

大規模施設からの避難誘導支援 ～新国立劇場での避難体験オペラコンサートを例に～

大西 正輝

産業技術総合研究所 人工知能研究センター

消防訓練の義務化

- 消火訓練・避難訓練・通報訓練の義務化(年2回)
- 法令で決まっているので実施
- 日常業務の忙しさから言わば『やりっぱなし』
- 大規模施設では人集めが困難

大規模避難訓練を分析し
次に活かす技術が必要



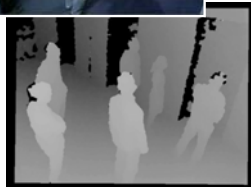
総務省消防庁のページより

大規模避難訓練の人の流れを解析する技術

■ 人の流れを計測する技術

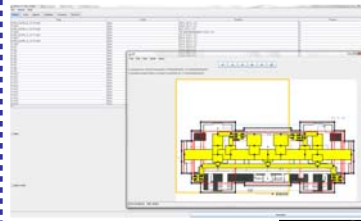


Xtion (Kinect 相当)
小型PC



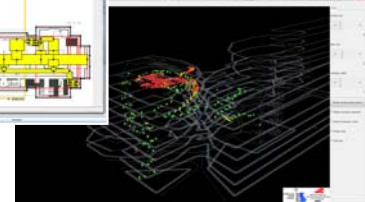
- 画像認識
- 二段階ファジークラスタリングを用いた頭部のトラッキング
- 混雑環境においても三次元の人の流れを正確に計測

■ 人の流れを予測する技術



マップエディタ

ビューワ



- 歩行者シミュレーション
- 一次元歩行者モデルで高速群集流動計算
- 複合施設や街区において数千から数十万規模の人の流れを予測



新国立劇場避難体験オペラコンサート

- オペラコンサート中に震度5の地震によって火災が発生して全員避難
- 地震、火災発生、消火、講演中断、避難決定、避難開始の全ての訓練
- 避難完了に再びコンサートの続きを鑑賞
- 第1回目：2014年8月31日(日) オペラパレス(1800席)
- 第2回目：2017年9月7日(木) オペラパレス(1800席)
- 第3回目：2018年9月26日(水) 中劇場(1000席)
- 第4回目：2019年9月18日(水) 小劇場(350席)



オペラパレス



中劇場



小劇場

避難体験オペラコンサート(募集)

- 日程：2014年8月31日(日)11:30開演
- 会場：新国立劇場オペラパレス
- 料金：無料
- 往復はがきやインターネットで応募・抽選
- プログラム
 - 新国立劇場オペラ研修所修了生によるオペラアリア、重唱など
 - コンサート中に震度5の地震によって火災が発生する想定
 - 避難完了に再びコンサートの続きを鑑賞
- 出演
 - 鈴木愛美(Sp)、後藤春馬(Bs-Br)、西村圭市(Br)、山田大智(Br)、伊藤達人(Tn)、今野沙知恵(Sp)、林よう子(Sp)、日浦真矩(Tn)、村松恒矢(Br)
 - ピアノ：石野真穂、高田絢子

あっ! その前どうする?

新国立劇場
避難体験
オペラコンサート

入場無料

日時：平成26年8月31日(日) 11:00開場 11:30開演 (終了予定13:00頃)

会場：新国立劇場オペラパレス

出演：新国立劇場オペラ研修所修了生

【出演】鈴木愛美(Sp)
【2曲目】後藤春馬(Bs-Br)、西村圭市(Br)、山田大智(Br)
【4曲目】伊藤達人(Tn)、今野沙知恵(Sp)、林よう子(Sp)、日浦真矩(Tn)、村松恒矢(Br)
ピアノ：石野真穂、高田絢子
(Sp)ソプラノ、(Bs-Br)バリトン、(Br)テノール、(Tn)バス、(Tn)コントラバス

作曲：オペラアリア、重唱 他

【お問い合わせ】往復はがきまたはインターネットで申し込みください

※申し込み方法
①往復はがき(郵便番号)
〒151-8501 東京都港区1-1-1 新国立劇場庶務課「観劇センター」係
〒151-8501 東京都港区1-1-1 新国立劇場庶務課「観劇センター」係
〒151-8501 東京都港区1-1-1 新国立劇場庶務課「観劇センター」係
〒151-8501 東京都港区1-1-1 新国立劇場庶務課「観劇センター」係

※インターネット
http://www.aist.ac.jp/operavoice.html
上記URLから申し込みが可能です。Eメールで申し込みはできません

※抽選
平成26年7月31日(日) 16時
往復はがきやインターネットで7月31日23:59まで申し込み済みの応募：1000名様、応募多数の場合は抽選させていただきます
※入賞者発表後、抽選結果が抽選センターから抽選結果のご案内
※当落選発表後、抽選結果が抽選センターから抽選結果のご案内
※抽選結果発表後、抽選結果が抽選センターから抽選結果のご案内
※抽選結果発表後、抽選結果が抽選センターから抽選結果のご案内

【協力】公益財団法人東京文化芸術協会・東京都立文化施設協会・公益財団法人日本音楽連盟

＜お問い合わせ＞ (印刷) 新国立劇場庶務課 庶務課 公演係 庶務課
TEL 03-9339-8011 FAX 03-9339-8744



避難体験オペラコンサート(準備)

- 大規模避難訓練を計測するため41台のXtionを設置
- 準備2日+本番1日で延べ44名で作業

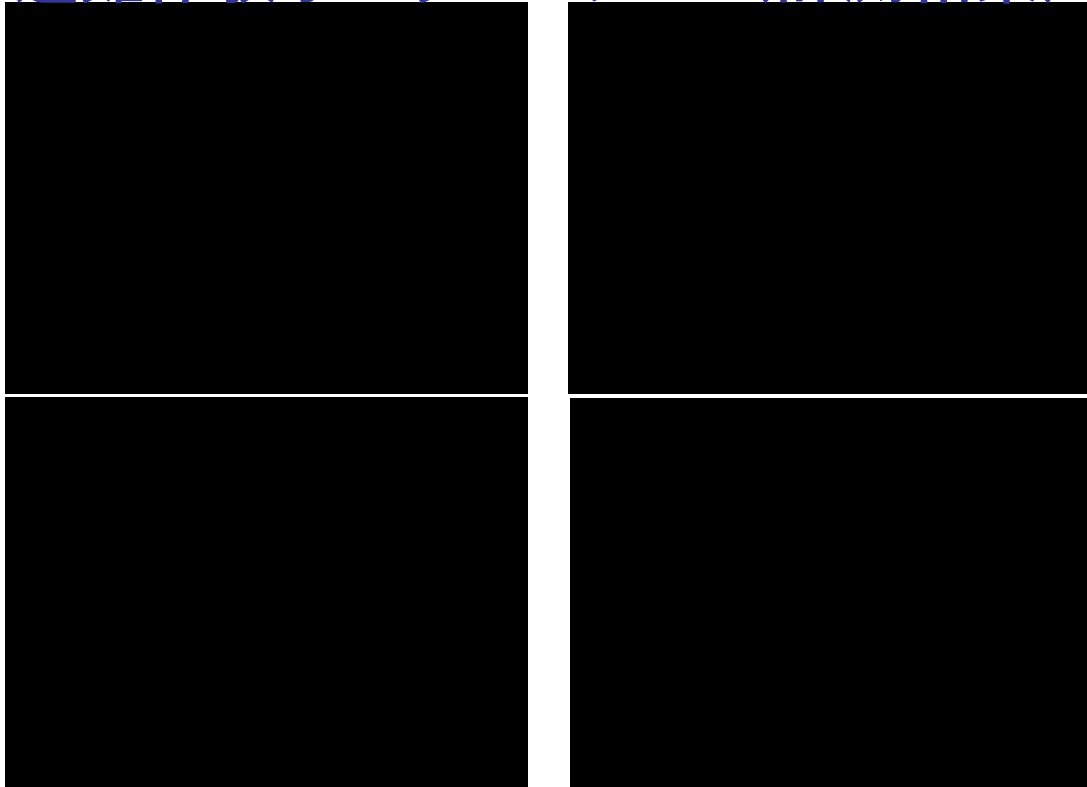


Xtion

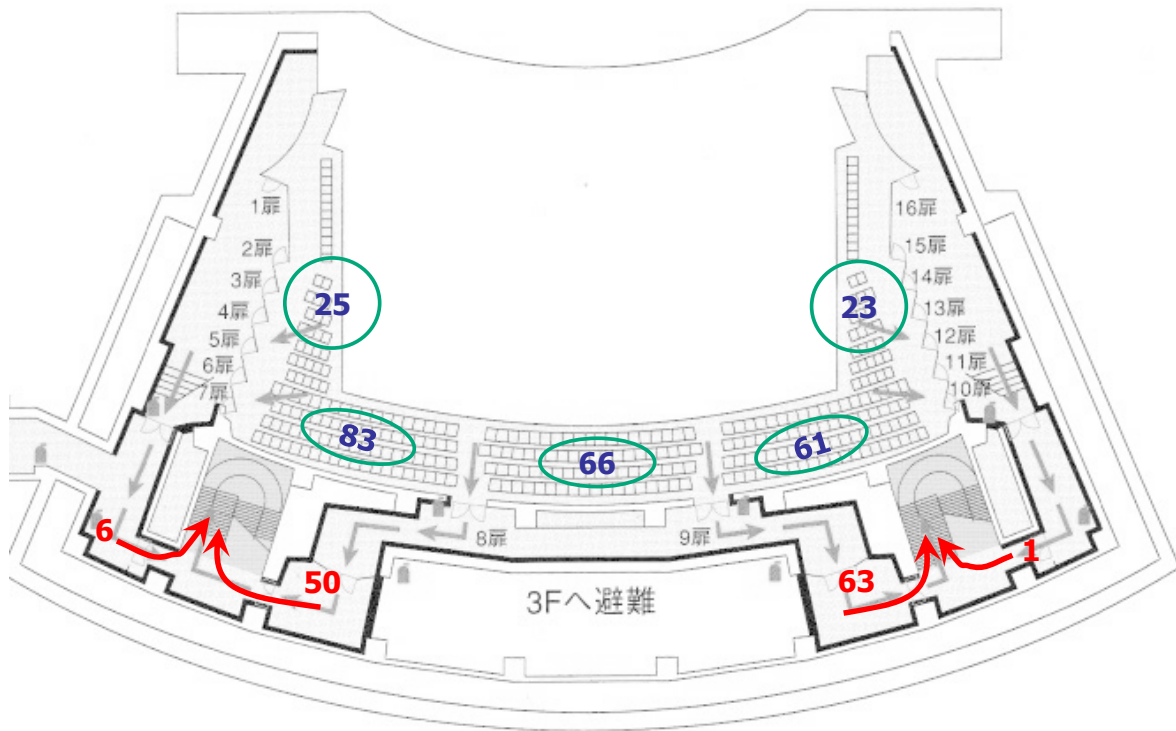
小型PC

避難体験オペラコンサート(当日)

避難体験オペラコンサート(計測結果)



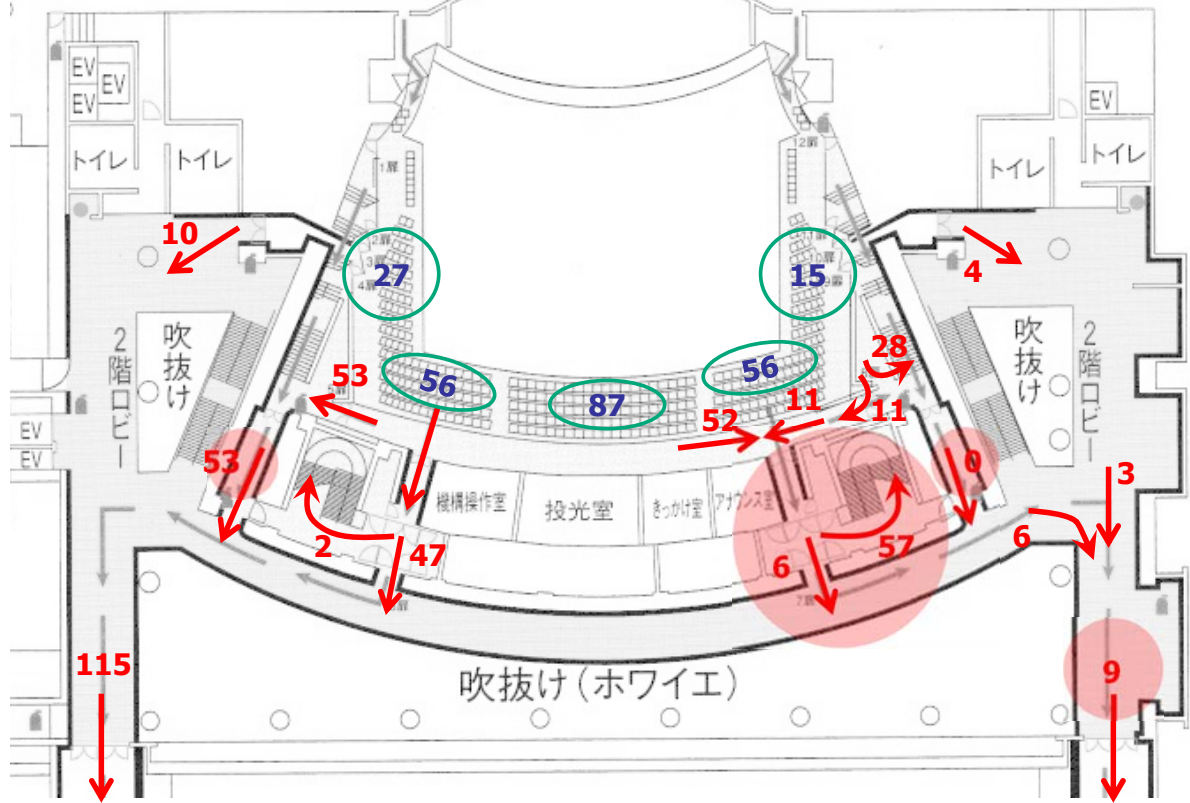
計測された避難経路(4階)



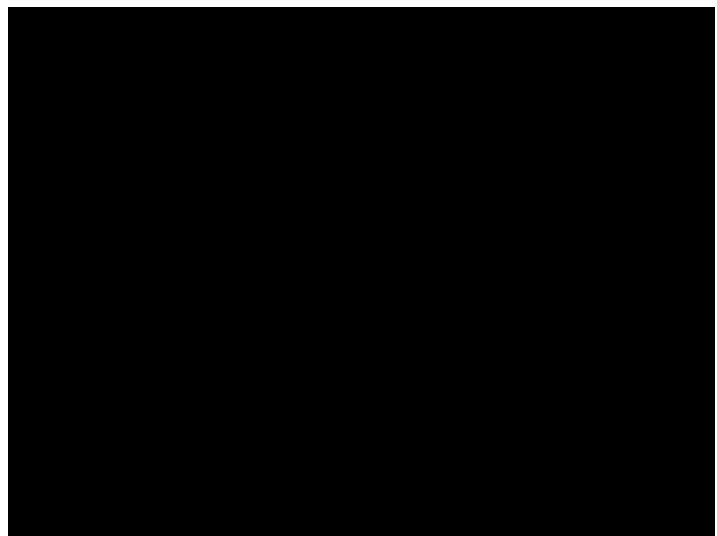
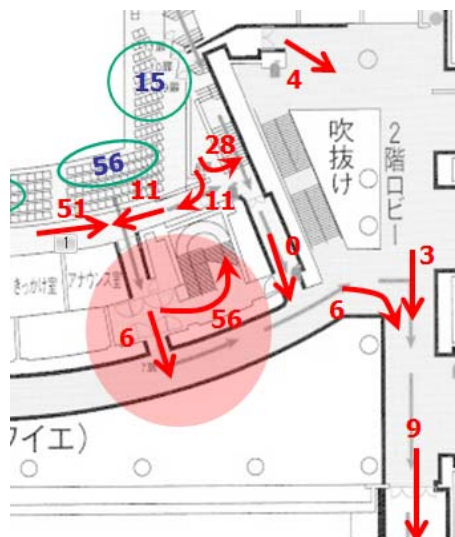
計測された避難経路(3階)



計測された避難経路(2階)

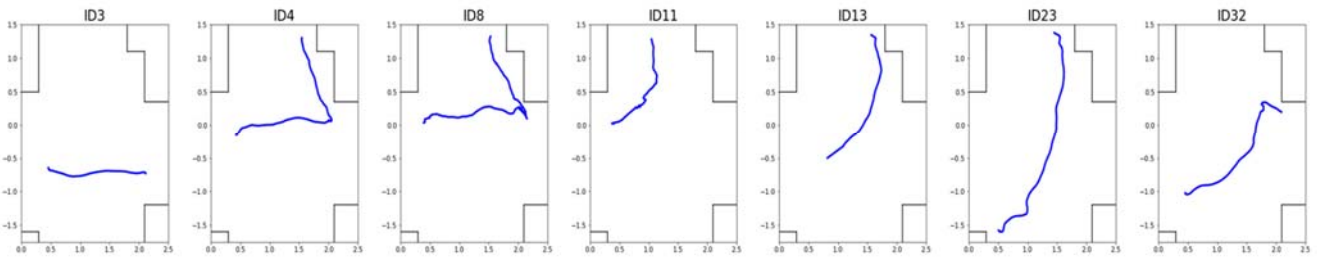


計測された避難経路

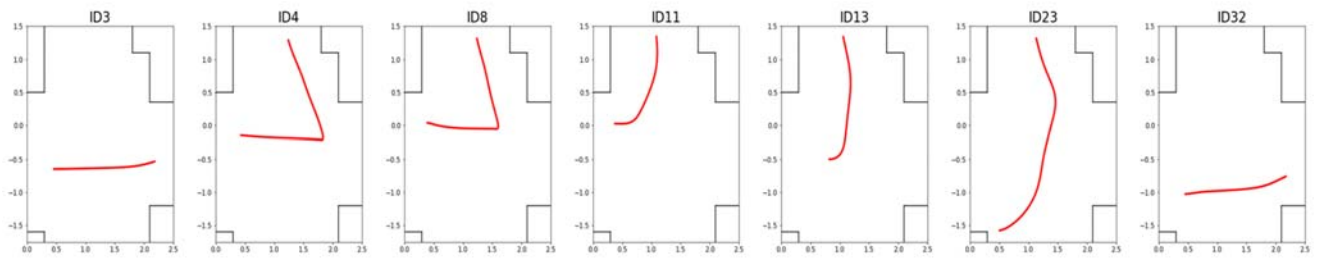


『人に付いて行く効果(追従行動)』は非常に強い

計測とシミュレーション

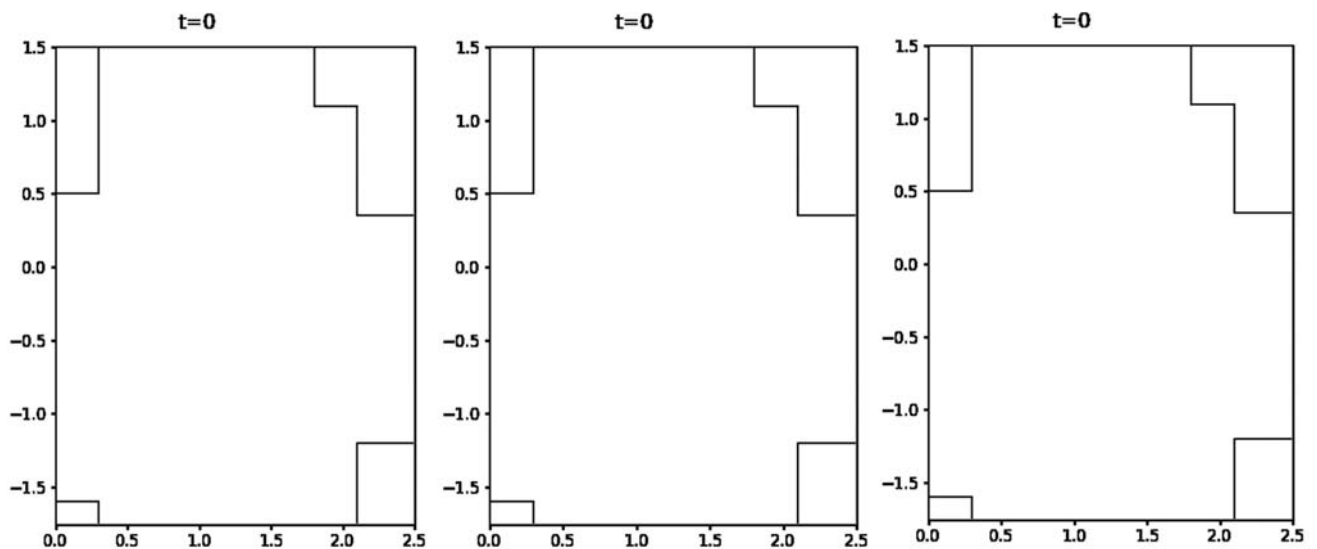


計測データ



シミュレーションデータ

確信度と行動変容

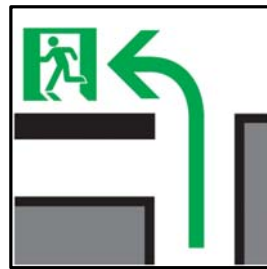
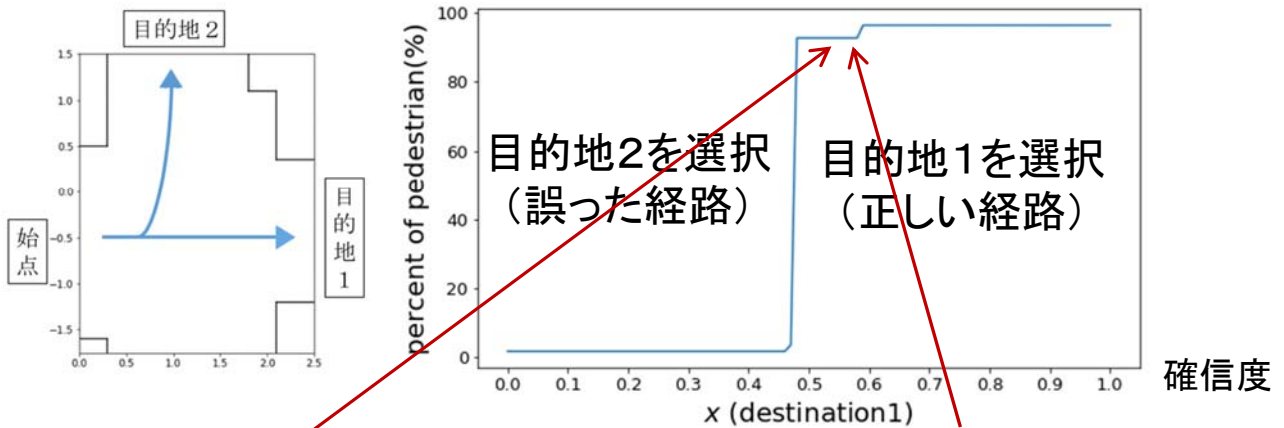


低い

目的地への確信度

高い

行動変容のための情報提示



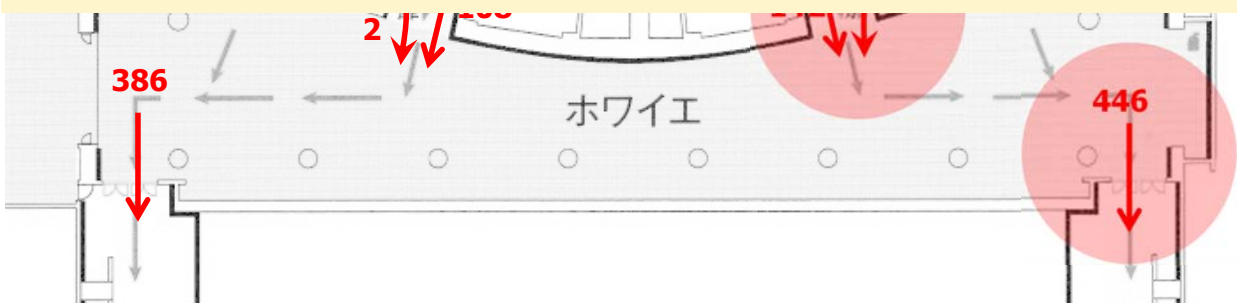
一人称視点 やりたくてできなかったこと 三人称視点

計測された避難経路(1階)

計測誤差評価 ①

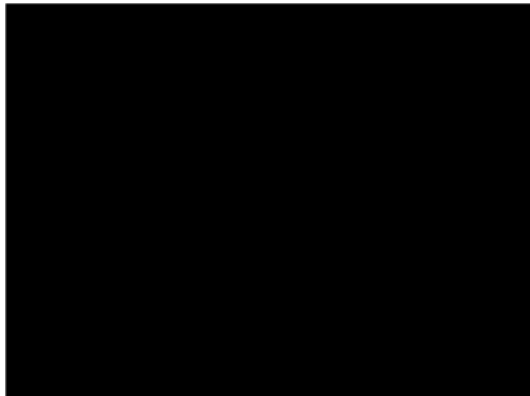
計測階	3F	3F	2F	2F	1F	1F	1F	1F	平均
計測値	152	150	113	241	199	248	139	201	
目視	158	150	115	246	201	246	142	201	
誤差(%)	3.8	0	1.7	2.0	0.1	0.8	2.1	0	1.436

※最も混雑する2か所を除いて100人以上が通った経路を評価



計測誤差評価 ②

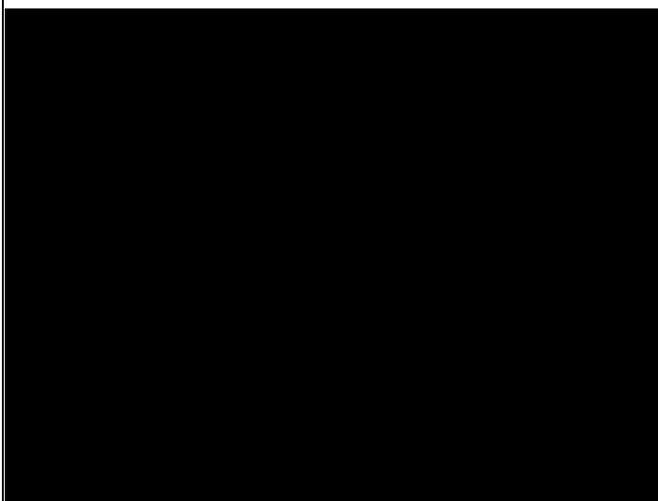
- 最も混雑した2か所は目視でも数えるのは難しい・・・



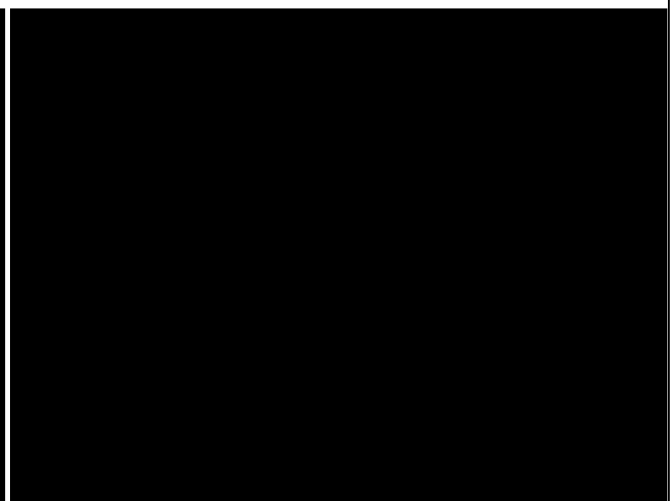
出口2

	出口1	出口2	合計
計測人数	331	384	715
概算人数	384	446	832
補正係数	1.166	1.161	1.164
取りこぼし率	14.249	13.901	14.063

人の流れのシミュレーション結果



扉1枚開放



扉4枚開放

大規模避難訓練を実施して知りたくなかったこと

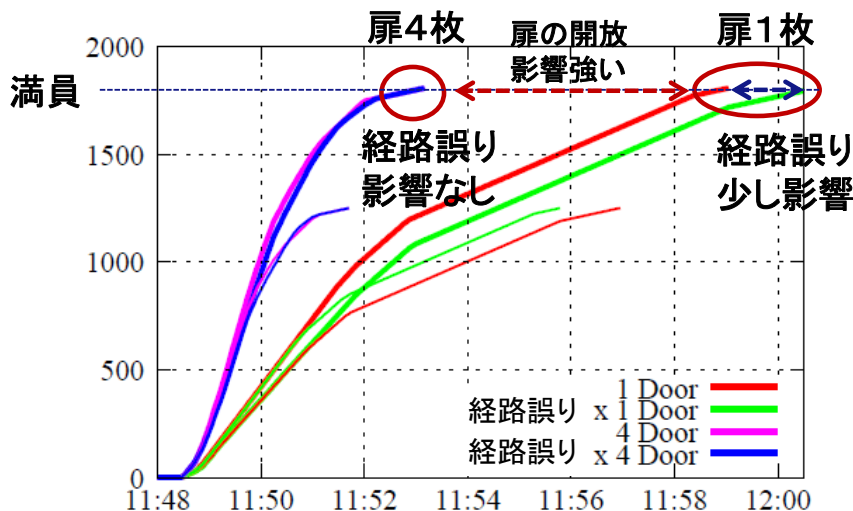
- ① 避難経路選択の誤りの影響
- ② 扉の開放状態の影響



実験の次の日の
TBSニュース23

避難経路選択の誤りの影響

- 経路(正解/誤り) × 扉(1枚/4枚) × 人数(実験/満員) 1300 / 1800
- 合計8通りのシミュレーション



失敗の組み合わせ方によって避難時間が大きく変化

1回目の避難体験オペラからの気づき

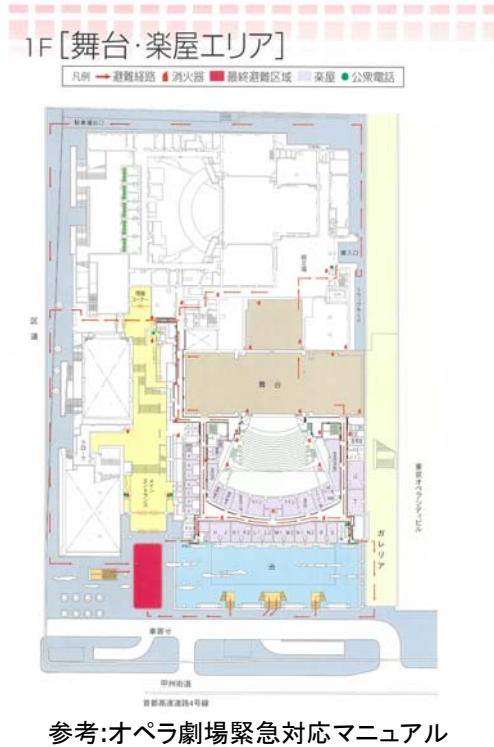
- 扉の開閉の影響が大きい
 - 扉の開放枚数は避難時間に大きく影響する
 - 追従効果により自ら扉を開けようとしな
- 直感的な避難が最適な避難ではない
 - 観客は前方を見ているため前方の流れに追従
 - 結果として前方に人が集中



第2回避難体験オペラコンサート

- コンサート中に震度5の地震によって火災が発生する想定
- 避難完了に再びコンサートの続きを鑑賞
- 第1回目
 - 日程：2014年8月31日(日)11:30開演
 - 会場：新国立劇場オペラパレス
 - 参加人数：1300人
- 第2回目 ※1回目の分析結果を踏まえて計画
 - 日程：2017年9月7日(木)15:00開演
 - 会場：新国立劇場オペラパレス
 - 参加人数：1100人

シミュレーションによる事前分析

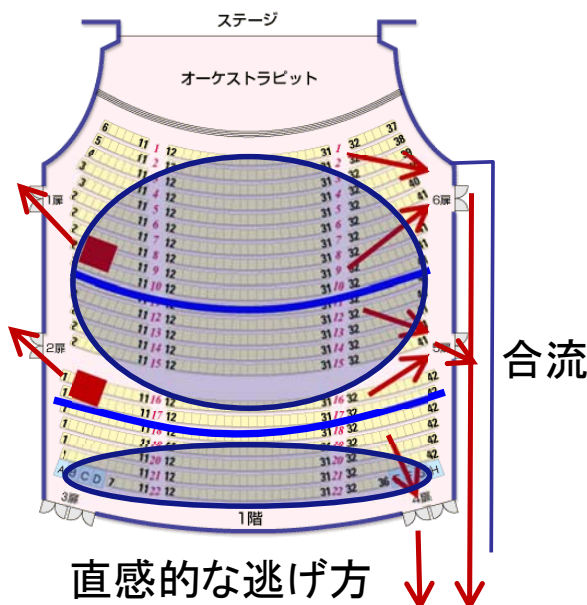


■ 条件

1. オペラ劇場1階のみ
2. 人数は満員を想定して868人
3. 扉は6か所全て開いていると状態
4. 劇場内の人々が避難場所(左図赤いエリア)まで到達する時間を計測

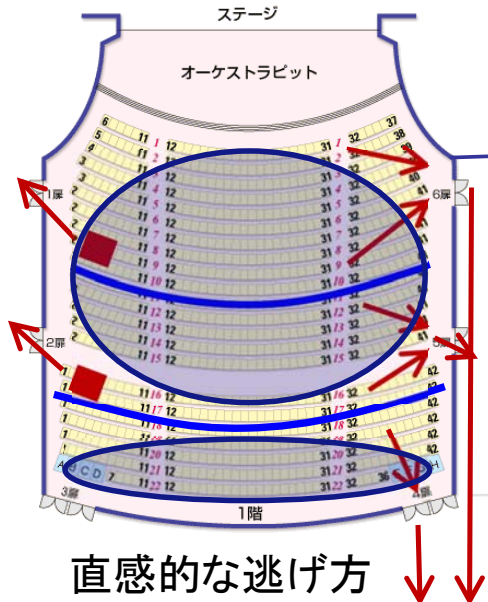
シミュレーション結果例

- 前の扉(1, 6)と中の扉(2, 5)に割り振りそれ以外を後ろの扉(3, 4)に割り振り避難時間を計測



シミュレーション結果例

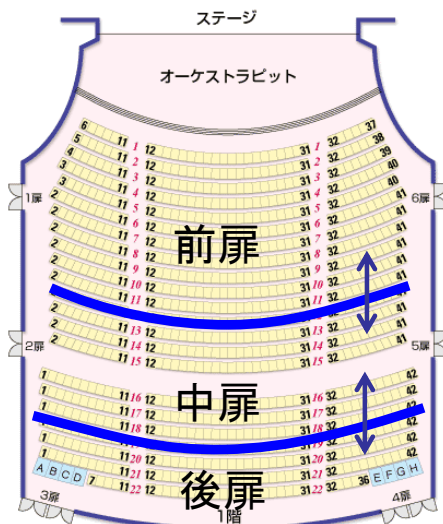
- 前の扉(1, 6)と中の扉(2, 5)に割り振りそれ以外を後ろの扉(3, 4)に割り振り避難時間を計測



確かに第1回目はそうになっていた

全シミュレーションの結果

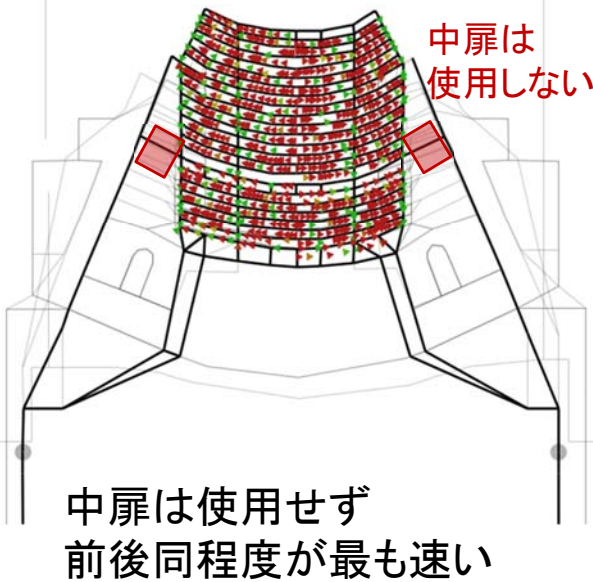
- 前扉と中扉に割り振りそれ以外を後扉で避難時間を計測



順位	前扉から出る列数	中扉から出る列数	後ろ扉から出る列数	避難までの時間(秒)
1	12	0	10	329
2	11	1	10	332
3	11	0	11	333
4	11	2	9	337
4	12	1	9	337
6	13	0	9	339
7	10	3	9	344
8	10	1	11	348
9	10	2	10	349
10	8	0	14	350
平均	11	1	10	340.73

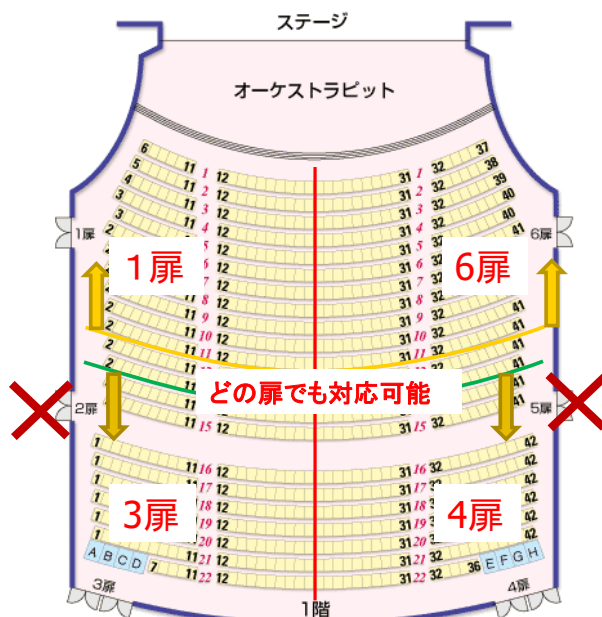
全シミュレーションの結果

- 前扉と中扉に割り振りそれ以外を後扉で避難時間を計測



順位	前扉から出る列数	中扉から出る列数	後ろ扉から出る列数	避難までの時間(秒)
1	12	0	10	329
2	11	1	10	332
3	11	0	11	333
4	11	2	9	337
4	12	1	9	337
6	13	0	9	339
7	10	3	9	344
8	10	1	11	348
9	10	2	10	349
10	8	0	14	350
平均	11	1	10	340.73

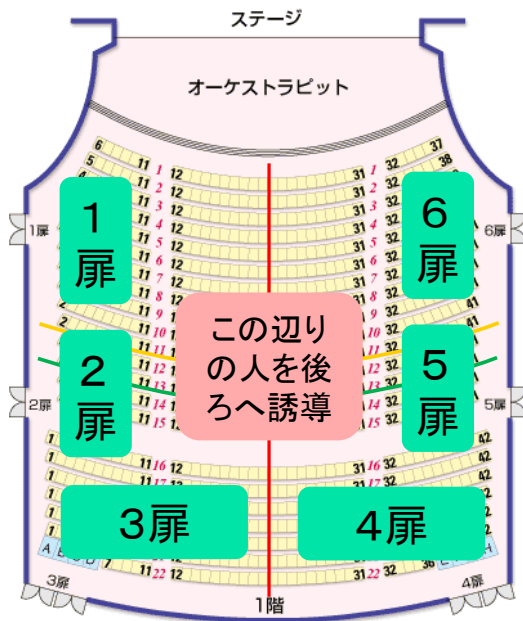
席列と使用扉についての考察



- 緑の線より後ろ(14~22列)の方は3扉, 4扉を使用
- 橙の線より前(1~11列)の方は3扉, 4扉の使用
- 緑と橙の線の間はどの扉であっても大差はない

座席表参考:<https://www.nntt.jac.go.jp/guide/facility/theatre/seat.html>

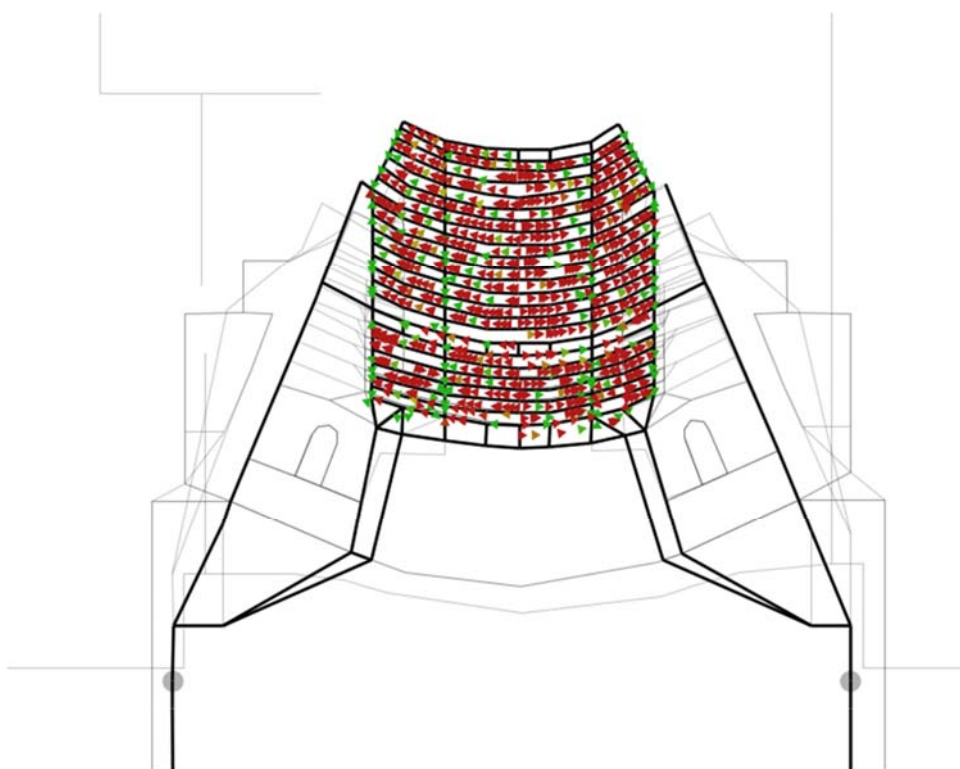
現実問題とのかい離



- 近くの扉から逃げるのは心理的な判断
- 人は前を見ているため前の人に追従
- シミュレーション通りにはいかないためタイムアタックはかえって危険
- 臨機応変に真ん中の人たちを後方に誘導

多少の人が間違えてもそこそこ速く避難できる方法を考えるべき

現実に即した最適な誘導方法



2回目の取り組み

- ① 避難中は扉が開いた状態を維持
 - 法令が求める防火戸の閉鎖には扉毎に担当者を定め避難完了後に閉じることで対応

- ② 特定の扉に集まらないように注意
 - 避難宣言で後方に注意を向ける
 - ケミカルライトで指し示す
 - 各誘導者が後方を強調

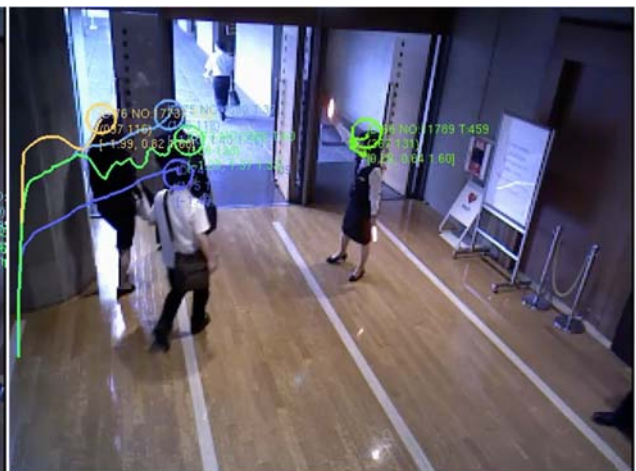


1回目と2回目の比較

- ① 避難中は扉が開いた状態を維持
 - 法令が求める防火戸の閉鎖には扉毎に担当者を定め避難完了後に閉じることで対応



2014年



2017年

第1回目と2回目の比較

- ② 特定の扉に集まらないように注意
 - 避難宣言で後方に注意を向ける / ケミカルライトで指し示す / 各誘導者が後方を強調



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

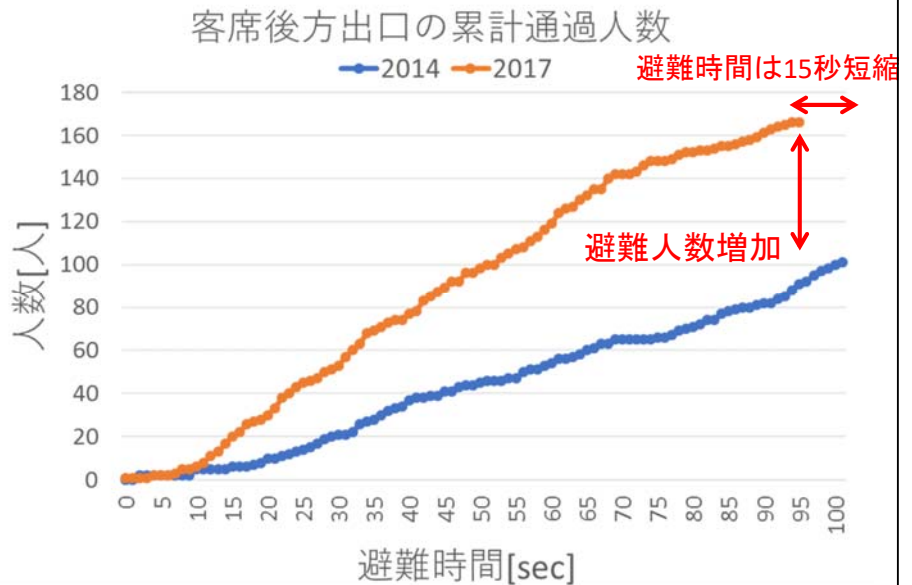
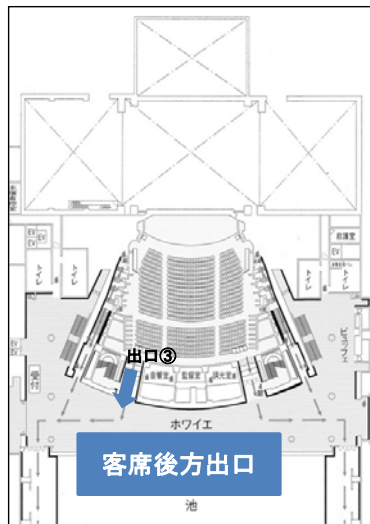
1回目と2回目の比較



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

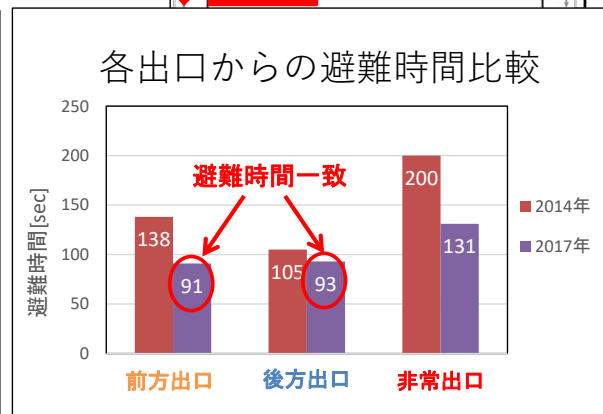
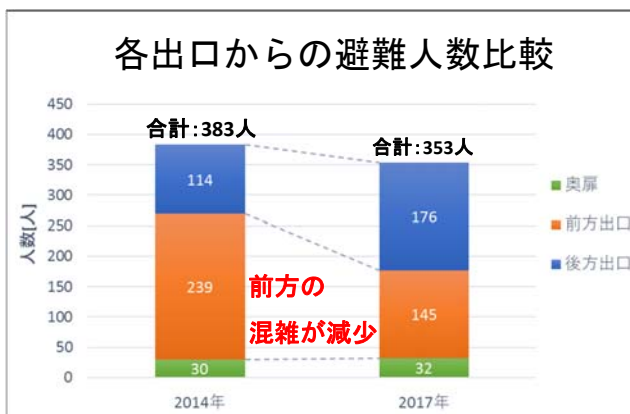
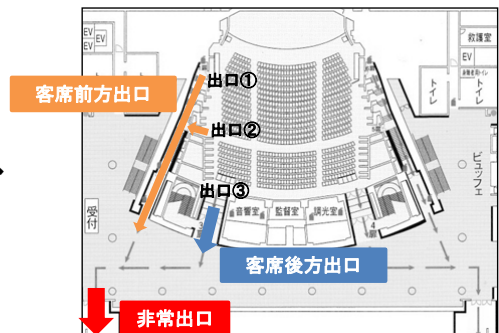
2017年の取り組み ① の効果

- 避難中は扉が開いた状態を維持
- 避難人数が1.5倍増加しても避難時間は15%短縮



2017年の取り組み ② の効果

- 特定の扉に集まらないように注意
- 各出口の避難時間が均一になり、全体の避難時間が短縮



→ 空いている客席後方出口へ誘導

→ 客席前方と後方の避難時間が一致

他劇所への横展開

- 2回目は中劇場・3回目は小劇場で開催
- 大劇場での知見を中劇場や小劇場に展開
- 混乱なく避難誘導を実現



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

202X年全館避難訓練に向けて

- 当初2020年に全館同時避難訓練を行う予定だったがオリンピック関連イベントが多く空き時間が取れずに断念
- 全ての劇場間の情報のやりとりはどのようにするのか？
- 防災センターとのやりとりは可能か？
- オペラ劇場(1800席)、中劇場(1000席)、小劇場(350席)の合計3150人を集める難しさ

202X年全館避難訓練に向けて



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

まとめ

- 人の流れの計測と人の流れの予測の技術
- 計測とシミュレーションによる避難訓練の分析
- 大規模実証実験によって得られた知見
 - 扉の開放状況の影響
 - 避難経路の選択誤りの影響
 - アンケート結果の分析
- 今後の課題
 - 3館同時避難訓練の実現
 - 避難開始までの情報の流れや意思決定の支援

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)