

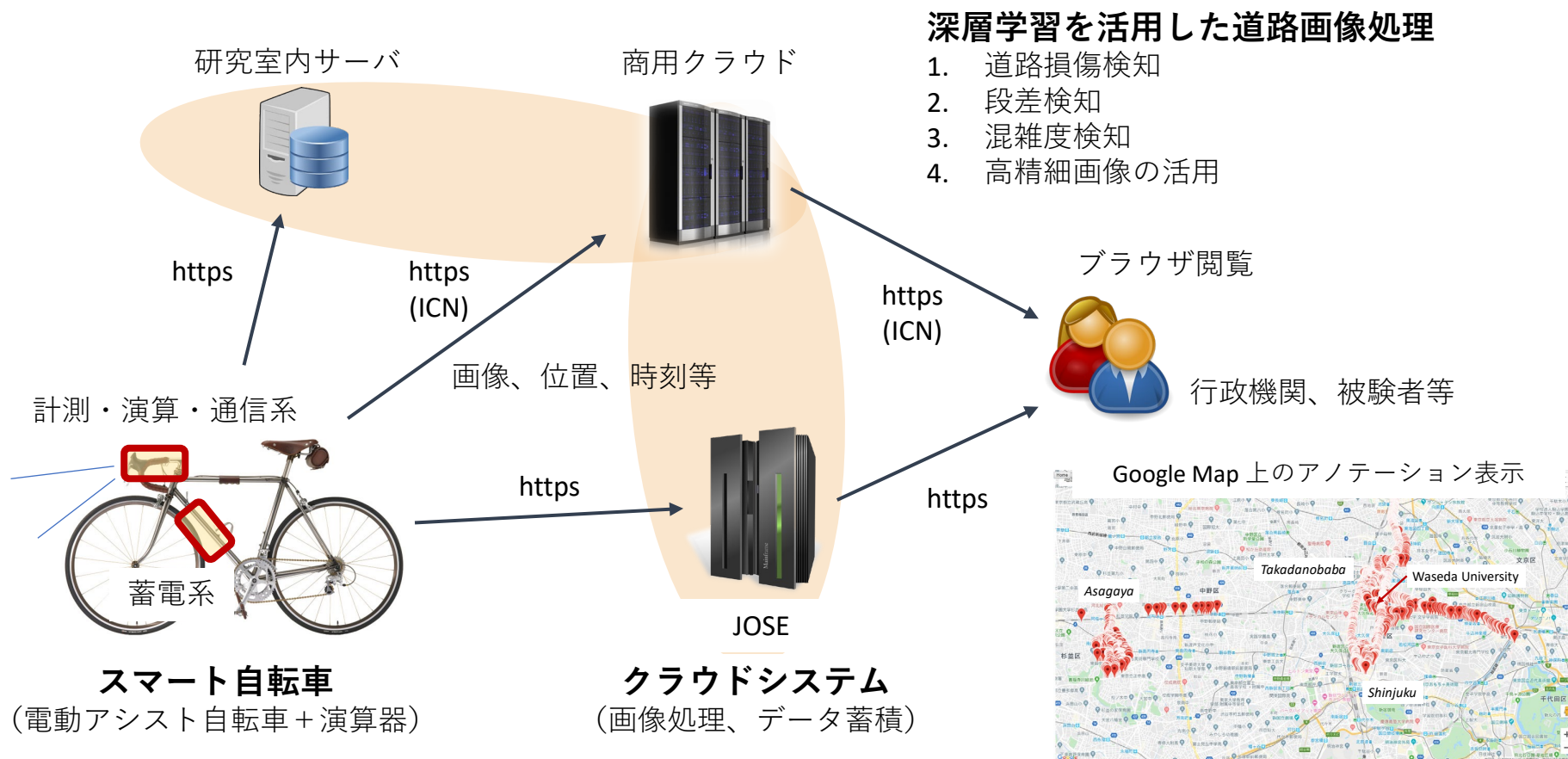
スマート自転車と オープンデータを活用した 道路インフラ維持システム

早稲田大学 甲藤二郎・竹内健・金井謙治・
孫鶴鳴・村山知輝・山本健人・和田直己

情報通信研究機構「データ連携・利活用による地域課題解決
のための実証型研究開発」

◆ 概要・特徴

近年、インフラ老朽化に対する危機感が高まる一方、電動アシスト自転車のシェアの拡大が見込まれている。本研究開発では、電動アシスト自転車に演算器を装着し、道路損傷検知、段差検知等の画像処理を実行し、クラウドから情報提供するシステムの開発を進めている。



背景(1) インフラ維持



(出典) NEXCOロードタイガー

- インフラ維持システムの必要性
 - インフラ老朽化による事故が世界中で多発している
 - これを受け、国交省から道路の点検要領が発行されている
 - しかし、計測専用自動車による路面調査は高額な費用がかかる
 - このため、地方自治体が管理する道路では適用が困難
 - また、点検要領は自動車道路限定で、歩道や自転車走行帯は対象外



- 自転車による安価なインフラ維持システムの構築
 - 自動車が入り込めない道路や災害時でも計測可能
 - 蓄電・演算・通信機能を備えた「スマート自転車」の開発
 - インフラ維持以外の画像処理サービス（段差検知、混雑度検知、等）への展開

背景(2) 電動アシスト自転車



(出典) <https://www.yamaha-motor.co.jp/pas/>

- バッテリーを搭載した電動アシスト自転車
 - ✓ 世界最初の電動アシスト自転車はヤマハさんから
(1993年YAMAHA PAS)
 - ✓ 世界的には **e-bike** と呼ばれる
 - ✓ 世界の自転車市場は年間約1億3000万台で停滞しているが、**e-bike** 市場はこの6年で約3倍拡大し、年間360万台に達する
 - ✓ この勢いで成長を続けると2025年には年間1000万台に到達

(出典) 日経XTECH 2018年8月20日

• 先行研究

※ 世界的な **e-bike** の発展

1. S.B.Eisenman et al.: ACM SenSys 2007. 自転車センサーネットワーク
2. Y.Kobana et al.: IWWISS 2014. 自転車 + 加速度センサーによる段差検知

S.B.Eisenman et al.: "The BikeNet Mobile Sensing System for Cyclist Experience Mapping," ACM SenSys 2007.

Y.Kobana et al.: "Detection of Road Damage using Signals of Smartphone-Embedded Accelerometer while Cycling," IWWISS 2014.

背景(3) 新宿区の道路事情

※ 狭い道路は自転車が得意

• 自転車ネットワーク計画

小型バスがぎりぎりすれ違える路幅

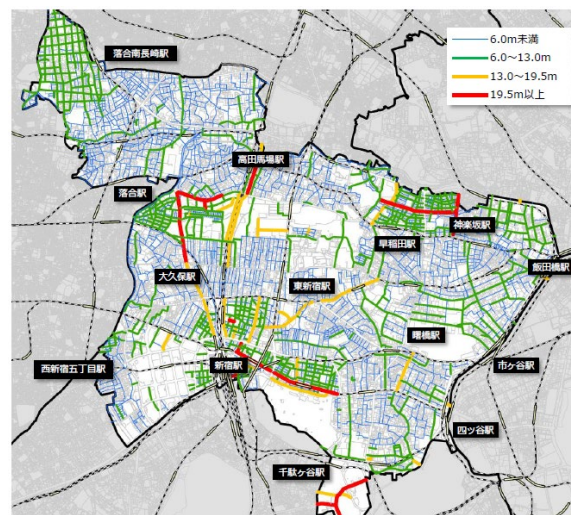
- 幅員6m以上の道路をk
基本に自転車通行空間の整備

	6m以上道路		6m未満道路	合計
	広域幹線	地域幹線		
国道	3.3			3.3
都道	28.4	22.6		51.0
区道	0.9	43.9	1.5	46.3
合計	32.6	66.5	1.5	100.6

新宿区の道路の約25%

• 新宿区の道路事情

- 新宿区の道路は幅員5.5m未満が76.5%を占める



※ 歩道と自転車道の整備

出典：新宿区・自転車ネットワーク計画（2019年度～2028年度）

http://www.city.shinjuku.lg.jp/seikatsu/kotsu01_20190315.html.

背景(4) 日本全体の道路事情

- 幅員5.5m未満： 71%
- 幅員3.5m未満： 31%
- 自動車交通不能区間： 11%

※ 日本は自動車交通に適してない道路が多い

道 路 種 別	実 延 長 計	改 良 済 ・ 未 改 良 別 ， 車 道 幅 員 区 分 別 内 訳									
		改 良 済					未 改 良				
		19. 5m 以上	13. 0m ～ 19. 5m	5. 5m ～ 13. 0m	5. 5m 未満	計	5. 5m 以上	3. 5m ～ 5. 5m	3. 5m 未満	うち 自動車交通 不能区間	計
高 速 自 動 車 道	8,795.2	808.3	5,691.5	2,295.3	-	8,795.2	-	-	-	-	-
一 般 国 道	55,637.4	1,181.4	6,886.7	43,527.6	1,527.9	53,123.6	327.2	1,369.5	817.2	144.4	2,513.8
都 道 府 県 道	129,666.6	1,130.8	4,980.1	85,184.9	13,349.1	104,644.8	2,048.9	12,234.1	10,738.8	1,678.7	25,021.8
市 町 村 道	1,029,787.3	759.9	4,632.6	185,018.1	417,947.8	608,358.4	7,088.8	48,935.1	365,405.0	140,322.5	421,428.9
合 計	1,223,886.5	3,880.4	22,190.9	316,025.9	432,884.8	774,922.0	9,464.9	60,368.7	377,140.0	142,145.6	448,964.5
比率		28%		35%		63%	1%	5%	31%	11%	37%

出典：国交省「国・都・区市町村道統計」

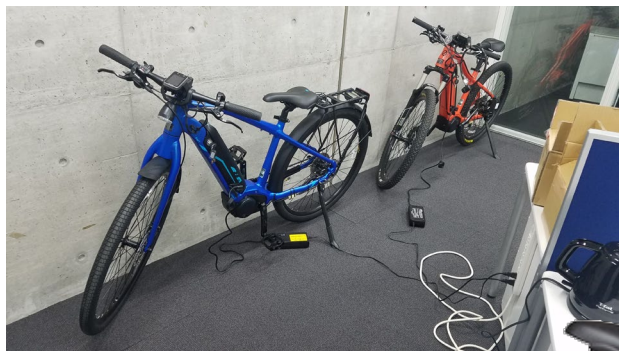
研究開発内容

1. スマート自転車の開発
2. 深層学習を活用した道路画像処理の開発
3. プロトタイプシステムの開発

研究開発項目 1

スマート自転車の開発

(1) スマート自転車



電動アシスト自転車
(Panasonic XU1/XM1)

(1) スマートフォン

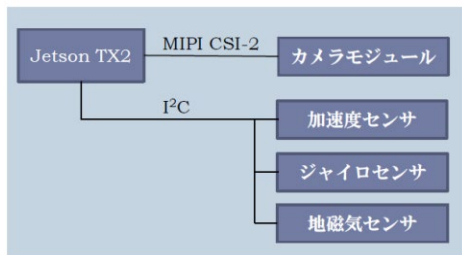


(2) 専用演算器

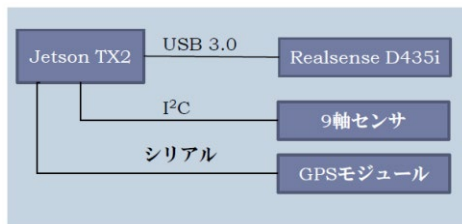


(2) スマート自転車の実装

• Jetson TX2



(a) 構成例1

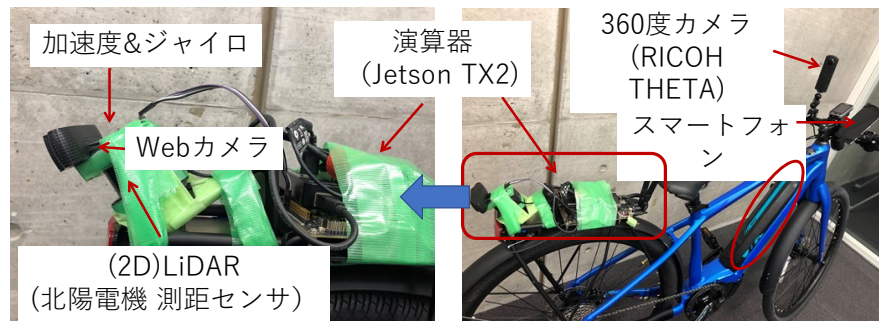


(b) 構成例2

RGBカメラ
加速度
ジャイロ
地磁気

RGB-Dカメラ (Intel RealSense)
... 段差検出
9軸センサー (加速度、ジャイロ
地磁気)
GPS

• 各種デバイス



RGBカメラ
360度カメラ (RICOH Theta) ... 混雑度検出
2D-LiDAR (北陽電機 UST-10) ... 段差検出
6軸センサー (加速度、ジャイロ) ... 角度検知

※ 不安定動作時はモバイルバッテリーを併用

(3) スマートフォンの消費電力

路上損傷箇所検知アプリ実行時の消費電力

	Google Pixel 3	HTC U12+	Huawei Mate 20
実装1	61.1mAh	77.7mAh	59.6mAh
実装2	55.8mAh	47.9mAh	20.6mAh



AccuBattery

典型的なバッテリー容量の比較

- ※ バッテリー容量を増やすと重くなる
- ※ 発電機能を付けると重くなる

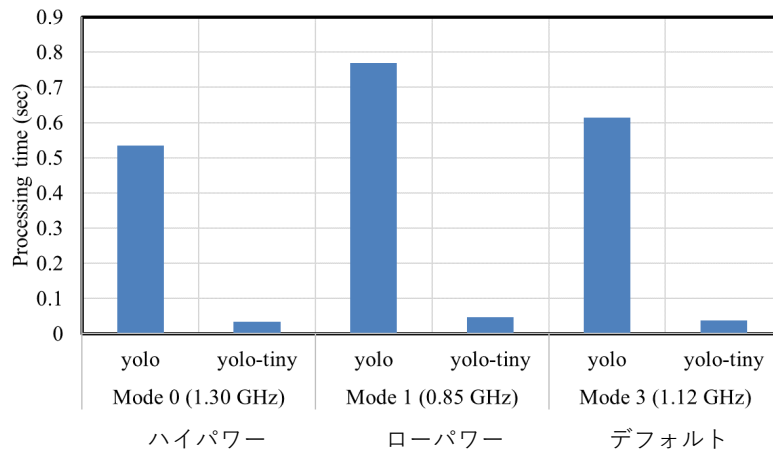
	バッテリーの電気容量 [Ah]
スマートフォン	1～2Ah
電動アシスト自転車	5～20Ah
電気自動車	10k～100kAh (Prius ~ Tesla)

(4) Jetson TX2の消費電力



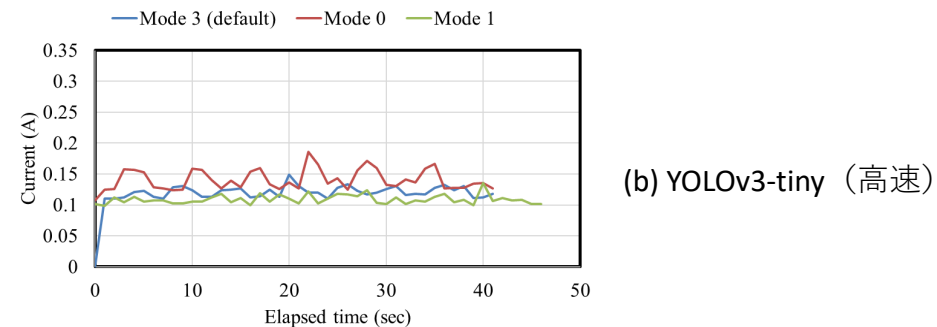
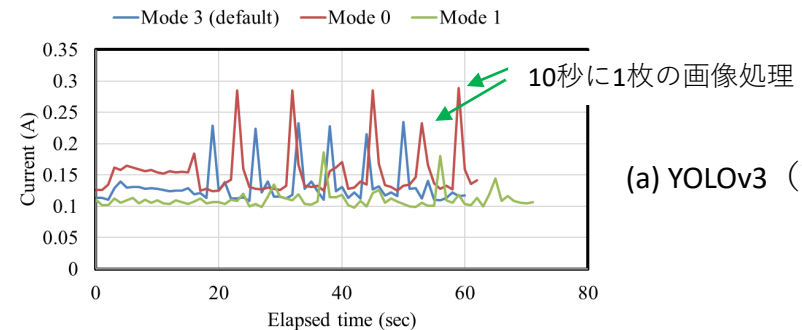
Watts Up Pro

- 人物検出の処理時間



4K解像度画像1枚の処理時間

- 消費電流の時間推移



研究開発項目 2

深層学習を活用した道路画像処理

(2) 画像取得

- アノテーション：路上損傷画像を抽出し、追加学習画像としてのアノテーション作業を実施

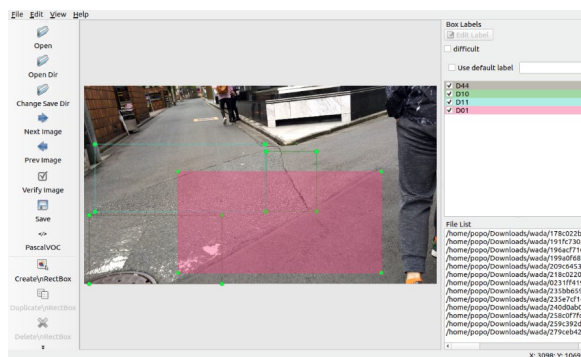


路面画像1089枚から路上損傷
画像194枚を抽出

Damage Type			Detail	Class Name
Crack	Linear Crack	Longitudinal	Wheel mark part	D00
			Construction joint part	D01
		Lateral	Equal interval	D10
	Alligator Crack		Construction joint part	D11
			Partial pavement, overall pavement	D20
Other Corruption		Rutting, bump, pothole, separation	D40	
		Cross walk blur	D43	
		White line blur	D44	

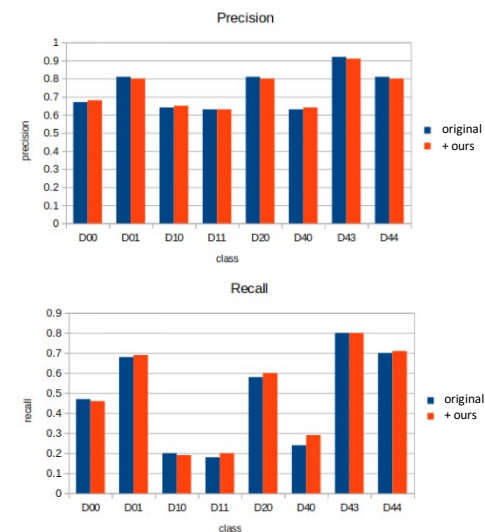
Source: Road Maintenance and Repair Guidebook 2013 JRA (2013) in Japan.

路上損傷の分類表



アノテーションツール Labelling

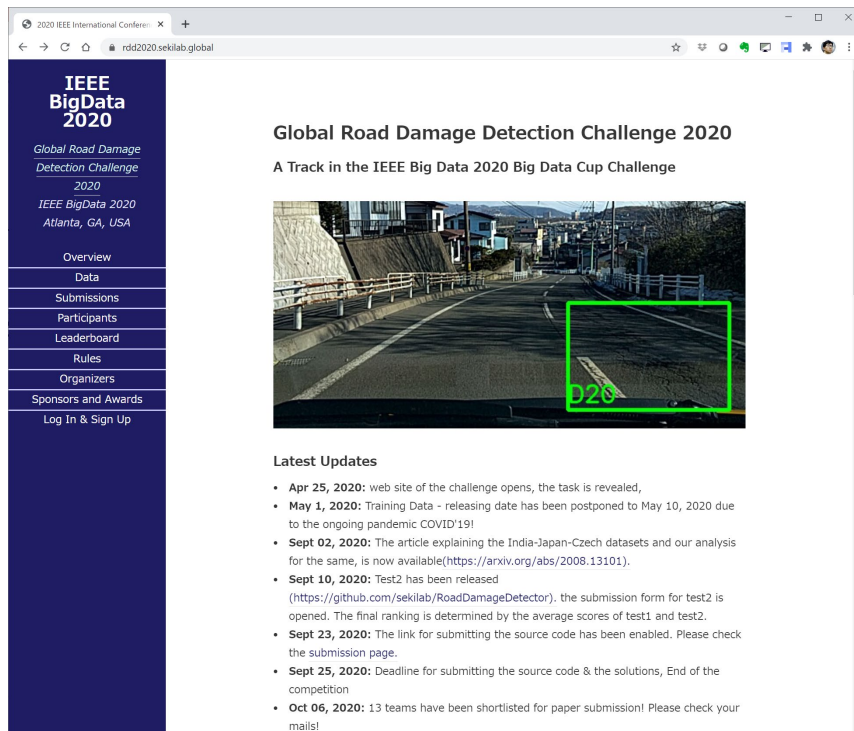
Pascal VOC形式とYOLO形式を
必要に応じて相互変換



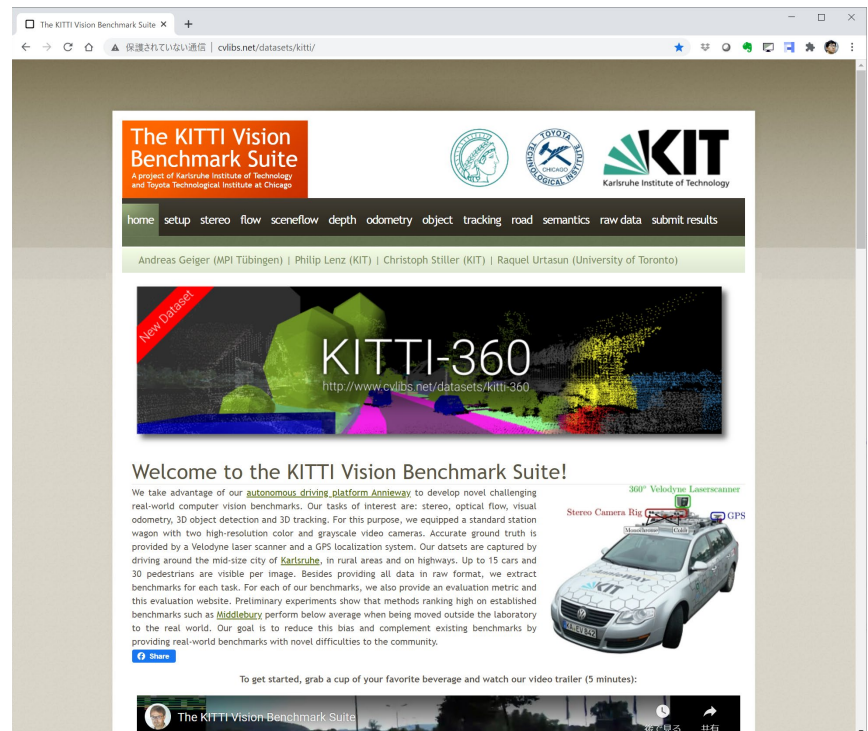
モデルの再学習と性能比較

(3) オープンデータ

- Road damage dataset + Detection Challenge
- KITTI dataset



<https://rdd2020.sekilab.global/>



<http://www.cvlibs.net/datasets/kitti/>

(4) 道路画像処理

- アプリケーション統合：路上損傷検出 + 路上廃棄物検出 + 混雑度検出

	スマートフォン (Android)	Jetson TX2 (ubuntu)	クラウド (ubuntu)
文献[1] 路上損傷 Road Damage Dataset	SSD+MobileNet		SSD+Inception SSD+MobileNet
文献[2] 路上廃棄物 GINI Dataset	R-FCN		
文献[3] 路上廃棄物 collected from StreetView			R-CNN
物体認識（人物検出） COCO Dataset	YOLO-tiny	YOLO	YOLO
姿勢検出（人物検出）		OpenPose	OpenPose
2018年実装（路上損傷 + 路上廃棄物）	SSD+MobileNet YOLO-tiny		個別
2019年実装（路上損傷 + 路上廃棄物 + 人物検出）	YOLO-tiny (SSD+MobileNet)	YOLO, YOLO-tiny (SSD+Inception)	YOLO (SSD+Inception)

文献毎に異なる実装手段



実行環境の統合：

- スマートフォン: YOLO-tiny
- Jetson: YOLO-tiny or YOLO
- クラウド: YOLO

[1] H.Maeda et al: Compute Aided Civil and Infrastructure Engineering, No.33, pp.1127-1141 (2018).

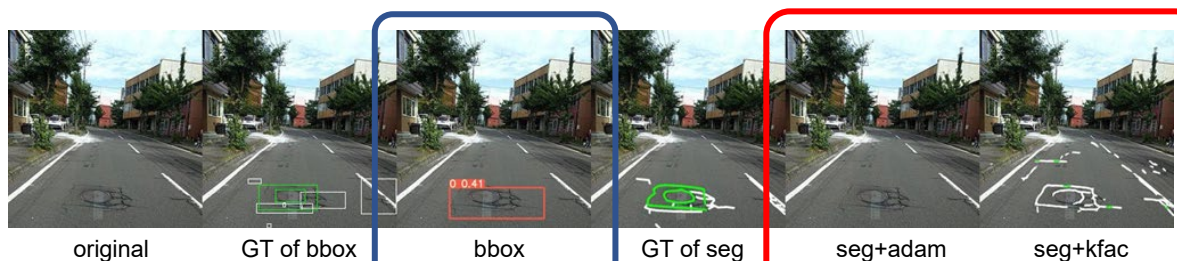
[2] Spotgarbage-GINI: <https://github.com/spotgarbage/spotgarbage-GINI>.

[3] Litter-detection-tensorflow: <https://github.com/isaychris/litter-detection-tensorflow>.

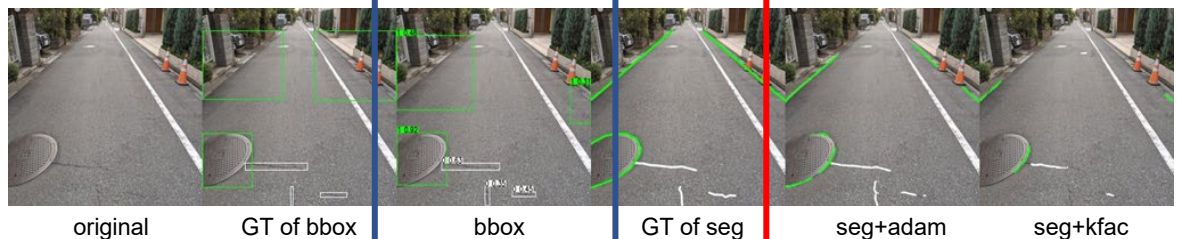
(5) 道路損傷箇所検出

白ラベル「損傷」
緑ラベル「つなぎ目」

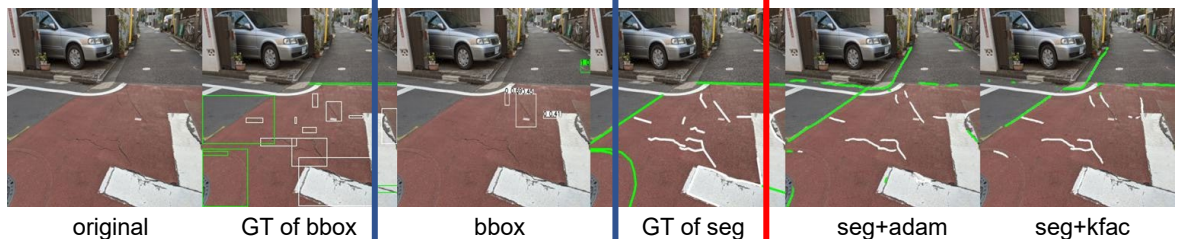
- ボックス方式 (bbox) とセグメンテーション方式 (seg)



(a) RDDデータセットによる学習



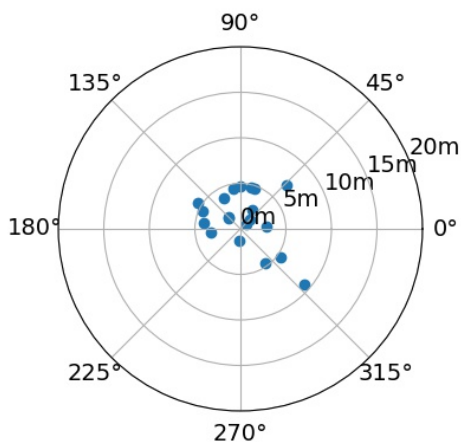
(b) 撮影データセットによる学習



(c) RDDデータセット+撮影データセットによる学習

(6) 歩行者レーダーマップと歩行者密度推定

- レーダーマップ



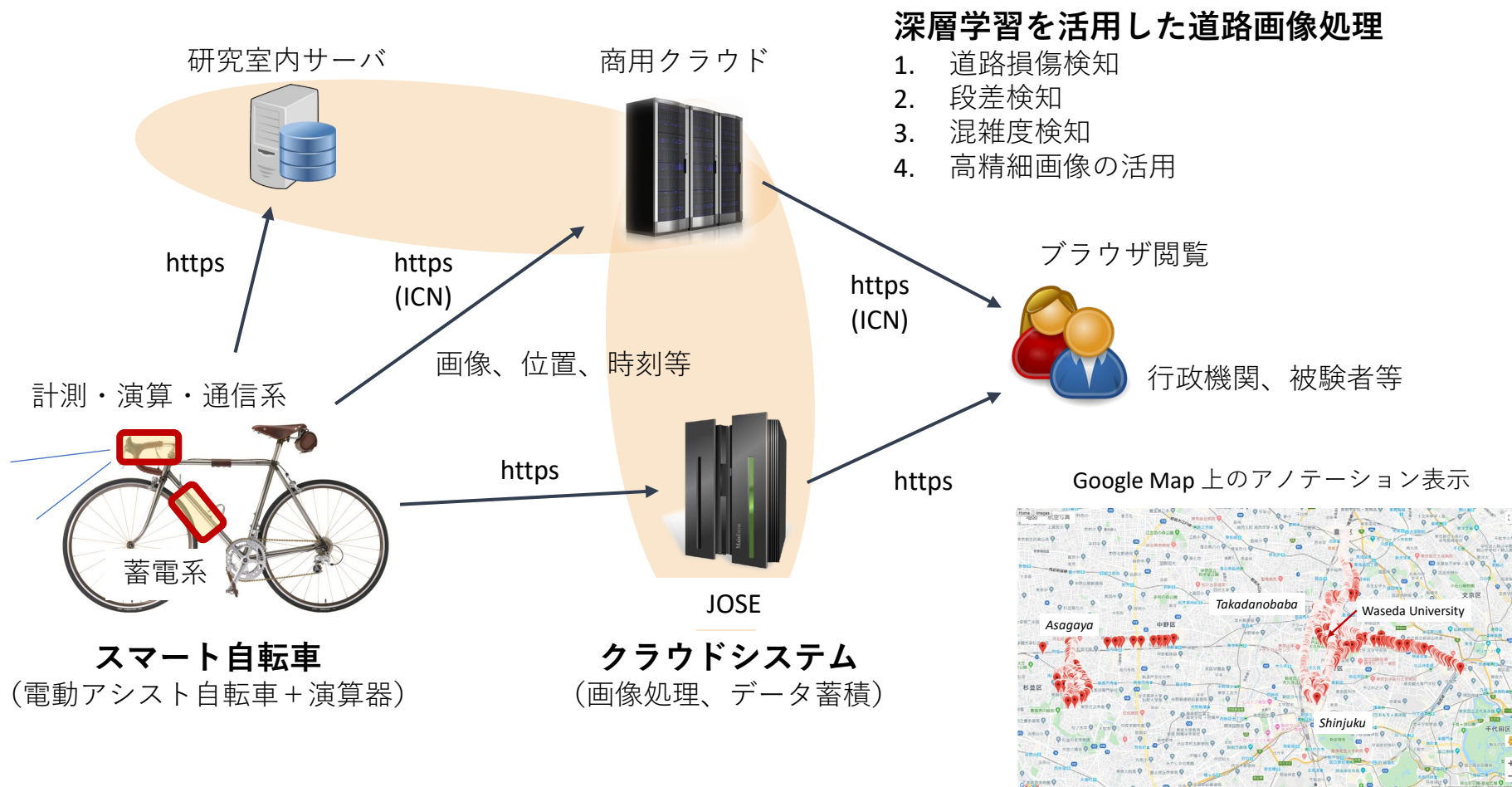
- 歩行者密度ヒートマップ



研究開発項目 3

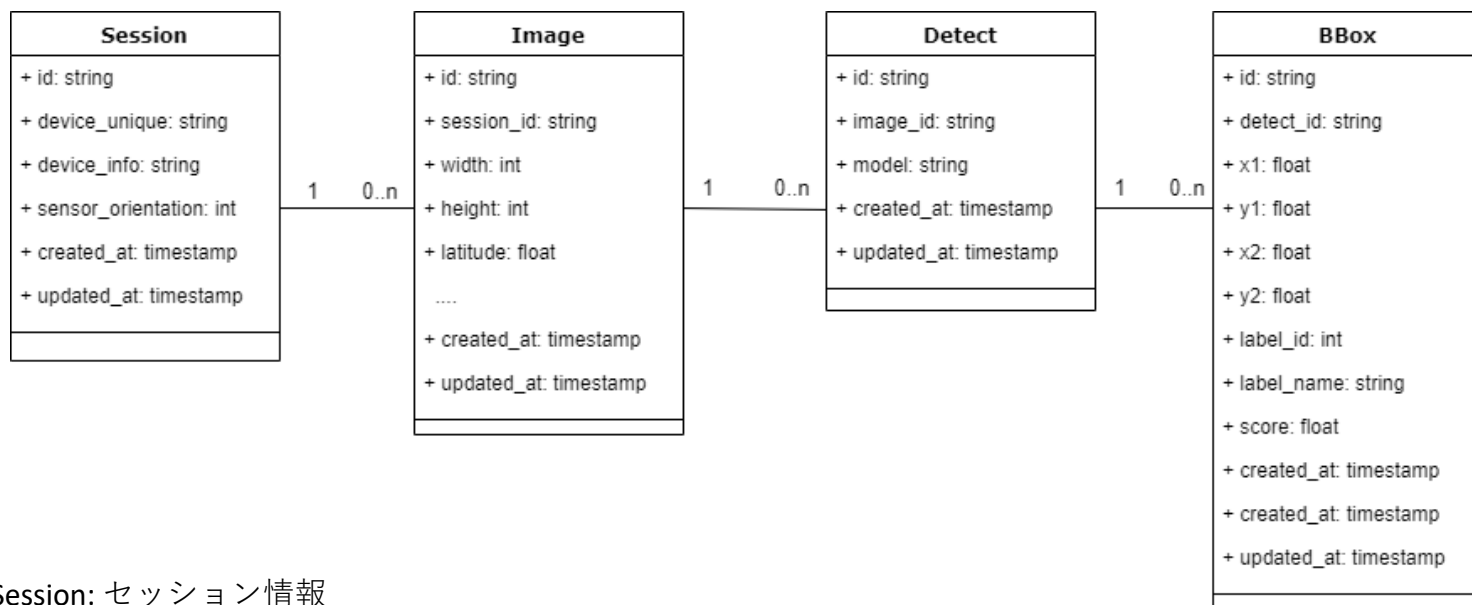
プロトタイプシステム

(1) プロトタイプ試作



(2) 通信フォーマットと通信手順

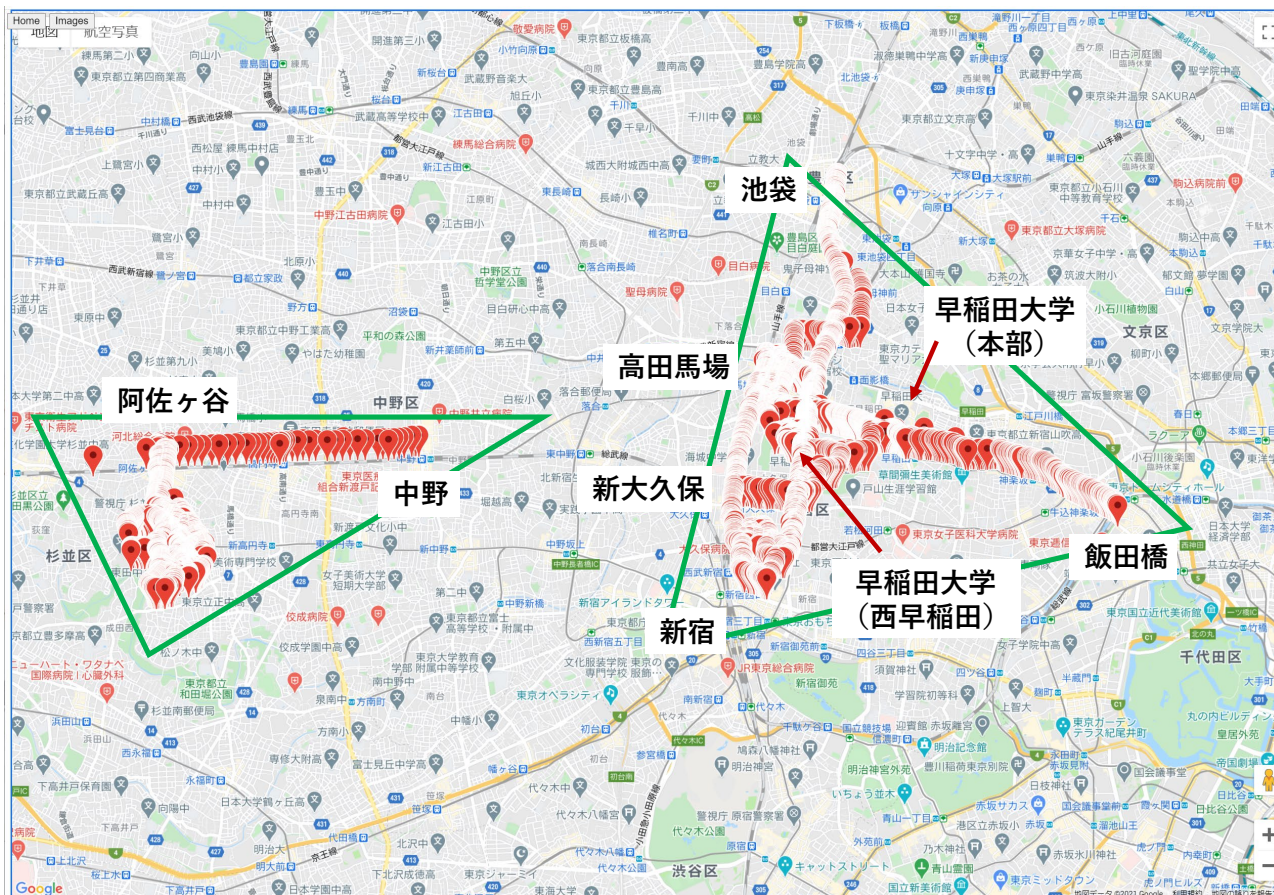
- 通信フォーマットの例



- ✓ Session: セッション情報
- ✓ Image: 撮影画像
- ✓ Detect: 画像処理実行
- ✓ Bbox: 処理結果

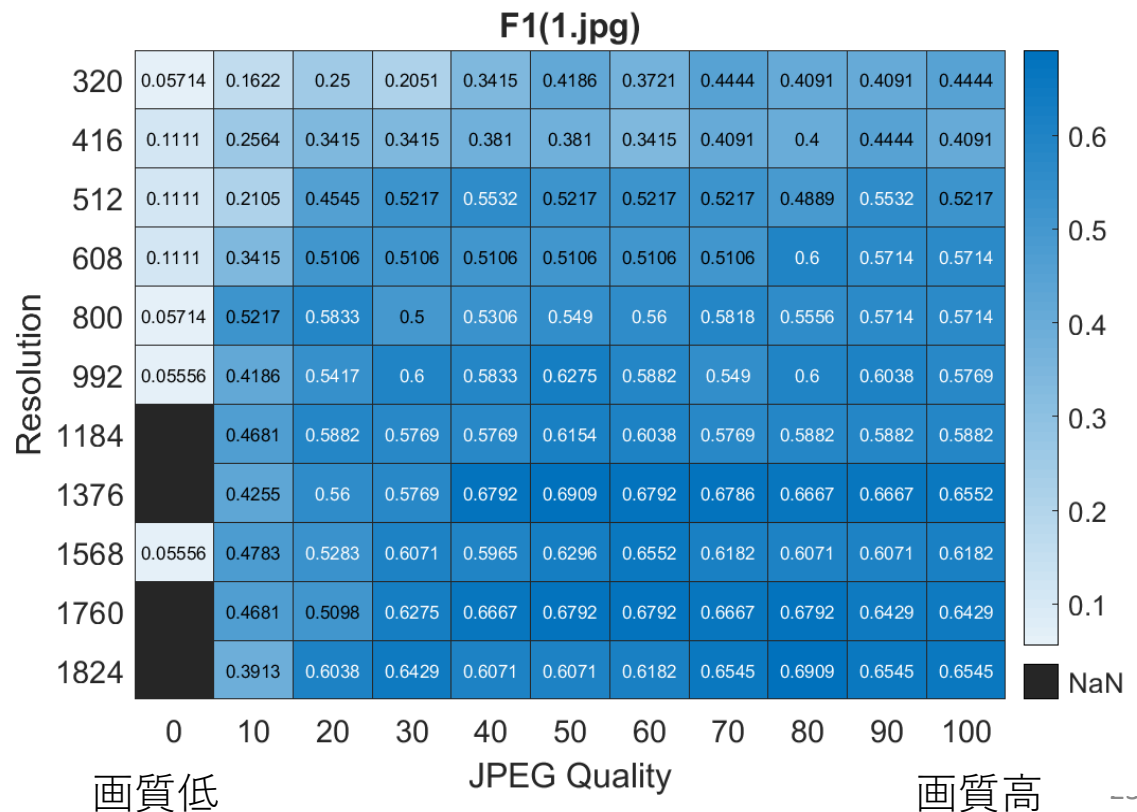
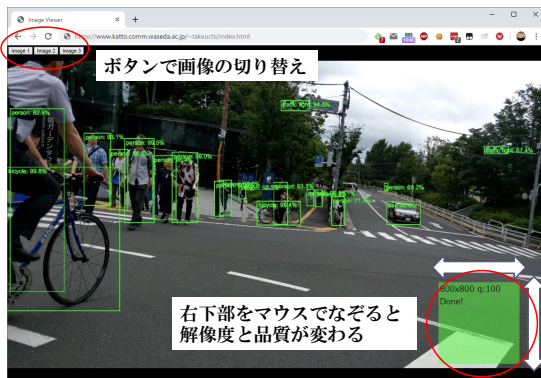
(3) ブラウザ表示

- Google Map 上のアノテーション表示



(4) 傾向分析

- 解像度、圧縮率、物体検出精度の関係



成果発表

1. “スマート自転車を活用した道路インフラ観測システム,” 信学総大, Mar.2019.
2. “道路インフラ維持のための電動自転車を活用したモバイルセンシングシステムの開発,” 信学技報, Sep.2019.
3. “モバイルエッジクラウド基盤のためのスマート自転車の研究開発,” 信学ソ大, Sep.2019.
4. “Road Infrastructure Monitoring System using E-Bikes and Its Extensions for Smart Community,” ACM SMAS 2019, Oct.2019.
5. “歩道の混雑度推定に向けた360度画像を利用した人物検出手法の性能評価,” 信学技報, Nov.2019.
6. “電動自転車に搭載した2DLiDARを活用した段差検知の精度評価,” 信学技報, Nov.2019.
7. “360度映像を利用した道路上の人物密度分布の評価,” PCSJ/IMPS 2019, Nov.2019.
8. “RGB-D カメラを用いた通路幅推定手法の精度評価,” 信学技報, Mar.2020.
9. “電動アシスト自転車に搭載した2DLiDARによる段差推定手法の検討,” 信学技報, Mar.2020.
10. “深層学習による道路損傷検出の精度改善手法の一提案,” 信学技報, Mar.2020.
11. “歩行者交通量推定に向けた歩行者流動の可視化,” 信学総大, Mar.2020.
12. “電動アシスト自転車に搭載した2DLiDARによる段差推定手法の検討,” 信学総大, Mar.2020.
13. “RGB-D カメラを用いた通路幅推定手法の精度評価,” 信学総大, Mar.2020.
14. “深層学習による道路損傷検出手法の一提案とその精度評価,” 信学総大, Mar.2020.
15. “Development and Evaluations of Visual IoT Services,” IEEE ICCCI 2020, June 2020.
16. “スマート自転車とオープンデータを活用した道路インフラ維持システム,” ADVNET 2020, Oct.2020.
17. “Curb Height Estimation using 2D LiDAR mounted on e-Bike,” IEEE GCCE 2020, Oct.2020.
18. “Deep Pedestrian Distance Estimation from Single-shot Image,” IEEE GCCE 2020, Oct.2020.
19. “Accuracy Evaluation of Corridor Width Estimation using RGB-D Camera,” IEEE GCCE 2020, Oct.2020.
20. “Road Crack Detection Using U-Net,” IEEE GCCE 2020, Oct.2020.
21. “深層学習を用いた単眼画像からの歩行者距離推定,” 信学技報, Nov.2020.

謝辞

- 本研究成果は情報通信研究機構「データ連携・利活用による地域課題解決のための実証型研究開発」の支援を受けている。