

現地観測に基づく歩行者，自転車，自動車の 交錯状況の解明に関する技術開発

広島大学大学院先進理工系科学研究科	塚井誠人
名古屋鉄道株式会社	松下貴哉
広島大学大学院先進理工系科学研究科	大村駿斗

はじめに

車道と歩道は明確に分離されているものの、横断歩道上では歩行者、自転車、自動車など挙動の異なる交通主体の交錯が起こる

黄現示では、「歩行者は、道路の横断を始めてはならず、・・・」

交錯の関心が高いが、横断者が法令をやや逸脱する挙動も見られる
この挙動を見落としたドライバーによって
自動車の急停止による交通流率の低下が引き起こす左折阻害も問題

錯綜の削減を通じて交差点の安全性を高め、交通流率を増加させるためには、実際に渋滞が頻発する交差点の実態の把握が必要

研究の目的

広大前交番交差点の南側の横断歩道を通過する歩行者、自転車と西条駅方面からの左折車線の自動車の錯綜実態とそれに伴う交差点渋滞の要因を分析

▶ 交差点の安全性を高める施策. たとえば、交通実態に適した信号制御方式の導入効果を定量的に検証できる

研究フロー

本研究の内容

交錯状況と渋滞の要因を解明する

①現地観測による位置別時刻別データの取得

②断面交通量カウント

③左折阻害の実態を把握

実態把握&信号現示変更
の場合の効果試算

④危険度評価指標の算出

2手法で**Time to Collision**
(衝突余裕時間)を算出

⑤(自己駆動粒子モデルによるシミュレータの開発)

本研究の展望

交差点付近の錯綜分析ツールの開発

実験概要

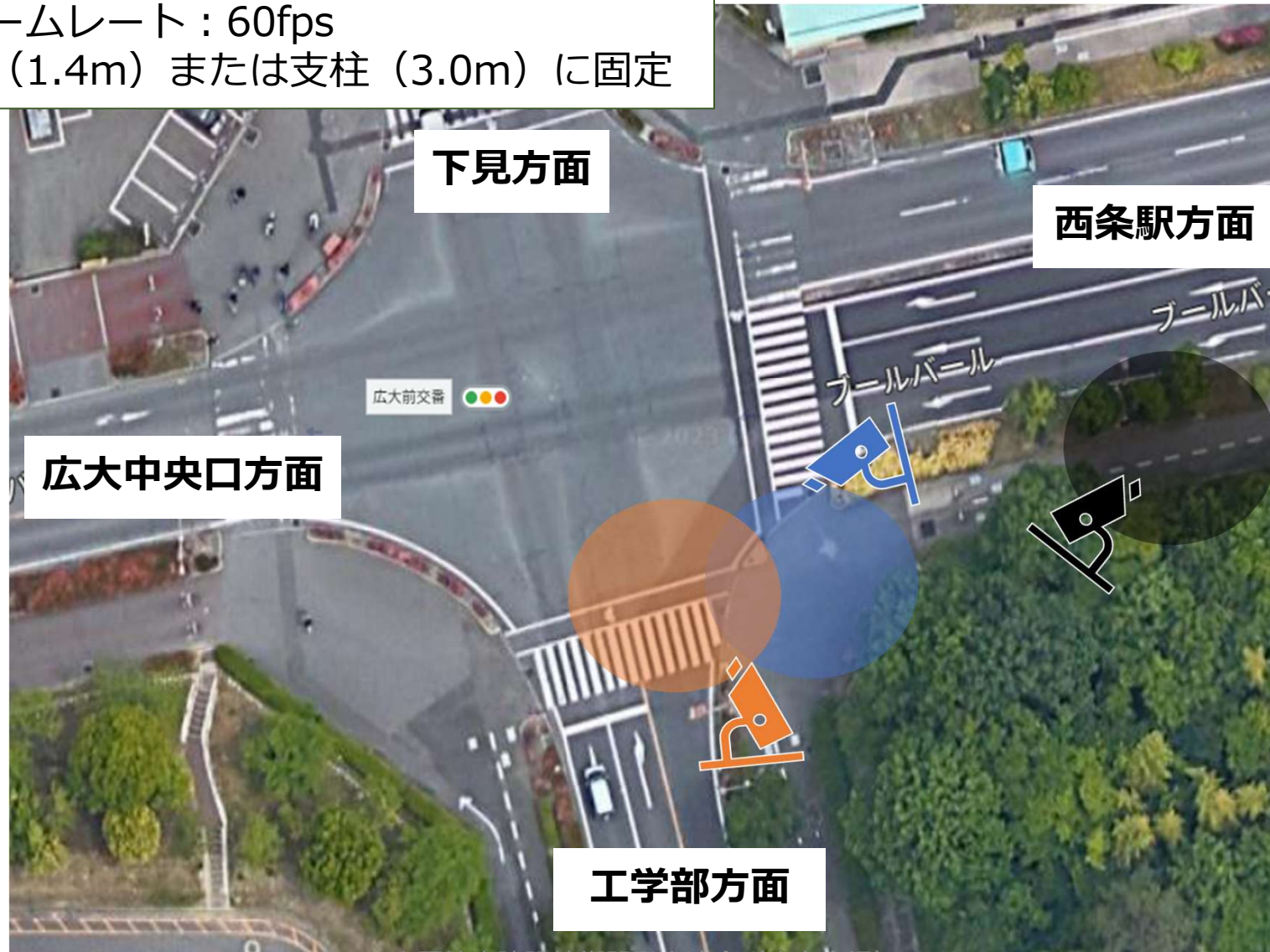
場所：

広島県東広島市のJR西条駅と広島大学を結ぶ広島県道195号西条停車場線（ブルーボール線）の広大交番前交差点の南側の横断歩道

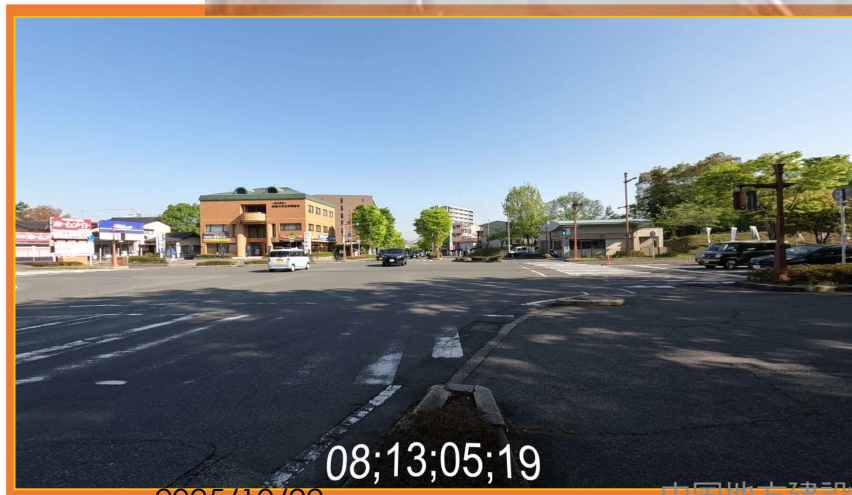
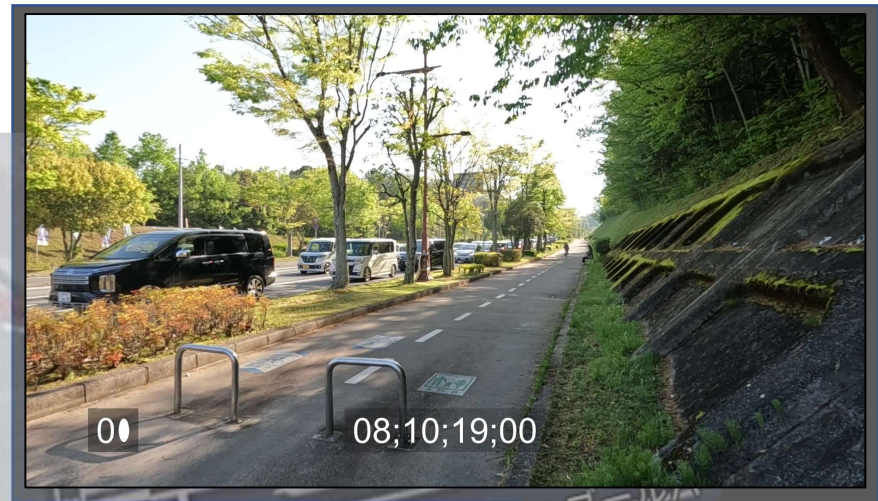
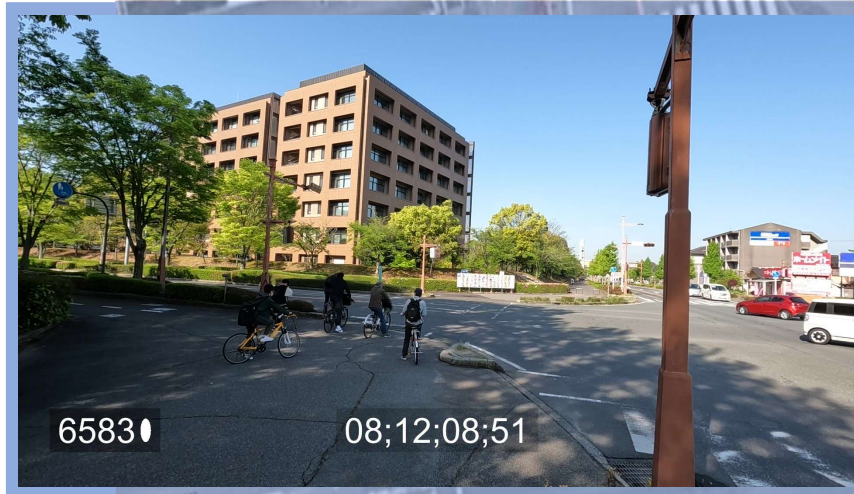


使用データのカメラ設置位置

4/27, 28日 8時10分～9時00分
フレームレート：60fps
三脚（1.4m）または支柱（3.0m）に固定



カメラ設置位置



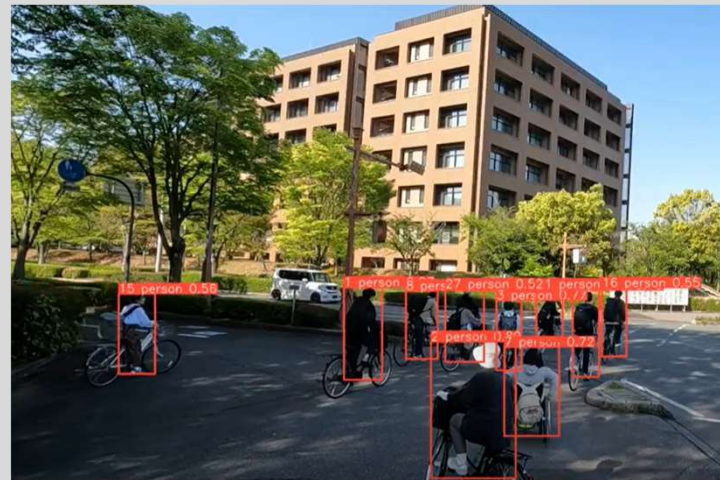
2025/10/22

中国地方建設技術開発交流会（広島会場）

一次データ取得



元動画



物体検知(Yolov5)

物体をbounding box(以下bbox)で囲む

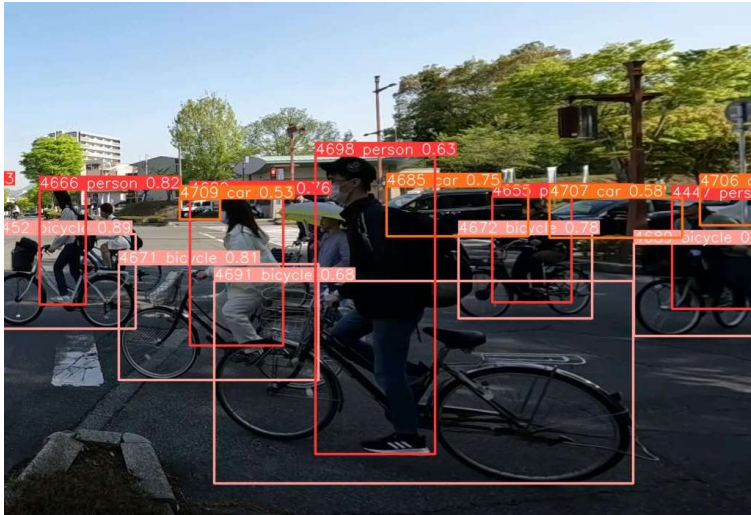
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	frame	class	ID	bbox_x	bbox_y	bbox_width	bbox_hight	point_x	ponit_y
2	6	0	4	807	624	61	168	837.5	792
3	6	0	8	658	593	50	108	683	701
4	6	0	9	782	620	47	77	805.5	697
5	6	0	11	919	620	67	224	952.5	844
6	6	0	15	540	600	60	112	570	712
7	7	0	1	376	619	92	210	422	829
8	7	0	4	807	624	61	168	837.5	792
9	7	0	8	658	593	50	108	683	701

フレーム 物体識別 固有ID

bbox座標

一次データ(StrongSORT)

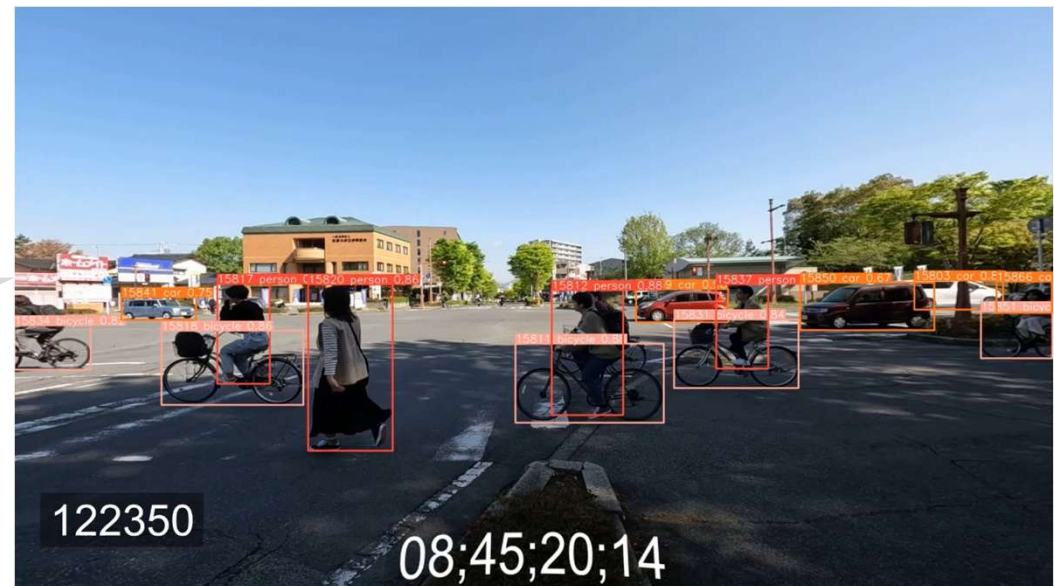
オクルージョンとダブルカウントの発生



手前の自転車で隠れる

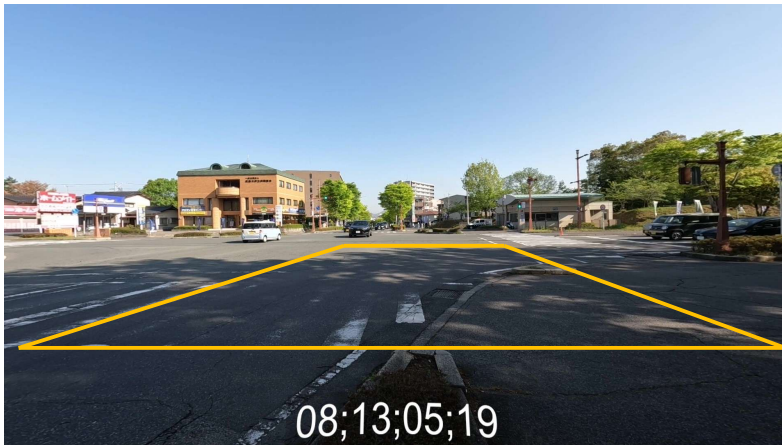
自転車本体と搭乗者の ダブルカウント

代表点の振動

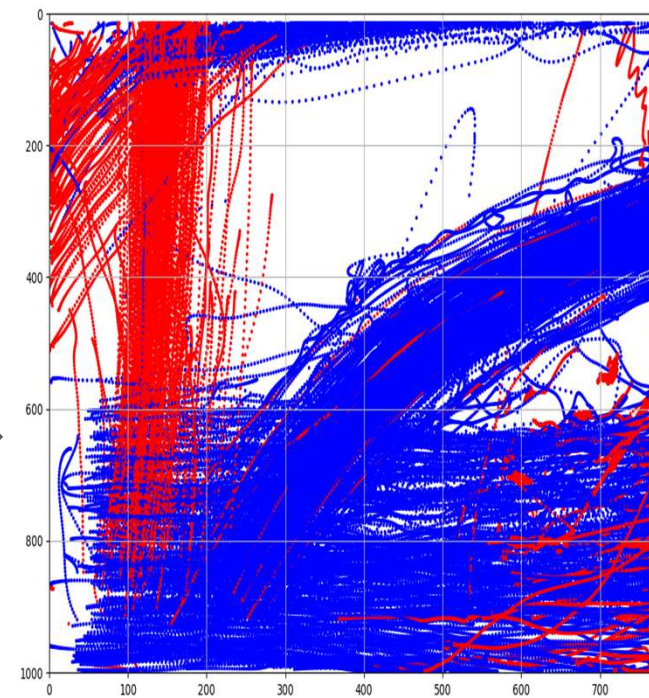


地面との接地点を代表点
振動が画角前後の速度に影響

画像の歪み補正と軌跡



対象横断歩道が青現示か赤現示



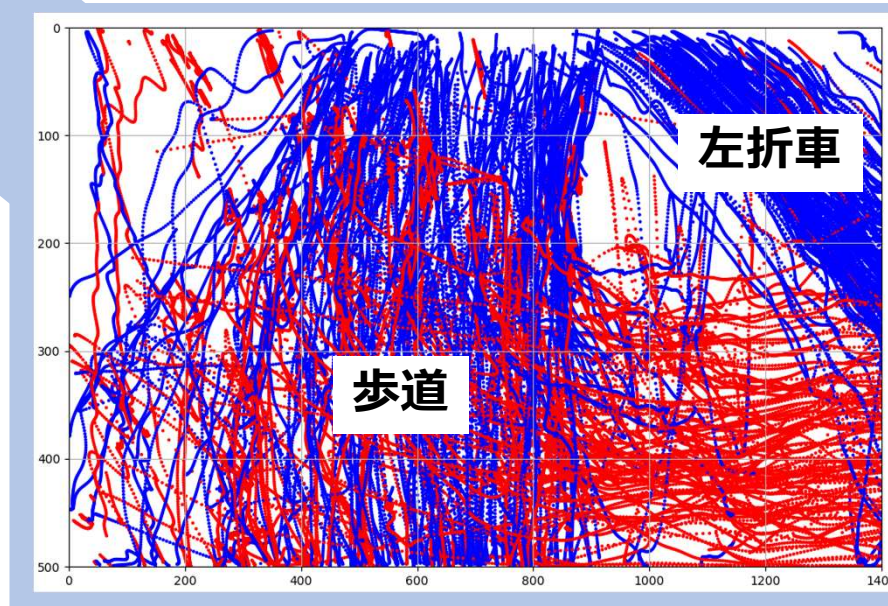
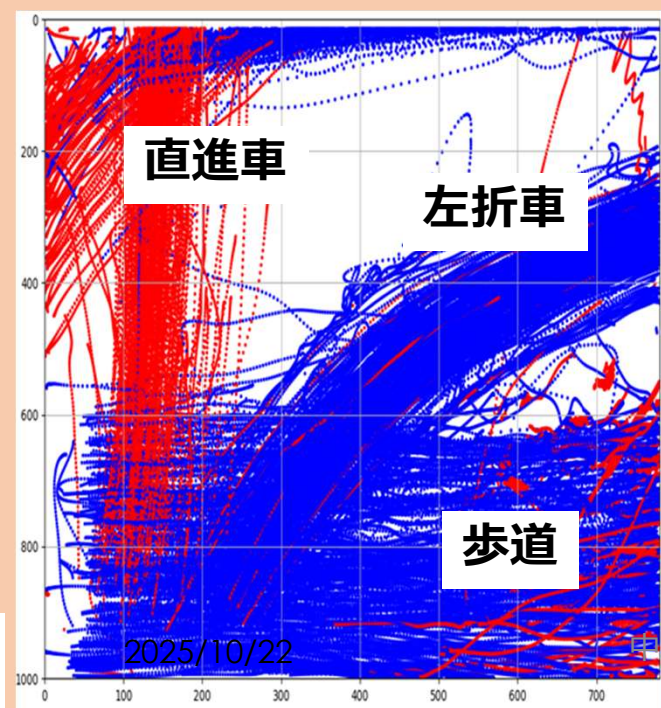
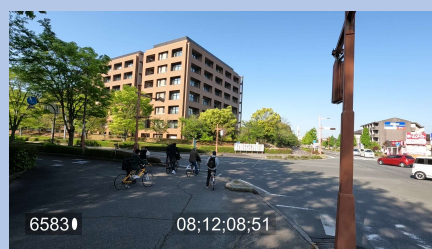
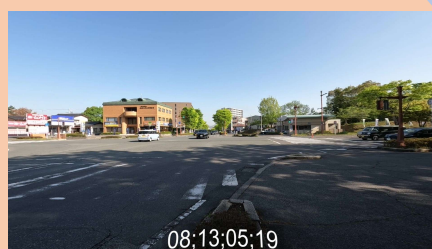
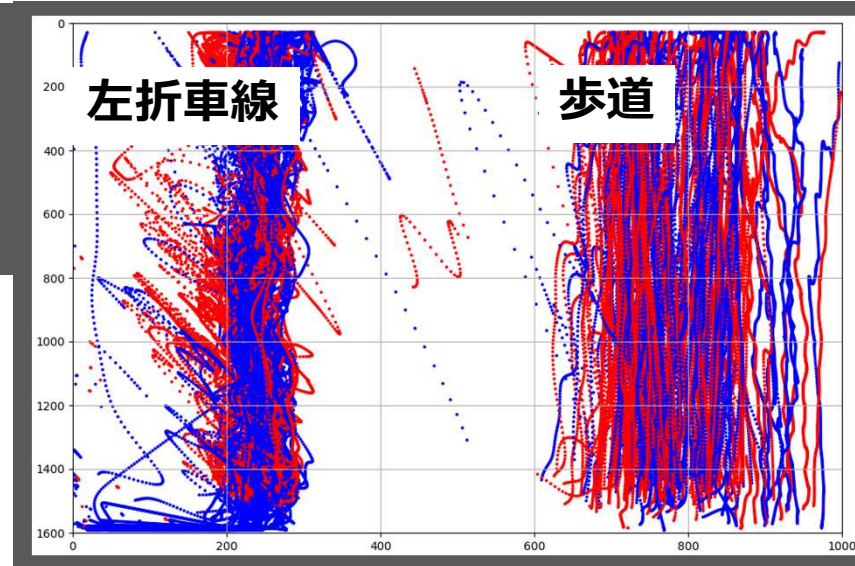
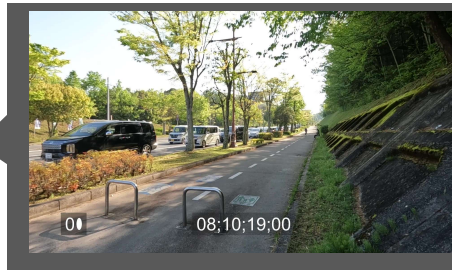
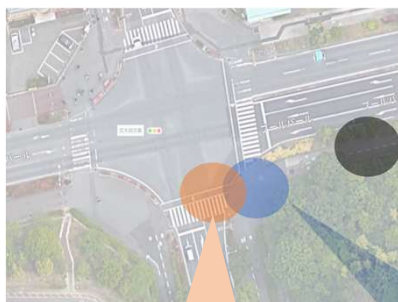
赤現示以降の左折も確認

2025/10/22 中国地方建設技術開発交流会（広島会場）
矢頭方向からみた二次元平面への射影変換

位置別時刻別データ整形の課題

画像処理技術の課題		処理方法
①オクルージョン	前後で対象が隠れることで欠損	移動方向が制限されているため 線形補完
②ダブルカウント	自転車と搭乗者をそれぞれ検知	同一フレーム内の 最近隣ペア で統合
③代表点の振動	bboxの形状が歩幅や自転車を漕ぐ足に合わせて変形	移動平均 による振動の低減
④画像の歪み	1ピクセルのもつ実際の距離が不均一	動画編集と 射影変換 による補正

撮影場所別の指定領域の軌跡



分析方法：危険度評価指標

衝突余裕時間(Time-To-Collision:TTC)

現在の速度が維持されたときにあと何秒で衝突するかを表す指標

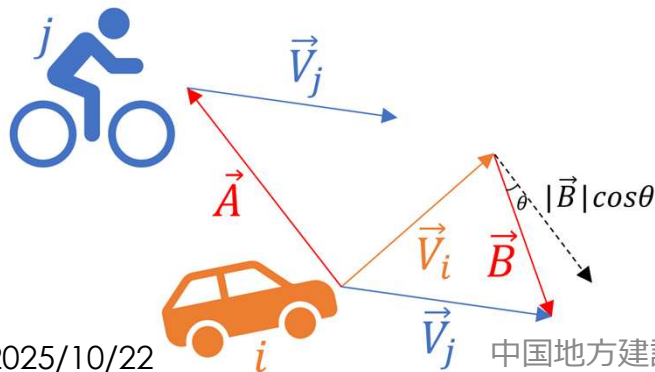
▶ 追従関係にある自動車同士の場合**3秒以下**を危険な錯綜とする基準

二次元に応用

相対距離型の TTC_R

相対位置ベクトル A_{ij} と相対速度 B_{ij} を用いる

$$TTC_R = \frac{|A_{ij}|}{|B_{ij}| \times \cos\theta_{ij}}$$



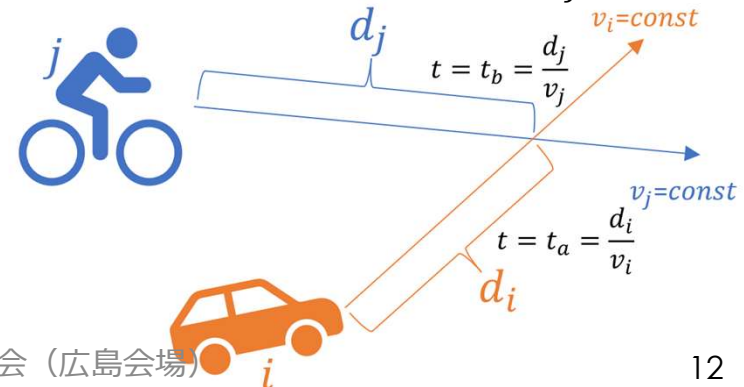
ベクトル型の TTC_V

衝突予測地点までの到達時間

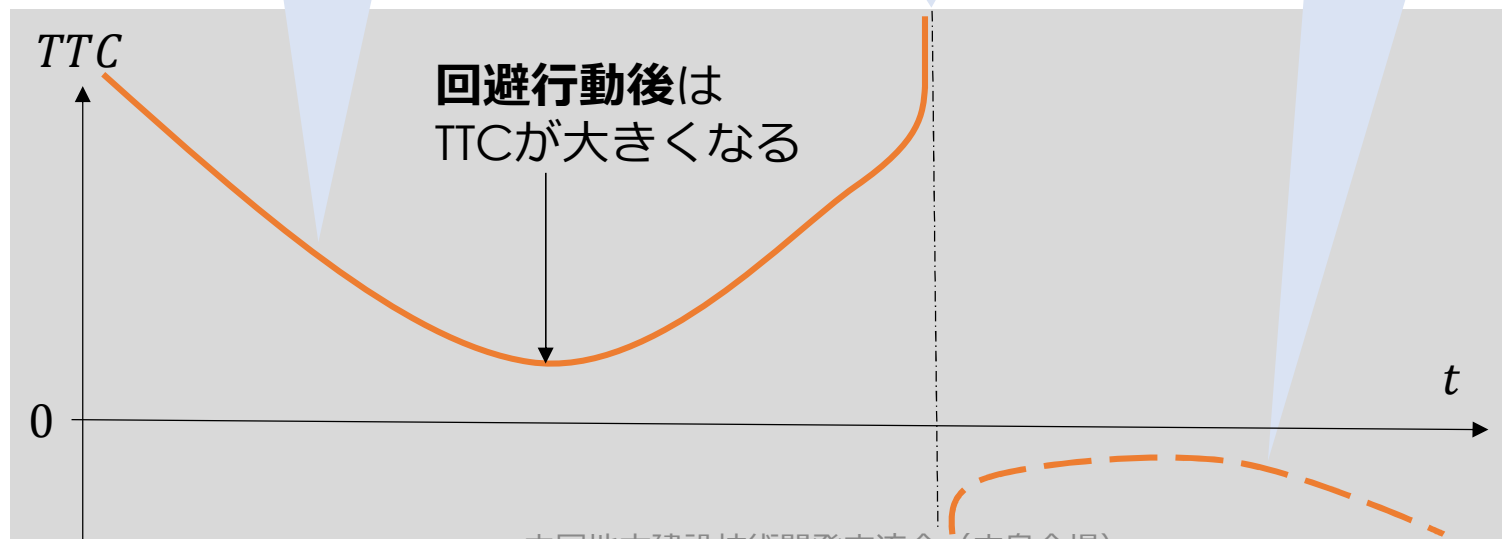
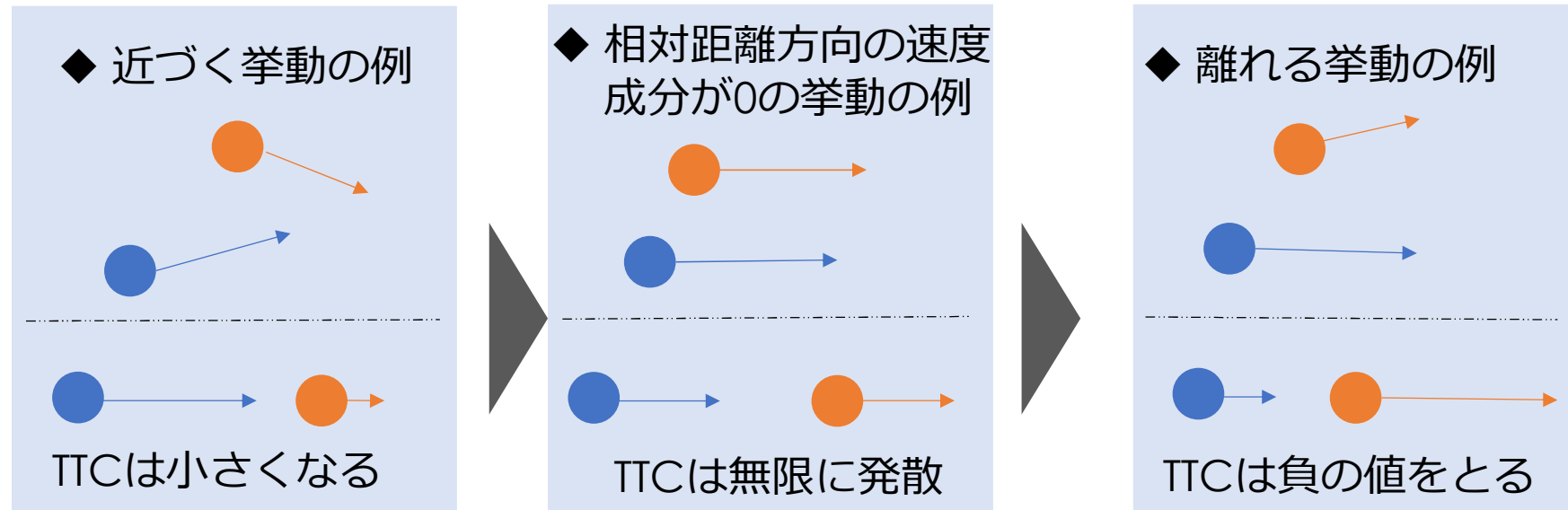
本研究では**4秒後**の推定位置までの移動ベクトルから算出

交通主体ごとに算出される

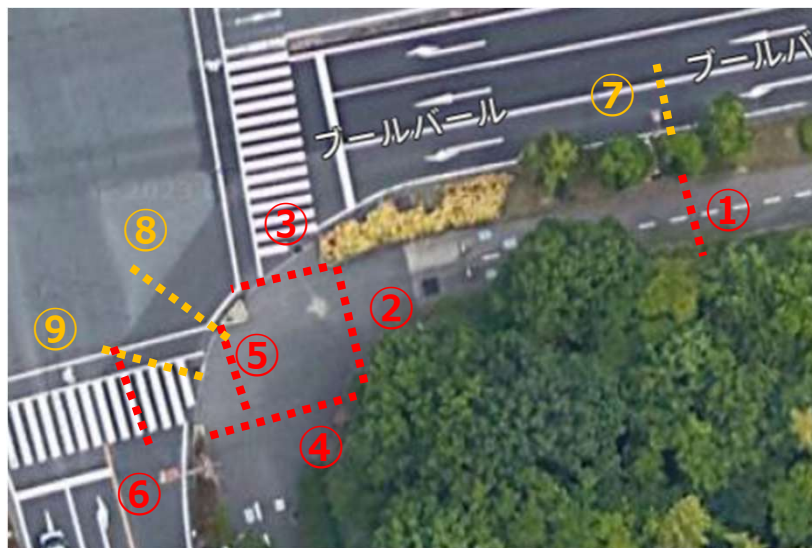
$$TTC_{Vi} = \frac{d_i}{v_i} \quad TTC_{Vj} = \frac{d_j}{v_j}$$



Time to Collisionの特性



断面交通量カウントと検知精度

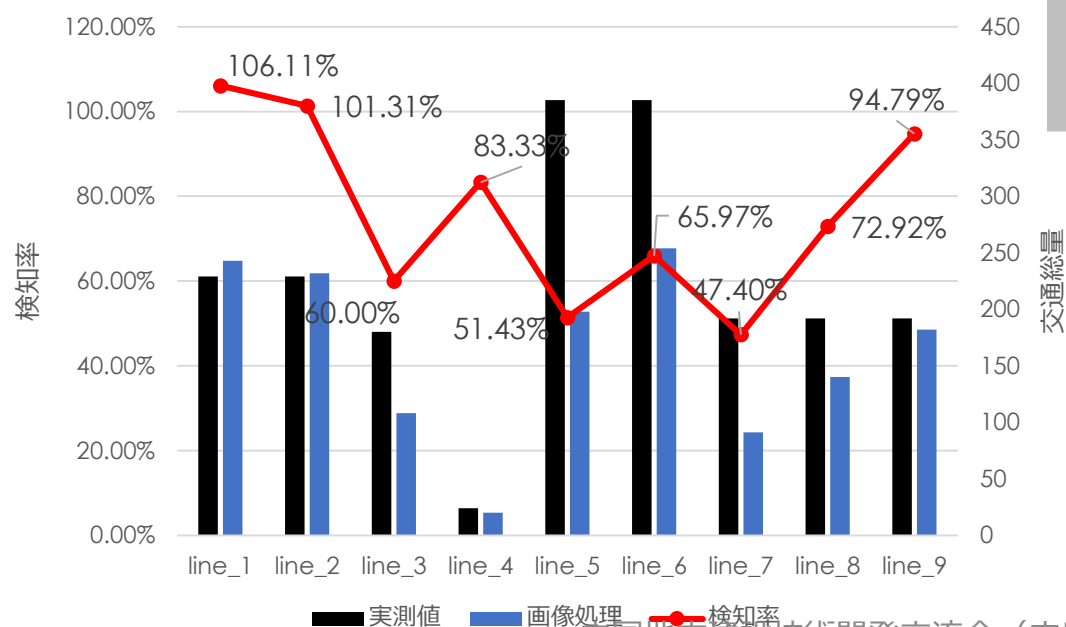


歩道と車道に計9つの計測線を設定

軌跡と計測線が交わり、
かつ新規のIDのときにカウントした

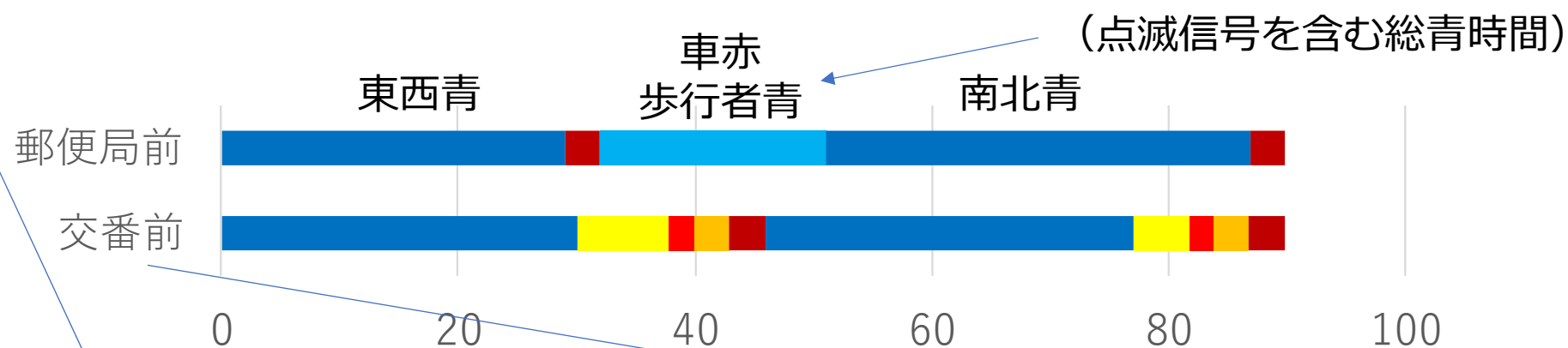
交通量の真値は、目視で観測した

$$\text{検知率} = \frac{\text{画像処理カウント}}{\text{実測値カウント}}$$



オクルージョンが頻発する画角
で精度が低くなりやすい

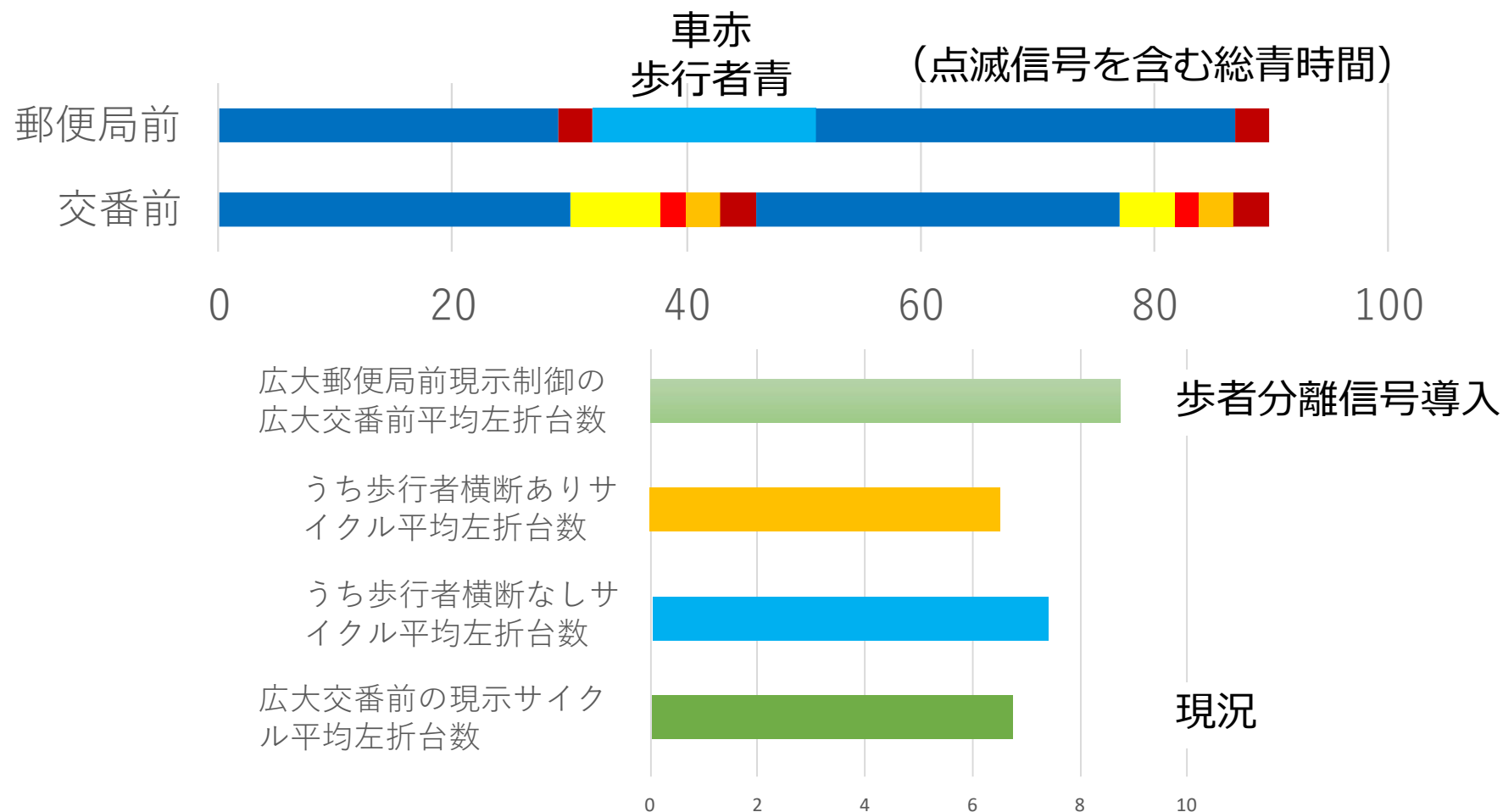
広大前交番交差点と広大郵便局前交差点の現示パターン



郵便局前は車赤 & 歩行者青の5現示,
交番前は東西4南北4の8現示

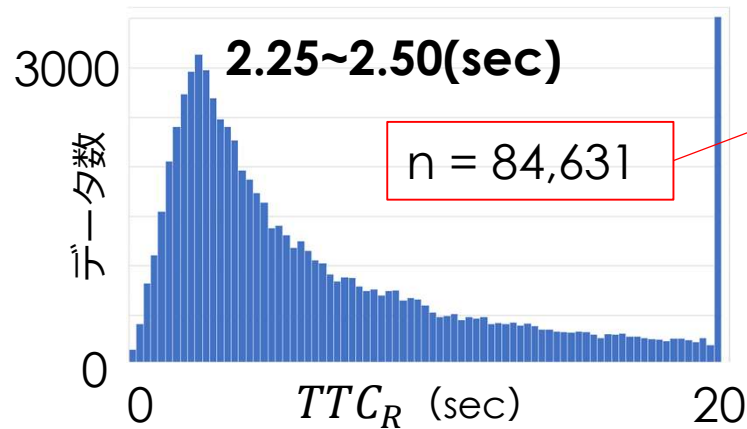


断面交通量と左折阻害の影響分析



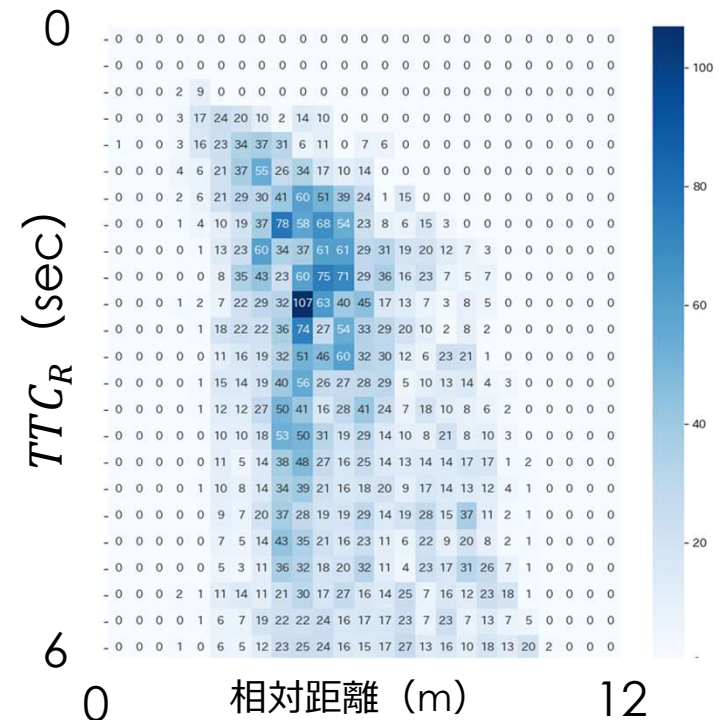
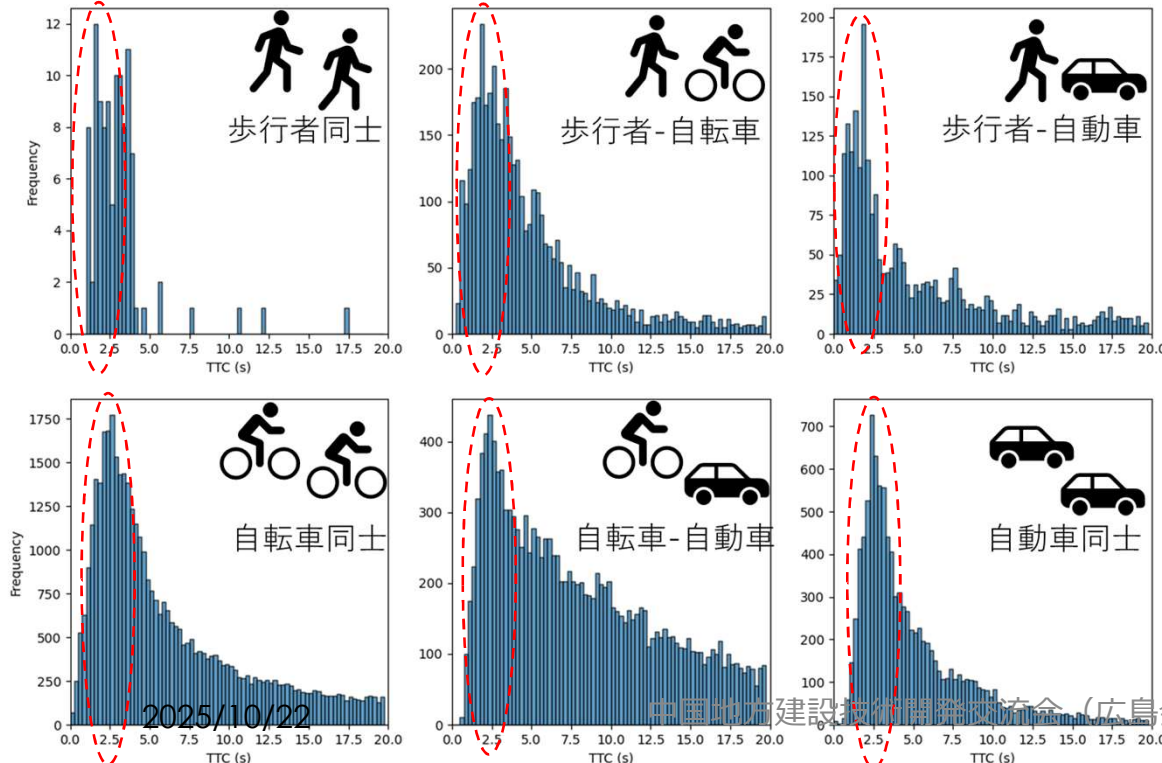
- ✓ 歩行者による左折阻害の影響がある
- ✓ 信号サイクルを歩者分離信号（東西→全赤→車赤歩行者青→南北→全赤）にすると、サイクル当たりの左折台数が増える
= 歩行者信号がらみの全赤や点滅信号がなくなるため

相対距離型 TTC_R の分布および交通主体別ペアの分布



錯綜ペアが3秒写ると180サンプル、
交通総量も300人（／台）

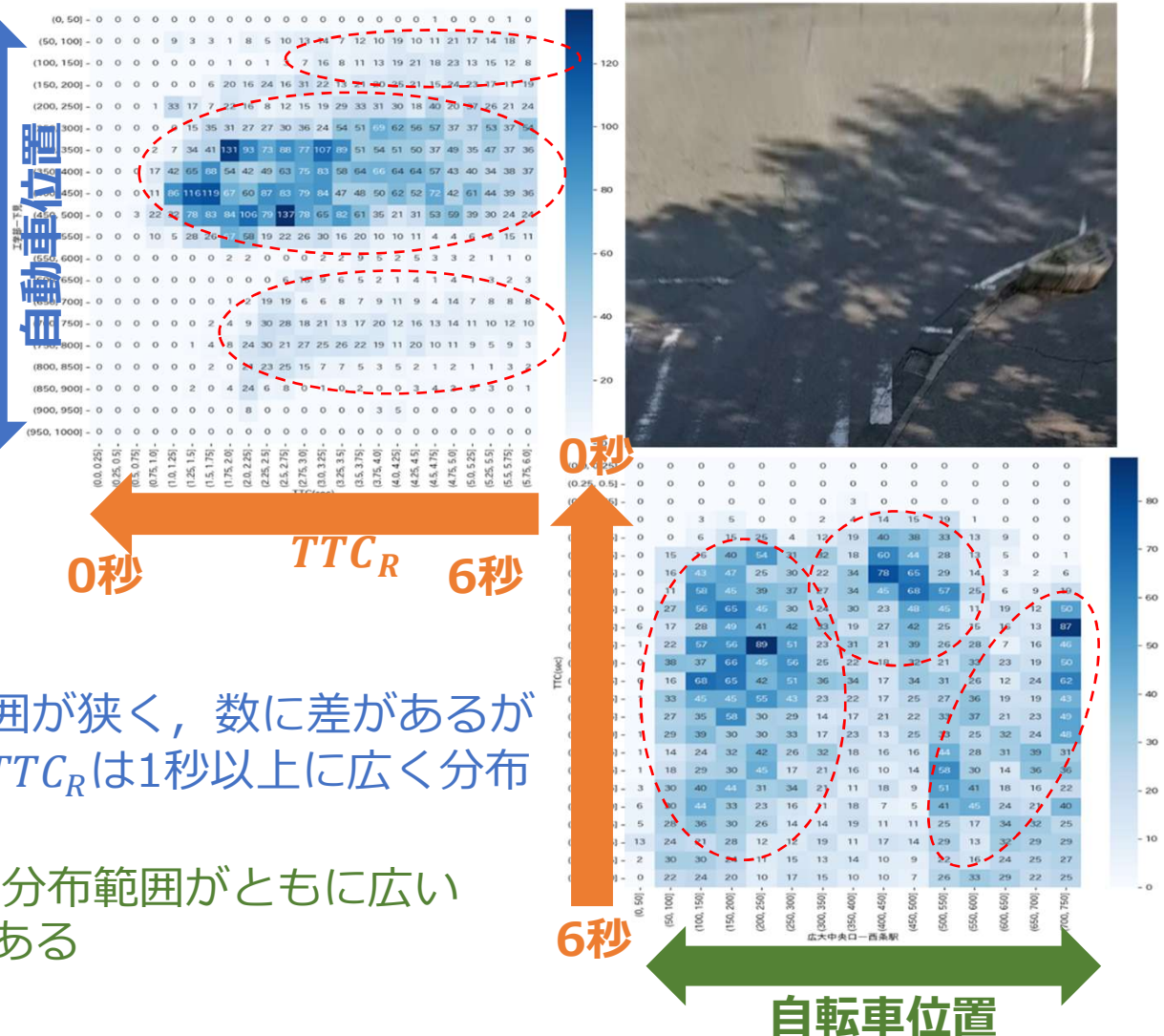
交通主体ペアに依らずピークは2秒前後



相対距離の分布が狭く、
 TTC_R の分布は広い

自転車と自動車の TTC_R 算出分布と位置の関係

自動車位置を南北方向
自転車位置を東西方向
 TTC が6秒以下を抽出



自動車：位置の分布範囲が狭く，数に差があるが3つに分かれている． TTC_R は1秒以上に広く分布

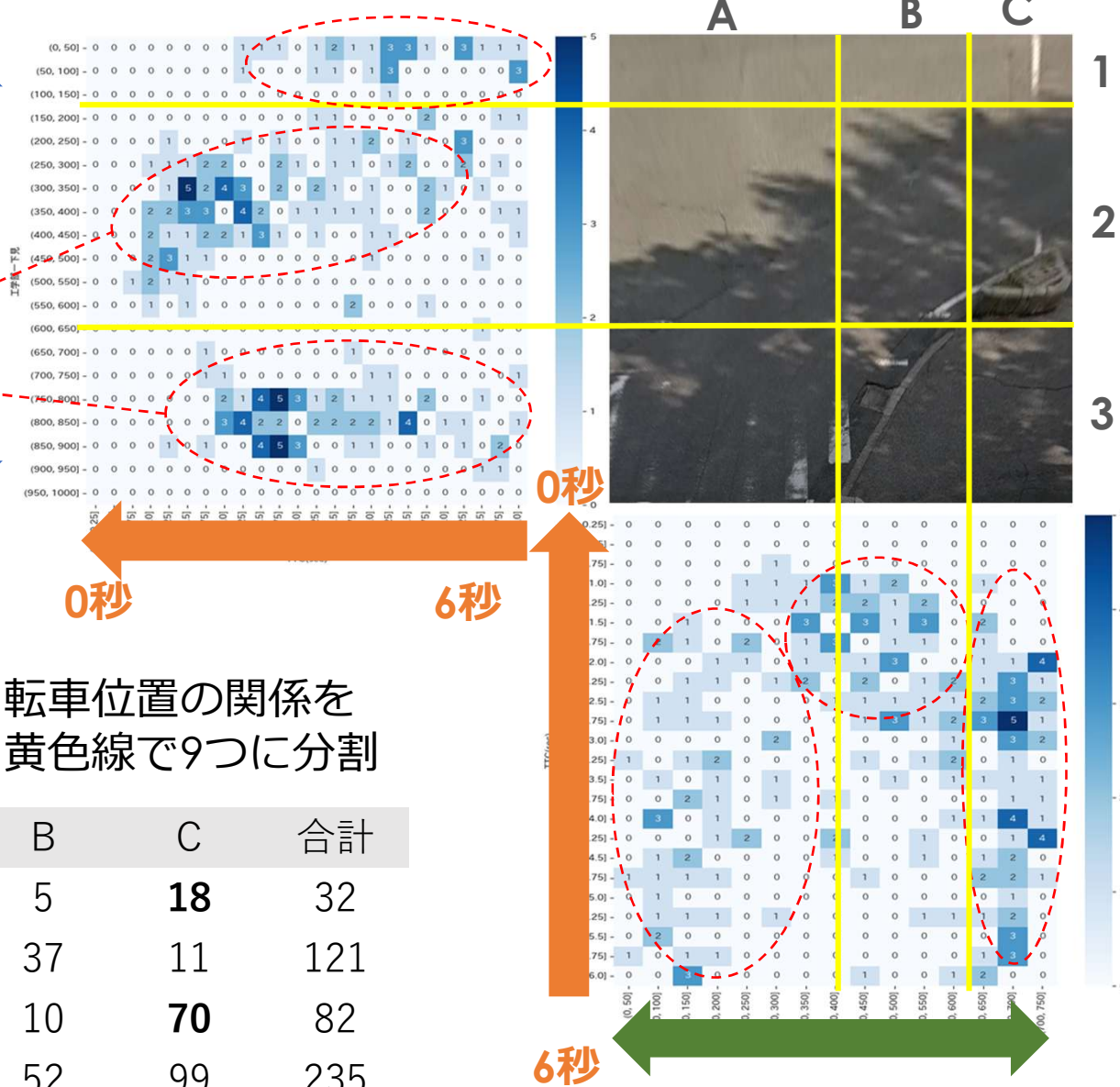
自転車：位置， TTC_R の分布範囲がともに広い
赤点線に固まる傾向がある

▶ 錯綜ペアにおいて TTC_R が最小となる（回避行動をとる）瞬間のみの位置分布から危険度が高い交差点位置を分析

自転車と自動車の最小 TTC_R 算出分布と位置の関係

TTC が最小となる瞬間のみ表示

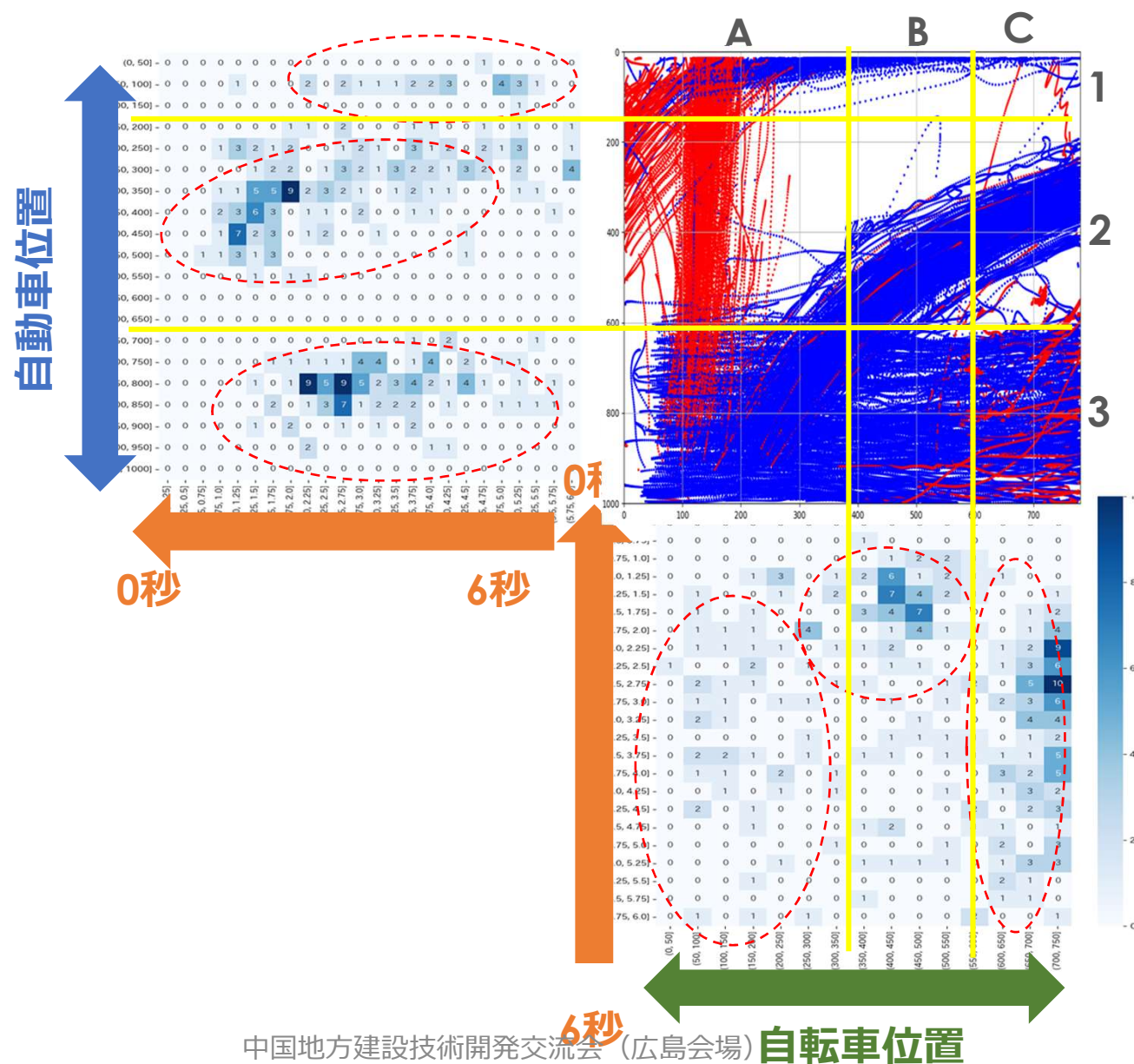
横断歩道進入前
か横断歩道内



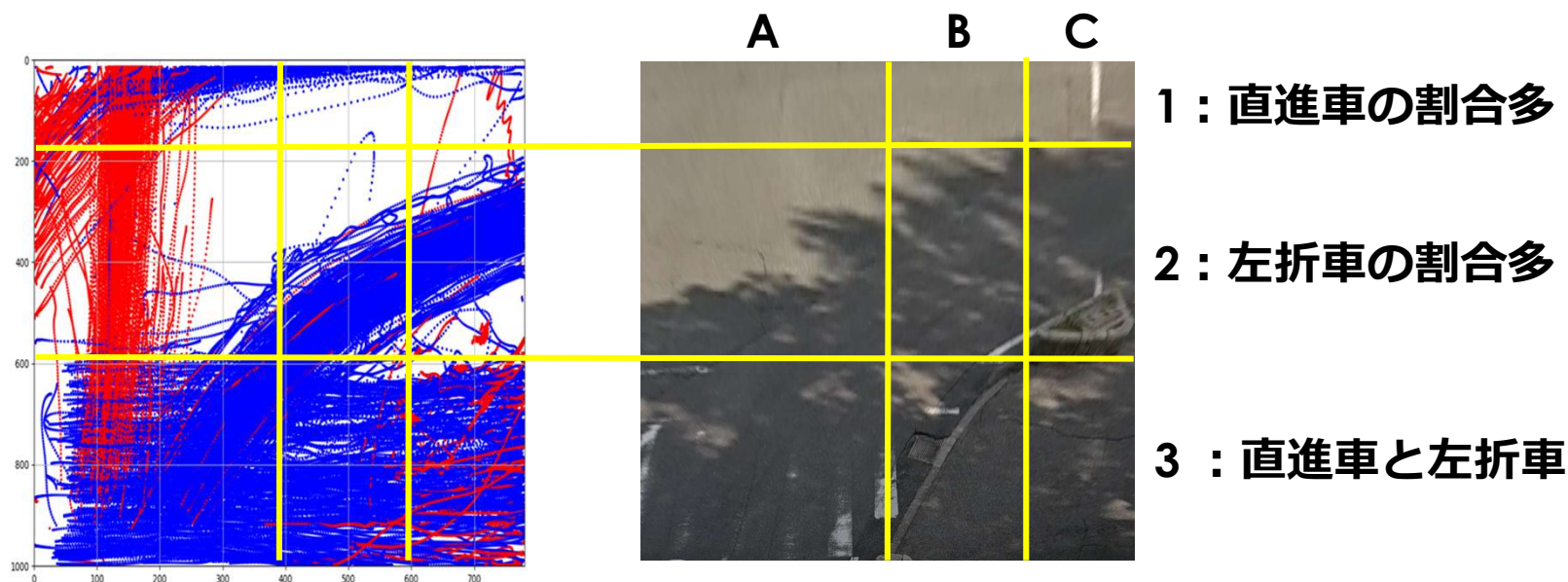
自動車位置と自転車位置の関係を
把握するために黄色線で9つに分割

	A	B	C	合計
1	9	5	18	32
2	73	37	11	121
3	2	10	70	82
合計	84	52	99	235

自転車と自動車の最小 TTC_R 算出分布と位置の関係



自転車と自動車の位置の対応



	A	B	C	合計
1	9	5	18	32
2	73	37	11	121
3	2	10	70	82
合計	84	52	99	235

全現示で算出したため、**(1, 3)** 直進車などが、信号待ち中の**C**の自転車との対応割合が高く、**(2)**の左折車と対応する自転車は**A**横断歩道内の割合が高い

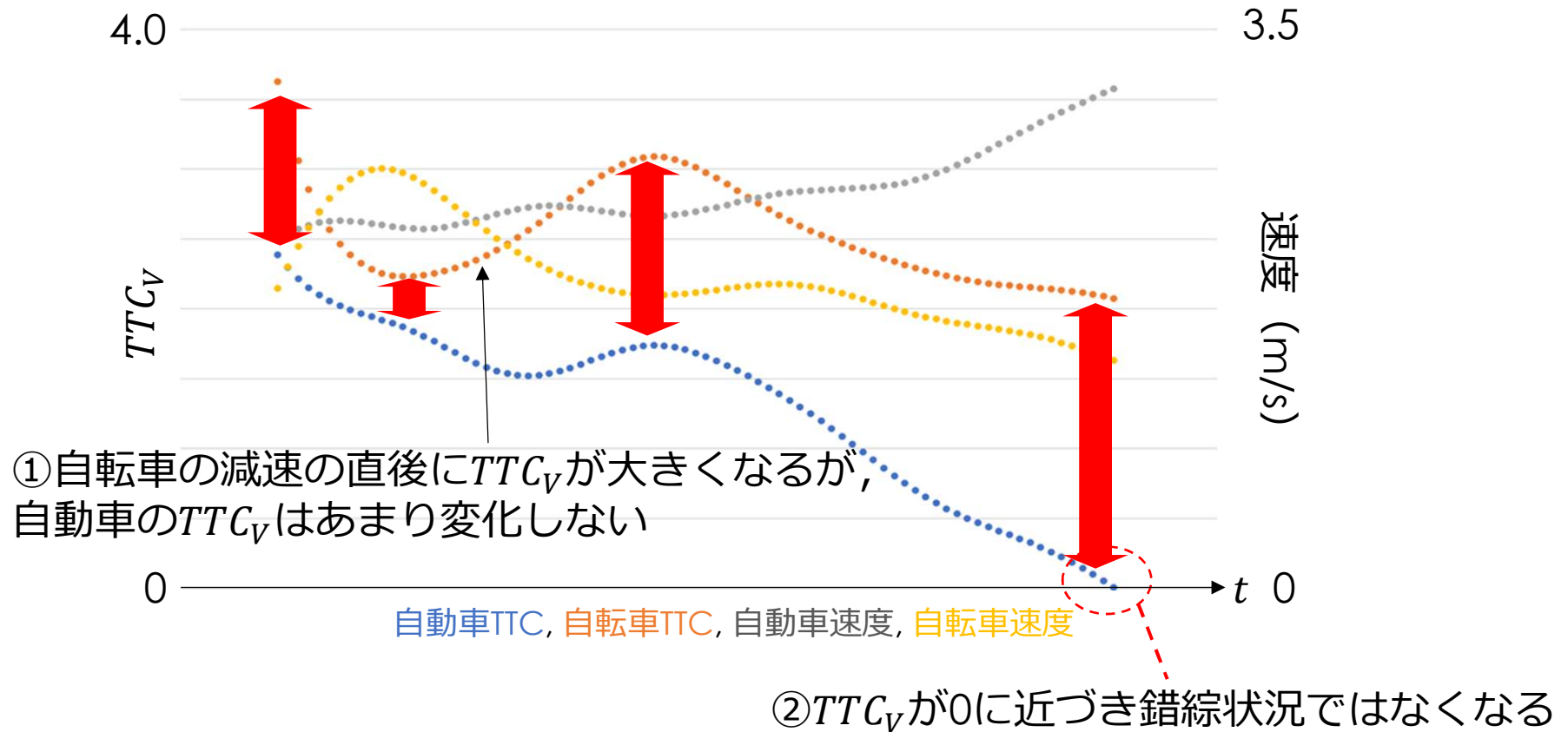
左折車の多くは横断歩道進入前 **(2)** で回避行動をとっているため
左折阻害

2022/10/26 対象横断歩道の歩行者信号の赤現示も含めて算出したため

軽トラックと自転車の錯綜（ケース1）



TTC_V の算出結果（ケース1）

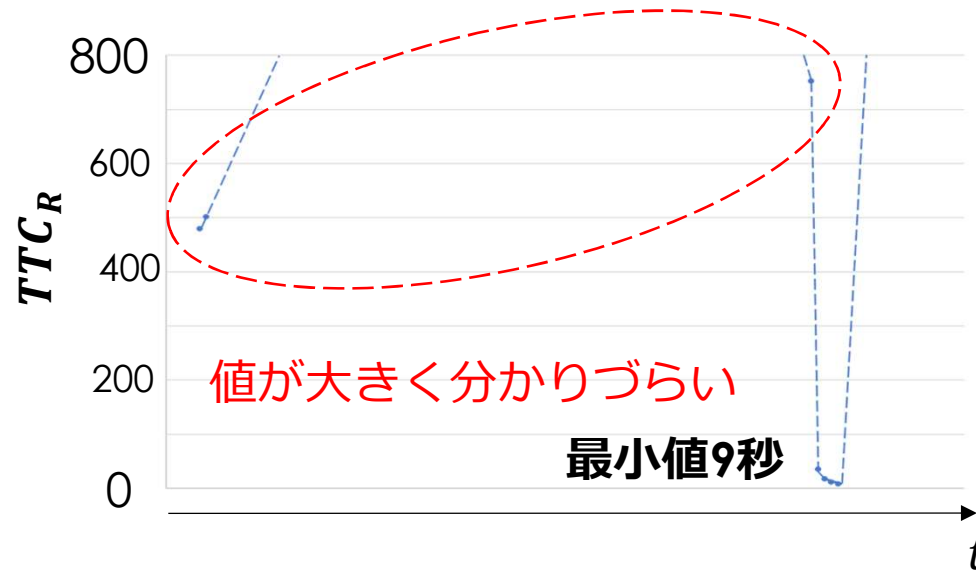


移動ベクトルの始点で交わる場合、 TTC が0に近い値

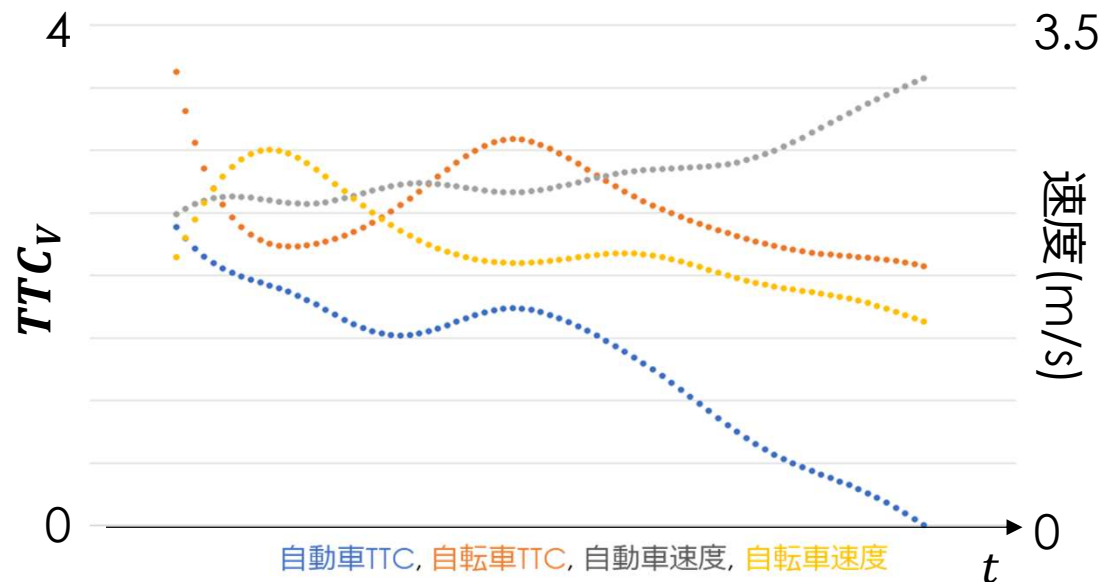
【仮説】 TTC_V が小さいと同時に TTC_V 差が小さいときに危険度が高い

※101秒と100秒の場合も1秒差だが危険度は低い
中国地方建設技術開発交流会（広島会場）

TTC_R と TTC_V の算出結果比較（ケース1）

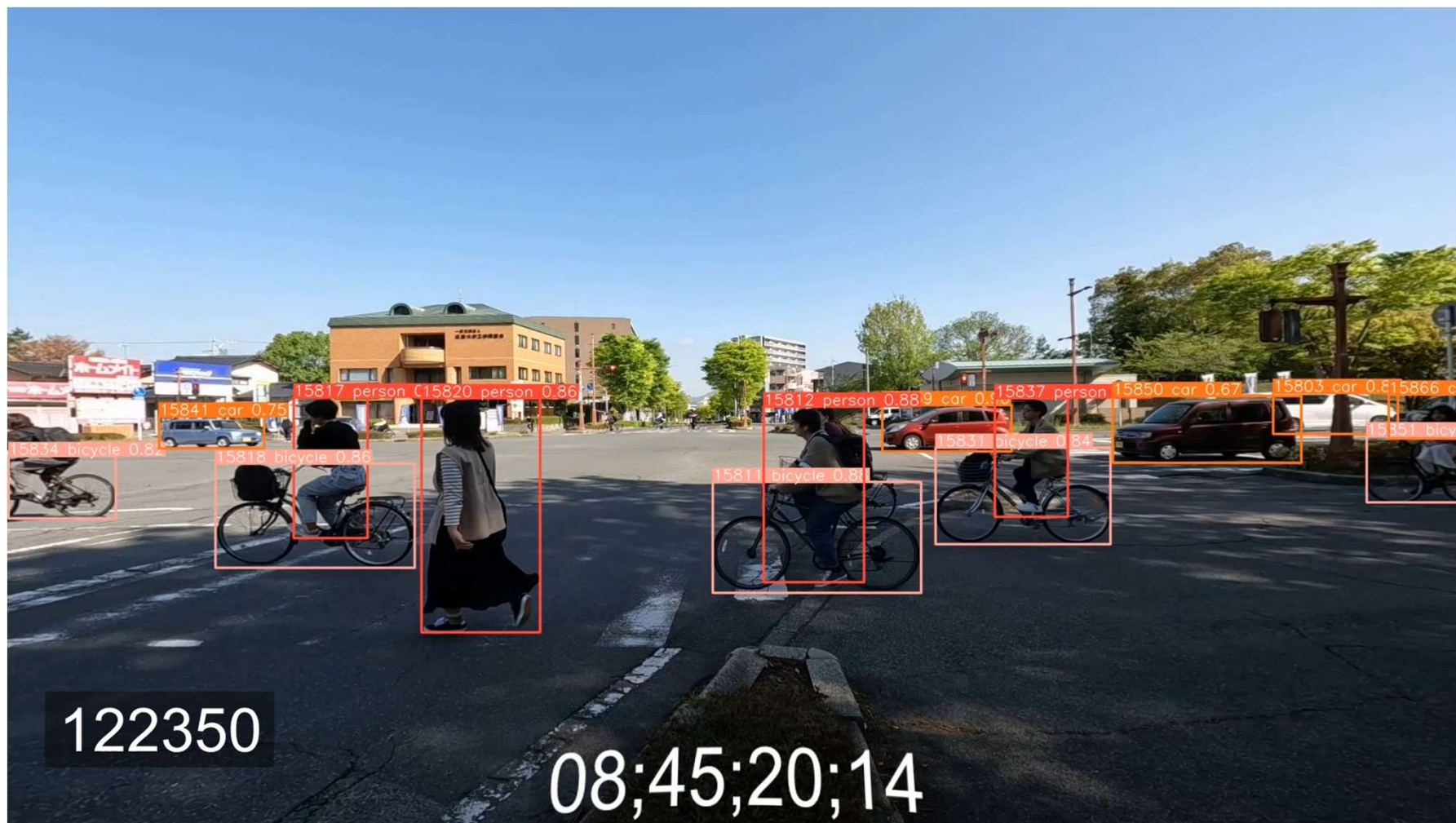


TTC_R が、一組についてフレームごとに一つの値が算出される
衝突までの時間を示すTTCの定義に沿った指標だが、相対距離と相対速度をそのまま指標として用いる方が有効な可能性

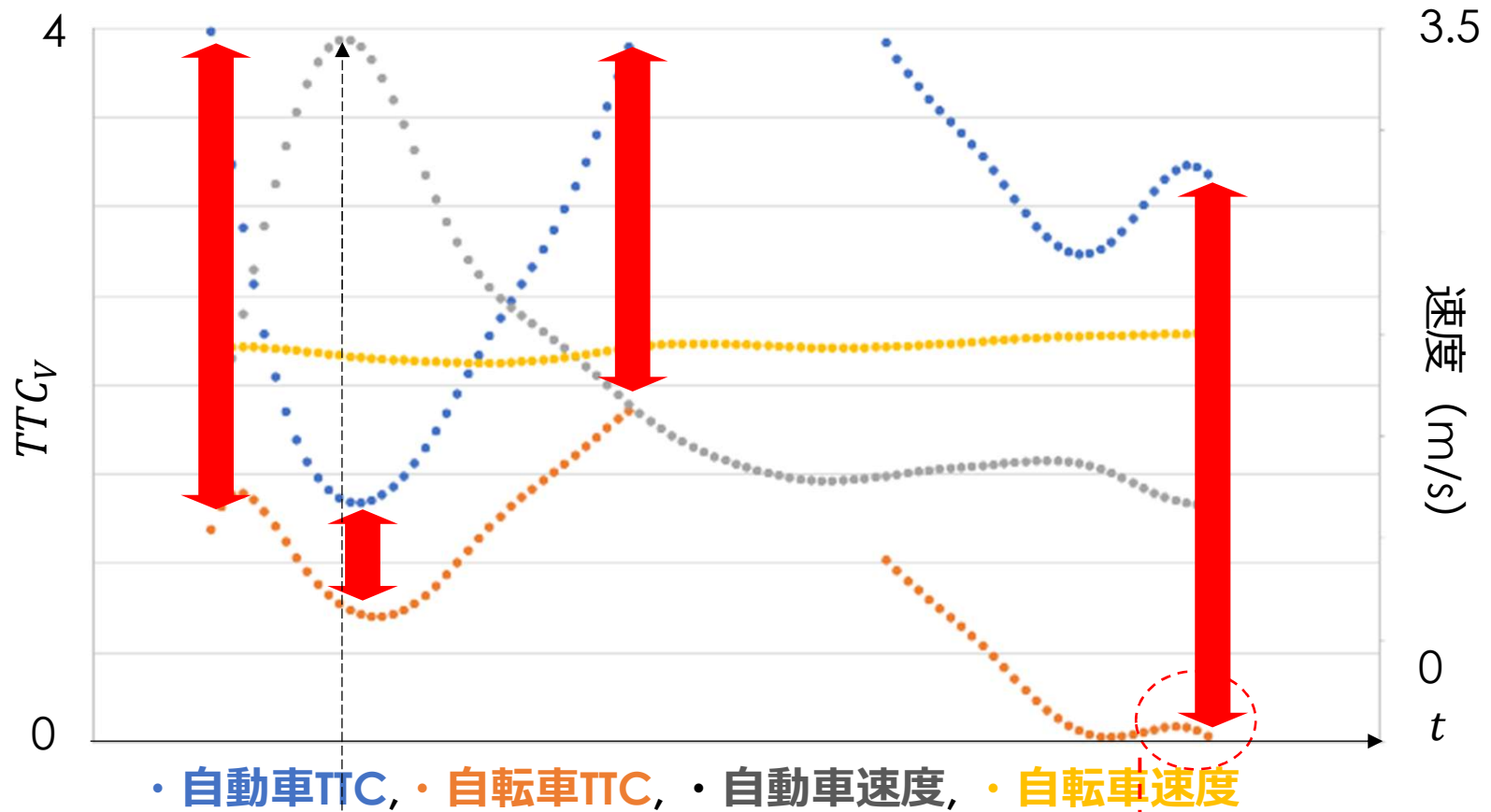


TTC_V が、交通主体ごとに算出されるため、到達時間差（= TTC_V の差）を考慮できる

自転車の通過を待つ左折車（ケース2）

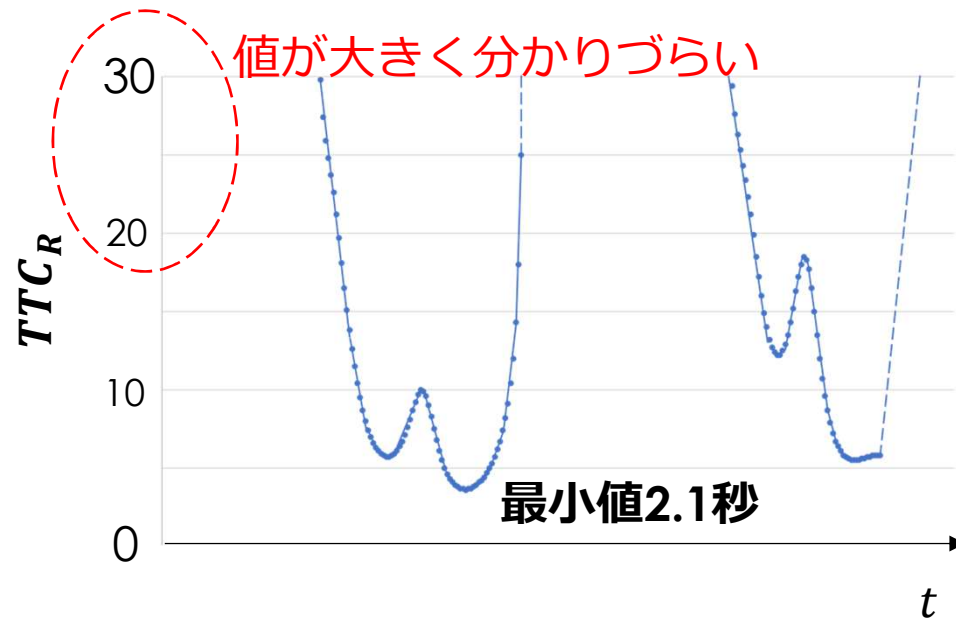


TTC_V の算出結果（ケース2）

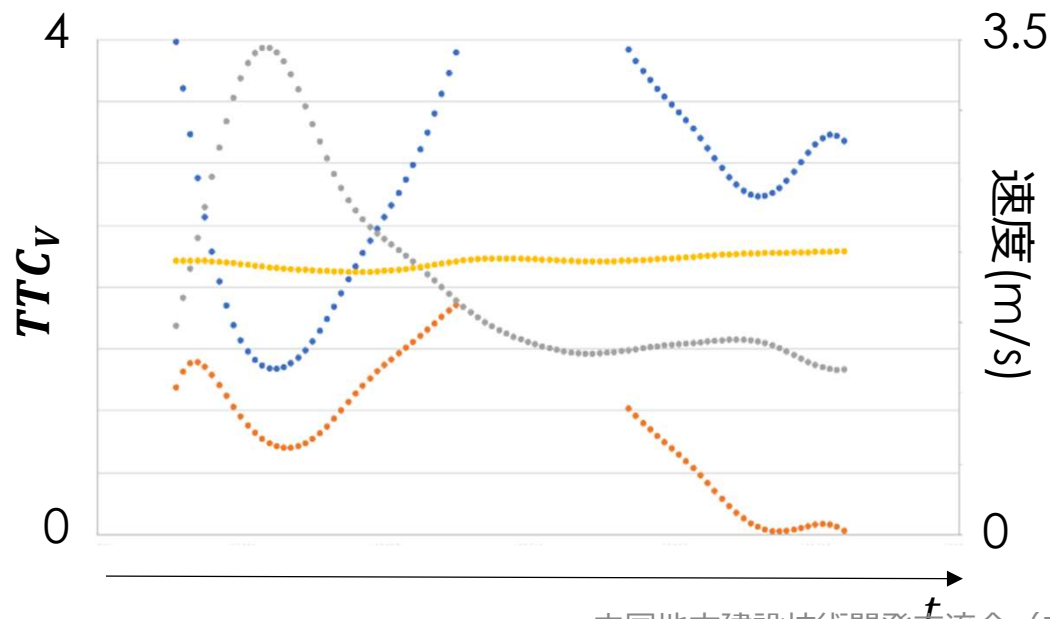


- ①自転車の減速と直後に TTC_V が大きくなる ② TTC_V が0に近づき錯綜状況ではなくなる

TTC_R と TTC_V の算出結果比較（ケース2）



TTC_R が、一組についてフレームごとに一つの値が算出される
衝突までの時間を示すTTCの定義に沿った指標だが、相対距離と相対速度をそのまま指標として用いる方が有効な可能性



TTC_V が、交通主体ごとに算出されるため、到達時間差（= TTC_V の差）を考慮できる

自己駆動粒子モデルによるシミュレーション

微分方程式による歩行者・自転車・自動車の交差点周りの運動シミュレータ

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = m_i \frac{v_i^0 e_i^0(t) - v_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j \neq i} f_{ij}(t) + \sum_k f_{ik}(t) + \sum_W f_{iW}(t)$$

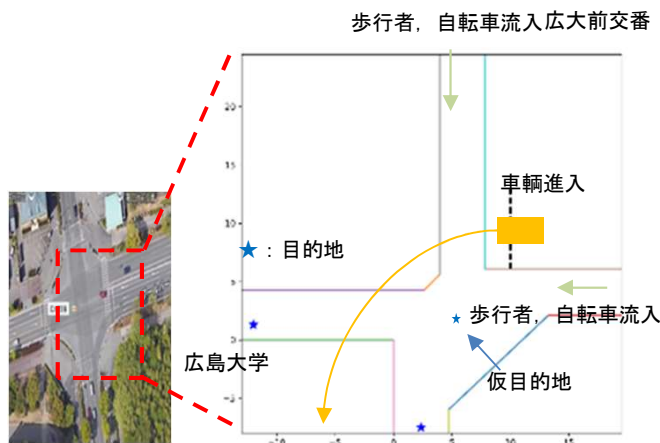
歩行者
の運動

歩行者自身の目的地
への移動

他の歩行者と
の相互作用

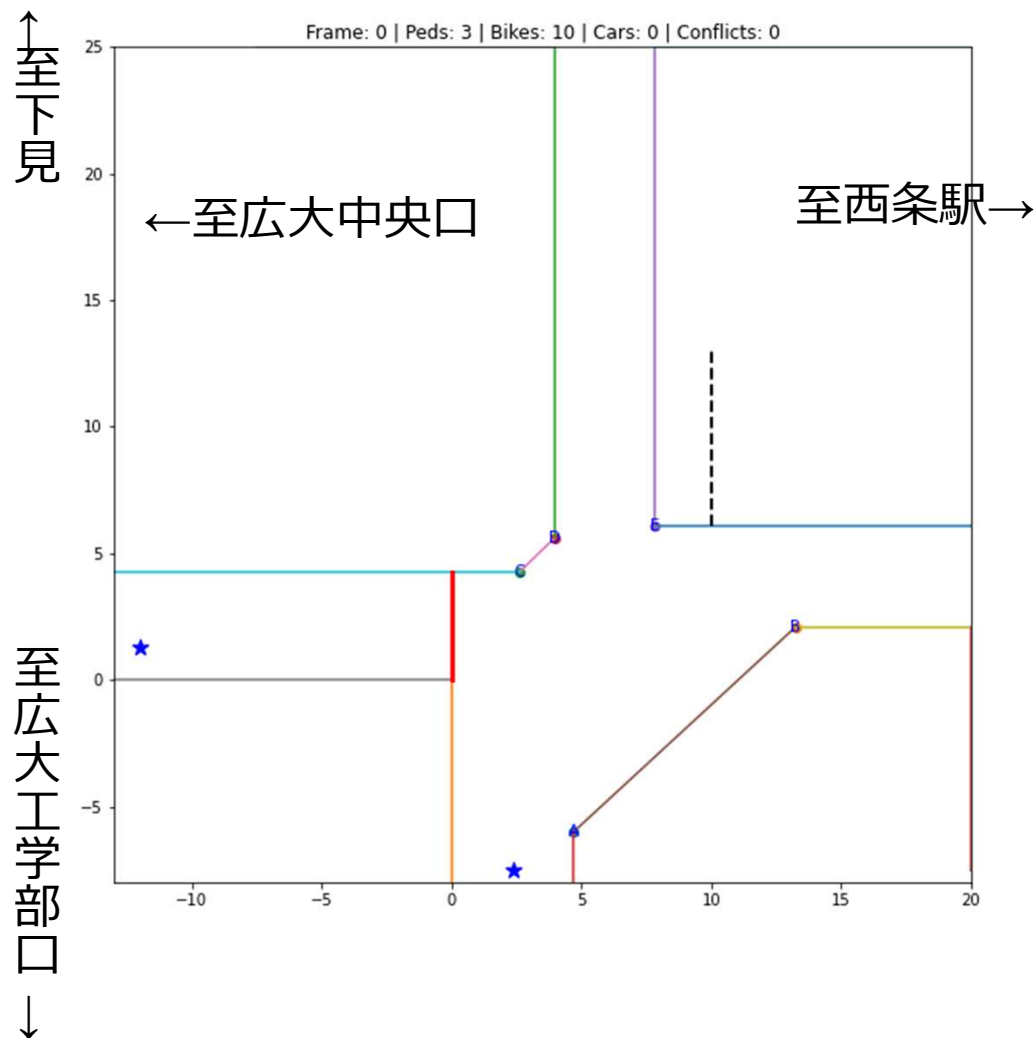
他の自転車と
の相互作用

通路の壁（通
行可能範囲）
との相互作用



シミュレーション対象地点は、広島大学前交差点の東側（南北）横断歩道と南側（東西）の横断歩道、ならびに南西側歩行者通路

自己駆動粒子モデルによる3相錯綜シミュレータ



- ✓ 自転車が回転挙動を示す：進行方向の信号が赤で通路が閉鎖しているときに演算を止める必要がある
- 演算を止めないと, Time to collision (TTC) の計算が暴れる／進行方向に対する速度ベクトルを計算するため
- ✓ 自己駆動粒子モデル内の他の主体・通路壁に対する班パスカパラメータを, 実観測データに基づいて推定する必要がある。

■ おわりに

【成果】

- ✓ 現地観測データを天頂方向から見た位置別時刻別データを整形し、断面交通量および危険度指標を算出した
- ✓ 歩行者、自転車の逸脱した挙動が左折阻害の要因であることが明らかになった
- ✓ 2種の危険度指標の比較から交錯状況を把握できた
- ✓ 自己駆動粒子モデルのプロトタイプが作成できた

【今後の課題】

- 交差点進入前からの挙動の解析
- 歩車分離方式の導入効果の定量化
- 危険度指標の算出方法の再検討
- 自己駆動粒子モデルのパラメータ推計と錯綜分析