

# スマートフォンを利用した 路面性状調査技術の開発と 生産性向上へ向けた取り組み

東京大学大学院工学系研究科 教授 長山智則

関東地方整備局 技術シーズマッチングに関する公募

「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」 (R2-R3)

「わだち掘れ簡易評価手法の開発と、MCIの自動算出による点検業務の生産性向上」 (R4-)

(東京大学, スマートシティ技術研究所, ニチレキ)

# 予断を許さない健康状態，自動化・省人化で生産性向上へ

## 2020 インフラ健康診断書



JSCE 土木学会  
Japan Society of Civil Engineers

インフラメンテナンス総合委員会  
インフラ健康診断小委員会

### 道路部門



橋梁 C	トンネル D
路面 (舗装) C	

A健全からE危機的までの5段階の健康診断

	国道	都道府県道/政令指定市	市町村道	高速道路
舗装	C要注意	C要注意	D要警戒	B良好

### 舗装処方箋 (要約)

- ...舗装長寿命化計画/舗装維持修繕計画を作成し実行する。
- ...路線の重要度などを考慮して...**目視あるいは計測機器による方法で...点検する。**
- **予防的な措置も含め**損傷箇所の適切な修繕を行う。

- 予算・人的資源の制約の下，高規格道路の維持管理を遍く適用することは困難。
- 関東地整R1現場ニーズ：舗装点検を直営で実施。目視観測に手間とばらつき。
- 自動・省人で道路の状態を把握・予測して，早期対処。生産性向上へ

# 簡易な路面評価技術の現状

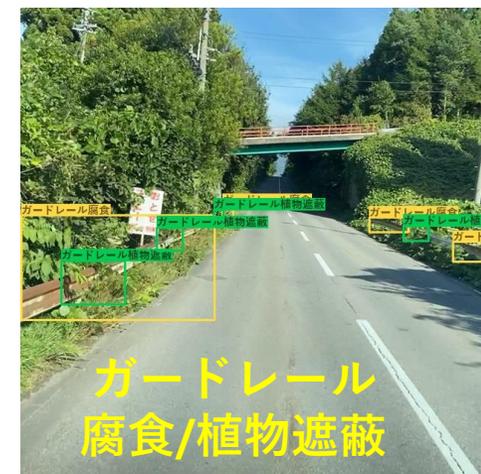
## ➤ 簡易な路面評価技術

- ✓ スマートフォン等の利用
- ✓ 車両動揺, 路面画像, 位置情報等
- ✓ 高頻度, 広域計測
- ✓ 安価, 汎用性
- ✓ 国内外でシステム多数



道路付属施設点検：明瞭に画像上で判断できるものは得意。

パトロールデータから自動的に施設点検 9割程度の再現率・適合度



# 簡易な路面評価技術の現状

## ➤ 簡易な路面評価技術

- ✓ スマートフォン等の利用
- ✓ 車両動揺, 路面画像, 位置情報等
- ✓ 高頻度, 広域計測
- ✓ 安価, 汎用性
- ✓ 国内外でシステム多数



- 「AI技術活用による **路面性状** 検出について」 (清野, スキルアップセミナー関東, 2022)
  - ✓ **ポットホール** や **亀甲状ひび割れ** の検出システムを複数選定し, 試験走行により効果を検証
  - ✓ **検出率の高いシステムがある一方で, 検出できないものもある**
- 「路面性状を簡易に把握可能な技術」の試験結果 (四国地整, 2018)
  - ✓ **A (精度80%以上) から E (精度20%以下) まで様々**
- 簡易評価技術のコンセプトは浸透. しかし多くは **精度, 信頼性が限定的.** 自動・省人化, 生産性向上は具現化されていない.

# 高信頼な簡易路面評価技術の開発

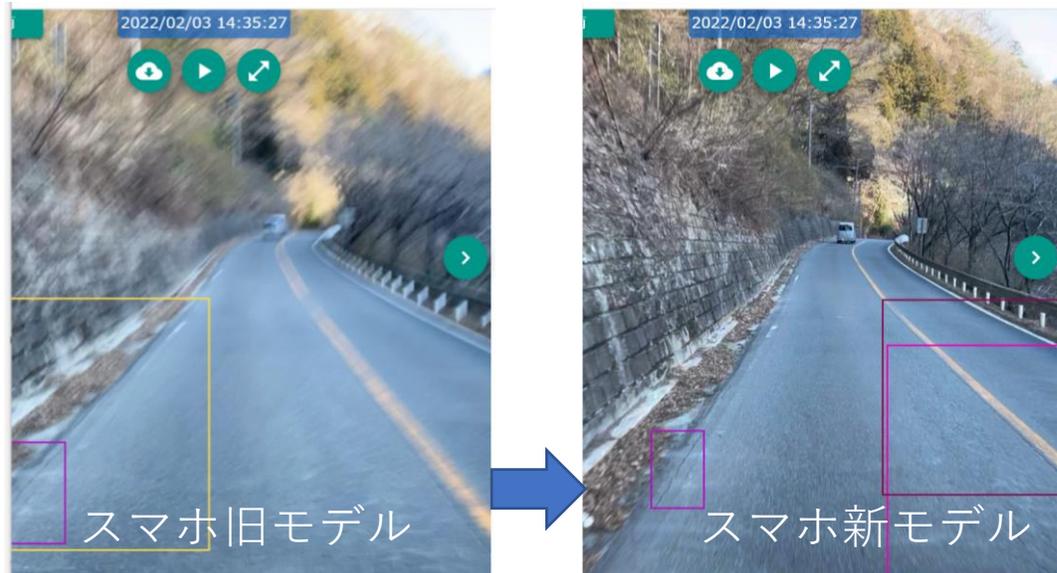
SIP第1期 インフラ維持管理・更新・マネジメント

- ▶ 「インフラ予防保全のための大規模センサ情報統合に基づく路面・橋梁スクリーニング技術の研究開発と社会実装」（研究責任者：JIPテクノサイエンス家入正隆）

関東地方整備局 技術シーズマッチングに関する公募

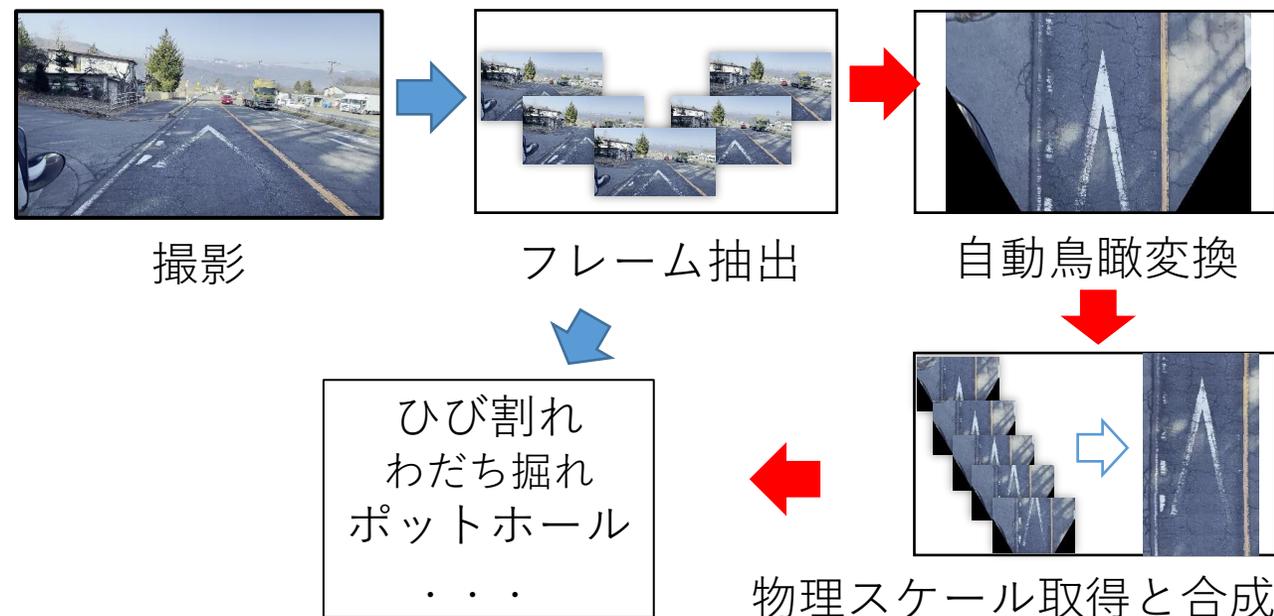
- ▶ R2-R3 「車両内設置カメラを利用した準リアルタイム広域路面ひび割れ率評価技術の開発」
- ▶ R4- 「わだち掘れ簡易評価手法の開発と、MCIの自動算出による点検業務の生産性向上」  
（研究責任者：長山智則， 参画機関：東京大学， スマートシティ技術研究所， ニチレキ）

## ハードウェアの進化



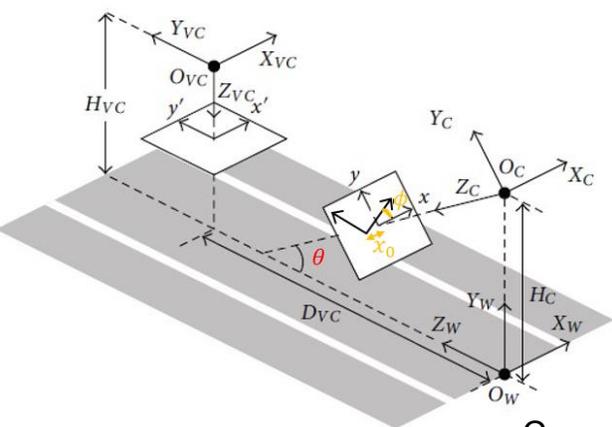
スマホ1年の違い

## 解析アルゴリズムの進化

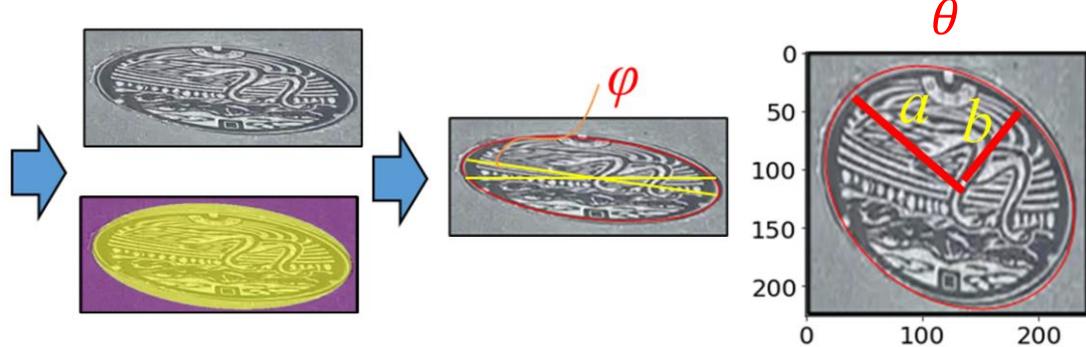


# 路面上の情報を用いた鳥瞰変換パラメータの自動推定

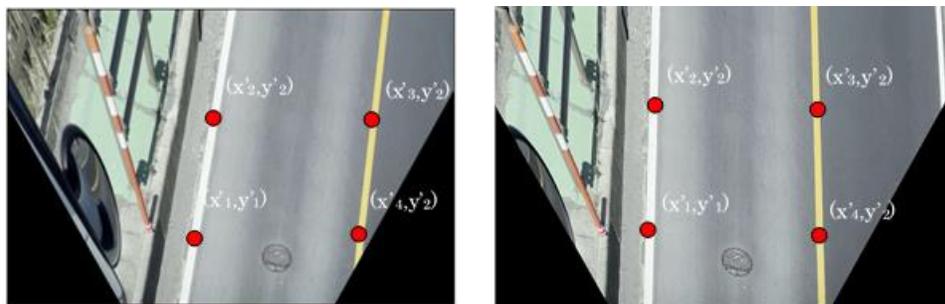
## 1. 白線の平行条件 $\rightarrow f$



## 2. マンホールの長軸の傾き, 扁平率 $\rightarrow$ カメラの傾き



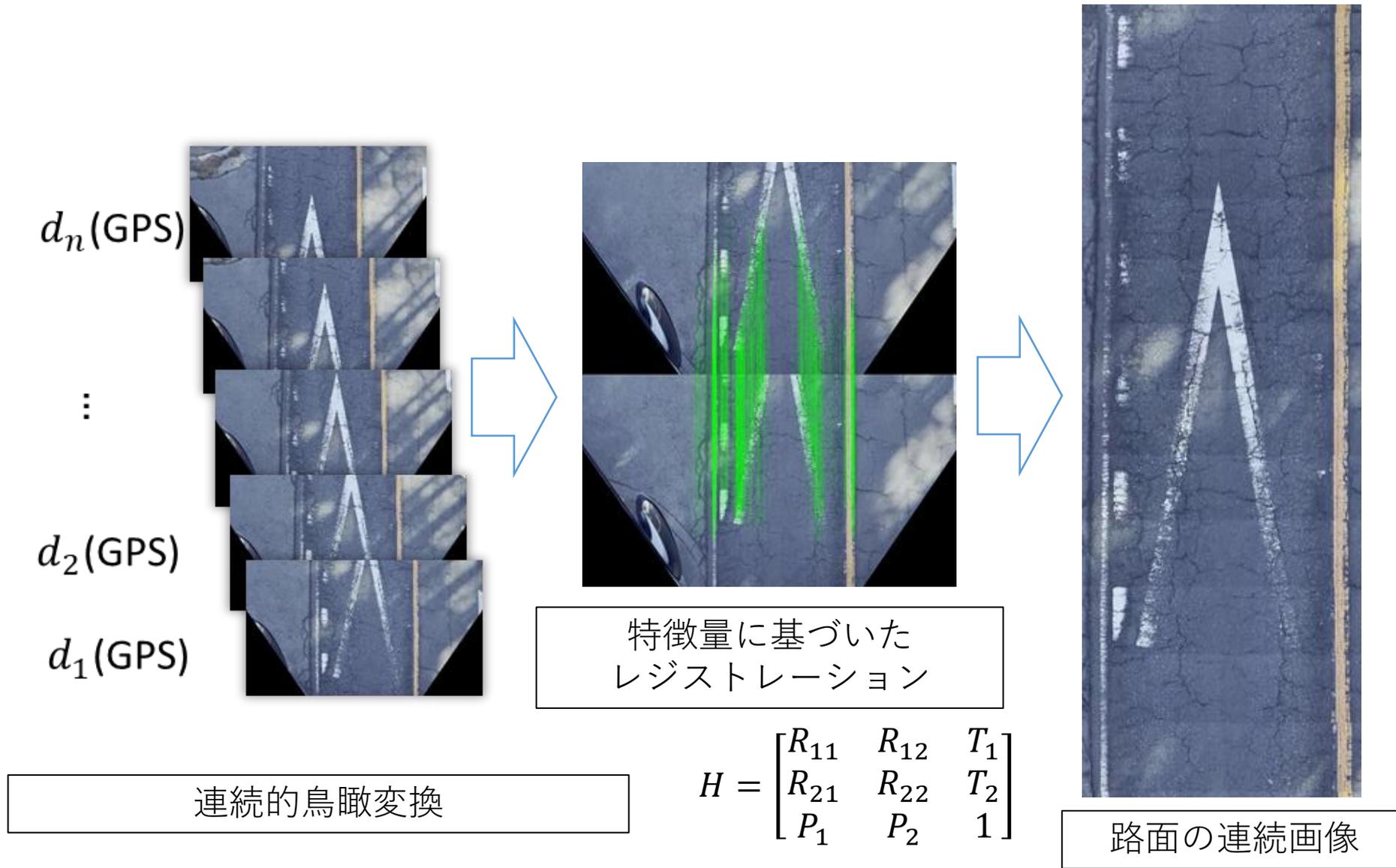
## 3. 白線の向き $\rightarrow$ 車線内位置 $x_0$



## 鳥瞰変換結果

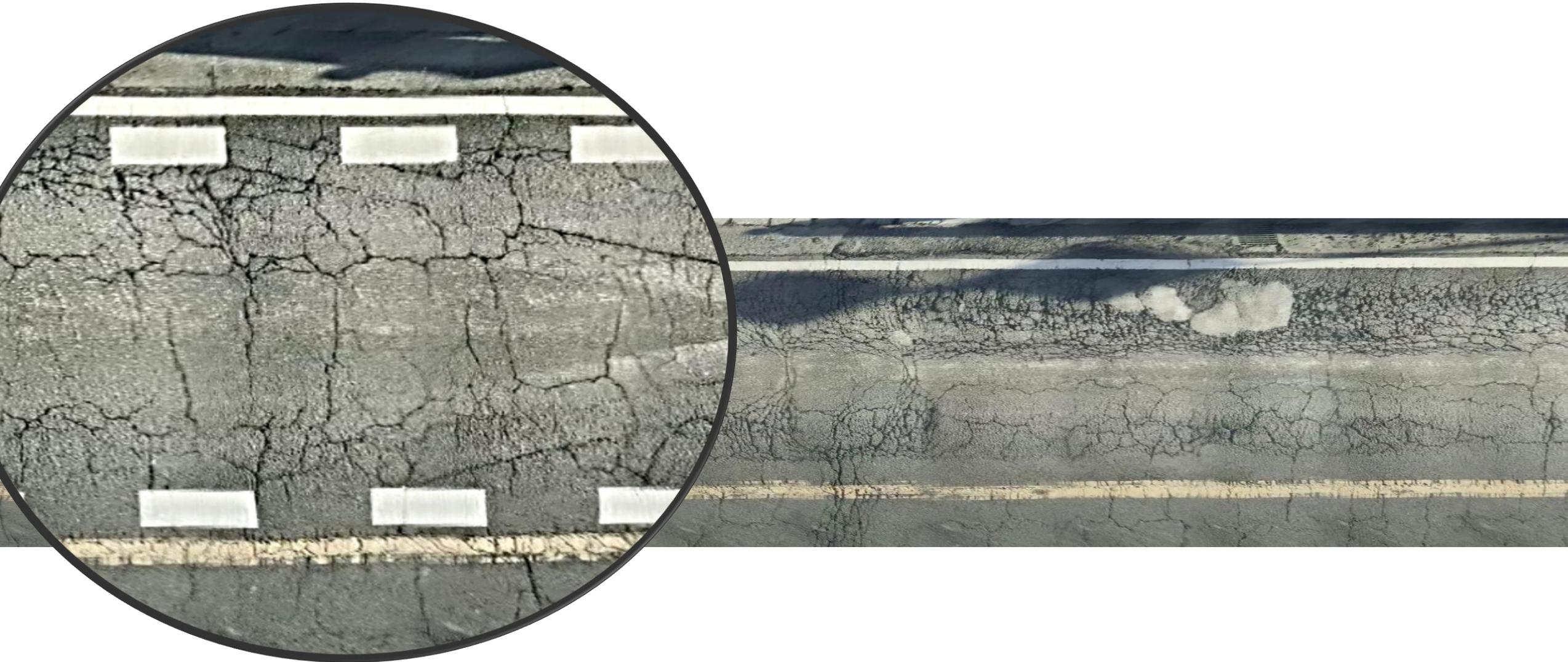


# 路面の連続画像の合成



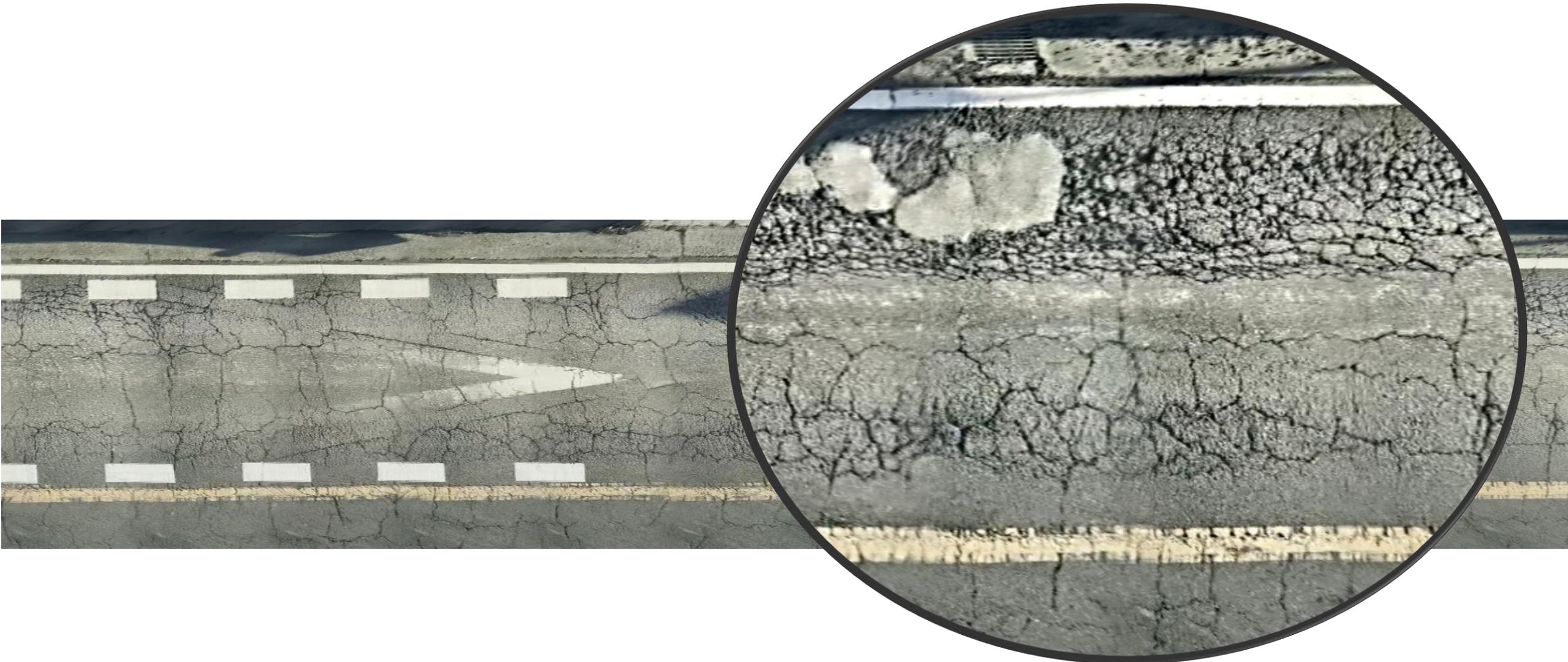
# 特徴点マッチングによる高度な繋ぎ合わせ

- ・延長：35m
- ・繋ぎ合わせ鳥瞰図枚数：18枚



# 特徴点マッチングによる高度な繋ぎ合わせ

- ・延長：35m
- ・繋ぎ合わせ鳥瞰図枚数：18枚



# ひび割れ率の評価

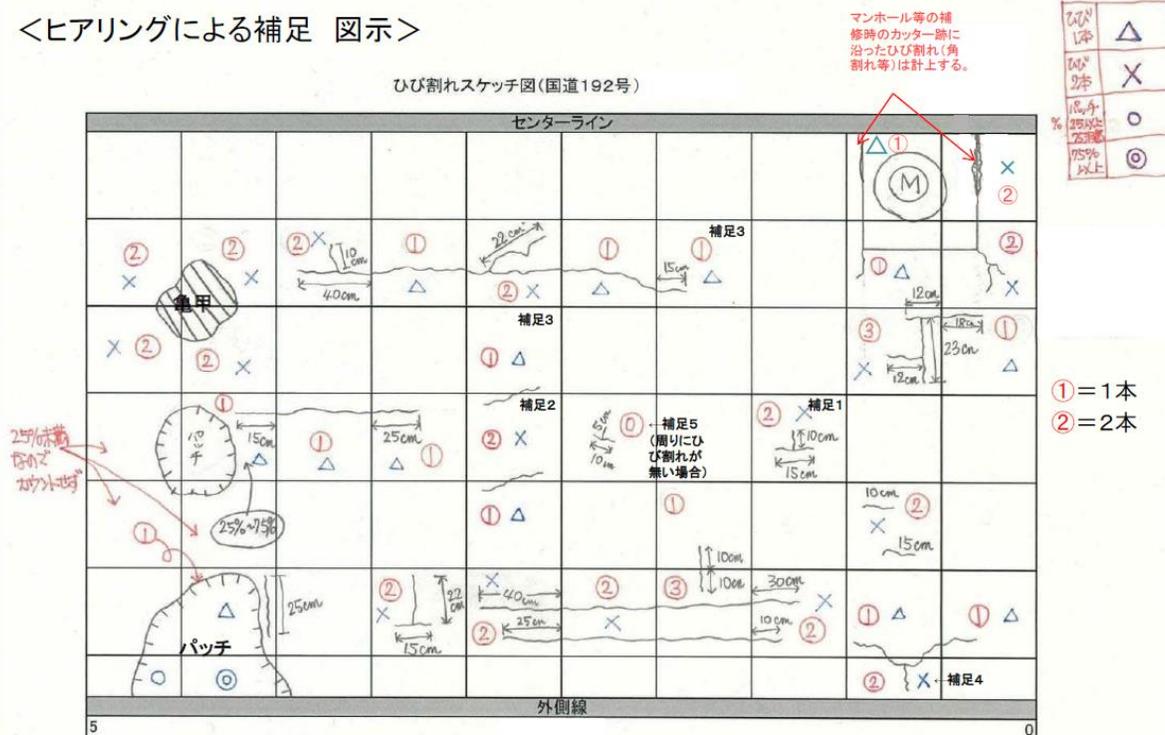
• ひび割れ検知  $\neq$  ひび割れ率 (管理指標)

• 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



<ヒアリングによる補足 図示>



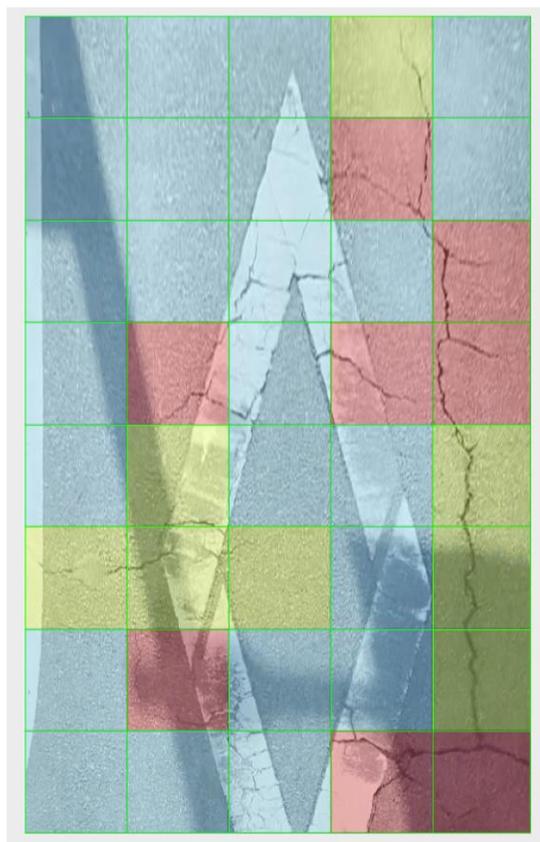
- 通常は20m単位
- 50cmメッシュ
- ひび割れ本数
  - 0本: 0m<sup>2</sup>
  - 1本: 0.15m<sup>2</sup>
  - 2本以上: 0.25m<sup>2</sup>
- パッチング
  - 0-25%: 0m<sup>2</sup>
  - 25-75%: 0.125m<sup>2</sup>
  - 75%以上: 0.25m<sup>2</sup>

• 平面図への展開と, マス目毎の「分類」が必要

# ひび割れ率の評価の仕組み

機械学習（分類）を利用した，定義通りのひび割れ率評価

教師画像の作成

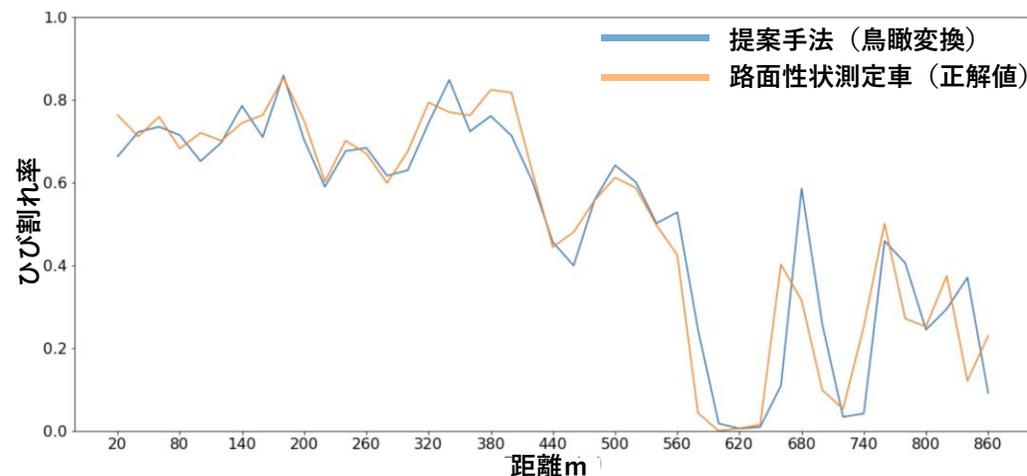


50cm x 50cm マス目



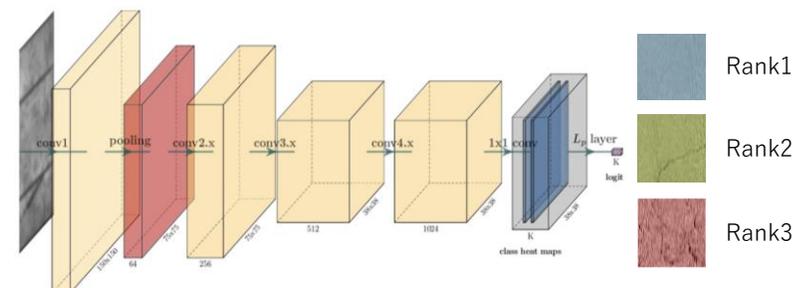
教師画像ラベルが正しいことの確認

教師画像に基づくひび割れ率評価



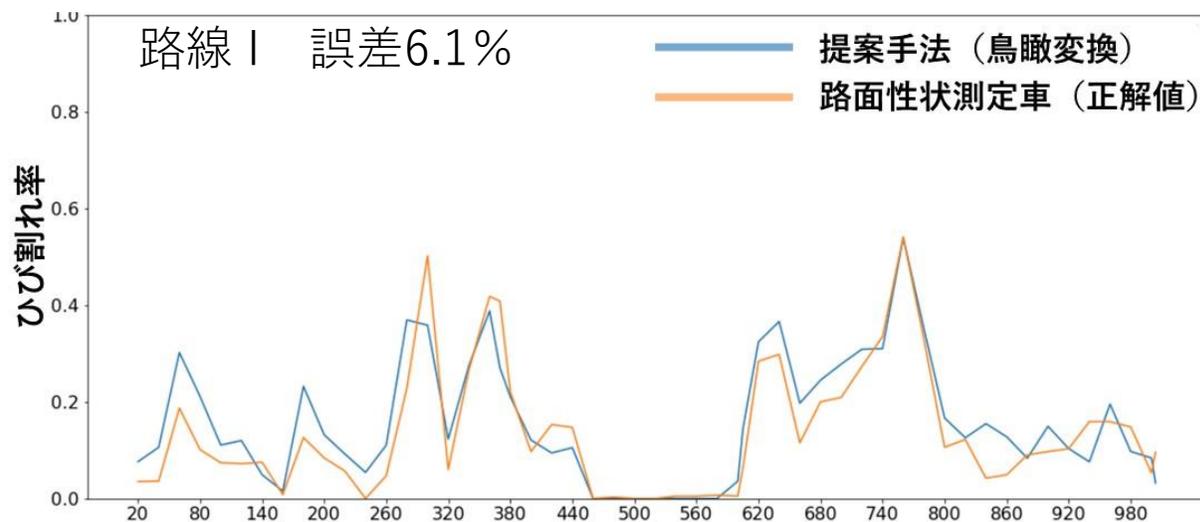
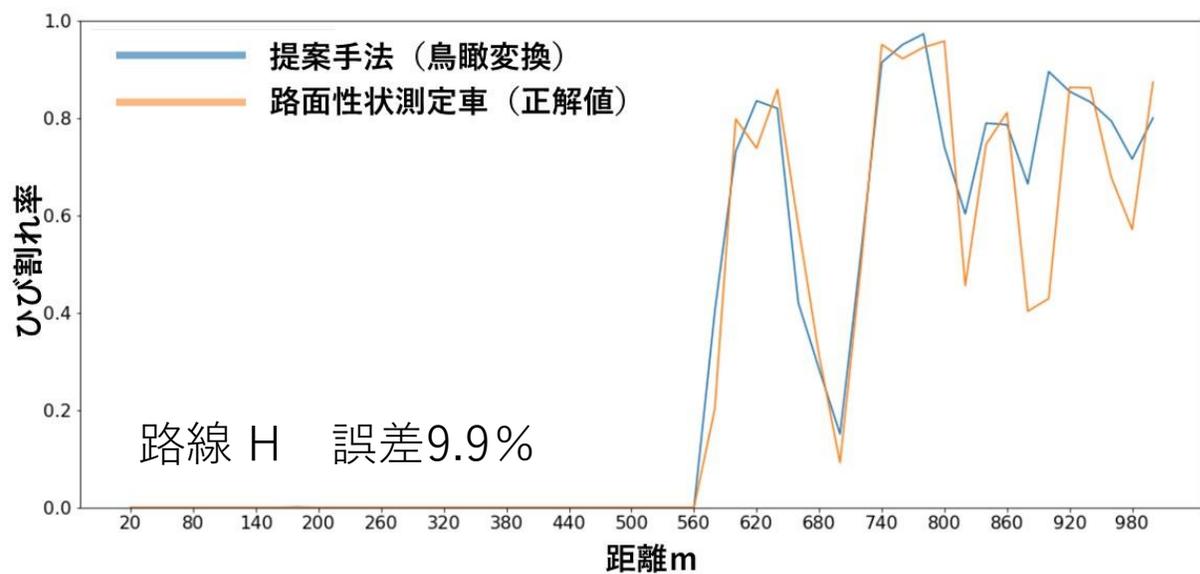
正確な教師画像に基づいて学習

224\*224 pixel



# 機械学習によるひび割れ率推定 適用結果

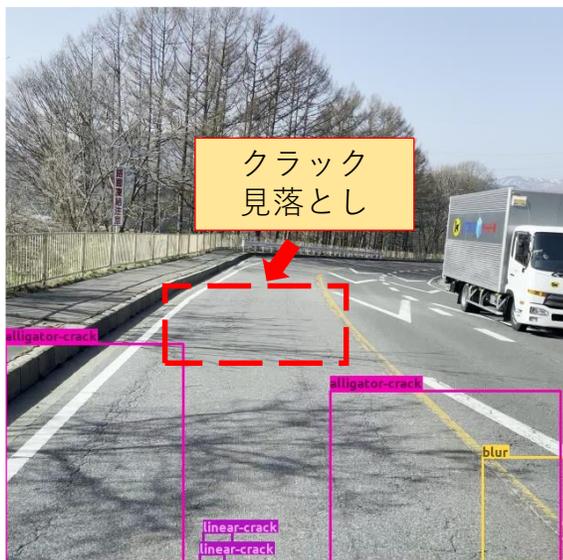
教師画像取得箇所とは別都道府県の画像に適用



路線	舗装タイプ	長さ (m)	誤差RMSE(%)
路線 A	PO	1,015	2.7
路線 B	PO	1,000	4.0
路線 C	AS	900	5.3
路線 D	PO	996	3.3
路線 E	PO	496	9.5
路線 F	AS	1,000	4.7
路線 G	AS	620	3.0
路線 H	AS	1,000	9.9
路線 I	AS	1,004	6.1
路線 J	AS	896	2.9
路線 K	AS	1,000	8.8
路線 L	AS	1,010	6.4
路線 M	PO	1,005	30
路線 N	AS	1,045	0.6
路線 O	AS	1,005	1.7

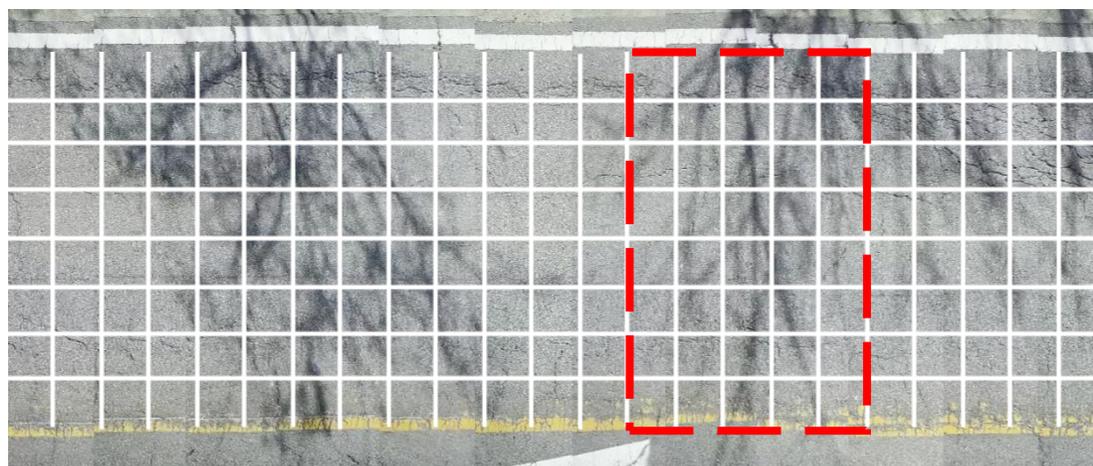
透水性舗装の1路線で誤差が大きいもののそれ以外は10%以下の誤差。

# 長所 1 : 遠方のひび割れ見落としがない



物体検知に  
基づく方法

どこでも高解像度

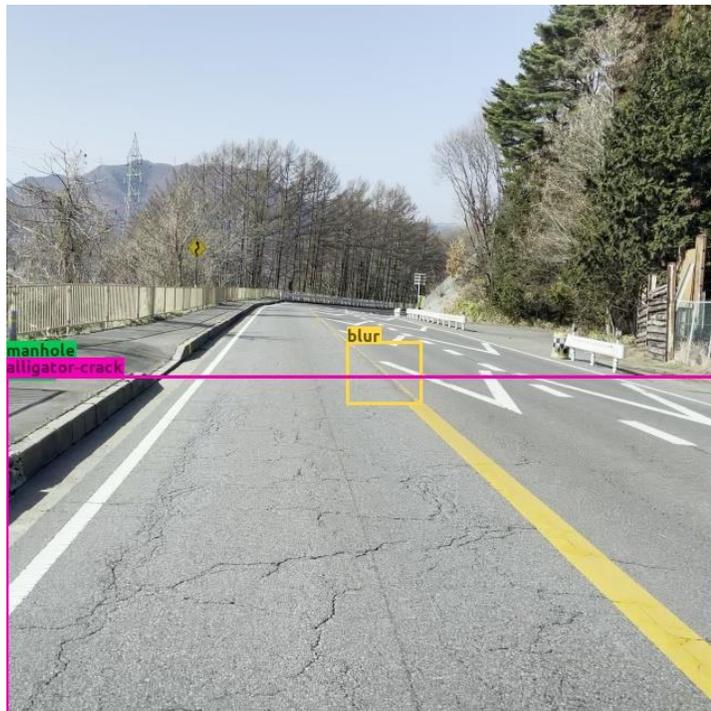


提案手法：複数の鳥瞰変換画像の合成

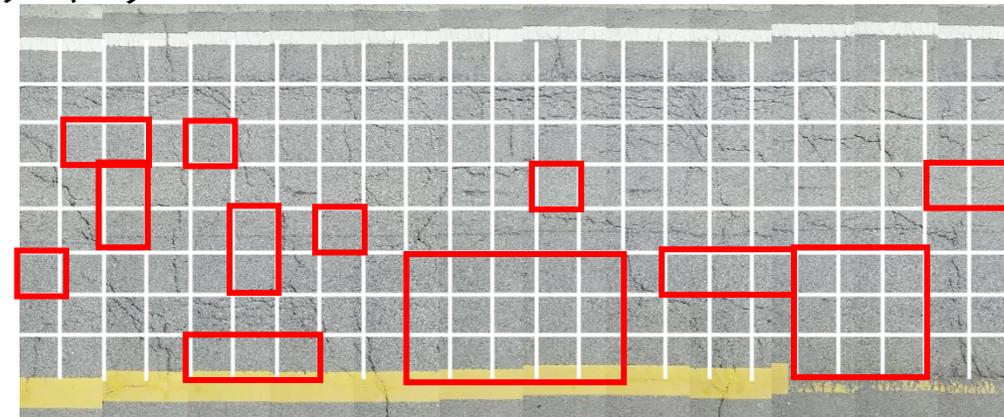
提案手法では高解像度部分のみを合成し、遠方ひび割れも明瞭に

## 長所 2 : バウンディングボックスによる不整合が生じない

バウンディングボックス利用の物体検知：対象路面の形状や，細かなひび割れ形状を容易に反映できない．比較的ひび割れ率の高い路線では過大評価に繋がりがりやすい



物体検知：全体を  
ひび割れと判定



□ ひび割れ無のマス目

提案手法：各マス目を個別に判別

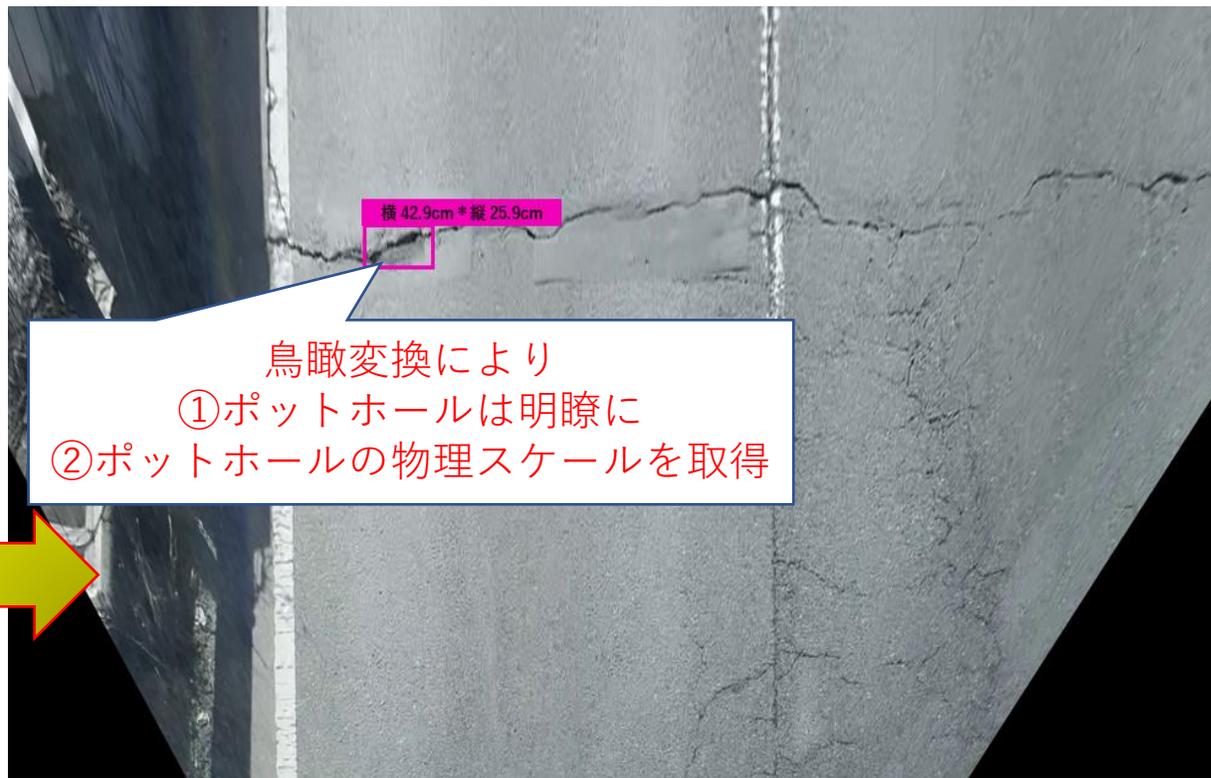
提案手法によりひび割れ無のマス目を個別に判定可能

# 長所 3 : 物理スケールの取得と検知漏れの削減



前方画像では画角の問題により細長いポットホールの検知は困難

鳥瞰変換



鳥瞰変換により  
①ポットホールは明瞭に  
②ポットホールの物理スケールを取得

前方画像

鳥瞰図

# 画像処理結果の可視化

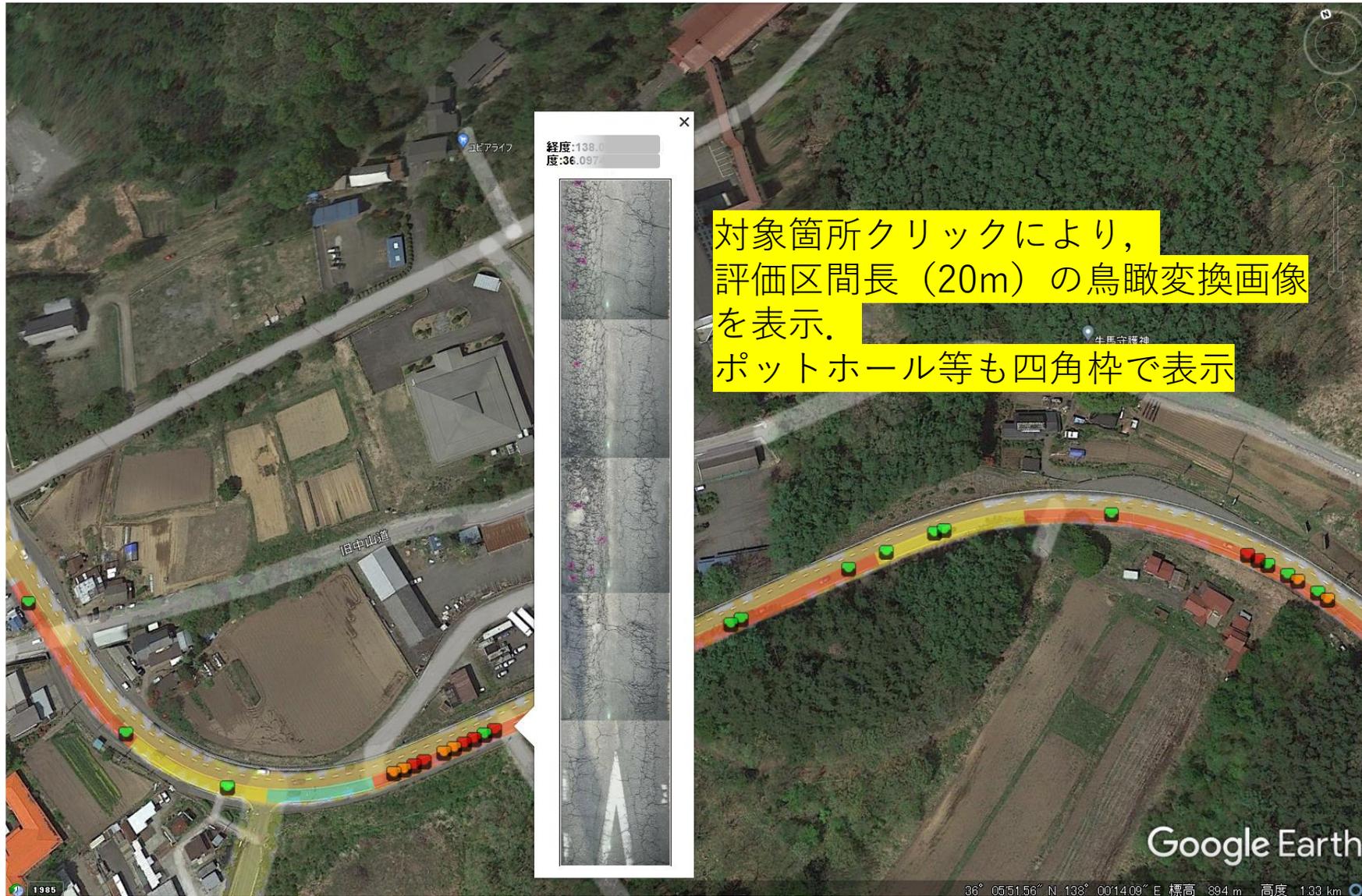
- ひび割れ率推定値を地図上に線の色として可視化.
- ポットホール, ジョイント, マンホールはピン表示



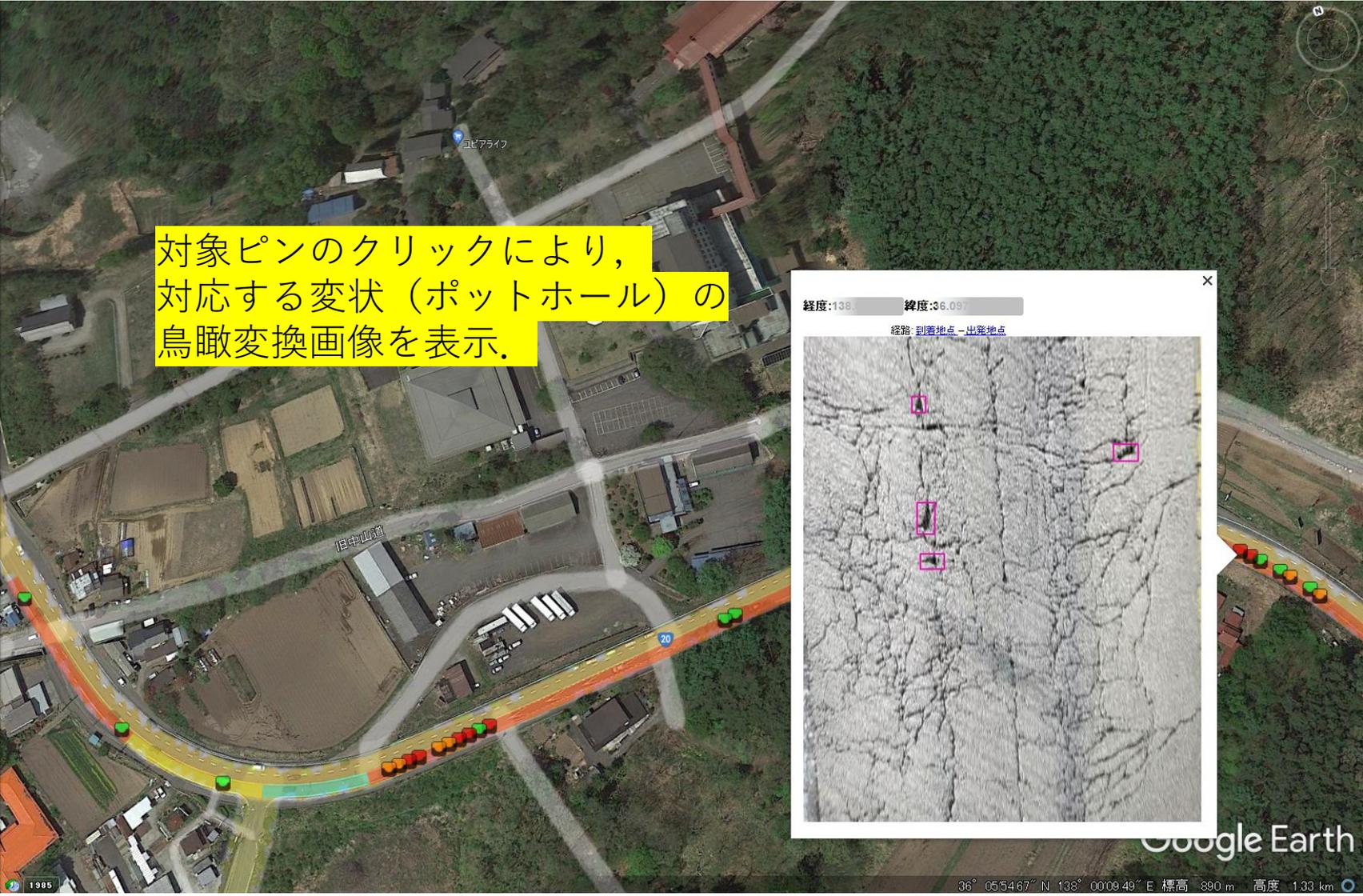
ひび割れ率 (線色)    ポットホール検知結果  
(ピン, 四角枠)

長野県内国道の可視化例

# 画像処理結果の可視化



# 画像処理結果の可視化



# ひび割れ 専用車の性能確認試験に合格

GLOCAL-EYEZ搭載車両が2022年度路面性状自動測定装置の性能確認試験に「平たん性」および「ひび割れ」の両項目に同時合格 <https://prtmes.jp/main/html/rd/p/000000003.000107939.html>

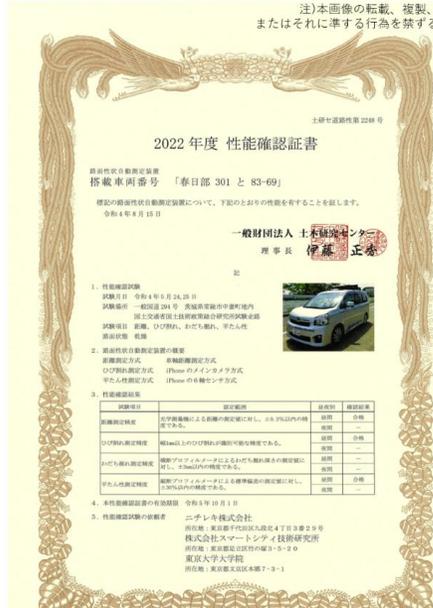
2017年



SIPインフラの共同研究

スマートフォン搭載車両として初めて「平たん性」に合格

2022年



スマートシティ技術研究所、ニチレキとの共同研究

スマートフォン搭載車両として初めて「平たん性」「ひび割れ」に合格

路面性状を表す3要素：

- 平たん性
- ひび割れ率
- わだち掘れ（開発中）

3要素揃うと舗装維持管理指数MCIベースの維持管理に準拠。知見蓄積活用可。路面性状調査・維持管理業務の生産性向上へ

現状の管理指標に對応。さらに、DXを活用して新たな管理指標や管理体系の提案も

「パトロール」「日常管理」から定量的な「点検」へ。さらに「措置」まで。

# 国際展開に向けて中国の性能確認試験にも合格

## 試験概要

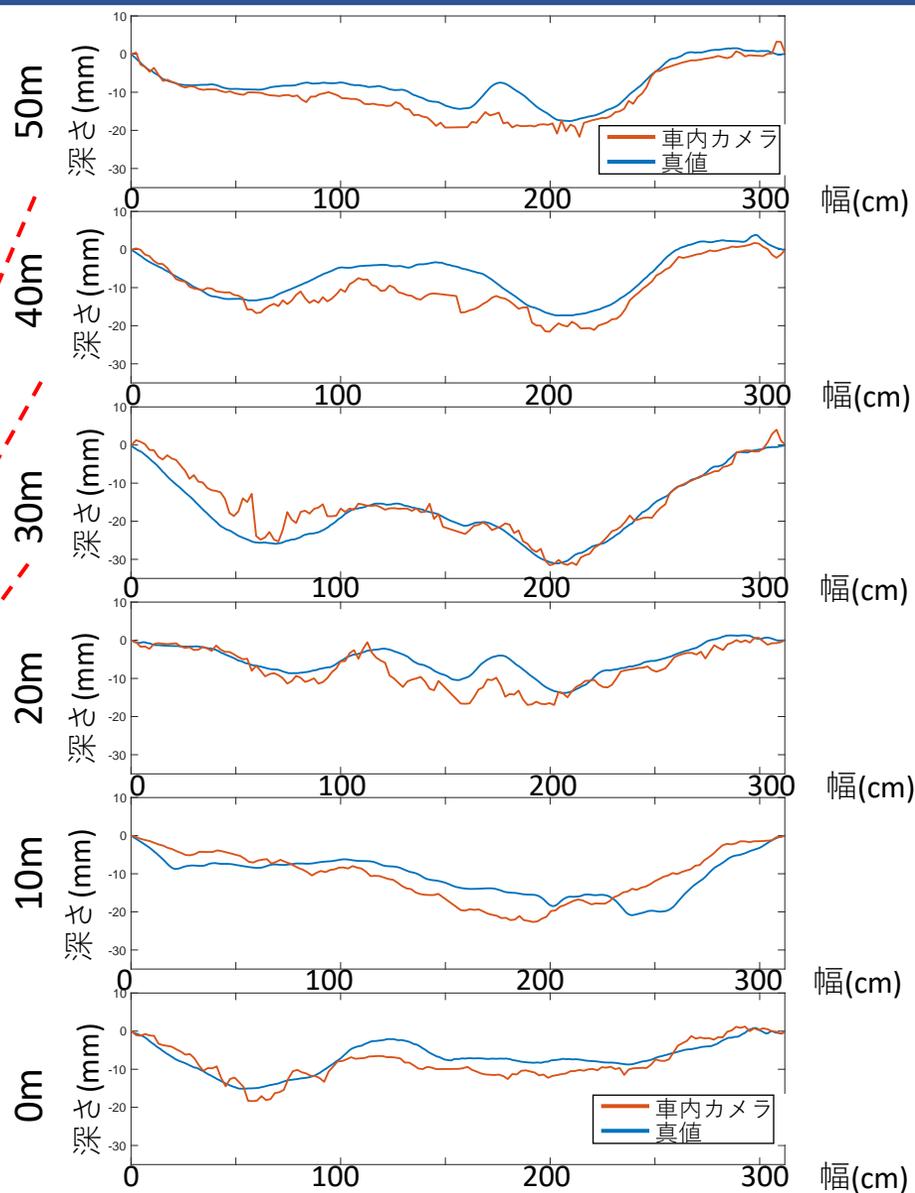
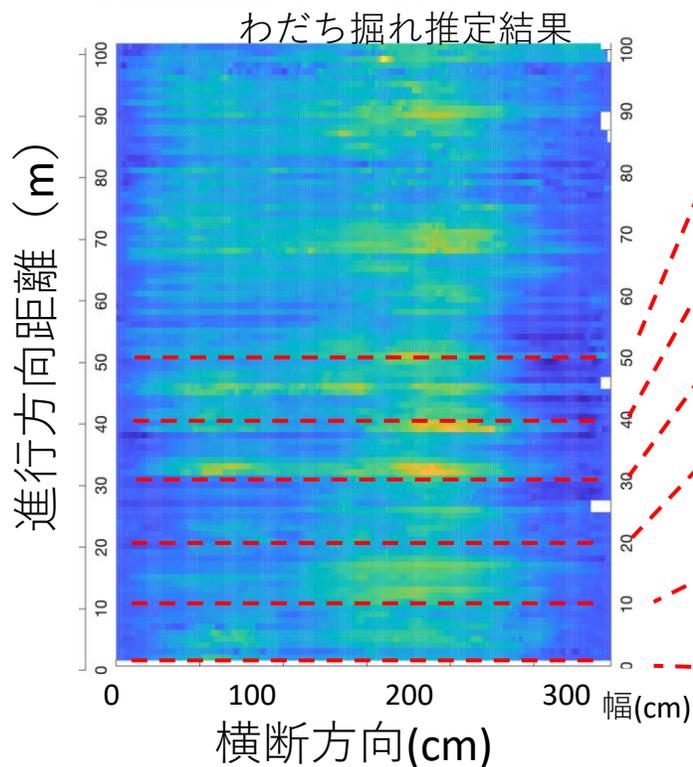
- ・試験名：道路測定装置性能確認試験
- ・試験対象：
  - 画像：ひび割れ率(正解値との相対誤差)、撮影範囲、カメラ分解能（認識可能幅）、縦横相対誤差
  - IRI(正解値との相対誤差)
- ・主催者：国家道路橋梁測定装置性能確認機関
- ・参加技術：GLOCAL-EYEZ
- ・使用車両とスマートフォン：Wuling Sunshine(軽自動車, レンタカー)、iPhone13



GLOCAL-EYEZ搭載車両：Wuling Sunshine

試験道路（アスファルト舗装）

# 前方画像を利用したわだち掘れ評価



平坦性/IRI, ひび割れ率, わだち掘れ, ポットホールをスマホにより評価. さらに...

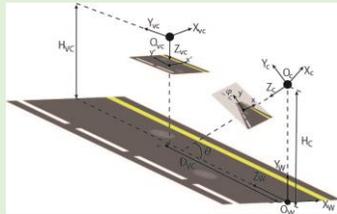
# 鳥瞰変換画像の合成による詳細な路面展開図作成と路面の時系列解析・予防保全

## 鳥瞰図の自動変換・解析手法



前方画像

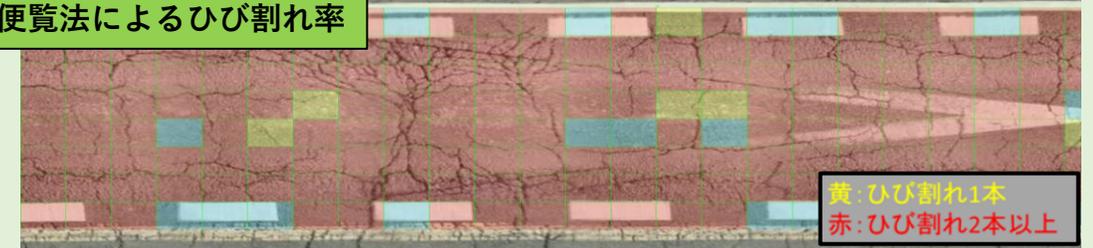
自動  
鳥瞰変換



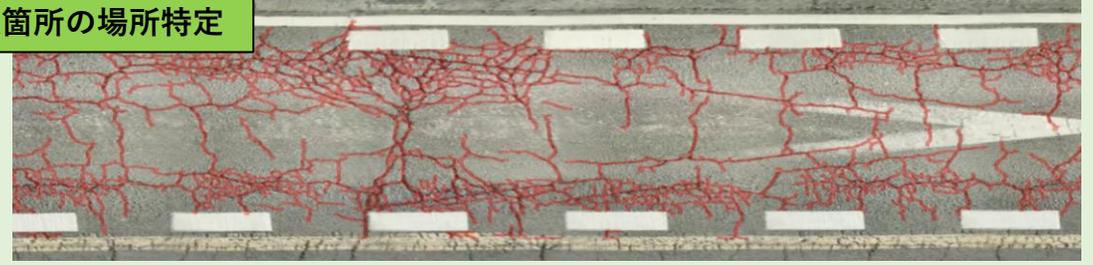
鳥瞰図

画像連続化

試験便覧法によるひび割れ率

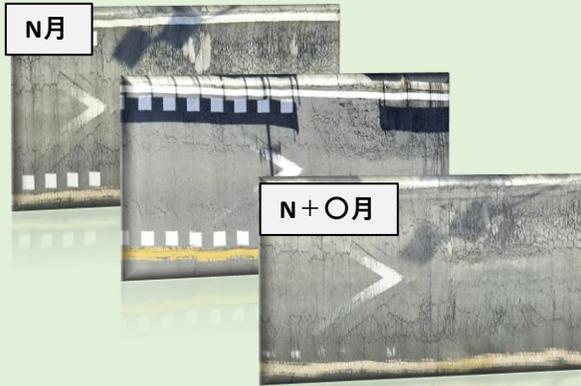


変状箇所の場所特定



■令和2年度 国土交通省関東地方整備局マッチング事業研究成果  
[https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr\\_content/content/000835631.pdf](https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000835631.pdf)

事後対応から予防保全への転換を実現



時系列画像の高精度位置合わせ



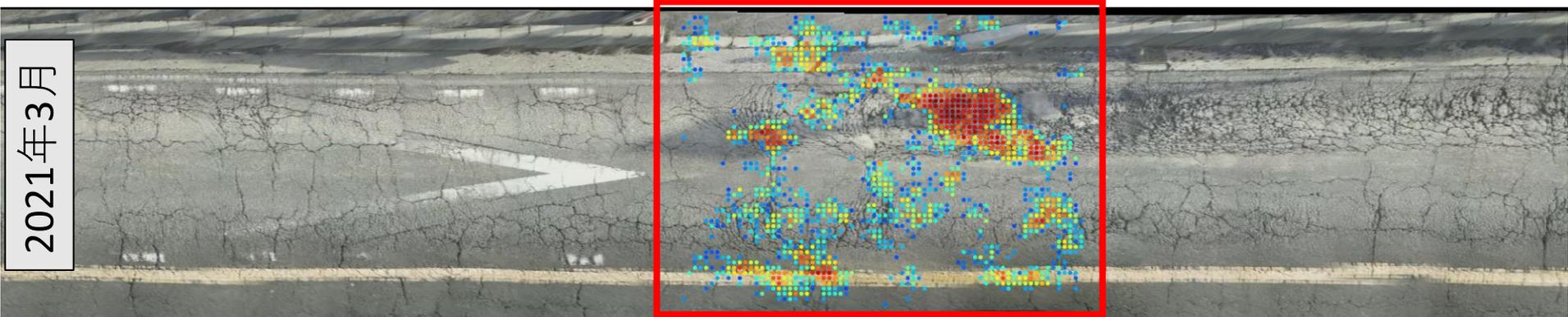
時系列解析による劣化予測・予防保全

# 経時変化の評価に向けて GPS誤差による位置ずれの補正

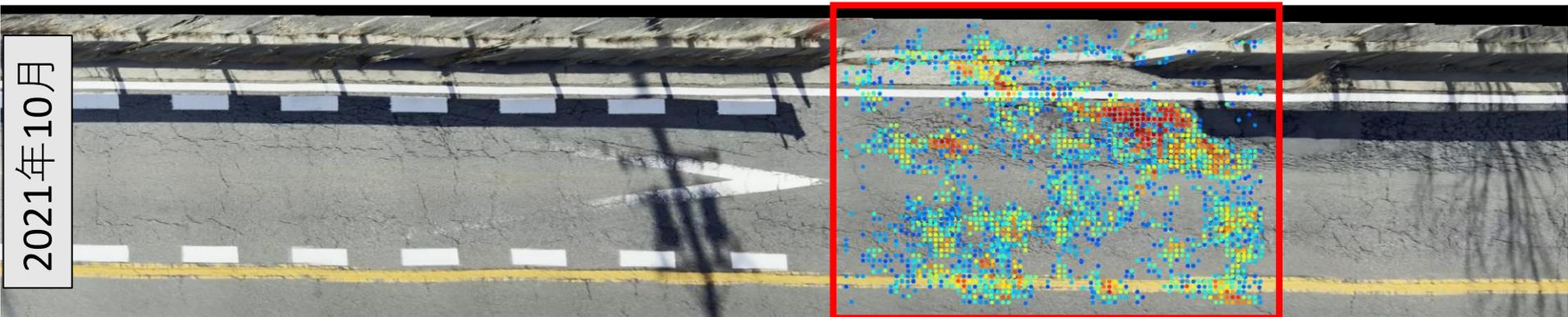


# 特徴点マッチングによる厳密な位置合わせ

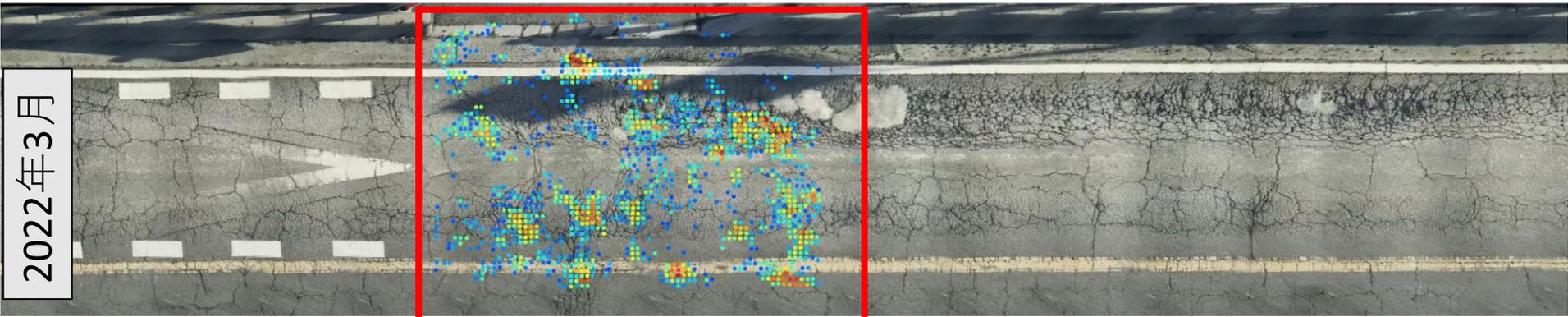
2021年3月



2021年10月



2022年3月



# 特徴点マッチングによる厳密な位置合わせ



2022年3月

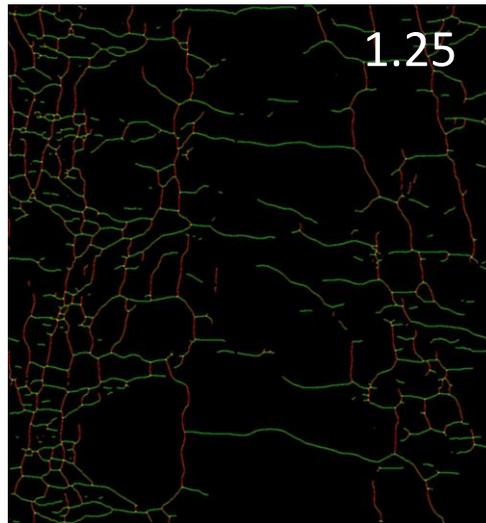
# 時系列データ解析による劣化予測

ひび割れ抽出

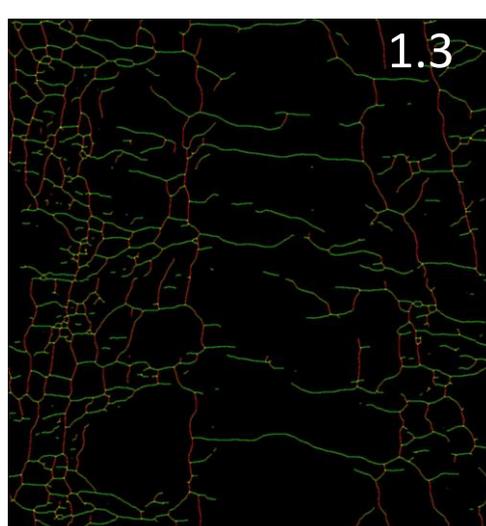
ひび割れ交点数算出

ひび割れ縦横比算出

2021年3月



2022年3月



ひび割れ検知やひび割れ率にとどまらず、多様な観点の評価指標の経時分析による**劣化予測の高度化**，さらに、**管理指標・管理体制の合理化へ**

# 動揺計測に基づく平坦性評価：厳密なポストプロセスによる正確な計測

## iDRIMS measurement



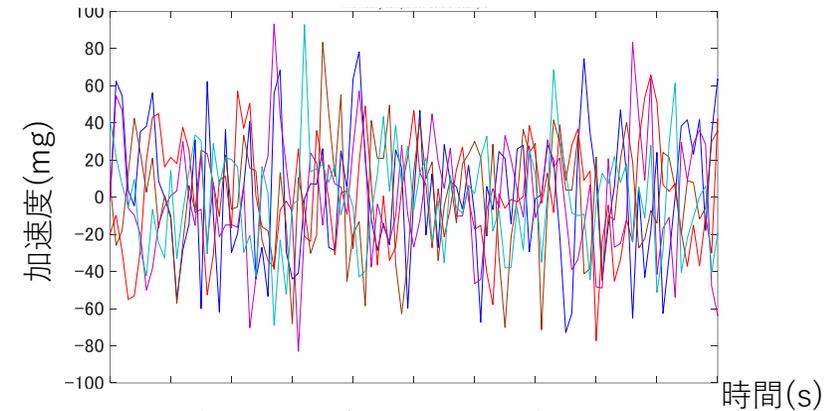
GPS  
Acceleration  
Angular velocity  
+  
Movie  
Photos

サンプリングタイミングの変動を抑制



## 計測精度

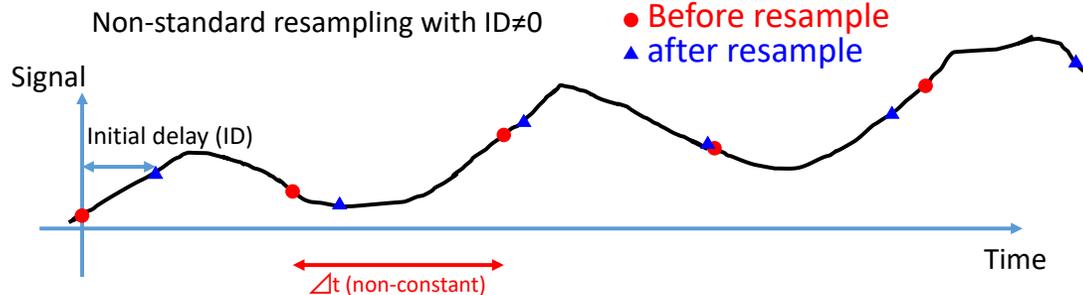
サーボ型加速度計とiPodTouch



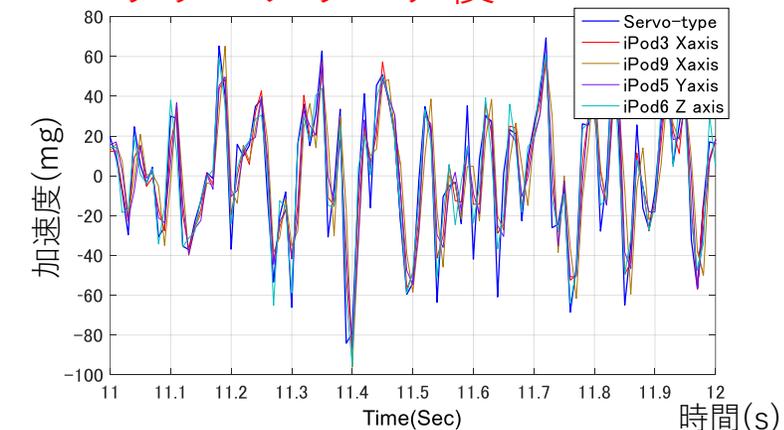
生データ (リサンプリング前)

## ポストプロセス

サンプリングタイミングの時変動をリサンプリングにより補正



リサンプリング後



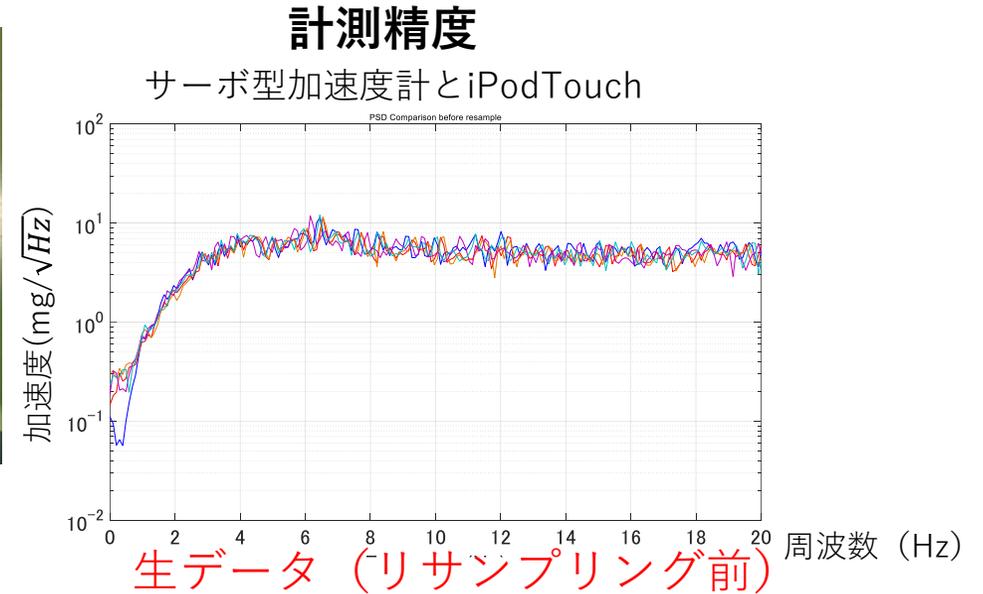
# 動揺計測に基づく平坦性評価：厳密なポストプロセスによる正確な計測

## iDRIMS measurement



GPS  
Acceleration  
Angular velocity  
+  
Movie  
Photos

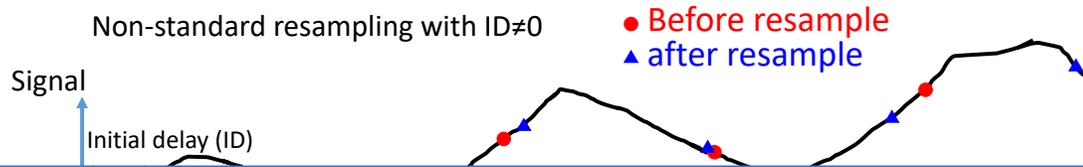
サンプリングタイミングの変動を抑制



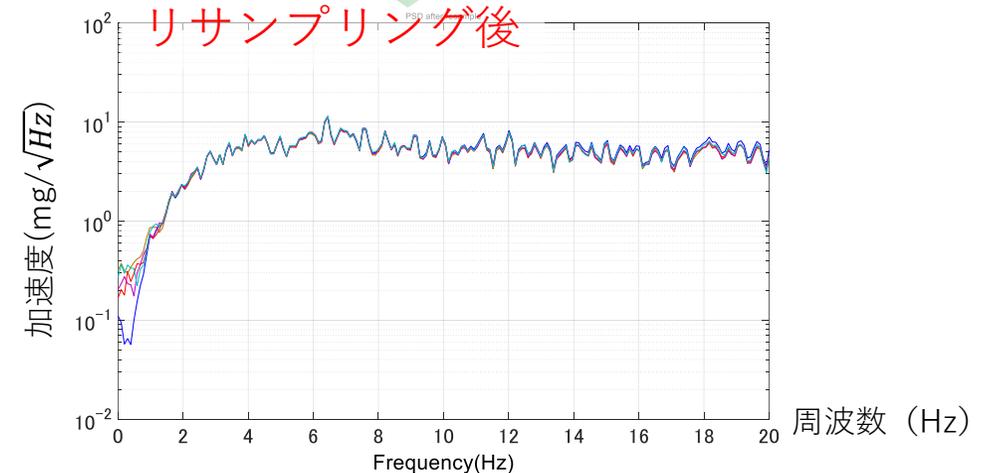
## ポストプロセス

サンプリングタイミングの時変動をリサンプリングにより補正

Non-standard resampling with ID≠0



リサンプリング理論を厳密に実装することで、高精度計測可能。産業用ジャイロと類似の性能

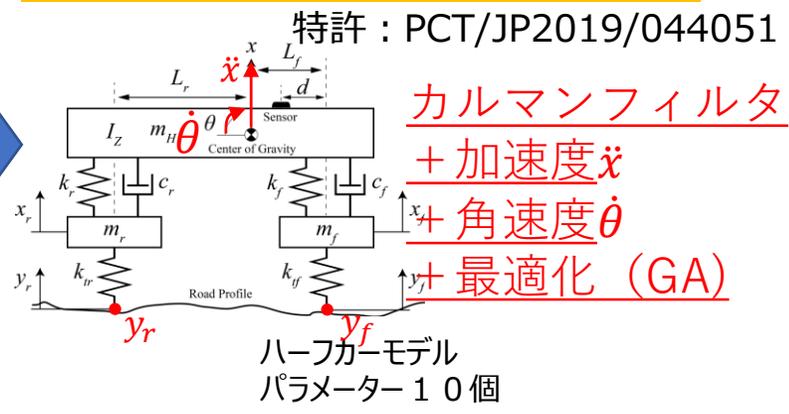
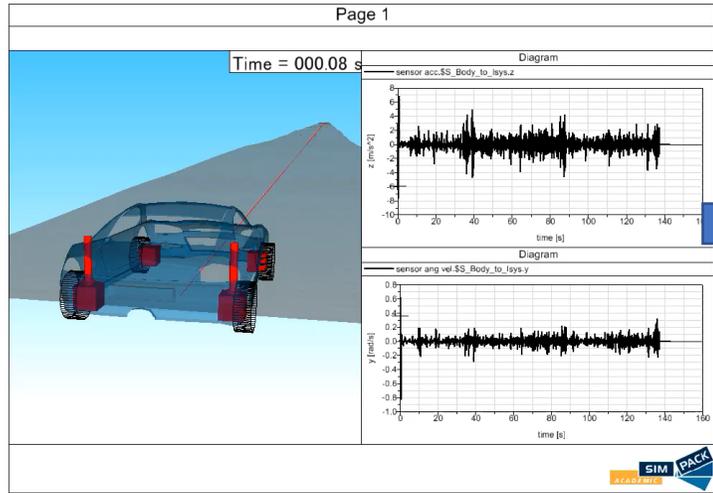


# 動揺計測に基づく平坦性評価 アルゴリズム開発

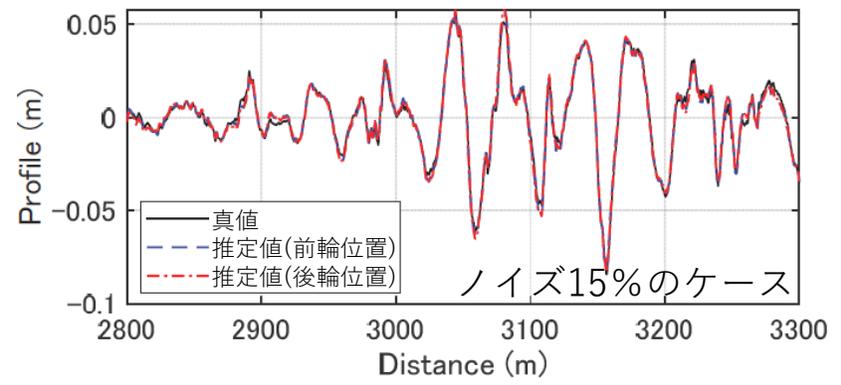
## 特徴

- 加速度に加えて角速度の利用。カルマンフィルタ，スモータ（データ同化の一種）
- 車両の違いと走行速度の違いの補正
- マルチボディシミュレーションを利用したアルゴリズム改善・高精度化

### 車両モデル同定と路面逆推定

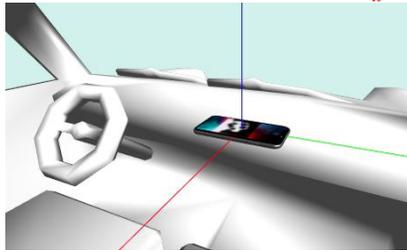


### 正確なプロファイル逆推定



### センサ設置角度推定 (独自アルゴリズム)

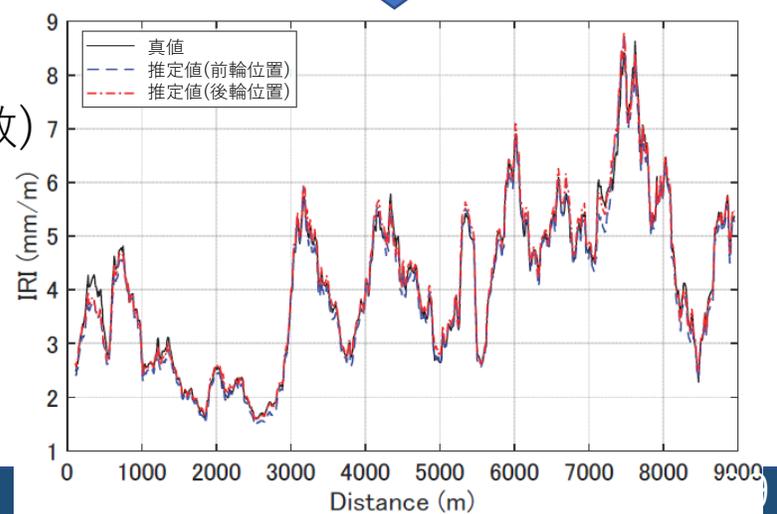
$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$



GLOCAL-EYEZ

路面管理指標IRI (国際ラフネス指数) の正確な推定

制御理論，データ同化理論，最適化に基づいて正確でロバストな逆推定法を構築



# 動揺計測に基づく平坦性評価 実測

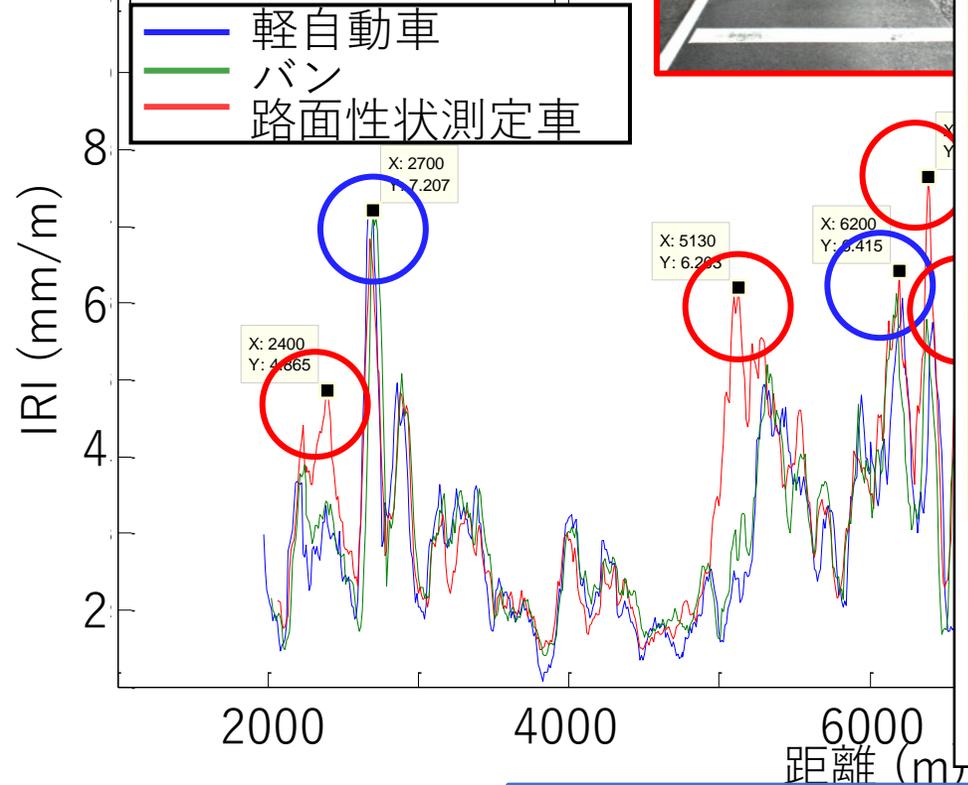
赤信号  
(路面性状測定車)



DRIMS



路面性状測定車



路性証第 2917 号

## 平成 29 年度 性能確認証書

路面性状自動測定装置  
搭載車両番号 「練馬 536 に 20-01」

標記の路面性状自動測定装置について、下記のとおり性能を有することを証します。  
平成 29 年 8 月 2 日

一般財団法人 国土技術政策総合研究所 研究センター  
理 学 部 山 本 研 究 セ ン タ ー 田 中 研 究 室

記

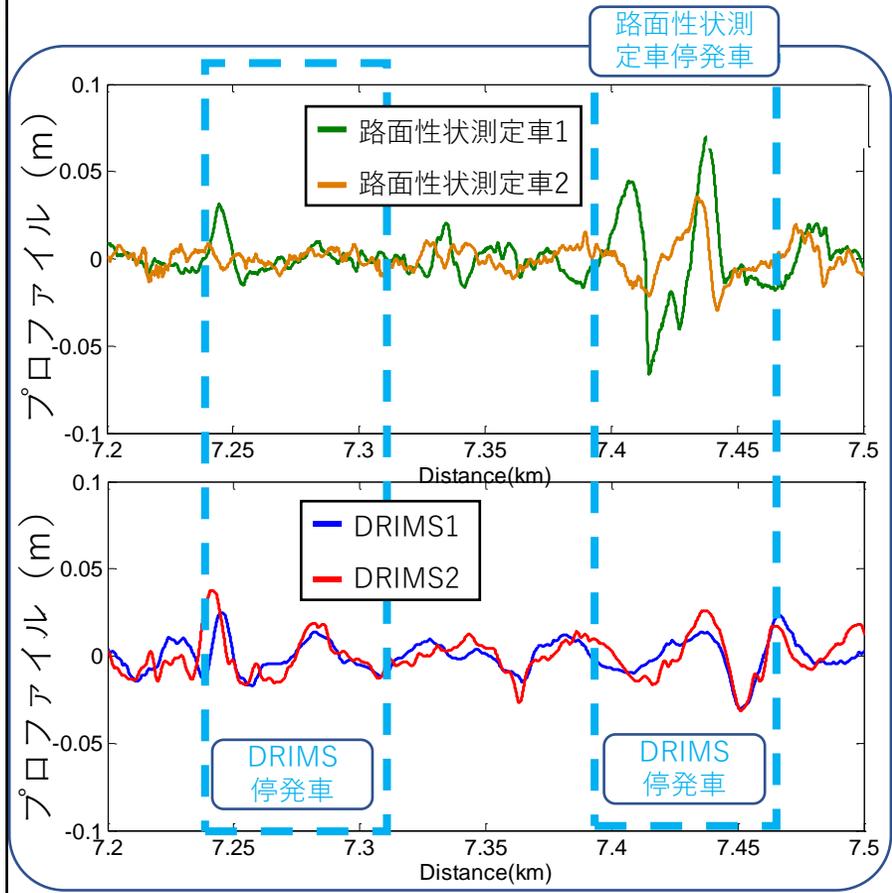
- 性能確認試験
  - 試験月日 平成 29 年 5 月 23, 24 日
  - 試験場所 一般国道 294 号  
茨城県下妻市敷原地内～平川戸地内  
国土交通省国土技術政策総合研究所試験道路
  - 試験項目 距離、ひび割れ、わだち割れ、平坦性  
路面状態 乾燥
- 路面性状自動測定装置の概要
  - 平坦性測定方式 Dynamic Response Intelligent Monitoring System (DRIMS)
- 性能確認結果
 

試験項目	測定範囲	昼夜別	確認結果
距離測定精度	光学測量機による距離の測定値に対し、±0.3%以内の精度である。	昼間	合格
ひび割れ測定精度	幅1mm以上のひび割れが識別可能な精度である。	昼間	合格
わだち割れ測定精度	横断プロファイルによるわだち割れ深さの測定値に対し、±3mm以内の精度である。	昼間	合格
平坦性測定精度	縦断プロファイルによる標準偏差の測定値に対し、±30%以内の精度である。*	昼間	合格
- 本性能確認証書の有効期限 平成 30 年 10 月 2 日
- 性能確認試験の依頼者 国立大学法人 東京大学  
所在地: 東京都文京区本郷 7-3-1

※注: 受検時における試験区間の起終点設定は、距離測定性能確認試験を受検していない方法にて実施

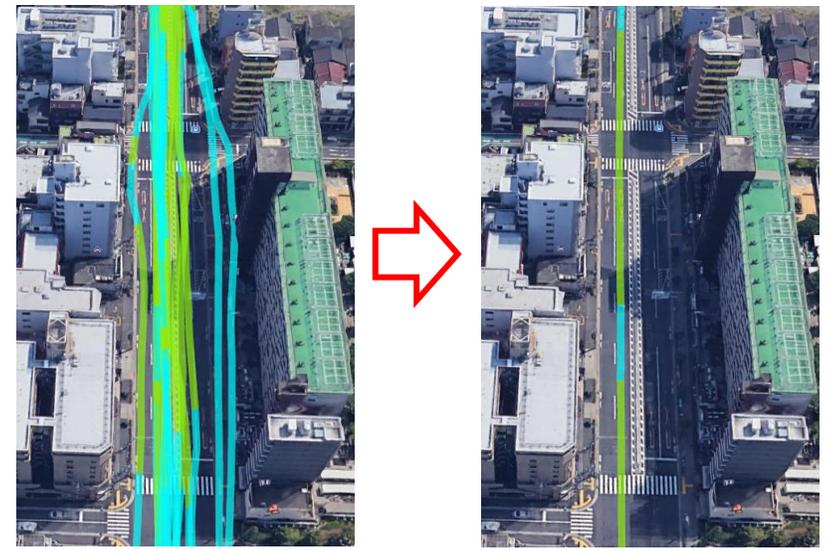
性能確認証書 (2017)  
専用車 (路面性状測定車)  
の性能確認試験にスマホ  
ベースで唯一合格

## 縦断形状比較



路面性状測定車とほぼ整合。停発車時はスマホのほうが高精度

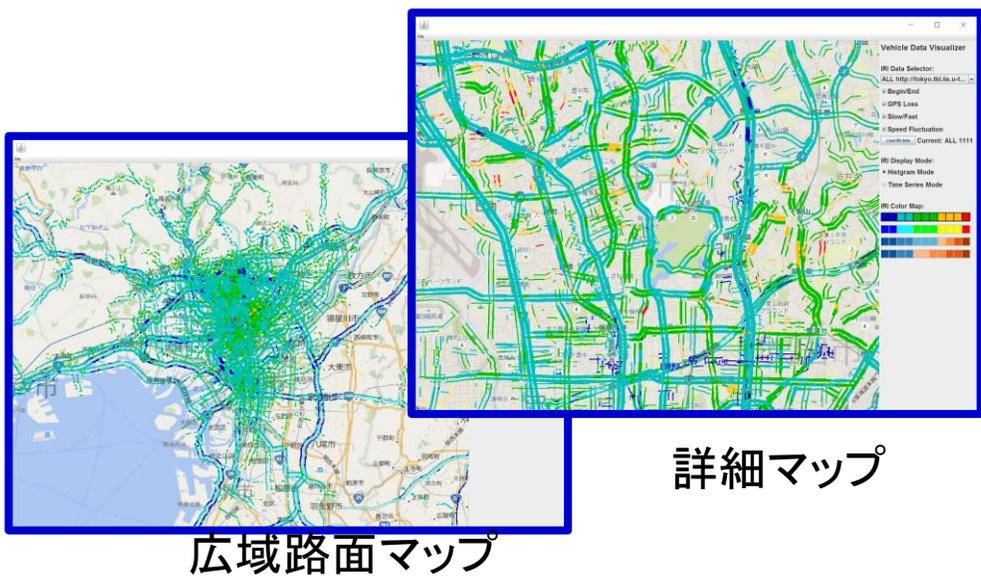
# マップマッチング



# 大規模実装とクラウド解析

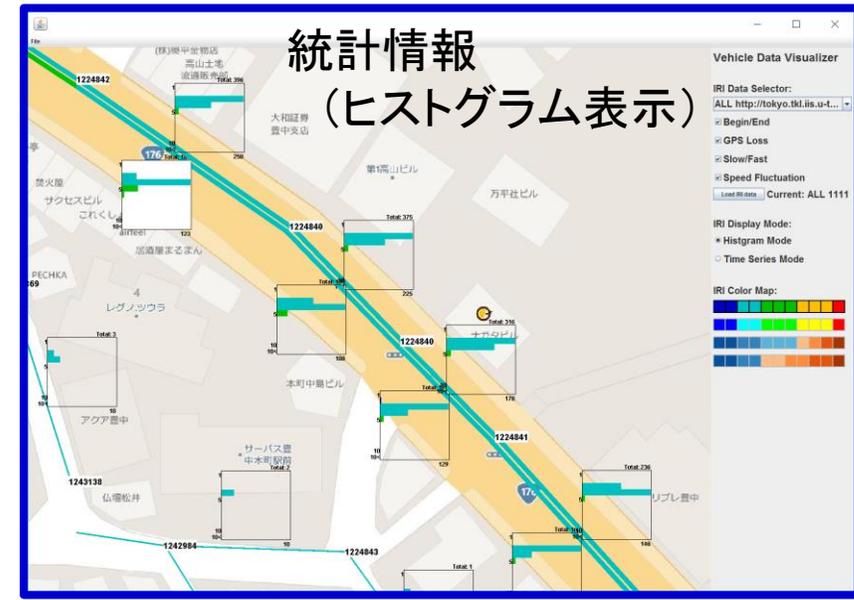


SIP「インフラ予防保全のための大規模センサ情報統合に基づく路面・橋梁スクリーニング技術の研究開発と社会実装」代表JIPテクノサイエンス家入正隆



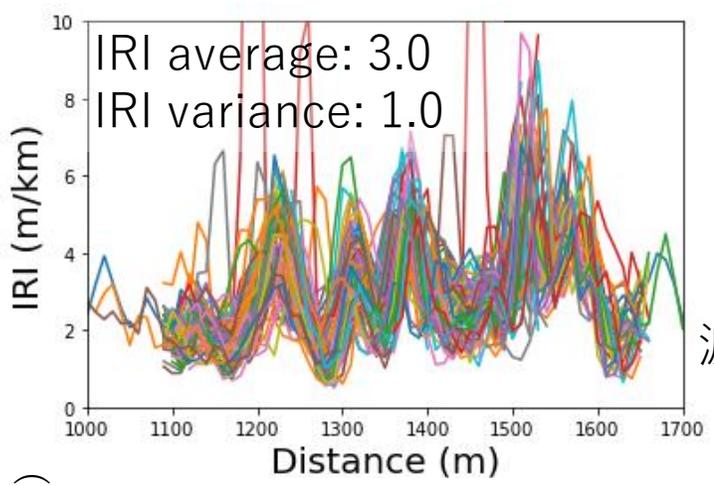
詳細マップ

広域路面マップ

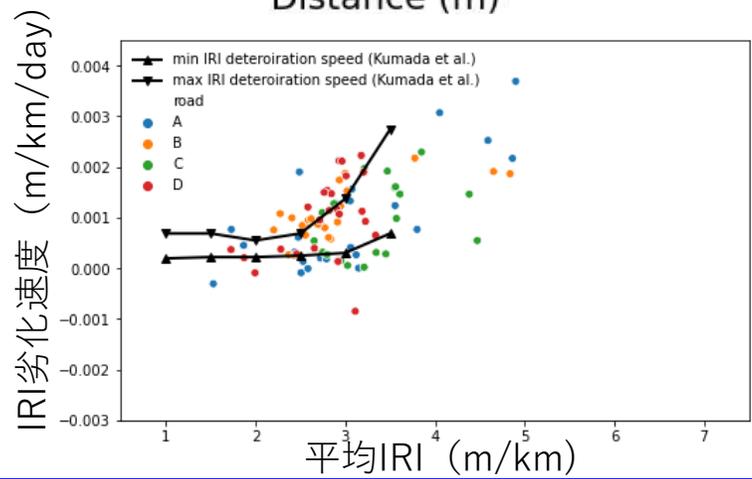
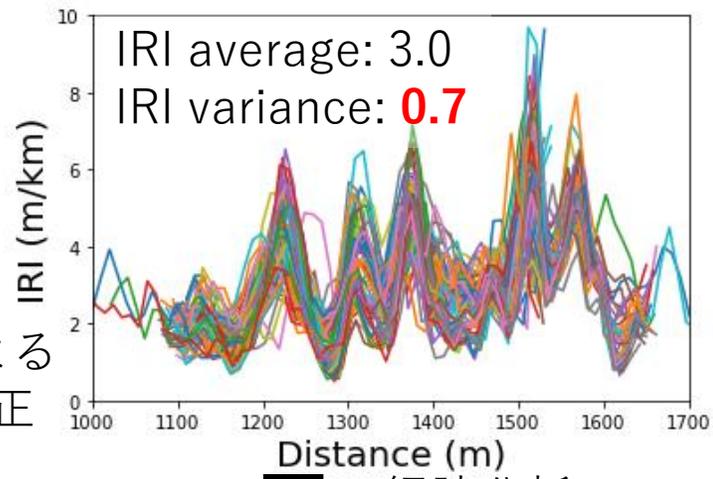


# ビッグデータ解析による劣化特性の評価

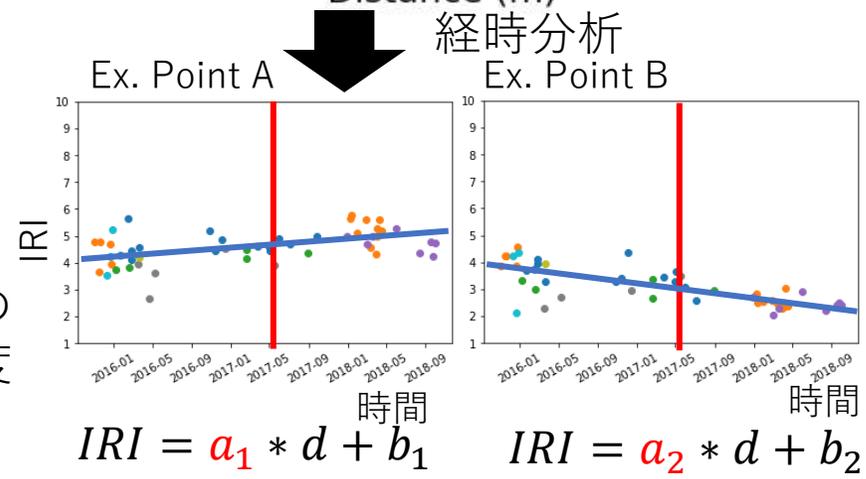
- 多車両（タクシー）による長期モニタリングデータ
- IRI誤差, 空間誤差 > 時間変化補正に必要な精度  
→ 空間誤差の補正, ビッグデータ解析



波形合わせによる  
GPS誤差の補正

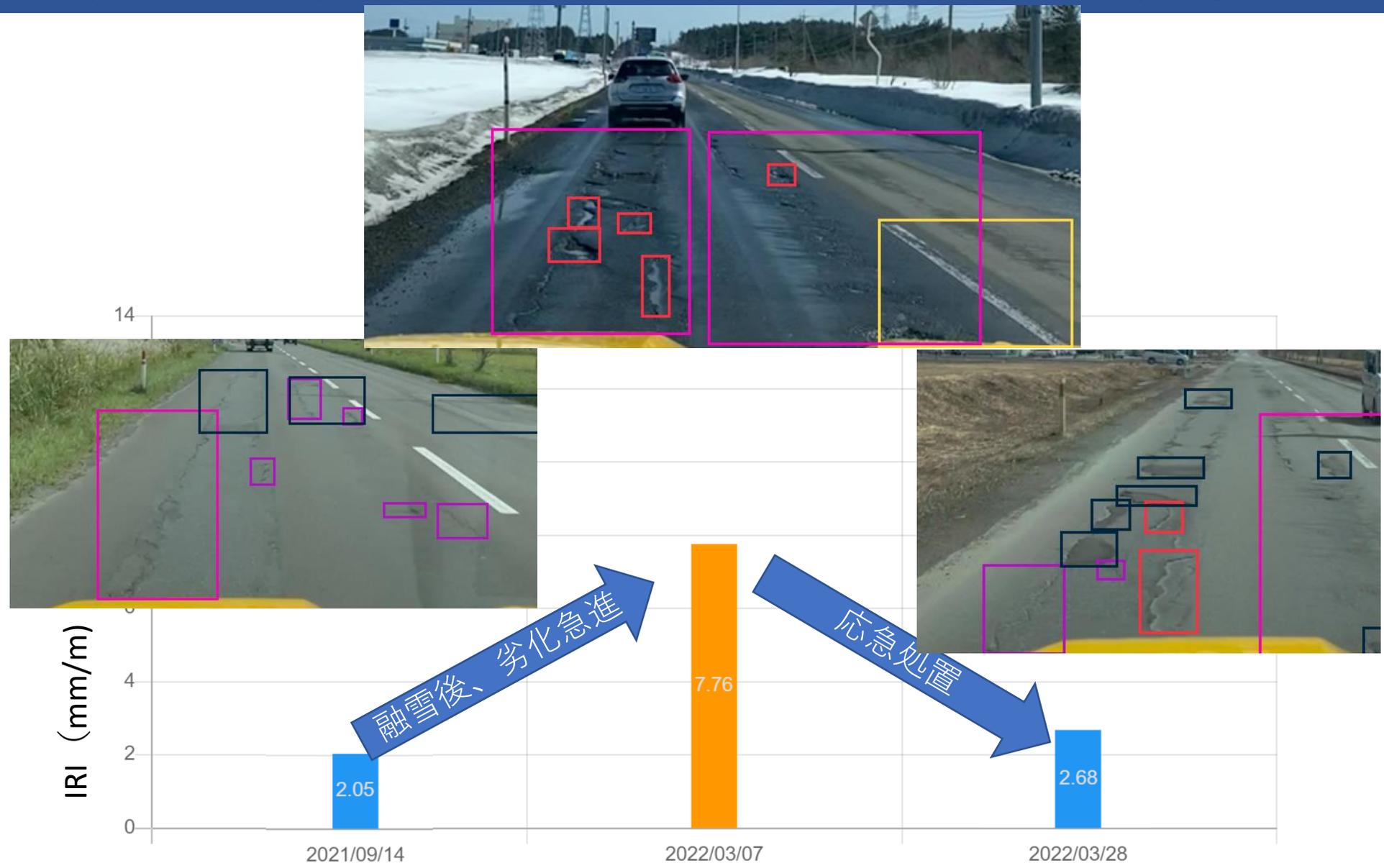


区間毎の  
劣化速度  
 $a_1, a_2, \dots$



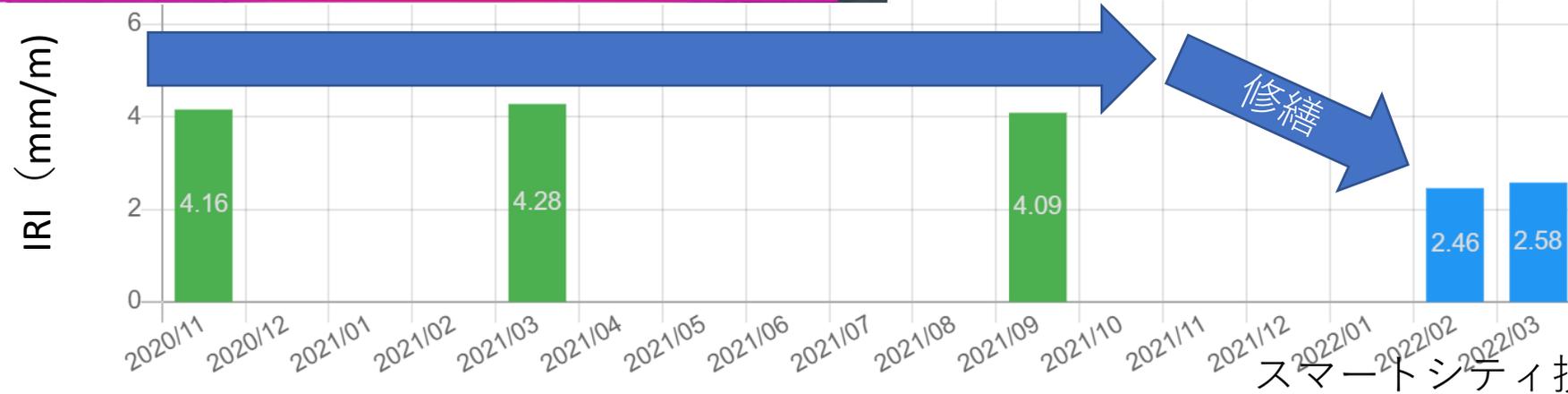
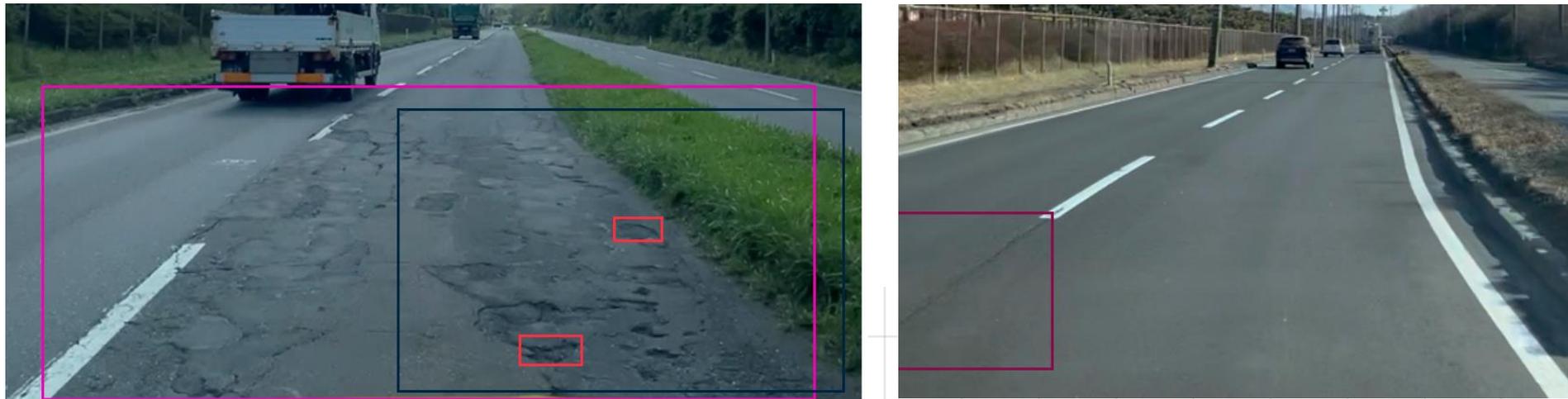
スマホによる動揺計測・解析により路線毎の劣化特性の違いを評価

# 振動 + 画像 修繕箇所・劣化個所の把握・情報開示



スマートシティ技術研究所

# 振動 + 画像 修繕箇所・劣化個所の把握・情報開示



# 振動 + 画像 修繕箇所・劣化個所の把握・情報開示



# 劣化予測 ポットホール予測AIモデル

雪解け後にポットホール多発  
事故の誘因

現状: 発見, 補修, 事後保全



パトロール/点検・調査データからポットホール発生予測の試み

発生前

2021/09/14 10:26:52

2021/09/03 13:27:53

予測

ポットホール発生後

2022/03/07 10:51:03

2022/03/07 13:19:31

# 劣化予測 ポットホール予測AIモデル

降雪前に，融雪後のポットホール発生予測の事例

予測



実際の発生個所



ある国道10km区間の予測精度

正確度96% 再現率69% 特異度97% 適合度43%

スマートシティ技術研究所

今後: 多量・多様なデータから予測高精度化, 計画的な予防保全へ

# 補修優先順位付け

多角的な評価指標および予測に基づいて補修優先順位付け

時間による絞り込み

総合指標に基づく補修優先順位

優先順位

1	3	Red
From 4	To 5	Purple
From 6	To 6	Dark Blue
From 7	To 11	Light Blue
From 12	To 15	Cyan

マップ設定

時間フィルター

From - To

絞り込み

補修優先箇所

優先順位: 1

優先順位: 2

優先順位: 3

優先順位: 4

優先順位: 5

優先順位: 6

© Mapbox © OpenStreetMap Improve this map

スマートシティ技術研究所

- ▶スマートフォンを利用して平坦性 (IRI), ひび割れ率, わだち掘れを高精度に評価する仕組み構築. 平坦性, ひび割れは性能確認取得レベルの精度. わだち掘れ評価も高精度化検討中
- ▶さらに, 高精度な位置合わせにより, 路面の劣化を詳細に経時評価することが可能に.
- ▶今後, 経時変化の追跡と劣化予測に基づく, 合理的な管理方法の検討へ.