

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究状況報告書（1年目の研究対象）】

①研究代表者	氏名（ふりがな）		所属		役職
	布施 孝志（ふせ たかし）		東京大学大学院 工学系研究科		教授
②研究 テーマ	名称	学習型モニタリング・交通流動予測に基づく観光渋滞マネジメントについての研究開発			
	政策 領域	[主領域] AIを活用した交通分析・ 予測・マネジメント手法の開発 [副領域]	公募 タイプ	IV	
③研究経費（単位：万円）	平成30年度	平成31年度	平成32年度	総合計	
	3,198（受託額）	3,250（計画額）	3,120（計画額）	9,568	
※H30は受託額、H31以降は計					
④研究者氏名（研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）					
氏名		所属・役職			
福田 大輔		東京工業大学 環境・社会理工学院・准教授			
円山 琢也		熊本大学 くまもと水循環・減災研究教育センター・准教授			
市村 強		東京大学 地震研究所・教授			
村上 大輔		統計数理研究所 データ科学研究系・助教			
瀬尾 亨		東京大学 工学系研究科・助教			
田名部 淳		(株)地域未来研究所 交通情報研究室・室長			
⑤研究の目的・目標（提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入。）					
<p>学習型の交通状態モニタリング手法・交通流動予測手法、および両者の統合手法により、エリア内の交通流動を改善するための適応型交通需要マネジメントに関する研究・技術開発を行う。また、提案手法の観光交通イノベーション地域等での試行を通し、実効性の高い渋滞対策等の検討に資する知見を提供する。具体的には、以下の通りである。</p>					

テーマ1：学習型モニタリングシステムの構築

定点型・移動型観測データによる車・人の認識や交通状態モニタリングの手法を開発し、それらを統合したモニタリングシステムを構築する。さらに予測システムとの連携による高精度化を図る。

テーマ2：交通流動予測システムの構築

モニタリング手法で得られたデータを活用して、エリア内における車・人の交通流動・渋滞発生を予測する機械学習ベースの交通行動モデルを構築する。

テーマ3：モニタリング・予測に基づくエリア内の交通流動マネジメントスキームの構築

前2テーマを踏まえつつ、旅行時間や交通量等のモニタリング情報と予測を考慮し、課金精度等の適応型エリア内交通流動マネジメントのためのスキームを検討する。

⑥これまでの研究経過

テーマ1：学習型モニタリングシステムの構築

1-1 観測手法別にみたデータ特性の整理

車・人の移動観測に資する観測手法に関して国内外の研究および実務の最新動向を調査し、観測機器やデータ特性について整理を行った。その上で、定点カメラ、GNSS、Wi-fi、衛星を本研究で対象とする観測手法として特定した。また、以下に示す通り、全ての対象に対して、データ同化に基づく統一적アプローチによるモデル開発の可能性を確認した。

1-2 定点カメラを用いた車・人の認識・追跡の基礎モデルの開発

定点カメラから得られる動画像に対して、車・人の軌跡取得のための認識・追跡のための基礎モデルを開発した。本基礎モデルは、データ同化を基本的な枠組みとしている。従来からデータ同化による車・人の追跡例はみられるが、初期値設定問題や観測モデルの構築に課題が残っていた。本研究では、両者の課題に対応するために、深層学習の一種である畳み込みニューラルネットワーク（Convolutional Neural Network: CNN）を組み込んだモデルを開発した。CNNとして、画像認識分野で高い評価を得ているInception-v3のネットワーク構造をベースに、転移学習により車両認識・人物認識それぞれに対するモデルを構築し、初期値設定（検出）および観測モデルへ導入した。それぞれの観測モデルで高い認識性能を示した（図1，2）。



Car:0.987804
Negative:0.012196



Car:0.0125124
Negative:0.9874876



Human:0.97454268
Negative:0.02545738



Human:0.17822547
Negative:0.82177454

図1 車両認識モデルに基づく車両確率

図2 人物認識モデルに基づく人物確率

各認識モデルを導入したデータ同化手法の解法として、パーティクルフィルタによる逐次推定手法を実装した。車両に対しては、観光交通イノベーション地域である鎌倉に設置された定点カメラの実データに対して適用し、その有効性を確認した。また、人物に対しては、挙動の複雑性（軌跡の錯綜など）から生じる課題を確認した。

1-3 GNSS・Wi-fiデータを用いたメッシュ滞在人数・移動人数の同時推定の基礎モデルの開発

移動軌跡が取得可能であるがサンプル数が少ないGNSS（携帯GPS）、および多数のサンプルが取得可能であるが移動軌跡が取得困難であるWi-fiを統合した、メッシュ単位での滞在人数と隣接メッシュへの移動人数の同時推定の基礎モデルを開発した。これまでも、基地局情報などによる滞在人数のみの推定は行われているが、本研究の新規性として、観測ベクトルとしてのGNSSとWi-fiデータを統合していること、および滞在人数に加えてメッシュ間移動人数の同時推定を行うことが挙げられる。本基礎モデルも、データ同化を基本的な枠組みとしている。全メッシュの滞在人数・移動割合を状態ベクトルとし、システムモデルにメッシュごとの保存則を適用し、基礎モデルを開発した。このモデルでは、状態ベクトルが高次元になるため、安定した推定が可能であるカルマンフィルタによる解法を実装した。提案手法をシミュレーションデータに適用し、有効性を確認した（図3）。さらに、鎌倉におけるGNSSおよびWi-fiデータを用いて、適用可能性を検証した（図4）。

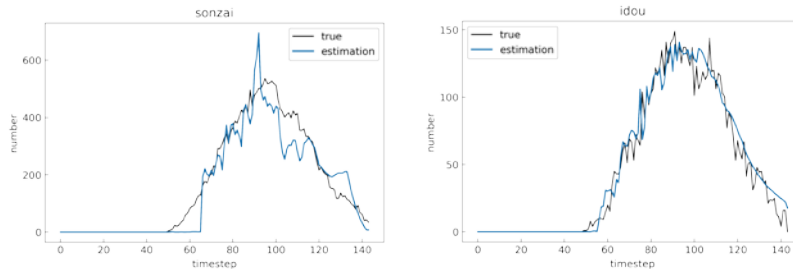


図3 1メッシュにおける滞在人数（左）と1方向移動人数（右）の精度評価



図4 鎌倉における滞在人数推定結果

1-4 衛星画像を用いた交通状態推定の基礎モデルの開発

今後多数の打ち上げが計画されている超小型衛星を見据え、広域を同時観測可能である衛星画像を用いた手法を開発した。超小型衛星では、空間分解能が1~3m程度となるため、個別車両の認識・追跡は困難である。そのため、画像からの特徴量を用いて道路リンク上における密度推定を行う画像処理手法を開発した。本モデルは、プローブデータを統合して広域交通状態推定を行うデータ同化手法に対する情報を生成するためのモデルにあたる。道路領域を抽出した衛星画像に対し、オリジナルに構築したCNNにより、直接、密度を推定するモデルを開発した。様々な状況に対応できるように、シミュレーション画像を準備し、その有効性を確認した（図5）。

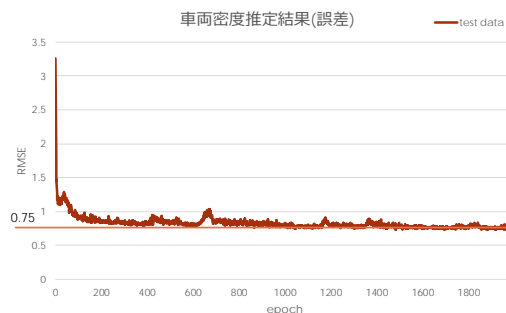


図5 車両密度推定結果

テーマ2: 交通流動予測システムの構築

2-1 短期渋滞・混雑予測に利用可能なデータ特性の整理

過去の交通状態履歴を踏まえつつ、直近のリアルタイム観測情報を用いて学習が行われた短期（目標：15分～30分先）での渋滞・混雑の予測モデルに対し、データの活用可能性の整理を行った。入力データとして、鎌倉への主要流入道路に設置されたAIカメラ及びナンバープレート認識用カメラから抽出された「交通量」、「区間旅行時間」等の交通状態変数を想定する。また、モデルのアウトプットとして、鎌倉中心部の「渋滞（自動車）」、「混雑（人）」を想定し、中心部に設置されているカメラや、人流解析（Softbank）のデータを教師データとして用いることを想定する（図6）。これに加えて、「降水量」、「市内で開催される主要イベント（の有無）」、「交通事故」などの交通に影響を与えると考えられる他の因子に関するデータも確認した。

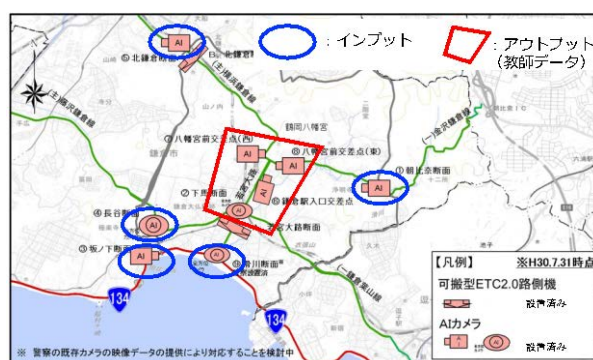


図6 短期交通状態予測のインプット・アウトプットイメージ（道路局資料に加筆）

2-2 交通流動予測の基礎モデルの検討

時系列データ（気温や交通量など時間的に変化した情報を持つデータ）を扱うことに適した深層学習の一つである「長・短期記憶（Long-Short Term Memory: LSTM）モデル」を活用して鎌倉市内の交通状態推計を行うことを検討した。LSTMとは、再帰的ニューラルネットワーク（Recurrent Neural Network: RNN）が抱える信号・勾配消失問題に対処したネットワーク構造を持つ深層学習モデルであり、本研究の内容に照らせば以下のような状況を表現することが可能である。

- 過去状況の短長期的影響（交通状態の時系列依存性）を考慮可能
- 多様な情報の効率的な活用（データ圧縮、特徴情報の効率的抽出）が可能（Convolved LSTMの場合）であり、これにより以下のような状況を考慮知ることができる
 - ✓ 長期間(>1年)の面的データを用いた学習(季節・曜日・時間変動特性等の考慮)
 - ✓ 自動車交通のみならず、歩行者や公共交通等の考慮
 - ✓ イベント等の影響の考慮

本基礎モデルに対して、鎌倉中心部のある交通量観測地点で、過去交通量（日本道路交通情報センター公開データ）、天候（辻堂降水量データ）、イベントから、将来交通量を予測する学習を試行する簡易な事例検討を行った。今回は、過去の断面交通量の情報のみを考慮したモデルと、断面交通量に加えて降水量とイベントの影響を考慮したモデルの二つを構築し、比較を行った。また1日単位での結果では概ね交通量のトレンドを追跡できる結果を確認するとともに（図7）、細かい時間間隔での課題を整理した。

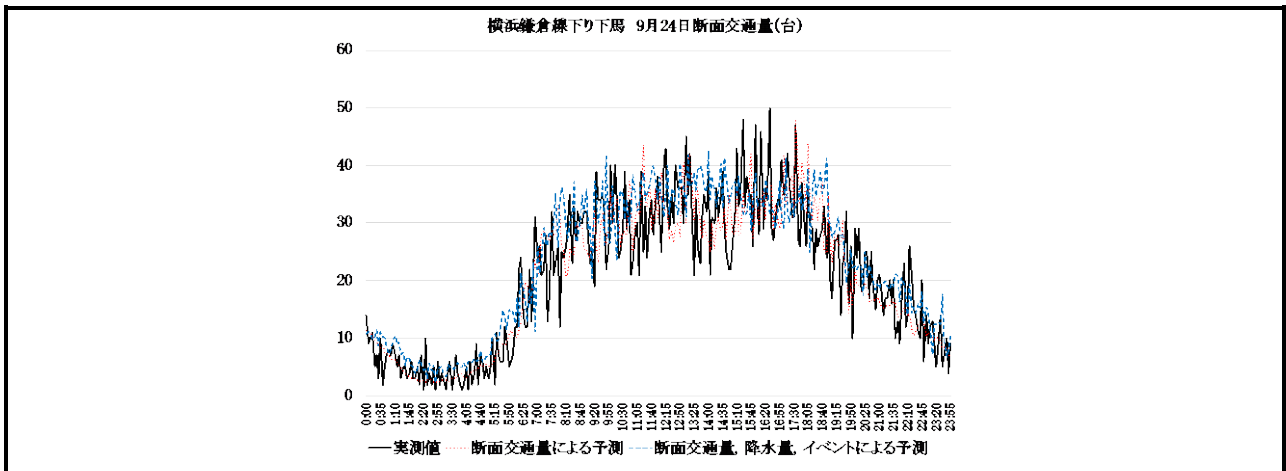


図7 簡易試行予測モデルの再現性

テーマ3: モニタリング・予測に基づくエリア内交通流動マネジメントスキームの構築

今回は、エリア内課金に焦点を当て、古典的エリア内課金の特徴整理を行った（図8）。その上で、発展型のエリア内課金例として、二重コードン／エリア課金、およびコードン内走行距離比例課金の可能性を検討した。特に、後者はシンガポールで検討されているものである。コードン内距離比例課金においては、距離完全比例に限らず、折れ線型距離依存などでもよい（図9）。単純に距離依存の場合、最短距離経路に交通が集中し、混雑解消につながらない可能性がある。そこで、タクシー料金に見られるような距離依存かつ走行時間に依存した課金について検討を行った。これは、距離依存の折れ線と単位走行時間あたりの課金額の組み合わせ最適化問題として定式化される。非加法料金を考慮した確率的利用者均衡配分を制約条件として考慮すれば、この最適化問題は、所与のコードン領域に対しての次善課金を与えることになる。また、問題を効率的に解くための非線形料金に対処する仮想リンク法、大域最適化等の分析手法について既存研究のレビューを行った。

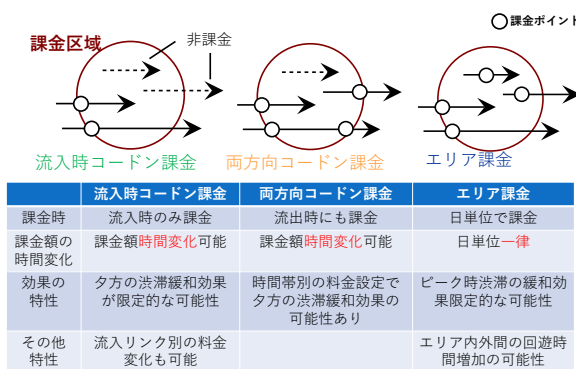


図8 古典的エリア内課金の特徴整理

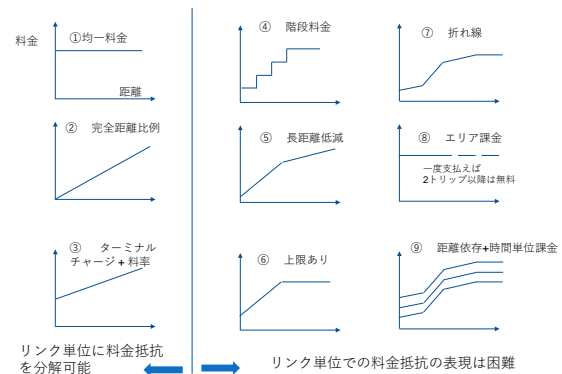


図9 非加法性料金としての整理

(土木学会 (2006), Lawphongpanich and Yin (2012))

テーマ間連携のためのプラットフォーム構築

4-1 異種情報を融合した交通状態補間手法の開発

テーマ1, 2で推定された情報は、いずれもその特性が異なる。また、地域分析のためには、センサ観測情報に加え、社会経済情報や基盤GIS情報も有用である。さらに、観測データが得られない部分での状態推定も必要になる。各種情報を融合し、任意リンクにおける補間をするための基礎モデルを開発し

た。今回は、センサ観測情報に焦点を絞り、高質低頻度データと低質高頻度データの融合のためのモデルを開発した。モデルは、大域変動、局所変動、およびノイズにより構成され、局所変動項において空間相関を考慮した空間統計モデルを開発した。モデル検証として、トラフィックカウンタおよび携帯GPSのデータを用い、モデル推定を行い、課題を整理した（図10）。



図10 トラカンの空間分布（左）、携帯GPSの空間分布（中）、推定結果（右）

4-2 解析基盤プラットフォームの開発

これまでのモニタリング、予測、補間において得られる情報は、基本的にはリンク上での交通状態である。ノード・リンク情報から数値解析用データセットの自動生成を行えば、課金に対する行動変化の予測にも有用となる。すなわち、観測・予測・補間情報から、個別車両の行動などの逆推定が行えることが望ましい。これらのプラットフォームのプロトタイプを試作した。現時点では、限定的な観測情報から、エリア内の車両挙動の予測を行うシミュレーション（順解析）部分の実装を行っている（図11）。本プラットフォームは、全テーマで用いるデータ同化や人工知能的な予測の枠組みも導入可能であり、整合性をもって、テーマ間連携を行うことが可能になる。

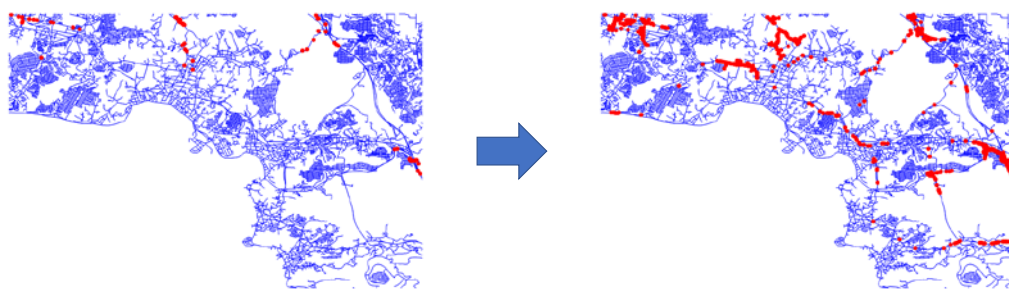


図11 順解析による車両挙動のシミュレーション実行例

⑦特記事項

- ・いずれのテーマも、概ね順調に進行していると自己評価している。今後の見通しとして、研究計画、実施方法、体制の妥当性であると考えている。
- ・特に、各テーマを統合して全体の研究の見通しをより明確化することを目的に、また、社会実装を見据えて、テーマ間連携に関する研究を追加的に行った。テーマ間連携のためのプラットフォーム

として、異種情報を融合した交通状態補間手法の開発、および解析基盤プラットフォームの開発を行ったが、当初予定を大幅に上回る進捗状況であると自己評価している。これにより、研究全体の幅が広がるとともに、テーマ間連携の見通しが向上し、社会実装の可能性が著しく高まった。

- 観光交通イノベーション地域である鎌倉における実データ（AIカメラ画像、およびGNSS・Wi-fiデータ）は、「地域道路経済戦略研究会」および「交通マネジメント新技術評価委員会」との連携により実現に至ったものである。当初予定していた実験の実現性が大きく高まったといえる。
- 超小型衛星等、今後の進展が期待される技術も検討範囲に含めることとし、今後の発展可能性を高められたと考えている。