

車両内設置カメラを利用した
準リアルタイム広域
路面ひび割れ率評価技術の開発

東京大学・スマートシティ技術研究所・ニチレキ

東京大学大学院工学系研究科

社会基盤学専攻

准教授 長山智則

路面性状調査の3要素

➤ 平坦性 (IRI)

➤ ひび割れ率

➤ わだち掘れ

✓ 路面性状測定車は高価，低頻度で限界も．



生活道路の管理

➤ 段差

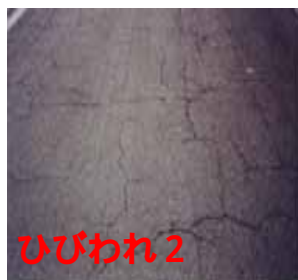
➤ ポットホール

✓ 通報ベースにならざるを得ないことも．

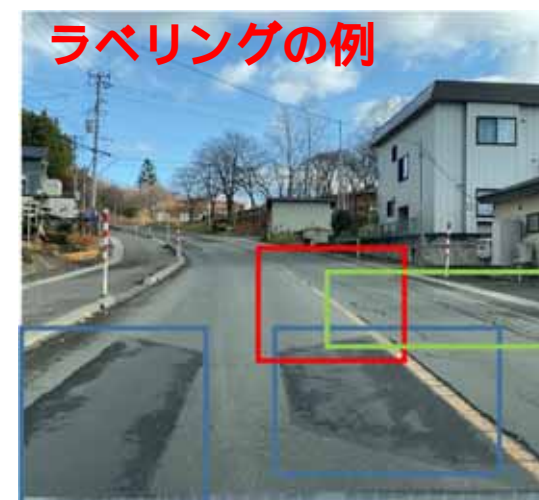
✓ 客観的評価が重要に．

安価で高頻度な路面評価技術が必要

➤ 物体検知 (Object detection) により変状等の効率的検知

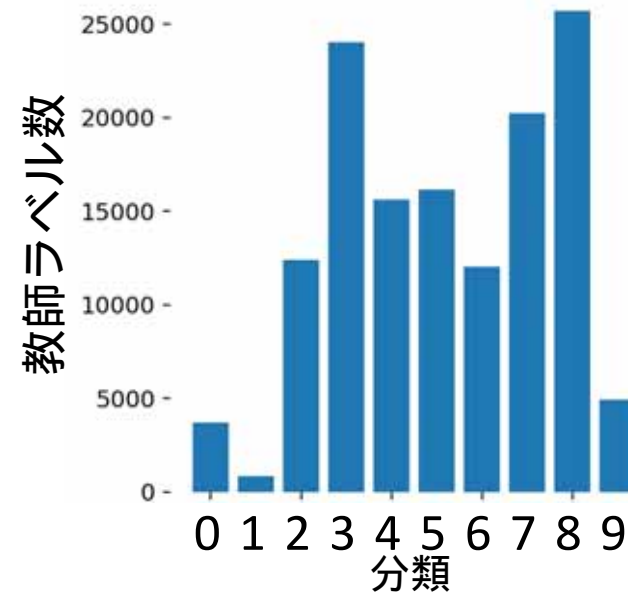


など
合計10分類



— パッチ
— かすれ
— 亀甲状ひび割れ

日本, 中国, 米国, アフリカから合計40000画像



Yolov5による検知結果



教師データ 元画像



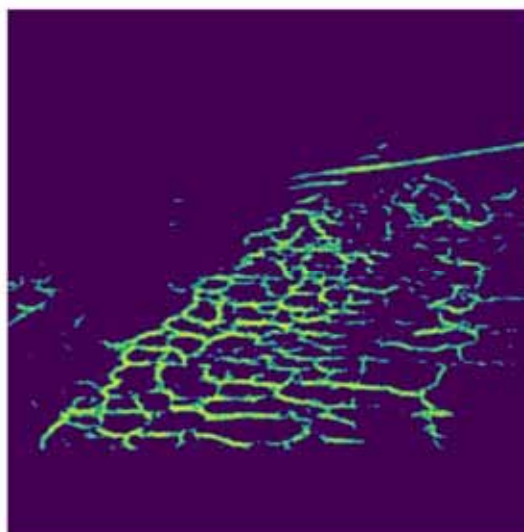
ラベリング



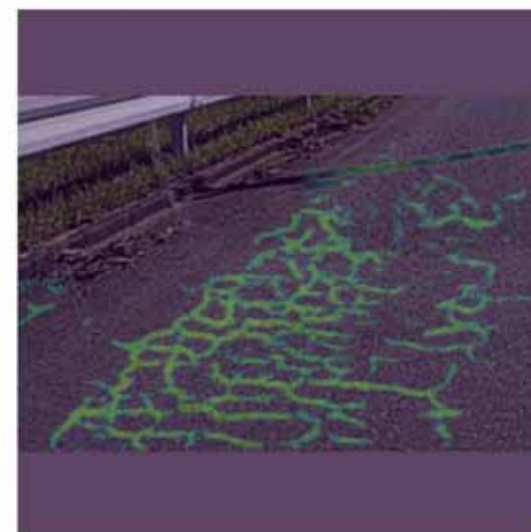
元画像 + ラベリング

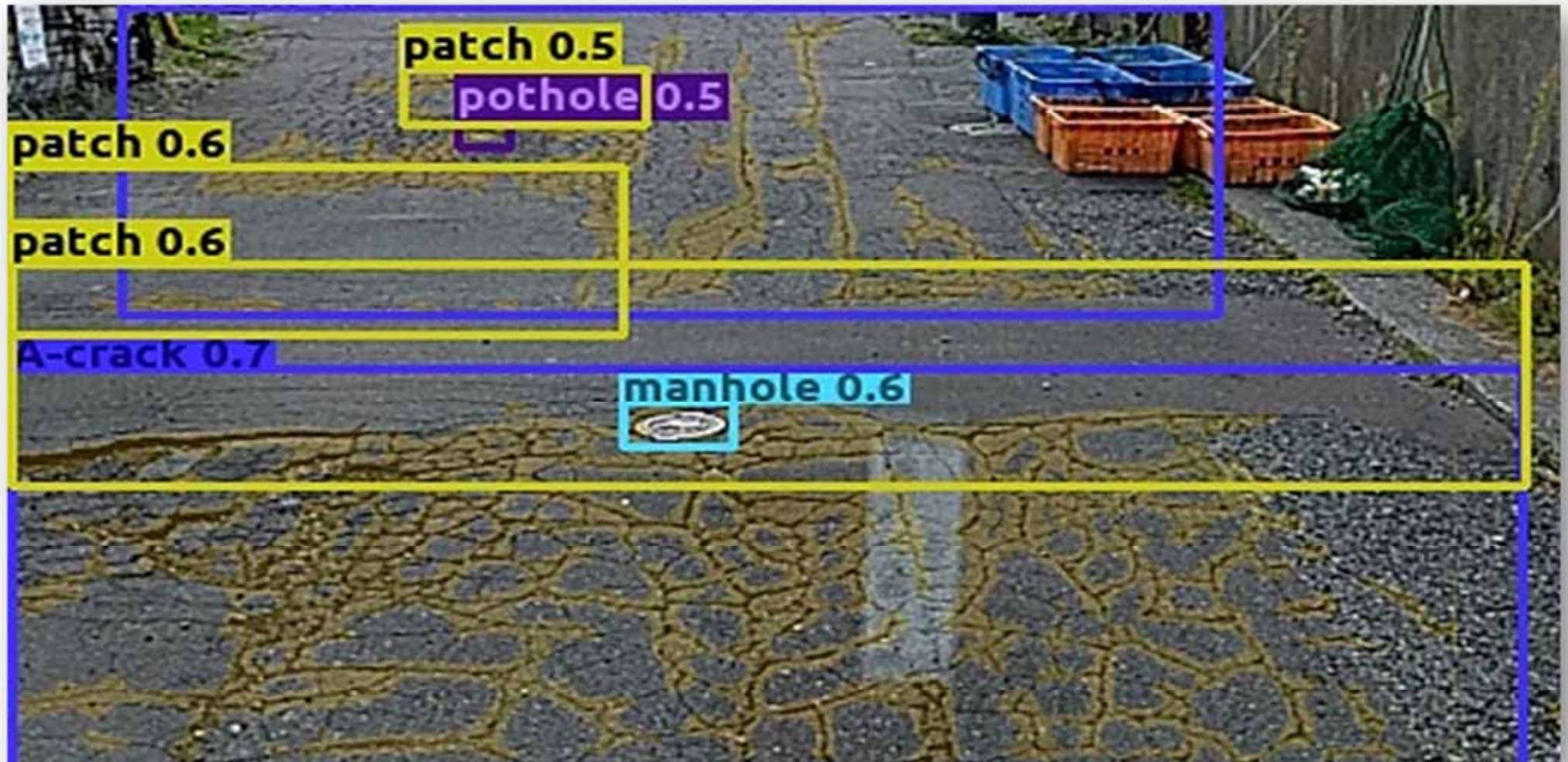


領域抽出結果



元画像 + 領域抽出結果





ひび割れ率（仮）及びポットホールの解析結果を地図上に表示

ひび割れ率（仮）及びポットホールの解析結果を地図上に表示

ひび割れ率は色付きの線で表示されます

ポットホールは色付きのピンで表示

<画像表示>
AI結果付きの画像表示

車両進行方向

画像撮影日時

再生ビューアへ移動

レベルによる地図上表示の絞り込み

変状種別による絞り込み

項目	区分	解析結果
ひび割れ	区分1	0%~20%
	区分2	20%~40%
	区分3	40%~
ポットホール	区分1	1箇所
	区分2	2~4箇所
	区分3	5箇所~

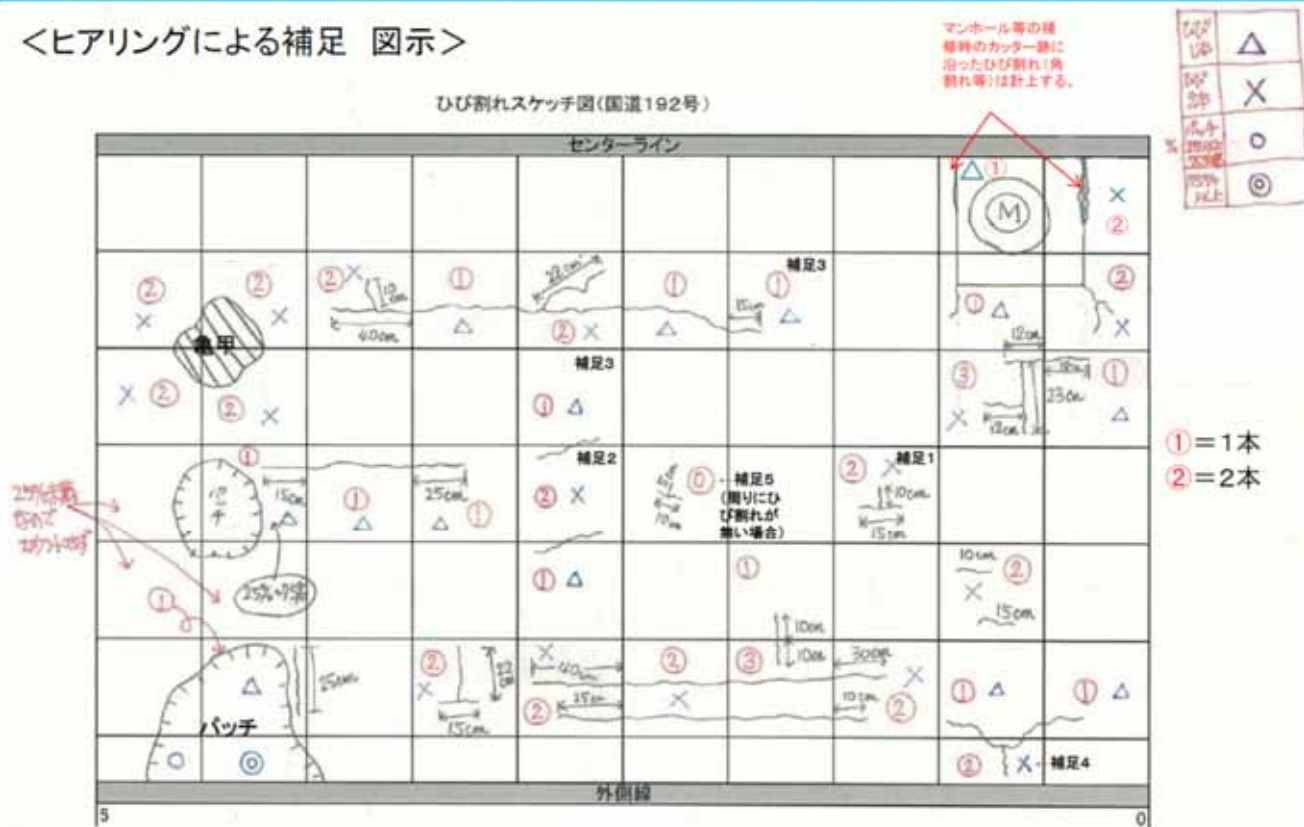
▶ ひび割れ検知 ≠ ひび割れ率

$$\checkmark \text{ひび割れ率} (\%) = \frac{\text{ひび割れ面積}}{\text{調査対象区間面積}} \times 100$$

舗装点検技術 ひび割れ率の測定及び整理方法

国土交通省

＜ヒアリングによる補足 図示＞



ひび割れ	△
片割れ	X
片割れ	○
片割れ	◎

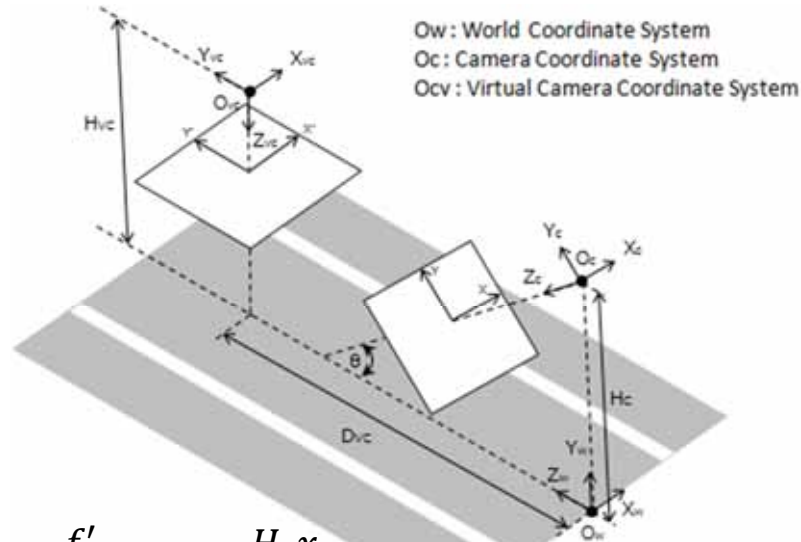
- 50cm四方
- 通常は20m単位
- ひび割れ1本:0.15m²
- ひび割れ2本:0.25m²
- パッチング0-25%の場合
=> 0m²
- パッチング25-75%の場合
=> 0.125m²
- パッチング75%以上場合
=> 0.25m²

✓ 平面図への展開と, マス目毎の「分類」が必要

カメラを利用したひび割れ評価の既往研究

9

システム	カメラ	展開図	ひび割れ率評価	精度	即時性	コスト・頻度
(簡易)路面性状測定車等	<u>車外ラインスキャンカメラ</u>	○	定義通り	高	低い	
Aシステム	<u>車外固定カメラ</u>	○	定義を参考に独自	中	—	
Bシステム	車内スマホやドライブレコーダ等	×	定義には基づかない	中	—	○
Cシステム	車内	×	定義を参考に独自	中	—	○
本提案	<u>車内・画角変換あり・任意のカメラ</u>	○	<u>定義通り</u>	高(目標)	準リアルタイム(目標)	○



$$x' = \frac{f'}{H_{vc}} \cdot \frac{H_c x}{f \sin \theta - y \cos \theta}$$

$$y' = \frac{f'}{H_{vc}} \cdot \left\{ \frac{H_c (f \cos \theta + y \sin \theta)}{f \sin \theta - y \cos \theta} - D_{vc} \right\}$$

平面図作成のための画角補正

難しさ：通常はキャリブレーション済の特定のカメラを利用．本提案は**利用カメラの指定無**，**カメラ取り付け位置の自由度を許容**

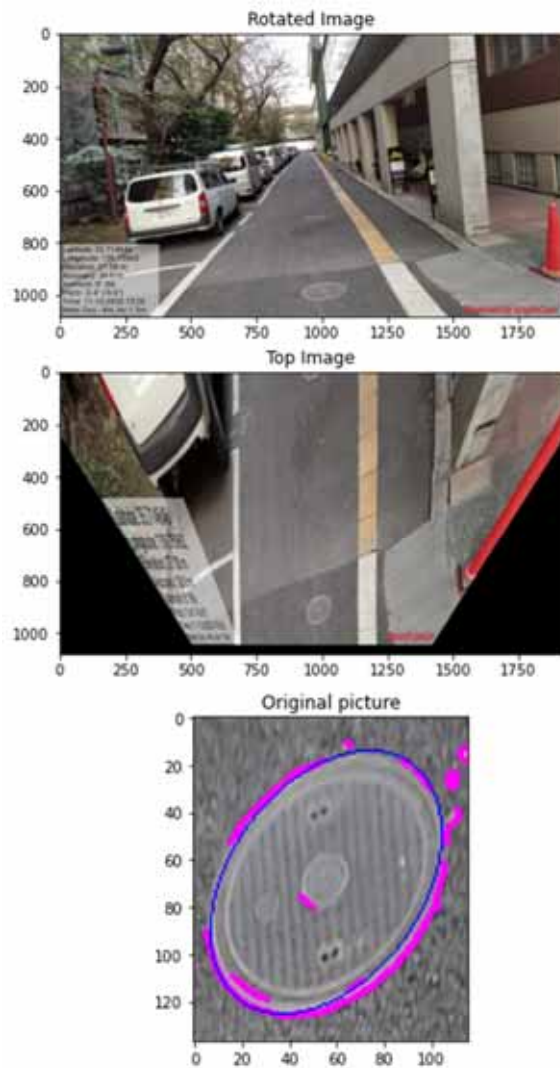
=>**カメラパラメータ不明**．

白線等，画像に写る情報とGPSを利用してカメラパラメータ推定．



Tanaka et al. "Vehicle Detection Based on Perspective Transformation Using Rear-View Camera", Int. J. of Vehicular Technology

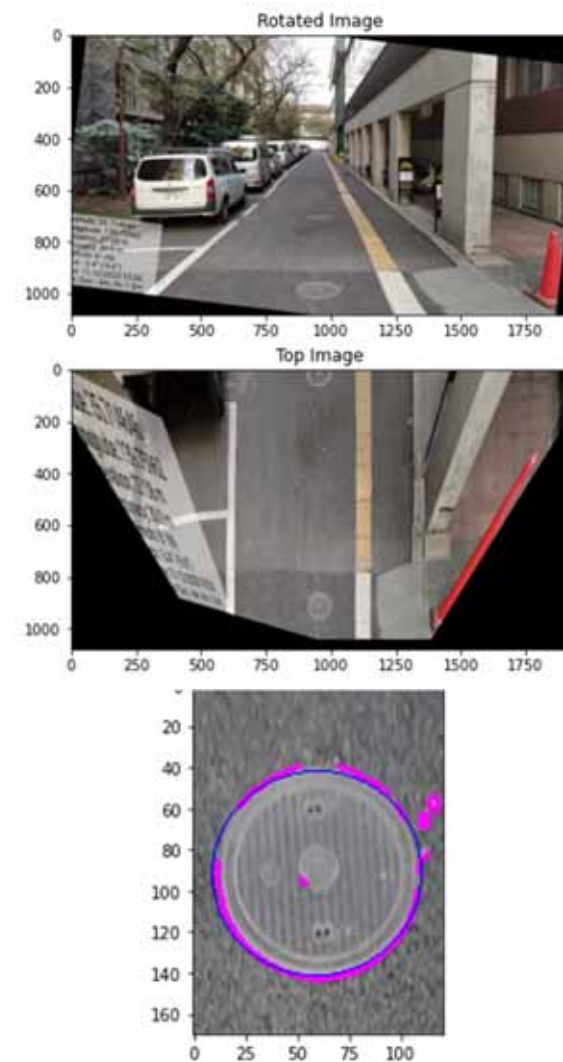
➤ 物体検知結果を利用したオルソ変換



マンホールの検知



マンホール等の形状既知
の物体検知結果を利用



マンホール等の歪
が無くなるように
パラメータ推定

➤ 「検出」および「領域検出」



東京大学構内にて撮影

検出 (Object detection) によりひび割れやパッチ, マンホール等を検出.



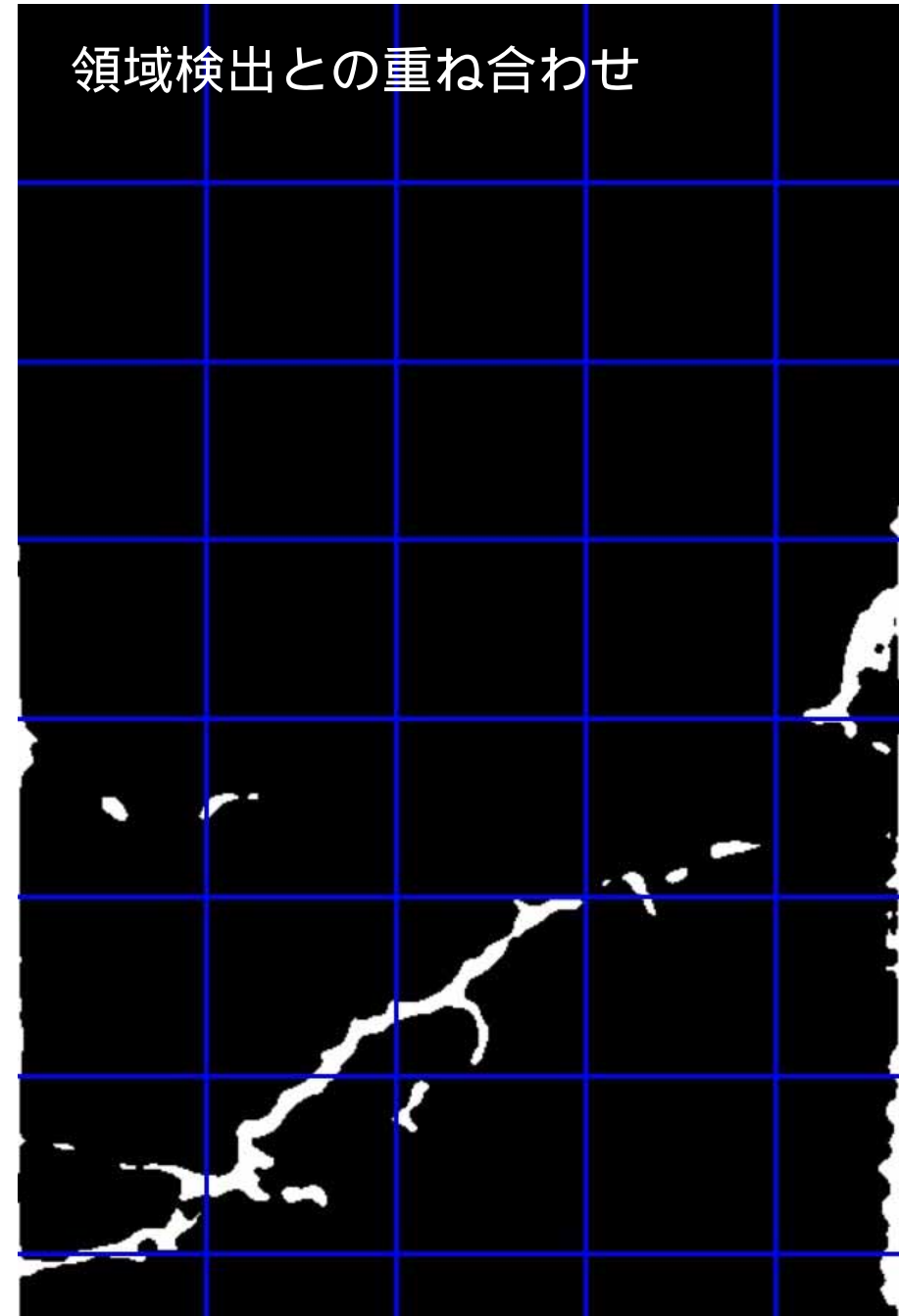
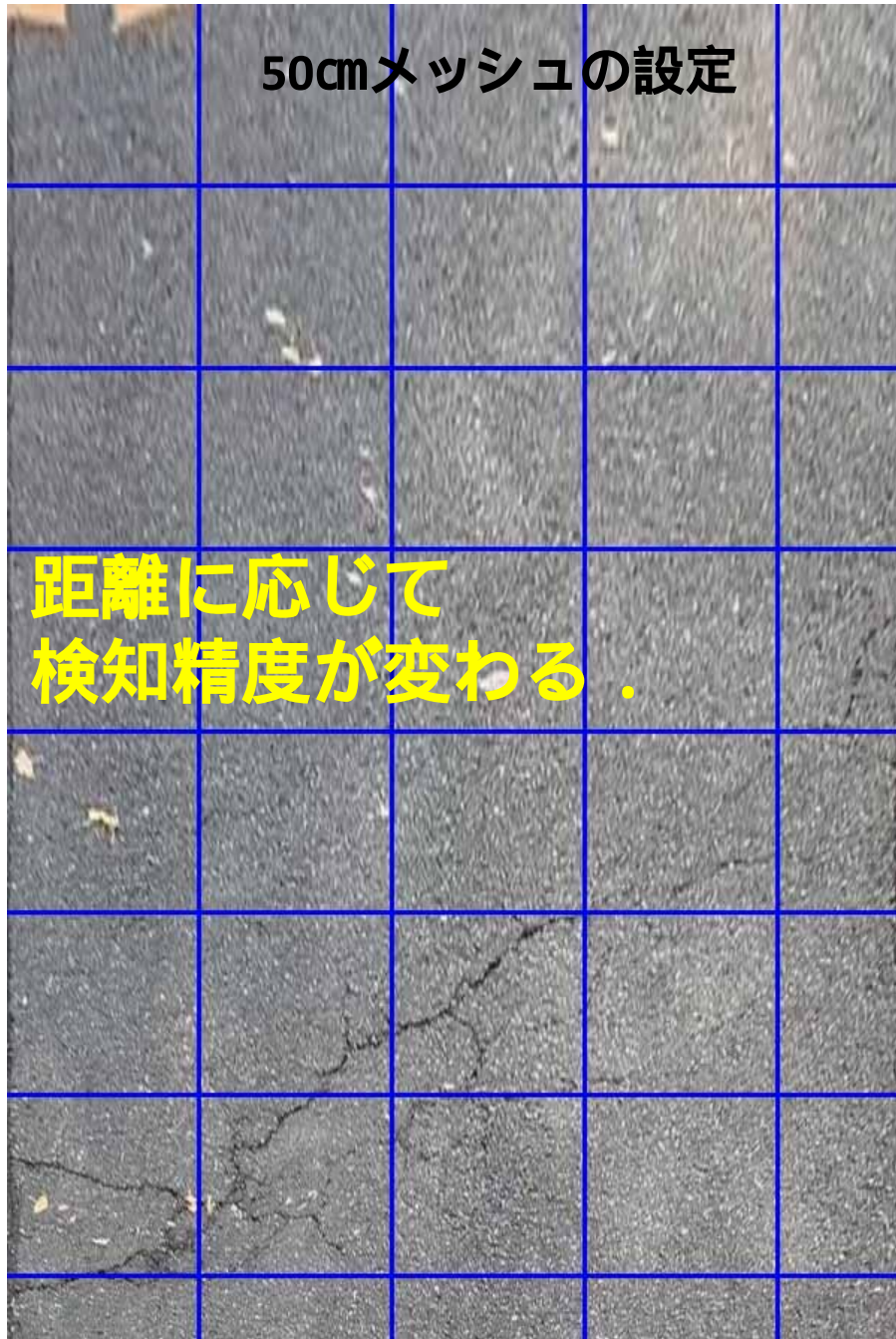
領域検出により, ひび割れをトレース.



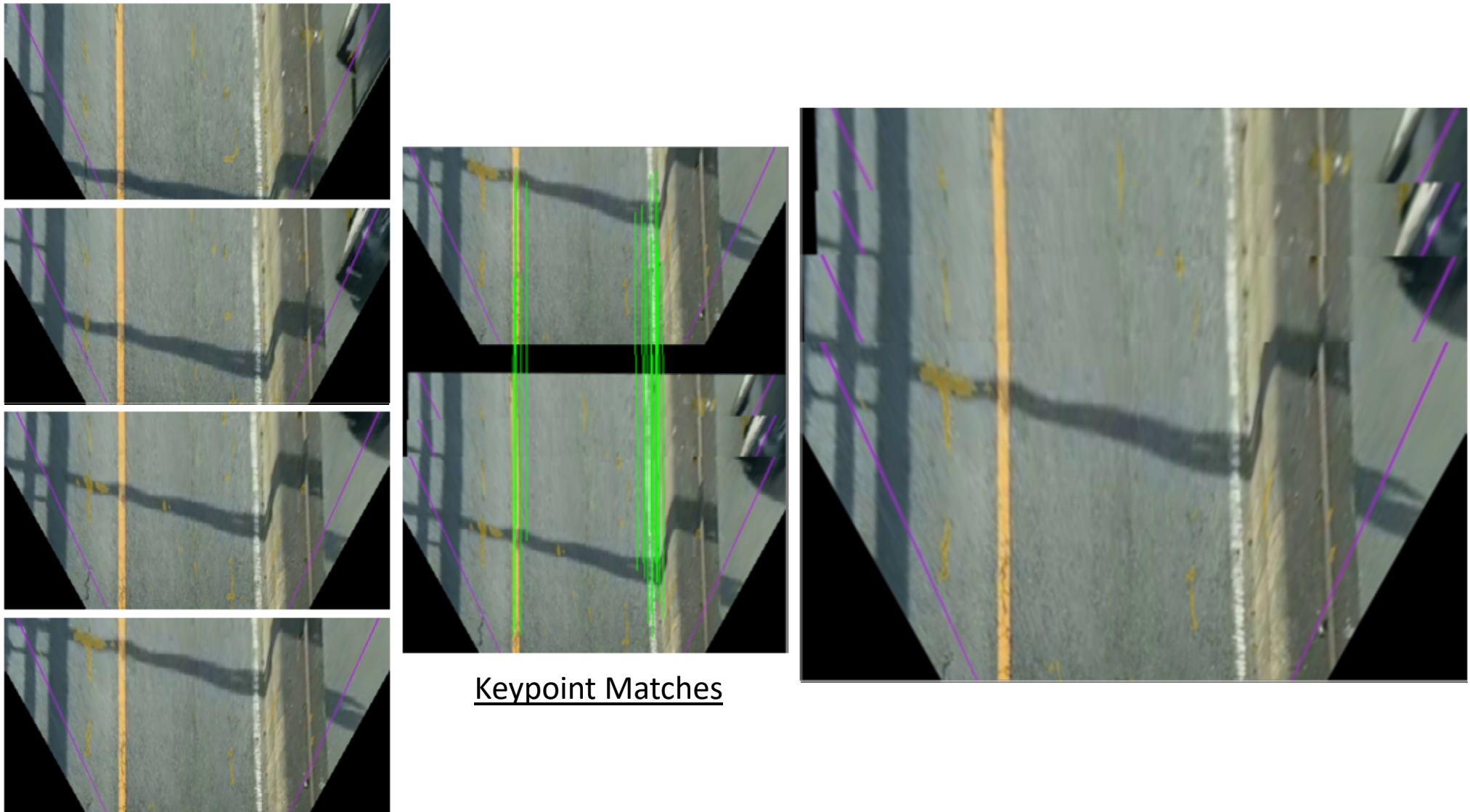
平面図への展開
白枠線内を射影変換=>

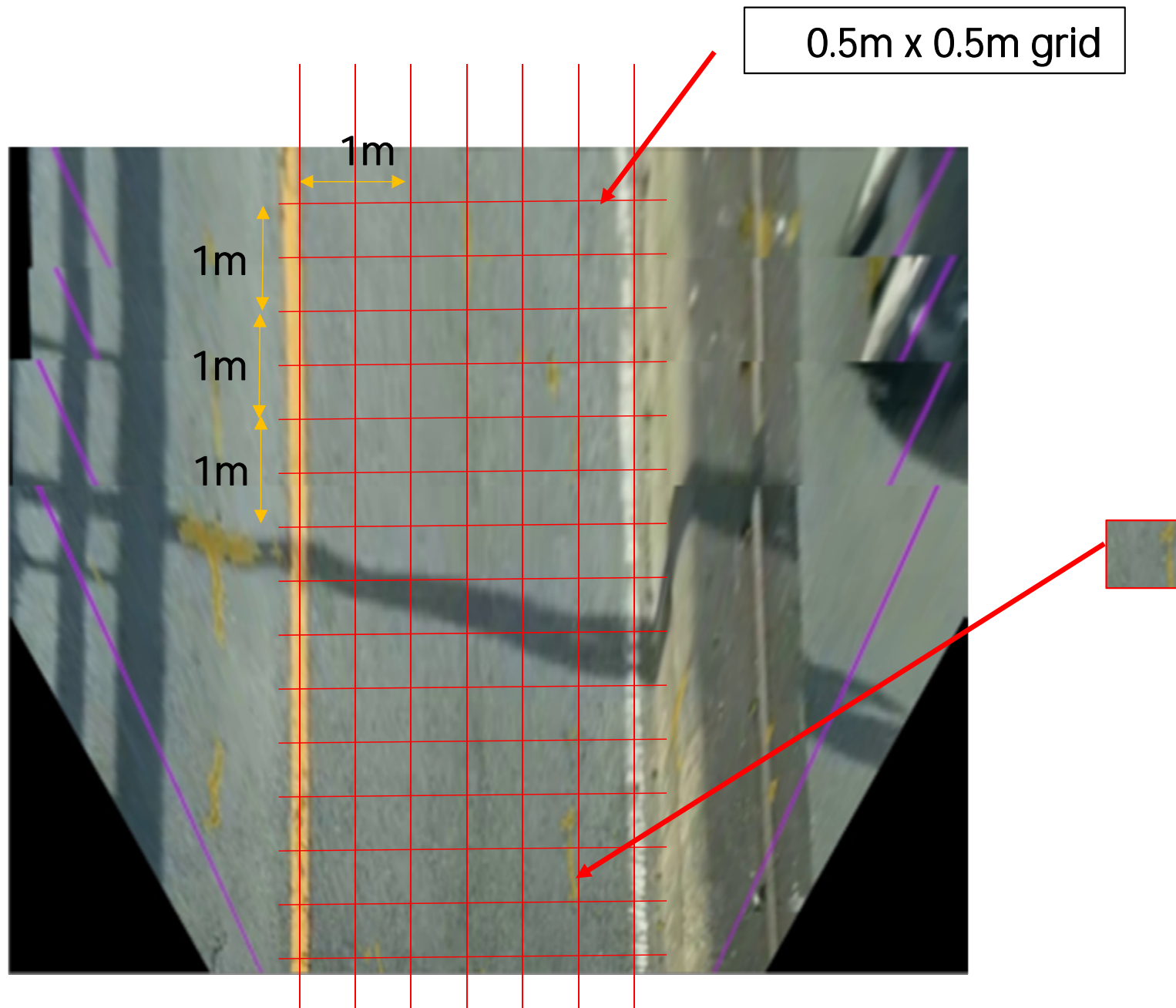
東京大学構内にて撮影
ひび割れやマンホール等を物体検知
ひび割れの領域検知 .





- 1 m毎に撮影されたフレームを合成





路面性状調査の3要素

➤ 平坦性 (IRI)

➤ ひび割れ率

➤ わだち掘れ

✓ 路面性状測定車は高価，低頻度で限界も．



生活道路の管理

➤ 段差

➤ ポットホール

✓ 通報ベースにならざるを得ないことも．

✓ 客観的評価が重要に．

安価で高頻度な路面評価技術が必要

カルマンフィルタ + 平滑化 + ハーフカーモデル同定による路面推定 状態空間モデル

Vehicle dynamics

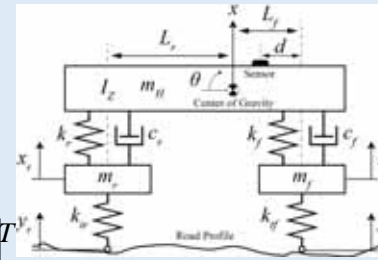
System eq. $\mathbf{x}(k + 1) = \mathbf{A}\mathbf{x}(k) + \mathbf{v}(k)$

Observation eq. $\mathbf{y}(k) = \mathbf{C}\mathbf{x}(k) + \mathbf{w}(k)$

$$\mathbf{x} = [x \quad \theta \quad x_f \quad x_r \quad \dot{x} \quad \dot{\theta} \quad \dot{x}_f \quad \dot{x}_r \quad y_f \quad \dot{y}_f \quad y_r \quad \dot{y}_r]^T$$

$$\mathbf{y}(k) = [\ddot{x} \quad \ddot{\theta}]^T$$

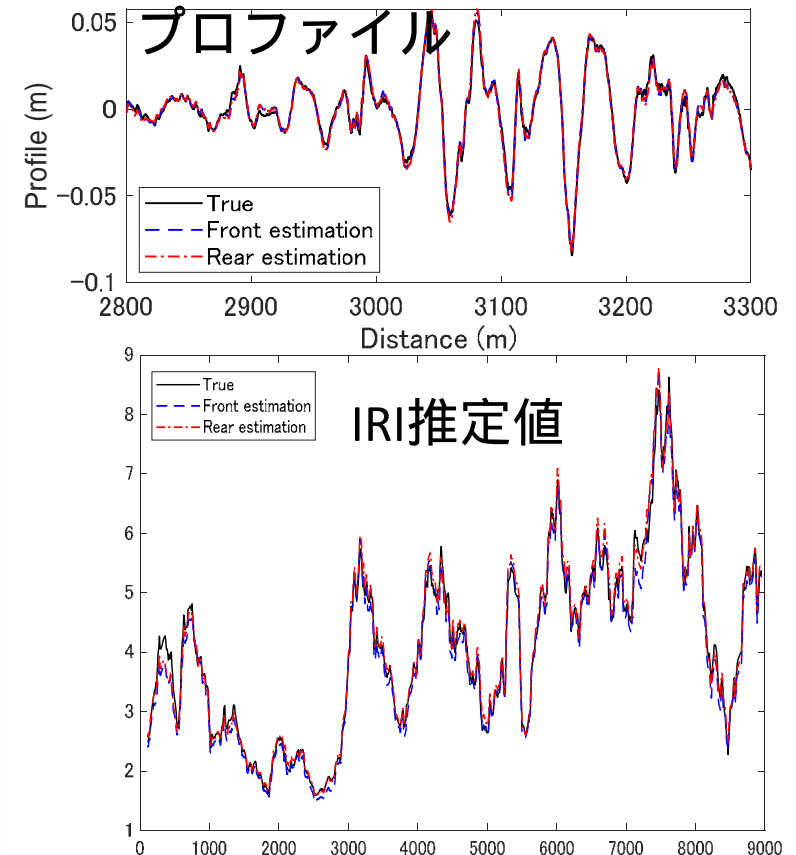
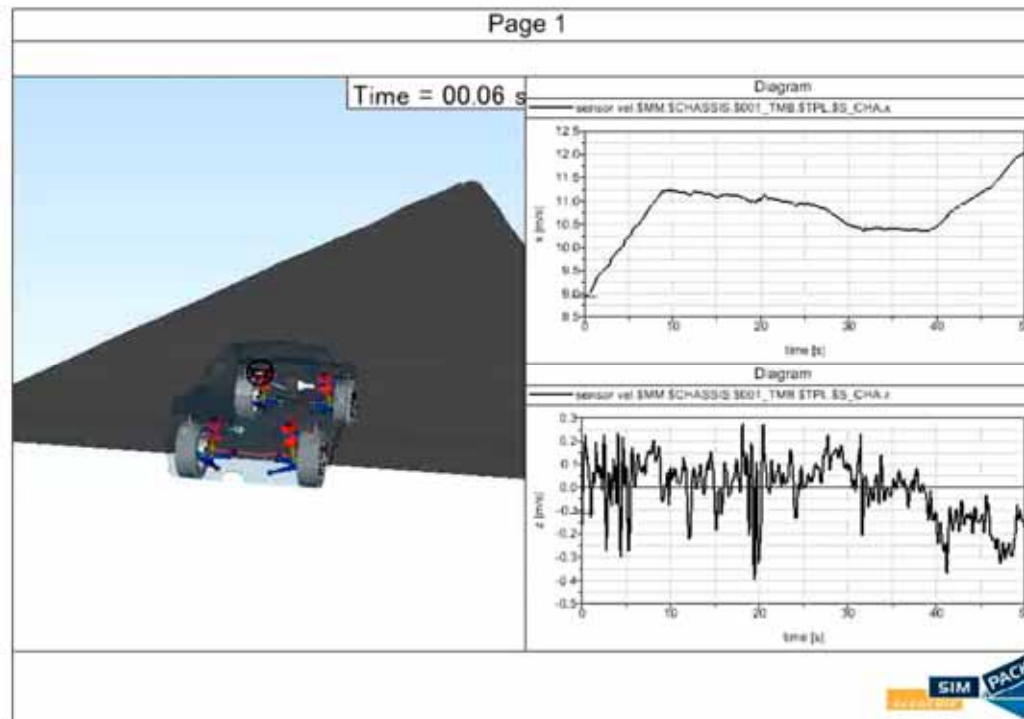
プロファイルを含む拡張状態ベクトル



特徴：

- 加速度（鉛直 + 進行方向）
& ピッチング角速度
- 走行速度の変化, 車両の違い, センサ位置の違いを補正

観測ノイズ15%のシミュレーション



シミュレーション上ではノイズにロバスト, 極めて正確

スマートフォンを利用した路面プロファイル推定

Three types of vehicles



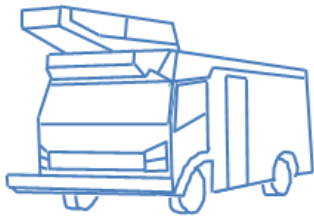
Light type



Small size



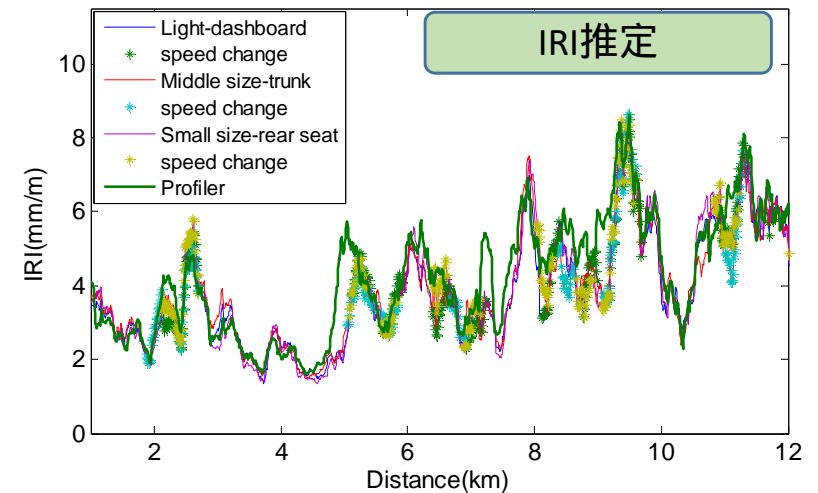
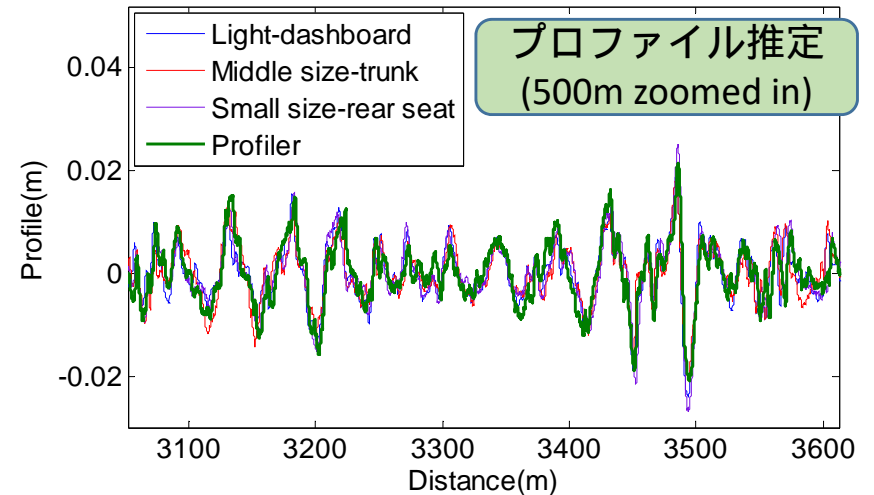
Middle size(Van)



レファレンス
(路面性状測定車)



Test course: 13.6 km in Chiba-city



プロフィール推定と、それに基づいた
IRI推定は精度10%程度。

高精度路面性状測定車に発行される
「路面性状自動測定装置 性能確認証書」（土木研究センター）
 を取得。



スマートフォンを登載した
 車両で性能確認証書
 を取得（H30.7）

四国テーマ設定技術公募に
 よるベンチマークテスト

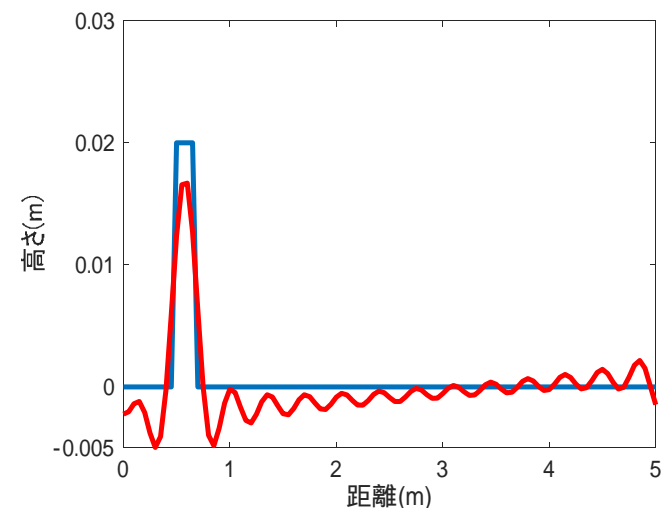
検出率		的中率	
Ⅱ以上	Ⅲ	Ⅱ以上	Ⅲ
87%	80%	97%	67%

路面段差の推定

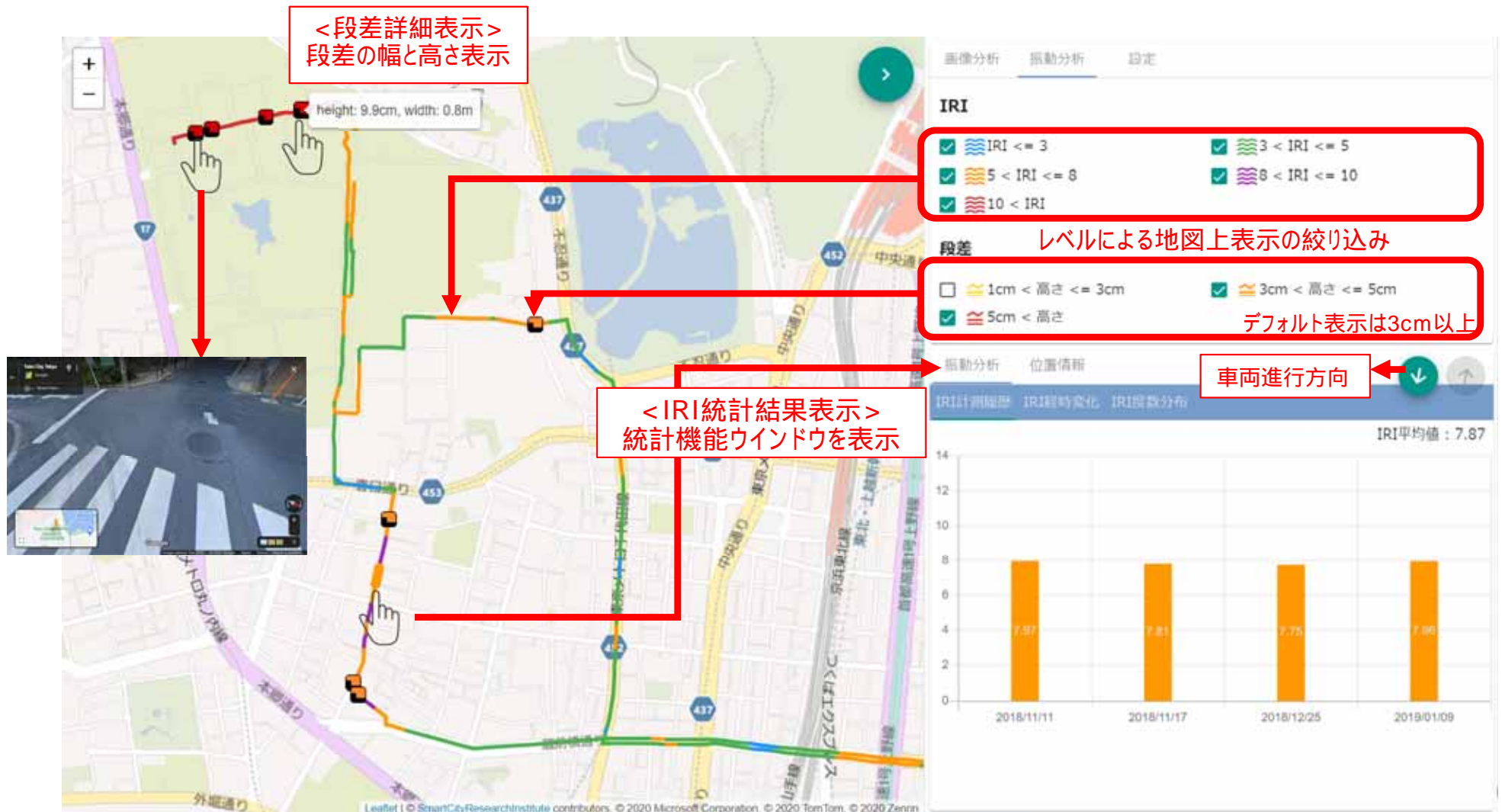
推定路面形状に基づく段差量推定

- 車両動揺逆解析・縦断形状算出
- フィルタ処理
- 段差・ハンプ等を評価

シミュレーション



	高さ (cm)	幅 (m)
真値	7	1.2
1回目	7.5	1.05
2回目	7.8	1
3回目	8.3	1.1
4回目	6.8	1.15




首都高速道路で計測した加速度・動画データに対しこれまでの手法を適用



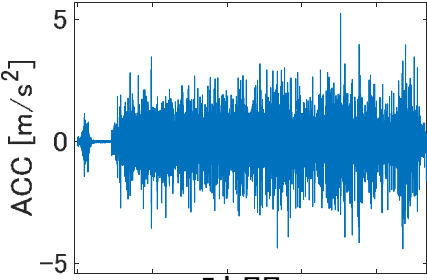
ジョイント部に作用する接触力を推定する

接触力推定



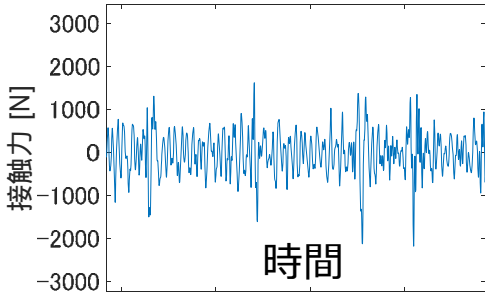
加速度センサー
ばね上 [2] ばね下 [3]

加速度



車両パラメータ推定
カルマンフィルタ

接触力の時系列



ジョイント位置特定



ドライブレコーダー [4]

動画



SSDモデル

Precision : 0.80
Recall : 0.32

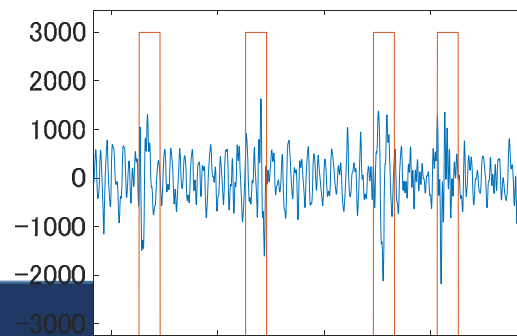
ジョイント推定通過時間



予測通過時間

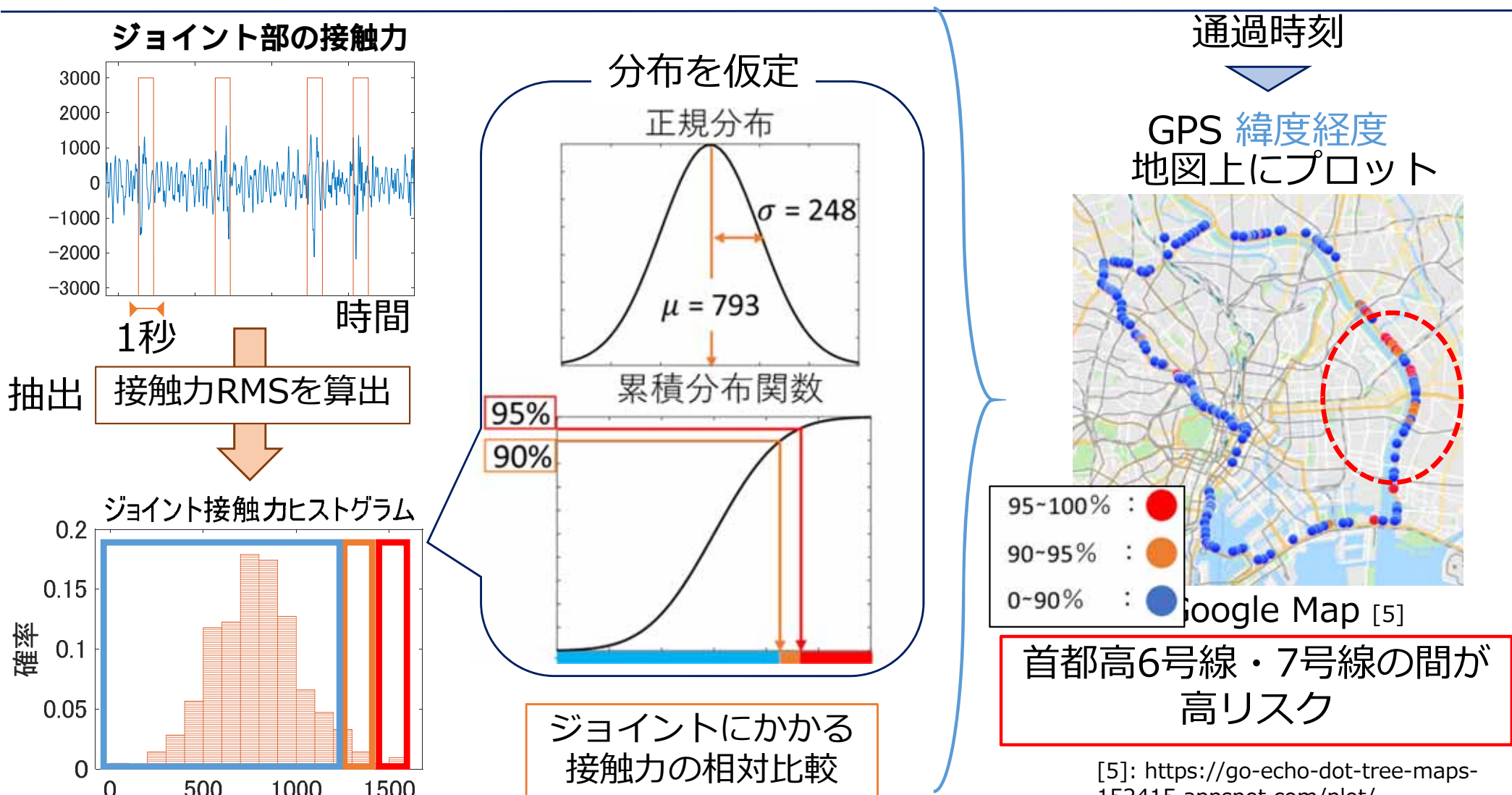


ジョイント部の接触力時系列データ



ジョイント部に作用する接触力1秒RMSの分布を算出

作用する接触力が大きい → 今後劣化リスクが高い





- 路面画像に物体検知，領域検知などの機械学習処理やオルソ画像変換を施すことにより，パラメータ未知の車載前方撮影カメラを使って，定義通りのひび割れ率算出をするアルゴリズムを開発
- 複数画像の合成によりひび割れ検知精度の向上に取り組んでいる．
- 画像解析と車両動揺解析を組み合わせることで統合的な路面評価の仕組みを構築．