

機械学習・深層学習を用いた 道路路面性状評価に関する研究

千葉大学大学院工学研究院

丸山 喜久

1

本日の内容

カープローブデータを用いた
路面性状評価に関する研究

◆ 車両加速度を用いた舗装路面の平坦性評価

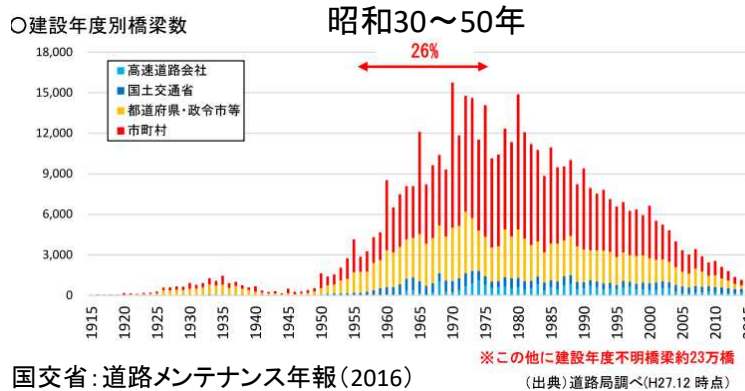
◆ 車載カメラ画像の深層学習による道路路面評価

2

研究の背景

深刻な道路ストックの老朽化問題

高度経済成長期に整備された社会基盤施設が、これから**建設後50年**を迎える。



建設後50年を経過する社会資本の割合

	2013年3月	2023年3月	2033年3月
道路橋	約18%	約43%	約67%
トンネル	約20%	約34%	約50%

（国土交通白書，2013）

3

研究の背景

舗装道路の点検

幹線道路

- ・路面性状測定車
- ・ひび割れ率，わだち掘れ量，平たん性を測定し，維持管理指数（MCI）として計算
- ・MCIに応じて，修繕の有無を判断
- ・計測が高額（数万円/km）



生活道路

- ・目視点検や住民からの通報に応じて事後処置
- ・客観的なデータに基づく維持管理が困難

計画的な点検に基づく**予防保全**が実現されていない

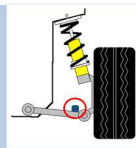
4

研究の目的

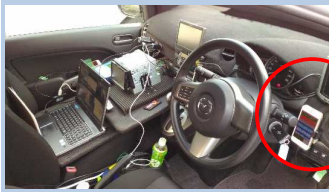
舗装路面の陥没は、**重大な事故**につながる可能性もある。



低価格、低労力で実現可能な新たな路面性状評価手法の構築



小型加速度
センサーの
(バネ下)
加速度



スマートフォンの
(バネ上)
加速度



カープローブデ
ータの利用



カーナビゲー
ションシステム
の加速度

パイオニア(株)製

振動台を用いた加振実験

○120秒間の加振実験

○振動台の応答波形と測定機器のx方向加速度波形

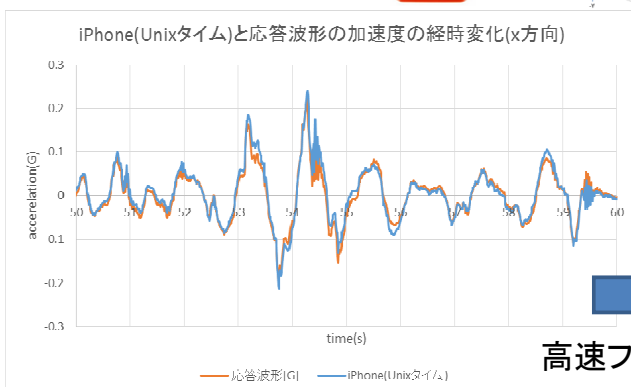
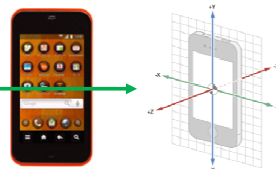
○それぞれの加速度波形を高速フーリエ変換(FFT)

比較

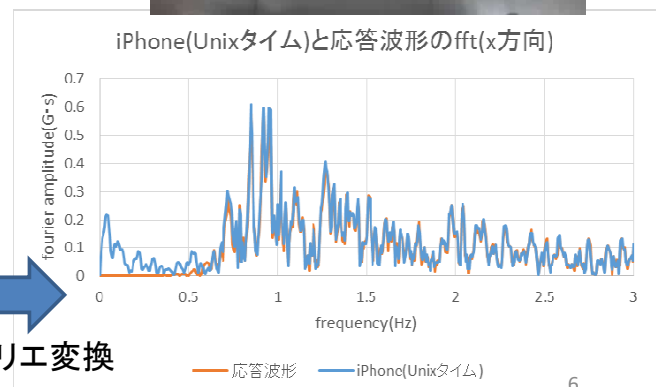
↓

2つの波形がほぼ一致したため、
iPhoneによる測定精度はある程度正確

x方向の測定



高速フーリエ変換



現地実走調査

2015年9月29日: 東京都調布市
2015年10月9日: 神奈川県横浜市

「日本道路協会: 舗装調査・試験法便覧」
に準拠した測定

- ・維持管理指数(MCI)
 - ・MCIの算出に必要な3要素
(ひび割れ率, わだち掘れ量, 平坦性)
 - ・国際ラフネス指数(IRI)
 - ・画像データ
- 100mまたは10m間隔

鹿島道路(株)の路面性状測定車



パイオニア(株)製カーナビ
AVIC-ZH0999W



グローバルサーベイ(株)の調査車両



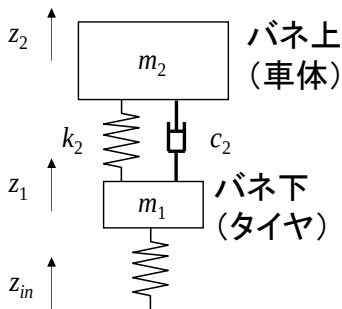
リオン(株)製
DA-20



iPhone5

国際ラフネス指数(IRI)

クォーターカーモデル

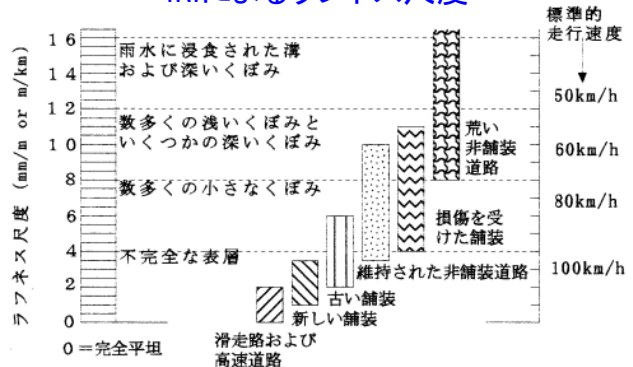


$$IRI = \frac{L}{V} \int_0^{L/V} |\dot{z}_2 - \dot{z}_1| dt$$

L: 区間長
V: 車速
(80km/hが標準)

1986年に世界銀行が提案した
路面の凹凸に関する指標

IRIによるラフネス尺度



国土交通省 総点検実施要領(案)

損傷レベル 小: 0~3 mm/m
中: 3~8 mm/m
大: 8 mm/m以上

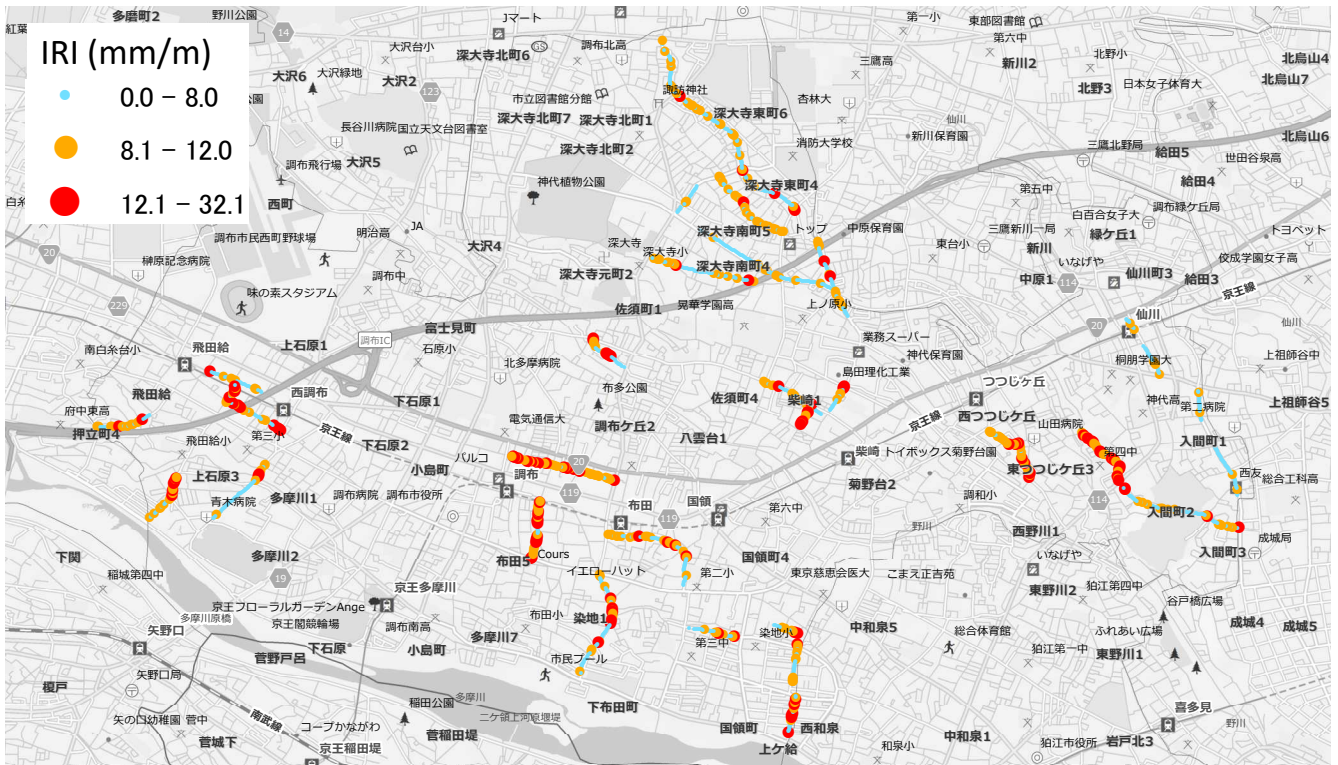
明確な損傷が連続的に発生している状態: 11~12 mm/m

(IRI = 7~8 mm/m程度)

(IRI = 11~12 mm/m程度)



10m間隔のIRI測定結果(調布市)



9

加速度データの分析方法



10

ロジスティック回帰分析

10m区間ごとのIRIが12mm/mの区間を抽出する数理モデル

$$p = \frac{\exp(b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3)}{1 + \exp(b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3)}$$

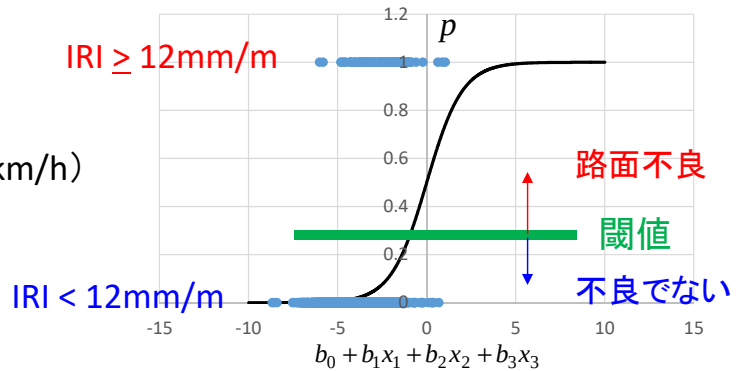
x_1 : 自動車の平均速度 (m/sまたはkm/h)

x_2 : 10m区間内の平均加速度 (g)

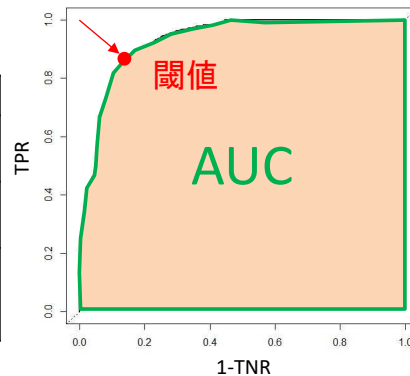
x_3 : 10m区間内の最大加速度 (g)

IRI $\geq$ 12mm/m: $p = \Pr(Y=1|x_1, x_2, x_3)$

IRI < 12mm/m: $1-p = \Pr(Y=0|x_1, x_2, x_3)$



ROC曲線



モデルの
判別能力
優: 0.9~1.0
良: 0.8~0.9
可: 0.7~0.8

混同行列

		予測	
		Positive 路面不良	Negative 不良でない
観測	True IRI $\geq$ 12mm/m	True positive (TP) 路面不良の的中数	False negative (FN) 路面不良のはずれ数
	False IRI<12mm/m	False positive (FP) 不良でない区間のはずれ数	True negative (TN) 不良でない区間の的中数

ロジスティック回帰分析の結果

$$p = \frac{\exp(b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3)}{1 + \exp(b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3)}$$

x_1 : 自動車の平均速度 (m/sまたはkm/h)

x_2 : 10m区間内の平均加速度 (g)

x_3 : 10m区間内の最大加速度 (g)

加速度データ	b_0	b_1	b_2	b_3	AUC	閾値	True positive rate※1	True negative rate※2
バネ上 (iPhone)	-2.043	-0.507	35.609	2.73	0.82	0.045	0.76	0.76
カーナビ	-1.344	-0.104	—※3	7.991	0.77	0.040	0.72	0.74
カーナビ (標準化 加速度)※4	-1.274	-0.104	—※3	0.305	0.77	0.040	0.71	0.72

※1 敏感度 (IRIが12mm/m以上の区間を正しく判別する率)

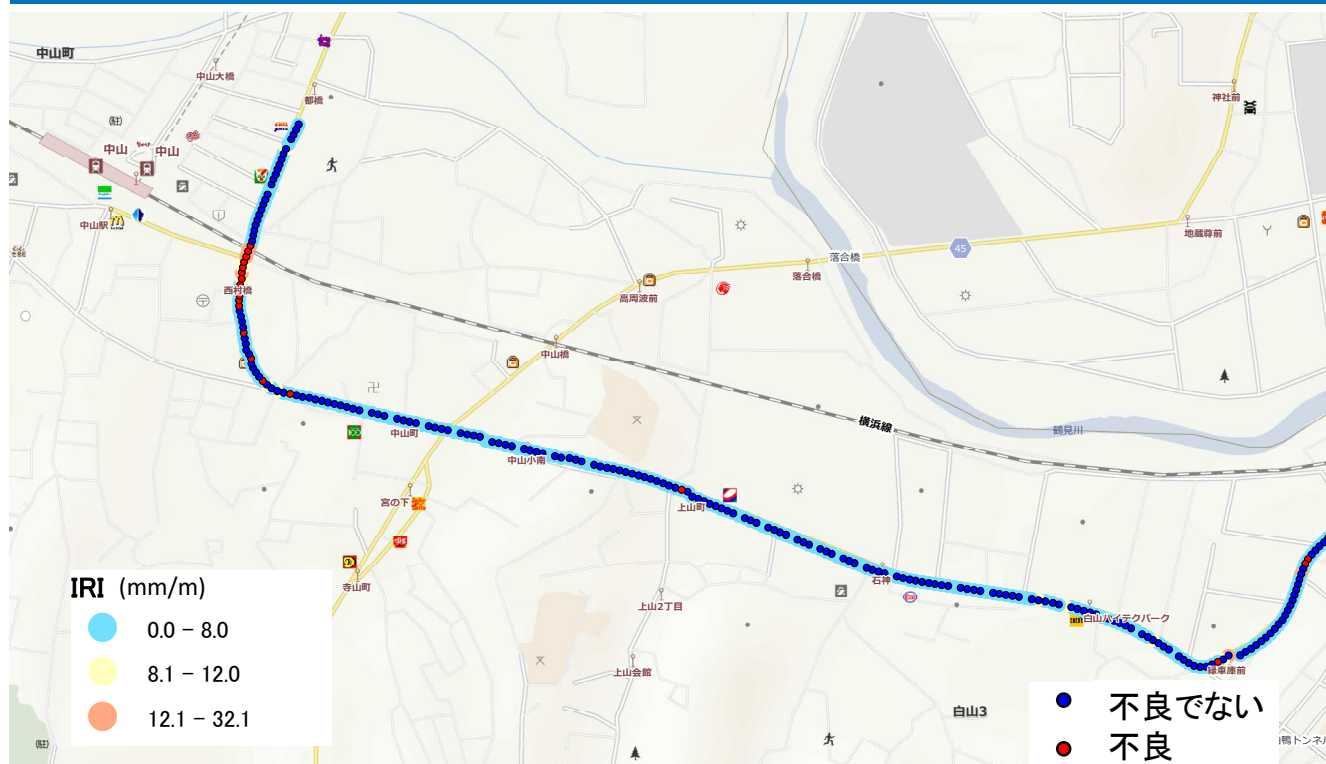
※2 特異度 (IRIが12mm/m未満の区間を正しく判別する率)

※3 AIC (赤池情報量基準) が最小になるように説明変数を選択

※4 車種の違いを考慮する目的でカーナビの加速度を標準化

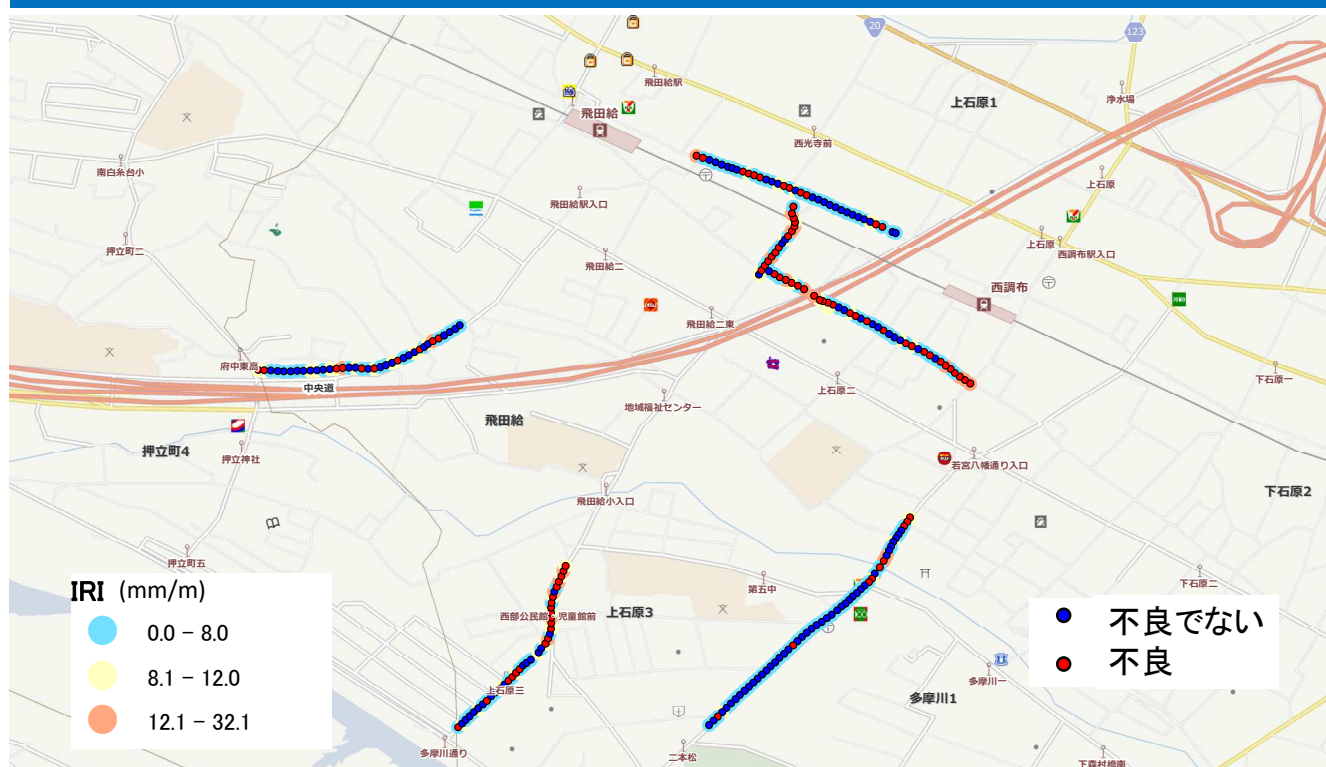
$$acy' = (acy - \mu) / \sigma \quad \mu: \text{平均値}, \sigma: \text{標準偏差}$$

スマートフォン加速度の判定結果



13

スマートフォン加速度の判定結果



14

道路パトロールへの適用

道路パトロール車



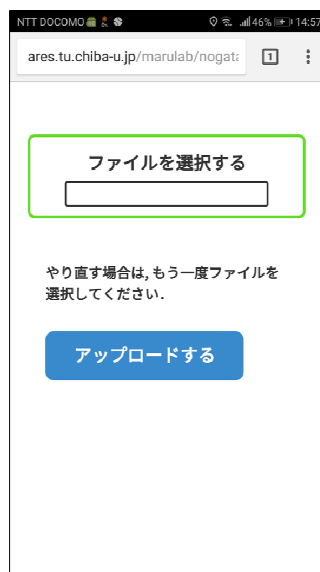
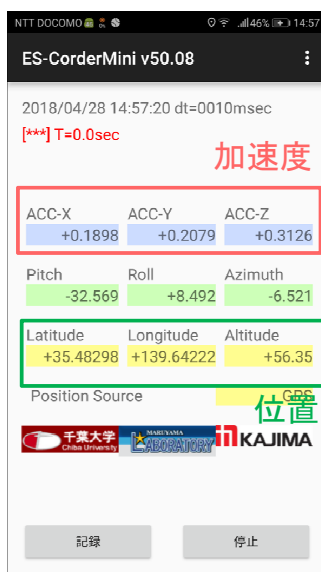
スマートフォンの設置状況



15

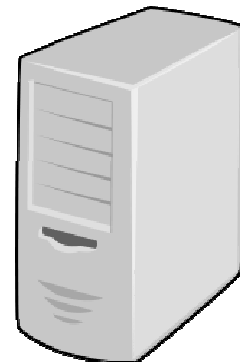
加速度データの転送

Androidアプリ

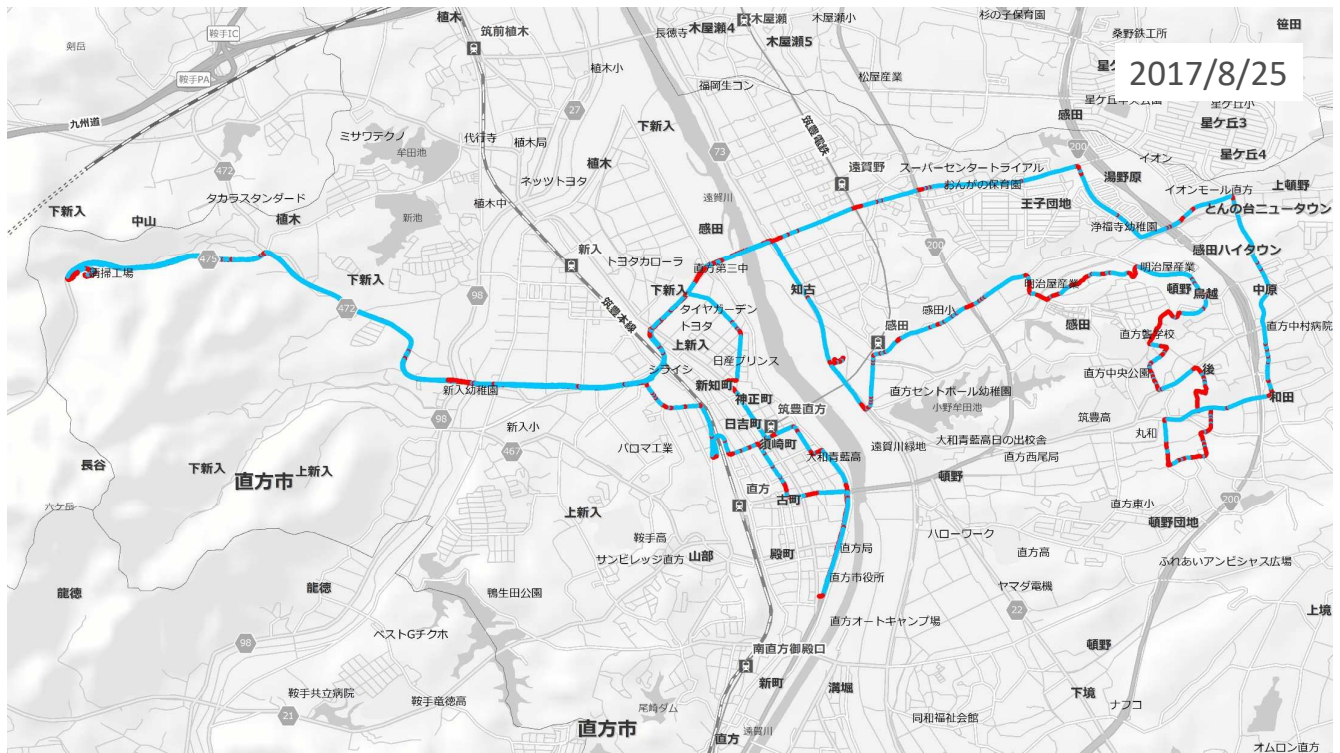


データ受信用
サーバー
@千葉大学

インターネット



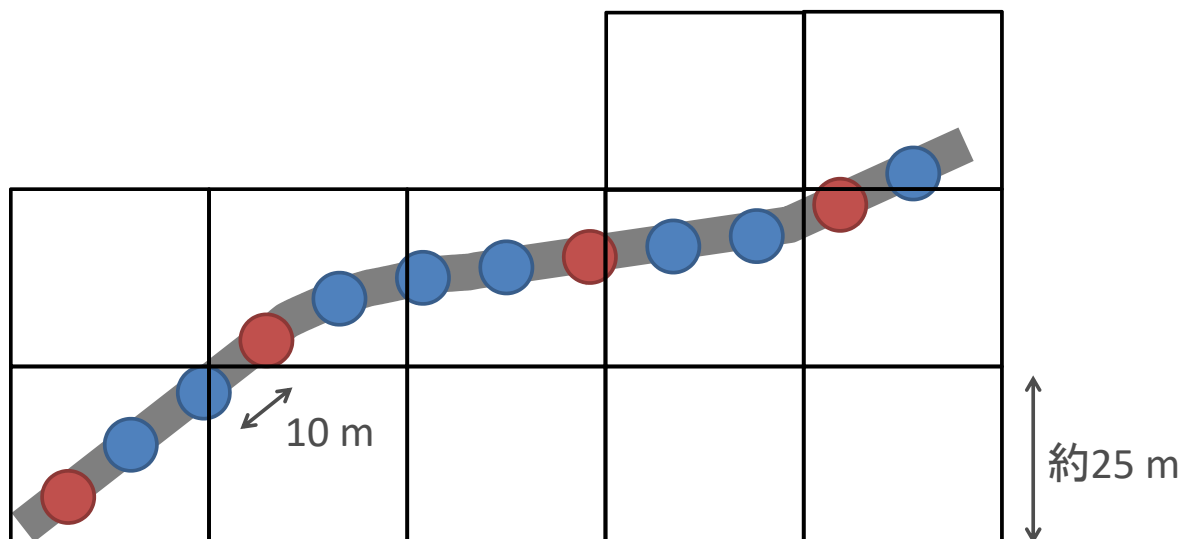
舗装路面の維持管理に関する研究



● 路面不良 ● 路面不良ではない

17

不良判定率の算出

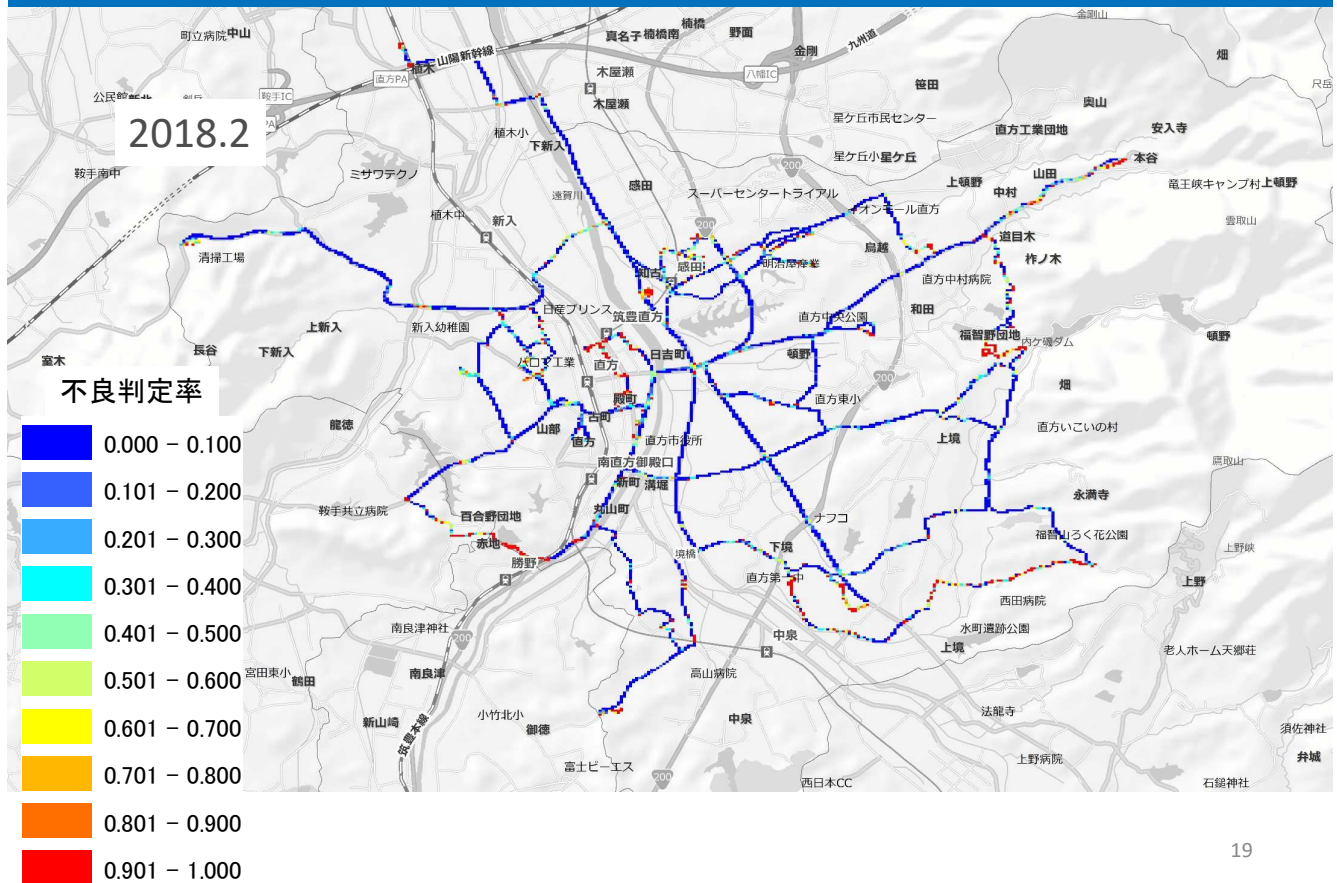


$$\text{不良判定率} = \frac{\text{不良と判定した回数}}{\text{通過回数}}$$

● 不良と判定した回数 ● + ● 通過回数

18

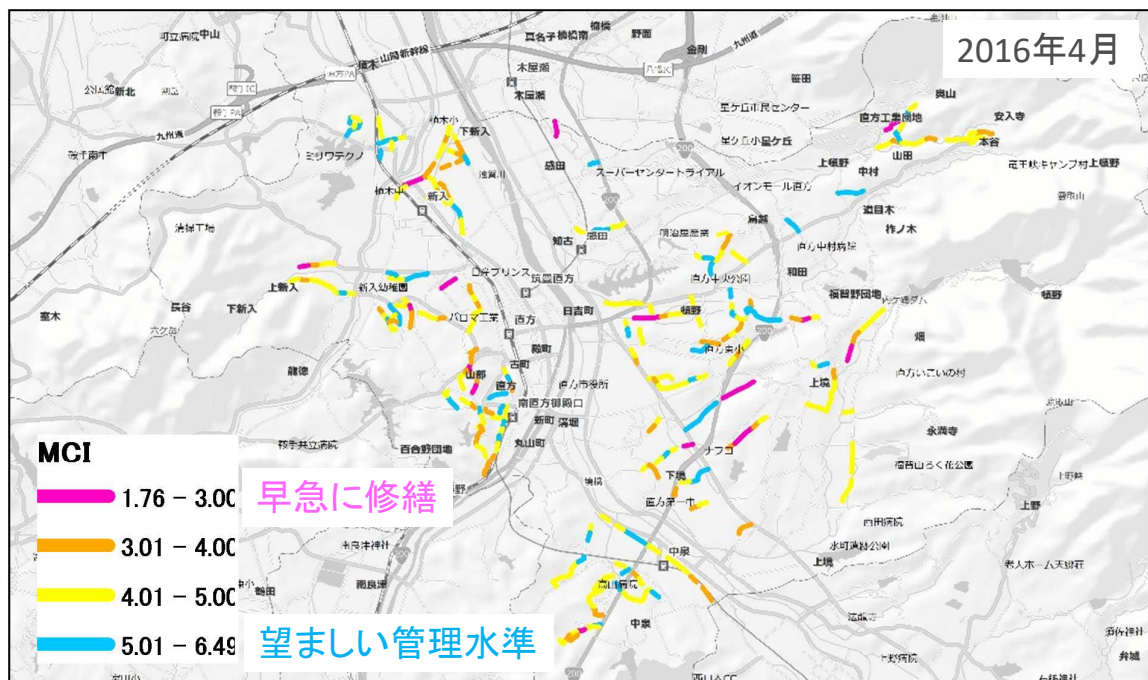
路面平たん性の不良判定率



19

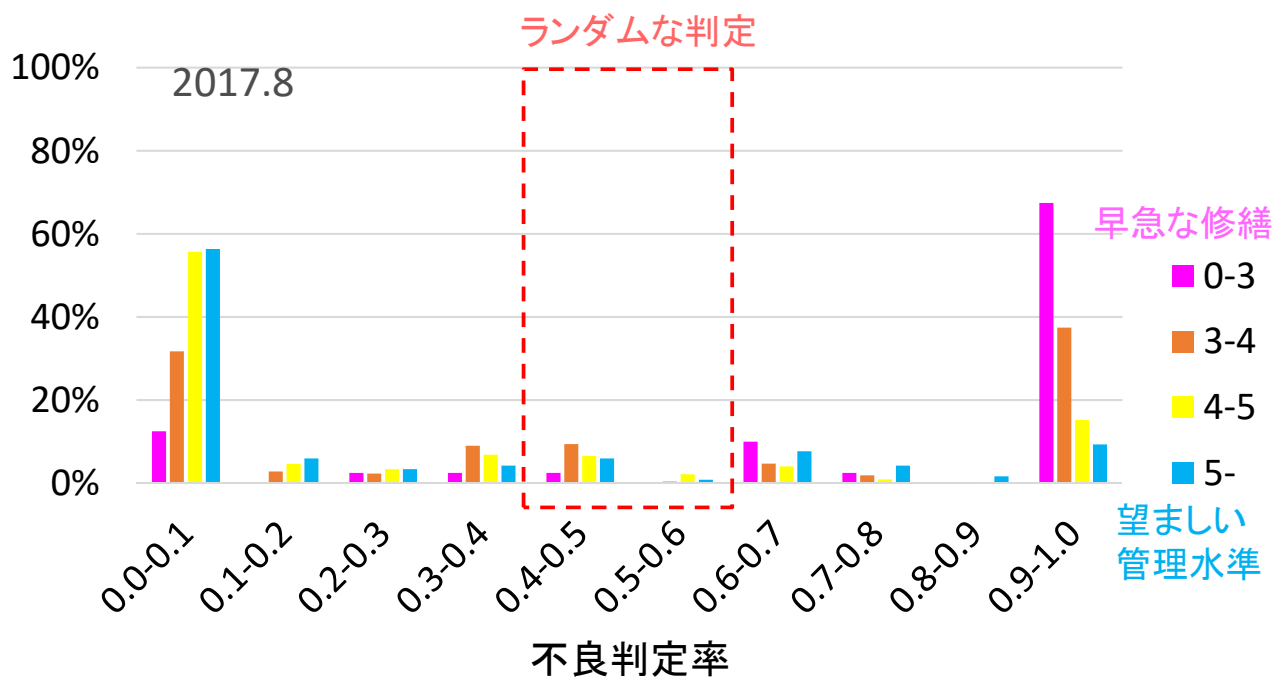
評価結果の考察

舗装の維持管理指数(MCI) 100m間隔, 一部の幹線道路のみ
ひび割れ率, わだち掘れ量, 平たん性の3要素の統合指標



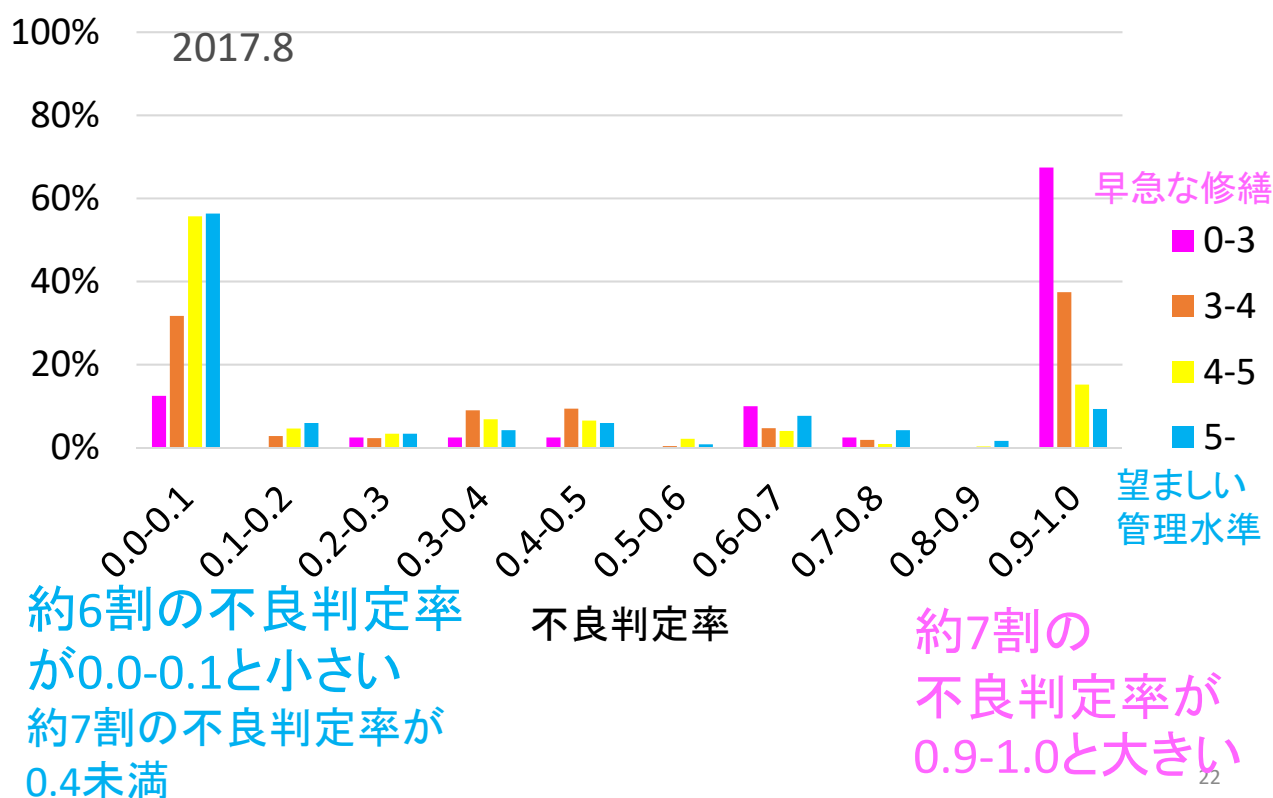
20

MCIに基づく路面性状判定結果ごとの不良判定率の割合



21

MCIに基づく路面性状判定結果ごとの不良判定率の割合



22

本日の内容

カープローブデータを用いた 路面性状評価に関する研究

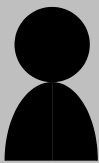
◆ 車両加速度を用いた舗装路面の平坦性評価

◆ 車載カメラ画像の深層学習による道路路面評価

23

背景 道路被害の認識

現状: 手間がかかる
欲しいデータが確実に得られるとは限らない

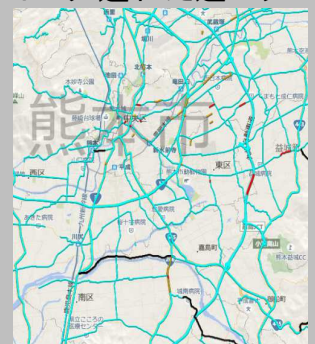


目視

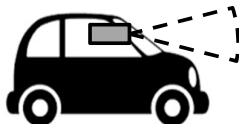


カーナビ・プローブデータ

トヨタ 通れた道マップ



目標: 被害の有無を自動で判断



- ・無被害
- ・道路閉塞
- ・道路被害

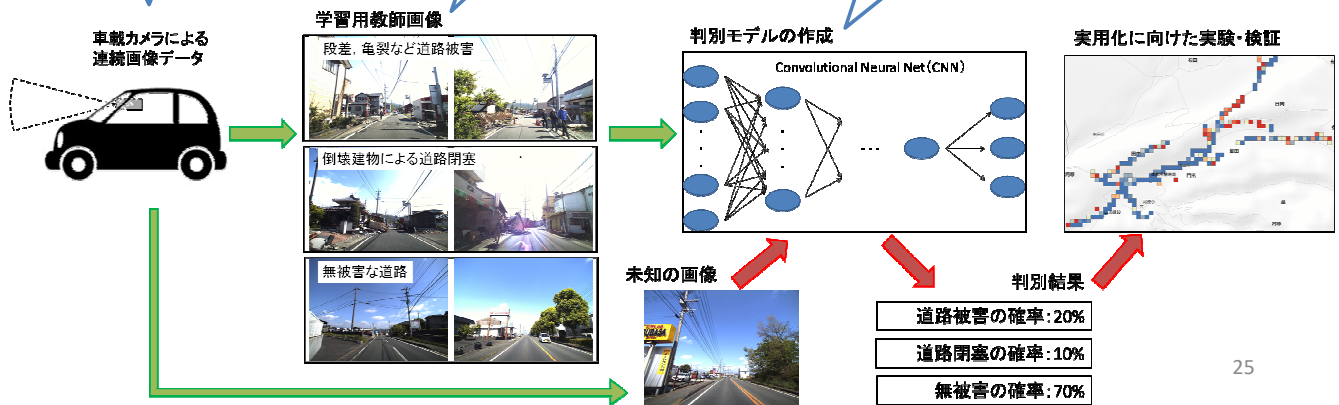
素早い被害把握が可能に

研究手順

- グローバル・サーベイ株式会社が撮影したものを使用

- あらかじめ目視で分類
- 512x75piに縮小
- 左右反転, コントラストの上下で6倍
- 合計13042枚

- CNNで深層学習
- 使用OS: Linux
- フレームワーク: caffe
- プログラミング言語: python
- ネットワークの構成: cifar10を一部改変



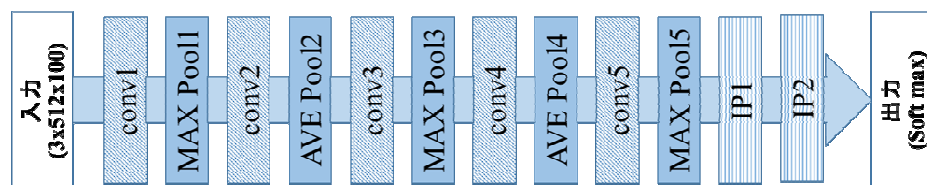
25

走行経路と取得画像の例



26

CNN



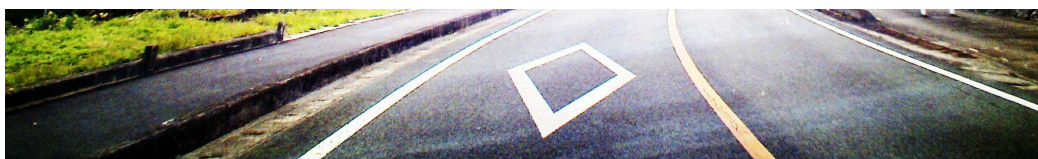
Convolutional layer	No. of filters	Size of filter	Inner product layer	No. of output
conv1	32	5×5	IP1	128
conv2	32	5×5	IP2	3
conv3	64	5×5		
conv4	64	5×5		
conv5	128	5×5		

Filters of conv1



判別モデルの考察

正しく無被害と判別された画像例



正しく道路閉塞と判別された画像例



道路被害であるが無被害と判別された画像例



➡ 画像のどの領域で判別結果を算出しているのかが分からない

判別モデルの考察

作成した判別モデルの実用性の実験として、西原村で4月22日に撮影された1483枚を判別させた。

目視判読



判別モデルによる結果

		予測結果			検出精度	全体精度
		道路閉塞	道路被害	無被害		
正しい分類	道路閉塞	45	17	18	56.3%	78.8%
	道路被害	43	98	142	34.6%	
	無被害	36	59	1031	91.6%	

判別モデルの考察

作成した判別モデルの実用性の実験として、西原村で4月22日に撮影された1483枚を判別させた。

目視判読



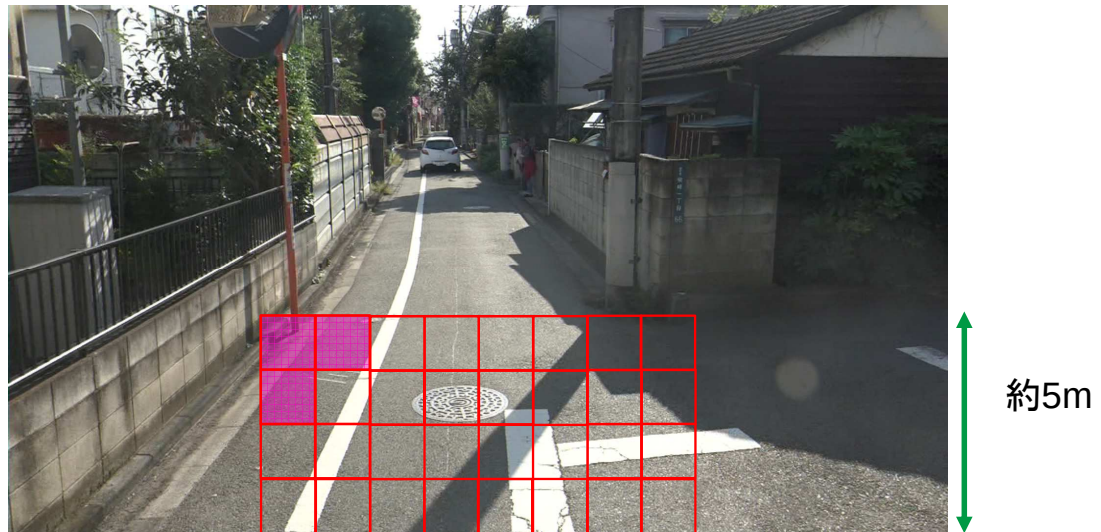
判別モデルによる結果



どの道路・エリアで道路変状が発生したのかわかりづらい

画像の前処理

●画像の分割例 (調布市道 エリア03-01 始点より100m地点)



- ひび割れ率の与えられた路面以外にも多くのものが写り込んでいるため、元の画像(1920px × 1080px)のうち、上図のように880px*440pxの範囲を32分割して用いた(それぞれの画像は110px*110px)
- 目視で歩道・側溝・踏切等の障害物が確認できた場合は取り除いて利用した

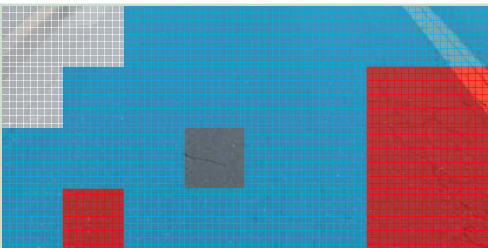
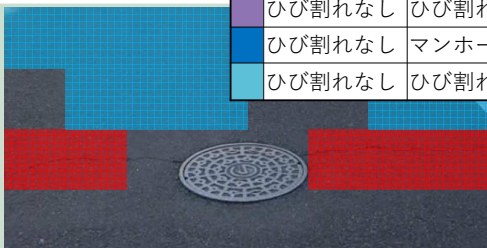
2021.02.02

2020年度 都市環境システムコース 修士論文発表審査会

31

判別結果の可視化

●判別結果の画像での表示

モデル11		精度の良い例	精度の良くない
画像			
撮影路線と撮影地点		神奈川県道2号線 始点より8200-8210mの地点	調布市道 エリア00-00 始点より20-30mの地点
実際のひび割れ率		26.40%	0.40%
疑似的なひび割れ率		24.14%	64.52%
的中率		96.55%	51.61%

実際	予測
ひび割れあり	ひび割れあり
ひび割れなし	ひび割れなし
未使用画像	-
マンホール	ひび割れあり
マンホール	マンホール
マンホール	ひび割れなし
ひび割れなし	ひび割れあり
ひび割れなし	マンホール
ひび割れなし	ひび割れなし

横浜エリアのひびが分かりやすい路面では的中率が非常に高くなった一方で、調布エリアでは見逃しはないが、やや過剰にひび割れありと判別している

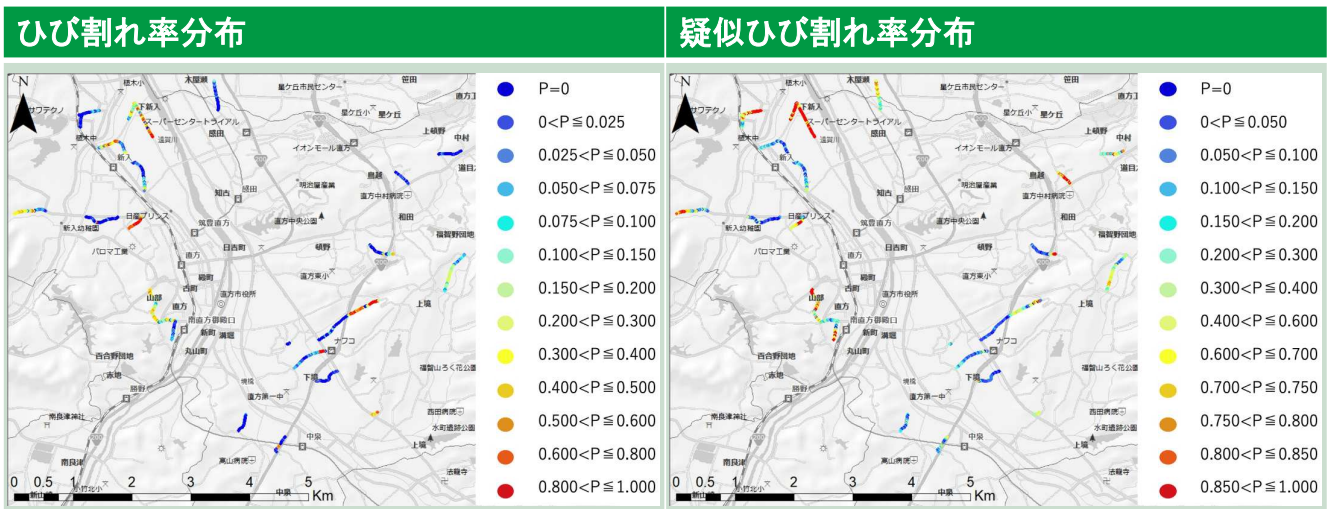
2021.02.02

2020年度 都市環境システムコース 修士論文発表審査会

32

判別結果の可視化

- 疑似的なひび割れ率と実際のひび割れ率の比較
 - 直方エリアでの比較



- 本来のひび割れ率とは直接比較することは難しいが、疑似ひび割れ率の方が数値が全体的に高くなっているのが確認できた
- 一方で、ひび割れ率の高い箇所と疑似ひび割れ率の高い箇所について **共通する傾向**が見られる

2021.02.02

2020年度 都市環境システムコース 修士論文発表審査会

33

考察

- 複数のモデルでテストデータに対し**7割近い正解率**となった
 - ひび割れに関して見落としは少なく、深層学習に基づくひび割れ判別モデルの構築は可能
- 一方、可視化を行うことで実際のひび割れ率との差が目立った
 - 見落としは少ないが、**実際よりも多くひび割れありと判別していた**
 - **学習に用いたデータに判別結果が大きく依存する為**、現状の極端に路面状況の悪い画像の使用の改善や障害物への対処が課題である

モデル名	クラス数	画像のかさ増し	ポリシー	Dropout	損失関数値	検証時正解率	学習回数	テスト時正解率	テスト時適合率	テスト時再現率	F値
モデル6	3-AB	1倍	Step-1	有	1.67	83.18%	16000	70.56%	51.48%	54.50%	0.53
モデル7	3-AB	2倍	Step-1	有	0.47	86.86%	3000	73.00%	56.08%	56.83%	0.56
モデル8	3-AB	2倍	Step-2	有	0.63	85.78%	6000	73.30%	55.16%	59.00%	0.57
モデル9	3-AB	2倍	Poly	有	0.60	81.70%	5000	68.86%	44.46%	49.84%	0.47
モデル10	3-AB	2倍	Step-1	無	0.43	86.29%	2000	68.86%	54.19%	53.66%	0.54
モデル11	3-B	2倍	Step-1	有	0.44	87.05%	2000	74.02%	56.58%	60.56%	0.59

2021.02.02

2020年度 都市環境システムコース 修士論文発表審査会

34

研究の展望

生活道路の予防保全の実現に向けた 新たな路面性状評価手法の開発



道路管理者の通常業務の一環に

35

ご清聴ありがとうございました

36