

建設技術展2023関東(C-Xross2023) コラボレーション
国土交通省 関東地方整備局主催「建設技術フォーラム」



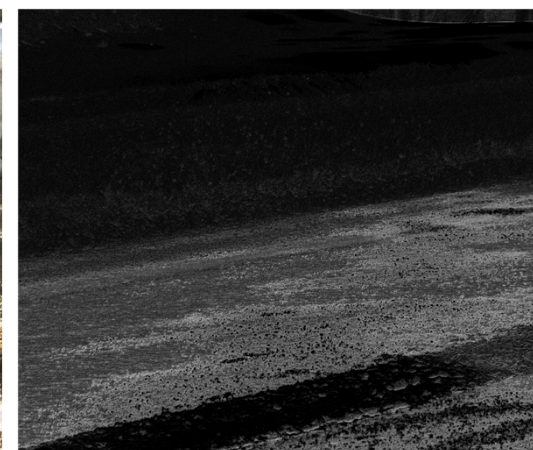
画像処理に基づく路面性状認識



RGB画像 (CCTV)



RGB画像 (偏光カメラ)



偏光画像 (偏光カメラ)

中村 明生
淵田 正隆 (研究員), 伊勢 正(M2),
石井 湧太 (M1), 小関 啓介 (B4)
info-nakamura@is.fr.dendai.ac.jp
<http://www.is.fr.dendai.ac.jp/>

🐾 日時: 2023.11.15(水) 15:35-16:05
🐾 場所: サンシャインシティ 3F 展示ホールC ステージA

■ プロジェクト

国土交通省 関東地方整備局

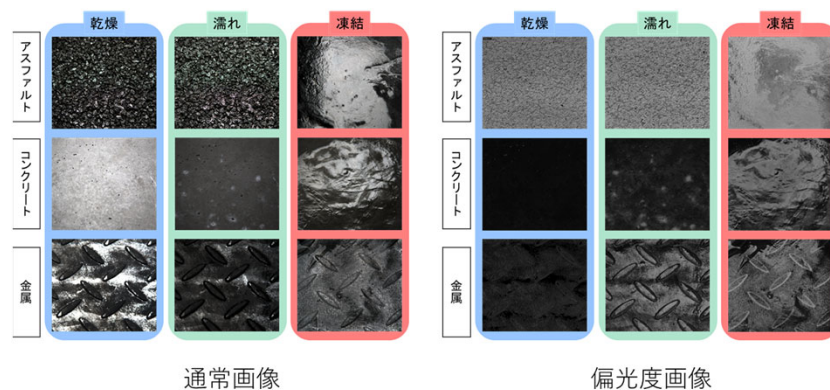
令和3年度「技術(シーズ)マッチング」に関する公募(第2回)

取組2:DX 推進による、道路・河川のインフラサービスの高度化・生産性向上に関する研究

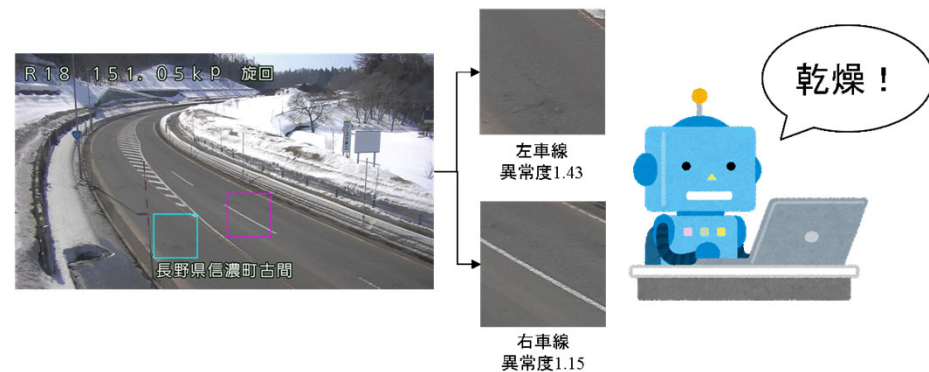
□ 「偏光画像処理に基づく「見えにくい」路面性状認識についての技術研究開発」

■ 非接触・広範囲の路面性状監視技術の開発

- 路面の表面性状, すなわち性質・材質及び状態のうち水たまり, 濡れ, 凍結等の「**見えない**」「**見えにくい**」**湿潤状態**の識別に関して**画像処理手法**を提案し, 実地検証
- 画像処理対象としては, **偏光画像**及び**通常画像**の両者とし, 長所・短所を明確化して**提案手法を実利用へ展開**



偏光画像: 偏光カメラ撮影



通常(RGB)画像: CCTVカメラ撮影



研究背景: 地面性状



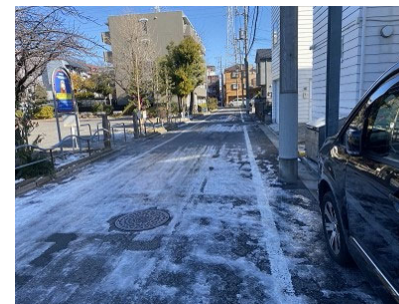
■ 地面性状

□ 性状: 「性質・材質」及び「状態」

- 性質・材質: アスファルト, 土, コンクリート, 木材, 鉄鋼, タイルなど
- 状態: 亀裂, 穴, 汚れ, 劣化, 湿潤 など

□ 湿潤状態: 水たまり, 濡れ, 凍結

- 湿潤状態は周囲との明確な差が分かりにくく, 「見えない」あるいは「見えにくい」
- 色・形状より表面の反射の違いなどを特徴として利用
- 日中で良く晴れていてキラキラしているような場合はともかく, 夜間はもちろん朝や夕方といった薄暮時にもRGBカメラ画像では識別が困難



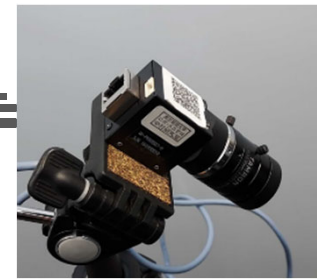
湿潤状態: 濡れ, 凍結

中村研究室: 学生撮影

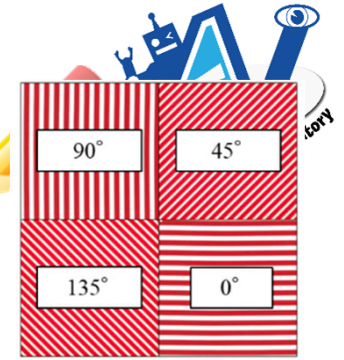


研究背景: 偏光画像 (1/2)

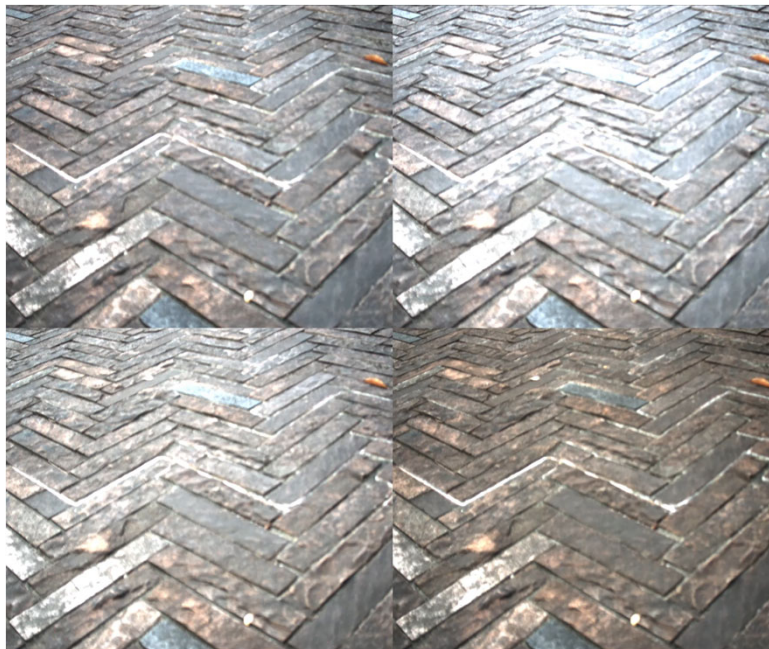
- 偏光カメラによる濡れた路面の撮影動画
 - 撮像素子の上に偏光子装着
 - 偏光の強度(偏光度), 方向(偏光角度)といった偏光パラメータ及びRGB輝度情報を取得



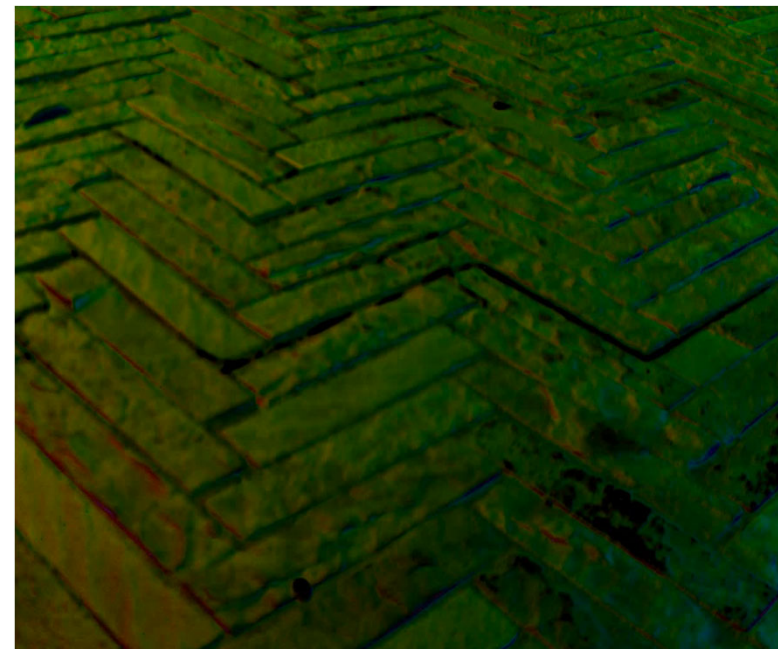
偏光カメラ



偏光子



散水中のRGB画像



散水中の偏光画像

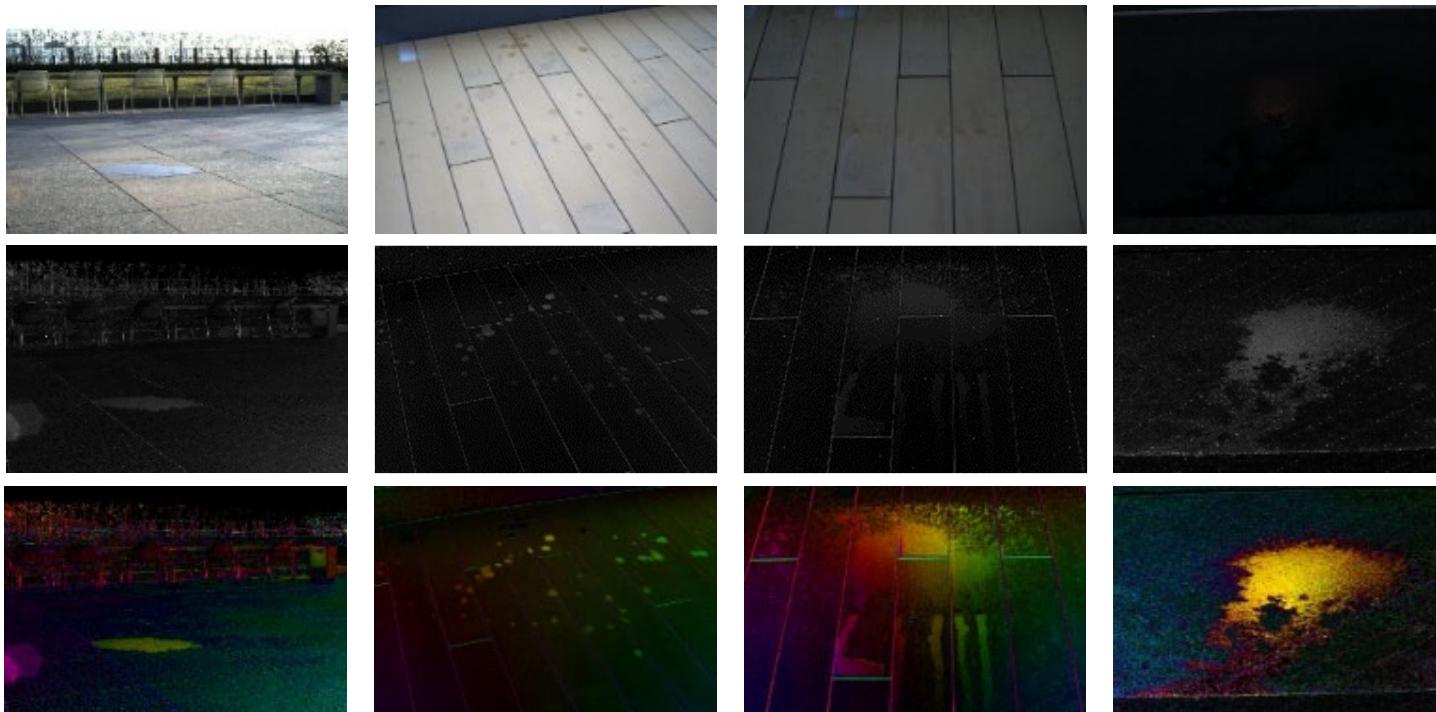


研究背景: 偏光画像 (2/2)



■ 偏光画像

□ 偏光カメラで撮影し, 得られた偏光画像の利用を着想



通常画像
水濡れが分かる
場合もあれば,
全く識別できな
い場合もある

偏光画像
水濡れ領域が識
別できる可能性

(a) タイル
晴・15時台
照度17,000lx

(b) ウッドデッキ
晴・15時台
照度10,600lx

(c) ウッドデッキ
曇・16時台
照度1,250lx

(d) アスファルト
曇・19時前後
照度20lx

上段:通常RGB画像 / 中段:偏光度画像 / 下段:偏光角度画像
湿潤状態の偏光画像



研究背景: 通常画像



■ 通常画像

□ 全国の国道にはClosed Circuit Television System (CCTV)による監視網

- 高解像度は進むが, 得られるのは通常画像
- 偏光カメラの併設, 置換は困難



偏光画像のみならず, 通常画像も
対象とした手法が必要

□ 通常画像を対象に, 深層学習手法による湿潤状態識別



乾燥路面



凍結路面



研究の目標



■ 目標

□ ITS, IoT技術の進展への寄与を念頭に、非接触・広範囲の路面表面性状監視技術の開発

- 路面の表面性状, すなわち性質・材質及び状態のうち, 「見えない」「見えにくい」湿潤状態を画像処理技術で認識
- 湿潤状態として「乾燥」「濡れ」「凍結」が識別対象状態

■ アプローチ

□ 偏光画像を対象としたアプローチ

- 湿潤状態、路面材質、照明位置と偏光度の関係を調査

□ 通常画像を対象としたアプローチ

- 深層学習手法を用いた凍結状態の識別手法を検討



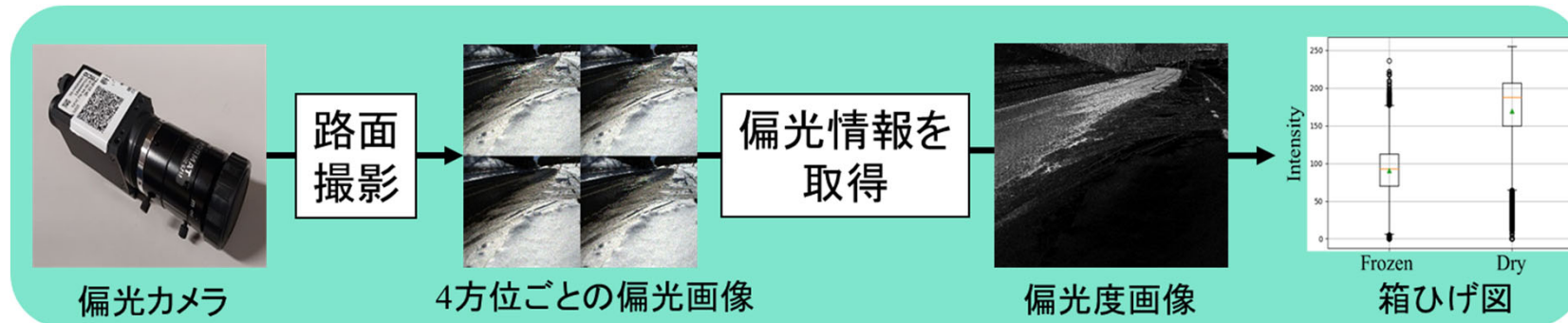
偏光画像の検証:

路面湿潤状態における偏光画像撮影 (1/2)



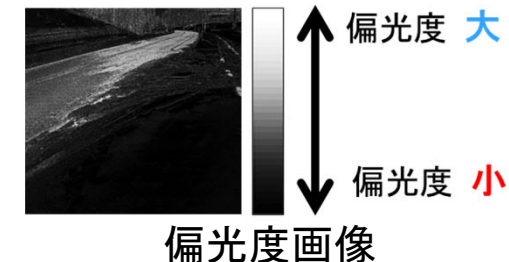
■ 偏光画像の検証

- 偏光カメラで撮影し，得られた偏光画像の利用を着想
- 偏光度を取得し，撮影した路面の偏光特性を解析



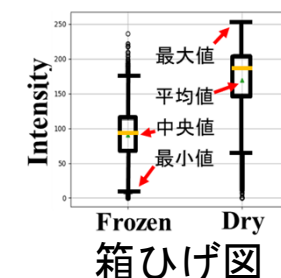
□ 偏光度画像

- 輝度値が大きいほど偏光度が大きいことを示す画像



□ 箱ひげ図

- 画像毎の偏光度の範囲，散らばりを調査するために使用





偏光画像の検証:

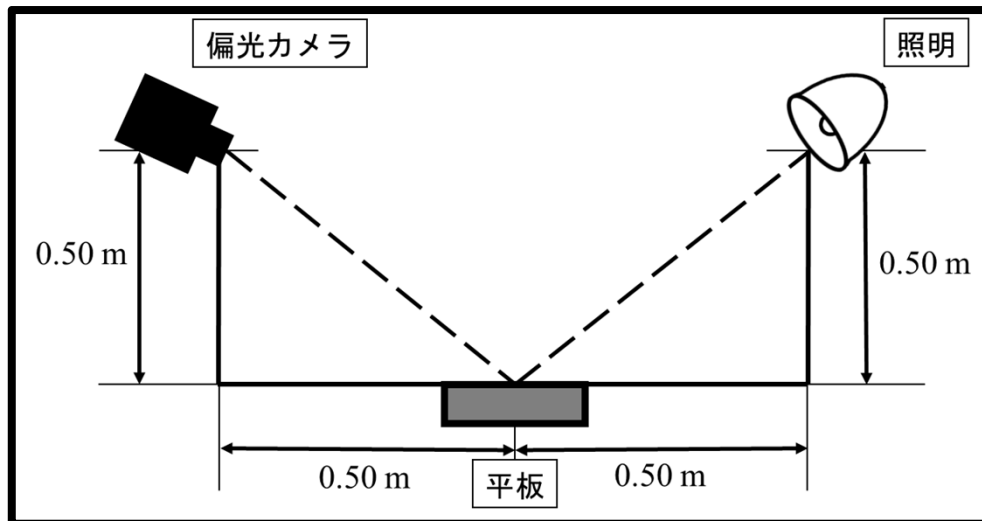
路面湿潤状態における偏光画像撮影 (2/2)



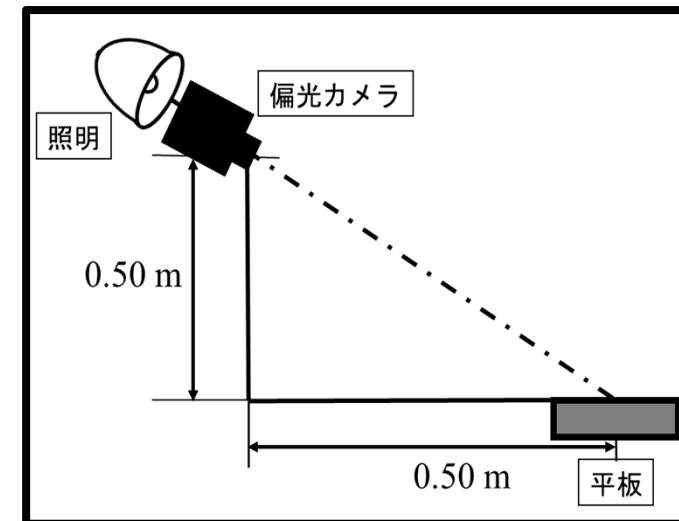
■ 撮影条件

□ 2種類の照明条件で撮影

- 照明条件①: 偏光カメラと照明の向きが対向
- 照明条件②: 偏光カメラと照明の向きが同一



照明条件①(対向)



照明条件②(同一)



偏光画像の検証:

撮影結果 (1/4)



■ 照明条件①(対向)の撮影結果

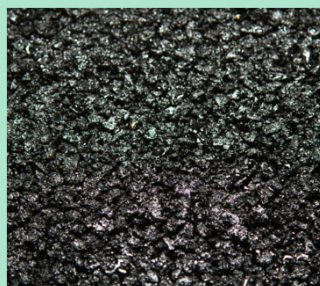
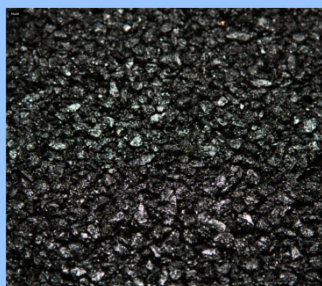
□ 通常画像

乾燥

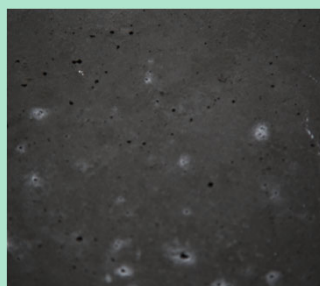
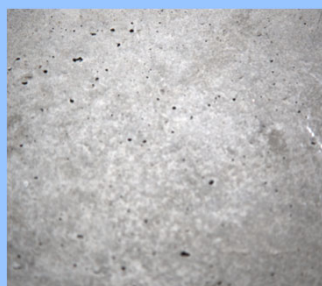
濡れ

凍結

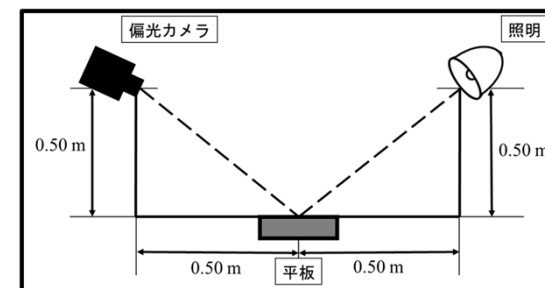
アスファルト



コンクリート



金属



照明条件①(対向)

撮影条件

撮影日時	2023/10/10 13:40~15:00		
路面材質	アスファルト/コンクリート/金属		
湿潤状態	乾燥	濡れ	凍結
路面温度	24.9 °C	18.0 °C	-3.6 °C
照度	885 lx (路面の中央部)		
レンズ 焦点距離	75 mm		



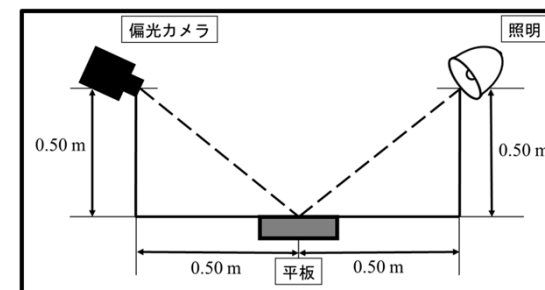
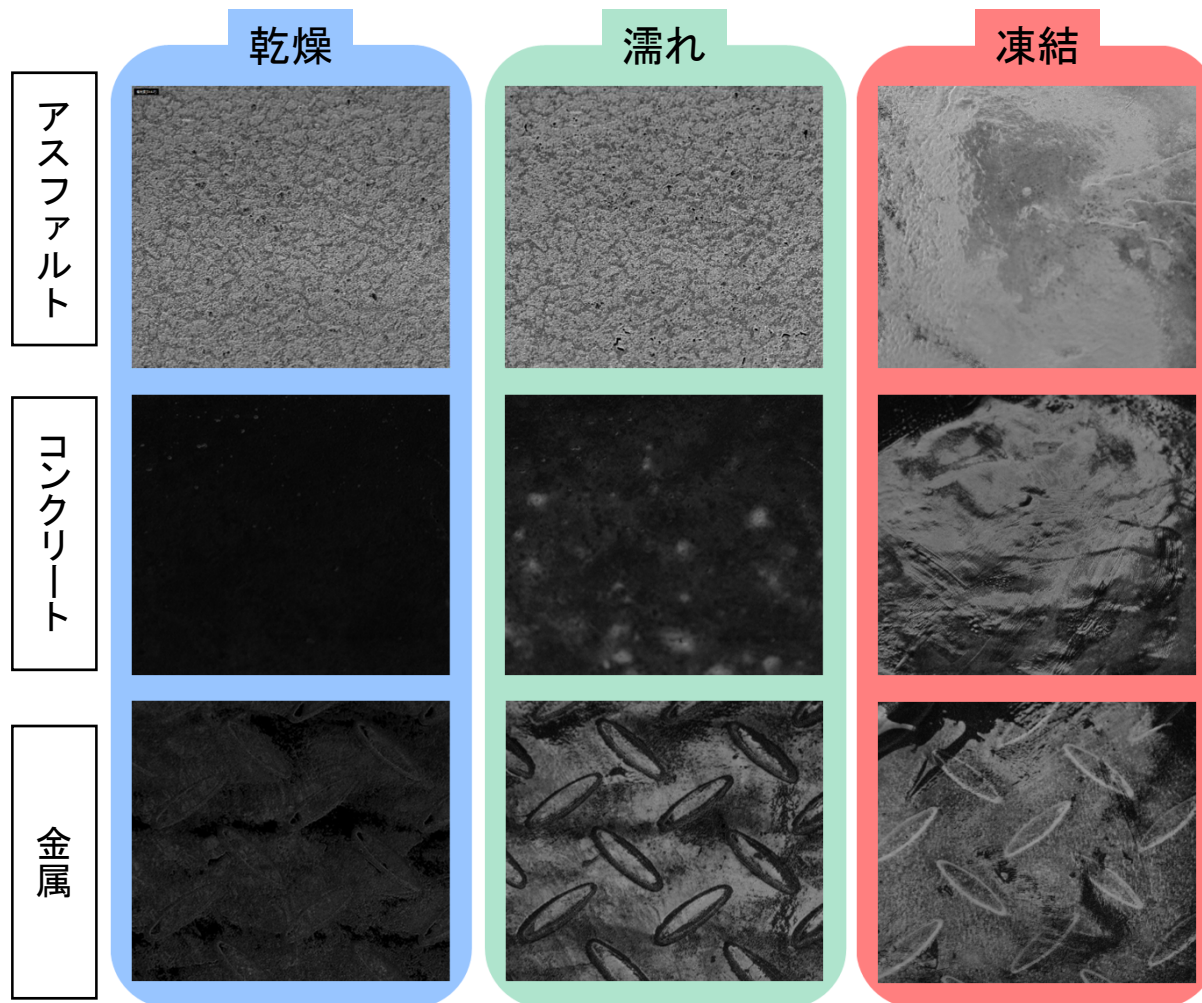
偏光画像の検証:

撮影結果 (2/4)



■ 照明条件①(対向)の撮影結果

□ 偏光度画像



照明条件①(対向)

撮影条件

撮影日時	2023/10/10 13:40~15:00		
路面材質	アスファルト/コンクリート/金属		
湿潤状態	乾燥	濡れ	凍結
路面温度	24.9 °C	18.0 °C	-3.6 °C
照度	885 lx (路面の中央部)		
レンズ 焦点距離	75 mm		



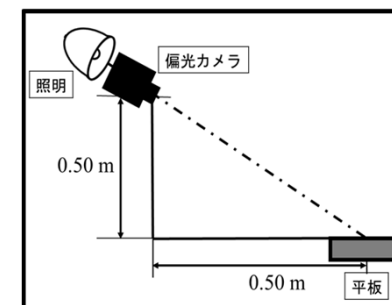
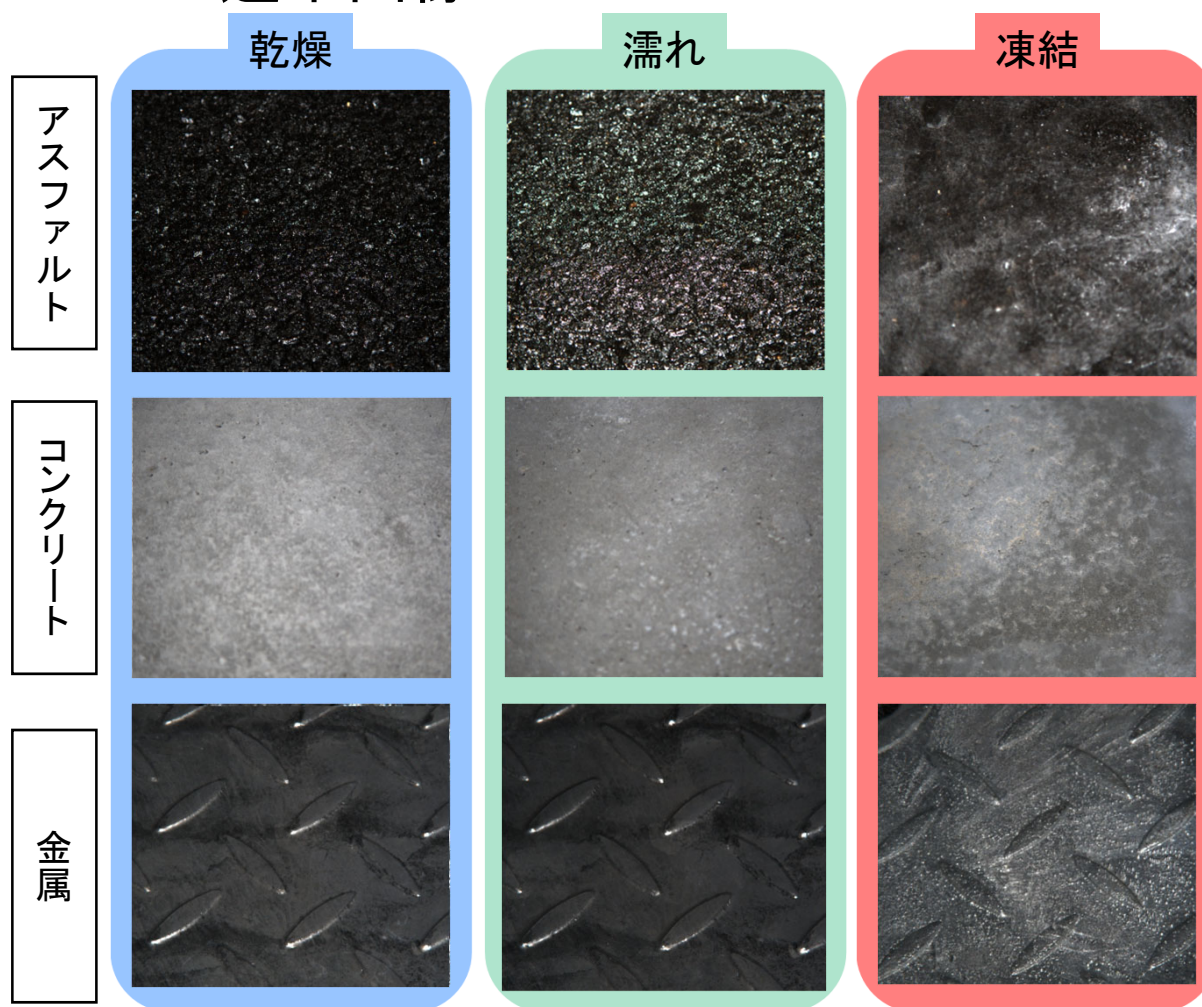
偏光画像の検証:

撮影結果 (3/4)



■ 照明条件②(同一)の撮影結果

□ 通常画像



照明条件②(同一)

撮影条件

撮影日時	2023/10/10 13:40~15:00		
路面材質	アスファルト/コンクリート/金属		
湿潤状態	乾燥	濡れ	凍結
路面温度	23.6 °C	20.1 °C	-1.6 °C
照度	760 lx (路面の中央部)		
レンズ 焦点距離	75 mm		



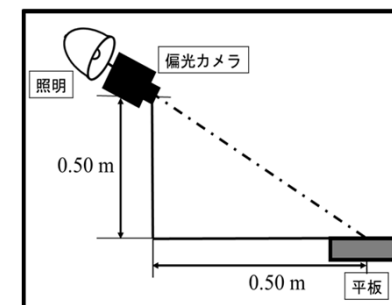
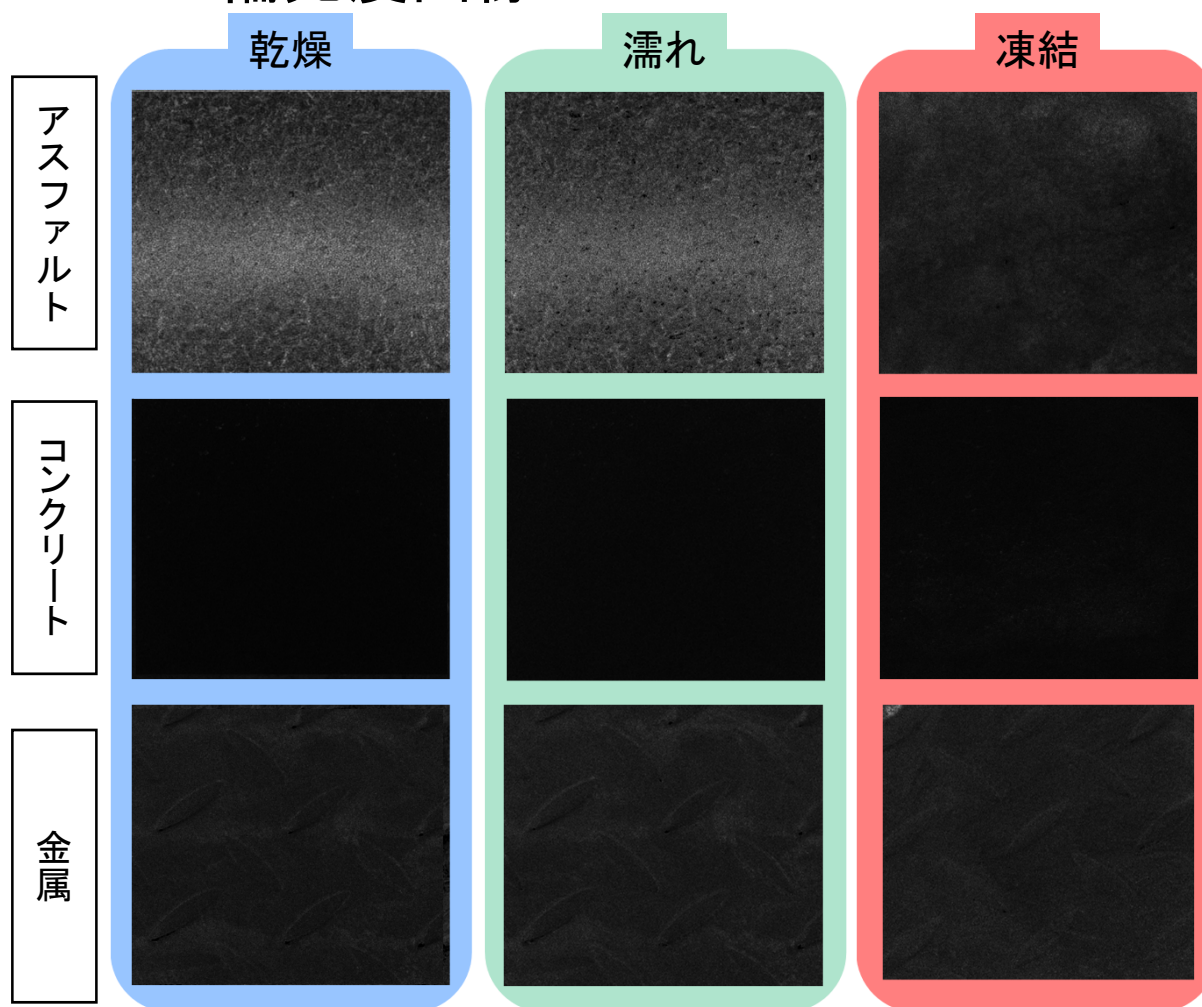
偏光画像の検証:

撮影結果 (4/4)



■ 照明条件②(同一)の撮影結果

□ 偏光度画像



照明条件②(同一)

撮影条件

撮影日時	2023/10/10 13:40~15:00		
路面材質	アスファルト/コンクリート/金属		
湿潤状態	乾燥	濡れ	凍結
路面温度	23.6 °C	20.1 °C	-1.6 °C
照度	760 lx (路面の中央部)		
レンズ 焦点距離	75 mm		



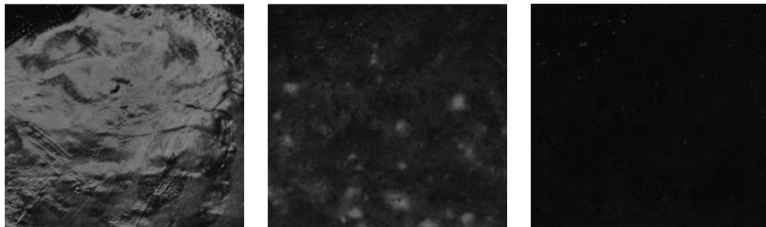
偏光画像の検証:

箱ひげ図による偏光度分布調査 (1/3)

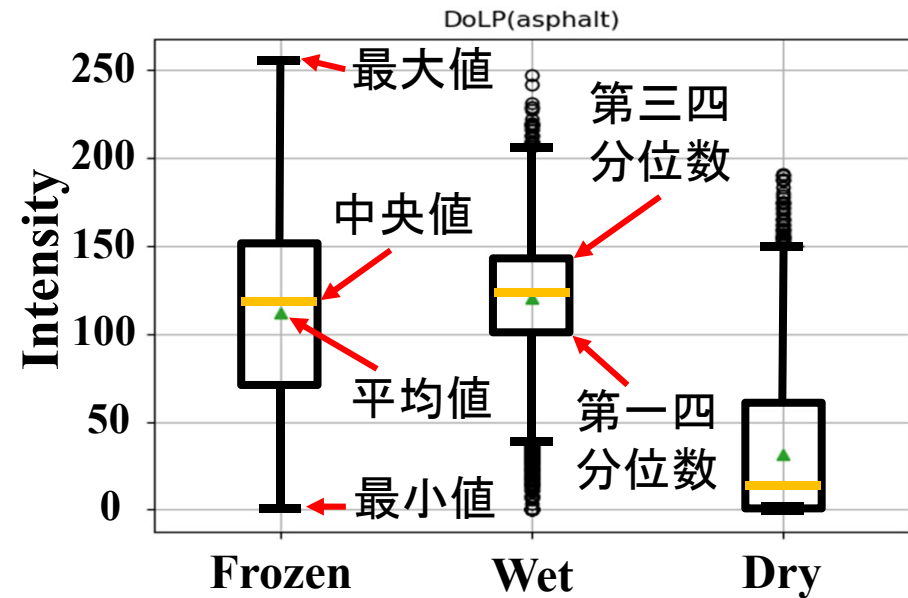


■ 箱ひげ図の生成

- 偏光度画像の偏光度の分布を調査するために利用
 - 偏光度画像1枚につき1つの箱ひげ図を生成
- 縦軸: 偏光度画像の輝度値(偏光度)



偏光度画像 (凍結/濡れ/乾燥)



箱ひげ図

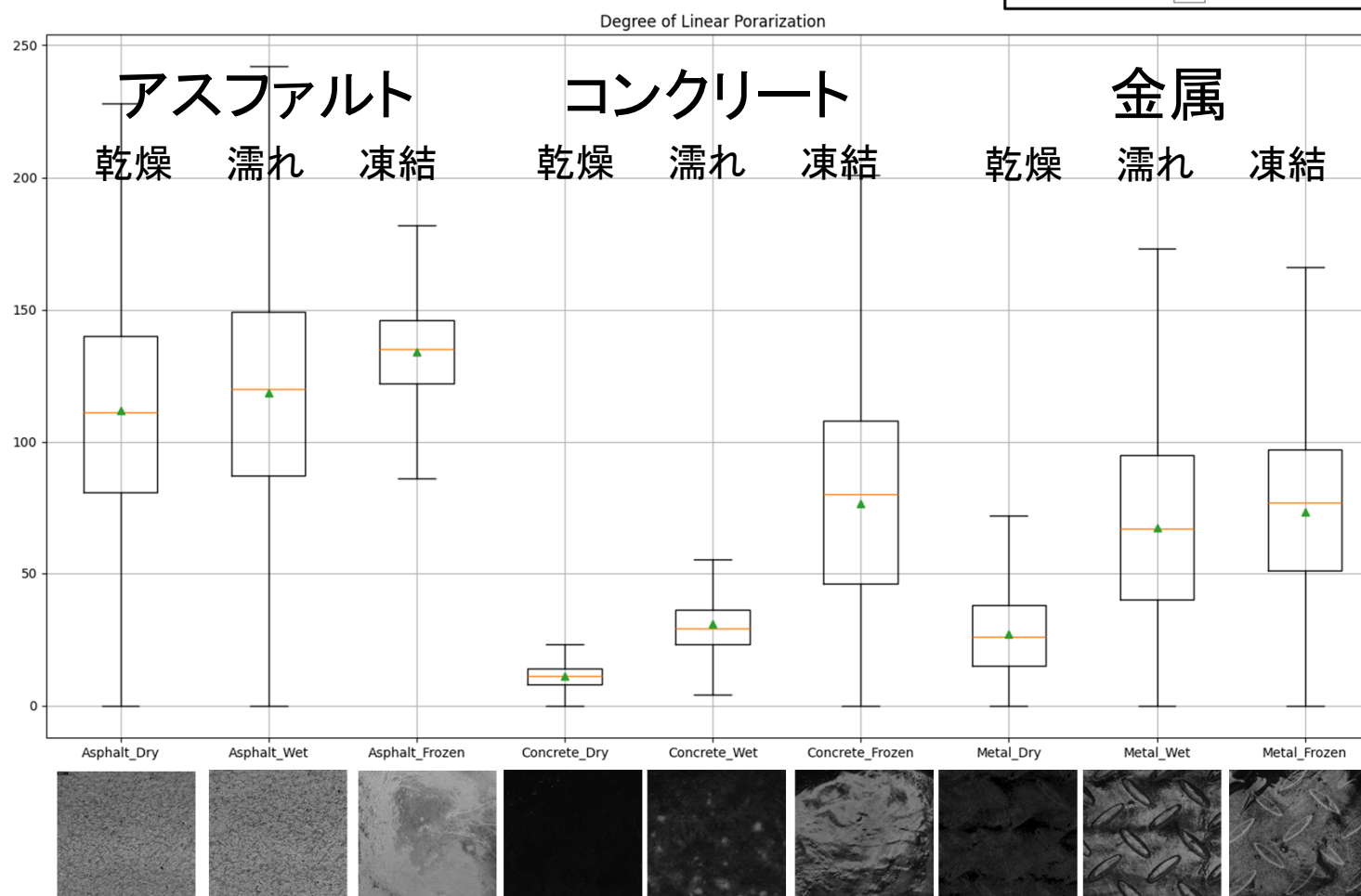
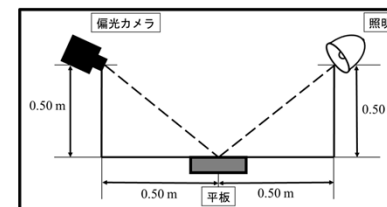


偏光画像の検証:

箱ひげ図による偏光度分布調査 (2/3)



- 箱ひげ図の生成結果
- 照明条件①(対向)



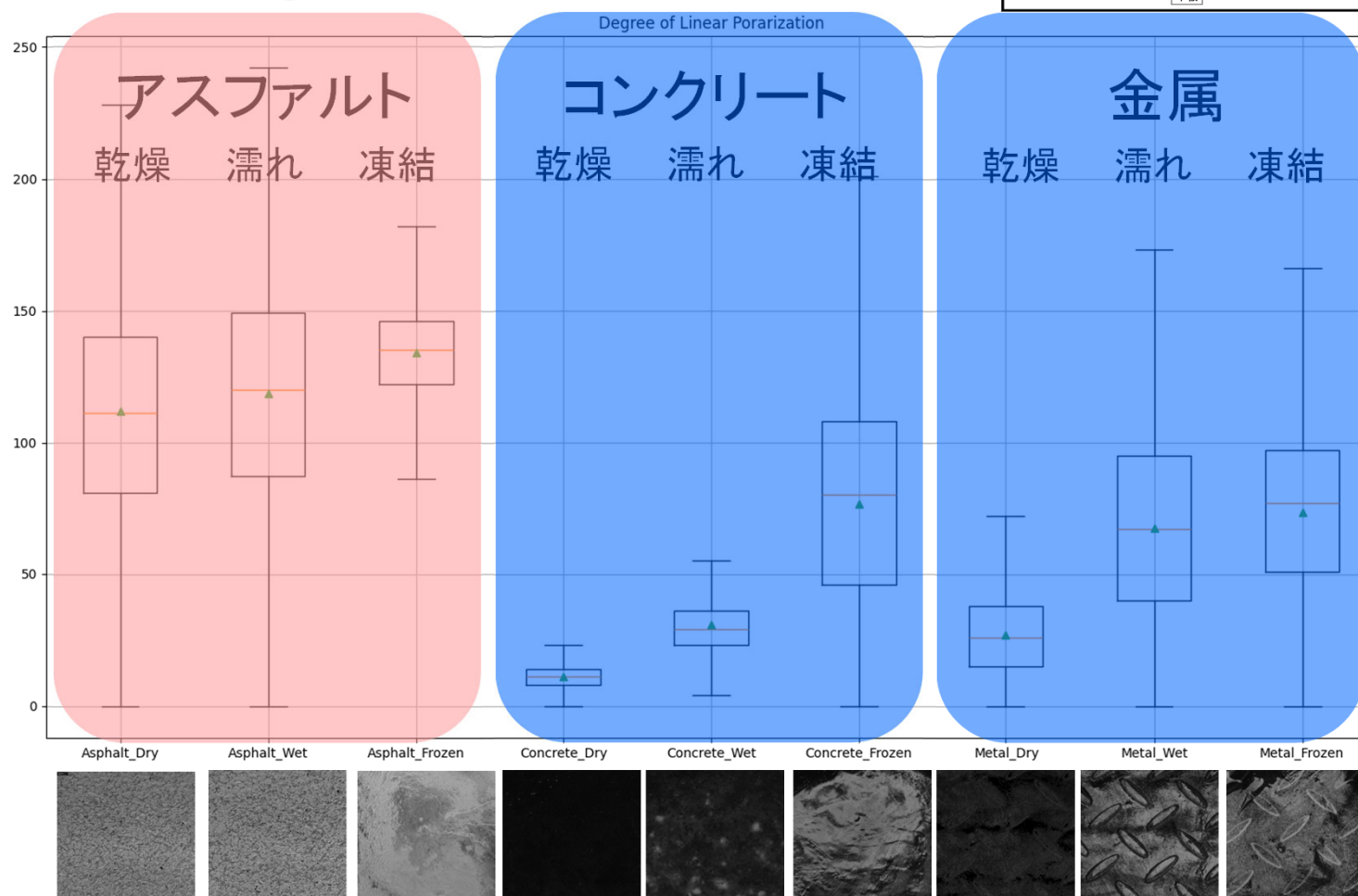
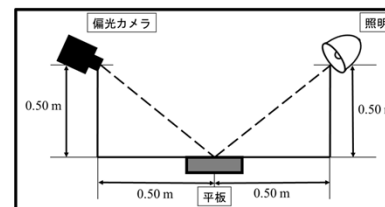


偏光画像の検証:

箱ひげ図による偏光度分布調査 (2/3)



■ 箱ひげ図の生成結果 □ 照明条件①(対向)



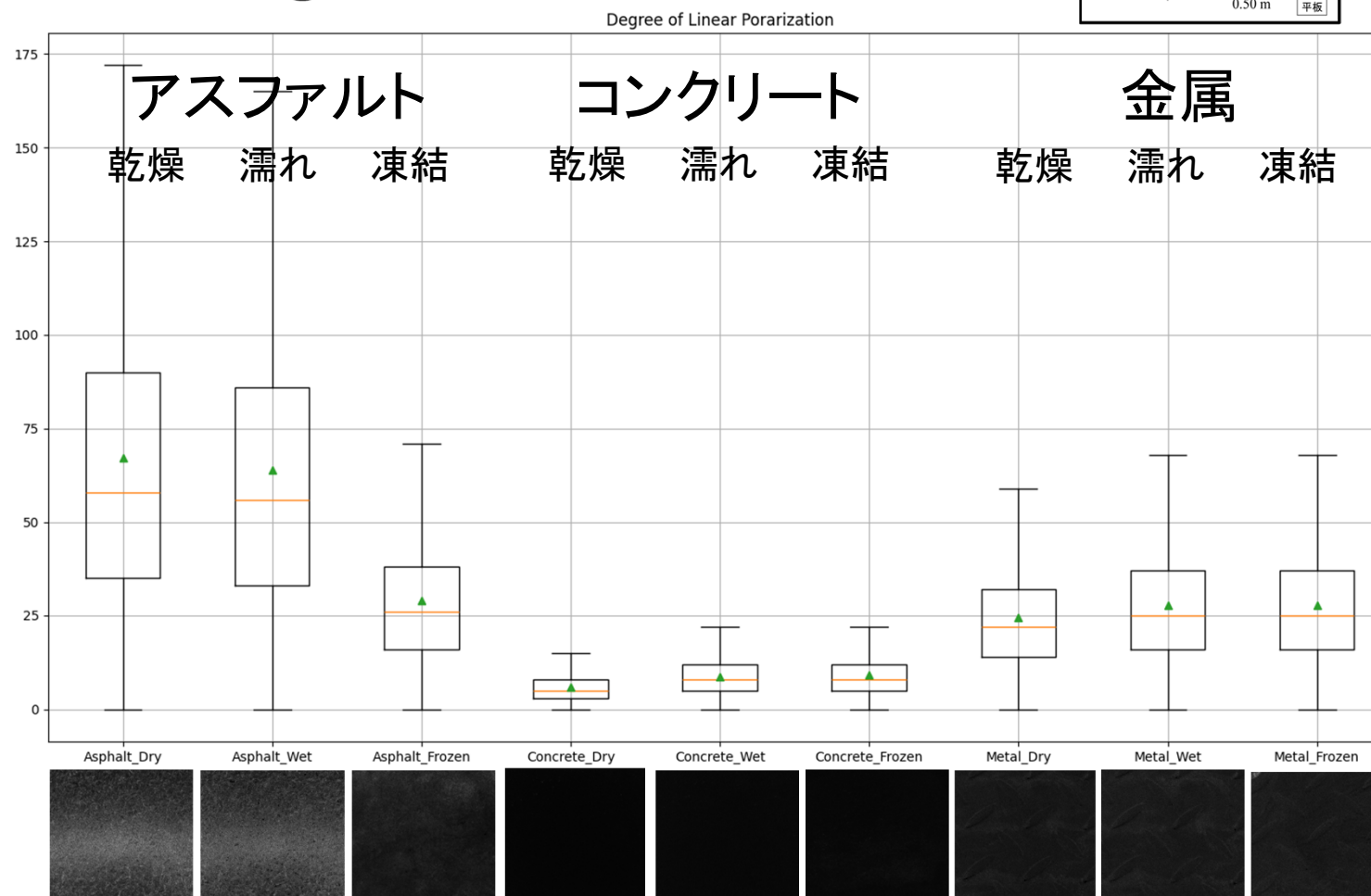
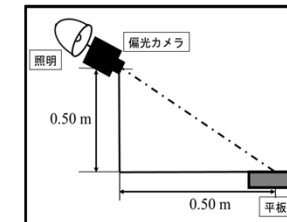


偏光画像の検証:

箱ひげ図による偏光度分布調査 (3/3)



- 箱ひげ図の生成結果
- 照明条件②(同一)



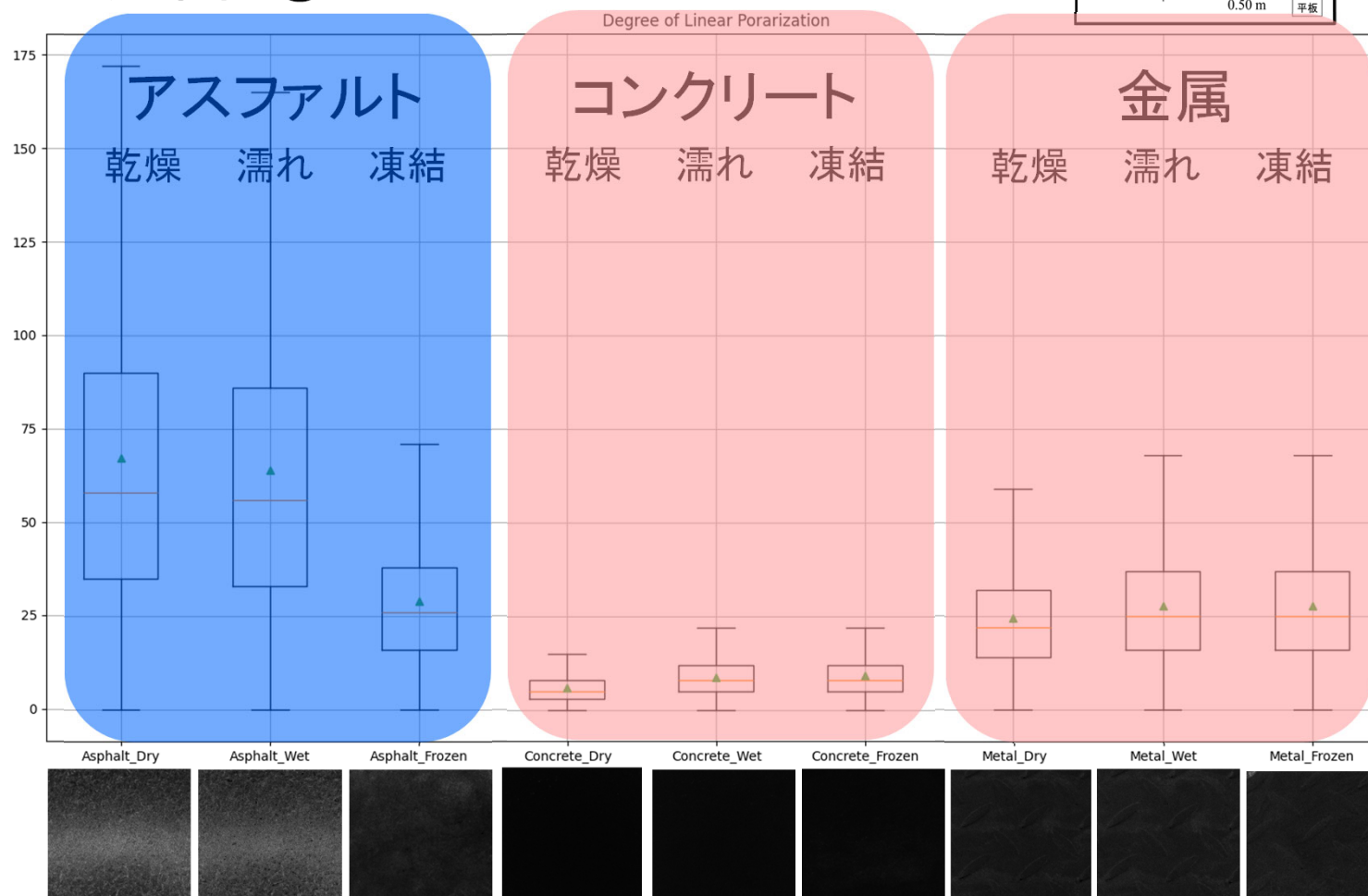
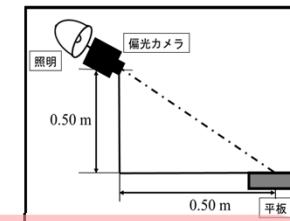


偏光画像の検証:

箱ひげ図による偏光度分布調査 (3/3)



- 箱ひげ図の生成結果
- 照明条件②(同一)





偏光画像の検証:

箱ひげ図による偏光度分布調査 (3/3)



■ 凍結/乾燥の識別可能性

- 照明条件①(対向): コンクリート, 金属
- 照明条件②(同一): アスファルト

凍結/乾燥路面識別可能性

	アスファルト	コンクリート	金属
照明条件① (対向)	なし(困難)	あり	あり
照明条件② (同一)	あり	なし(困難)	なし(困難)



偏光画像の検証:

偏光画像検証のまとめ



■ 応用可能性: 車載偏光カメラ

□ 自動車底部へ設置

□ 2種類の照明条件で撮影

- 照明条件①: 偏光カメラと照明の向きが対向
- 照明条件②: 偏光カメラと照明の向きが同一

凍結/乾燥路面識別可能性

	アスファルト	コンクリート	金属
照明条件① (対向)	なし(困難)	あり	あり
照明条件② (同一)	あり	なし(困難)	なし(困難)



車載偏光カメラと照明



通常画像の検証:

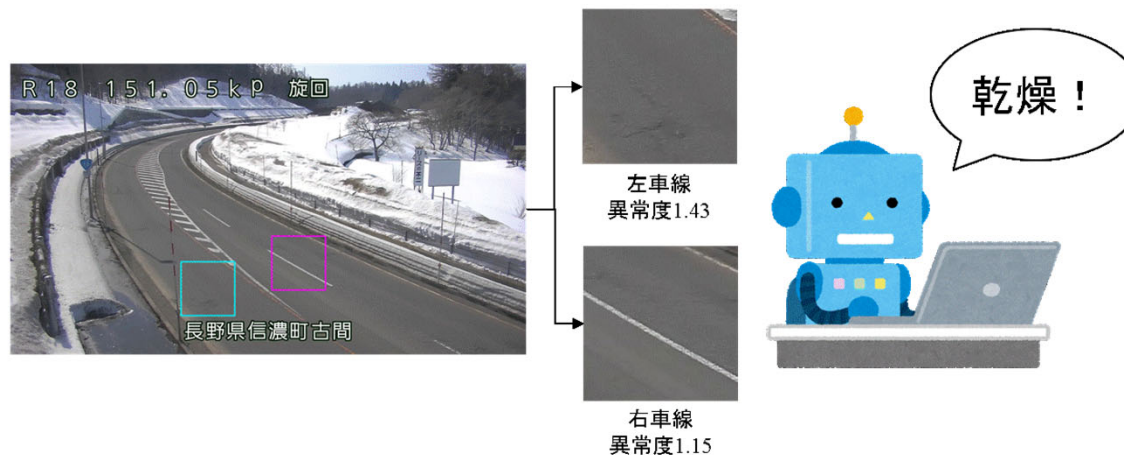
CCTVカメラ用データセット自動構築手法の検討(1/5)



■ 通常画像の検証

□ 日本各地に設置してあるCCTVカメラで撮影された通常画像の利用を着想

- 深層学習技術の一つである異常検知手法を利用し，乾燥・濡れ，と凍結を識別
- 精度向上のため，CCTVカメラ毎の画像データセット構築



システムの概念図



通常画像の検証:

CCTVカメラ用データセット自動構築手法の検討(2/5)



■ CCTVカメラ毎の画像データセット

- 量(画像枚数)と質(アノテーションの正確さ/画像とその内容記述・説明の一致)を担保

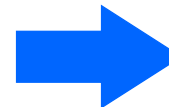
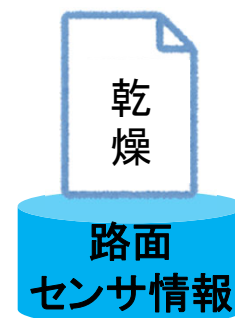
- 人力では構築に時間と手間(アノテーションの手間)



- 自動構築における課題
 - ◆ 路面性状により, 外見の多様性に差
 - ◆ 車両通行時の路面の隠れ
 - ◆ 路面状態の情報 (センサデータ)



CCTV画像



CCTVカメラ毎の画像データセット



通常画像の検証:

CCTVカメラ用データセット自動構築手法の検討(3/5)



■ CCTVカメラ映像からの画像サンプリング

□ 画像取得間隔 Δt 毎

- 小さくすることで、データセット構築にかかる時間を軽減可能
- しかし、データの多様性に影響する可能性あり



$t-\Delta t$

t

$t+\Delta t$

$t+2\Delta t$

CCTVカメラ映像からの画像サンプリング

$\Delta t = 10[\text{min}]$ の例



通常画像の検証:

CCTVカメラ用データセット自動構築手法の検討(4/5)

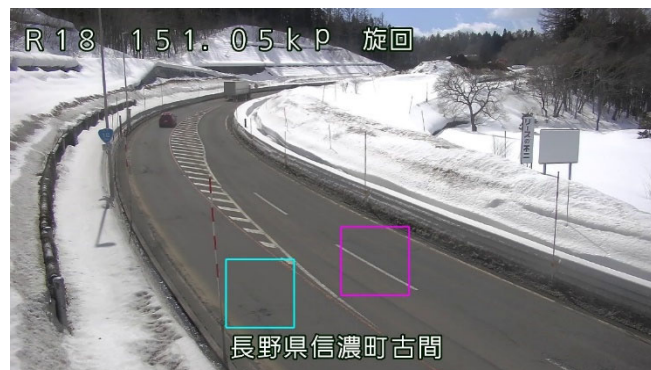


■ 設定:識別対象路面領域

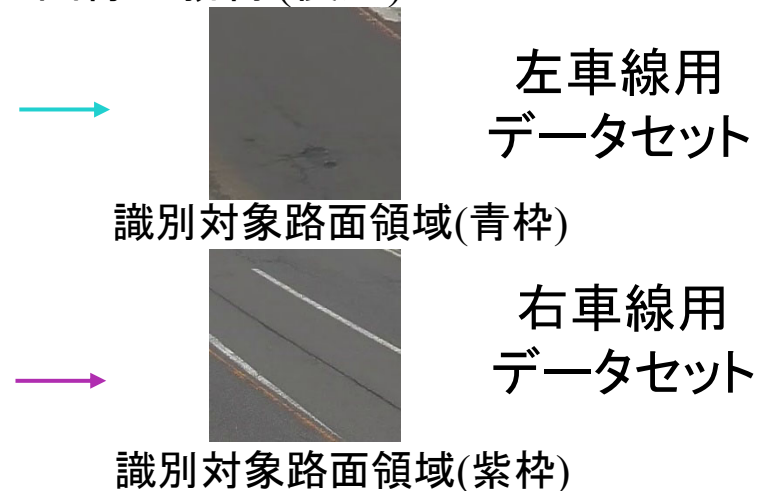
□ 手動で, 画像内に識別対象路面領域を設定

□ 条件

- 異常検知手法の制限に基づき, 正方形
- (対面通行上下2車線の場合)渋滞時を想定し, 画像内右車線および左車線にそれぞれ1箇所
※上下線ともに渋滞の場合は現時点で想定せず
- 路面表面の白線, 模様は許容するが, その他の障害物が写り込まない位置
※車両が写り込んだ場合は, その画像は排除(後述)



CCTVカメラ画像





通常画像の検証:

CCTVカメラ用データセット自動構築手法の検討(5/5)



■ 課題とアプローチ

□ 路面性状により, 外見の多様性に差

- 乾燥 < 濡れ << 凍結 の順に外見の多様性が大 → 異常検知手法を利用, 乾燥路面状態を正常とし, 凍結を異常とみなす

□ 車両通行時の路面の隠れ

- 車両と識別対象路面領域が重なると精度に影響 → 物体検出手法で車両の位置を推定, 識別対象路面領域と重ならない画像を選別

□ 路面状態の情報 (センサデータ)

- CCTVカメラとセンサが併置されているとは限らない → アメダスのデータ利用, 気象情報から乾燥路面を識別し, 乾燥路面画像データセットを構築

※アメダス: 自動気象データ収集システム / Automated Meteorological Data Acquisition System; AMeDAS



通常画像の検証:

路面性状の外見の多様性の差への対策(1/2)

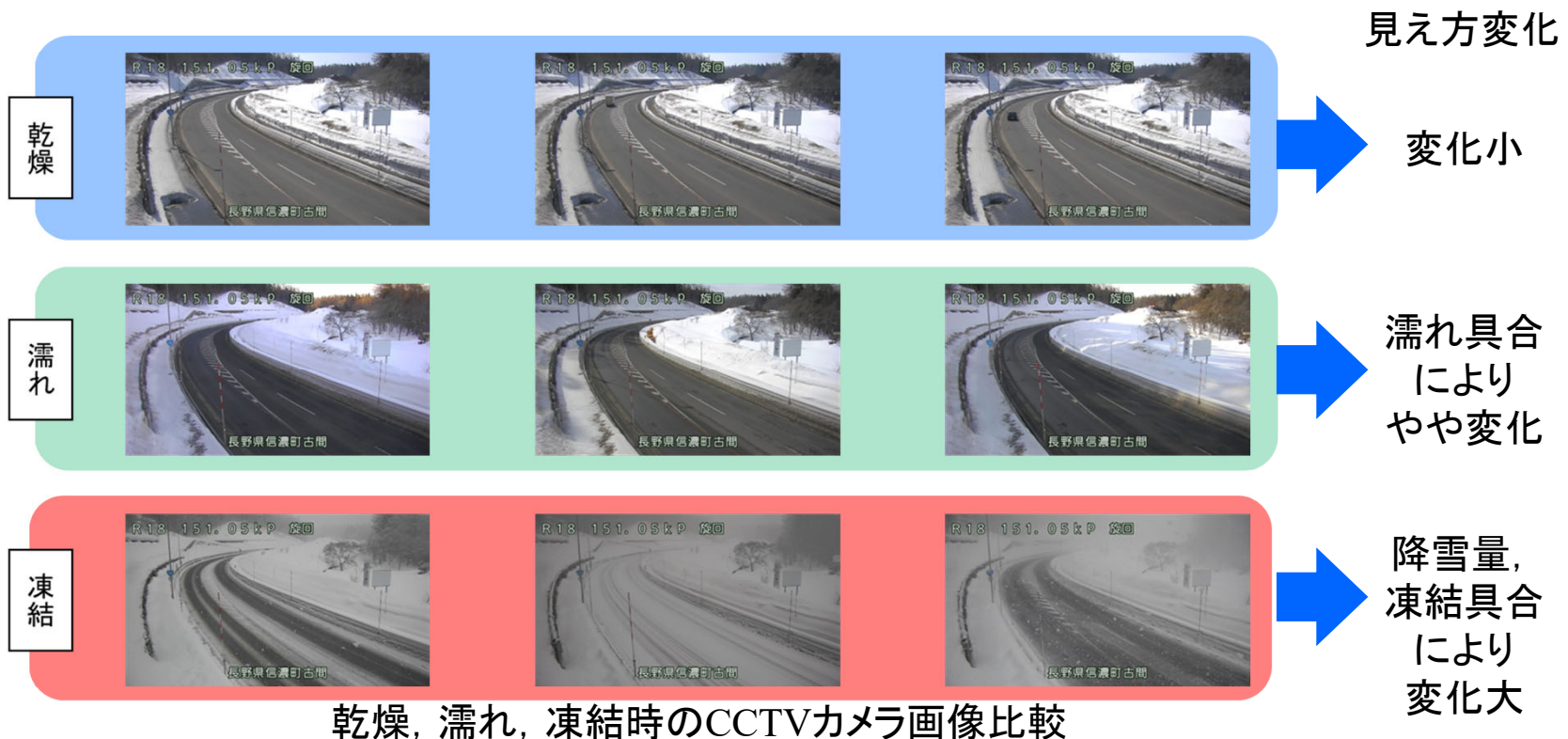


■ 路面性状により, 外見の多様性に差

- 乾燥 < 濡れ << 凍結 の順に外見の多様性が大
- 乾燥路面状態を正常とし, 凍結を異常とみなす

□ 異常検知手法

- 大量データが必須ではなく, 正常画像のみで学習可能





通常画像の検証:

路面性状の外見の多様性の差への対策(2/2)



■ 異常検知手法の検討

□ DifferNet^[1]

- 10枚前後の画像数で学習
- 正常画像で学習後, 各路面画像で異常度を算出
 - ◆ 乾燥路面状態を正常とし, 凍結を異常とみなす
 - ◆ 乾燥路面のみで画像データセットを構築

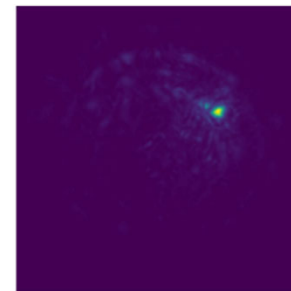
□ DifferNet 以外の異常検知手法についても検討中



学習画像例



テスト画像 (異常あり)



異常度の可視化画像

DifferNetによる瓶(ボトル)の外観異常検知



通常画像の検証:

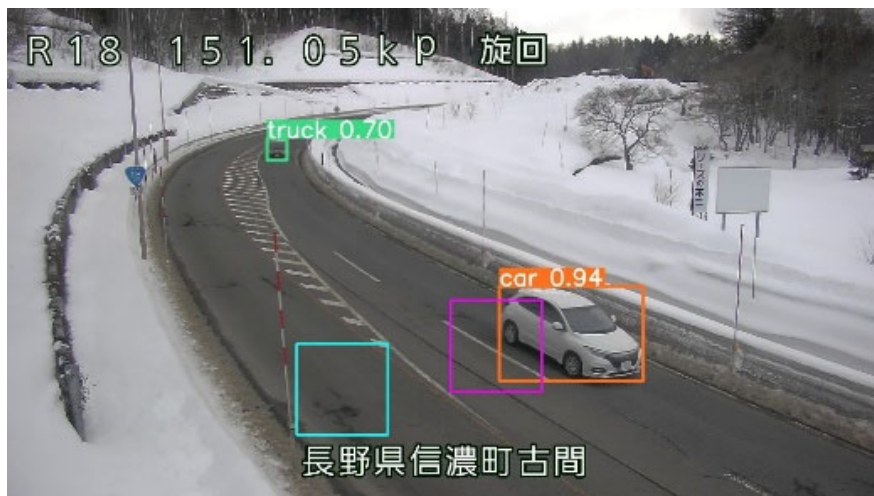
車両通行時の路面の隠れへの対策 (1/2)



■ 車両通行時の路面の隠れへの対策

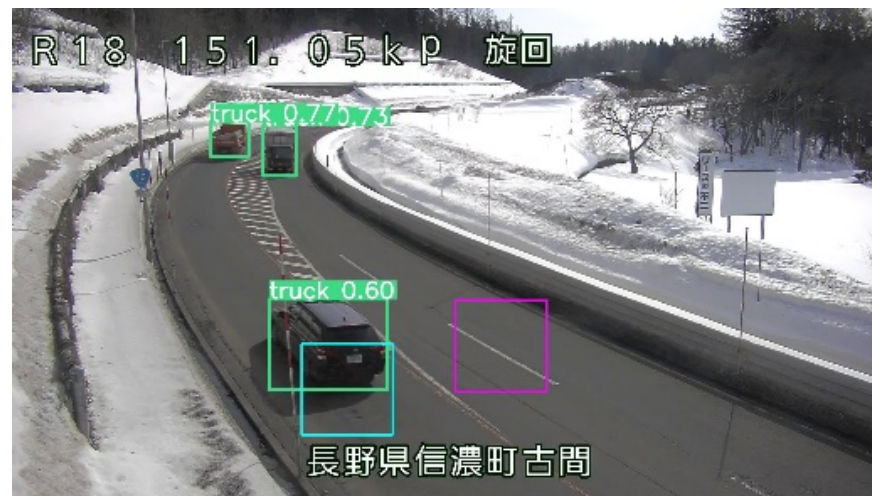
□ 物体検出手法 You only Look Once version 8 (YOLOv8)^[2]で 車両の位置を推定

- 車両と識別対象路面領域(下図: 青枠, 紫枠)が重なると精度に影響
- 重なる場合, 画像を除外



CCTV画像(右車線が隠れている例)

→ 右車線用データセット
候補から除外



CCTV画像(左車線が隠れている例)

→ 左車線用データセット
候補から除外

物体検出手法による車両位置推定

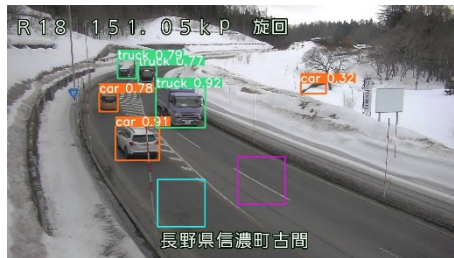


通常画像の検証:

車両通行時の路面の隠れへの対策 (2/2)

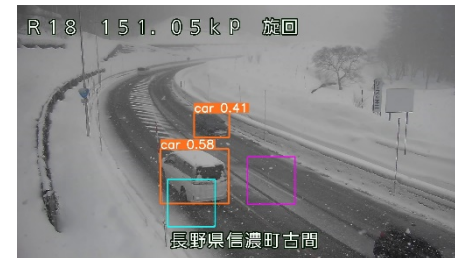


■ 路面の隠れパターン



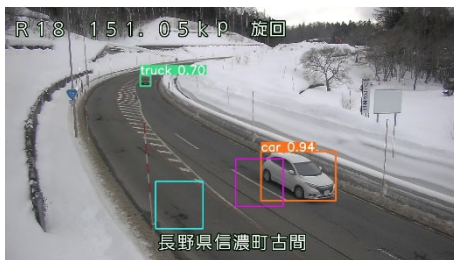
両車線共に空いている

- 左車線用データセット候補に追加
- 右車線用データセット候補に追加



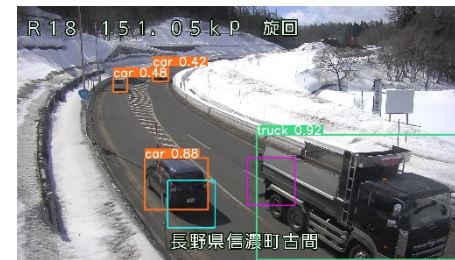
左車線に隠れ

- 左車線用データセット候補から除外
- 右車線用データセット候補に追加



右車線に隠れ

- 左車線用データセット候補に追加
- 右車線用データセット候補から除外



両車線に隠れ

- 左車線用データセット候補から除外
- 右車線用データセット候補から除外



通常画像の検証:

路面状態の情報(センサデータ)の取得 (1/3)



■ 路面状態の情報(センサデータ)

□ アメダスの当該地点の最近接地点のデータ^[3]を利用

- CCTVカメラとセンサが併置されているとは限らない
- 気象情報から乾燥路面を識別し、乾燥路面データセットを構築

国土交通省 気象庁 Japan Meteorological Agency

ENGLISH Other Languages

Google 提供 検索

ホーム 防災情報 各種データ・資料 地域情報 知識・解説 各種申請・ご案内

ホーム > 各種データ・資料 > 過去の気象データ検索

過去の気象データ検索

各地の気温、降水量、風など 高層の気温、風など 最新の気象データ 過去の気象データダウンロード 過去の地域平均気象データ

地点と年月日時を選択して、表示するデータの種類を選択してください。検索条件を全てクリア

地点の選択 年月日の選択 データの種類

地点の選択をクリア

都道府県 選択 都府県・地方を選択

地点 選択 地点を選択 (未選択)

2023年 2003年 1983年 1月 1日 16日
2022年 2002年 1982年 2月 2日 17日
2021年 2001年 1981年 3月 3日 18日
2020年 2000年 1980年 4月 4日 19日
2019年 1999年 1979年 5月 5日 20日
2018年 1998年 1978年 6月 6日 21日
2017年 1997年 1977年 7月 7日 22日
2016年 1996年 1976年 8月 8日 23日
2015年 1995年 9月 9日 24日
2014年 1994年 10月 10日 25日
2013年 1993年 11月 11日 26日
2012年 1992年 12月 12日 27日
2011年 1991年 13日 28日
2010年 1990年 14日 29日
2009年 1989年 15日 30日
2008年 1988年 31日
2007年 1987年
2006年 1986年

年ごとの値を表示 (地点を指定してください)
3か月ごとの値を表示 (地点、年を指定してください)
観測開始からの月ごとの値を表示 (地点を指定してください)
月ごとの値を表示 (地点、年を指定してください)
旬ごとの値を表示 (地点、年を指定してください)
半旬ごとの値を表示 (地点、年を指定してください)
日ごとの値を表示 (地点、年を指定してください)

年・月ごとの平年値を表示 (地点を指定してください)
3か月ごとの平年値を表示 (地点を指定してください)
旬ごとの平年値を表示 (地点を指定してください)
半旬ごとの平年値を表示 (地点を指定してください)
日ごとの平年値を表示 (地点、月を指定してください)
霜・雪・結氷の初終日と初冠雪日の平年値を表示 (気象台、観測所などのみのデータです)

アメダスの気象データ

[3] 国土交通省 気象庁, 過去の気象データ検索, https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=&block_no=&year=&month=&day=&view=, 最終アクセス日時 2023/10/20_18:40





通常画像の検証:

路面状態の情報(センサデータ)の取得 (2/3)



■ 乾燥路面画像の判別

□ CCTVカメラ最近接地点のアメダスデータ

- **閾値:** 過去3時間で気温が0.0度以上, 降水量が0.0 mm以下
- 閾値を満たす時刻の路面を乾燥状態と判断

国土交通省 気象庁

ホーム 防災情報 気象データ・資料 道路の情報 知識・解説 各種申請・ご案内

ホーム > 気象データ・資料 > 過去の気象データ検索 > 1時間ごとの値

1時間ごとの値

一覧表 グラフ

表示の項目 (メニューを開く)

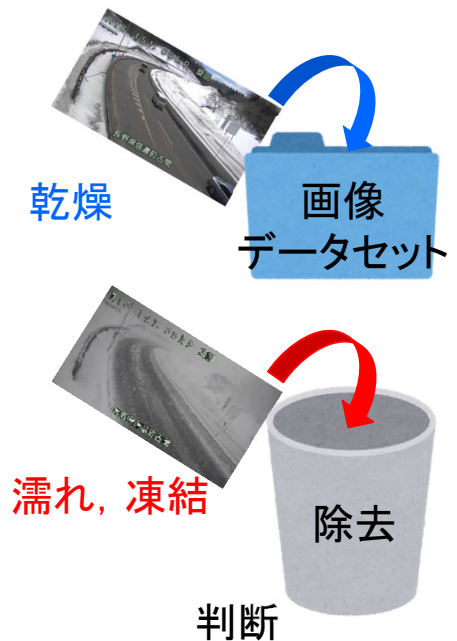
表示の範囲 (1時間ごとの値) (10分ごとの値)

時	降水量 (mm)	気温 (℃)	湿度 (%)	風速 (m/s)	風向 (度)	日照 (%)	雲量 (%)	視程 (m)	路面 状態
1	0.0	-3.1	///	///	///	0.0	晴	///	///
2	0.0	-2.9	///	///	///	0.5	晴	///	///
3	0.0	-3.3	///	///	///	0.4	晴	///	///
4	0.0	-3.4	///	///	///	0.4	晴	///	///
5	0.0	-3.0	///	///	///	0.0	晴	///	///
6	0.0	-2.8	///	///	///	0.4	晴	///	///
7	0.0	-2.4	///	///	///	0.5	晴	///	///
8	0.0	-2.2	///	///	///	0.2	晴	///	///
9	0.5	-1.6	///	///	///	0.0	晴	///	///
10	0.5	-1.3	///	///	///	0.0	晴	///	///
11	1.0	-0.8	///	///	///	0.0	晴	///	///

アメダスの気象データ



CCTVカメラ画像





通常画像の検証:

路面状態の情報(センサデータ)の取得 (3/3)



除去

時	降水量 (mm)	気温 (°C)
12	0.0	-1.6
13	0.0	-1.5
14	1.0	-1.5

降水量: 1.0~0.0mm

気温: -1.5~-1.6

乾燥路面データセット

候補から除外

凍結の可能性大



画像データセット

時	降水量 (mm)	気温 (°C)
13	0.0	7.2
14	0.0	5.6
15	0.0	4.5

降水量: 1.0~0.0mm

気温: 7.2~4.5

乾燥路面データセット

候補に追加

正常画像 (乾燥)



画像データセット

時	降水量 (mm)	気温 (°C)
12	0.0	2.6
13	0.0	3.0
14	0.0	2.5

降水量: 0.0mm

気温: 3.0~-2.5

乾燥路面データセット

候補に追加

正常画像 (乾燥)



除去

時	降水量 (mm)	気温 (°C)
6	0.0	-2.7
7	0.0	-1.5
8	0.0	1.7

降水量: 0.0mm

気温: 1.7~-2.7

乾燥路面データセット

候補から除去

凍結の可能性大



画像データセット

時	降水量 (mm)	気温 (°C)
9	0.0	-0.3
10	0.0	1.7
11	0.0	4.2

降水量: 0.0mm

気温: 4.2~-0.3

乾燥路面データセット

候補に追加

正常画像 (乾燥)



除去

時	降水量 (mm)	気温 (°C)
7	1.5	-3.6
8	0.5	-3.0
9	0.0	-2.7

降水量: 0.5~1.5mm

気温: -2.7~-3.6

乾燥路面データセット

候補から除去

凍結の可能性大



通常画像の検証:

凍結路面識別の検証(1/2)



■ 異常検知手法による凍結路面識別検証

□ 学習データ: 提案手法による自動構築データセット

- CCTV画像/長野県上水内郡信濃町古間
 - ◆ 期間: 2022年3月3-17, 20, 22, 23日
- センサデータ: アメダス/長野県上水内郡信濃町柏原字小丸山
 - ◆ 同地点ではセンサデータを取得可能だが使用せず
- 画像取得間隔 $\Delta t=10[\text{min}]$, 乾燥路面画像130枚

□ テストデータ

- CCTV画像/長野県上水内郡信濃町古間
 - ◆ 期間: 2022年3月3-17, 20, 22, 23日 ※学習データとは別時刻
- センサデータ: 路温センサ等/長野県上水内郡信濃町古間
 - ◆ 同地点に設置されたセンサの出力を正解データとして使用
- 乾燥, 濡れ, 凍結路面画像それぞれ40枚

データセットクラス枚数対応表

湿潤状態	クラス名	枚数	
		training	testing
乾燥	正常	130	40
濡れ	正常	0	40
凍結	異常	0	40

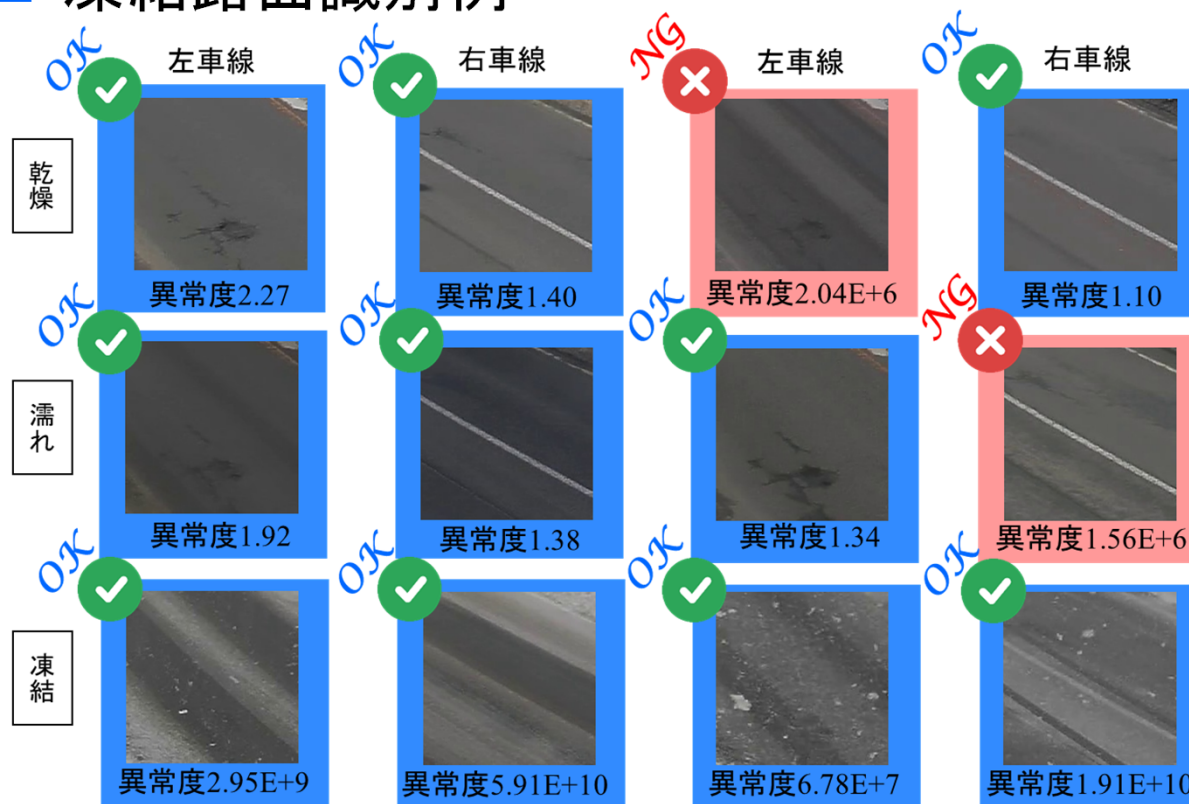


通常画像の検証:

凍結路面識別の検証(2/2)



凍結路面識別例



凍結路面識別例

凍結路面識別評価

※Area Under the ROC Curve.
評価指標の一種。1.0に近い
ほど、識別性能が高い。

	閾値	再現率	適合率	AUROC※
左車線	1.00×10^5	0.9750	0.9873	0.9892
右車線		0.9625	1.0000	0.9773



まとめ(1/2)



■ 概要:非接触・広範囲の路面性状監視技術の開発

- 路面の表面性状, すなわち性質・材質及び状態のうち水たまり, 濡れ, 凍結等の「見えない」「見えにくい」湿潤状態の識別に関して従来の画像処理手法と深層学習利用手法を提案・比較し, 実地検証
- 画像処理対象としては, 偏光画像及び通常画像の両者とし, 長所・短所を明確化して提案手法の実利用へ展開

■ 研究実施内容

□ 偏光画像を対象

- 湿潤状態、路面材質、照明位置と偏光度の関係を調査

□ 通常画像を対象

- 深層学習手法を用いた凍結状態の識別手法を検討



まとめ(2/2)



■ 偏光画像を対象としたアプローチ

□ 照明位置と路面材質，偏光画像の関係性を示した

凍結/乾燥路面識別可能性

	アスファルト	コンクリート	金属
照明条件① (対向)	なし(困難)	あり	あり
照明条件② (同一)	あり	なし(困難)	なし(困難)

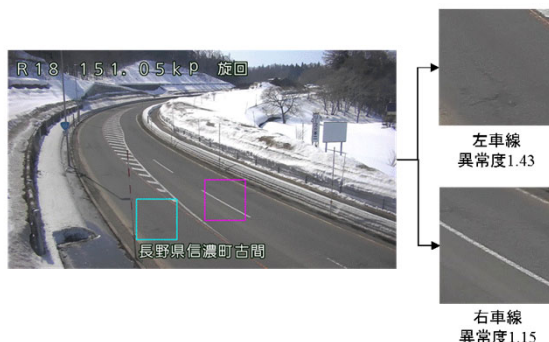


車載偏光カメラと照明

■ 通常画像を対象としたアプローチ

□ 構築したデータセットで異常検知手法DifferNetを学習

□ 右車線，左車線の両方において，凍結路面画像の識別可能



システムの概念図



凍結路面識別評価

	閾値	再現率	適合率	AUROC
左車線	1.00×10^5	0.9750	0.9873	0.9892
右車線		0.9625	1.0000	0.9773