29[1/m]以上、避難口誘導灯で 0.28[1/m]以上、案内標識で 0.38[1/m]以上となる。視認距離が 15m を超える場合は予測式の精度に配慮し、少なくとも視認距離は 15m 以上であることを確認することができる。

### 3.5.2 消防法の有効範囲において誘導灯を視認できる減光係数

消防法における C 級誘導灯の有効範囲は通路誘導灯が 10m、避難口誘導灯が 15m と定められている。各視認距離を予測式(1)～(3)に代入すると、水平角  $0^\circ$  においてこれらの距離が視認可能となる減光係数の最大値は、通路誘導灯（左方向）が 0.52[1/m]、通路誘導灯（両方向）が 0.47[1/m]、避難口誘導灯が 0.28[1/m]となる。この減光係数以下であれば、基準の距離で標識を正面から視認することが可能である。

### 3.5.3 減光係数及び水平角の視認距離に対する影響度

各標識の予測式(1)～(4)における正対面積の標準化偏回帰係数を減光係数と比較すると、通路誘導灯（左方向）は 0.35 倍、通路誘導灯（両方向）は 0.39 倍、避難口誘導灯は 0.38 倍、案内標識は 0.27 倍となる(表 15)。上記倍数は減光係数の視認距離に対する影響度を 1 とした時の正対面積（水平角）の影響度を示す。水平角と比較して煙濃度の方が誘導灯の視認距離に与える影響が高いことが分かる。

予測式(1)～(4)に正対面積を代入して正対面積の項（水平角の項）を視認距離に換算すると、最大（水平角  $0^\circ$ ）で 2m 前後となる。また、最大（水平角  $0^\circ$ ）と最小（水平角  $80^\circ$ ）の差は通路誘導灯（左方向）で 2.0m、通路誘導灯（両方向）で 1.6m、避難口誘導灯で 1.9m、案内標識で 1.5m となる。水平角によって煙中での視認性に 1.5m～2m の差が生じることから、水平角が避難時の視認性に影響を与えることが分かる。

各誘導灯の予測式(1)～(3)における減光係数の偏回帰係数を比較すると、通路誘導灯(左方向)が最も高く、通路誘導灯(両方向)と避難口誘導灯が続く(表 15)。減光係数は1 次の項であるため、偏回帰係数はその値が高い程、減光係数の増加に対する視認距離の減少が大きいことを示す。各誘導灯について、水平角及び減光係数が同じ状態でそれぞれ誘導灯を視認できる距離に人を立たせた場合、減光係数を増加させると立たせた位置からの視認距離の減少量は上記の順になる。

各誘導灯の予測式(1)～(3)における正対面積の偏回帰係数を比較すると、値の高い順に通路誘導灯(左方向)、避難口誘導灯、通路誘導灯(両方向)となる(表 15)。偏回帰係数はその値が大きい程、正対面積の減少、すなわち水平角の増加に対する視認距離の減少が大きいことを示す。各誘導灯について、水平角及び減光係数が同じ状態でそれぞれ誘導灯を視認できる距離に人を立たせた場合、水平角を増加(正対面積を減少)させると立たせた位置からの視認距離の減少量は上記の順になる。

また、案内標識の予測式(4)における正対面積の偏回帰係数を誘導灯の予測式(1)～(3)と比較すると、誘導灯 3 式の 1/2 以下となる。正対面積  $S_{ha}$  ( $= S \cos \theta$ ) は標識表示面の面積  $S$  と水平角  $\theta$  からなり、表示面の面積  $S$  は表示面の縦幅と横幅の積により成り立つ。案内標識の表示内容として記載されたピクトグラムと文字の両端の間の横幅は 0.277m となる。誘導灯の表示面全体に記載されたピクトグラムの横幅が 0.13m となることから、案内標識の表示内容は誘導灯の表示内容に比べて横幅が広く誘導灯の 2.13 倍となる。一方で、表示面の縦幅については、案内標識と誘導灯ともに 0.13m と等しい。誘導灯と案内標識の正対面積  $S_{ha}$  は表示内様の横幅により異なり、偏回帰係数の値が異なるのはこれによる影響が大きいと考えられる。案内標識と比較して誘導灯の予測式における正対面積の偏回帰係数は、通路誘導灯(左方向)は 2.81 倍、通路誘導灯(両方向)は 2.26 倍、避難口誘導灯は 2.71 倍となる。案内標識の表示内容の横幅が誘導灯の 2.13 倍であることから、案内標識と誘導灯における偏回帰係数の値の違いは、表示内容の横幅によるところが最も大きいと考えられる。

以上より、減光係数と水平角の両方について、視認距離に対する影響を最も受け易いのは通路誘導灯(左方向)である。減光係数については通路誘導灯(両方向)と避難口誘導灯が続いて影響を受け易い。水平角については、避難口誘導灯の受ける影響は通路誘導灯(左方向)と同程度であり、通路誘導灯(両方向)が最も影響を受け難い。なお、案内標識は通路誘導灯(左方向)より減光係数の影響が大きく、全誘導灯より水平角の影響が小さい。

#### 3.5.4 視認距離に対する影響に基づく標識設置時の水平角

3.4.2.2 において、各標識について、正対面積(水平角)に対する視認距離の関係を把握した。各標識について、水平角の視認距離に対する傾向は異なるが、全標識を通して、70° 及び 80°

と  $0^\circ$  の間には差が見られる。また、予測式(1)～(4)に正対面積を代入して正対面積の項（水平角の項）を視認距離に換算すると、水平角  $0^\circ$  と水平角  $80^\circ$  の差は通路誘導灯（左方向）で  $2.0\text{m}$ 、通路誘導灯（両方向）で  $1.6\text{m}$ 、避難口誘導灯で  $1.9\text{m}$ 、案内標識で  $1.5\text{m}$  となる。水平角  $0^\circ$  と水平角  $70^\circ$  の差は通路誘導灯（左方向）で  $1.6\text{m}$ 、通路誘導灯（両方向）で  $1.3\text{m}$ 、避難口誘導灯で  $1.5\text{m}$ 、案内標識で  $1.2\text{m}$  となる。全標識について、煙中での視認性に  $1\text{m}$  を超える差が生じる。また、水平角  $0^\circ$  と  $60^\circ$  の差は、通路誘導灯（左方向）で  $1.2\text{m}$ 、通路誘導灯（両方向）で  $1.0\text{m}$ 、避難口誘導灯で  $1.2\text{m}$ 、案内標識で  $0.9\text{m}$  となる。全標識で、煙中での視認性の差は  $1\text{m}$  前後となる。

視認上有効となる水平角の角度を全標識について統一する場合、予測式と実測値の両方の観点から  $0^\circ \sim 60^\circ$  が設置時における水平角の有効範囲として、視認性を大きく損なわない範囲であると考えられ、この範囲で設置することが望ましいと考えられる。

### 3.5.5 標識設置時における視認距離の有効範囲算出に用いる減光係数

建物をよく知っている人でも避難に支障が出る煙濃度の場合まで、標識を使用することを仮定すると、減光係数  $0.3[1/\text{m}]^1$  における標識の視認を想定し、設置する必要がある。

3.5.1 において、予測式(1)～(4)を用いて、水平角  $0^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $80^\circ$  のそれぞれについて、視認距離  $15\text{m}$  の時の各標識の減光係数を求めた。通路誘導灯（左方向）は  $0.33$ 、 $0.30$ 、 $0.28[1/\text{m}]$ 、通路誘導灯（両方向）は  $0.29$ 、 $0.27$ 、 $0.26[1/\text{m}]$ 、避難口誘導灯は  $0.28$ 、 $0.25$ 、 $0.24[1/\text{m}]$ 、案内標識は  $0.38$ 、 $0.36$ 、 $0.34[1/\text{m}]$  となる。3.5.4 に基づき、標識設置時の水平角を  $0^\circ \sim 60^\circ$  とすると、誘導灯については水平角  $0^\circ$  の時でも減光係数  $0.30[1/\text{m}]$  以上であれば、視認距離はおおむね無煙時に視認出来ることが確認されている距離  $15\text{m}$  以下となる。案内標識の場合、予測式に  $0.30[1/\text{m}]$  を代入するといずれの水平角においても求められる視認距離が  $15\text{m}$  を超える。

設置計画時において、標識の水平角の有効範囲を  $0^\circ \sim 60^\circ$  とし、本章で得られた予測式に基づき減光係数  $0.3[1/\text{m}]$  における標識の視認距離の有効範囲を求めるとすると、誘導灯と案内標識それぞれ異なる求め方が必要となる。誘導灯については減光係数  $0.3[1/\text{m}]$  と水平角を予測式に代入して視認距離を求め、案内標識については水平角  $0^\circ \sim 60^\circ$  の全てについて視認距離  $15\text{m}$  として、これを標識視認時の有効範囲とすることが考えられる。

### 3.5.6 異なる等級の誘導灯に対する予測式の適用

本研究で得られた誘導灯の予測式は C 級誘導灯について得られたものである。表示面面積がより大きい A 級誘導灯及び B 級誘導灯についても同様の式が得られると考えられる。A 級及び B 級誘導灯は表示面面積が大きいことから、消防法における水平面上の設置距離も C 級より大きくなり、視認距離も大きくなる。得られた予測式は「視認距離 = 減光係数の項 + 正対面積

の項」である。各標識の予測式における減光係数と正対面積の項の間には交互作用はなく、各項が視認距離に対して個別に影響を与えていることから、視認距離は減光係数の項と正対面積の項の和になる。本研究で得られた C 級誘導灯の式を基準として A 級及び B 級誘導灯の式を求めた場合、減光係数と正対面積の項それぞれが視認距離と同じ倍率で増加すると考えられる。

正対時（水平角  $0^\circ$ ）において得られた既往の結果<sup>5)</sup>において、減光係数と視認距離の積が一定値であるとされており、減光係数については項の倍数が視認距離の倍数になる。また、視認距離は減光係数の項と正対面積の項の和になることから、正対面積の項も減光係数と同様に視認距離の倍数が正対面積の項の倍数になると考えられる。ただし、視認距離の倍数が偏回帰係数の倍数とはならないと考えられる。正対面積  $S_{ha}$  は標識表示面の面積  $S$  を基に算出されることから、表示面の面積  $S$  が 2 倍となった場合、正対面積  $S_{ha}$  も 2 倍となる。正対面積の項は、偏回帰係数と  $S \cos \theta$ （ $S$ ：標識表示面の面積（内容記載部の方形面積）[ $m^2$ ]、 $\theta$ ：水平角[ $^\circ$  ]）の積であり、偏回帰係数と表示面面積  $S$  の積の倍数が視認距離の倍数になると考えられる。

消防法における有効範囲、新規実験による検討に基づき、減光係数と水平角が同じ条件における C 級誘導灯と A 級及び B 級誘導灯の視認距離の差異を明確にし、倍率を求めることにより、本研究で得られた C 級誘導灯の予測式を基に A 級及び B 級の誘導灯の予測式を得ることが出来ると考えられる。

### 3.6 まとめ

本研究は、煙の濃度・標識の種類・標識の視方向に対する水平角が視認距離に与える影響を基に標識の配置指標を作成することを目的とし、被験者実験を行うことで誘導灯及び案内標識模型について視認距離に対する減光係数と水平角の影響を把握した。結果として、各標識について減光係数と水平角を用いた視認距離の予測式を得た。

- ・本実験の結果から各標識について水平角から得られる正対面積と減光係数に基づく視認距離の予測式を得た。

$$\text{通路誘導灯(左方向)} : L = -0.81 + 4.38/C_s + 142.00 \cdot S_{ha}$$

$$\text{通路誘導灯(両方向)} : L = -0.07 + 3.78/C_s + 114.61 \cdot S_{ha}$$

$$\text{通路誘導灯(統合)} : L = -0.44 + 4.10/C_s + 127.54 \cdot S_{ha}$$

$$\text{避難口誘導灯} : L = -0.59 + 3.68/C_s + 137.19 \cdot S_{ha}$$

$$\text{案内標識} : L = -0.97 + 5.38/C_s + 50.61 \cdot S_{ha}$$

$$L : \text{視認距離[m]} \quad C_s : \text{減光係数[1/m]} \quad S_{ha} (= S \cos \theta) : \text{正対面積[m}^2\text{]}$$

$$S : \text{標識表示面の面積(内容記載部の方形面積)} [\text{m}^2] \quad \theta : \text{水平角} [^\circ]$$

ただし、有効とする水平角  $\theta$  の範囲は  $0^\circ \sim 80^\circ$  とする。本実験の状況から、本式は算出される視認距離  $L$  が  $15\text{m}$  以下の範囲で妥当に推定できる。加えて、視認距離  $L$  が  $15\text{m}$  を超える場合は、少なくとも視認距離は  $15\text{m}$  以上であることを確認できる。

- ・予測式により視認距離を精度よく算出できる減光係数の範囲は 通路誘導灯（左方向）で  $0.33[1/\text{m}]$ 以上、通路誘導灯（両方向）で  $0.29[1/\text{m}]$ 以上、避難口誘導灯で  $0.28[1/\text{m}]$ 以上、案内標識で  $0.38[1/\text{m}]$ 以上となる。
- ・不慣れな人が避難し始めるとされる減光係数  $0.1[1/\text{m}]$ <sup>4)</sup>で、標識の種類、水平角に関わらず  $15\text{m}$  から全てが視認できることが推定された。
- ・建物をよく知っている人でも避難に支障が出るとされる減光係数  $0.3[1/\text{m}]$ <sup>4)</sup>においては、通路誘導灯（左方向）の  $70^\circ$  及び  $80^\circ$  と通路誘導灯（両方向）及び避難口誘導灯の全水平角において、 $15\text{m}$  からは視認できないことが示唆された。
- ・求めた予測式により、水平角  $0^\circ$  の場合、消防法に規定される誘導灯の有効範囲（通路誘導灯： $10\text{m}$ 、避難口誘導灯  $15\text{m}$ ）において、建物をよく知っている人でも避難に支障が出るとされる減光係数  $0.3[1/\text{m}]$ <sup>4)</sup>においても、避難に使用できることが示唆された。
- ・視認上有効となる水平角の角度を全標識について統一する場合、予測式と実測値の両方の観点から  $0^\circ \sim 60^\circ$  が設置時における水平角の有効範囲として望ましいと考えられる。



- ・標識の設置計画時において、標識の水平角の有効範囲を  $0^{\circ} \sim 60^{\circ}$  とし、本章で得られた予測式に基づき減光係数  $0.3[1/m]$ における標識の視認距離の有効範囲を求めるとすると、誘導灯については減光係数  $0.3[1/m]$ と水平角を予測式に代入して視認距離を求め、案内標識については水平角  $0^{\circ} \sim 60^{\circ}$  の全てについて視認距離  $15m$  とする。

## 注

- 注 1) 誘導灯は機能により、避難口誘導灯、通路誘導灯、階段通路誘導灯、客席誘導灯の 4 種類に分類される。本研究では、避難時の経路及び出口を提示する避難口誘導灯と通路誘導灯に着目する。
- 注 2) 避難経路における煙の滞留を想定した誘導灯の設置基準の見直し（平成 21 年 12 月 1 日施行）：消防法施行規則の一部改正（平成 21 年 9 月 30 日公布）により、カラオケボックスや個室ビデオ店などの個室型店舗や地下街など（消防法施行令別表第一 2 項ニ、16 項、16 の 2 項、16 の 3 項に掲げる防火対象の用途に供される部分）では煙の滞留が想定されるため、通路誘導灯を床面またはその直近に設置することが明記された。合わせて、床面又はその直近部分に高輝度蓄光式誘導標識を追加で設置することによっても代替できるようになった（同規則第 28 条の 3 第 4 項第 3 号の 2 関係）。駅舎については、通路誘導灯が視線上部に設置される場合がある。ただし、駅舎（消防法施行令別表第一 10 項に掲げる防火対象の用途に供される部分）を含めた一部の防火対象物については、非常電源で 60 分間以上点灯可能な誘導灯の設置義務と高輝度蓄光式誘導標識の併設による 20 分間以上点灯可能な誘導灯の据え置きが記載されている。乗降場が地階にあるものが対象となり、乗降場とそれに通じる階段・通路も設置義務が生じる。床面積  $50000 \text{ m}^2$ 以上の防火対象物②地上階の階数が 15 以上階であるとともに床面積  $30000 \text{ m}^2$ 以上の防火対象物③床面積  $1000 \text{ m}^2$ 以上の地下街が対象となる。
- 注 3) 本研究における視認距離は、標識の文字及びピクトグラムを判読・識別できる認知距離とする。案内標識については表示面にある矢印の方向と文字、誘導灯についてはピクトグラムの判別ができるものとする。
- 注 4) 本研究では、現実の誘導灯の配置状況に類似する通路を想定したため、蛍光灯を連続的に配置した空間において実験を実施した。照明光点灯下における実験であることから、煙粒子により被験者の目に届く標識からの光が減少することに加えて、散乱することで被験者の目に届く照明による光が標識及び背景の輝度に重畳されるために標識と背景の輝度の差が小さくなる。これにより、背景と標識の区別が無煙状態の時よりもしづらくなると考えられる。廊下または室内の一部を模した実験空間により実施し

た既往の実験<sup>1)</sup>において、室内照明が通常時点灯の場合には標識の視認限界時の輝度対比を一定として視認限界距離の計測を行っても誤差は少ないとしている。本実験は、照明光の強さを通常時点灯の範囲内としており、煙の質、背景輝度、標識の輝度、照明光の強さを固定していることから、本研究において測定された視認距離も測定誤差は小さいと考えられる。

注 5) 交互作用項は、主効果の中心化もしくは標準化により主効果との多重共線性を解消することができるが、中心化や標準化により要因の偏回帰係数の有意確率に変化はない。並びに交互作用投入前後の決定係数の変化及び要因の偏回帰係数と VIF から交互作用項の効果を判断できる。

---

## 第 4 章

鉄道駅改札口通過時における群集流動特性

---

## 4.1 はじめに

鉄道駅において火災等により屋外へ避難する必要性が生じた場合、改札内の利用者を屋外避難出口に接続する階に設置された改札口に誘導し、その後屋外避難出口に誘導を行う。改札内の駅利用者は屋外への避難時に改札口を通過する必要がある。

しかしながら、鉄道駅改札内の通路部分は一部、建築基準法の適用範囲外であるため、コンコースや改札口における流動の避難計算について避難関係規定による検討がなされるとは限らない。ただし、近年、駅舎等における商業施設の導入による建築的観点での防災要求の高まりから、駅にも建築分野での避難計算の手法を取り入れるための検討が必要である。特に改札口のような駅特有の設備に対しては、改札口を建築物の出口とみなした計算方法も考えられるが、通常の建築物の開口部とは異なることから、改札口に対して避難計算を適応することに関して検討する必要がある。

建築基準法避難関係規定では、開口部の流動係数を  $90 \text{ 人/m} \cdot \text{分}$  ( $=1.5 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$ ) として計算を行う<sup>1) 2)</sup>。また、地下鉄駅については、国土交通省鉄道局より定められた基準により、開口部の流動係数は上記と同じく  $1.5 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$  として規定されている<sup>3)</sup>。一般的な開口部と同様に改札機間の幅員を用いて避難時間を計算する方法が考えられる。しかしながら、鉄道駅改札口の高さは  $900\text{mm}$  前後であり、人の腰高程度となるため、歩行時の身体動揺を考えると、改札口通過時に利用者の肩は改札機上部を通過することになる。同幅員で肩高以上の側壁を持つ通常の通路は、改札機間の通行部よりも通過しづらいと考えられる。したがって、改札機間の通行部の幅は  $550\text{mm}$  となるが、改札口通行部を肩高以上の側壁を持つ通路として扱った場合、想定される有効幅員は  $550\text{mm}$  以上となると考えられる。これにより、避難計算における流動係数  $1.5 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$  ( $=90 \text{ 人/m} \cdot \text{分}$ ) を用いた場合に算出される避難時間も幅  $550\text{mm}$  を用いた場合より小さくなると考えられる。流動係数は通路の単位幅あたりの流動量を示すものであり、鉄道駅改札口のような上空部が開放されている場所を通過する群集について、改札機間の幅員を用いて避難時間を正確に算定することは出来ない。

また、通常の建築物の居室等において避難に用いられる扉等の開口部はおおむね  $700\text{mm}$  以上であり、狭い寸法の開口が並列して隣接することはないが、現状の改札口の基本形態として、 $550\text{mm} \sim 600\text{mm}$  の間隔で自動改札機が並ぶことで、歩行者1人が通過できる通行部分が並列する。建築物の開口部と異なり群集が柵状に分けられることになる。改札口の流動係数を  $1.5 \text{ 人/m} \cdot \text{s}$ 、出口幅を  $550\text{mm} \times \text{出口数}$  として計算することは適切ではない可能性がある。しかしながら、間隔が連続する柵状の通路の流動特性については必ずしも明らかになっていない。さらに、改札口通過前後の流動状況によっても改札口を通過する流動が異なる可能性がある。このことから、改札口の避難計算方法について検討する必要がある。なお、階避難安全検証法では、「建設省告示第1441号 第3の2」において、居室の出口幅が  $60\text{cm}$  未満の場合には有効

流動係数を 0 とすることが定められている<sup>2)</sup>。この規定を適応した場合、改札口は避難上の通過開口部としての機能を認められないことになるが、改札口を通過することを想定した場合、避難計算の必要性を考えると、避難計算の適用方法を検討する必要がある。

加えて、避難時において利用者を通過させる際には、駅員の操作によって自動改札機の集改札機能を停止させ改札口を全開放とすることができ、利用者は切符の挿入や IC カードのタッチ動作を行うことなく改札口を通過できる。通常時と避難時では、改札口通過に伴う利用者の動作は異なる。

本章では、実物大の実験空間による群集の改札口通過実験の実施を通し、改札口通過群集の流動を把握する。群集の数と改札口への接近方向の観点から改札口流入時の群集の流動特性を明らかにすることで改札口通行部の選択確率モデルと通過時の避難計算方法を検討する。

以上に基づき、鉄道駅改札口通過群集の流動性状に基づく避難計算手法及び検証方法を得ることを目的とする。

## 4.2 改札口及び通路通過実験

---

### 4.2.1 実験概要

本実験は、鉄道駅改札口を通過する群集の流動状態を把握することを目的とする。鉄道駅を模した実物大の実験空間において被験者が改札口及び通路を通過する状況を記録した。実験の日時、場所、被験者を以下に示す。

#### 【実験日時】

2010年11月13日 10:00～12:30

#### 【実験場所】

公益財団法人鉄道総合技術研究所 駅シミュレータ

#### 【被験者】

20～50歳代の健常者 48名（20代：39名、30代：1名、40代：4名、50代：4名）

### 4.2.2 実験条件

本実験における実験条件を以下に示す。

#### i) 改札口及び通路の形状

改札口については1種類、通路については幅員を変更し3種類を用意する。

改札口は改札機部分を実際のもので同等の寸法を持つ木模型を等間隔で並列に配置することで再現する。各改札機の幅は集改札両用機を想定して400mmとし、通行部分（以降、レーン）の幅は実際の改札口における標準的な幅を基に550mmとする。改札口は改札機模型を4台設置し、3レーンとする。

通路は、直線形の単一通路を高さ2mの発泡スチロールを壁として用いることで再現する。通路の幅員は改札口のレーン幅の倍数とし、通路の幅は改札口の通行部分の倍数とし、改札口のレーン幅の合計(550mm×3レーン=1650mm)と等しい1650mm幅を中心として2レーン分の1100mm幅の通路、4レーン分相当の2100mm幅の3通路を用いる。以降、各通路を1100mm通路、1650mm通路、2200mm通路とする。

改札口の寸法を図4.2.2-1、通路の寸法を図4.2.2-2に示す。

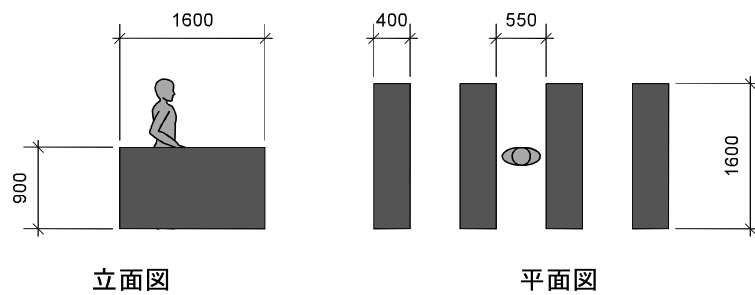


図 4.2.2-1：改札口の形状

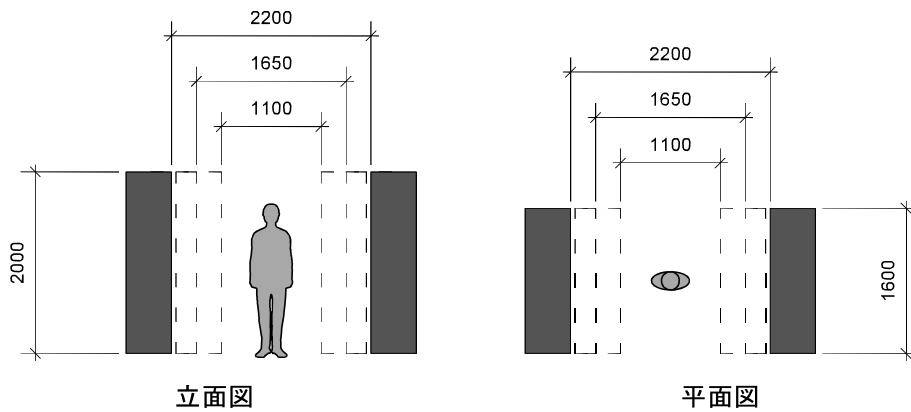


図 4.2.2-2：通路の形状

ii)被験者の配置場所と目的地の組み合わせパターン

被験者の配置場所は①～③の3ヶ所を組み合わせ、最大5種類、の組み合わせを用意する。目的地はA、B、Cの3ヶ所を組み合わせ、1種類の配置について最大5種類の組み合わせを用意する。組み合わせパターンを1試行毎に変更し、同じパターンが出来る限り連続しない様に配慮した。なお、被験者の配置場所と目的地の組み合わせは左右差を考えないものとして省略する。配置場所と目的地の実験空間における位置を図4.2.2-3、配置場所と目的地の組み合わせ及び各組み合わせの試行数を表4.2.2-1に示す。

表 4.2.2-1：配置場所と目的地の組み合わせ及び試行数

	目的地								
	改札口					1100mm通路	1650mm通路	2100mm通路	
	A	ABC	BC	B	C	A	A	A	
配置場所	①	4	2	2	2	-	4	4	4
	③	2	2	2	2	2	-	-	-
	①②	4	-	-	-	-	-	-	-
	②③	2	2	2	2	-	-	-	-
	①②③	2	2	2	2	-	-	-	-

### iii)改札口の状況想定と被験者配置の関係

本実験は、被験者の配置場所の幅を持つ群集が改札口及び通路に近づくことを想定している。群集は2400mmの幅に4人整列させている。ボトルネックとなる改札口及び通路における流動状況として、流動量が限界となる状況を想定している。改札口と配置場所の位置関係を図4.2.2-3に示す。

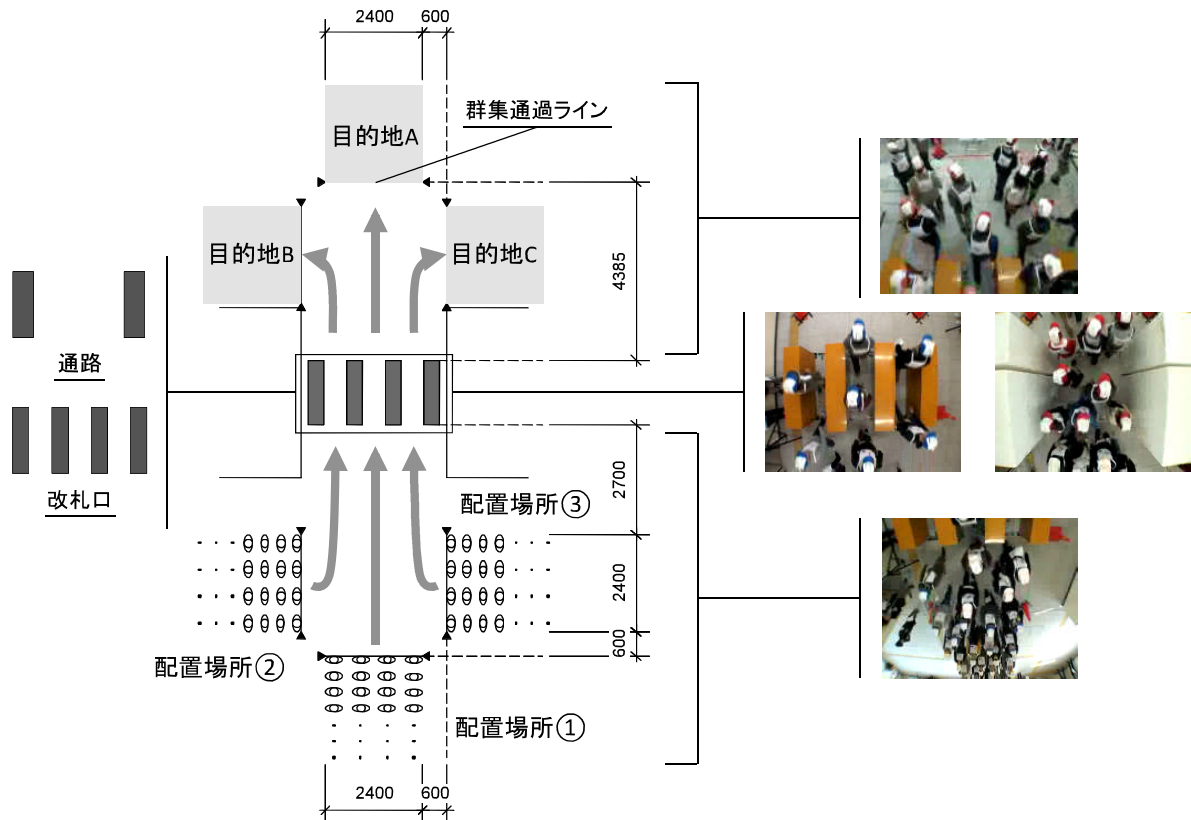


図 4. 2. 2-3 : 実験空間の平面図

## 4. 2. 3 実験方法

### i)実験手順

被験者の配置場所と目的地をパラメータとし、改札口の実物大模型を通過する群集の流動状態を計測する。以下の①～④の手順を実験の総試行回数 52 回分繰り返す。

- ①配置場所へ被験者を誘導する。
- ②目的地を被験者に提示する。
- ③避難開始の合図を出し、避難を開始させる。
- ④全被験者の目的地到達後、合図により避難を終了する。

### ii)記録方法

実験の状況を実験棟天井付近に設置したデジタルビデオカメラを用いて上部より撮影し、記録した映像を分析に用いる。記録映像の例を図4.2.2-3に示す。



### iii) 教示

被験者に対して次に示す教示を行った。「駅構内で火災が発生しました。走らず、歩いてすみやかに避難して下さい」。左記の教示は、鉄道駅火災避難時を想定するものであるとともに走ることによる衝突・転倒の可能性を考慮した安全上の配慮である。実験は安全面に十分配慮して行った。

### iv) 被験者の整列方法

被験者は、各配置場所の正面方向に対して4列で整列させる。配置場所が1ヶ所で12行、2ヶ所で6行、3ヶ所で4行とし、配置場所の数に従い、48名の被験者全員を均等に配置する<sup>注1)</sup>。

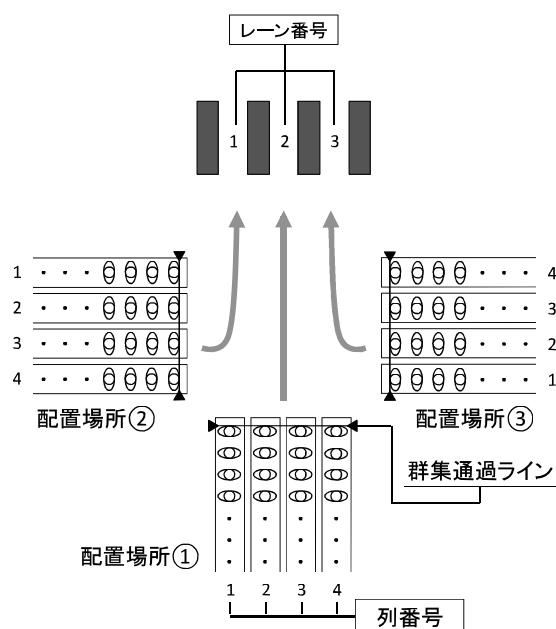


図 4. 2. 3-1 : 被験者列の番号及びレーン番号

### v) 被験者の歩行上の制約

群集は配置場所から改札口に向かう際と改札口から目的地に向かう際、配置場所と目的地の端部に引いた群集通過ラインを必ず通ることとする。この間、改札口通過時に群集が通る通行部分(レーン)の選択は被験者の自由とする。また、目指す目的地が複数の場合の選択も被験者の自由とする。なお、ここでは避難時にちかい出口を選択する状況を想定し、目的地通過後にさらに大局的な出口への進行は想定していない。すなわち、被験者は、与えられた出口のいずれを選択しても結果は等価となる状況とした。

実験は避難時を想定していることから、改札口は常時開放とし、ICカードのタッチや切符の挿入等の行為は行わないものとする。

## 4.3 通過前の被験者位置及び通過後の目的地とレーンの選択傾向

### 4.3.1 単独群集の群集内における位置と各レーンの通過人数

群集配置場所が1ヶ所となる配置条件①及び②それぞれについて目的地の条件毎に、各レーンの通過人数について配置時の被験者列の内訳を求めた。内訳を下表に示す。

表 4.3.1-1：単独群集のパターンにおけるレーン毎の被験者列別通過人数

		目的地				
		A	ABC	BC	B	C
配置条件	①					—
	③					

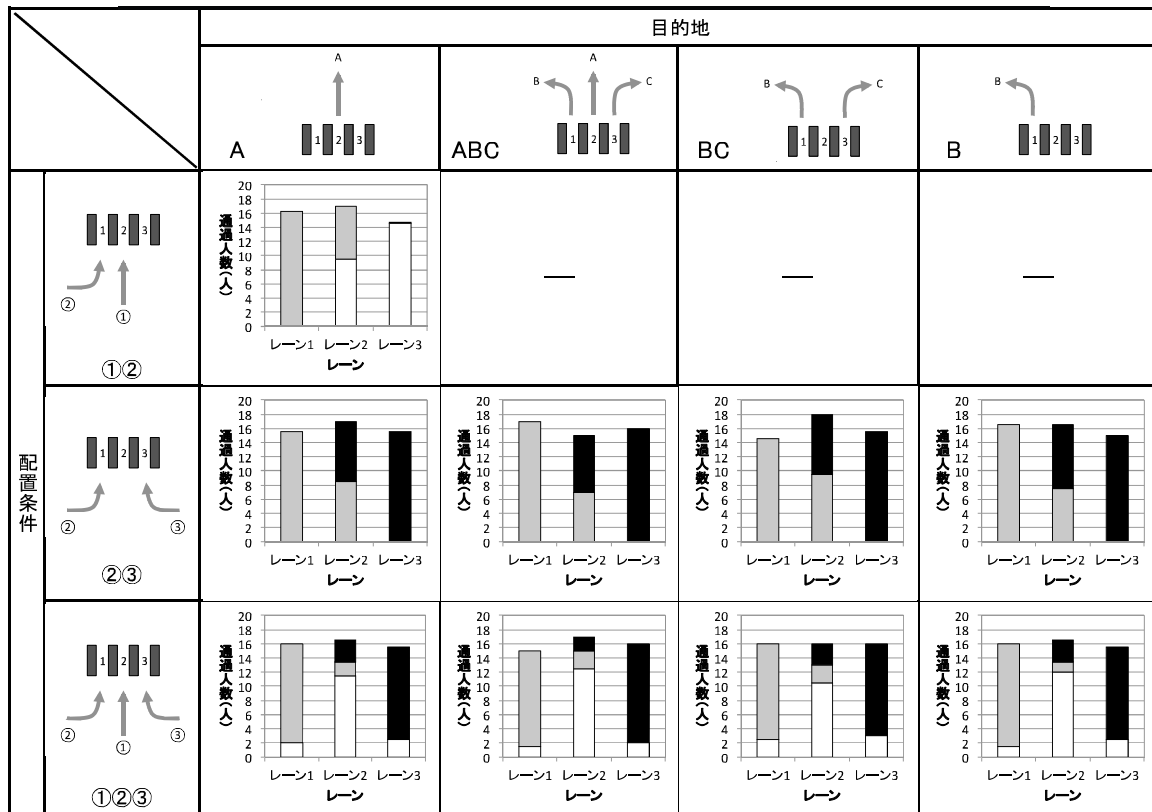
■列1 ■列2 □列3 □列4

配置条件①の場合、すべての目的地の条件について列1の全被験者はレーン1、列4の全被験者はレーン3を集中して通過する。列2は、レーン1に約3分の1、中央のレーン2に約3分の2ずつ分散して通過する傾向がある。列3は、レーン3に約3分の1、中央のレーン2に約3分の2ずつ分散する。各レーンについて上記の割合を合計すると3分の4となり、3レーンの通過人数が同数となる。配置条件③についても同様の傾向が見られる。

### 4.3.2 合流する群集の配置場所と各レーンの通過人数

異なる配置場所から進行して来た被験者同士の合流が生じる配置条件①②、②③、①②③のそれぞれについて、目的地条件毎に各レーンにおける通過人数の配置場所による内訳を求めた。内訳を下表に示す。

表 4.3.2-1：合流の生じるパターンにおけるレーン毎の配置場所別通過人数



□配置場所 ① □配置場所 ② ■配置場所 ③

配置場所が 2 ヶ所となる①②の場合、レーン 1 はすべて②、レーン 3 はすべて①、中央のレーン 2 は①と②がほぼ半数ずつとなる。同じく配置場所が 2 ヶ所となる条件②③の場合も、すべての目的地条件について条件①②と同様の傾向が見られる。配置場所が 3 ヶ所となる配置条件①②③の場合、レーン 1 及び 3 はそれぞれ配置場所の近い②と③が 81~91%、①が 9~19%となる。レーン 2 は、配置場所①が 66~74%、配置場所②と③が合わせて 26~34%となる。

#### 4.4 改札口に接近する群集の形態とレーン選択の関係

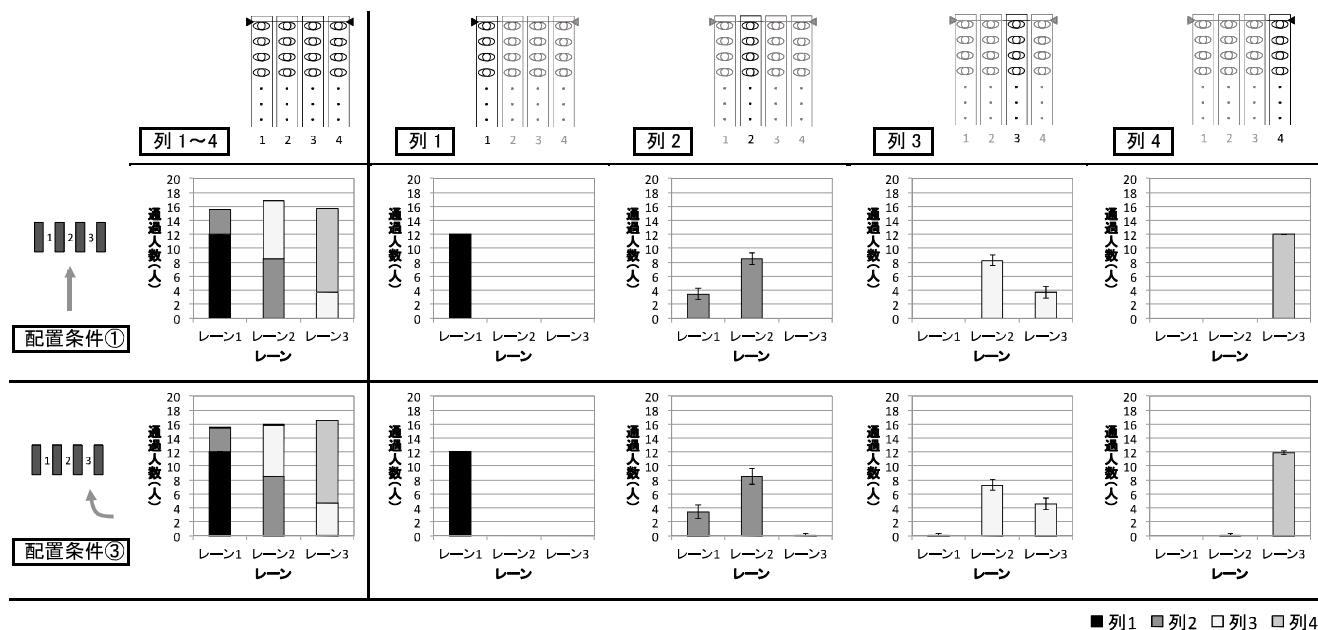
配置場所が 1 ヶ所の場合も含めて、すべての配置場所と目的地の組み合わせパターンについて各レーンを通じた合計人数の差は小さい。また、各配置条件の通過人数の割合について、目的地条件による変動傾向は見られないことから、本研究で想定するいずれかの近い目的地を選択する状況においては、被験者のレーン選択は配置場所の位置によって決まると考えられる。

それぞれの配置条件におけるレーン毎の通過人数について、単独群集の条件については配置時の被験者列毎の内訳、合流群集の条件については配置場所毎の内訳の、異なる目的地の条件を含めた全試行の平均値を求めた<sup>注 2)</sup>。単独群集と合流群集のそれぞれについて、上記平均値とレーン選択の関係を以下に述べる。

#### 4.4.1 単独群集内の配置列とレーン選択の関係

単独群集内の配置列とレーン選択の関係について以下に述べる。群集配置場所が 1 ヶ所となる単独群集の配置条件①及び③のそれぞれについて、配置時の被験者列毎に各レーンの通過人数の平均値を求めた。配置条件及び列毎に各レーンにおける通過人数の平均値を示した表を以下に示す。

表 4.4.1-1：単独群集の各配置条件におけるレーン毎の被験者列別通過人数の平均



配置条件①において、列1の全被験者はレーン1を通過し、列4の全被験者はレーン3を通過する。また、列2の被験者は12人中8人が中央のレーン2を通過し、4人がレーン1を通過する傾向が見られる。列3も同様に12人中8人がレーン2を通過し、4人がレーン3を通過する傾向が見られる。配置条件③についても配置条件①と同様の傾向が見られる。

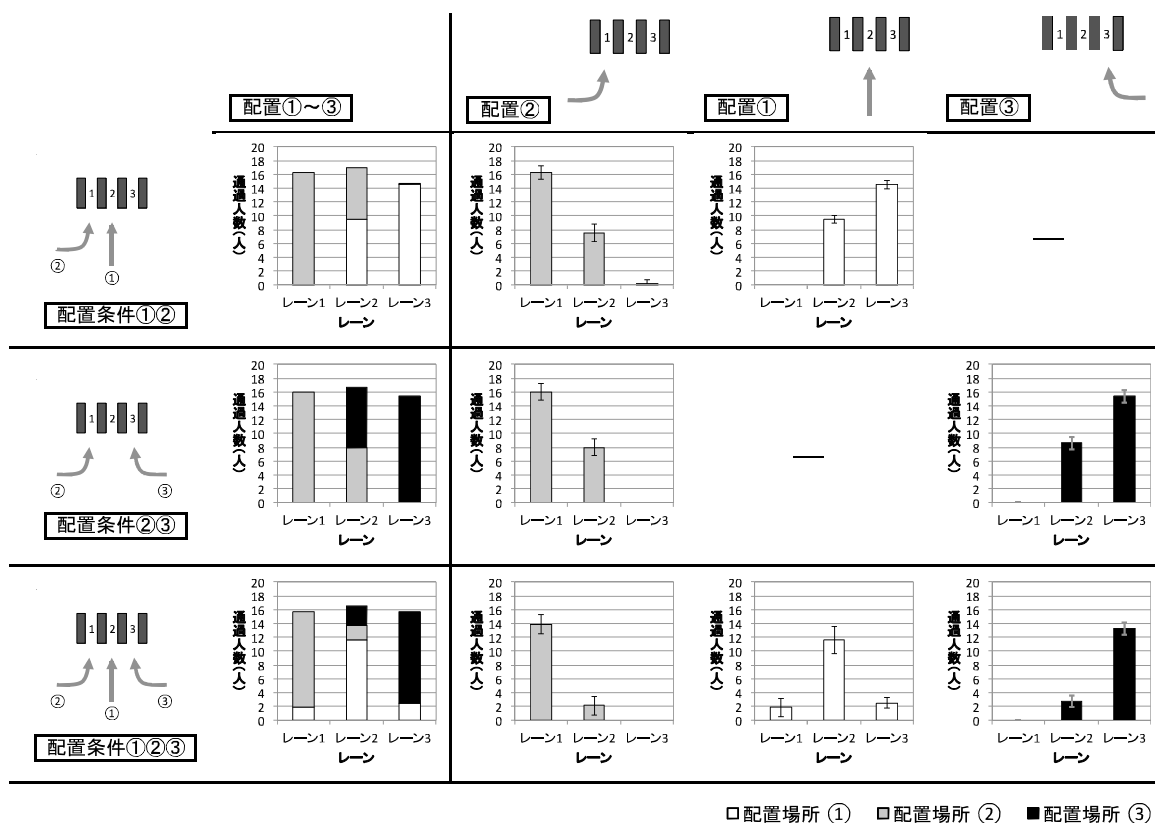
配置条件が1ヶ所の場合、すべての目的地の条件について列1と列4の全被験者はそれぞれレーン1とレーン3に集中する。列2と列3は、それぞれレーン1とレーン3に約3分の1、中央のレーン2に約3分の2ずつ分散する傾向がある。各レーンについて上記の割合を合計すると3分の4となり3レーンの通過人数が同数となる。

配置条件が1ヶ所となる単独群集について、群集内の配置列によるレーン選択の傾向は、配置場所による差はないと考えられる。中央2列の被験者は中央のレーン2に集中し、両端2列の被験者はそれぞれの列に近い端のレーン1もしくは3を多く通過する。また、集中するレーンと隣接するレーンに分散することで、各レーンの通過人数の合計がほぼ同等となると考えられる。

#### 4.4.2 合流する群集の配置場所とレーン選択の関係

異なる配置場所から進行して来た被験者同士の合流が生じる配置条件①②、②③、①②③のそれぞれについて、各群集の配置場所毎に各レーンの通過人数を求めた。群集が 2 ヶ所の場合と 3 ヶ所の場合のそれぞれについて配置場所とレーン選択の関係を以下に述べる。配置条件及び各群集の配置場所毎に各レーンにおける通過人数の平均値を示した表を 4.4.2-1 に示す。

表 4.4.2-1：合流群集の各配置条件におけるレーン毎の被験者列別通過人数の平均



##### (1) 配置場所が 2 ヶ所の場合

配置条件①②において、配置場所①の被験者の内、レーン 2 の通過人数は平均 9.5 人、標準偏差 0.58 人、レーン 3 の通過人数は平均 14.5 人、標準偏差 0.58 人となる。また、配置場所②の被験者の内、レーン 1 を通過する人数は平均 16.25 人、標準偏差 0.96 人、レーン 2 を通過する人数は平均 7.5 人、標準偏差 1.3 人となる。

条件①②の各レーンにおける通過人数の合計値の差は他の組み合わせパターン同様に 1~2 人程度と小さく、各レーンを通る合計人数は等しく 16 人となると考えられる。正規分布を仮定した 95%信頼区間内において推定される通過人数の変動幅は平均値±標準偏差×1.96 であることが統計的に求められていることから、これを用いて配置場所①の被験者は 24 人中 16 人がレーン 3、残り 8 人がレーン 2 を通過し、配置場所②も同様に 24 人中 16 人がレーン 1、残り 8 人がレーン 2 を通過することが推定できる。

配置条件②③において、配置場所②の被験者の内、レーン 1 の通過人数は平均 16 人、標準偏差 1.2 人、レーン 2 の通過人数は平均 8 人、標準偏差 1.2 人となる。また、配置場所③の被験者の内、レーン 2 の通過人数は平均 8.6 人、標準偏差 0.9 人、レーン 3 の通過人数は 15.4 人、標準偏差 0.9 人となる。

条件②③の各レーンの合計通過人数の平均はいずれもおおよそ 16 人となる。配置場所②の被験者は 24 人中 16 人がレーン 1、残り 8 人がレーン 2 を通過し、配置場所②も同様に 24 人中 16 人がレーン 3、残り 8 人がレーン 2 を通過すると推定できる。

## (2) 配置場所が 3 ヶ所の場合

配置条件①②③において、配置場所①の被験者の内、レーン 1 の通過人数は平均 1.9 人、標準偏差 1.4 人、レーン 2 の通過人数は平均 11.6 人、標準偏差 2.0 人、レーン 3 の通過人数は平均 2.5 人、標準偏差 0.8 人となる。また、配置場所②の被験者の内、レーン 1 の通過人数は平均 13.9 人、標準偏差 1.4 人、レーン 2 の通過人数は平均 2.1 人、標準偏差 1.4 人となる。配置場所③の被験者の内、レーン 2 の通過人数は平均 2.8 人、標準偏差 0.9 人、レーン 3 の通過人数は平均 13.3 人、標準偏差 0.9 人となる。

配置場所①の被験者 16 人中、12 人がレーン 2 を通過すると推定できる。また、配置場所②の被験者 16 人中、14 人がレーン 1 を通過し、残り 2 人がレーン 2 を通過すると推定できる。各レーンにおける合計通過人数の平均はいずれもおおよそ 16 人となることから、配置場所①の被験者 16 人中 2 人がレーン 1 を通過すると推定でき、これにより残り 2 人がレーン 3 を通過することが推定できる。加えて、配置場所③の被験者 16 人中 14 人がレーン 3 を通過し、2 人がレーン 2 を通過すると推定できる。

## (3) 配置場所によるレーン選択の傾向

配置場所が 2 ヶ所の場合には、中央のレーンを境に配置場所の異なる被験者が層状に均等に分かれる傾向にある。配置場所が 3 ヶ所の場合には、改札口側方の配置場所の被験者はそれぞれ配置場所に近い端のレーンに集中し、改札口正面の配置場所の被験者は中央のレーンに集中する傾向にある。配置場所が 3 ヶ所の場合、一定割合の被験者が集中するレーンの 1 つ隣のレーンを選択する傾向が見られるが、2 つ隣のレーンは選択しない。

## 4.5 改札口に接近する群集の形態に基づくレーン選択のモデル

単独群集については配置時の被験者列の位置とレーン選択の関係、合流群集については複数の群集の配置場所とレーン選択の関係を、実験結果に基づき把握した。

実験において用いた改札口は 3 レーンである。改札口のレーン数が増加した場合において、被験者の位置と通過レーンの選択傾向の関係を算定するためのモデル化を試みる。

### 4.5.1 単独群集の群集内位置に基づくレーン選択確率モデル

実験より、3 レーンの改札口に対して 4 列の単独群集が接近する場合、両端 2 列の被験者については全員それぞれの列に近い端のレーンを選択、中央 2 列の被験者はそれぞれ 3 分の 2 ずつが中央のレーンを選択し、3 分の 1 がそれぞれに近い端のレーンを選択する状況が確認された。

上記の実験結果に基づき、3 レーン以上の改札口について被験者の位置と通過レーンの選択傾向の関係を算定するためのモデルを作成する。モデル作成にあたり、改札口内の連続する  $n$  個 ( $n \geq 3$ ) のレーンに対し、レーン番号を  $L(i)$  ( $i=1,2,3 \dots$ ) として、群集の接近する側から向かって左側から順に番号を付ける。また、接近する  $j$  列の群集に対し、列番号を  $PI(j)$  ( $j=1,2,3, \dots$ ) としてレーン番号と同じ側から順に番号を付ける。ここでは、レーン数  $n$  ( $n \geq 3$ ) の改札口に対して、レーン選択が必要な状況として、改札口のレーン数より 1 列多い  $j = n+1$  の歩行者列を持つ群集が接近するモデルの作成を行う。

#### (1) レーン数 3 ( $n=3$ ) の場合

端のレーン  $L(1)$  に対して  $PI(1)$ 、 $L(3)$  に対して  $PI(4)$  の歩行者全員が選択し、加えて、 $PI(2)$  及び  $PI(3)$  の歩行者の内、3 分の 1 がそれぞれ端のレーンを選択する。中央のレーン  $L(2)$  に対して、 $PI(2)$  及び  $PI(3)$  の歩行者がそれぞれ 3 分の 2 ずつ選択する。以上の 3 レーンの改札口における選択確率モデルを図 4.5.1-1 に図示する。

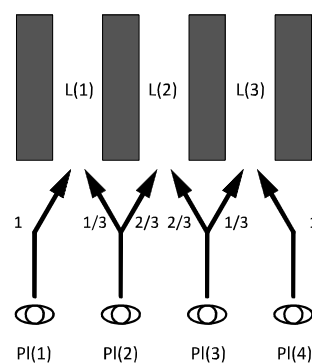


図 4.5.1-1 : 単独群集のレーン選択確率モデル (レーン数 3)

(2) レーン数 4 以上 ( $n \geq 4$ ) の場合

端のレーン  $L(1)$  に対して  $PI(1)$ 、 $L(n)$  に対して  $PI(n+1)$  の歩行者全員が選択し、加えて、それぞれ  $PI(2)$  及び  $PI(n)$  の歩行者の内、3 分の 1 がそれぞれ端のレーンを選択する。実験において、3 レーンの内、中央のレーンについては、被験者 4 列の内、中央 2 列の被験者が等しく 2 分の 1 ずつを占めることから、中央  $L(3) \sim L(n-2)$  のレーンすべてについて、各レーンに対して常に 2 列の歩行者列が接近する時、 $PI(3) \sim PI(n-1)$  の歩行者が 2 分の 1 ずつ選択すると考える。端のレーンに隣接する  $L(2)$  及び  $L(n-1)$  のレーンについては、それぞれ  $PI(2)$  及び  $PI(n)$  の歩行者の内、3 分の 2 ずつが選択し、加えて、それぞれ  $PI(3)$  及び  $PI(n-1)$  の歩行者の内、2 分の 1 ずつが選択する。以上のレーン数 4 以上の改札口における選択確率モデルを図 4.5.1-2 に図示する。

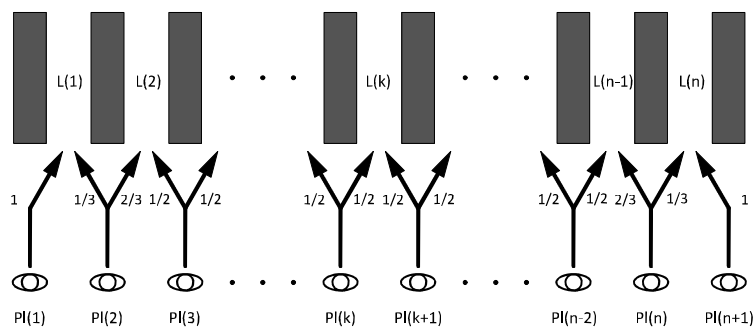


図 4.5.1-2 : 単独群集のレーン選択確率モデル (レーン数 4 以上)

以上(1)(2)より、レーン数  $n$  ( $n \geq 3$ ) の改札口について、改札口のレーン数より 1 列多い  $n+1$  の歩行者列を持つ群集が改札口に接近した場合、歩行者のレーン選択確率モデルは次の様になる。両端  $PI(1)$  及び  $PI(n+1)$  の歩行者は、それぞれ端のレーン  $L(1)$  及び  $L(n)$  を全員が選択する。端から 2 番目の歩行者  $PI(2)$  及び  $PI(n)$  は、それぞれ端のレーン  $L(1)$  及び  $L(n)$  を 3 分の 1 ずつが選択し、端から 2 番目のレーン  $L(2)$  及び  $L(n-1)$  を 3 分の 2 ずつが選択する。さらに、 $n \geq 4$  の時、 $PI(3) \sim PI(n-1)$  の歩行者は、レーン  $L(2) \sim L(n-1)$  の内、正面にある 2 レーンを 2 分の 1 ずつが選択する。



#### 4.5.2 合流する群集の接近方向に基づくレーン選択確率モデル

##### (1) 2 群集合流モデル

実験より、同数の歩行者からなる 2 群集が 3 レーンの改札口に接近する場合には、中央のレーンを境に 2 群集が層状に均等に分かれ、両端の 2 レーンについては、2 群集がそれぞれのレーンを占有的に 3 分の 2 ずつ通過し、中央のレーンについては、2 群集が等しく 3 分の 1 ずつ通過する状況が確認された。

したがって、レーン数 3 の改札口について、2 方向から接近する同規模の群集が改札口に接近した場合、群集のレーン選択確率モデルは、群集内の 3 分の 1 が中央のレーンに、3 分の 2 が片側の端のレーンを選択するものとなる。この際、群集同士の進行方向は交差せず、合流する中央のレーンを境にレーンを選択する群集は均等に分かれることになる。以上の 2 群集が合流する場合の選択確率モデルを図 4.5.2-1 に図示する。

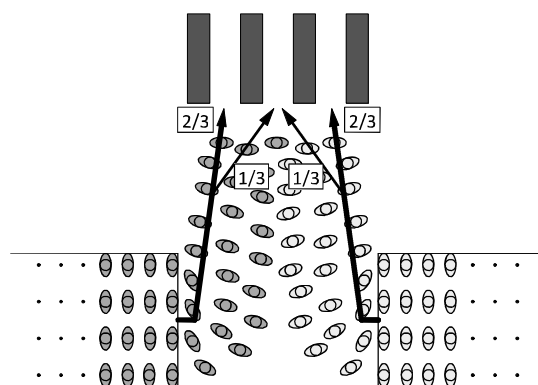


図 4.5.2-1 : 2 群集合流時におけるレーン選択確率モデル

##### (2) 3 群集合流モデル

実験より、同数の歩行者からなる 3 群集が 3 レーンの改札口に接近する場合には、改札口側方から接近する 2 群集については、それぞれ近い端のレーンを 8 分の 7 が通過し、8 分の 1 が中央のレーンを通過する。改札口正面から接近する群集の内 4 分の 3 が中央のレーンを通過し、残り 4 分の 1 の内 8 分の 1 ずつが均等に端の 2 レーンそれぞれを通過する。各群集は、集中するレーンの 1 つ隣のレーンにも分散して通過する。よって、3 群集は層状に分かれて各レーンに接近する状況が確認された。

したがって、レーン数 3 の改札口について、3 方向から接近する同規模の群集が改札口に接近した場合、群集のレーン選択確率モデルは次の様になる。改札口側方から接近する群集の内、8 分の 7 が群集から近いレーンを選択し、8 分の 1 が中央のレーンを選択する。改札口正面から接近する群集の内、4 分の 3 が中央のレーンを選択し、8 分の 1 ずつが端の 2 レーンを等しく選択する。以上の 3 群集が合流する場合の選択確率モデルを図 4.5.2-2 に図示する。

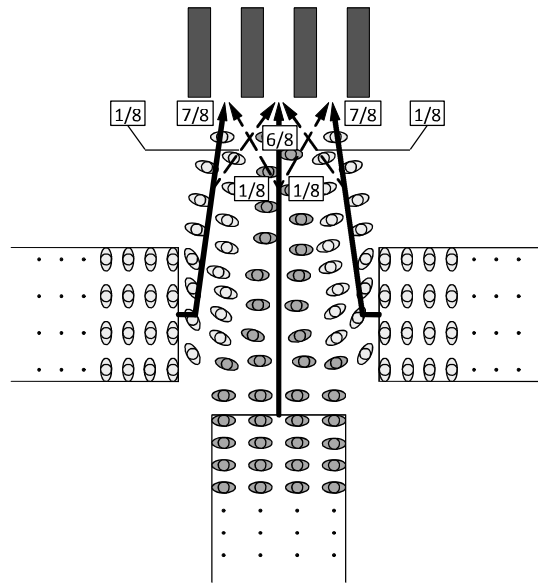


図 4.5.2-2 : 3 群集合流時におけるレーン選択確率モデル

### (3) 合流が各群集のレーン選択に与える影響

3レーンの改札口に対して左右2群集もしくは左右と正面の3群集が接近及び通過する際、それぞれの群集が主に選択・通過するレーンは群集毎に異なるが、主に選択・通過するレーンと、その1つ隣のレーンにも分散して選択・通過する。改札口接近時に群集同士が接触する境界部において合流混合が生じていると考えられ、層状に分かれた群集の境界部は群集毎に明確に分離されるものではないと考えられる。

各群集が改札口の幅と同じ幅を持つ2群集もしくは3群集が改札口に接近、通過する際、群集の進行方向に対する歩行者の整列幅の合計は改札口より大幅に大きくなる。改札口に向かう被験者の列が合流時に改札口の幅に合わせて狭まることで、それぞれの配置場所からの被験者のレーン選択の自由度は減少すると考えられる。

#### 4.6 配置場所と目的地が各レーンの流動量に与える影響

配置場所と目的地の違いが改札口各レーンの流動量に与える影響を把握する。

なお、改札口における単位時間あたりの流動量の算定において、通過する被験者の1人目を人数に含めないこととする。単位時間あたりの流動量は、被験者の通過人数を先頭の被験者が通過してから最後尾の被験者が通過するまでの時間で割ることにより求められる。1人の被験者が自分の前に確保する空間と自分の身体を一単位として考えると、被験者単位は通過人数より1つ少ない。以上より、1人目の被験者は前方に他の被験者がいないことから、人数計測の基点となる1人目を流動量及び流動係数の算出において通過人数として数えないこととする。

はじめに、各配置場所の条件について、目的地の条件毎に改札口における各レーンの流動量を求めた。流動量を図4.6-1に示す。

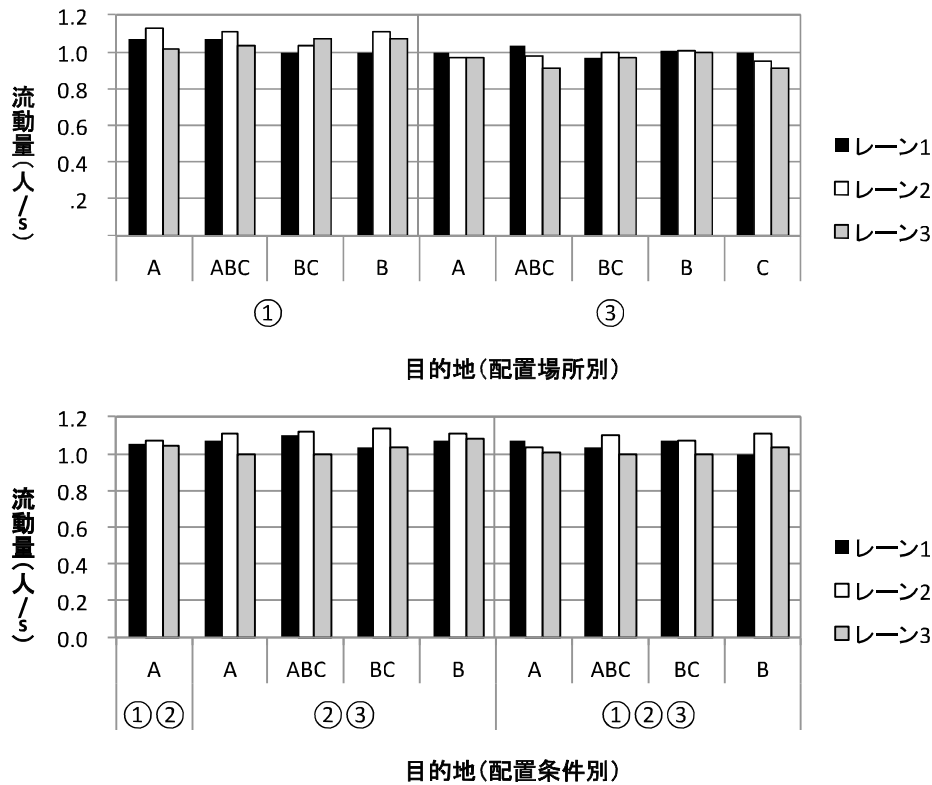


図 4.6-1：配置場所及び目的地の条件と各レーンの流動量の関係

各配置場所と目的地の組み合わせパターン内において、レーン間の流動量の差は大きくても 0.1 人/s となり、個別の組み合わせパターン内におけるレーン間の流動量の差は小さい。また、流動量を配置条件毎に見ると、配置③についてはほぼ 0.9~1.0 人/s となり、その他の配置①、①②、②③、①②③についてはほぼ 1.0~1.1 人/s の範囲に収まっている。

レーン間の流動量の差は小さいことから、各配置条件について、目的地の条件ごとに 1 レーンあたりの流動量の平均値と標準偏差を求め、比較を行う。流動量の平均値と標準偏差を図 4.6-2 に示す。

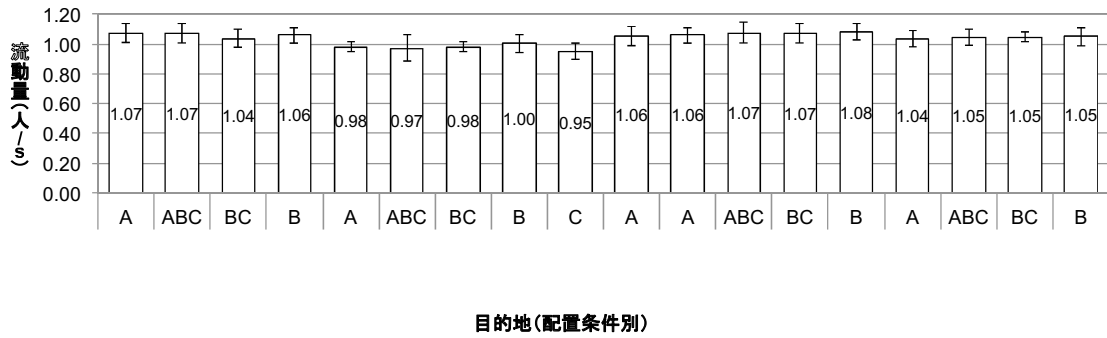


図 4.6-2 : 配置場所及び目的地の条件と各レーンの流動量の関係

各配置条件内における流動量の最大値と最小値の差は、配置条件①において 0.03 人/s、配置条件③において 0.05 人/s、配置条件②③において 0.02 人/s、配置条件①②③において 0.01 人/s となる。各配置条件について、目的地の違いによる流動量の差は小さいと言える。

このことから、目的地の区別をなくし、配置条件毎に 1 レーンあたりの流動量の平均値と標準偏差を求めた。流動量の平均値と標準偏差を以下に示す。

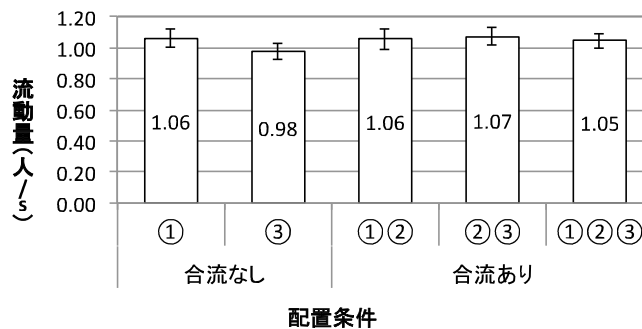


図 4.6-3 : 各配置条件における 1 レーンあたりの流動量の平均値

合流の生じる配置条件①②、②③、①②③については、合流の生じない配置条件①及び③と比較して単位時間あたり 2 倍もしくは 3 倍の群集が改札口前に集中することになる。想定される単位時間あたりの改札口前における群集の到達数が 2 群集と 3 群集では異なるが、3 条件の流動量が近似している。このことから、合流の生じる条件において、実験の想定である流動量が限界となる状況となっていたと考えられる。

合流の生じる 3 条件の流動量は配置条件①と同等であることから、配置条件①は流動量が限界となる状況であったと考えられる。また、配置条件③の流動量が 0.98 人/s であるのに対して他の配置条件の流動量は 1.05~1.07 人/s となり、配置条件③のみ他の配置条件と比べて流動量が低い。配置条件③は側方から改札口に接近するため、被験者は方向転換が必要となり、正面から改札口を通過する配置条件①と比較して流動量が低くなったと考えられる。

以上より、いずれの条件も流動量が限界となる状況であったことが推察できる。

## 4.7 流動量に基づく肩幅を含めた有効幅員

実験により得られた流動量を基に、改札機上部における肩高の自由度を考慮し、肩高以上の側壁を持つ一般的な通路とした場合において想定される改札口通行部の幅員を求める。流動量の算出に用いる計測人数の扱いについては「4.6 配置場所と目的地が各レーンの流動量に与える影響」に従う。

### 4.7.1 改札口及び通路の流動量

実験より、改札口における全体流動量と 1100mm 通路、1650mm 通路、2200mm 通路における流動量を 1 試行毎に求め、改札口と 3 通路それぞれについて平均値を求めた。全体流動量は改札口全体を 1 通路とした場合の、全体としての流動量を表す。改札口 3 レーン全体として通過した単位時間あたりの流動量とし、通過する被験者 48 人全員が通過に要する時間によって得られる。

また、通路の場合、目的地の条件は目的地 A のみとなる。改札口についても同様に目的地条件 A についての平均値を用いることも考えられるが、「4.6 配置場所と目的地が各レーンの流動量に与える影響」より、目的地によるレーン毎の流動量の変化は少ないことが示されていることから、全ての目的地条件の試行により平均値を算出した。以上、全体流動量の平均値を以下に示す。

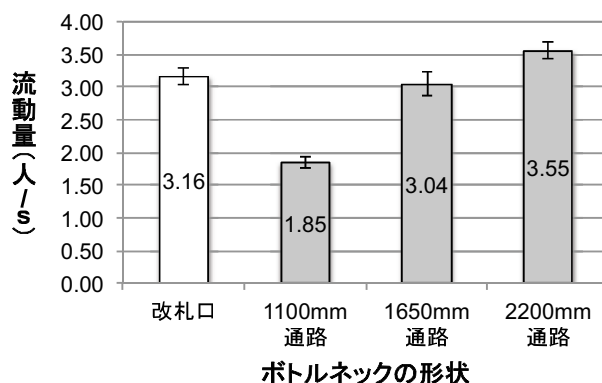


図 4.7-1：各ボトルネックにおける流動量の平均

各通路の流動量の平均値を見ると、2100mm 通路が最も高く、1650mm 通路、1100mm 通路と続き、通路幅が狭くなるに従い、流動量が低下することが分かる。また、改札口の全体流動量の平均値は 3.16 人/s となり、1650mm 通路と 2200mm 通路の間の値をとることが分かる。

#### 4.7.2 有効幅員の導出

3 通路の各試行における流動量と通路幅を用いて、分散分析を行い、最小 2 乗法により通路幅に対する流動量の単回帰式の導出を行った。通路幅に対する流動量の散布図と単回帰直線を図 4.7-2 に示す。

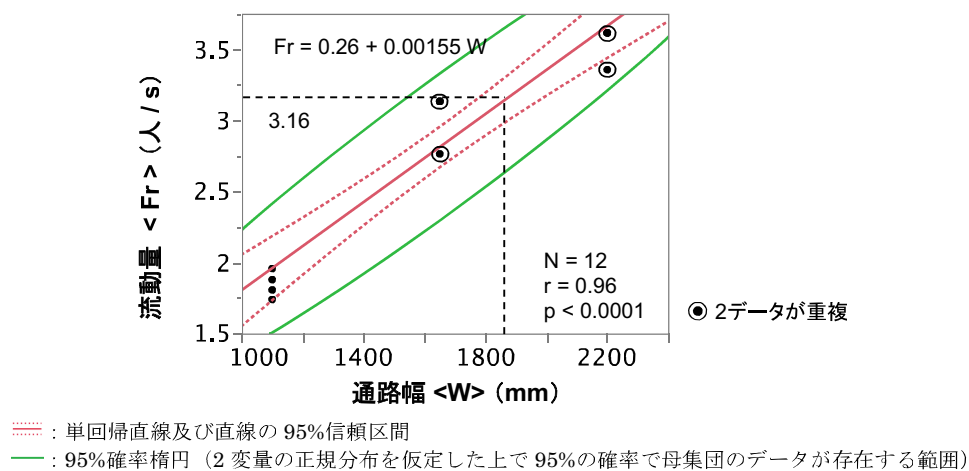


図 4.7-2：通路幅員と流動量の関係

上図に示した流動量と幅員により、以下の回帰式が導出された。

$$\text{流動量 } Fr[\text{人/s}] = 0.00155W[\text{mm}] + 0.26 \quad (\text{流動量の有効数字を小数点以下第 2 位とする})$$

分散分析による F 検定における有意確率が 0.0001 未満であることから、有意水準 5%において回帰式は統計的有意性を持ち、予測に役立つと言える。また、決定係数が 0.92 (= 0.96<sup>2</sup>) となり、回帰式の精度は高いことが分かる。

上式に、改札口における全体流動量の平均値 3.16 人/s を代入すると、通路幅 W は約 1870mm となる。3 レーンの改札口の流動量は約 1870mm の通路と同等であることが示された。これにより、改札口 1 レーンあたりの肩幅の自由度を考慮した有効幅員は約 620mm となり、改札機間の幅 550mm より大きいことが明らかとなった。

#### 4.8 避難時における改札口通過群集の流動性状に基づく流動係数の導出

実験により得られた流動量を基に、肩高での自由度を考慮した場合の改札口における通路換算の想定幅員（有効幅員）が 620mm（= 0.62m）であることを求めた。避難計算において規定される避難経路上の開口部の流動係数 1.5 人/m・s は、通路の単位幅あたりの流動量を示すものであり、上空部が開放されている改札口の有効幅員が 620mm（= 0.62m）であることから、出口幅を改札機間の幅員 550mm×出口数として計算することは改札口の通過能力を反映した正確な算定方法ではない。ここでは、避難計算上の改札口における滞留（通過）時間の算出方法と避難計算に現在用いられている流動係数の安全性を検討する。

改札口 1 レーンの有効幅員 0.62m に対して避難計算における居室開口部の流動係数 1.5 人/m・s をかけて得られる流動量は 0.94 人/s である。これは、改札機間の幅 0.55m より得られる流動量 0.825 人/s（= 1.5 人/m・s × 0.55m）より高く、現状の避難計算より求められる流動量は安全側の値と言える。また、0.94 人/s は全体流動量の平均 3.16 人/s を 3 で割った値 1.05 人/s より低い。また、実験より得られた全体流動量の平均 3.16 人/s を 3 レーン分の有効幅員 1.86m で割ると、約 1.70 人/m・s となる。実験より得られた流動係数は、避難計算において用いられる流動係数 1.5 人/m・s より高くなる。以上より、通常の避難計算に用いられる流動係数 1.5 人/m・s は実際よりも安全側の値と考えられる。

避難計算を行う場合、改札口全体の幅員を全レーンの合計幅とし、改札口全体を単体の通路として通過時間を求める方法が考えられる。

$$T_{\text{queue}}[\text{s}] = N[\text{人}] \div (\text{Fc}[\text{人/m} \cdot \text{s}] \times W_1[\text{m/レーン}] \times N_i[\text{レーン}])$$

$T_{\text{queue}}[\text{s}]$  : 改札口における通過時間  $N[\text{人}]$  : 改札口を通過する避難者数

$\text{Fc}[\text{人/m} \cdot \text{s}]$  : 流動係数  $W_1[\text{m/レーン}]$  : 1 レーンあたりの幅員

$N_i[\text{レーン}]$  : 改札口全体のレーン数

本検討により、上記の計算方法において、流動係数  $\text{Fc}$  は避難計算において開口部に対して規定される 1.5 人/m・s もしくは本実験における改札口の流動量を反映した 1.7 人/m・s、1 レーンあたりの幅員  $W_1$  は改札機間の幅 0.55m もしくは有効幅員 0.62m のいずれかを代入することが考えられる。また、流動係数を 0.17 人/m・s、幅員を 0.62m とした場合、避難時間は改札口の流動量を反映した値となるが、避難時間は上記 4 種類の数値を用いた中で最も算出される避難時間が短くなる。対して、流動係数を 0.15 人/m・s、幅員を 0.55m とした場合が最も避難時間が大きくなり、避難計画上安全を考慮した値と言える。

## 4.9 まとめ

本研究では、実物大の実験空間による群集の改札口通過実験の実施を通し、群集の数と改札口への接近方向の観点から改札口に接近する群集のレーン選択モデルを提案した。また、肩高での自由度を考慮した場合の改札口における通路換算の想定幅員（有効幅員）を求め、避難計算上の改札口における滞留（通過）時間の算出方法と避難計算に現在用いられている流動係数の安全性を検討した。本章で得られた結果を、(1)単独群集のレーン選択特性、(2)合流群集のレーン選択特性、(3)配置場所と目的地が各レーンの流動量に与える影響、(4)流動量に基づく肩高での自由度を考慮した1レーンあたりの有効幅員、(5)避難計算における改札口の滞留（通過）時間の計算方法に分類し、以下に再掲する。

### (1) 単独群集のレーン選択特性

- ・配置条件が1ヶ所となる単独群集について、群集内の配置列の位置によるレーン選択の傾向は、配置場所及び目的地数の違いによる差はない。
- ・レーン数3以上の改札口について、改札口のレーン数より1列多い歩行者列を持つ群集が改札口に接近した場合、歩行者のレーン選択確率モデルは次のようになる。

両端の歩行者は、それぞれ両端のレーンを全員が選択する。

端から2番目の歩行者は、それぞれ端のレーンを3分の1ずつが選択し、端から2番目のレーンを3分の2ずつが選択する。

### (2) 合流群集のレーン選択特性

#### (2)-1 2群集

- ・2ヶ所の配置場所から合流する群集について、各配置場所から改札口に接近する群集のレーン選択の傾向は、配置場所及び目的地の条件による差はない。
- ・配置場所が2ヶ所の場合、中央のレーンを境に配置場所の異なる被験者が層状に均等に分かれる傾向にある。
- ・レーン数3の改札口について、2方向から同規模の群集が改札口に接近した場合、群集のレーン選択確率モデルは次のようになる。

群集内の3分の1が中央のレーンに、3分の2が片側の端のレーンを選択する。

群集同士の進行方向は交差せず、合流する中央のレーンを境にレーンを選択する群集は均等に分かれる。

#### (2)-2 3群集

- ・3ヶ所の配置場所から合流する群集について、各配置場所から改札口に接近する群集のレーン選択の傾向は、目的地の条件による差はない。



- ・配置場所が 3 ヶ所の場合、改札口側方の配置場所の被験者はそれぞれ配置場所に近い端のレーンに集中し、改札口正面の配置場所の被験者は中央のレーンに集中する傾向にある。
- ・配置場所が 3 ヶ所の場合、各配置場所について、一定割合の被験者が集中するレーンの 1 つ隣のレーンを選択する傾向が見られるが、2 つ隣のレーンは選択しない。
- ・レーン数 3 の改札口について、3 方向から同規模の群集が改札口に接近した場合、群集のレーン選択確率モデルは次の様になる。

改札口側方から接近する群集の内、8 分の 7 が群集から近いレーンを選択し、8 分の 1 が中央のレーンを選択する。

改札口正面から接近する群集の内、8 分の 6 が中央のレーンを選択し、8 分の 1 ずつが端の 2 レーンを等しく選択する。

### (3) 配置場所と目的地が各レーンの流動量に与える影響

- ・レーン間の流動量について群集の配置場所と目的地の違いによる差は小さい。
- ・各配置条件について目的地の違いによる改札口における流動量の差は小さい。
- ・側方から改札口に接近する単成群集の場合、他の配置条件と比べて流動量が低くなる。
- ・改札口に対して正面から接近する単成群集、並びに 2 方向もしくは 3 方向から接近する各群集が単成群集と同じ幅を持つ 2 群集及び 3 群集の改札口における流動量は同等となる。

### (4) 流動量に基づく肩高での自由度を考慮した 1 レーンあたりの有効幅員

- ・実験により得られた流動量を基に、肩高での自由度を考慮し、肩高以上の側壁を持つ一般的な通路とした場合に想定される改札口の幅員（有効幅員）が 620mm (= 0.62m) であることを求めた。

### (5) 避難計算における改札口の滞留（通過）時間の計算方法

- ・避難計算において改札口全体の幅員を全レーンの合計幅とし、改札口全体を単体の通路として通過時間を求める場合、流動係数は避難計算において開口部に対して規定される 1.5 人/m・s もしくは本実験における改札口の流動量を反映した 1.7 人/m・s、1 レーンあたりの幅員は改札機間の幅 0.55m もしくは有効幅員 0.62m のいずれかを代入することが考えられる。
- ・流動係数を 0.17 人/m・s、幅員を 0.62m とした場合、避難時間は改札口の流動量を反映した値となるが、避難時間は算出される避難時間が上記 4 種類の数値を用いて算出される時間の中で最も短くなる。

- ・流動係数を 0.15 人/m・s、幅員を 0.55m とした場合、改札口全体を単体の通路として求めた通過時間が上記 4 種類の数値を用いて算出される時間の中で最も大きくなり、避難計画上安全を考慮した値と言える。

## 注

- 注 1) 被験者は 8 人毎に 4 列 2 行の 6 グループに分け、1 施行毎にグループの位置を入れ替える。また、被験者の配置場所と目的地の各組み合わせ条件が半数終了した時点で、グループ内の並び順を変更し、群集の内側と外側に配置した被験者をそれぞれ外側と内側に配置するとともにグループ内前方・後方の被験者をそれぞれ後方・前方に入れ替える。これにより被験者の配置を無作為化する。
- 注 2) 各配置条件について、単独群集については列毎、合流群集については配置場所毎に求めた各レーンの通過人数の標準偏差に基づき各平均値の標準誤差を算出したところ、最大で 0.71 人となり、正規分布を仮定した平均値の 95%信頼区間は平均値から大きくとも 1.39 人の上下幅内にあると考えられる。通過人数の母平均は 95%の確率でこの範囲にあると推定でき、通過人数の母平均について推定精度は高いと言える。

---

## 第5章

鉄道駅における合流及び滞留を考慮した避難時間評価手法

---

## 5.1 はじめに

鉄道駅コンコースは、常に利用者の移動が生じており、通行を遮断することは望ましくない場合が多いため、防煙区画は可能となるが多数の防火区画を定めることは困難な形状である。一般的な建築物に用いられる段階的な安全区画の設定は困難な場合があり、建築基準法において規定される建築物に接する部分を除いて水平面上における安全区画の設置義務が規定化されていない。これにより、構外への一斉避難が想定される。

平常時においては目的とする方向に移動する群集が、非常時においては目的とする方向を変更することになる。駅構内での火災時において多数の利用者が一斉に移動することにより、平常時以上の混雑が予想される。多数の利用者が存在する大規模駅では、水平面上における一斉避難を行った場合、避難群集の合流や、ホーム上の階段周囲、階段、通路、改札口といった多数の利用者の移動においてボトルネックとなる部分における混雑が生じ、滞留・減速による避難時間の増加や転倒及び群集事故等の二次災害の発生が懸念される。避難時の混雑状況について検討・評価する必要がある。

日本における建築物を対象とした火災時の避難安全性能評価の方法には、新・建築防災計画指針<sup>1)</sup>(指針法)と避難安全検証法<sup>2)</sup>(検証法)がある。指針法と検証法では方法は多少異なるが、おおむね、避難者数、出口までの歩行距離、出口の開口幅、流動量に基づいて出口通過時間の計算が行われる。鉄道駅改札内の通路部分は一部、建築基準法の適用範囲外であるため、コンコースや改札口の流動について必ずしも避難関係規定により検討がなされるとは限らない。

上記避難計算方法と同様の方法として、法的拘束力はないが、国土交通省鉄道局より定められた「鉄道に関する技術上の基準を定める省令等の解釈基準」<sup>3)</sup>により、地下鉄駅における避難計算方法が定められている。この計算においては、避難経路上の歩行距離と改札口や階段等の開口幅に基づいた通過にかかる時間の算出に基づき最後尾の避難者がかかる避難時間と煙流動性状に応じた避難安全性の照査が行われている。この計算においては、ホーム階及び車両の利用者のみに限定しており、異なる階層のコンコース及び通路上の避難者の存在が、開口部における通過時間の算定に含まれていない。

利用者が多く、ホームと異なる階層に存在するコンコースや通路において利用者が常に存在する鉄道駅においては、当該階における利用者の通路や開口部における滞留や、利用者同士の合流による混雑が生じる可能性がある。避難経路上、避難者の滞在箇所を車両、ホーム、改札内空間、改札外空間の4箇所で大別できる。一斉避難を想定すると、出口から遠い程、他の箇所の避難者が前方に多く存在しているため、前方の避難者が出口等で滞留していた場合、これに合流することで避難時間が延びる可能性がある。ホームや車両に加えて異なる階層に存在する改札内外の利用者を避難計算において考慮する必要がある。利用者の合流等、建築基準法と同様、在館者の合流を考慮した計算方法が必要と考えられる。

さらに、改札口には、車いす使用者等占有幅の広い利用者の移動を円滑にするために、国土交通省令 第 111 号 第 19 条「移動等円滑化のために必要な旅客施設又は車両等の構造及び設備に関する基準を定める省令」（平成 18 年 12 月 15 日公布）に基づき、改札機間の幅 800mm 以上を基本として、広幅員の改札口を設置する場合がある。車いす使用者に着目すると、身体寸法及び歩行速度が健常者と異なることから、避難時において、車いす使用者が広幅員の改札口を通過する場合、後続の健常者の流動に影響を与える可能性がある。

大規模鉄道駅を対象とした避難シミュレーションに基づく避難状況の再現を通して、避難中の混雑状況化で発生する合流により生じる滞留の評価方法の作成を行うことを目的とする。具体的には、多数の利用者が存在する都心の大規模鉄道駅をモデルとしたシミュレーションを行うことにより、混雑及び滞留状況と避難時間に基づき、合流により生じた混雑及び滞留による避難時間の変化を評価する指標を作成する。加えて、評価指標を実際の鉄道駅に用いるために必要となる計算及び計算の使用方法の提案を通して作成した指標の運用方法を示す。

本研究では、上述した様にシミュレーションを用いて避難状況の再現を行う。日常時の鉄道駅においても通勤・通学並びに帰宅時間帯においては混雑状況が生じると考えられ、この調査に基づく滞留状況の把握も考えられるが、日常時と避難時においては利用者の流動状況が異なる。日常利用において利用者は自身の目的とする駅舎内の施設や屋外の空間に向かうため、最短距離にある出口に向かうとは限らない。加えて、出口から車両、ホームに向かう方向への利用者の移動も生じるため、避難計画において想定される避難者の移動方向と逆の方向の流動が生じる。以上より、鉄道駅全体として利用者の流動状況は日常時と非常時において異なる。また、改札口では、非常時において集改札行為は行われないため、改札口は全開放となり、日常時において行われる切符や IC カードの使用動作は生じない。このことにより、日常時と非常時においては改札口における局所的な流動状況も異なり、滞留時間や流動量、歩行速度も異なると考えられる。

また、健常者による追い越し及び改札口の先行通過するための条件を示す式を作成するとともに、災害時要援護者の存在を考慮したシミュレーションを行い、災害時要援護者の有無による改札口通過時の混雑状況に対する影響を評価する。災害時要援護者を同時避難させる場合と安全な場所に待機させた後に避難させる場合の 2 通りについて比較を行う。広幅員の改札口を通過する車いす使用者の群集内における配置及び待機の有無が、改札口における流動量及び混雑に与える影響を把握する。

なお、本章で用いるシミュレーションは、「歩行者シミュレーションシステム **SimTread**」とする。後述する「5.2.1 歩行者シミュレーションシステム **SimTread** の概要」において述べる様に **SimTread** は群集行動及び混雑状況を再現する性能を備えていると考えられる。

## 5.2 シミュレーションに基づく流動量と改札口有効幅員の検証

4章の実験で用いた3レーンの改札口の全体流動量と1860mm通路の流動量を比較することで、求めた有効幅員の妥当性を検証する。1860mm幅の通路における流動量は、歩行者シミュレーションを用いて測定する。シミュレーションは「歩行者シミュレーションシステム SimTread」を用いて実施する。

SimTreadはマルチエージェントモデルであり、各エージェントが予め設定された行動規則に基づき個別に歩行する。加えて、実座標系のモデルであり、座標の間隔をシミュレーション実効前に1mmから設定、変更することが出来る。本研究では、座標の間隔を10mmとする。座標間隔が狭い程、シミュレーションの計算量が多くなるため、建築物や本研究で対象とする鉄道駅におけるシミュレーションを行う場合、歩行者の行動再現、平面図の精度、計算にかかる時間を考慮すると座標間隔を10mmとすることが妥当であると考えられる。このため、本研究においても座標間隔を10mmとしてシミュレーションを実行する。

座標間隔を10mmとしたことから、有効幅員620mm×3レーンの1860mmの幅を持つ通路を再現して実験で用いた3レーンの改札口の全体流動量を比較する。流動量に基づき肩高での自由度を考慮した場合の改札口における1レーンあたりの有効幅員が約620mmとなることが分かった。3レーン分の有効幅員の合計は1860mmとなるが、実験より、3レーンの改札口の流動量と同等なる通路の幅は約1870mmである。単位をmmとした場合における有効幅員の一位を四捨五入した結果によるものである。1レーンあたりの有効幅員を620mmとすると、計算値より4mm少なくなる。改札口において並列するレーン数は多くとも20レーン程度となり、この場合においても通路幅の合計値の差は80mmである。4.7.2において求めた回帰式より流動量を計算すると、四捨五入前後の流動量の差は、1レーンと20レーンそれぞれについて有効幅員を四捨五入した場合の流動量の0.5%と0.6%となる。

以上から、1860mmと1870mm幅の通路について、流動量における差はほとんどなく、実験における3レーンの改札口は1860mm幅の通路と同等の流動量を持つと言える。ここでは、実験で用いた3レーンの改札口の全体流動量と1860mm通路の流動量を比較することで、求めた有効幅員のシミュレーションにおける妥当性を検証する。なお、流動量の算出に用いる計測人数の扱いについては「4.6 配置場所と目的地が各レーンの流動量に与える影響」に従う。

## 5.2.1 歩行者シミュレーションシステム SimTread の概要

SimTread は歩行者をエージェントとしたマルチエージェントモデルであり、各エージェントが予め設定された行動規則に基づき個別に歩行する。群集としての行動は、個々のエージェントの行動によるものであり、実験結果により得られた歩行速度や混雑の影響の再現を可能にするものと考えられる<sup>4)</sup>。加えて、SimTread は実座標系のモデルであり、ネットワークモデル及びメッシュモデルでは困難となるスムーズな歩行者の再現や混雑の評価を行うことも可能であるとされる。SimTread は、既往の研究においてその計算結果の特性、現行の避難計算方法実験との比較、これらに基づく妥当性の検証が行われており、通路における群集の滞留状況を再現できる性能を備えていると言える<sup>5)~8)</sup>。

また、SimTread は CAD 上で図面を作成し、数値や条件等の初期設定情報を入力することによってシミュレーションによる計算を行う。シミュレーションの計算条件として歩行者、空間、目的地を配置した図面を CAD 上に作成し、それぞれについて設定を行う。歩行者、空間、目的地について本項において設定する情報を以下に示す。

### i) 歩行者 (エージェント)

シミュレーションの作成者が個々の歩行者について歩行速度、目指す目的地等の行動を定義することが出来る。

◇最高歩行速度：シミュレーション上における歩行速度の最高値。

◇目的地：歩行者が目指す領域。

### ii) 空間

空間は歩行領域と障害物により作成する。

◇歩行領域：シミュレーション上で歩行者が移動できる領域

◇障害物：シミュレーション上で歩行者が通過出来ない物体

歩行者は設定した目的地から発生するポテンシャルに従い、最短距離を移動する。以下に、シミュレーションの作成例としてシミュレーションの図面、目的地のポテンシャルマップ、シミュレーションの出力映像を示す。

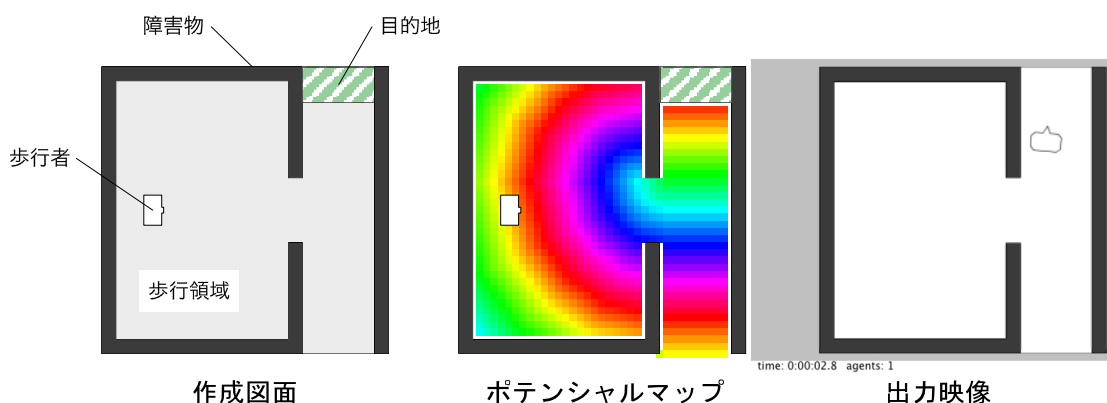


図 5.2.1-1 : SimTread におけるシミュレーションの作成例

## 5.2.2 シミュレーションにおける設定

### (1) 再現空間の設定と計算条件

実験空間について、シミュレーション上必要となる部分を再現する。空間はボトルネックとなる通路と群集の配置場所により構成される。ボトルネックは4種類用意し、実験と同寸法の1100mm通路、1650mm通路、2100mm通路に加えて、通路幅を1860mmとした1860mm通路を作成した。また、実験と同じ寸法で群集の配置場所を作成し、配置場所とボトルネックの間隔を空けた。対象とする空間と通路の種類を以下に示す。

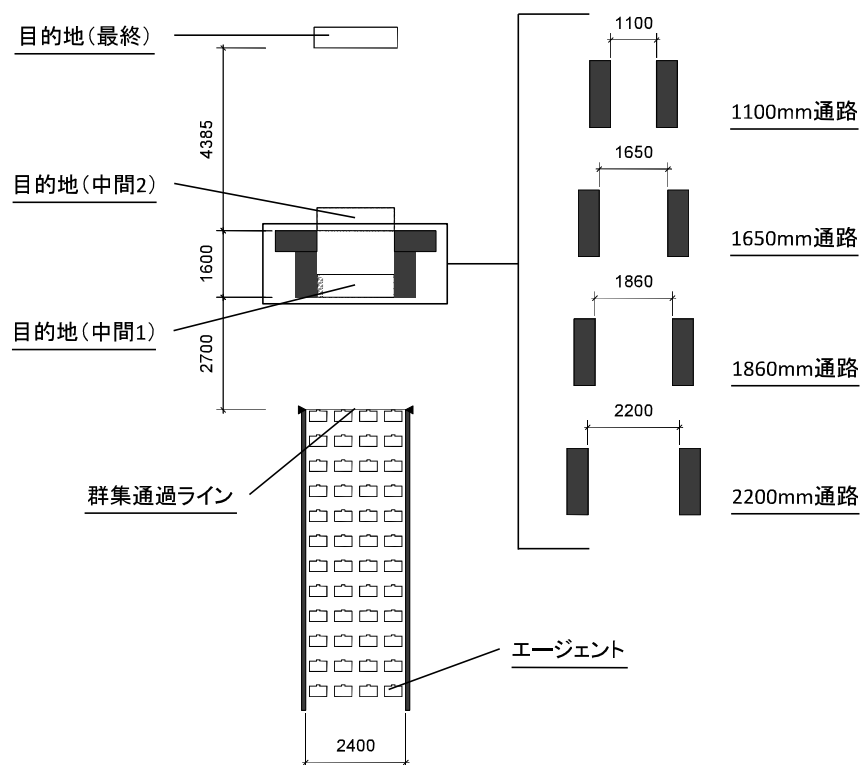


図 5.2.2-1 : 空間設定と通路の種類

### (2) 歩行者の表現行動規則

本項においては、全ての歩行者が同一の形状と寸法を持つ同じオブジェクトで表現される。また、歩行者は設定した目的地から生じたポテンシャルに従い、最短距離を移動する。移動中、歩行者は自身の周囲に衝突判定領域を有し、領域内に障害物及び他の歩行者が存在すると回避・減速・停止を行う。この歩行者の歩行規則の設定については、新・建築防災計画指針及び避難安全検証法に基づき避難計画に適した値を用いており<sup>4)</sup>、本項でもこの設定値を用いている。以下に、歩行者の衝突回避を判定する設定値を示す。



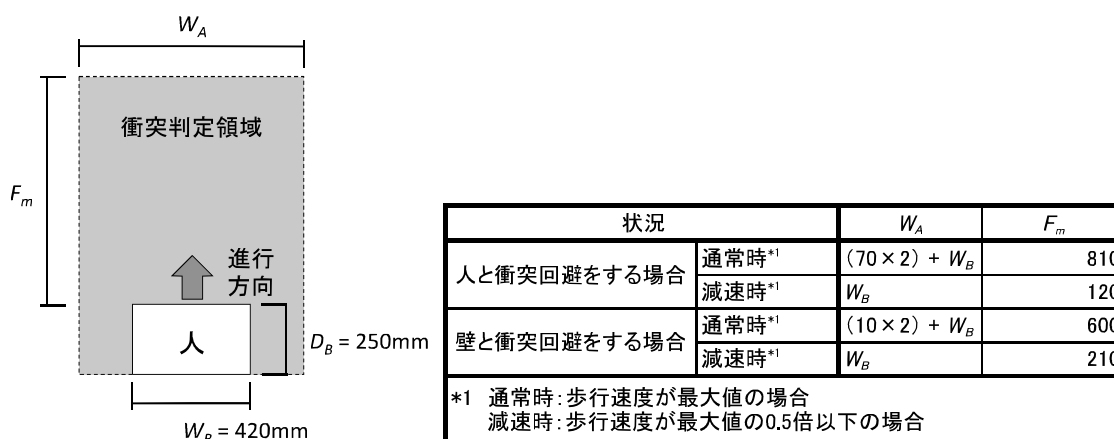


図 5.2.2-1 : 歩行者の衝突判定領域<sup>4)</sup>

### (3) 歩行者の配置及び行動設定

本項におけるシミュレーションは、ボトルネックに対して正面から進行する単独群集を再現するものである。歩行者は実験と同様に48人を4列12行で所定の配置場所に整列させる。シミュレーション上の歩行者は、実験と同様に群集通過ラインを必ず通過することとし、通過しない限り配置場所の外側に出ない様に設定した。

当該シミュレーションにおいて再現する歩行者は実験の被験者である。実験に基づき、歩行者の歩行速度の最高値を決定する。速度計測の対象を他の被験者が前方にいない被験者とする。実験被験者については群集の状態であるため先頭以外の被験者は自身の前及び側方の被験者により先頭の被験者と比較して速度が低下する。したがって、群集としての歩行速度は先頭の被験者により決定される。これと同様に、シミュレーションにおける歩行者も歩行者同士の相互影響による速度低下が生じる。このため、シミュレーション上の最高歩行速度に先頭の被験者の定常的歩行速度を用いることとする。

実験映像より、先頭の被験者について速度が上昇する歩き出し1歩目を目安に、以降ネックまでの速度の時間的推移が定常状態になると見られる部分を用いて最高歩行速度を求める。0.1秒間隔の瞬間的な歩行速度を平均することで1人の被験者の平均速度を算出し、それをボトルネック毎に平均する。ボトルネック毎の平均を合計して平均することで算出した全体的な平均値1.23m/sをシミュレーション上の最高歩行速度として設定する。ボトルネック毎の平均値及び全体平均値をそれぞれの標準偏差を以下に示す。

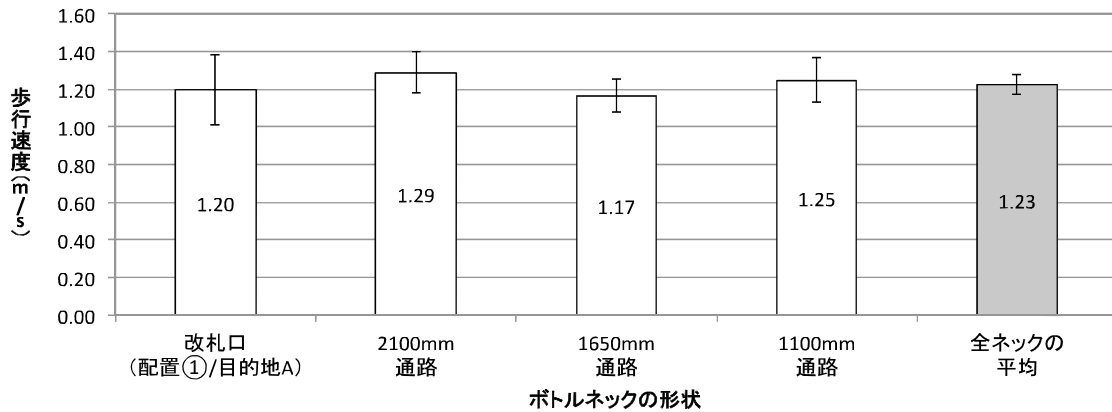


図 5.2.2-2 : 各ボトルネック条件下における群集先頭の歩行速度の平均値

### 5.2.3 各通路形状の流動量の比較に基づく有効幅員の検証

実験における改札口の全体流動量の平均値及び、実験とシミュレーションにおける通路の流動量の平均値を求めた。シミュレーションについては、10 試行の平均値を算出した。流動量の平均値を以下に図として示す。

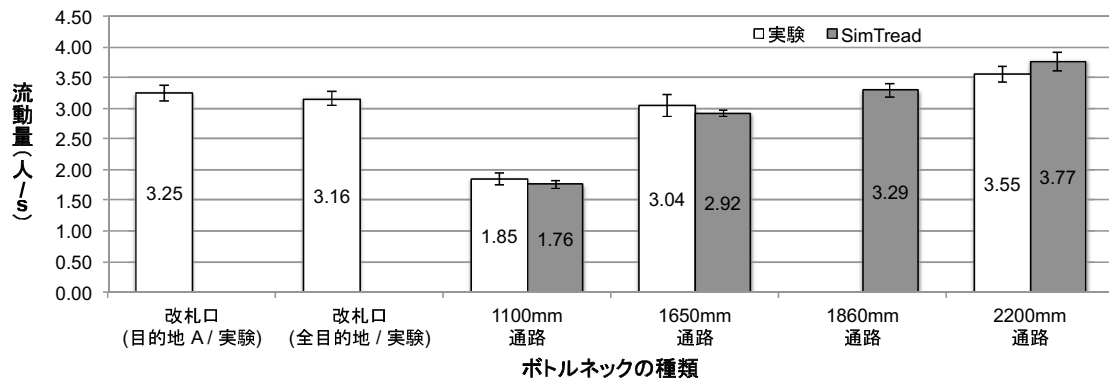


図 5.2.3-1 : 実験及びシミュレーションにおける改札口の全体流動量及び通路の流動量の平均値

実験により、改札口 1 レーンを肩高以上の通路として捉えた時に、流動量の観点から肩高の自由度を考慮した改札口 1 レーンあたりの有効幅員は 620mm であることを把握している。実験における全目的地条件の試行により得られた改札口の全体流動量は 3.16 人/s、目的地条件 A の全体流動量は 3.25 人/s となり、となり、シミュレーションにおける 1860mm 通路の流動量に近似する。また、全目的地条件の全体流動量は目的地条件 A の全体流動量と比較して、低くなるが、その差は小さい。1860mm の通路幅は 1 レーンあたりの有効幅員 620mm の 3 倍であることから、3 レーンの改札口は 1860mm 幅の通路と同等の流動量を持つと考えられる。

以上より、肩高での自由度を考慮した 1 レーンあたりの有効幅員 620mm は、流動量の観点から肩高以上の側壁を持つ 1 通路の幅と同等であると考えられる。

## 5.3 鉄道駅避難シミュレーションにおける設定条件

### 5.3.1 再現空間の設定と避難者の配置

#### (1) 再現空間の設定

対象空間：都内大規模鉄道駅 地下改札階

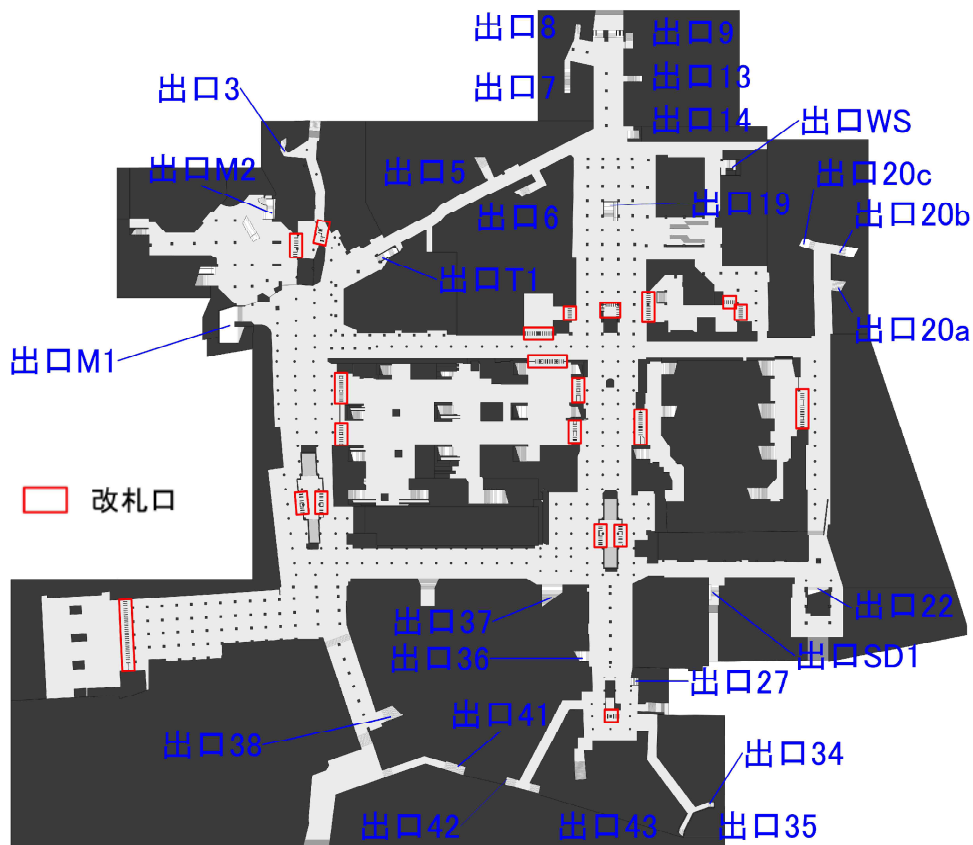


図 5.3.1-1：対象空間の形状

再現する空間は、都内に存在する実際の大規模鉄道駅における地下改札階とする。空間は、改札口、出口、階段、通路等における実際の寸法を反映し、作成した。また、対象とする階は、屋外直通階段及び外部開放空間に接続する階段を有し、建築物における避難階に相当する。

(2) 避難者の配置

避難者数：改札内 1421 人 / 改札外 5047 人

避難者の初期分布：一様配置 (0.25 人/m<sup>2</sup>)

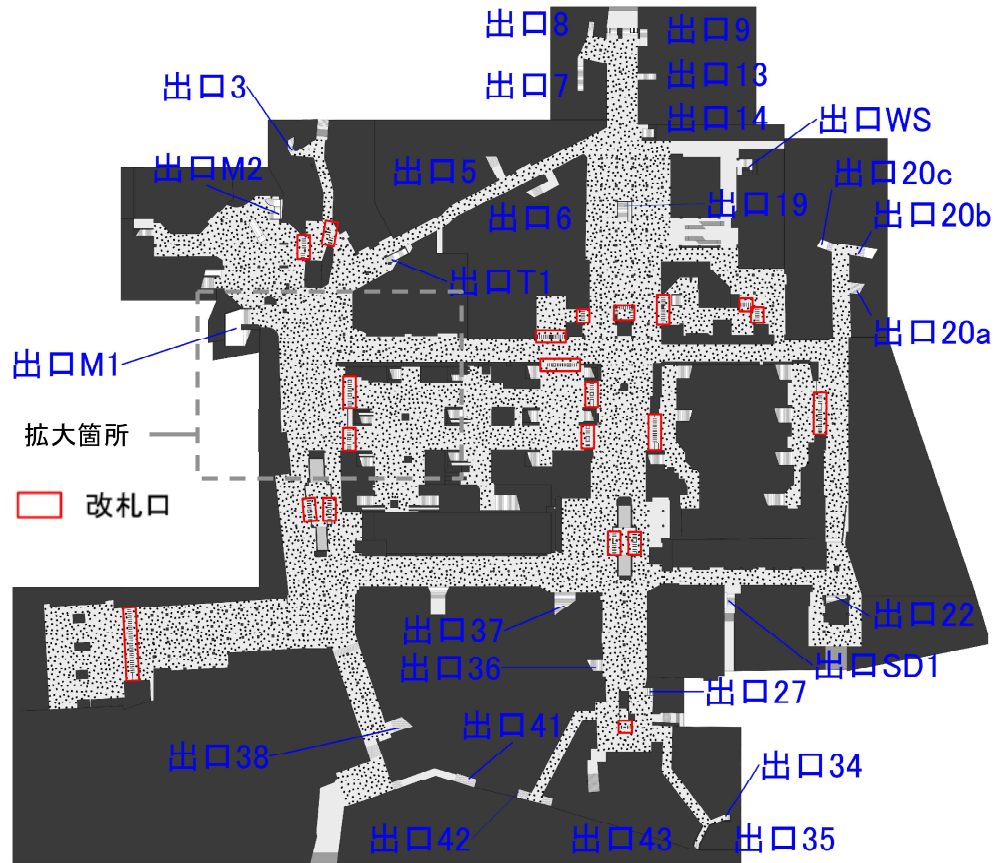


図 5.3.1-2：人配置状況

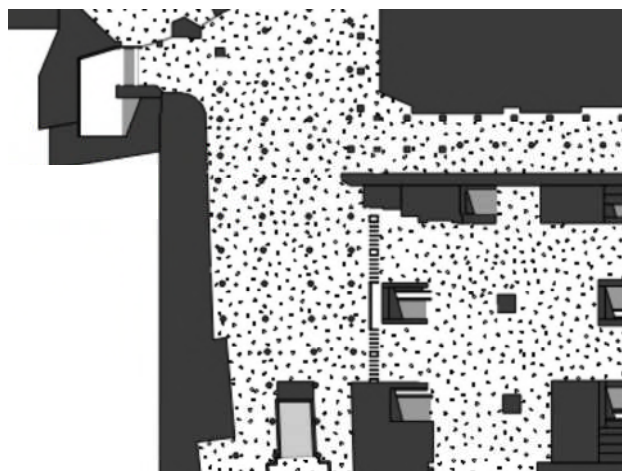


図 5.3.1-3：人配置状況の拡大図

避難者の密度を改札内外ともに 0.25 人/m<sup>2</sup>とする。以下にその理由を示す。

改札内外ともに常に多様な目的の利用者が移動している鉄道駅において、実際の利用者数を計測・算定することは困難となる。消防法施行令別表第一の 10 項に定められている鉄道駅の収容人員は従業員数のみである。飲食店・売店が設置されている場合が多いが実際の利用者数は算定対象とはなっていない。(防火上の区画がなければ同表 16 項の複合用途として扱う。)本報では、準ずる用途として収容人員を同法施行規則第一条の三における令別表第一(四)項に掲げる百貨店等における 2 項ロ(百貨店における従業者以外の使用する通路等)を仮定し、その算定方法を使用する。

なお、全ホーム階避難者の改札階への流入完了時点を想定する。本検討では、改札内外の避難者の合流に着目することから、ホーム階における避難者は屋外避難出口の接続階となるシミュレーション対象階に流入を完了したものとする。

### 5.3.2 歩行者の行動と避難経路の設定

#### (1) 歩行者の表現及び行動規則

本項においては、全ての歩行者が同一の形状と寸法を持つ同じオブジェクトで表現されるとともに同一の行動規則を持つ。歩行者の表現及び行動規則については「5.2.2 シミュレーションにおける設定 (2)歩行者の行動規則」に従う。

#### (2) 最高歩行速度

シミュレーションにおける避難者の最高歩行速度を  $1.5\text{m/s}$  とする。根拠を以下に述べる。

歩行速度について、過去に複数の研究<sup>9)~15)</sup>が為されている。歩行速度は、環境や心理状態、身体能力により異なり、 $0.5\sim 2.0\text{m/s}$  程度の幅がある。ここでは、特にラッシュアワー等に多い通勤・通学を行う健常者の歩行を想定する。加えて、本検討で用いる SimTread はマルチエージェントモデルであり、シミュレーション上の個々の避難者（エージェント）が独立して歩行を行うことから、設定する歩行速度は自由歩行速度を想定する。著者が実際の駅において実測・算出した自由歩行状態における歩行速度の平均値が  $1.5\text{m/s}$  となり<sup>16)</sup>、上記既往研究における 10 代後半～20 代の健常者の歩行速度の範囲内となるため、これを用いることとする。

#### (3) 避難口の設定と避難者の行動

##### (3)-1 避難口の設定

避難者の最終的な目的地となる避難口は、鉄道事業者及び消防により想定された避難経路上の屋外直通階段及び外部開放空間に接続する階段（出口）とする。その途中経路として改札内の利用者は改札口を通過する。現状、鉄道駅において火災等により屋外へ避難する必要性が生じた場合、鉄道事業者による避難計画では駅利用者を屋外避難出口から駅施設外に誘導することになっている。その際、改札内の利用者を、途中経路として屋外避難出口に接続する階に設置された改札口に誘導する。改札内の避難者は改札口通過後に避難口を目指すものとする。

### (3)-2 ブロックの分割

避難口の位置と通路形状を基に、空間を 6 ブロックに分割し、避難者はブロック内で最短の避難口を目指すものとする。以下に、ブロックの分割状況を図示するとともに、空間の分割方法について述べる。

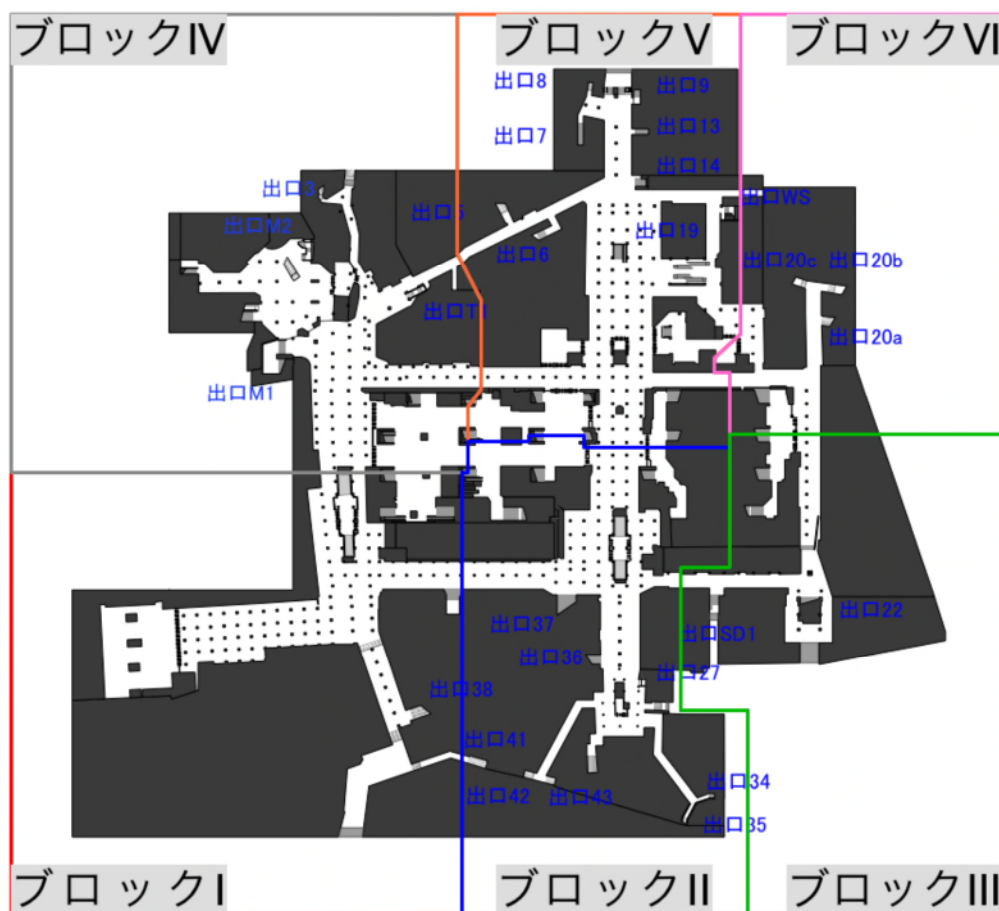


図 5.3.2-1 : シミュレーションにおける避難ブロック設定

鉄道駅において避難口となる屋外に通じる出口の位置は、駅の構造や線路で分けられる駅構外の土地利用と関係しており、駅勢圏に関する研究も為されている<sup>17)~23)</sup>。線路で分けられることにより、土地が分断されるが、駅利用者が分断された土地のいずれの側にも向かえる様に出口の位置が考慮されている。出口は駅舎外部への移動に加え、駅舎の構造、想定される利用者の主な屋外の目的地、利用者の分散、屋外街路の幅を考慮し、主に外周部に分散して設置される。ただし、駅舎が地下に存在する場合は駅舎の上部に通じることもある。さらに、案内に具体的な地域名、施設名等が表記されることで、日常利用において利用者が目的とする方向に向かえる様に配慮が為されている。このため、鉄道駅の出口配置には空間的な方向性が存在すると考えられる。

多くの利用者が利用する大規模鉄道駅では複数の出口が設置される。出口は駅舎の外周に向かって分散すると考えられ、本章におけるシミュレーション対象駅は外側に多数の出口が

分散して配置されている。対象駅の出口配置に着目して空間を分けると、まず、上図で示す所のブロックⅠ～ⅢとブロックⅣ～Ⅵの上下方向に大きく分けられる。この上下に縦断する3本の通路が存在し、この通路上及びこれに接続する通路上に出口が配置されることから、この通路間で出口の配置される空間が分けられる。以上より、出口配置の方向性に従い、空間が6つに分割された。なお、主要通路上の避難者が近接する交差点及び出口に2方向に分かれる様に分割した。ブロックを分割する通路上に途中で階段が存在する場合には、いずれか一方のブロックに属するものとした。

### (3)-3 避難者の出口選択

避難者はブロック内で最短の避難口を目指すものとする。改札内の避難者は近接する改札口を目指し、改札口通過後は改札外避難者の行動設定に従う。ブロックを分割する通路上に階段がある場合には、避難者はその階段を目指す。

また、避難口が設置された通路及び交差点における避難者の避難口選択方法を、この空間に避難開始時に配置された避難者と、別の空間から避難して来る避難者に分けて設定する。空間内に避難開始時に配置された避難者は空間内で最も近い避難口を目指す。この際、空間外の避難口の方が近い距離に存在する場合でも空間内の避難口を目指すものとする。空間外から避難口の設置された空間に避難して来た避難者については、避難口の距離に応じて目指す人数を変える。最も近い避難口を基準として距離が遠くなるに従い、目指す避難者数が半減するものとする。最も近接する避難口を1とした場合、遠い避難口は1/2、さらに遠い避難口は1/4となる。なお、避難口が避難者の進入する空間端部から同距離上にあるとみなせる場合は、同数の避難者が向かうものとする。図5.2.2-2に示した例では、3つの避難口（昇り階段）の内、最も近接する1ヶ所に1/2、遠い等距離の2ヶ所に1/4ずつの避難者が向かう。

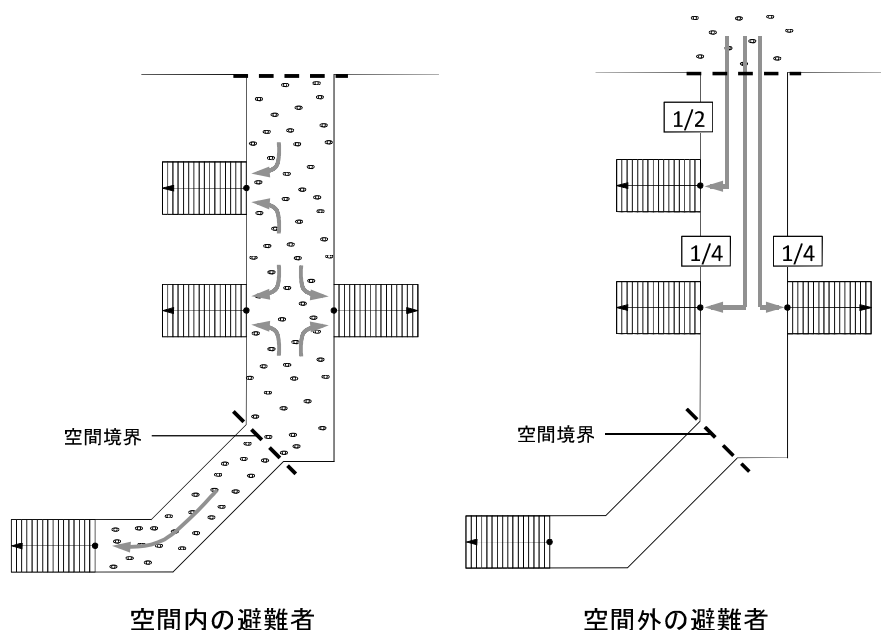


図 5.3.2-2 : 避難者の避難口選択設定



### 5.3.3 水平面上の順次避難における避難順序の設定

シミュレーションを用いて、合流による混雑及び滞留状況による避難時間の変化を確認するため、改札口を順次避難フェーズの設定境界とし、改札内の避難者に待機時間を与えた水平面上の順次避難を実施する。これにより、改札内外の避難者が合流するまでの時間を段階的に変化させ、改札内の避難者が避難経路上前方にいる改札外の避難者の存在により受ける、避難時間の遅延及び滞留・混雑の影響を確認する。

一斉避難と改札内外における避難開始時間の差を段階的に変化させた順次避難の避難状況の差異を確かめるため、本シミュレーションでは次の6ケースを実施する。

ケース(0) 改札内のみのケース

ケース(A) 階一斉避難（改札内の避難開始時間 = 0s）

ケース(B) 改札内の避難開始時間+30s

ケース(C) 改札内の避難開始時間+60s

ケース(D) 改札内の避難開始時間+90s

ケース(E) 改札内の避難開始時間+120s

## 5.4 鉄道駅避難シミュレーションによる水平面上の順次避難状況の解析結果

### 5.4.1 各ブロックにおける避難完了時間

各ケースについて、各ブロック内で全避難者が階段に流入を完了する時間（階段流入完了時間）と水平面上の全避難者が階段への流入を完了する時間（階避難完了時間）を求めた。以下に、各ケースの階段流入完了時間と階避難完了時間を示す。

表 5.4.1-1：各ケースにおける階段流入完了時間と階避難完了時間

	改札内避難者の 避難開始待機時間[s]	階段流入完了時間[s]						階避難完了時間[s]
		ブロックⅠ	ブロックⅡ	ブロックⅢ	ブロックⅣ	ブロックⅤ	ブロックⅥ	
ケース(A)	0	149	94	72	109	142	70	149
ケース(B)	30	170(21)	125(31)	104(32)	130(21)	136(-6)	89(19)	170(21)
ケース(C)	60	201(31)	156(31)	133(29)	161(31)	159(23)	119(30)	201(31)
ケース(D)	90	233(32)	184(28)	165(32)	190(29)	186(27)	151(32)	233(32)
ケース(E)	120	260(27)	213(29)	194(29)	220(30)	215(29)	179(28)	260(27)
ケース(O)	0	140	93	71	99	99	59	140

※( )内の秒数は改札内の避難開始待機時間が30s短いケースとの階段流入完了時間の差

ケース(A)におけるブロックⅠⅣⅤⅥ、ケース(B)におけるブロックⅤが高い値を取る。上記の避難待機時間が30秒長いケースと比較して階段流入完了時間が避難待機時間の差より低くなったケースと同じである。

### 5.4.2 各ブロックにおける合流による遅延時間

各ブロックにおいて、改札内外の避難者が合流して滞留が生じた場合、改札内の避難者の前方にいる改札外の避難者の存在により、改札内の避難者のみが避難する場合と比較して、改札内の避難者の避難時間が長くなる。これにより、各ブロックの階段流入完了時間も長くなる。

また、ケース(B)(C)(D)(E)は改札内避難者の待機時間があり、上述の滞留に加えて待機による時間の分だけ、ケース(O)より避難時間が増加する。各ケースの階段流入完了時間から改札内避難者の避難開始待機時間を除いたものと改札内のみのケースの階段流入完了時間の差が合流による避難時間の遅延を表すことになる。

以上より、各ブロックについて改札内外の避難者の合流で生じた滞留による階段流入完了時間の遅延を、合流遅延時間として下式により定義する。

$$T_d = t_g - t_p - t_i \quad (\text{式 1})$$

$T_d$  : 合流遅延時間[s]    $t_g$  : 階段流入完了時間[s]

$t_p$  : 避難開始待機時間[s]    $t_i$  : 改札内のみのケースにおける階段流入完了時間[s]

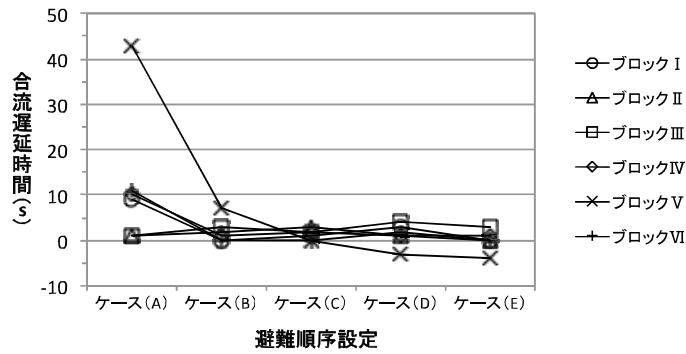


図 5.4.2-1：各ブロックにおける合流遅延時間

ケース(A)におけるブロック V の合流遅延時間は 43 秒となり、合流による滞留が発生していることが分かる。

### 5.4.3 各ブロックにおける単位時間あたりの階段流入者数

各ブロックの単位時間あたりの階段流入者数（階段流入量）を、各ブロックの階段流入完了時間と避難者数を用いてケース毎に算出した。各ブロックの避難者数と各ブロックにおけるケース毎の単位時間あたりの階段流入量を以下に示す。

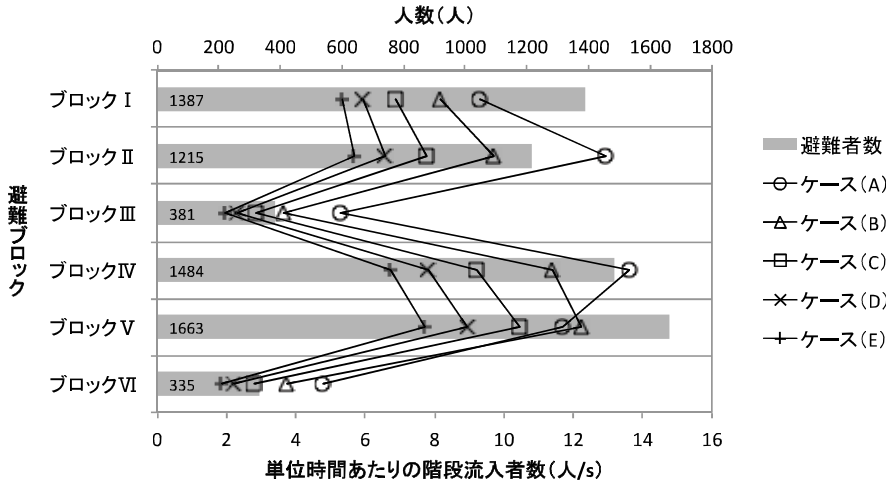


図 5.4.3-1：各ブロックにおける避難者数と単位時間あたりの階段流入量

ブロック V のケース(A)の値は同ブロックのケース(B)より低くなる。いずれのブロックの避難者数もケース間において差はないことから、改札外避難者のネックによる滞留もしくは改札内外両方の避難者の合流による滞留が生じて避難時間が長くなる限り、改札内避難者の待機時間が延びるに従って下がる。ブロック V では 1 階段に対して階段幅員の許容量以上の改札外避難者が集中したことで滞留が生じている。改札外避難者の最短距離にある階段に偏りがあることが要因である。

#### 5.4.4 各ブロックにおける流入者数に対する合流の影響

各ブロックにおいて、改札内外の避難者が合流して滞留が生じた場合、改札内の避難者の前方にいる改札外の避難者の存在により、改札内の避難者のみが避難する場合と比較して、改札内の避難者の避難時間が長くなる。これにより、階避難完了時間も長くなる。合流による避難時間の遅延は「5.4.2 各ブロックにおける合流による遅延時間」において合流遅延時間として定義した。

各ブロックにおいて、改札内外の合流が生じず改札外の避難者の滞留により改札内の避難者の避難が阻害されないとすると、ケース(E)の階段流入完了時間から改札内避難者の待機時間を引いたものが改札内のみの階段流入完了時間と等しいことが想定される。

$$t_i = t_g' - t_p \quad (\text{式 2})$$

$t_g'$  : 合流による滞留の生じない場合における階段流入完了時間[s]

$t_p$  : 避難開始待機時間[s]     $t_i$  : 改札内のみのケースにおける階段流入完了時間[s]

ここで、避難開始時間  $t_p$  はケース毎に 30 秒間隔で増加させていることから ケース (E)(D)(C)(B)(A) の順に  $n=1,2,3,4,5$  として、上式を以下の様に定義できる。

$$t_i = t_g'(n) - 30(5 - n) \quad (\text{式 3})$$

(E,D,C,B,A の順に  $n=1,2,3,4,5$ )

ケース(E)の場合、改札内の避難者と改札外の避難者の合流が生じないことが確認されていることから、上式より以下の式が成り立つ。

$$t_i = t_{g(1)} - 120 \quad (\text{式 4})$$

式 4 より  $t_i$  を代入すると式 3 は以下の様になる。

$$t_g'(n) = t_{g(1)} - 30(n - 1) \quad (\text{式 5})$$

(E,D,C,B,A の順に  $n=1,2,3,4,5$ )

ここで、式 5 の階段流入完了時間  $t_g'(n)$  は、合流による滞留の生じない場合の階段流入完了時間であることから、合流除外階段流入完了時間として以下の様に定義する。

$$t_{gr(n)} = t_{g(1)} - 30(n - 1) \quad (\text{式 6})$$

$t_{gr}$  : 合流除外階段流入完了時間[s]

(E,D,C,B,A の順に  $n=1,2,3,4,5$ )

すなわち、ケース(E)の階段流入完了時間  $t_{g(1)}$  [s]からケース(E)の避難開始待機時間と各ケースの避難開始待機時間  $t_{p(n)}$ [s]の差分を除いた値が、改札内の避難者が合流による影響を受けずに避難を完了した値と等しくなる。

ここで、各ブロックについて、改札内外の合流によって生じた滞留による階段流入完了時間への影響を除外した階段室への単位時間あたりの流入量を滞留除外流入量とする。滞留除外流入量は下式で表せる。

$$\Delta N_{be(n)} = N / t_{gr(n)} \quad (\text{式 7})$$

$\Delta N_{be}$  : 滞留除外流入量[人/s]  $N$  : 避難者数[人]

$t_{gr}$  : 合流除外階段流入完了時間[s]

(E,D,C,B,A の順に  $n=1,2,3,4,5$ )

式 6 を式 7 に代入すると、滞留除外流入量  $\Delta N_{be}$  は以下の様になる。

$$\Delta N_{be(n)} = N / \{t_{g(1)} - 30(n - 1)\} \quad (\text{式 8})$$

$$= (N / t_{g(1)}) \times [t_{g(1)} / \{t_{g(1)} - 30(n - 1)\}] \quad (\text{式 9})$$

ここで、 $n = 1$  の時、

$$\Delta N_{be(1)} = N / t_{g(1)} = \Delta N_{b(1)} \quad (\text{式 10})$$

改札内の避難者と改札外の避難者の合流が生じないことが確認されていることから、上式は成り立つ。

次に、 $1 \leq k \leq n$  の  $k$  に対して、 $n = k$  の時、式 9 が成り立つと仮定すると、 $n = k+1$  の時、

$$\begin{aligned} & (N / t_{g(1)}) \times [t_{g(1)} / (t_{g(1)} - 30k)] \\ &= (N / t_{g(1)}) \times [\{t_{g(1)} - 30(k-1)\} / \{t_{g(1)} - 30k\}] \times [t_{g(1)} / \{t_{g(1)} - 30(k-1)\}] \\ &= \Delta N_{be(k)} \{t_{g(1)} - 30(k-1)\} / \{t_{g(1)} - 30k\} \\ &= \Delta N_{be(k)} \{1 + 30 / (t_{g(1)} - 30k)\} \quad (\text{式 11}) \\ &= (N / t_{gr(k)}) (t_{gr(k)} / t_{gr(k+1)}) \quad (\text{式 6,7 より}) \\ &= N / t_{gr(k+1)} = \Delta N_{be(k+1)} \quad (\text{式 7 より}) \end{aligned}$$

よって、 $n = k+1$  の時、式 9 は成り立ち、式 9 は自然数  $n$  に対して成り立つ。

式 11 より、式 9 は以下の様に変形できる。

$$\Delta N_{be(n)} = \Delta N_{be(n-1)} \times [1 + 30 / \{t_{g(1)} - 30(n - 1)\}] \quad (1 \leq n \leq 5)$$

$\Delta N_{be}$  : 滞留除外流入量[人/s]     $\Delta N_b$  : 階段流入量[人/s]

$t_g$  : 階段流入完了時間[s]

(E,D,C,B,A の順に n=1,2,3,4,5)

以上より、滞留除外流入量  $\Delta N_{be(n)}$  [人/s]は、避難開始待機時間を等差の段階をつけて検討する際、連続する 2 項の関係をを用いて表すことも出来る。

滞留除外流入量からの階段流入量の乖離度を以下の式により定義する。

$$\varepsilon (n) = \Delta N_b(n) / \Delta N_{be(n)}$$

$\varepsilon$  : 乖離度     $\Delta N_{be}$  : 滞留除外流入量[人/s]     $\Delta N_b$  : 階段流入量[人/s]

(E,D,C,B,A の順に n=1,2,3,4,5)

また、上式は以下の様に変形できる。

$$\varepsilon (n) = (N / t_{g(n)}) / (N / t_{gr(n)})$$

$$= t_{gr(n)} / t_{g(n)}$$

$$= \{t_{g(1)} - 30(n - 1)\} / t_{g(n)}$$

乖離度  $\varepsilon (n)$ は避難時間の関数として表すことが出来る。

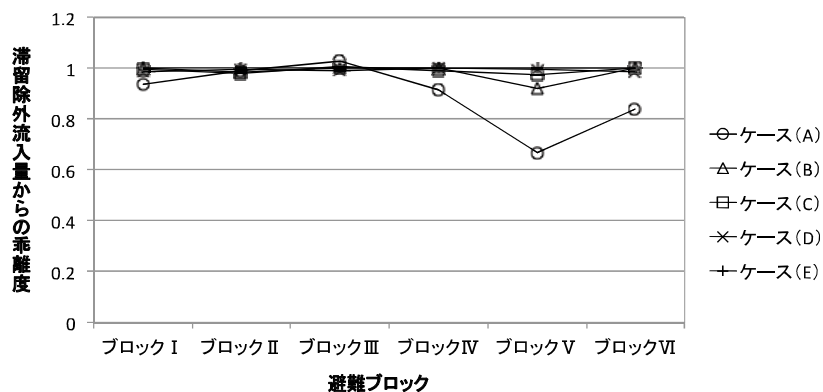


図 5.4.4-1 : 階段流入量の滞留除外値からの乖離度

滞留除外流入量  $\Delta N_{be(n)}$  からの乖離度  $\varepsilon_{(n)}$  は、1 より大きい場合は合流により改札内の避難者の階段流入が阻害されずに改札内外の避難者が合流したことで階段流入量が増加したことを示し、1 より小さい場合は合流による滞留で改札内の避難者の階段流入が阻害されたことを示す。

乖離度  $\varepsilon_{(n)}$  は、合流遅延時間が生じているケース(A)のブロック I IV V VI 及びケース(B)のブロック V で 1 より小さくなる。滞留による遅延が生じている。合流遅延時間が 10 秒前後のケース(A)のブロック I IV VI 及びケース(B)のブロック V では乖離度  $\varepsilon_{(n)}$  が、それぞれ 0.94、0.92、0.84、0.92 となる。合流遅延時間が 40 秒となり最も高くなるケース(A)のブロック V では乖離度  $\varepsilon_{(n)}$  が 0.67 となる。合流による滞留で階段流入完了時間が遅くなり、その影響が他のブロックより大きいことを示している。

なお、改札内外の合流によって生じた滞留による階段流入完了時間への影響を除外した階段室への単位時間あたりの流入量を滞留除外流入量  $\Delta N_{be(n)}$  と、合流による滞留で避難者の出口流入が阻害されたことを示す乖離度  $\varepsilon_{(n)}$  を一般化した場合、以下の様に定義できる。

$$\begin{aligned}\Delta N_{be(n)} &= N / \{t_{g(1)} - t_{int}(n - 1)\} \\ &= \Delta N_{be(n-1)} \times [1 + t_{int} / \{t_{g(1)} - t_{int}(n - 1)\}]\end{aligned}$$

$\Delta N_{be}$  : 滞留除外流入量[人/s]     $N$  : 避難者数[人]

$t_g$  : 階段流入完了時間[s]

$t_{int}$  : 一定間隔で変化させた避難開始待機時間の変化間隔[s]

( $n = 1, 2, 3 \dots$ )

$$\begin{aligned}\varepsilon_{(n)} &= \Delta N_{b(n)} / \Delta N_{be(n)} \\ &= \{t_{g(1)} - t_{int}(n - 1)\} / t_{g(n)}\end{aligned}$$

$\varepsilon$  : 乖離度     $t_g$  : 階段流入完了時間[s]

$t_{int}$  : 一定間隔で変化させた避難開始待機時間の変化間隔[s]

( $n = 1, 2, 3 \dots$ )

※自然数  $n(1 \leq n)$  は、合流による滞留が生じない場合を  $n=1$  とする。 $n$  は  $t_{int}$  の間隔で避難開始待機時間が減少するに従い、1 ずつ増加し、避難開始待機時間が 0 秒の場合を最大値とする。

#### 5.4.5 各ブロックにおける歩行速度割合と滞留評価指標の比較

滞留が生じることで、避難者が停止・減速する必要が生じることから、歩行速度には滞留状況が反映される。各ブロックについて、避難開始から完了までの間に避難者がとった歩行速度の0.1m/s毎の割合をケース毎に求めた。歩行速度の計測は1秒毎とし、歩行速度は設定により0m/s以上、1.5m/s以下の値をとる。ここでは、各ブロックについて、ケース毎の歩行速度の割合を用いて合流による滞留状況を確認するとともに、合流遅延時間と乖離度が滞留状況を示すことを確認する。各ブロックにおけるケース毎の歩行速度割合を図示する。

ブロックⅠの歩行速度割合は、ケース(A)のみ合流の生じるケース(E)と比較して、1.1m/s以下の速度が多く、最高歩行速度1.5m/sが少ない。ケース(A)のみ合流による滞留が生じている。また、ケース(A)において合流遅延時間が9秒となり、乖離度が0.94となる。その他のケースについては、合流遅延時間は0秒もしくは0秒に近似し、乖離度は1もしくは1に近似する。ブロックⅠの合流遅延時間及び乖離度からは、ケース(A)のみ合流による滞留の発生が認められる。

ブロックⅡ及びⅢの歩行速度割合は、ケース間に差が見られない。合流の生じないケース(E)と他のケースの差が見られないことから、合流による滞留が生じていないことが確認できる。合流遅延時間は0秒もしくは0秒に近似し、乖離度は1もしくは1に近似する。合流遅延時間及び乖離度からも、全ケースについて合流による滞留の発生が認められない。

ブロックⅣの歩行速度割合は、ケース(A)のみ合流の生じるケース(E)と比較して、1.1m/s以下の速度が多く、最高歩行速度1.5m/sが少ない。ケース(A)のみ合流による滞留が生じている。また、ケース(A)において合流遅延時間が10秒となり、乖離度が0.92となる。その他のケースについては、合流遅延時間は0秒もしくは0秒に近似し、乖離度は1もしくは1に近似する。ブロックⅣの合流遅延時間及び乖離度からは、ケース(A)のみ合流による滞留の発生が認められる。

ブロックⅤの歩行速度割合は、ケース(A)(B)(C)間において避難開始待機時間が増加するに従って停止状態(0m/s)が減少し、最高歩行速度(1.5m/s)が増加する。ケース(C)において合流による滞留が生じなくなる。また、ケース(A)及び(B)において合流遅延時間がそれぞれ43秒と7秒となり、乖離度が0.67と0.92となる。ケース(C)(D)(E)については、合流遅延時間は0秒もしくは0秒に近似し、乖離度は1もしくは1に近似する。ブロックⅤの合流遅延時間及び乖離度からは、ケース(A)(B)において合流による滞留の発生が認められる。

ブロックⅥの歩行速度割合は、ケース(A)のみ合流の生じるケース(E)と比較して、1.1m/s以下の速度が多く、最高歩行速度1.5m/sが少ない。ケース(A)のみ合流による滞留が生じている。また、ケース(A)において合流遅延時間が11秒となり、乖離度が0.84となる。その他のケースについては、合流遅延時間は0秒もしくは0秒に近似し、乖離度は1もしくは1に近似する。ブロックⅥの合流遅延時間及び乖離度からは、ケース(A)のみ合流による滞留の発生が認められる。

歩行速度の観点から、合流遅延時間及び乖離度が滞留状況を示すことを確認出来た。



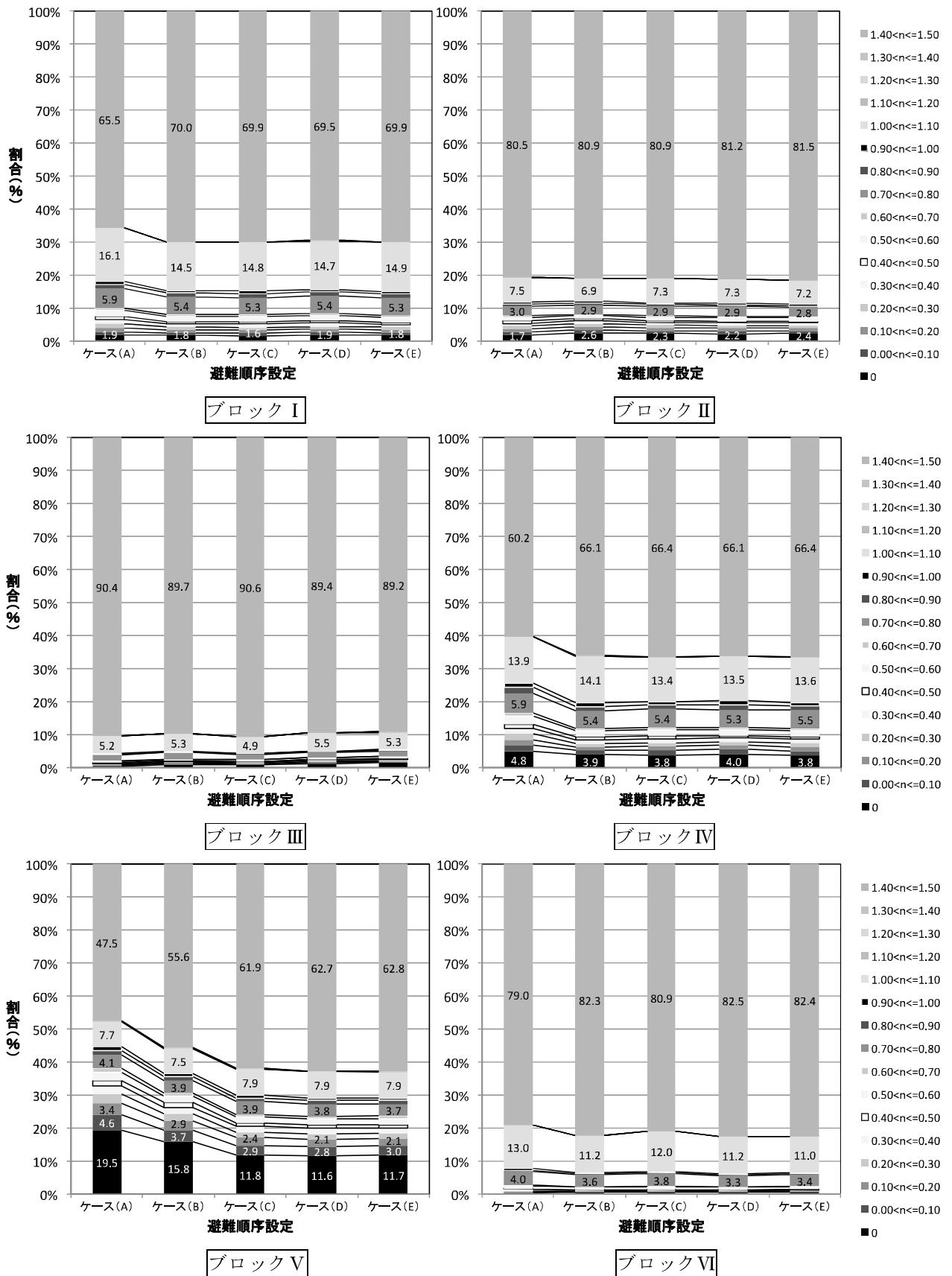


図 5.4.5-1 : 各ブロックにおけるケース別歩行速度割合

## 5.5 合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価のための指標の作成

「5.4 鉄道駅避難シミュレーションによる水平面上の順次避難状況の解析結果」において、水平面上の順次避難を行う場合について、改札内外の避難者の合流により生じる滞留と改札内の避難者が、避難経路上前方にいる改札外の避難者の存在により受ける避難時間の遅延及び階段（出口）流入の阻害を評価する指標を作成した。この指標は、改札内避難者の避難開始待機時間を含む。改札内の避難者に待機時間を与えた水平面上の順次避難について、混雑及び滞留状況による避難時間の変化を確認するためである。

実際の避難においては、火災発生場所により避難可能な経路が異なると考えられるが、ホーム、改札内もしくは改札外のコンコース及び通路のいずれについても一斉避難が想定される。高層建築物の様に、防火区画により火や煙の侵入を防ぎ避難上の安全性が担保された避難階段を用いるのであれば、出火階あるいは出火階と直上階を優先的に避難させ、他階を待機させる順次避難が、出火場所の避難者の円滑な避難と混雑緩和に有効となる。高層建築物の場合は、出火階と異なる階への火や煙の侵入は、床や天井、避難階段もしくは附室に設けられた防火区画により防がれるため、出火階以外の階における危険は出火階と比較して小さい。また、避難開始時において、避難階段には、階段室への流入を阻害する程の利用者数は存在しない。このため、順次避難により全館避難の初期時に避難することで、出火階の避難者は階段室への流入を他の階の避難者に阻害されない。

しかしながら、鉄道駅の避難経路は避難口から遠い方から、ホーム→改札内コンコース・通路→改札口→改札外コンコース・通路→出口（避難口）→屋外となっており、屋外から遠い空間程、避難時間が長くなる。遠い程、火や煙に対する曝露の可能性も高くなるため先に避難する必要が生じる。しかしながら、避難経路と日常動線が重複しており、屋外に近接している改札外空間の利用者以外、他の利用者が前方に存在していることから、火災発生場所の空間の避難者のみを先に屋外に逃がすことは困難となる。出口から遠い程、他箇所の避難者が避難経路前方に多く存在しているため、前方の避難者が出口等で滞留していた場合、これに合流することで避難時間が延びる可能性がある。

例えば、ホーム上で火災が発生した場合、ホームから改札内コンコース・通路に移動することになるが、改札内コンコース・通路には利用者が存在するため、この利用者が留まっているとホームから移動して来た避難者の流入を阻害する可能性がある。改札内もしくは改札外のコンコース・通路で火災が発生した場合、上記の避難経路においてホーム等のより遠い場所の避難者を待機させることは、避難者の安全性を損なう可能性があり困難となる。このことから、現状として鉄道駅における避難では概ね一斉避難を行うことが妥当と考えられる。

本節では、在館者の合流により生じた滞留による避難時間の変化を評価する指標を作成する。

### 5.5.1 避難者の合流による滞留の分類方法

#### (1) 避難経路上の空間分類

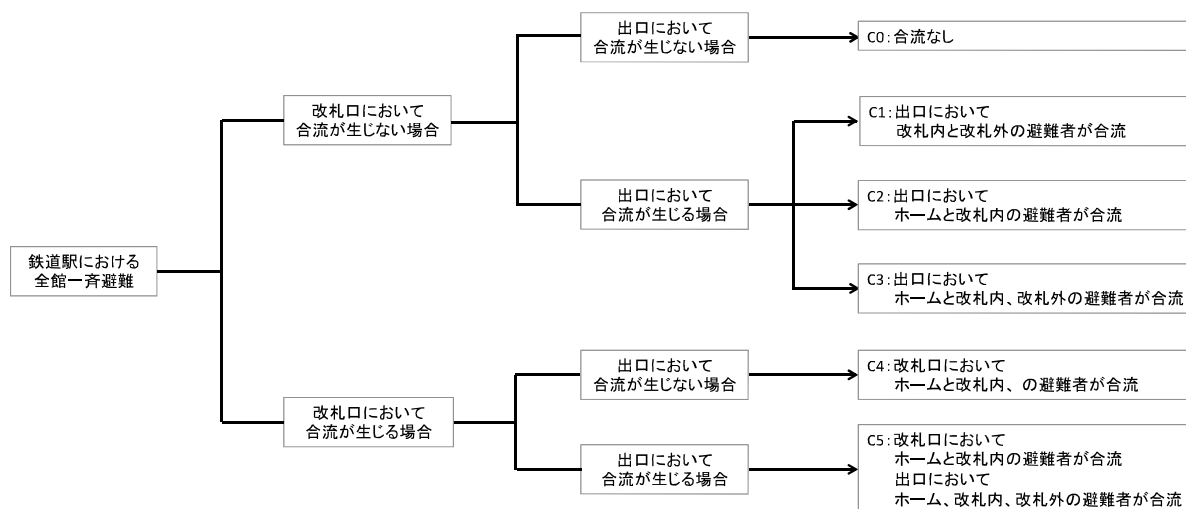
鉄道事業者の計画する避難経路を基に、鉄道駅構内において避難者が避難中に通過する経路上の空間を車両・ホーム、改札内空間、改札外空間の3空間に分類する。車両とホームは連続した同一平面上において近接していることから、ここでは単一の空間として扱うこととする。車両内の避難者はドアを通過してホーム上に移動する必要があるが、ホームから改札内空間への流出において、階段やホーム形状により生じるボトルネックの開口幅は編成された1車両の幅員の合計よりも狭くなることから、車両内の避難者とホーム上の避難者が合流し、ボトルネックにおける流量の低下は起きない。避難計算において、開口部の滞留時間を計算する際に、単一空間として扱うことに支障はなく、また、計算上も簡便にすることが可能となる。

## (2) 避難者の合流と計算方法の分類

避難において通過するホーム、改札内空間、改札外空間、屋外の空間境界部にはボトルネックとなる場所が存在し、ホームと改札内空間の間に開口部や階段等、改札内空間と改札外空間の間に改札口、改札外空間と屋外の間には避難口となる出口がある。前方の空間の避難者がボトルネックにおいて滞留した場合、その滞留に合流した後方の空間の避難者の滞留時間が、本来ボトルネックのみの影響により生じる滞留時間よりも長くなる。空間の異なる避難者の合流及び滞留状況により、計算方法を変える必要がある。

ホームからの避難者と改札内からの避難者の改札口における合流により、出口における合流状況と計算方法が変化することから、改札口における合流の有無で分類し、改札口において合流の生じないケース C0～C3、改札口において合流の生じるケース C4 及び C5 とした。ボトルネックにおける合流状況に合わせて C0～C5 の合計 6 種類の計算ケースを決定した。合流状況の分類と避難計算ケースについて図 5.5.1-1 及び 5.5.1-2 に示す。

なお、分類する合流状況と計算ケースでは、前方の空間から避難を開始した避難者のボトルネック通過完了前に、後方の空間から避難を開始した避難者の最後尾がボトルネックに到達した場合を合流とする。



※上記で述べた合流は、避難経路後方の空間から避難を開始した避難者の最後尾がボトルネックに到達した時点において、前方の避難者がボトルネックを通過していないことを示す。

図 5.5.1-1 : 避難者同士の合流状況分類

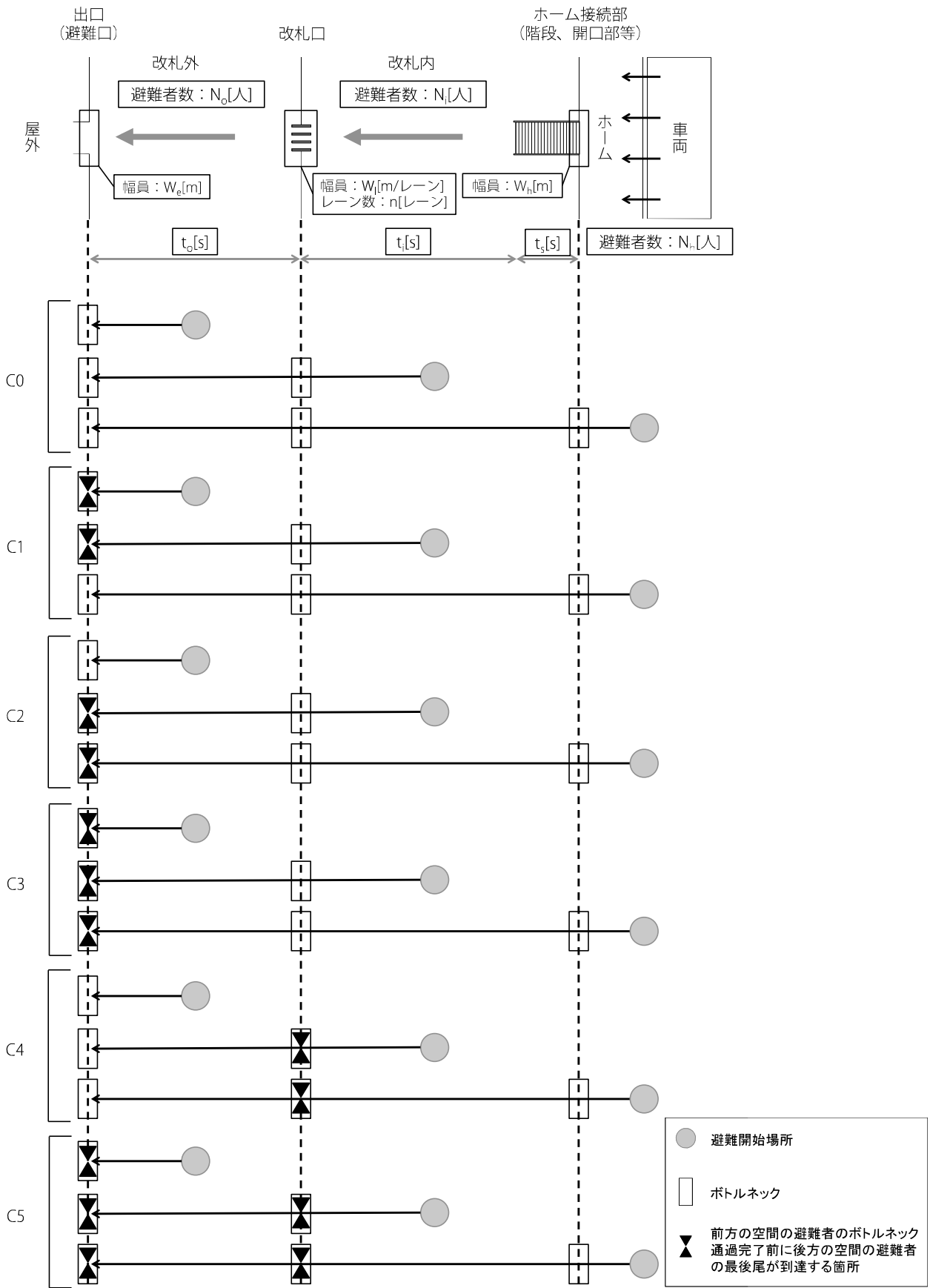


図 5.5.1-2 : 水平避難における計算方法の概念図と各計算ケースにおける避難者の合流箇所

### (3) 各ケースにおける合流条件の算出方法

各ケースの避難計算を行う前提として、5種類の計算ケースの内、適合するものを判別する必要がある。ここでは、適合する計算ケースと対応する合流状況を判別する計算式を作成する。歩行時間、開口部幅員等の計算に用いる値を図5.5.1-2に示す。なお、ここでは開口部の流動係数を  $F_c$  として計算を行う。各空間において避難者は均一に分散して存在するものとし、また、改札口における合流の生じる場合と生じない場合それぞれについて示した各ボトルネックにおいて生じる合流の発生状況を以下に図示する。

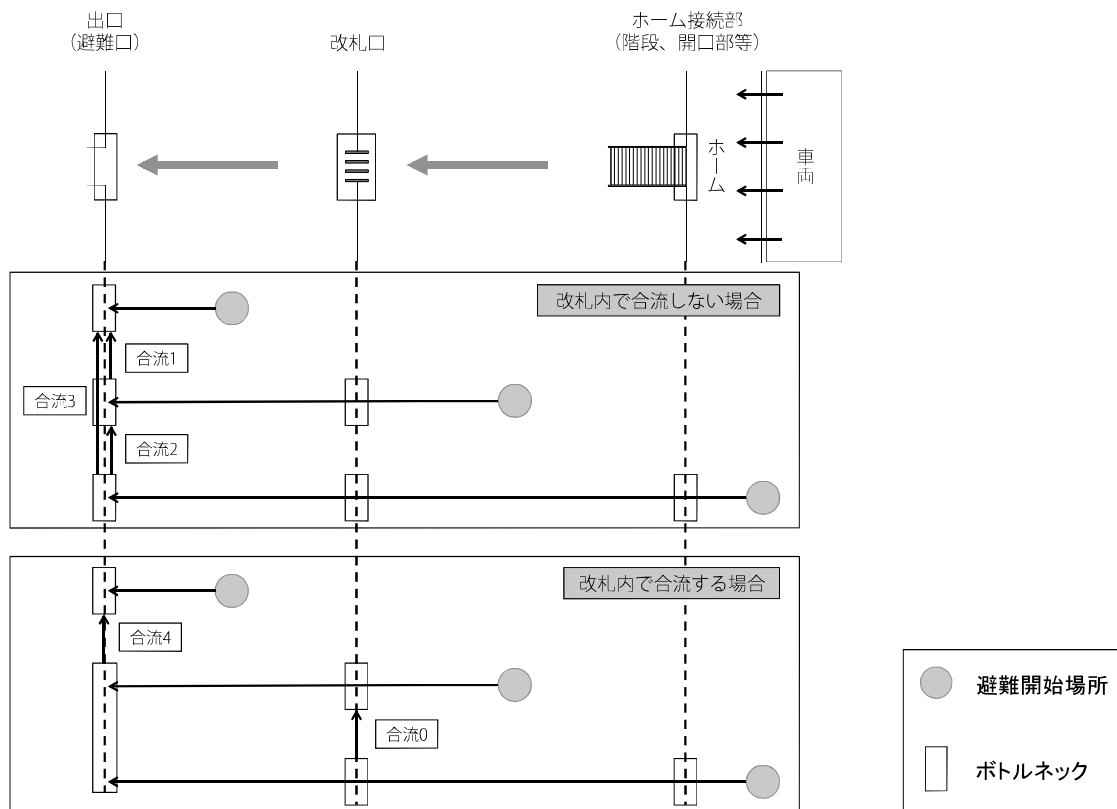


図 5.5.1-3 : ボトルネックにおいて生じる合流

以下、上図で示した各ボトルネックにおける合流毎に発生条件を求める。発生条件作成の前提として計算において用いる設定値の一覧を以下に示す。

表 5.5.1-1：計算式における設定値一覧

避難者数	車両・ホーム		$N_h$ [人]
	改札内空間		$N_i$ [人]
	改札外空間		$N_o$ [人]
避難者の移動距離	ホームと改札内空間の間にある階段等		$L_s$ [m]
	改札内空間(ホーム接続部から改札口の間)		$L_i$ [m]
	改札外空間(改札口から出口の間)		$L_o$ [m]
避難者の歩行速度	健常者		$V$ [m/s]
ボトルネックとなる開口部の幅員	ホームと改札内空間の接続部		$W_h$ [人]
	改札口	改札口1レーン	$W_l$ [m]
		改札口のレーン数	$n$ [レーン]
		改札口全体 (全レーンの合計)	$nW_l$ [m] $= W_l$ [m/レーン] $\times$ $n$ [レーン]
	屋外への出口		$W_e$ [m]
開口部の流動係数	-		$F_c$ [人/m $\cdot$ s]
各空間内における避難者の移動時間	ホームと改札内空間の間にある階段等		$t_s$ [s] = $L_s$ [m] / $V$ [m/s]
	改札内空間(ホーム接続部から改札口の間)		$t_i$ [s] = $L_i$ [m] / $V$ [m/s]
	改札外空間(改札口から出口の間)		$t_o$ [s] = $L_o$ [m] / $V$ [m/s]
ボトルネックにおける滞留時間	ホームと改札内空間の接続部	車両・ホームからの避難者	$t_{queue\_h,h}$ [s] $= N_h$ [人] / ( $F_c$ [人/m $\cdot$ s] $\times$ $W_h$ [m])
		改札口	車両・ホームからの避難者 $t_{queue\_l,h}$ [s] $= N_h$ [人] / ( $F_c$ [人/m $\cdot$ s] $\times$ $W_l \times n$ [m])
	改札口	改札内空間からの避難者	$t_{queue\_l,i}$ [s] $= N_i$ [人] / ( $F_c$ [人/m $\cdot$ s] $\times$ $W_l \times n$ [m])
		屋外への出口	車両・ホームからの避難者 $t_{queue\_e,h}$ [s] $= N_h$ [人] / ( $F_c$ [人/m $\cdot$ s] $\times$ $W_e$ [m])
	屋外への出口	改札内空間からの避難者	$t_{queue\_e,i}$ [s] $= N_i$ [人] / ( $F_c$ [人/m $\cdot$ s] $\times$ $W_e$ [m])
		改札外空間からの避難者	$t_{queue\_e,o}$ [s] $= N_o$ [人] / ( $F_c$ [人/m $\cdot$ s] $\times$ $W_e$ [m])

i)合流0

まず、ホームからの避難者と改札内空間からの避難者の改札口における合流の有無を判別する必要がある。

ホームからの避難者全員が改札口まで移動するために要する時間は、ホーム接続部における滞留時間、階段の場合は階段の昇降時間、改札内空間の移動時間の合計であり、以下のようになる。

$$t_{queue\_h,h} + t_s + t_i \quad (\text{式1})$$

この間に改札口を通過する改札内の避難者数は以下の式で表される。

$$F_c \times W_1 \times n \times (t_{\text{queue\_h\_h}} + t_s + t_i) \quad (\text{式 2})$$

改札口を通過していない改札内の避難者の有無により合流の有無が決定することから、ホームからの避難者と改札内空間からの避難者の改札口における合流の有無を判別する式は以下の様になる。

$$\text{合流なし} : N_i - \{F_c \times W_1 \times n \times (t_{\text{queue\_h\_h}} + t_s + t_i)\} \leq 0 \quad (\text{式 3-1})$$

$$\Leftrightarrow N_i - [F_c \times W_1 \times n \times \{N_h / (F_c \times W_h) + t_s + t_i\}] \leq 0 \quad (\text{式 3-1'})$$

$$\text{合流あり} : N_i - \{F_c \times W_1 \times n \times (t_{\text{queue\_h\_h}} + t_s + t_i)\} > 0 \quad (\text{式 3-2})$$

$$\Leftrightarrow N_i - [F_c \times W_1 \times n \times \{N_h / (F_c \times W_h) + t_s + t_i\}] > 0 \quad (\text{式 3-2'})$$

上記の条件式を前提として、合流 1~4 の有無を判別する条件を求める。

## ii)合流 1

改札内からの避難者と改札外からの避難者の出口における合流の有無を判別する条件を求める。

改札内からの避難者全員が出口まで移動するために要する時間は以下の様になる。

$$t_{\text{queue\_l\_i}} + t_o \quad (\text{式 4})$$

この間に出口を通過する改札外の避難者数は以下の式で表される。

$$F_c \times W_e \times (t_{\text{queue\_l\_i}} + t_o) \quad (\text{式 5})$$

式 4 及び式 5 より、改札内空間からの避難者と改札外空間からの避難者の改札口における合流の有無を判別する式は以下の様になる。

$$\text{合流なし} : N_o - F_c \times W_e \times (t_{\text{queue\_l\_i}} + t_o) \leq 0 \quad (\text{式 6-1})$$

$$\Leftrightarrow N_o - F_c \times W_e \times \{N_i / (F_c \times W_1 \times n) + t_o\} \leq 0 \quad (\text{式 6-1'})$$

$$\text{合流あり} : N_o - F_c \times W_e \times \{t_{\text{queue\_l\_i}} + t_o\} > 0 \quad (\text{式 6-2})$$

$$\Leftrightarrow N_o - F_c \times W_e \times \{N_i / (F_c \times W_1 \times n) + t_o\} > 0 \quad (\text{式 6-2'})$$



iii)合流 2

ホームからの避難者と改札内からの避難者の出口における合流の有無を判別する条件を求める。

ホームからの避難者全員が出口まで移動するために要する時間は以下の様になる。

$$t_s + t_i + t_{\text{queue\_h\_h}} + t_{\text{queue\_l\_h}} + t_o \quad (\text{式 7})$$

改札内からの避難者全員が出口まで移動するために要する時間は、式 4 によって示される。

$$t_{\text{queue\_l\_i}} + t_o \quad (\text{式 4})$$

式 4 及び式 7 より、改札内からの避難者が出口に到達後、ホームからの避難者が出口に到達するまでに要する時間は以下の様になる。

$$\begin{aligned} & (t_s + t_i + t_{\text{queue\_h\_h}} + t_{\text{queue\_l\_h}} + t_o) - (t_{\text{queue\_l\_i}} + t_o) \\ = & t_s + t_i + t_{\text{queue\_h\_h}} + t_{\text{queue\_l\_h}} - t_{\text{queue\_l\_i}} \quad (\text{式 8}) \end{aligned}$$

式 8 より、合流 1（出口において改札外からの避難者と改札内の避難者の合流）が生じない場合において、ホームからの避難者と改札内空間からの避難者の出口における合流の有無を判別する式は以下の様になる。

$$\text{合流なし} : N_i - F_c \times W_e \times (t_s + t_i + t_{\text{queue\_h\_h}} + t_{\text{queue\_l\_h}} - t_{\text{queue\_l\_i}}) \leq 0 \quad (\text{式 9-1})$$

$$\Leftrightarrow N_i - F_c \times W_e \times \{t_s + t_i + N_h / (F_c \times W_h) + (N_h - N_i) / (F_c \times W_l \times n)\} \leq 0 \quad (\text{式 9-1'})$$

$$\text{合流あり} : N_i - F_c \times W_e \times (t_s + t_i + t_{\text{queue\_h\_h}} + t_{\text{queue\_l\_h}} - t_{\text{queue\_l\_i}}) > 0 \quad (\text{式 9-2})$$

$$\Leftrightarrow N_i - F_c \times W_e \times \{t_s + t_i + N_h / (F_c \times W_h) + (N_h - N_i) / (F_c \times W_l \times n)\} > 0 \quad (\text{式 9-2'})$$

一方、出口において、合流 1 が生じる場合、改札外の避難者の出口通過完了後に改札内からの避難者の出口通過が始まる。改札内の避難者が出口到達後に改札外の避難者が出口通過を完了するために要する時間は以下の様になる。

$$\{N_o - F_c \times W_e \times (t_{\text{queue\_l\_i}} + t_o)\} / (F_c \times W_e) \quad (\text{式 10})$$

式 8 及び式 10 より、改札内の避難者の出口通過開始後、ホームからの避難者が出口に到達するまでに要する時間は以下の様になる。

$$t_s + t_i + t_{\text{queue\_h\_h}} + t_{\text{queue\_l\_h}} - t_{\text{queue\_l\_i}} - \{N_o - F_c \times W_e \times (t_{\text{queue\_l\_i}} + t_o)\} / (F_c \times W_e) \quad (\text{式 11})$$

出口において、合流 1 が生じる場合において、ホームからの避難者と改札内空間からの避難者の出口における合流の有無を判別する式は以下の様になる。

$$\text{合流なし} : N_i - F_c \times W_e \times \{t_s + t_i + t_{\text{queue\_h\_h}} + t_{\text{queue\_l\_h}} - t_{\text{queue\_l\_i}} - \{N_o - F_c \times W_e \times (t_{\text{queue\_l\_i}} + t_o)\} / (F_c \times W_e)\} \leq 0 \quad (\text{式 12-1})$$

$$\Leftrightarrow N_i - F_c \times W_e \times [t_s + t_i + N_h / (F_c \times W_h) + (N_h - N_i) / (F_c \times W_l \times n) - [N_o - F_c \times W_e \times \{N_i / (W_l \times n) + t_o\}] / (F_c \times W_e)] \leq 0 \quad (\text{式 12-1'})$$

$$\text{合流あり} : N_i - F_c \times W_e \times \{t_s + t_i + t_{\text{queue\_h\_h}} + t_{\text{queue\_l\_h}} - t_{\text{queue\_l\_i}} - \{N_o - F_c \times W_e \times (t_{\text{queue\_l\_i}} + t_o)\} / (F_c \times W_e)\} > 0 \quad (\text{式 12-2})$$

$$\Leftrightarrow N_i - F_c \times W_e \times [t_s + t_i + N_h / (F_c \times W_h) + (N_h - N_i) / (F_c \times W_l \times n) - [N_o - F_c \times W_e \times \{N_i / (W_l \times n) + t_o\}] / (F_c \times W_e)] > 0 \quad (\text{式 12-2'})$$

#### iv)合流 3

ホームからの避難者と改札外からの避難者の出口における合流の有無を判別する条件を求める。

ホームからの避難者全員が出口まで移動するために要する時間は、式 7 により示される。

$$t_s + t_i + t_{\text{queue\_h\_h}} + t_{\text{queue\_l\_h}} + t_o \quad (\text{式 7})$$

式 7 より、この間に出口を通過する改札外の避難者数は以下の式で表される。

$$F_c \times W_e \times (t_s + t_i + t_{\text{queue\_h\_h}} + t_{\text{queue\_l\_h}} + t_o) \quad (\text{式 13})$$

ホームからの避難者と改札外空間からの避難者の出口における合流の有無を判別する式は以下の様になる。

$$\text{合流なし} : N_o - F_c \times W_e \times (t_s + t_i + t_{\text{queue\_h\_h}} + t_{\text{queue\_l\_h}} + t_o) \leq 0 \quad (\text{式 14-1})$$

$$\Leftrightarrow N_o - F_c \times W_e \times [t_s + t_i + N_h / (F_c \times W_h) + N_h / (F_c \times W_l \times n) + t_o] \leq 0 \quad (\text{式 14-1'})$$

$$\text{合流あり} : N_o - F_c \times W_e \times (t_s + t_i + t_{\text{queue\_h\_h}} + t_{\text{queue\_l\_h}} + t_o) > 0 \quad (\text{式 14-2})$$

$$\Leftrightarrow N_o - F_c \times W_e \times [t_s + t_i + N_h / (F_c \times W_h) + N_h / (F_c \times W_l \times n) + t_o] > 0 \quad (\text{式 14-2'})$$

v)合流 4

ホームからの避難者と改札内からの避難者が改札口において合流後、ホーム及び改札内からの避難者と改札外からの避難者の出口における合流の有無を判別する条件を求める。

ホームからの避難者は改札口において改札内からの避難者と合流するため、ホームからの避難者の改札口に至るまでに要する時間は改札内からの避難者の改札口における滞留時間内となる。ホーム及び改札内からの避難者全員が出口まで移動するために要する時間は以下の様になる。

$$\begin{aligned} & (N_h + N_i) / (F_c \times W_l \times n) + t_o \\ = & t_{queue\_l\_h} + t_{queue\_l\_i} + t_o \quad (\text{式 15}) \end{aligned}$$

式 15 より、この間に出口を通過する改札外の避難者数は以下の式で表される。

$$F_c \times W_e \times (t_{queue\_l\_h} + t_{queue\_l\_i} + t_o) \quad (\text{式 16})$$

ホーム及び改札内空間からの避難者と改札外空間からの避難者の改札口における合流の有無を判別する式は以下の様になる。

$$\text{合流なし} : N_o - F_c \times W_e \times (t_{queue\_l\_h} + t_{queue\_l\_i} + t_o) \leq 0 \quad (\text{式 17-1})$$

$$\Leftrightarrow N_o - F_c \times W_e \times \{(N_h + N_i) / (F_c \times W_l \times n) + t_o\} \leq 0 \quad (\text{式 17-1'})$$

$$\text{合流あり} : N_o - F_c \times W_e \times (t_{queue\_l\_h} + t_{queue\_l\_i} + t_o) > 0 \quad (\text{式 17-2})$$

$$\Leftrightarrow N_o - F_c \times W_e \times \{(N_h + N_i) / (F_c \times W_l \times n) + t_o\} > 0 \quad (\text{式 17-2'})$$

以上 i)～v)において作成した合流 1～4 の条件式の一覧を以下に示す。

**改札口において合流しない場合**

$$N_i - \{F_c \times W_l \times n \times (t_{queue\_h\_h} + t_s + t_i)\} \leq 0 \quad (\text{式 3-1})$$

・合流 1

$$\text{合流なし} : N_o - F_c \times W_e \times (t_{queue\_l\_i} + t_o) \leq 0 \quad (\text{式 6-1})$$

$$\text{合流あり} : N_o - F_c \times W_e \times \{t_{queue\_l\_i} + t_o\} > 0 \quad (\text{式 6-2})$$

・合流 2-1 (合流 1 が生じない場合)

$$\text{合流なし} : N_i - F_c \times W_e \times (t_s + t_i + t_{queue\_h\_h} + t_{queue\_l\_h} - t_{queue\_l\_i}) \leq 0 \quad (\text{式 9-1})$$

$$\text{合流あり} : N_i - F_c \times W_e \times (t_s + t_i + t_{queue\_h\_h} + t_{queue\_l\_h} - t_{queue\_l\_i}) > 0 \quad (\text{式 9-2})$$

・合流 2-2 (合流 1 が生じる場合)

$$\begin{aligned} \text{合流なし} : N_i - F_c \times W_e \times \{t_s + t_i + t_{\text{queue\_h\_h}} + t_{\text{queue\_l\_h}} - t_{\text{queue\_l\_i}} \\ - \{N_o - F_c \times W_e \times (t_{\text{queue\_l\_i}} + t_o)\} / (F_c \times W_e)\} \leq 0 \quad (\text{式 12-1}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{合流あり} : N_i - F_c \times W_e \times \{t_s + t_i + t_{\text{queue\_h\_h}} + t_{\text{queue\_l\_h}} - t_{\text{queue\_l\_i}} \\ - \{N_o - F_c \times W_e \times (t_{\text{queue\_l\_i}} + t_o)\} / (F_c \times W_e)\} > 0 \quad (\text{式 12-2}) \end{aligned}$$

・合流 3

$$\text{合流なし} : N_o - F_c \times W_e \times (t_s + t_i + t_{\text{queue\_h\_h}} + t_{\text{queue\_l\_h}} + t_o) \leq 0 \quad (\text{式 14-1})$$

$$\text{合流あり} : N_o - F_c \times W_e \times (t_s + t_i + t_{\text{queue\_h\_h}} + t_{\text{queue\_l\_h}} + t_o) > 0 \quad (\text{式 14-2})$$

#### 改札口において合流する場合 (合流 0)

$$N_i - \{F_c \times W_l \times n \times (t_{\text{queue\_h\_h}} + t_s + t_i)\} > 0 \quad (\text{式 3-2})$$

・合流 4

$$\text{合流なし} : N_o - F_c \times W_e \times (t_{\text{queue\_l\_h}} + t_{\text{queue\_l\_i}} + t_o) \leq 0 \quad (\text{式 17-1})$$

$$\text{合流あり} : N_o - F_c \times W_e \times (t_{\text{queue\_l\_h}} + t_{\text{queue\_l\_i}} + t_o) > 0 \quad (\text{式 17-2})$$

各計算ケースの避難計算を行う前提として、ケース C0~5 の 6 種類から適合するケースを判別する合流 0~4 の条件式を作成した。計算ケース毎に満たす必要のある合流の条件式を図 5.4.1-4 に示す。

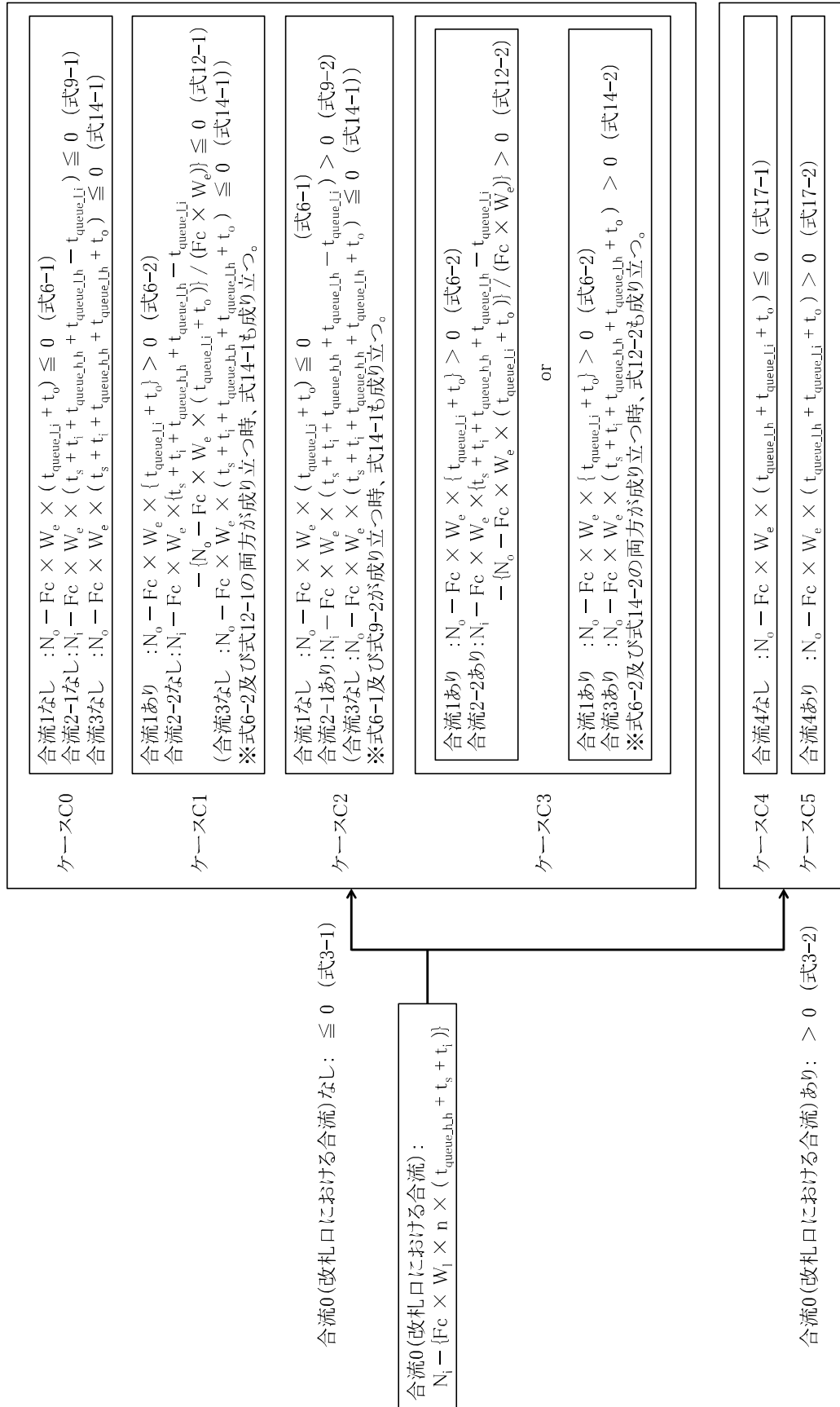


図 5.5.1-4 : 計算ケース毎の合流条件式一覧

## 5.5.2 避難者の合流状況別の避難計算方法

鉄道駅における一斉避難を想定した C0~5 の避難時間の計算ケースについて、各ケースにおける合流状況を基に、各計算ケースにおける避難時間の計算式を求める。なお、計算に用いる歩行時間、開口部幅員等の値は図 5.4.1-2 に示したものをを用いる。

### (1) ケース C0

避難完了時間は、車両・ホームから避難を開始した避難者の内、最後尾の避難者が屋外に到達した時間となる。ケース C0 において各空間から避難を開始した避難者の合流は生じないことから、ケース C0 における避難完了時間  $T_0$  は下式で示すことができる。

$$\begin{aligned} T_0 &= t_{\text{queue\_h\_h}} + t_s + t_i + t_{\text{queue\_l\_h}} + t_o + t_{\text{queue\_e\_h}} \quad (\text{式 18}) \\ &= N_h / (F_c \times W_h) + t_s + t_i + N_h / (F_c \times W_l \times n) + t_o + N_h / (F_c \times W_e) \quad (\text{式 18}') \end{aligned}$$

### (2) ケース C1

ケース C1 は、ケース C0 と同様、出口から最も遠い車両・ホームから避難を開始する避難者が合流をせずに避難することになる。したがって、ケース C1 における避難完了時間  $T_1$  は、ケース C0 における避難完了時間  $T_0$  と同一の式で示すことができる。

$$\begin{aligned} T_1 &= T_0 = t_{\text{queue\_h\_h}} + t_s + t_i + t_{\text{queue\_l\_h}} + t_o + t_{\text{queue\_e\_h}} \quad (\text{式 19}) \\ &= N_h / (F_c \times W_h) + t_s + t_i + N_h / (F_c \times W_l \times n) + t_o + N_h / (F_c \times W_e) \quad (\text{式 19}') \end{aligned}$$

### (3) ケース C2

ケース C2 は、車両・ホームからの避難者が改札内から避難を開始した避難者と出口において合流する。改札外から避難を開始した避難者は、合流せずに避難を完了することから、避難完了時間は、改札内からの避難者が出口に至るまでに要する時間、及び改札内からの避難者と車両・ホームからの避難者の出口における滞留時間の合計値となる。避難完了時間  $T_2$  は下式のようになる。

$$\begin{aligned} T_2 &= t_{\text{queue\_l\_i}} + t_o + t_{\text{queue\_e\_i}} + t_{\text{queue\_e\_h}} \quad (\text{式 20}) \\ &= N_i / (F_c \times W_l \times n) + t_o + (N_i + N_h) / (F_c \times W_e) \quad (\text{式 20}') \end{aligned}$$

### (4) ケース C3

ケース C3 は、車両・ホームからの避難者、改札内からの避難者、改札外からの避難者が出口において合流する。車両・ホームからの避難者の内、最後尾の避難者の出口到達が改札外からの避難者の出口通過完了の前と後で合流状況は異なるが、改札外からの避難者の避難開始から車両・ホームからの避難者の出口到達時点まで出口における滞留が続くことから、避難完了時間は出口における 3 空間からの避難者の滞留時間により表すことができる。避難完了時間  $T_3$  は以下の様に表すことができる。

$$\begin{aligned} T_3 &= t_{\text{queue\_e\_o}} + t_{\text{queue\_e\_i}} + t_{\text{queue\_e\_h}} \quad (\text{式 21}) \\ &= (N_o + N_i + N_h) / (F_c \times W_e) \quad (\text{式 21}') \end{aligned}$$

(5) ケース C4

ケース C4 は、車両・ホームからの避難者と改札内からの避難者が改札口で合流した後、改札外の避難者と出口で合流せずに避難を完了する。避難完了時間  $T_4$  は、両者の改札口における滞留時間及び出口までの移動時間、出口における滞留時間の合計となることから、下式の形をとる。

$$T_4 = t_{\text{queue\_l\_i}} + t_{\text{queue\_l\_h}} + t_o + t_{\text{queue\_e\_i}} + t_{\text{queue\_e\_h}} \quad (\text{式 22})$$

$$= (N_i + N_h) / (F_c \times W_i \times n) + t_o + (N_i + N_h) / (F_c \times W_e) \quad (\text{式 22'})$$

(6) ケース C5

ケース C5 は、車両・ホームからの避難者と改札内からの避難者が改札口で合流した後、改札外の避難者と出口で合流して避難を完了する。避難完了時間は、全避難者の出口における滞留時間に等しいことから、 $T_3$  と同一の式で算出することが出来る。避難完了時間  $T_5$  は以下の様に示すことが出来る。

$$T_5 = T_3 = t_{\text{queue\_e\_o}} + t_{\text{queue\_e\_i}} + t_{\text{queue\_e\_h}} \quad (\text{式 23})$$

$$= (N_o + N_i + N_h) / (F_c \times W_e) \quad (\text{式 23'})$$

以上(1)～(5)において求めた各ケースにおける避難完了時間の計算式の一覧を以下に示す。

改札口における合流なし	
ケースC0	$T_0 = t_{\text{queue\_h\_h}} + t_s + t_i + t_{\text{queue\_l\_h}} + t_o + t_{\text{queue\_e\_h}} \quad (\text{式18})$
ケースC1	$T_1 = T_0 = t_{\text{queue\_h\_h}} + t_s + t_i + t_{\text{queue\_l\_h}} + t_o + t_{\text{queue\_e\_h}} \quad (\text{式19})$
ケースC2	$T_2 = t_{\text{queue\_l\_i}} + t_o + t_{\text{queue\_e\_i}} + t_{\text{queue\_e\_h}} \quad (\text{式20})$
ケースC3	$T_3 = t_{\text{queue\_e\_o}} + t_{\text{queue\_e\_i}} + t_{\text{queue\_e\_h}} \quad (\text{式21})$
改札口における合流あり	
ケースC4	$T_4 = t_{\text{queue\_l\_i}} + t_{\text{queue\_l\_h}} + t_o + t_{\text{queue\_e\_i}} + t_{\text{queue\_e\_h}} \quad (\text{式22})$
ケースC5	$T_5 = T_3 = t_{\text{queue\_e\_o}} + t_{\text{queue\_e\_i}} + t_{\text{queue\_e\_h}} \quad (\text{式23})$

図 5.5.2-1 : 計算ケース毎の避難完了時間の計算式一覧

### 5.5.3 避難者の合流による滞留の評価

合流状況の異なるケース C0～C5 について、合流状況を判別する条件式と避難完了時間の算出式を作成した。同じ空間構成の駅に対して計算を行った場合、6 ケースの内、合流の生じないケース C0 であれば、避難完了時間は短くなる。

合流状況がケース C1～C5 となった場合、合流の生じないケース C0 として算出した避難完了時間を基準として、合流の生じたケースの避難完了時間を比較することで、合流により生じた滞留による避難時間の増加分を算出することが出来る。また、避難者の移動時間のみによる避難完了時間を基準として、ケース C0 の避難完了時間を比較すると空間境界部の開口部における滞留による避難完了時間の増加分を得ることが出来る。上記の比較において避難完了時間の差だけではなく、両避難完了時間の比として乖離度を求めることも評価において有用であると考えられる。

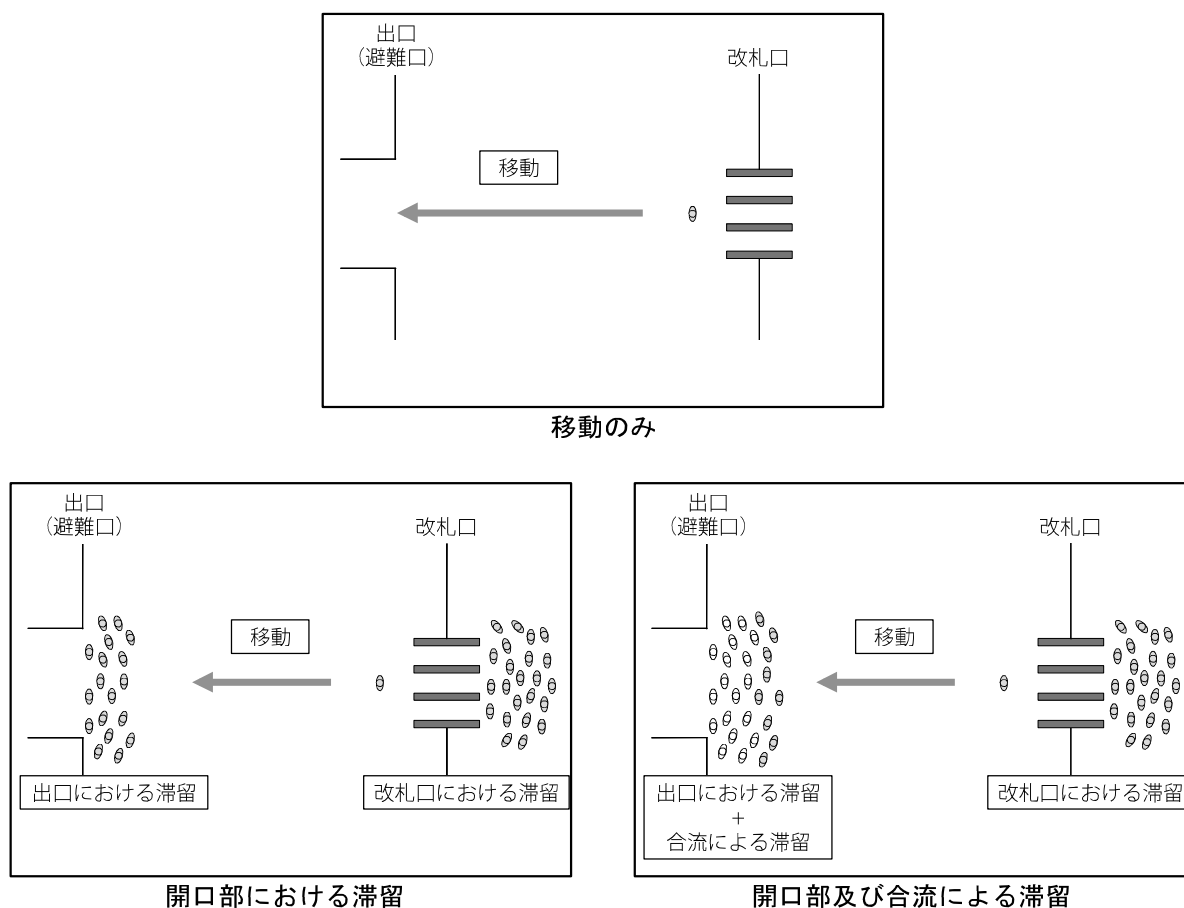


図 5.5.3-1：避難計算比較概念図（改札内からの避難者の例）



ケース C0～C5 避難完了時間を  $T_0 \sim T_5$ 、移動時間のみを反映した避難完了時間を  $T_{NC}$  として、合流による滞留と開口部による滞留による避難時間の増加分（遅延時間）と乖離度を以下に示す。

◆合流による滞留

遅延時間：  $T_{1-5} - T_0$       乖離度：  $T_{1-5} / T_0$

◆開口部による滞留

遅延時間：  $T_0 - T_{NC}$       乖離度：  $T_0 / T_{NC}$

合流状況の判別式及び合流状況毎の避難完了時間に加えて、滞留の要因を区別し評価することが出来る。避難計画上、煙による影響に基づく避難可能時間（許容避難時間）により避難完了時間を短縮する必要がある場合には、計画を改善する上で有用であると考えられる。

## 5.6 合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価式の運用方法

5.5 では、鉄道駅構内における一斉避難時において、在館者の合流により生じた滞留による避難時間の変化を評価する指標の作成を行った。なお、この指標については、建築基準法における避難計画評価に適用して鉄道駅の避難計画評価を行う場合、階避難の評価に用いることを想定している。

本研究における鉄道駅の階避難評価の対象は、鉄道駅構内において屋外に直接通じる出口（鉄道駅構内と接続する商業施設やオフィスビル等の建築物等の出入り口は含まない）までの避難経路上において避難者の滞在箇所となる車両、ホーム、改札内空間、改札外空間の 4 箇所である。駅員事務室や改札内商業施設等、区画され、利用者もしくは従業員の滞在部分が設けられたものについては居室避難の対象とする。

以上の想定に基づき、合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価方法については、以下の流れで行う。

- ① 鉄道駅構内を避難口となる屋外に通じる出口の位置と通路形状を基にブロックに分割する。
- ② ブロックに分けられた空間毎に検討する。
- ③ 避難者はブロック内で最短の出口を目指し、ブロック内でのみ合流するものとする。
- ④ ブロック内で出口が複数ある場合には、出口毎に出口に向かう避難者の経路を想定する。
- ⑤ 経路毎に合流状況の判別式を使用して合流状況の判別を行う。
- ⑥ 状況別の避難完了時間の算出式を使用し、避難完了時間を算出する。
- ⑦ 合流に基づく滞留による遅延時間の算出と開口部の滞留による遅延時間の算出を行う。
- ⑧ 判別した合流による滞留箇所及びこれに応じた避難完了時間、⑦の遅延時間により合流による滞留の生じる場所における滞留の要因を評価する。

本節では、階避難評価として以上の流れにおいて用いる評価指標を実際の鉄道駅に用いるために必要となる計算及び計算の使用法の提案を通して作成した指標の運用方法を示す。

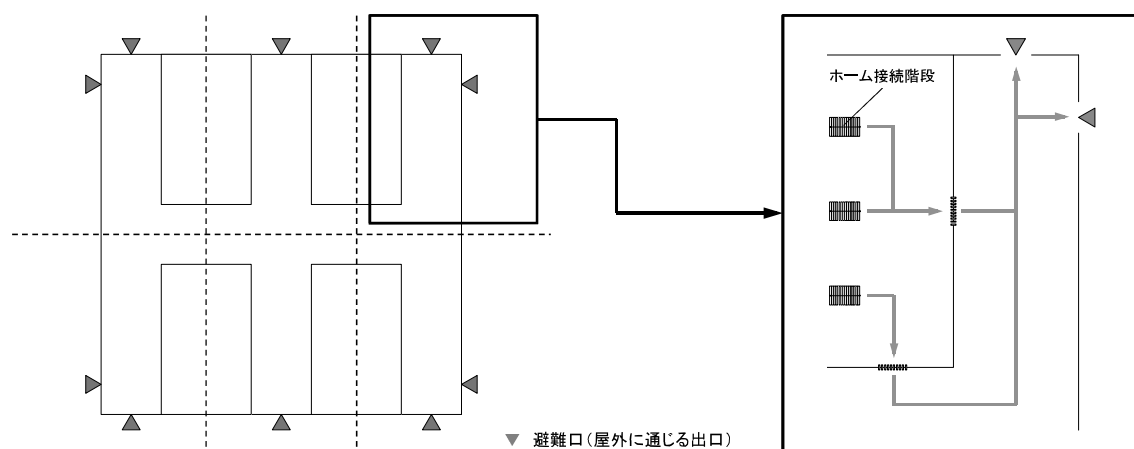


図 5.6-1：空間の分割方法及び避難経路の想定方法の概念図

### 5.6.1 出口における通過人数の想定及び算出方法の提案

避難安全検証法に基づく建築物の階避難安全検証においては、避難階への直通階段が複数ある場合、直通階段への出口の1つに達する歩行距離は、その階に存する者から最も近い直通階段への出口までの歩行距離とされる。鉄道駅においても同様に、屋外へ通じる出口もしくは屋外直通階段に通じる出口が複数ある場合、これら出口の1つに達する歩行距離は、在館者からの歩行距離が最も近くなる出口までの歩行距離とすることが妥当であると考えられるが、この場合、避難計算において使用されない出口が発生する。

「5.3.2 歩行者の行動と避難経路の設定 (3)避難口の設定と避難者の行動」で述べた様に、鉄道駅において屋外に通じる出口の位置は、主に外周部に分散して設置され、駅舎が地下に存在する場合は駅舎の上部に通じることもある。多くの利用者が利用する大規模鉄道駅では複数の出口が駅舎の外周に向かって分散すると考えられる。なお、地下に改札階を持つ大規模鉄道駅では地上の街路や構造物との関係で屋外への直通階段の幅が制限されるとともに、屋外の街路の混雑緩和から近接する階段であっても異なる街路へ通じる場合がある。このため、改札階に屋外へ直接通じる出口を持つ大規模鉄道駅における出口の開口幅と比較して、地下に改札階を持つ大規模鉄道駅における屋外直通階段の幅員は狭くなり、同一通路に複数の直通階段が設けられる場合がある。最も近い出口のみを避難経路上の避難口とした場合、改札内等、出口のない通路からきた避難者が使用する出口は1つのみとなり、同一空間上に存在するその他の近接する出口は使用されないことになる。この状況を以下に図示する。

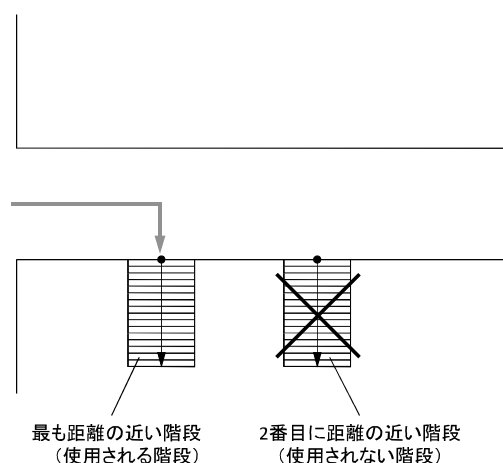


図 5.6.1-1：避難計算において避難者が使用する出口（最も距離の近い出口のみ使用）

最も近い出口の存在する同一空間上にその他の出口がある場合、避難者はその他の出口も使用すると考えることが適当である。出口に向かう避難者数の配分方法の一案を以下に示す。

出口が設置された通路及び交差点における避難者の避難口選択方法を、避難開始時に当該空間にいる避難者と、別の空間から避難して来る避難者で分けて作成する。

(1) 出口設置空間内から避難を開始する避難者の出口通過人数の配分

空間内に避難開始時に配置された避難者は空間内で最も近い出口を目指す。各出口の通過人数は、空間を階段中心部からの距離に基づいたボロノイ分割で分けた出口に接する領域内にいる避難者数とする。この際、空間外の出口の方が近い距離に存在する場合でも空間内の出口を目指すものとする。

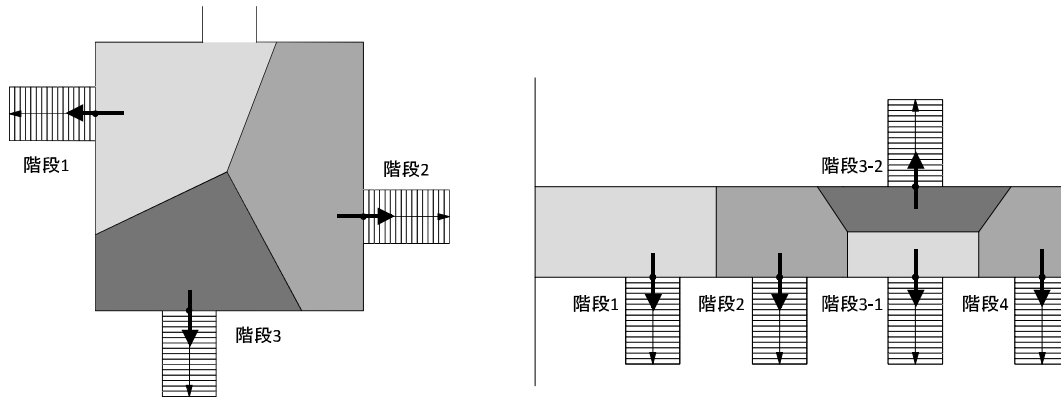


図 5.6.1-2 : ボロノイ分割による階段設置空間内で避難開始する避難者の出口通過人数配分方法

(2) 出口設置空間外から避難を開始する避難者の出口通過人数の配分

空間外から出口の設置された空間に避難して来た避難者については、出口までの距離に応じて目指す人数を変える。最も近い出口を基準として距離が遠くなるに従い、目指す避難者数が半減するものとする。最も近い出口を 1 とした場合、遠い出口は  $1/2$ 、さらに遠い出口は  $1/4$  となる。なお、出口が避難者の進入する空間端部から同距離上にあるとみなせる場合は同じ比率の避難者が向かうものとする。出口を通過する人数の配分方法を以下に示す。

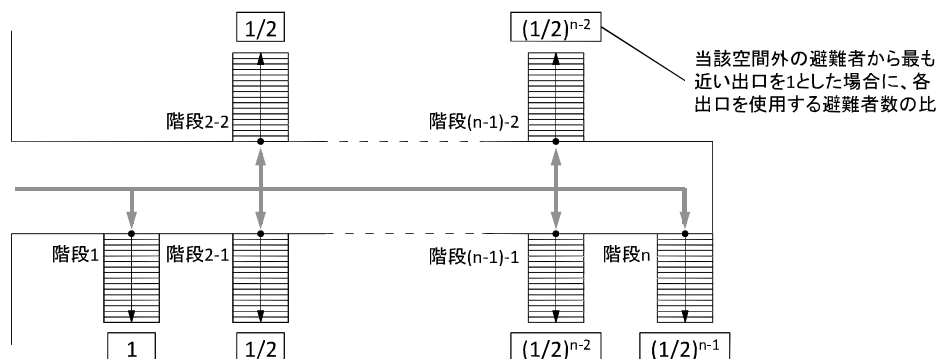


図 5.6.1-3 : 階段設置空間外から避難して来た避難者の出口通過人数配分方法

次に、具体的な空間を用いて出口の通過人数の配分の計算例を示す。以下に、計算を行う空間と通過人数の配分結果を図示する。

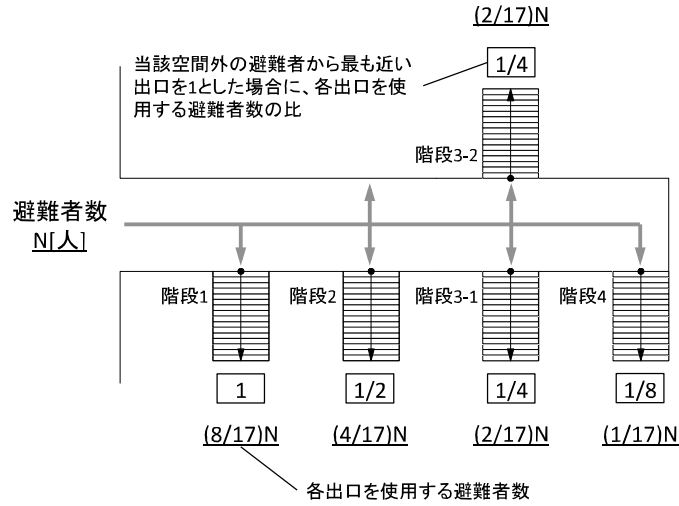


図 5.6. 1-4 : 出口設置空間外から避難して来た避難者の出口通過人数の配分例

上図の例では、5つの出口（昇り階段）の内、階段が設置された空間から避難する避難者から最も近い階段1を比率1として各階段の通過人数を計算する。階段1の次に近い階段2は階段1の1/2の避難者が通過する。階段3-1と3-2は等距離にあり、階段2の次に近いことから階段1の1/4の避難者が通過する。階段4は階段3-1及び3-2の次に近いので、通過する避難者数はいずれも階段1の1/8となる。比率の合計は17/8となることから、各階段に向かう避難者は階段1で $(8/17)N$ 、階段2で $(4/17)N$ 、階段3-1及び階段3-2で $(2/17)N$ 、階段4で $(1/17)N$ となる。

## 5.6.2 改札口及び出口における合流による滞留の分類及び計算方法とその拡張方法

避難経路上、前方の空間の避難者がボトルネックにおいて滞留した場合、その滞留に合流した後方の空間の避難者の滞留時間が、本来ボトルネックのみの影響により生じる滞留時間よりも長くなる。空間の異なる避難者の合流及び滞留状況により、計算方法を変える必要がある。このため、「5.5 合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価のための指標の作成」において、空間の異なる避難者の改札口及び出口における合流により生じる滞留状況を想定し、改札口及び出口における合流状況を判別する計算式と各状況に応じた避難時間の計算式を作成した。

上記状況と2種類の計算式は、利用者の存在する空間を1)車両及びホーム、2)改札内空間、3)改札外空間の3種類に分け、異なる空間の避難者が合流する状況を想定している。合流による滞留が生じる箇所としては2)と3)の間にある改札口、3)と屋外の間にある出口の2箇所を想定している。駅の空間構成によっては、提示した計算式で想定している箇所以外に合流による滞留が生じるボトルネックが存在する可能性があり、この箇所を計算式に反映する必要がある。

「5.5 合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価のための指標の作成」に則して、合流箇所の想定から合流状況の判別式及び避難時間の算出式の作成までの流れを図6.3.3-1に示す。改札口と屋外への出口以外のボトルネックにおける合流と滞留を想定する際は、この流れに沿って、計算式を作成する必要がある。各段階について、合流箇所の想定から合流状況の判別式及び避難時間の算出式の作成までの各段階における考え方、加えて、改札口、屋外への出口以外の合流箇所の状況を計算式に反映する際の考え方を以下に示す。

### ①合流箇所と合流する避難者の想定

はじめに、「①合流箇所と合流する避難者の想定」を行う必要がある。ボトルネックとそれにより分けられる空間毎に避難者を区別する。合流は避難経路上後方の空間の避難者が前方の避難者に合流することを想定し、合流箇所を想定する。例えば、車両・ホーム上の避難者が改札内の避難者に改札口もしくは出口で合流する可能性があり、この両者の合流箇所として改札口と出口を想定し、いずれか1箇所が生じる状況と2箇所が生じる状況ともに想定する。この際、合流状況としては、隣接する空間の避難者の合流が生じた上で、さらに前方の避難者との合流が生じる。例えば、車両・ホーム上の避難者が改札外の避難者と合流する際には、改札内の避難者は車両・ホーム上の避難者と改札外の避難者の両者と合流することになる。ただし、合流箇所と合流する避難者には複数のパターンが存在する。例えば、車両・ホーム上の避難者が改札外の避難者と合流する際には、図5.4.1-2のケースC5の様に、車両・ホーム上の避難者と改札内の避難者が改札口において合流した後、改札外の避難者と出口において合流する場合と、ケースC3の内合流3が生じる場合の様に、車両・ホーム上の避難者と改札内の避難者及び改札外の避難者が出口において合流する場合がある。

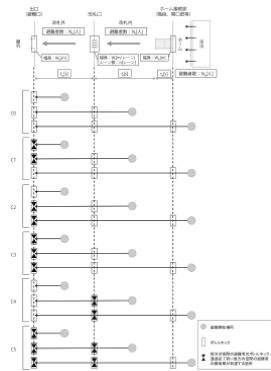


図5.5.1-2

①合流箇所と合流する避難者の想定

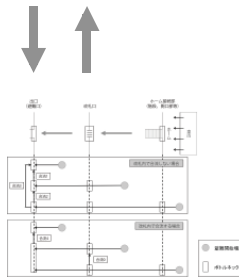


図5.5.1-3

②箇所別の合流と合流状況の想定

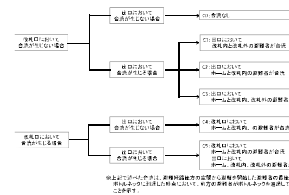
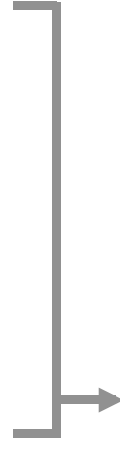


図5.5.1-1

③合流状況の分類と計算ケースの決定

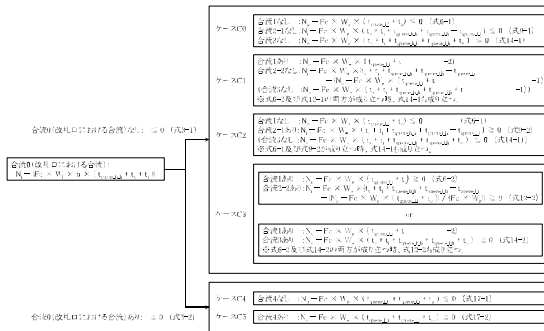
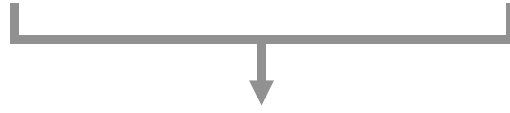


図5.5.1-4

④合流状況の判別式に基づく計算ケースの選択

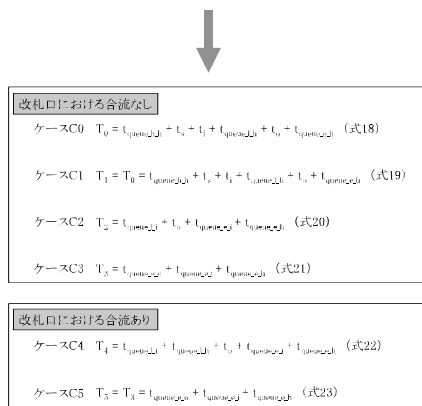


図5.5.2-1

⑤計算ケースに応じた避難完了時間の計算式の使用

図 5. 6. 2-1: 合流状況の想定・判別及び避難時間の計算式の作成までの流れ

## ②箇所別の合流と合流状況の想定

上記で示す様な合流のパターンを把握するため、「②箇所別の合流と合流状況の想定」を行う。各箇所合流する避難者と各合流の関係性を把握するため図 5.4.1-3 に示す様な図を作成する。

ボトルネックに先に到達する避難者に対して、後から合流する避難者から矢印を引くことで合流を表す。この合流毎に、「④合流状況の判別に基づく計算ケースの選択」に使用する判別式を作成する。また、合流状況は、出口から遠い側のボトルネックから順に分類することで分類が容易になる。これは、出口から遠いボトルネック程、合流する可能性のある避難者集団が減ることで合流の組み合わせパターンが減ることにある。例えば、駅構内を車両・ホーム、改札内空間、改札外空間に分けた場合、車両・ホームからの避難者と改札内の避難者の合流が生じる改札口における合流のパターンを把握し、場合分けを行う。合流により滞留が生じる可能性のある箇所が他にもある場合にはこれ屋外への出口から遠い側のボトルネックから順に繰り返し、入れ子状に場合分けを行う。把握した合流の状況を基に、避難全体を通して合流が生じる箇所を合流状況毎に「①合流箇所と合流する避難者の想定」で作成した図に記載し、図 5.4.1-2 と同様の図を作成する。

## ③合流状況の分類と計算ケースの決定

①及び②で分類した合流状況に基づき、避難計算のケースを作成する。この際、②で述べた様に出口から遠い側のボトルネックから順に場合分けを行い、計算ケースの整理を行う。図 5.4.1-1 に示す様な図を作成し計算ケースを整理する。

## ④合流状況の判別式に基づく計算ケースの選択

合流状況の判別式は、各空間において避難途上で直近のボトルネックまで最も遠い場所からそのボトルネックまでかかる移動時間、すなわち最後尾の避難者のボトルネックまでの移動時間と各空間の避難者のボトルネックにおける滞留時間、各空間の避難者数、各ネックの幅員、各ネックにおける流動係数の 5 種類の値からなる。上記の値を用いて、避難経路において後方の空間の最後尾の避難者が到達するまでに前方の避難者の滞留人数の有無を判別する計算式を作成する。この判別式を③で作成した各計算ケースの合流状況に応じて組み合わせることで、図 5.4.1-4 に示す様な各計算ケースにおける合流の条件を作成する。合流状況の判別式を計算結果と各計算ケースの合流条件を照らし合わせ、適合する計算ケースを選択する。なお、出口から遠いボトルネック程、合流の組み合わせパターンが減ることから、判別式の作成も、屋外への出口から遠い側のボトルネックにおけるものから順に行うことで容易になる。



#### ⑤計算ケースに応じた避難完了時間の計算式の使用

各計算ケースにおける避難完了時間は、避難経路上の最後尾の避難者が屋外に到達した時間となる。計算ケースの合流状況を基に、移動時間とボトルネックにおける滞留時間を基に避難完了時間の計算式を作成し、算出する。なお、合流の有無によって各ボトルネックにおける滞留時間が異なる。ボトルネックにおいて合流が生じる場合、後方の避難者がそのボトルネックに至るまでにおける移動時間は前方の避難者の滞留時間内に含まれることから、そのボトルネックにおける前方の避難者と後方の避難者全員の滞留時間が、そこまでの避難を完了するために要する時間となる。

### 5.6.3 出口通過人数に基づく滞留時間の調整方法

「5.5 合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価のための指標の作成」において作成した合流状況の判別式は、各空間内の避難者が1つの出口を目指す場合の計算式であった。一方で、「5.6.1 出口における通過人数の想定及び算出方法の提案」で示した、同一空間に複数の出口が設置されている場合における通過人数の配分方法を用いた場合、各空間からの避難者が出口設置空間で分散して階段に向かうことになる。このため、合流状況の判別式を用いる際には、出口における合計の通過人数が各空間の避難者数の合計となる必要があり、出口設置空間を目指す全人数より少なくなる。この人数をそのまま判別式及び避難完了時間の計算式に用いると、出口より前のボトルネックで得られる滞留時間が、ボトルネックにおける合計の通過人数と幅員により得られる結果より減少し適切な結果を得ることが出来ない。経路上、出口より前に通過する改札口等のボトルネックでは、そのボトルネックより後方にいる避難者の内、同じ出口設置空間に向かう全避難者が通過することになり、出口が1つの場合の滞留時間と等しいためである。ここでは、同一空間に出口が複数設置され出口に向かう避難者が分散される場合に、合流状況の判別式及び避難完了時間の算出式内における各ボトルネックにおける滞留時間の調整方法を示す。

判別式及び通過完了時間の計算式は、各出口に向かう避難者毎に用いる。避難経路上、出口設置空間外から各出口に向かう避難者数は通過人数の配分方法に基づき計算出来るため、空間外からの避難者の全出口における通過人数の合計に対する各出口に向かう避難者の割合を求めることが出来る。ボトルネックにおける滞留時間は通過人数を流動係数と幅員で割ることで求めることが出来ることから、各出口に向かう避難者を対象として判別式もしくは避難完了時間の計算式を用いる際には、出口より前に通過する各ボトルネックの幅員（改札口はレーン数）に対して、各出口に向かう避難者の割合を掛けることで、出口が1つの場合と同じ滞留時間に換算出来ると考えられる。

以下に出口が1つの場合と2つの場合について、計算に用いる各空間における避難者数及び幅員の値を、例として図とともに示す。

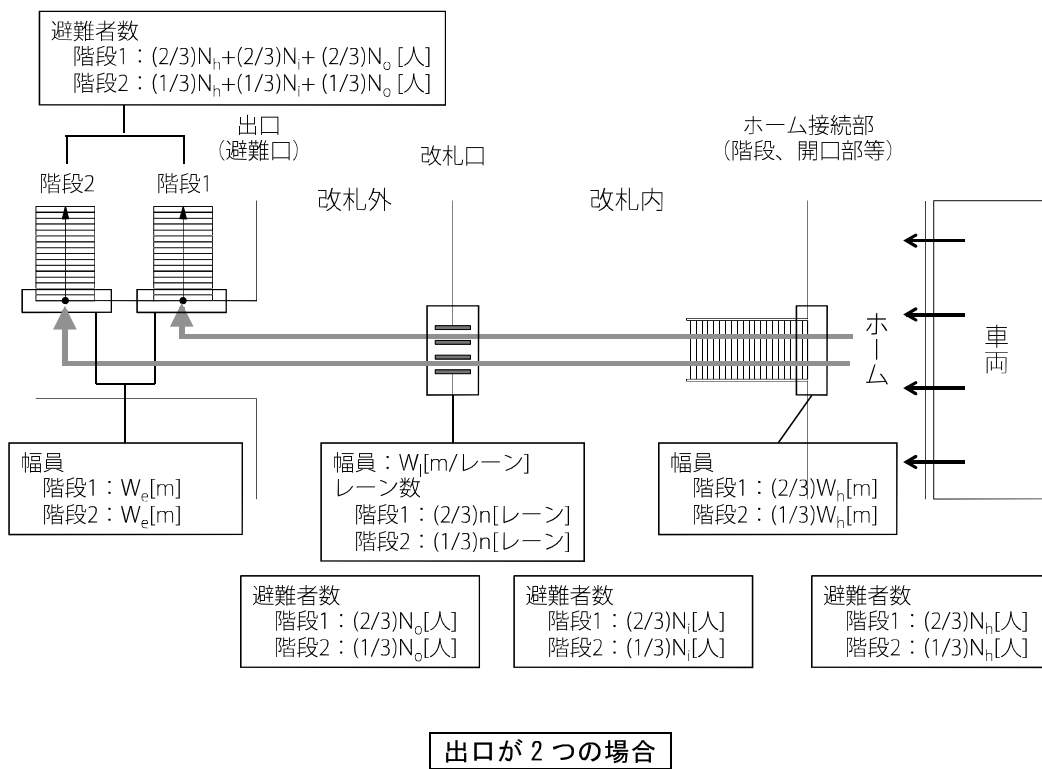
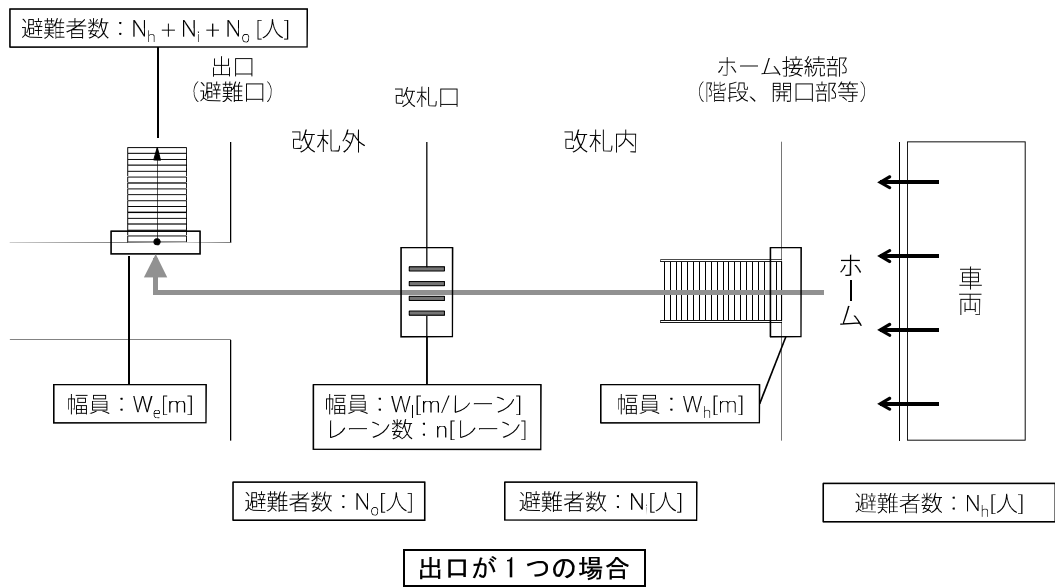


図 5.6.3-1：出口通過人数に基づく幅員の調整例

#### 5.6.4 改札口通過人数に基づく出口滞留時間の調整方法

「5.5 合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価のための指標の作成」において作成した合流状況の判別式は、各空間内の避難者が1つの改札口から1つの出口を目指す場合の計算式であった。車両・ホーム及び改札内の避難者が複数の改札口から1つの出口もしくは出口設置空間を目指す場合が考えられる。この場合、同一の出口に向かう避難者の改札口から出口までの距離に大きな差はないため、この間の移動時間に大きな差はなく、異なる改札口を通過した避難者は出口において合流することが想定出来る。複数の改札口の内、1つの改札口を通過する避難者について、この通過人数を基に、出口の実際の幅員を用いて出口における滞留時間を算出すると、全改札口を通過した避難者の合計通過人数から求めた滞留時間より短くなる。このため、判別式及び避難完了時間の計算式において適切な結果を得ることが出来ない。ここでは、複数の改札口を通過した避難者が1つの出口もしくは出口設置空間を目指す場合において、合流状況の判別式及び避難完了時間の算出式内における出口における滞留時間の調整方法を示す。

判別式及び通過完了時間の計算式は、異なる改札口からの避難者が同じ出口を通過する場合、各改札口を通過する避難者毎に用いる。同じ出口で合流する各改札口からの避難者の合計通過人数に対する各改札口からの避難者の割合を求め、この割合を出口の幅員と改札外空間からの避難者数に掛けることで滞留時間を調整することが出来る。ボトルネックにおける滞留時間は通過人数を流動係数と幅員で割ることで求めることが出来ることから、上記割合を幅員に掛けることで1つの改札口からの避難者の出口における滞留時間を、全改札口からの避難者が合流して出口を通過する場合と同じ滞留時間に換算することが出来る。また、上記割合を改札外の避難者数に掛けることで、上記割合を掛けた幅員を用いて改札外空間からの避難者の出口の滞留時間を算出する際に、改札外からの避難者の滞留時間を当該避難者の全人数と実際の幅員から求めた場合と同じ値に換算することが出来る。

同一空間に出口が複数設置され出口に向かう避難者が分散される場合は、「5.6.3 出口通過人数に基づく滞留時間の調整方法」に基づく滞留時間の調整方法とともに使用することが可能である。

## **5.7 災害時要援護者が改札口通過時に周囲の健全者群集の流動に与える影響**

災害時要援護者の存在を考慮したシミュレーションを行い、災害時要援護者の有無による広幅員改札口通過時の混雑状況に対する影響を評価する。移動円滑化された経路に改札口を設ける場合には、1つ以上の改札口の幅員を800mm以上とすることが国土交通省による基準により定められている。この幅員は車いすが通過する際に幅を最低限満たすものであり、同省監修のガイドラインには、車いす使用者の動作の余裕を見込み、900mm以上とすることが望ましいと記載されている<sup>24)</sup>。この改札口の設置理由を鑑み、ここでは、災害時要援護者の内、車いす使用者を対象とする。同時避難させる場合と安全な場所に待機させた後に避難させる場合の2通りについて比較を行う。広幅員の改札口を通過する車いす使用者の群集内における配置場所の違い及び待機の有無が、改札口における流動量及び混雑に与える影響を把握する。

## 5.7.1 シミュレーションにおける設定条件

### (1) 再現空間の設定

再現する空間は改札機間の幅が 800mm となる 1 レーンの改札口と群集の配置場所により構成される。改札機の長さは実験と同様、実際のを想定し進行方向に対する奥行きを 1600mm とした。本検討において改札口は 1 レーンとなるため、本検討には改札機の幅による影響はないものとし 200mm とした。

「国土交通省令 第 111 号 第 19 条 移動等円滑化のために必要な旅客施設又は車両等の構造及び設備に関する基準を定める省令」において「鉄道駅において移動等円滑化された経路に改札口を設ける場合は、そのうち一以上は、幅が八十センチメートル以上でなければならない」とされている。同省監修のガイドライン<sup>19)</sup>では「90cm 以上が望ましい」とされているが、本報は現状の規定における最低幅員 800mm (= 80cm) を用いる。

また、改札口は、駅員の操作により非常時において全通路を常時開放とすることが出来る。本検討は避難を想定していることから、改札口は常時開放状態として再現する。対象とする空間の設定を以下に示す。

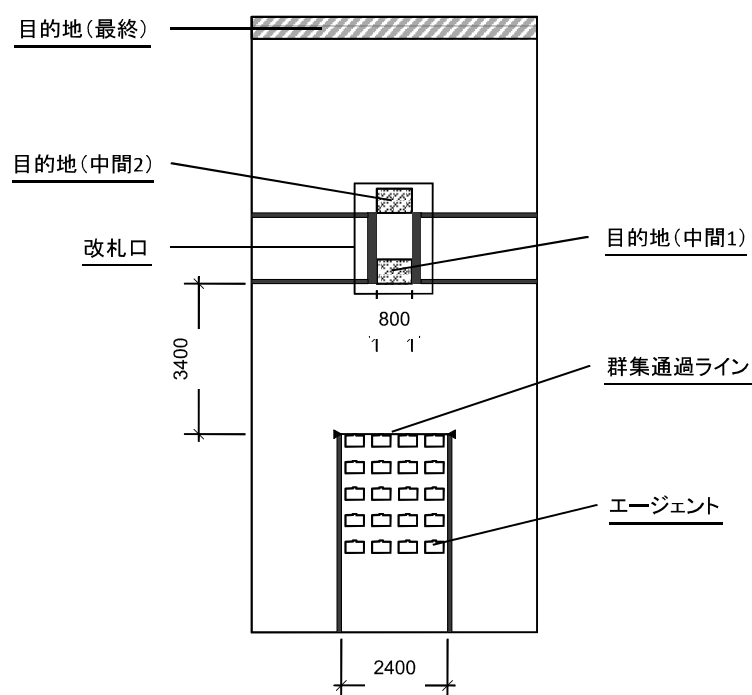


図 5.7.1-1 : 空間設定

## (2) 歩行者の表現及び行動規則

歩行者のオブジェクト表現を決定する。当該シミュレーションにおいて再現する歩行者は歩行に支障のない健常者と車いす使用者とする。本項においては、健常者と車いす使用者に個人差はないものとし、それぞれについて同一の形状と寸法を持つ同じオブジェクトで表現する。以下に、各寸法を図示する。

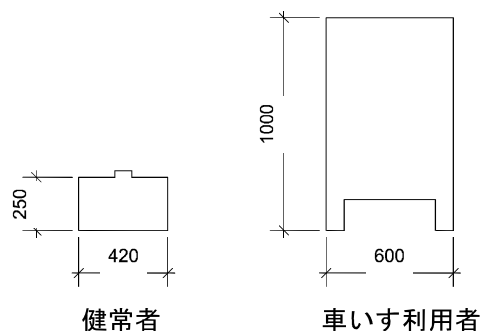


図 5.7.1-2：健常者及び車いす使用者の表現オブジェクト

なお、行動規則については「4.8.2 シミュレーションにおける設定 (2)歩行者の行動規則」に従う。

## (3) 歩行者の配置及び行動設定

シミュレーション上の健常者と車いす使用者の最高歩行速度は、既往の実験における歩行速度の平均値<sup>25)</sup>に基づきそれぞれ 1.5m/s と 1.1m/s とする。

また、改札口に対して正面から進行する単独群集を再現する。避難者が改札口に対して正面から進入することを想定し、改札口正面に群集を配置する。歩行者は 20 人を 4 列で所定の配置場所に整列させる。シミュレーション上の歩行者は、実験と同様に群集通過ラインを必ず通過することとし、通過しない限り配置場所の外側に出ない様に設定した。避難者の合計数は変えず、車いす使用者の位置と人数及び待機の有無をパラメータとして、10 ケースを設定する。以下に、各ケースにおける群集配置を示す。

表 5.7.1-1：各ケースにおける群集配置

	ケース 0	ケース 1A	ケース 1B	ケース 1C	ケース 1D
進行 方向 ↑					
					車いすは改札口の傍で待機

### 5.7.2 各ケースにおける改札口の流動量の比較

各ケースについて、改札口における避難者の流入開始から流入終了時点までの経過時間を計測し、経過時間を基に改札口流入部の流動量を求めた。以下に各ケースにおける流動量を示す。

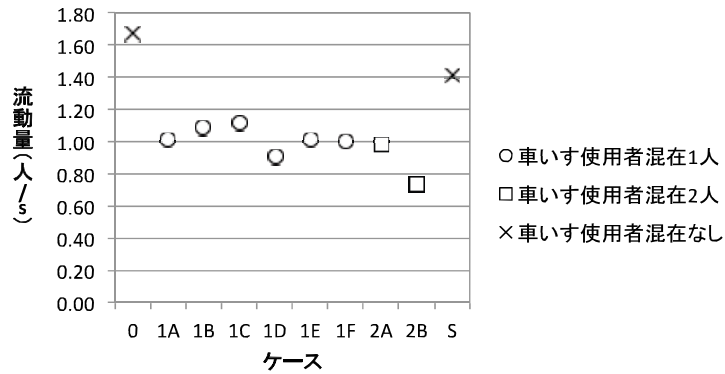


図 5.7.2-1：各ケースにおける改札口流入完了必要時間と流動量

流動量は車いすが混在するケースより、混在しないケースの方が最低でも 0.2m/s 以上高い。車いすは健常者より歩行速度が遅く専有面積（車いす：幅 600mm×長さ 1000mm）が大きいため、流動量が低下したと考えられる。また、健常者に比べて幅が広く、改札口に流入する際に時間が掛かることも要因となる。

### 5.7.3 各ケースにおける改札前空間の密度変化の比較

改札口から初期位置における群集の先頭までの間の空間（以降、改札前空間）13.6 m<sup>2</sup> (= 3.4m × 4m) における群集密度の推移を求める。改札前空間は、改札口前方に滞留する避難者が範囲内となる様に設定する。

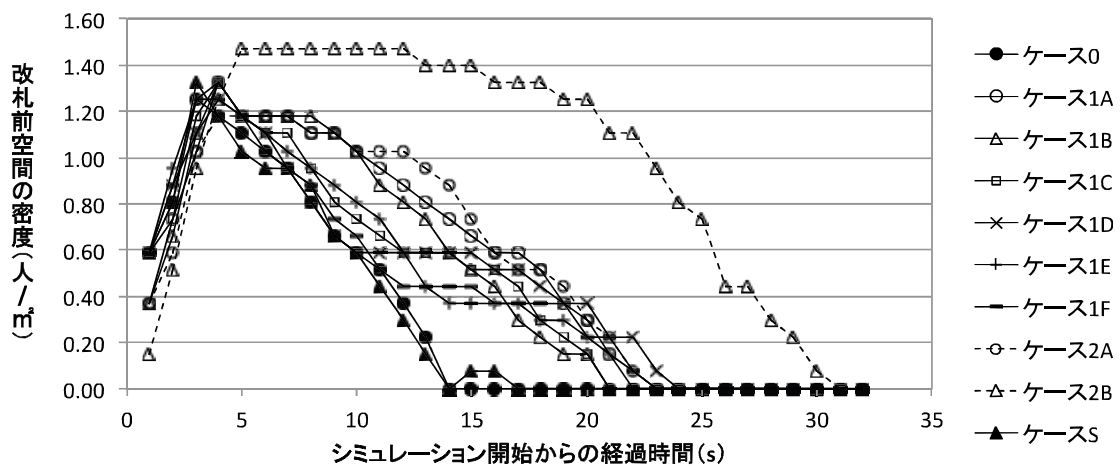


図 5.7.3-1：各ケースの改札前空間における密度の推移



車いす使用者が群集に混在しないケースが、最も密度の低下が速い。混在するケースにおいては、車いす使用者が改札口に流入する際に健常者の流入が阻害されるため、密度の低下が低下することが要因である。

ケース 2B の密度の最高値が最も高く、他のケースはほぼ同様の値を取る。加えて、最高値到達後に密度の低下が見られない状態が続き、密度の低下が最も遅い。車いす 2 台が前方を走行しているために、後方の健常者の改札口への流入が阻害されているためである。

#### 5.7.4 各ケースにおける車いす使用者に対する健常者の改札口先行通過人数の比較

初期位置において車いすの前方及び側方に配置される健常者の数と、改札口を車いすに先行して通過した健常者の数を比較する。

表 5.7.4-1: 初期位置における車いす前方及び側方の人数と車いすに先行して改札口を通過した人数

	ケース1A	ケース1B	ケース1C	ケース1D	ケース1E	ケース1F	ケース2A	ケース2B
車いす先行通過人数	4	4	12	12	15	14	5	1
車いす前方側方人数	4	4	12	12	19	19	8	0

車いす 1 台が後方に配置されたケース 1E 及び 1F と車いす 2 台が縦に配置されたケース 2A において前者の人数を後者の人数が上回る。車いす側方の健常者が追い越せなかったことが要因である。

### 5.7.5 健常者による追い越し及び改札口先行通過条件

車いす使用者の速度が相対的に健常者より低いと仮定した場合、車いす使用者が健常者の群集内に混在しない方が、改札口通過時の流動量及び、改札前の密度が低くなる。そのため、車いす使用者を健常者と分離した方が円滑に避難出来ると考えられる。この際、車いす使用者の待機もしくは車いす使用者が改札口に到達するまでの間に健常者の改札口への流入完了が必要となる。

健常者が車いす使用者を追い越す必要条件として、健常者と車いす使用者の速度及びネック・健常者・車いす使用者の距離に基づく関係式を以下に示す。

#### (1) 車いす使用者に対する健常者の改札口先行到達条件

健常者が車いす使用者よりも先に改札口に到達するための必要条件として、以下の式が想定される。

$$Vt_1 \geq Ut_1 + d \quad (\text{式 1})$$

$V$  : 健常者の歩行速度  $U$  : 車いす使用者の歩行速度

$t_1$  : 車いす使用者の改札口到達時間

$d$  : 健常者の背面と車いす前面の距離

また、 $t_1$  は以下の式で定義される。

$$t_1 = h / U \quad (\text{式 2})$$

$h$  : 車いすの初期位置から改札口までの距離

式 1 及び式 2 より、健常者が車いす使用者に先行して改札口に到達する必要条件は以下の様になる。

$$V \geq (1 + d/h) U \quad (\text{式 3})$$

#### (2) 車いす使用者合流前における健常者の改札口流入完了条件

車いす使用者が到達する前に改札口前の健常者が改札口に流入完了する条件として以下の式が想定される。

$$e \geq Ut_2 \quad (\text{式 4})$$

$e$  : 車いすと改札口前滞留群集の最後尾との距離

$t_2$  : 健常者通過完了時間

健常者の改札口流入について、以下の式が成り立つ。

$$\Delta N = N / t_2 \quad (\text{式 5})$$

$\Delta N$  : 改札口を通過する流動量

$N$  : 改札口前に滞留する健常者数

式 5 より、式 4 を以下の式に変形する。

$$N/\Delta N \leq e/U \quad (\text{式 6})$$

健常者の改札口到達に関する速度と距離について以下の関係式が成り立つ。

$$h + d = Vt_3 \quad (\text{式 7})$$

$t_3$  : 健常者改札口到達時間

車いすと改札口前の健常者の距離について下式で表せる。

$$e = h - Ut_3 \quad (\text{式 8})$$

式 7 より  $t_3$  を代入すると式 8 は以下の様になる。

$$e = h - (h + d)U/V \quad (\text{式 9})$$

式 9 を式 6 に代入すると、車いす使用者が到達する前に改札口前の健常者が改札口に流入完了する条件は下式で表される。

$$N/\Delta N \leq h/U - (h + d)/V \quad (\text{式 10})$$

健常者が車いす使用者の改札口到達以前に改札口流入完了するためには、以下の式が成り立つ必要がある。

$$t_2 + t_3 \geq t_1 \quad (\text{式 11})$$

式 2,5,7 より  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  に代入すると式 11 は以下の様になる。

$$N/\Delta N \leq h/U - (h + d)/V \quad (\text{式 12})$$

式 10 と式 12 は同一の式であり、条件式及び導出過程の式について、その関係性が担保されたと言える。

### (3) 通路の必要幅員

健常者が車いすを追い越すためには車いすの側方を健常者が通過可能な幅が必要となる。条件として以下の式が想定される。

$$W_p \geq W_c + W_h$$

$W_p$  : 通路幅  $W_c$  : 車いすの幅  $W_h$  : 健常者の肩幅

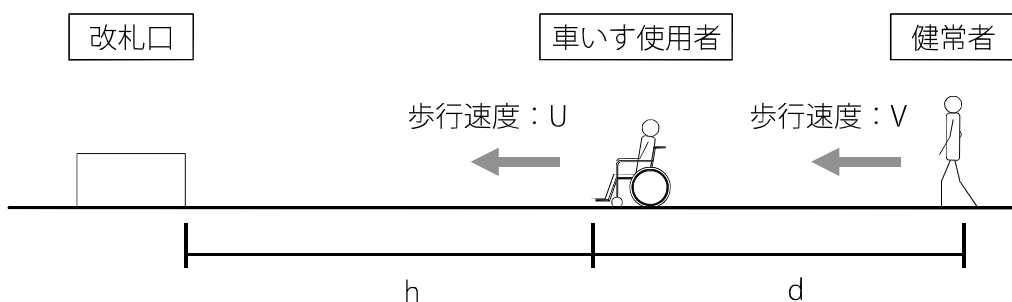


図 5.7.5-1 : 先行通過条件式に使用する歩行速度と距離

## 5.8 まとめ

大規模鉄道駅を対象として、避難中の混雑状況化で発生する滞留の評価方法の作成を行うことを目的とし、多数の利用者が存在する都心の大規模鉄道駅をモデルとしたシミュレーションを実施し、混雑状況と避難時間に基づき、混雑及び滞留による避難時間の変化を評価する指標の作成を行った。また、評価指標を実際の鉄道駅に用いるために必要となる計算及び計算の使用方法的提案を通して作成した指標の運用方法を示した。

加えて、健常者による追い越し及び改札口の先行通過するための条件を示す式を作成するとともに災害時要援護者の存在を考慮したシミュレーションを行い、広幅員の改札口を通過する車いす使用者の群集内における配置場所の違い及び待機の有無が、改札口における流動量及び混雑に与える影響を把握した。

### (1) 流動量と改札口有効幅員の検証

- ・シミュレーションと実験による流動量の比較に基づく検証により、肩高での自由度を考慮した1レーンあたりの有効幅員620mmは、流動量の観点から肩高以上の側壁を持つ1通路の幅と同等であることが確認された。

### (2) 水平面上の順次避難シミュレーションに基づく混雑及び滞留状況による避難時間の変化

- ・改札内の避難者を待機させた際に、改札内外の避難者の合流で生じた滞留による階段流入完了時間の遅延を、合流遅延時間として下式により定義した。

$$t_i = t_g' - t_p$$

$t_g'$  : 合流による滞留の生じない場合における階段流入完了時間[s]

$t_p$  : 避難開始待機時間[s]     $t_i$  : 改札内だけのケースにおける階段流入完了時間[s]

- ・改札内外の合流によって生じた滞留による階段流入完了時間への影響を除外した階段室への単位時間あたりの流入量を滞留除外流入量として、改札内の避難者の待機時間を一定間隔で増加させた場合における、滞留除外流入量を求める以下の式を作成した。

$$\begin{aligned} \Delta N_{be(n)} &= N / \{t_{g(1)} - t_{int}(n-1)\} \\ &= \Delta N_{be(n-1)} \times [1 + t_{int} / \{t_{g(1)} - t_{int}(n-1)\}] \end{aligned}$$

$\Delta N_{be}$  : 滞留除外流入量[人/s]     $N$  : 避難者数[人]     $t_g$  : 階段流入完了時間[s]

$t_{int}$  : 一定間隔で変化させた避難開始待機時間の変化間隔[s]

( $n = 1, 2, 3 \dots$ )

※自然数  $n(1 \leq n)$  は、合流による滞留が生じない場合を  $n=1$  とする。 $n$  は  $t_{int}$  の間隔で避難開始待機時間が減少するに従い、1ずつ増加し、避難開始待機時間が0秒の場合を最大値とする。

- ・滞留除外流入量からの乖離度を以下の式により定義した。

$$\begin{aligned}\varepsilon(n) &= \Delta N_{b(n)} / \Delta N_{be(n)} \\ &= \{t_{g(1)} - t_{int}(n - 1)\} / t_{g(n)}\end{aligned}$$

$\varepsilon$  : 乖離度     $\Delta N_{be}$  : 滞留除外流入量[人/s]     $\Delta N_b$  : 階段流入量[人/s]

$t_g$  : 階段流入完了時間[s]     $t_{int}$  : 一定間隔で変化させた避難開始待機時間の変化間隔[s]  
( $n = 1, 2, 3 \dots$ )

※自然数  $n(1 \leq n)$  は、合流による滞留が生じない場合を  $n=1$  とする。 $n$  は  $t_{int}$  の間隔で避難開始待機時間が減少するに従い、1 ずつ増加し、避難開始待機時間が 0 秒の場合を最大値とする。

- 1 より大きい場合は合流により改札内の避難者の階段流入が阻害されずに改札内外の避難者が合流したことで階段流入量が増加したことを示し、1 より小さい場合は合流による滞留で改札内の避難者の階段流入が阻害されたことを示す。

- ・避難経路上における避難者の歩行速度の割合に基づき、合流遅延時間及び乖離度が滞留状況を示すことを確認した。
- ・流動量、合流遅延時間、乖離度、歩行速度に基づき、水平面上の順次避難を行う場合について、改札内外の避難者の合流により生じる滞留と改札内の避難者が、避難経路上前方にいる改札外の避難者の存在により受ける避難時間の遅延及び階段（出口）流入の阻害を確認した。

### (3)合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価

- ・避難において通過するホーム、改札内空間、改札外空間、屋外の空間境界部に存在するボトルネックにおける合流の有無に基づき、合流状況を 6 種類に分類し、避難計算を行う計算ケース C0～C5 を決定した。
- ・6 種類の合流状況を反映した C0～5 の計算ケースの避難完了時間を算出する前提として、適合するケースを判別する合流の条件式を作成した。
- ・各計算ケースの避難完了時間を算出する式を作成した。
- ・合流による滞留と開口部の滞留から生じた避難時間の増加分（遅延時間）の算出式と乖離度を作成した。

合流による滞留

$$\text{遅延時間} : T_{1-5} - T_0 \quad \text{乖離度} : T_{1-5} / T_0$$

開口部による滞留

$$\text{遅延時間} : T_0 - T_{NC} \quad \text{乖離度} : T_0 / T_{NC}$$

$T_0 \sim T_5$  : ケース C0~C5 における全避難者の避難完了時間

$T_{NC} = t_s + t_i + t_o$  : 移動時間のみを反映した避難完了時間

$t_s$  : ホームと改札内空間の間にある階段等の移動時間

$t_i$  : 改札内空間（ホーム接続部から改札口の間）の移動時間

$t_o$  : 改札外空間（改札口から出口の間）の移動時間

#### (4) 合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価式の運用方法

- ・ 出口が設置された通路及び交差点における避難者の避難口選択方法を、避難開始時に当該空間にいる避難者と、別の空間から避難して来る避難者で分けて作成した。

空間内から避難開始する避難者は空間内で最も近い出口を目指す。各出口の通過人数は、空間を階段中心部からの距離に基づいたボロノイ分割で分けた出口に接する領域内にいる避難者数とする。この際、空間外の出口の方が近い距離に存在する場合でも空間内の出口を目指すものとする。

空間外から出口の設置された空間に避難して来た避難者については、出口までの距離に応じて目指す人数を変える。最も近い出口を目指す避難者数を比率 1 として、距離が遠くなるに従い、目指す避難者数が半減するものとする。なお、出口が避難者の進入する空間端部から同距離上にあるとみなせる場合は同じ比率の避難者が向かうものとする。

- ・ 空間の異なる避難者間の合流箇所の想定から合流状況の判別式及び避難時間の算出式の作成までの流れを示した。流れは以下の様になる。

- ①合流箇所と合流する避難者の想定
- ②箇所別の合流と合流状況の想定
- ③合流状況の分類と計算ケースの決定
- ④合流状況の判別式に基づく計算ケースの選択
- ⑤計算ケースに応じた避難完了時間の計算式の使用

- ・ 合流状況の判別式及び避難時間の算出式の作成までの流れにおける各段階について、空間の異なる避難者間の合流箇所の想定から合流状況の判別式及び避難時間の算出式の作成までにおける考え方と、改札口、屋外への出口以外の合流箇所の状況を計算式に反映する際の考え方を示した。

- ・ 同一空間に出口が複数設置され出口に向かう避難者が分散される場合に、合流状況の判別式及び避難完了時間の算出式について、各ボトルネックにおける滞留時間の調整方法を示した。

- ・ 複数の改札口を通過した避難者が 1 つの出口もしくは出口設置空間を目指す場合において、合流状況の判別式及び避難完了時間の算出式内における出口における滞留時間の調整方法を示した。

(5)改札口通過時に災害時要援護者が周囲の健常者群集の流動に与える影響

- ・車いす避難者は健常者に比べて相対的に歩行速度が低いと考えられ、改札口等の狭窄部においては健常者と比較して占有面積が大きいことも加わり、健常者の避難を阻害する。
- ・車いす使用者と健常者の避難経路の分離は、健常者群集とともに改札口を通過する場合よりも避難時間短縮と混雑緩和に有効である。
- ・健常者が車いす使用者を追い越した後に車いす使用者が追いつくことがなければ車いす使用者が待機をしなくとも、健常者の改札口通過を阻害しない。
- ・車いす使用者が待機しなくとも健常者の改札口通過前から完了に影響を与えない状況を定義する式として、健常者と車いす使用者の速度に加えて改札口の位置と両者の距離を基にした条件式、通路の必要幅員に関する以下の3式を求めた。

①車いす使用者に対する健常者の改札口先先行到達条件

$$V \geq (1 + d/h) U$$

②車いす使用者合流前における健常者の改札口流入完了条件

$$N / \Delta N \leq h / U - (h + d) / V$$

③通路の必要幅員

$$W_p \geq W_e + W_h$$

V : 健常者の歩行速度 U : 車いす使用者の歩行速度

d : 健常者の背面と車いす前面の距離

h : 車いすの初期位置から改札口までの距離

$\Delta N$  : 改札口を通過する健常者の流動量 N : 改札口前に滞留する健常者数

$W_p$  : 通路幅  $W_e$  : 車いすの幅  $W_h$  : 健常者の肩幅





---

## 第6章

鉄道駅における行動モデルに基づく避難安全性評価手法の効果

## 6.1 はじめに

---

本研究は、建築基準法における計画と評価を含む避難計画全体を避難安全設計とし、鉄道駅に対してその特徴を考慮した建築基準法とに基づく避難安全設計と同様の設計を実施するために、鉄道駅の避難安全性評価となる避難安全設計において火災避難時の移動円滑化に資する避難計画の作成方法と評価方法の確立を目的としている。前章までにおいて、避難時の移動に関する問題点の把握に基づく避難計画の作成方法と計画評価に資する計算方法及び指標の作成を行った。

本章では上記結果を基に、避難計画方法及び評価方法について、建築基準法に基づく避難安全設計とともに用いた場合における避難安全性に対する効果について考察する。

## 6.2 鉄道駅利用者に対する避難誘導計画の作成方法

---

第2章において、火災避難時の経路探索行動に与える環境的要因及び避難者の経路探索行動モデルの把握を行った。第3章では、実際の誘導灯及び案内標識のモデル模型について視認距離に対する減光係数と水平角の影響を把握し、各標識について減光係数と水平角を用いた視認距離の予測式を得た。また、それぞれについて利用者に対する避難経路の誘導計画方法を考察した。

本節では、各章の考察に基づき、避難経路の誘導計画の作成方法と標識の設置計画の作成方法のそれぞれについて、鉄道駅における避難安全性に対する効果を述べる。建築基準法に基づく避難計画作成時の流れにおいて、本研究で得られた鉄道駅利用者に対する避難誘導計画の作成方法を用いる段階について、図6.2-1に示す。

### 6.2.1 利用者の避難経路探索行動に基づく避難経路の誘導計画の作成方法

第2章において、火災避難時の経路探索行動に与える経路選択時の環境的要因及び避難者の経路探索行動モデルの把握を行い、避難計画作成時の指針として利用者の行動モデルに基づく避難経路の誘導計画方法について考察した。以下に、考察の概要と考察に基づき得た誘導計画の作成方法により得られる避難安全性に対する効果を述べる。

#### (1) 利用者の行動モデルに基づく避難経路の誘導計画方法に対する考察の概要

鉄道駅避難時の経路選択判断に際して、利用者は案内標識を利用する可能性が高いが、案内標識は日常利用を想定されており、利用者が目指す個別の出口や改札口、方面に向かうための具体的な経路を示すが、最短距離にある改札口・出口は示されていない。案内標識の表示内容に距離情報を付加することにより、案内標識を使用することで、避難する鉄道駅に対する習熟度に関わらず最短経路の選択に有効に働くことを述べた。

避難経路の提示方法については消防法により誘導灯及び誘導標識が規定されているが、鉄道駅の避難経路選択において使用されるとは限らないことを把握した。誘導灯の鉄道駅における認知率については6割と低いことに加えて、実際の避難時における使用頻度はそれ以上に低い可能性が示唆された。これにより、誘導灯がその存在に気づかないこと及び使用されないことも避難経路の長距離化に影響を与えると考えられることから、誘導灯の使用を促す方法の必要性について述べた。

案内標識と誘導灯が混在する状況は鉄道駅特有である。このような状況において、誘導灯がその認知率以上に使用されず、代わりに案内標識が使用される傾向のあることが、本研究の避難経路探索実験により明らかとなった。これにより、誘導灯の使用を促す必要性のあることも明らかとなった。

案内標識を経路選択時の判断に使用していることから、避難者が経路表示設備に従うとすれば、誘導する避難経路上において連続した標識の配置が必要となることを把握した。特に、不慣れな利用者が避難経路探索行動を行う際、交差点等の経路選択が必要な場所毎に経路選択を繰り返して行うことから、標識の配置については特に交差点等の通路分岐点において重要となることを示した。

## (2) 避難安全性に対する効果

建築基準法の避難関係規定において避難計算を行う場合には、出火点場所により通行不可能な経路を除いて、避難開始場所から最も近い階段もしくは出口を目指す経路上における避難時間を算出する。鉄道駅においては、案内標識を用いる傾向があるため、実際の避難における利用者の避難経路が避難計画及び避難計算において想定する経路と異なる可能性がある。避難計画において案内標識に対する距離情報の付加と誘導灯の使用の促進を行い、避難者が最短経路上を避難するための対策を施すことで、実際と避難計画及び避難計算上の避難経路の乖離する可能性を減らすことが出来る。

案内標識に表示されている改札口・出口については、最短距離以外のものについても距離情報が必要である。建築物における避難計画では二方向避難という考えに基づき、出火点が避難経路上にある場合、異なる方向にある階段・出口へ異なる経路を移動して避難可能となる様に避難経路を計画することが求められる。火源が最短経路上に存在する等、最短経路が使用出来ない場合を想定している。最短距離以外のものについても距離表示があることで、利用者は最短距離に続く距離の経路を選択することが出来、二方向避難の安全性を高めることが出来ると考えられる。

加えて、上記の様に標識の使用に基づき避難者が計画した経路上を避難するためには、標識の連続した配置が重要となる。実際と避難計画及び避難計算上の避難経路の乖離する可能性を減らすために必要と考えられる。

## 6.2.2 視認性に基づく標識の設置計画の作成方法

コンコース等の広い空間において、避難者は誘導灯と案内標識を表示面に対して斜めから確認する場合が生じることから、第3章において、両標識について減光係数と水平角に対する視認距離の予測式を作成し、標識について視認する角度を考慮して設置することが望ましいことを示した。以下に、考察の概要と考察に基づき得た視認性に基づく標識の設置計画の作成方法により得られる避難安全性に対する効果を述べる。

### (1) 標識の設置計画方法に対する考察の概要

実験により、C級誘導について灯水平方向の回転角度と煙濃度に基づく内容の判別が可能な距離の予測式を得た。この予測式を基に、不慣れな人が避難し始めるとされる減光係数 $0.1[1/m]$ で、標識の種類、水平角 $0^\circ \sim 80^\circ$ の間において15mから全てが視認できることが推定できる。消防法におけるC級誘導灯の有効範囲は通路誘導灯が10m、避難口誘導灯が15mと定められており、上式により求められる視認距離はこの有効範囲内を満たすことを示した。

また、各標識について、正対面積（水平角）に対する視認距離の関係を把握し、視認上有効となる水平角の角度を全標識について統一する場合、設置時における水平角の有効範囲として、 $0^\circ \sim 60^\circ$ の範囲で設置することが望ましいことを示した。

### (2) 避難安全性に対する効果

6.2.1の(2)で述べた、距離情報の付加された案内標識または誘導灯を用いた避難計画を作成する場合、避難者が案内標識と誘導灯を視認することが重要となる。避難経路上の連続した配置に加えて、水平角の有効範囲を考慮することで避難者の標識の見落としを防ぎ、実際と避難計画における避難経路の乖離を防ぐことが出来ると考えられる。

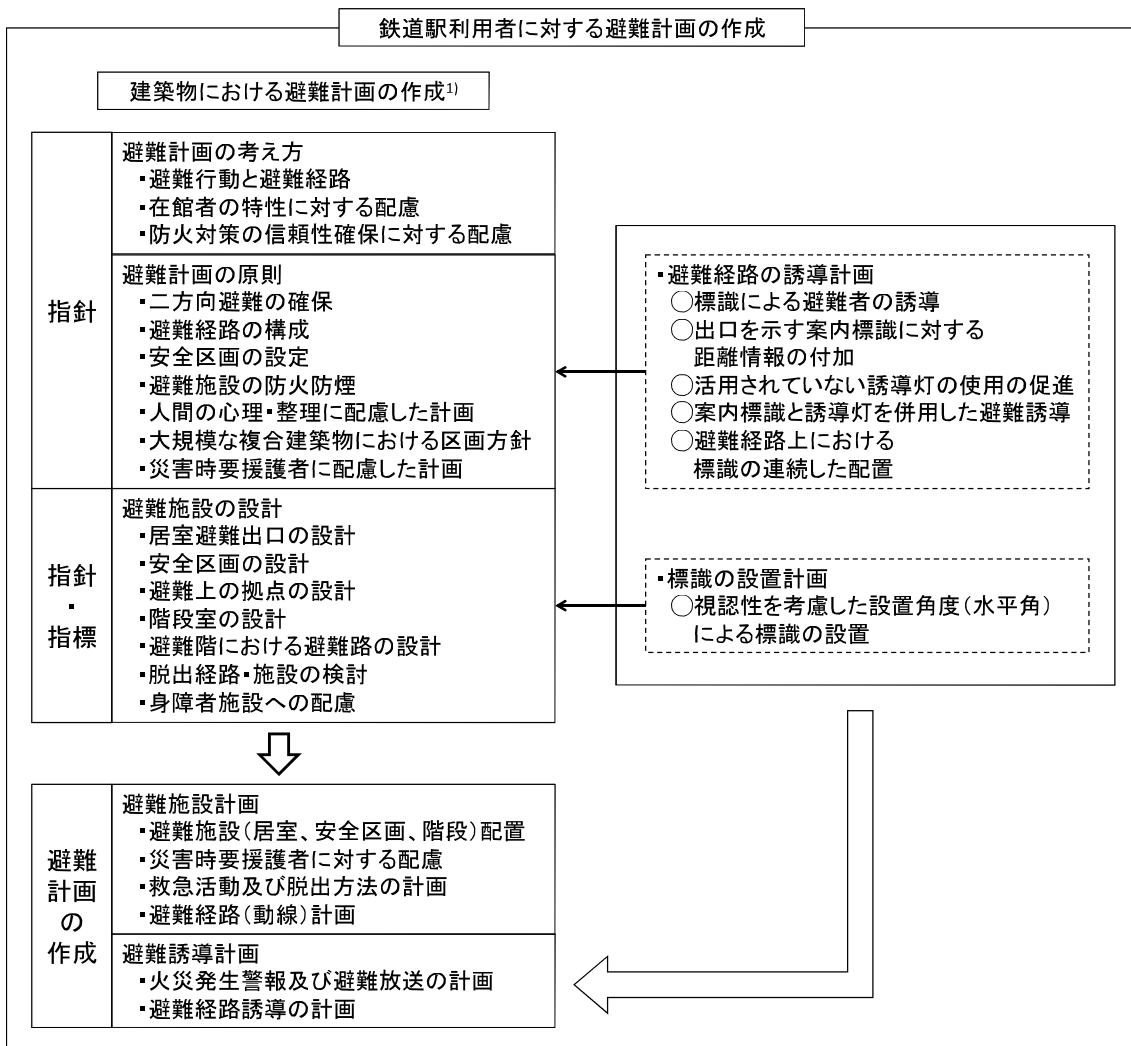


図 6.2-1 : 本研究で得た避難誘導計画作成方法の建築物の避難計画作成に対する適用段階

### 6.3 鉄道駅避難時の滞留評価に基づく避難計画評価方法

第4章において、改札口通行部の選択確率モデルと通過時の避難計算方法の検討を行った。第5章では、鉄道駅構内における一斉避難時において、在館者の合流により生じる滞留による避難時間の変化を評価する指標の作成を行った。並びに災害時要援護者である車いす使用者と健常者のボトルネックにおける合流状況を評価する指標の作成を行った。

本節では、各章で作成した計算方法及び指標に基づき、改札口における滞留時間の計算方法、合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価方法、ボトルネックにおける車いす使用者の合流状況評価方法のそれぞれについて避難安全性に対する効果を述べる。なお、5.6で述べた様に、合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価方法については、以下の流れで行う。

- ① 鉄道駅構内を避難口となる屋外に通じる出口の位置と通路形状を基にブロックに分割する。
- ② ブロックに分けられた空間毎に検討する。
- ③ 避難者はブロック内で最短の出口を目指し、ブロック内でのみ合流するものとする。
- ④ ブロック内で出口が複数ある場合には、出口毎に出口に向かう避難者の経路を想定する。
- ⑤ 経路毎に合流状況の判別式を使用して合流状況の判別を行う。
- ⑥ 状況別の避難完了時間の算出式を使用し、避難完了時間を算出する。
- ⑦ 合流に基づく滞留による遅延時間の算出と開口部の滞留による遅延時間の算出を行う。
- ⑧ 判別した合流による滞留箇所及びこれに応じた避難完了時間、⑦の遅延時間により合流による滞留の生じる場所における滞留の要因を評価する。

また、これらの評価方法を建築基準法における避難計画評価に適用して鉄道駅の避難計画評価を行う場合、階避難の評価に用いるものとして以降の考察を行う。

本研究における鉄道駅の階避難評価の対象は、鉄道駅構内において屋外に直接通じる出口（鉄道駅構内と接続する商業施設やオフィスビル等の建築物等の出入り口は含まない）までの避難経路上において避難者の滞在箇所となる車両、ホーム、改札内空間、改札外空間の4箇所である。駅員事務室や改札内商業施設等、区画され、利用者もしくは従業員の滞在部分が設けられたものについては居室避難の対象とする。

建築基準法に基づく避難計画評価時の流れの中で、本研究で得られた鉄道駅避難時の滞留評価に基づく避難計画の評価方法を用いる段階について、図6.3-1に示す。

### 6.3.1 改札口における滞留時間の計算方法

第4章において、群集の数と改札口への接近方向の観点から改札口に接近する群集のレーン選択モデルを提案した。また、肩高での自由度を考慮した場合の改札口における通路換算の想定幅員（有効幅員）を求め、避難計算上の改札口における滞留（通過）時間の算出方法と避難計算に現在用いられている流動係数の安全性を検討した。以下に、検討の概要と検討により得た改札口における滞留時間の計算方法により得られる避難安全性に対する効果を述べる。

#### (1) 改札口における滞留時間の算出方法と流動係数の避難計算での安全性に対する検討の概要

実物大の実験空間による避難時を想定した群集の改札口通過実験の実施を通し、群集の数と改札口への接近方向の観点から改札口に接近する群集のレーン選択モデルを提案した。単独群集、2群集、3群集それぞれについて異なるモデルを作成した。改札口への流入方向と改札口通過後の目的地に関わらず、改札口の各レーンにおける通過人数の合計がおおむね等しくなることを示した。この結果に基づき、改札口における滞留時間の計算を行う場合、改札口全体の幅員を全レーンの合計幅とし、改札口全体を単体の通路として滞留時間を求める方法が使用可能であることを示した。また、改札口及び通路の流動量を基に、肩高での自由度を考慮した場合の改札口における通路換算の想定幅員（有効幅員）を求め、避難計算上の改札口における滞留時間の算出方法と避難計算に現在用いられている流動係数の安全性を検討した。

#### (2) 避難安全性に対する効果

現在、改札口における滞留時間の算出方法は研究等の知見に基づいて整備されていない。改札口における肩高での自由度を考慮した有効幅員を用いることで、改札口を肩高以上の側壁を持つ一般的な通路として滞留時間を計算することが出来る。また、改札口全体の幅員を全レーンの合計幅とし、改札口全体を単体の通路として滞留時間を求めることが可能であること示したことで、改札口各レーンの通過人数の検討をすることなく、簡便な方法で滞留時間を求めることが出来る。

### 6.3.2 合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価方法

第5章において、鉄道駅構内における一斉避難時に、在館者の合流により生じた滞留による避難時間の変化を評価する指標の作成を行うとともに、評価指標を実際の鉄道駅に用いるために必要となる計算及び計算の使用法の提案を通して作成した指標の運用方法を示した。以下に、指標及び指標の運用方法に関する作成過程の概要と合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価方法により得られる避難安全性に対する効果を述べる。

### (1) 合流による滞留から生じた避難時間評遅延評価指標と指標の運用方法の作成過程の概要

多数の利用者が存在する都心の大規模鉄道駅をモデルとしたシミュレーションの実施を通して合流による滞留が避難時間に与える影響を把握した。これに基づき、改札口、出口における合流状況の判別式と各状況に応じた避難完了時間の算出式、合流により生じた滞留による避難時間の変化に対する評価式を作成した。加えて、評価式である判別式及び避難完了時間の算出式を実際の鉄道駅の空間構成に従って適応出来る様に、出口通過人数等、判別式及び避難完了時間の算出式を拡張するために必要となる計算式の提案に加えて、計算全体を通じた使用方法の提案を通して作成した指標の運用方法を示した。

### (2) 避難安全性に対する効果

合流状況の判別式及び避難時間の計算式を、これらと合わせて示した運用方法に従い用いることで、避難時において合流及び滞留の生じる改札口及び出口と合流状況に応じた避難完了時間が、避難者数等の設定値の代入により簡便に把握出来る。

## 6.3.3 ボトルネックにおける車いす使用者の合流状況評価方法

第5章において、健常者による車いす使用者の追い越し及び改札口の先行通過のための条件を示す式を作成するとともに、広幅員の改札口を通過する車いす使用者の群集内における配置及び待機の有無が、改札口における流動量及び滞留に与える影響の把握を行った。以下に、ボトルネックにおける車いす使用者の合流状況評価方法の作成過程の概要と評価方法の避難安全性に対する効果を述べる。

### (1) ボトルネックにおける車いす使用者の合流状況評価方法の作成過程の概要

車いす使用者の速度が相対的に健常者より低いと仮定した場合、車いす使用者と健常者群集が混在せず、分離した方が円滑に避難出来ると考えられる。このことから、健常者による車いす使用者の追い越し及び改札口等ボトルネックの先行通過のための条件を示す式を健常者と車いす使用者の速度及びネック・健常者・車いす使用者の距離に基づき作成した。また、広幅員の改札口を通過する車いす使用者の群集内における配置及び待機の有無が、改札口における流動量及び混雑に与える影響の把握を行い、車いす使用者が健常者群集とともに改札口を通過する場合よりも、分離して避難した方が避難時間短縮と混雑緩和に有効であることを示した。



(2) 避難安全性に対する効果

車いす使用者の存在を仮定して避難計画を作成する場合、上記条件式を用いることで、車いす使用者による滞留が生じるボトルネックを把握し、ボトルネックにおける車いす使用者の待機もしくは健常者とは別の経路による避難を計画することが出来る。これにより、予め車いす使用者の避難方法を定めることで、避難時間の短縮と駅員等による円滑な人的対応が可能となる。

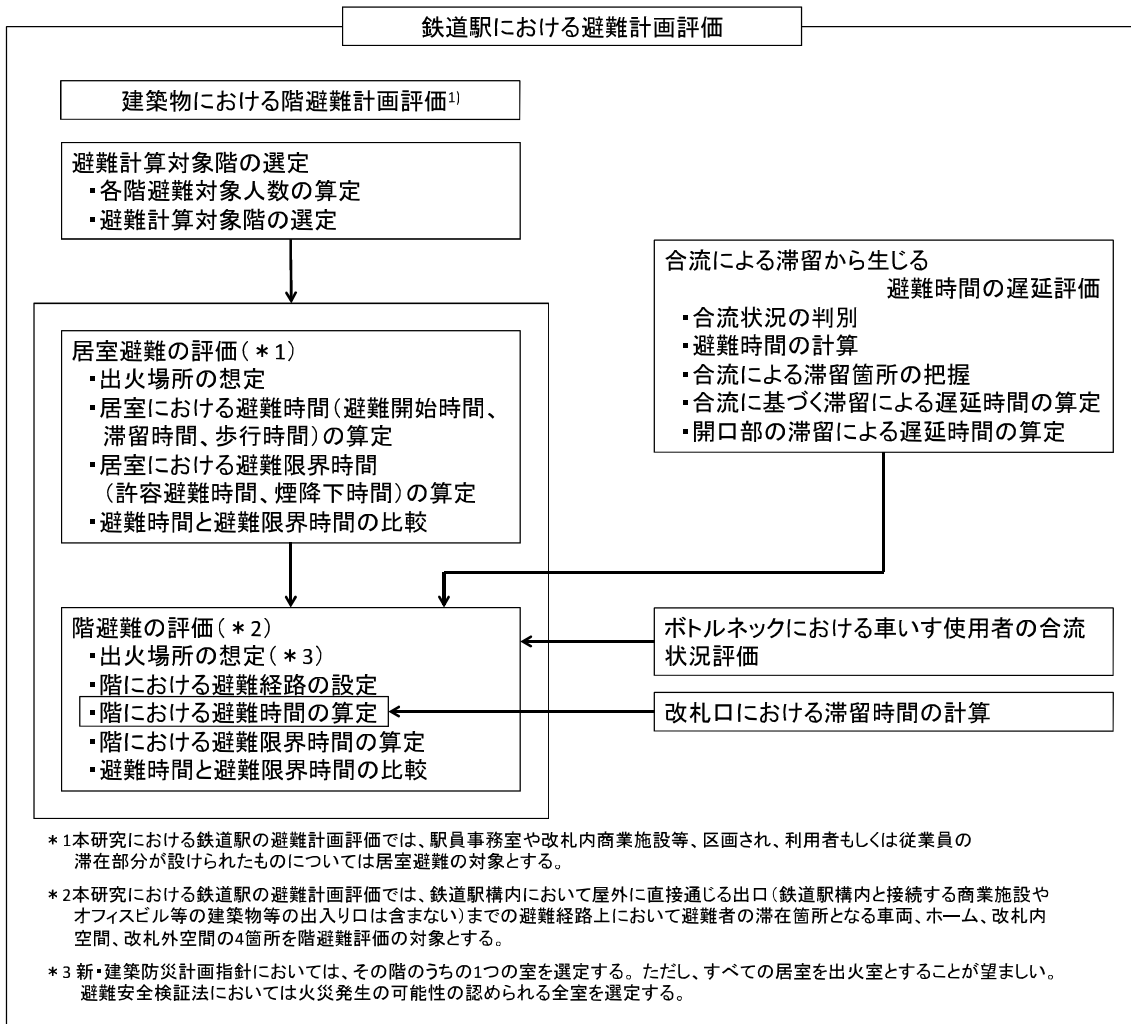


図 6.3-1：本研究で得た避難誘導計画評価方法の建築物の避難計画評価に対する適用段階

## 6.4 まとめ

---

本章では、前章までにおいて作成した避難時の移動に関する問題点の把握に基づく避難計画の作成方法と計画評価に資する計算方法及び指標について、建築基準法における避難安全設計とともに用いた場合における避難安全性に対する効果について考察を行った。

### (1) 利用者の避難経路探索行動に基づく避難経路の誘導計画の作成方法

- ・ 避難計画において案内標識に対する距離情報の付加と誘導灯の使用の促進を行い、避難者が最短経路上を避難するための対策を施すことで、実際と避難計画及び避難計算上の避難経路の乖離する可能性を減らすことが出来る。
- ・ 最短距離以外のものについても距離表示があることで、利用者は最短距離に続く距離の経路を選択することが出来、二方向避難の安全性を高めることが出来ると考えられる。
- ・ 実際と避難計画及び避難計算上の避難経路の乖離する可能性を減らすために標識の連続した配置が必要と考えられる。

### (2) 視認性に基づく標識の設置計画の作成方法

- ・ 避難経路上の連続した配置に加えて、水平角の有効範囲を考慮することで避難者の標識の見落としを防止、実際と避難計画における避難経路の乖離を防ぐことが出来ると考えられる。

### (3) 改札口における滞留時間の計算方法

- ・ 改札口における肩高での自由度を考慮した有効幅員を用いることで、改札口を肩高以上の側壁を持つ一般的な通路として滞留時間を計算することが出来る。
- ・ 改札口全体の幅員を全レーンの合計幅とし、改札口全体を単体の通路として滞留時間を求めることで、改札口各レーンの通過人数の検討をすることなく、簡便な方法で滞留時間を求めることが出来る。

### (4) 合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価方法

- ・ 合流状況の判別式及び避難時間の計算式をその運用方法に従い用いることで、避難時において合流及び滞留の生じる改札口及び出口と合流状況に応じた避難完了時間が、避難者数等の設定値の代入により簡便に把握出来る。

#### (5) ボトルネックにおける車いす使用者の合流状況評価方法

- ・車いす使用者の存在を仮定して避難計画を作成する場合、健常者が車いす使用者を追い越し、先行して改札口等のボトルネックを通過するための条件式を用いることで、車いす使用者による滞留が生じるボトルネックを把握し、ボトルネックにおける車いす使用者の待機もしくは健常者とは別の経路による避難を計画することが出来る。
- ・ボトルネックにおける車いす使用者の待機もしくは健常者とは別の経路による避難を計画することで、予め車いす使用者の避難方法を定めることで、避難時間の短縮と駅員等による円滑な人的対応が可能となる。



---

## 第 7 章 結論

## 7.1 総括

---

本研究は、鉄道駅の火災時における避難時の移動円滑化に資する避難計画の作成方法及び評価方法の確立を目的とし、実測及び質問紙調査、被験者実験、シミュレーションに基づき避難時の移動に関する問題点の把握と避難計画に資する計算方法及び指標の作成を行った。さらに、上記計算方法及び指標の運用方法に対する考察を通して、避難計画方法及び評価方法の提案を行った。以下、各章について結論を含めた概要を示す。

第 1 章では、鉄道駅における火災時の避難安全計画の必要性について、鉄道駅における社会的要求、関連する法規及び現状の避難計画に基づき検討課題を示し、社会的背景を述べた。検討課題に関連する既往の知見に基づき、課題について検討の余地があることを示し、本研究の目的が、鉄道駅の火災時における避難時の移動円滑化に資する避難計画の作成方法及び評価方法の確立であることを提示した。加えて、本研究の構成と各章の概要を示した。

第 2 章では、大規模鉄道駅の避難誘導計画に資する知見を得ることを目的とし、実際の大規模鉄道駅で実施した避難経路探索実験における避難中の被験者の行動・判断の把握を行動観察により行い、実験被験者及び一般利用者の避難に関する知識・判断・行動の把握を行うことで、現状の鉄道駅において避難時の移動に関する問題点を把握した。これにより、火災避難時の経路探索に影響を与える環境的要因及び空間構成の把握が不十分である不慣れた避難者単独の経路探索行動モデル明らかにし、避難計画作成時の指針として利用者の行動モデルに基づく避難経路の誘導計画方法について考察した。

第 3 章では、煙の濃度・標識の種類・標識の視方向に対する水平角が視認距離に与える影響を基に火災避難時に活用し得る誘導灯・案内標識について配置指標を作成することを目的とし、設置空間の煙濃度、視方向に対する標識の水平角を条件とした被験者実験を行った。これにより、誘導灯及び案内標識模型について視認距離に対する煙濃度と水平角の影響を把握し、結果として、各標識について減光係数と水平角を用いた視認距離の予測式を得た。予測式に基づき、視認上有効となる水平角の角度を全標識について統一する場合、設置時における水平角の有効範囲を示した。

第 4 章では、鉄道駅改札口通過群集の流動性状に基づく避難計算手法及び検証方法を得ることを目的とし、実物大の実験空間による群集の改札口通過実験及び災害時要援護者の存在を考慮したシミュレーションを実施した。

改札口通過実験の実施を通し、群集の数と改札口への接近方向の観点から改札口に接近する

群集の改札口通行部（レーン）の選択確率モデルを提案した。また、肩高での自由度を考慮した場合の改札口における通路換算の想定幅員（有効幅員）を求め、避難計算上の改札口における滞留（通過）時間の算出方法と避難計算に現在用いられている流動係数の安全性を検討した。

第 5 章では、大規模鉄道駅を対象とした避難シミュレーションに基づく避難状況の再現を通して、避難中の混雑状況化で発生する合流により生じる滞留の評価方法の作成を行うことを目的とし、多数の利用者が存在する都心の大規模鉄道駅をモデルとしたシミュレーションを実施した。滞留状況と避難時間に基づき、合流状況の判別式と各状況に応じた避難完了時間の算出式、合流により生じた滞留による避難時間の変化に対する評価指標を作成した。評価指標を実際の鉄道駅に用いるために必要となる計算及び計算の使用方法的提案を通して作成した指標の運用方法を示した。

また、健常者による追い越し及び改札口の先行通過するための条件を示す式を作成するとともに、シミュレーションを用いて、災害時要援護者を同時避難させる場合と安全な場所に待機させた後に避難させる場合の 2 通りについて災害時要援護者の有無による改札口通過時の混雑状況の比較を行った。広幅員の改札口を通過する車いす使用者の群集内における配置場所の違い及び待機の有無が、改札口における流動量及び混雑に与える影響を把握した。

第 6 章では、第 2 章～第 5 章において作成した避難時の移動に関する問題点の把握に基づく避難計画の作成方法と計画の評価方法について、建築基準法における避難安全設計とともに用いた場合における避難安全性に対する効果を示すことを目的とし、両者について考察を行った。

第 7 章は、本論文の結論の章である。総括として各章の結論を含む概要、まとめとして各章の結果の一覧、加えて、今後の展望を示している。

## 7.2 まとめ

---

本節では、分析及び考察を行った第2章～第6章について、各章で得られた主要な結果の一覧を以下に再掲する。

### 第2章 大規模鉄道駅の避難経路探索時における経路選択行動特性

#### (1) 実空間で行った避難経路探索実験

- ・ スタート地点、交差点の経路選択では案内標識が主要因となる。
- ・ 案内標識がない場合、とりあえずもしくは感覚的な距離感に基づいて経路選択を行う。
- ・ ゴール前については改札口・階段といった出口の視認と案内標識が経路選択の主要因となる。
- ・ 途中で改札口・階段を視認し出口と判断した場合は、視認した当該出口に向かう。
- ・ 駅構内において誘導灯は必ずしも経路選択の主要因とはなっていない。

#### (2) 避難行動想定及び実空間実験行動に関する質問紙調査

- ・ 想定上の避難行動では、とりあえず移動することは想定されていない。
- ・ 想定上の避難行動として、人の流れ、火や煙の存在、駅員の誘導、記憶や習慣を判断として用いる可能性が高い。
- ・ 想定上の避難行動として、地図型の案内図を用いて経路選択を行う可能性は高くない。
- ・ 想定、実験ともに、鉄道駅での誘導灯の存在について認知率は4割弱となり高くはない。
- ・ 出口までの距離が分からないことが避難の妨害要因となる。
- ・ 出口を含めた空間の見通しの悪さが避難の妨害要因となる。
- ・ 通路幅が狭いことと段差の存在は避難の妨害要因となる可能性は低い。

#### (3) 実空間実験及び質問紙調査の統合的考察

- ・ 誘導灯に従うことが避難時の判断として想定される傾向が高いが、実際の避難において誘導灯はほとんど使用されず案内標識が使用される可能性が高い。
- ・ 交差点等の経路選択場面で、出口までの距離情報がないことが経路判断を阻害する。

#### (4) 鉄道駅利用者に対する避難経路の誘導計画方法

- ・ 駅員の人的誘導には限界があり、可能な限り利用者自身が最短経路を選択して避難することが必要となることから、設備等により避難者の経路探索を補助することで経路を誘導する方法が必要となる。



- ・案内標識の表示内容に距離情報を付加することにより、避難を行う駅構内の移動に慣れていない利用者と慣れていない利用者のいずれも案内標識を使用することで、両者の最短経路の選択に有効に働く。
- ・誘導灯がその存在に気づかないこと及び使用されないことも避難経路の長距離化に影響を与えられ、誘導灯の使用を促す方法も必要となる。
- ・被験者は主に案内標識を経路選択時の判断に使用していることから、避難者が経路表示設備に従うとすれば、特に交差点等の通路分岐点において重要となる。
- ・最短距離以外のものについても距離表示があることで、利用者は最短距離に続く距離の経路を選択することが出来、二方向避難の安全性を高めることが出来ると考えられる。

### 第3章 鉄道駅経路指示標識の煙中における視認性

- ・本実験の結果から各標識について水平角から得られる正対面積と減光係数に基づく視認距離の予測式を得た。

$$\text{通路誘導灯(左方向)} : L = -0.81 + 4.38/C_s + 142.00 \cdot S_{ha}$$

$$\text{通路誘導灯(両方向)} : L = -0.07 + 3.78/C_s + 114.61 \cdot S_{ha}$$

$$\text{通路誘導灯(統合)} : L = -0.44 + 4.10/C_s + 127.54 \cdot S_{ha}$$

$$\text{避難口誘導灯} : L = -0.59 + 3.68/C_s + 137.19 \cdot S_{ha}$$

$$\text{案内標識} : L = -0.97 + 5.38/C_s + 50.61 \cdot S_{ha}$$

$$L : \text{視認距離[m]} \quad C_s : \text{減光係数[1/m]} \quad S_{ha} (= S \cos \theta) : \text{正対面積[m}^2\text{]}$$

$$S : \text{標識表示面の面積(内容記載部の方形面積)[m}^2\text{]} \quad \theta : \text{水平角[}^\circ\text{]}$$

ただし、有効とする水平角  $\theta$  の範囲は  $0^\circ \sim 80^\circ$  とする。本実験の状況から、本式は算出される視認距離  $L$  が 15m 以下の範囲で妥当に推定できる。加えて、視認距離  $L$  が 15m を超える場合は、少なくとも視認距離は 15m 以上であることを確認できる。

- ・予測式により視認距離を精度よく算出できる減光係数の範囲は 通路誘導灯（左方向）で 0.33[1/m]以上、通路誘導灯（両方向）で 0.29[1/m]以上、避難口誘導灯で 0.28[1/m]以上、案内標識で 0.38[1/m]以上となる。
- ・不慣れな人が避難し始めるとされる減光係数 0.1[1/m]<sup>4)</sup>で、標識の種類、水平角に関わらず 15m から全てが視認できることが推定された。
- ・建物をよく知っている人でも避難に支障が出るとされる減光係数 0.3[1/m]<sup>4)</sup>においては、通路誘導灯（左方向）の  $70^\circ$  及び  $80^\circ$  と通路誘導灯（両方向）及び避難口誘導灯の全水平角において、15m からは視認できないことが示唆された。

- ・求めた予測式により、水平角  $0^\circ$  の場合、消防法に規定される誘導灯の有効範囲（通路誘導灯：10m、避難口誘導灯 15m）において、建物をよく知っている人でも避難に支障が出るとされる減光係数  $0.3[1/m]$  <sup>4)</sup>においても、避難に使用できることが示唆された。
- ・視認上有効となる水平角の角度を全標識について統一する場合、予測式と実測値の両方の観点から  $0^\circ \sim 60^\circ$  が設置時における水平角の有効範囲として望ましいと考えられる。
- ・標識の設置計画時において、標識の水平角の有効範囲を  $0^\circ \sim 60^\circ$  とし、本章で得られた予測式に基づき減光係数  $0.3[1/m]$ における標識の視認距離の有効範囲を求めるとすると、誘導灯については減光係数  $0.3[1/m]$ と水平角を予測式に代入して視認距離を求め、案内標識については水平角  $0^\circ \sim 60^\circ$  の全てについて視認距離 15m とする。

## 第4章 鉄道駅改札口通過時における群集流動特性

### (1) 単独群集のレーン選択特性

- ・配置条件が 1 ヶ所となる単独群集について、群集内の配置列の位置によるレーン選択の傾向は、配置場所及び目的地数の違いによる差はない。
- ・レーン数 3 以上の改札口について、改札口のレーン数より 1 列多い歩行者列を持つ群集が改札口に接近した場合、歩行者のレーン選択確率モデルは次の様になる。

両端の歩行者は、それぞれ両端のレーンを全員が選択する。

端から 2 番目の歩行者は、それぞれ端のレーンを  $\frac{3}{1}$  ずつが選択し、端から 2 番目のレーンを  $\frac{3}{2}$  ずつが選択する。

### (2) 合流群集のレーン選択特性

#### (2)-1 2 群集

- ・2 ヶ所の配置場所から合流する群集について、各配置場所から改札口に接近する群集のレーン選択の傾向は、配置場所及び目的地の条件による差はない。
- ・配置場所が 2 ヶ所の場合、中央のレーンを境に配置場所の異なる被験者が層状に均等に分かれる傾向にある。
- ・レーン数 3 の改札口について、2 方向から同規模の群集が改札口に接近した場合、群集のレーン選択確率モデルは次の様になる。

群集内の  $\frac{3}{1}$  が中央のレーンに、 $\frac{3}{2}$  が片側の端のレーンを選択する。

群集同士の進行方向は交差せず、合流する中央のレーンを境にレーンを選択する群集は均等に分かれる。

## (2)-2 3 群集

- ・ 3ヶ所の配置場所から合流する群集について、各配置場所から改札口に接近する群集のレーン選択の傾向は、目的地の条件による差はない。
- ・ 配置場所が3ヶ所の場合、改札口側方の配置場所の被験者はそれぞれ配置場所に近い端のレーンに集中し、改札口正面の配置場所の被験者は中央のレーンに集中する傾向にある。
- ・ 配置場所が3ヶ所の場合、各配置場所について、一定割合の被験者が集中するレーンの1つ隣のレーンを選択する傾向が見られるが、2つ隣のレーンは選択しない。
- ・ レーン数3の改札口について、3方向から同規模の群集が改札口に接近した場合、群集のレーン選択確率モデルは次のようになる。

改札口側方から接近する群集の内、8分の7が群集から近いレーンを選択し、8分の1が中央のレーンを選択する。

改札口正面から接近する群集の内、8分の6が中央のレーンを選択し、8分の1ずつが端の2レーンを等しく選択する。

## (3) 配置場所と目的地が各レーンの流動量に与える影響

- ・ レーン間の流動量について群集の配置場所と目的地の違いによる差は小さい。
- ・ 各配置条件について目的地の違いによる改札口における流動量の差は小さい。
- ・ 側方から改札口に接近する単独群集の場合、他の配置条件と比べて流動量が低くなる。
- ・ 改札口に対して正面から接近する単独群集、並びに2方向もしくは3方向から接近する各群集が単独群集と同じ幅を持つ2群集及び3群集の改札口における流動量は同等となる。

## (4) 流動量に基づく肩高での自由度を考慮した1レーンあたりの有効幅員

- ・ 実験により得られた流動量を基に、肩高での自由度を考慮し、肩高以上の側壁を持つ一般的な通路とした場合に想定される改札口の幅員（有効幅員）が620mm（=0.62m）であることを求めた。

## (5) 避難計算における改札口の滞留（通過）時間の計算方法

- ・ 避難計算において改札口全体の幅員を全レーンの合計幅とし、改札口全体を単体の通路として通過時間を求める場合、流動係数は避難計算において開口部に対して規定される1.5人/m・sもしくは本実験における改札口の流動量を反映した1.7人/m・s、1レーンあたりの幅員は改札機間の幅0.55mもしくは有効幅員0.62mのいずれかを代入することが考えられる。

- ・流動係数を 0.17 人/m・s、幅員を 0.62m とした場合、避難時間は改札口の流動量を反映した値となるが、避難時間は算出される避難時間が上記 4 種類の数値を用いて算出される時間の中で最も短くなる。
- ・流動係数を 0.15 人/m・s、幅員を 0.55m とした場合、改札口全体を単体の通路として求めた通過時間が上記 4 種類の数値を用いて算出される時間の中で最も大きくなり、避難計画に安全を考慮した値と言える。

## 第 5 章 鉄道駅における合流及び滞留を考慮した避難時間評価手法

### (1) 流動量と改札口有効幅員の検証

- ・シミュレーションと実験による流動量の比較に基づく検証により、肩高での自由度を考慮した 1 レーンあたりの有効幅員 620mm は、流動量の観点から肩高以上の側壁を持つ 1 通路の幅と同等であることが確認された。

### (2) 水平面上の順次避難シミュレーションに基づく混雑及び滞留状況による避難時間の変化

- ・改札内の避難者を待機させた際に、改札内外の避難者の合流で生じた滞留による階段流入完了時間の遅延を、合流遅延時間として下式により定義した。

$$t_i = t_g' - t_p$$

$t_g'$  : 合流による滞留の生じない場合における階段流入完了時間[s]

$t_p$  : 避難開始待機時間[s]     $t_i$  : 改札内だけのケースにおける階段流入完了時間[s]

- ・改札内外の合流によって生じた滞留による階段流入完了時間への影響を除外した階段室への単位時間あたりの流入量を滞留除外流入量として、改札内の避難者の待機時間を一定間隔で増加させた場合における、滞留除外流入量を求める以下の式を作成した。

$$\Delta N_{be(n)} = N / \{t_{g(1)} - t_{int} (n - 1)\}$$

$$= \Delta N_{be(n-1)} \times [1 + t_{int} / \{t_{g(1)} - t_{int} (n - 1)\}]$$

$\Delta N_{be}$  : 滞留除外流入量[人/s]     $N$  : 避難者数[人]     $t_g$  : 階段流入完了時間[s]

$t_{int}$  : 一定間隔で変化させた避難開始待機時間の変化間隔[s]

( $n = 1, 2, 3 \dots$ )

※自然数  $n(1 \leq n)$  は、合流による滞留が生じない場合を  $n=1$  とする。 $n$  は  $t_{int}$  の間隔で避難開始待機時間が減少するに従い、1 ずつ増加し、避難開始待機時間が 0 秒の場合を最大値とする。

- ・滞留除外流入量からの乖離度を以下の式により定義した。

$$\begin{aligned}\varepsilon(n) &= \Delta N_{b(n)} / \Delta N_{be(n)} \\ &= \{t_{g(1)} - t_{int}(n-1)\} / t_{g(n)}\end{aligned}$$

$\varepsilon$  : 乖離度  $\Delta N_{be}$  : 滞留除外流入量[人/s]  $\Delta N_b$  : 階段流入量[人/s]

$t_g$  : 階段流入完了時間[s]  $t_{int}$  : 一定間隔で変化させた避難開始待機時間の変化間隔[s]  
( $n = 1, 2, 3 \dots$ )

※自然数  $n(1 \leq n)$  は、合流による滞留が生じない場合を  $n=1$  とする。 $n$  は  $t_{int}$  の間隔で避難開始待機時間が減少するに従い、1 ずつ増加し、避難開始待機時間が 0 秒の場合を最大値とする。

- 1 より大きい場合は合流により改札内の避難者の階段流入が阻害されずに改札内外の避難者が合流したことで階段流入量が増加したことを示し、1 より小さい場合は合流による滞留で改札内の避難者の階段流入が阻害されたことを示す。

- ・避難経路上における避難者の歩行速度の割合に基づき、合流遅延時間及び乖離度が滞留状況を示すことを確認した。
- ・流動量、合流遅延時間、乖離度、歩行速度に基づき、水平面上の順次避難を行う場合について、改札内外の避難者の合流により生じる滞留と改札内の避難者が、避難経路上前方にいる改札外の避難者の存在により受ける避難時間の遅延及び階段（出口）流入の阻害を確認した。

### (3) 合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価

- ・避難において通過するホーム、改札内空間、改札外空間、屋外の空間境界部に存在するボトルネックにおける合流の有無に基づき、合流状況を 6 種類に分類し、避難計算を行う計算ケース C0～C5 を決定した。
- ・6 種類の合流状況を反映した C0～5 の計算ケースの避難完了時間を算出する前提として、適合するケースを判別する合流の条件式を作成した。
- ・各計算ケースの避難完了時間を算出する式を作成した。
- ・合流による滞留と開口部の滞留から生じた避難時間の増加分（遅延時間）の算出式と乖離度を作成した。

合流による滞留

$$\text{遅延時間} : T_{1-5} - T_0 \quad \text{乖離度} : T_{1-5} / T_0$$

開口部による滞留

$$\text{遅延時間} : T_0 - T_{NC} \quad \text{乖離度} : T_0 / T_{NC}$$

$T_0 \sim T_5$  : ケース C0～C5 における全避難者の避難完了時間

$T_{NC} = t_s + t_i + t_o$  : 移動時間のみを反映した避難完了時間

$t_s$  : ホームと改札内空間の間にある階段等の移動時間

$t_i$  : 改札内空間（ホーム接続部から改札口の間）の移動時間

$t_o$  : 改札外空間（改札口から出口の間）の移動時間

#### (4) 合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価式の運用方法

- ・ 出口が設置された通路及び交差点における避難者の避難口選択方法を、避難開始時に当該空間にいる避難者と、別の空間から避難して来る避難者で分けて作成した。

空間内から避難開始する避難者は空間内で最も近い出口を目指す。各出口の通過人数は、空間を階段中心部からの距離に基づいたボロノイ分割で分けた出口に接する領域内にいる避難者数とする。この際、空間外の出口の方が近い距離に存在する場合でも空間内の出口を目指すものとする。

空間外から出口の設置された空間に避難して来た避難者については、出口までの距離に応じて目指す人数を変える。最も近い出口を目指す避難者数を比率 1 として、距離が遠くなるに従い、目指す避難者数が半減するものとする。なお、出口が避難者の進入する空間端部から同距離上にあるとみなせる場合は同じ比率の避難者が向かうものとする。

- ・ 空間の異なる避難者間の合流箇所の想定から合流状況の判別式及び避難時間の算出式の作成までの流れを示した。流れは以下の様になる。

- ① 合流箇所と合流する避難者の想定
- ② 箇所別の合流と合流状況の想定
- ③ 合流状況の分類と計算ケースの決定
- ④ 合流状況の判別式に基づく計算ケースの選択
- ⑤ 計算ケースに応じた避難完了時間の計算式の使用

- ・ 合流状況の判別式及び避難時間の算出式の作成までの流れにおける各段階について、空間の異なる避難者間の合流箇所の想定から合流状況の判別式及び避難時間の算出式の作成までにおける考え方と、改札口、屋外への出口以外の合流箇所の状況を計算式に反映する際の考え方を示した。

- ・ 同一空間に出口が複数設置され出口に向かう避難者が分散される場合に、合流状況の判別式及び避難完了時間の算出式について、各ボトルネックにおける滞留時間の調整方法を示した。

- ・複数の改札口を通過した避難者が1つの出口もしくは出口設置空間を目指す場合において、合流状況の判別式及び避難完了時間の算出式内における出口における滞留時間の調整方法を示した。

#### (5) 改札口通過時に災害時要援護者が周囲の健全者群集の流動に与える影響

- ・車いす避難者は健全者に比べて相対的に歩行速度が低いと考えられ、改札口等の狭窄部においては健全者と比較して占有面積が大きいことも加わり、健全者の避難を阻害する。
- ・車いす使用者と健全者の避難経路の分離は、健全者群集とともに改札口を通過する場合よりも避難時間短縮と混雑緩和に有効である。
- ・健全者が車いす使用者を追い越した後に車いす使用者が追いつくことがなければ車いす使用者が待機をしなくとも、健全者の改札口通過を阻害しない。
- ・車いす使用者が待機しなくとも健全者の改札口通過前から完了に影響を与えない状況を定義する式として、健全者と車いす使用者の速度に加えて改札口の位置と両者の距離を基にした条件式、通路の必要幅員に関する以下の3式を求めた。

①車いす使用者に対する健全者の改札口先先行到達条件

$$V \geq (1 + d/h) U$$

②車いす使用者合流前における健全者の改札口流入完了条件

$$N / \Delta N \leq h / U - (h + d) / V$$

③通路の必要幅員

$$W_p \geq W_c + W_h$$

V : 健全者の歩行速度 U : 車いす使用者の歩行速度

d : 健全者の背面と車いす前面の距離

h : 車いすの初期位置から改札口までの距離

$\Delta N$  : 改札口を通過する健全者の流動量 N : 改札口前に滞留する健全者数

$W_p$  : 通路幅  $W_c$  : 車いすの幅  $W_h$  : 健全者の肩幅

## 第6章 鉄道駅における避難計画の作成方法と評価方法の効果

### (1) 利用者の避難経路探索行動に基づく避難経路の誘導計画の作成方法

- ・避難計画において案内標識に対する距離情報の付加と誘導灯の使用の促進を行い、避難者が最短経路上を避難するための対策を施すことで、実際と避難計画及び避難計算上の避難経路の乖離する可能性を減らすことが出来る。

- ・最短距離以外のものについても距離表示があることで、利用者は最短距離に続く距離の経路を選択することが出来、二方向避難の安全性を高めることが出来ると考えられる。
- ・実際と避難計画及び避難計算上の避難経路の乖離する可能性を減らすために標識の連続した配置が必要と考えられる。

## (2) 視認性に基づく標識の設置計画の作成方法

- ・避難経路上の連続した配置に加えて、水平角の有効範囲を考慮することで避難者の標識の見落としを防止、実際と避難計画における避難経路の乖離を防ぐことが出来ると考えられる。

## (3) 改札口における滞留時間の計算方法

- ・改札口における肩高での自由度を考慮した有効幅員を用いることで、改札口を肩高以上の側壁を持つ一般的な通路として滞留時間を計算することが出来る。
- ・改札口全体の幅員を全レーンの合計幅とし、改札口全体を単体の通路として滞留時間を求めることで、改札口各レーンの通過人数の検討をすることなく、簡便な方法で滞留時間を求めることが出来る。

## (4) 合流による滞留から生じる避難時間の遅延評価方法

- ・合流状況の判別式及び避難時間の計算式をその運用方法に従い用いることで、避難時において合流及び滞留の生じる改札口及び出口と合流状況に応じた避難完了時間が、避難者数等の設定値の代入により簡便に把握出来る。

## (5) ボトルネックにおける車いす使用者の合流状況評価方法

- ・車いす使用者の存在を仮定して避難計画を作成する場合、健常者が車いす使用者を追い越し、先行して改札口等のボトルネックを通過するための条件式を用いることで、車いす使用者による滞留が生じるボトルネックを把握し、ボトルネックにおける車いす使用者の待機もしくは健常者とは別の経路による避難を計画することが出来る。
- ・ボトルネックにおける車いす使用者の待機もしくは健常者とは別の経路による避難を計画することで、予め車いす使用者の避難方法を定めることで、避難時間の短縮と駅員等による円滑な人的対応が可能となる。



### 7.3 今後の展望

---

本研究で得られた、鉄道駅利用者に対する避難経路の誘導方法及び避難時の滞留に関わる避難時間の計算方法の知見は、鉄道駅火災避難時の移動円滑化に資する避難計画の作成方法及び評価方法の作成に資するものである。より詳細な検討により、多様な実駅に対して具体的な避難計画方法及び評価方法が作成可能となる。

本研究の知見を実際の避難計画に適応するために必要と考えられる検討課題を以下に示す。

第2章では、大規模鉄道駅における火災時の避難行動として避難開始を起点とした避難経路探索行動の概要モデルを構築した。今後、具体的な本実験被験者のプロトコル及び避難経路選択場面について詳細に分析し、報告する予定である。

また、本研究の結果は国内の主要鉄道駅、特に首都圏などの同様のサインシステムを用いている鉄道駅における経路探索行動の結果として適用可能であると考えられる。ただし、本研究では水平面上の避難経路探索行動のみを対象としている。大規模ではなくとも立体的に複雑な空間構成を持つ鉄道駅も存在し、このような鉄道駅における経路探索行動については検討の余地がある。

第3章では、白煙中について煙の濃度・標識の種類・標識の視方向に対する水平角が視認距離に与える影響を実験により把握し、各標識について水平角から得られる正対面積と減光係数に基づく視認距離の予測式を得た。今後は、異なる表示面面積や輝度、照明の種類や照度基準の異なる空間、黒煙の様な異なる成分の煙に関する既存もしくは今後の研究成果を用いることで、本報の予測式の適用範囲を広げる必要がある。加えて、実験での誘導灯の設置箇所は眼高より上部の天井付近である。床面や足下に設置された誘導灯の視認性については把握の余地がある。

当該研究は神による既往研究<sup>2)</sup>と類似の範囲の研究であり、室内照明が通常時点灯の場合には標識の視認限界時の輝度対比を一定として視認限界距離の計測を行っても誤差は少ない一定条件下での研究成果を示しているが、停電等により周辺光が低下した状況も含めて散乱光の重量による視認性への影響については検討の余地がある。

第4章では、実験的検討として改札口の通過性状を検討し、モデル化を行った。このため、被験者は目的地通過後の大局的な移動方向を想定していない。また、実測では群集流は一様分布、定常流とならない場合も考えられ、このモデルを基本としながら非定常状態についても検討の余地がある。

第 5 章において滞留状況と避難時間に基づき、合流状況の判別式と各状況に応じた避難完了時間の算出式、合流により生じた滞留による避難時間の変化に対する評価式を作成し、第 6 章においてその計算方法を示した。この計算方法は、鉄道駅構内において鉄道事業者の計画する避難経路上の車両及びホーム、改札内空間、改札外空間の 3 空間を対象としている。駅舎から避難した後に避難者が流入する屋外街路等の屋外空間については、その面積や他の施設からの避難者、屋外の通行人等により駅舎からの避難者の流入が影響を受ける可能性があり、この点について、計算式及び式の運用方法を拡張する余地がある。

また、大深度地下等、避難時にエレベータを活用する可能性があり、エレベータ避難時における待ち時間や移動時間、避難者の運搬能力を含めた計算方法についても対応出来る様に拡張する余地がある。

## 参考文献

### 第1章

- 1) 火災予防審議会：複合化するターミナル施設の防火安全対策のあり方 -火災予防審議会答申-, 東京消防庁予防部予防課, 2011. 3
- 2) 中央防災会議：首都直下地震対策大綱, 内閣府, 2010. 10
- 3) 国土交通省鉄道局 土木関係技術基準調査研究会：解説 鉄道に関する技術基準 土木編 改訂版 別冊(地下駅等の火災対策基準・同解説), 日本鉄道施設協会, 2007. 11
- 4) 日本建築センター編：新・建築防災計画指針 -建築物の防火・避難計画の解説書-, 日本建築センター, 1995. 7
- 5) 国土交通省住宅局建築指導課, 国土交通省建築研究所, 日本建築主事会議, 日本建築センター編：2001年版 避難安全検証法の解説及び計算例とその解説、海文堂出版(株), 2012. 9
- 6) 室崎益輝著：現代建築学 建築防災・安全, 鹿島出版会, 2005.11
- 7) 中西哲也, 柏原士郎, 吉村英祐, 横田隆司：案内標識と誘導灯の分布実態とその見やすさに関する考察：梅田地区地下街における場合, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第 33号, 計画系, pp.501-504, 1993. 6
- 8) 佐藤 歩, 西田幸夫, 市原 茂, 辻本 誠：地下駅舎における出口経路探索時の行動特性に関する実験的研究, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第 13 巻, 土木学会, pp.23-32, 2008. 1
- 9) 北後明彦：避難経路選択に関する実験的研究-スライドによる一対比較データの分析を通じて-, 日本建築学会論文報告集, 第 339 号, pp.84-89, 1984. 5
- 10) 森山修治ほか：大規模地下街における避難行動特性に関する実験研究：実験概要と避難経路・避難出口の選択性, 日本建築学会環境系論文集, 第 637 号, pp.233-240, 2009. 3
- 11) 秋月有紀, 岩田三千子, 奥田紫乃, 田中哮義：立体角投射率を用いた避難経路のサイン設置状況の把握 -円滑な避難誘導のための視環境計画に関する研究 その 1-, 日本建築学会環境系論文集, 第 641 号, pp.767-773, 2009. 7
- 12) 舟橋國男：格子状街路網地区における経路の選択ならびに探索に関する調査実験, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 428 号, pp.85-92, 1991. 10
- 13) 舟橋國男：建物内通路における経路探索行動ならびに空間把握に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 429 号, pp.61-72, 1991. 11
- 14) 日色真帆, 原 広司, 門内輝行：迷いと発見を含んだ問題解決としての都市空間の経路探索, 日本建築学会計画系論文集, 第 466 号, pp.65-74, 1994. 12

- 15)渡邊昭彦, 森 一彦: 迷い行動の因子と情報空間との関連分析 -建築空間における探索行動の認知心理学的考察 その 4-, 日本建築学会計画系論文集, 第 491 号, pp.99-107, 1997.1
- 16)宮岸幸正, 西應浩司: 認知地図からみた格子状街路における空間的変化の連続的認識 -街路における空間的変化の連続的認識とその特質 その 2-, 日本建築学会計画系論文集, 第 563 号, pp.205-212, 2003. 1
- 17)三浦金作, 佐野浩史, 田邊和義: 歩行経路選択と探索行動 -街路空間における探索歩行時の注視に関する研究 その 1-, 日本建築学会計画系論文集, 第 569 号, pp.131-138, 2003. 7
- 18)赤木徹也, 渡邊隆太: 経路探索特性に基づく都市空間の認知プロセスに関する実験的研究 -格子状街路網地区を対象として-, 日本建築学会計画系論文集, 第 593 号, pp.109-116, 2005. 7
- 19)彦坂 渉, 田中直人, 宮井雄太: 空港施設利用者による現状サイン評価と経路探索時の見直し行動の発生傾向 -地方空港におけるわかり易さ改善の為のサイン計画に関する基礎的研究-, 日本建築学会計画系論文集, 第 640 号, pp.1323-1330, 2009. 6
- 20)神 忠久: 煙中の誘導標識の見越し距離について (I), 日本建築学会論文報告集, 第 182 号, pp.21-32, 1971. 4
- 21)神 忠久: 煙中の誘導標識の見越し距離について (II), 日本建築学会論文報告集, 第 192 号, pp.41-47, 1972. 2
- 22)神 忠久: 煙中の誘導標識の見越し距離について (III), 日本建築学会論文報告集, 第 204 号, pp.47-53, 1973. 2
- 23)山田常圭: 煙中における誘導灯及び各種照明器具の見越し距離(その 1), 新旧避難口誘導灯の比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-2, pp.139-140, 2002. 8
- 24)森山修治ほか: 大規模地下街における避難行動特性に関する実験研究 , 実験概要と避難経路・避難出口の選択性, 日本建築学会環境系論文集, 第 637 号, pp.233-240, 2009. 3
- 25)田中孝治, 加藤隆: 避難口誘導灯に通過後の情報を付加することの効果, 心理学研究, 第 83 卷, 第 3 号, pp.182-192, 2012. 8
- 26)横石めぐみ, 林田和人, 渡辺仁史: 暗視下における高輝度蓄光材を用いた避難行動特性に関する研究, 日本建築学会関東支部研究報告集 II, pp.53-56, 2007. 2
- 27)秋月有紀, 岩田三千子, 奥田紫乃, 田中喙義: 立体角投射率を用いた避難経路のサイン設置状況の把握 -円滑な避難誘導のための視環境計画に関する研究 その 1-, 日本建築学会環境系論文集, 第 641 号, pp.767-773, 2009. 7

- 28)石井弘允ほか：高輝度誘導灯の斜め方向からの見え方に関する評価実験報告書，社団法人日本照明器具工業会，2000.3
- 29)松下信禎，若井正一：室内通路幅と歩行者の身体周囲に必要なアキ寸法の関係 -身体を指標としたアキ寸法の計測に関する研究-，日本建築学会計画系論文集，第 667 号，pp.1569-1576，2011. 9
- 30)山本昌和，吉村英祐，石突光隆：鉄道駅における混雑時の歩行安全性に関する研究 その 2 -通路形状が旅客流動に与える影響-，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.965-966，2010.9
- 31)William H. Warren, Jr., Suzanne Whang. : Visual guidance of walking through apertures -body-scaled information for affordances. -, Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, vol. 13, pp.371-383, 1987
- 32)小原二郎，内田祥哉，宇野英隆：建築・室内・人間工学，鹿島出版会，1975. 12
- 33)日本建築学会編：建築設計資料集成[人間]，丸善株式会社，2008. 12
- 34)北澤章，阿部武久，藤原 宏：改札柵の通路幅員に関する考察，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1197-1198，1980. 9
- 35)佐野友紀，鄭姫敬，渡辺俊，渡辺仁史：駅の改札口における群衆流動に関する研究 -自動改札と有人改札-，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.979-980，1992.8
- 36)都築知人，森田信弥，青木俊幸，大戸広道：鉄道駅の流動評価に関する研究 その 2 -改札流動-，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 1083-1084，2000.7
- 37)戸川喜久二：群衆流の観測に基づく避難施設の研究，学位論文，1963.5
- 38)戸川喜久二：群衆流の観測に基づく避難施設の研究，建築研究報告 14 号，建築研究所，1955. 2
- 39)建部謙治，佐野友紀，萩原一郎ほか：防火設備の開口部における通過動作特性，第 576 号，pp.53-58，2004. 2
- 40)城明秀，池島由華，佐野友紀：廊下の滞留が居室単一開口部の流動量に与える影響 -開口部の群衆流動量に関する実大実験およびシミュレーション分析(その 1) -，日本建築学会計画系論文集，第 696 号，pp.293-300，2014.2
- 41)吉村英祐，山本昌和，石突光隆：鉄道駅における混雑時の歩行安全性に関する研究 その 1 屈曲部・狭隘部を想定した通路における歩行実験，日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1，pp.963-964，2010. 7
- 42)山本昌和，吉村英祐，石突光隆：鉄道駅における混雑時の歩行安全性に関する研究 その 2 -通路形状が旅客流動に与える影響-，日本建築学会大会学術講演梗概集，E-1，pp.965-966，2010. 7

- 43)山本昌和, 吉村英祐, 石突光隆: 鉄道駅における混雑時の歩行安全性に関する研究 その  
3 -階段における通過実験-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-1, pp.639-640, 2011. 7
- 44)吉村英祐, 山本昌和, 石突光隆: 鉄道駅における混雑時の歩行安全性に関する研究 その  
4 -階段における歩行開始実験-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-1, pp.641-642,  
2011. 7
- 45)山本昌和, 吉村英祐, 石突光隆: 鉄道駅における混雑時の歩行安全性に関する研究 その  
5 -ホームの狭隘部における通過実験-, 日本建築学会大会学術講演梗概集 2012,  
pp.637-638, 2012. 9
- 46)山本昌和, 吉村英祐, 石突光隆: 鉄道駅における混雑時の歩行安全性に関する研究 その  
6 -ホームの狭隘部における通過安全性評価-, 日本建築学会大会学術講演梗概集 2013,  
pp.587-588, 2013. 8
- 47)志村洋樹, 長谷見雄二, 森山修治, 小嶋美由希: ターミナル駅周囲に展開する地下通路に  
おける火災時避難安全性の検討と改善策, 日本建築学会大会学術講演梗概集 2012,  
pp.61-64, 2012. 9
- 48)榎本満帆, 長谷見 雄二, 森山修治, 志村洋樹: 改札外地下通路で接続するターミナル駅  
の災害時避難計画に関する研究 -複合化する改札外地下通路における避難安全検証-, 日  
本建築学会大会学術講演梗概集 2013, pp.327-330, 2013. 8
- 49)志村 洋樹, 長谷見 雄二, 森山修治, 内田陽子: 大深度地下幹線鉄道駅舎の防災計画手法  
の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 2013, pp.321-326, 2013. 8

## 第2章

- 1) 防災都市計画研究所: 千日デパート火災研究調査報告書—防災の計画と管理のあり方を検討する, 防災都市計画研究所, 1972.10
- 2) 東京消防行政研究会編: 火災の実態から見た危険性の分析と評価—特異火災事例 112, 近代消防社, 1983.4
- 3) Rita F. Fahy, Guylene Proulx, Lata Aiman: 'PANIC' AND HUMAN BEHAVIOUR IN FIRE, Proceedings of the 4th International Symposium on Human Behaviour in Fire, pp.387-398, 2009.7
- 4) 日色真帆, 原 広司, 門内輝行: 迷いと発見を含んだ問題解決としての都市空間の経路探索, 日本建築学会計画系論文集, 第 466 号, pp.65-74, 1994. 12
- 5) 日本規格協会: JIS Z 9103:2005 安全色 - 一般的事項, 2005
- 6) 室崎益輝著: 現代建築学 建築防災・安全, 鹿島出版会, 2005.11

- 7) 佐野友紀ほか：大規模鉄道駅における火災時の避難経路選択方略に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-2，pp.369-370，2011. 8

### 第3章

- 1) 日本規格協会：JIS A 1306:1983 減光法による煙濃度の測定方法，1983
- 2) 日本規格協会：JIS Z 9110:2010 照明基準総則，2010
- 3) 日本規格協会：JIS Z 9110:2011 照明基準総則（追補1），2011
- 4) 室崎益輝著：現代建築学 建築防災・安全，鹿島出版会，2000.1
- 5) 神 忠久：煙中の誘導標識の見透し距離について（I），日本建築学会論文報告集，第182号，pp.21-32，1971. 4

### 第4章

- 1) 日本建築センター編：新・建築防災計画指針 -建築物の防火・避難計画の解説書-，日本建築センター，1995. 7
- 2) 国土交通省住宅局建築指導課，国土交通省建築研究所，日本建築主事会議，日本建築センター編：2001年版 避難安全検証法の解説及び計算例とその解説、海文堂出版(株)，2012. 9
- 3) 国土交通省鉄道局土木関係技術基準調査研究会：解説 鉄道に関する技術基準 土木編 改訂版 別冊(地下駅等の火災対策基準・同解説)，日本鉄道施設協会，2007.11

### 第5章

- 1) 日本建築センター編：新・建築防災計画指針 -建築物の防火・避難計画の解説書-，日本建築センター，1995. 7
- 2) 国土交通省住宅局建築指導課，国土交通省建築研究所，日本建築主事会議，日本建築センター編：2001年版 避難安全検証法の解説及び計算例とその解説、海文堂出版(株)，2012. 9
- 3) 国土交通省鉄道局土木関係技術基準調査研究会：解説 鉄道に関する技術基準 土木編 改訂版 別冊(地下駅等の火災対策基準・同解説)，日本鉄道施設協会，2007.11
- 4) 木村 謙，佐野友紀，林田和人，竹市尚広，峯岸良和，吉田克之，渡辺仁史：マルチエージェントモデルによる群集歩行性状の表現 - 歩行者シミュレーションシステム SimTread の構築 -，日本建築学会計画系論文集 第636号，pp. 371-377、2009年2月
- 5) 峯岸良和，吉田克之，竹市尚広，佐野友紀，林田和人，木村 謙，渡辺仁史：歩行者シミュレーションシステム SimTread の基本性能 開口の流出先における歩行性状を考慮した流動係数の考察，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-2，pp.961-962，2007.8

- 6) 峯岸良和, 吉田克之, 竹市尚広, 佐野友紀, 木村 謙: 通路上における群集流の密度と流動係数の関係の考察 マルチエージェント歩行者シミュレーターSimTread を用いて, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-2, pp.311-314, 2010.9
- 7) 吉田克之, 峯岸良和, 竹市尚広ほか: マルチエージェント歩行シミュレーターSimTread の妥当性の検証 流動係数の実測値との比較及びモデルプランへの適用を通じて, 日本建築学会学術講演梗概集, A-2, pp.315-318, 2010.9
- 8) 城明秀, 池畠由華, 佐野友紀: 廊下の滞留が居室単一開口部の流動量に与える影響 一開口部の群集流動量に関する実大実験およびシミュレーション分析(その 1) -, 日本建築学会計画系論文集, 第 696 号, pp.293-300, 2014.2
- 9) 木村幸一郎, 伊原貞敏: 建築物内に於ける群集流動状態の観察, 日本建築学会大会論文集, 第 5 号, pp.307-316, 1937.3
- 10) 打田富男: 電車駅の乗降場及び階段幅員, 鉄道技術研究所中間報告, 1956.7
- 11) 戸川喜久二: 群衆流の観測に基づく避難施設の研究, 学位論文, 1963.5
- 12) 戸川喜久二: 群集研究と心理の問題, 建築技術, No.184, pp.121-126, 1966.11
- 13) 月尾嘉男, 祖父江隆弘: 歩行者の速度と密度との関係の測定, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.699-700, 1977.10
- 14) 岡田光正, 浅野博光, 俵 元吉: 自由歩行速度と歩幅に関する調査・研究 主として老人や子供の場合について, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.237-240, 1978.5
- 15) 入船百弘, 加原康通, 舟橋國男, 紙野桂人: 環境条件に応じる行動変化に関する研究: 街路と地下街における歩速・距離感の比較, 日本建築学会近畿支部研究報告集 計画系 (25), pp.649-652, 1985.5
- 16) 藤井皓介: 鉄道駅改札口の通過可能方向から見た群集流の制御手法の考察, 卒業論文, 2010.1
- 17) 奥平耕造: 駅勢圏の境界に関する研究, 日本建築学会論文報告集, 第 125 号, pp.59-64, p.67, 1966.7
- 18) 堀越義章: 大都市周辺部における商業施設分布・鉄道駅勢圏と消費者買物行動とに関する調査研究, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.1897-1898, 1982.8
- 19) 角 知憲, 村尾光弘, 宮木康幸, 松本嘉司: 実質消費時間を用いる通勤駅勢圏の推定, 土木学会論文集, 第 347 号, pp.135-144, 1984.7
- 20) 林 淳蔵, 佐野友紀, 林田和人, 浜本敏裕, 渡辺仁史: 駅勢圏改札口分担モデルによる利用者数の予測に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集, E-1, pp.789-790, 1995.7.20
- 21) 谷口綾子, 染谷祐輔, 藤井 聡: 特定駅勢圏の全世帯を対象とした鉄道利用促進 TFP の実証分析, 運輸政策研究, vol.10, No.3, pp.11-18, 2007.1



- 22) 武藤雅威：鉄道競合地域における定量的な駅勢圏設定手法，日本鉄道技術協会誌，pp.36957-36959，2012.7.
- 23) 鉄川与志雄，有馬隆文，箕浦永子，藍谷鋼一郎：駅勢圏における「walkability」に関する研究，日本建築学会九州支部研究報告，pp.465-468，2013.3.3
- 24) 国土交通省総合政策局安心生活政策課監修：公共交通機関の旅客施設に関する移動等円滑化整備ガイドライン 改訂版、公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団、2013.10
- 25) 土屋伸一ほか：車椅子使用者が混在する群集の流動特性に関する研究、日本建築学会環境系論文集 第 571 号，pp.1-7，2003.6

## 第 6 章

- 1) 日本建築センター編：新・建築防災計画指針 -建築物の防火・避難計画の解説書-，日本建築センター，1995.7

## 第 7 章

- 1) 室崎益輝著：現代建築学 建築防災・安全，鹿島出版会，2000.1
- 2) 神 忠久：煙中の誘導標識の見透し距離について（I），日本建築学会論文報告集，第 182 号，pp.21-32，1971.4

## 本論文を構成する主要な学術論文

- 1) 藤井皓介, 佐野友紀, 大宮喜文: 視方向に対する標識の水平角が煙中の視認距離に与える影響 - 誘導灯及び案内標識の視認性 -, 日本建築学会環境系論文集, 第 79 巻 第 702 号, pp.639-648, 2014.8
- 2) 藤井皓介, 佐野友紀: 経路選択時の要因及び行動に基づく大規模鉄道駅の避難経路探索行動 - 鉄道駅の火災避難時における利用者の避難方略の検討 その 1 -, 日本建築学会環境系論文集, 第 79 巻 第 704 号, pp.829-839, 2014.10
- 3) 藤井皓介, 佐野友紀: 避難時における鉄道駅改札口通過群集の通行部選択特性 - 間隙通過時における歩行者の行動特性 その 1 -, 日本建築学会計画系論文集, 第 80 巻第 708 号, 2015.2 (印刷中)

## 発表研究一覧

### (1) 学術論文<査読あり>

- 1) 藤井皓介, 佐野友紀, 大宮喜文: 視方向に対する標識の水平角が煙中の視認距離に与える影響 - 誘導灯及び案内標識の視認性 -, 日本建築学会環境系論文集, 第 79 巻 第 702 号, pp.639-648, 2014.8
- 2) 藤井皓介, 佐野友紀: 経路選択時の要因及び行動に基づく大規模鉄道駅の避難経路探索行動 - 鉄道駅の火災避難時における利用者の避難方略の検討 その 1 -, 日本建築学会環境系論文集, 第 79 巻 第 704 号, pp.829-839, 2014.10
- 3) 藤井皓介, 佐野友紀: 避難時における鉄道駅改札口通過群集の通行部選択特性 - 間隙通過時における歩行者の行動特性 その 1 -, 日本建築学会計画系論文集, 第 80 巻第 708 号, 2015.2 (印刷中)

### (2) 国際会議におけるポスター発表<アブストラクト査読あり>

- 1) Kosuke Fujii, Tomonori Sano : Experimental Study on Crowd Flow Passing Through Ticket Gates in Railway Station, Pedestrian and Evacuation Dynamics, 30, Delft University of Technology, Netherlands, Transportation Research Procedia, 2(2014), pp. 630-635, 2014.10

### (3) 学術雑誌における研究紹介<エディターによる査読あり>

- 1) 藤井皓介: 煙中における案内標識及び誘導灯の視認性, 日本火災学会誌 火災, 日本火災学会, 62 巻 4 号, pp.14-16, 2012.8

### (4) 国内学会における口頭発表

- 1) 藤井皓介, 佐野友紀: 鉄道駅改札口の通過可能方向による群集流の制御手法の考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-1, pp.771-772, 2010.9
- 2) 藤井皓介, 山本昌和, 石突光隆, 佐野友紀: 鉄道駅の火災避難時を想定した群集の流動状態の把握: その 1 改札口と通路における流動量の実験的研究, 平成 23 年度日本火災学会研究発表会概要集, B-26, pp.254-255, 2011.5
- 3) 藤井皓介, 佐野友紀: 歩行者シミュレーターSimTread における火災避難時の改札口幅員設定方法の検討 - 鉄道駅における群集の流動性状の把握 その 1 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.209-210, 2011.8
- 4) 佐野友紀, 藤井皓介, 西宮竜也, 山本昌和, 石突光隆: 大規模鉄道駅における火災時の避難経路選択方略に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-2, pp.369-370, 2011.8

- 5) 藤井皓介, 畠山雄豪, 遠田敦, 大宮善文, 佐野友紀: 煙中における案内標識及び誘導灯の視認距離, 平成 24 年度日本火災学会研究発表会梗概集, B26, pp.152-153, 2012. 5
- 6) 藤井皓介ほか: 格子状通路を有する大規模鉄道駅の空間的特徴が避難行動に与える影響 -大規模鉄道駅の火災避難時における利用者の避難経路選択方略に関する研究 その 1-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-2, pp.95-96, 2012. 9
- 7) 滝沢健太, 畠山雄豪, 古川容子, 長谷見雄二, 佐野友紀, 佐藤将之, 土屋伸一, 藤井皓介, 佐藤泰: 保育所園児の避難行動特性と避難安全計画に関する研究 (その 1) — 避難訓練調査概要と避難準備時間 —, 平成 25 年度日本火災学会研究発表会梗概集, A-14, pp.32-33, 2013.6
- 8) 畠山雄豪, 佐野友紀, 古川容子, 滝沢健太, 長谷見雄二, 土屋伸一, 佐藤将之, 藤井皓介, 佐藤泰: 保育所園児の避難行動特性と避難安全計画に関する研究 (その 2) — 水平歩行速度と階段歩行速度 —, 平成 25 年度日本火災学会研究発表会梗概集, A-15, pp.34-35, 熊本, 2013.6
- 9) 古川容子, 滝沢健太, 畠山雄豪, 長谷見雄二, 佐野友紀, 佐藤将之, 土屋伸一, 藤井皓介, 佐藤泰: 保育所園児の避難行動特性と避難安全計画に関する研究 (その 3) — 保育園児の避難時の問題点と安全確保の方法 —, 平成 25 年度日本火災学会研究発表会梗概集, A-16, pp.36-37, 2013.6
- 10) 増田良誠, 関澤愛, 佐野友紀, 門倉博之, 藤井皓介, 関澤健太, 安藤翔: 高層事務所ビルの全館避難訓練時における階段歩行に関する実測調査とその分析 その 7 — 順次避難訓練の概要と観測結果 —, 平成 25 年度日本火災学会研究発表会梗概集, A-18, pp.40-41, 2013.6
- 11) 門倉博之, 関澤愛, 佐野友紀, 藤井皓介, 増田良誠, 関澤健太, 安藤翔: 高層事務所ビルの全館避難訓練時における階段歩行に関する実測調査とその分析 その 8 — 順次避難訓練における階段内の滞留発生に関する分析 —, 平成 25 年度日本火災学会研究発表会梗概集, A-19, pp.42-43, 2013.6
- 12) 関澤健太, 佐野友紀, 関澤愛, 増田良誠, 門倉博之, 藤井皓介, 安藤翔: 高層事務所ビルの全館避難訓練時における 階段歩行に関する実測調査とその分析 その 9 — 避難訓練後アンケートから見た順次避難への評価 —, 平成 25 年度日本火災学会研究発表会梗概集, A-20, pp.44-45, 2013.6
- 13) 藤井皓介, 佐野友紀, 関澤愛, 増田良誠, 門倉博之, 関澤健太, 安藤翔: 高層事務所ビルの全館避難訓練時における 階段歩行に関する実測調査とその分析 その 10 — 順次避難の避難フェーズ間隔が避難者の混雑と全館避難完了時間に与える影響 —, 平成 25 年度日本火災学会研究発表会梗概集, A-21, pp.46-47, 2013.6

- 14) 滝沢健太, 古川容子, 長谷見雄二, 佐野友紀, 土屋伸一, 畠山雄豪, 藤井皓介, 佐藤将之, 佐藤泰: 保育所園児の避難行動特性と避難安全計画に関する研究(その 1) —避難速度の実態調査—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.347-350, 2013.8
- 15) 古川容子, 滝沢健太, 長谷見雄二, 佐野友紀, 土屋伸一, 畠山雄豪, 藤井皓介, 佐藤将之, 佐藤泰: 保育所園児の避難行動特性と避難安全計画に関する研究(その 2) —保育園児の避難時の問題点と安全確保の方法—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.351-354, 2013.8
- 16) 藤井皓介, 橋爪隆一, 佐野友紀: 階順次避難における避難開始時間の差異が混雑状況及び階避難完了時間に与える影響 大規模鉄道駅の火災避難時における利用者の避難経路選択方略に関する研究 その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.375-376, 2013.8
- 17) 古川容子, 滝沢健太, 畠山雄豪, 長谷見雄二, 佐野友紀, 佐藤将之, 土屋伸一, 藤井皓介, 佐藤泰: 保育所園児の避難行動特性と避難安全計画に関する研究(その 4) —自力歩行可能児の全館避難安全性に関する検討—, 平成 26 年度日本火災学会研究発表会梗概集, A-13, pp.44-45, 2014.5
- 18) 門倉博之, 佐野友紀, 関澤愛, 水野雅之, 藤井皓介, 安藤翔, 和田哲也: 高層事務所ビルの全館避難訓練時における階段歩行に関する実測調査とその分析 その 11 —順次避難における階段室内の滞留発生に関する分析—, 平成 26 年度日本火災学会研究発表会概要集, OS1-4, pp.178-181, 2014.5
- 19) 和田哲也, 佐野友紀, 関澤愛, 水野雅之, 門倉博之, 藤井皓介, 安藤翔: 高層事務所ビルの全館避難訓練時における階段歩行に関する実測調査とその分析 その 12 —避難訓練の参加者に対するアンケート調査結果の分析—, 平成 26 年度日本火災学会研究発表会概要集, OS1-5, pp.182-185, 2014.5
- 20) 藤井皓介, 佐野友紀, 関澤愛, 水野雅之, 門倉博之, 関澤健太, 安藤翔, 和田哲也: 高層事務所ビルの全館避難訓練時における階段歩行に関する実測調査とその分析 その 13 —一斉避難及び順次避難における在館者数が避難時間に与える影響—, 平成 26 年度日本火災学会研究発表会概要集, OS1-6, pp.186-189, 2014.5
- 21) 滝沢健太, 古川容子, 長谷見雄二, 佐野友紀, 土屋伸一, 畠山雄豪, 藤井皓介, 佐藤将之, 佐藤泰: 保育所園児の避難行動特性と避難安全計画に関する研究(その 3) —自力歩行可能児の全館避難安全に関する検討—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.93-94, 2014.9
- 22) 古川容子, 滝沢健太, 長谷見雄二, 佐野友紀, 土屋伸一, 畠山雄豪, 藤井皓介, 佐藤将之, 佐藤泰: 保育所園児の避難行動特性と避難安全計画に関する研究(その 4) —保育園避難の特徴と全館避難時における保育園児の心身状況—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.95-96, 2014.9

- 23)藤井皓介, 佐野友紀: 改札口接近時における避難群集の通路選択傾向 —鉄道駅における群集の流動性状の把握— その 2 —, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.695-696, 2014.9
- 24)山本昌和, 辻村壮平, 佐野友紀, 藤井皓介: 鉄道車両用非常梯子を降りる群集を対象とした基礎的な流動特性の把握, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.697-698, 2014.9

**(5) 国内学会におけるポスター発表**

- 1) 藤井皓介, 畠山雄豪, 遠田敦, 大宮喜文, 佐野友紀: 視方向に対する標識水平角の鋭角時における視認距離に対する影響 —煙中における案内標識及び誘導灯の視認距離— その 2—, 平成 25 年度日本火災学会研究発表会梗概集, PS2, pp.354-355, 2013. 6

**(6) 研究助成**

- 1) 藤井皓介: 第 51 回 (2012 年度) 竹中育英会建築研究助成 (研究代表者)

## 謝辞

本研究は、2010年の修士課程初年度における研究に端を発します。修士課程より火災避難時の人間行動を対象とした研究に着手し、指導教員である佐野友紀教授には多くのご助言・ご指導を賜りました。また、学術的文書の作成、研究発表の方法等について多くのご助言を頂いたことに感謝するとともに、これを糧として今後も一層の精進をして参りたいと思います。

本論文の審査にあたって、副査をして頂いた東京理科大学の大宮喜文教授、小島隆矢准教授、佐藤将之准教授に有益なご助言を頂きました。深く感謝を申し上げます。

本論文を構成する各章の研究については、共同研究として多くの方々のご協力を頂きました。第2章及び第4章では、鉄道総合技術研究所の山本昌和様と石突光隆様に実験実施にあたりご協力頂きました。第3章では、東京理科大学の大宮喜文教授、遠田敦様にご指導・ご協力頂きました。ここに深い感謝の意を表します。

自身の研究を含め様々な研究に携わる中で、多くの方々の研究方法を拝見するとともにご意見・ご助言を頂きました。また、調査・実験の実施にあたり自身の所属する研究室並びに共同研究を行った東京理科大学大宮研究室、鉄道総合技術研究所の皆様を含め多くの方々のお手をお借りしました。本研究が多くの方々のご協力により成り立っていることを改めて確認するとともに、ご協力頂いた方々に心より感謝致します。

最後に、支えてくれた家族に感謝の意を表して本論文を捧げます。