

第13回アジア・太平洋研究会

「インド工科大学と取り組んだインドの交通渋滞の解決に向けたチャレンジ」

M²Smart: Multi Modal Smart city



インド工科大学(ハイデラバード校)



日本大学



名古屋電機工業(株)

全体概要

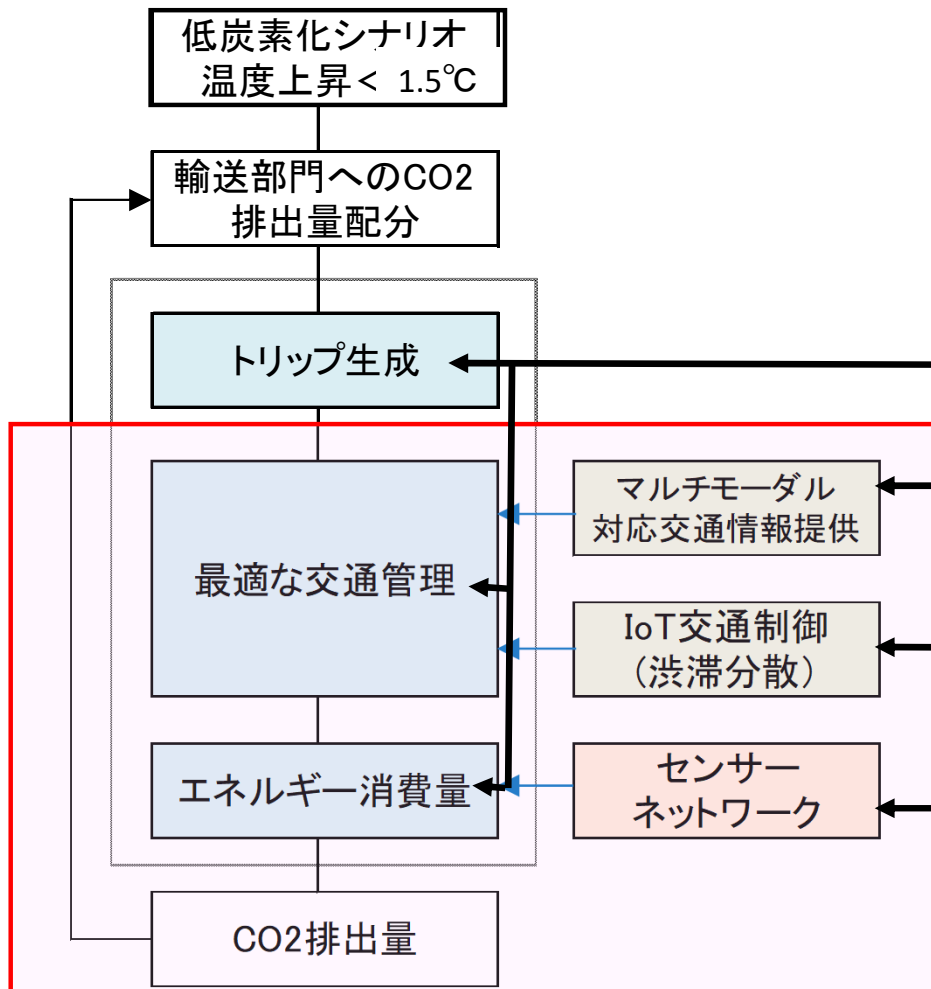
M2Smart

1. 研究の概要と目的

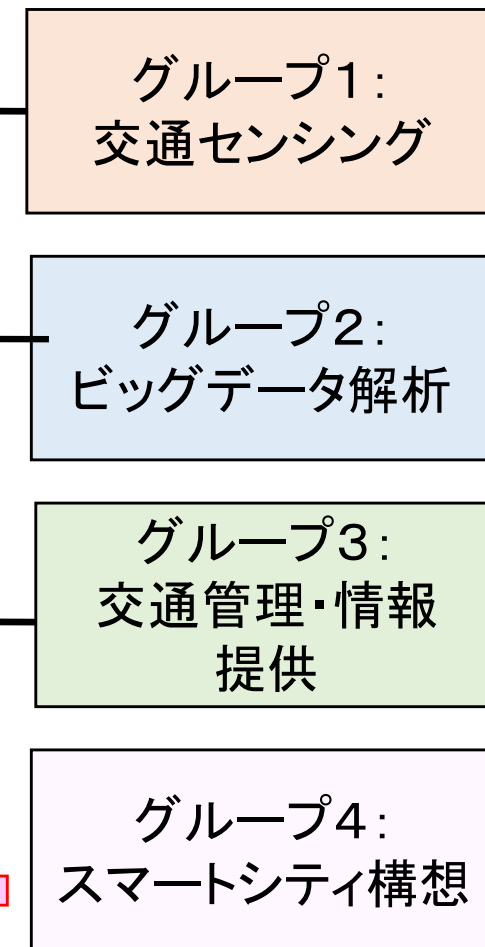
- 課題:「マルチモーダル地域交通状況のセンシング、ネットワークとビッグデータ解析に基づくエネルギー低炭素社会実現を目指した新興国におけるスマートシティの構築」
- プロジェクト構成
 - 日印産学協力（名古屋電機工業、日本大学、インド工科大学ハイデラバード校）
 - 活用応用技術
 - (1) 交通センシング（AI、ディープラーニング）
 - (2) ビッグデータ解析による現状把握（ミクロシミュレーションモデル）
 - (3) 交通管理・情報提供によるマルチモーダルへの交通分散
- 目的
 - 低炭素社会の実現を可能にする技術手法の統合
 - スマートシティ構築を目指す「ハンドブック」の作成

2. 取り組み内容全体

研究全体フローと位置付け (出典: 提案書)



グループと研究題目



3. 各研究課題の位置づけ

Leader
Co-Leader

グループ1 交通センシング

- ・ インドの交通状況に適合したマルチモーダル対応可能なセンシング、モニタリング技術の開発を行う
- ・ 二輪車を含む交通モードの正確な検出のためのセンシング技術、多種類の交通データから交通情報を生成する技術を開発する



Nagoya
NAGOYA ELECTRIC WORKS CO., LTD.

グループ2 ビッグデータ解析

- ・ 収集した交通データを解析し、AMDの交通状況を明らかにする
- ・ エコルート提供などによるマルチモーダルシフトの促進に寄与する要因の分析



グループ3 交通管理・情報提供

- ・ マルチモーダルアプリと情報板による交通情報提供により、モーダルシフトを促す。
- ・ センシング技術やアプリから収集されるデータをもとに交通行動変容の効果解析を行う。



Nagoya
NAGOYA ELECTRIC WORKS CO., LTD.

グループ4 スマートシティ構想

- ・ マルチモーダルの推進によるエネルギー消費量、CO2排出量の削減効果を検証する
- ・ インド都市でスマートモビリティを実現するためのセンシング、ビッグデータ解析、交通情報提供に関する術を示すハンドブックを作成する



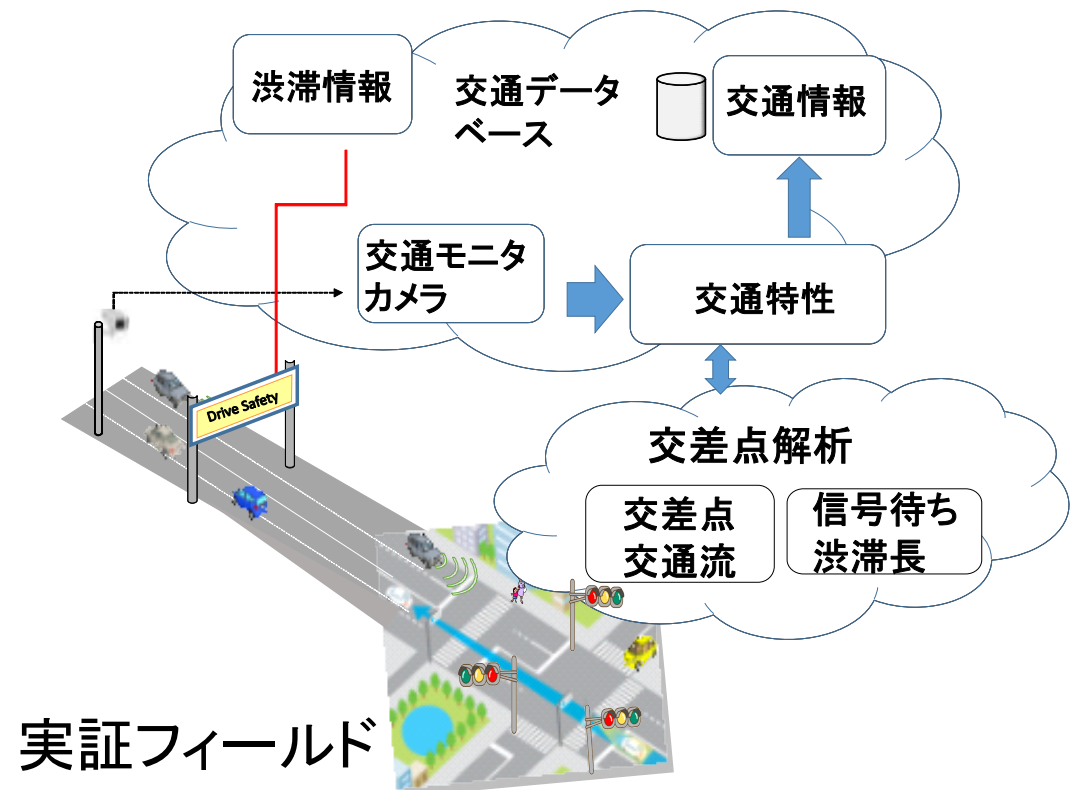
4. M2Smartの研究要素

センシング技術



ビックデータ解析

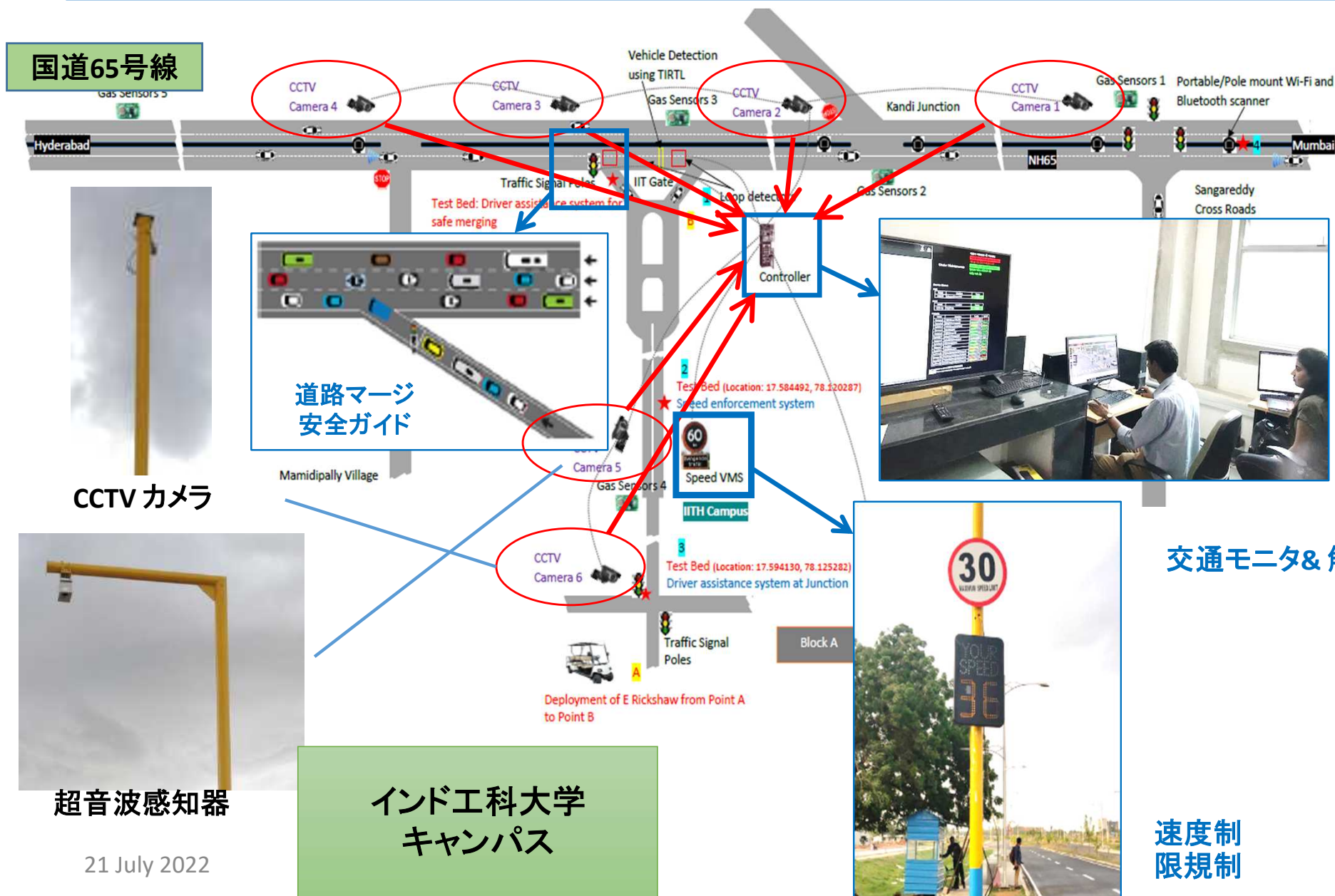
交通情報管理システム



実証フィールド

(IITHTestbed + アーメダバード市内)

5. IITHテストベッド



6. 実証フィールド環境

ポイント①(既存システムレンタル)ポイント②(プログラムにて設置)



カメラ10台の位置

VMS

VMSに設置されているカメラ

C

カメラ



矢印は交通量計測方向

カメラ・CCTVの導入箇所



Paldi交差点
(CCTV一台とカメラ4箇所)



交通情報を提供するVMS



Paldi交差点を中心とするシミュレーション評価対象範囲

Paldi交差点



メトロ (建設中)

BRT

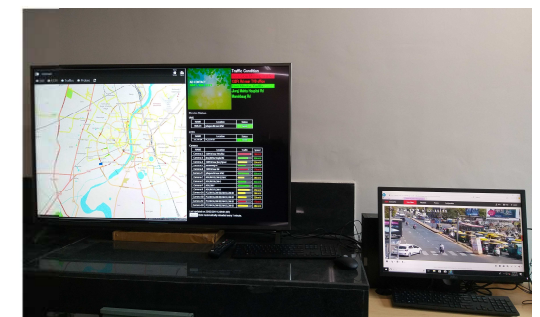
アーメダバード市ニュータウン地区(西部)

21 July 2022



交差点4Kカメラ

ポイント③(リモートモニタ)



交通解析リモート装置

7. 概要まとめ

- プログラムコンセプト:

マルチモーダル都市交通システム構築を目指し、

- センシング技術
- ビッグデータ解析と手法
- ネットワーク技術

を活用した新興国におけるスマートシティの実現

- アウトプット

低炭素都市交通を実現する“ハンドブック”作成

各グループ研究活動

M2Smart

8.1 グループ1 研究活動

M2Smart

グループ1の研究項目

- ✓ AIを活用した画像認識による高精度な計測技術開発
- ✓ 夜間の対応: ToFセンサを活用した3Dセンシングによる照明変動等に頑健な計測技術開発

①インド特有の交通への対応

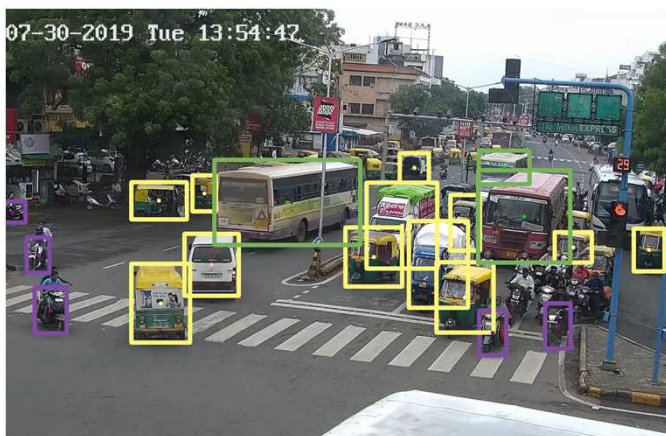
- ・ 車線に依存しない車両センシング
- ・ オート・リクシャー
- ・ 二輪車

②車両の重なりの問題 (Occlusion)

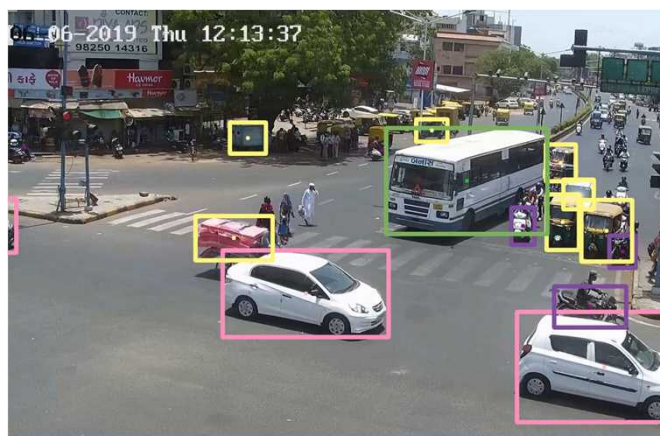
③360° カメラを用いた4方向認識

④交通解析(グループ2)のための交通量データ生成

※照明変動(夜間)への対応 >> TOFセンサーの活用



①②インド特有の交通
(リクシャー、二輪車、Occlusion)



③Paldi交差点における
360° カメラの視点(1.5倍速)



④夜間

スライド 12

セ3

セキヒロト,

グループ1 報告内容

①インド特有の交通への対応

➡AIを用いた物体検出(存在位置の予測)に基づく
交通量計測の検討

②車両の重なりの問題(Occlusion)

➡重なり領域を無視(Don't care)することによる
検出精度向上の検討

③360° カメラを用いた4方向認識

➡学習データを人工生成(Augmentation)することによる
検出精度向上の検討

④交通解析(グループ2)のための交通量データ生成

➡ドローン映像からの車両検出と追跡の検討

※照明変動(夜間)への対応

➡ToFセンサによる変動に頑健な検出の検討



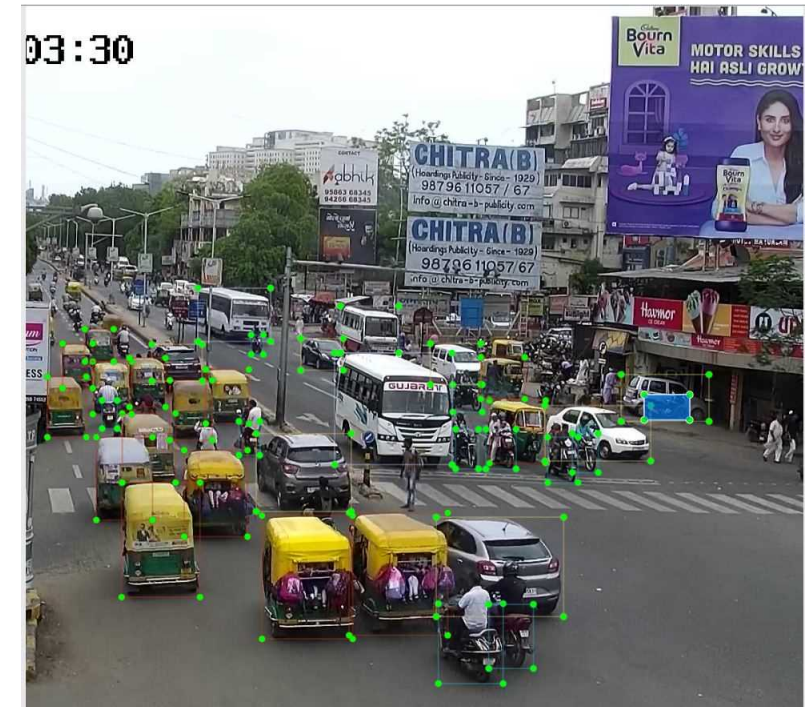
アーメダバード・Paldi交差点の交通量計測

AIモデル: 高速なモデルを採用 (物体検出・識別深層ニューラルネット)

- YOLO ...利用例が多い
- M2Det ...小さい物体により強い

学習データ: インド用のものを準備

- IDD(India Driving Dataset)
...インド情報技術大学提供
- Paldi交差点データ
...対象交差点データで
注釈付け(Annotation)を実施



Annotation (手作業で作成)

IDD	
クラス名	オブジェクト数
オート・リクシャー	32280
バス	9723
普通車	54258
バイク	63121
自転車	1420
トラック	15305

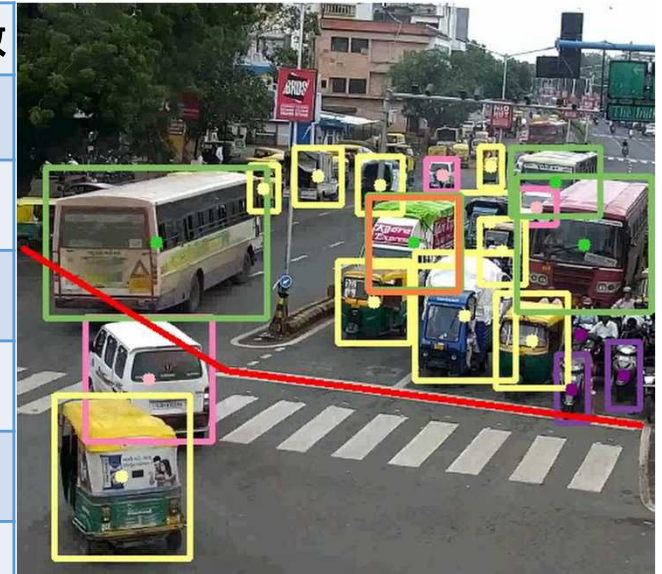
Paldi交差点データ	
クラス名	オブジェクト数
オート・リクシャー	784
バス	156
普通車	328
バイク	556
自転車	15
トラック	40

アーメダバード・Paldi交差点の交通量計測

学習に使用していない30分程度のPaldi交差点映像で精度検証

1. 映像からGround truth(A)を目視で作成
2. システムの計測出力Out result(B)に対して計測時の目視で誤計測を確認
3. 誤計測した分だけOut result(B)から除いてCorrect result(C)を算出
4. 計測できた割合(計測感度)を示すRecall (C/A)と計測精度Precision (C/B)を算出

M2Detモデル		リクシャー	バス	普通車	二輪車	トラック	総台数
Ground truth (A)		575	90	320	976	26	1987
IDD のみで学習	Out result (B)	405	71	352	1321	59	2208
	Correct result (C)	369	59	286	877	18	1609
	Recall(C/A) [%]	64.2	65.6	89.4	89.9	69.2	81.0
	Precision(C/B) [%]	91.1	83.1	81.3	66.4	30.5	72.9
Paldi交差点 データ のみで学習	Out result (B)	490	68	319	980	20	1877
	Correct result (C)	438	66	291	845	16	1656
	Recall(C/A) [%]	76.2	73.3	90.9	86.6	61.5	83.3
	Precision(C/B) [%]	89.4	97.1	91.2	86.2	80.0	88.2



⇒対象交差点のデータを用意することが重要
⇒リクシャーなどに対する精度向上が必要¹⁵

重なり画像に頑健な車両検出方法の検討

■ 課題と目的(重なり画像(occlusion)対策)

- インドにおいて典型的な車両の凝集による車両の重なりが高頻度に発生、画像認識による車両検出精度が低下、リクシャーなど小型車両の計数精度に影響
- 検出目標80%実現のために、車両の重なり状況下の車両検出精度向上の研究を新たに開始。



バイクとリクシャー
の重なり例

■ 2019年度の成果と今後の課題

- 重なり領域を検出時に無視(Don't care)する方法を提案。
YOLOに適用するも顕著な効果を確認できず。
- 2020年度は、上記原因を分析・修正し、Paldi交差点で採取したサンプル映像を使って効果を確認する。



重なり部分を無視
した機械学習

重なり画像に頑健な車両検出方法の検討

■ 実験結果と考察：学習データに対するDon't care設定

- Don't care部分に対し、'0(ゼロ)'を付与して学習

	正検知率	誤検知率	確率平均
Don't Care部分あり	76.7%	2.1%	93.0%
Don't Care部分なし	83.3%	0.0%	95.3%

- YOLOに適用時、「車種判別」以前の「車両検出」部分で不具合発生。
- '0(ゼロ)'付与の場合、当該部分が黒の車両を学習することと等価であることを確認(右上写真)。



重なり部分が黒(0)のときに高い確信度

■ 対策：AI(物体検出)モデルに対するDon't care設定

- 「車両検出」の確率計算時にDon't care部分を無視するような方法に修正。重なり部分が何であっても構わない本来のアイデアを実現する。



ある程度検出できているが存在領域が不安定化(現状)

学習データの人工生成による車両検出性能向上

- 深層学習における学習パフォーマンスは利用したデータ数に大きく依存する。アウトドア環境では、認識対象の動きや日照変動が大きく、全てのバリエーションのデータを確保することが困難。未収集データの検出・識別性能が劣化することが知られている。
- 車両検出・識別精度目標80%実現のために、学習用データの人工生成が車両検出・識別問題に有効か否かを検討。
- 収集データに対し、明度、彩度、回転を付与してデータを人工生成



- 学習に追加することで**再現率**、**誤検知率**ともに**改善**を確認。

※人工生成に関して、次のスライドで説明

学習データの人工生成による車両検出性能向上

学習データの人工生成 (Augmentation) による車両検出性能向上

	再現率 (正検知数/正解数)	誤検知率 (誤検知数/検知数)
①小数データ(250)	46% (38/82)	2.5% (1/39)
②小数データから人工生成(17,800)	70% (58/82)	1.6% (1/59)

データ人工生成による
Paldi交差点における
車両検出改善例



①小数データ



②小数データから人工生成

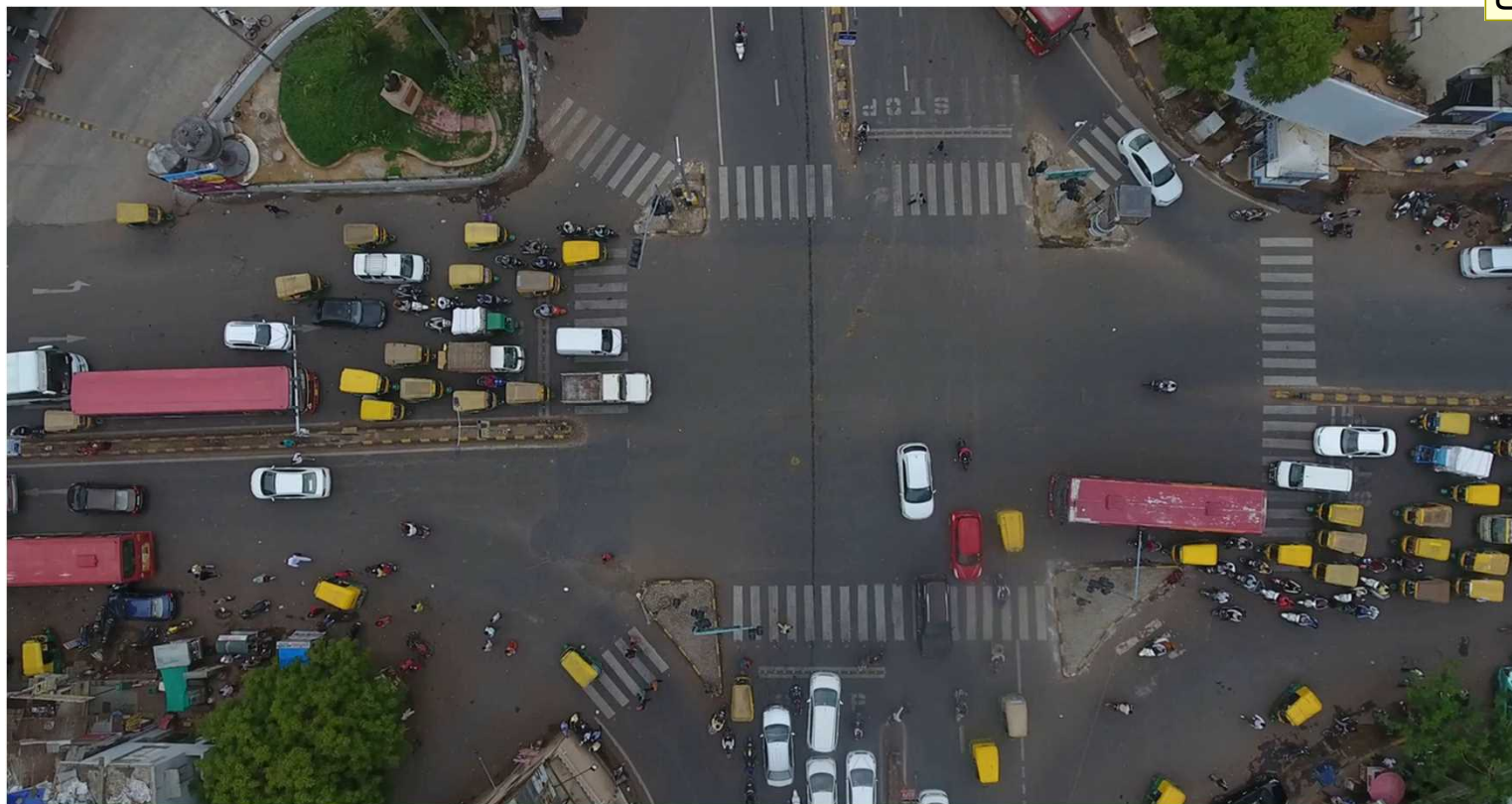
データ人工生成により
新たに検出可能
になったリクシャー例



隠れの一切ないリクシャーでも
学習していないと検出できない
ケースがあったが、
人工生成で検出可能に。

ドローン映像を活用した車両検出と追跡

- 上空からの映像は変動のバリエーションが少ない
 - AIモデルによる高精度な車両検出と追跡が期待できる



- グループ2で行う交通解析の入力データ生成に活用
- データセットとして公開 [<https://github.com/debadityaroy/SkyEye>]

スライド 20

セ1

IITH成果については、適宜変更いただいて構いません。
セキヒロト,

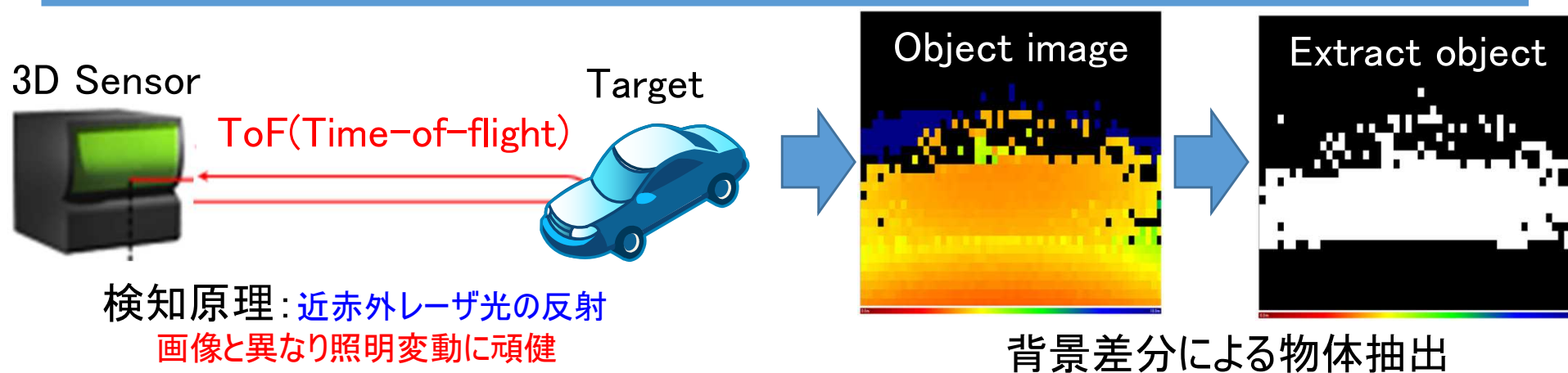
ドローン映像を活用した車両検出と追跡②

- 上空からの映像は変動のバリエーションが少ない
 - AIモデルによる高精度な車両検出と追跡が期待できる

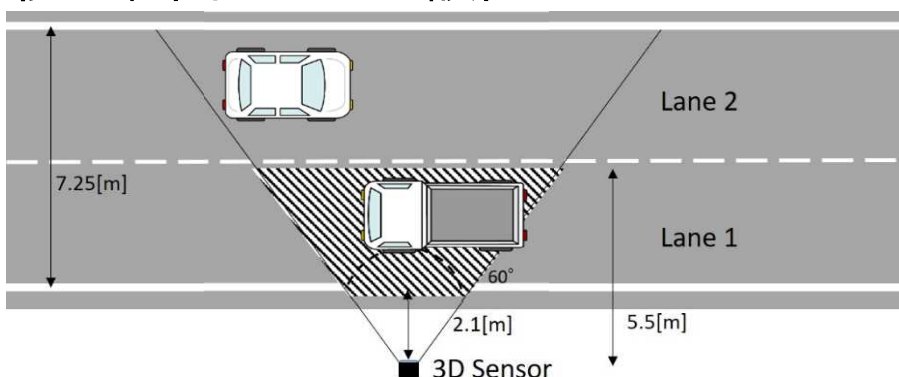


- グループ2で行う交通解析の入力データ生成に活用
- データセットとして公開 [<https://github.com/debadityaroy/SkyEye>]

夜間への対応：ToFセンサ(3Dセンサ)による車両検知



検知範囲とセンサの設置：



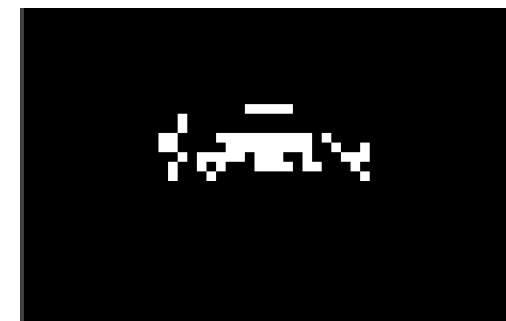
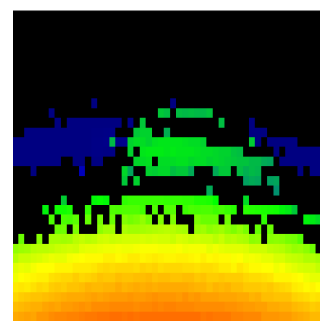
路側に設置し、**奥側対向車線を含む2車線**までの車両検知が実現できた

車両検知率：

手前側車線： **9割以上**

奥側車線： **8割以上**

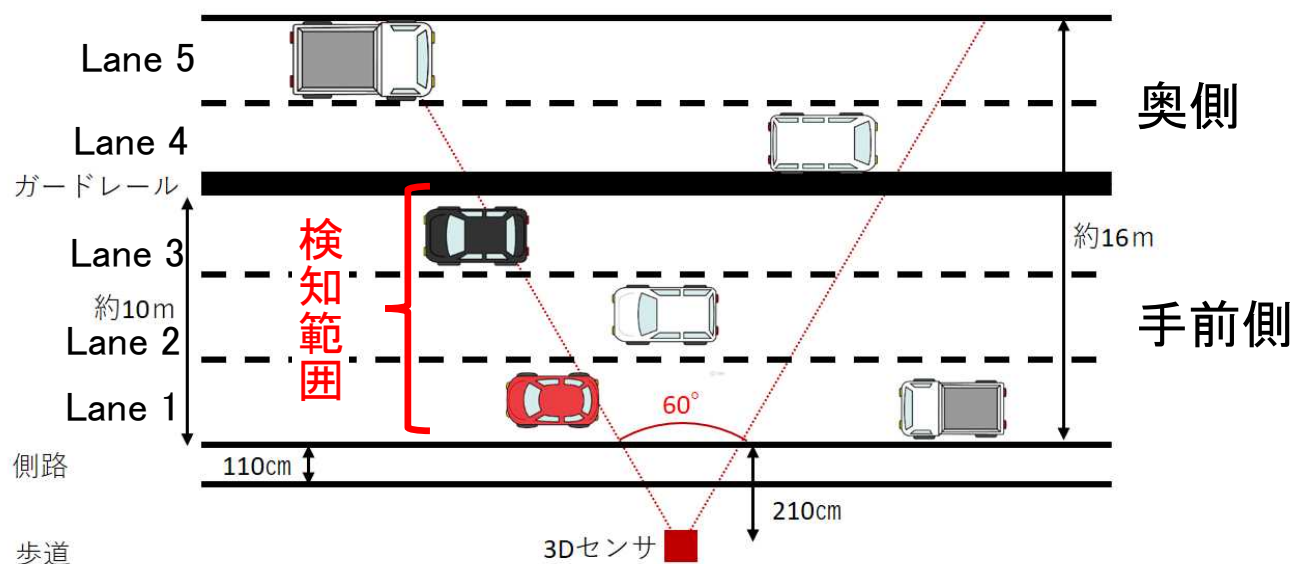
奥側車線車両
検出イメージ



夜間への対応：ToFセンサ(3Dセンサ)による車両検知

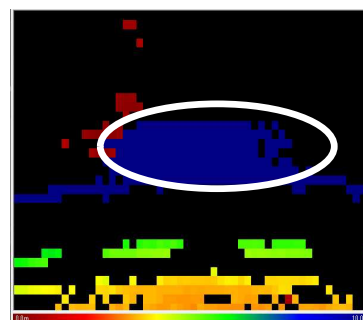
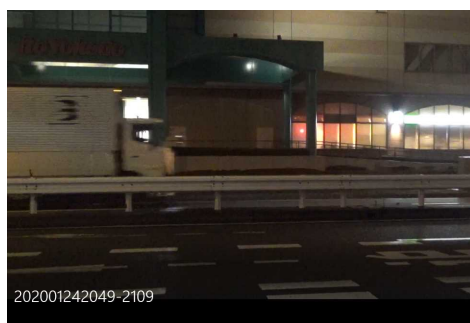
片側複数車線への展開

実験場所
(国道16号線)

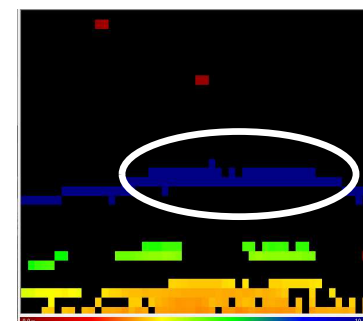


検知範囲の確認:

奥側
Lane 4



奥側
Lane 5



Lane5では3Dセンサの有効範囲(15m)を超えたため、検出できず

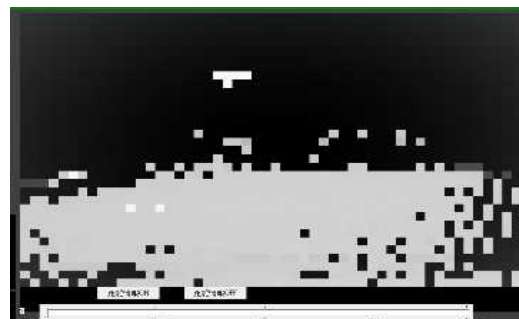
夜間への対応：ToFセンサ(3Dセンサ)による車両検知

片側複数車線にて車両検知の確認実験

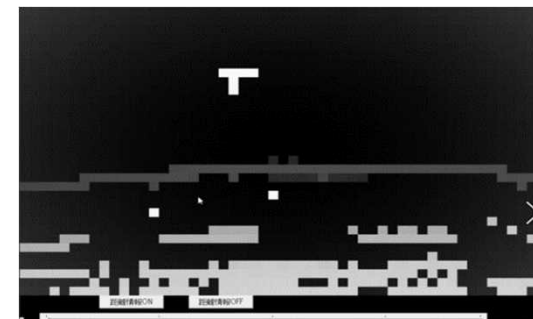
手前側
Lane 1



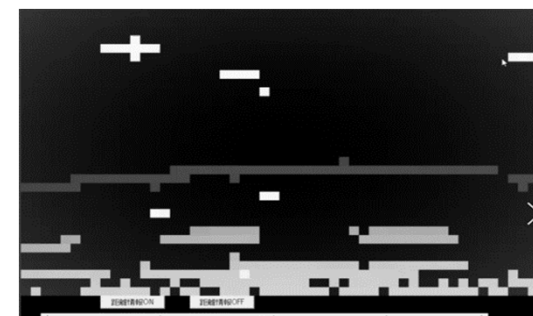
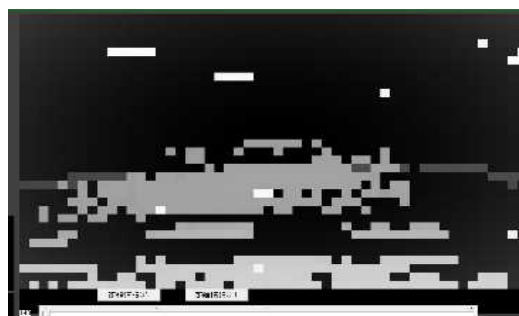
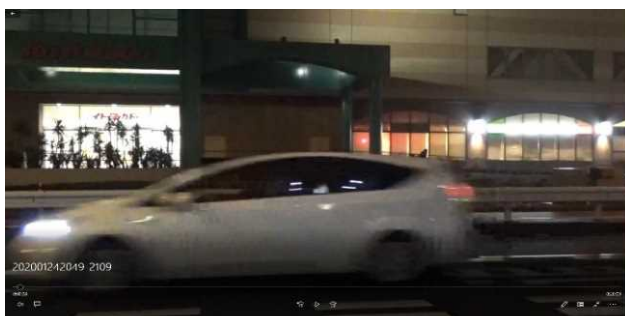
静止画



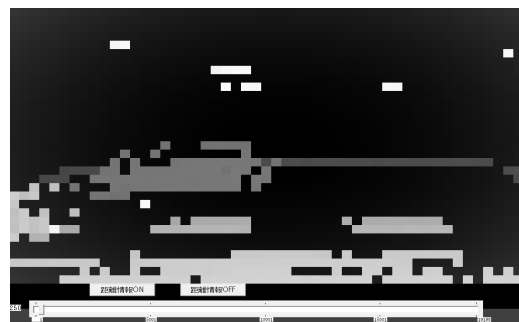
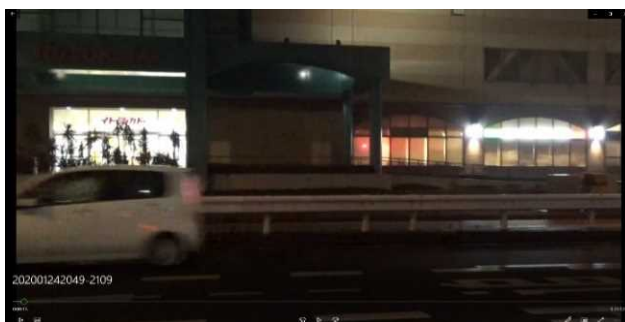
動画



手前側
Lane 2



手前側
Lane 3



一部の実験データでの確認結果：

手前側のLane1では、**9割以上の検知率**だが、Lane2は**8割**、Lane3は**5割以下**

今後は**実験データを増やし**、**誤検知・未検知に関する検討**が課題である

グループ1 まとめ

【成果】 ①アーメダバード・Paldi交差点の交通量計測

→総合的には概ね計測精度80%を達成できた

④ドローン映像を活用した車両検出と追跡

→交通解析を行うのに有効な交通量データを生成できた

✓ 夜間への対応ToFセンサ(3Dセンサ)による車両検知

→夜間への対応が可能で複数車線も検知できる見込みがある

【課題】 ①アーメダバード・Paldi交差点の交通量計測

- ・リクシャーなどの検出精度向上と、より現地に適合した計測方法を再検討
- ・モデルの学習用に、車両検出のための一般的な大規模データセットと、
現地特有の小規模データセットを組み合わせる方法の検討
- ・計測精度を検証するためのデータのバリエーション増加

②重なり(Occlusion)に頑健な車両検出方法の検討

③360° カメラを用いた4方向認識(車両検出性能)の向上

④ドローン映像を活用した車両検出と追跡

複数車線も検知の精度向上に向けた改善が必要

8.2 グループ2研究活動

M2Smart

グループ 2 報告内容

①交通ビッグデータの解析技術の開発

→時系列分析、交通状態推定モデル、AIなどを用いたビッグデータ解析技術を開発

②実交通ビッグデータを使った交通解析精度の向上

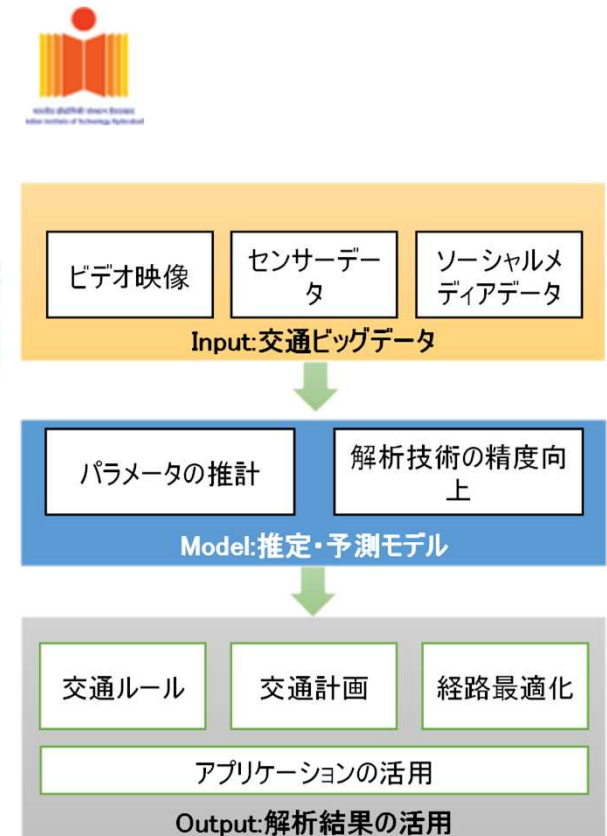
→IITHテストベッドで収集されたデータに適用し精度の向上を図った

③マルチモーダル交通に利用可能な交通情報収集と解析技術の検証

→アーメダバードで収集したビッグデータに適用

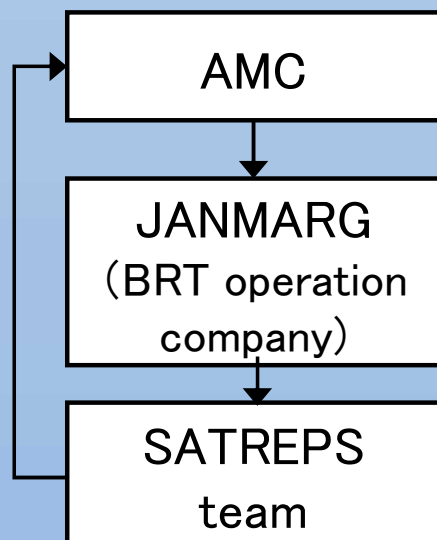
④アプリケーションの開発

→交通状態に影響を与える要因を踏まえ開発



交通ビッグデータ解析結果のフィードバック

データ取得と
フィードバック



Input: 交通ビッグデータ

BRTの運行データ(走行軌跡データ)

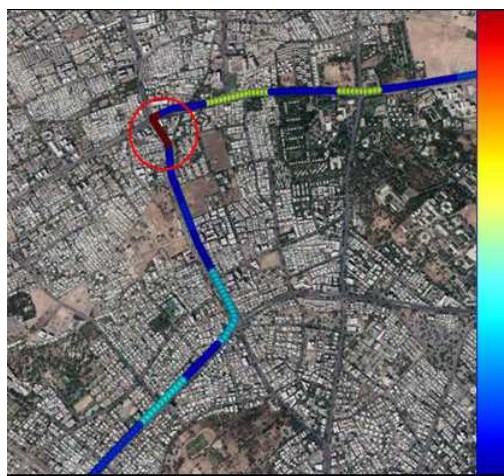
Model: 推定・予測モデル

GIS解析

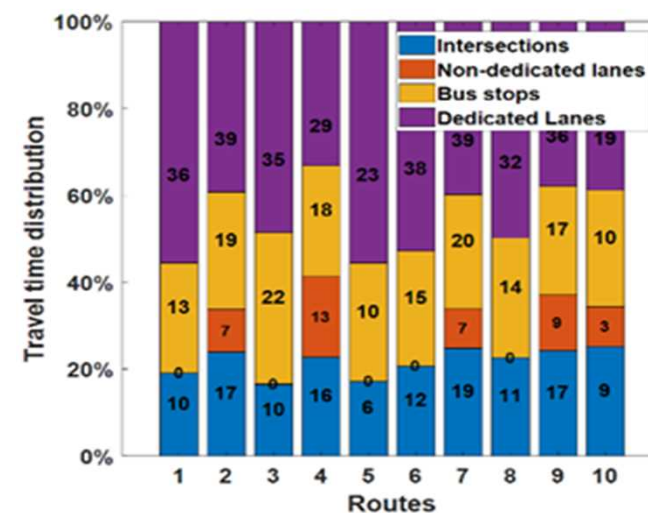
Output: 解析結果の活用

走行速度の遅れが生じている区間の視覚化と道路構造の関係を明確化

(a) 遅れが発生している区間

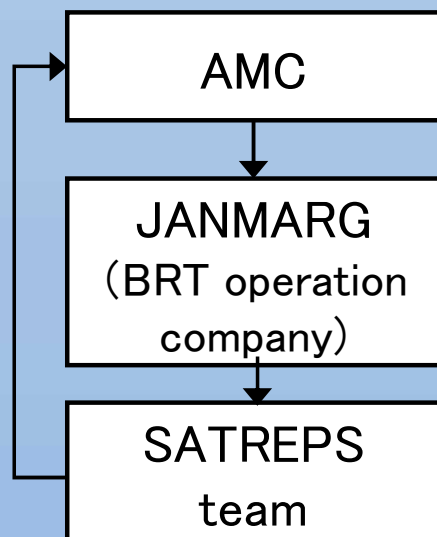


(b) ルート上の遅れの原因となる区間の把握



交通ビッグデータ解析結果のフィードバック

データ取得と
フィードバック



Input:交通ビッグデータ

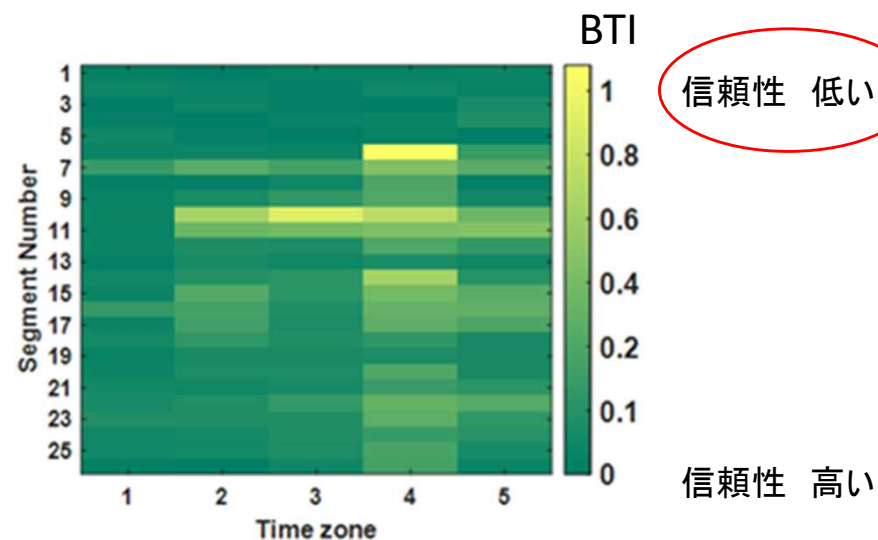
BRTの運行データ(走行軌跡データ)

Model:推定・予測モデル

包絡線分析(DEA)

Output:解析結果とその活用

- 旅行時間信頼性指標(BTI)を区間別に時間帯別に算出し、信頼性が低下している区間を抽出
- 低下区間の道路構造改善、制御方式の改善



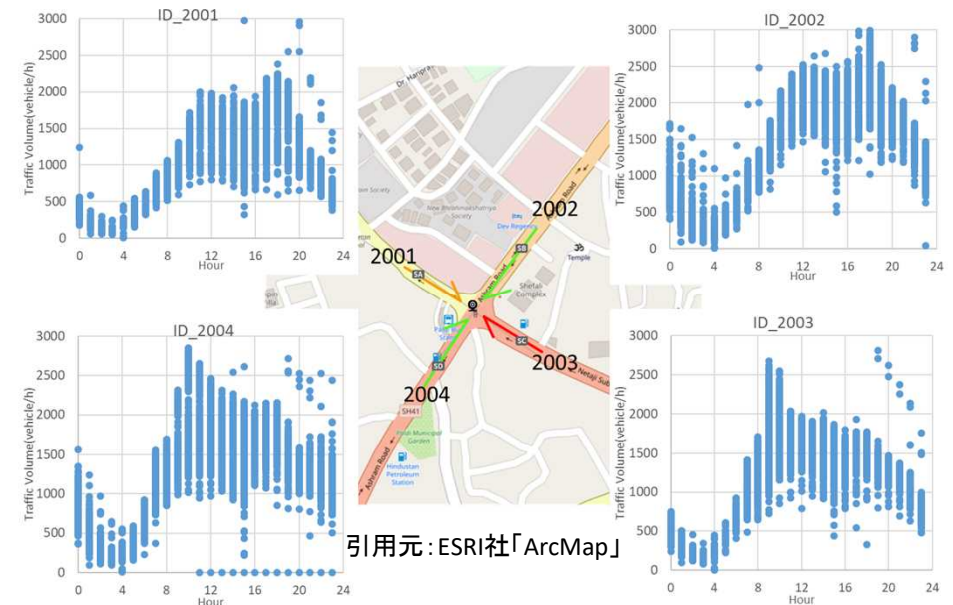
交通マネジメントに向けたビッグデータ解析

Input: 交通ビッグデータ

- 交通カメラにより常時観測された交通量データ
- 大気環境モニタリングデータ



例: パルディ交差点の交通量の時間的推移



引用元: ESRI社「ArcMap」

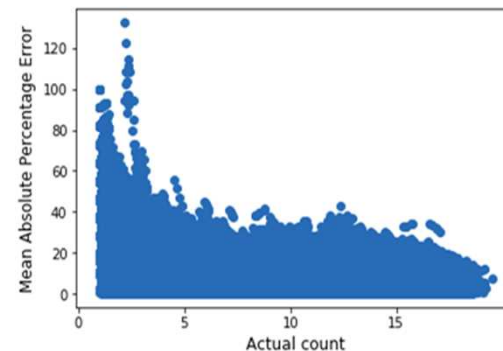
地域交通データの傾向把握
＋
大気環境データ(次ページ)

交通マネジメントに向けたビッグデータ解析

Model:推定・予測モデル

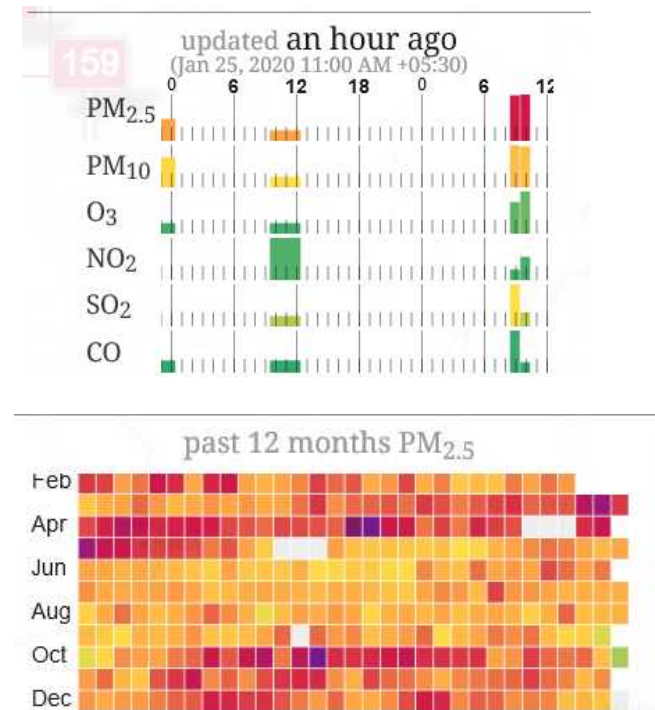
- ディープラーニングによる交通状態の短期予測(LSTM)

RMSE	2.72
MAE	1.82
MAPE	24.69%



5分間交通量の予測結果と精度

- アーメダバード市大気環境指標(AQI)と交通状態との関連付け



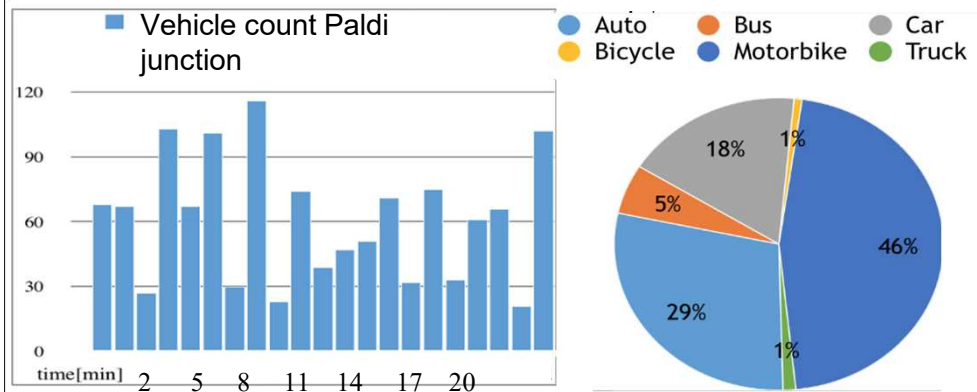
Output:解析結果とその活用

- 過去のAQIデータと速度データを利用することで、AQIの予測精度(RMSE)が大幅に改善された
- 速度データとAQI指標の関連を分析し、大気環境改善に必要な交通改善量を見出す

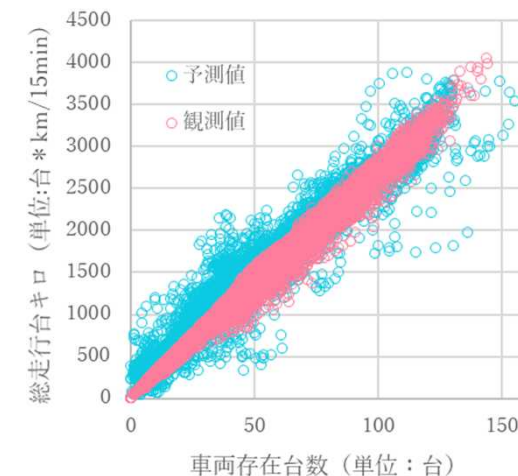
パルディ交差点の交通解析

Model:推定・予測モデル

- 交通量の長期予測
パルディ交差点およびカメラ設置点
全体の交通量特性を把握



- 交通量の短期予測(パルディ交差点
MFDの予測(18時間先まで))



Output:解析結果とその活用

- 短期予測データの活用により交通制御の改善に応用
- 交通量の変動幅を考慮することでミクロ交通シミュレーションにおける再現性検証の精緻化

スライド 32

坪井1

坪井 務,

CCTV交通カメラによる交通量解析例

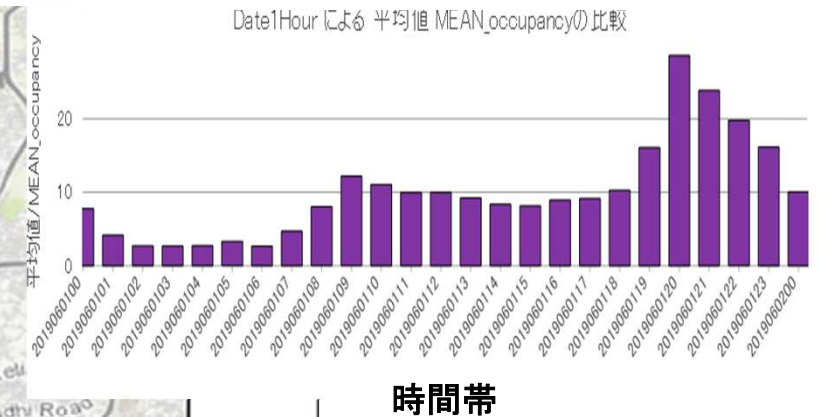
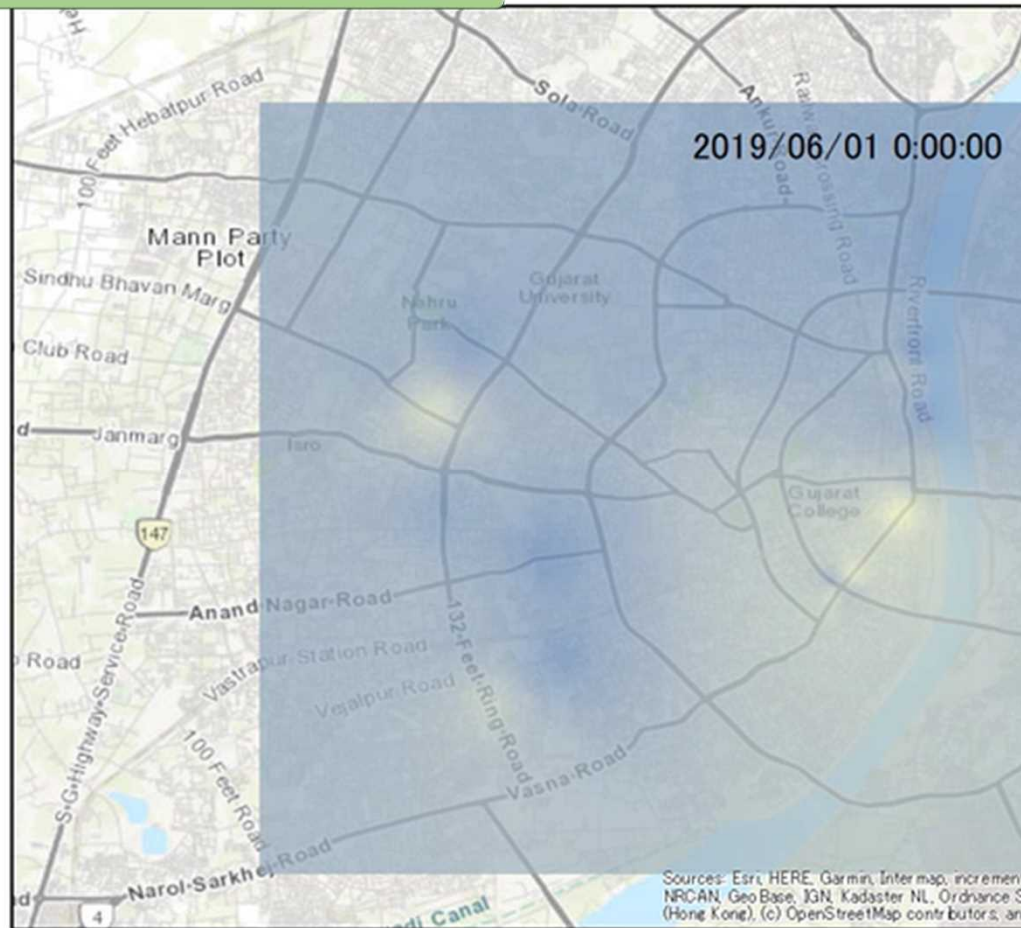
2019年6月のおける毎時占有率の変化(0時～23時まで)

Output:解析結果とその活用

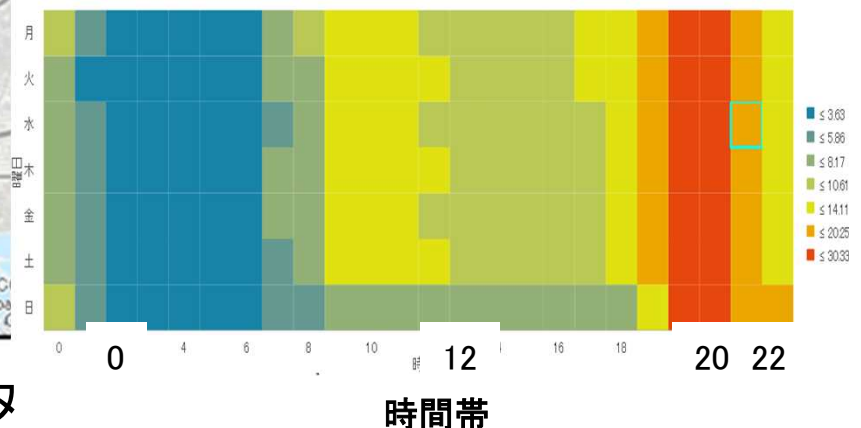
※表示は6月1日なるも1ヶ月分

占有率(%) 占有率バーチャート(2019年6月1日)

Date1Hour による 平均値 MEAN_occupancyの比較



曜日 占有率ヒートマップ(2019年6月1ヶ月)



Source:アーメダバード市内CCTV配置によるデータ

交通解析パラメーター（例）

Model: 推定・予測モデル

交通渋滞キーパラメーター

$$OC = 100 \frac{q}{v} \bar{l} \quad (\%)$$

占有率 (OC: Occupancy) %

交通量 (q : traffic volume) veh/h

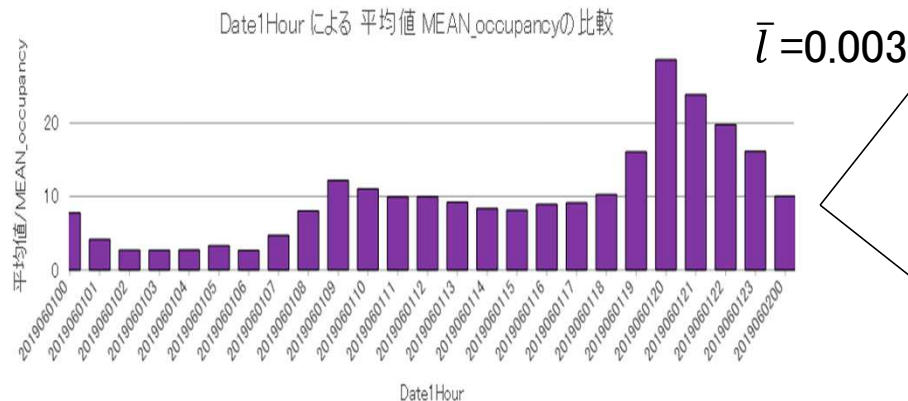
トラベル時間 ($= 1/v$)

h/km

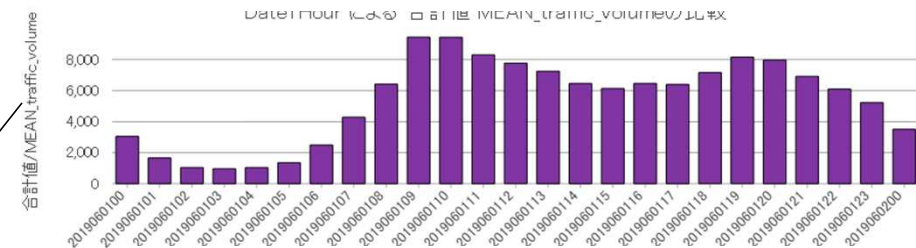
平均車両長 ($\bar{l}$)

km/veh

占有率バーチャート(2019年6月1日)



交通量バーチャート(2019年6月1日)



トラベル時間バーチャート(2019年6月1日)



グループ2 まとめ

- 【成果】
- 交通状態（交通量、混雑の傾向、混雑ポイント、公共交通の運行効率性把握）
 - アーメダバード市交通カメラによる交通量の把握
 - 交通量と大気環境指数との関係把握
 - 公共交通（BRT）運行解析と実態の把握

➡ AMDのビッグデータ、IITテストベッドのデータを用いて時系列分析、交通状態推定モデル、AIなどを用いたビッグデータ解析技術を開発し、交通状態をすることが可能となった。

- 【課題】
- 二酸化炭素排出量推計に影響を及ぼす交通要因の把握

➡ 引き続き、アーメダバードのビッグデータ解析を行い、更にアプリケーションの交通行動データ解析を通して、二酸化炭素排出量推計に影響を及ぼす交通要因を把握していく予定である

8.3 グループ3研究活動

M2Smart

グループ3 研究項目

- ✓ ICTを活用した交通情報提供による交通選択行動の把握
- ✓ 新興国における信号の役割と制御の検討

- ①マルチモーダル交通の認識試験評価
- ・ 住民の公共交通意識

- ②交通情報提供(VMS)による認識評価
- ・ 交通情報提供手段の効果

- ③マルチモーダルアプリケーションによる交通行動変容評価
- ・ ICT利用効果

- ④シミュレーションにおける信号制御評価
- ・ 信号機制御の検討



21 July 2022

情報板(VMS)



Paldi交差点カメラ



マルチモーダルアプリ

グループ 3 報告内容

①マルチモーダル交通の認識試験評価

→住民へのアンケート調査による意識調査

②交通情報提供(VMS)による認識評価

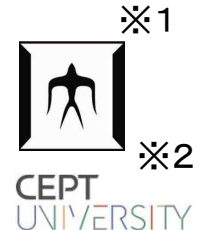
→VMSによる情報提供の認識評価

③マルチモーダルアプリケーションによる交通行動変容評価

→マルチモーダルアプリの活用と交通選択の把握

④シミュレーションにおける信号制御評価

→交通シミュレーションと信号機の効果



※: 東工大は期中に日大傘下で参画、CEPT大学はコロナ禍制限による再委託認可による参画

①公共交通 (AMTS, BRTS, Auto) 非利用条件の解明

アーメダバードでのアンケート調査

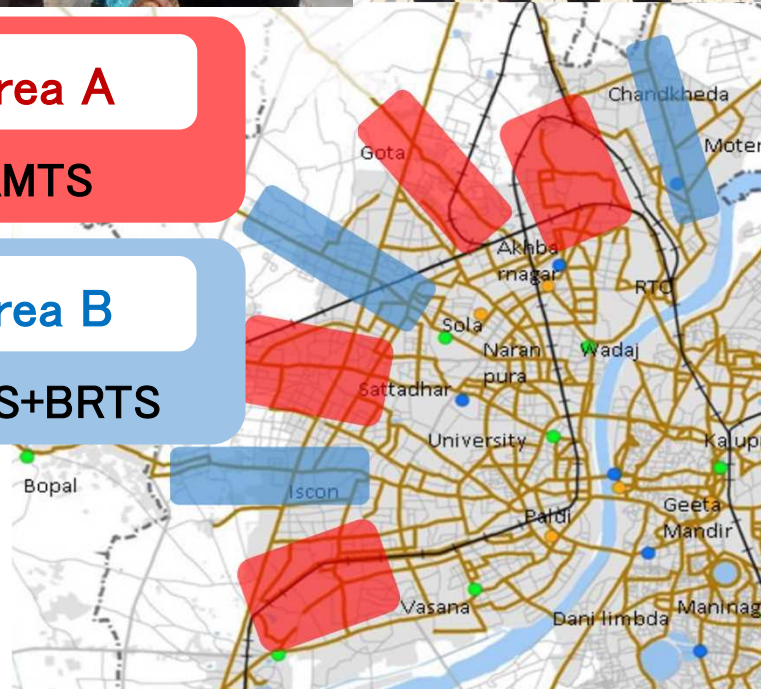


Area A

AMTS

Area B

AMTS+BRTS

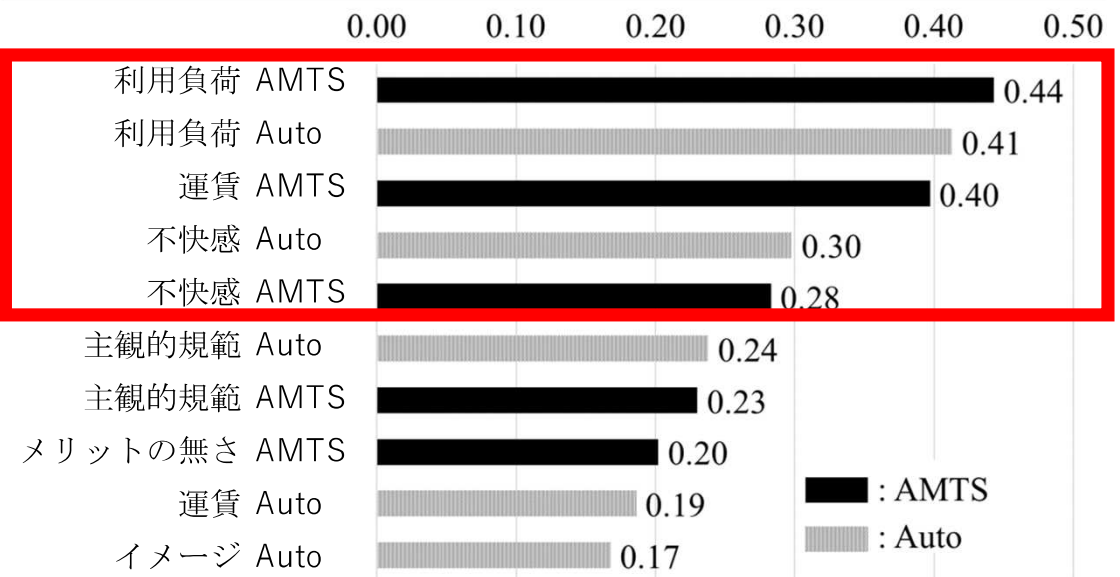


引用元: Google社「GoogleMap」

構造方程式モデリングを用いた
自家用車利用者の公共交通非利用条件の解明

Area A

AMTS



各潜在変数のAMTS & Auto非利用
に対する総合効果

公共交通（AMTS, BRTS, Auto）非利用条件の解明

Area B

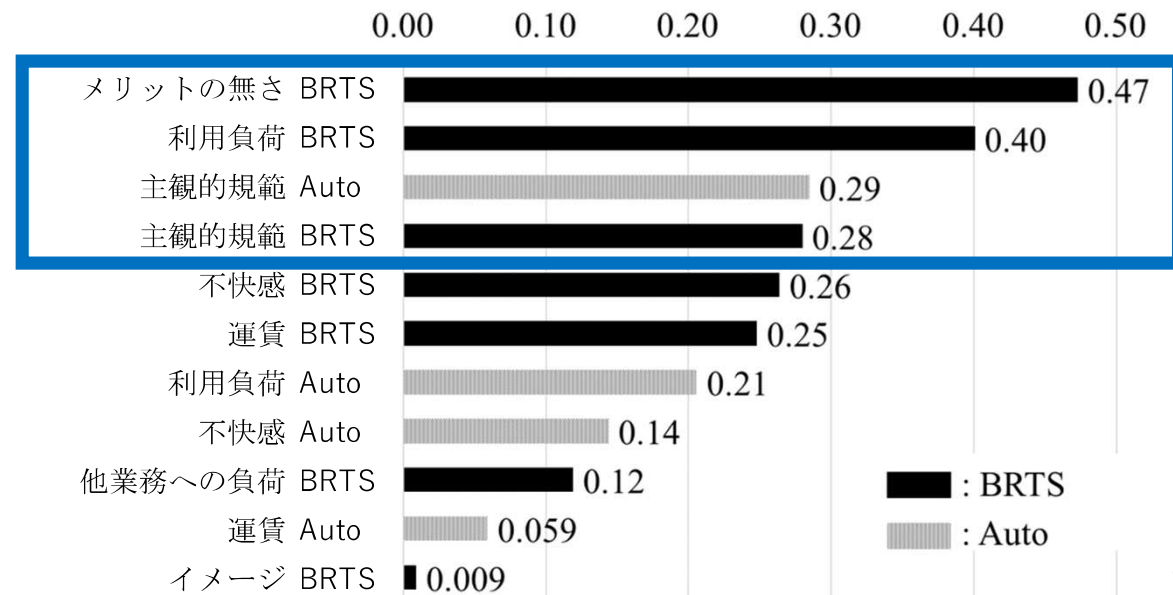
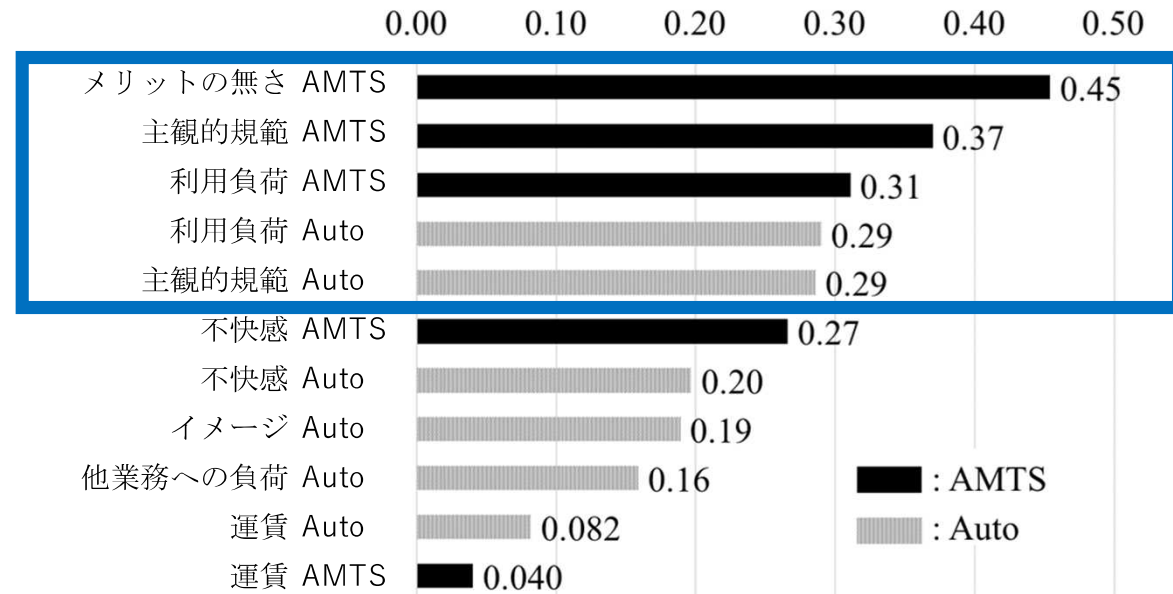
AMTS+BRTS



各潜在変数の AMTS & Auto非利用に対する総合効果



各潜在変数のBRTS & Auto非利用に対する総合効果



BRTS非利用者（自家用車利用者）とBRTS利用者の認識の比較

BRTSの乗降車が
面倒

利用者	自家用車User		BRTS-Auto
平均	0.46	>	0.32
標準偏差	0.30		0.28
尖度	-0.75		-0.81
歪度	0.10	<	0.42
両側t検定			
P値	0.000***		
自由度	603		

BRTS乗車券の
発券方法が複雑

利用者	自家用車User		BRTS-Auto
平均	0.35	>	0.30
標準偏差	0.31		0.30
尖度	-0.46		-0.55
歪度	0.60	<	0.68
両側t検定			
P値	0.027*		
自由度	603		

Autoの往来頻度が
少ない

利用者	自家用車User		BRTS-Auto
平均	0.42	>	0.38
標準偏差	0.29		0.25
尖度	-0.46		0.02
歪度	0.40	<	0.54
両側t検定			
P値	0.042*		
自由度	603		

Auto運転手の態度が
悪い

利用者	自家用車User		BRTS-Auto
平均	0.40	<	0.46
標準偏差	0.33		0.31
尖度	-1.00		-0.92
歪度	0.30	>	0.09
両側t検定			
P値	0.049*		
自由度	603		

BRTSの利用者獲得のために優先的に改善・イメージアップするべき点

BRTS & Auto利用者の方が強く不満を感じている点

②可変情報板(VMS)の表示内容がドライバーの行動変化可能性に与える効果

アンケート内容

- 実施期間: 2020年1月12日～1月20日
- 有効回答数: 300
- 実施方法: ウェブによるモニター調査

実証試験

- 実施期間: 2021年10月27日～12月27日



21 July 2022

ロゴによる表示



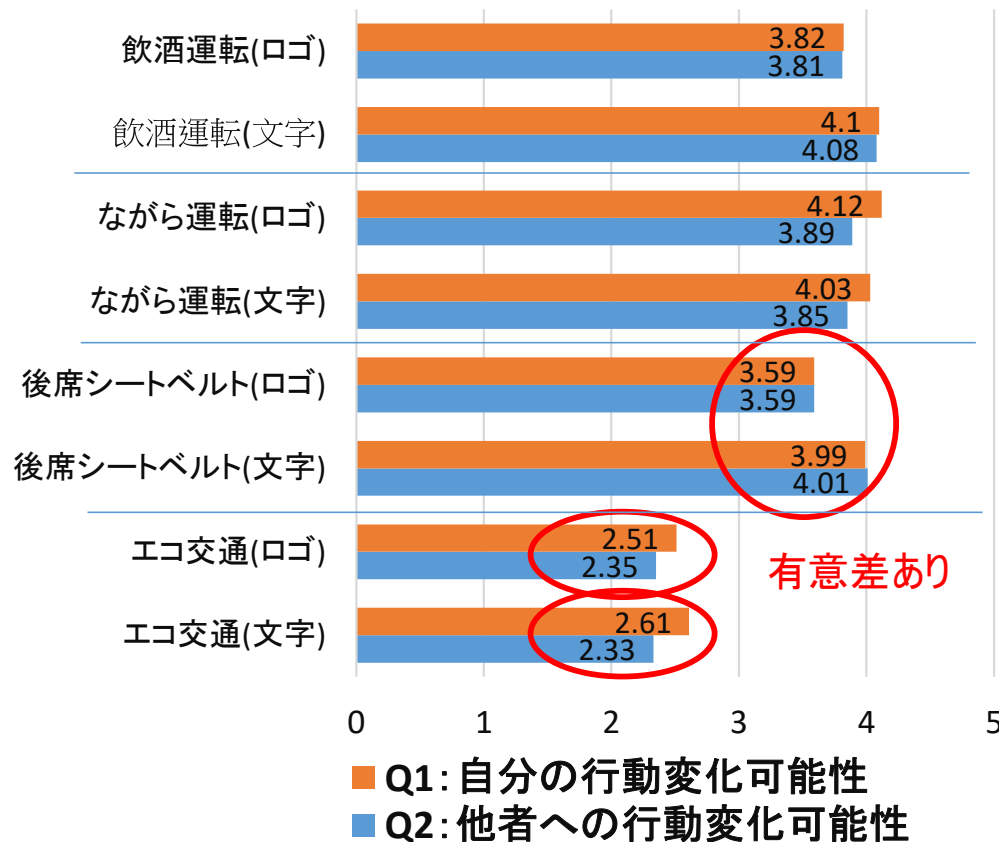
文字による表示



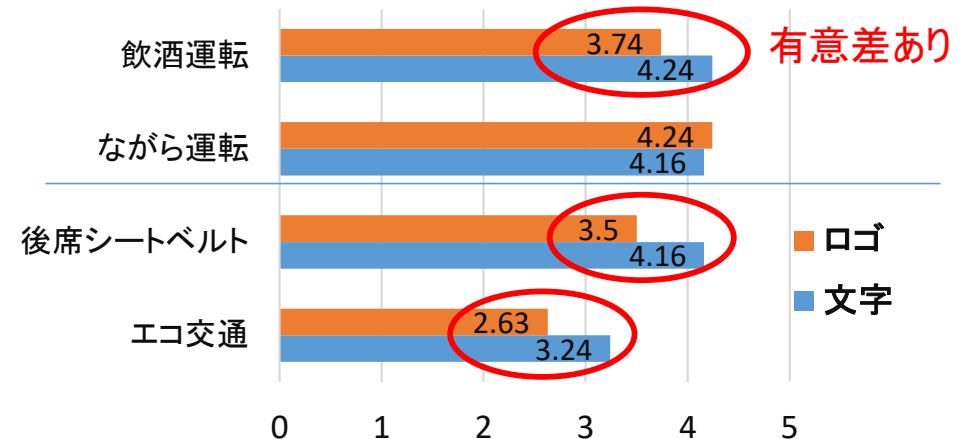
可変情報板(VMS)の表示内容がドライバーの行動変化可能性に与える効果

統計的検定による分析結果

(1) 表示されたVMSの内容に関する行動変化可能性
1: 低い 5: 高い



(2) 表示されたVMSの内容に対する理解度 (Q4)
1: 低い 5: 高い



(1) 行動変化可能性

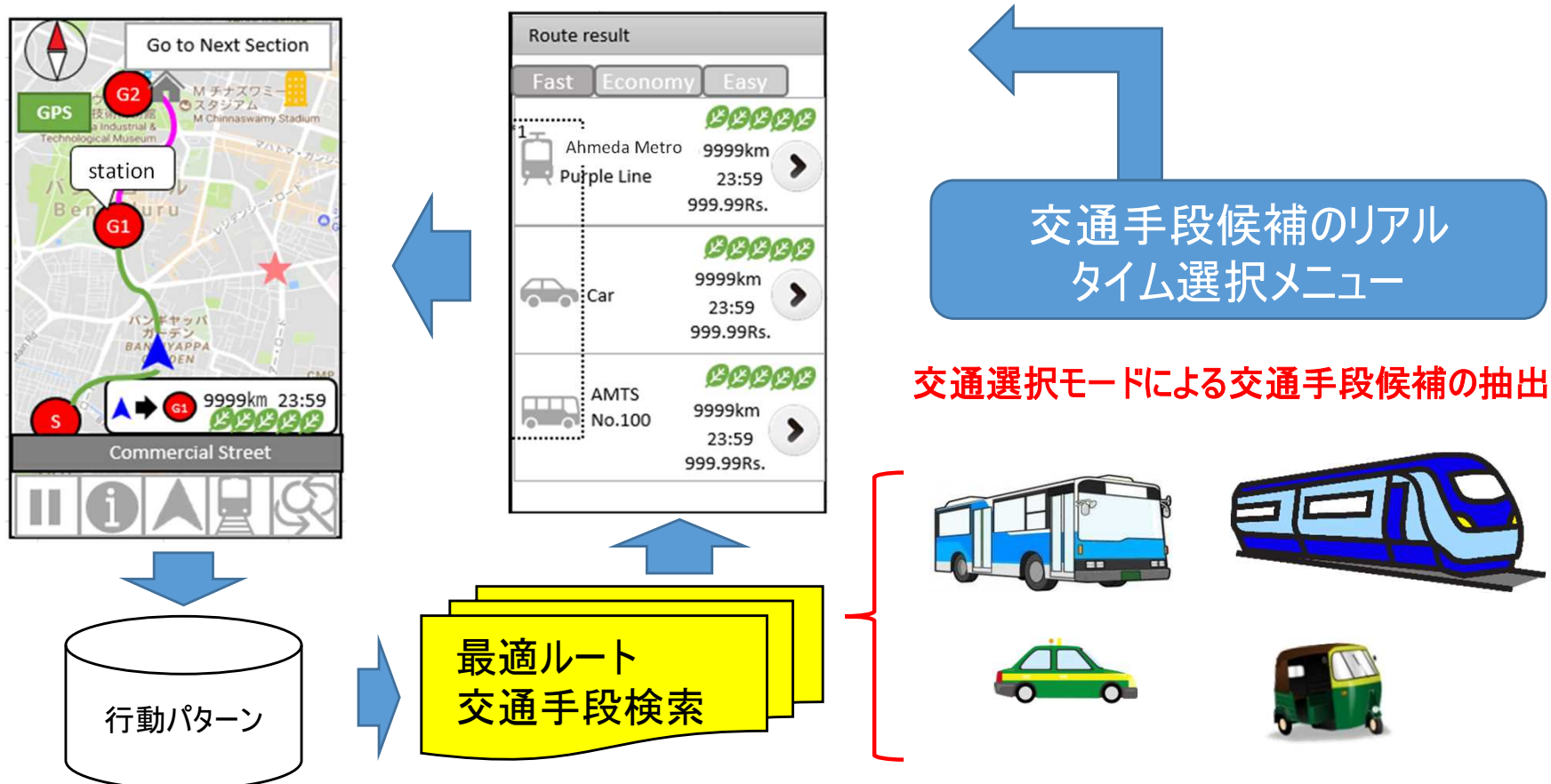
- ロゴと文字の有意差は「後席シートベルト」のみ認められた
- 「エコ交通」への行動変化可能性は比較的低く、他者に行動変化を促すことはさらに低くなる。

(2) 表示内容に対する理解度

- 文字の方が表示内容の理解度は有意に高い
✓ ロゴのデザインにも依存する結果であるため、一般化は難しい。
- ながら運転は有意差がなかった
✓ 表示内容により適切な表示方法がことが示唆される。

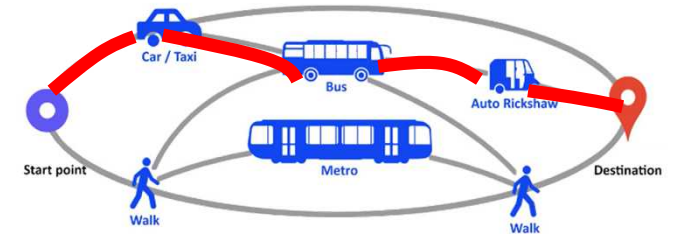
マルチモーダルアプリケーションによる交通選択

スマートフォン用マルチモーダル交通選択アプリケーション提供

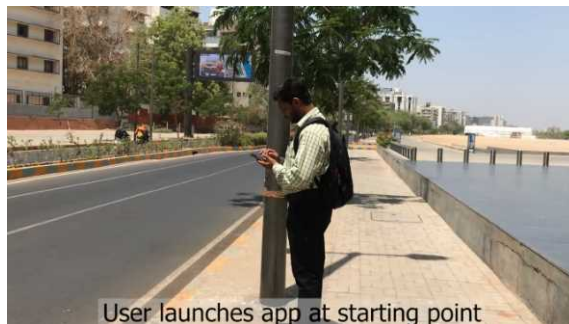


マルチモーダルアプリケーション利用シーン

- ✓ リアルタイムバス運行により最適ルート検索可能
- ✓ 交通機関選択項目(時間・費用・乗り継ぎ・エコ)



M2SmartNavi: Integrating multiple transportation modes



User launches app at starting point

①行き先入力



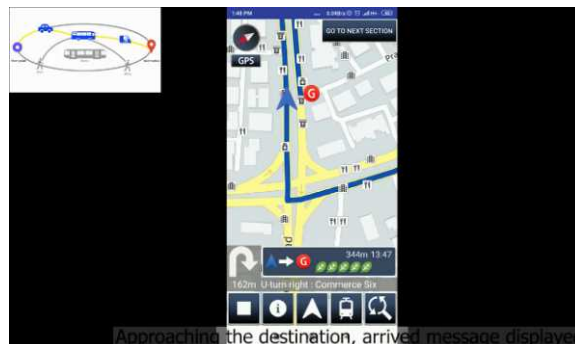
App displays the destination on the map

②行き先指定



The first mode of transport (taxi) arrives and user boards the vehicle

③バス停までタクシー



Approaching the destination, arrived message displayed

⑥目的地到着



User arrives at the destination

⑤リクシャー乗り継ぎ



Second mode of intermediate transport arrives at users location

④目的地までバス乗車

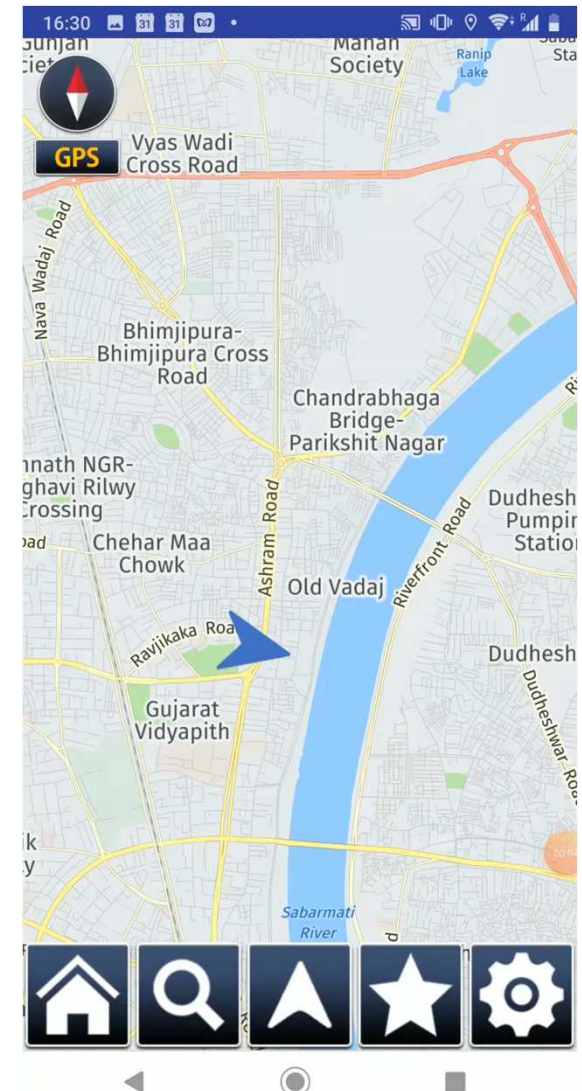
マルチモーダルアプリケーション概要

□機能

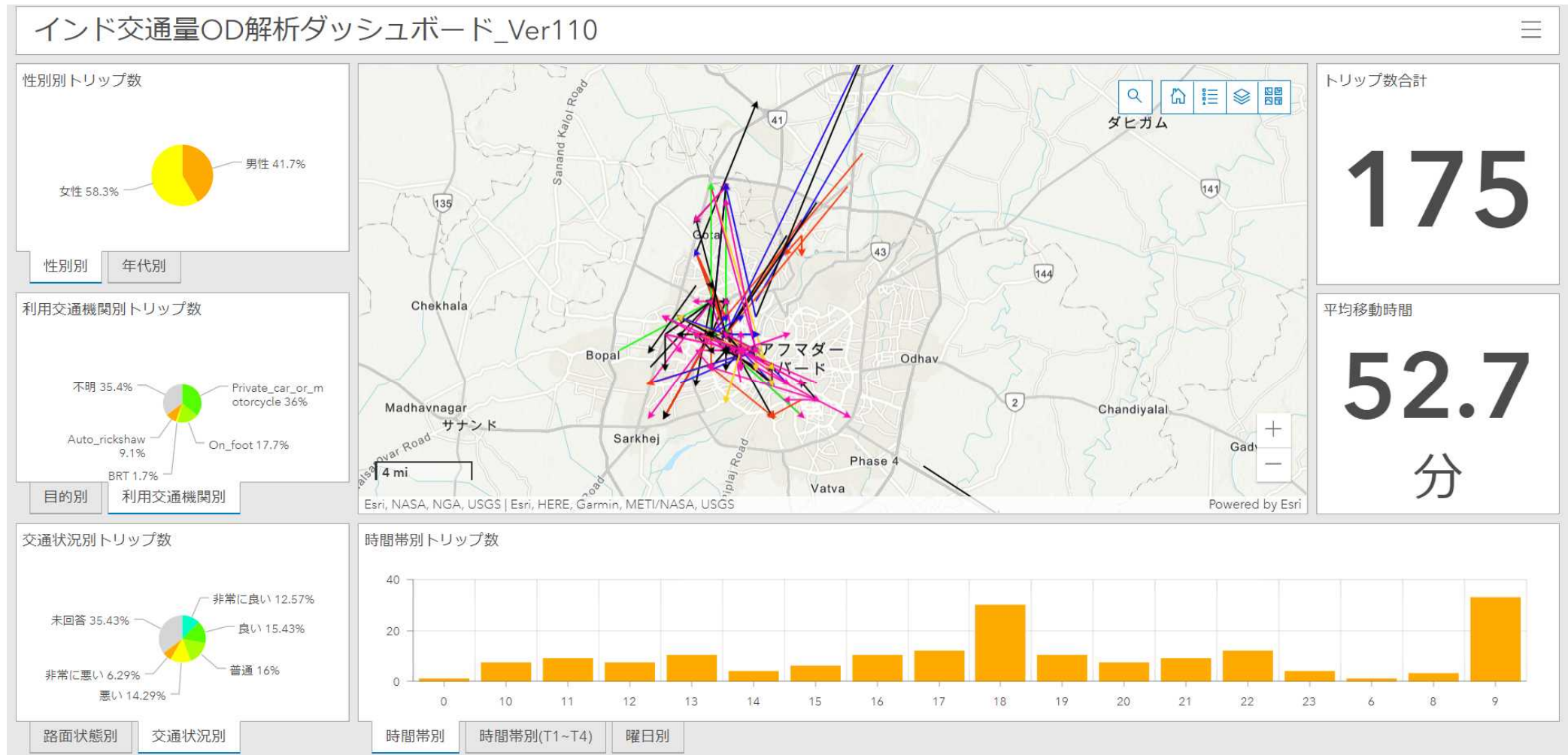
- ✓ ランダム化比較試験の実施
- ✓ 利用可能な交通手段の表示
優先順位をランダム化

□表示優先ルール

- ✓ 時間優先
- ✓ 費用優先
- ✓ 乗換回数優先
- ✓ エコ優先
(CO2排出量削減量)



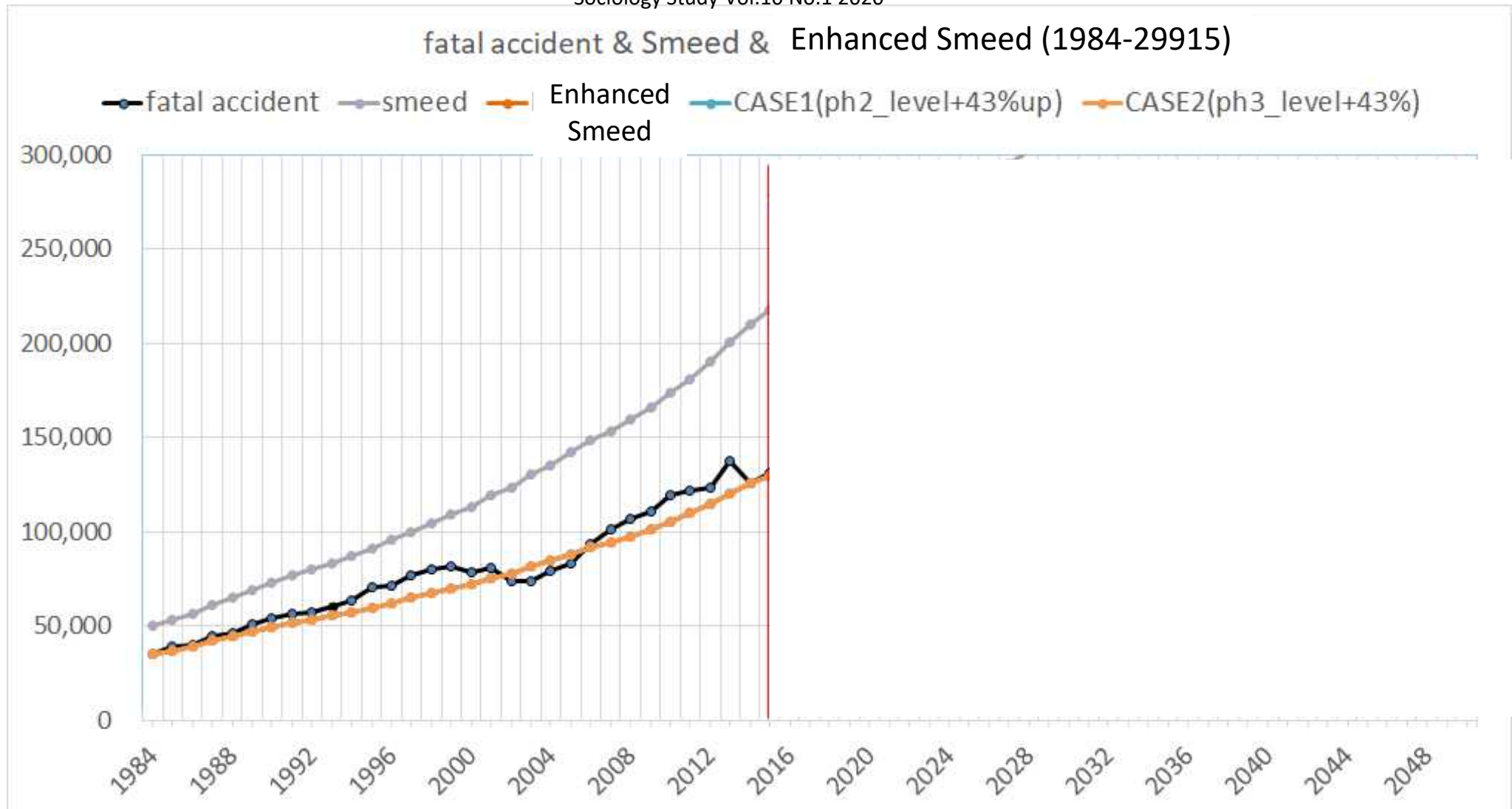
住民移動解析ダッシュボード例



④信号機制御と交通量の影響解析

・ 拡張Smeedの法則

出展 : Tsutomu Tsuboi, Quantitative Traffic Safety Analysis for India by Japanese Experience, Sociology Study Vol.10 No.1 2020



(参考) 日本の交通施策歴史

Year	Term	Major Policy Action & Item	Note
1958 - 1964	Phase 1	Under development for traffic management	
1965 - 1970	Phase 2	1st Policy plan	
		Singal development	
1971 - 1980	Phase 3	2nd Policy plan	
		Vehicle sensing installation	
		Sensitive type traffic signal	
1981 - 1987	Phase 4	3rd Policy plan	Overall Japan
		Central Conrol system for signal	
		Operation Center for traffic manegement	
		Traffic regulation & More installation	
		Education for traffic	ditto
1988 - 1996	Phase 5	4th Policy plan	
		Traffic signal algorithm improved	
		Traffic Information display	
		Network among centers	
1997 - 2001	Phase 6	5th Policy plan	
		ITS system development	
		Cogestion control system (VICS)	
		Optimized algorithm (MODERATO)	
2002 - 2014	Phase 7	6th Policy plan	
		ITS sysem installation	
		Zonening	

グループ3のまとめ

【成果】

- 公共交通使用における住民岸城調査
- 情報板からの情報の認識確認
- マルチモーダルアプリの小規模実証の実施
- インド信号機制御のシミュレーション実施

【課題】

- 交通情報の提供方法の検証
 - 情報イメージの受け入れ
- マルチモーダルアプリの実証継続
 - 被験者拡大
- 信号機と交通渋滞(事故等)の関連性
 - Smeedの法則応用

8.4 グループ4研究活動

M2Smart

グループ 4 研究項目

① マルチモーダルの推進によるエネルギー消費量、CO2排出量の削減効果を検証

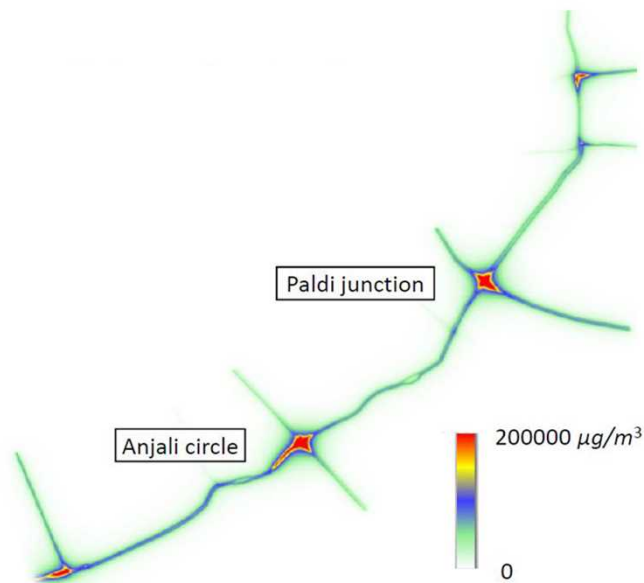
- シミュレーションモデル確立
- 車輦CO2排出原単位
- 環境モニタによるCO2排出と交通量の関係



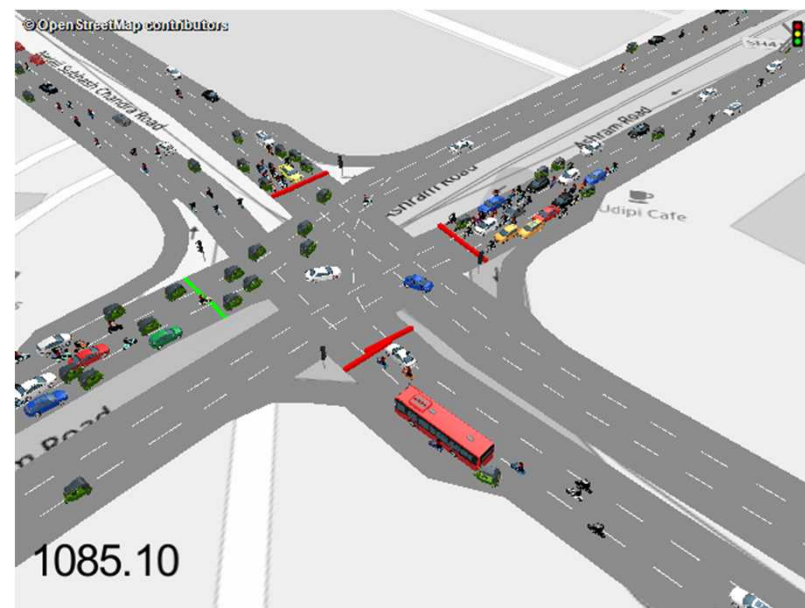
② インド都市でスマートモビリティを実現するためのセンシング、ビッグデータ解析、交通情報提供に関する術を示すハンドブックを作成

グループ 4 ミクロ交通シミュレーションによる評価

- ミクロシミュレーションモデル構築：
観測データによるシミュレーション生成データの整合
(道路ネットワークの構築＋複数のシナリオで、CO2排出量への影響を試算)
 - 入力データ(交通量、車両挙動パラメータ等) : CCTVと過去の調査結果に基づくデータ利用
 - 精度向上 : センシング精度向上＋シミュレーションチューニング継続



対象道路区間のCO2排出量



作成されたミクロ交通シミュレーション

グループ 4 CO₂排出量推計モデルの整理

UNFCCC手法

ACM0016 based approach
(incl. JCM)

$$BE = \sum_r \sum_t \left(L_r \times TV_{r,t} \times E^F_{r,t,v} \right)$$

交通量 ← 交通需要予測モデルをベース

距離 排出量原単位 ← 車種別

ミクロ交通
シミュレーション分析

運転モードアプローチ

$$FC_{WithoutHEV} = \sum_{m,s} \left(FC_{m,s}^{Con} \times TS_{m,s} \right)$$

運転モードごとのタイムシェアリング ← プロブカーデータ

燃料消費量 ← フィールドテストで得られたCANデータ

グループ 4 推計モデルの基礎データの整理

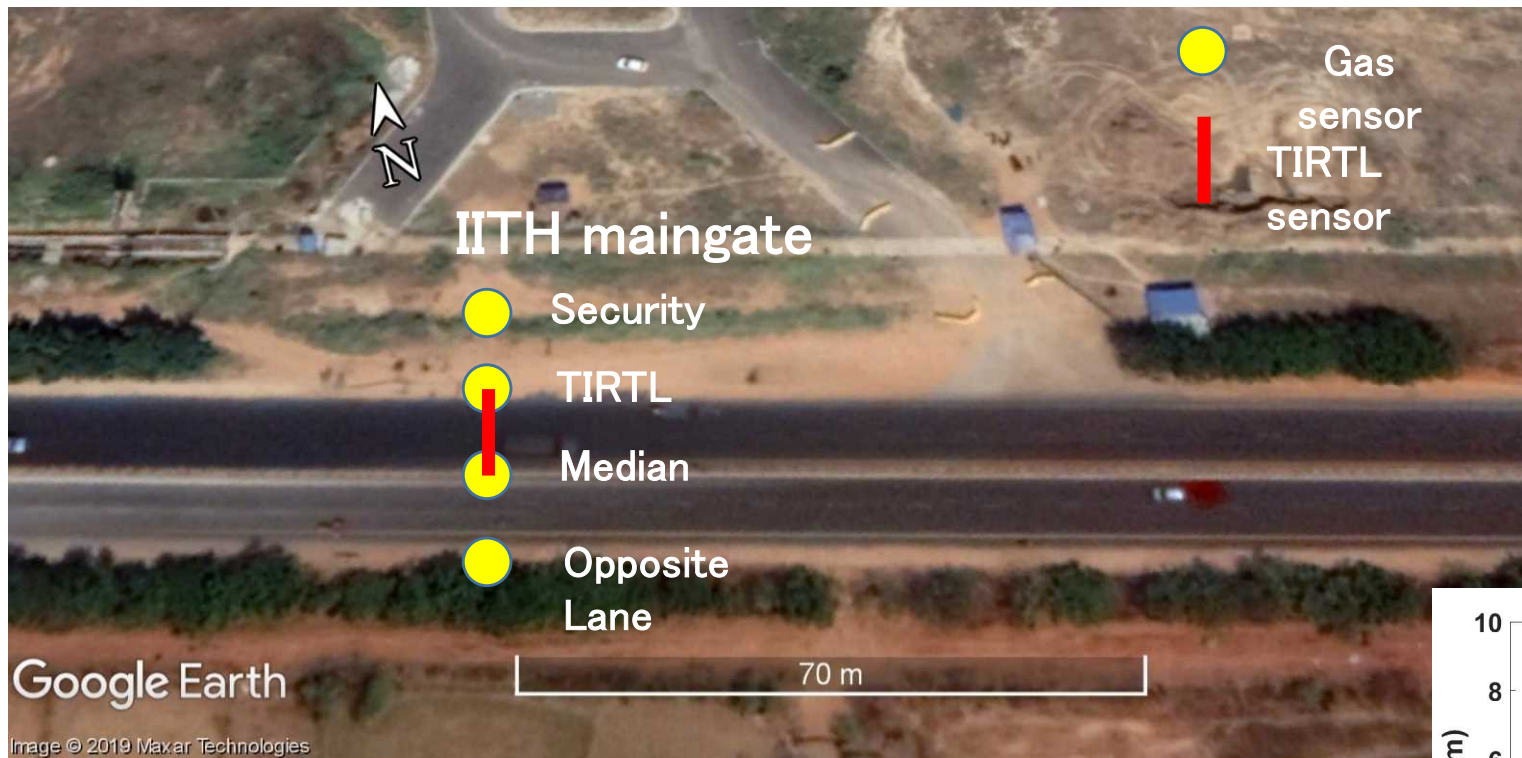
- 基礎データ(排出量原単位、自動車登録台数など)の整理:
 - 既存研究や行政の統計データ
 - デリーにおける車種別の基礎データ
 - グジャラート州における車種別自動車登録台数

⇒CO2排出量推計のための
排出量原単位
- オート・リクシャーの排出量原単位推定:
 - アーメダバードに適用するためのオート・リクシャーの
排出原単位の推計
 - IITHテストベッドのガスセンサーを用いたCO排出量の
周囲計測

⇒周囲計測データに基づく
CO2排出量の推定

グループ 4 オート・リクシャーの排出量原単位の推定に向けた取り組み

- IITHテストベッドにおいて、ガスセンサーを用いたCOの周囲計測

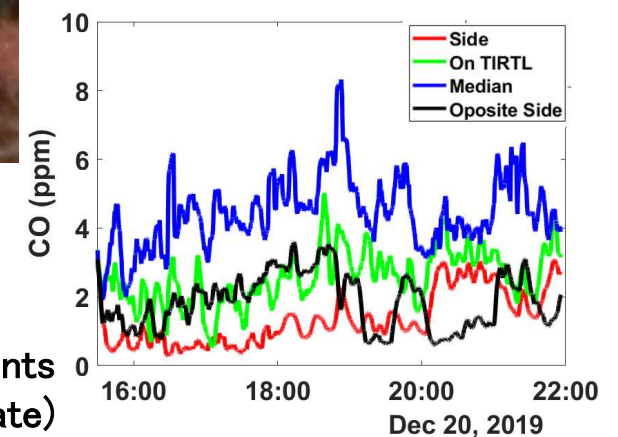


Gas sensor (CO)



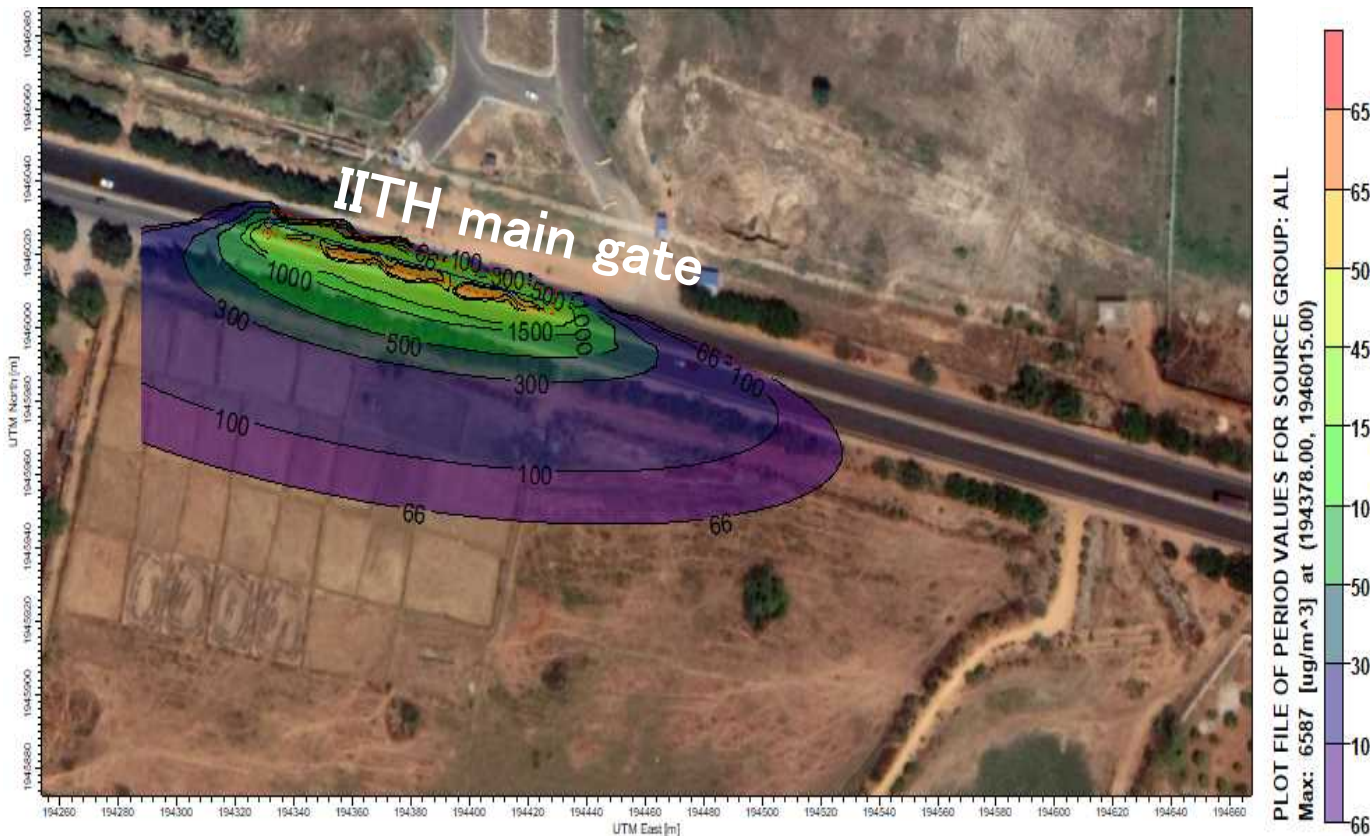
Description:

Interface: Arduino
Storage: Data Logger
(SD card)
Power: power bank



グループ 4 オート・リクシャーの排出量原単位の推定に向けた取り組み

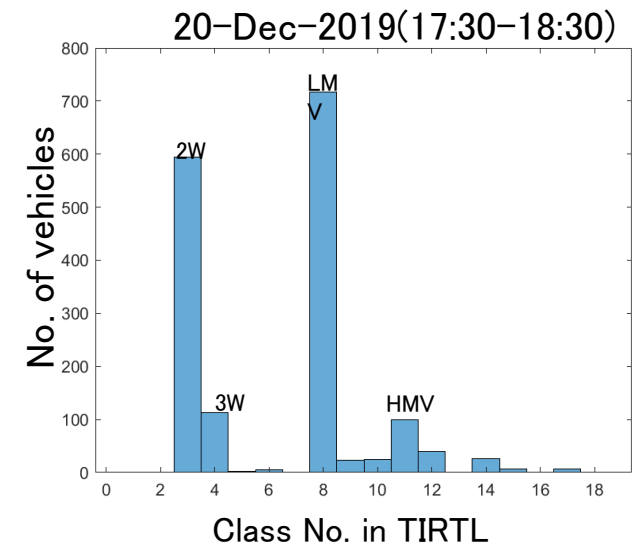
計測結果の空間的把握



推定された空間的COプロファイル(IITHメインゲート付近)

入力パラメーターの説明:

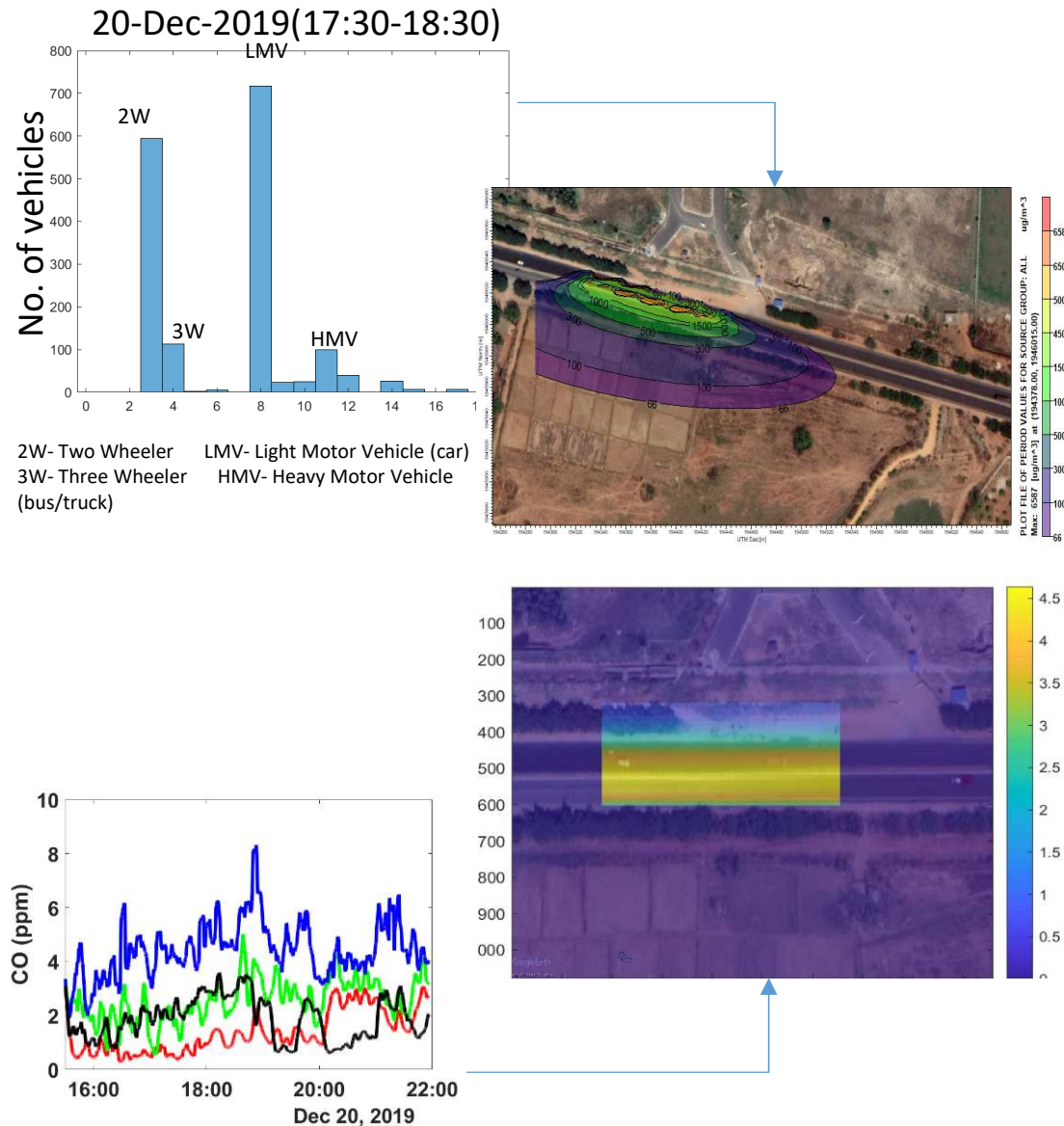
- TIRTLデータ(車両タイプ、速度など)
- 車種に基づく排出係数(文献より)
- 気象データ(IITH気象ステーション)
- 分散モデル(AERMOD)



2W- Two Wheeler data LMV- Light Motor Vehicle (car)
3W- Three Wheeler HMV- Heavy Motor Vehicle (bus/truck)

グループ 4 オート・リクシャーの排出量原単位の推定に向けた取り組み

- 計測結果からCO₂排出量の推定



Correlation between
CO-CO₂, NO-CO₂, NO₂-
CO₂ in vehicular
emissions

Spatio-
temporal
profile for CO,
NO, NO₂

Spatio-temporal
profile for CO₂
due to vehicular
emissions

交通機関利用による
各種排出ガスの空間成分
分析により最終的に交通機関
からのCO₂排出量の推定を行う

グループ 4 スマートシティ構築を目指す「ハンドブック」の作成

- 仮タイトル: "Handbook of Multimodal Transport for Smart City –Application of Sensing, Networking and Big Data Analysis"
- ハンドブックの全体構成の作成

Handbook of Multimodal Transport for Smart City -Application of Sensing, Networking and Big Data Analysis

Contributors

Preface

Part I Role of Multimodal Transport for Smart City

概論

- Chapter 1. Introduction
- Chapter 2. Concept of Smart City in India
- Chapter 3. Measurement of Impacts on GHG Emission Reductions by Smart City
- Chapter 4. Achievement of SDGs Targets by Smart City
- Chapter 5. Approach for Smart City by Multimodal Transport

Part II Advanced Technologies to Realize Multimodal Transport

- Chapter 6. Fundamental Concept of Multimodal Transport
- Chapter 7. Video Image Processing with AI
- Chapter 8. Vehicle Detector
- Chapter 9. On-board GPS (BTSC)
- Chapter 10. Measurement of Emission Factor
- Chapter 11. Mobile Measurement of Roadside Emission and GHG
- Chapter 12. VMS
- Chapter 13. Mobile Application for Multimodal Transport
- Chapter 14. Big Data Analysis
- Chapter 15. Behavior Change by Traffic Information
- Chapter 16. Mobility as a Service (MaaS)

各グループ の成果



Ex. 各技術の紹介 (CHAPTER II)

グループ4のまとめ

【成果】

- 「ハンドブック」の構成をまとめた
- 低炭素推計に向けた各グループの成果の統合手法の検討と推計モデルの手法の整理を実施
- ミクロ交通シミュレーションモデルの検証確認

【課題】

- 基礎データ整理の継続
- 各グループ成果のフォローと検証
- 低炭素交通モデルの構築継続
- 「ハンドブック」概論のシナリオ作成

9. 学会発表・成果発表等

(1) 学会発表

※ () 値は国内発表

	全体	共同
口頭発表	72(19)	7
ポスター発表	15(8)	6

(2) 原著論文 国際誌17件、日印共著として6件

(3) 成果発表

	件数	備考
マスコミ・新聞	17	海外
ベストPh.D論文	1	海外
2019年開発協力白書	1	国内
ワークショップ	4	国内1件
JCC(6)・合同会議	7	201名(延べ人数)
合同シンポジウム(タイSATREPS)	1	114名

(4) 人員投入 出張 82回 1538日(延べ日数)

10. 若手研究者育成 (キャパシティ・ディベロプメント)

- Anand Kakarla氏が2017年10月より2019年3月まで、Dr.Roy Debaditya氏がIITHから2018年4月より2020年3月アジア工科大学インド人研究者Bethala Aditya氏が2020年4月より、日大理工学部研究員としてSATREPSに参画。
- 上記2名は、博士号取得できた。
- 日大内での若手研究者との交流および情報共有にて相互理解を深める。

写真:

C.K.Mohan教授日大訪問、Roy氏の研究成果情報交換(2019.3.2)



11. 社会実装活動

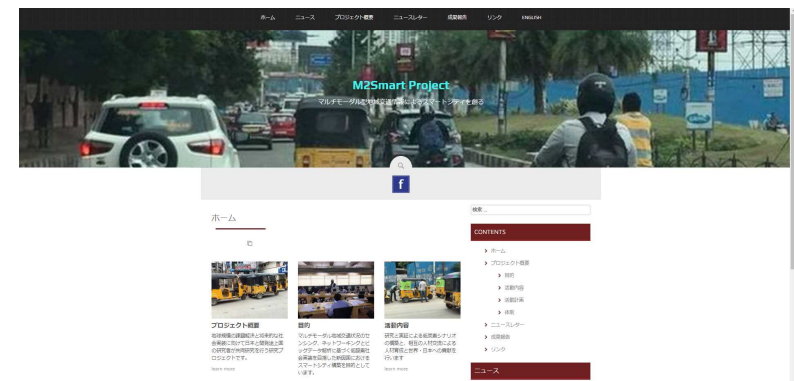
- IITH合同アーメダバード市ワークショップ開催2回
 - 参加者: AMC(市行政)、バス会社(JANMARG)、メトロ会社(GMRC)、地域コンサル(PwC)他
 - 人数: 30名(2019/7)、25名(2020/1)
 - 内容: 研究報告と意見交換の実施
- 活動ホームページ: <http://m2smart.org/>
- ニュースレター: Vol8(2020年6月現在)



第1回ワークショップ



第2回ワークショップ



M2SMartホームページ

12. 日本のプレゼンス向上

1. 2018年6月に開催された「Massive Earth Summit 2018」、研究代表が日本パートナーシップメンバーとしてSATREPSの紹介。(290名参加)
2. 2018年10月CEATECのブースに本プログラム紹介展示。
3. 2018年11月に国土交通省およびインドMoRTH (Ministry of Road Transport Highways) 主催第5回日印道路交流会議。研究代表がSATREPSの本プログラム紹介。
4. 2019年5月28日にIITHのテストベッドの完成オープニングセレモニー、文科省戦略官およびJST理事、フェロー出席。
5. 2020年3月10日に2019年度外務省開発協力 (ODA) 白書に、本プログラムの紹介。



Massive Summit

21 July 2022



ローカル新聞 (IITHテストベッド) The Hindu 5/30/2019



2019年ODA白書: 外務省

13. 今後の見通し

テストフィールド

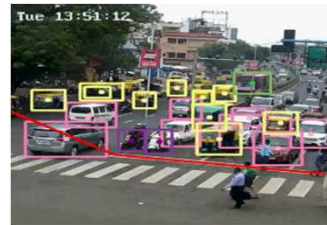
Hyderabad



Ahmedabad



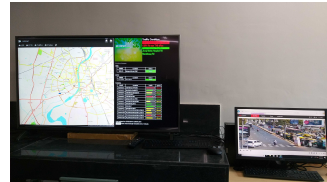
テクノロジー



AI画像処理



マイクロ交通シミュレーション



交通解析



マルチモーダルアプリ

最適化手法検証 (次のステップ)

解析による渋滞要因
と改善

住民への情報提供
手法と効果

アプリの利用促進

交通手段の選好要
因確定

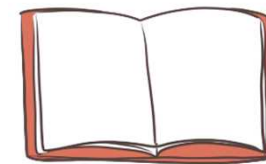
シミュレーションモ
デルの確立

排気量の推定

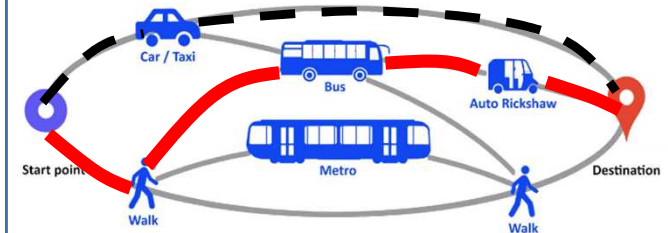
交通最適化手法の
提案

ゴール

ハンドブック



モーダルシフト



M2SmartNavi: Integrating multiple transportation modes

交通最適化



15. 結論

(1) 成果

- 日印研究機関における環境整備終了し、交通データの取得と解析を推進中。(1年以上におけるビッグデータ集積)
- 主要交差点における交通センシング目標80%を達成した
- アーメダバードのBRT運行状態の可視化を行うことができた
- 現地行政との連携およびコミュニケーションが取れた実施体制が組めている

(2) 今後の予定

- 2022年8月にアーメダバード市Workshopのレビュー実施
- インド関係機関との連携(複数のインド工科大学間との意見交換)計画(2022年8月)
- プログラム後(2022年9月以降)における現地での持続的活動継続に向けた施策(コンソーシアム)への計画検討

16. SDGsに向けて

本プログラムで目指すSDGs目標

SGDs	項目	貢献(指標)
9 産業と技術革新の基盤をつくろう 	9. 産業と技術革新の基盤をつくる 9.1 地域インフラの質、信頼性、持続性の開発	交通・道路基盤の改善・補修の推進による持続可能性を高める
11 住み続けられるまちづくりを 	11. 住み続けられるまちづくりを 11.6 2030年に向け都市の品質へのインパクトの削減	渋滞削減による環境破壊の削減を目指す
17 パートナースhipで目標を達成しよう 	17. パートナースhipで目標達成 17.6 持続可能な開発のためパートナーシップの強化	地域ステークホルダーとの連携によりワークショップ等の積極推進する

17. 結びとして

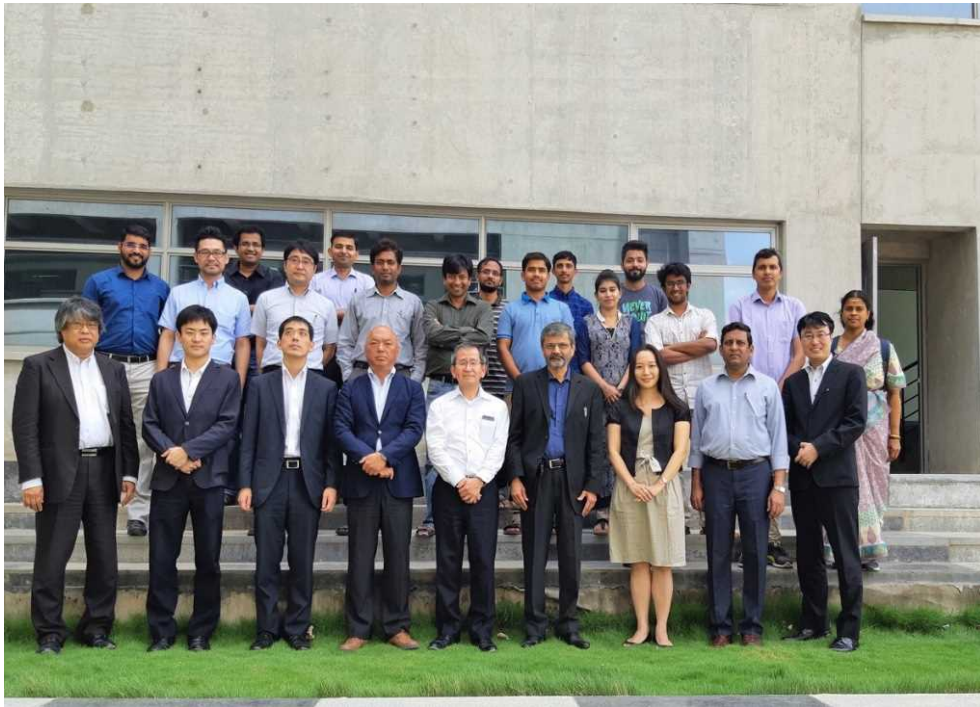
1. インドにおけるニーズと課題

- 研究に対する意欲旺盛なるもテーマ選定・ゴールへのイメージが持てていない(⇒共同研究の意義)
- 教授陣の「大学ステータス向上努力＝予算獲得」の意識が強く、教育的指導より優先傾向にある(⇒優秀な学生優先)
- 学生側も研究意欲旺盛(⇒競争心ある一方でチームワーク苦手)

2. 経験として得られたもの

- インド人の研究能力がかなり高いレベルの学生が多い(与えられた課題への対応能力高い)
- 教育システムの違いから、学生の研究意欲が、国内と比較して顕著(⇒研究補助として学生に「給与」支払いあり)
- 教授陣への尊敬の念を持った上での共同研究の推進力高い(但し、相互理解まで時間がかかる)
- 時間に関しては若干ルーズな面もあるが、何とかする意識は高い(ジュガード(Jugaad):ヒンズー語で、色々な制限下で何とか策を凝らして切るけること)

ご清聴ありがとうございます



M2Smart Members photo 2018



Asia High School Factory visiting photo 2019