
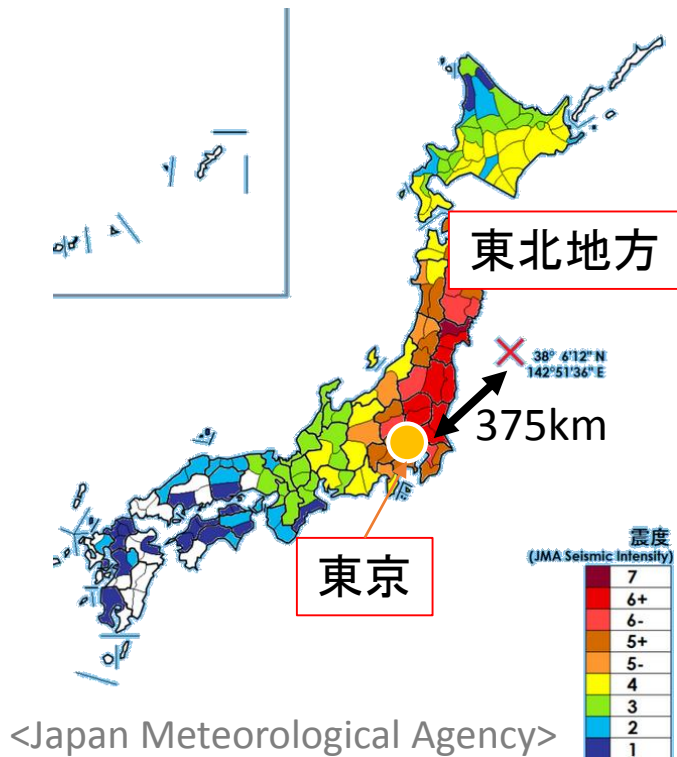


パーティクルフィルタを  
用いた災害時における  
リアルタイムな人流推定手法

矢部貴大、金杉洋、檜山武浩、須藤明人、関本義秀



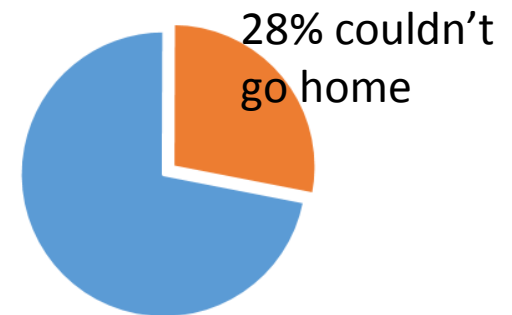
# 東日本大震災による首都圏での混乱



交通網の乱れにより、  
東京では通勤・通学者を中心に  
帰宅困難者が大量に(515万人)発生



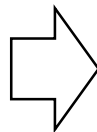
Shibuya Bus Terminal



= 5.15 million people

<Cabinet Office Documents>

災害発生後の  
人々の異常な  
流動



過度な密集  
による負傷者

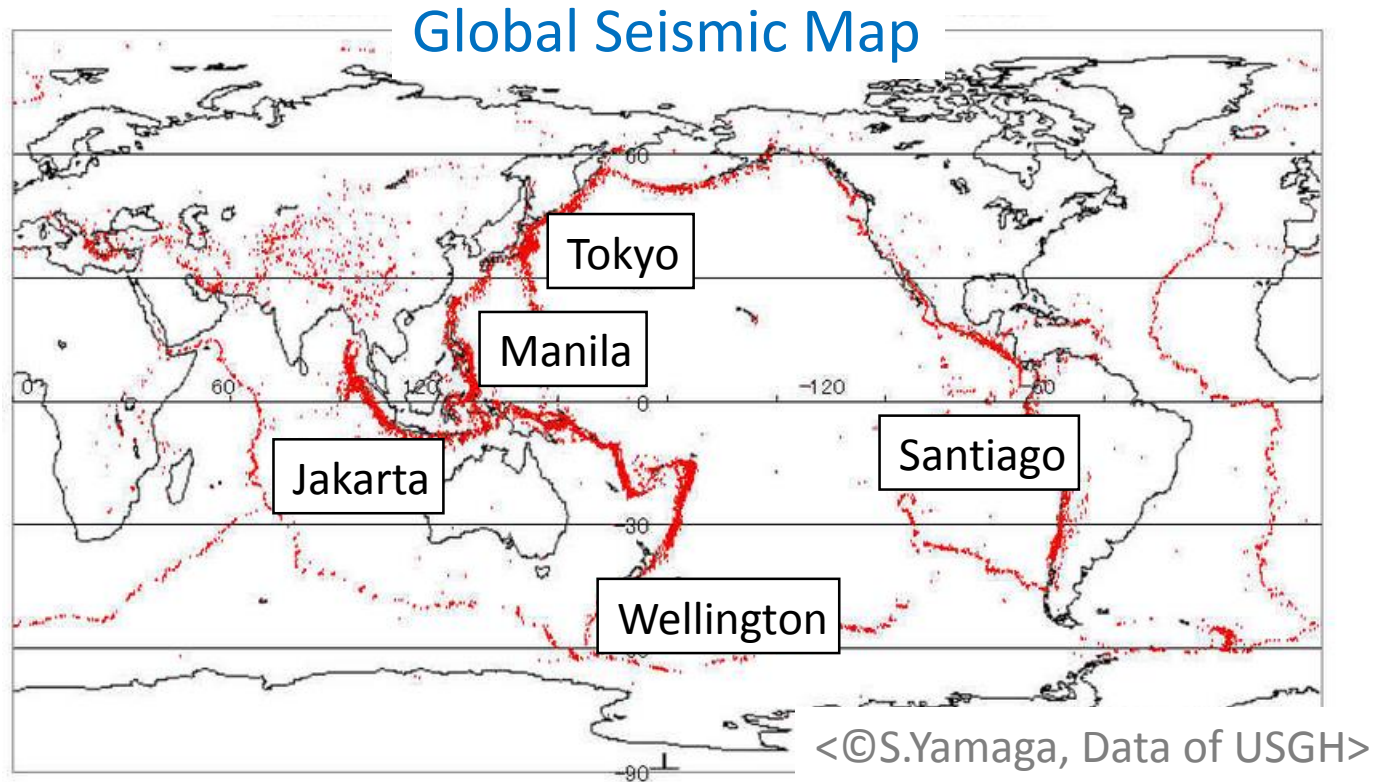


交通網のマヒ  
による救急の遅延



救援物資の  
不適切な分配

# 災害対応力の向上は世界中での課題



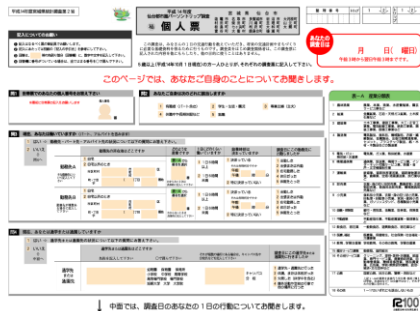
→多数の国・都市にとって災害対応は喫緊の課題

(Nepal 2015, Japan/New Zealand 2011...)

災害発生後、数時間先の人々の流動を「リアルタイム」に推定  
→ 災害対応の意思決定のための有効なデータとして役立つ

# 「平時」の人の流れを推定した既往研究

- Sekimoto *et al.*(2011)

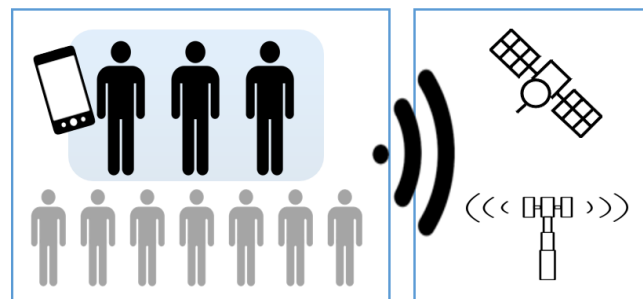


パーソントリップ調査(約2%)  
の全数拡大処理

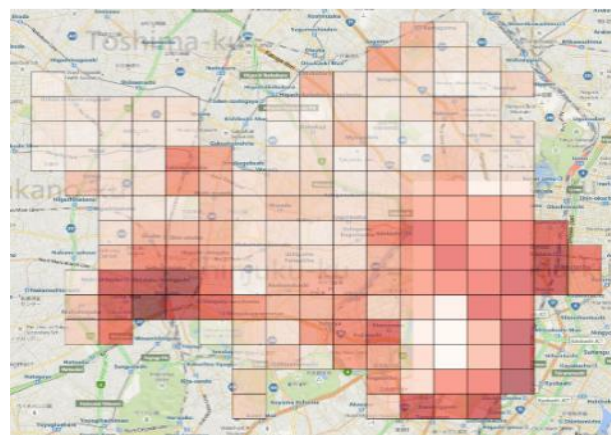


人の流れデータ(東大 関本研究室)

- Zenrin Data Com (Data company)



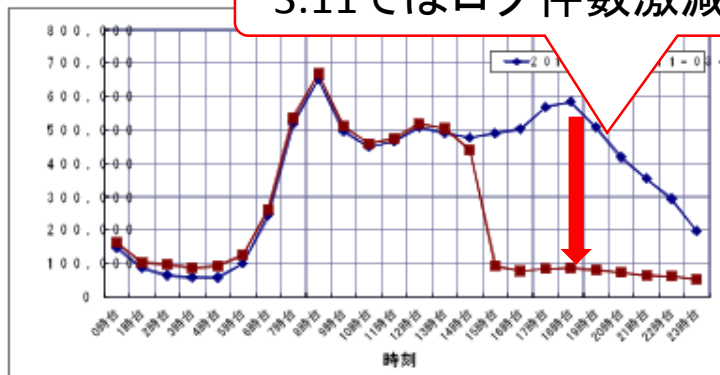
位置情報の提供を許諾したユーザ(0.5%)  
のGPS情報や通信履歴情報



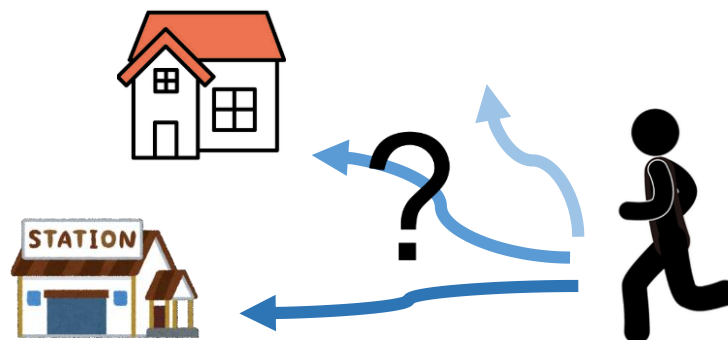
リアルタイムな人口分布データ(混雑統計®)

# 「災害発生時の人の流れ」の推定の課題

3.11ではログ件数激減



蓄積されたデータの不足



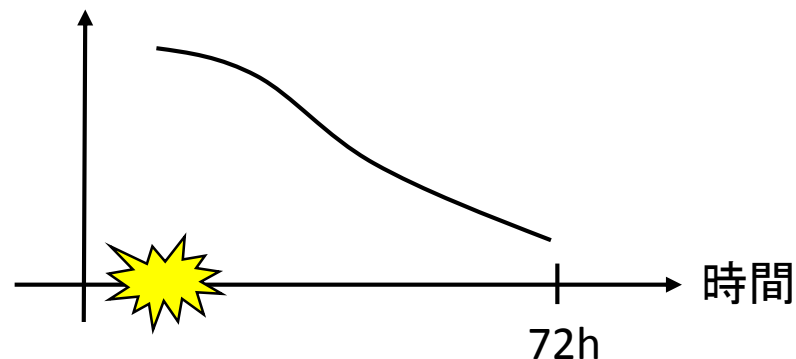
平時と異なる行動パターン

災害の種類・規模・発生場所・  
時間帯の多様性



迅速・real-timeな推定が必要

生存確率



# 「災害発生時」における人の流れを推定した既往研究

災害行動モデルを用いた  
マルチエージェントシミュレーション

大佛 (2008), 宇佐美(2007)

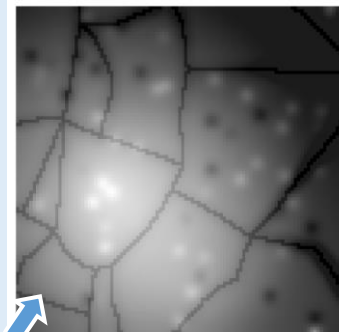
被災者へのアンケート調査

行動パラメータの設定

シミュレーションにより予測

リアルタイムなデータ同化  
による推定精度の向上

Madey (2006), Chen *et al.* (2011)



リアルタイムな  
状況を反映した  
人の流動の  
推定・予測

リアルタイムなデータ  
から作成したポテンシャル面

しかしながら、これらの既往研究は...

事後アンケートが必要なため、  
それぞれの災害に対する臨機応変な  
対応が不可能

ブラックボックスなモデルであるため、  
「なぜ・何のために」このように人々が  
動いているかが分からない

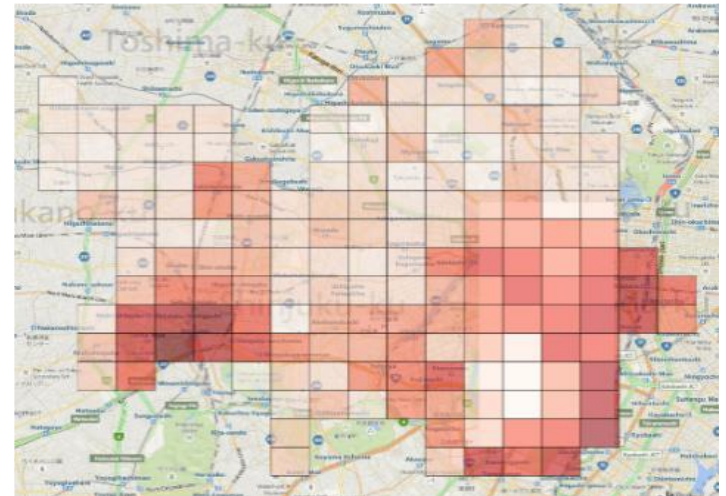
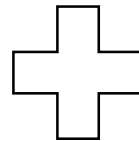
# 本研究の目的

災害発生時、都市圏レベルのスケールにおいて  
数時間先までの人々の分布を推定することは可能か？

By Combining ...



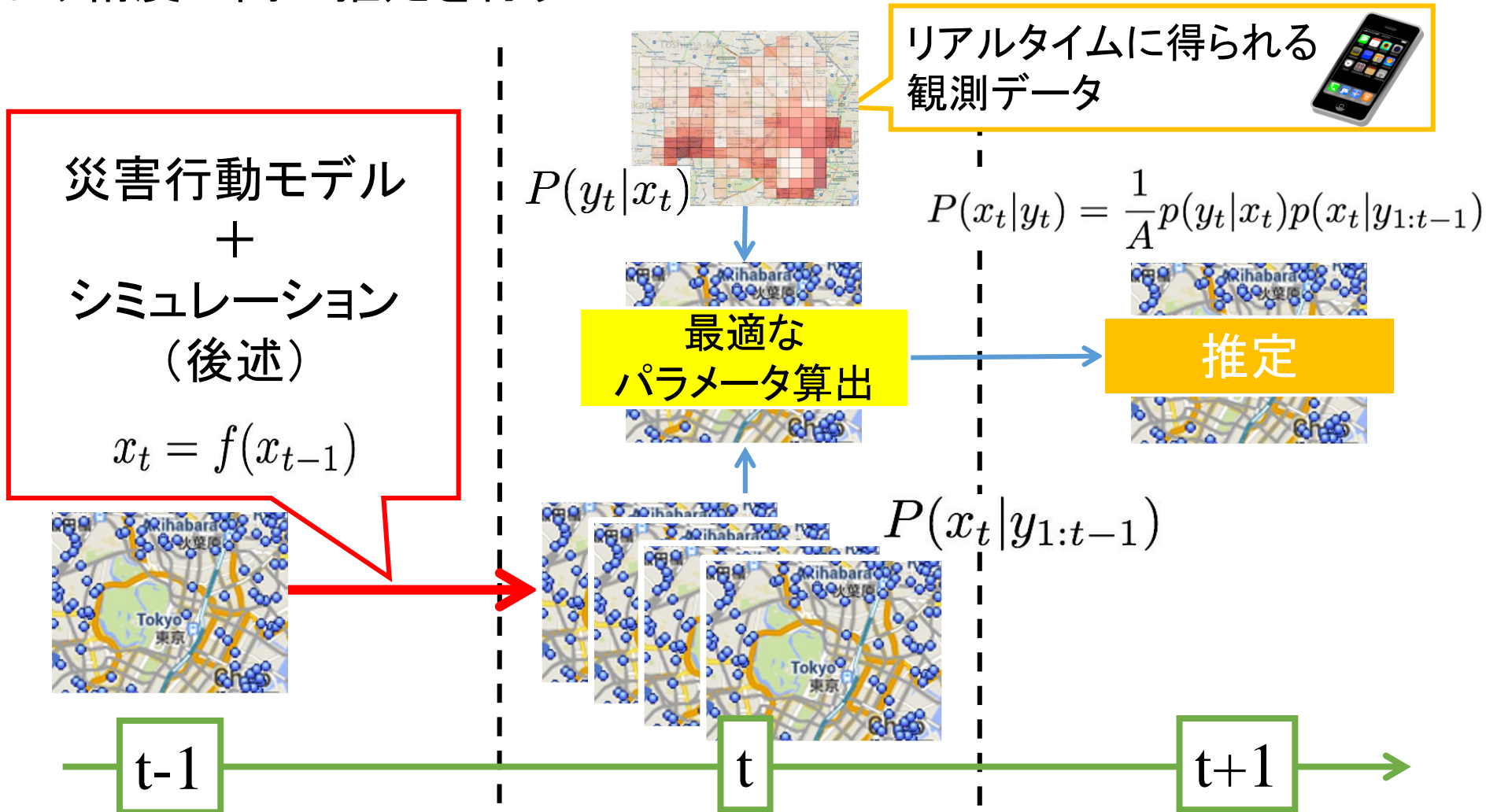
都市圏レベルで提供される  
平時の人々の  
Individualな流動データ



災害時も提供される、  
リアルタイムな  
人々の分布データ

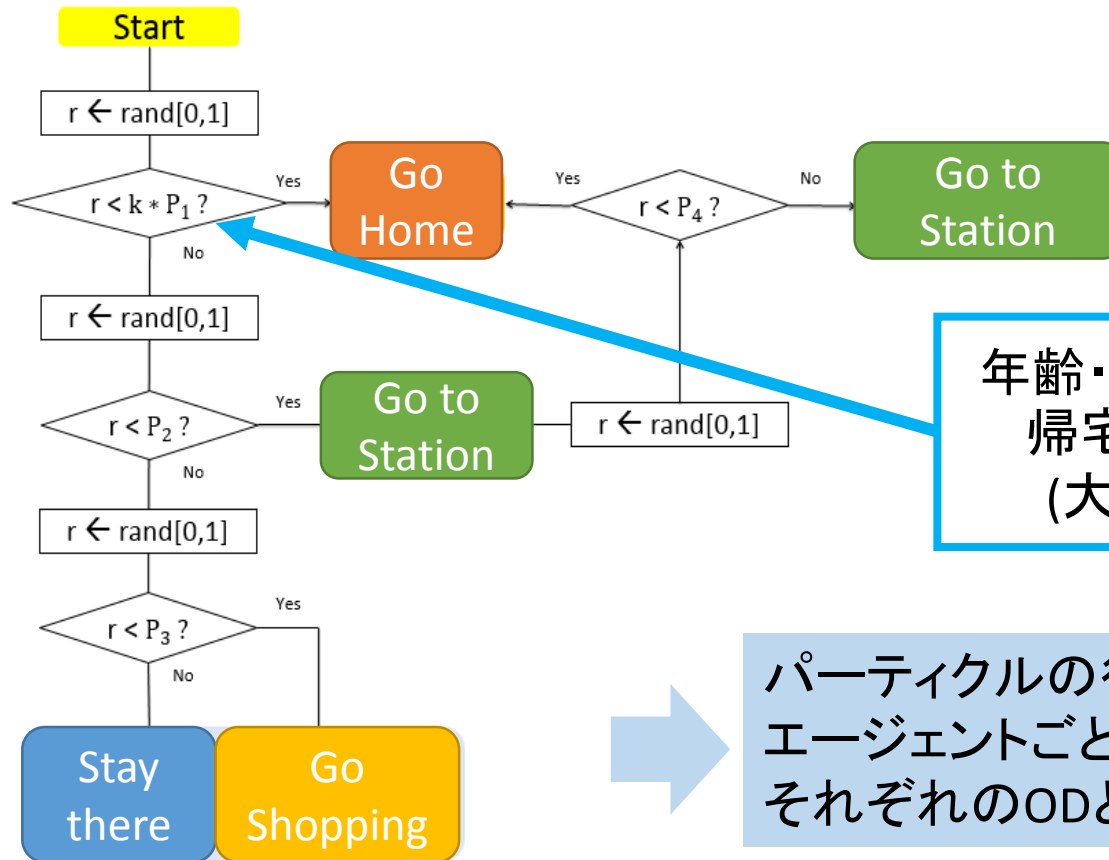
# データ同化の全体図

多数のシミュレーション結果とリアルタイムな観測データを組み合わせ、より精度の高い推定を行う





# 災害行動モデル



年齢・自宅までの距離に応じて、  
帰宅意思率係数 $k$ をかける。  
(大佛,2008)を参考にした。

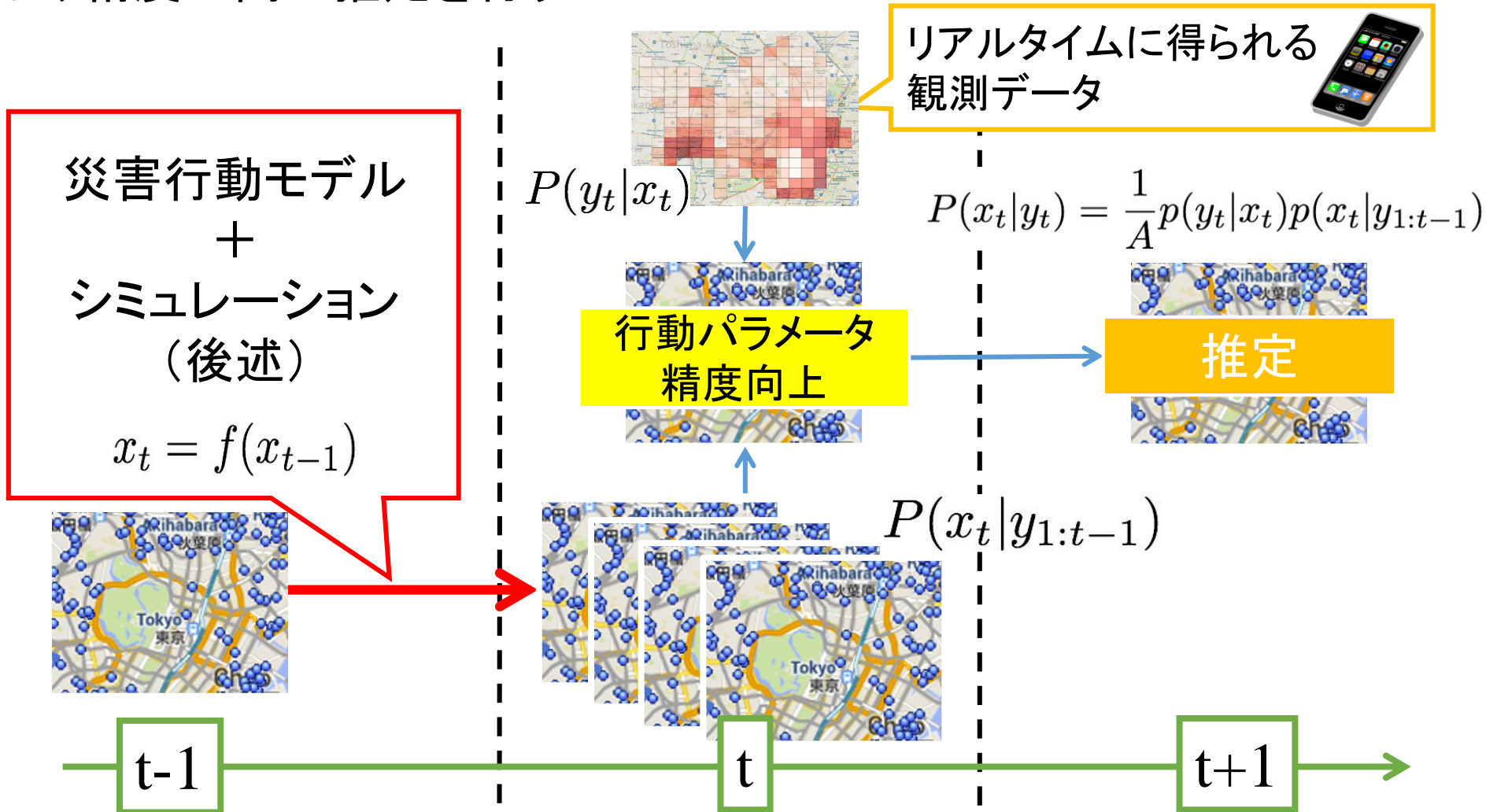
パーティクルの行動パラメータ値と、  
エージェントごとの個人属性に応じて、  
それぞれのODと移動開始時間が決定される

Decision Tree of the Disaster Behavioral Model

- 災害行動モデルは、東日本大震災の被災者へのアンケート調査の結果から構築した(伊藤ら,2013)
- これらの行き先の種類によって、ほとんどの人々の行動を網羅している

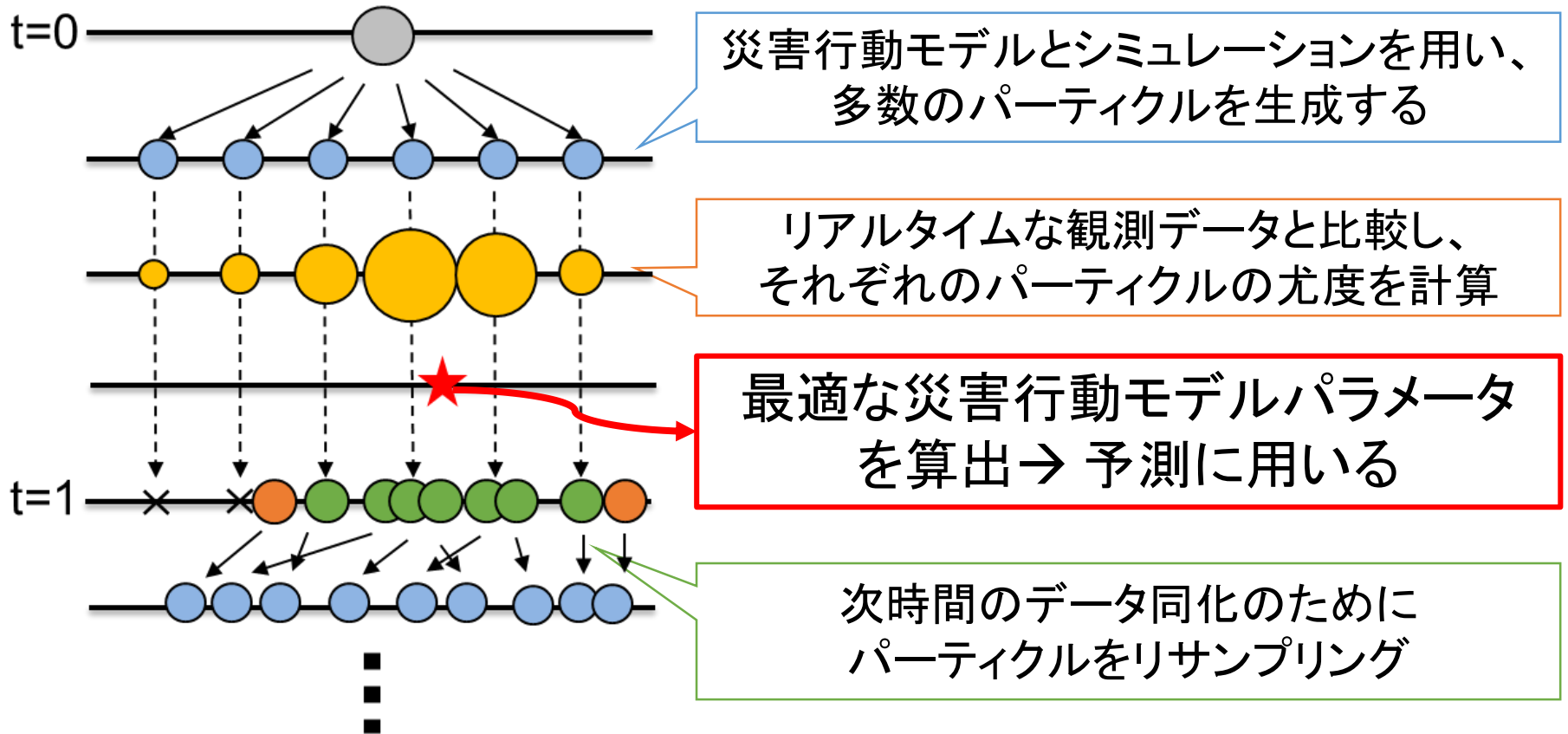
# データ同化の全体図

多数のシミュレーション結果とリアルタイムな観測データを組み合わせ、より精度の高い推定を行う



# 拡張パーティクルフィルタ手法

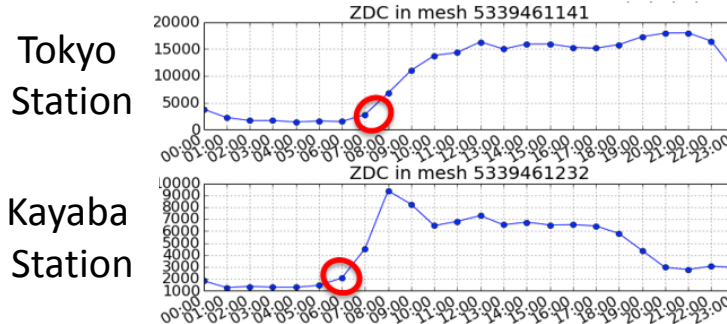
「パーティクル」= 首都圏域における人々の分布シナリオ  
構成要素: {災害行動モデルパラメータ, 全エージェントの位置情報}



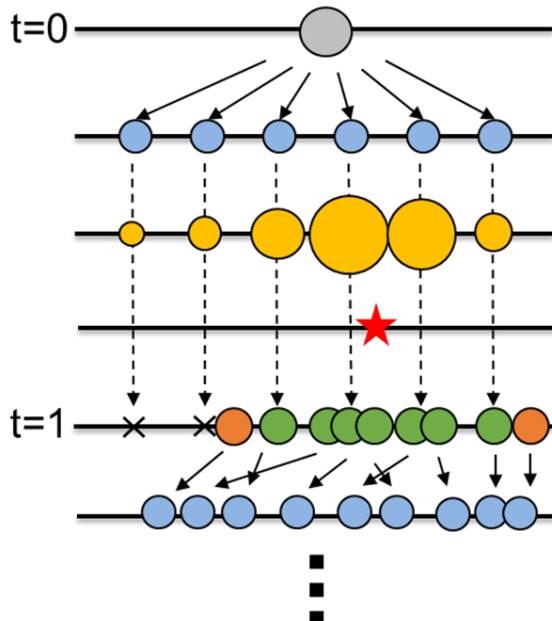
# 拡張PF –人の流れの急激な変化に備える–

## 人の流れの推定に関する問題点

急激な  
人の流れ  
の変化



標準PFでは、行動パラメータ  
の急激な変化を捉えられない  
可能性がある  
→ 補助パーティクルの必要性



パーティクルのリサンプリング時に、

- 補助パーティクルの追加
- 全パーティクルにホワイトノイズを持たせ、ブレを持たせる

→ 人の流れの推定にとっては、  
拡張PFのほうが適している

# *Verification Experiment*

Can we predict the people movement in Metropolitan Tokyo on the day of the Great East Japan earthquake?

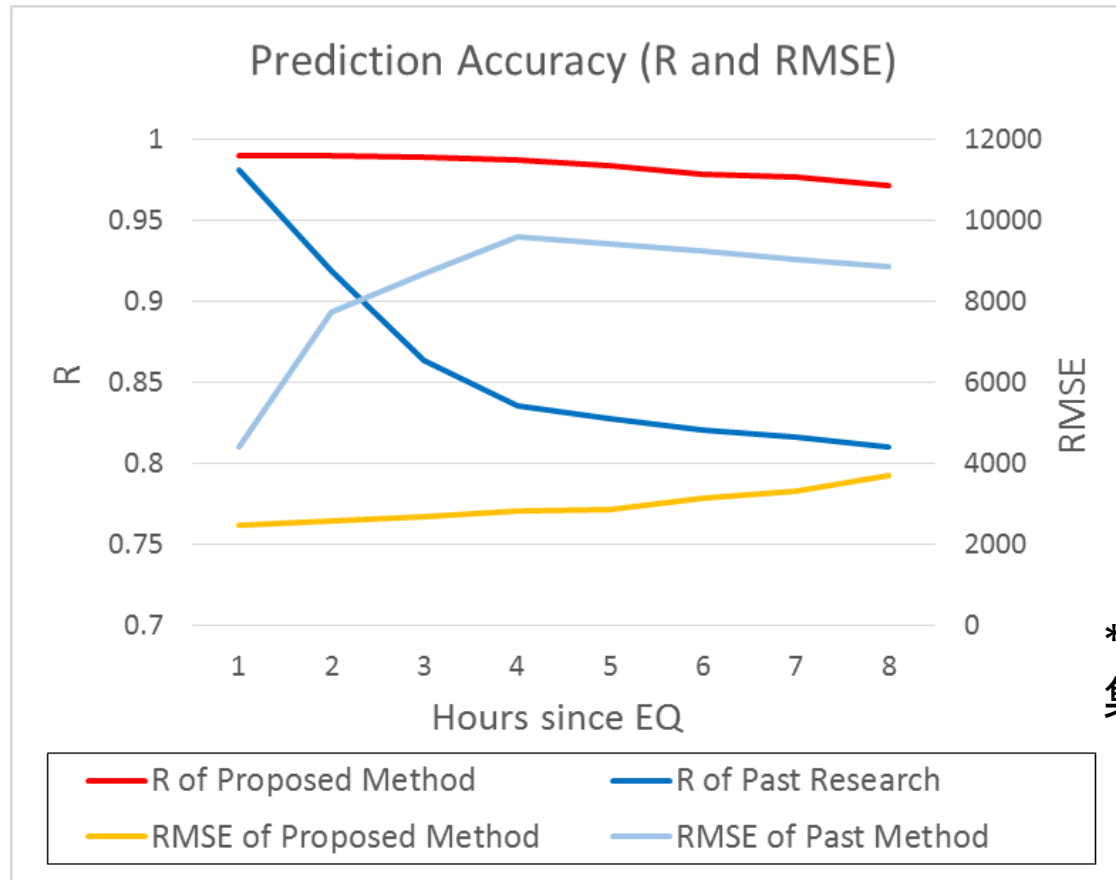
## Experiment Settings

- Occurrence of EQ: 14:47:00 March 11<sup>th</sup> 2011
- Area: Metropolitan Tokyo
- Prediction of people movement until 23:00
- Observation Data: ZDC grid-aggregated Real-Time Data
- Railway: Stopped until 23:00

# Visualization of People Flow on Earthquake Day



# 1時間先の人々の分布の推定精度



\*500mメッシュに  
集計し、計算をした

- 先行研究の結果は、人々の「災害時の行動パターン」のアンケートの結果をそのまま使い、シミュレートをした場合である。
- 東日本大震災発災時のリアルなデータと比較を行い、相関係数・RMSEともに高い精度を保つことができた。

# 震災当日の人々の行動分析

Time	To Home		To Station		Shopping	
	Number of People	%	Number of People	%	Number of People	%
15:47	428950	13.00	31950	0.97	132700	4.02
16:47	304400	9.22	45450	1.38	105200	3.19
17:47	261650	7.93	54300	1.65	91350	2.77
18:47	218300	6.62	69400	2.10	91400	2.77
19:47	204150	6.19	66950	2.03	100700	3.05
20:47	176900	5.36	71800	2.18	114250	3.46
21:47	160500	4.86	75000	2.27	123300	3.74
22:47	139650	4.23	83300	2.52	128850	3.90

- 内閣府による調査と比較すると、その日のうちに帰宅した人々の総数は高い精度で推定を行うことができていることが判る。
- 夜になるにつれて、自宅へ徒歩で帰宅する人々よりも、鉄道の復活を期待し駅へ向かう人が増えていることが判る。震災当日の都心の駅の過剰な密集が再現できた。



# まとめ・今後の課題

---

## Conclusion

- 災害発生時の人の流れを、災害行動シミュレーションとリアルタイムな観測データを用いて推定を行った。
- 人の流れの推定に適した拡張PFを提案し、高精度に推定を行った。
- ✓ 東日本大震災における首都圏での1時間先の人々の分布を高精度で推定することに成功した。
- ✓ White-boxなモデルを用いたことで、高精度で推定を行っただけでなく、「人々がなぜそのように動いたか」という災害対策において有益な情報も得ることができた。

## Future Work

- 台風・津波など、ほかの災害での人の流れを推定することへの拡張
- 災害によって観測データに欠損が生じた際の推定手法
- 500mメッシュでなく、リンクレベルでの高い推定精度

ご清聴ありがとうございました

矢部貴大

東京大学大学院 関本研究室 修士課程1年

yabe0505@iis.u-tokyo.ac.jp