

# サービス設計に向けた 人々の移動シミュレーションと データ分析

産業技術総合研究所  
人工知能研究センター  
野田五十樹

# 概略

- オンデマンド交通の事例紹介:SAVS
  - ▶ シミュレーションによるサービス設計
  - ▶ MaaSの構成要素として
  - ▶ 実サービスによる人々の移動データ取得と分析
- 災害対策での活用事例
  - ▶ 避難シミュレーション
- 人々の移動に関するデータの分類

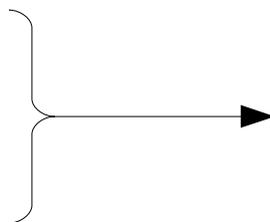
# SAVSの紹介



# オンデマンド交通サービス

## ●Smart Access Vehicle(SAV) System

- ▶ 主目的:都市生活者へのモビリティの提供
  - 公共交通の充実
- ▶ 特徴
  - バス+タクシー(乗り合いタクシー or オンデマンドバス)
  - 全自動
  - シミュレーションと連動
- ▶ 共同研究
  - はこだて未来大学
  - 産業技術総合研究所
  - 名古屋大学



(株) 未来シェア



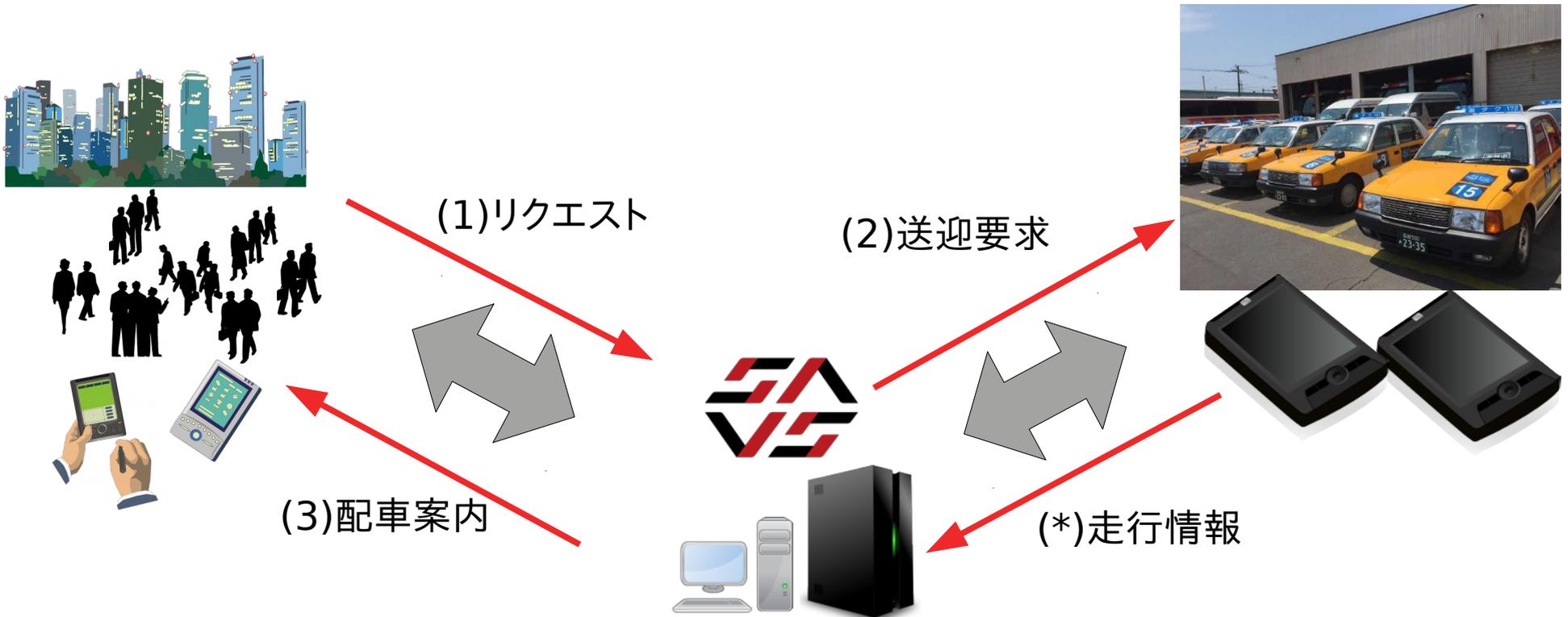
MIRAI SHARE



Smart Access Vehicle Service

# システム概要

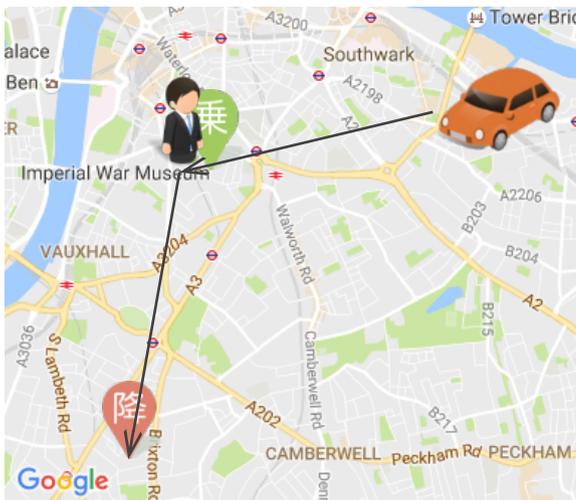
- (1) リクエスト (乗降地・希望時刻・人数)
- (2) 送迎要求 (経由点リスト、利用者リスト)
- (3) 配車案内 (予定時刻・号車)
- (\*) 走行情報 (現在地等)



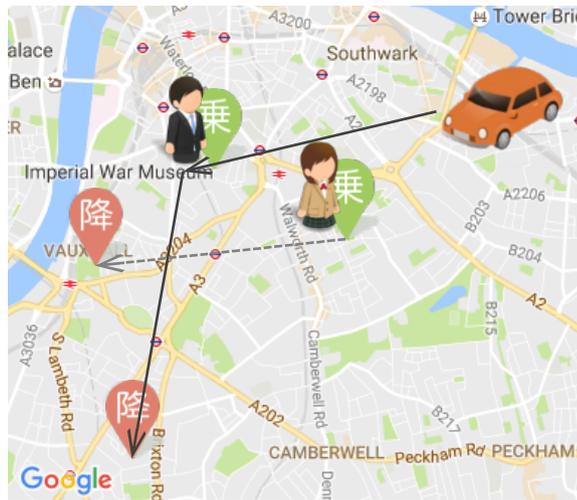
# SAVのオンデマンド・リアルタイム乗合い配車

乗客はできるだけ多くの希望を事前に申告しておく

1. 乗車要求に即してSAVが乗車地点へ走行
2. SAV走行中に別の乗車要求が発生
3. 走行距離や乗客の予想待ち時間を考慮し、最適な乗合い配車をリアルタイムに決定



1. 乗車要求に対しSAVが走行



2. 異なる乗車要求が発生



3. リアルタイムにルート再計算

# SAVの空車走行・客待ち時間の減少

## 比較

- 路線バス：需要に応じて走行  
(需要のない路線，区間は走行をスキップ)
- タクシー（流し）：実要求に即して最短経路で迎車
- タクシー（順番待ち）：需要に応じた迎車，1台で複数組を移送



空車のまま走行する公共交通



SAV導入



実要求に則した新型公共交通

# SAVS の様子



# SAV研究開発の経緯

- ❑ 2001年：産業技術総合研究所にてデマンドバス配車シミュレーションの研究に着手，その後公立はこだて未来大学にて研究を継続
- ❑ 2011年：「NPO法人スマートシティはこだて」発足，社会実証実験を推進
- ❑ 2013年：函館市内において，実道路交通網，実車両を用いた実証実験を開始
- ❑ 2015年：4日間に及ぶ完全自動配車の実証実験を実施，最大30台のSAV車両にて述べ300人以上の乗客（500件以上のリクエスト）の自動処理に成功
- ❑ 2018年：名古屋市街，セダン型タクシー30台による3週間以上に及ぶ有償サービス



# これまでの実験および実証サービス

## ●2013年10月@未来大周辺

▶ 5台×11時間×1週間

## ●2014年4月@サービス学会 (in 函館)

▶ 16台×6時間半×1日

## ●2015年5月@人工知能学会 (in 函館)

▶ 20-30台×7時間×4日

## ●2016年7月 (株)未来シェア設立

- 2017年3月@お台場20台×3時間
- 2017年3月@上諏訪、10台×6時間
- 2017年7月～空港送迎乗り合い
- 2017年10月@境港、6台×5時間
- 2018年2月@名古屋市東部、30台×2週間
- 2018年7,8月@境港、5台×5時間
- 2018年9月@浜田、4台×4時間
- 2018年9月～12月@長久手市、10台
- 2018年9月～@太田市、福祉送迎
- 2018年10月～12月@横浜、15台×2ヶ月
- 2018年11月@伊那
- 2019年1月～2月@荒尾市
- 2019年1月～3月@多摩プラーザ with 東急
- 2019年1月～2月@札幌
- 2019年1月～3月@石垣
- 2019年2月@清水港
- 2019年2月@静岡市
- 2019年3月@伊那
- 2019年4月@山口
- 2019年4月@伊豆下田
- 2019年4月@九州大学伊都キャンパス
- ...

# 鳥取県境港市 クルーズ船客対象実証実験

- ❑ 場所:鳥取県境港市(7km × 4km)
- ❑ 日程:2017/9/26、10/6, 2018/8/9, 2018/9/25
- ❑ 車両:6台(ジャンボ4台、普通車2台)
- ❑ 乗客:モニター20組(50名、外国籍)
- ❑ 山陰インバウンド機構、JTBとのクルーズ船乗客、クルーを対象とした乗合いタクシー実験を実施
- ❑ スマホ、配車ナビゲーションアプリの利用により、言葉の壁を超えた送迎の有効性を検証  
→ 英語版アプリの配布で10ヶ国以上の方々が体験



# 長久手市定額乗合タクシー（N-タク）

- 実験実施:長久手市役所福祉部長寿課
  - ▶利用対象:赤あつたかあど保有者
- 利用区域:愛知県長久手市全域
- 料 金:1乗車1人につき500円
- 実験期間:2018年9月3日 ~ 2018年10月31日(平日のみ)



# 「AI運行バス」横浜臨海地区

- ▶ 2018年10月5日(金)~12月10日(月)
- ▶ 横浜臨海地区(みなとみらい21・関内エリア)

乗車券(QRコード)付きリーフレットは、1人1枚必要です。  
人数分お取りください!  
~無料でご利用いただけます~

あなたに、わたしに、ちょうどいい。  
街の新移動手段。

## AI運行バス

**便利**  
乗りたいとき、  
行きたい場所へ

**待たせない**  
アプリで簡単、  
配車手配

**快適**  
目的地まで  
届いて移動

**実証実験実施中!**  
臨海地区(みなとみらい21・関内エリア)で走行中。  
本リーフレット内に乗車チケットついてます!

AI運行バス



## 乗降ポイントマップ

アプリ・まちかど遊覧から簡単に配車予約ができます!

- 乗降ポイント  
★印はアプリ利用のみのみご利用いただけます。
- 1 みなとみらいグランドセントラルタワー
  - 2 横浜アンパンマンこどもミュージアム
  - 3 横浜コイセキパークホテル
  - 4 横浜ベイホテル東急
  - 5 横浜ランドマークタワー
  - 6 横浜ロイヤルパークホテル
  - 7 横浜みなとみらい万葉倶楽部
  - 8 JICA横浜(海外移住資料館)
  - 9 ニューオーシャン横浜プレミアム
  - 10 横浜桜木町フントンのホテル
  - 11 みなとみらい線 高島駅
  - 12 横浜平和アザラジホテル
  - 13 ホテルルートイン横浜高島線
  - 14 シルク博物館
  - 15 横浜情報文化センター
  - 16 ホテルモントレ横浜
  - 17 ダイワロイネットホテル横浜公園
  - 18 ホテルメルパルク横浜
  - 19 横浜人形の家
  - 20 みなとみらい線 光町・中華街駅
  - 21 横浜光町ショッピングストリート
  - 22 横浜赤レンガ倉庫
  - 23 横浜港大さん橋
  - ★ 24 横浜中華街本道門
  - ★ 25 横浜ワールドボターズ
  - ★ 26 横浜開港資料館
  - ★ 27 MARINE & WALK YOKOHAMA
  - ★ 28 ホテルビスタプレミアオみなとみらい
  - ★ 29 ローズホテル横浜
  - ★ 30 イセザキモール
  - ★ 31 横浜マリニタワー

# あらお相乗りタクシー

## ●熊本県荒尾市

### ▶三井物産

**荒尾市**

## あらお相乗りタクシーの 実証試験を行います! 無料

あらお相乗りタクシーは、お客様の希望に応じて柔軟に送迎を行う新しい移動手段です。今回、**期間及びエリア限定・無料**で試験運行を実施致しますので、この機会に是非ご利用ください!

共催：荒尾タクシー × 荒尾市 × 三井物産(株)  
協力：(株)未来シェア

**運行期間**  
2019年  
1月21日(月)～2月1日(金)

**運行時間** 全日 8:00～17:00  
(予約時間 全日 7:30～16:30)

**ご利用料金** 無料

詳しくは裏面をご覧ください。

**運行範囲**

## 無料 あらお相乗りタクシーご利用方法

### お持ちのスマートフォンで申し込む場合

**Step1**

QRコードもしくは  
<https://passenger-arao.sav.mitsubishi.com>  
から申し込みサイトへアクセス

**Step2**

お名前  
・電話番号  
・ID(メールアドレス)\*1  
・パスワードを登録

\*1メールアドレスも登録できない方は、生来のIDで構いません

\*2一度ご登録いただいた後、改めてご登録の必要はございません

**Step3**

乗車・降車地点、人数・希望乗車・到着時間等を指定

**Step4**

ご指定いただいた場所・時間に相乗りタクシーを利用

### お電話で申し込む場合 お電話もしくはFAXでの事前登録をおすすめします!

**Step1**

080-4695-1075  
へお電話ください

**Step2**

案内に従い、お名前・住所・電話番号を登録

\*事前登録いただいた方は、改めてご登録の必要はございません

**Step3**

乗車・降車地点、人数・希望乗車・到着時間等を指定

**Step4**

ご指定いただいた場所・時間に相乗りタクシーを利用

**注意事項**

①相乗りタクシーですので、他の乗客の方と同乗することがあります。②お客様の乗車によって最適なルートを選択しますので、最短ルートとならないことがあります。また、登録時には乗車に最少時間を要することがございます。③道路状況等によりご指定の場所まで行けない場合がございます。④ご利用の際は「利用者登録」が必要となります。利用者登録はスマホもしくは電話、FAXで受付致します。⑤乗車の際は「乗車シート」にご乗車致します。⑥予約人数は、1回につき最大5名様までとなります。⑦予約は当日分だけとなります。⑧乗車にお乗りの方は、事前にお電話でご予約ください。

**事前登録用FAX送信用紙**

**登録期間** 1月4日(金)～2月1日(金) **FAX** 0968-62-1214 (受付時間: 荒尾タクシー)

氏名	電話番号
住所	

※事前にご指定いただいた個人情報は地乗りサービスの提供と実証試験目的のみの利用とし、(有)荒尾タクシー・三井物産(株)で利用致します。乗客の同意なく、目的外の転用、第三者への提供を行うことはありません。尚、個人情報に関するお問い合わせは、以下問い合わせ先(080-4695-1075)にお問い致します。

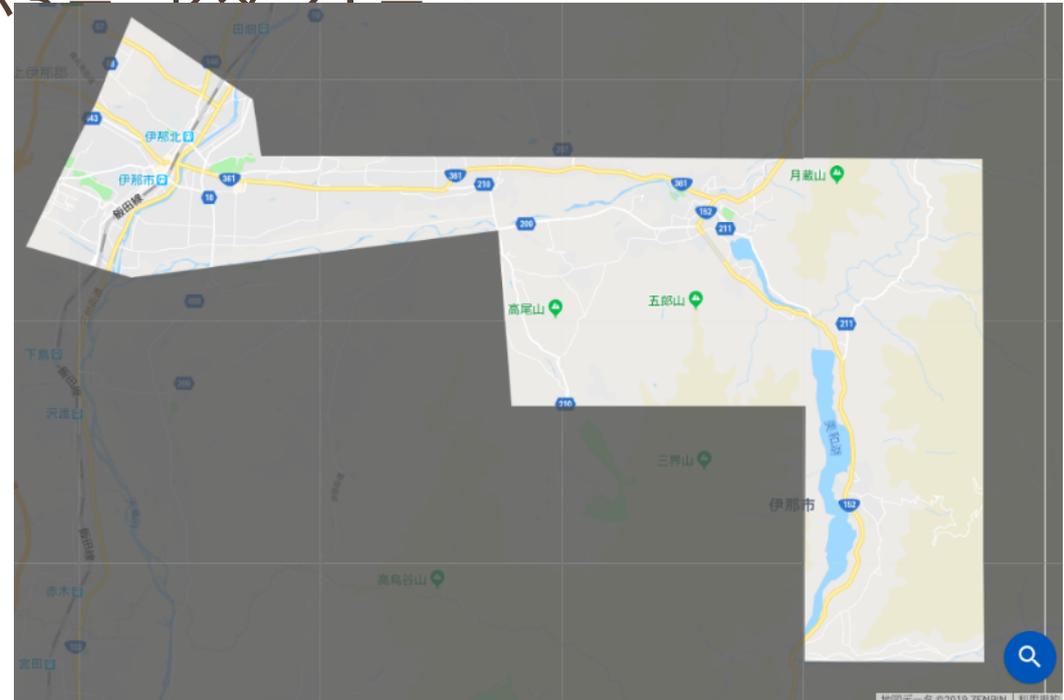
**ご予約・ご利用に関するお問い合わせ先はこちら** **受付窓口** ☎080-4695-1075

(受付時間: 平日9時～17時) 土曜・日曜・お盆・年末年始は受付不可 (有)荒尾タクシー 0968-62-1214

# 伊那市

## ●長野県伊那市

- ▶ (株)オリエンタルコンサルタンツ
- ▶ 「AI最適運行・自動配車サービス(ドアツードア乗合タクシー)」実証実験
  - 運行車両台数 4台 (ジャンボ3台 セダン1台)

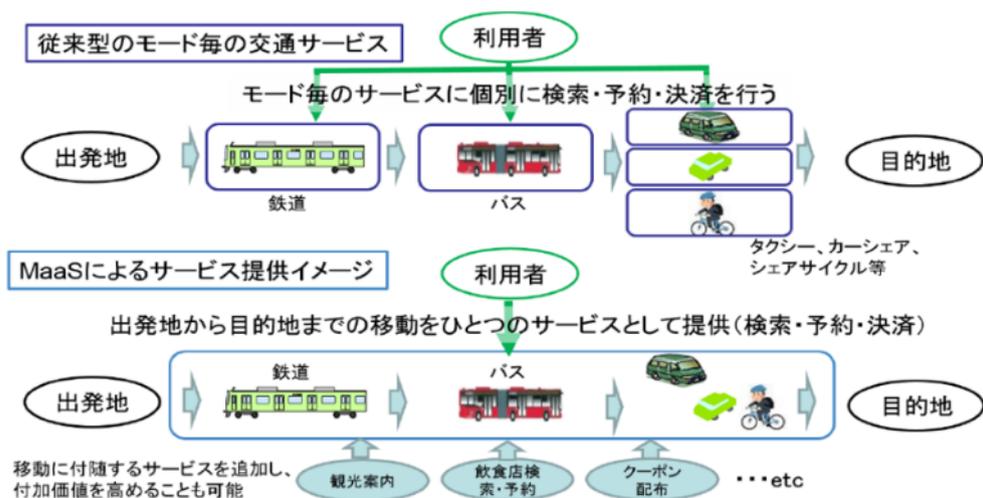


# 静岡市MaaS

## ●静岡市居住者を対象としたMaaS実証実験

- 1.MaaSシステムの体験利用
- 2.相乗りタクシーの無料体験乗車

▶2019年2月15日(金)~2月23日(土)



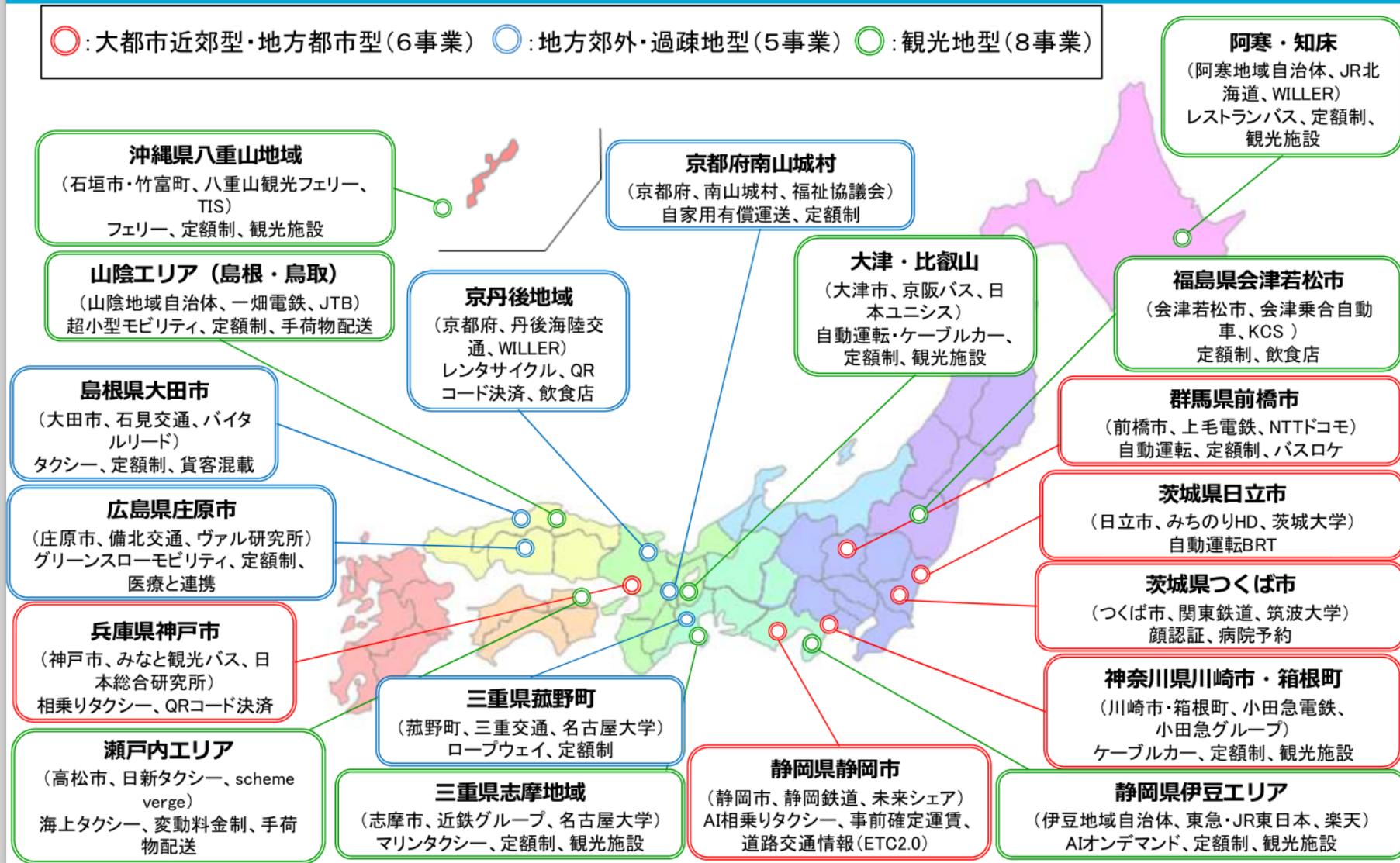
参照先：国土交通省報道発表資料 (<http://www.mlit.go.jp/common/001257136.pdf>)



# 国土交通省 日本版MaaS 先行モデル事業

## 新モビリティサービス推進事業 先行モデル事業

○: 大都市近郊型・地方都市型(6事業)    ○: 地方郊外・過疎地型(5事業)    ○: 観光地型(8事業)



# 今後の交通に関する社会課題

## ●過疎地域における交通手段の不足

- ▶ 自治体負担のコミュニティバス等の代替交通手段の創出
- ▶ 安価で使いやすい(ドア to ドア)地域公共交通の提供
- ▶ 高齢者運転免許返納の推進

## ●人を物に置き換えた宅配サービスの課題解消

- ▶ 再配達, 荷物の受け取り時間のアンマッチ解消手段
- ▶ タクシーの客貨混載によるリアルタイム配達の実現

## ●ドライバ不足

- ▶ 車両の効率化(減車)による必要ドライバー人員の抑制
- ▶ 利益率向上による労働条件の適正化と社会的地位の向上

## ●環境問題の改善

- ▶ 自家用車送迎からのシフトによる排ガス等環境問題の改善
- ▶ シェアリングエコノミーの実践による環境改善の見える化推進

## ●採算性

- ▶ 交通単体では儲からない。
- ▶ 一次目的サービス(福祉・商業・教育)との連携。

未知の条件

⇒ シミュレーションによる  
評価

# MaaS 設計のためのシミュレーション評価

## ●MaaS は新しい試み

- ▶ビッグデータは存在しない。
  - 機械学習だけでは不十分

## ●交通単体では成立しない

- ▶ 組合せ・連携を前提とした設計・評価

## ●変化への対応

- ▶ 普及規模により利便性が大きく変化

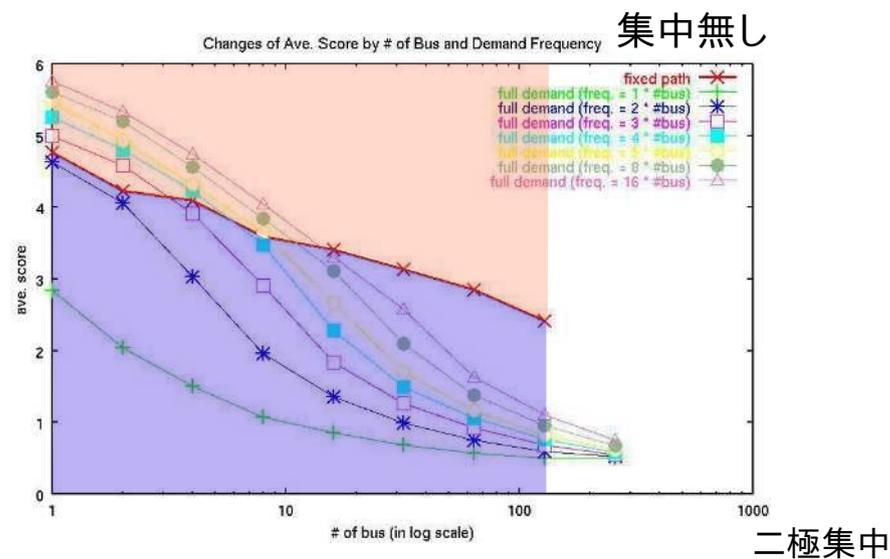
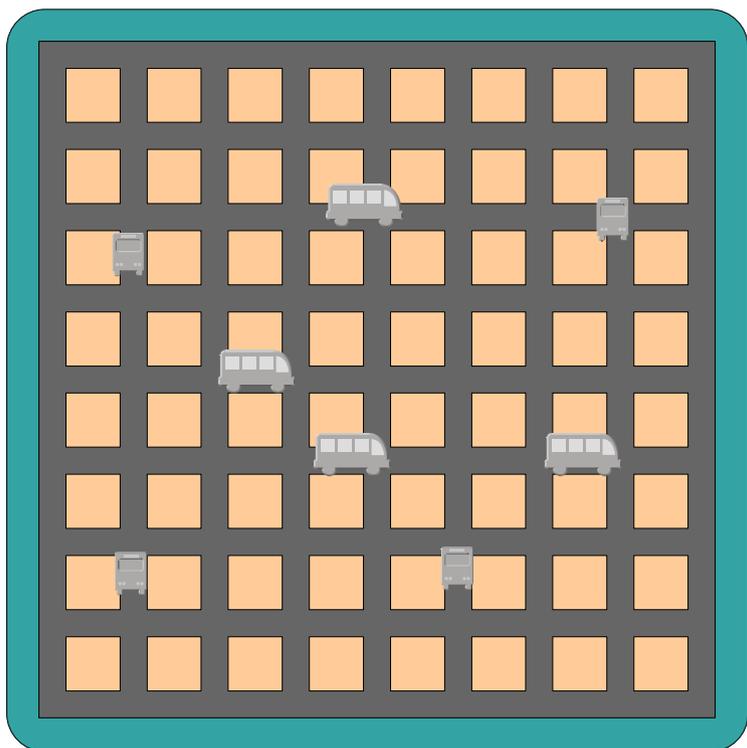
⇒ AI + シミュレーション

- AI = 最適化・推論 + エージェント + 機械学習・適応

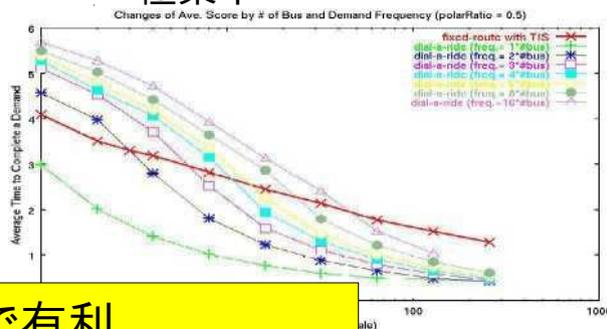
# 相対比較によるオンデマンド交通の 利便性評価

●オンデマンド交通システムを、固定路線バスと比べる

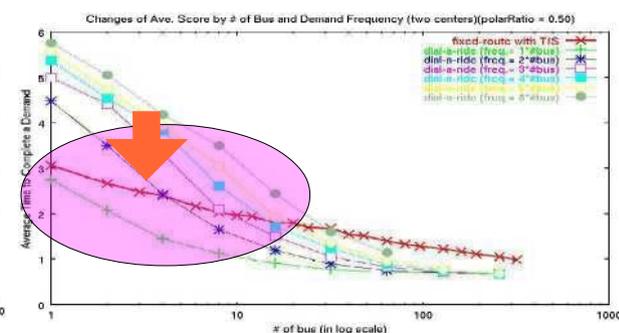
- ▶ 運行規模によりどう変化？
- ▶ 都市のタイプでどう変化？



**一極集中**



**二極集中**



オンデマンド型は規模拡大で有利。  
一極集中ではオンデマンド、二極集中では固定路線。

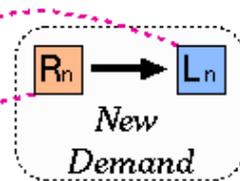
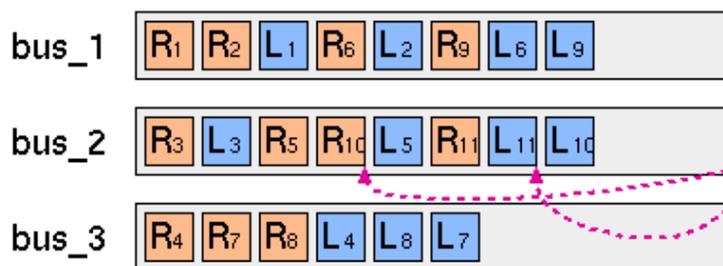
2001-2005

# 最適化を用いた相対比較

## ● オンデマンドバス

### ▶ 逐次最適挿入法

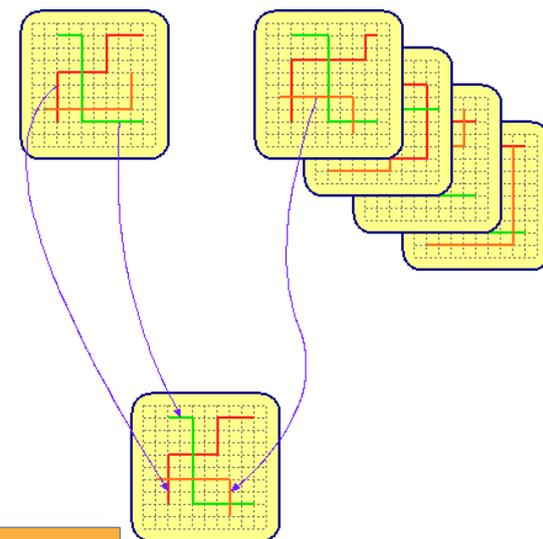
- 最適な配車を逐次的に探索



## ● 固定路線バス

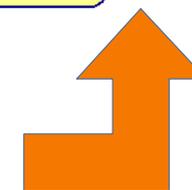
### ▶ 遺伝的アルゴリズム

- 最適路線配置



同条件で平均旅行時間を比較

- 運行台数
- 利用状況



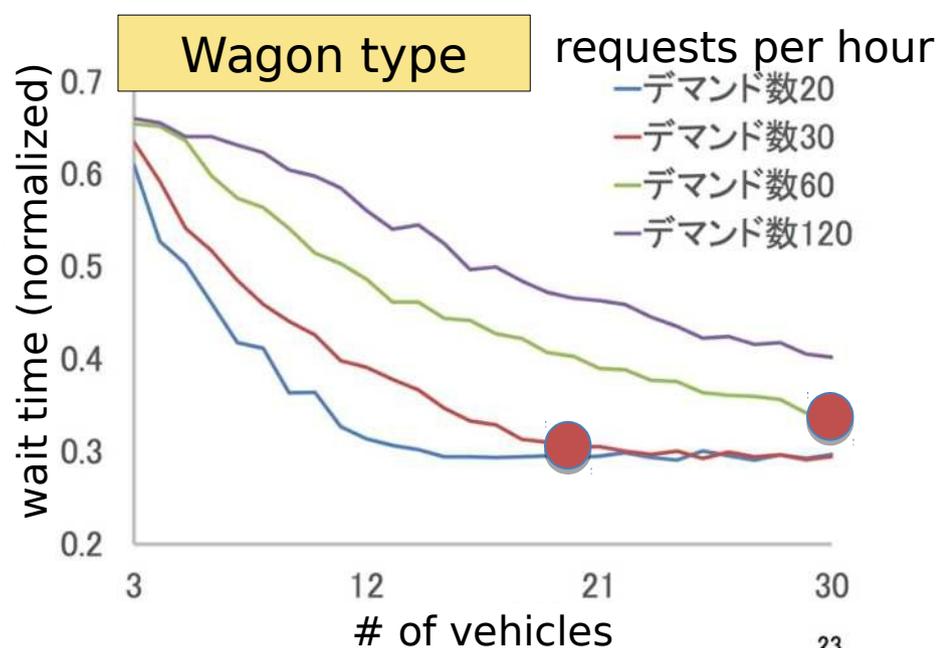
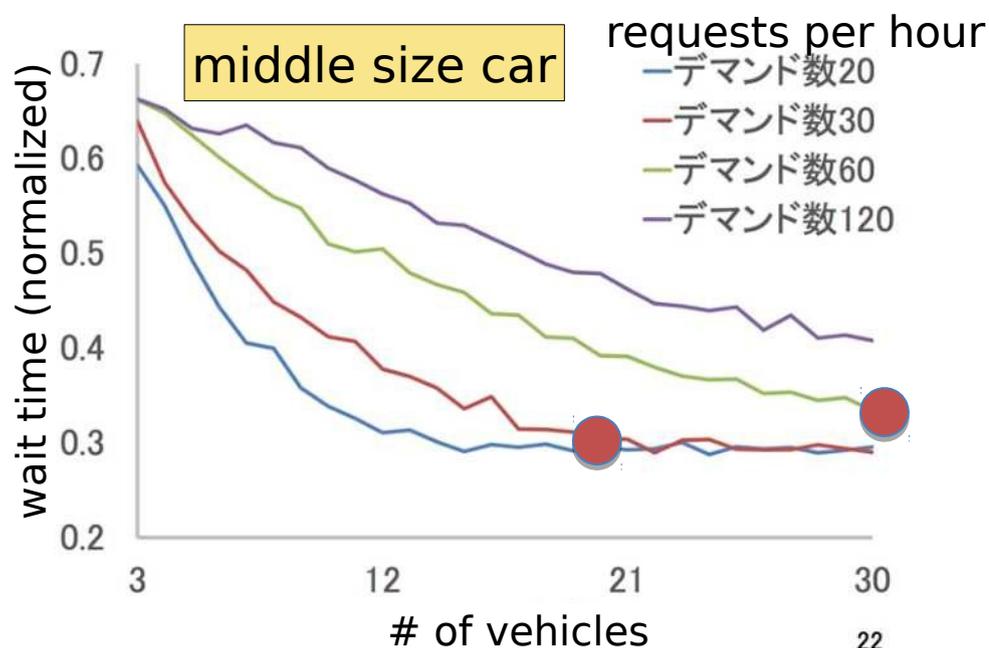
# シミュレーション評価と運用規模の決定

## ●人工知能学会@函館にむけて

### ▶ 1000人の参加者に何台必要か？

#### ■ いろいろな条件でシミュレーション評価（待ち時間評価）

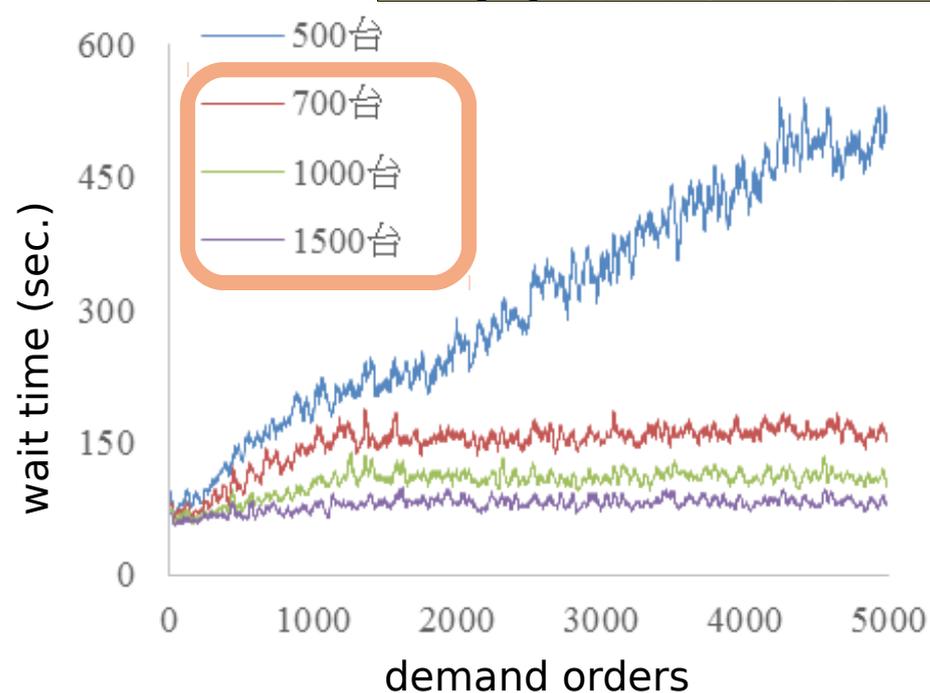
- ◆ 結果：通常日で20台、繁忙日で30台。
- ◆ 実データと比較：ほぼシミュレーションと同等の結果。



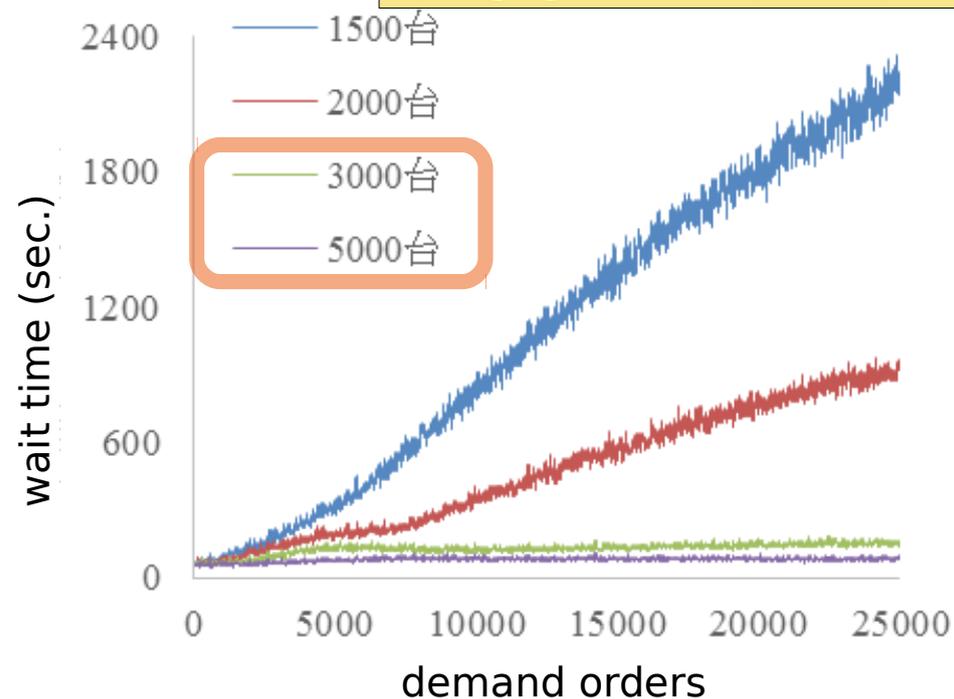
# 自家用車ゼロの社会？

- 函館の全市民が自家用車を捨て、SAVSを利用すると、何台必要か？

毎時 5000 デマンド



毎時 25000 デマンド



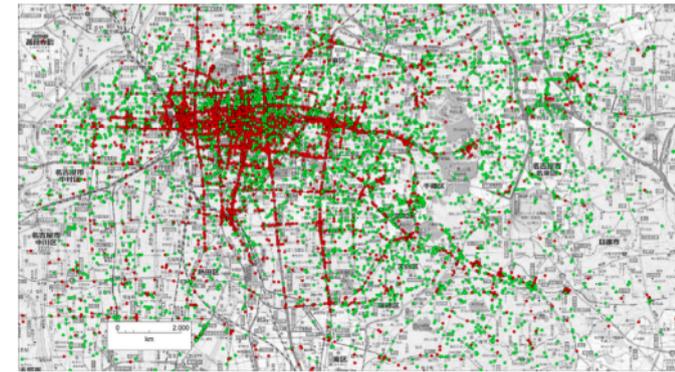
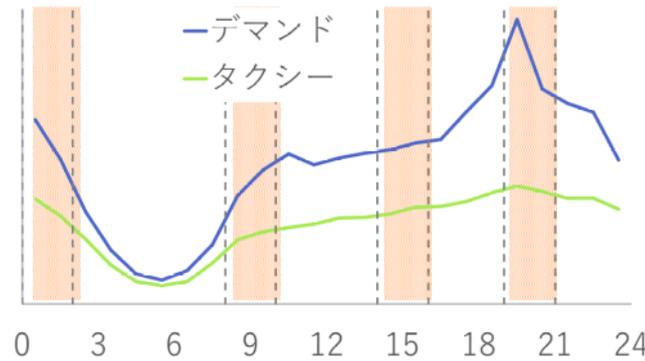
# 名古屋市全域 タクシー配車データ シミュレーション

## □ エリア



名古屋市全域  
22km四方

## □ 配車データ分布 (協力: つばめタクシーグループ)



## □ 車両平均待ち時間 (分)

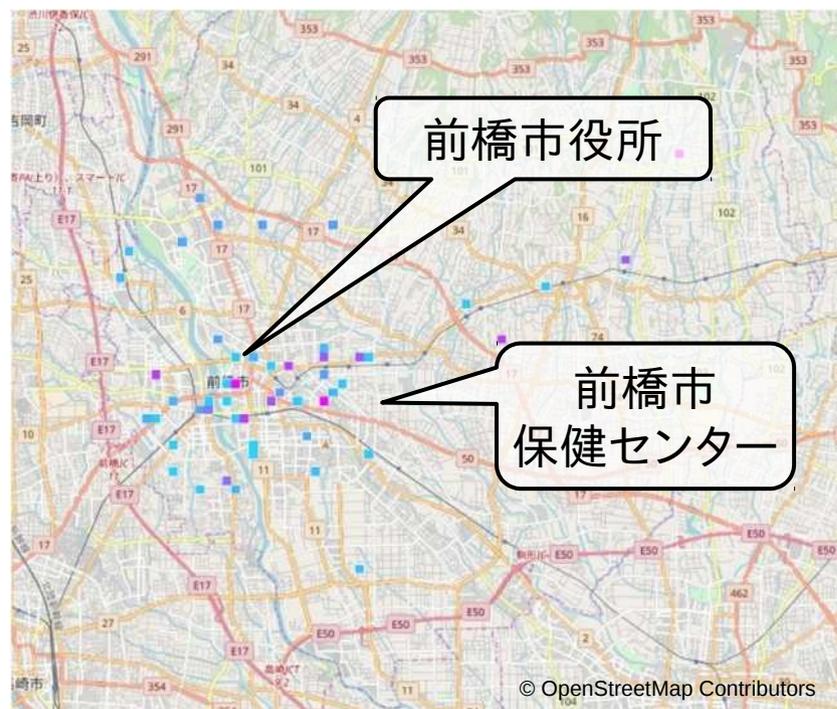
車両数	14:00 - 16:00		19:00 - 21:00	
	タクシー	SAV	タクシー	SAV
100	125	41	259	118
150	43	11	133	39
200	12	7	69	16
250	6	6	36	10
300	5	6	22	8
400	4	4	10	6
500	4	4	7	6

## □ 平均乗り合い数 (組)

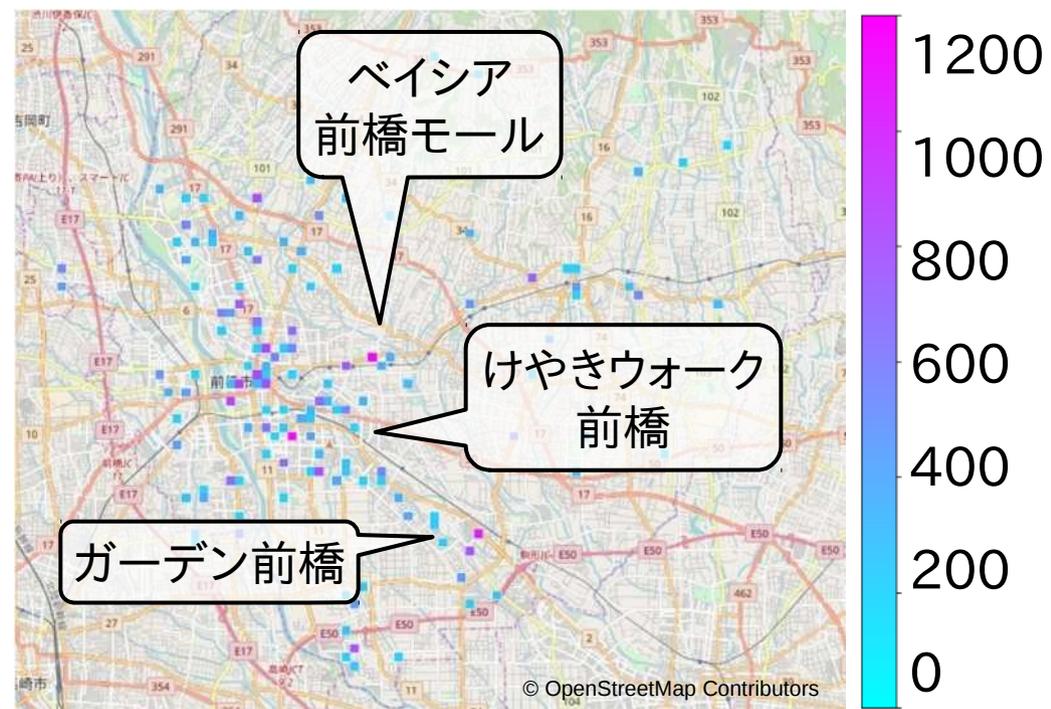
車両数	14:00 - 16:00		19:00 - 21:00	
	タクシー	SAV	タクシー	SAV
100	0.00	1.68	0.00	2.02
150	0.00	1.00	0.00	2.03
200	0.00	0.50	0.00	1.74
250	0.00	0.29	0.00	1.34
300	0.00	0.26	0.00	1.12
400	0.00	0.13	0.00	0.81
500	0.00	0.11	0.00	0.64

## 2. 前橋市の公共交通の最適化に向けて

### パーソントリップ調査データ分析



65歳以上のタクシーによる移動  
 ・647トリップ／日  
 ・行政施設が多い



65歳以上の自家用車による移動  
 ・76,911トリップ／日  
 ・商業施設が多い



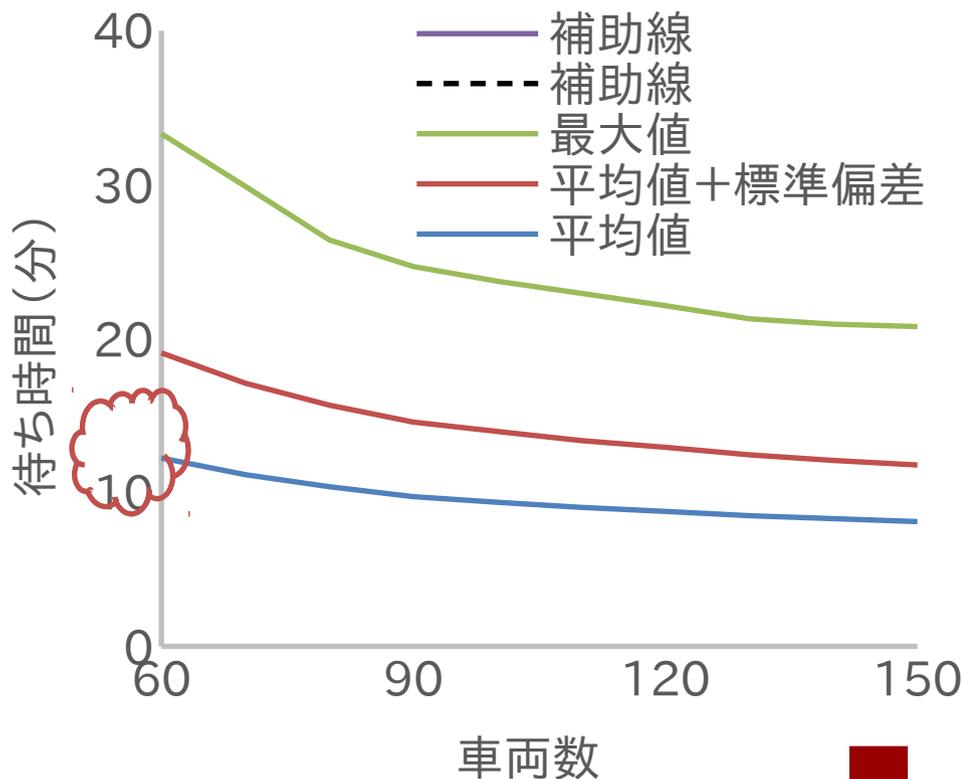
公共交通の利便性向上による免許返納率向上とバス・タクシー利用増加を目指す

・PT調査データ提供 : 群馬県  
 ・データ分析・調査 : 前橋市・未来シェア

## 2. 前橋市の公共交通の最適化に向けて

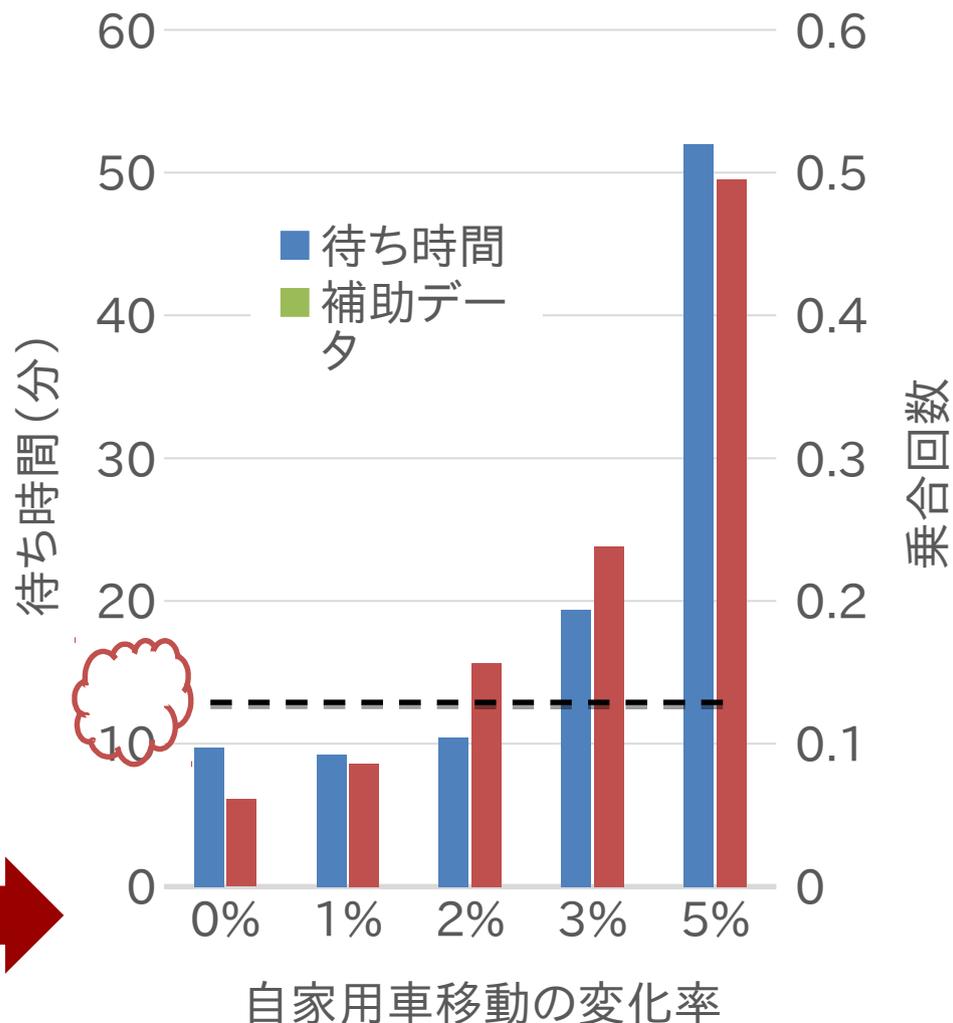
### シミュレーション結果

#### 現状のタクシーシミュレーション



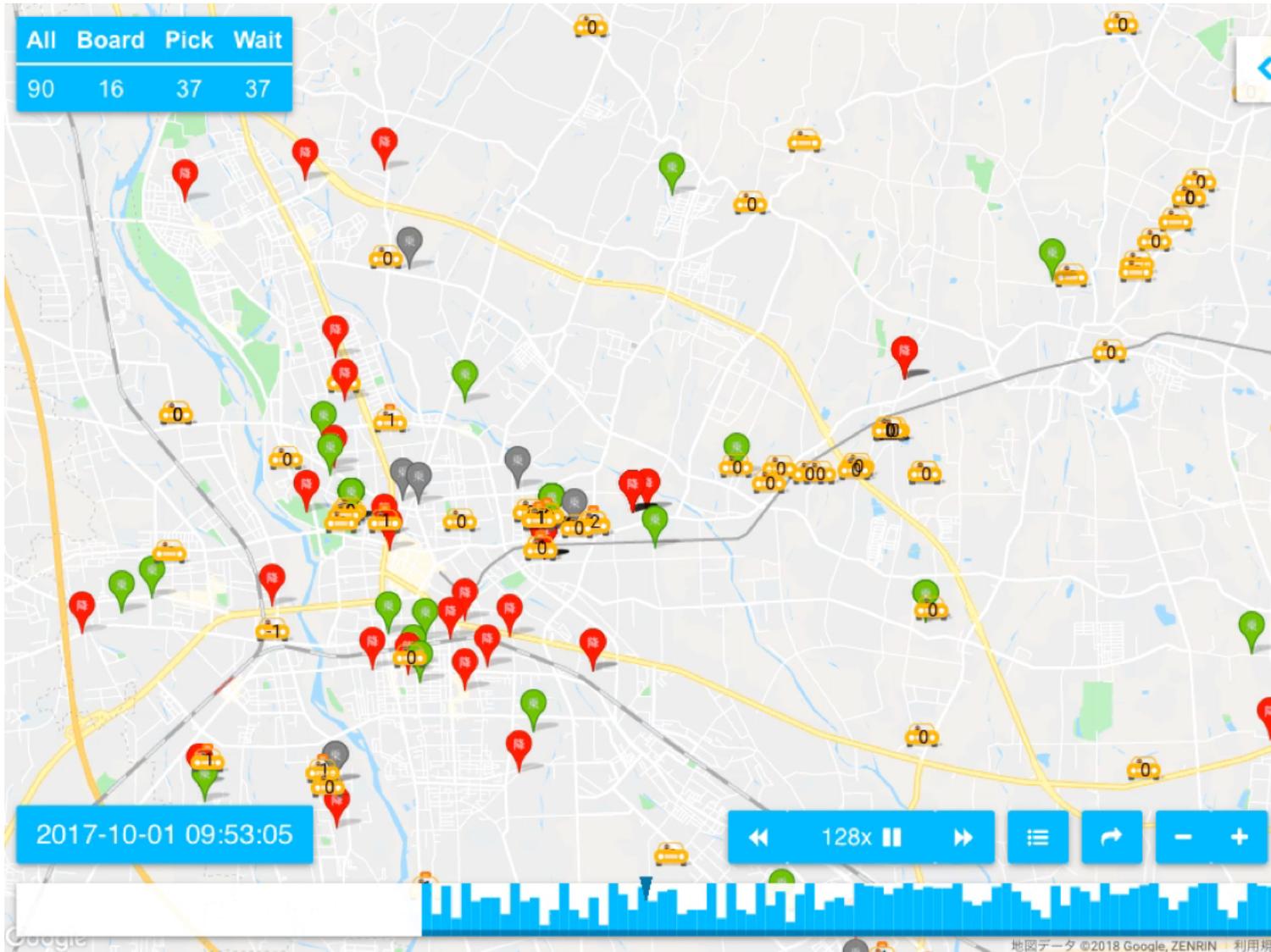
タクシー90台でSAVS  
シミュレーションを行うと

#### SAVSシミュレーション



## 2. 前橋市の公共交通の最適化に向けて

### シミュレーションによる送迎の様子



-  : 車両位置
-  : 乗車予定位置
-  : 乗車済み
-  : 降車予定位置

車両台数 : 90  
 トリップ数/日: 1,795  
 (65歳以上自家用車利用者の  
 2%がタクシーヘシフト)

# 書籍紹介

## ●スマートモビリティ革命 未来型AI公共交通サービスSAVS



中島秀之（編著）, 松原仁（編著）, 田柳恵美子（編著）, スマートシティはこだてラボ+株式会社未来シェア（著）

未来大出版

# 災害・イベント対応と人流シミュレーション

## ● 災害・イベント

### ▶ 稀にしか起きない事象

- データがない
- 実験が行いにくい

### ▶ 大規模な群衆をスムーズに移動させる必要

- 初期条件・境界条件がわかることは稀
  - ◆ スパコンでのシミュレーションは非現実的
- 対策の限界や切り替えポイントがわかるだけでも有用
  - ◆ 網羅的シミュレーション

⇒ AI + シミュレーション

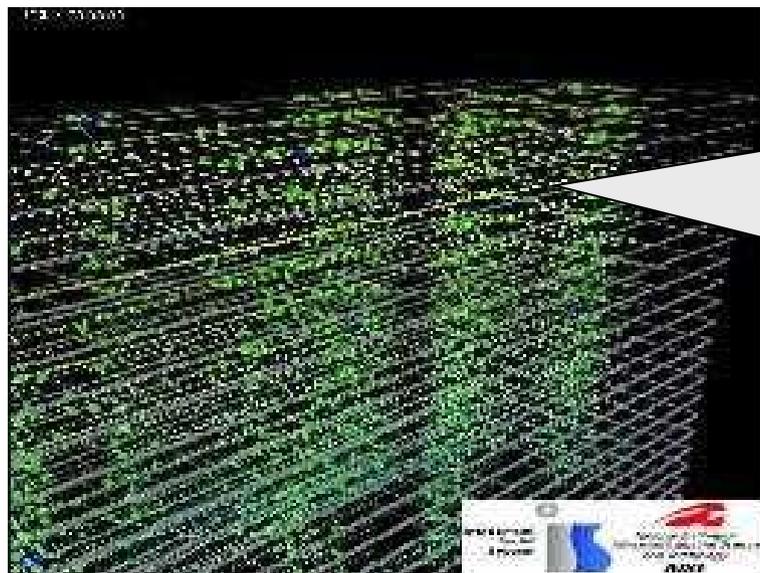
# 人流シミュレーション

## ●CrowdWalk

### ■ Multiagent Evacuation Simulator

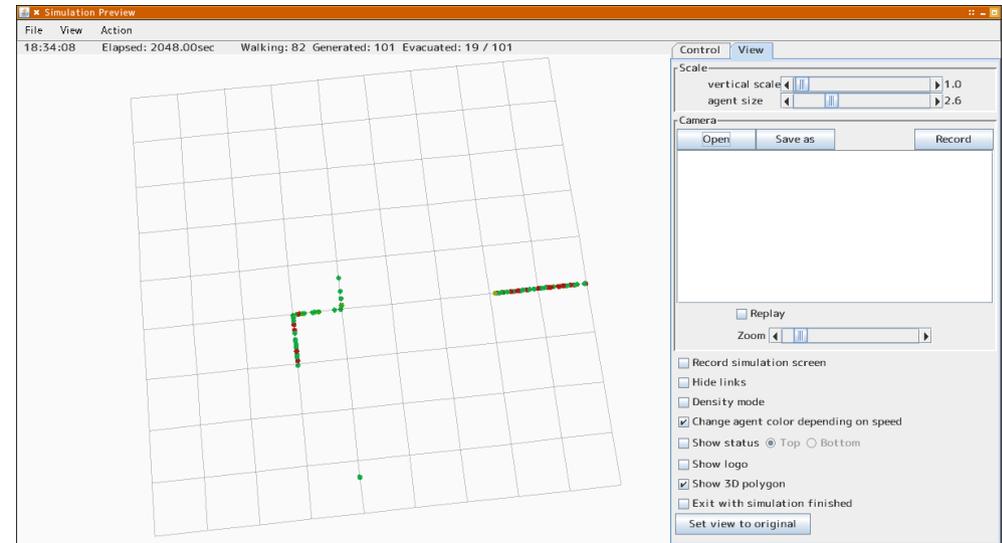
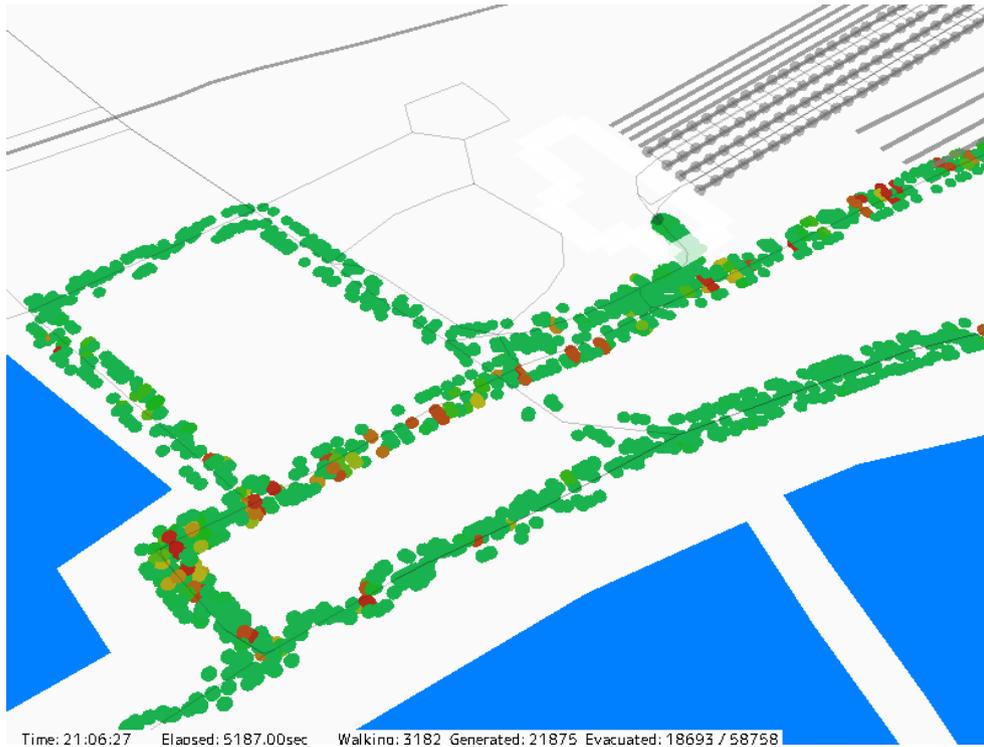
### ▶ 特徴

- 大規模広域の群衆行動 (~100万人規模、~数キロ四方)
- エージェント(人)は各々独立行動



by T. Yamashita, I.Noda (AIST)

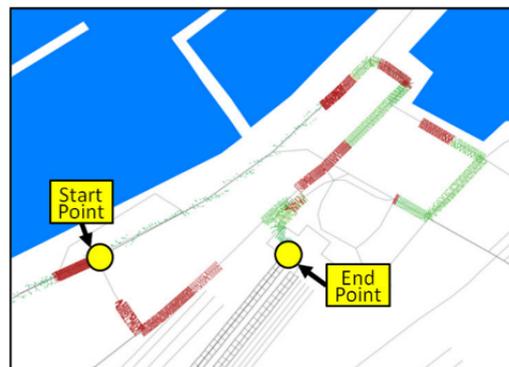
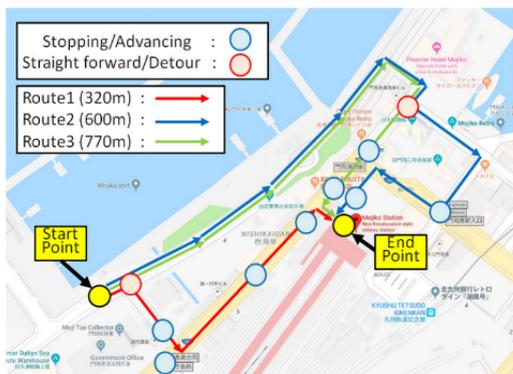
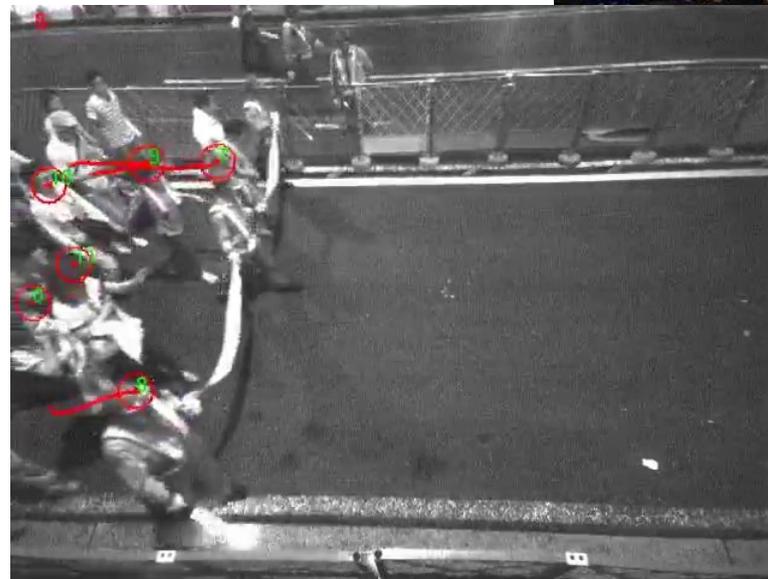
# シミュレーションの様子



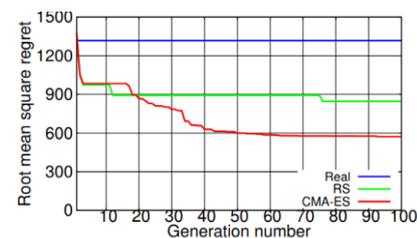
# イベント人流の センシングとシミュレーション



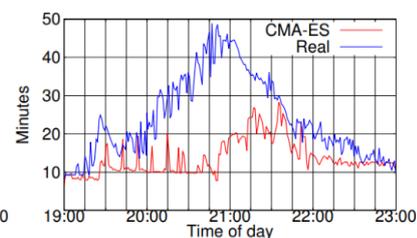
- 北九州市関門海峡花火大会
  - ▶円滑なイベント運営に向けた支援
- センシング
  - ▶動画 (RGB-D) ⇒ 人の歩行認識
  - ▶GPS ログによる大域サンプリング
- データ同化とシミュレーション評価
  - ▶シミュレーションの実データへのフィッティング
    - AIを使った最適化
    - 人の行動規則の推定
  - ▶シミュレーションによる人流制御計画評価



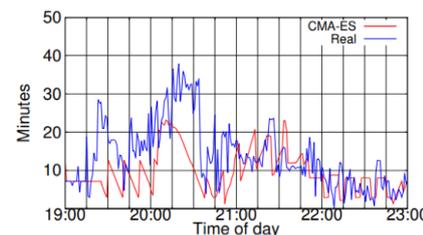
(a) Guidance control locations in 2016 (b) Simulation after the fireworks display.



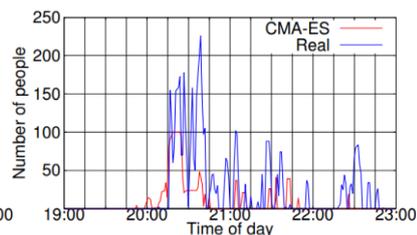
(a) Optimization results



(b) Average time



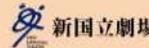
(c) Difference time



(d) People in crowded

# 避難体験オペラコンサート(募集)

- 日程 :
  - ▶ 2014年8月31日(日)
  - ▶ 2018年9月26日(水)
- 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



あっ! その時どうする

## 避難体験 オペラコンサート

入場無料

**有事の際にそなえて**  
〜地震はいつ起きるかわからない〜

「その時」に備え、今回、実際にお客様がご鑑賞中のコンサートでの地震発生を想定し、避難体験会を開催いたします。ついでに、その参加者(お客様)を募集いたします。コンサートを楽しむ一方で、災害時の劇場での避難行動をぜひご体験ください。

**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

【7期修了】鈴木慶美(Sp)

【12期修了】後藤春馬(Bs-Br)、西村圭市(Br)、山田大智(Br)

【14期修了】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】石野真穂、高田純子

(Sp:ソプラノ、Br:バリトン、Tn:テノール、Bs-Br:バス/バリトン)

**曲目**：オペラアリア、重唱 他

<お申し込み> 往復はがきまたはインターネットでお申し込みください

①お申し込み方法

- \*往復はがき
  - ・往復 (お客様⇒新国立劇場)
  - 宛先記入面 : 〒151-0071 渋谷区本町1-1-1 新国立劇場営業部「避難コンサート」係
  - 通信文記入面 : お客様住所、氏名、電話番号、参加希望人数(4名まで)
  - ・返信 (新国立劇場⇒お客様)
  - 宛先記入面 : お客様住所
- \*インターネット
  - ・<http://www.nntt.jac.go.jp/apply/drill.html>
  - 上記URLのフォームからお申し込みください。右のQRコードからもアクセスできます

②締切：平成26年7月31日(水)

往復はがきは当日消印有効。インターネットは7月31日23:59までの申し込み有効

③定員：1000名様。応募者多数の場合は抽選とさせていただきます

④入場可能年齢：就学前のお子様のご同伴・ご入場はご遠慮ください

⑤座席指定：ご参加される皆様は、当日、事前に指定させていただいたお席またはエリアにお座りいただきます(偏しの性質上、上層席にお座りいただく場合もございます)

⑥詳細：ご参加いただく皆様には、8月中旬までに当日の参加方法等をご案内いたします。

【協力】公益社団法人全国文化施設協会／東京都公立文化施設協議会／公共劇場舞台技術者連絡会】

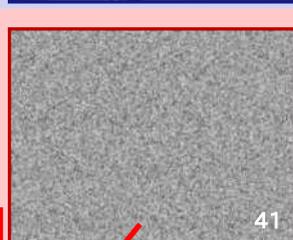
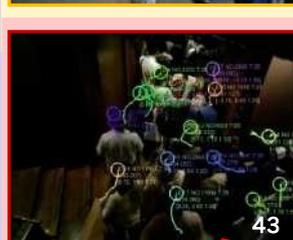
<お問い合わせ> (公財)新国立劇場運営財団 営業部 公演事業課  
Tel: 03-5351-3011(代) Fax: 03-5352-5744



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)



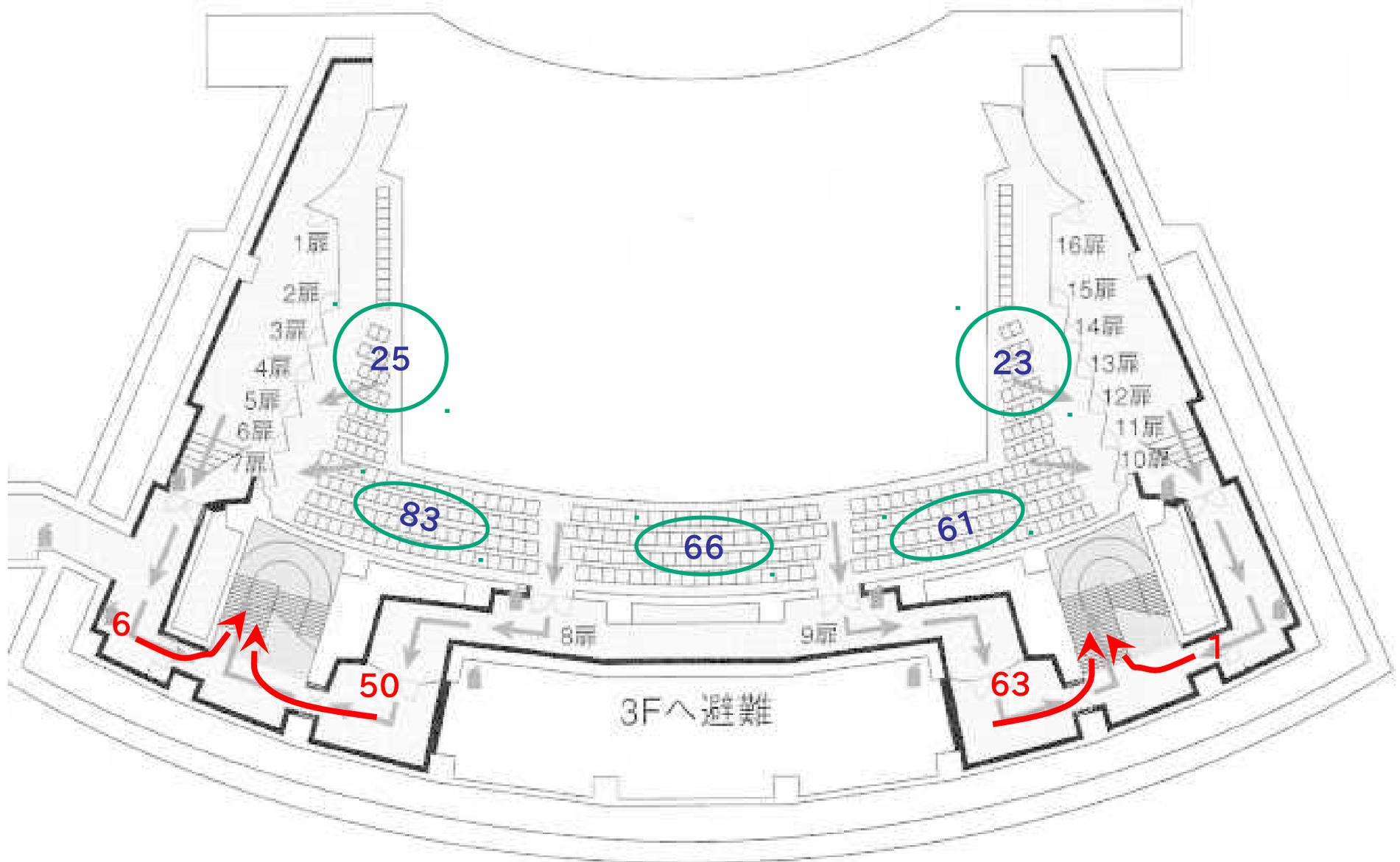
オペラ劇場4F  
目視/計測値



舞台・楽屋

オペラ劇場1F

# 計測された避難経路 (4階)



# 経路選択の誤り vs ドア開閉

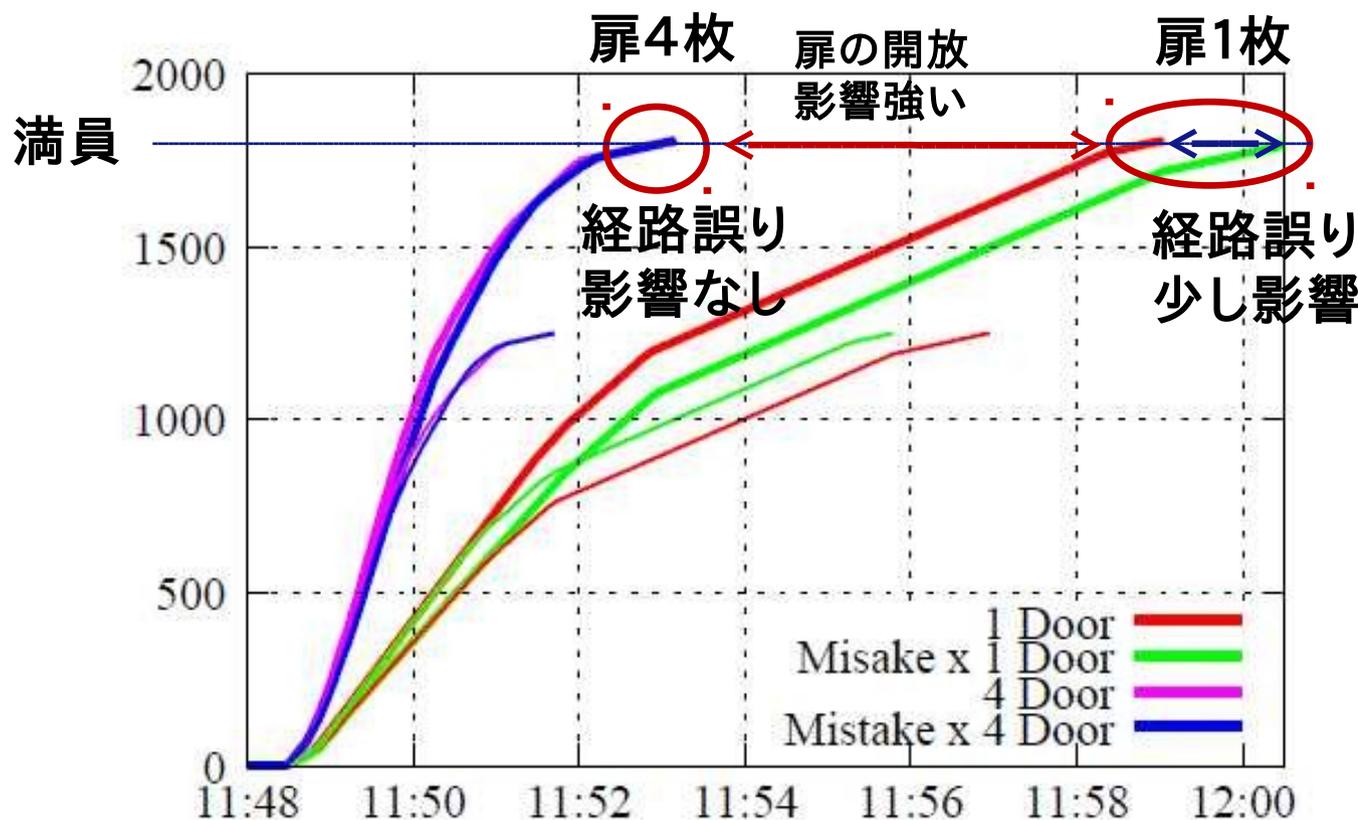
●経路(正解/誤り)×扉(1枚/4枚)×人数(実験/満員)

1300 / 1800

▶合計8通りのシミュレーション

●何が最重要課題か?

▶限られたリソースの配分



失敗の組み合わせ方によって避難時間が大きく変化

# 人々の移動に関するデータ

## ●交通データ

### ▶交通機関の利用実績

#### ■SAVS、タクシー、バス、電車

- ◆課題：紙ベース、手入力、不完全なものが多い。SUICAデータが使えない。

### ▶調査データ

#### ■交通センサス・パーソントリップ調査

- ◆課題：アンケートベース。カバー率が低い。

### ▶プラットフォーム

#### ■ドコモのモバイル空間統計等

- ◆カバー率は高いが詳細を出せない。(個人情報とのからみ)

#### ■Google, Apple。

## ●地図データ、他

### ▶災害対策関連マップ

#### ■電子化が遅れている。

# まとめ

- オンデマンド交通の事例紹介:SAVS
  - ▶ シミュレーションによるサービス設計
  - ▶ MaaSの構成要素として
  - ▶ 実サービスによる人々の移動データ取得と分析
- 災害対策での活用事例
  - ▶ 避難シミュレーション
- 人々の移動に関するデータの分類