

# 論文審査の結果の要旨

氏名 中村敏和

人々の流動に関する情報（人の流れ情報）は、混雑防止・事故防止から交通計画、マーケティング、ナビゲーション、セキュリティや災害対応まで幅広い分野で重要とされている。そのため、監視カメラ、レーザレーダなどの画像センサ、ETC や IC カードなどの通過ゲートセンサ、携帯電話・GPS モバイル端末など数多くのセンシングシステムが開発・利用されている。しかしそれらのセンシングシステムはカバーできる空間範囲や得られる情報内容に制約がある。たとえば、監視カメラやレーザレーダは一度に計測できる範囲が限定され、広大な空間を漏れなくカバーするためには膨大な数のカメラやレーダを隙間が生じないように設置する必要がある。ETC などの通過ゲートセンサはそこを通過した人数や台数しか計測できないため、面的な流動状況を知ることはできない。そこで、監視カメラや通過ゲートセンサなどから得られる断片的な流動計測データを統合することで、観測されていない空間や時間帯を含めて漏れや隙間のない人の流れ情報を推定できれば、多くの分野で有効に利用できる。

断片的・限定的な観測データを統合して漏れや隙間のない時空間データを推定する手法としては、観測データと状態変化モデル（シミュレーションモデル）を組み合わせて推定を行うデータ同化手法が知られており、気象学等の分野では大規模に利用されている。既存のデータ同化手法は気温、圧力、風速などで記述される大気場といった連続な（微分可能な）時空間領域を対象に、カルマンフィルタ等のフィルタリング手法や4次元変分法などを適用して最尤推定などを行うものであり、人や車両といった多数の離散的なオブジェクトを対象に、その移動や状態の変化の同時推定に利用できるものではなく、そうした手法の新たな開発が必要とされている。

本論文は、人や車両といった多数の離散的なオブジェクトの移動や状態の変化について、断片的・部分的な計測データと離散オブジェクトの移動シミュレーションモデルとを統合して推定するデータ同化手法を提案・開発するものであり、6章からなっている。

第1章は序論であり研究の背景、目的や独自性について述べている。第2章は既往の研究事例であり計測技術、シミュレーションモデル、観測値の高精度化手法などに関して整理されている。

第3章は人の流れ推定手法のフレームワークであり、離散的なオブジェクトへのデータ同化手法の枠組みが提案されている。パーティクルフィルターを基本とし、各パーティクルの重みが合計1になるという制約の下で最適内挿する方法である。さらに、観測内容にいくつかの制約を加えることで大規模計算を効率的に実施できる近似計算手法が提案されている。

第4章はデータ同化による人の流れ推定手法を駅構内における旅客流動推定に適用した結果を示している。本事例では別途計測された人の流れデータを基に、構内における通過人員の計測センサがさまざまな箇所に設置されているという計算実験を行い、旅客流動に関するシミュレーションモデルの性能が現状再現には十分ではない状況でも誤差が数割低下することが示された。また、一層多様なパターンでの人の流動が集中する箇所で観測を行うことでより効果的に精度を向上できること、シミュレーションを実施する上で不可欠である OD データ（どの入り口から出口に向けて何人が流動したのか

という境界条件データ) がなくても、人の流れを再現できることが示された。

第5章は、データ同化による人の流れ推定手法を都市圏スケール(例として東京都市圏を対象)における人の流動推定に適用した結果を示している。都市圏のような広域圏では人の流動シミュレーションモデルの他に、GPS やアンケートによって収集された個々の人々の移動軌跡データも利用可能であるため、シミュレーションモデルによりパーティクルを生成したケース、個々の流動軌跡データをそのままパーティクルとして利用するケースを比較した。このケースでは検証のために約80万人分のパーソントリップ調査データを利用し、80万人分のデータが全体の母集団であるとして推定・検証実験を行った。観測データは駅の乗降客数、道路の交通量を想定している。その結果、モデル利用による方がパーティクルの多様性が大きく精度が高いこと、一層多様なパターンでの人の流動が観測できる結節点となる駅で観測することが精度向上には重要であることなどが示された。

第6章は結論であり、結論と今後の課題をまとめている。

以上まとめると、本論文は人や車両といった多数の離散的なオブジェクトの移動や状態の変化を対象に、断片的・部分的な計測データと離散オブジェクトの移動シミュレーションモデルとを統合して、精度よく状態を推定するデータ同化手法を初めて開発し、精度等の検証を実データに基づく大規模数値実験により行ったものであり、空間情報科学の発展に大きな貢献をしている。さらに論文の成果は柴崎亮介や関本義秀らと共著で公表されているが、論文提出者が主体となって研究を実施しており、論文提出者の寄与は十分である。したがって、博士(環境学)の学位を授与できると認める。