

国際科学技術共同研究推進事業
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)
研究領域「低炭素社会の実現に向けた高度エネルギーシステムに関する研究」
研究課題名「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」
採択年度：平成28年度（2016年）/研究期間：5年/相手国名：インド共和国

終了報告書

国際共同研究期間^{*1}

2017年6月26日から2022年9月30日まで

JST側研究期間^{*2}

2016年6月1日から2022年9月30日まで

(正式契約移行日2017年4月1日)

*1 R/Dに基づいた協力期間（JICAナレッジサイト等参照）

*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JSTとの正式契約に定めた該年度末

研究代表者：坪井 務

名古屋電機工業株式会社・プロジェクトリーダー

I. 国際共同研究の内容 (公開)

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1) 研究の主なスケジュール(実績)

研究題目・活動	参考	2016年度 (6ヶ月)	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度 (18ヶ月)
研究題目1: マルチモーダル交通センシングとモニタリング	名	現状把握		既存データ、既存車両センシング技術の選定			2022/3, 2022/9
研究活動1-1: 対象都市におけるマルチモーダル交通センシングに関する研究	日		車両センシング技術の選定	既存データ、既存車両センシング技術の選定	■ (学会発表)		
研究活動1-2: IITHキャンパス内の基本的な車両センシングの実証実験	日		車両センシング方法のインド工科大学ハイデラバード校キャンパスと日大構内で画像センシング基礎的実験および環境モニタリングデータ解析 (認識率向上)				車両センシングの標準化案
研究活動1-3: 実フィールドへのマルチモーダルトラフィックセンシングの実装	日		アーメダバード市で既設画像装置+プローブ、Bluetoothなどを活用した車両+人の移動情報の収集 (データ収集)				
研究活動1-4: 他都市への展開と応用の検討	名		IITテストベッド構築期間影響			他都市への拡張	
研究題目2: マルチモーダル交通流のビッグデータ解析	日	現状把握	情報収集・分析				
研究活動2-1: ビッグデータ解析の全体およびダイナミック交通解析の研究	日		ビッグデータ解析環境の確立		■ (学会発表)		
研究活動2-2: 基礎テストベッド (IITH/日大) におけるビッグデータによる交通解析と評価に関する研究	日		交通ビッグデータ解析のインド工科大学ハイデラバード校キャンパス内での基礎的実験 (NH-65, WiFi/BLEプローブ、環境ガスセンシングCO2, NO, PM2.5)			(データ収集)	
研究活動2-3: マルチモーダルトラフィックに利用可能な交通情報収集及び解析手法の検証	日			アーメダバード市での交通情報収集・ビッグデータ解析 (交通流解析)			ビッグデータ処理の提案書
研究活動2-4: マルチモーダルシフトの推進と、交通量を最適化するマルチモーダルアプリケーションの開発	名					実運用・改良	
研究題目3: マルチモーダル交通管理と情報構築	名	現状把握		シミュレーションモデルの開発		(シミュレーションモデル)	信号制御・情報提供アプリ実運用のための提案書
研究活動3-1: 収集交通情報の動的信号制御とアプリによる交通情報のシミュレーションによる評価	日						
研究活動3-2: 収集する交通情報に基づく交通制御の基礎的フィールド実験による評価	名		可変情報板 (VMS) での交通情報提供に基づく交通制御に関する評価		(データ解析)		※CEPT大実証試験連携
研究活動3-3: 交通情報のプッシュ型提供による交通行動の変容評価	名		マルチモーダルアプリケーションによる交通行動変容の評価 (手法確認)				①
研究活動3-4: 収集交通データとシミュレーションにおける信号制御に関する評価	名			(アプリリリース手法)		実運用・改良の検討	②
研究題目4: スマートシティ構築	日	現状把握		取り組み方策のレビューと交通施設整備の方向性の把握		(テストベッド テープカット)	スマートシティ構築の提案ハンドブック
研究活動4-1: 低炭素都市に向けた取り組みなどのレビューと今後の交通施設整備の方向性の把握	名		現地調査	現地調査(2)			
研究活動4-2: IoT交通制御に基づく自動車交通適正化によるエネルギー消費削減と低炭素化の推計	日			交通制御に基づく低炭素化改善量の推計 (マイクロシミュレーション) (シミュレーション評価)			
研究活動4-3: IoT交通制御とマルチモーダル対応型交通情報提供の連携による低炭素化量の推計	日			交通制御・交通情報提供連携に基づく低炭素化改善量のモデルによる推計 (モデル検証)			※改善量25%
研究活動4-4: 交通インフラ整備との連携を軸としたスマートシティ構築の提案 (ハンドブック) 作成と実施	名					他都市への拡張	
関係者参加によるワークショップの実施	名		国際学会 (11月) ワークショップ (1月)	国際学会 (5月) ワークショップ (1回目)	実施 2回目	フィードバック	3回目計画
プログラム成果報告	全				中間報告 (7/22)		最終報告

名: 名古屋電機, 日: 日本大学, 全: 全体, ※改善量は2030年目標に対するバックキャストを検討

太線は実施済み, 黒線はオリジナル, 赤線は見直し

※①② CEPT大学連携による現地実証試験追加による連携強化の実施

当初の研究計画に対して、IITH テストベッドの構築やコロナ禍による影響に対応し、研究課題ごとの活動・目標を達成した。IITH のテストベッドでは、IITH にてハイデラバード交通関係機関 (HMC: Hyderabad Municipal Corporation)、交通警察等) を招いたテストベッド完成式典を開催し、併せて、意見交換を行ったことで、対象都市における今後の交通施設整備の方向性について、行政等の立場からの考えを把握できた。

さらに、8月に現地に2件のワークショップを開催することができた。8月17日にHMCおよびIITボンベイ、IITHロッキー、ハイデラバード警察を招き、IITH主催による意見交換を実施し、IITH テストベッド施設公開を行った。8月19日には、アーメダバード

市において、第3回目のワークショップを Ahmedabad Municipal Corporation (AMC) およびスマートシティ公社 (SCADL : Smart City Ahmedabad Development Ltd.) の幹部、アーメダバード市のスマートシティ開発にてコンサルタントを行っている PwC 社出席のもと開催し、低炭素都市の実現に向けた取り組みに関するレビューやインドにおけるスマートシティに関連する既存研究のレビューを実施した。それぞれにワークショップでは、これまでの研究活動 1 から 4 の取り組みの成果をまとめたハンドブックとして提供し、それぞれの地方行政からのフィードバックをいただくことができた。

特にアーメダバード開催のワークショップでは、SCADL が実施してきた市内に設置した 7,200 台の交通監視カメラにて罰金も含めた管理を行うことで、交通モラルの向上が図れたものの、交通渋滞や交通事故多発の課題は残っており、SATREPS で蓄積した技術の展開として、IITH に対してプログラム終了後も AMC/SCADL との連携で交通改善に向けた取り組み提案がなされ、IITH 側もこれに応えることを確約することができた。

(2) 中間評価での指摘事項への対応

- ① **アーメダバード市における信号制御のフィールド試験の代替策検討**…インド工科大学ハイデラバード校 (IITH) によるアーメダバード市の実際の既設信号機の位置を加味した各種信号機制御方式によるシミュレーションを実施した。これによりインドで一般的に採用されている各方向道路に設置してある信号機が順に青→黄→赤のサイクルを一方方向に制御する固定サイクル方式 (Fixed) と、信号機のサイクルを交通量に合わせて変化させる可変サイクル方式 (Actuated) のシミュレーション結果より、複数交差点での総合待ち時間で、日本方式による Actuated 方式+面制御方式) が最も優れていることが証明された。これらの研究成果は、2023 年度開始するベンガルール市における都市 ITS 事業において、5 年間の運営・保守・管理にて市内 29 交差点の実際のフィールドに社会実装されることになり、他の都市へ展開することにつながった。
- ② **若手人材育成および科学技術の観点から日印共同研究の活発化および関係強化**…これまでに相手国研究チームとの共同研究の成果として、6 件のジャーナルへの原著論文の投稿、11 件の国際学会への論文投稿および発表を行うことができた。また、インドから 4 名の研究員 (内 2 名は IITH から) を日本大学で受入れ、1 名は共同研究の成果に基づいて博士号を取得することができ、1 名はインドで大学の教員に採用された。コロナ前までは、3 回 IITH 研究メンバーが来日し、若手研究員間での交流が行え、日本からも 3 回 IITH 訪問を行い両国間の研究員同士の意思疎通が行われた。コロナ発生以降は、3 回の全体オンライン会議を実施し、また、IITH の若手研究員が研究成果を報告するオンライン会議を定期的 (月 1 回) に実施し、日本側からも参加し意見交換することで若手人材育成に注力した。2019 年にアーメダバード市におけるマルチモーダルアプリ実証試験では、IITH から 3 名の研究員が参加し、日本側研究員と一緒に、地域行政 (AMC: Ahmedabad Municipal Corporation) の指導のもと 3 週間に渡り、共同試験を実施した。また、次のページの⑨で詳述するが、他の研究プロジェクトとの共同シンポジウムで日・印・タイの研究者による発表を通して、今後の人的・技術的なネットワーク拡大に向けて取り組んだ。
- ③ **アーメダバード市におけるフィールド試験を代替する方策**…当初予定していた市内の電子情報板を活用したメッセージによるドライバーの行動変容の確認、スマートフォンアプリケーションを活用した都市モビリティの把握と公共交通機関等へのシフト試験は、コロナ発生の影響もあり、大規模実証は困難となったものの、アーメダバード市の都市工学を進める CEPT 大学と連携した実証試験が、2021 年 10 月~12 月にかけて実施することができ、情報板活用試験では、情報板設置ルートを通る市バスのバスドライバー 75 名に対する試験が可能となった。スマートフォン活用試験では、被験者 10 名の 3 週間にわたる試験の実施と、CEPT 大学からの提案によるスマートフォンから、被験者が感じた道路の混み具合評価と道路整備状態における評価を行動パターンと合わせたデータ収集が可能となり、結果として当初目的の結果を得ることができた。

さらに、CEPT 大学との新たな関係構築ができた点で、今後の活動に関しての人脈形成ができた。コロナ禍による困難な状況下においても地域行政 AMC の理解があり、コロナ沈静化 2021 年 12 月に訪印した際、アーメダバード市のスマートシティ開発公社への招待とデモの実演、および現在建設中である第 1 号のアーメダバード市メトロ現場での視察を通して、スマートフォンアプリケーションの実用性を提示することができた。

- ④**本プロジェクト成果物となるハンドブックの政策への反映および事業化への期待…**ハンドブックに関しては、在日インド大使館からも示唆・支援を頂くとともに、公使、参事官においてはそれぞれ日本大学訪問を頂け、SATREPS 研究員との意見交換を実施することができた。また、最終年度 2022 年 8 月には、アーメダバード市において第 3 回目のワークショップを AMC の参画のもと、道路関係ステークホルダーを招いて開催した。
- ⑤**IITH テストベッドでの試験とアーメダバード市での実証試験の補完関係および他の都市での展開の道筋について…**信号機制御に関しては、上記②に記載した通りとなっているが、その他に、IITH テストベッドでは、郊外にあるキャンパスのメリットを生かし、実際の正門前を通るボンベイハイウェイでの CO2 の測定と、その他の NOx ガス成分および交通量との相関関係による交通から排出される CO2 量推定の解析が行えた。アーメダバード市交通モニタは、オンラインにて IITH キャンパスにおいても観測可能となっており、現場設置のリモート回転制御機能を用いた交差点 4 方向からの車輛交通分析を行うことができた。更に IITH テストベッドで設置した CCTV による車両検知は、日印に共通する研究課題 1 の基盤となった。また、IITH での解析した内容に関して、日本大学においても共有することで夜間における交通解析では、日本大学にて行われた 3D センサー（レーザー）による車両認識試験は補完関係となっている。よって、アーメダバードにおいて当初計画した信号機制御に関しては、IITH テストベッドでの実証、日印共同による実験、他都市での展開の 3 点を強化することで、補完することができた。
- ⑥**プロジェクトの成果を導入した場合の省エネルギー化・低炭素化における効果や導入にあたり必要となるコストの定量化…**低炭素化の効果の定量化に関しては、研究課題 3 のマイクロ交通シミュレーションを活用して交差点制御や路線制御による局所的な効果を示し、研究課題 4 では都市圏レベルで分析できる都市・交通モデルを用いて効果を検証した。実際の地域にける導入システムのコストに関しては、相手国側の要求に応じてその規模感により変わることになる。2021 年に受注したベンガルール市都市 ITS 事業は、まさに交通渋滞緩和による低炭素化を目指した取り組みとなっており、参考として、市内主要 29 交差点における信号機の設置、市内バスの運行プローブ情報収集管理センター一式、市内環境道路から市内にはいる主要道路 3 カ所への情報板の設置と伴うコストは、約 12 億円となっている。また、コストのみならず後述する信号機設置と交通事故死者数の解析からは、単なるハードウェアのシステム導入以外に、現地における教育といったソフト面での実施なくしては、具体的な効果につながらないという解析を行うこともできた。ハンドブックで他都市での実例などを踏まえて研究成果を整理した。
- ⑦**導入先となる地方・中央政府に対する提言としての検討・整理の実施…**本プロジェクトの成果となるハンドブックに関しては、地方行政（AMC）、中央政府（インド大使館）とも既に高い関心を示しており、アーメダバード市では 2022 年 8 月の第 3 回目のワークショップを開催しており、ハンドブックに関しては、インド大使館を通じて主要インド都市への配布協力を頂いている。また、IITH 提案により、他の IIT（ボンベイ校、デリー校）の関係研究者を IITH に招いての合同シンポジウムも 8 月に合わせ実施した。
- ⑧**アーメダバード市への導入と並行して、インドの他の都市や、同様の問題を抱える新興国への適用可能性…**具体的にはベンガルール市都市 ITS 事業への参画が決定してお

り、2023年からの5年間の運用・管理・保守（O&M）にて名古屋電機を中心に推進する予定となっている。また、タイ SATREPS との 2022 年 1 月開催の合同シンポジウムでは、124 名の参加により、タイにおける交通課題があげられ、第 2 回目への開催要望を多く頂き、実施する方向で検討中となっている。加えて、他の都市で抱える問題を分析するための技術や手法を本研究で一般化することで、他の都市での適用を容易にできることを示した。具体的には研究課題 1 での画像解析で「転移学習」の手法を用いることで他の都市での適用可能性を高められた。

- ⑨同様のテーマに取り組む SATREPS の他のプロジェクトと合同でシンポジウム開催…
上記記載のように、2022 年 1 月の「Thailand4.0 を実現するスマート交通戦略」（中部大学林良嗣代表）と共同で両プロジェクトの研究成果をひろく社会に提供するシンポジウムをオンラインで行った。参加者は両プロジェクトの相手国関係者だけでなく、両プロジェクトに関連したテーマで海外展開を目指す企業・団体から参加頂き、プロジェクトで得られた知識や知見を広く関係する諸団体と共有することができた。好評につき第 2 回目の開催を検討中である。
- ⑩新規センシング技術などの特許の取得の検討…日本大学と名古屋電機において画像による交通センシングについて、本プロジェクトにて実施したさまざまな認識技術に関する内容を特許化する方向で、検討中である。

(3) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

・2020 年 3 月に発生したコロナによる渡航が制限されたばかりか、外出制限にも影響したため、研究員自身が研究機関に出勤できない事態となり、およそ 2 年間の活動制限を受けた。このため、この間の活動はオンラインによるミーティング等にて代用せざるを得なくなった。

・1 項に示したスケジュール表に示すように、2020 年度、2021 年度の活動実施が実質不可能になり、計画の遅延および見直しせざるを得なかった。最も影響を受けたのが、アーメダバード市にて行う 2 つの実証試験になる。

・対策として、コロナ禍の沈静化を待ち、アーメダバード市の新たな研究機関として CEPT 大学による実証試験の実施を 2020 年 10 月～12 月に委託することで、当初の目的を果たすことができた。また、本プロジェクト期間の 2022 年 3 月から 2022 年 9 月までの延長により、コロナ禍による遅れを回復できた。

・次に課題となるのは、プロジェクト期間中に完成する予定であったアーメダバード市のメトロ建設が大幅に遅延し、プロジェクト終了段階においても一部開通の状態であり、解析目標としているメトロ路線が並行して走る Ashram 道路の交通量の把握にメトロの効果が見通せない点があった。当該道路のマイクロ交通シミュレータ構築は完了し、交通による CO₂ 排出は、各交差点にて主に発生する現象は把握できた。また、注目していた Paldi 交差点では、設置した交通モニタによる画像解析も行い、朝夕における具体的な交通量の変化の把握ができた。

2. プロジェクト成果目標の達成状況とインパクト（公開）

(1) プロジェクト全体

インドにおける交通渋滞はコロナ禍の期間は除き、増加をたどっており、現在ではほぼコロナ禍以前の状態に戻っている。本プロジェクトでは、主要都市であるアーメダバード市に着目し、具体的な交通の実態の把握とその解析を目指し、現在活用されている公

公共交通機関の BRT（バス専用レーン走行バス）の活用に加え、建設中の市にとっての第 1 号となるメトロへの自家用車からのシフトにねらいがあった。

残念ながら、メトロはまだ建設の途中であるが、交通のモニタリングでは、主要交差点での画像認識率 80%以上の目標に対し、95%となる認識技術が確立できた。市全体に設置された交通モニタカメラの一部を活用し、渋滞の激しい西側地区における交通解析を年間通じて測定でき、渋滞の起こる時間帯、個所の特定化との、原因の一部を特定化できた。実際のインド都市での正確に長期にわたって測定・解析できたことは初めてといえる。

目標達成できた交通画像認識では、カオス的な交通流にて正確に交通量を把握する技術は科学技術上画期的であり、これまで国内では使われたことのない手法を用いた新規性を有する技術といえる。

研究体制では、2 年目に日本とおインドにおいて 4 つに分けたグループに、それぞれリーダーと Co リーダーを置く体制に切り替え、相互の情報共通を図り、研究の進捗もお互いに確認できる運営ができた。また、IITH から若手研究者 2 名を長期派遣頂き、日本大学研究者との意見交換および IITH 側との思連携等のサポートを頂けた。2 名の研究員は最終的に博士号取得までに成長されたのも、日本大学側での指導の影響も大きいといえる。

最大のインパクトとしては、地方行政（AMC）および中央政府（インド大使館）との人脈を構築することができ、現地側の AMC 副コミッショナーが 3 回異動のため変更があったにも関わらず、継続的な支援を頂けている。更にインド大使館においては、公使、参事官共に日本大学への訪問による意見交換が行え、継続的なコミュニケーションが取れている。コロナ禍で実証試験が困難となった時に、公使の紹介により現地の CEPT 大学教授の紹介まで支援頂けており、ハンドブック完成時には、インドの主要都市への配布に関しても快く引き受けて頂いている。

(2) 研究題目 1 : 「マルチモーダル交通センシングとモニタリング技術の開発」

研究グループ 1 (リーダー : Prof. C.K Mohan IITH)

研究グループ 1 (Co-リーダー : 高橋聡 主事 名古屋電機)

① 研究題目 1 の当初の計画 (全体計画) に対する成果目標の達成状況とインパクト

研究題目 1-1 「対象都市におけるマルチモーダル交通センシングに関する研究」 に対して、本研究課題特有の問題となる 3 輪のオートリキシャや 2 輪車が多数折り重なって走行する環境下を前提に、2017 年度より日印双方にて車両・交通センシング技術の検討及び選定を実施してきた。その中で、交差点に設置した CCTV の映像から、AI・機械学習により車両を検出・追跡することによる交通センシングを基本方針として定めた。対象都市であるインドでは、車線を遵守しない走行が標準的であり、車線に依存しない交通センシング技術が不可欠となる。これを実現するために、機械学習モデルである深層ニューラルネット (DNN : Deep Neural Network) の中でも特に画像認識に実績のある CNN (Convolutional Neural Network) を用いた車両検出に基づく交通量計測手法を構築した。具体的には、対象とする車種分の車両データで CNN を学習したのち、解析対象映像中の各フレームに対して CNN で車両検出を行い、連続したフレームでの検出結果を対応付けて同一車両追跡を行う。追跡車両が、あらかじめ画像中に設定した検知線を通じたか否かを車種ごとに計測し、車線に依存しない交通量計測を実現した。

2018 年度に、特異な取り組みの一つ目として、可視カメラでは交通センシング性能が限られる夜間等への対応を前提に、ToF (Time of Flight) センサや

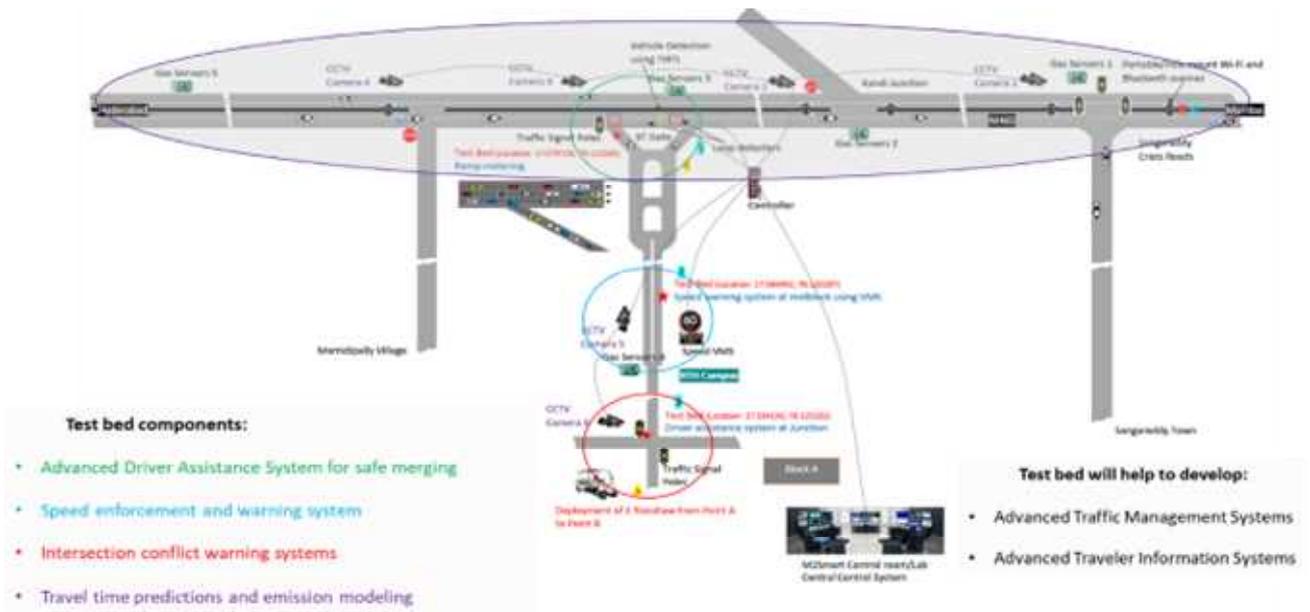
LiDAR(Light Detection And Ranging)といったセンサデバイスから得られる、いわゆる距離画像を基にした交通センシングを行うこととし、背景差分処理による移動体検出と距離に基づく路面接地判定を利用した車両検知法及びその結果に基づく計測手法を構築した。特異な取り組みの二つ目として、交差点を上空から俯瞰できるドローンを利用した映像を AI により解析することで、交差点における車両の流れを一方方向だけでなく面的に捉える交通センシングを可能にした。

本研究課題を通して、可視カメラからの交通センシング技術と ToF センサからの交通センシング技術の先進的な知見が得られており、さらに計測システムとしての運用上必要な要件と思われる、これらセンシング技術の自動切り替えアルゴリズムを整備することで知財化を見込む余地があると考え検討を進めているところである。

研究題目 1-2「IITH キャンパス内の基本的な車両センシングの実証実験」に対して、IITH キャンパス内に整備したテストベッドが 2019 年 5 月にテープカットを迎えており、画像認識のための CCTV に加え、超音波検知器やループコイルセンサなども設置することで、正確な交通流の把握に役立てられている。これらのセンシングにより速度抑制・注意喚起システム、交差点コンフリクト注意喚起システムなどを実装している (図 1-1)。IITH メインゲートに設置した CCTV データに対して車両計測技術を適用し、TIRTL (The Infra-Red Traffic Logger) により得られる計測データを真値として精度の検証を行った。1 時間の交通量計測の結果を表 1-1 に示す。都市部交差点から得られる映像とは異なり、IITH メインゲートから得られる映像は自由流の状態が多くを占める好条件ではあるものの、各車種において約 90%の計測精度を達成することができた。

低炭素社会に資する交通センシング技術の一応用例として、画像認識による IITH キャンパス内の駐車可能スペースの検出を行い、95.4%の検出精度を達成した。この成果を基にしたスマートパーキングシステムとして WEB アプリケーションを開発し、2021 年 11 月のある一日 (約 24 時間) の動画に対して検証を実施し、その有効性を確かめた。

ToF センサによる車両検出について、2020 年度までに日本国内の片側 3 車線の道路にて夜間のデータを取得して、複数車線の車両検出手法を研究してきた。夜間の片側複数車線の実験データに対する検証として、センサの有効検出範囲の 15 mに合わせ、片側 3 車線までの車両検出を行った結果、手前側の 1 車線目は 100%検出でき、2、3 車線目も 80%以上検出という精度を達成した。2021 年度には、片側複数車線の実験データを 1200 台まで増やして検証を行い、各車線で昨年度と同レベルの検出率を維持することができた。また、通過車両の速度を算出することにより、車両速度が 20km/h 以下の場合渋滞として検知する手法を構築した。



全体図



CCTV による車両検知



接近している車両への注意喚起

図 1-1 IITH テストベッド

表 1-1 IITH メインゲートにおける 1 時間の交通量計測の結果

車種	TIRTL	提案手法	計測精度[%]
オートリキシャ	132	121	91.6
バス	174	165	94.8
普通車	607	545	89.7
バイク	620	552	89.0
トラック	40	37	92.5

研究題目 1-3 「実フィールドへのマルチモーダル交通センシングの実装」に対して、2020 年度までに、インドの Paldi 交差点の CCTV から得られた実データに対して、You Only Look Once (YOLO) v5 と呼ばれる CNN モデルを利用した交通センシング研究に取り組んだ。15 シーンの動画を目視確認したものを真値として精度検証したところ 80% の計測精度であることを確認し、PDM における Output 1 を達成した。研究題目 2 との連携を見据えた検討として、対象都市交差点である Paldi

交差点のピーク時 20 分間の車両分布の計測を行い、交通状況を可視化した。図 1-2 に Paldi 交差点におけるピーク時 20 分間の車種ごとの台数分布を示す。結果より、交差点交通におけるバイクが占める割合の高さが確かめられた。

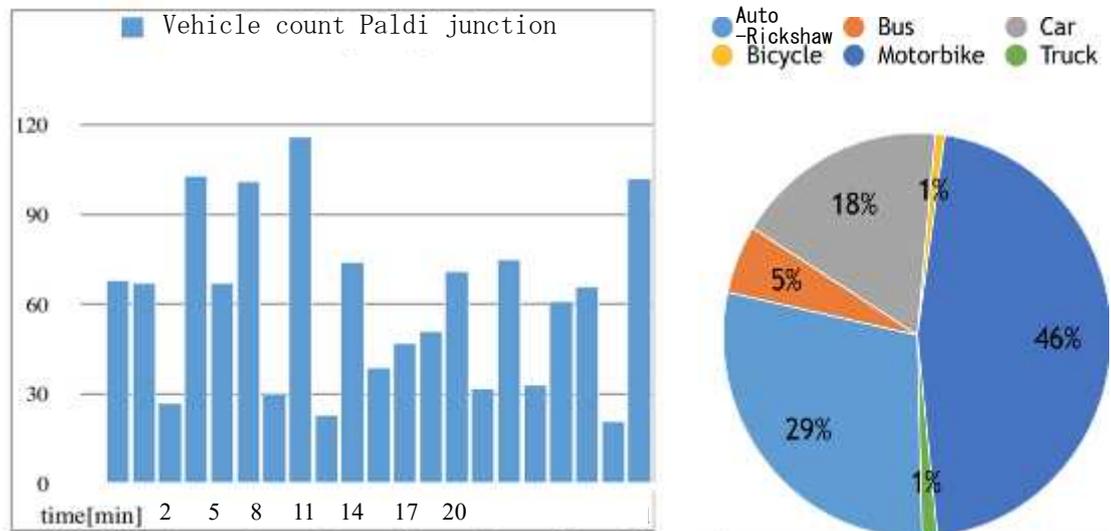


図 1-2 Paldi 交差点におけるピーク時 20 分間の車種ごとの台数分布

ドローンによる空撮映像は、インドのような複雑な交通環境に対して CCTV よりも認識しやすく、交通センシングにとどまらずに様々な解析の可能性を見出せる。交差点は渋滞の主な発生源の一つであり、交差点における交通行動を理解することは重要である。この問題に対し、交差点におけるより小さな空間領域の交通状態を、トラフィックグラフを用いて把握する方法を検討した。

トラフィックグラフは、時間と共に変化する交通の相互作用をよく表現することができ、ある空間領域において、短時間に多くの車両が集まったり離散したりすると、トラフィックグラフの構造が変化することが観察された。このような時間的に変化する近傍のパターンは、トラフィックグラフの隣接行列を用いることで表現できる。そこで、CNN と GRU (Gated Recurrent Unit) からなるネットワークを用いて、これらの隣接行列の時空間的パターンを学習することにより、トラフィックグラフの時間的変化を利用して交通状態を識別するアプローチを提案した。交通グラフの隣接行列に対して学習させた時空間 CNN-GRU ネットワークにより、交差点の様々な空間領域において、a) クランピング (車両同士が集まっていく状態)、b) ニュートラル (車両の相対速度と間隔が等しい状態)、c) アンクランピング (車両同士が離れていく状態) を識別できることを示した。CNN との組み合わせとして、時系列データを扱う構造である LSTM (Long Short-Term Memory) や RNN (Recurrent Neural Network) と GRU を精度比較した結果を表 1-2 に示す。各ネットワークの数字は層におけるユニット数を示し、A の有無は、時系列構造をより効果的に捉えるためのアテンション機構の有無を示している。

結果より GRU を組み合わせによる分類精度が平均して最も高い精度であることを検証できた (D. Roy et al. *IEEE ITSC*, 2020)、また、図 1-3 に識別結果例を画像で示す。

表 1-2 交通状態識別精度の比較 (D. Roy et al. *IEEE ITSC*, 2020)

ネットワーク	精度[%]			
	ニュートラル	クラumping	アンクラumping	全体
GRU(100, 50)	69.89	51.31	68.47	64.0
GRU-A(100, 50)	65.59	40.78	82.60	64.4
LSTM(100, 50)	62.36	47.36	71.73	61.3
LSTM-A(100, 50)	64.51	60.52	66.30	64.0
RNN(100, 50)	67.74	28.94	70.65	57.5
RNN-A(100, 50)	63.44	43.42	73.91	61.3

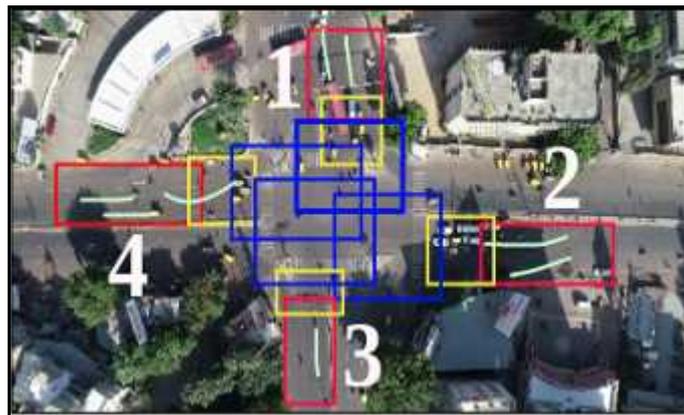


図 1-3 Paldi 交差点における交通状態識別の結果
(赤：クラumping状態、黄：ニュートラル状態、青：アンクラumping状態)

この成果として、インドのアーメダバードにある交通量の多い 3 つの交差点で収集した 3 時間の空撮動画を含む EyeonTraffic (EoT) という大規模データセットを構築してインターネット上に成果を公開し、国内外に広く展開している。

URL:<https://github.com/NaveenKumar-1311/EoT-EyeonTraffic>

研究題目 1-4 「マルチモーダルに対応した高度な交通センシング技術の標準化に向けたハンドブック作成 (他都市への展開と応用の検討)」に対して、研究課題 1 の成果である交通センシング結果を基に、本研究課題を達成するにあたり重要な技術である画像処理、画像認識の観点から要素技術を体系化、整理した。ハンドブックの「Video Image Processing with AI」の章では、要素技術そのもの及び、それらの技術をインドの実環境に適用したケーススタディの結果を記述した。研究題目 1-2 で取り組んだスマートパーキングシステムや、研究題目 1-3 で取り組んだ空撮映像からの交通状態識別が該当する。同じく「Vehicle Detection by CCTV」の章では、より車両検出、車両計測に特化した内容として要素技術を項目化したうえで、インドの交通に適した車両検出方法や計測方法について記述した。さらに、他の新興国都市への展開を考えるうえで大きな障害となりうる課題として、それぞれの計測環境が異なるために新たに大量の AI の学習データ収集が必要になるという問題が考えられ、これに対し有効なアプローチとなり得る「転移学習」や「データ拡張」について、検証結果を交えて記述した。

物体検出モデルの M2Det を一般物体検出用の COCO データセットで学習したのち、インドの道路の走行映像 (総車両数約 17 万) からなる IDD (India Driving Dataset) と、IDD の 100 分の 1 程度の規模で作成した、Paldi 交差点映像からなるデータセットそれぞれで転移学習し、Paldi 交差点の映像に対して台数計測を行った結果を表 1-3 に示す。結果より、現地映像を利用した総車両数 2,000 に満たない

小規模データで転移学習することで、汎用の大規模データのみで学習する場合と同等以上の性能を示すことを確認した。

表 1-3 日中約 30 分間の映像を用いた交通量計測の台数比較

		普通車	バイク	オート リキシャ	バス	トラック	総台数
	真値(A)	320	976	575	90	26	1987
IDD	出力台数(B)	352	1321	405	71	59	2208
	正解台数(C)	286	877	369	59	18	1609
	精度(C/B)	89.4%	89.9%	64.2%	65.6%	69.2%	81.0%
	再現率(C/A)	81.3%	66.4%	91.1%	83.1%	30.5%	72.9%
Paldi	出力台数	319	980	490	68	20	1877
	正解台数	291	845	438	66	16	1656
	精度(C/B)	90.9%	86.6%	76.2%	73.3%	61.5%	83.3%
	再現率(C/A)	91.2%	86.2%	89.4%	97.1%	80.0%	88.2%

全ての車両データを学習させるには膨大なコストがかかり、現実的ではない。代替策として、変化に対してごく粗く取得したデータを種として、想定される変化に応じた変形を種画像に対して人工的に加えて学習データを水増しする方法が用いられる。これをデータ拡張という。YOLO v3 を用いてオートリキシャをごく少数の 250 サンプルで学習した場合と、それを種に明度、彩度の変化と回転を施し、17,800 サンプルまで水増しして学習した場合とで、検出精度（再現率と誤検出率）を比較した。再現率は 46%から 70%に向上、誤検出率は 2.5%から 1.6%まで減少し、車両検出においてもデータ拡張の効果を確認した。

② 研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

相手国研究メンバーらと、お互いに研究してきた交通情報センシング手法に関する技術的な要素を face-to-face のミーティングを通して、確認・共有するとともに、定期ミーティングや成果発表の場を通して、小型車両に特化した検出技術や、他都市展開を見据えた学習データの効率的運用方法に関する技術を提供した。

③ 研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

動画像の取得方法として交差点に設置した CCTV の利用に加え、ドローンにより撮影する動画像を利用した点や、交通センシングとして車両検出、車両台数計測に基づく状態の認識だけでなく、交通（混雑）の状態を直接識別するアプローチの検討は、当初想定されていなかった展開である。また、交通センシング技術の応用としてスマートパーキングシステムなど成果も、新たな展開となった。

④ 研究題目 1 の研究のねらい（参考）

本研究では、一般的な交通流把握のための測定カメラと CCTV により、研究題目 2 における交通解析や、研究題目 3 における交通シミュレーションにおいて利用可能な精度として、対象交差点での進行方向などを含めた交通流の 80%以上の認識を目指した。また、一般的に使用される交通トラフィックカメラによる対象である 4 輪車両のセンシングに加え、インド特有の環境としてオートリキシャや 2 輪車も含めた、車線や検出ゾーンに依存しない、交通センシング技術の確立を図り、時間帯や天候による日照や交通量の変化等、複数の条件を網羅するような実環境データを取得し、本研究で確立した交通センシング技術の実環境における実用性の検証を行った。

⑤ 研究題目 1 の研究実施方法 (参考)

IITH キャンパス内の IITH テストベッドに設置した画像センサや超音波センサなどの各種センサ、アーメダバード市でレンタルする交差点等に既設の画像装置や、Paldi 交差点に新設する 360° 撮影可能な画像装置(CCTV)などにより、リアルなインドの交通状況・情報を取得し、それらのデータを日印で共有のうえ、各々が持つ技術を利用、融合してセンサ情報の解析を通じた交通状況の解析を行った。センサ情報の解析から得られたデータを再度日印で共有し、それぞれの解析手法の課題を洗い、共同で課題の解決を図りながら、それぞれのセンサの最終的な利活用方針の策定に向けて継続的に検討を行った。また、センシングデータを研究題目 2 などへ提供するため、要求されるセンシング情報や、新たに必要となるセンシング情報を適宜確認しながら、研究題目を超えた日印研究メンバー合意の基、課題達成に必要な交通センシング技術を確立した。

研究題目 2：「マルチモーダル交通流のビッグデータ解析」

研究グループ 2（リーダー：石坂哲宏 日大）

研究グループ 2（Co-リーダー：A. Prof. M. S. Desarkar IITH）

- ① 研究題目 2 の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト
研究課題 2-1 「ビッグデータ解析の全体およびダイナミック交通解析の研究」
 に関連して、本研究課題のビッグデータの収集する環境と仕組みを整備し、目標は達成された。

研究課題 2-1 ではアーメダバードで運用されている交通カメラのうち 10 カ所（図 2-1）から、長期間にわたる交通量データを継続的に取得し、それらのビッグデータを相手国研究機関とも共有する体制を整えた。なお、可変情報掲示板（VMS）による交通情報提供範囲を包含し、マルチモーダルアプリの主なターゲットであるメトロを含めたマルチモーダル環境を想定した地域を包含して設定された。



図 2-1 アーメダバード・Paldi 交差点と 10 カ所の交通カメラ

次に、マルチモーダルアプリケーションで必要となる交通情報の収集をアーメダバードの行政当局の協力を得て行うことができた。加えて、IITH テストベッドで構築したシステムをアーメダバードで実用的に展開するための、チャットポットに必要な交通テキストデータの収集を行った。

ビッグデータを解析するうえで困難なことは、ビッグデータに含まれている不必要なデータ（想定外の外れ値、エラーを含むデータなど）をクレンジングする必要がある。そのクレンジングの処理技術の開発は、データ処理を行うたびに逐次認識され、その都度対応策を検討せざるを得ない状況であったので、研究課題 2-3 において、欠損値を考慮したモデルの構築と評価を行った。

研究課題 2-2「基礎フィールドテスト（IITH/日大）におけるビッグデータによる交通解析と評価」に関連して、IITH と日本大学が共同して、基礎フィールドテスト（IITH テストベッド）における交通解析技術と評価手法の確立を行った。次の A) から C) の項目に関して、2-2 でその手法と基礎的な知見を整理し、その成果として得られたアーメダバードでの適用結果を 2-3 で報告する。

A) 深層学習手法を用いた将来の交通状態の推定手法

研究課題 1 の CCTV から得られた映像やセンシングデバイスから得られた交通データに対して、深層学習の一つの手法である「LSTM：Long short-term memory」を用いて、時間変動をトレース及び短期の将来予測できる手法を構築した。2018 年 11 月 19 日から 2019 年 8 月 29 日の間で、交通量データに欠損が少ない 139 日のデータを用いて、その 80%を学習用、20%を検証用として設定した。学習用データと検証用データを用いて、深層学習における損失関数を確認すると過学習などの状態に陥っておらず、本手法の有効性が確認された。

B) 交通ビッグデータ（GPS データ）による現在の交通状態解析

IITH のテストベッドで構築した車両走行位置検知システムを用いて、IITH キャンパスと市内を結ぶバスの到着時間予測技術の構築を行った。GPS から得られる位置情報から推定される旅行時間や到着時間に対して、マップマッチングのアルゴリズムの構築、データの集計方法、予測モデルの構築などの技術開発を行った。

IITH テストベッドで基礎的な分析技術を確立し、アーメダバードの BRT（バス高速輸送システム）の走行軌跡データから、BRT のサービス水準（旅行時間や遅れ、団子運転などの走行状態）を推定する技術の開発を行った。位置情報の取得間隔が路線や状態によって、5 秒から 1 分、それ以上になることもあり、単一的なマップマッチング手法では、区間の特定に困難状況が生じた。そのため、通常のマップマッチング手法ではなく、短区間（10m）程度で、線バッファを引き、当該バッファ区間に含まれる走行データから区間の情報におきかけるなどの、処理プログラムの開発を行った。これらのプログラムを用いて、BRTS の速度低下（遅れ発生地点）の視覚化（3D GIS による表示）、速度低下（遅れ発生地点）の特定を行うことができた。

C) M2Smart Transport Bot の構築

本研究プロジェクトでは、「M2Smart Transport Bot」と呼び、対話型 AI を用いて、アーメダバードとハイデラバードのアプリ利用者からの投稿（質問）に対する交通情報（回答）を提供するワンストップ型のサービスである。機能としては、周辺情報の検索、公共交通情報（GTFS データ）の提供、所要時間・距離の推定、本プロジェクトのデータベースとの統合による交通情報提供を予定している。研究開発上の要素として、タスク指向の仮想アシスタントまたは対話システムにおいて、アプリケーション上で交通情報を提供する際に大規模な注釈付き会話データセットを多言語化して利便性を高めていくことがアプリ利用促進に重要な役割を果たすと考えている。インドに適した交通アプリでの対話システムの開発を加速するために、コード混合英語-ヒンディー語データセットを提案した。データセットには、ルートの検索、バス/電車/タクシーの検索、近くの場所の検索、交通情報のクエリ、ドメイン外のクエリなどを統合して、既存の最先端モデルを使用して、ユーザの意図を特定するための研究開発を行った。

研究課題 2-3 「マルチモーダル交通に利用可能な交通情報収集及び解析技術の検証」に関連して、研究課題 2-1 で収集したデータに対して、研究課題 2-2 の IIHT テストベッドで構築した解析手法に適用して、アーメダバードにおける交通情報収集技術と解析技術の検証を行った。

A) 深層学習手法を用いた将来の交通状態の推定結果

研究課題 2-2 で確立した予測技術 (LSTM) を用いて、空間的交通状態を表す指標として MFD (Macroscopic Fundamental Diagram) を予測するモデルを構築できるかを検証した。MFD はエリアで集計した車両存在台数と総走行台キロの関係を表す指標であり、エリア内の交通状態とエリア間の交通状態の遷移を表現することができる。アーメダバードを 4 つの対象地域に分割し(図 2-2)、それぞれの地域の MFD を推定し、隣接するエリアの MFD からどのような影響を受けるかを検証した。

その結果を図 2-3 に示すと、観測値より予測値の範囲が広がっているように見えるが、時系列的な遷移状態は追うことができることを確認した。図 2-4 は、area3 を入力値に含めるかを有無による MFD の予測精度を比較したものである。横軸は予測される将来の時間間隔を示したものである。相関係数が 0.85 を上回ることを条件とすると、自身の地域の含めないデータでは 3 時間先までの予測が可能であり、自身の地域を含める場合は、18 時間先までの予測が可能であることが示された。本研究課題でマイルストーンとした短期将来交通状態の予測モデルの構築は完了し、高い予測精度を確認することができた。

本プロジェクトでは、交通カメラが設置されていない area3 に 5 つのカメラを設置したが、当該エリアだけでなく、交通カメラなどのセンシングデバイスが設置されておらず、交通状況をモニタリングできていないエリアは都市内に点在している。本研究の研究成果の通り、センシングデバイスの整備が不十分なエリアに関して、周辺の交通データより補間して予測できることを示すことができたことは、センシングデバイスの整備と解析手法のバランスを取った交通情報収集が戦略的に可能となるといえる。

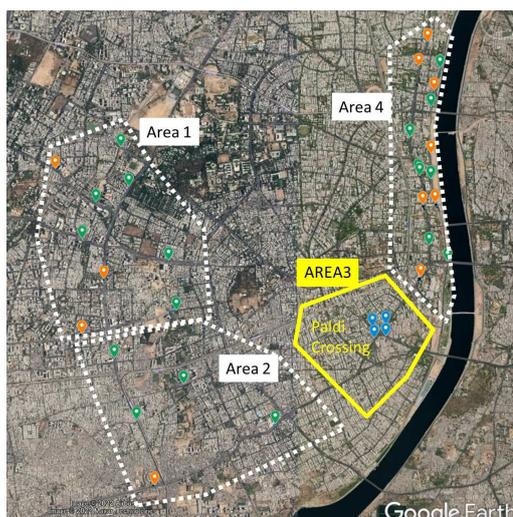


図 2-2 MFD の集計エリア

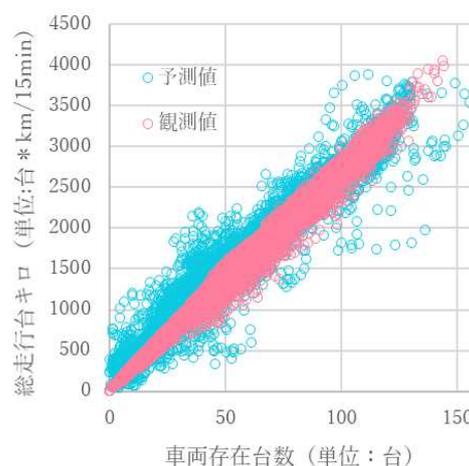


図 2-3 MFD の予測結果

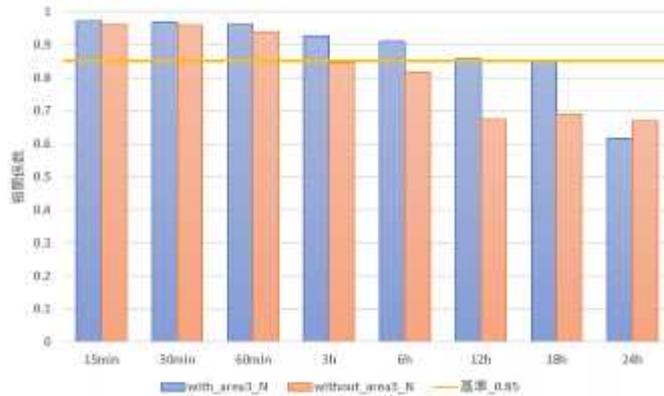


図 2-4 MFD(車両存在台数)の相関係数

次に、インドの車両感知器から収集したデータには多量の欠損値が含まれていて、その取扱いが課題であった。そこで欠損値が多く含まれている中でも深層学習によって短期的な交通量予測が可能かどうかを検証した。画像型の車両感知器で移動する車両を誤検知、未検知することが真の交通量と観測した交通量の違いを生むことになるが、ここでは全く交通量が得られなかった状態、つまり、データとしては 0 となることを欠損値として定義して取り扱った。ここで、朝の 8 時にデータに欠損が生じたと仮定し、交通量を予測できるかを検証した図 2-5 を示す。疑似的な欠損値を発生させない場合（観測されたデータで予測する場合）は、実測値と若干の乖離が生じるが、朝の交通量の増加を表現することができることが分かった。一方、疑似的な欠損値を発生させたオレンジの予測値は、途中より実測値との乖離が大きくなり、予想には適していないことが分かった。冒頭に述べた通りアーメダバードの観測された交通量データには大きく欠損値が含まれることから、その欠損が生じた状態でこれまでの機械学習手法を用いると精度が確保できない恐れがあることが示された。モデルの頑健性を高めていくことが課題として得られた。

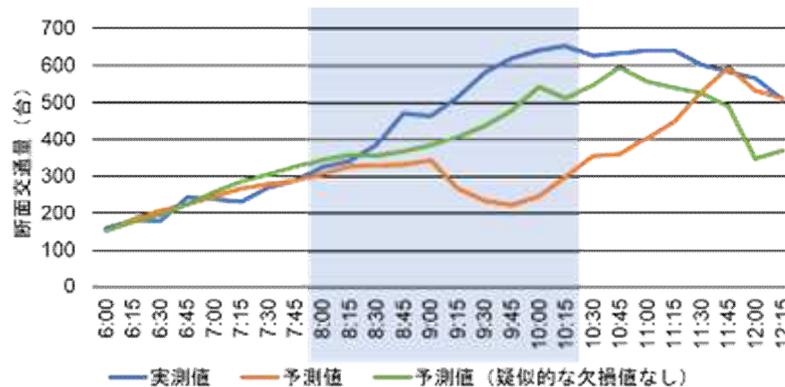


図 2-5 欠損状態を考慮した予測性能比較

B) 交通ビッグデータ (GPS データ) による現在の交通状態解析

BRT 運営会社である Janmarg より、アーメダバード市の BRT 運行データを入手し、BRT 運行状況解析から交通の渋滞する箇所の特定および路線による状況の推定を行った。分析の手法としては、包絡線分析 (DEA) を用い、BRT の運行データ (バスの走行軌跡) を区間ごとに、データを集計し、様々な角度から集計されたデータをもとに BRT のバス運行の効率性の分析を行った。既存の旅行時間

信頼性指標（BTI）とは異なるデータの集計方法でその特性を把握することができた。BRTの旅行時間の安定性に関する本研究結果は、マルチモーダルアプリで提供される旅行時間の信頼性を検討するうえで必要なデータであるといえ、マルチモーダルアプリでの提供データ（静的な時刻表テーブルデータ）と利用者の行動の変化を把握する上での基盤情報となった。

図 2-6 では BRTS のルート 1 D (Maninagar-Ghuma Gam 間) の運行パフォーマンス分析の結果である。BTI は指標が高いほど旅行時間の信頼性が低いことを示しており、ここでは道路区間 6 番で 17 時から 20 時 30 分の時間帯であることが分かる。道路区間 6 番は主要なターミナルとなっている Shivranjani BRT Station を含んでおり、交差点の信号処理とバスベイへバスが進入できないことと原因として推察できる。そこで、バスベイの運用方策をシミュレーションで検証し、既存研究 (Ankit Kathuria(2016)) を基準として、バスベイにおける一回当たりの待ち時間を短縮することができることを示せた。

交通ビッグデータを用いて、問題点の発見、改善案の提案に至る一連の研究成果を得ることができた。

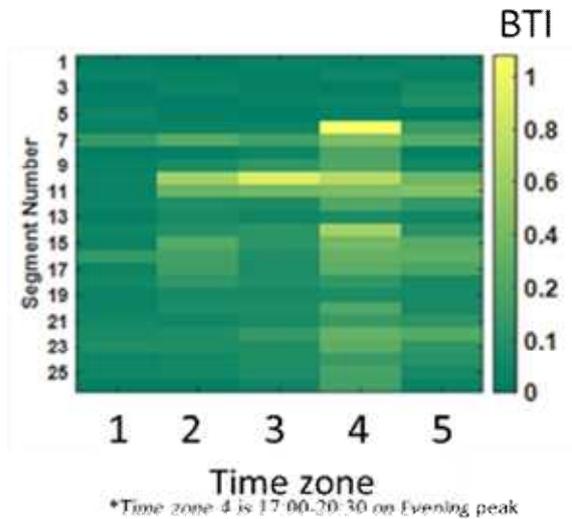


図 2-6 旅行時間信頼性指標（BTI）による BRT の運行パフォーマンスの分析

C) M2Smart Transport Bot の適用

「M2Smart Transport Bot」のアーメダバードへの適用、カメラ設置個所の交通状態推定、カメラ設置個所前後を含めた路線としての交通状態推定、複数のカメラからの交通情報を基にした空間的交通状態の推定を行った。

「M2Smart Transport Bot」に関連し、交通に関するインドのツイートを収集し、これらを現在の交通状況と行動予定等を組み合わせてデータベースとして構築した。これらから交通状態を推定する機械学習手法を構築し、その手法として転移学習の有効性を示した。ここで、これらの転移学習は、インド以外の海外のデータも用いているが、訓練データにインドの交通データの占める割合によって変化する。その割合毎に学習の性能評価指標を図 2-7 に示した。インドの交通データが増加すると性能評価指標も向上するが、100%では F1 スコアで 0.86 となった。

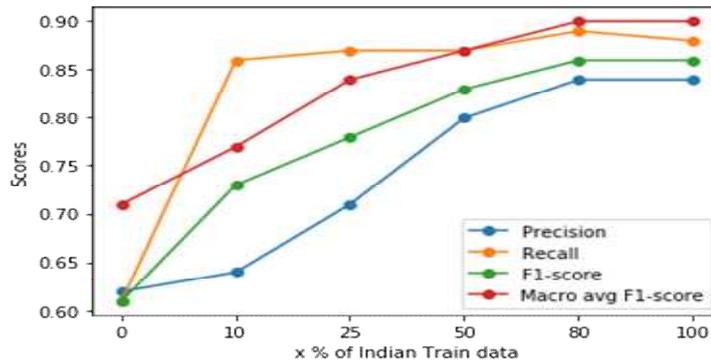


図 2-7 インド交通データの付与による性能評価指標の向上結果

研究課題 2-4「マルチモーダルシフトの推進とマルチモーダルアプリケーションの開発」に関して、本格的な利用段階の前段階としてアプリケーションで提供する情報を想定し、インド及び日本国内でアンケート調査及びプレ実験を行った。

日本国内では、マルチモーダルアプリケーションを想定して 2 種類のアンケート調査を実施した。1 つ目は、マルチモーダルアプリケーションで実装した交通情報の提供ルールの違いによる選択行動を分析する調査である。2 つ目は、マルチモーダルアプリケーションで提供される公共交通と端末交通をシームレスに連携した選択肢を検索だけでなく、予約・支払いまでをトータルに提供した場合の選択行動を分析する調査である。

一つ目に関しては、アプリでは所要時間、料金、ECO 度の要素においてそれぞれ優位な順で交通手段・経路を表示しており、どの要素が表示されるかがランダムに発現するようになっている。非集計ロジットモデルの交通手段選択モデルを構築した結果、アンケート被験者全員を対象とすると料金の影響が強く、所要時間と料金を優先する並び順に関しては、併せて表示した ECO 度は選択行動に大きく寄与しないことが示された。ECO 度を優先的に並べた場合においても、ECO 度が選択に有意に影響を与えるという結果とならなかった。上記はアンケートの全対象者に対する結果であるが、アンケート項目で判明した地球温暖化への高い関心がある人に限定して分析を行うと、並び替えによって、ECO 度が高い、つまり、CO₂排出量が少ない手段を選択させる可能性が示された。

2 つ目に関しては、端末交通手段の情報提供(52%)は、所要時間(73%)、料金(63%)に次ぐ、重要な要因であることが明らかとなった。一方、ビッグデータ解析から得られる旅行時間の信頼性に関しては 10%、アプリ上での交通手段の予約の可否は 5%という低い結果となった。これらの割合はアプリケーションで表示される情報の中で何を重視して交通手段選択を行うかという質問(複数回答可)の結果である。これらを踏まえ、非集計ロジットモデルを用いて、交通手段選択モデルを構築した。日本でのアンケート調査であったので、端末交通手段としてタクシーやシェアサイクル等を想定したが、これらの交通手段の情報提供は、公共交通を合わせて選択することを増加させる有意な要因であることが認められた。

インド・アーメダバードにおいて、アプリを用いたプレ実験を 2018 年 11 月から 12 月に 10 人のアーメダバード市民を公募して、アプリとオートリキシャを BRT の端末交通として利用してもらう実験を行った。図 2-8 は、実験の前後における利用環境に対する認識の変化を示したものである。多くの項目に関して、アプリの利用や端末交通の利用が、利用者の満足度の向上に寄与していることが分かる。特に、オートリキシャを送迎に利用する際の予約やオートリキシャの利用時間、オートリキシャの利用可能性の増加に対する満足度が向上した。本アプリや端末交通してオートリキシャを運用してシームレスな公共交通輸送サービスを提供する意義を確認することができた。

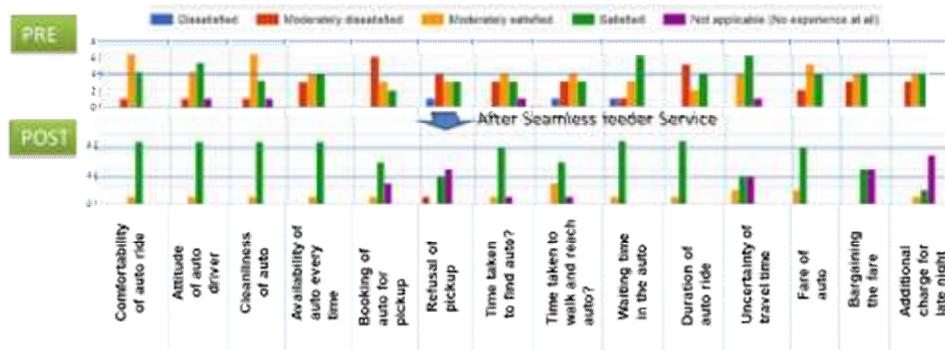


図 2-8 実証実験参加者の参加前後の端末交通手段に対する認識の変化

インドでは、バス、メトロなどの公共交通の整備が進められている一方、利便性の高い乗用車などの私的交通機関の利用が急激に増加している。公共交通の利用促進には、出発地や目的地と最寄り駅までの間の端末交通手段（2次交通）によるラストワンマイルの利便性向上が必要不可欠である。そこで本プロジェクトでは、タクシーの役割を担っているオートリキシャ（自動三輪車）を端末交通手段として、その利便性を高めるためのスマホアプリを開発した。乗用車からメトロまでの交通手段の時刻表データ、運行データ、混雑状況などのマルチモーダルな交通情報を一つのアプリに統合した。そのうえで、出発地から目的地まで、オートリキシャを端末交通手段として利用し、公共交通手段をシームレスに乗り継げるナビゲーション機能を付与した（図 2-9～2-11）。



図 2-9 交通情報の統合とシームレスな公共交通輸送サービスの提供



図 2-10 M2Smart Multi Modal Application のスタート画面



図 2-11 M2Smart Multi Modal Application の選択・ナビゲーション画面

- ② 研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況
- 研究課題 2 における中心的な研究課題である 2-3 において、深層学習を使ったモデルを日本側及び IITH が共同で開発することができた。IITH と日本側で共通した技術であったので、意見交換し、技術的な向上を図ることができた。日本側は交通工学が基盤の技術であり、交通の流れや交通制御に関する理論的な情報提供を行い、IITH が得意とする深層学習手法の解析ないように齟齬がないかを議論の過程で確認でき、両者の強みを生かした技術開発を行うことができた。
- ③ 研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開特になし。
- ④ 研究題目 2 の研究のねらい（参考）
- 開発するマルチモーダル交通流の計測技術を適用し、アーメダバードにおける交通流の特徴の把握並びに施策実施時の効果計測（交通状態への改善・変化を計測）することが狙いである。また、車両感知器や CCTV などの路側設置の観測装置による情報だけでなく、BRTS の走行軌跡データなどを融合してアーメダバード市の交通状態を明らかにし、研究題目 3 における導入効果を得るうえで必要となる交通状態を把握することがねらいである。
- ⑤ 研究題目 2 の研究実施方法（参考）
- 研究課題 2-1 においては、ビッグデータを解析していく上での研究環境を整え、既存研究の整理の中からビッグデータのデータマイニング手法、分析手法を見出し、解析手法を構築することが中心である。研究課題 2-2 においては、IITH や

日本における基礎テストベットにおいて研究課題 2-1 で構築した手法を適用することになる。また、研究課題 2-3 では、アーメダバードの実データに適用し、実用化に向けた検討を行うことになる。研究課題 2-4 では、ビッグデータ解析から得られる、踏まえマルチモーダルアプリケーションで低炭素な交通行動を促す要因を鑑みて、マルチモーダルアプリケーションの構築を行うことにある。

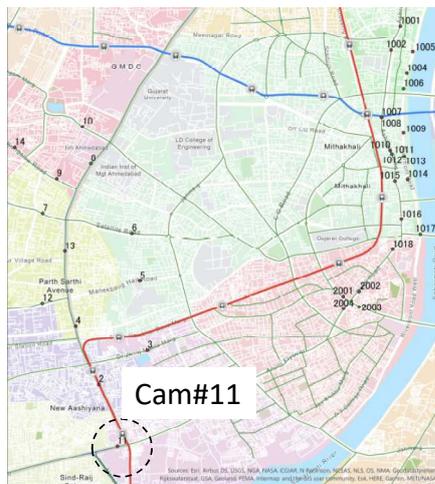
(1) 研究題目 3 : 「マルチモーダル交通管理と情報提供」

研究グループ 3 (リーダー : A. Prof. Digvijay Pawar IITH)

研究グループ 3 (Co-リーダー : 坪井務 名古屋)

① 研究題目 3 の当初の計画 (全体計画) に対する成果目標の達成状況とインパクト

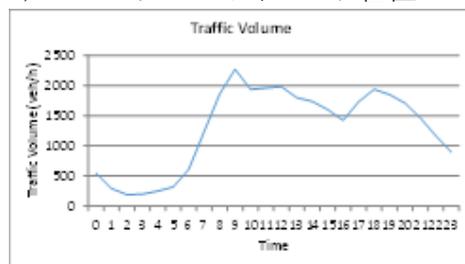
研究課題 3-1 「マルチモーダル交通管理に関する評価手法の構築及びフィールド試験評価」に関連して、本課題では、マルチモーダルに移行するために、現状の交通状況の正確な把握と、これらの情報をもとに如何に情報を伝えることで、それにあった行動がとれるか？あるいは最適な交通手段の選択を行うことにガイドができるか？を確認することにある。評価手法として、研究課題 1 で行っている交通画像認識のほかに、アーメダバード市内に設置された交通モニタカメラからのデータをもとに、市内の交通状況の把握を行った。年間通じた交通モニタから、市内での渋滞は夕方 (17 時~20 時) に起きており、交通量の多い午前中には渋滞にまで達していない現状把握ができた。図 3-1a) に交通モニタの配置例、b) 交通モニタカメラ、c) カメラ (Cam#11) の交通量、d) カメラ (Cam#11) の占有率 (渋滞) の特性例 e) 対象範囲の 19 時の交通渋滞解析結果を示した。(いずれも 2020 年 10 月 1 ヶ月の観測データ)



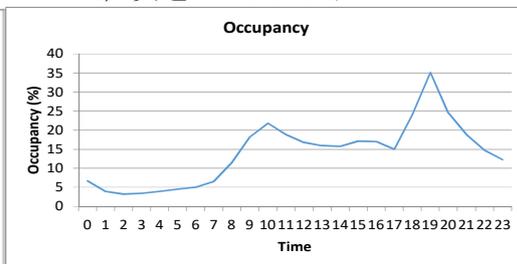
a) アーメダバード市カメラ位置



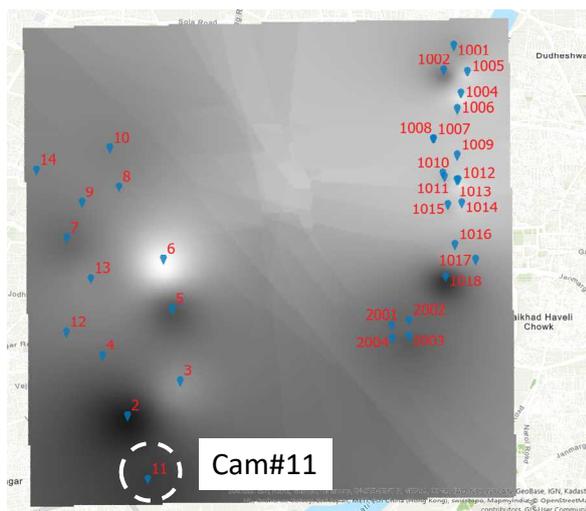
b) 交通モニタカメラ



c) カメラ (Cam#11) の交通量



d) カメラ (Cam#11) の占有率



e) アーメダバード市 19 時の交通渋滞解析
 図 3-1 カメラ (Cam#11) の交通状況例

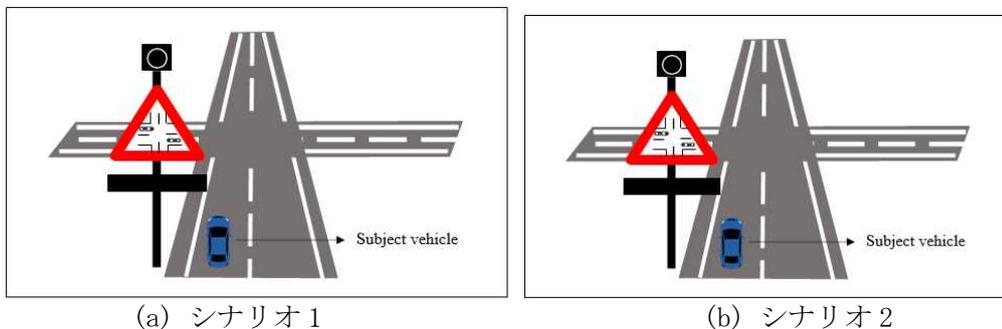
ここでの、交通状況解析は GIS ツール (ArcGIS) を使い、ポイントデータの内挿法を用いて示すことで、全体の市内における交通渋滞が把握できる。これらの解析は年間を通じたデータ取得により、渋滞の時間帯および個所を明確にすることで、将来の交通予測において活用が期待できる。

フィールド試験に関しては、IITH テストベッドにて設置した交通標識 (交差点横断交通車両警告) によるドライバーの反応試験と研究課題 3-2 および 3-3 において解説するように、それぞれ交通情報板 (VMS: Variable Message Sign board) に表示したコンテンツに対するドライバーの行動を、スマートフォンを用いた住民の都市内移動の状況を把握することを実施した。

IITH のテストベッドにおいて、信号のない交差点を想定して図 3-2 のような衝突防止警告システム (Intersection Conflict Warning System: ICWS) を設置し、ドライバーの反応について評価検証を行った。ICWS は、従道路における接近車両を検出するためのセンサと、主道路のドライバーへの警告を行う LED 表示板で構成されたシステムである。

検証にあたっては以下の 3 つのシナリオを設定した。

- シナリオ 1: 従道路に車両が存在しない場合 (警告なし)
- シナリオ 2: 従道路に車両が接近し、主道路側へ警告を行う場合
- シナリオ 3: ドライバーへの事前に警告システムについての教育を行った場合



(a) シナリオ 1 (b) シナリオ 2

図 3-2 ICWS を用いたドライバーの反応実験

18 名のドライバーによる検証の結果、図 3-3 に示すように、シナリオ 3 ではシナリオ 1 と比較して平均速度が 6.52km/h 低下、平均加速度が 0.33 m/s² 低下して

いるなど、3つのシナリオ間において平均速度と平均加速度で統計的有意差が観測された。この結果から、ドライバーが事前に警告システムについての教育を受けることによって、その意味を理解し、接近車両に対して十分注意を払うことができ、自車の走行速度を下げるようになったことが示唆された。

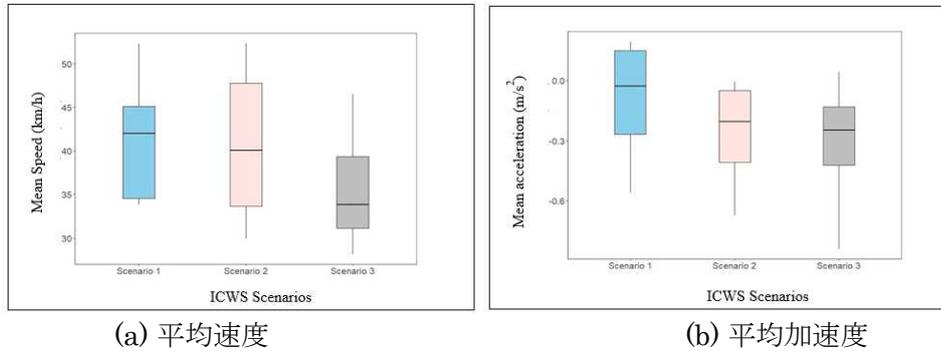


図 3-3 各シナリオにおける実験結果

アーメダバード市における交通解析については、前年度までに行った、交通実績データから求めた占有率のデータを距離逆比例加重の内挿法 (IDW) を用いて GIS 上に 2 次元展開した結果に、さらにマルチモーダルアプリで収集された個人別のトリップデータ (詳細については研究課題 3-3 の項で説明) の矢印を地図上に合成プロットして分析を行っている。これにより市内の交通渋滞がどの個所で集中しているかを詳細に確認することができ、今後交通渋滞解決に向けた原因を探る糸口としての活用が期待できる。

一例として図 3-4 に、夜 7~11 時の時間帯における交通実績データの IDW 展開結果と、アプリから収集された個人別のトリップデータ (OD) の合成マップを示す。なお、詳細については最終報告までにまとめる予定である。



図 3-4 交通実績データと個人別のトリップデータ (OD) の合成 (凡例：交通実績から求めた占有率 (%) マップ、紫矢印：トリップデータ)

研究課題 3-2「可変情報板（VMS）での交通情報提供に基づく交通制御に関する評価」に関連して、環境負荷軽減を目的とした自動車運転施策の一つにエコドライブがある。本課題では、エコドライブに関する情報を、可変情報板（VMS）を用いてドライバーに提供した時の効果を計測する。

コロナ禍で現地に赴くのが難しい状況下、アーメダバード市公社から委託する形で、アーメダバード市現地の名門大学である CEPT 大学の協力を得て、アーメダバード市内でフィールド実験を実施した。一般ドライバーを対象に実験を実施するには、計測データ収集のために現地の交通警察などの協力を得る必要があるが、コロナ禍で協力を得るのは困難だったため、アーメダバード市公社が管理する AMTS（アーメダバード市営交通サービス）のバスドライバーを調査対象とした。

エコドライブの効果を示す指標として、計測可能な下記 3 点を選択した。

指標 1. バス停や交差点での停車時のアイドリング時間

指標 2. バス停や交差点でブレーキを踏んでから停車するまでの時間

指標 3. バス停や交差点から出発後、ローギアからトップギアまでのシフト時間

1 は時間が短い方が望ましく、2 と 3 は時間が長い方が加速・減速に無駄がなくなり燃費が改善されることから望ましい。計測方法として CCTV の活用も検討したが、映像によってバスの外から正確に上記指標を計測するのは困難なことから、CEPT 大学の調査員がバスに同乗して秒単位で実測した。

実験は表のように、VMS の有無と事前学習の有無を考慮して 4 つの異なる条件で実施した。事前学習は、バスドライバーが乗務前に、3 つの指標によって燃料消費効率が良くなる説明を受ける形で実施した。事前学習は、VMS の効果と比較するために実験条件として導入した。

表 3-1 VMS の実験概要

	事前学習なし	事前学習あり
エコドライブ VMS なし	実験 A (2021 年 10 月下旬)	実験 B (2021 年 11 月下旬)
エコドライブ VMS あり	実験 C (2021 年 12 月下旬)	実験 D (2021 年 12 月下旬)

各実験のドライバー数は 25 人とし、道路混雑の影響を避けるため、計測はオフピーク時間に実施した。バスドライバーは、アーメダバード市内に設置された 9 カ所の VMS のうち、VMS を 2 つ以上通過するバスルートを運転する、経験年数が平均約 20 年で年齢が 40 代中盤から後半の熟練ドライバーから選出した。実験 A、B、C のドライバーは異なり、実験 D のドライバーは A と同じである。

エコドライブ標記のメッセージや画像は、実験 B 終了後の 2021 年 12 月上旬から 12 月末まで VMS に掲示した。日本人を対象に、プレ調査としてウェブ調査を実施しており、メッセージとピクトグラムによる表示のどちらがより行動変容を促す上で効果的か分析した結果、有意な差は見られなかったことから、フィールド実験では、メッセージとピクトグラムの両方を用いることとした。

メッセージは 4 種類あり、それぞれ英語とグジャラート語で作成した。さらに下図(図 3-5 から図 3-7 のように、ピクトグラムとメッセージを組み合わせた画像も作成し、全部で 24 パターンのエコドライブ VMS を準備した。9 カ所の VMS では、5 分毎に 24 パターンのエコドライブ VMS をランダムに示した。実際の表示状況の写真を示す。



图 3-5 VMS 的表示例 (メッセージ)



图 3-6 VMS 的表示例 (ピクトグラムとメッセージ)



图 3-7 VMS に表示した状況 (写真)

表 3-2 各実験における平均値と標準偏差

Mean/SD (s)	A	B	C	D
Idle time w/o engine off	12.42/7.11	4.14/ 0.87	12.32/6.60	17.51/9.5
Decelerating time	18.29/8.81	17.88/6.19	16.86/4.39	16.15/3.94
Gear shifting	18.89/5.7	37.83/8.91	38.10/8.4	40.48/11.24

VMS の文字や画像、また事前学習でも、アイドリング時にエンジンを止めることを推奨しており、バス停や交差点で停車中にエンジンを止めたかどうかを確認した結果、事前学習を実施した B と D では、少なくとも何度かエンジンを止めていたことがわかった一方で、事前学習をしていない A と C では止めたドライバーはいなかった。

3つの指標について、各実験における平均値と標準偏差を表 3-2 示す。指標 1 のアイドリング時間はエンジンを止めていないときを比較している。B の事前学習のみでは有意に短くなった一方で、C の VMS のみでは変化がなく、D では長くなった。D で長くなった理由として、バス停や交差点でエンジンを止めるドライバーが多数おり、それが影響したことが考えられる。指標 2 のブレーキを踏んでから停車するまでの時間は、どの実験結果も有意な差は生じなかった。指標 3 のローギアからトップギアまでのシフトする時間は、実験 B、C、D でいずれも A よりも有意に長くなっており、効果があったと考えられる。

以上の結果から、エコドライブの効果は、ドライバーに直接説明する事前説明により、アイドリング時のエンジン停止やアイドリング時間の削減に直接的な効果を示していることがわかった。ギアシフト時間については、VMS による表記と事前学習で概ね同様の変化を示したが、どちらがより効果があるのかは示されなかった。ただし、実験後のアンケートにおいて、指標 1～3 の内容を運転中に覚えていたかどうかを確認する問いにおいて、実験 B よりも実験 D で数値が 5 段階評価の 3.79 から 4.32 に大きく向上しており、事前学習と VMS 掲示を同時に実施することにより、記憶には残りやすいこともわかった。

フィールド実験実施の結果、VMS によるエコドライブに関する情報提供だけではドライバーの行動変化を促す効果は不明瞭なものの、事前学習を伴うことにより、エコドライブの効果があり、記憶にも残りやすいことを示した。一般ドライバーに対する実験による検証は必要なものの、VMS の実装に向けて有益な知見を得ることができた。

研究課題 3-3 「マルチモーダルアプリケーションによる交通行動変容の評価」に関して、当初今年度はアーメダバード市の市民を対象とし、スマホアプリを通して公共交通を含むマルチモーダルな情報提供によって交通行動変容の実証実験を行うことを当初予定していたが、昨年度から発生した感染症拡大の影響のため、現地住民が不要不急の外出を控え交通行動そのものが減少するなど実証が困難な状況となった。そのため、現地における実験計画を急遽小規模なものに変更し、アプリの利用により市民の交通行動の実態がどのように把握できるかの解析評価を行った。

現地 CEPT 大学の協力のもと、10 名のアーメダバード市民を対象に 2021 年 12 月上旬から約 3 週間のフィールド実験を実施した。これまでも本プロジェクトで

は合計 4 回同様の実験を行っているが、今回のフィールド実験では GIS ツールを用いて交通行動の解析を行い、また第 3 回の実験時同様に、被験者が実際にどのように行動したかについてのアンケート（アクティビティダイアリー調査）を実施した。調査内容については以下の項目とし、図 3-8 のように Web 画面により入力可能な様式を作成した。

【アクティビティダイアリー調査項目】

- ・ 出発地点、目的地点
- ・ 出発時刻、到着時刻
- ・ 移動の目的（通勤、通学、帰宅、プライベート、業務上の移動）
- ・ 交通手段（徒歩、自家用車、バス、リキシャ）
- ・ 移動経路（地図上に直線で入力）
- ・ 路面状態の評価（5 段階評価）（*）
- ・ 交通状況の評価（5 段階評価）（*）

（*）：当初調査項目に含まれなかったが、CEPT 大学からのアドバイスにより追加した項目。

実際のフィードバック情報として入手し、交通施策等に活用できると考えられる。

The screenshot shows a web form titled 'Activity Records' for the 'Ahmedabad City Multimodal App Demonstration Experiment'. The form includes the following sections:

- Request:** Please submit time on this page for each one-way travel. You can also enter it later.
- Handling of personal information:** Personal information collected on this page will not be used for any purpose other than research in this experiment.
- Your nickname (name as M2Smartnavi)***: A text input field.
- Departure date and time***: Two input fields for date and time.
- Arrival date and time***: Two input fields for date and time.
- Point of departure***: A dropdown menu with 'Home' selected.
- Point of arrival***: A dropdown menu with 'Office' selected.
- Purpose***: A dropdown menu with 'Business' selected.
- Representative transportation***: A dropdown menu with 'On foot' selected.
- Route (origin to dest. only)***: A map showing a route between 'Home' and 'Office' in Ahmedabad.
- Road Condition***: A dropdown menu with 'Bad' selected.
- Road Traffic Status***: A dropdown menu with 'Heavy Traffic' selected.

A green 'Submit' button is located at the bottom of the form. The footer of the page reads 'Developed by: Anand G. Kulkarni, IITB'.

図 3-8 アクティビティダイアリー入力画面

今回のフィールド試験ではアプリの開発バージョンが古かったために実際のアプリ利用時に動作不具合等が多く発生し、アプリの運用面におけるバージョン管理の点で課題が残った。

一方で、3週間のテストによって約270トリップの移動データを取得でき、被験者からのアクティビティダイアリー入力データとのマッチングにより最終的に約180の有効トリップデータを得ることができた。

以上により収集したデータについては、GISを用いて詳細解析を行うと同時に、図3-9のようなWeb画面上にダッシュボード（インタラクティブ形式で簡易にデータ解析が行える画面）を作成して分析を行っており、たとえば同図右下のグラフは、ある平日1日の時間帯ごとのトリップ数のグラフを表しているが、グラフより9時台と18時に移動が集中していることが一目瞭然であり、通勤及び帰宅時刻が集中することが交通混雑発生に関係する一因であると考えられる。これらの詳細については最終報告までに分析結果をまとめる予定である。

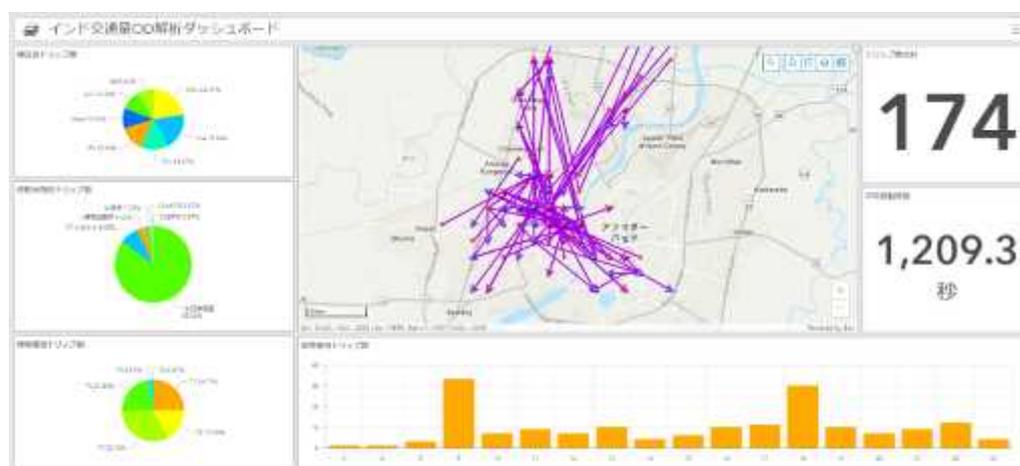


図 3-9 分析用に作成したダッシュボード画面

マルチモーダルアプリケーションの今後の開発に資する WEB アンケート調査をインド・アーメダバードおよびハイデラバードの住民に対して実施した。本アンケートは情報提示の仕方の違いによって、交通行動の変容に与える影響を分析するために、目標フレーミング効果に着目して実施した。アンケート調査では目標となる安全、快適、便利、経済的、環境配慮、健康という複数の要素に着目し、交通行動に与える影響を分析した。アンケートの各個人の交通行動に対する態度や意識を分析した結果、快適性を重視する層（Hedonic）、経済性を重視する層（Gain）、環境や安全性を重視する層（Green）に分類することができた。Green層は、既存の google などのアプリケーションでナビゲーションを他の層に比べて頻度高く行っていることも示された。これらの層を中心に、本プロジェクトのマルチモーダルアプリケーションに対してもその関心は高く、アプリの使用により環境に配慮した公共交通を選択する可能性が36%になることが示された（図3-10）。

環境配慮を強く意識させる案内（情報提供）を行うことで環境に配慮した交通手段（公共交通と端末交通手段）を選ぶ意向が増加し、また、マルチモーダルアプリケーションにおいて予約と支払いの機能を付与してよりシームレスな交通サービスの提供を行うことで、利用意向が高くなることが示された。

どの程度、公共交通の利用が促進され、二酸化炭素排出量が削減されるかをアーメダバードにおける実証実験とアンケート調査により、図3-11に示す通り明らかにした。まず、ウェブによるアンケートでは、公共交通と端末交通をシーム

レスに乗り継ぐことを想定して利用可能な交通手段の組み合わせを提示した。更に、シームレスな乗り継ぎのために、乗り継ぎ時間などの時間的なスケジューリングだけでなく、ここでは利用予約と料金支払いも可能なアプリと想定した。アンケートデータより、非集計交通手段選択モデルを構築し、アプリの効果を算出できる手法を開発した。

このモデルを実証実験で得られた交通行動データに適用してアプリの適用効果を検証した。図 3-11 に示す通り、実証実験における有効な交通行動データより、公共交通に加えて徒歩もしくはオートリキシャで移動することを選んだケースは15%程であった。このデータにアプリの有無をモデルで考慮して推計した結果、アプリがない場合には99%の割合で乗用車を選択していたケースのうち、17%がアプリによりオートリキシャを端末交通として公共交通を乗り継ぐ（オート&公共交通）ケースを選択することが示された。アプリの有無の交通データに比較して、排出原単位より二酸化炭素排出量を算出すると、11%程度削減できることが示された。

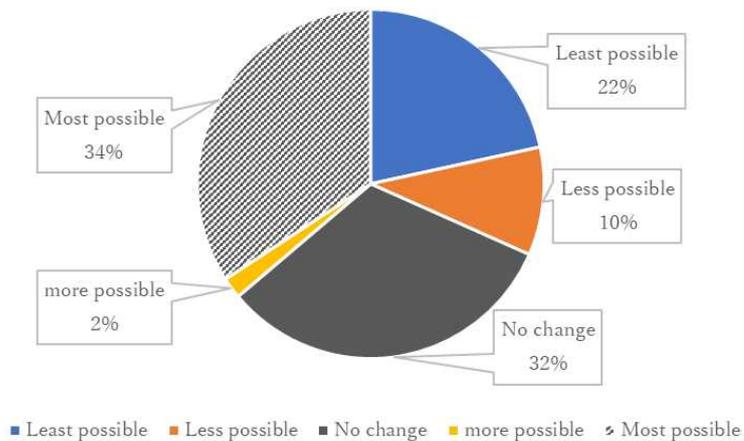


図 3-10 ウェブ調査より推定したマルチモーダルシフトの可能性

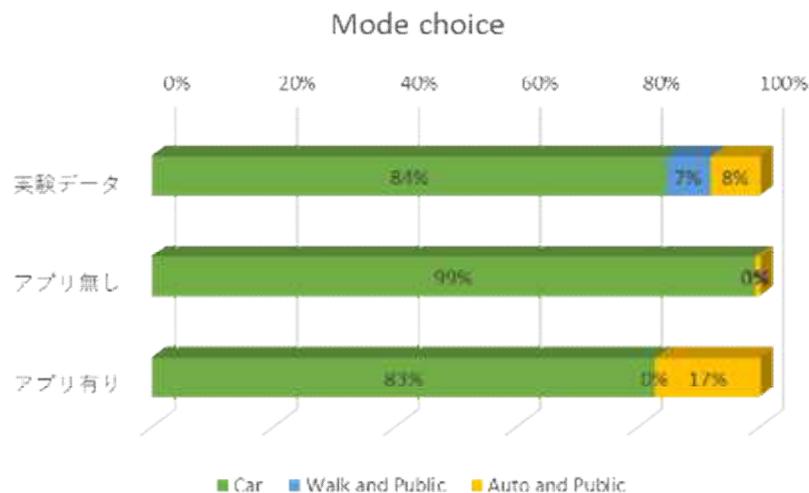


図 3-11 アプリ利用データとウェブ調査より推定したマルチモーダルシフトの推計結果

研究課題 3-4 「収集交通データとシミュレーションにおける信号制御に関する評価」では、アーメダバードのパルディ交差点を含むマイクロ交通シミュレーションを構築して、V2I (Vehicle to Infrastructure) に基づく信号制御による二酸化炭素排出効果を推計した。信号の先読み情報（青時間、赤時間、切り替えタイミング）等を信号機から 信号交差点に流入する車両に対して提供することを仮定した。これは、研究課題 3 における VMS による情報提供や研究課題 1 における無線通信システムを想定した。図 3-12 のように、信号交差点に接近する車両の速度をコントロールし、且つ、赤信号停車時はアイドリングストップを行わせるもしくは促す仕組みである。図に示す通り、実際の車両軌跡（赤線）では信号停止が発生するが、情報提要により車両の加減速を促し、青信号での通過を促進するものである。本シミュレーションは VMS の設置されている APMC 交差点からパルディ交差点に至るパルディ-アシュラム通りの道路ネットワークを対象とした。交通シミュレーションにおける現況の再現とその再現性の検証は、パルディ交差点等に設置した交通カメラによる交通データと車両を走行させて得られた旅行時間データを用いて行った。排出原単位はインドの既存実験データや IITH のテストベットの結果を参照に設定して、現況再現性を高めた。

速度コントロールが行われる状態においてアイドリングストップの効果を併用した場合のシミュレーション結果を表 3-3 に示す。このように、赤信号で停止している車両のアイドリングストップを信号制御と V2I を活用することで行わせることで、約 9.8% の二酸化炭素を削減することを示すことができた。これは信号停止回数の減少とそれに伴う遅れの減少が寄与したものと考えられる。

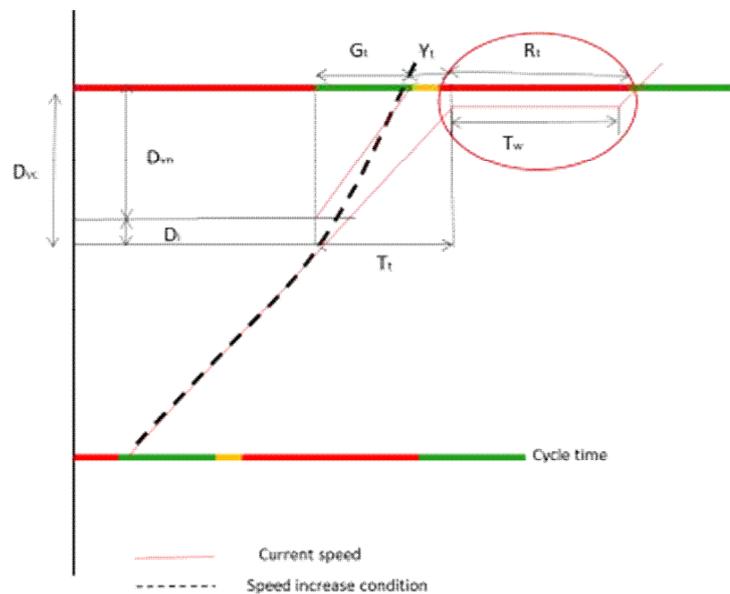


図 3-12 信号交差点接近車両の速度コントロール概念図

表 3-3 シミュレーションのシナリオごとの交通・環境改善効果

Engine OFF	Avg stops		Avg delay		Fuel consumption		Co2	
	Number	%change	In min	%change	in gallons	%change	in grams	%change
	34.60	-	2.11	-	448.36	-	116568.7	-
25%	27.02	-21.88	1.49	-29.45	406.95	-9.23	113829.3	-2.35
50%	19.08	-44.85	0.93	-55.81	384.3	-14.28	109842.7	-5.77
75%	12.49	-63.88	0.52	-75.25	348.95	-22.17	107126.6	-8.1
100%	5.78	-83.28	0.21	-89.96	326.01	-27.28	105086.7	-9.85

続いて、制御方式の検討として、インド国内で一般的に採用されている各方向道路に設置してある信号機が順に青→黄→赤のサイクルを一方方向に制御する固定サイクル方式(Fixed)と、信号機のサイクルを交通量に合わせて変化させる可変サイクル方式 (Actuated) および隣接交差点も考慮した面的制御方式にて比較する。面的制御方式(Intelligent)は日本で一般的に採用されている方式について比較検討を行った。シミュレーションでは更に細かく 5 種類の方式を用いている。結果は、面的制御方式が、固定サイクル制御方式、可変サイクル制御方式より 3 割以上の向上が図られることが判った。これまでの経験から交差点での信号待ちにおける車両 CO₂ 排気が多いことが判っており、信号方式により改善が図られることが理解できる。このように、シミュレーションでは、CO₂ 排気ガス発生に最も影響する信号待ち時間にて評価を実施し、3 割上の削減効果があることが判明した。信号機システムのコスト面に目を向けると、装置のハードウェアは、信号灯器以外に信号待ち車列長測定の超音波機の設置が伴い交差点あたり 4 割アップとなる。一方、渋滞制御のためのこれまで行っていた交通警察員の派遣による交通管理が不要になるため、交差点システムあたりのコストとしては年間ベースあたり、7 割の削減につながる形と推定され、トータル的に渋滞緩和と合わせて経済効果が大きく見込める。

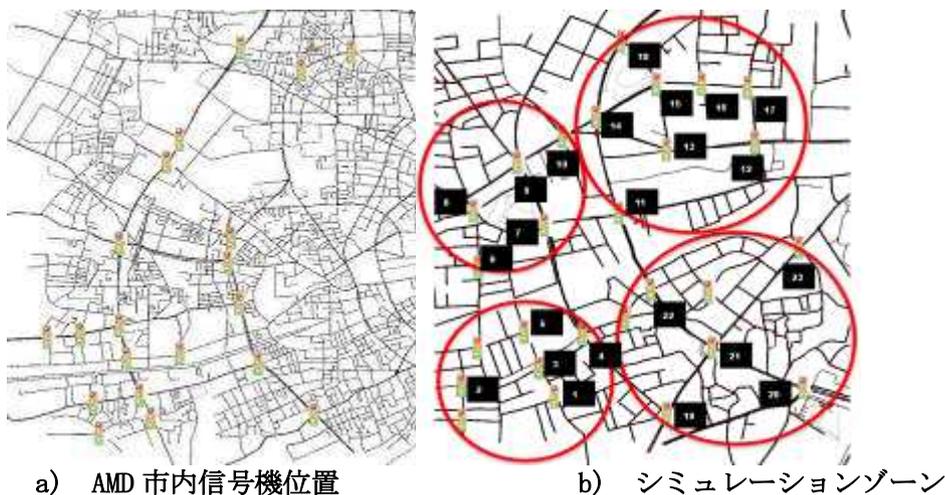


図 3-13 アーメダバード (AMD) 市内のシミュレーションモデル

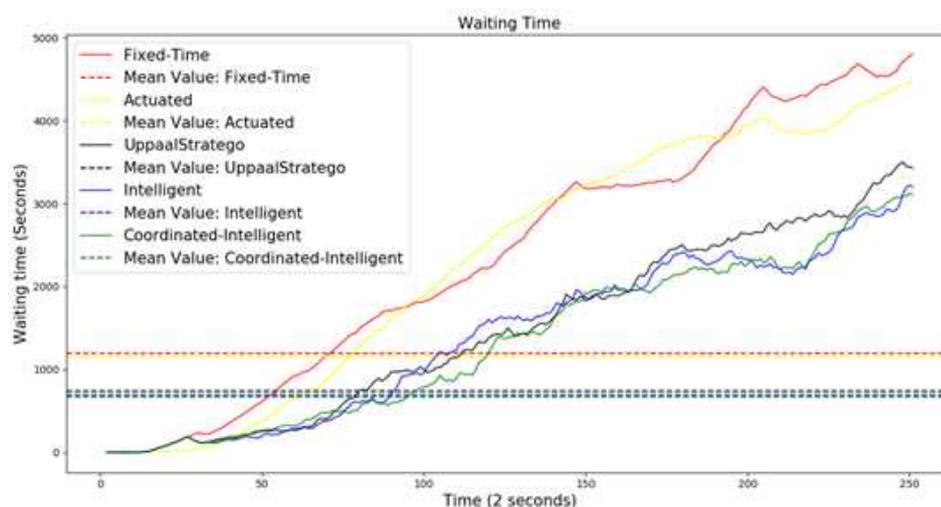


図 3-14 信号機制御による待ち時間シミュレーション結果

最後に、信号機制御に関して、その効果を都市圏で発揮させるためには、都市内で信号制御を面的に拡大していくことが鍵となる。一方、交差点の信号制御化は、交通円滑化だけでなく、交通安全性の向上を意図して行われることが中心である。日本においても交差点の信号制御化の主目的は同様であった。インドの諸都市においても、交通事故との関連（安全に対する効果）を明確にして、地方自治体に導入インセンティブを働かせ、信号制御化を面的に拡大して、スマートな都市を実現する一助になるといえる。そこで、交通事故による死亡者数と車両および人口との関係を各国の実績データより導き出された英国学者の Smeed の法則 (Smeed's Law)

を用いてその関連を整理した。新興国および先進国の初期段階では 20 カ国にてよく実績に一致していることが示されているものの、近年では実績との乖離が目立ち議論を呼んでいる。本プロジェクトでは、この Smeed's Law を発展させた拡張式を信号機の設置数を導入した求め、日本国内にて一致することを証明してきた。この拡張 Smeed 式を用いたインドの 2020 年までの交通事故死亡者数との関係での結果を図 3-15 に示す。これより単純に信号機設置を増やすのみでは、死亡者の現象は見られない (BaU)。また、日本国内にて交通安全に伴う施策がこれまでの 60 年の歴史では様々実施されており、その実施フェーズに基づき、主要交差点への重点的設置した (Phase2) では、Case1 の結果となり、車両のセンシング技術を取り込み信号待ち車両長の応じた制御を実施する (Phase3) の導入を積極的に進めることで Case2 の結果が示すように死亡者数の減少が見込まれる推定ができる。(詳細は、T.Tsuboi “Quantitative Traffic Safety Analysis for India by Japanese Experience”, Sociology Study, Vol. 10, No. 1, 1-14 (2020) M2Smart, (2020): <http://m2smart.org/>, Accessed on 9 June, 2020. による)

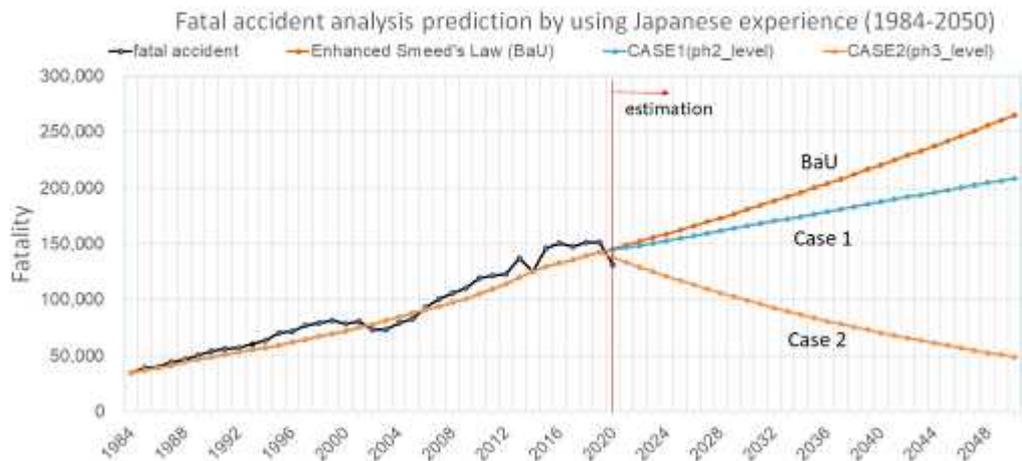


図 3-15 拡張 Smeed の法則によるインドの交通事故死者数シミュレーション結果

参考として、インド主要都市と先進国都市における信号機設置数の比較を図 3-16 に示した。それぞれの都市でスマートな交通社会の実現に必要な信号機は推計の域を出ないが人口比で東京やニューヨークと同等のレベルと仮定すると、多数の信号制御を導入できる余地は高いといえる。研究課題 3-4 の前半で示した信号制御による CO2 削減効果を都市県全域で享受していくことは可能といえる。

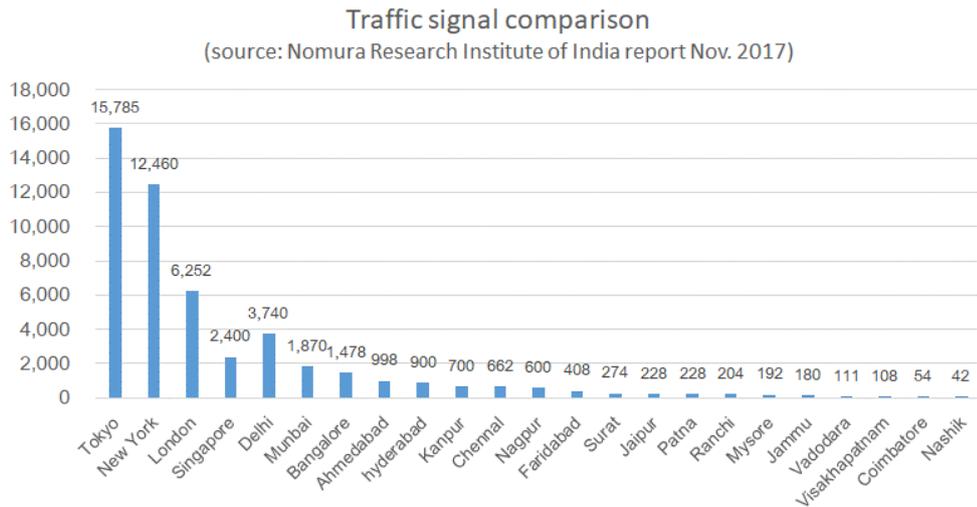


図 3-16 インド主要都市および先進国都市における信号機設置数比較

② 研究題目 3 のカウンターパートへの技術移転の状況

道路交通解析手法内容に関しては、当該論文内容の情報共有を行った。また、信号制御に関しては、IITH 側から解析結果に関する情報を共有いただく形となった。IITH キャンパスに設置したテストベッドに関しては、既に移管済みであり現在 IITH にて最終メンテナンス調整の段階に入った。AMC への技術移転に関しては、ワークショップにて解析内容の報告および実施試験実施に副コミッショナーのもと支援頂き試験用として完了した。その後の継続に関しては、既にスマートシティ公社にてハード面での機材は導入済みであり、プロジェクトにて実施した機材に関しては、AMC の判断にゆだねられている。AMC からの関心事は、ハードウェアから交通マネジメントを含めたソフト面での要求が高く、プロジェクトの成果となるハンドブックを通じたノウハウの確立に期待が高い。また、現在検討中の交通関連ステークホルダーを含むコンソーシアム等による運用について今

後議論を深める予定である。

- ③ 研究題目 3 の当初計画では想定されていなかった新たな展開
コロナ禍により実施困難とされた現地実証試験が、現地研究機関（CEPT 大学）への委託関、その期待に応えた実証試験が実施できた。これにより継続した新たな研究機関（CEPT 大学）との人脈の構築をすることができた。
- ④ 研究題目 3 の研究のねらい（参考）
ここでは、実際のフィールドを活用し、交通状態の把握と交通情報の発信として各種手法を用いてその有効性を確認することをねらいとしている。IITH テストベッドでは交通制御の基本的な制御装置を用いた有効性の確認を行い、アーメダバード市では実際の交通状況を把握すると共に、電子情報板（VMS）を活用した情報発信によるドライバーの行動変容につながる可能性を把握することにある。
- ⑤ 研究題目 3 の研究実施方法（参考）
電子交通情報板（VMS）は一般に交通状況をドライバーに伝える役目として設置してあるが、この VMS へ積極的に交通マナー等のメッセージを表示することで、ドライバーの運転行動が変化する試験を行い、効果的な活用を検討する研究方法を実施する。また、目的地までの交通手段の選択情報を提供することで、ユーザの利用状態の確認を把握する個人携帯端末による具体的な移動情報を入手する研究を行った。

(2) 研究題目 4 : 「交通インフラ整備との連携を軸としたスマートシティ構築の提案（ハンドブック）作成と実施」

研究グループ 4（リーダー：福田敦 教授 日大）

研究グループ 4（Co-リーダー：Prof. Soumya Jana IITH）

- ① 研究題目 4 の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

研究活動 4-1「取り組み方策のレビューと交通施設整備の方向性の把握」では、低炭素都市の実現に向けた取り組みに関するレビューを実施した。特に、インドにおけるスマートシティに関連する既存研究のレビューを実施し、これらのレビューから得られた知見を基に研究活動 4-2 及び 4-3 に対する研究手法の把握やディスカッションを行った。これらの成果は、研究活動 4-4 におけるハンドブックに反映されている。

また、IITH のテストベッドでは、IITH にてハイデラバード交通関係機関（Hyderabad Municipal Corporation、交通警察等）を招いたテストベッド完成式典を開催した。併せて、意見交換を行ったことで、対象都市における今後の交通施設整備の方向性について、行政等の立場からの考えを把握できた。

研究活動 4-3「マルチモーダルアプリケーションによる低炭素化の推計」については、研究活動 4-2 で構築したマイクロ交通シミュレーションを使って、研究活動 4-3 のテーマである「アプリケーションからの情報提供による交通行動（手段選択、経路選択など）の変化」を踏まえて推計を行う予定であったが、アプリケーションのリリースの遅延や新型コロナウイルスの感染拡大により研究題目 3 においてデータが取得できなかったため、マルチモーダルの推進における交通行動の変化はシナリオとして設定し、CO₂排出量に与える影響を分析した。

この分析には、ウィーン工科大学の Guenter EMBERGER 教授らが開発した土地利用・交通モデル Metropolitan Activity Relocation Simulator (MARS) を用いた。

このモデルを選定した理由は、MARS が欧州の多くの都市における交通政策に適用された実績があることと、モード転換による CO2 排出量の変化の推定に利用されているためである。MARS は、システムダイナミクスと相乗効果の理論に基づいた土地利用と交通の統合モデルの 1 つである。図 4-1 に示すように、交通モデル、居住地開発モデル、居住地選択モデル、就業地開発モデル、就業地選択モデル、および燃料消費量と排出量モデルで構築されている。

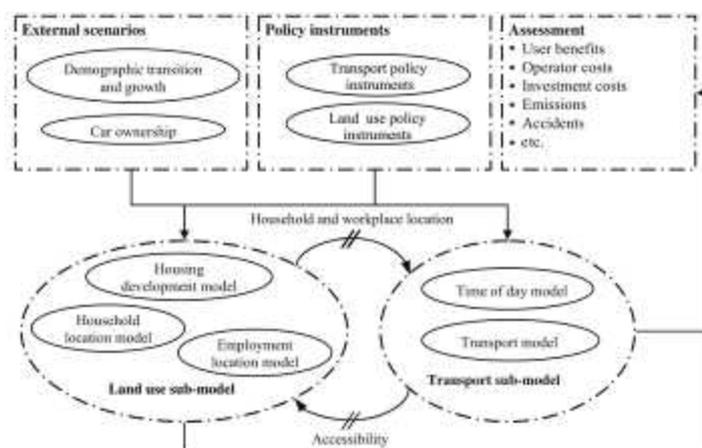


図 4-1 MARS の構造

具体的な研究方法は、MARS の適用にあたり、初めにアーメダバードを対象に社会経済指標（人口、就業者数等）などのモデルに必要なデータを収集した。それらのデータ及び都市計画基本ゾーンに基づいて、図 4-2 に示すメトロネットワークを考慮したゾーニングを設定した。ゾーニングは合計 82 ゾーンを設定した。さらに、そのゾーニングと道路及び公共交通のネットワークデータから、地理情報システム (GIS) を用いて、各交通モード（徒歩、自転車、自動車、二輪車、メトロ、バス、Auto-rickshaw）のゾーン間速度、距離を算出し、モデルの入力データとした。それらのデータの収集後、図 4-3 に示すデータ入力インターフェイスを用いて、データを入力し、モデルの適用に対するシミュレーションの再現性の検証を行った。検証の手法は、統計データとシミュレーションから得られた結果との差を比較した。本研究では、内生的に算出される総人口及び交通手段割合の変数を用いて検証した。なお、検証に用いた統計データは、2010 年から 2020 年までの 10 年間に於いて入手可能な年のみである。その結果、統計データとの差が総人口では決定係数 R^2 が 0.9122、交通手段割合では全体平均誤差が 3.98% となり、モデルがアーメダバードに適用可能な再現性が保たれていること示した。

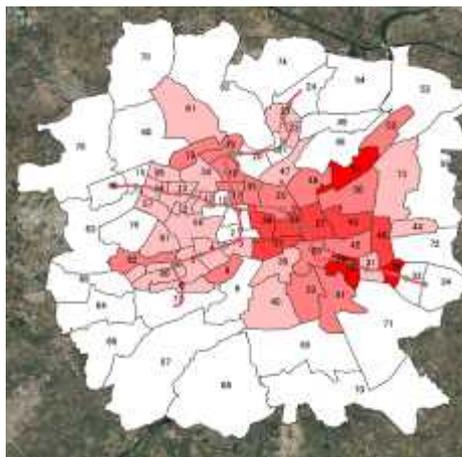


図 4-2 ゾーニング及びゾーン別人口

1	A	B	C	D	E	F	G	H
2	Last changed	By	Date	Time	Zone	City		
3	Bus		2022/02/23	11:15:38	50	Annabadi		
4	Households							
5	Zone number							
6	10171	30712	27741	22738	31443			
7	4451	18288	12523	31439	54038			
8	3798	3785	3758	3798	3798			
9	1.72	2.84	1.86	2.14	2.29			
10	Living							
11	13.42	10.42	10.42	13.42	10.42			
12	76	76	76	76	76			
13	3.25	2.73	2.00	2.00	1.78			
14	1781	3852	2672	2072	2493			
15	Working							
16	3978	3971	1233	788	968			
17	6.0%	7.9%	14.9%	13.2%	24.0%			
18	84.2%	83.0%	83.1%	83.8%	78.0%			
19	1	2	8	8	8			
20	250	300	300	300	200			
21	347	347	347	347	347			
22	Vehicle Ownership							
23	2377	10052	8643	22662	8849			
24	443	1813	1489	3986	1932			
25	2	0	0	0	0			
26	Area and Development							
27	1.31	2.75	3.61	6.70	11.65			
28	1%	2%	2%	5%	20%			
29	3%	20%	30%	13%	10%			
30	66%	80%	33%	28%	36%			
31	9%	2%	9%	3%	8%			
32	Business Development allowed in Zone?							
33								

図 4-3 データ入力インターフェイス

次に、研究題目 3 の結果に基づいて、マルチモーダルの実現に向けた政策シナリオの検討及び設定を行った。本研究では、下記の 3 種類のシナリオを設定し、それぞれシミュレーションを実行した。

- BAU シナリオ：政策が実施されない現状の状態が続くと想定し、BRTS 及びメトロが導入されていないと仮定したベースラインシナリオ
- BRTS+メトロシナリオ：BRTS は基準年以前より導入されていることに加えて、アーメダバードメトロの 2 線全線が 2023 年に開通し、出発地・到着地とメトロ駅間のアクセス及びイグレスは徒歩を想定した場合のシナリオ
- マルチモーダルシナリオ：2025 年におけるアーメダバードメトロ 2 線全線の開通に加えて、出発地・到着地とメトロ駅間のアクセス及びイグレスは、徒歩からマルチモーダル（バス、Auto-rickshaw）への転換を想定したシナリオ

各シナリオは、2020 年を基準年として、2050 年までの 30 年間のシミュレーションを実施し、シミュレーションで得られた CO2 排出量をベースラインである BAU シナリオとの比較を行い、BRTS+メトロシナリオ及びマルチモーダルシナリオにおける CO2 排出削減量を算出した。

図 4-4 は、各シナリオの CO2 排出量を時系列に示したグラフである。2023 年以降、BRTS+メトロシナリオ及びマルチモーダルシナリオでは、CO2 排出量が BAU シナリオと比較して少ない。これは、BRTS の導入とメトロの開業により自動車及び二輪車から公共交通機関への利用が転換したことで、CO2 排出量が減少したからである。自動車及び二輪車の利用率は、BRTS+メトロシナリオでは 28.3%（2020 年）から 24.1%（2050 年）に、マルチモーダルシナリオでは 28.3%（2020 年）から 22.4%（2050 年）とそれぞれ変化した。

また、これらの CO2 排出量の減少傾向に関して、BAU シナリオを基準として BRTS+メトロシナリオ及びマルチモーダルシナリオの CO2 排出削減量を算出した。その結果を表 4-1 に示す。本プロジェクトの目標年である 2035 年における各シナリオの CO2 排出削減量は、BRTS+メトロシナリオが 43,266[t-CO2]（5.43[%]）、マルチモーダルシナリオが 55,504[t-CO2]（7.07[%]）である。マルチモーダルトランスポートに関するシナリオを実施することで、2050 年には BAU シナリオと比較して最大で 143,263[t-CO2]（18.14[%]）の CO2 排出量が削減可能であることを示した。

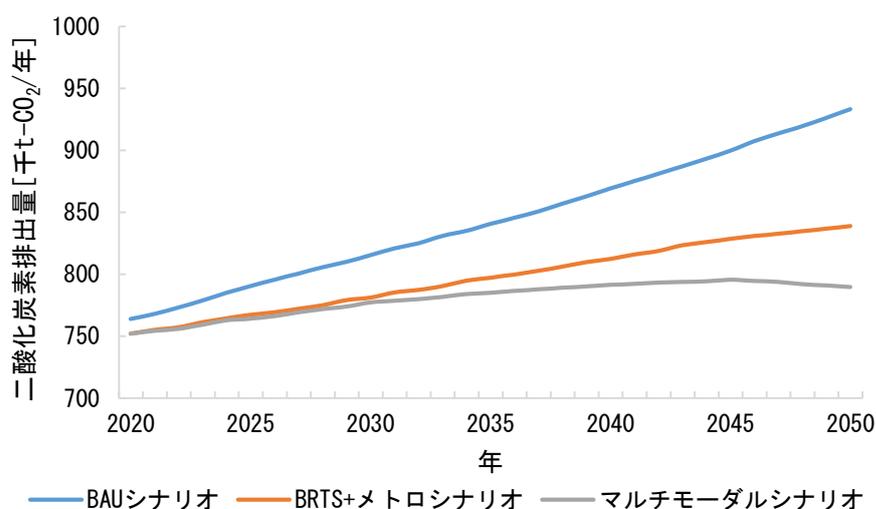


図 4-4 各シナリオにおける CO2 排出量

表 4-1 BAU シナリオを基準とした各シナリオの CO2 排出削減量
(上段：削減量[t-CO₂]、下段：削減割合[%])

シナリオ	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
BRTS+ メトロ	11,803	23,060	34,135	43,266	56,719	71,119	94,205
	1.57	3.00	4.37	5.43	6.98	8.59	11.23
マルチ モーダル	11,803	26,287	38,068	55,504	77,598	104,033	143,263
	1.57	3.44	4.90	7.07	9.80	13.08	18.14

研究活動 4-4 「スマートシティに向けたマルチモーダルのためのハンドブックーセンシング・ネットワーク・ビッグデータ解析の応用」の作成では、2019 年度に作成したハンドブックの全体構成に基づいて、各研究グループの成果を取りまとめ、ハンドブックを完成させた。

ハンドブックのタイトルは、「Handbook of Multimodal Transport for Smart City -Application of Sensing, Networking and Big Data Analysis」であり、PART I 「Role of Multimodal Transport for Smart City」と PART II 「Advanced Technologies to Realize Multimodal Transport」、APPENDIX で構成されている。全 13 章であり、PART I では、スマートシティに関する基本的な概念が述べられており、PART II は、本研究プロジェクトにおける各研究題目の研究成果技術、APPENDIX はテストベッドに関する内容をまとめた。図 4-5 は、ハンドブックの表紙及び Chapter 1 のイメージである。

また、2022 年 8 月にアーメダバードで開催したワークショップでは、現地関係機関とハンドブックの内容を共有し、ディスカッションを行った。今後は、インド及び日本の両国における関係機関（役所や民間企業等）にハンドブックを配布し、本プロジェクトの成果を広く展開する。

ハンドブック URL : <http://m2smart.org/handbook/>
<http://m2smart.org/en/handbook/>

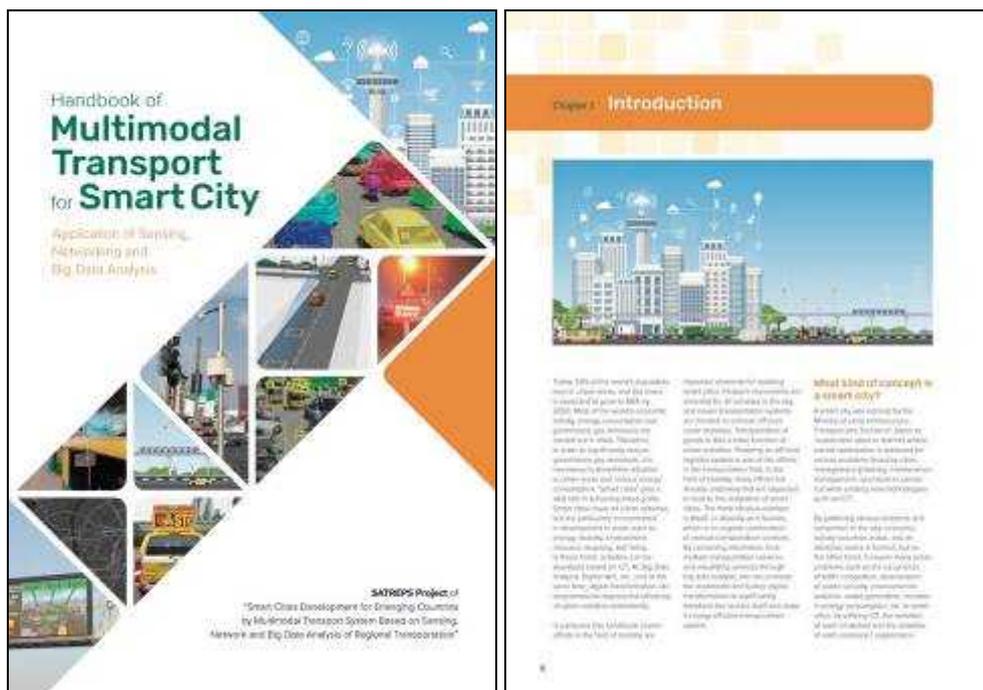


図 4-5 ハンドブックのイメージ（左：表紙、右：Chapter 1）

② 研究題目 4 のカウンターパートへの技術移転の状況

研究活動 4-2 に関わるシミュレーションによる評価において、IITH の研究メンバーとシミュレーションに関する技術的な検討課題について、定期的実施した研究打合せを通して情報の共有を図った。

研究活動 4-3 で用いる土地利用・交通モデルに必要な社会経済指標等のデータは、必要なデータをリスト化して、そのリストに基づいて現地の研究メンバーと収集した。また、モデルシミュレーションの結果を共有し、シミュレーション結果が妥当であるか議論した。

研究活動 4-4 のハンドブックの作成に関して、IITH の研究メンバーとスマートシティに関する技術的な検討課題について、研究打合せを通して情報の共有を図った。

③ 研究題目 4 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

研究活動 4-2 に関わるシミュレーションによる評価において、研究期間中に対象フィールド内の一部の交差点において現在立体化の工事が進められ、道路構造が大きく変化した。立体化の完成前後での交通状況の変化も見据えたシナリオ設定を設定することで、道路構造が変化してもシミュレーション評価を可能とした。

また、新型コロナウイルス感染症の拡大によって、研究題目 1 及び 3 の進捗状況が大きく遅れマルチモーダル推進による利用者の交通行動の変化をモデル化できなかった。そのため、研究題目 4 において核となる研究活動 4-3 で利用を想定していた分析方法が利用できなくなったため、新たに MARS モデルを利用することとし、マルチモーダルの推進をシナリオで表現し、シナリオ毎の CO₂ 排出量の推計を行った。MARS は当初予定していなかったモデルであるが、汎用性が高く、様々な政策に適用可能であるので、今後他の政策評価の利用に期待できる。

④ 研究題目 4 の研究のねらい（参考）

エネルギー消費量と温室効果ガス排出量のモデル開発を行い、マルチモーダル対応型交通情報の提供がなされた際の温室効果ガス排出量の推計とその削減量を求めることで低炭素社会の実現に貢献する。

⑤ 研究題目 4 の研究実施方法（参考）

エネルギー消費量と温室効果ガス排出量のモデル開発を行い、マルチモーダル対応型交通情報の提供がなされた際の温室効果ガス排出量の推計とその削減量を求めることで低炭素社会の実現に貢献する

自動車交通によるエネルギー消費量の推計および自動車から排出される温室効果ガスを推計する方法を選定し、対象都市であるアーメダバード市への適用に必要なデータの収集、エネルギー消費量と温室効果ガス排出量を推計するモデルの開発を行う。さらに、研究題目 3 で得られる交通情報提供によるマルチモーダルの推進の成果を基礎に、情報提供による交通行動（手段選択、経路選択など）の変化を推計に組み込み、想定しているマルチモーダル対応型交通情報の提供がなされた場合の温室効果ガス排出量とその削減量を推計する。

II. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

(1) プロジェクト全体

当初実施計画（PDM、PO）予定した、合同会議（JCC 含む）は、全体的にコロナ禍の影響は前年度同様に、研究活動の制限があったことは免れ得ない。このためミーティングはすべてオンラインにて実施せざるを得ない状況であった。このため定期的な打合せとして無理に実施する代わりに、研究成果発表のモチベーションを上げる工夫として、以下の2点を実施した。1) タイ SATREPS との合同シンポジウムを計画することで、それぞれの研究成果をまとめ外部にアピールする機会を得たことで、自らの研究成果を見直す機会となり、紹介するまとめ方を学ぶ機会となった。2) 成果物となるハンドブックの出版の理解を頂き、若手研究者の研究履歴に著書として名を連ねることができる。

また、IITH テストベッドは、現地ハイデラバード市のエンジニアリング会社からサポートにより、最小限のメンテナンスと運用を可能とし、アーメダバード市での交通データ収集に関しては、インターネット経由オンラインでの実現により大きなコロナ禍影響を受けずに対応できた。

さらに、アーメダバード市地域行政（AMC）との関係性維持に関しては、行政メンバーの異動による交代にも関わらず、インド大使館側のコンタクト先への紹介支援を頂き、継続した良好な関係を維持できている。

困難を極めた現地実証試験に関して、幸いにも JICA 側からのコロナ禍対策支援により、現地研究機関（CEPT 大学）への実証試験の採択が認められ、相手側との実施内容への理解度が高く、実施でき、現在での情報交換が行える人脈構築も行えた。

折に触れ、研究活動を在日インド大使館の公使、参事官への報告と状況の支援等を継続して行ったことにより、行政側とのコミュニケーションに大きく貢献することができた。CEPT 大学教授の紹介もインド大使館公使による計らいが大きく助けとなる結果を得ることができた。

(2) 研究題目 1 : 「マルチモーダル交通センシングとモニタリング技術の開発」

研究グループ 1（リーダー：Prof. C.K Mohan IITH）

研究グループ 1（Co-リーダー：高橋聡 主事 名古屋電機）

IITH との共同研究において、研究プロジェクトの有効性を高めるために開発環境その成果を比較しやすくするために入力とする画像データの共通化、出力として交通量のカウンタ結果の共通化などの共通基盤の検討を両者で調整し行った。特に、入力となる画像データの共有体制の構築は重要であり、膨大な容量とセキュアアクセスが課題となるが、物理的なネットワークストレージを利用した共有に加え、日本大学で契約する G Suite サービスにより容量無制限となる Google の共有ドライブを利用してデータ共有環境を整備し、アクセス可能なメンバーをアカウント単位で制限することでデータ共有問題の解決を図った。双方向アクセス可能な基盤が構築できたことで、画像処理におけるアノテーションデータの共有、ベンチマークデータの共有、認識した画像のサンプル共有などを行うことができた。これらは機械学習の世界で情報公開サイトとして有名なサイトにアップし、一般にも公開されており、本プロジェクトの研究者だけではなく、同様の研究を志す研究者への問題克服を可能としている。

URL:<https://github.com/debadityaroy/SkyEye/>

URL:<https://github.com/NaveenKumar-1311/EoT-EyeonTraffic>

IITH との共同研究において、研究プロジェクトの有効性を高めるために開発環境その成果を比較しやすくするために入力とする画像データの共通化へ向けた 360° カメラの新設と日印の各キャンパスにおけるカメラ情報取得の環境を整えていた。しかし、

カメラソフトウェア側でアクセスの排他制御などが期待できない点や、月毎の通信容量制限などがあり、計画的な運用プランが一つの問題となるため、Google カレンダーを利用してデータ取得計画を研究グループ内で共有する枠組みを整備し、同時アクセスなどの抑制を図ってきた。

2018年1月に行った公開ワークショップ（場所：日本大学駿河台キャンパス）において、交通状態の推定において重要なことは多様なセンシングデバイスにおける情報源を基にしたデータフュージョンであるとの指摘を受けた。マルチモーダルな交通状態を推定する上で欠かせないセンシング技術の開発において、類似プロジェクトが存在するケースにおいては、各々の研究のアイデンティティは担保しつつ、必要な交通データのフュージョン、高度な分析手法に関するデータフュージョンないし、実用に向けてはセンサそのものを含めた選定を実施することが有効と考えるため、データテーブルとしての取得情報の共有化が重要といえる。この指摘を受けて両研究機関の研究者は検討を進め、個別のセンシング技術の開発にとどまらず研究題目2を意識した共通のシステムデザインの必要性を確認し、考慮した。

(3) 研究題目2：「マルチモーダル交通流のビッグデータ解析」

研究グループ2（リーダー：石坂哲宏 日大）

研究グループ2（Co-リーダー：A. Prof. M. S. Deskar IITH）

ビッグデータ解析においてデータの共有を図り共通のプラットフォームをベースに解析を進めていくことが重要である。本研究課題では既に、共通のプラットフォームに関しては、IITH テストベッド及びアーメダバードの交通カメラの映像、交通観測データなどの共有を図る仕組みを構築することができた。また、解析作業においても、研究の効率化のために、相互の解析において可逆性を確保しておくことできた。

このように種々の交通ビッグデータを統合し、共通プラットフォームで解析できる環境が整えられたが、相手国研究機関においては今後、自立して取り組む際には、データを統合してどのようなメリットが発生するのか、それを的確にデータの保有者（行政サイド）に提示できるかにかかっているといえる。研究成果を踏まえて、研究課題1で指摘のあったデータフュージョンがどのようなインパクトを持ち得ることができるのかの知見を、相手国研究機関と創造していく必要があるといえる。2022年8月開催の第3回ワークショップにおいては、地方行政 AMC および SCADL から、交通監視カメラにて取得してきた当局側のデータをもとに、IITH 側に交通解析の具体的継続依頼があり、これを IITH 側にて積極的に支援することの確約を得たことは、第一歩ともいえる。

(4) 研究題目3：「マルチモーダル交通管理と情報提供」

研究グループ3（リーダー：A. Prof. Digvijay Pawar IITH）

研究グループ3（Co-リーダー：坪井務 名古屋電機）

IITH のテストベッドでは交通管理のための基本的な装置は整っており、メンテナンスを継続すれば長期的運用が可能な状況となっている。一方で、交通関連の教員が少ないため若手研究者の育成という観点では、何らかの課題に向けた取り組みの推進が必要と判断する。このため IITH の交通関連の教員との今後も継続的な情報共有は必要となると共に、ハイデラバード市地域行政との関係を活用した推進が求められる。一方で、国内自動車会社との共同ラボが IITH に開設されたこともあり、広い意味での連携ないし協業に向けた取り組みも重要となることから、意識した活動展開を計画したい。可変情報板（VMS）を用いて、エコドライブに関する情報をドライバーに提供した時の効果をフィールド実験により計測した。本実験は、エコドライブ VMS の実施前後・事前学習の実施前後の4パターンで計測することによってのみ、その効果を統計的に検証できる。コロナ禍での制約により、複数回の実験条件で被験者から回答を容易に得られるバスド

ライバーに限定して実験を実施したが、一般ドライバーを対象にして同様のフィールド実験をするためには、現地の自治体や交通警察による協力と調整が不可欠である。

(4) 研究題目 4:「交通インフラ整備との連携を軸としたスマートシティ構築の提案 (ハンドブック) 作成と実施」

研究グループ 4 (リーダー: 福田敦 教授 日大)

研究グループ 4 (Co-リーダー: Prof. Soumya Jana IITH)

アーメダバード市で実施、計画されている交通情報提供、交通制御を含む交通施設整備について交通関係のステークホルダーにヒアリング等を行って整理する活動の一環として、2018年7月にワークショップを開催し、SATREPESで目指すべきマルチモーダルに向けた活動の方向性が正しいことをアーメダバード市の交通関係機関と確認をした。また、シミュレーションによる評価において、各研究課題の成果を踏まえたインプット・アウトプットが必要であることや、ハンドブックでの作成過程で各研究課題の成果を見える化したうえで取り組むことが求められるので、IITH側を含め各グループの研究者と密に連携を取って進めた。また、2022年8月に実施多第3回ワークショップでは、AMCおよびSCADL側から、アーメダバード市のCO2の測定に関して、IITH開発のガスセンサーおよびその解析手法の協力要請がありあり、具体的対応の検討が開始された。

Ⅲ. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

(1) 成果展開事例

JICA 無償資金提供「ベンガルール中心地区高度交通情報及び管理システム導入計画」に採択され、交通情報システムおよび信号制御を含む管理システムに提供される予定。導入 ITS 設備は、センターシステム一式、プローブシステム一式、渋滞計測システム 12 カ所、交通量測定 8 カ所、可変情報板（VMS）3 基、インターネットシステム一式、信号システム 29 交差点の予定。2023 年 3 月工完、その後 5 年間の O&M 実施となっている。

(2) 社会実装に向けた取り組み

「Thailand4.0 を実現するスマート交通戦略」（中部大学 林良嗣代表）と共同で両プロジェクトの研究成果をひろく社会に提供するシンポジウムをオンラインで行った。参加者は両プロジェクトの相手国関係者だけでなく、両プロジェクトに関連したテーマで海外展開を目指す企業・団体から 114 名の参加があった。両プロジェクトから 10 名の講演があり、プロジェクトで得られた知識や知見を広く関係する諸団体と共有することができた。



写真 1 タイ合同シンポジウム様子（2022 年 1 月 25 日実施）

Ⅳ. 日本のプレゼンスの向上（公開）

外務省 2019 年度 ODA 白書に掲載頂いた。

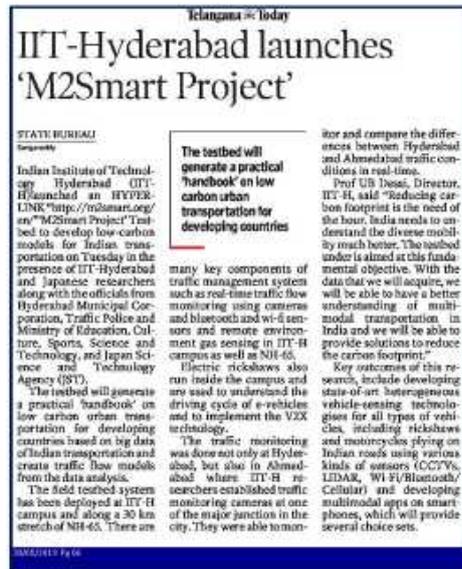
(図Ⅳ-1) (<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/shiryo/hakusyo.html>)

さらに、1) IITH のテストベッドが完成し、2019 年 5 月 28 日に文科省戦略官および JST 理事、フェロー参加のもとオープニングセレモニーを開催した。このセレモニーについては地元新聞、教育関係記事として 17 紙に詳細された。

(図Ⅳ-2)



図IV-1 ODA 白書掲載(p.100)



図IV-2 テストベッド紹介記事例

(2019年5月30日付 TelanganaToday 紙より)

ODA 白書の英文版刊行後、インド大使館公使に研究代表が手渡し、激励を頂いた。
(写真2 2019年12月)



写真2 インド大使館にて ODA 白書の謹呈

インド大使館公使、参事官が、それぞれ SATREPS 研究者との意見・情報交換として、日本大学への訪問を頂き、熱心な質疑および討議を行い、プロジェクトへの期待を寄せて頂いた。



写真3 インド大使館公使来所 (2021年3月:左) 参事官来所 (2022年3月:右)

V. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

現地アーメダバード市域行政ならびに道路関係者を交えてのワークショップをこれまで2回実施しており、2022年8月にも第3回目のワークショップを実施し、プロジェクトの成果発表の実施とフィードバックを頂いた。

第1回ワークショップでは AMC、BRT、警察、オートリキシャ会社他 30名の参加、第2回ワークショップでは現地 JETRO、メトロ建設会社（日本信号）参加 20名の参加を頂いた、プロジェクト側は、IITH、日本大学、東京工業大学、名古屋電機の全研究機関の研究員および JICA、JST からの参加、第3回ワークショップではスマートシティ公社幹部およびアーメダバード市にて AMC のコンサルタントをおこなっている PwC 社のマネージャが、プロジェクト側では IITH、日本大学、東京工業大学、名古屋電機の前研究機関と JICA、JST の参加をもって実施した。



写真4 第1回ワークショップ（2018年7月） 第2回ワークショップ（2020年1月）



第3回ワークショップ（2022年8月19日） 第3回ワークショップ集合写真

VI. 投入実績【研究開始～現在の全期間】（非公開）

VII. その他（非公開）

以上

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2019	Hiraide, T., Kawasaki, T. and Hanaoka, S.: Clarification of Public Transport Usage Conditions in Ahmedabad, India, WIT Transactions on the Built Environment, Vol.182, pp.61-72	10.2495/U T180061	国際誌	発表済	
2019	Anand Kakarla, Ryohei Hashimoto, Tetsuhiro Ishizaka, Atsushi Fukuda, Exploring the Affect of Mixed Traffic Zones on BRTS: A case study on Ahmedabad BRTS, World Conference on Transport Research, 2019		国際誌	発表済	
2020	Debaditya Roy, Tetsuhiro ISHIZAKA, C. Krishna Mohan, Atsushi FUKUDA, "Detection of Collision-Prone Vehicle Behavior at Intersections Using Siamese Interaction LSTM", IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, 2020.10.--, pp.1-11	10.1109/IT TS.2020.30 31984	国際誌	発表済	
2021	Anand Kakarla, Venkata Satish Kumar, Reddy Munagala, Tetsuhiro Ishizaka, Atsushi Fukuda, Soumya Jana, Travel Time Prediction and Route Performance Analysis in BRTS based on Sparse GPS Data, 2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring), 2021.04.25-28.	10.1109/V TC2021- Spring5126 7.2021.944 8832	国際誌	発表済	
2021	Anand Kakarla, Venkata Satish Kumar, Reddy Munagala, Tetsuhiro Ishizaka, Atsushi Fukuda, Soumya Jana, Spatio-Temporal Prediction of Roadside PM2.5 based on Sparse Mobile Sensing and Traffic Information, 2021 National Conference on Communications (NCC), 2021.07.27-30.	10.1109/N CC52529.2 021.95300 42	国際誌	発表済	
2022	Aditya Bethala, Mohammed Asif Nawaz Shaik, Tetsuhiro Ishizaka, Digvijay Sampatrao Pawar, Assessment of Mobility and Traffic Emission by Controlling the Speed at the Intersection under Heterogeneous Traffic Flow, Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies	10.11175/ easts.14.24 41	国際誌	発表済	

論文数 6 件
うち国内誌 0 件
うち国際誌 6 件
公開すべきでない論文 0 件

② 原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2019	Guo, X., Kawasaki, T., and Hanaoka, S., Clarification of the characteristics of Autorickshaw passengers in Ahmedabad, Proceedings of Eastern Asia Society for Transportation Studies.		国際誌	発表済	
2019	Hiraide, T., Kawasaki, T. and Hanaoka, S.: Clarification of Public Transport Usage Conditions in Ahmedabad, India, WIT Transactions on the Built Environment, Vol.182, pp.61-72	10.2495/U T180061	国際誌	発表済	
2019	Tsutomu Tsuboi, Noriaki Yoshikawa, "Traffic flow analysis in Ahmedabad (India)", Case Studies on Transport Policy, 2020.03.215228, pp.-	10.1016/j.c stp.2019.0 6.001	国際誌	発表済	
2020	Tsuboi, T.B47, "Visualization and Analysis of Traffic Flow and Congestion in India", Open Access Journals-Infrastructure, (ISSN 2412-3811), March, 2021		国際誌	発表済	
2020	Tsuboi, T., "Design of Cities and Buildings - Intelligence, Sustainable and Resilience Built Environment -Traffic Flow Analysis and Management", IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.9508, Mach, 2021	DOI: 10.5772/in techopen.9 5087	国際誌	発表済	
2020	Tsutomu Tsuboi, "Quantitative Traffic Safety Analysis for India by 2 Japanese Experience", Sociology Study, Jan.-Feb. 2020, Vol. 10, No. 1, 1-14, pp.1-14	10.17265/ 2159- 5526/2020 .01.001	国際誌	発表済	
2020	Tsutomu Tsuboi, Traffic Flow Analysis and Management, IntechOpen, Feb.2021 pp.1-15 DOI: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.95087		国際誌	発表済	
2020	Tsutomu Tsuboi, Visualization and Analysis of Traffic Flow and Congestion in India, March, 2021, Open Access Journal by MDPI (Infrastructure) (ISSN 2412-3811)		国際誌	発表済	
2021	Chandrashekar, C., Agrawal, P., Chatterjee, P., and Pawar, D. S., Development of E-rickshaw Driving Cycle (ERDC) Based on Micro-trip Segments Using Random Selection and K-means Clustering Techniques, IATSS Research Volume 45, Issue 4, December 2021, Pages 551-560		国際誌	発表済	

2021	Chandrashekar C, Digvijay S Pawar, Pritha Chatterjee, Estimation of CO2 and CO emissions from auto-rickshaws in Indian heterogeneous traffic, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol.104, 103202	10.1016/j.trd.2022.103202	国際誌	発表済	
2021	Chandrashekar, C., Chatterjee, P., and Pawar, D. S(IITH), Development of real-world CO2 and CO emission factors from diesel-auto rickshaws in Indian Urban and Rural Driving Conditions, Proceedings (CD-ROM) of 101th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington D. C.		国際誌	発表済	
2021	Rachakonda, Y., and Pawar, D. S(IITH), A Review on Evaluation of Intersection Conflict Warning System at Rural Intersections, Proceedings (CD-ROM) of 101th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington D. C.		国際誌	発表済	
2021	VR Naganaboina, SG Singh(IITH), Graphene-CeO2 based flexible gas sensor: Monitoring of low ppm CO gas with high selectivity at room temperature, Applied Surface Science vol. 563, October 2021, 150272		国際誌	発表済	
2021	VR Naganaboina, SG Singh(IITH), CdS based Chemiresistor with Schottky Contact: Toxic Gases Detection with Enhanced Sensitivity and Selectivity at Room Temperature, Sensors and Actuators B: Chemical vol. 357, April 2022, 131421		国際誌	発表済	
2021	VR Naganaboina, M Anandkumar, AS Deshpande, SG Singh(IITH), Single-Phase High-Entropy Oxide-based Chemiresistor: Toward Selective and Sensitive Detection of Methane Gas for Real-time Applications, Sensors and Actuators B: Chemical vo. 357, April 2022, 131426		国際誌	発表済	
2021	VR Naganaboina, SG Singh, CdS based Chemiresistor with Schottky Contact: Toxic Gases Detection with Enhanced Sensitivity and Selectivity at Room Temperature, Sensors and Actuators B: Chemical vol. 357, April 2022, 131421		国際誌	発表済	
2021	VR Naganaboina, M Anandkumar, AS Deshpande, SG Singh, Single-Phase High-Entropy Oxide-based Chemiresistor: Toward Selective and Sensitive Detection of Methane Gas for Real-time Applications, Sensors and Actuators B: Chemical vo. 357, April 2022, 131426		国際誌	発表済	

論文数 17 件
うち国内誌 0 件
うち国際誌 17 件
公開すべきでない論文 0 件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年	出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ-おわりのページ	出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2020	坪井 務、石坂哲宏、Debaditya Roy、関 弘翔、西脇大輔、高橋 聡、インドにおける深層学習を用いた混合交通車両検出技術、交通工学、Vol.56, No.1, pp.54-57, 2021.1		発表済	
2021	関 弘翔、泉 隆、細野裕行、安全・安心に資する新興国の交通画像解析、信頼性、Vol.44, No.1, 2022.1		発表済	

著作物数 2 件
公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2019	国際学会	Keisuke YOSHIOKA, Tetsuhiro ISHIZAKA, Atsushi FUKUDA (Nihon university), Digvijay S. PAWAR (Indian Institute of Technology, Hyderabad), A Trial of OD Traffic Volume Estimation through the Fusion of Various Types of Traffic Data and CO2 Emissions Estimation by Microsimulation, The 13th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Colombo, 2019.9	ポスター発表
2019	国際学会	Ryohei Hashimoto(Nihon University), Anand Kakarla(IITH), Tetsuhiro Ishizaka, Atsushi Fukuda(Nihon University), "Analyzing Route Segment Performance Based on Multiple Indicators Using DEA: A Case Study on Ahmedabad BRT", The 13th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2019.	口頭発表
2019	国際学会	Tetsuhiro Ishizaka, Anand Kakarla, Atsushi Fukuda(日本大学), Digvijay S. Pawar(IITH), Hiroki Kikuchi(日本大学), Behavior Analysis on Last One-Mile Connectivity by Providing Auto-rickshaw Feeder Service and Navigation in India, The 13th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2019.	ポスター発表
2019	国際学会	A. Kakarla, V. S. K. R. Munagala, A. Qureshi, S. Thatikonda, S. De(IITH), T. Ishizaka, A. Fukuda, S(日大), Jana(IITH), "Comprehensive Air Quality Management System for Rapidly Growing Cities in Developing Countries", Accepted in IEEE Global Humanitarian Technology Conference, Seattle, October17-20, 2019.	口頭発表
2019	国際学会	Debaditya Roy, Tetsuhiro Ishizaka(日本大学), C. Krishna Mohan (IITH), and Atsushi Fukuda(日本大学), "Vehicle Trajectory Prediction at Intersections using Interaction based Generative Adversarial Networks," IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), Auckland, New Zealand, 27 Oct- 30 Oct, 2019	口頭発表
2019	国際学会	ANAND KAKARLA, RYOHEI HASHIMOTO, TETSUHIRO ISHIZAKA, ATSUSHI FUKUDA(日本大学), SOUMA JANA (IITH), Exploring the Affect of Mixed Traffic Zones on BRTS: A case study on Ahmedabad BRTS, 15th World Conference on Transport Research, Mumbai, India, 2019/5/27	口頭発表
2020	国際学会	Debaditya Roy(日本大学), K. Naveen Kumar, C. Krishna Mohan(IITH), "Defining Traffic States using Spatio-temporal Traffic Graphs", The 23rd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, September 20-23, 2020	口頭発表
2021	国際学会	Aditya Bethala (Nihon University), Mohammed Asif Nawaz Shaik (Nihon University), Tetsuhiro Ishizaka (Nihon University), Digvijay Sampatrao Pawar (IITH), Assessment of Mobility and Traffic Emission by Controlling the Speed at the Intersection under Heterogeneous Traffic Flow, Proceedings of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Online, 12-14 Sep, 2021	口頭発表
2021	国際学会	Chandrashekar C (IITH), Digvijay S Pawar (IITH), Pritha Chatterjee (IITH), Atsushi Fukuda (Nihon University), Tetsuhiro Ishizaka (Nihon University), Real-world CO2 and CO emissions estimation from diesel auto rickshaws on Indian urban and rural roads, 6th Conference of Transportation Research Group of India, Tamil Nadu, India, 14-17 Dec, 2021	口頭発表
2021	国際学会	Kakarla. A, V. S. K. R. Munagala(IITH), T. Ishizaka(Nihon Univ), A. Fukuda(Nihon Univ), and S. Jana(IITH), Spatio-temporal prediction of roadside PM2.5 based on sparse mobile sensing and traffic information, National Conference on Communications (NCC), 2021	口頭発表
2021	国際学会	Kakarla. A, V. S. K. R. Munagala(IITH), T. Ishizaka(Nihon Univ), A. Fukuda(Nihon Univ) and S. Jana(IITH), Spatio-temporal prediction of roadside PM2.5 based on sparse mobile sensing and traffic information, National Conference on Communications (NCC), 2021	口頭発表

招待講演 0 件
口頭発表 9 件
ポスター発表 2 件

② 学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2017	国内学会	坪井務(名古屋電機)、新興国における道路混雑と交通サービス定量評価主張、電気・電子・情報学会 東海支部大会、名古屋大学、9月7日	口頭発表

2017	国際学会	Tsuboi.T(名古屋電機)、Traffic Flow Analysis in Emerging Country (India)、CODATU17/UMI (Urban Mobility India)、Hyderabad、Nov/4-6	口頭発表
2017	国際学会	Pawar.D(IITH)、Modeling Crossing Behavior of Drivers and Pedestrians at Uncontrolled Intersections and Mid-block Crossings、Nov/4-6	口頭発表
2018	国際学会	坪井務(名古屋電機)、Quantitative Analysis Method of Traffic Service by Traffic Congestion under Developing Country、ISTS&IWTDCS 2018、日本(松山)、8/3-6	ポスター発表
2018	国内学会	橋本、石坂哲弘(日大)、IITHインド・アーメダバードにおけるBRTSの走行特性・遅れに関する分析、土木学会第73回年次学術講演会(全国大会)、北海道、8/29-30	口頭発表
2018	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機)、Traffic Service Quantitative Analysis Method under Developing Country、ICACCI 2018、India(Bengaluru)、9/19-27	口頭発表
2018	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機)、Dynamic Macro Numeric Analysis of Fatal Traffic Accident、ICACCI 2018、India(Bengaluru)、9/19-27	口頭発表
2018	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機)、Traffic Flow and Vehicular Lanes Effect Analysis in Emerging Country、Urban Transportations 2018、Spain(Barcelona)、11/25-27	ポスター発表
2018	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機)、Traffic Congestion Visualization by Traffic Parameters in India、ICICC 2019、Check(Ostrava)、3/21-22	口頭発表
2018	国際学会	Hiraide, T. (Tokyo Institute of Technology)、Clarification of Public Transport Usage Conditions in Ahmedabad, India, 24th International Conference on Urban Transport and the Environment, Seville, 2018.9	口頭発表
2018	国内学会	橋本諒平(日本大学大学院)、石坂哲宏、福田敦:インド・アーメダバードにおけるBRTSの走行特性・遅れに関する分析、土木学会第73回年次学術講演会、日本・北海道、2018.8	口頭発表
2018	国内学会	石坂哲宏(日本大学)、高橋文哉、福田敦:乗合タクシーをアクセス交通に考慮した際の交通手段選択に関する基礎的研究、土木学会第73回年次学術講演会、日本・北海道、2018.8	口頭発表
2018	国内学会	福田敦(日本大学)、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、日本環境共生学会20周年記念学術大会、三重、2018.9	ポスター発表
2018	国際学会	Ryohei Hashimoto(Nihon University) and Anand Kakarla, "Analyzing the effect of variation of intersection delays on total travel time in Bus Rapid Transit Systems", Honda Y-E-S Forum, Tokyo, Japan, July, 2018.	ポスター発表
2018	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機)、Traffic Flow and Vehicular Lanes Effect Analysis in Emerging Country, Urban Transitions, 11/25-27, 2018	ポスター発表
2018	国内学会	Suhel Magdum, Mehul Sharma, Srikant Manas Kala, Antony Franklin A, and Bheemarjuna Reddy Tamma, "Evaluating DTN Routing Schemes for Application in Vehicular Networks", in Proc. of 5th workshop on Intelligent Transportation Systems (ITS), co-located with COMSNETS, Bengaluru, India, January 2019	口頭発表
2018	国内学会	Subrahmanyam Kalyanasundaram(Indian Institute of Technology), M. V. Panduranga Rao, and Thamilselvam B, "Coordinated Intelligent Traffic Light using Uppaal Stratego", in Proc. of 5th workshop on Intelligent Transportation Systems (ITS), co-located with COMSNETS, Bengaluru, India, January, 2019.	口頭発表
2018	国際学会	Mehul Sharma(Indian Institute of Technology), Suhel Magdum, Antony Franklin A, Bheemarjuna Reddy Tamma, and Digvijay S. Pawar, "VISIBLE:Application for Vehicle Visibility and Incident Reporting in Real-Time", in Proc. Of Internet Conference, Tokyo, Japan, November 2018.	ポスター発表
2019	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機)、Time Zone Impact for Traffic Flow Analysis of Ahmedabad city in India, 5th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems, 5/3-5, 2019	ポスター発表
2019	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機)、Traffic Flow and Vehicular Lanes Effect Analysis in Emerging Country, 5th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems, 5/3-5, 2019	口頭発表

2019	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機), Dynamic Macro Analysis for Traffic Safety Experience, World Conference on Transport Research 5/26-31, 2019	ポスター発表
2019	国際学会	Anjani Josyula, Bhaskar Anand, P. Rajalakshmi,(IITH), "Fast Object Segmentation Pipeline for Point Clouds Using Robot Operating System", IEEE 5th World Forum on Internet of Things,15-18th April, 2019,	口頭発表
2019	国際学会	Bhaskar Anand, Vivek Barsaiyan, Mrinal Senapati, P. Rajalakshmi, "Real Time LiDAR Point Cloud Compression and Transmission for Intelligent Transportation System", 1st International Workshop on Internet of Autonomous Vehicles (INAVEC) with VTC2019, 28th April - 1st May,2019,	口頭発表
2019	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機), Dynamic Macro Analysis for Traffic Safety Experience, 21st European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography, 9/5-9, 2019	口頭発表
2019	国際学会	Xin Guo, Tomoya Kawasaki, Shinya Hanaoka,(東工大), "Clarification of the characteristics of Auto-rickshaw passengers in Ahmedabad", The 13th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies", 2019.	ポスター発表
2019	国際学会	Ryohei Hashimoto, Anand Kakarla, Tetsuhiro Ishizaka, Atsushi Fukuda(日本大学), "Analyzing Route Segment Performance Based on Multiple Indicators Using DEA: A Case Study on Ahmedabad BRT", The 13th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2019.	口頭発表
2020	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機), "New Traffic Congestion Analysis Method in Developing Countries (India)", 6th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems (VEHITS), 2-4 May 2020.	口頭発表
2020	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機), "New Traffic Congestion Analysis Method in Developing Countries (India)", 6th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems (VEHITS), 2-4 May 2020.	口頭発表
2020	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機), "Traffic Congestion Analysis and Occupancy Parameter in India", International Conference on Data Analytics and Management: An Indo-European Conference (ICDAM-2020), June 18, 2020	口頭発表
2020	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機), "Traffic Congestion Triangle" Based on More than One-Month Real Traffic Big Data Analysis in India, Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal ISSN:2415-6698), Vol.5 Issue 6, pp.588-593, November, 2020	口頭発表
2020	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機), "Traffic Congestion Analysis and Occupancy Parameter in India", International Conference on Data Analytics & Management, June, 2020.	口頭発表
2020	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機), "Case Study on The Traffic Flow in Ahmedabad (INDIA)", International Journal of Research in Engineering and Science, Volume 6 Issue 7 Ver. I, 2018, PP. 40-45	口頭発表
2020	国際学会	Tsutomu Tsuboi, "Traffic Congestion Analysis Method by Social Loss from Big Data Traffic Flow in India", 27th ITS World Congress, Los Angeles, October 4 - 8, 2020	ポスター発表
2020	国内学会	木内康晴,川村嘉郁,坪井務(名古屋電機), "アーメダバード市街地における交通流解析と交通特性の年次比較", 情報処理学会第82回全国大会, pp.3-41-42	ポスター発表
2020	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機), "Traffic congestion triangle based on more than one-month real traffic big data analysis in India", Advances in Science, Technology and Engineering Systems Volume 5, Issue 6, pp.588-593	口頭発表
2020	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機), "Challenge of Traffic Flow Analysis in India by Traffic Theory", The 8th World Sustainability Forum Transport and Mobility	ポスター発表
2020	国際学会	Shounak Kundu, Maunendra Sankar Desarkar, Sriji P.K(IITH), "Traffic Forecasting with Deep Learning", 2020 IEEE Region 10 Symposium (TENSymp), 5-7 June 2020, Dhaka, Bangladesh	口頭発表
2020	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機), "Challenge of Traffic Flow Analysis in India by Traffic Theory", The 8th World Sustainable Forum 2020, 16 September 2020.	口頭発表
2020	国際学会	Priyambada Ambastha, Maunendra Sankar Desarkar(IITH), "Incident Detection From Social Media Targeting Indian Traffic Scenario Using Transfer Learning", 23rd IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, IEEE ITSC 2020, Rhodes, Greece, September 20-23, 2020.	口頭発表

2020	国際学会	Dinesh Singh, C. Vishnu and C. Krishna Mohan(IITH), "Real-Time Detection of Motorcyclist without Helmet using Cascade of CNNs on Edge-device", The 23rd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, September 20-23, 2020	口頭発表
2020	国際学会	Suhel Sajjan Magdum, Antony Franklin, Bheemarjuna Reddy Tamma, Digvijay S. Pawar(IITH), "SafeNav: A Cooperative V2X System using Cellular and 802.11p based Radios Opportunistically for Safe Navigation", The 23rd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, September 20-23, 2020	口頭発表
2020	国内学会	田代大智、石坂哲宏(日本大学):VEHICLE DETECTION AND COUNTING FOR VEHICLE TYPES OF MOTORCYCLE AND AUTO RICKSHAW USING DEEP LEARNING, (公社)土木学会第75回年次学術講演会, 2020年9月	口頭発表
2020	国内学会	藤枝和津、石坂哲宏(日本大学):インド・アーメダバードの混合交通を考慮したマイクロ交通シミュレーションの走行挙動設定と交差点信号制御の検討, (公社)土木学会第75回年次学術講演会, 2020年9月	口頭発表
2020	国内学会	土井悠輔, Roy DEBADITYA, 石坂哲宏, 福田 敦(日本大学):UAVによる交差点上空映像を用いた衝突危険度に関する分析, ITS Japan 第18回ITSシンポジウム2020, 2020.12	口頭発表
2020	国際学会	Bethala ADITYA, Annapureddy NAGA VAMSI KRISHNA, Tetsuhiro ISHIZAKA, Atsushi FUKUDA (Nihon University), "A Study over Traveler Priority in Choosing the Mode of Transportation for Daily Commuting in Developing Countries Using the Analytic Hierarchy Process: A Case Study in Hyderabad, India", 13th ATRANS Annual Conference:Young Researcher's Forum 2020, 2020.12	口頭発表
2020	国際学会	Bhaskar Anand, Vivek Barsaiyan, Mrinal Senapati and P. Rajalakshmi(IITH), "Region of Interest and Car Detection using LiDAR data for Advanced Traffic Management System," 2020 IEEE 6th World Forum on Internet of Things (WF-IoT), New Orleans, LA, USA, pp. 1-5, 2020	口頭発表
2020	国際学会	Bhaskar Anand, Vivek Barsaiyan, Mrinal Senapati and P. Rajalakshmi(IITH), "An experimental analysis of various multi-channel LiDAR systems," 2020 IEEE International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON), Greater Noida, India, pp. 644-649, 2020	口頭発表
2020	国際学会	Mrinal Senapati, Bhaskar Anand, Vivek Barsaiyan and P. Rajalakshmi(IITH), "Geo-referencing system for locating objects globally in LiDAR point cloud," 2020 IEEE 6th World Forum on Internet of Things (WF-IoT), New Orleans, LA, USA, pp. 1-5, 2020	口頭発表
2020	国際学会	Bhaskar Anand, Anuj G. Patil, Mrinal Senapati, Vivek Barsaiyan and P. Rajalakshmi(IITH), "Comparative Run Time Analysis of LiDAR Point Cloud Processing with GPU and CPU," 2020 IEEE International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON), Greater Noida, India, pp. 650-654, 2020	口頭発表
2020	国際学会	Anshika Chourasia, Bheemarjuna Reddy Tamma, and Antony Franklin A.(IITH), "Wi Fi based Road Traffic Monitoring System with Channel Hopping", COMSNETS Workshop on ITS, Virtual Conference	口頭発表
2020	国際学会	Thamilselvam B Subrahmanyam Kalyanasundaram, Panduranga Rao Marella(IITH), "Scalable Coordinated Intelligent Traffic Light Controller for Heterogeneous Traffic Scenarios Using UPPAAL STRATEGO", COMSNETS 2021, January 6-8, 2021	口頭発表
2020	国内学会	関弘翔, 泉隆, 細野裕行(日本大学), CNNを用いた車両検出に基づく交通量計測に関する研究, 電気学会 ITS/交通・電気鉄道合同研究会, ITS-20-027, TER-20-082, 2020年11月	口頭発表
2020	国内学会	近藤正教, 西脇大輔(日本大学); オクルージョンを含む車両検出の高精度化に関する検討, 電子情報通信学会, 2021総合大会, ISS-P-027 (2021.3).	ポスター発表
2020	国内学会	西脇大輔, 関弘翔, 細野裕行(日本大学); 交通関連の画像認識AI活用, 日本大学人工知能ソサイエティ主催日本大学学部連携研究推進シンポジウム, スポットライト講演 5(2021.3.6)	招待講演
2020	国内学会	石坂哲宏(日本大学), Roy Debaditya, 松野下翔, ソーシャルフォースモデルを用いたインド混合交通の走行状態の評価, 土木学会第64回土木計画学研究発表会, オンライン, 2021年12月	口頭発表
2020	国内学会	藤枝和津, 田中康介, 石坂哲宏(日本大学), インド・アーメダバードの混合交通を考慮したマイクロ交通シミュレーションの走行挙動設定と交差点信号制御の検討, 土木学会関東支部第49回年次技術研究発表会, 2022年3月	口頭発表
2020	国内学会	渡邊信弘, 藤琳, 泉隆(日本大学):「3D距離画像センサを用いた交通流計測 -複数車線の検知性能の検討-」, 令和3年電気学会全国大会, IEEJ2021, 4-159(2021-3)	口頭発表

2021	国内学会	渡邊信弘, 藤琳, 泉隆(日本大学):「3D距離画像センサを用いた交通流計測 —複数車線の検知性能の検討—」, 電気学会ITS 交通・電気鉄道合同研究会, IEE Japan 2021(70・71・73・76・78-81), 27-31(2021-11)	口頭発表
2021	国内学会	渡邊信弘, 泉隆, 藤琳, 香取照臣(日本大学):「3D距離画像センサを用いた交通流計測 —複数車線の検知性能の検討—」, 情報処理学会第84回全国大会, (2022-3)	口頭発表
2021	国際学会	Lin Teng, Nobuhiro Watanabe, Takashi Izumi(Nihon University), Hiroaki Matsuzaki, Tomoaki Takahashi, Norio Kiryu, "Application on Vehicle Detector using Laser Ranging Image Sensor", 2021 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence(IEEE SSCI 2021)	口頭発表
2021	国際学会	Prashansa Agrawal, Jahnvi Yarlagadda, Antony Franklin, Digvijay Pawar(IITH), Bus Travel Time Prediction using Extreme Gradient Boosting, ASCE International Conference on Transportation & Development(ICTD 2021), Virtual Event,	口頭発表
2021	国際学会	Tsutomu Tsuboi, Tomoaki Mizutani(名古屋電機), Traffic Congestion "Gap" Analysis in India, 6th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems April 2021 (VEHITS)	口頭発表
2021	国際学会	Tsutomu Tsuboi, "How to Fill in Gap Between Big Data and Theory for Traffic Flow Analysis From Japan-India Joint Project" International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering March, 2022	招待講演
2021	国際学会	Anshika Chourasia, Bheemarjuna Reddy Tamma, and Antony Franklin A(IITH), Traffic-Aware Sensing-Based Semi-Persistent Scheduling for High Efficacy of C-V2X Networks, VTC2021-Fall (94th edition of the VTC conference organized by IEEE Vehicular Technology Society)	口頭発表
2021	国際学会	Thamilselvam B, Subrahmanyam Kalyanasundaram, M. V. Panduranga Rao(IITH), Statistical Model Checking for Traffic Models, SBMF2021 -24th Brazilian Symposium on Formal Methods	口頭発表
2021	国際学会	Suhel Sajjan Magdum, Antony Franklin, Bheemarjuna Reddy Tamma(IITH), A Cooperative Federated Learning Mechanism for Collision Avoidance using Cellular and 802.11p based Radios Opportunistically, ANTS 2021 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)	口頭発表
2021	国際学会	VR Naganaboina, SG Singh(IITH), Fabrication of highly selective NO2 gas sensor for low ppm detection, IEEE Conference on Nanotechnology	口頭発表
2021	国際学会	Priyambada Ambastha, Maunendra Sankar Desarkar(IITH), mTransDial: Multilingual Dataset for Transport Domain Dialog Systems, AI for Transportation workshop at Thirty-Sixth AAAI Conference on Artificial Intelligence	口頭発表
2021	国際学会	K Naveen Kumar, Digvijay S. Pawar, and C. Krishna Mohan(IITH), Open-air Off-street Vehicle Parking Management System Using Deep Neural Networks: A Case Study., 14th International Conference on COMMunication Systems & NETWORKS (COMSNETS) ITS workshop, pp. 800-805. IEEE, 2022	口頭発表
2021	国際学会	T.Tsuboi, T.Mizutani, Traffic Congestion "Gap" Analysis in India, 7th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems	口頭発表
2021	国際学会	T.Tsuboi, Indian Traffic Congestion Model by Shock Wave, The European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography - ECTQG2021	口頭発表
2021	国際学会	T.Tsutomu Tsuboi, Traffic Congestion Analysis in India and Fluid Flow Reduction Loss Theory, International Conference on Computing and Communication Networks (ICCCN-2021)	口頭発表
2021	国際学会	T.Tsuboi, Traffic Congestion Model in India by Shock Wave Theor, The 2nd International Conference on Modern Management based on Big Data (MMBD2021)	口頭発表
2021	国際学会	T.Tsuboi, How to fill in Gap Data and Theory for Traffic Flow Analysis from Japan-India Joint Project, International Conference on Civil, Structural and Environment Engineering	招待講演
2022	国際学会	T.Tsuboi, Effective use of Big Data and Experience in Traffic Analysis, Global Summit on Environmental Science and Applications (EnScience2022),	招待講演

2022	国際学会	T. Tsuboi , Practical Research and Local Government Collaboration, International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering (CIVILMEET2022)	招待講演
------	------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------

招待講演	5 件
口頭発表	58 件
ポスター発表	13 件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願※
No.1													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 0 件

公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する国内出願※
No.1													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 0 件

公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2017	2017/11/6	Best Ph.D Paper	Modeling Crossing Behavior of Drivers and Pedestrians at Uncontrolled Intersections and Mid-block Crossings	Pawar.D	CODATU	3.一部当課題研究の成果が含まれる	

1 件

② マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2019	2019/5/29	Indian Education dairy (online)	IIT-H Launcges intergrated database on infra projects		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/29	UNI (online (online))	Indo-Japant joint research programme on severe traffic congestion launched in Hyderabad		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/29	BW Education (online)	IIT Hyderabad Launches 'M2Smart' Testbed To Research Low-Carbon Models For Indian Transportation		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	The Times of India (online)	New app to help you pick best multi-mode ride-hailing options		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	Edex (online)	IIT-Hyd launches 'M2Smart Project' testbed to develop low-carbon models for Indian Transportation		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	Dainik Jagran (online)	IIT Hyderabad launched M2Smart Testbed to develop low-carbon transprot models		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	Study Buzz (online)	IIT Hyderabad launces 'M2Smart' Testdeb to research low-carbon models for Indian transportation		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/31	Hans India (online)	India-Japan joint R&D project launuches at IIT		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/31	The Hindu Business Line (online)	India-Japan research Project to ease traffic congestion		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	The New Indian Express	IIT-H launches testbed for low-carbon transprotation		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	Telangana Today	IIT-Hyderabad launches 'M2System Project'		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	The Hindu	IIT-H launches testbed for low-carbon transprotation models		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	Pioneer	M-2 Smart to develop low-carbon transprotation models		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	Deccan Chronicle	IIT-H to collect traffic information		1.当課題研究の成果である	

2019	2019/5/30	The Hindu Business Line	IIT-H Lauches integrated database on intra project		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	The Times of India	New app to help you pick best multi-mode ride-hailing options		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/31	The Hindu Business Line	India-Japan research Project to ease traffic congestion		1.当課題研究の成果である	
2020	2020/3/10	2019年度開発協力白書	開発協力白書・参考資料集	2019年版 開発協力白書{日本の国際協力世界を結び、未来を紡ぐ}JP100	1.当課題研究の成果である	
2020	2020/12/27	2019年度開発協力白書の英文版	開発協力白書・参考資料集	2019年版 開発協力白書{日本の国際協力世界を結び、未来を紡ぐ}JP100	1.当課題研究の成果である	
2020	2021/1/22	Eenadu	JICA funds Rs. 1600 crores to IIT-H for development		1.当課題研究の成果である	
2020	2021/1/21	The Times pf India	Indian, Japanese researchers work on solving traffic woes using emerging tech		1.当課題研究の成果である	
2020	2021/1/22	India Education Diary	India- Japan Joint Research Program for a modal shift of urban transportation towards a low carbon society through scientific traffic analysi		1.当課題研究の成果である	
2020	2021/1/22	AP7AM	India- Japan Joint Research Program with IIT-Hyderabad		1.当課題研究の成果である	
2020	2021/1/22	Apple Times	Indian, Japanese researchers work on fixing site visitors woes utilizing rising tech		1.当課題研究の成果である	
2020	2021/1/22	Indded News	Indian, Japanese researchers work on solving traffic woes using emerging tech		1.当課題研究の成果である	
2020	2021/1/22	News Rush	Indian, Japanese researchers work on solving traffic woes using emerging tech		1.当課題研究の成果である	
2020	2021/1/22	Truth Drive	Indian and Japanese Researchers Work to Solve Traffic Problems Using Emerging Technology		1.当課題研究の成果である	
2020	2021/1/22	UR All News	Indian, Japanese researchers work on solving traffic woes using emerging tech		1.当課題研究の成果である	
2020	2021/1/22	India Education Dially	ICA celebrates the third International Day of Education 2021		1.当課題研究の成果である	
2020	2021/1/22	IPM News	ICA celebrates the third International Day of Education 2021		1.当課題研究の成果である	
2020	2021/1/22	Konexio Network	ICA celebrates the third International Day of Education 2021		1.当課題研究の成果である	

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	公開/ 非公開の別	概要
2017	43129	M2Smart公開ワークショップ	東京(日本)	59名(6名)	公開	外部有識者(アドバイザー)を招き、本プロジェクトの研究内容、進捗等に関してアドバイスを頂きつつ、一般参加者を含めて議論を行った。
2018	43622	Massive Earth Summit	Delhi(インド)	290	公開	インド環境団体主催によるインド課題解決に向けたサミットに日本代表として研究代表が招待出席し、プログラム紹介を行った。
2018	43655	アーメダバードワークショップ	Amedabad(インド)	18(6)	非公開	インド交通関係行政(AMC, 交通警察, BRT, メトロ)を交えたプログラムに関する意見情報館の実施。
2020	43859	アーメダバードワークショップ	Amedabad(インド)	23(11)	非公開	JST中間評価現地視察を兼ねて実施したワークショップ。メトロ、PcWkonnsaru、JETRO、BRT会社関連の参加。IITH教員も3名の参加。
2021	44586	SATREPS合同ワークショップ	オンライン(日本、インド、タイ)	114(10)	公開	SATREPSプロジェクト(SmarTran4T4、対象国タイ、林良嗣代表)と合同で成果を報告するシンポジウム。両プロジェクトの関係機関や同様の海外展開を目指す企業・団体等が参加

5 件

② 合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

年度	開催日	議題	出席人数	概要
2017	2017/6/5-7	研究機関合同会議	19名	年会合とした全研究機関合同会議(首都高速管制センター現場見学含む)、研究内容紹介および情報の共有の実施。
2017	2017/8/24	第1回JCC	16名	プログラム全体の方向性の確認とこれまでの双方の現地調査活動を含めた内容の紹介を実施し、PDM/POの修正と確認を行った。
2018	2018/6/15	第2回JCC	25名	プログラム全体の方向性の確認を実施。各グループにおけるメンバーの見直しと各グループのリーダーを決定した。研究機材項目の確認と調達状況の確認を行った。さらに機材移管責任を明確化した。
2019	2019/4/5	第3回JCC	24名	プログラム全体の方向性の確認を実施。各グループの活動にてお一体管理を行うべく、今回から日印それぞれから各研究グループにリーダー、Coリーダーを任命し、研究グループ内の相互情報交換を密に行える体制を確立した。
2019	2019/10/17	第4回JCC	18名	プログラム各グループの進捗の確認と今後の計画の設定確認を行った。IITHテストベッドにて追加項目が発生し、対応としてリサーチアシスタントおよび今後の出張計画等の見直しにより、予算範囲にて対応する計画を確定した。今回はIITH新学長を迎えての会議となり、プログラムディレクターに新学長、前学長はプログラムなメージャーとして継続支援頂くことを確認した。
2020	2020/1/27	現地中間評価研究報告会	23名	現地中間評価研究報告会をIITHにて実施した。これまでの研究成果を各グループ単位にて成果報告を行った。
2020	2021/1/21	第5回JCC	63名	プログラム各グループの進捗の確認と今後の計画の設定確認を行った。今回はコロナ禍により活動制約を受ける中でも、各グループごとで進める研究内容の情報高級をオンラインで実施した。オンライン実施により、IITHの本プログラムに参加する学生・院生を含めて行えたことにより多くの出席が得られるとともに、今後の活動計画の確認を行った。
2021	2022/1/17	第6回JCC	36名	最終年度に当たっての全の研究まとめ状況の確認および2022年9月完了までの計画をまとめた。特に成果物となるハンドブックに関する進捗とレビュー方法について、外部研究期間および関連機関へのレビュー計画を決定した。
2021	2022/1/25	第1回タイSATREPS合同シンポジウム	124名	「Thailand4.0を実現するスマート交通戦略」(中部大学林良嗣代表)と共同で両プロジェクトの研究成果をひろく社会に提供するシンポジウムをオンラインで行った。参加者は両プロジェクトの相手国関係者だけでなく、両プロジェクトに関連したテーマで海外展開を目指す企業・団体から参加頂き、プロジェクトで得られた知識や知見を広く関係する諸団体と共有することができた。

9 件

JST成果目標シート

研究課題名	マルチモーダル地域交通状況センシング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
研究代表者(所属機関)	坪井 務 (名古屋電機工業)
研究期間	H28採択(平成29年4月1日～令和4年9月30日)
相手国/主要相手国研究機関	インド国/インド工科大学(ハイデラバード校)

付属的成果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> 低炭素の都市・地域づくり(スマートモビリティ)の実現 日本企業による成果の事業化
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> 地域ITSと適応信号制御によるインド国(新興国)に最適な交通管理システムのシナリオ構築 新興国への地域最適化技術の応用
知財の確保、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> 市域最適化市電信号制御方式 交通量評価用センシング技術・信号機、制御機器 地域インフラ道路情報へのアクセス
世界で活躍できる日本人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> 国際的に活躍可能な日本側の若手研究者の育成(国際学会での指導力、レビュー付雑誌への論文投稿など)
技術及び人的にネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> 日本企業によるインド地元企業との協働ビジネスの確立(Make in India & Made in Indiaの実現) アーメダバード市行政との連携を足掛かりに、他都市への展開を目指す
成果物(提言書、論文、プログラム、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> 交通量に応じた適応信号システム(アルゴリズム、試作、実証、提言) 交通システムと情報ネットワークの連携(実証、提言) インドの渋滞メカニズムの解明(データ、論文) プローブ応用技術(実証、論文)

上位目標

インドでのスマートモビリティの仕組みを他の同様な交通渋滞問題で悩む新興国にも紹介し、日本企業のインドを含む連携を強化することで、新興国での国際事業への足掛かりとする。

アーメダバード市での地域交通最適化検討したハンドブックによるスマートモビリティの仕組みの展開として、その規模をインド全体に拡張することでインドスマートシティ施策への支援とする。

プロジェクト目標

交通渋滞による環境破壊・経済損失・社会損失への対策として、交通情報の可視化とICTの活用によるマルチモーダルシフトを都市レベル(アーメダバード市)で検証し、市域交通システムの低炭素化(御膳2030年目標20~30%)を実施しうるシナリオの構築をプロジェクト目標とし、その後の長期的な展望として2040年には40~50%を見据えたものとする。そのためのスマートモビリティハンドブックの作成と持続可能な仕組みを構築する。

