

# IT を活用した群集流動における 安全安心の実現に関する実証的研究

研究代表者

産業技術総合研究所 人工知能研究センター  
山下倫央

共同研究者

九州産業大学 ソーシャルデザイン学科  
岩田敦之

和歌山大学 システム工学部

宮部真衣

奈良先端科学技術大学院大学 研究推進機構

荒牧 英治

## 1. まえがき

### 1.1. 研究の概要

本申請研究では、群集流動における安全安心を実現するため、来場者への情報配信と運営者間での情報共有に関する実践的な運用手法を確立する。歩行者シミュレーションによる検証と実証実験を通じて、情報配信と情報共有の有効性を確認する。

日本国内の群集事故としては、2003年に明石花火大会歩道橋事故は記憶に新しく、死者11名の内訳は10歳未満9名・70歳以上2名であった。大規模イベントの群集事故では、子供や高齢者が犠牲になることが多く、大規模イベントにおける安全の確保が社会的に強く望まれている。さらに2020年の東京オリンピック・パラリンピックの開催を控えて、外国人を含む群集流動の危険性を緩和する手段が必要とされている。雑踏事故を防ぐ

ための課題として、

- 課題1. 混雑が発生しないように集中を防ぐ環境を事前に作成する
- 課題2. 混雑が発生した場合には迅速に当該箇所への流入を止める

という2点が挙げられる。課題1に関して、通常は一方通行、通行止め、分断誘導等の対策が実施される。混雑緩和策に多くの来場者が従えば効果が高まるため、運営サイドが実施している交通規制や混雑状況を来場者に配信することは有効である。課題2に関しては、運営サイドが過度な混雑発生を覚知して、即座に各員が対応策を実施する必要があるため、運営サイドでは常に混雑状況を共有しておく必要がある。しかし、対象範囲が広域で群集の規模が大きい場合、無線機やトランシーバといった音声通話だけで状況を共有することは困難である。

これらの課題を踏まえて、本申請研究では群集

流動における安全安心を実現するために、来場者への情報配信と運営サイドの情報共有の具体的な手段として、

- 建物の壁面にプロジェクターを使って各種情報を投影するガイドプロジェクション
- スマートフォンで混雑情報を閲覧できるウェブサイト(混雑情報配信サイト)

を取り上げ、運用方法をまとめる。花火大会のように開催が年に1回と頻度が低い場合には、経験に基づく混雑状況の推測は困難であるため、混雑情報の配信は重要である。

ガイドプロジェクションと混雑情報配信サイトは既に開発済みで、2014年に関門海峡花火大会における実証試験で稼働を確認した。歩行者シミュレータを適用して、来場者への情報配信と運営サイドの情報共有が群集の挙動に与える影響を検証する。さらに、2015年と2016年に関門海峡花火大会においても実証実験を行い、混雑情報配信の有効性を検証し、その運用方法を確立する。

本申請研究の準備状況として、2014年8月13日に開催された関門海峡花火大会において、関門海峡花火大会実行委員会と連携して、花火大会会場周辺の3か所でのガイドプロジェクションと混雑情報配信サイト(じーもの花火混雑マップ)の稼働を確認した。申請者は関門海峡花火大会実行委員会と2012年度から人流計測や歩行者シミュレーションの実施に関して連携している。

ガイドプロジェクションの適用として、高輝度のプロジェクターを用いて1行15文字程度で3行の文字情報を建物の壁面に投射し、経路情報やイベント情報を提供した。ガイドプロジェクションは多くの来場者の注目を集めることができた。

混雑情報配信サイト「じーもの花火混雑マップ」は共同研究者 荒牧・宮部が開発した「100ninmap」を基に構築された。混雑状況の計測員が6か所に配置され、各計測員は担当する経路の混雑状況を

10分毎に三段階(順調, 混雑, 渋滞)で判定する。情報集約係が判定結果を集めて、配信する。

歩行者シミュレータ CrowdWalk を用いて関門海峡花火大会の帰宅時の混雑を扱った。関門海峡花火大会の帰宅状況のシミュレーションもプロトタイプは完成しており、実際の状況との比較をおこない、再現性を高めるフェーズに入っている。

## 1.2. 報告書の構成

本報告書の構成を述べる。本報告書では、ガイドプロジェクション、混雑情報配信サイト(じーもの花火混雑マップ)、歩行者シミュレーションの各要素技術に焦点を当てて、報告する。

2章では、来場者に向けた情報配信手法の一つであるガイドプロジェクションに関して、2014年度の実施状況を踏まえて、2015年度と2016年度に行った活動を報告する。情報配信技術そのもののブラッシュアップだけではなく、サービスの持続可能性を重視して、プロジェクトメンバーの支援がなくても関門海峡花火大会実行委員で実施可能なパッケージの作成も行った。

3章では、混雑情報配信サイトの運用に関しては、技術的に大きな変更はなかったが、コンテンツの修正があり、運用方法に課題が見つかったため、それらを報告する。

4章では、GPSや深度センサを用いた流動解析の結果をまとめて、関門海峡花火大会の帰宅時の群集流動を定量的に捉えた結果を報告する。また、ハンディGPSのデータを利用する際には、マップマッチングを用いた次元吸着法を開発・実装して出発地点からの距離で位置を表すことを可能とした。この一表現により、帰宅動線上の来場者の歩行速度が減速した場所がより明確に把握できるようになった。門司港駅の改札に設置した深度センサによって計測された門司港駅への流入量はこの数年で大きな変化は見られなかったが、

ハンディ GPS を用いた計測によって帰宅に用いられる3動線の帰宅所要時間が2015年と2016年では大きな違いがあることが確認された。

5章では、解析結果に基づくシミュレーションに関しては、誘導施策のシミュレーションへの実装の説明を行い、一斉帰宅の防止策の効果検証を行った。また、追加実装した動的な誘導モデル推進帯を用いた誘導手法の検証結果を報告する。これらの実装により、より現実的な群集流動の制御に向けた誘導手法の検証が可能となった。

6章で本報告書のまとめを述べる。

## 2. ガイドプロジェクト

### 2.1. 2014年度の実施状況

#### 2.1.1. 関門海峡花火大会の特徴

北九州市門司区を代表する地域イベントとして関門海峡花火大会がある。近年の来場者数の増加にともない、会場周辺は非常に混雑しており、来場者のスムーズな誘導がイベント運営の大きな課題となっている。そこで、適切な誘導指示と効果的な情報伝達によって、混雑の緩和と来場者のフラストレーションの軽減を図るため、プロジェクトマッピングをイベントガイドの提供に活用することを考案した。

本節では、関門海峡花火大会にて実施したプロジェクトマッピングを活用したイベントガイドの制作過程や今後の課題について報告を行う。

#### 2.1.2. 関門海峡花火大会の課題

関門海峡花火大会は、下関市と北九州市門司区の関門海峡の両岸で実施される、西日本最大規模の花火大会である。2014年で開催は27回を数え、近年は110万以上の来場がある。

門司側は、JR門司港駅周辺が会場となるが、周辺道路の道幅は狭く、駐車場の確保も困難であるため、車両の乗り入れを禁止している。それにともない周辺道路は全て歩行者専用となるが、来場者の多くがJRを使用するため、JR門司港駅から大会会場周辺は非常に混雑する。混雑が深刻な場合は事故を防ぐため、ボランティアや警察が連携し、歩行者の通行規制を実施する。プラカードや拡声器を使用し、人の流れをコントロールしているが、来場者が多いため、通行規制を指示する声が届かずスムーズな誘導が行いにくい状況にある(図2-1)。



図2-1 プラカードと拡声器による誘導

#### 2.1.3. プロジェクトマッピングの活用

プロジェクトマッピングは、エンターテインメント分野での活用が目立つが、関門海峡花火大会では、誘導案内を中心にイベントガイドの情報伝達に使用する。今回この試みをガイドプロジェクトと名付けた。

ガイドプロジェクトは、プロジェクターの性能にもよるが、街頭ビジョンや、大型看板などと比べると大きなサイズでの投映が可能であるため、花火大会のような多くの来場者のあるイベントでは、視認性の良さを活かし効果的な情報伝達が行えると予想される。また、動的な演出やリアルタイムに投映内容の切り替えが可能である

ため、状況に応じた情報提供が可能である。

## 2.1.4. 2014 年度の実施内容

### 2.1.4.1. コンセプト

関門海峡花火大会の問題を解決するため、まずコンセプトの設定を行った。大会には多くの来場があるため、誰もが内容を理解出来る、単純な分かりやすさを重視する。来場者は、ガイドプロジェクトをほぼ初めて目にするため、イベントガイドの情報だということが瞬間的に伝わるようにする。さらに、プロジェクションマッピングでは動的な表現が可能となるため、アニメーションを活かした演出によって、進むべき方向が直感的に理解出来るようにする。

また、JR 門司港駅から大会会場までの空間が広いので、複数のポイントにて、その場所に応じた情報投映を実施する。複数の場所で情報を投映することによって、自然と多くの情報が得られるよう配慮し、時間帯や状況に応じた投映内容をリアルタイムに切り替える。

### 2.1.4.2. 実施場所

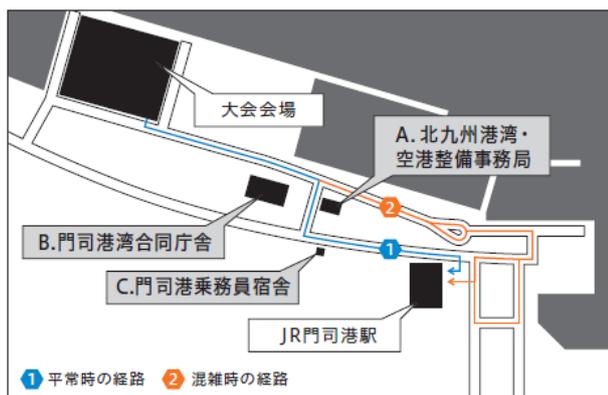


図 2-2 会場周辺地図

投映場所の選定については、現地調査を実施し、ピックアップを行った。候補地の写真を撮影後、映像編集ソフトの Adobe After Effects を使用し、簡易的な合成処理を行ないながら選定をした。最終

的に、建物の投映可能面積、来場者の経路、電源の有無、プロジェクターの設置場所の確保などの条件を考慮し、3カ所に絞り込んだ(図 2-2)。

A 地点は、交通規制が実施される場所であるため、誘導案内を中心とした構成とし、B・C 地点ではイベント情報を中心とした投映を行った。

### 2.1.4.3. 投映システム

投映は、10000 ルーメンの明るさを持つ EPSON-Z10005 を 3 つの地点に 1 台ずつ配置し、それぞれ 1 台の MacBook によって映像の送り出しをした。電源については、3カ所とも建物からの供給が困難であったため、すべて発電機から供給を行った。A・B 地点に関しては、露店から距離が近いので、露店の使用する大型発電機を使用し、C 地点は小型発電機を持ち込み使用した。

映像のマッピングについては、プロジェクションマッピング専用のアプリケーションである Mad Mapper を使用した。Mad Mapper を使用すれば、リアルタイムにマッピング処理が行えるため、今回のようなケースであれば 1カ所あたり 10分程度で作業が完了する(図 2-3)。

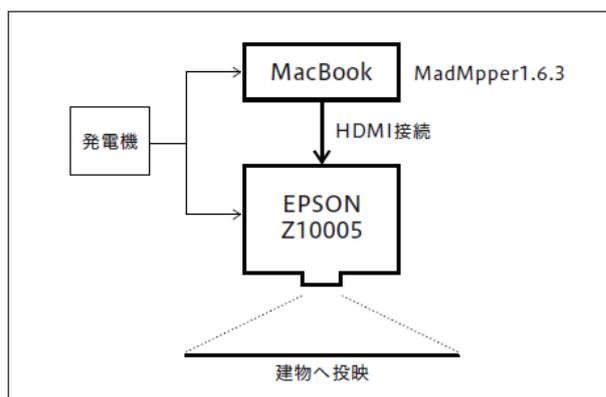


図 2-3 投映システム図

### 2.1.4.4. コンテンツ

投映するコンテンツは、コンセプトをもとに、映像作成アプリケーションである Adobe After Effects を中心に制作を行った。建物は一見平坦み

えるが、実際は凹凸があり、窓のガラス部分はプロジェクターの光を適切に投射出来ない。そのため、窓と窓の間の平らな壁部分を最大限に利用したレイアウトにした。



図 2-4 A 地点 - 北九州港湾・空港整備事務局



図 2-5 B 地点 - 門司港湾合同庁舎



図 2-6 C 地点 - 門司港乗務員宿舎

誘導案内の方向指示については、実際の道路標識を参考にデザインし、文字は情報量の確保と視認性を考慮し、モリサワの UD 新ゴのコンデンス体を選択した。背景には、Adobe AfterEffects により制作したパーティクルによって、スムーズな人の流れを表現した (図 2-4~2-6)。

### 2.1.5. 2014 年度のもつめ

今回実施したガイドプロジェクションは、イベントの運営サイドから誘導案内やイベントの盛り上げに高い効果があるとの評価を受けた。特に誘導担当のボランティアからの評価は高く、プラカードと拡声器のみであった昨年に比べ、スムーズな誘導が行えたとのことであった。しかし、拡声器のアナウンスと投射した誘導案内の文言の不一致や、建物の凹凸によって、情報が読み取りにくい箇所があったため、これらの部分は修正の必要がある。

## 2.2. 2015 年度の実施状況

### 2.2.1. 2014 年度からの課題

2014 年度は、ガイドプロジェクションは会場付近の 3 カ所で実施した。経路の分岐点にある北九州港湾・空港整備事務局に誘導案内に特化したコンテンツを投影し、会場付近で最も高い建物である門司港湾合同庁舎と、混雑で人が密集しやすい門司港乗務員宿舎に大会のイベント情報関連の投影を行った。

九州港湾・空港整備事務局は、分岐の案内が効果的に周知でき、実行委員会によると例年にくらべ誘導がスムーズに行えたとのことであったが、一方で、分岐の方向を示す言葉が、誘導員の拡声器の声とガイドプロジェクションで異なる内容となってしまう、目と耳から受ける情報の不一致により、効率的な誘導が行えなかった。あらかじめ用意した映像コンテンツのみを投影する方式

であったため、この問題への対応が現場では不可能であった。また、災害など不測の事態が発生した場合、現場の状況に合わせて柔軟な情報提供を行うことが課題となった。他方、この地点での誘導がスムーズに行えた影響もあってか、例年以上に門司港ホテル付近での混雑が深刻化することとなった。

門司港湾合同庁舎の投影は、露天商のテントと照明によって視認性が悪く来場者の目に届きにくかった。また、花火大会終了後に帰宅客の分散を狙ったライブイベント等の情報配信を積極的に行ったが効果はあまり見られなかった。

門司港乗務員宿舎の投影は、投影する建物の壁面の凹凸によって、文字情報が判別しにくく、情報の視認性に問題があった。投影箇所に対して来場者の視点が大きく変化する場所であったためこの問題が顕著となった。

## 2.2.2. 2015年度の実施内容

### 2.2.2.1. コンセプト

昨年の取り組みの課題をもとに、今年の投影のコンセプトを設定した。ライブイベント情報の提供は混雑緩和の効果があまりなかったため、分岐点の誘導案内に特化しつつ、現場の状況にあわせ情報をリアルタイムかつ柔軟に変更出来るようにする。またビジュアル面は、昨年の案を踏襲しつつ、混雑時の安全を考え、来場者の足を止めることなく直感的・瞬間的に情報を伝達できるよう、ピクトグラムやアニメーションを活かした演出を行う。

### 2.2.2.2. 投影場所と投影内容について

昨年の課題を考慮し、今年は分岐の2カ所に投影地点を設置した(図2-7)。A地点の北九州港湾・空港整備事務局は、誘導案内を中心に、会場付近の混雑情報を配信するモバイルサイトに

書き込まれた周辺の状況や、迷子の案内などの情報を投影した(図2-8)。リアルタイムに情報を投影できるこのシステムを使用し、災害等の発生時に情報提供出来るようにしていたが、目立ったトラブルは発生せず使用することはなかった。

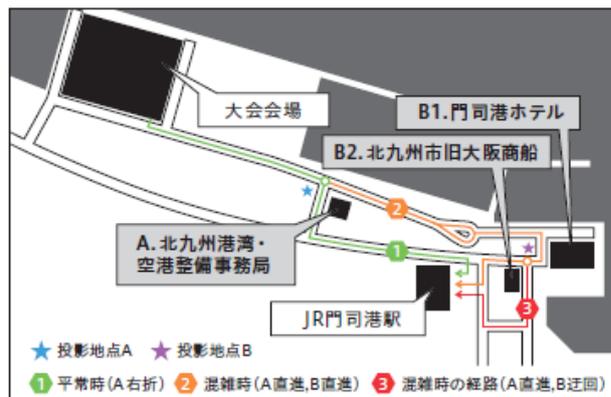


図2-7 会場周辺地図



図2-8 A地点(北九州港湾・空港整備事務局)



図2-9 B地点1(門司港ホテル)



図2-10 B地点2(北九州市旧大阪商船)

また、昨年混雑が深刻であった門司港ホテル付近に新たな投影地点を設定した。この場所は、Uターン直後に分岐があり混雑が発生しやすいため、Uターン前にあらかじめ分岐の制限状態を告知し、Uターン後に改めて情報を提示することによって混雑が起きにくくなるよう配慮を行った(図2-9,10)。

### 2.2.2.3. 投影システム

昨年に引き続き、投影に使用するプロジェクターは 10000 ルーメンの明るさを持つ EPSON-Z10005 を使用した。A 地点には 1 台のプロジェクターと Mac, B 地点は 2 台のプロジェクターを 1 台の Mac から映像の送り出しを行った。現場の状況に合わせた柔軟性のある投影を行うため、主に AdobeAfterEffects で制作したベース映像に、VJ(video jockey)用アプリケーション Modul8 でテキストや画像をリアルタイムに追加した。そして最終的には、プロジェクションマッピング用アプリケーション Madmapper によって建物の形に補正し投影を行った。

電源については、近隣の建物からの引き込みが困難だったため、2カ所とも露天商用の発電機を使用した。

### 2.2.3. まとめ

今回のガイドプロジェクションは、A 地点、B

地点ともに深刻な来場者の密集状態は発生せず、スムーズな誘導が行うことができ、投影の効果が確認出来た。また、リアルタイム表示を活用した迷子の案内は、実行委員会からの評価が高く、来年以降の積極的な運用を求められた。

今後は、ガイドプロジェクションと混雑情報を配信するモバイルサイト、誘導員の持つプラカードなどのビジュアルイメージの統一化によって、効果的な誘導案内を行いたい。また、様々なイベントでガイドプロジェクションを実行できるよう、投影手順を簡略化しつつ効果の高い情報提供を行うための方法について、調査や実験を行っていく。

## 2.3. 2016 年度の実施状況

### 2.3.1. 2015 年度からの課題

2015 年度は迷子案内や Web サイトと連動した情報をリアルタイムに投影する試みも実施しており、一定の効果が確認できた。今回はこれらのブラッシュアップを行いながら、情報伝達のさらなる効率化を目指す。

### 2.3.2. 実施計画

#### 2.3.2.1. 課題

- リアルタイムでの情報提供の拡張

これまでの投影は来場者の足を止めることのない瞬間的な情報伝達を目指し、サインと文字情報に要素を限定し投影を行ってきた。しかし、不測の事態が発生した場合などの様々なケースに備え、リアルタイムでの投影を拡張し情報伝達効果を高める必要がある。

- 持続可能なプロジェクト

これまで投影には大型の高輝度プロジェクター 3 台(予備機を含めると計 4 台)と、プロジェクションマッピング用の専用アプリケーションによる運用を行っており、作業負荷が大きくなっていった。機材が大がかりなため運搬には少なくと

も車両2台が必要で、設置も投影箇所ごとに2〜3人で行っていた。また、投影に使用しているアプリケーションは一般的ではなく、作業を行うには操作の習得が必要なため、一般スタッフでの対応は困難であった。今後、継続的にプロジェクトを行っていくために、使用機材や投影方法などを検証し、投影作業の簡略化が不可欠である。

### 2.3.2.2. コンセプト

#### ● 瞬間的な情報伝達の拡張

昨年までの流れを踏襲し、分岐点の状況に合わせてリアルタイムに投影内容を変更できるようにする。混雑時の安全を第一に、来場者の足を止めることなく瞬間的かつ直感的な情報伝達によってスムーズな誘導案内を行う。今年はさらにリアルタイムでの情報提供を拡張し、カメラで撮影した映像を素材として実験的に活用することによって、不測の事態などに備え必要な情報を即時に伝達できるようにする。

#### ② 作業の簡略化

投影作業の簡略化を目指すために使用機材や投影方法の見直しを行う。まず、大きな負荷となっている高輝度プロジェクターの台数の削減の可能性を探る。重大事故発生の可能性が比較的小さいポイントでの小型プロジェクターの導入や簡易的な投影システムでの投影を検討する。小型プロジェクターと簡易的な投影システムを用いれば、機材のコストを抑えることができるうえ、特別に講習などを受けなくても誰でも投影作業を行うことができる。また、機材の運搬や設営の作業負荷の軽減が期待できる。

### 2.3.2.3. 実施内容

#### ● 投影場所

大会会場から JR 門司港駅までの経路に変更はないため、昨年同様、2ヶ所の分岐点で投影を行った。経路上最も重要な北九州港湾・空港整備局

の A ポイントにはこれまで同様、大型の高輝度プロジェクターを使用した投影を実施した。

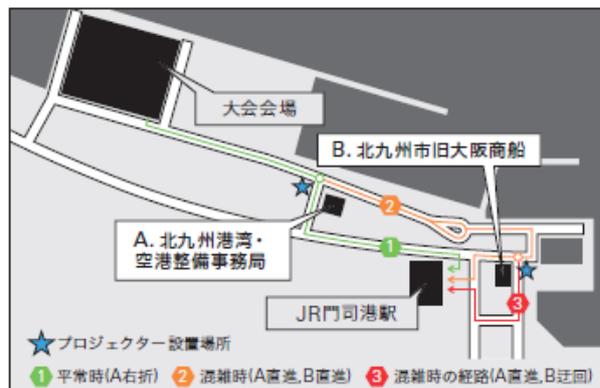


図 2-11 JR 門司港駅までの経路

また、昨年から投影を実施している北九州市旧大阪商船前の B ポイントでは、作業の簡略化の実験を行った。高輝度プロジェクターは使用せず小型プロジェクターによる簡易的な投影を行った (図 2-11)

#### ● A ポイントでの投影

A ポイントは分岐点での誘導案内を主としながら、新たな試みとしてリアルタイム動画を素材として使用した (図 2-12,13)。



図 2-12 A ポイントの投影 1



図 2-13 A ポイントの投影 2

来場者の足を止めることが無いよう注意をしながら、花火の打ち上げの様子や分岐点の混雑状況を投影した。また昨年同様、迷子の案内などのインフォメーションをテキスト情報にてリアルタイムに更新しながら投影を行った。

機材はこれまで同様 10000lm の大型プロジェクターと MacBook を接続し、さらにリアルタイム動画を素材として活用するためにカメラとビデオキャプチャをそれぞれ一台ずつ使用した。投影のためのアプリケーションは昨年同様、建物の形状に合わせ投影の調整を行う「MadMapper」と、リアルタイム映像と誘導案内の動画の合成やテキスト情報の更新などに「Modul8」を使用した。

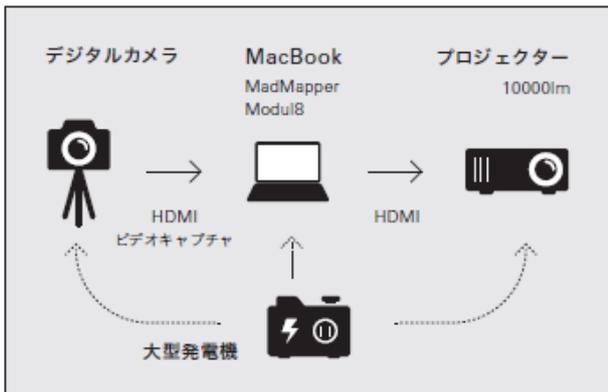


図 2-14 投射機材

- B ポイントでの投影

B ポイントでは作業の簡略化を目指し、4200lm

の小型プロジェクターで投影を行った (図 2-15 ~ 2-17)。小型プロジェクターは、大型の高輝度プロジェクターのようにレンズを交換しつつ高出力を活かした遠距離投影は行えないが、プロジェクターと建物の距離を近づけることによって明るさを確保した。また、投影位置の調整はプロジェクターの台形補正機能のみを使用し、投影の切り替えもプロジェクションマッピング専用アプリではなく Mac に標準搭載されているプレゼンテーション用アプリケーション「Keynote」を使用した。「Keynote」であればスライドを新規に作成することによって必要な情報を追加することが可能なため、鉄道事故や災害などの不測の事態に対応できるよう備えていたが、幸い大きなトラブルの発生はなかった。



図 2-15 B ポイントの投影

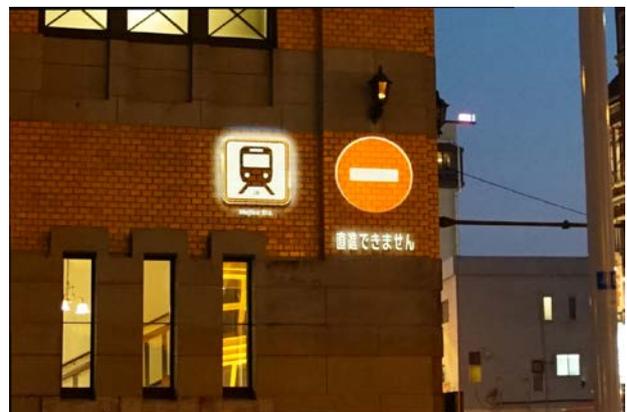


図 2-16 B ポイントの投影

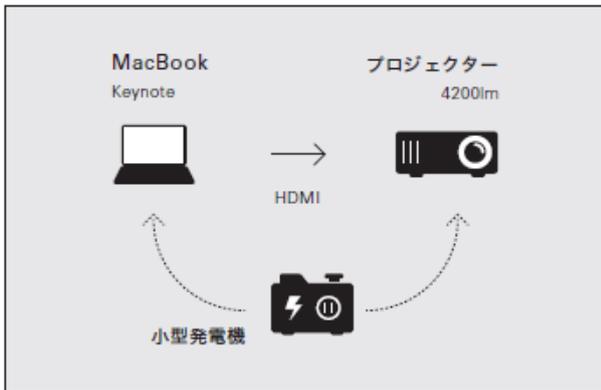


図 2-17 投射機材

### 2.3.3. まとめ

#### ● A ポイント

新たに映像素材を活用した A ポイントでは、トラブルなく投影を実施できた。リアルタイム映像は来場者の注目度が高く、手を振るなどする人もいたが、移動の足は止まることなくスムーズな誘導が行えた。一方、混雑時の通行制限によって迂回を強いられる場合があるため、これに不満を持つ来場者が依然として少なからずいる。投影によって通行制限が行なわれていることは事前に周知できているが、迂回への協力が得られにくい部分があるため、リアルタイム動画を活用するなどして、安全を目的とした通行制限への理解を促す必要がある。

#### ● B ポイント

作業の簡略化に重点を置いた B ポイントもトラブルなく投影が実施できた。機材の変更による誘導案内の情報伝達効果の差は確認できず、スムーズな誘導が行えた。機材や投影方法の簡略化によって、機材の運搬や投影のセッティングなどの面で作業量の大幅な削減ができた。また、機材の変更に伴い投影ポイントが分岐点付近に移動にしたことにより、誘導スタッフとの連携が密となり円滑に投影が実施できた。

#### ● プロジェクトの継続に向けた課題

今年取り組んだ、作業の簡略化に向けた取り組みは有効であると確認ができたが、今後のプロジェクトの継続や、他のイベントでの実施に向けて、さらに作業効率の向上を目指す必要がある。また、持続可能な取り組みにするためには外部ではなく運営内部の人材での運営が不可欠であるため、小型プロジェクターや身近なアプリケーションの活用を検証し、投影の効率化をより高めていく。

## 3. 混雑情報配信サイト

### 3.1. システム概要

見物客に向けた混雑情報をウェブサイト「じーもの花火混雑マップ」から配信した。利用する混雑配信システムは「100ninmap」[1] をベースに構築されている。スマートフォンにも対応したウェブサイト「じーもの花火混雑マップ」では混雑情報が重畳された地図画像が閲覧できる。



図 3-1 混雑情報配信用ウェブサイト「じーもの花火混雑マップ」のスクリーンショット

混雑情報を配信するウェブサイトスマートフォンブラウザで閲覧した場合のスクリーンショットを図3-1に示す。このウェブサイトには混雑情報だけではなく、花火大会会場のイベント情報や見物客のつぶやきが掲載されている。

### 3.2. 混雑情報の収集と配信

混雑情報を配信するために、情報集約係が各帰宅動線上にいる計測員から混雑の段階を受け取り、地図画像に混雑情報を重畳した後、配信用のサーバにアップロードする。計測員と情報集約係の通信には、インスタントメッセージーLINEを利用した。混雑情報の収集と配信の概要を図3-2に示す。

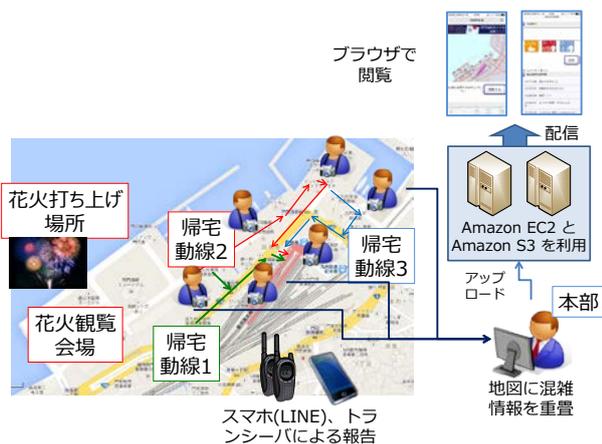


図3-2 混雑情報の収集と配信の概要

混雑状況を判定する計測員を関門海峡花火大会会場付近からJR門司港駅までの3つの帰宅動線上の6カ所に配置する。各計測員が対象となっている帰宅動線の混雑状況を10分毎に三段階(順調, 混雑, 渋滞)で判定し、結果を情報集約係に報告する。混雑状況の各段階の定義を下記に示す。

- 順調：自分の行きたい方向に走ることができる。(例として図3-3を示す)



図3-3 「順調」に対応する状況の例

- 混雑：見物客が全体としては動いており、自分の行きたい方向に走ることができないが歩くことはできる。(例として図3-4を示す)



図3-4 「混雑」に対応する状況の例

- 渋滞：見物客が部分的に立ち止まることがあり、自分の行きたい方向にまっすぐ歩いていけない(分断誘導等の交通規制で止められていることも含める)。(例として図3-5を示す)



図3-5 「渋滞」に対応する状況の例

上記の混雑状況の定義では明確な定量的基準がなく、計測員が実際よりも混雑の少ない状況と判断した結果が配信されて、見物客が集中することを防ぐため、計測員が順調と混雑、混雑と渋滞の判定で迷うことがあれば、それぞれ混雑、渋滞と判定するように指示を与えた。

### 3.3. 2014 年度の実施状況の評価

来場者がどの程度じーもの花火混雑マップを見たかを検証するために、実際に関門海峡花火大会を見た212人を対象としたウェブアンケートを行った。図3-6に示されるように、あなたは、関門海峡花火大会の会場付近の混雑情報を配信する「じーもの花火混雑マップ」を見ましたか、という設問に対しては、回答者の二割弱に留まった。

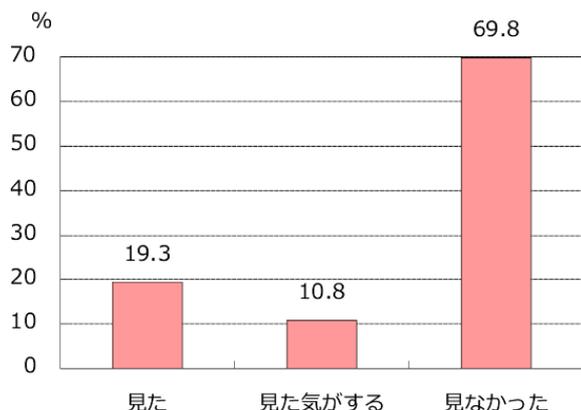


図3-6 アンケート回答結果：あなたは、関門海峡花火大会の会場付近の混雑情報を配信する「じーもの花火混雑マップ」を見ましたか。(n=212)

図3-7に示されるように、あなたは、「じーもの花火混雑マップ」を見て、予定していた帰宅時間を変えたことで、満足が得られましたか、という設問に対しては、7割近くが帰宅時間を変えたことに対して、満足していることが確認できた。「じーもの花火混雑マップ」の閲覧者数も1,500人であったため、多くの来場者に利用されたとは言いがたいが、閲覧した人にとっては有用であった

ということができる。

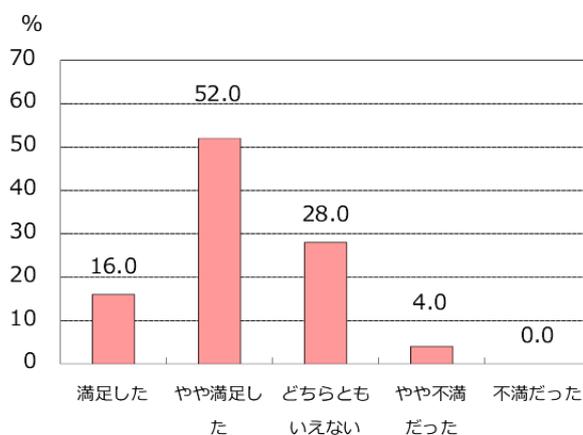


図3-7 アンケート回答結果：あなたは、「じーもの花火混雑マップ」を見て、予定していた帰宅時間を変えたことで、満足が得られましたか。(n=25)

閲覧者数が伸び悩んだ理由としては、「じーもの花火混雑マップ」による3G回線やLTE回線へ負荷をかけてしまうという懸念があったことが挙げられる。昨年度、一昨年度の関門海峡花火大会では、一時的に携帯電話の通話やパケット通信が不調になったという報告もあった。そのため、関門海峡花火大会の公式HPなどで積極的に事前の告知を行えず、「じーもの花火混雑マップ」を実施するという事前のアナウンスが消極的になり、閲覧者数を増やすことができなかった。

### 3.4. 2015・2016年度の実施状況

#### 3.4.1. コンテンツに関する変更点

2015年と2016年も2014年のシステムをベースに情報配信を行った。2014年度版のシステムからの変更は次の二点が挙げられる。

一点目は、通行制限情報の追加である。図3-8に示されるように、警察や警備会社によって通行制限をされている帰宅動線に関しては空いていても通過することができない。混雑状況のみで分

類すると「順調」になってしまうが、来場者は通ることができないため現実を反映した情報にはなっていない。そのため、順調、混雑、渋滞に加えて通行制限を導入した。



図 3-8 「通行制限」を加えたガイドプロジェクションのスクリーンショット

二点目は、ガイドプロジェクションでも導入した迷子情報の配信も行った。メッセージを利用して迷子の名前をテキスト(氏名をカタカナで表示)で配信することで音声情報よりも来場者に正確に情報を伝えることが可能になった。

### 3.4.2. 運用に関する変更点

「じーもの花火混雑マップ」の利用に関しては、来場者だけではなく、花火大会の運営サイドにも検討をしていただいた。警察や警備会社からも混雑情報の共有ツールとしての引き合いがあった。しかし、検討の結果、警察官や警備員が職務中にスマートフォンで混雑情報を閲覧していても、何に利用をしているかが来場者からは判断できないため、職務中にスマートフォンをいじっていたという批判を受ける可能性も懸念された。そのため、警察官や警備員の利用は見送るというコメントを得た。ただし、警察や警備会社には混雑情報

の共有自体は積極的に行いたいという希望はあることが確認できたので、今後はガイドプロジェクションや大型ディスプレイ等での情報共有を推進する。

「じーもの花火混雑マップ」自体の対象は、歩きスマホにならないように注意喚起をしつつ、引き続き来場者へ向けて配信を行うことが見込まれる。また、関門海峡花火大会のスタッフやボランティアに関しては利用を制限されていないため、スタッフやボランティアに積極的な利用を求めていき、運営スタッフ間の情報共有ツールといった利用方法を強化することが望ましいと考えられる

## 4. 人流計測による状況の把握

これまでは群集流動シミュレータを用いて、実際の群集流動をモデル化しようとしても、その正しさを評価するデータがほとんどなかった。関門海峡花火大会を対象とした統合支援サービスにおいては、データ計測とその応用手法が洗練されつつあり、既に歩行者の移動データを用いて密度-速度関数の精緻化を行う手法は確立している。さらに、計測員による門司港駅までの所要時間の計測により、花火大会会場からの帰宅開始時間とJR 門司港駅までの移動時間の関係が明らかになってきた。このデータはシミュレーション結果の正しさを評価することができるため、現実により近い群集流動シミュレーションを実装することが可能となる。

本章では、門司港駅改札に取り付けた深度センサによる改札の通行量を計測すること関門海峡花火大会の来場者数の把握を目指す。また、ハンディ GPS を用いて各帰宅動線の所要時間を算出する。

## 4.1. 深度センサによる通行量の計測

### 4.1.1. 計測の意義

シミュレーションで人の流れを予測するためには、同時に人の流れを計測する技術が必要になる。人の流れを計測する方法としてはGPSなどのデバイスを人が持つ方法とカメラやレーザーなど環境に設置されたデバイスを用いて計測する方法の2つが考えられる。ここでは公共空間においてオリンピックに参加する不特定多数の歩行者を計測することを考え、環境に設置したカメラを用いた人流計測に焦点を当てる。

カメラから得られる画像を用いて人の位置を検出する方法としてはHOGなどの画像の局所特徴量を求め、SVMなどの統計的学習手法で検出する方法が数多く研究されており、文献3に網羅的に紹介されている。これに加え、近年ではKinectなどの安価な3次元画像取得デバイスが発売されており、人の抽出を3次元空間上の点群のクラスタリング問題としてとらえ、これまでよりも飛躍的に高い精度で歩行者の位置を抽出できるようになってきている。

このような手法で抽出した人の流れの計測結果をシミュレーションで利用する方法は大きく以下の2つが考えられる。

① ある条件下での人の流れを計測・モデル化してシミュレーションを行う際のモデルパラメータとして利用する。

② 定常的に人の流れを計測して、リアルタイムシミュレーションの初期値などに利用する。

①に関しては、これまでも歩行群衆を観測することで人の流れの特性を求める研究が行われており、水平な道を一方向に流れる状況において歩行者周辺の人の密度(人/m<sup>2</sup>)と歩行速度(m/s)の関係に関する幾つかのモデルが提案されている。これらの計測は水平な道だけではなく、階段

や駅改札口、エスカレータなどへと拡張されており、様々なモデルが提案されている[2]。また、②に関してはリアルタイム性と大規模性が必要となることから、未だ研究としても十分には行われていないが、正確に動作すればリアルタイムでの誘導や災害時の被害状況の推定などに効果があることは明白であり、今後研究が進んでいくものと思われる。その際にはシミュレーション結果と観測データを融合させるデータ同化(Data assimilation)の技術も重要な研究要素となる。

### 4.1.2. 関門海峡花火大会における計測

2012年、2014年、2015年、2016年に花火大会の見物客の多くが利用するJR門司港駅構内の改札上の天井に深度センサ(XtionPRO LIVE)7台を設置して、JR門司港駅からの流出者数と流入者数を計測した。図4-1(a)-(d)はJR門司港駅への流入者数の推移を示している。計測をおこなった2012年度から2016年度においては花火大会の時間的な枠組み(花火の打ち上げ開始から終了までの時間)は同じであった。

図4-1のいずれのグラフにおいても、門司港駅からの流出者は花火大会を見物する来場者であり、花火大会開始の19時50分から流入数が増加し始めて、21時から流入数がピークを迎えていることが確認できる。徐々に減少しながら、22時40分まで来場者の帰宅が続き、その後、流入者数が減少しはじめている。

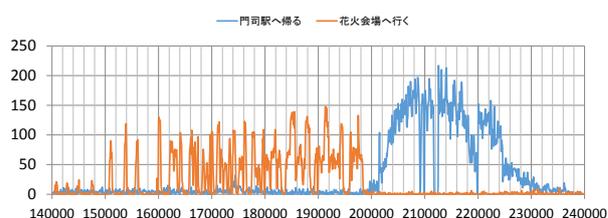


図4-1(a) 2012年度に計測した関門海峡花火大会における門司港駅の流入出数(14時-24時)

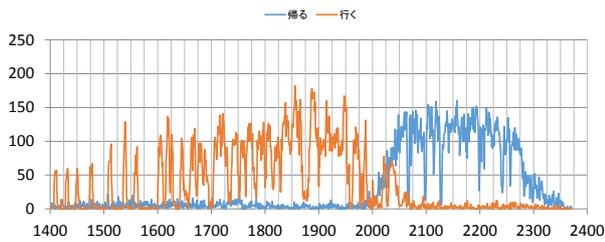


図 4-1 (b) 2013 年度に計測した関門海峡花火大会における門司港駅の流入出数(14 時-24 時)

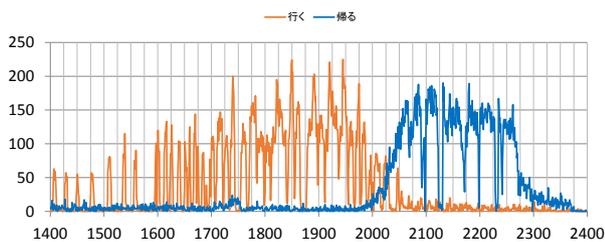


図 4-1 (c) 2014 年度に計測した関門海峡花火大会における門司港駅の流入出数(14 時-24 時)

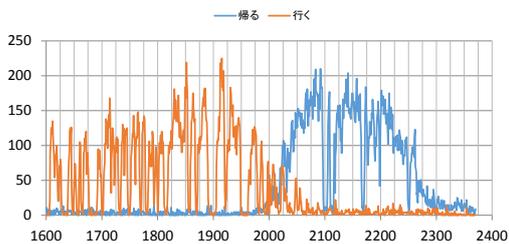


図 4-1 (d) 2015 年度に計測した関門海峡花火大会における門司港駅の流入出数(16 時-24 時)

これまでの4年分の計測結果からは、来場者の構成が全く異なるにもかかわらず、全体の傾向としての来場の流れと帰宅の流れに大きな違いは見られないことが確認された。しかし、関係者へのヒアリングをおこなった結果は、この計測結果とは大きく異なり、毎年来場者の帰宅状況には大きな違いがあると考えていることが分かった。そのため、深度センサによって得られたデータは、毎年異なる時間・異なる場所での混雑状況の推移に対する主観を蓄積することでは得られない客観的なデータであると言え

る。また、駅構内での誘導を行っている JR 門司港駅の方々にも、このデータを還元することで、スタッフ数を増強する規模やタイミングを明確にすることが可能となり、安全な群集流動の制御に貢献することができた。

## 4.2. GPS データの分析

### 4.2.1. 分析の目的

スマートフォンやハンディ GPS ロガーを用いた行動調査が数多く行われている。しかし、従来は、比較的広範囲の都市間の移動や都市内の観光地間の移動を対象とした研究が多い[3] [4] [5]。一方、本研究ではそれよりも範囲の狭い 1km 四方程度の範囲内で、交通規制等により帰宅動線が限定されている状況の移動を扱う。この状況では、帰宅動線の進行方向に対して計測対象者がどこで減速しているか、出発地点からどの程度前進しているかが重要である。ただし、GPS の二次元の位置座標から直接的に移動距離を算出すると、帰宅動線の進行方向に対して垂直方向への移動も含むため、総移動距離は帰宅動線長よりも長くなり、計測対象者がどの程度前進していたかを正確に把握することができない。

この問題を踏まえて、本論文では車載された GPS によって得られた位置情報から通過した道路ネットワーク上の経路を特定するマップマッチングを応用する。ハンディ GPS ロガーで測定された二次元の座標データをマップマッチングによって、目的地に対する進行状況を示す一次元表現に変換することで、出発地点から目的地に対してどの程度進んでいるかを把握することが容易となる。

本手法を用いた分析の対象として、関門海峡花火大会の打ち上げ終了後に、門司港会場から最寄り駅である JR 門司港駅まで徒歩で移動する来場者の移動を取り上げる。三つの帰宅動線における

移動状況の推移に着目し、花火大会運営者によって行われた群集流動制御の影響を明らかにする。

## 4.2.2. マップマッチングの適用

### 4.2.2.1. 概要

ハンディ GPS ロガーを用いて収集した緯度経度で表される二次元の位置情報を、あらかじめ定められた基準動線上の計測開始位置からの距離で表す次元表現へ変換する。

図 4-2 に示されるように、基準動線をノードとリンクからなるネットワークとして表現する。GPS トラッキングデータの示す点を最も距離に近いリンクに対応させる。この点から基準動線上に引いた垂線と基準動線の交点が一次元表現に変換された位置となる。また、この点の位置は、基準動線上の出発地点からの距離で表される。

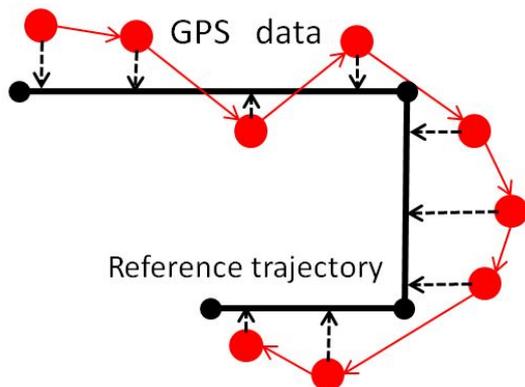


図 4-2 GPS トラッキングデータの基準動線を用いた次元表現への変換

### 4.2.2.2. 分析対象のデータ

本研究では、2015 年と 2016 年の 8 月 13 日に開催された関門海峡花火大会 門司側会場から帰宅する際の人の流れを測定した GPS データを分析の対象とする。

花火大会では 19:50 から花火の打上が始まり、20:40 に打上が終了する。収集した GPS トラッキングデータは、計測員が指定の開始位置か

ら JR 門司港駅までのいずれかの帰宅動線を移動した時に、ハンディ GPS ロガーが緯度経度を 1 秒毎に記録したデータである。計測員が移動する帰宅動線の概要を図 4-3 に示す。計測員は 19:00 から 22:30 まで 15 分おきに指定の開始位置から出発する。移動中は周囲の来場者の動きに合わせて、無理な追い越しをせずに、目的地である JR 門司港駅に向かう。

提案するマップマッチング手法を用いて、各動線ごとの花火大会会場から門司港駅までの所要時間と各帰宅動線上での待機時間の多かった個所を明らかにすることができる。次節で分析結果を示す。



図 4-3 関門海峡花火大会の 3 つの帰宅動線(花火大会会場付近から JR 門司港駅まで)

## 4.2.3. マップマッチングの適用結果

### 4.2.3.1. 適用結果 1

図 4-4(a), (b) に 2015 年と 2016 年の関門海峡花火大会における GPS データから算出した帰宅動線ごとの所要時間を示す。図中のグラフにおいては、横軸が計測員の計測開始位置からの出発時刻、縦軸が門司港駅までの所要時間となっ

ている。

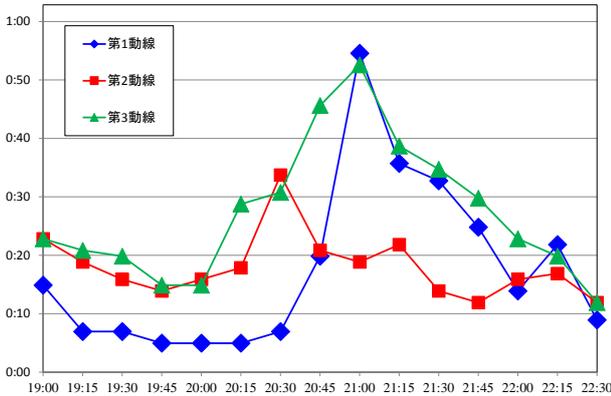


図 4-4(a) GPS データから算出した帰宅動線ごとの所要時間(2015 年)

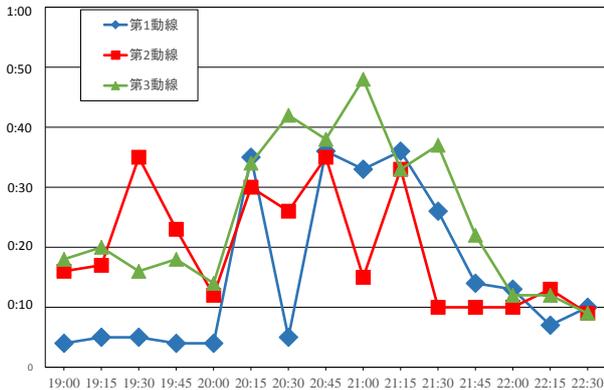


図 4-4(b) GPS データから算出した帰宅動線ごとの所要時間(2015 年)

図 3-12(a), (b)においては、帰宅動線の第1動線と第3動線に関しては、21 時前後に出発する場合の所要時間が長くなるという傾向がある。ただし、2015 年と 2016 年の比較をすると、第1動線のピーク時間に 20 分程度の差が生じている。また、2016 年では第1、第2動線においては出発時間の 15 分の差によって所要時間が 20 分程度変動している。

#### 4.2.3.2. 適用結果 2

各帰宅動線を移動する GPS トラッキングデータに対して、基準動線を用いて次元表現への

変換をおこなう。利用する基準動線は当日の交通規制を踏まえて手動で設定した。毎秒の移動開始位置からの距離を計測員の位置情報とする。さらに、移動開始位置から目的地までの基準動線を長さ 10m のセグメントに分割して、各セグメントに滞在した時間を算出する。

図 4-5, 6 では GPS トラッキングデータから算出した各セグメントへの滞在時間を表すグラフを示している。これらのグラフにおいて横軸はセグメントの移動開始位置からの距離、縦軸はセグメントへの滞在時間である。

図 4-5 は、計測員が 19:00 に開始位置から出発して帰宅動線 1 を通って門司港駅に到着するまでの 411 秒間の移動における各セグメントへの滞在時間を示している。JR 門司港駅付近に

ある目的地から出発地点から 220m の地点のセグメントに 35 秒間滞在しているが、その他のセグメントを 10 秒程度で通過している。このことから、周囲の混雑や警備会社を実施する推進帯による交通規制等の影響を受けていないことが分かる。図 4-6 は、計測員が 21:00 に出発して帰宅動線 1 を通る 3,322 秒間の移動における各セグメントへの滞在時間を示している。出発地点から 200m-260m にある 7 つのセグメントに計 45 分滞在しているため、JR 門司港駅付近で交通規制により留められていたことが分かる。

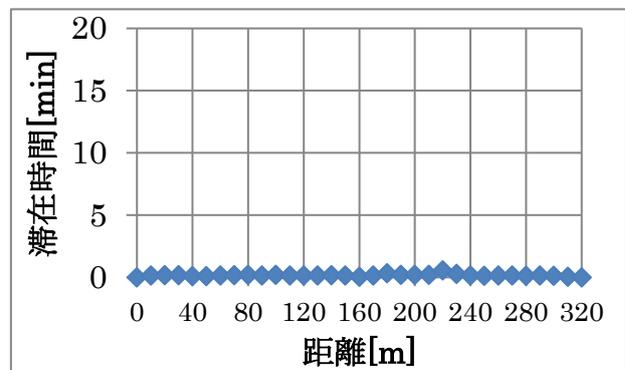


図 4-5 帰宅動線 1 を通過した計測員の各セグメントへの滞在時間(19:00 移動開始)

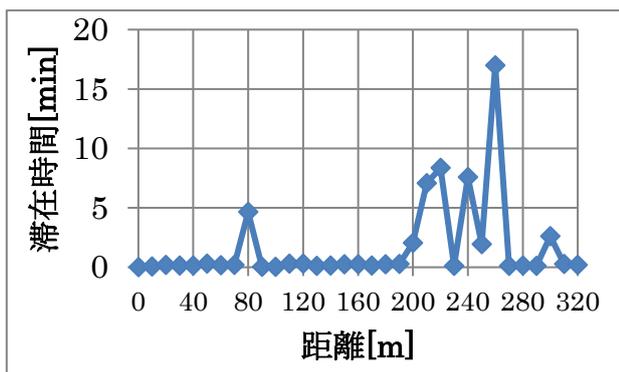


図 4-6 帰宅動線 1 を通過した計測員の各セグメントへの滞在時間(21:00 移動開始)

図 4-7 は、GPS トラッキングデータから算出した各セグメントへの滞在時間を、時間帯ごとに平均化し、各セグメントへの平均滞在時間として示したグラフである。これらのグラフにおいて横軸はセグメントの移動開始位置からの距離、縦軸はセグメントの滞在時間である。

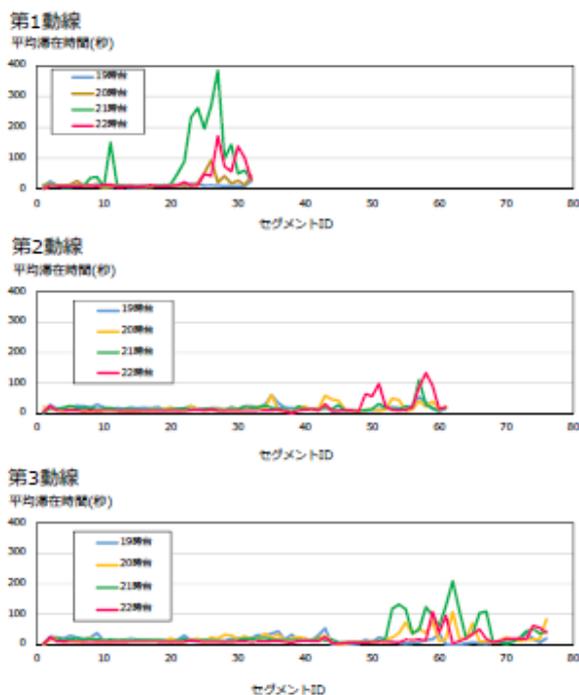


図 4-7 各帰宅動線上のセグメントにおける時間帯別平均滞在時間

図 4-7 の 3 つのグラフはそれぞれ、動線 1、動線 2、動線 3 のデータであり、各グラフにおいて、計測員が 19:00 台、20:00 台、21:00 台、22:00 台に出発した場合の平均滞在時間を示している。この図より、どの動線においてもゴール地点である門司港駅周辺で混雑が発生していることが読み取れる。これは、JR 門司港駅への入場規制のオペレーションが重要であることを示している。つまり、どの帰宅動線の来場者をどの程度駅に入場させるか、というオペレーションが所要時間の格差を生み出す可能性がある。各帰宅動線の通過人数やそれまでの待ち時間を考慮して、駅への入場の順序を決める必要がある。

図 4-7 の第 3 動線のグラフによれば、19:00 台では目立った混雑は発生しておらず、どのセグメントでも長時間の滞在はない。この時間帯は、目立った混雑はなく、交通規制等は実施されていなかったが、そのことがグラフからも読み取れる。一方で、花火大会終了直後の 21:00 台では JR 門司港駅付近で停止と移動を繰り返していることがグラフから読み取れる。この時間帯は、警備会社によって、推進帯による交通規制が実施されており、その影響をグラフからも読み取ることができる。

#### 4.2.3.3. 計測結果のまとめ

ハンディ GPS の計測結果によって、各動線における所要時間や滞留箇所が明らかになり、帰宅動線ごとの帰宅所要時間や 2015 年と 2016 年の傾向が定量的に明らかになった。同一年での帰宅動線間の帰宅所要時間を比較すると、第 2 動線を通ってきた来場者の所要時間が短くなっている。各帰宅動線の帰宅所要時間の平滑化であったならば、目的を達成していないこととなる。また、誘導によって各帰宅動線の所要時間

が年によって変化することは来場者に混乱をもたらすため望ましくないが、傾向としては第3動線が他の二動線よりも所要時間がかかることは変わらなかった。同一年度内の帰宅動線ごとの所要時間の違いや同一動線の年度ごとの所要時間の違いに関しては、警察や警備会社が行ってきた誘導の目的が反映されているかを明確する必要がある。さらに今回計測した帰宅所要時間を公開した後どのように来場者の行動が変化するか、誘導側の意図した結果であるかどうか、また継続的に実施可能であるかは重要な問題であるため、今後の継続的な調査が望まれる。

## 5. 人流シミュレーションの実施

数万人規模の人々が集まるイベントにおいては、運営者は来場者にイベントを楽しんでもらうことを意図するとともに、事前に誘導計画を立案して、安全で効率的なイベント運営を目指している。しかし、歩行者の誘導に関しては、道路交通における交通情報の収集・提供、信号制御といった車両を対象とした交通管制に比べて、大規模な来場者を対象とした誘導、停止および分断といった規制の効果は定量的に論じられていない。

このような背景を踏まえて、雑踏警備で行われる誘導手法のモデルを構築し、歩行者シミュレータへの実装を目指す。構築する群集規制モデルは、一次元空間モデルを採用している歩行者シミュレーション CrowdWalk [6] への実装を目指している。誘導手法を実装した歩行者シミュレータを用いることで、花火大会を始めとする屋外大規模イベントにおける誘導計画の効率性や安全性を定量的に検討可能になることを目指す。

### 5.1. 人流シミュレーションの適用

本論文では、一次元歩行者モデルを想定して、

モデルを構築する[7]。一次元空間モデルは、リンクとノードを用いて歩行動線を単純化して表現している。歩行者が移動可能な領域をリンクで表現し、リンクがノードで連結される。そのため、一次元空間モデルでは、廊下や部屋がリンクとして扱われる。

図 5-1 (b) は、図 5-1 (a) で示される状況を一次元空間モデルで表現したものである。歩行者密度が比較的高い場合、歩行者は先行する歩行者の直後を歩き、列を形成することが多い。

この列の形成を車両用の道路におけるレーンと対応させ、仮想レーンと定義する。この仮想レーンは、廊下や部屋などを表すリンク上では並列して形成されると考え、リンクは複数の仮想レーンを持つことができるとする。

また、移動モデルとして、直前の歩行者との距離から移動速度を決定する速度関数を採用する。

歩行者の二次元平面上での歩行者間の相互作用を一次元に写像しているため、二次元連続空間モデルやセルオートマトンモデルと比較してボトムアップな混雑現象の再現精度という点では劣る。例えば、一次元歩行者モデルでは渋谷駅前のスクランブル交差点で見られる対向流における櫛状の列が形成される過程やその際速度減衰、多数の避難者が扉に殺到した際の一時的に流量が低下するアーチ現象を直接的に再現することはできない。しかし、これらの現象も発生条件とその影響や継続時間が明確であれば、一次元歩行者モデルに織り込むことは可能である。

本稿では、対向流や交錯流の生じない比較的整流された一方向流を主として扱うことを想定しているため、一次元空間モデルの利用が適切であると考えられる。

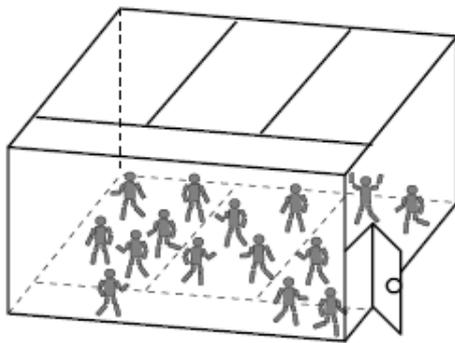


図 5-1(a) 実際の歩行状況

## - Pedestrian

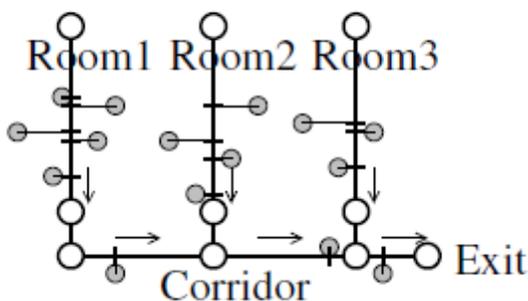


図 5-1(b) 一次元空間モデルによる表現

## 5.2. 誘導モデル

### 5.2.1. 雑踏警備の分類

警察や警備会社が行う雑踏警備においては、安全確保のために「流動している群衆を急に止めない」、「停止している群衆を急に動かさない」という原則がある[8].

群衆がある一定の密度以上になった場合、規制の必要な群衆の先頭だけに停止の規制をかけると、その後続く群衆は先頭が停止していることに気づかず前の人を押してしまうという事態が発生する。この力が蓄積すると転倒事故や圧迫事故を引き起こす。そのため、先頭を一時停止させる場合には、後方の人に先頭を一時停止させることを伝えるとともに、前の人を押さないことを伝えた上で、先頭を停止することが必要である。

このような群衆の高密度状態を回避する方法

として、下記の分断、通行規制、整列といった誘導方法が挙げられる。

- 分断：群衆をある規模で分断する。
- 通行規制：経路の片側通行，一方通行，迂回路を設定する。
- 整列：入口の前などで直進する行列や蛇行する行列を作る。

本稿では、屋外大規模イベントの帰宅動線において集中が生じる際に、頻繁に用いられる分断誘導を取り上げる。これらの誘導手法は、開発中の歩行者シミュレータ CrowdWalk への実装を予定している。また、シミュレーションの適用対象としては、福岡県北九州市で開催される関門海峡花火大会を想定している。門司港側の花火打ち上げ終了後の帰宅動線における誘導効果の検証を目的として、図 5-2 に示される分断誘導のシミュレーションモデルの構築を進めている。

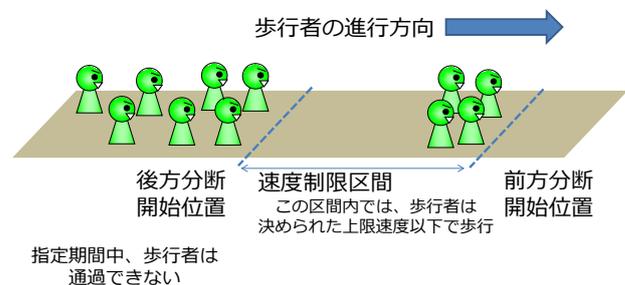


図 5-2 分断誘導モデル

### 5.2.2. 分断誘導

分断誘導の流れは次のようになっている。分断の先頭となる位置で、警備担当者が先頭の歩行者を停止させる。行列の先頭だけを停止すると後方からの押される可能性があるため、混雑状況によっては先頭の停止に加えて、後方でも列の途中で歩行者を停止させる場所を設定することもある。

停止させた歩行者の移動を開始する場合、制

限を加えずに歩行者が歩き始められる場合と、ロープ状の推進帯を持った警備担当者が先導して、先頭の歩行者の速度を抑制しつつ、移動する場合がある。また、後方の分断箇所においても停止していた歩行者の移動を開始する。後方からの移動に関しても、警備担当者が先頭の歩行者の速度を抑制することがある。分断する群集の規模は動線の幅に依存するが、通常は200人から300人が一つのクラスターとして分断することを意図する。しかし、正確に人数をカウントすることは困難であるため、通常は後方の停止位置によってクラスターに含まれる人数を調整する。

今回実装を進める分断誘導モデルでは、2箇所 で群集を分断することを想定すると、分断誘導に関するパラメータとして、分断誘導の先頭の場所、誘導時の移動速度、分断誘導の後方の場所(先頭の停止位置からの距離)、後方から先頭までの誘導時の移動速度が挙げられる。繰り返して分断誘導を行う場合には、分断誘導の先頭および後方を停止させた後に移動開始させるまでの時間が挙げられる。

分断誘導は複数の経路が合流する場所での衝突回避のために用いられることも多い。その場合には、先頭の移動開始のタイミングは指揮者からの指示に基づいておこなわれる。どちらの動線の移動を優先的に開始するかは各経路の行列長や混雑状況に基づいて指揮者が決定する。

### 5.2.3. 一次元空間モデル上での実装

図 5-3 は、分断誘導の一次元空間モデル上での実装方法を示している。リンク 1 とリンク 2 を繋ぐノード 2 に対して通過禁止の開始と通過禁止の停止の時刻を設定する。ノード 3 に対しても同様の通過禁止の開始と停止の時刻を設定する。また分断誘導によって通常の歩行速度よ

りも遅い速度での移動を行わせる場合には、リンク 2 上での上限速度をリンクに設定する。

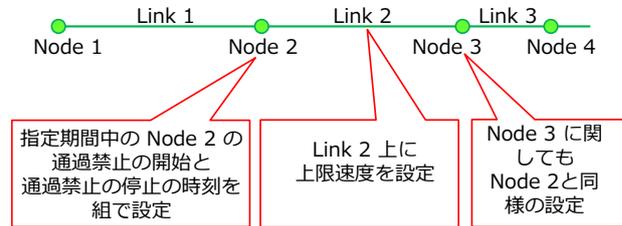


図 5-3 分断誘導モデルの一次元空間モデル上での実装

図 5-3 で示される分断誘導モデル一次元空間モデル上に実装すると、特定の経路上で、一度群集を止めて、ある一定数だけをゆっくりと指定の地点まで歩かせて停止させ、その後再び移動させるという一連の分断誘導を再現することができる。

図 5-4 は、関門海峡花火大会の実際の帰宅動線における分断誘導モデルの実装事例を示している。実際の帰宅動線 1～3 で行われた分断誘導の位置を設定し、さらに通過禁止時刻と通過禁止停止時刻をパラメータとして与えることで、実際に行われた分断誘導を再現した。

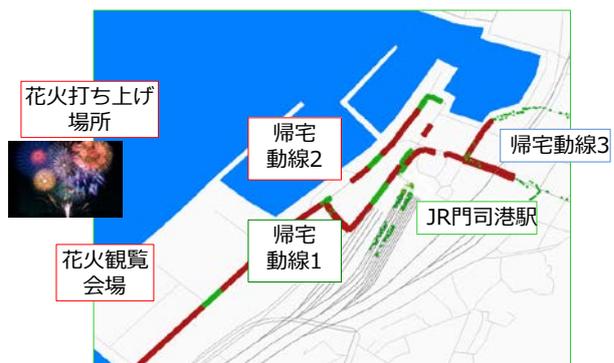


図 5-4 関門海峡花火大会の帰宅動線における分断誘導モデルの実装事例

### 5.3. 一斉帰宅の防止策の効果検証

花火大会終了後に花火観覧会場でステージイベント等を主催し、来場者の一斉帰宅を防ごうとしているが、その効果は明確ではない。また、どの程度来場者の帰宅を引き延ばすことが良いのかが明らかではない。そのため、シミュレーションを用いて来場者を会場に引き止める時間が駅前の混雑状況へ与える影響を検証した事例を紹介する。図 5-4 に示されるシミュレーションモデルを構築し、門司港駅周辺の 7 箇所で実際に行われた分断誘導の停止時刻と移動開始時刻を用いた。また、来場者の帰宅開始時間を図 5-5 に示される JR 門司港駅への流入を再現するように調整した設定を用いた。

図 5-6 と図 5-7 では、1,400 人の来場者が帰宅するために花火大会会場から門司港駅に移動を開始する時間を遅くした場合の門司港駅への流入数を比較している。図 5-6 は、20 時 30 分から 21 時に帰宅を開始する 1,400 人に対して、想定 1(30 分引き止める)、想定 2(60 分引き止める)、想定 3(90 分引き止める)、想定 4(90 分引き止める) の 4 つの設定を適用した場合の門司港駅への流入人数の推移を示している。

図 5-7 は、21 時から 21 時 30 分に帰宅を開始する 1,400 人に対して、想定 5(30 分引き止める)、想定 6(60 分引き止める)、想定 7(90 分引き止める) の 3 つの設定を適用した場合の門司港駅への流入人数の推移を示している。

図 5-8 は引き止めた時間別の混雑への影響(時間帯別の比較)として想定 1 から想定 7 の通過人数の変化を示している。想定 3 における 22:20-22:29 の改札通過人数が引き止め施策の適用前より増加していることが分かる。同様に想定 6 の 22:20-22:29 の改札通過人数も増加している。

シミュレーションの結果、来場者の一部を引き止める際のリスクとして、引き止めが短すぎると、

まだ残っている門司港駅前の混雑に対して、さらに帰宅者を追加してしまうこととなり、混雑時間が伸びてしまうことが確認された。

### 5.4. 動的誘導モデルの実装

#### 5.4.1. 動的誘導モデルの必要性

本章では動的な誘導モデルの必要性を挙げて、モデル化の概要を述べる。

深度センサによる門司港駅への流入量の計測結果とハンディ GPS による各帰宅動線の所要時間の計測結果からは、その待ち時間は門司港駅周辺であることと混雑状況の持続時間を把握することができる。門司港駅周辺の待ち時間は見物客が門司港駅に集中したために自然発生的に生じたものではなく警備会社によって行われた JR 門司港駅への入場規制によって生じている。そのため、どの帰宅動線から門司港駅への入場をさせるか、またどの程度の人数を入場させるかといったオペレーションが重要であることが分かる。指定時間になれば通行可・不可を切り替える交通信号のような挙動では不十分である。

そのため、誘導指示者が観測対象となる歩行可能領域にいる見物客数を入力として、どの帰宅動線から門司港駅に何人を入場させるかを出力とする動的な誘導モデルを構築する。この動的な誘導モデルは歩行者シミュレータ CrowdWalk において、ある時刻に指定されたリンク上にいる歩行者エージェントの総和を算出し、その総和が閾値に達した場合には指定されたノードの通行可とし、その後指定されたノードの通過人数が閾値に達した場合には再び通行不可とするモデルとして実装した。この動的誘導モデルを歩行者シミュレータ CrowdWalk に追加することで、実際には計測が難しい各見物客の門司港駅周辺での待ち時間や駅までの所要時間に与える影響を検証可能とした。



図 5-9 帰宅動線の制御への動的誘導モデルの事例

#### 5.4.2. 動的誘導モデルの導入事例

歩行者密度に応じた動的な分断誘導の適用事例として、門司港駅に流入する三動線の流入制御を取り上げて、下記の二つの誘導手法を比較する。

- 誘導手法 1：静的な分断誘導
  - 門司港駅に流入する三動線分断誘導箇所を順番に各 1 分ずつ通行可能にする。
- 誘導手法 2：動的な分断誘導
  - 動線ごとの歩行者密度が計測可能という想定のもと、歩行者密度の高い動線の分断誘導を 1 分間通行可能にする。
  - ただし、全箇所が  $0.2 \text{ 人}/\text{m}^2$  ならば、全箇所通行可能にする。

シミュレーション条件としては、歩行者の発生時間は、19:40-23:20 として、発生人数は合計で 37,372 人とする。帰宅動線 1 から 3 までの通過人数を帰宅動線 1:10,000 人、帰宅動線 2:7,827 人、帰宅動線 3:19,545 人と設定する。また、門司港駅への流入：可・不可の時間は実データを利用する。

シミュレーションの結果を 図 5-10, 図 5-11

に示す。図 5-10 は静的な分断誘導における指定経路上の歩行者密度の推移を示している。通過人数の多い帰宅動線 3 に対して、帰宅動線 1、2 と同様の通過時間しか割り当てていないため、帰宅動線 3 の歩行者密度が上がり、 $1.2 \text{ 人}/\text{m}^2$  の状態が約 90 分間続いている。図 5-11 は動的な分断誘導における指定経路上の歩行者密度の推移を示している。歩行者密度の高い帰宅動線を優先して通過させるため、3 動線の歩行者密度は均衡しており  $0.8 \text{ 人}/\text{m}^2$  の状態が約 50 分続いている。

歩行者密度に応じた動的な分断誘導モデルの実装を行い、門司港駅に流入する三動線の制御をおこなう事例において、静的な分断誘導と動的な分断誘導の比較を行った。

各動線の歩行者密度に対して静的な分断誘導では、来場者の特定の帰宅動線への偏りが生じた場合には対応できずに高密度の状態が続くことを確認できた。一方で、各動線の歩行者密度に対して動的な分断誘導では来場者の特定の帰宅動線の偏りに対して、各動線の密度を低く均等に保つことができることを確認した。

## 6. まとめ

本報告書では、群集流動における安全安心を実現するため、ガイドプロジェクションや混雑情報の配信に関する実践的な運用手法の知見を報告した。また、人流計測を通じて、これまで関係者の主観に頼っていた状況把握に関して、深度センサやハンディ GPS を用いて群集流動を定量的に捉えることの重要性を示した。歩行者シミュレーションを導入することで状況に応じた誘導の重要性を示した。

### 参考文献

[1] 宮部真衣, 北雄介, 久保圭, 荒牧英治, “街歩

- きで作り出す都市の様相地図-位置情報付きの様相記録収集の取り組み-,” 情報処理学会, グループウェアとネットワークサービスワークショップ 2013 (GN Workshop 2013) 論文集, pp. 1-8 (2013).
- [2] 日本建築学会編, “群衆行動,” 建築設計資料集成 [人間], pp. 126-129, 丸善 (2003).
- [3] 森田匡俊, 他:GPS データを用いた小学生の集団津波避難行動の分析, 愛知工業大学地域防災研究センター年次報告, Vol. 10/平成 25 年度, pp. 34-38 (2013).
- [4] 川瀬純也, 他:GPS ログを用いた観光行動推定方法の改善, 第 21 回地理情報システム学会学術研究発表大会予稿集 (2012).
- [5] 長尾光悦, 他:GPS ログからの周遊型観光行動情報の抽出, 情報処理学会研究報告 知能と複雑系 (ICS) , No. 78, pp. 23-28 (2005).
- [6] T. Yamashita, T. Okada, and I. Noda, “Implementation of simulation environment for exhaustive analysis of huge-scale pedestrian flow,” SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 6, No. 2, pp. 137-146 (2013).
- [7] 山下倫央, 副田俊介, 大西正輝, 依田育士, 野田五十樹:一次元歩行者モデルを用いた高速避難シミュレータの開発とその応用, 情報処理, Vol. 53, No. 7, pp. 1732-1744 (2012).
- [8] 雑踏警備業務の手引き (上級) , (社) 全国警備業協会編集発行(2006).

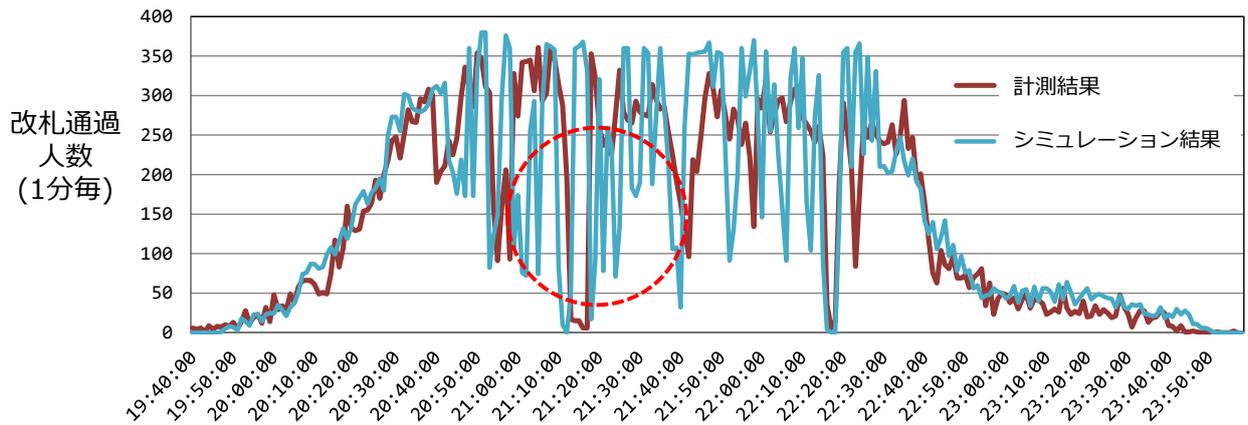


図 5-5 計測データと実際の分断誘導 8 カ所のデータを反映したシミュレーション結果の比較

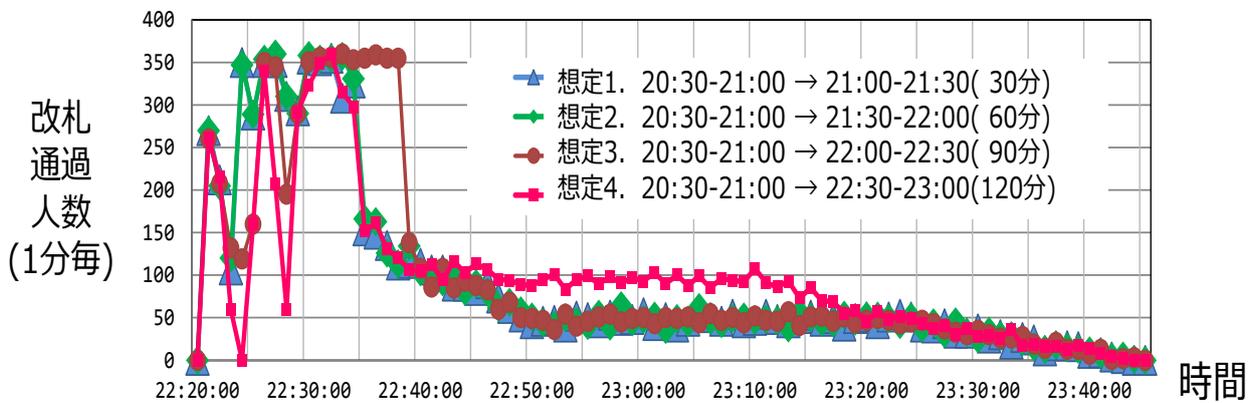


図 5-6 来場者を引き止めた時間帯が改札通過人数に与える影響：通過人数の変化(想定 1-想定 4)

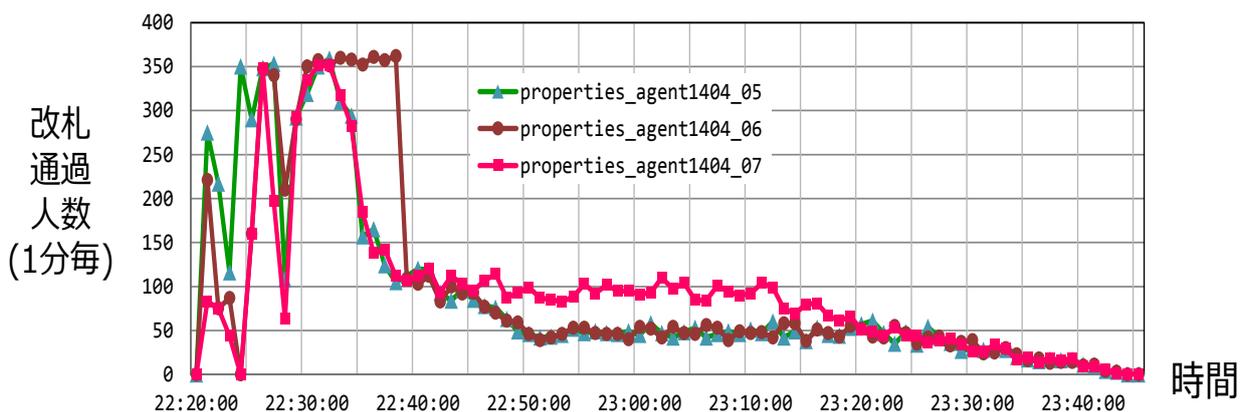


図 5-7 来場者を引き止めた時間帯が改札通過人数に与える影響：通過人数の変化(想定 5-想定 7)

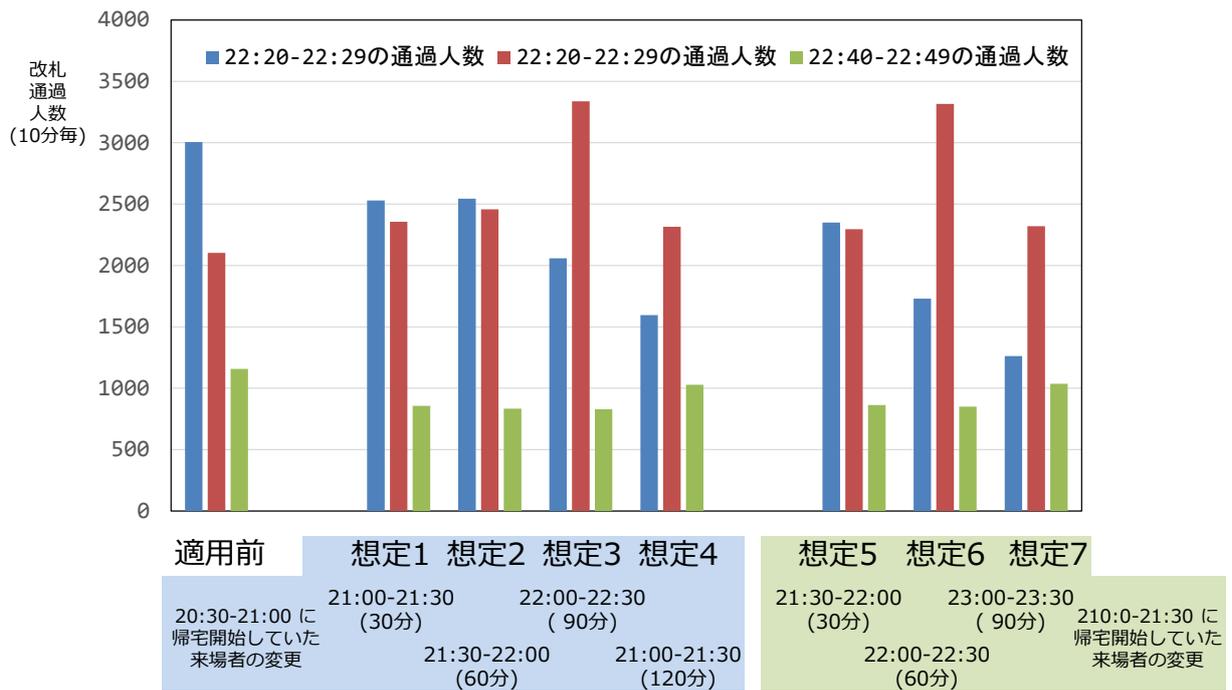


図 5-8 来場者を花火大会会場に引き止めた時間帯の混雑への影響(通過人数の変化(想定 1-想定 7))

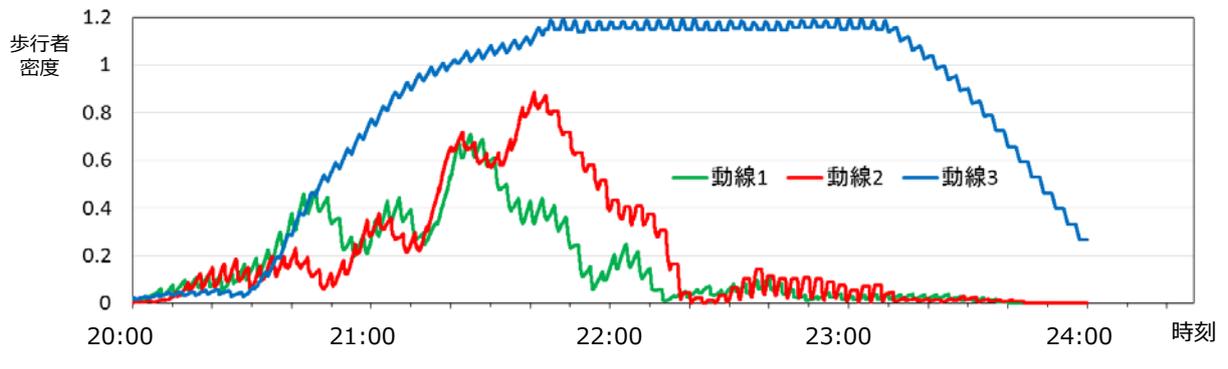


図 5-10 静的な分断誘導における帰宅動線中の指定経路上の歩行者密度

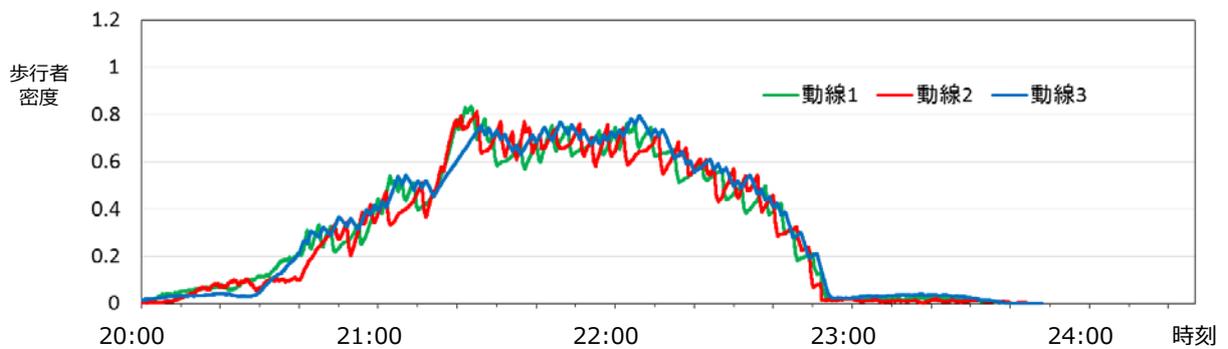


図 5-11 動的な分断誘導における帰宅動線中の指定経路上の歩行者密度