

デジタルツインプラットフォームの 進化のための行動モデル化技術

指定共同研究

名古屋大学ートヨタ自動車

名古屋大学ートヨタテクニカルディベロップメント

名古屋大学 大学院工学研究科

機械システム工学専攻

奥田 裕之





・VRUや車両（自動運転車含む）が同一空間に存在

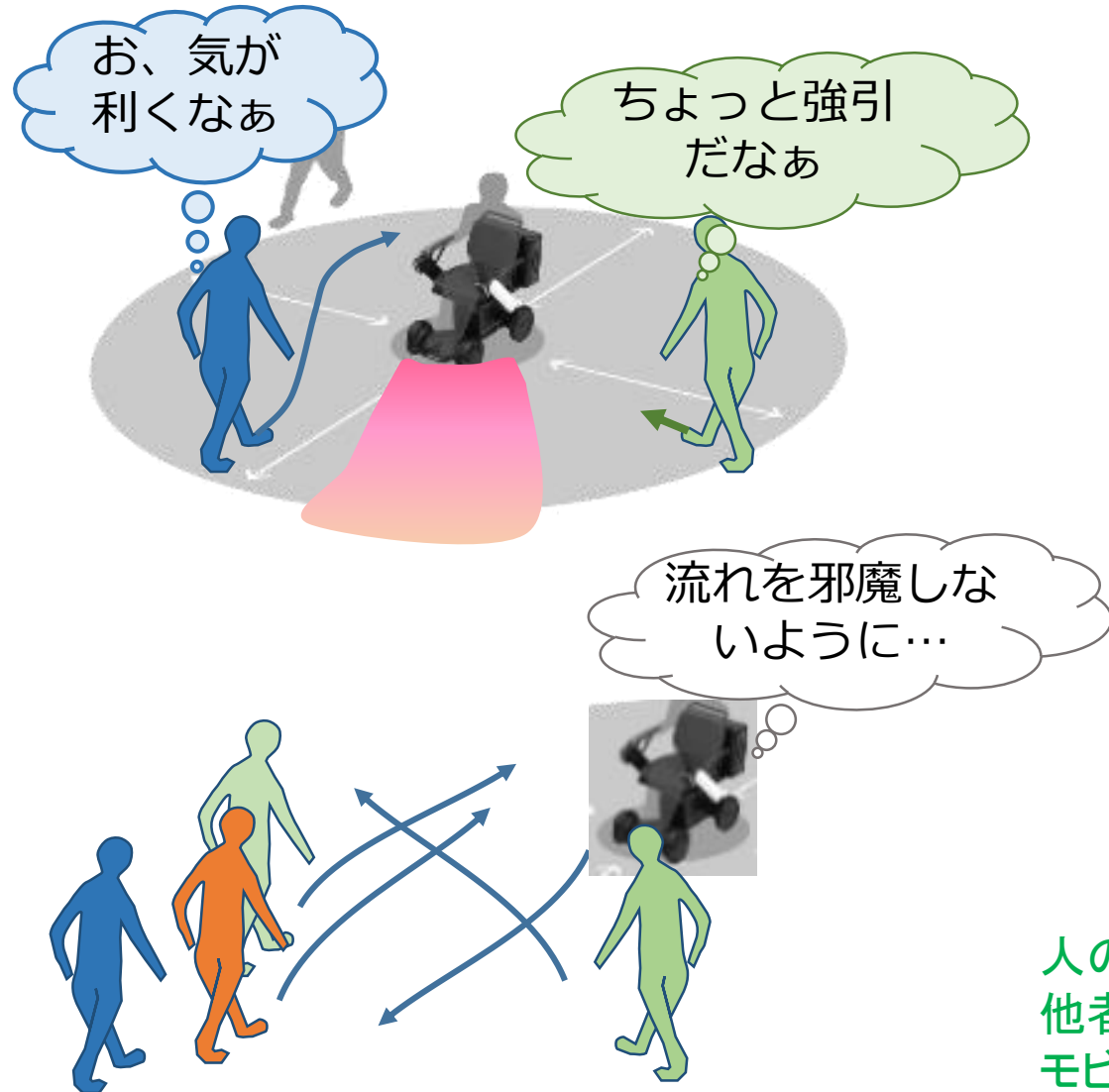
VRU (Vulnerable Road Users) :
交通弱者

・道の幅や区分けの様態など
さまざまな環境でのODD設計

知能を持ったモビリティと人間の共生のあり方

多様な移動主体が混在する移動空間
に対応できる必要がある

人中心のモビリティ設計：
「安全」だけでなく、他者に配慮した
あらたなモビリティ知能の創造



モビリティ知能の目的

自己のタスク達成

目的地への到達
人・荷物の搬送
情報収集・情報提示

+他者の利益

周辺他者(歩行者や自転車,
他のモビリティ等)への配慮

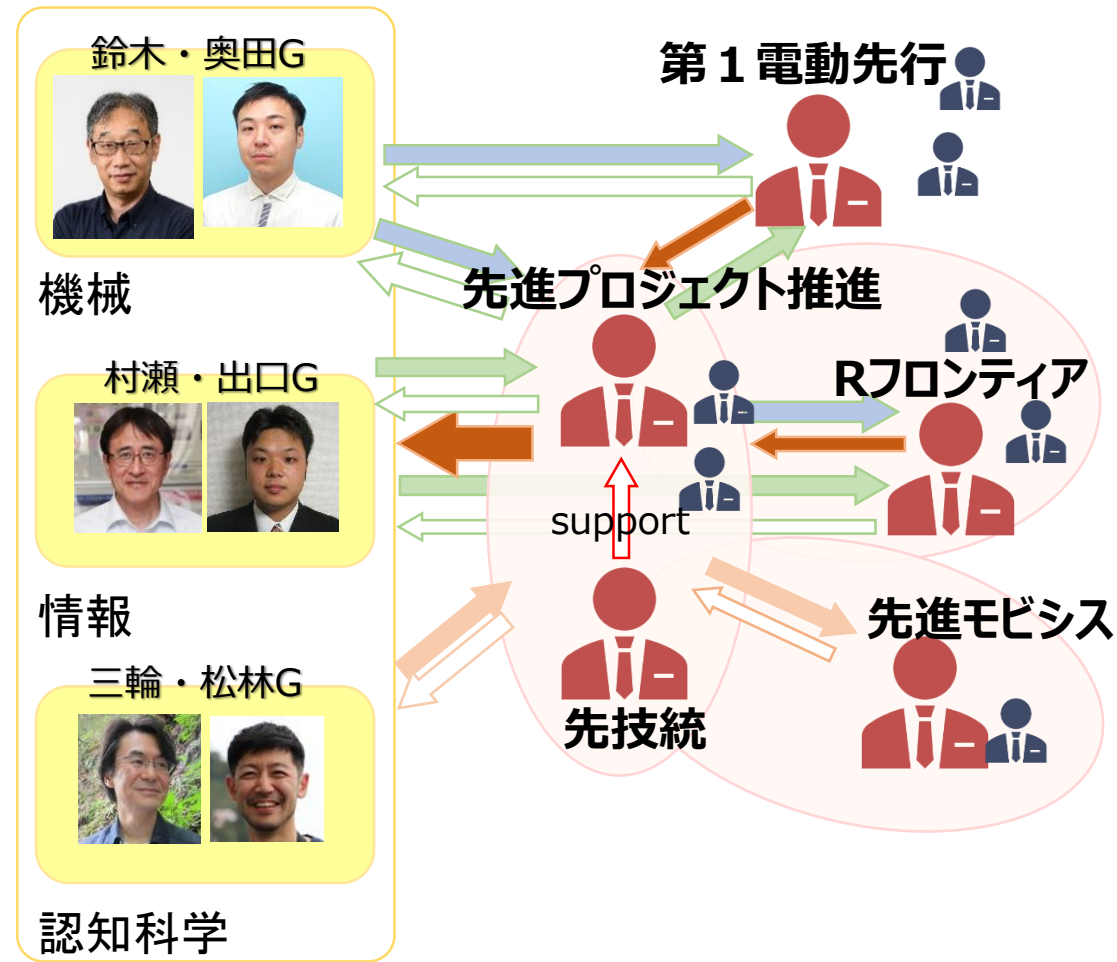
他者損益の最小化
+
他者利益の最大化

「向社会性」

外部からの報酬を期待するのではなく, 自由な意思によって
他者や他の集団に恩恵を与えるような他者の利益を
求める性質

人の行動を観測し, 行動原理を知り, モデル化・予測したうえで,
他者の感情(恐怖, 迷い, 安心, 共感など)を数理モデル化することで
モビリティの設計・評価に活かすことができる

名大ートヨタ自動車 指定共同研究



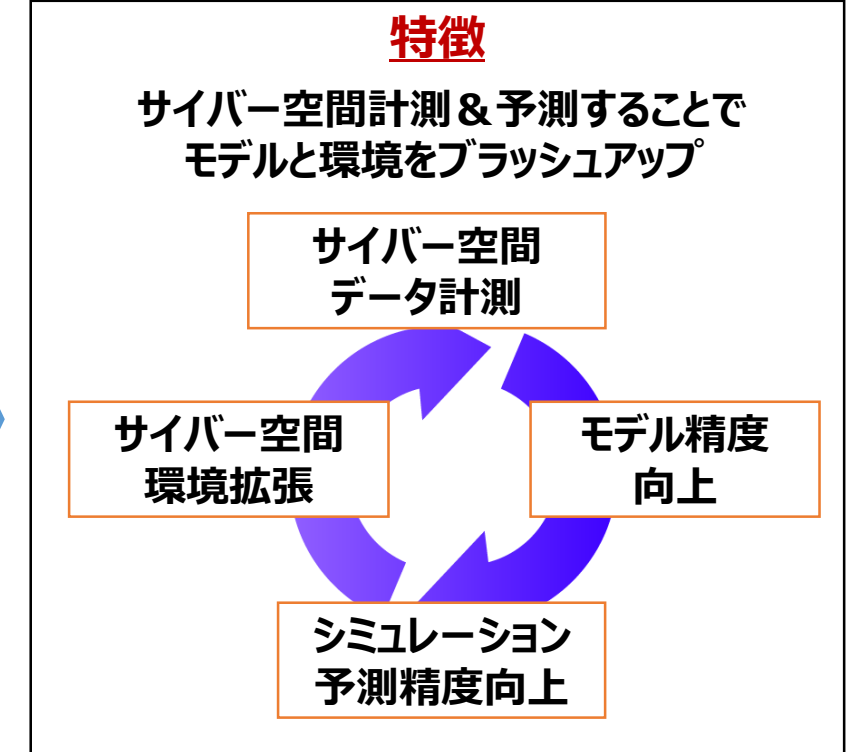
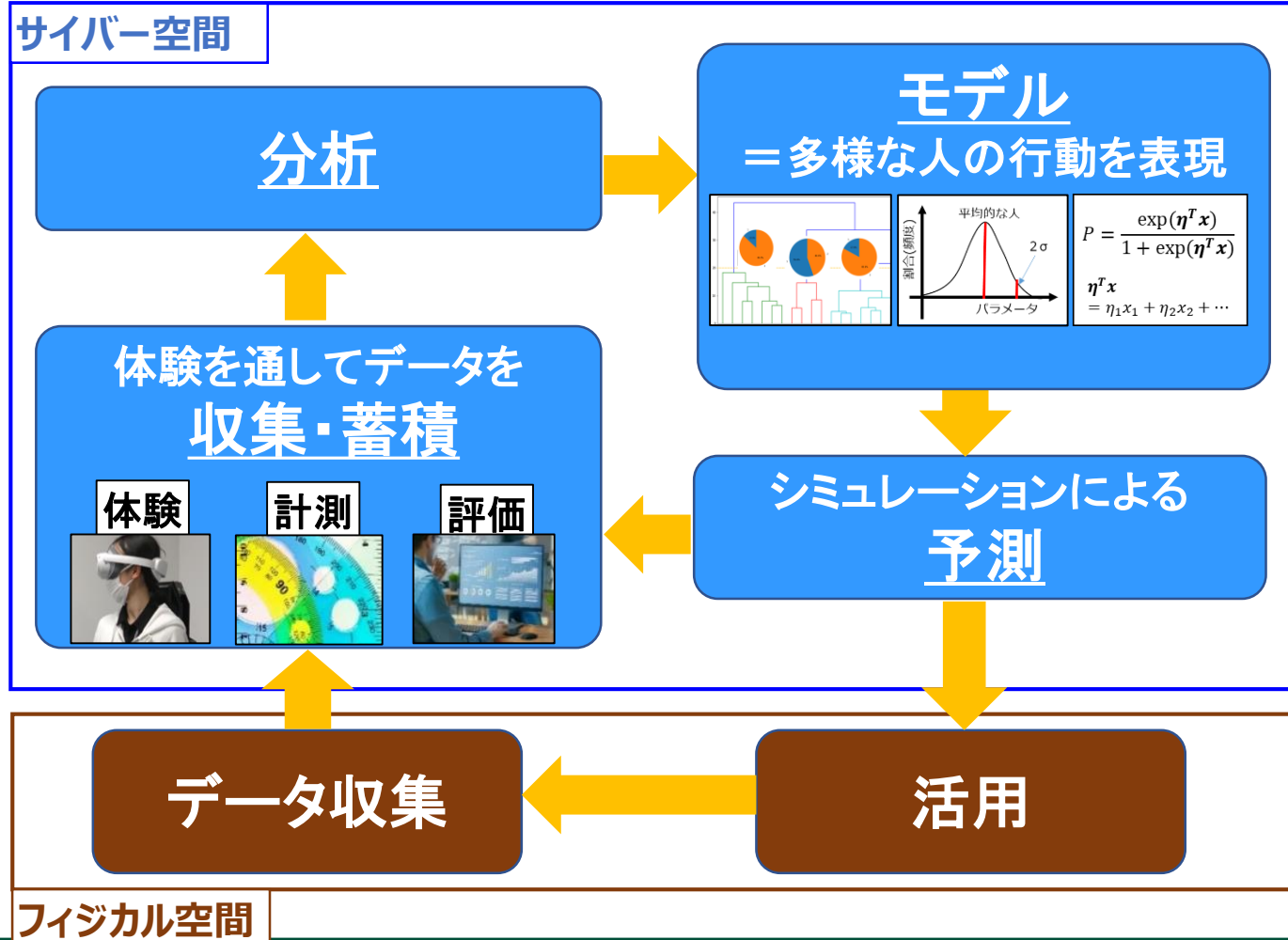
名大ートヨタテクニカルディベロップメント 指定共同研究

歩車混在デジタルツインP/F 指定共同研究



サイバー空間で、「行動計測」「評価」「体験・学習」

進化型デジタルツインコンセプト

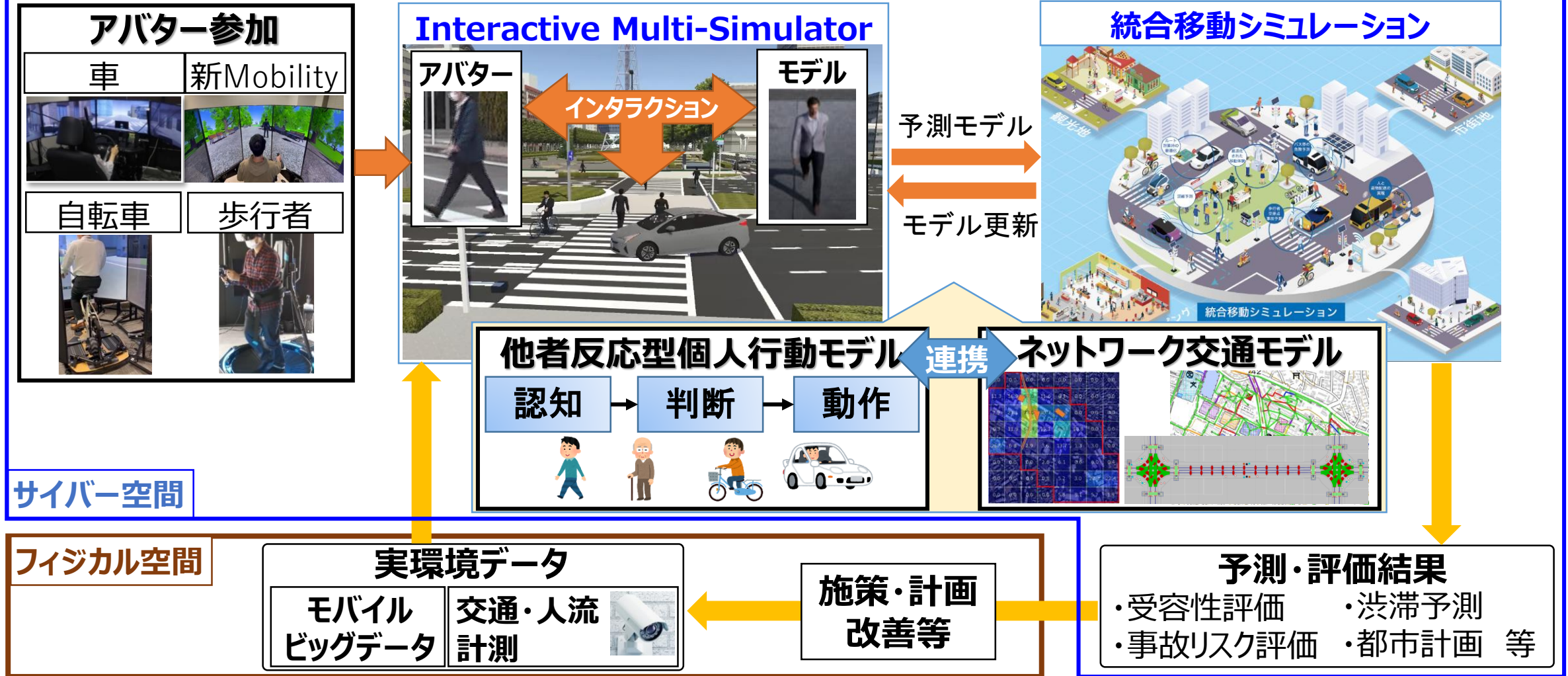


- ・モノからヒト中心な設計
- ・ヒト中心 Human-in-the-loop simulation
- ・多様な人のデータ計測 ⇒ 数理表現・定量評価



Digital Inclusive Mobility : 多様性のある仮想空間参加型移動環境

交通と人の行動をサイバー空間でリアルに再現 : 体験 ⇒ 計測 ⇒ モデル化 ⇒ 予測



Interactive Multi-Simulator : サイバー空間で体験を通じて人の行動を計測

人の行動は他者の行動によって変化 ⇒ インタラクションが必要

- ・モデル構築のためにはデータが必要
- ・実空間で俯瞰的かつ体験可能なデータを、再現性を持たせて計測することは不可能

複数の人が異なる移動手段(アバター)でサイバー空間で相互認識可能な計測環境

歩行者: VR+歩行デバイス



車両: ドライビングシミュレータ

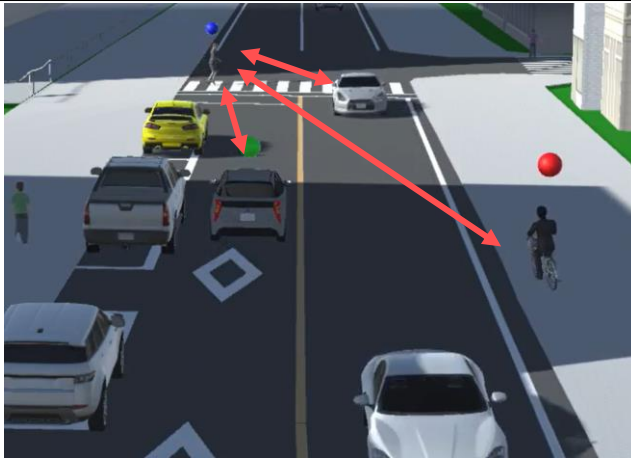
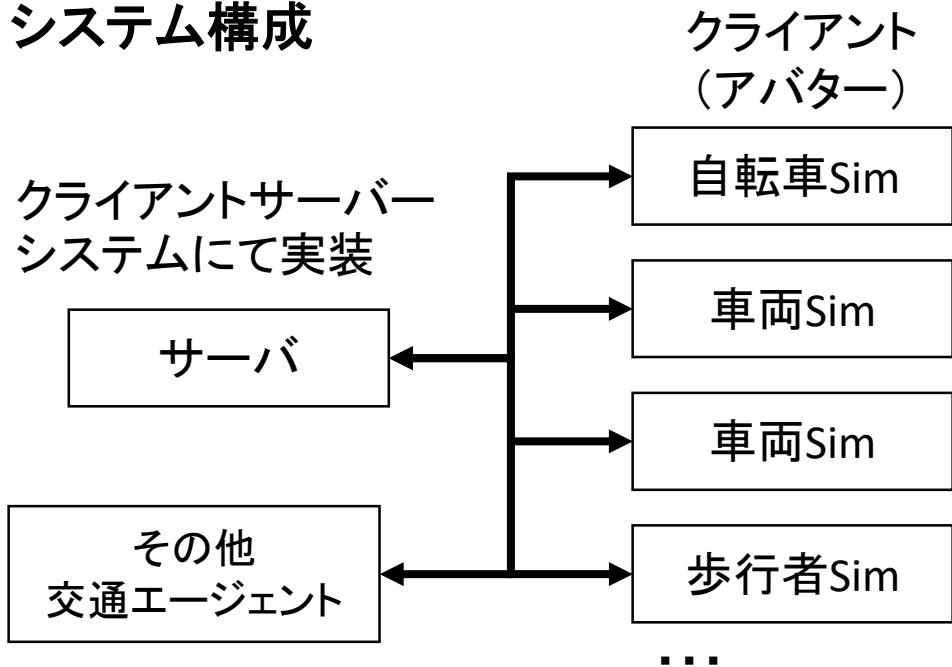


自転車: サイクリストシミュレータ



- ・危険なシーンの体験、計測が可能
- ・再現性: 時間、天候などの環境に依存しない
- ・お互いを視認可能

システム構成



- ・人の判断タイミングと、周辺交通参加者の位置関係が全てリンク
- ・視線が何を見ているかを計測可能
- ・アンケートと行動データを紐づけることで、受容性、心理分析可能

- ・自動運転車、他の交通参加者として評価(リスクや感覚)
- ・それぞれの立場で交通安全体験をし、バラつき・受容性評価

歩車混在空間での参加・体験型シミュレータ

車両視点



30 kph



Driving Simulator

歩行者視点

Virtual Reality
+
Walking devicePedestrian
Simulator

自転車視点



Cyclist Simulator

① 複数人同時に
仮想移動空間を共有

② 多拠点接続 (進行中)

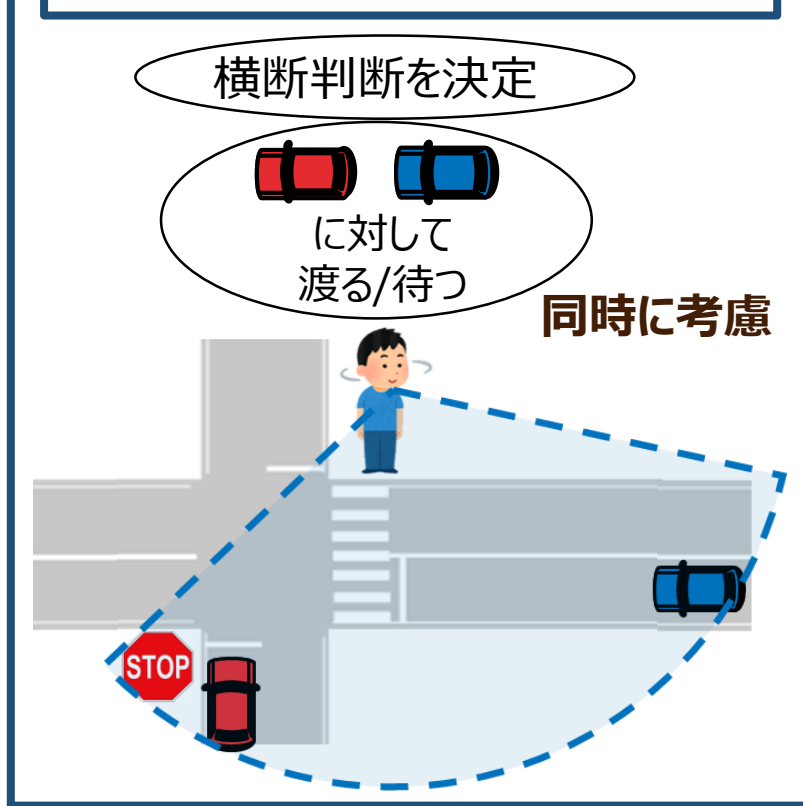
交通シミュレータ



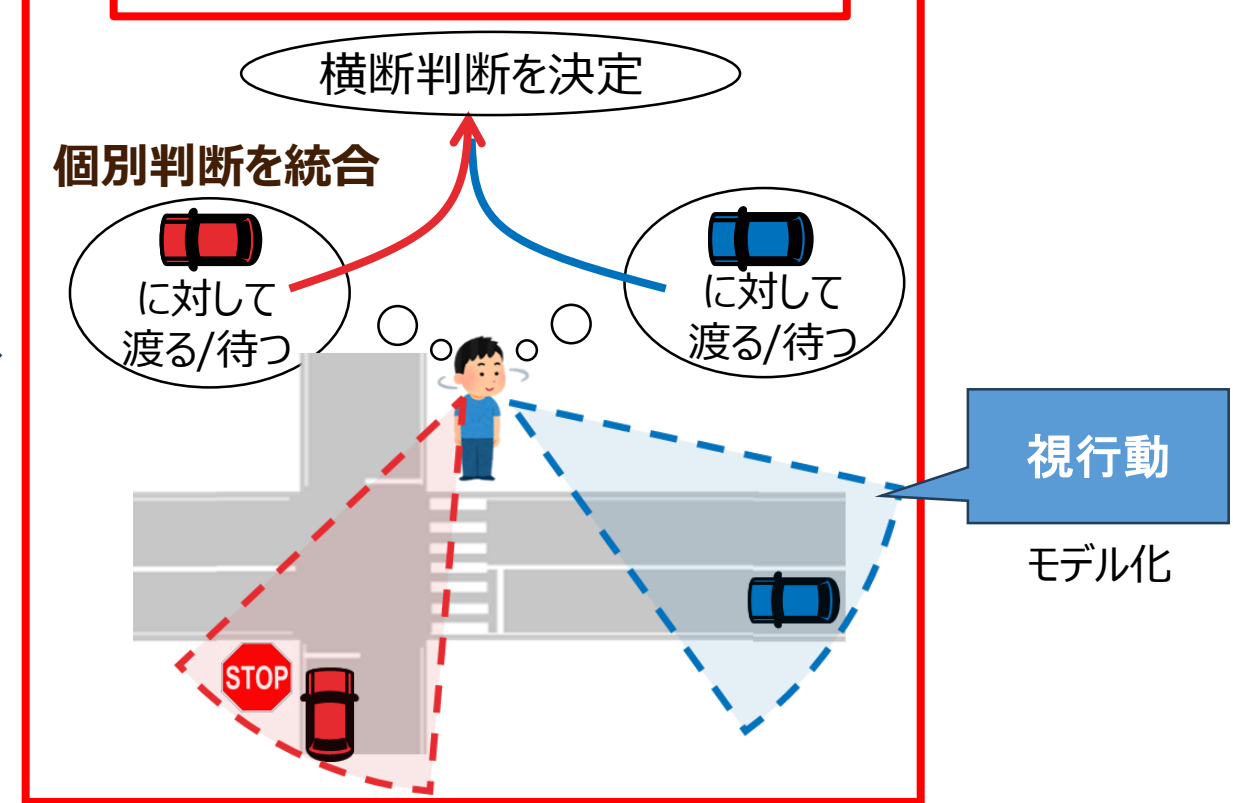
2021 自動車技術会秋大会発表
2022 IEEE SII発表
2023 IEEE ITSC発表

Dynamic Bayesian Networkを用いた 複数車両に対する個別判断の統合による横断判断モデル

一括判断モデル（従来モデル）



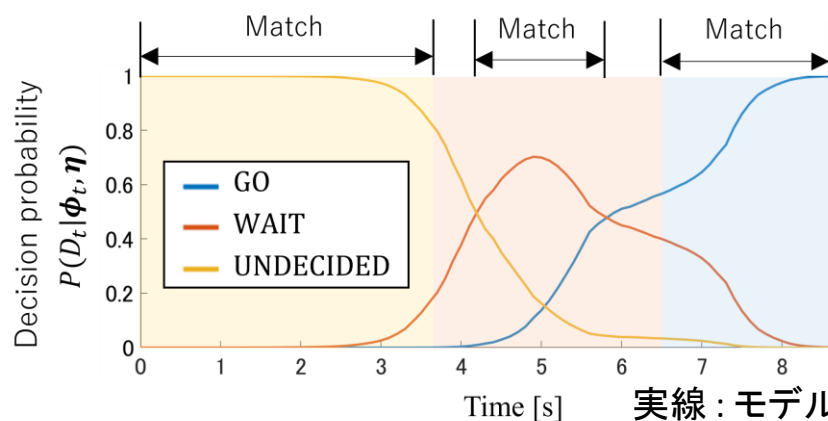
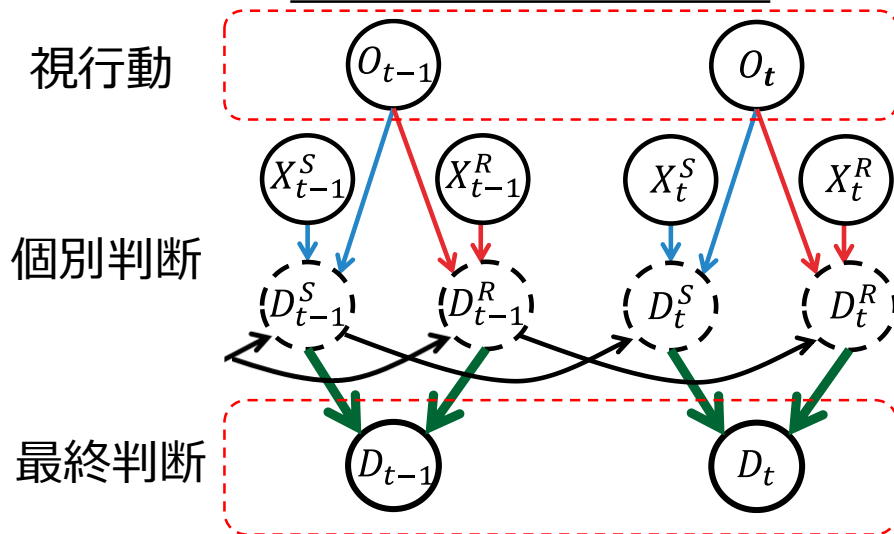
判断統合モデル（提案モデル）



個別判断統合のメリット：横断判断を**規模の小さいモデル**から表現可能

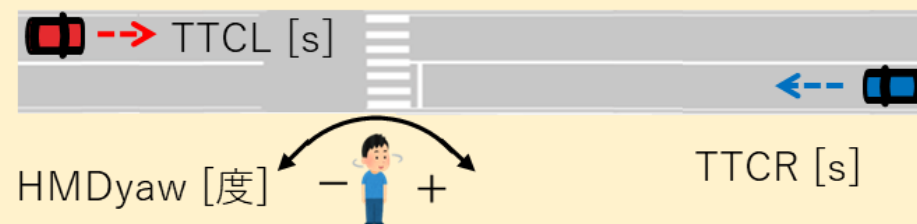
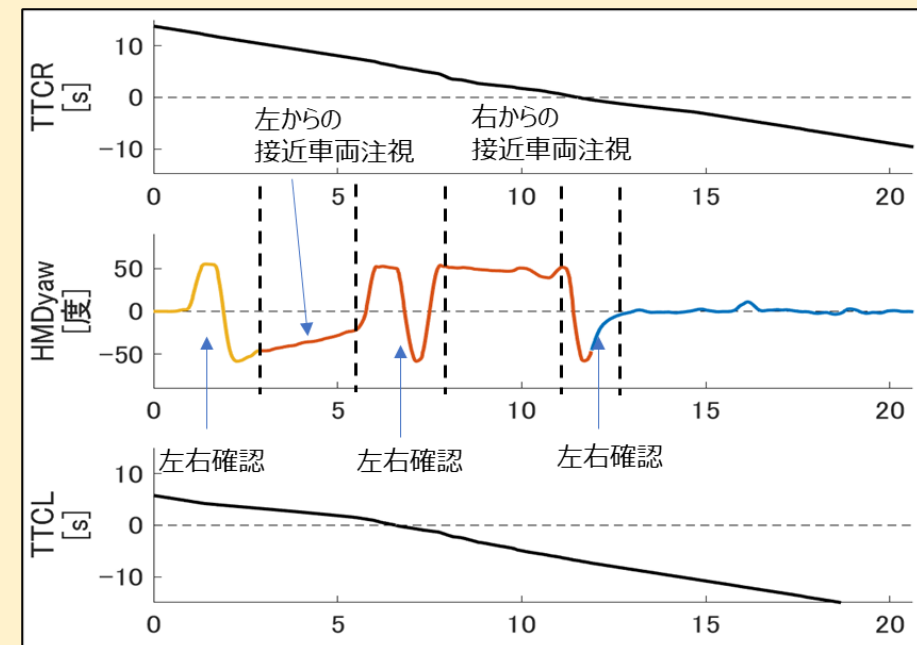
DBN型 認知・判断モデル

危険事象や事故の再現



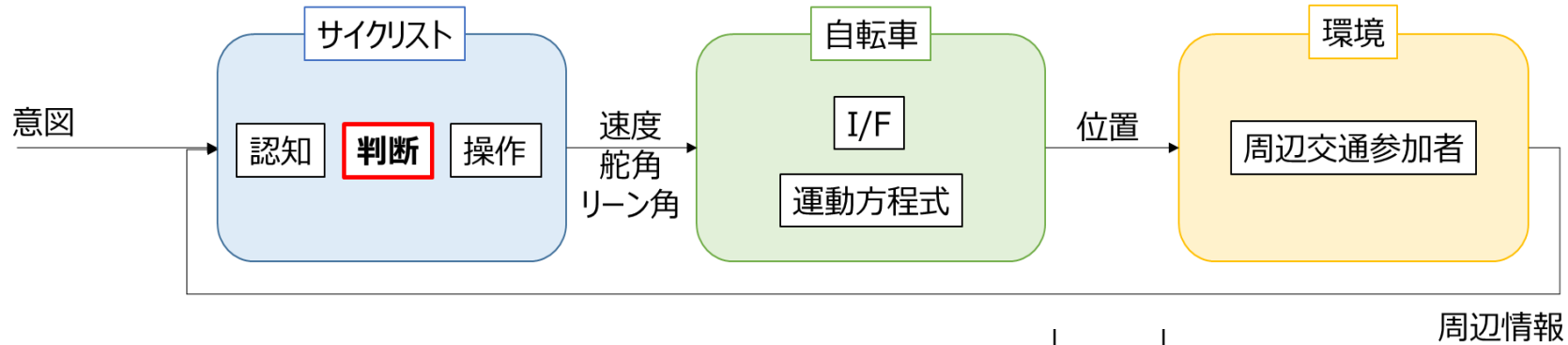
実線: モデルによる推定判断
背景色: 観測された判断

視行動は一定のパターンが確認でき、
車両との関係に応じて変化している



認知ミス再現: 不注視/観測誤差

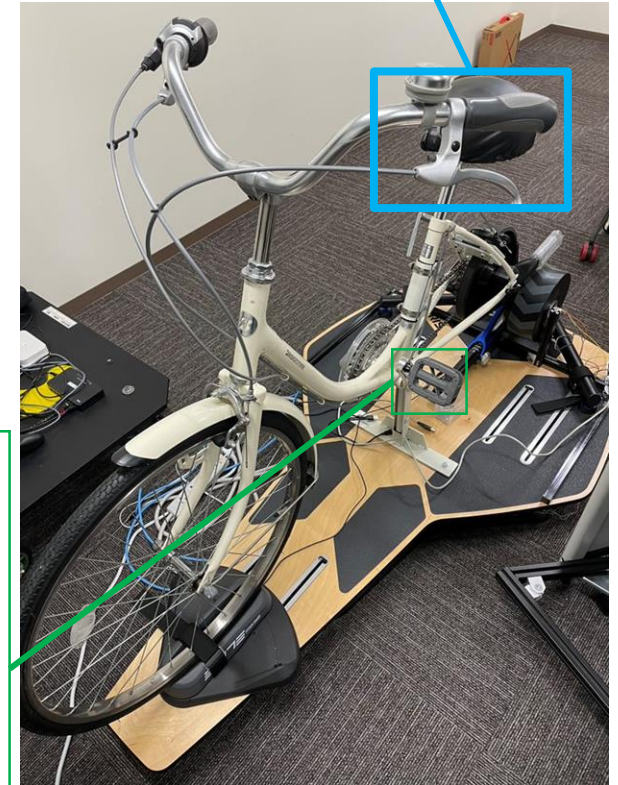
□ モデル構成とモデル化対象シーン：左折巻き込み



ペダル軸内蔵パワーメータ

ペダリングによる
速度調整

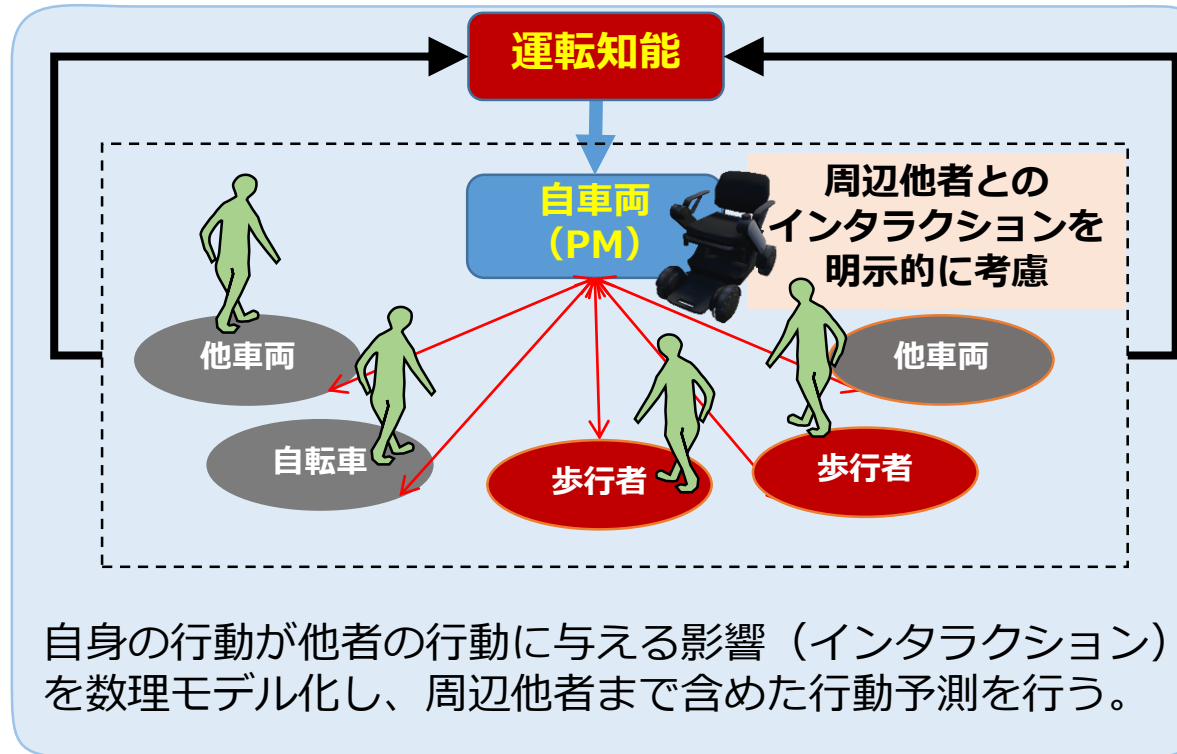
ブレーキによる減速



- ・マルチプレイヤー型シミュレータを利用してデータを計測
- ・自転車と自動車の左折巻き込みシーンにおけるサイクリストの加減速判断をモデル化

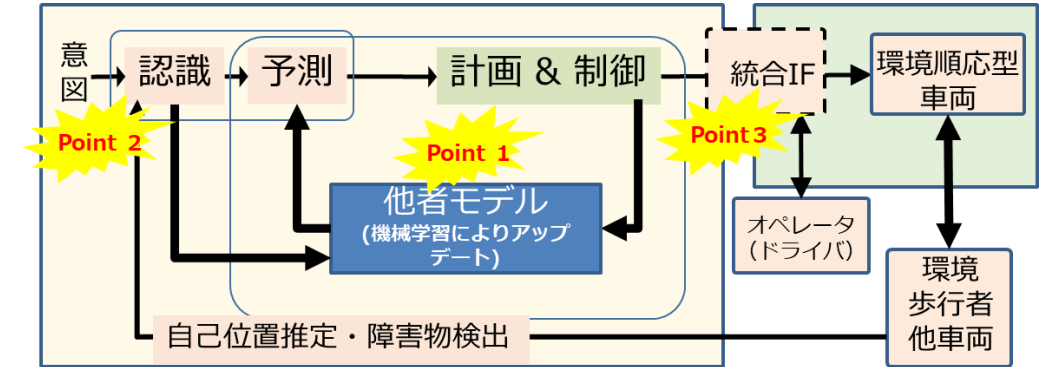
インタラクション予測制御

数理的な予測モデルを用いた“未来の”インタラクションの予測を用いて他者との関係性を制御する



他者の行動モデルを用いたMPCにより「相手への配慮」を実現する制御を実装

例：相手が迷う行動を取らない



相手の迷いの低減

周辺歩行者の意図(先行/待機)をモデルを用いて予測し、
他者の判断エントロピー(迷い)を低減することで

{ お先にどうぞ(待機)
お先に失礼(先行通過)

の行動を状況に応じて自然に使い分ける

自動車技術会 新連携創生センター モビリティ空間のグローバルな設計・検証におけるDX調査委員会

2024.4.1
活動開始

●設置趣旨

「人と調和し、共存する」次世代のモビリティ空間の設計・検証におけるデジタルトランスフォーメーション（DX）は待ったなしの状況にあり、その核心はシミュレーション技術、VR技術とデータ活用型モデリング技術（特に交通弱者の行動）にある。本委員会では各企業や大学の様々な領域の専門家が知恵を出し合ってモビリティ空間の設計・検証におけるDXの未来像を描き、共有することを目的とする。

●主な調査項目（随時追加）

- (1) 交通弱者のインタラクティブな行動データ計測とそのモデリング技術の動向調査
- (2) 交通弱者を含めた交通参加者間のインタラク션을再現可能なミクロ／マクロシミュレーション技術の動向調査
- (3) 多様な移動体の体験型VRシミュレータ開発の動向調査
- (4) シミュレーションやモデル化技術を駆使した自動運転／高度運転支援アルゴリズムの設計・検証事例の動向調査
- (5) シミュレーションやモデル化技術を駆使した新たな交通システム／サービスの設計・検証事例の動向調査

●参加メンバー

委員長：鈴木達也（名古屋大） 幹事：伊藤章（名古屋大）、伴和徳（TTDC）

委員の大学・企業：名古屋大、奈良先端科技大、トヨタ自動車、DENSO、豊田中央研究所、日野自動車、J-Quad Dynamics、本田技術研究所、マツダ、富士通、三菱電機、JR東海、日本自動車研究所、日建設計総研、トヨタモビリティ基金、Mathworks

・ 人間行動研究：科学的知見

- ・ 行動・インタラクション・ネゴシエーションの観測と解析，モデル化
- ・ 行動規範の深堀

・ 工学として

- ・ 運転知能（自動運転車・移動ロボット）の設計・検証・評価
 - ・ 新たな行動計画・制御アルゴリズムの研究と開発
 - ・ シミュレーションによる動作検証
 - ・ 人(アバター)による評価
- ・ 人の行動評価，
- ・ 統合シミュレーションによる交通インフラの設計と評価



Digital Inclusive Mobility : 多様性のある仮想空間参加型移動環境



**ユーザコミュニティの拡大による
モデル/シナリオ/アプリケーションの
多様化と共有：オープンエリア協調**

ぜひ参加ご検討ください！