

DiIMo: デジタルツインプラットフォームにおける 歩車混在移動シミュレーション

2025/11/24

名古屋大学 未来社会創造機構

トヨタテクニカルディベロップメント株式会社 (TTDC)

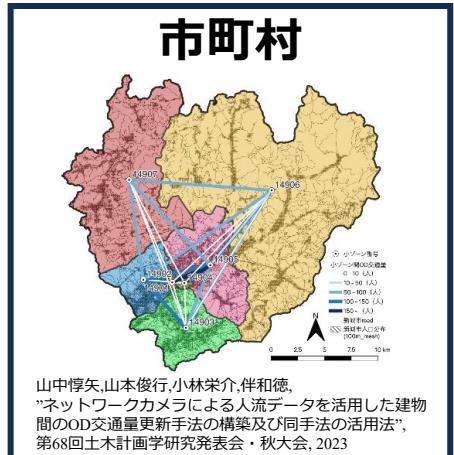
伴 和徳



1. モビリティと交通参加者シミュレーション
2. 仮想空間計測
3. 交通参加者行動モデル
4. まとめと今後



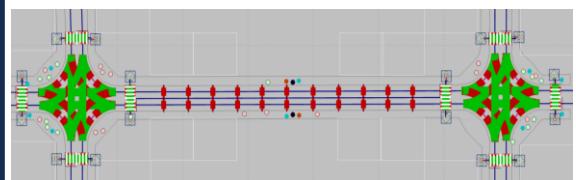
土木・交通



マクロ

メソ、ミクロ

複数交差点



Benjamin David MECKLOSKY, Toshiyuki YAMAMOTO, Ning HUAN, Kazunori BAN,
"Development of Link Performance Functions in High Pedestrian-Vehicle
Interaction Environments",
第67回土木計画学研究発表会・春大会, 2023

ミクロ・局所

機械・人間行動



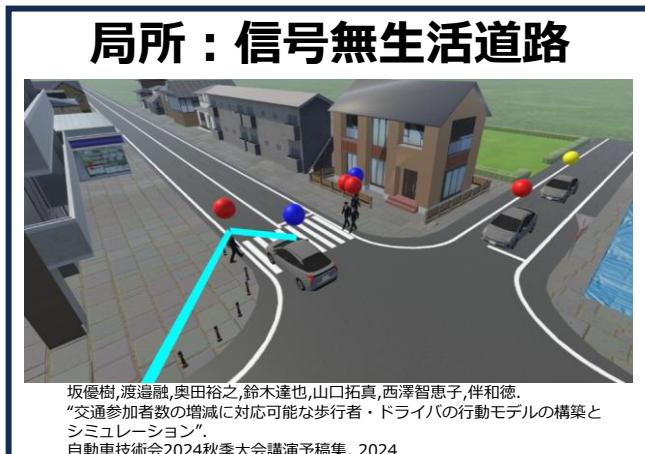
ミクロ・局所 心理

混在

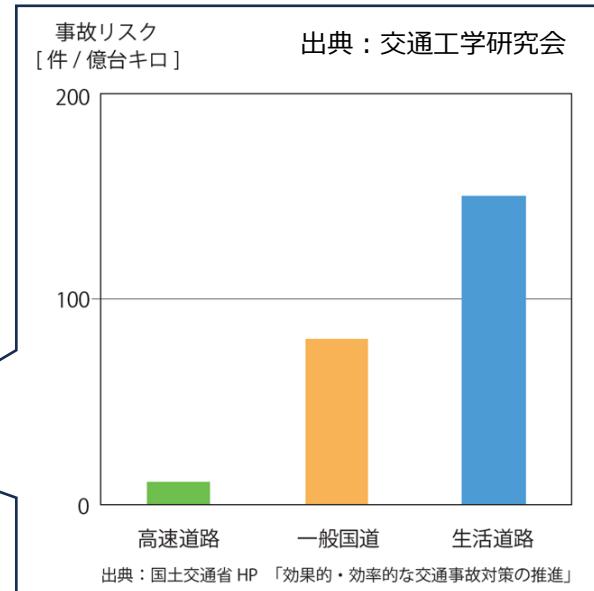
- 歩行者と車両（多様性）
- 広域と狭域（ボリューム）

※ミクロ=マルチエージェント
局所=人が見える範囲で判断

↓
個人差が影響



モビリティのミクロ・局所評価



- ・様々な交通参加者（子供、高齢者）
- ・様々な移動手段
- ・移動方向が多様
- ・ルール認識の差

実空間で行動計測、評価には限界

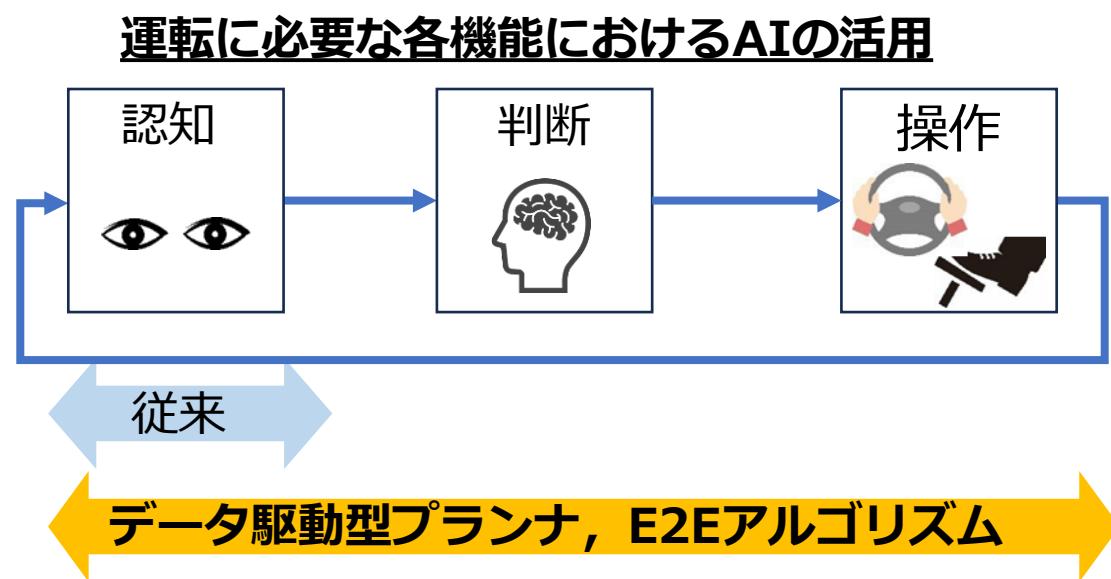
- ・実車での評価は時間とコストがかかる
- ・事故やヒヤリといったレアシーンは実空間だけでは計測が困難
- ・人の行動は同一シーンでも同じにはならない

移動空間のシミュレーションの要件

1. 多様なエージェント間の判断を伴う**インタラクション**再現
2. 規模の拡大に対して**スケーラビリティ**
3. 人の**多様な属性**を扱えること
4. リアルな**交通参加者**がシミュレーションに参加

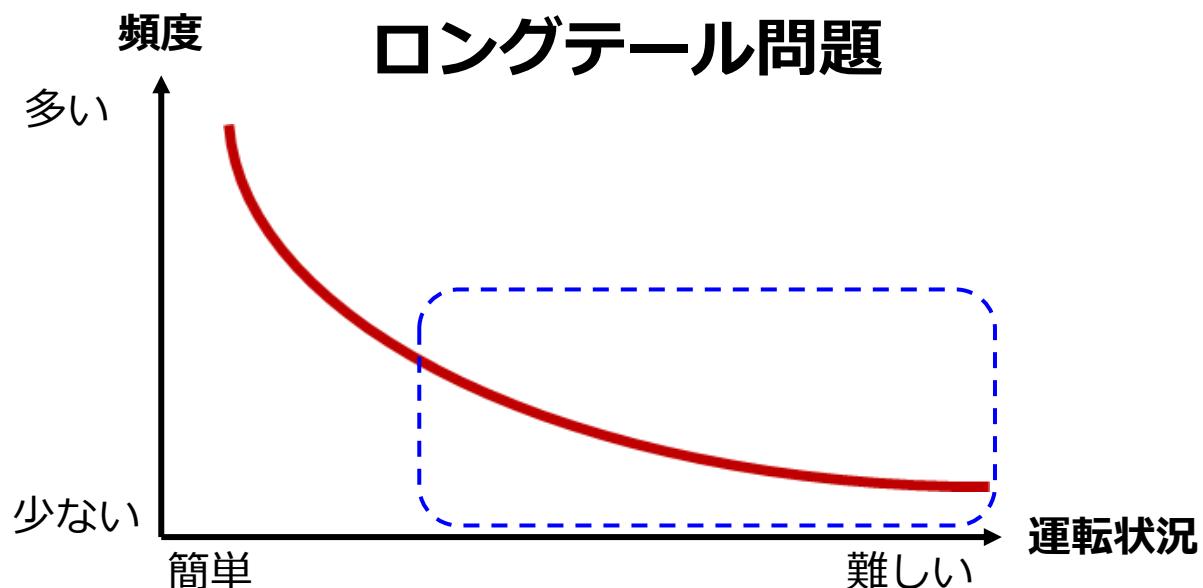
◇自動運転車両の開発動向

ルールベース、モデルベース
⇒ **AIベース End-to-End**



良質なデータ（量・質・多様性（網羅性））が必要

- 学習データにないシナリオに対して、機械学習モデルがどう動くかわからない…



ロングテールの領域に対し、シミュレーションを活用

- シミュレータデータから機械学習アルゴリズム構築
- 学習データにないシナリオの作成、検証
- 人間らしい車両挙動データ

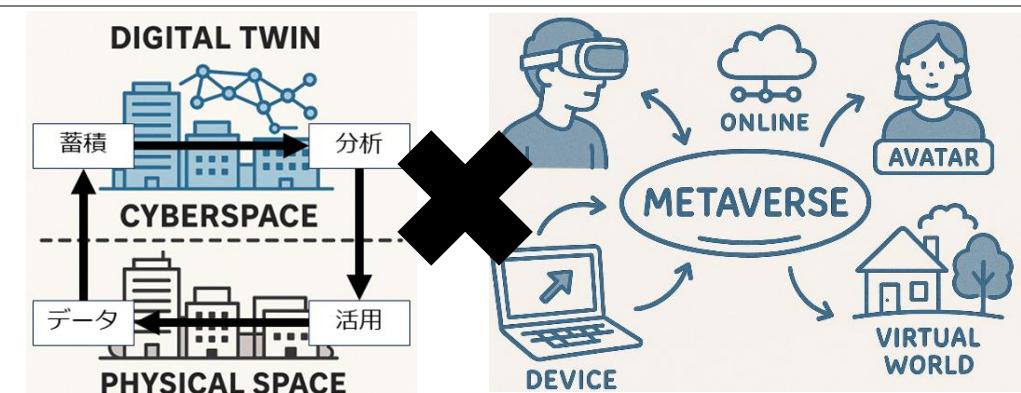
**※重要なのは
自車以外の移動体行動**

1. モビリティと交通参加者シミュレーション
2. 仮想空間計測
3. 交通参加者行動モデル
4. まとめと今後

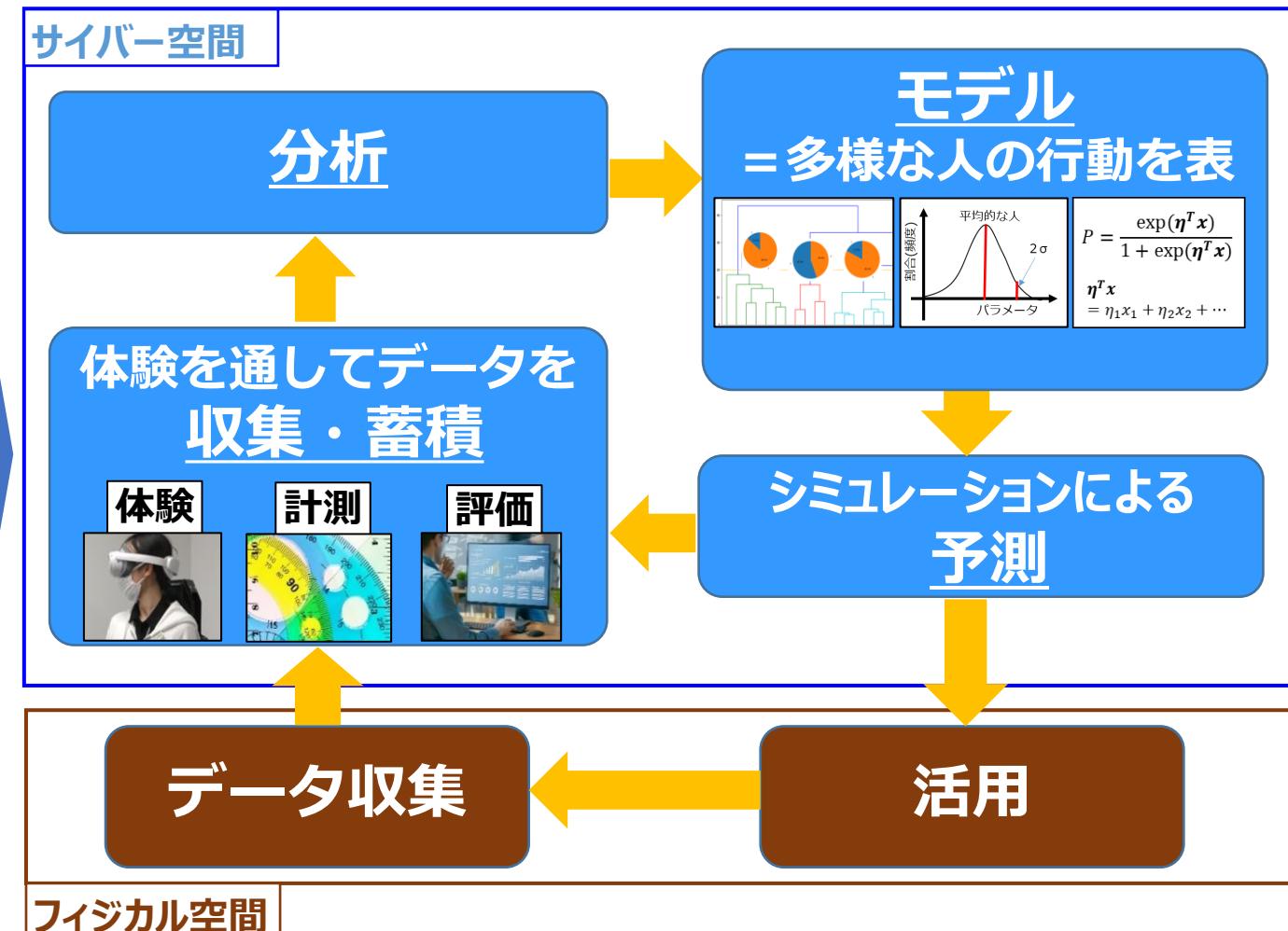
人の交通行動計測に必要なデータ

- ・個人差による違い（多様性）
- ・対象に対してどう感じるか（受容性）
- ・他者の行動に合わせた行動変化（インタラクション）
- ・様々な人が全く同じ環境で評価

デジタルツイン×メタバースの 新たな交通行動計測・評価環境提案



サイバー空間で、「計測」「予測・評価」「体験」
進化型デジタルツイン





2. DiMoと仮想空間行動計測

歩車混在空間での参加・体験型シミュレータ(アバター+交通流)

車両視点



30 kph



Driving Simulator

自転車視点



Cyclist Simulator



歩行者視点



Virtual Reality
+
Walking device

Pedestrian
Simulator

交通シミュレーション



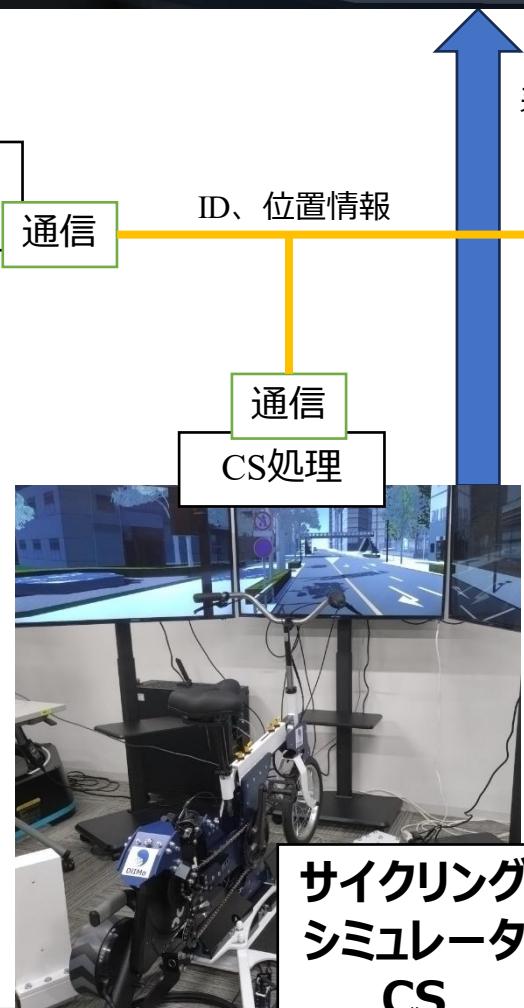
- ①複数人同時に
仮想移動空間を共有
- ②多拠点接続

2. DiMoと仮想空間行動計測



ドライビングシミュレータ DS

Data	内容
位置	x,y,z
姿勢角	yaw,pitch,roll
速度	m/s
運転操作情報	アクセル開度 ウィンカーON/OFF flag 等



サイクリング
シミュレータ
CS

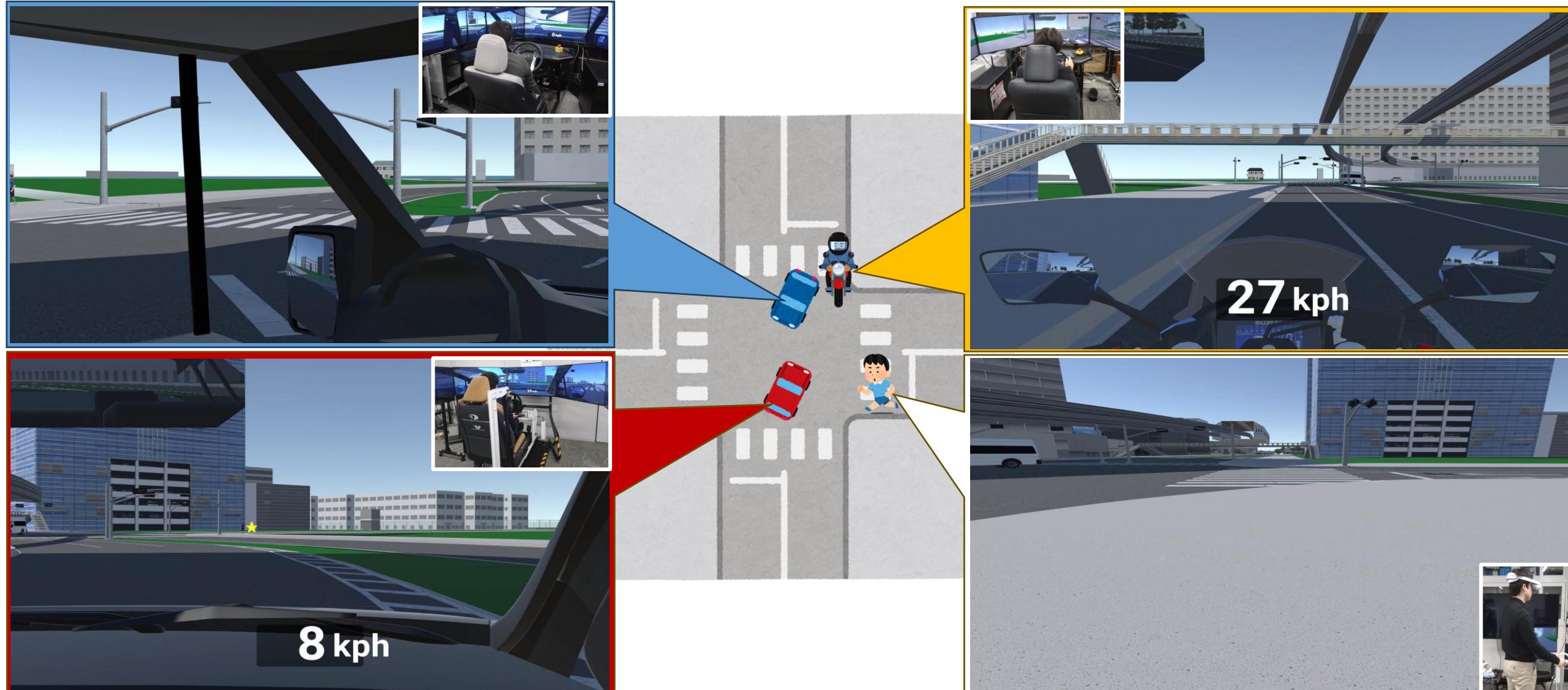
Data	内容
位置	x,y,z
姿勢角	yaw,pitch,roll
リーン角	センサー値[rad]
操舵角	センサー値[rad]
ブレーキ操作量	センサー値
速度	センサー値[m/s]
ペダル踏力	センサー値



実際に歩行 足を動かし移動 腕を振り移動

Data	内容
位置	頭、体、手
姿勢角	頭、体、手
速度	m/s
視線	yaw,pitch,roll
認識物ID	視線が当たっている物体ID
判断フラグ	ON/OFF flag

使用例 AI学習データ計測：DS3台×VR歩行者



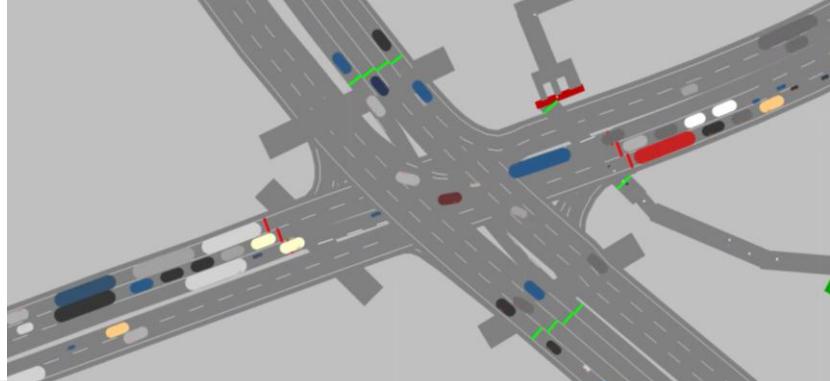
使用例 交通安全環境再現：DS×VR歩行者×交通流

ドライビングシミュレータ



VR歩行者

交通流を追加することで
様々な体験、データ計測が可能



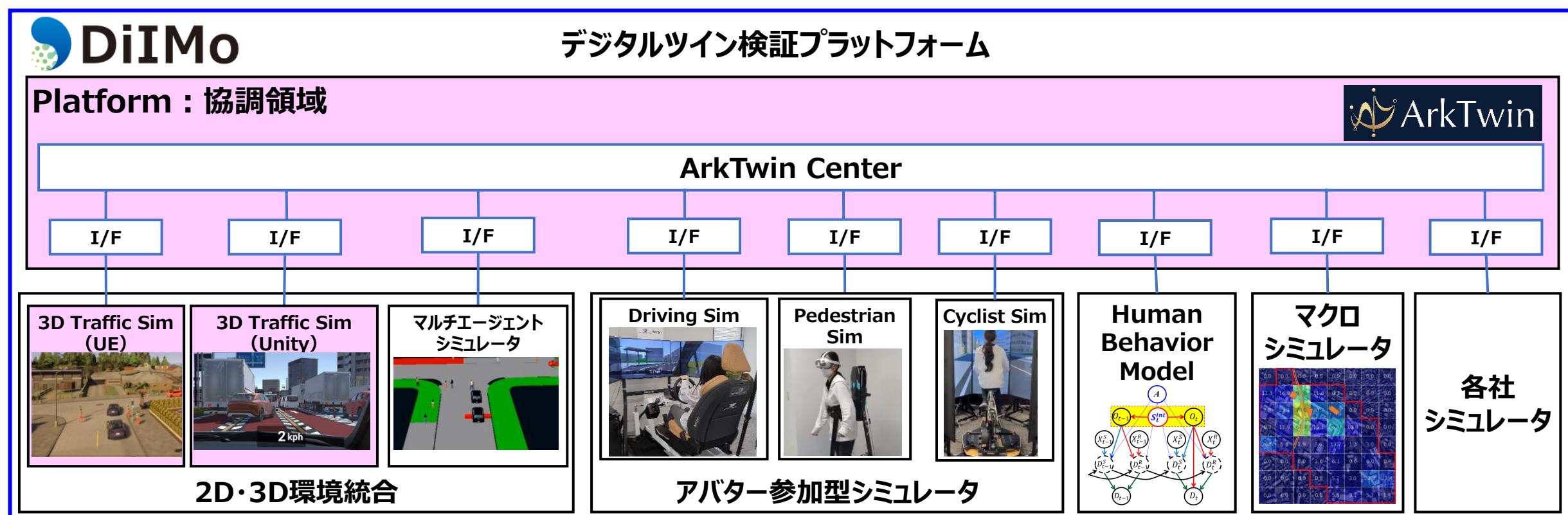
交通流
VISSIM
/VISWALK

必要機能

- 異なる場所から同一空間に接続し、体験・計測が可能
- シミュレータ間の接続に必要な要素（座標等）をI/Fが変換

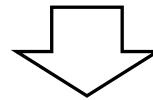
⇒ 協調領域として開発。
本来の目的を達成するためのツール

異なるシミュレータを接続可能なネットワークプラットフォームを開発中



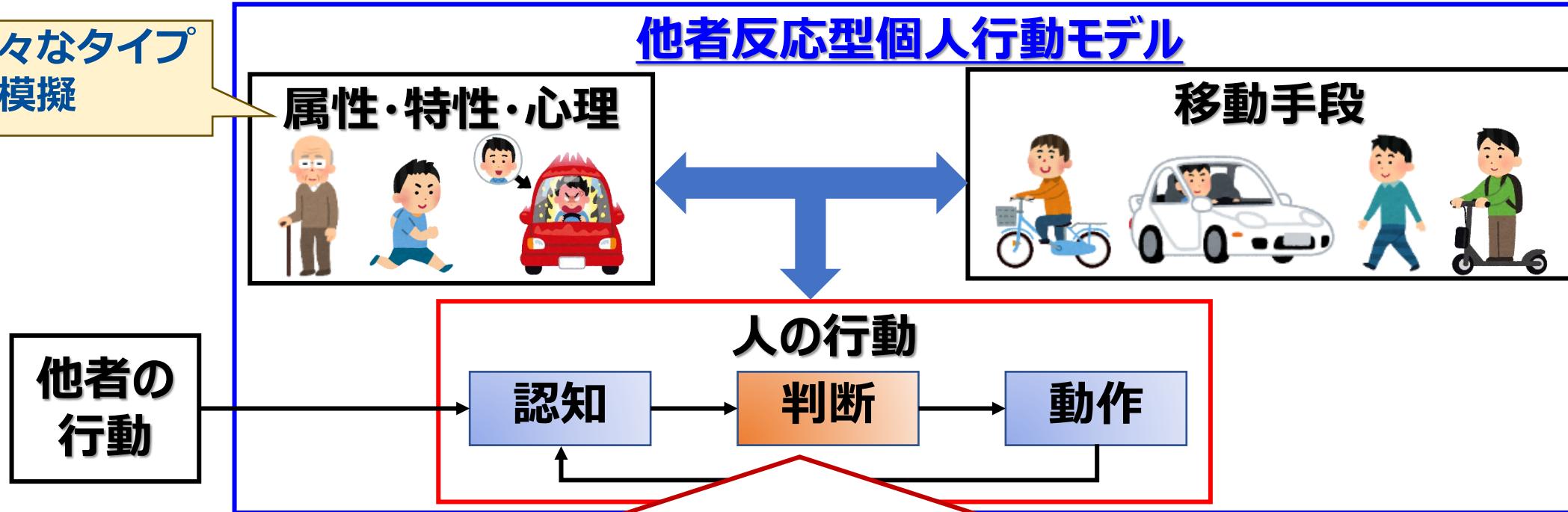
1. モビリティと交通参加者シミュレーション
2. 仮想空間計測
3. 交通参加者行動モデル
4. まとめと今後

人の行動は他者の行動によって変化 ⇒ インタラクション表現



伴和徳,山口拓真,小林栄介,脇坂龍,奥田裕之,
西澤智恵子,小嶋理江,青木宏文,山本俊行,鈴木達也.
“歩車混在空間検証のためのデジタルツインプラットフォームの提案”.
自動車技術会2023秋季大会講演予稿集, 2023

様々なタイプ
を模擬



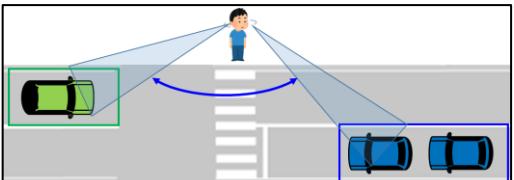
- ・人の行動の個人差は判断に寄与する
(個々の認知能力、動作能力も加味した判断を行う)
- ・個性の違いをパラメータで表現する
- ・他者との組合せを変えることで様々な行動を表現

同一シナリオでも
異なる行動

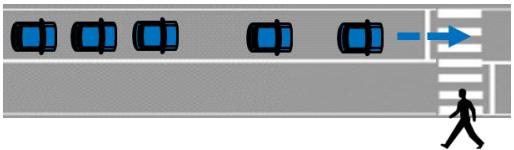
外的要因：工学アプローチ

周辺状況に対する行動

左右



複数車両・人

 D_t^P 渡る/待つ判断の確率

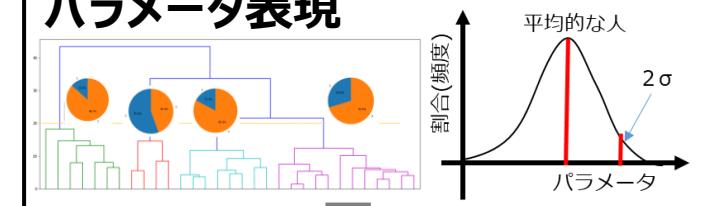
$$P = \frac{\exp(\eta x)}{1 + \exp(\eta x)}$$

 x : 入力変数 (車両の位置・速度など) η : 入力変数の係数

仮想空間での人の行動観測

行動データと属性データの結合

パラメータ表現

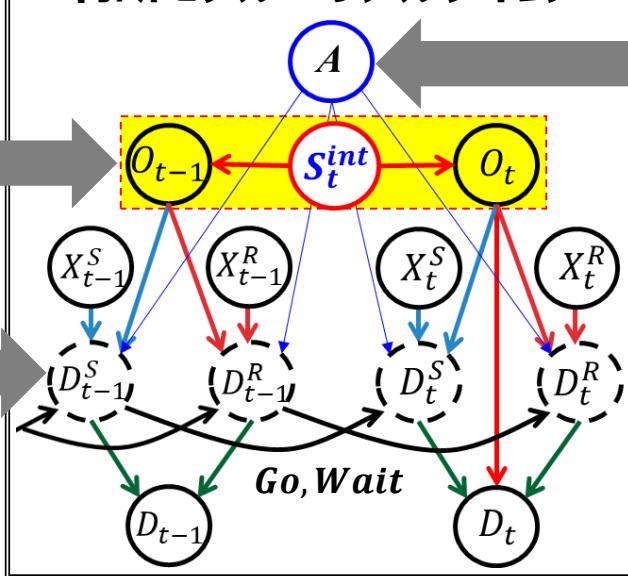


認知モデル

視行動



判断モデル：リアルタイム



内的要因：心理学アプローチ

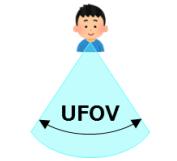
人（属性・心理）データ



質問紙

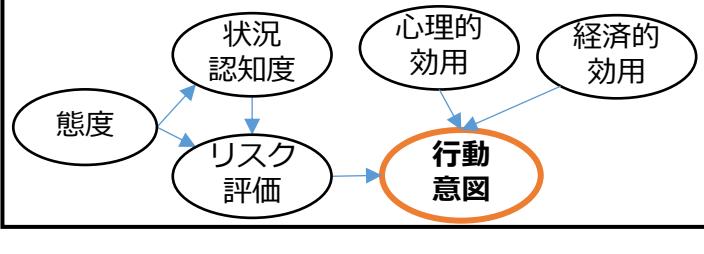


歩行動作



認知機能

行動意図推定モデル



伴和徳. “行動モデルとVR-デジタルツイン技術基盤を活用した交通安全の実現”.

日本心理学会公募シンポジウム; 心理・工学の融合による社会実装への展望, 2025

行動観測 \Rightarrow 判断の個人特性を考慮しモデル化
パラメータによりタイプを設定

坂優樹, 渡邊融, 奥田裕之, 鈴木達也, 山口拓真, 西澤智恵子, 伴和徳.
“交通参加者数の増減に対応可能な歩行者・ドライバーの行動モデルの構築とシミュレーション”.
自動車技術会2024秋季大会講演予稿集, 2024

① 積極的な判断モデルグループ



- 最初と最後に横断を終えた交通参加者の横断時刻の平均差

① 積極的グループ	② 保守的グループ
12.1 s	16.1 s

② 消極的な判断モデルグループ

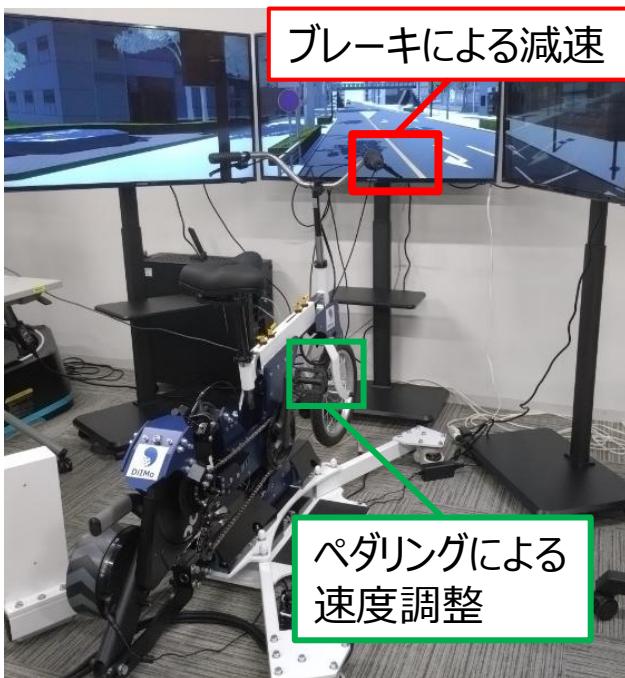


- 3者全員がWaitと判断した時間の合計（全70試行）

① 積極的グループ	② 保守的グループ
0 s	26.5 s

自転車は交通参加者として重要な存在

- ・速度：歩行者より早く、車より遅い
- ・自由度：歩行者より狭いが、車より広い
- ・法令順守：車よりもかなり低い（免許不要）

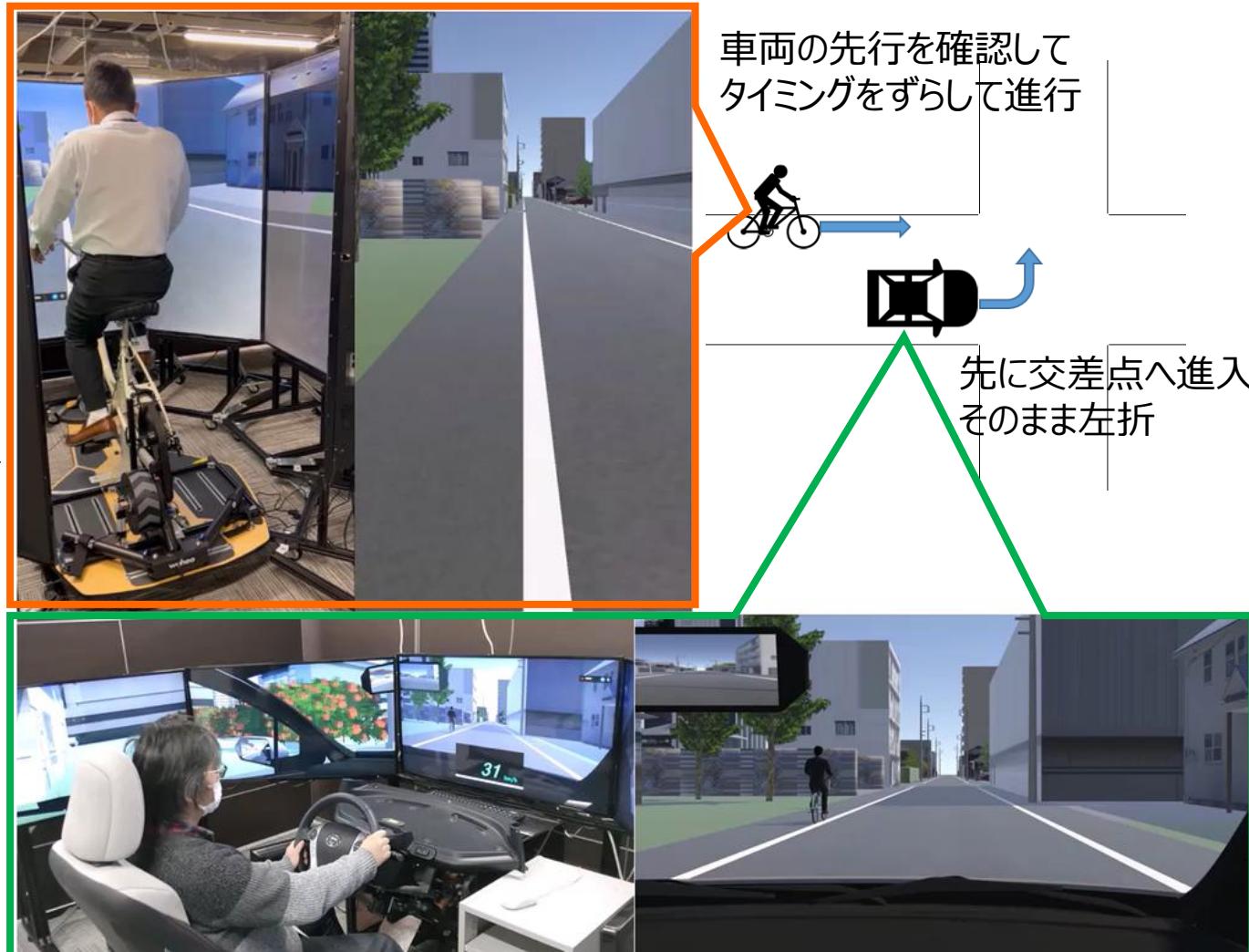


自転車特有の加減速
(ペダルを漕がない状態)
を計測

左折巻き込みシーンで
加減速判断をモデル化

脇坂 龍, 山口 拓真, 伴 和徳, 奥田 裕之, 鈴木 達也.

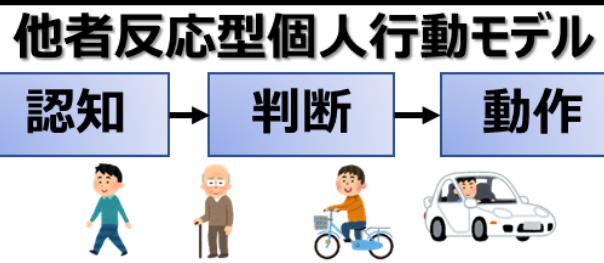
“無信号交差点での順行左折車両に対するサイクリストの行動意図の分析とモデル化”.
自動車技術会論文集, 2024, 55.5: 991-998.



モデル化結果
(9人の一致率平均)

	Pedal _{on}	Pedal _{off}	Brake _{on}	Total
	0.82	0.81	0.68	0.84

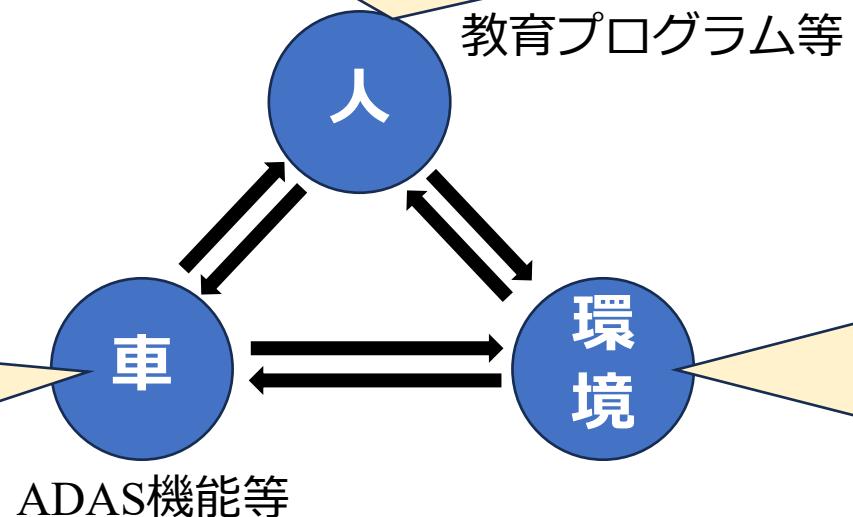
交通安全 三位一体の取組



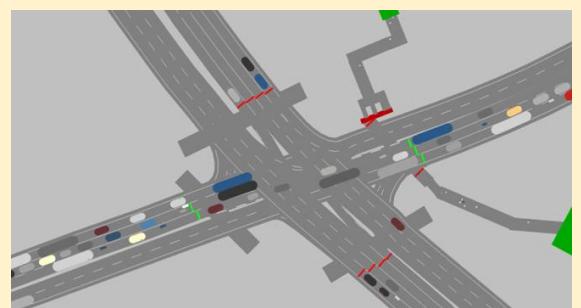
- ・計測 ⇒ モデル化
- ・体験 ⇒ 教育



モビリティ評価・ シミュレーション

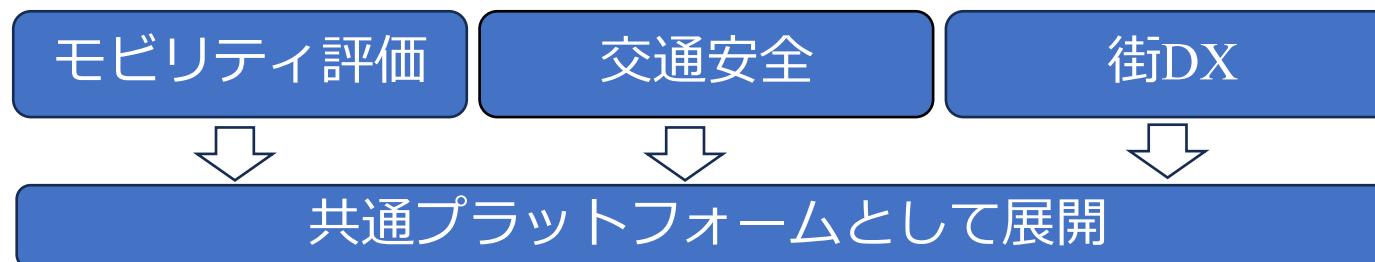


- ・道路構造検討
- ・V2I



1. モビリティと交通参加者シミュレーション
2. 仮想空間計測
3. 交通参加者行動モデル
4. まとめと今後

- 一般道では**多様な交通参加者**を考慮した計測と評価が重要
- デジタルツイン×メタバースの**DiIMo**と人の行動計測、モデル化方法をご紹介
- 異なるシミュレータ間を繋ぐ新たなプラットフォームが必要
⇒ 協調領域として、**共通プラットフォームを開発中**



自動車技術会：モビリティ空間のグローカルな設計・検証におけるDX検討委員会



関係者だけでなく、幅広く**仲間作り**実施中

ご清聴ありがとうございました

