

# 列車前方画像を活用した 軌道部材状態評価システムの開発

軌道技術研究部 軌道管理研究室

副主任研究員 高原 恵男



# 本日の発表

1. 背景と目的
2. 軌道部材種別識別モデルの構築
3. キロ程推定精度の向上
4. 軌道部材状態評価システムの開発
5. まとめと今後の展望
6. 成果の活用

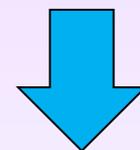
# 1. 背景と目的

## 背景1: 保線に関わる業務と現状

- ・保線技術者の**人材不足**
- ・軌道部材の敷設数は**膨大かつ多種**
- ・軌道部材検査の多くは**徒歩・目視**
- ・まくらぎ1本ごとの**台帳管理**
- ・**高額**な検査装置は導入が困難

## 背景2: 求められる技術開発

- ・**低コスト**かつ**簡易**な検査方法
- ・維持管理業務の**効率化**



画像処理技術の活用

検査支援システムの開発

現地での目視検査



デジタル技術の利用



画像を活用した検査の効率化・高度化



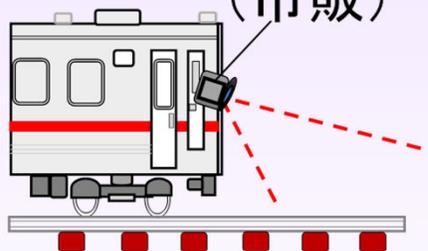
# 1. 背景と目的

## 木まくらぎ劣化度判定システムの概要

約30万枚の学習データを用いてディープラーニングを適用し判定モデル構築

列車前方撮影  
(現地)

4Kカメラ  
(市販)



システム処理 (事務所内)

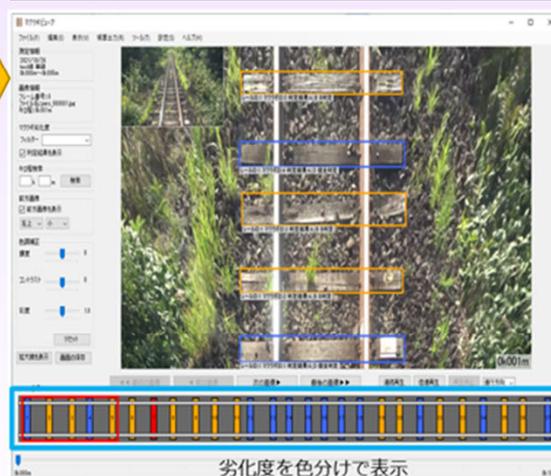
画像処理アルゴリズム

- ①俯瞰画像の生成
- ②列車の位置推定
- ③判定処理 (AIモデル)
- ④データ整理

台帳出力

No.	レール番号	キロ程	延長 (m)	まくらぎ番号					
				1	2	3	4	5	6
1	1	001m ~ 019m	18.3	D	D	C	B	B	C
2	2	019m ~ 043m	23.7	B	D	D	A2	D	D
3	3	043m ~ 066m	23.8	D	A2	D	A2	B	D
4	4	066m ~ 090m	24.0	C	B	D	D	B	D
5	5	090m ~ 115m	24.3	C	D	C	D	D	A2
6	6	115m ~ 139m	24.2	D	D	A2	A2	A2	D
7	7	139m ~ 163m	24.4	D	C	D	D	C	C

結果確認



<分類クラス>

	劣化度	判定標準
不良 ↑	A1	建築限界支障の恐れ
	A2	軌間保持機能低下
	B	まくらぎの機能低下
	C	軽微な損傷
	D	良好
良好 ↓	未判定	表面が覆われているもの
	PC	PCまくらぎ

劣化度 (5クラス) + 未判定  
+ PCまくらぎ = 7クラスを判定

# 1. 背景と目的

## <木まくらぎ劣化度判定システムの特徴>

- ◎ 木まくらぎの劣化度を**90%以上の精度**で判定可能
- ◎ 人の主観によらない判定により**検査品質の向上**が期待
- △ レール締結装置, 各種PCまくらぎ等の軌道部材種別は識別不可
- △ キロ程(各軌道部材の位置情報)の推定精度に課題あり

## <本研究の目的>

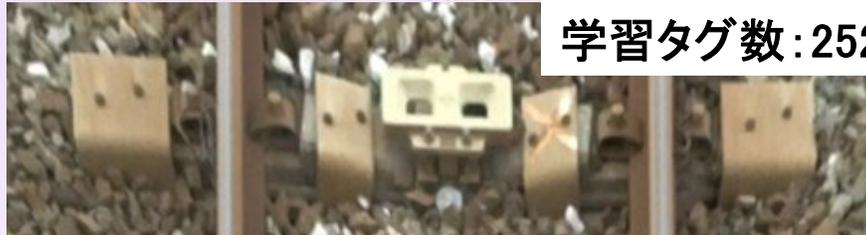
- ✓ まくらぎ種別・レール締結装置の種別を推定するAIモデルの構築
- ✓ キロ程推定精度の向上
- ✓ 各種AIモデルを統合した軌道部材状態評価システムの開発

## 2. 軌道部材識別モデルの構築

### まくらぎ (3クラス)

〈PCケーブル防護用まくらぎ〉

学習タグ数: 252



〈TPCまくらぎ〉 学習タグ数: 6,551



〈分岐器用まくらぎ〉 学習タグ数: 1,839



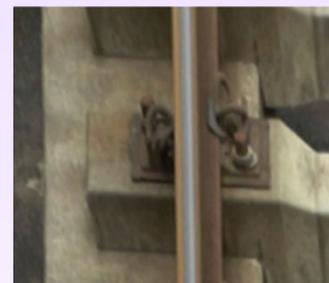
### レール締結装置 (2クラス)

【線ばね式締結装置】 学習タグ数: 40,537

〈PC用〉



〈直結軌道用〉



〈継目用〉



【板ばね式締結装置】 学習タグ数: 21,733

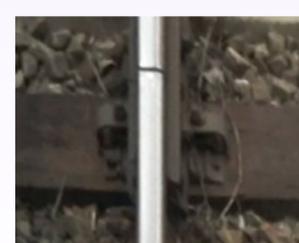
〈直結軌道用〉



〈PC用〉



〈継目用〉



〈木まくらぎ用〉



5種類の軌道部材種別を判別可能な学習モデルを構築

## 2-1. 軌道部材識別モデルの精度評価

	PC防護	TPC	分岐器	線ばね式	板ばね式
敷設数	6	293	83	981	748
未検知数	0	3	14	19	14
誤検知数	0	3	5	14	5
検知率[%]	100	99.0	83.1	98.1	98.1
正解率[%]	100	99.0	92.8	98.5	99.3
未検知率[%]	0.0	1.0	16.9	1.9	1.9
誤検知率[%]	0.0	1.0	7.2	1.5	0.7

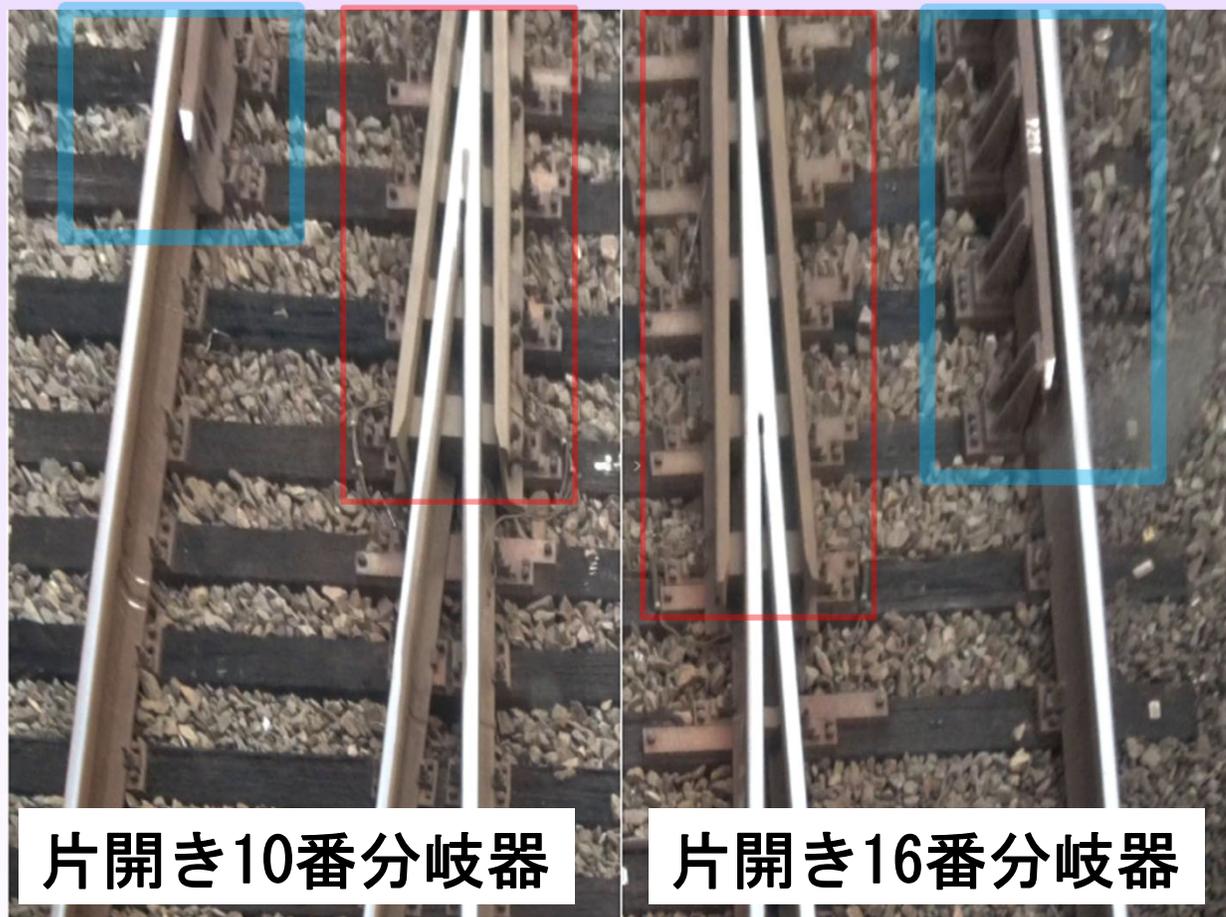
### 【検知率】

分岐器以外は98%以上、分岐器は83%  
⇒分岐器用まくらぎの検知率が他と比較して低い

### 【正解率】

いずれの軌道部材種別でも90%以上  
⇒構築した識別モデルは、高い精度で軌道部材種別の識別が可能

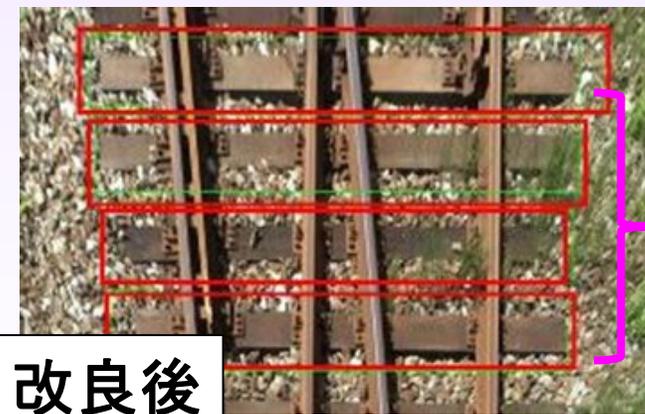
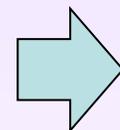
## 2-2. 軌道部材識別モデルの改良(分岐器用まくらぎ)



未検知はクッシング部で多く発生

⇒分岐器の番数・種別により分岐器部材の形状が異なることが影響

分岐器の番数・種別に応じた画像データを追加学習(約16,000タグ)



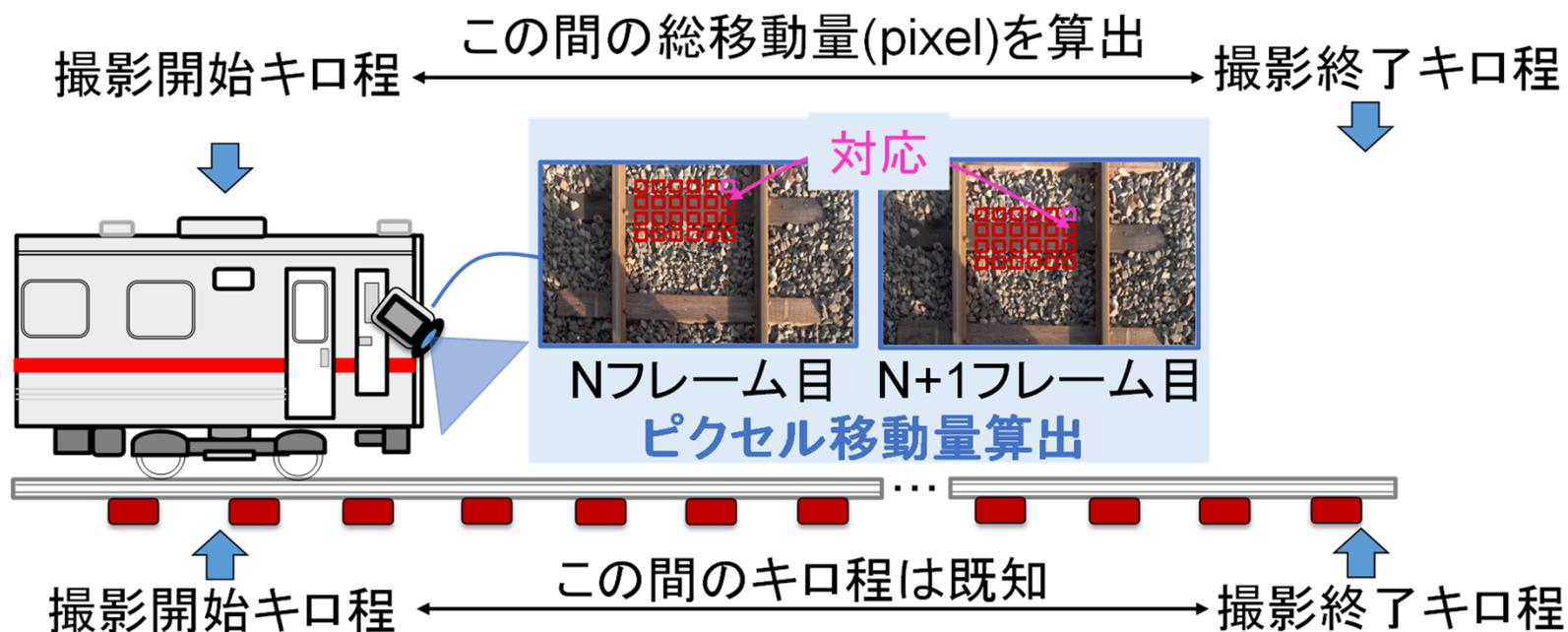
検知精度(検知率)

85% ⇒ 99% へ向上

### 3. キロ程推定精度の向上

#### オプティカルフローによるキロ程推定(先行研究)

- ✓ 撮影画像のみで軌道部材検知箇所的位置情報(キロ程)を把握

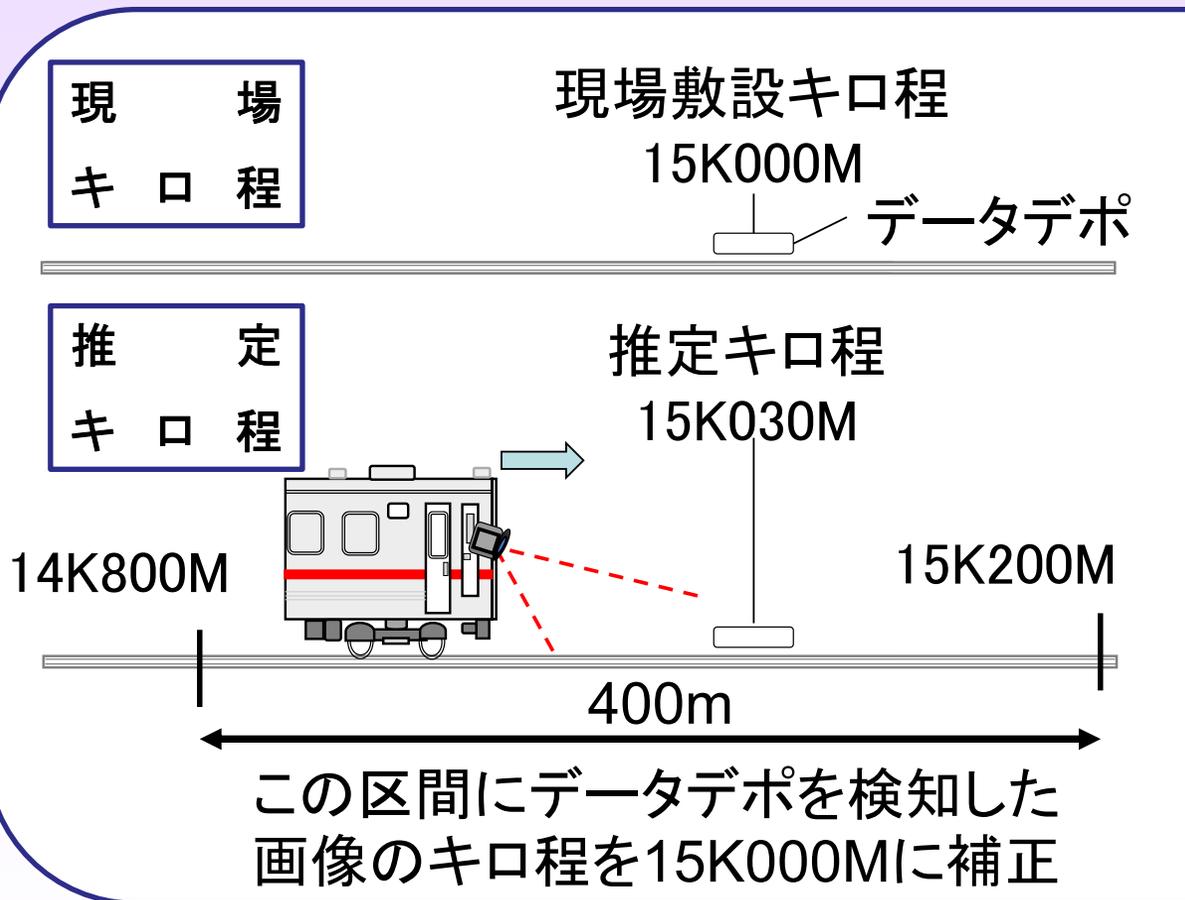


$$1\text{pixelの距離} = \frac{\text{駅間のキロ程}}{\text{駅間の総移動量(pixel)}}$$

(課題)トンネル内や踏切等画像の変化が把握しにくい箇所は推定誤差が大きい

### 3. キロ程推定精度の向上

#### データデポ検知によるキロ程補正



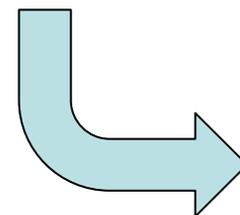
#### 【データベース】

データデポ設置 キロ程
15K000M
15K500M
⋮

#### 【データデポ検知】



+



キロ程の推定誤差が大幅に改善(7.7km区間で最大誤差60m→5m)

### 3. キロ程推定精度の向上

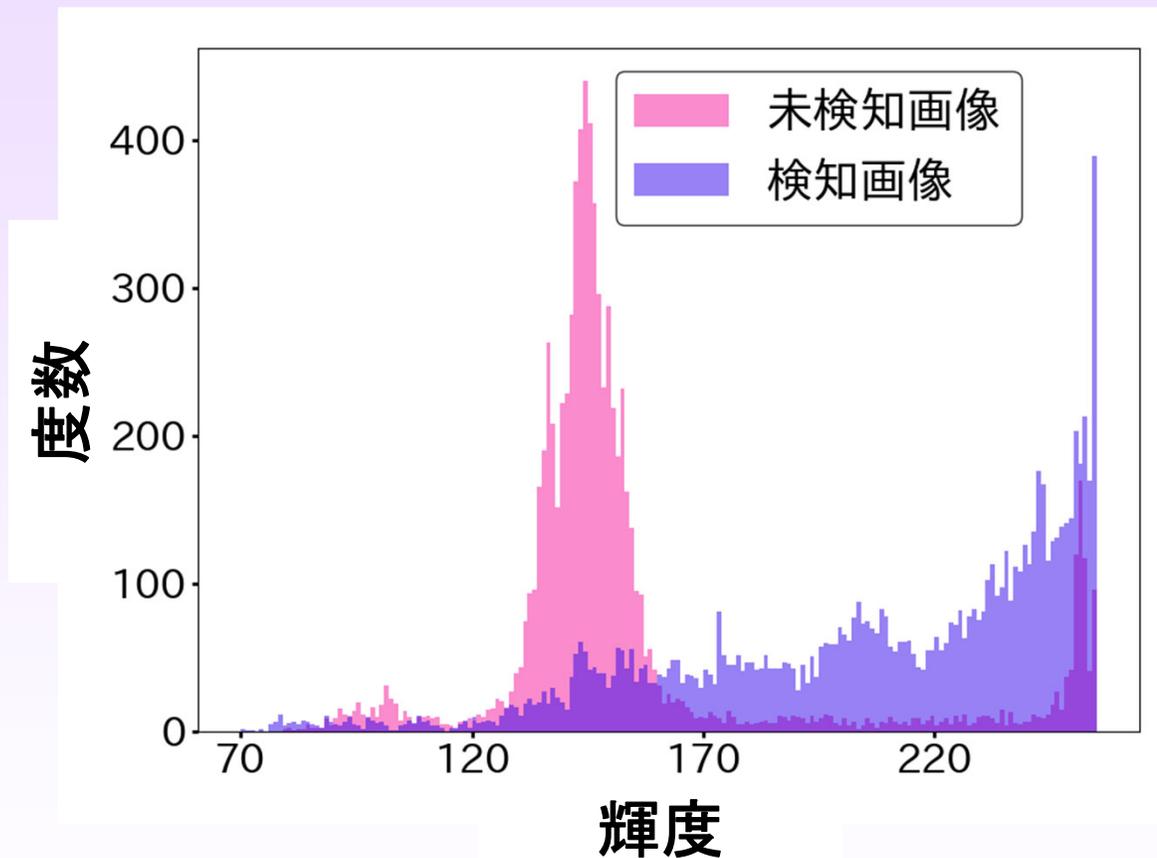
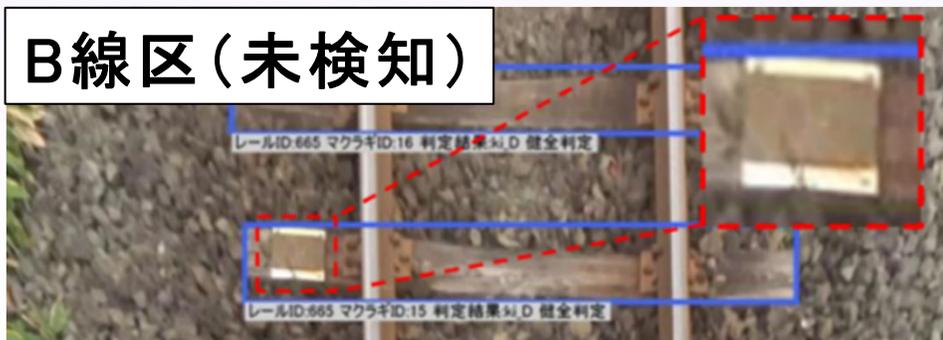
✓ 線区によってデータデポの検知精度にばらつき

	延長	敷設数	検知数	検知率
A線区	44km	42	41	98%
B線区	54km	53	28	56%

A線区(検知)

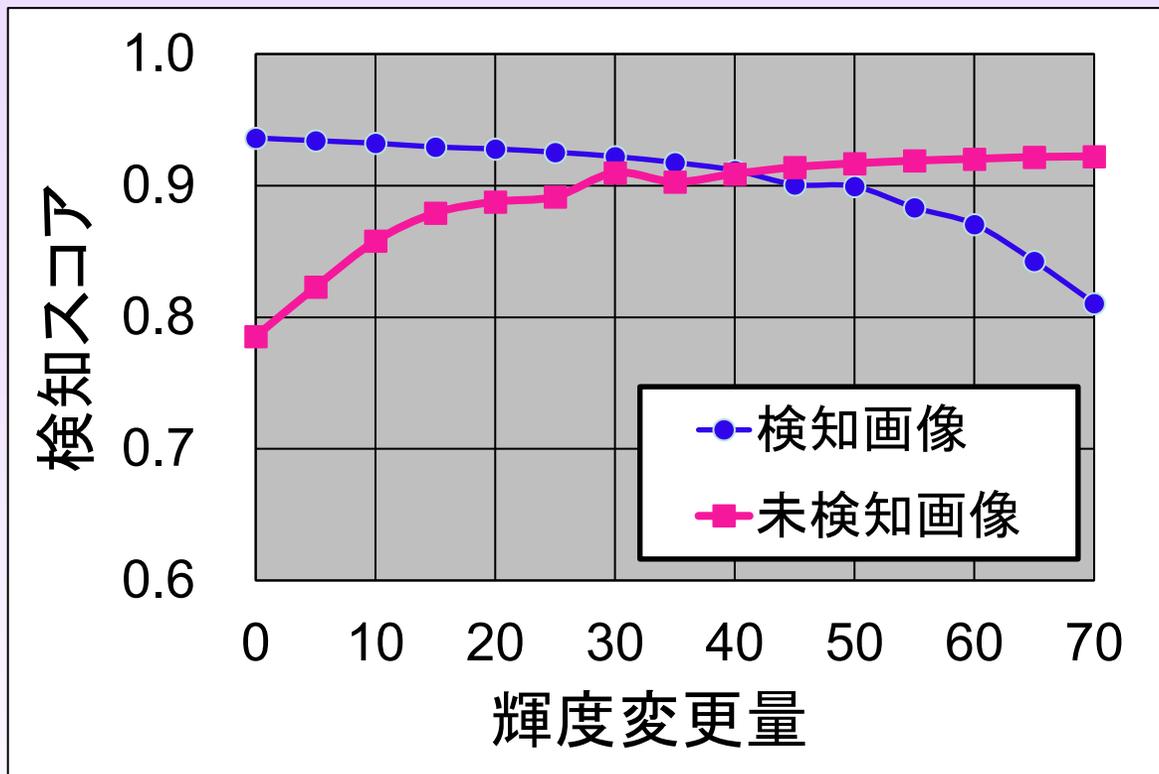


B線区(未検知)



⇒ データデポ部の輝度情報が検知精度に影響を与える可能性

### 3. キロ程推定精度の向上

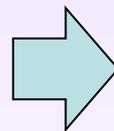


✓ 検知画像で輝度を減少 → スコア値が**低下**

✓ 未検知画像で輝度を増加 → スコア値が**上昇**

⇒ データデポ領域の輝度が小さい画像を学習させることで精度向上が可能

- ✓ データデポ画像を追加学習 (約8,000枚)
- ✓ データデポ領域の輝度を機械的に減じた疑似未検知画像を追加学習 (約2000枚)



	延長	敷設数	検知数	検知率
拡張前	20km	18	13	72%
拡張後	20km	18	16	89%

検知精度 (検知率) **17%向上**

# 4. 軌道部材状態評価システムの開発

【各モデル・手法をシステム化】

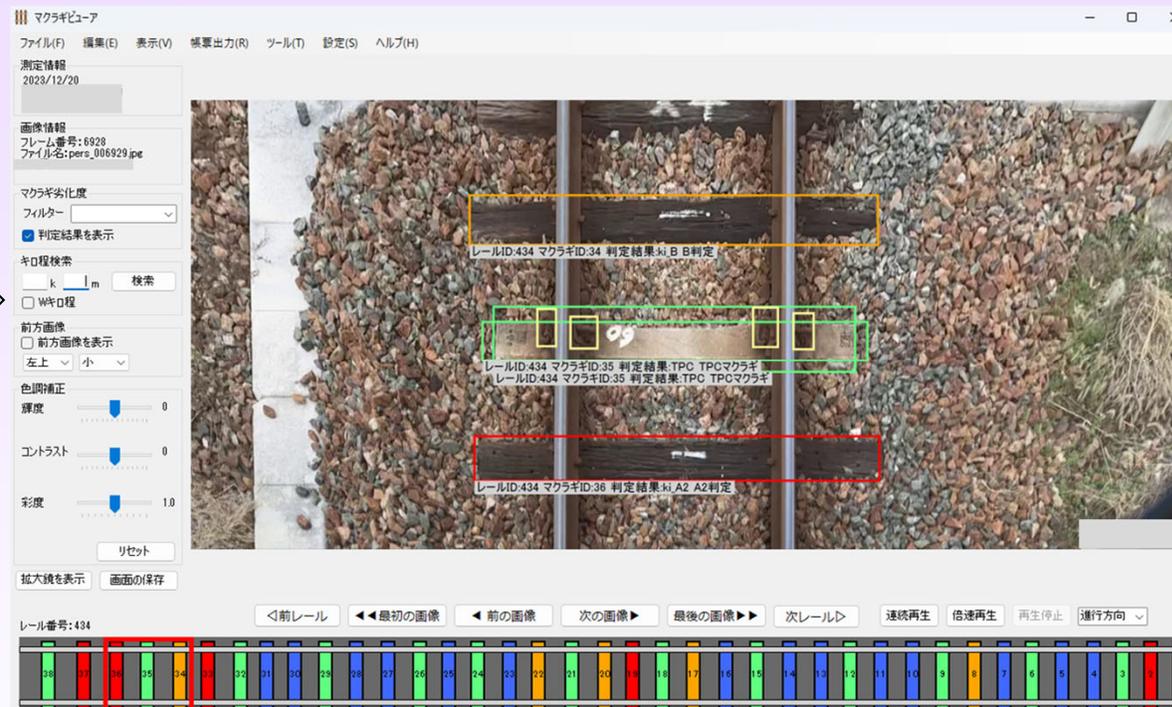
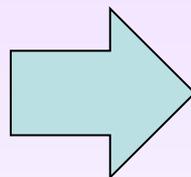
【軌道部材状態評価システム】

木まくらぎ劣化度  
判定モデル

軌道部材種別  
識別モデル

+

キロ程推定手法



専用GUI上で解析から結果出力まで実行可能

まくらぎ・レール締結装置の軌道部材を一元的に管理可能



## 5. まとめと今後の展望

### ○まとめ

#### ✓ 軌道部材種別識別(木まくらぎ以外)モデルの構築

- PCケーブル防護用まくらぎ: **100%**, TPCまくらぎ: **99.7%**, 分岐器用まくらぎ: **93.3%**, 線ばね式締結装置: **99.4%**, 板ばね式締結装置: **99.9%**の精度で識別可能な識別モデルを構築
- 学習データの追加を行い, **分岐器用まくらぎの検知率を14%(85%→99%)向上**

#### ✓ キロ程推定精度の向上

- **データデポによるキロ程補正手法を開発**し, キロ程の推定誤差を大幅に改善

#### ✓ 各種学習モデルを統合した軌道部材状態評価システムの開発

### ○今後の展望

- 検証延長の拡大や他線区でのさらなる精度検証
- PCまくらぎの劣化度判定手法の検討

# 6. 成果の活用

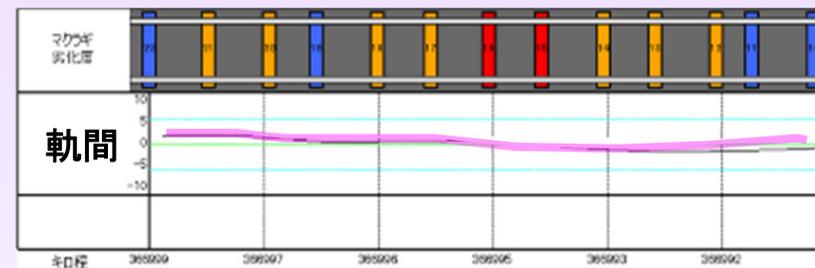
## まくらぎ管理台帳

まくらぎ管理台帳				判定ランク分類						
撮影情報										
撮影日: 2023/12/20				A1: 建築限界を支障する恐れがある状態						
線名: test				A2: マクラギの機能(特に軌間を保持する機能)が失われている状態						
線別: test				B: マクラギの機能が低下傾向にある状態						
区間: test				C: マクラギの機能を有しているが、若干の損傷等が認められる状態						
No.	レール番号	キロ程		延長(m)	マクラギ番号					
					1	2	3	4	5	6
1	1	8K779M	~ 8K758M	21.3	D	TPC	D	PC_b	TPC	D
2	2	8K802M	~ 8K779M	23.0	D	D	PC	D	PC_b	D
3	3	8K825M	~ 8K802M	23.1	D	D	PC	A2	D	PC
4	4	8K848M	~ 8K825M	22.9	D	TPC	D	A2	TPC	D
5	5	8K871M	~ 8K848M	23.0	D	PC	D	TPC	D	D
6	6	8K894M	~ 8K871M	22.8	D	D	TPC	TPC	D	TPC
7	7	8K917M	~ 8K894M	23.2	D	TPC	TPC	D	TPC	D

## 連続不良箇所抽出

	A	B	C	D	E
1	連続不良マクラギ(A2)帳票				
2	撮影情報				
3	撮影日: 2021/10/26				
4	線名: test線				
5	線別: 単線				
6	区間:				
7					
8	キロ程	連続数			
9	366k903m	2			
10	366k940m	3			
11	366k962m	2			

## 軌道変位データとの連携



軌道変位要注意箇所帳票			
撮影情報			
撮影日: 2023/2/25			
線名: テスト線			
線別: 下り			
区間: test1駅~test2駅			
キロ程	軌道変位項目	軌道変位量[mm]	マクラギ劣化度
0k010m	軌間	-10	A2BCCD
1k047m	軌間	32	BBA2CD
6k302m	軌間	35	DA2A2ACB
10k211m	軌間	-11	CCBA2BD

- ✓ まくらぎ台帳の自動作成 ⇒ 軌道部材の効率的な管理
- ✓ 不良箇所の効率的な把握 ⇒ 交換計画の作成支援

# 参考文献

- 加藤爽, 坪川洋友, 長峯望, 合田航, 前田梨帆, 糸井謙介: 列車前方画像を用いた木まくり劣化度判定システム, 鉄道総研報告, Vol.37, No.4, pp.33-38, 2023.
- 高原恵男, 加藤爽, 坪川洋友, 長峯望, 合田航, 前田梨帆: 列車前方画像を活用した軌道部材状態評価システムの構築, AI・データサイエンス論文集, Vol.5, No.3, pp.769-777, 2024.
- 合田航, 長峯望, 向島宏記, 糸井謙介, 坪川洋友: 列車前方画像を用いたオプティカルフローによるキロ程推定, 電気学会研究会資料, TER-21-059, pp. 17-22, 2021.
- 加藤爽, 坪川洋友, 長峯望, 合田航, 高橋宏侑: 列車前方画像を用いた軌道部材評価手法のキロ程補正方法の開発, 第30回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL2023), S2-7-4, 2023.
- Zheng, G., Liu, S., Wang, F., Li, Z., and Sun, J.: YOLOX: Exceeding YOLO Series in 2021, arXiv preprint arXiv:2107.08430, 2021.