審 査 の 結 果 の 要 旨

氏　　名　　神谷　啓太

個人の位置情報に関する多種多様なデータ取得の広がりを受け，都市における人々の移動や人口分布の時系列的な振る舞いの把握，すなわち人口動態の把握に関する研究が盛んに行われている．例えば，都市内における OD フローや人口分布の代表的なパターンなど，対象空間における人の流れや滞在に関して理解することが求められている．そのための従来の取り組みでは，大量に存在するデータの要約や可視化に研究の主軸が置かれてきた．しかし人口動態は日々複雑に変動するものであり，しかもそのダイナミクスは定常的であるとは限らない．人の移動が有する不確実性だけでなく，災害やイベントの発生など非日常時における局所的な変化や，経年変化に基づく人口動態のトレンド変遷など，人口動態自体のダイナミクスの変化も存在する．その変化を詳細な空間で把握できれば，より高度な交通サービスに資すると考えられる．ただし上述したダイナミクスの複雑性により，これらの変化は単にデータの大小や増減によって把握できるものではない．したがって，より詳細な空間に着目した上で，該当する空間周辺の人口動態や時系列の振る舞いを考慮し，人口動態の観測データから直接測ることのできないデータの構造やデータの生成に影響を及ぼす状態を推定することが求められる．すなわち，潜在状態の推定問題として手法を構築する必要があり，既往研究はいまだ限定的である．本論文は，入手可能性の高いデータであるメッシュ人口データを用いて，人口動態の変化検出に向けた潜在的な状態推定を行うことを目的とする．

本論文では，人口動態の変化検出に向けた潜在状態推定を取り扱う．まず，状態推定手法および人口動態を対象とした既往研究を整理し，人口動態の潜在状態推定に状態空間モデルを基本フレームワークとして設定した．

状態空間モデルはデータ同化の文脈で頻繁に使われているモデルである．しかし，人口動態分析における潜在状態の時系列遷移を記述するシステムモデルに制約があることなど課題がある．これを，データ同化手法の適用を通じて示した．そこで，既存シミュレーションモデルによらないデータ指向的な方法と

して，状態変数に離散値をとる隠れマルコフモデルの適用を実施した．東京23区のメッシュ人口の潜在状態の推定と視覚化の検証を通じ，状態数を事前に設定する必要があること，および推定される潜在状態の解釈が困難であることが変化検出に向けた課題であることを示した．

潜在状態数の自動推定の課題に対し，階層ベイズ法の導入および事前分布の共有化によるモデルを構築した．また，そのモデルを基にメッシュ人口に対する変化検出手法を開発した．提案手法は，変化検出を行うデータ間の潜在状態を推定した上で，変化スコアを算出する手法である．シミュレーションデータへの適用を通じ，状態数の自動推定を行わない既存モデルと比べて，提案手法が変化検出率や精度の面で高性能であることを示した．また，実データに対する適用を通し，列車運休がもたらした短期的な人口動態の異常な振る舞いや，中長期的な人口動態の変化の検出に有効であることを示した．

また，モバイル空間統計に含まれる居住地などの属性データを利用し，推定される潜在状態および検出される変化内容の潜在的意味解釈を実施した．潜在状態数の事前設定の問題を解消するため，階層ベイズ法を導入したトピックモデルとして手法の構築を行った．実データに対する適用を通じ，推定された潜在状態の意味解釈の有効性について示した．さらに，メッシュ毎に推定されたトピック分布の比較に基づく変化検出手法を構築した．そして，人口動態の構成に変化が起きたと考えられる地域の検出と，その変化内容の分析に有効であることを示した．そして，上述した隠れマルコフモデルに基づく手法とトピックモデルに基づく手法の特徴について比較し，人口動態の変化検出手法の更なる発展性を示唆した．

以上の通り，本論文では，メッシュ人口データを用いて，人口動態の変化検出に向けた潜在状態の推定を実施した．隠れマルコフモデルに階層ベイズ法を導入し，事前分布の共有化を施したモデルに基づく変化検出手法を開発した．提案手法の適用を通して，提案手法が有効であることを確認した．また，推定した潜在状態および検出した変化に対して，トピックモデルに基づく潜在的意味解釈を行い，提案手法が詳細な移動情報を基にした人口動態の構造把握に資することを確認した．なお，提案手法における人口動態の状態推定手法は，メッシュ人口データ以外のデータに対しても適用することのできる汎用的なものである．さらに，状態空間モデルを利用する提案手法を基盤に，複数の観測データを統合するモデルへと拡張することが可能である．本研究で行った変化検出や潜在的意味解釈のアプローチを実施することで，移動に関する社会メカニズムの解明に貢献することが期待される．

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる．