ベイズ推定による転出入を分離した小地域別将来人口推計の試行

正会員　○内田　瑞生*
会員外　　高森　秀司*

将来人口推計　コーホート要因法　転出入
平滑化　　ベイズ推定　　IPF 法

1. はじめに

2020 年度からの 5 か年を対象とする第 2 期「まち・ひと・しごと創生総合戦略」の策定を受け，全国の市区町村において，地方版総合戦略とその基礎資料にあたる地方人口ビジョンの策定が進められている．人口減少下において持続可能なまちづくりを実現するためには，町丁目などの詳細な地域を対象とした将来人口推計が重要となる．

小地域別将来人口推計の先行事例として，国土技術政策総合研究所による将来人口・世帯予測ツールや国土政策局によるメッシュ別将来人口推計が存在する．一方で，小地域別将来人口推計では，人口規模の小さい地域において変化率が不安定となる少数問題（small number problem）[1] や開発などによる一時的な人口変動の影響が推計上の課題となる．そのため，井上[2] や内田ら[3] は，これらの問題の解消可能な将来人口推計手法を提案した．

しかし，これらの先行事例および研究では，転出入を分離した将来人口推計がなされてこなかった．これは，小地域・男女・年齢階級別の詳細な転出入人口データが公開されていないことが一因になっていると考えられる．

そこで，本研究では，将来の社会増減の内訳を小地域別に把握することを可能とするため，内田ら[4] が提案した小地域別転出入人口の手法を用いて，転出入を分離した小地域別将来人口推計を試行した．

2. 従来手法

2.1 小地域別将来人口推計

将来人口推計の代表的な手法として，コーホート要因法およびその簡便法にあたるコーホート変化率法が存在する．これらの手法では，小地域を対象とした移動率やコーホート変化率の推定において少数問題が顕在化する．

少数問題は観測ノイズによって引き起こされ，ベイズ推定による平滑化が有効とされる[1]．しかし，井上[2] は，将来人口推計ではベイズ推定による平滑化効果が十分ではないことを指摘し，人口ポテンシャルに基づく平滑化手法を提案した[5]．

内田ら[3] は，将来にわたって変化率を設定する必要がある将来人口推計の性質上，観測ノイズに加えて，開発などにより一時的に生じる人口変動の影響も除去する必要があると指摘した．さらに，混合分布による異常検知をベイズ推定による平滑化に組み込むことで，従来手法で生じる過大推計が解消されることを確認した[3]．

2.2 小地域別転出入人口推計

これまで小地域・男女・年齢階級別の転出入人口は公開されておらず，公開されているのはいくつかの集計値に限定される．そのため，大佛ら[6] は，これらの集計値のみを用いて詳細な転出入人口を推計する手法を提案した．しかし，大佛の手法は，一部の集計値がもとの値と一致しないことが指摘されている[4]．そのため，内田ら[4] は，転出入人口推計を，移動の有無・小地域・年齢階級別の 3 次元の分割表推計として捉え，Iterative Proportional Fitting（IPF）法を用いて，集計値に整合的な転出入人口の推計手法を提案した．

3. 転出入を分離した小地域別将来人口推計の試行

将来の社会増減の内訳を小地域別に把握することを可能とするため，以下の方法で転出入を分離した小地域別将来人口推計を実施した．

まず，内田ら[4] の提案した小地域別転出入人口の推計手法により，市区町村を越える移動を対象に，2010 年～2015 年および 2015 年～2020 年の 5 年間の小地域・男女・年齢階級別転出入人口をそれぞれ推計し，小数第一位に対する四捨五入により整数に変換した．

次に，内田ら[3] の提案した平滑化手法により，転出率および転入率を平滑化した．本研究では，明確な上限値をもつ転出には混合ベータ・二項分布を，明確な上限値をもたない転入には混合ガンマ・ポアソン分布を仮定した．ただし，これらの変化率は，5 年前のコーホート別人口を基準に設定した．混合分布のパラメータ推定には EM アルゴリズムを用い，初期値の設定にモーメント法[7] を用いた．

これらを踏まえて，2020 年基準の 2050 年人口および 2015 年基準の 2020 年人口を対象に，転出入を分離したコーホート要因法による将来人口推計を行った．また，精度比較のため，自然増減・社会増減を分離しないコーホート変化率法による推計をあわせて実施した．

Bayesian estimation of future population by small area separating in-migration and out-migration

UCHIDA Mizuki, TAKAMORI Shuji

本研究では，表 1 に示す 4 種類の平滑化手法を用いた．ただし，基準地域の設定を要する井上手法および平均化手法では，基準地域として都道府県および市区町村を用いた．

図 1 に，転出入を分離したコーホート要因法および社会保障・人口問題研究所（社人研）による将来人口推計（2023 年推計）の 2050 年市区町村・男女・年齢階級別推計人口の比較を示す．図 1 より，混合分布手法，井上手法（都道府県別）および平均化手法（都道府県別）では，推計人口が社人研推計人口比で 10 倍超となるケースがほとんど存在せず，内田ら[3] と同様の過大推計の抑制効果が確認された．

図 2 は，平均化手法（都道府県別）を基準に，2020 年小地域別推計転出入人口の加重平均絶対誤差率（WMAPE）を比較した結果である．図 2 より，転出では単一分布手法が，転入では混合分布手法が最も高精度となった．

図 3 に，コーホート変化率法と転出入を分離したコーホート要因法の 2020 年推計人口の精度の比較を示す．図 3 より，コーホート変化率法では，内田ら[3] と同様に，単一分布手法および混合分布手法が最も高精度となった一方で，転出入を分離したコーホート要因法ではこれらの手法の精度が最も低くなるという相反する結果が得られた．

表 1 精度検証対象となる平滑化手法

平滑化手法	内容
単一分布手法	従来のベイズ推定による平滑化手法
混合分布手法	内田ら[3] の提案した平滑化手法
井上手法	Inoue[5] の提案した平滑化手法
平均化手法	基準地域の平均値を用いる手法

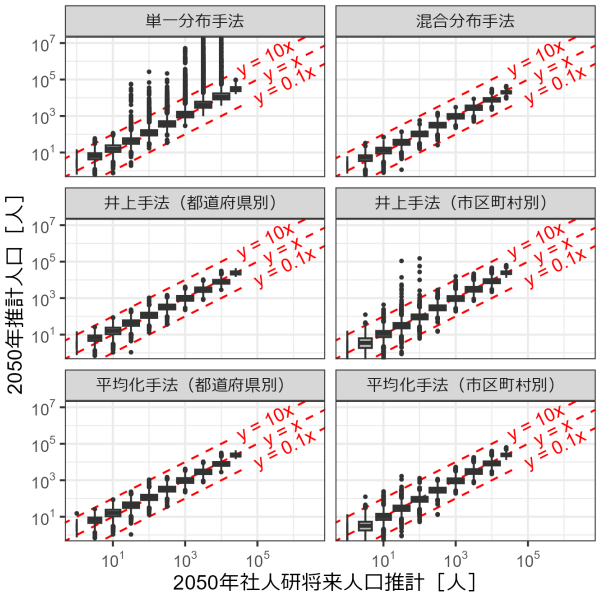

図 1 2050 年市区町村・男女・年齢階級別推計人口の比較

4. おわりに

本研究では，転出入を分離した小地域別将来人口推計を試行し，精度検証を行った．検証の結果，混合分布手法において，過大推計の抑制効果および転出入人口の精度向上の両方が確認された．一方で，転出入人口に基づく推計人口の精度が低くなった．これは，本研究で用いた転出入人口が実績値でなく，通常のカウントデータと異なる誤差をもつことなどに起因する可能性がある．精度上の課題は残るものの，本研究の推計結果は将来の社会増減の内訳を小地域別に把握可能な点で新規性を有する．そのため，今後，精度改善に加えてデータ活用に向けた検討も進めたい．

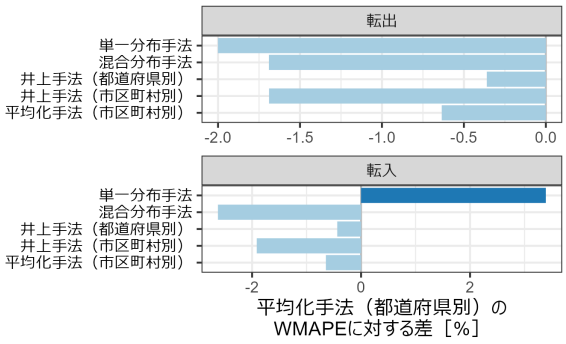

図 2 2020 年小地域別推計転出入人口の精度比較

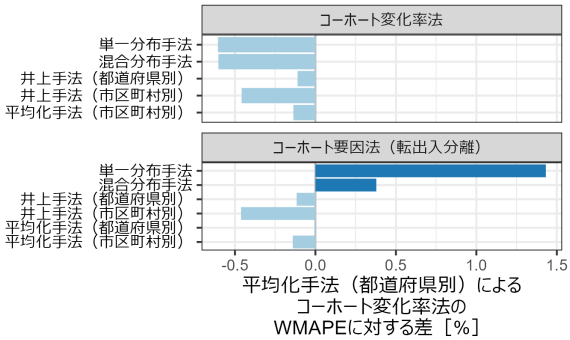

図 3 2020 年小地域別推計人口の精度比較

参考文献

1) Anselin L, Lozano N, Koschinsky J: Rate transformations and smoothing, Urbana, Vol.51, No.61801, 2006.

2) 井上孝: 「全国小地域別将来人口推計システム」 正規版の公開について, E-journal GEO, Vol.13, No.1, pp. 87–100, 2018.

3) 内田瑞生, 木暮洋介: 開発などによる突発的人口変動を考慮した小地域別将来人口推計, 2022 年度日本建築学会 関東支部研究報告集, pp. 337–340, 2023.

4) 内田瑞生, 杉本達哉, 高森秀司: 小地域転出入推計の改良手法の提案と全国市区町村への適用方針検討, 第 30 回地理情報システム学会研究発表大会, 2021.

5) Inoue T: A New Method for Estimating Small Area Demographics and Its Application to Long-Term Population Projection, The Frontiers of Applied Demography, Springer International Publishing, pp. 473–489, 2017.

6) 大佛俊泰, 前島一夫: 小地域における転出入人口の推計とその空間分布特性, GIS-理論と応用, Vol.5, No.1, pp. 1–9, 1997.

7) Marshall R J: Mapping disease and mortality rates using empirical Bayes estimators, J R Stat Soc Ser C Appl Stat, Vol.40, No.2, pp. 283–294, 1991.

* 八千代エンジニヤリング株式会社

* Yachiyo Engineering Co., Ltd.