

大規模群集流動の制御に向けた シミュレーション環境の構築

産業技術総合研究所 サービス工学研究センター
サービス設計支援技術研究チーム

山下 倫央

(独)科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業
さきがけ「情報環境と人」

INDEX

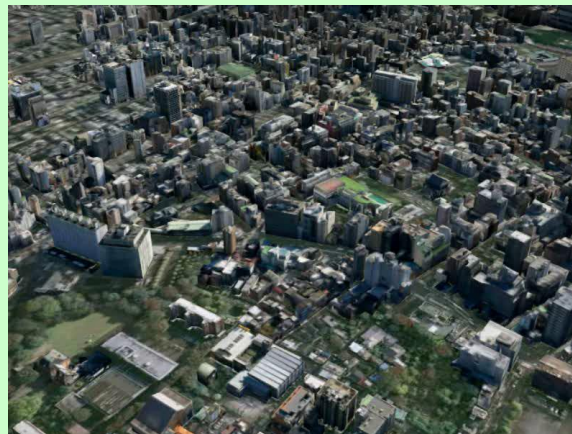
- 研究背景と狙い
- シミュレーション環境の構築
 - 歩行者シミュレータ CrowdWalk
 - シミュレーションコントローラ PRACTIS
- 適用事例の紹介
- 計測事例の紹介

これまでの経緯

- 避難誘導計画の立案支援(内閣官房, 東京都, 北九州市等)
 - 歩行者シミュレータNetMASの開発
 - 一次元人流モデルを実装
 - 従来モデルに比べて最大100倍の計算速度を実現
 - ステレオカメラやRFIDで計測された人流データの利用



避難訓練におけるステレオカメラを用いた人流の計測(北九州)



秋葉原UDX・ダイビルの避難(1万人)と秋葉原駅周辺(1km四方)の避難(1万人)



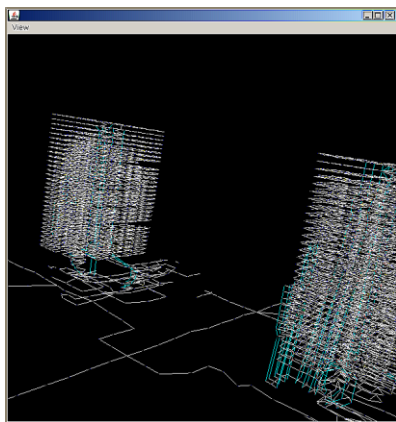
渋谷駅周辺(2.5km四方)の避難(4万人)

- 文科省 安全・安心科学技術プロジェクト「有害危険物質の拡散被害予測と減災対策研究」(2007-2009年度)
- NEDO産業技術研究助成事業「ステレオビジョンとシミュレーション技術の統合による大型複合施設での人流解析と新しいサービスモデルの創出」(2009-2011年度)

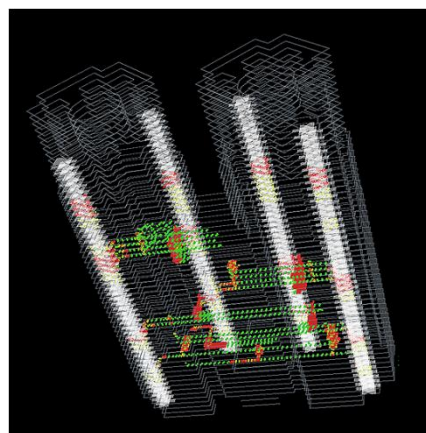
自治体への協力

－ 情報提供

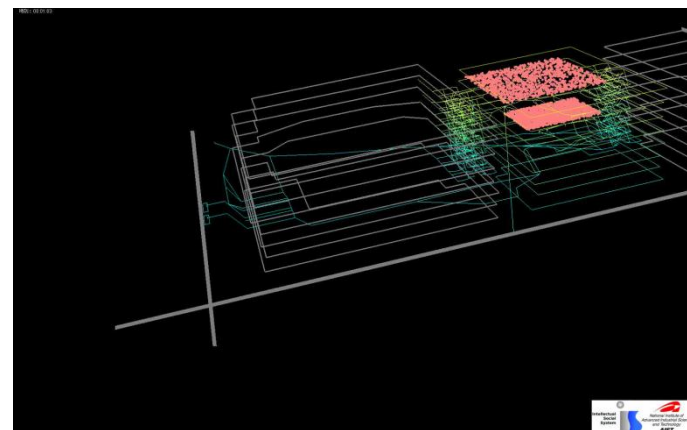
- ・ 東京都:2008年4月 東京都テロ警戒対応訓練
- ・ 北九州市:2008年4月 リバーウォーク北九州避難訓練
- ・ 東京都:2010年3月 東京都 国民保護セミナー
- ・ 千代田区:2011年1月 帰宅困難者避難訓練



丸ビル・新丸ビル



東京都庁舎



東京国際フォーラム

－ 対処訓練支援

- ・ 北九州市:2009年2月 リバーウォーク北九州 実働避難訓練計測
- ・ 北九州市:2009年2月 凶上テロ対処訓練
- ・ 東京都:2009年11月 内閣官房合同凶上訓練
- ・ 東京都:2009年～ 東京都庁舎内の避難

(独)科学技術振興機構 さきがけ

– 若手・中堅の研究者への競争的資金

- » 国の科学技術政策や社会的・経済的ニーズを踏まえ、国が定めた戦略目標の達成に向けた目的志向型の基礎研究を推進する。研究提案を公募により選考し、研究総括のマネジメントのもと、研究総括・領域アドバイザーの助言を得て、同じ研究領域に集まった様々な機関やバックグラウンドの研究者と交流・触発しながら、個人が独立した研究を推進する。
- » <http://www.jst.go.jp/kisoken/presto/>

– 「情報環境と人」2011年度-2014年度に採択

- » <http://www.jst.go.jp/pr/info/info825/besshi2-12.html>
 - 総括 京都大学 石田亨教授

- 課題名

- 「複合階層モデルを用いた都市エリアシミュレーションの開発と利用方法の確立」山下 倫央

- 課題概要

- 本研究では、都市規模の社会現象の高速かつ正確に扱うために、個人の移動や業務プロセスを含む詳細なマイクロモデルと抽象化した数千人規模の挙動を高速に計算するマクロモデルを統計的手法や機械学習によって連結する複合階層モデルを開発します。複合階層モデルを実装した都市エリアシミュレータや網羅的な分析手法を用いて、防災、交通、マーケティングの施策を定量的に評価し、安全・安心で効率的な都市の設計を支援します。

研究の狙い

- 過密する都市
 - 日本
 - 東京首都圏人口3,500万人(世界1位)
 - 人口50万人以上の市:政令指定都市20市+41市
 - 世界
 - 人口100万人以上の都市:1950年80都市 → 現在470都市
- 現象の分析や対策の立案が困難
 - 多くの問題領域:交通、エネルギー、通信、水道
 - 第一段として**群集流動**を取り上げる
- 都市における人の流れのデザイン
 - 都市エリアシミュレータの開発と利用方法の確立
 - 社会システムの円滑化、安定化、最適化の支援

対象とするサービスの位置付け

- 大規模群衆流動

- 非常時: 避難(火災、津波、水害、テロ、etc.)
- 平常時: 雑踏警備(大規模イベント)

- 公共性の高いサービス

- 実施主体:

- 自治体、消防、警察
- 施設管理者、公共交通機関、警備会社

- 特徴

- 安全性や確実性が必要不可欠
 - しかし、市場原理によるブラッシュアップが難しい
- 効率や応用性の向上のための支援が必要

歩行者シミュレーションの課題

- 技術的な課題
 - 大規模な群集流動を扱えない
 - 多数の試行を容易に実行できない
- シミュレーション環境の構築
 - 基本方針:「モデルは軽く、試行は多く」
 - 1試行分は分散処理せずにPC上で稼働
 - 多数の試行を行うことで系の振舞を把握
 - 歩行者シミュレータ CrowdWalk
 - シミュレーションコントローラ PRACTIS

歩行者シミュレータ CrowdWalk 1

特徴

- 計算速度: 実時間の50倍(1,000人規模)
- 津波浸水や気体拡散との連成
- 通常の市販PCで軽快に動作
- マルチプラットフォーム

1. シミュレーションエンジン

- 歩行者数: **最大100万人**
- 一次元空間モデル上に3つの移動モデルを実装
 - 初期設定を変えずに移動モデルのみの切り替え可能
 1. 追従モデル
 2. 密度モデル
 3. 期待密度モデル

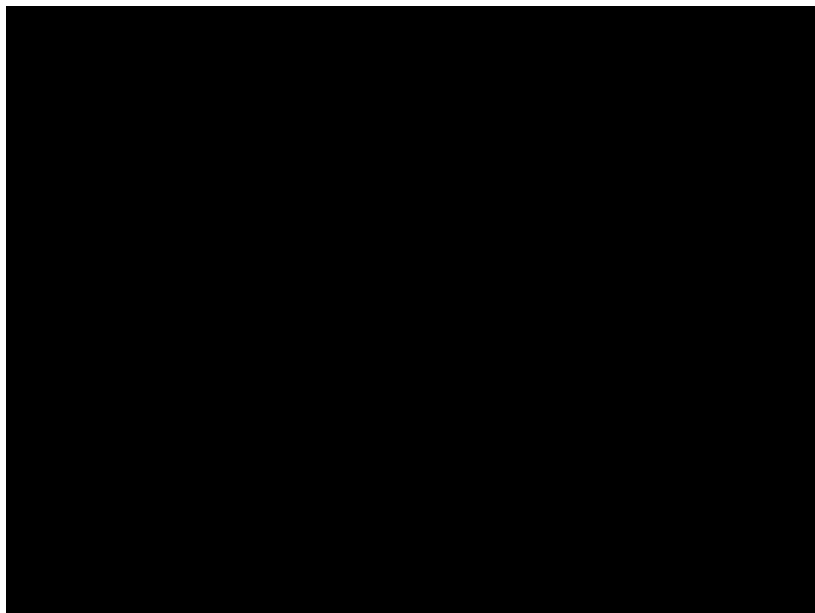
歩行者シミュレータ CrowdWalk 2

2. ネットワークマップエディタ

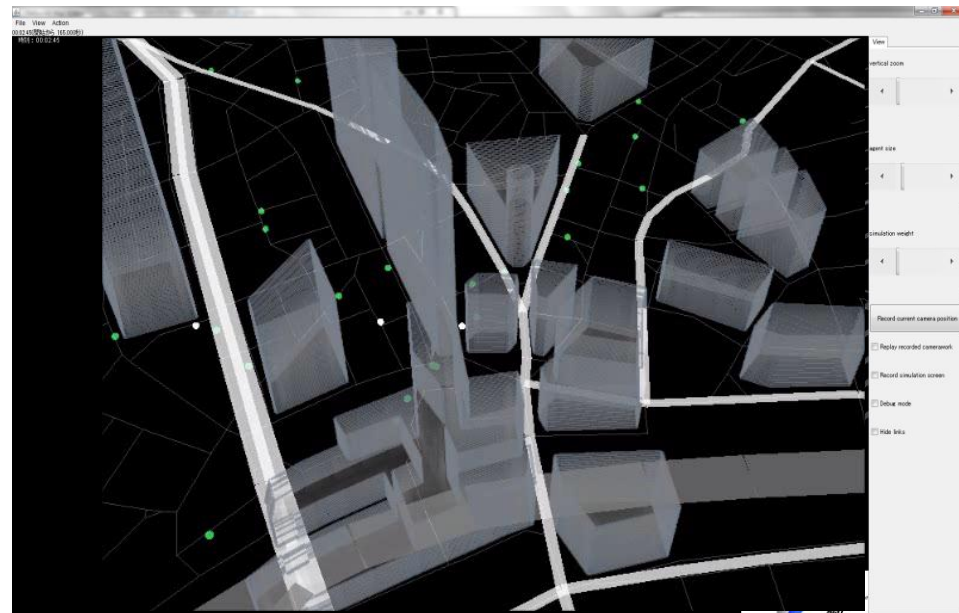
– 空間規模: 最大10km四方

- 道路データのインポート
 - 市販のナビゲーション道路地図
 - Open Street Map

3. 3Dビューア

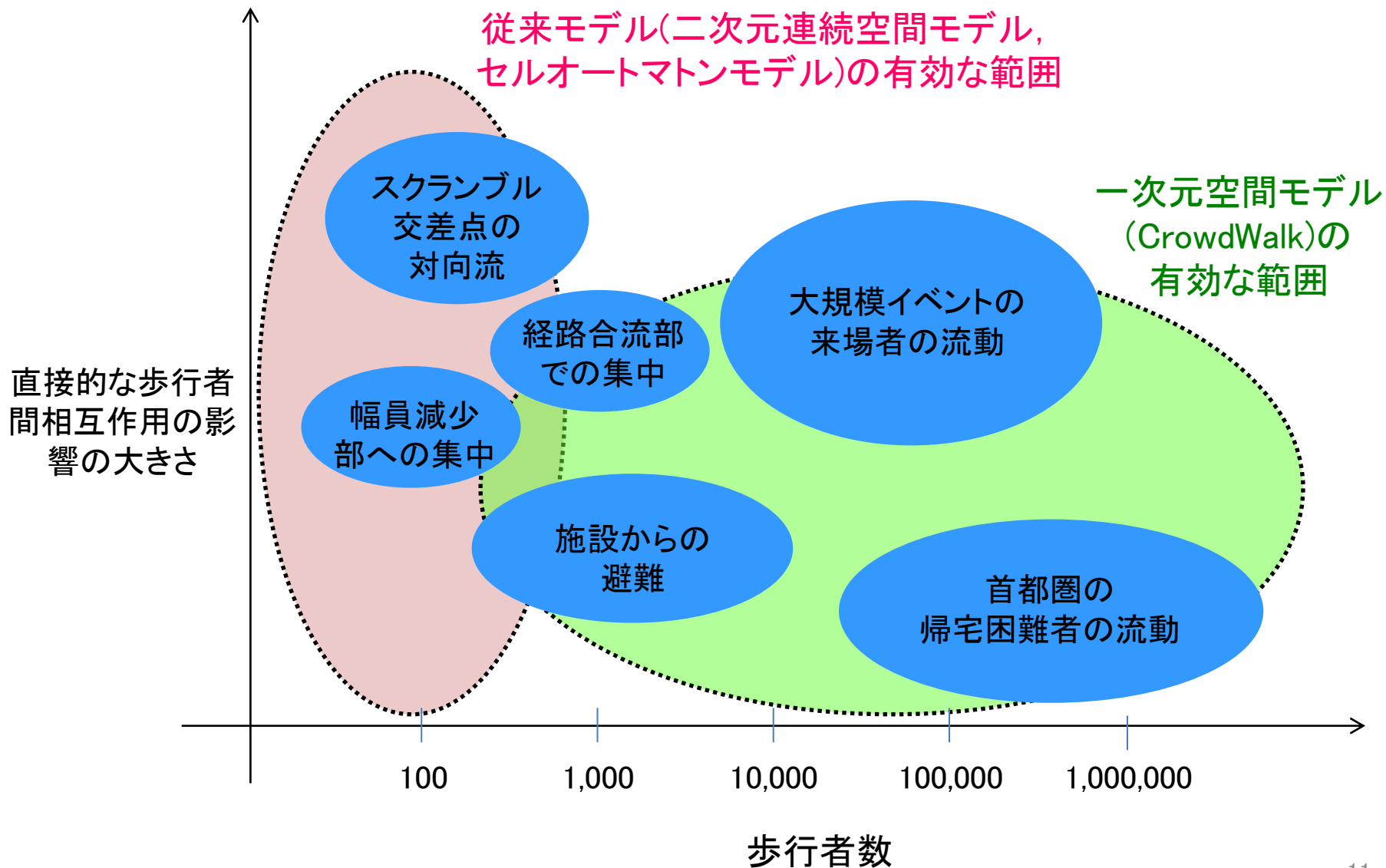


ネットワークマップエディタ



3Dビューア

各空間モデルの有効な対象



シミュレーションコントローラ PRACTIS

- 網羅的分析の狙い

- シミュレーションの正確性の不足

- 「完全な予測」は難しいが大まかな傾向は把握可能

- 対象となるパラメータの全組み合わせを実行

- どのような条件が目的に合うか？

- 目的に合う条件を試行錯誤的に探すのは大変
- 目的に合う条件は一つだけとは限らない



- シミュレーションコントローラ PRACTISの開発

- 対象となるパラメータの選定と変動範囲の設定

- 数万試行を自動実行 → 共通する傾向を抽出

シミュレーションの展開

- 災害対策
 - 首都圏の帰宅困難者誘導
 - 水害避難
 - 津波避難
- 大規模誘導
 - 関門海峡花火大会
 - 隅田川花火大会

環境データとの連成

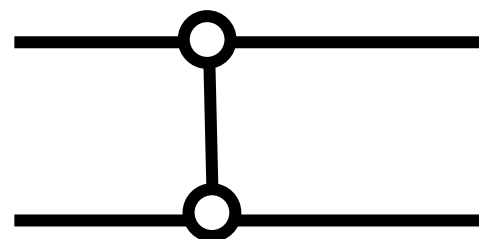
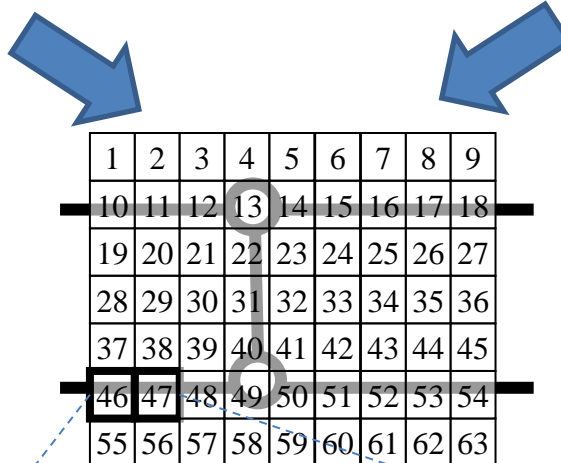
- 津波、水害、有害拡散物質等の影響の反映
 - 各メッシュの対象量の時間変化を記述
 - メッシュサイズは任意に設定可能
 - 各メッシュへの2つ以上の値の割当も可能
 - e.g. 浸水深と流速
 - 各歩行者への影響を算出
 - 瞬間値や積算量に基づく影響を算出
 - e.g. 移動速度の低下、停止

浸水データの影響

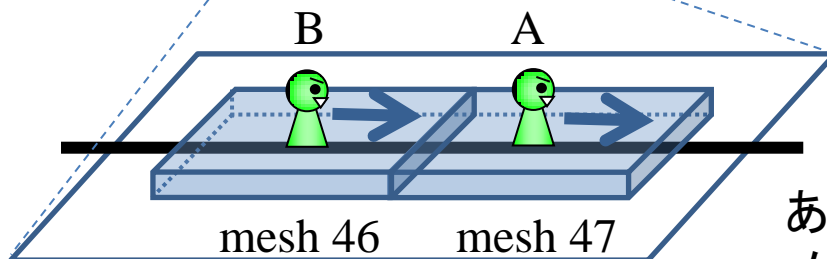
- 浸水データと歩行可能領域の重畳

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45
46	47	48	49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60	61	62	63

メッシュ表現の
浸水エリア

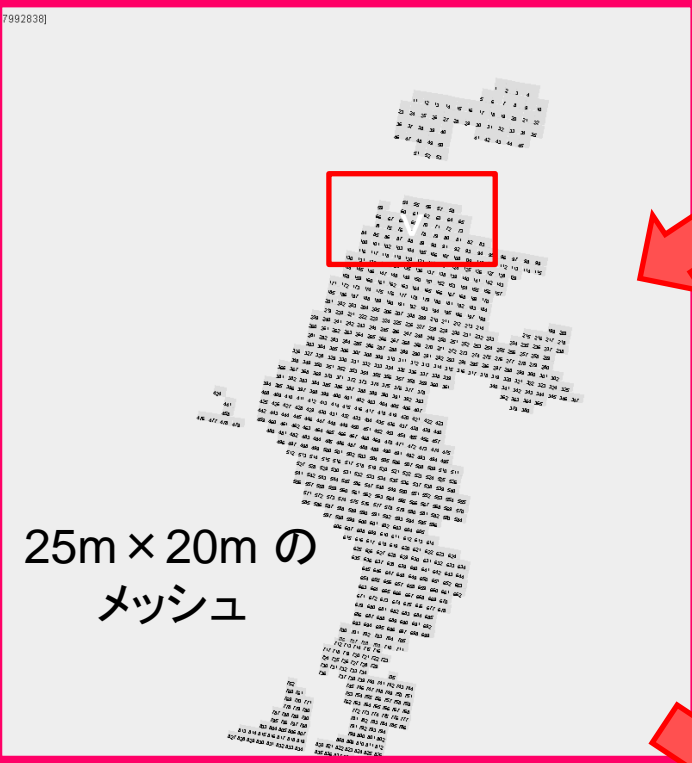


歩行可能領域



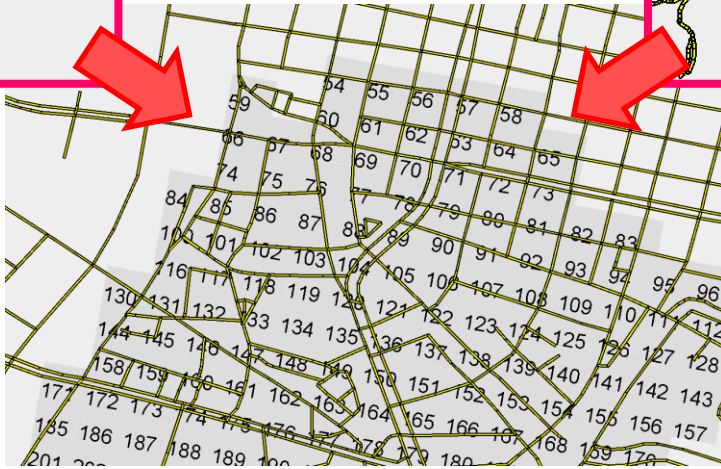
あるメッシュ内にいる歩行者はそのメッシュに与えられた浸水深と流速によって自由流速度が定まる

浸水エリアの実装例



メッシュ表現の
浸水エリア

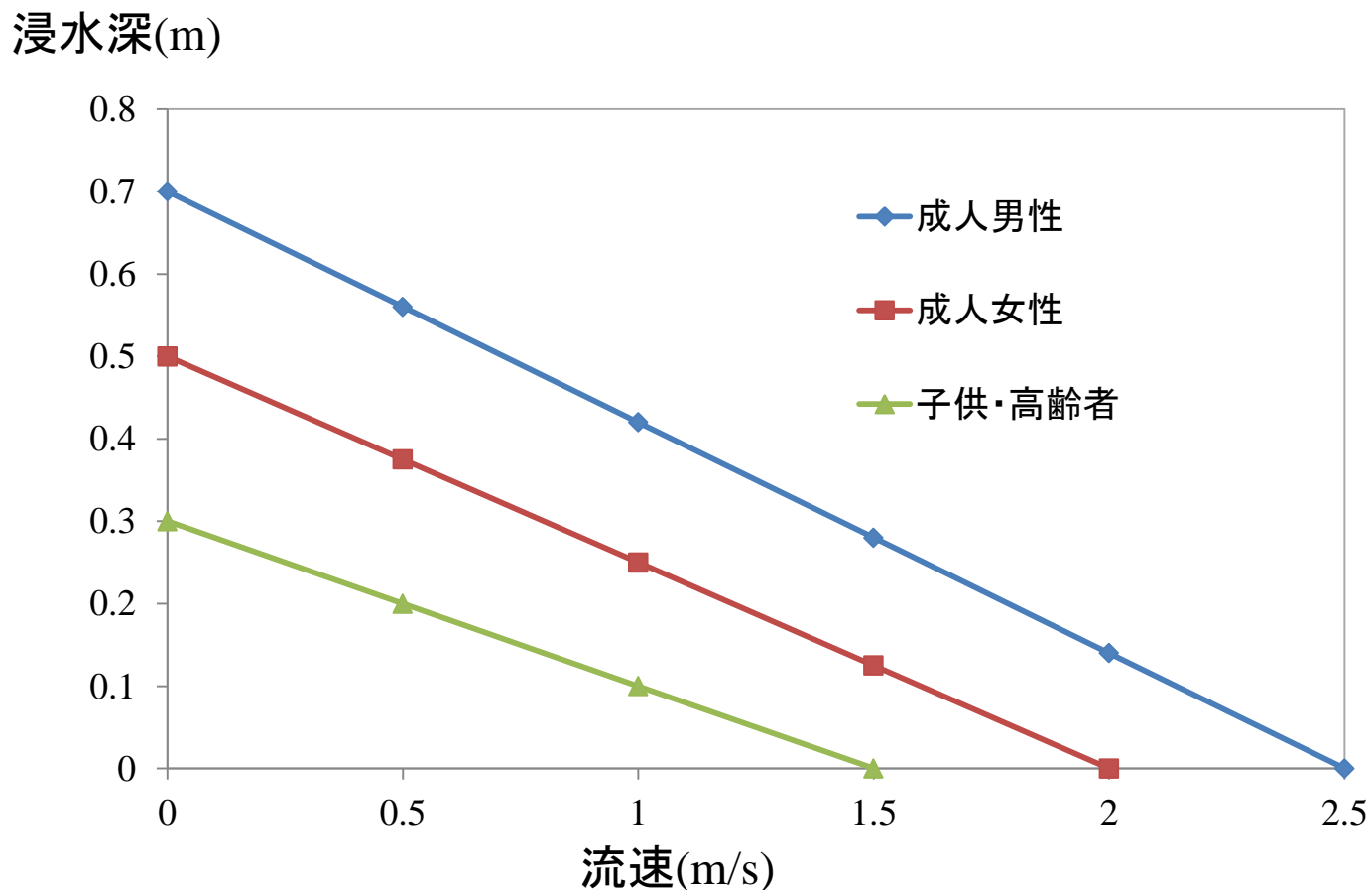
flood.csv に各メッシュの
各時間の浸水深と
流速を記述



歩行可能領域

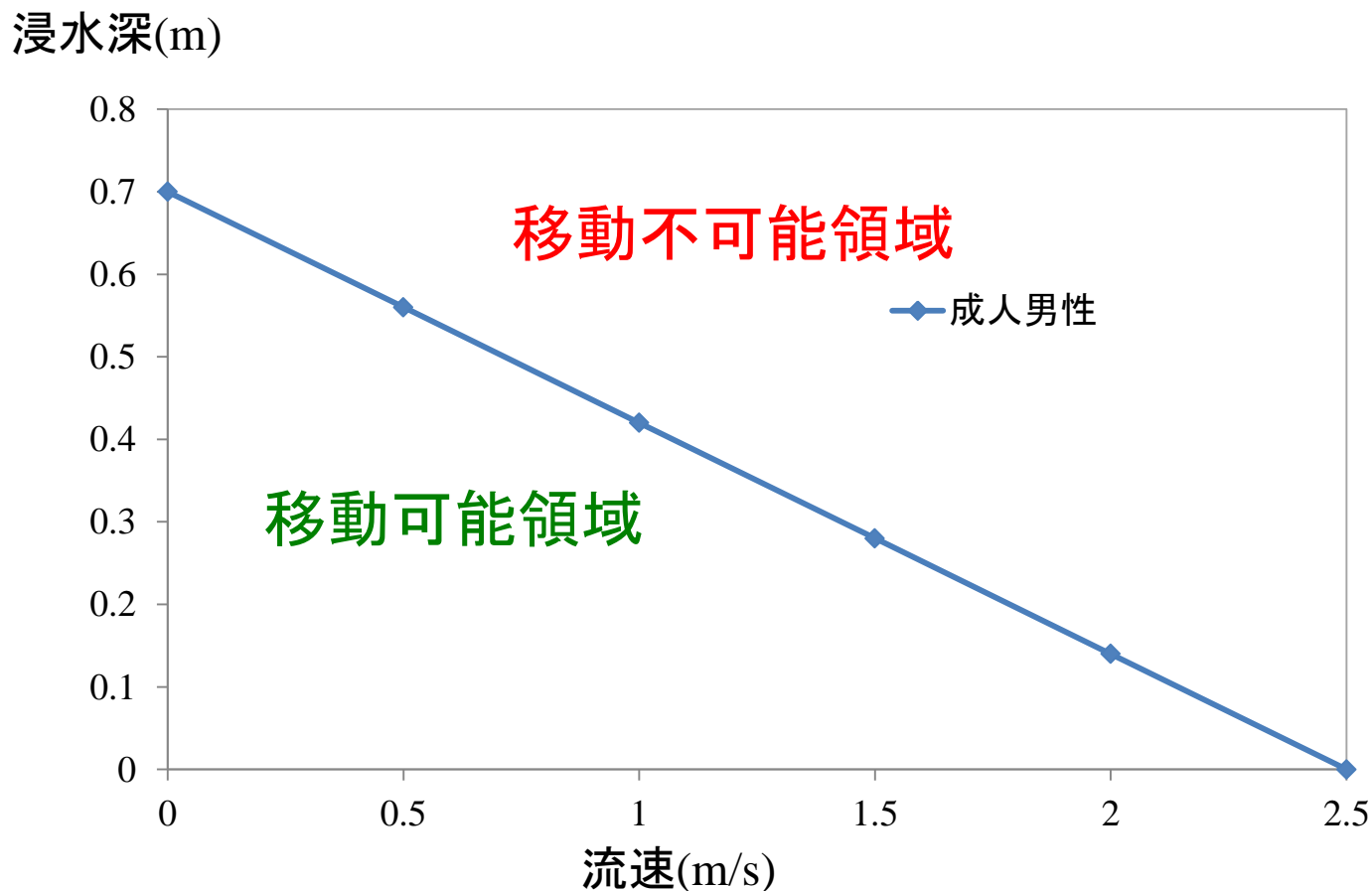
浸水深と流速による自由流速度の減衰モデル

• 浸水深と流速の移動限界



浸水深と流速による自由流速度の減衰モデル

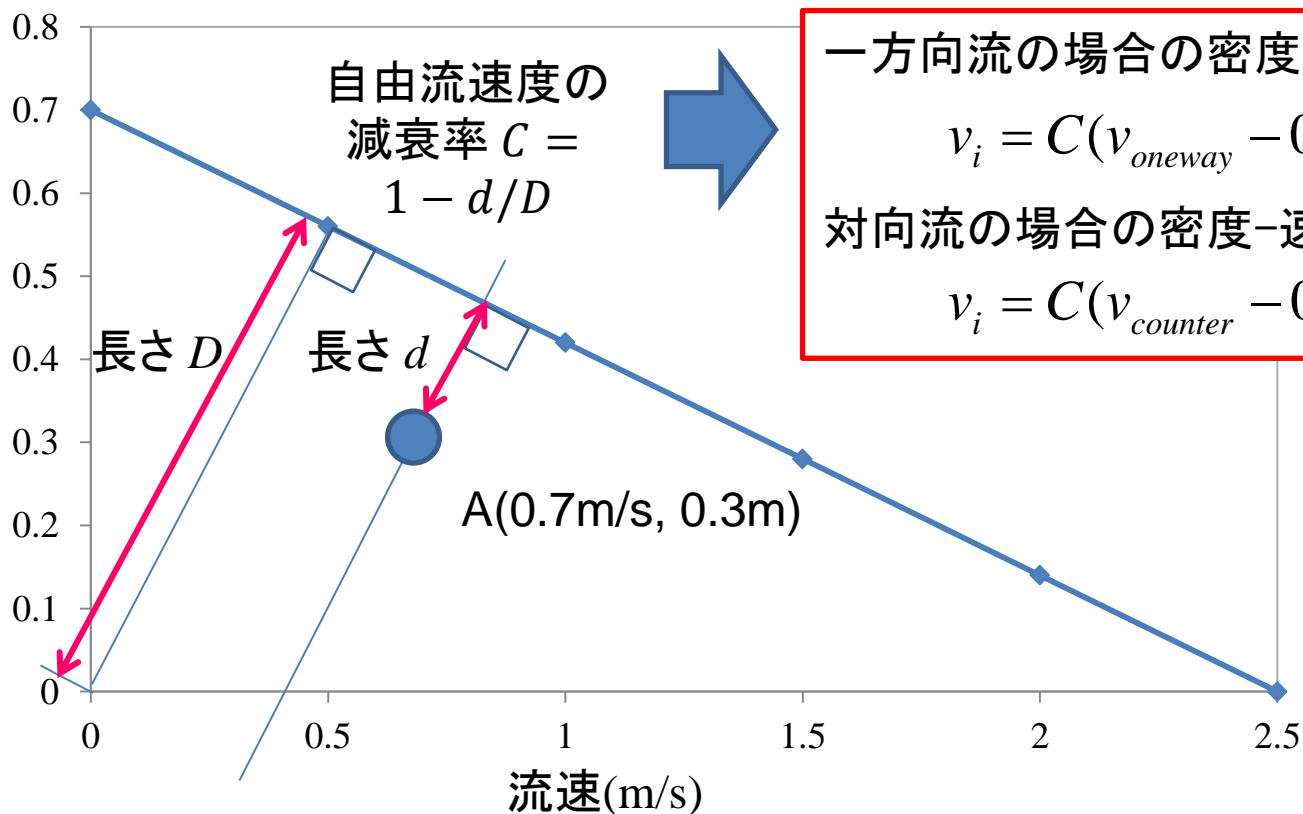
- 浸水深と流速の移動限界



浸水深と流速による自由流速度の減衰モデル

- 浸水深と流速の移動限界

浸水深(m)



一方向流の場合の密度-速度関数

$$v_i = C(v_{oneway} - 0.25\rho_i)$$

対向流の場合の密度-速度関数

$$v_i = C(v_{counter} - 0.476\rho_i)$$

動画：北九州市小倉中心地の浸水

- 平成24年度 消防災科学技術研究推進制度
- 課題名
 - 情報伝達・共有型図上訓練を用いた危機管理体制強化マネジメントプログラム
- 代表
 - 北九州市立大学 加藤 尊秋 准教授
- 参画機関
 - 産総研、北九州市消防局、インフォグラム社
- 概要
 - 組織の情報伝達・共有のネットワークを重視した図上訓練の標準化を行うとともに、訓練の進行を支援する科学的な訓練マネジメント手法を確立し、災害対応時における情報経路を詳細に再現できる危機管理体制強化マネジメントプログラムを開発する。

動画：北千住からの避難

社会的影響の評価

- 帰宅困難者へのPVを含めた情報配信
 - 広域の集中緩和が実現できるか？



- シミュレーションによる検証
 - 対象地区: 渋谷駅周辺地域(3km × 2.5km)
 - 対象者数: 約4万人・1時間の移動
 - 2つのシナリオの比較
 1. 最悪のシナリオ
 - 情報がないので渋谷駅に立ち寄る
 2. 最善のシナリオ
 - 配信された情報に基づいて行動
 - » オフィスに待機、避難所へ移動、帰宅可能な人は帰宅

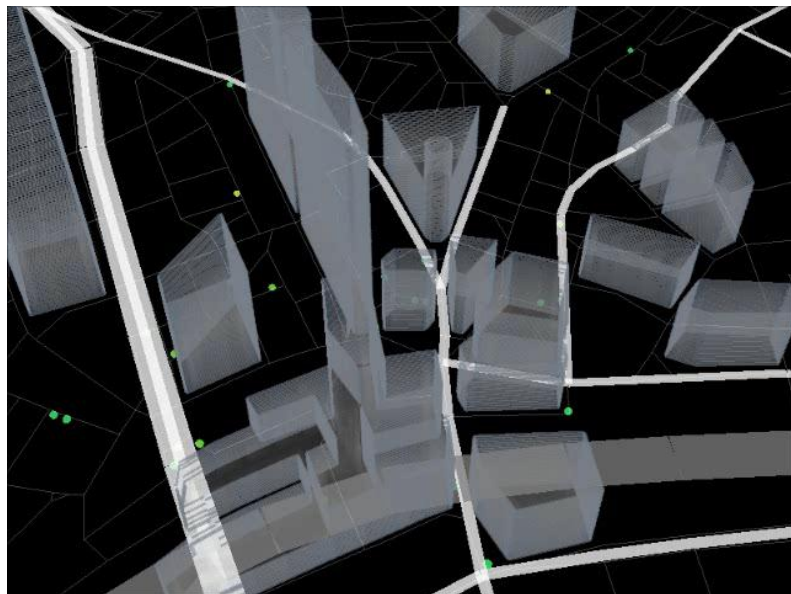
シミュレーション結果

- 混雑の比較

- 帰宅困難者の混雑に対するPVを含めた情報配信の効果の検証

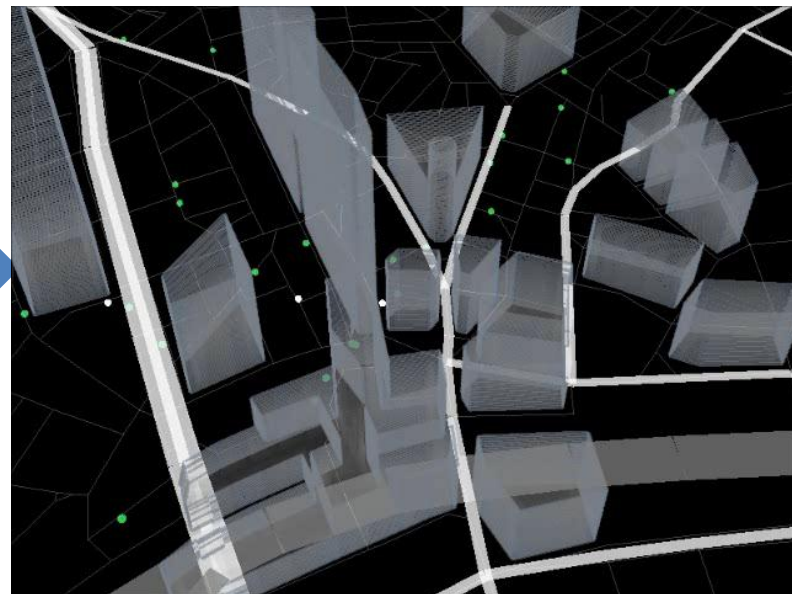
シナリオ1: 全員情報なし

シナリオ2: 全員情報あり



現実はこの二つの間
のどこか
できるだけ右側に!

赤い部分:
混雑



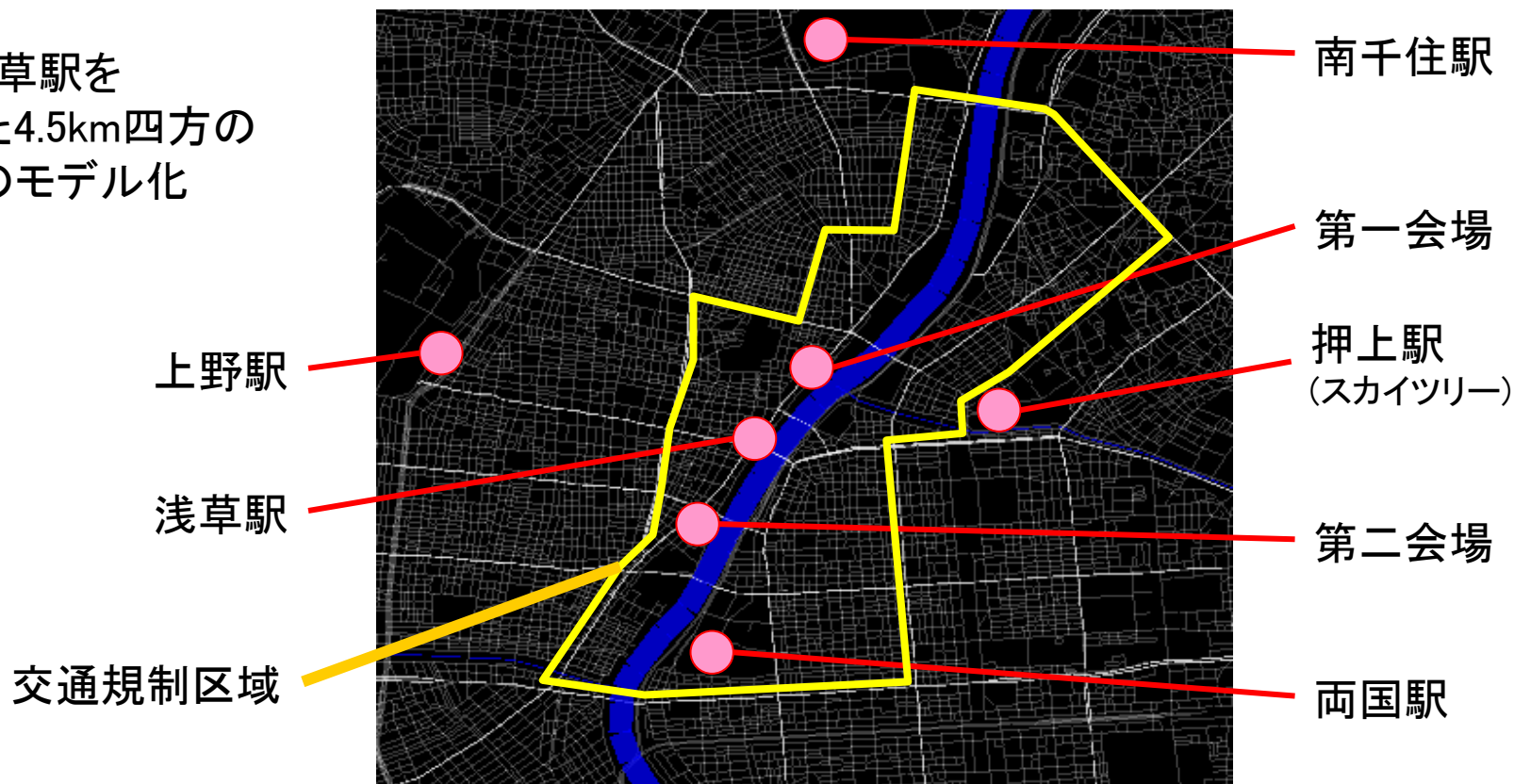
- 実行時間

- 1step の計算に平均約3秒

隅田川花火大会の雑踏警備

- 見物客30万人

浅草駅を
中心とした4.5km四方の
地域のモデル化



隅田川花火大会の雑踏警備



- 実行時間
 - 1step の計算に平均約30秒

計測1 -移動経路の調査-

- 隅田川花火大会(7月28日)における実地調査
 - 花火大会を見物する被験者の移動データの収集
 1. スマートフォンのみ:20人
 - Android端末のGPS機能を利用
 - 通信状況も合わせて計測
 2. ハンディGPSロガーのみ:30人
 3. 1と2の両方:10人
- Web アンケート調査
 - 帰宅後に経路等に関する設問に回答
 - 上記の携帯端末利用者:60人
 - 非保有者:130人

計測1 -移動経路の調査-

- 定性的な観測
 - 混雑発生箇所
 - 浅草駅、スカイツリー周辺
 - 第一、第二会場付近の橋
 - 花火開始～終わりの橋の前の混雑
 - 橋の上はそれほどでもないが…
 - 全く見れなかった人もいるのでは
 - 終了後の混雑
 - 歩道:交通規制解除後に歩道に集中
 - 駅の入口
 - 浅草駅、両国方面(蔵前駅)はそれほどでもない

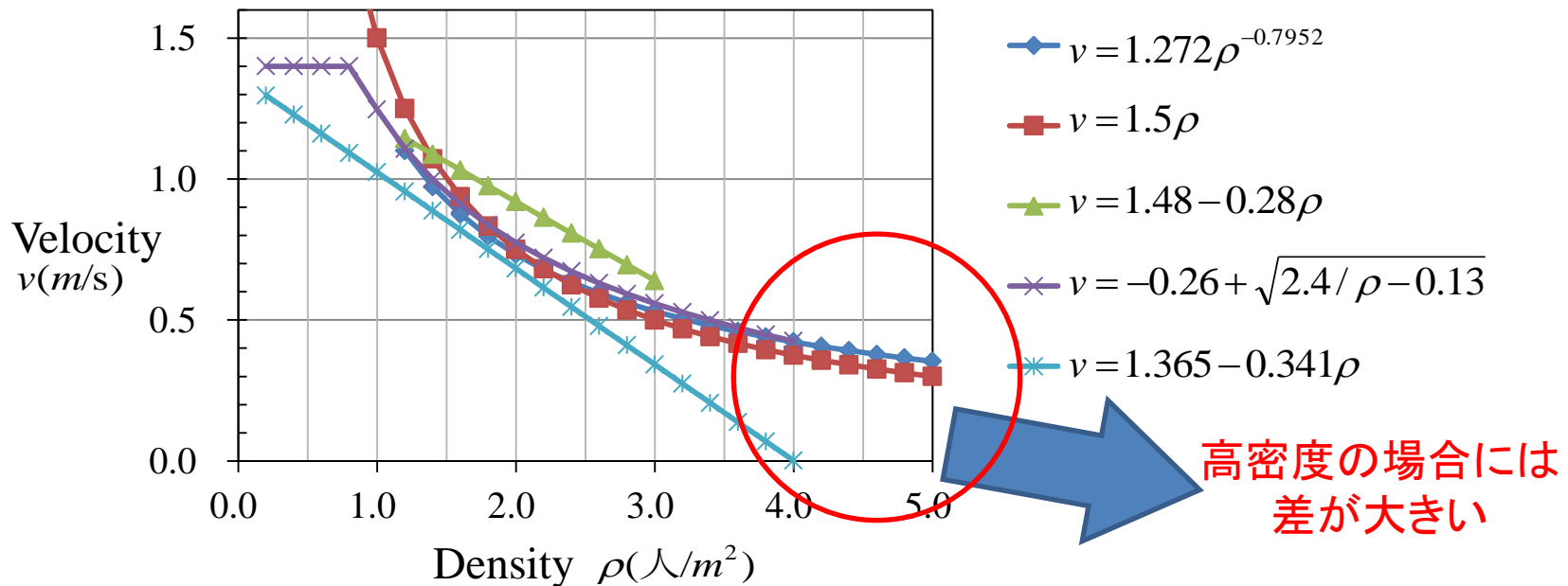


計測2 -高密度下での歩行速度の調査-

• 基礎データの収集

– 高密度時の移動速度・歩行者間距離

従来研究における歩行者密度-速度関数



計測2 -高密度下での歩行速度の調査-

- 関門海峡花火大会(8月13日)における実地調査
 - JR門司港駅の混雑発生箇所の計測
 - ステレオカメラの利用
 - 5m×5mの範囲の歩行者数・位置の計測
 - 混雑状況を見下ろす3箇所に設置

ステレオカメラの利用



計測対象となる混雑状況(今年の画像)

