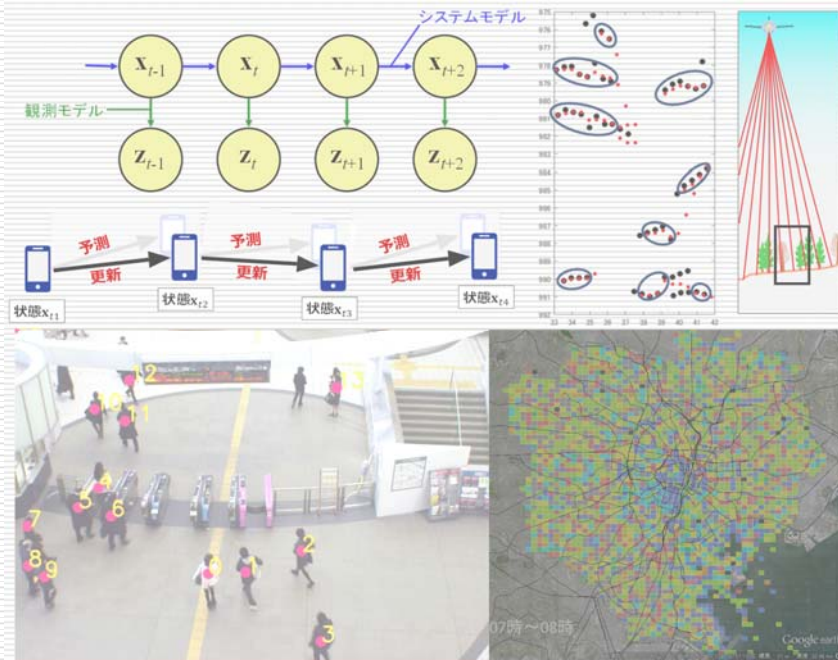


計測・分析技術の進展による 地理空間情報活用の展開



東京大学大学院
工学系研究科
社会基盤学専攻

布施孝志

はじめに

1. G空間社会のサービスにおける多様化

- ・様々なデータの組み合わせ利用が必須
ビッグデータ: 価値は高いが価値密度は低い
- ・多分野において共通となるデータ・技術が必要
- ・共通データの要件: 網羅性, 継続性
- ・入手の容易さ: 無償提供への強い需要

4. 新たなサービスの創出

- ・多様なデータと技術との統合利用
米: ビッグデータ利活用目的に2億\$以上の研究開発資金
- ・オープンデータの潮流
- ・現象理解の結果を他分野でも利用
- ・現状把握+将来予測の重要性
⇒ マイクロメディア, グリーンニューディール

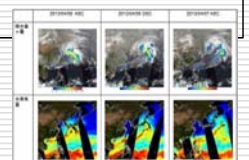
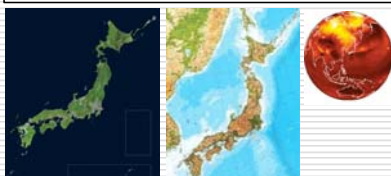


2. 網羅性の確保

- ・インフラ基盤としての地理空間情報の利用
- ・広域情報の同時取得: 任意地点のサービス
- ・基盤情報の作成, シミュレーション開発

3. 継続性の確保

- ・差分情報・モニタリングの重要性
- ・時系列データ: 任意時点のサービス
- ・データ蓄積: モデル構築/検証/学習
実サービスへ



はじめに

- 計測技術の発展: センサの多様化, プラットフォームの多様化
- データ基盤の整備: 静的・動的データ

データ (ほとんどは位置と時間をもつ) ≠ 情報
情報とは: データに加えて, 目的に対する有用性
データの高度な解析 → 判断のための必要な知識



組み合わせの重要性 → 合理的な統合

- データの統合
- データとモデルの統合
- データ生成構造の推定

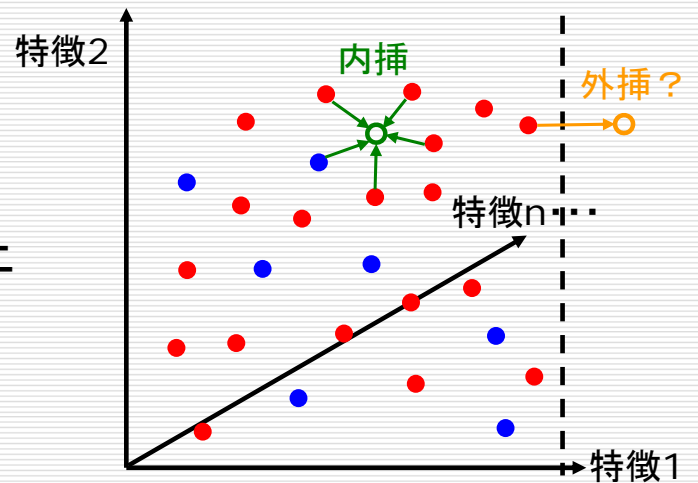


本日の内容

- データとモデルの統合
 - データ統合, データ・モデル統合の基礎理論
 - 計測データからの位置推定
 - モバイルセンサの自己位置推定
 - 波形記録式レーザの物体数・位置の推定
 - 人物動態のモニタリング
 - 群集における人物追跡
 - 都市レベルの人口分布の異常検知

基礎理論

- データ取得・解析環境の進展
- データ量・種類の増加は望ましいものであるが...
 - データ空間の次元の膨張: スパースな(疎な)データ
 - ✓ 「ビッグデータの価値密度は低い」(統計数理研究所長 樋口知之氏)
 - 内挿の世界(帰納的): 疎な空間では低精度, 外挿は?
- シミュレーション(予測モデル)の進展(演繹的)
 - 内挿・外挿の精度向上への期待
- データ同化
 - 観測データと予測モデルの統合による推定精度の向上

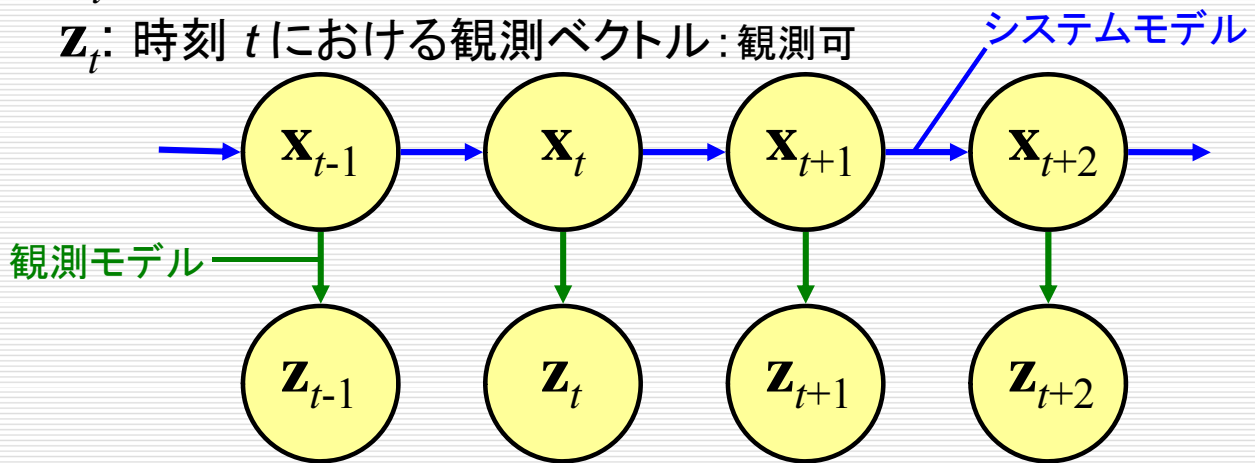


基本的な考え方: 一般状態空間モデル

□ グラフィカル表現

\mathbf{x}_t : 時刻 t における状態ベクトル: 観測不可

\mathbf{z}_t : 時刻 t における観測ベクトル: 観測可



システムモデル $\mathbf{x}_t = f_t(\mathbf{x}_{t-1}, \mathbf{v}_t) \quad \mathbf{x}_t \sim p(\mathbf{x}_t | \mathbf{x}_{t-1})$

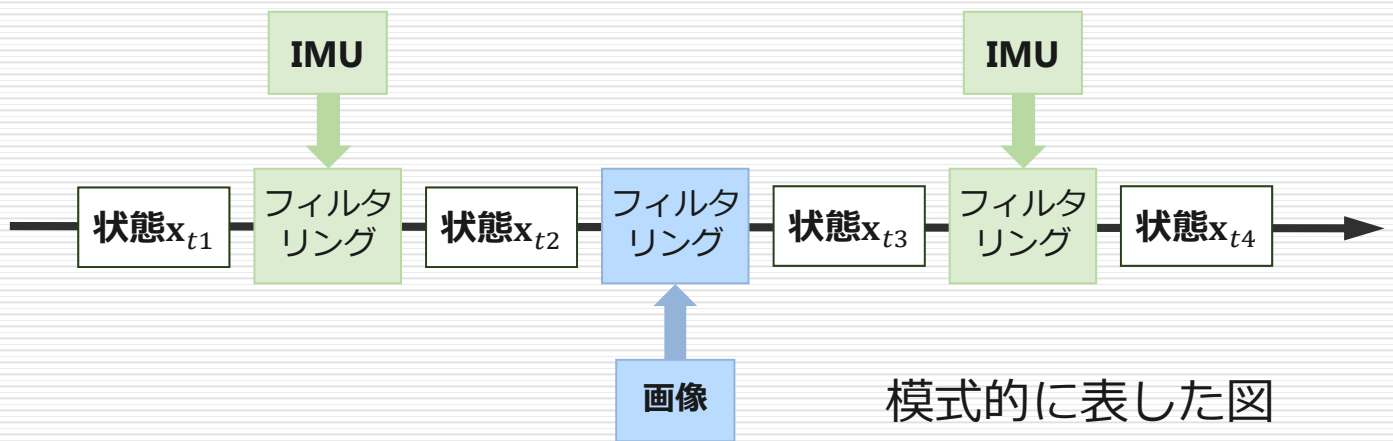
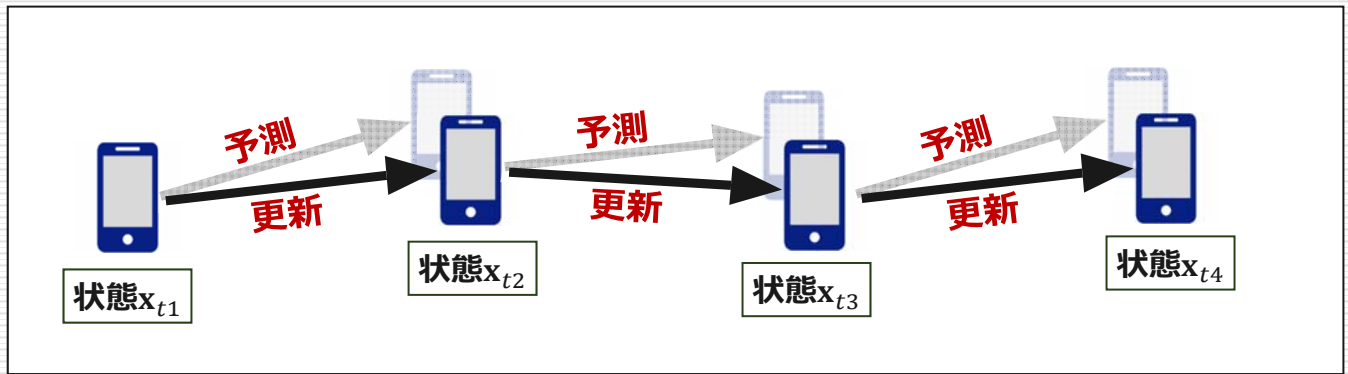
観測モデル $\mathbf{z}_t = h_t(\mathbf{x}_t, \mathbf{w}_t) \quad \mathbf{z}_t \sim p(\mathbf{z}_t | \mathbf{x}_t)$

事後確率最大化基準の下, 最適な状態ベクトルを推定

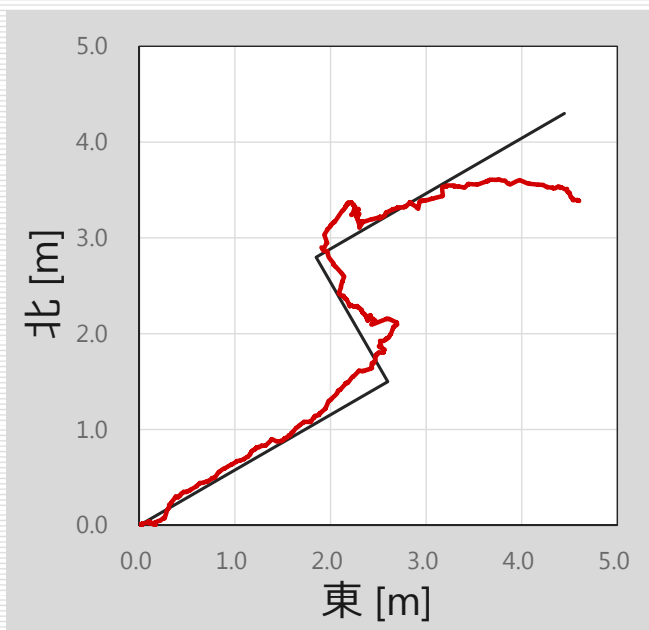
: MAP推定

$p(\mathbf{x}_t | \mathbf{z}_{1:t}) \rightarrow \max. \quad \longrightarrow \text{optimal } \mathbf{x}_t$

モバイルセンサの自己位置推定



適用結果



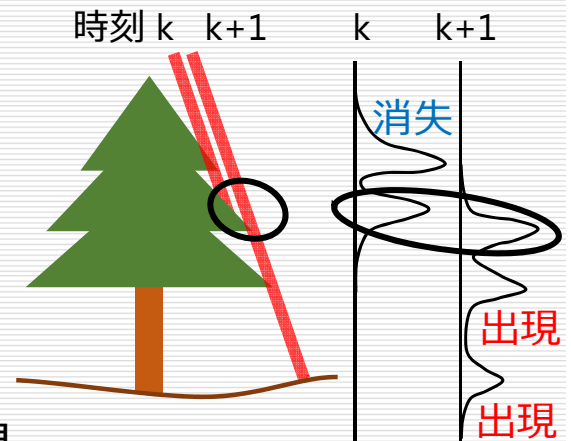
- 実際の経路
- 提案手法の適用結果

全長7.5m の経路において **平均誤差 約40cm**

➡ 既存手法と比べて大幅な精度向上

波形記録式レーザの物体数・位置の推定

- 単一の照射であっても
地物からの反射/ノイズの識別が必要
- ある地物位置から
近傍の地物位置に関して予測が可能
 - スキャニングデータの連続性を考慮
- 波形データ → 地物数・位置の推定
= 時系列フィルタリング問題
 - 条件: 地物の**消失**・**出現**の適切な表現

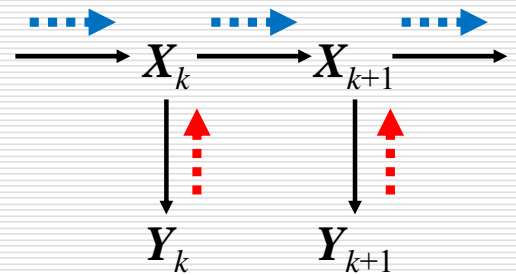


目的

時系列フィルタリングの枠組みを援用して
波形記録式航空レーザスキャナから得られたデータから
地物数と位置を同時推定する手法を開発する

PHDフィルタ

- **1期先予測**
地物の残存・消失・出現の表現
(地物数 増減あり)
- **フィルタリング**
地物の検出・未検出・誤検出の表現
(減衰・遮蔽あり, ノイズあり)



1期先予測

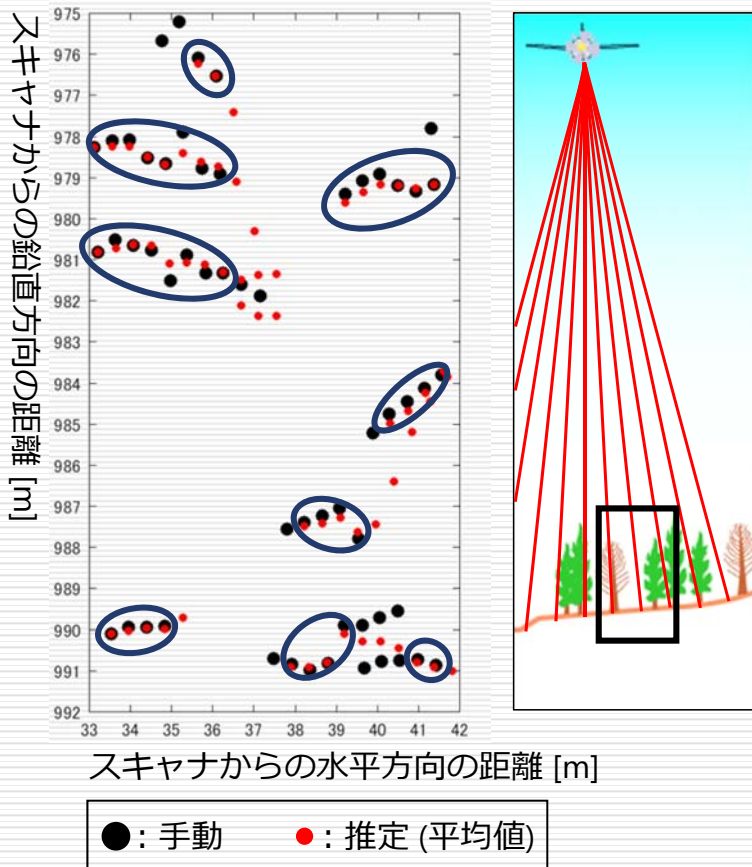
$$D(x_k | Y_{1:k-1}) = \underbrace{p_S \int p(x_k | x_{k-1}) D(x_{k-1} | Y_{1:k-1}) dx_{k-1}}_{\text{残存・消失}} + \underbrace{D_B(x_k)}_{\text{出現}}$$

フィルタリング

$$D(x_k | Y_{1:k}) = \left\{ \underbrace{(1 - p_D)}_{\text{未検出}} + \underbrace{p_D \sum_{y \in Y_k} \left[\frac{p(y|x)}{\mu_C p_C(y)} + p_D \langle p(y|\cdot), D(\cdot | Y_{1:k-1}) \rangle \right]}_{\text{検出}} \right\} D(x_k | Y_{1:k-1})$$

誤検出

適用結果



□ 推定結果 (平均値) と手動で求めた地物位置を重ね合わせ

○ 手動と推定のh座標の差: 0.5m 以内

群集における人物追跡

人物相互のオクルージョンが発生する状況下における複数人物の追跡可能性の検討

具体的には...

画像認識手法において主に用いられてきた
色情報

オクルージョンにロバストな
距離情報

人物の挙動特性を表現した
挙動モデル

**統合
= データ同化**

人物追跡の基礎手法の適用可能性を検討

人物の動態認識手法

□ 推定したい状態

- 人物の位置・形状(楕円体近似): $\mathbf{x}_t = (x_p, y_p, z_p, w_p, h_p, d_t)$

□ 観測

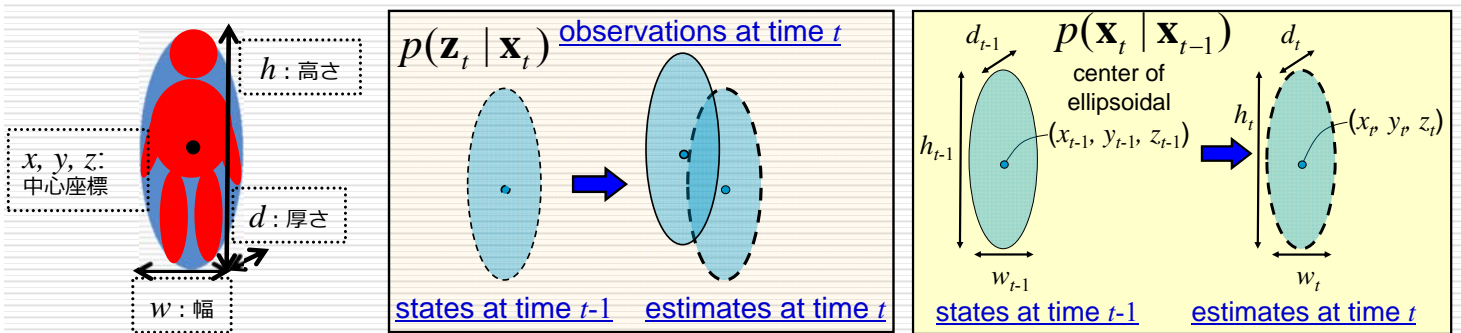
- 距離動画の色・3次元座標: $\mathbf{z}_t = (r_{ij,p}, g_{ij,p}, b_{ij,p}, X_{ij,p}, Y_{ij,p}, Z_{ij,t})$

□ システムモデル(シミュレーション)

- 歩行者挙動モデル: 離散選択モデル(Robin et al. (2009))

□ 観測モデル

- 人物の存在確率: 色分布の類似度, 楕円体形状の類似度



適用結果 - 歩行者挙動モデルの効果

方向転換・遮蔽・近接に対応



t=30



t=35



t=40



t=45

都市レベルの人口分布の異常検知

□ GPSログデータ

- 大規模かつ高時間分解能での人物移動データの取得が可能

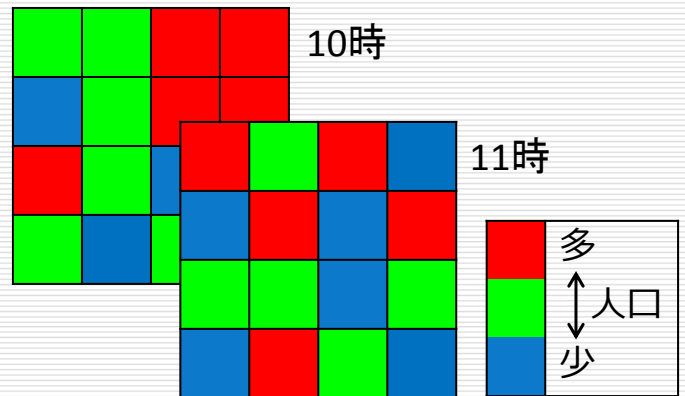
ポイントデータ
個人の特特定が可能

個人情報保護への意識の高まり

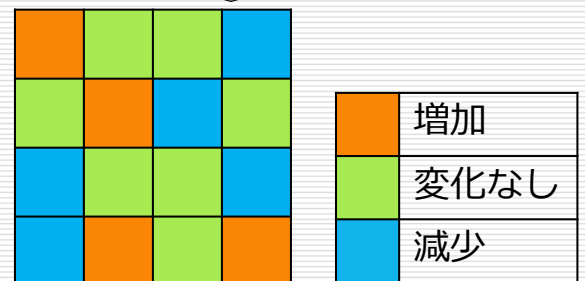
メッシュデータ
個人の特特定が不可能

活用が期待される

時系列メッシュ人口データ



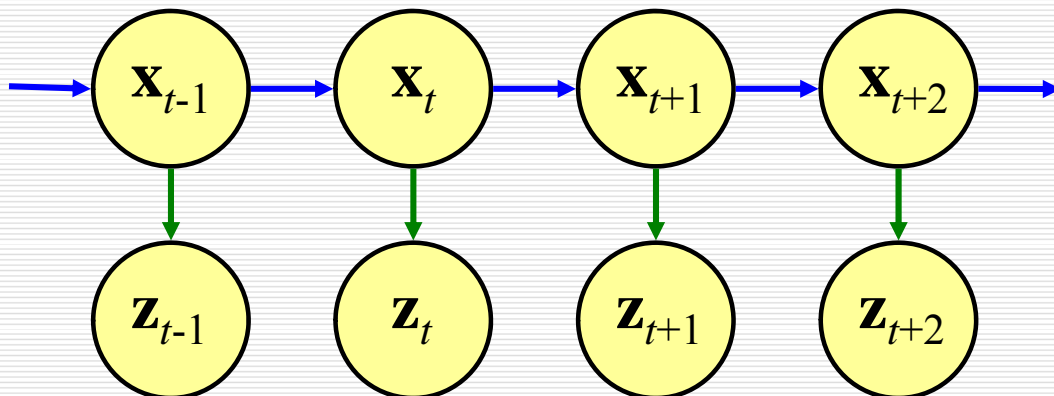
メッシュ人口の増減の視覚化



メッシュ人口データと状態

□ メッシュの状態

x_t : 時刻 t におけるメッシュの状態
 平常: 普段通りの状態
 - 増加しており多い
 - 増減はないが多い etc...
 異常: 普段とはかけ離れた状態



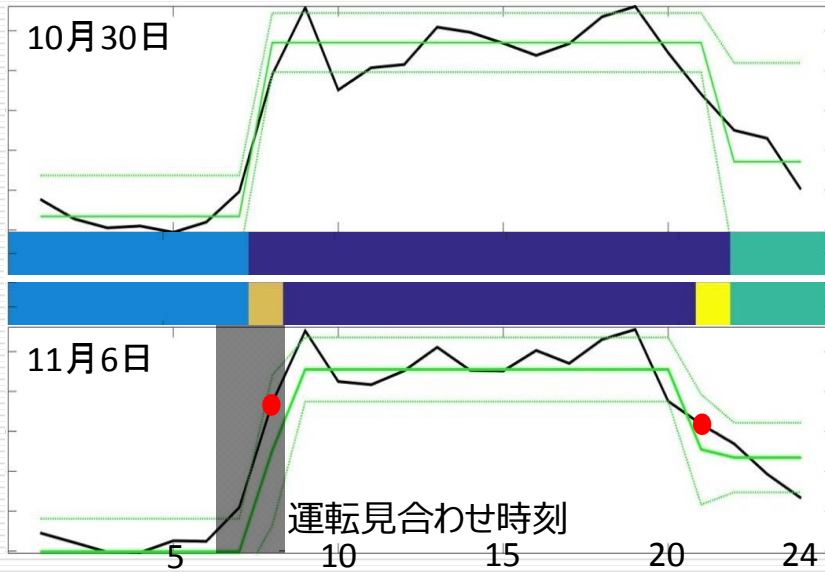
z_t : 時刻 t 時に観測されたメッシュ人口

メッシュ人口データ: 観測できない状態から出力されたデータ

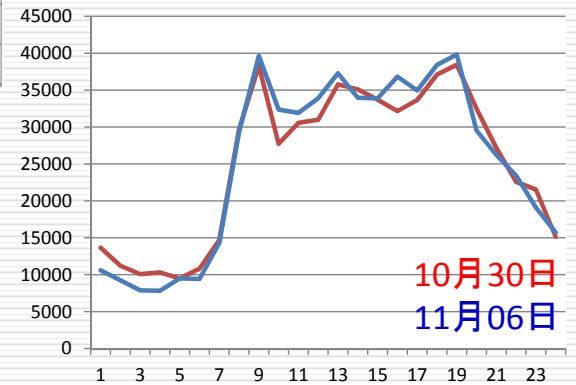
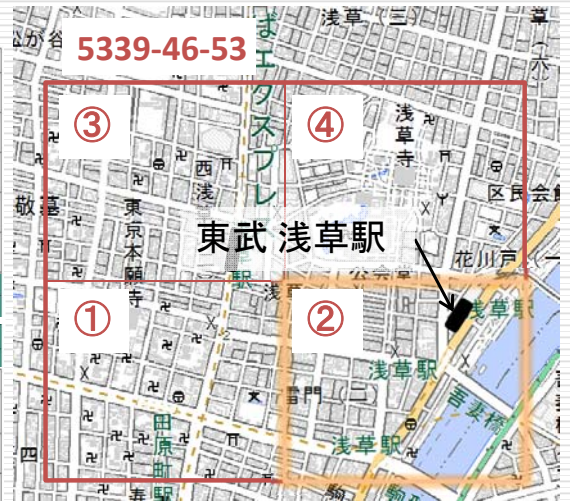
メッシュの状態は時系列変化

浅草エリアにおける異常検知の詳細な結果

東武浅草駅を含む②番のメッシュに着目



- 8時と21時にて異常検知
- うち、8時の異常は運転見合わせ時刻と一致
- 他の①, ③, ④のメッシュでも朝8時において異常検知
- 21時の異常が潜在的な異常状態が検知された結果なのか分析を進める必要



データとモデルの統合

- 多様なデータ取得手法の整理
 - データ特性等から、各データの有用性・限界の整理
 - 既存調査に対する代替可能性の検討
- 複数データの組み合わせによる調査の効率化・精緻化
 - データ統合手法の検討
- データと知識, シミュレーションの統合
- 分析技術の高度化
- 調査体系の発展への貢献

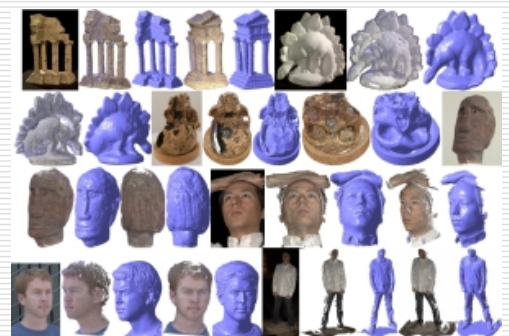


SfMとMVS (UAVと関連して)

- SfM: Structure from Motion(基本原理=写真測量)
 - unorganized, unstructured, redundancy
従来の写真測量との主な違い(cf. ネットワークデザイン)
 - 特徴点マッチングの自動化(SIFT, SURF etc.)
FBM(Feature Based matching): 特徴量検出+特徴量記述
 - バンドル調整: 初期値問題, 最適化手法
- MVS: Multi-View Stereo
 - 密な形状復元
 - ポリゴンメッシュ, デプスマップ, パッチベース
 - Dense Image Matching



<http://www.cs.cornell.edu/~snavely/bundler/>



<http://www.cse.wustl.edu/~furukawa/>

SfMソフトウェア

- ブラックボックス ⇔ 信頼性と再現性
- 基準点の重要性
- 観測ネットワークの重要性

Remondino, F. et al., 2012:
Low-cost and open-source
solutions for automated
image orientation
- A critical overview,
Proc. EuroMed 2012 Conference.

Dataset name	# img	resolution (px)	Focal length (mm)	dim. L x W x H (m)
NAVONA	92	4000x3000	6	50 x 250 x 15

