

マルコフ連鎖による全国の都市雇用圏の「人口のダム機能」の定量評価および類型化

内田 瑞生¹・高森 秀司²

¹非会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー)
E-mail: mz-uchida@yachiyo-eng.co.jp (Corresponding Author)

²正会員 八千代エンジニアリング株式会社 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー)
E-mail: takamori@yachiyo-eng.co.jp

本研究では、東京一極集中を緩和する上で地方都市圏の中心都市に期待される「人口のダム機能」に着目した。これまで「人口のダム機能」には定まった学術的定義がなく、評価手法によって相反する結果が得られる場合があった。そこで、本研究ではマルコフ連鎖を用いて「人口のダム機能」を定量的に評価する手法を提案し、地域間人口移動における相互作用や現在の趨勢のもとでの将来的な地域別人口シェアの把握を可能とした。さらに、人口移動特性が「人口のダム機能」やその向上に寄与する人口流出抑制策に影響を及ぼすことを理論的、実証的に明らかにした。これらの成果は地方都市圏における「人口のダム機能」の現状評価を可能とするとともに各都市圏の実情に応じた施策検討に活用されることが期待される。

Key Words: population dam function, Markov chain, urban employment area, interregional migration

1. はじめに

人口減少の進む日本において、東京一極集中は地方の人口減少に拍車を掛ける深刻な問題となっている。そのため、地方では、さらなる人口減少を防ぐため複数市町村が連携して生活機能等の維持向上を図る取り組みが進められており、その代表例として定住自立圏構想および連携中枢都市圏構想がある。

これらの構想では、一定の人口規模を持つ都市を中心に都市圏が設定されるが、今後、中心都市は「人口のダム機能」と呼ばれる、東京圏への人口流出を抑制する役割を担うことが期待されている。一方で、実際には中心都市の多くは周辺地域から人口を吸引し大都市圏に送り出す「吸水ポンプ機能」を担っているのが現状である¹⁾。

今後、中心都市の「人口のダム機能」を向上していく上で、その機能を適切に評価する必要がある。しかし、増田編²⁾が用いた比喻表現である「人口のダム機能」は、学術的な定義が存在せず³⁾、評価手法によって相反する結果が得られる場合がある。

たとえば、増田編²⁾は、中心都市による周辺地域の人口吸引を重視せず、中心都市の転入超過のみをもって、一定の「人口のダム機能」を果たすと評価したが、森川⁴⁾は、東京特別区部に対する転出超過をもって「吸水ポンプ機能」とし増田編²⁾と相反する評価を下した。

また、中心都市が周辺地域からの移動人口の受け皿になっているかに基づき「人口のダム機能」を評価した事例も存在する^{注1)}が、こうした手法では、都市圏人口の一時的な維持効果が評価できる一方で、将来的に中心都市が「吸水ポンプ機能」を担う可能性が排除されない。

これらを踏まえて、本研究では、従来の「人口のダム機能」の評価手法の問題として、東京一極集中における典型的な人口移動パターンが包括的に扱われていない点、および、これらの人口移動の一時的な影響しか考慮されていない点の2点に着目した。

そこで、本研究では、地域間人口移動の趨勢把握に有用とされるマルコフ連鎖^{たとえば5,6,7)}を用いて、「人口のダム機能」の定量評価および類型化を試みる。マルコフ連鎖を用いることで複数地域間の人口移動の相互作用を考慮した分析が可能となる。本研究では、金本ら⁸⁾の都市雇用圏ごとに、周辺地域、中心都市、東京圏およびその他の4地域間の人口移動をマルコフ連鎖として表現した。

本稿の構成は以下のとおりである。まず、第2章で従来手法の課題とマルコフ連鎖の有効性について論じる。次に、第3章でマルコフ連鎖による「人口のダム機能」の評価および類型化の手法を提案する。さらに、第4章および第5章で提案手法の有効性を検証し、最後に、第6章で本研究の成果と課題をまとめる。

2. 先行事例および先行研究

(1) 「人口のダム機能」の評価事例

本節では、先行事例で用いられている「人口のダム機能」の評価手法を2種類取り上げ、それぞれの課題について述べる。

a) 中心都市の人口移動に基づく評価

1つ目の評価手法は、増田編²⁾で用いられたものであり、中心都市（拠点都市）における人口移動に着目するものである。具体的には、都市圏（地域圏）が表-1に示す4タイプに分類され、中心都市で大幅な流入超過がみられるタイプ4の地域圏が最も「人口のダム機能」が高いとされる。また、増田編²⁾による北海道を対象とした分析では、札幌市を中心都市とする札幌圏がタイプ4に属するとされた。

一方で、札幌市では、男女ともに転入超過であるにもかかわらず、増田編²⁾では、女性については「人口のダム機能」、男性については「吸水ポンプ機能」と似た「放水路」の機能を果たしているという相反する見解が述べられている。これは、20～24歳女性については流入超過なのに対して、20～24歳男性については道外への流出超過が大きいためであると説明されている。さらに、増田編²⁾と同様に北海道の人口移動を分析した森川⁴⁾は、東京特別区に対する転出超過をもって、札幌市が「人口のダム機能」ではなく「吸水ポンプ機能」を担っているという、増田編²⁾と異なる見解を述べている。

増田編²⁾の評価手法に対して、こうした見解の齟齬が生じる原因として、周辺地域の人口変化が十分に反映されない点が挙げられる。

たとえば、「人口のダム機能」が最も高いとされるタイプ4の地域圏では、周辺地域から中心都市への人口流入が多いとされる。しかし、このような同一都市圏内の人口移動は、短期的には相殺され、都市圏全体の総人口に影響を与えない。そのため、タイプ4の都市圏であっても、都市圏全体では都市圏外への人口流出が多く「人口のダム機能」を十分に果たしていない可能性がある。

増田編²⁾の評価手法は、「人口のダム機能」を担う中心都市をダムとみなし、中心都市が、貯水量にあたる人口の維持に寄与しているかを端的に評価している。しかし、本手法では、周辺地域の人口への影響が考慮されおらず、中心都市が都市圏全体の人口維持にどの程度、寄与しているかを評価することはできない。

b) 周辺地域の人口移動に基づく評価

2つ目の評価手法は、1つ目の評価手法と異なり、周辺地域における人口移動に着目したもので、長崎県の長期人口ビジョンにおいて用いられた^{注1)}。長崎県の長期人口ビジョンで用いられた「人口のダム機能」の評価式は式(1)で表される。

$$\frac{B}{A+B}$$

- A: 県庁所在地を除く県内市町村から
県外への転出超過数 (1)
- B: 県庁所在地を除く県内市町村から
県庁所在地への転出超過数

本指標は、周辺地域（県庁所在地を除く県内市町村）から中心都市（県庁所在地）への転出が多いほど高く評価されるため、中心都市が周辺地域からの人口移動の受け皿として機能しているかを捉えたものと解釈でき、一時的な都市圏人口の維持効果を評価できると考えられる。

一方で、周辺地域から中心都市への人口集積は将来的に中心都市から東京圏への人口流出を助長する可能性がある。そのため、本手法は「人口のダム機能」の潜在能力を測ると同時に、それとは相反する「吸水ポンプ機能」の潜在能力を測るものとも捉えることができる。

こうした結果が得られるのは、本手法が中心都市における人口移動を無視しているためであり、本手法は「人口のダム機能」の評価手法として十分でない^{注2)}。

c) 「人口のダム機能」の評価手法の課題

これらを踏まえて、従来の「人口のダム機能」の評価手法の問題は、以下の2点に整理される。

1点目は、東京一極集中に典型的な人口移動パターンが包括的に扱われていない点である。従来手法は、中心都市または周辺地域のいずれかの人口移動のみに着目するが、これは「人口のダム機能」等が想定する周辺地域→中心都市→東京圏という人口移動パターンの一部に過ぎず、地域間人口移動の相互作用は考慮されていない。

2点目は、地域間人口移動の一時的な影響しか考慮されていない点である。同一都市圏内の人口移動、たとえば周辺地域から中心都市への人口移動は、一時的には都市圏人口に影響を及ぼさないが、将来的には中心都市の担う「人口のダム機能」や「吸水ポンプ機能」を助長し、都市圏全体の人口に影響を及ぼす可能性がある。

これらの問題を解消するためには、周辺地域、中心都市、東京圏等を含む地域間の人口移動の相互作用を考慮可能な手法であること、さらに、これらの人口移動が将来的に都市圏全体に及ぼす影響を考慮可能な手法であることが求められる。次節では、これらの課題の解決に有効であると考えられるマルコフ連鎖を取り上げる。

表-1 増田編²⁾による地域圏のタイプ
（「人口のダム機能」の低い順）

地域圏タイプ	周辺地域から拠点都市への人口流入	拠点都市から他地域への人口流出	拠点都市の人口移動
タイプ1	少ない	多い	大幅な流出超過
タイプ2	あり	より多い	流出超過
タイプ3	少ない	少ない	流入超過
タイプ4	多い	多い	大幅な流入超過

(2) マルコフ連鎖による人口移動分析

本節では、マルコフ連鎖の概要と人口移動の分析事例を取り上げ、マルコフ連鎖の利点と課題、および「人口のダム機能」の評価への適用可能性等について述べる。

a) マルコフ連鎖の概要

時点 $t-1$ に状態 i にいるものが次の時点 t に状態 j に推移する確率が時点 $t-1$ より前の状態に無関係であるような性質はマルコフ性と呼ばれ、マルコフ連鎖は、マルコフ性をもつ確率過程（マルコフ過程）のうち、取りうる状態が離散的なものをいう⁹⁾。たとえば、地域間人口移動等の推移確率を対象とする場合には、各地域が各状態に対応する。

マルコフ連鎖では、式(2)により、現時点 t における分布 $\pi^{(t)}$ および推移確率行列 P より n 時点先の分布 $\pi^{(t+n)}$ が予測される。ただし、分布 $\pi^{(t)}$ は、式(3)で表される各状態の確率をまとめた行ベクトルであり、推移確率行列 P は、式(4)で表される各状態間の推移確率をまとめた正方行列である。また、本研究では、地域数等にあたる状態数 N は有限、かつ推移確率行列 P は定常的、すなわち時点によらず一定であると考える。

$$\pi^{(t+n)} = \pi^{(t)} P^n \quad (2)$$

$$\pi^{(t)} = (\pi_1^{(t)} \quad \pi_2^{(t)} \quad \dots \quad \pi_N^{(t)}) \quad (3)$$

$\pi_i^{(t)}$: 時点 t に状態 i にいる確率

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1N} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{N1} & p_{N2} & \dots & p_{NN} \end{pmatrix} \quad (4)$$

p_{ij} : 状態 i のもとで状態 j に推移する条件付き確率

時点 t を無限大に飛ばした際に得られる分布 $\pi^{(\infty)}$ は、極限分布と呼ばれ、人口分布等が将来どのような分布に至るかを把握する上で重要な指標となる。また、一定の条件を満たすマルコフ連鎖は、エルゴード的であるとされ、極限分布が定常分布と呼ばれる唯一の分布に収束することがわかっている。これは、極限分布が、初期分布によらず、人口移動確率等の推移確率行列のみに依存することを意味する⁹⁾。

マルコフ連鎖の定常分布は、式(5)を満たす分布として定義される。式(5)より得られる各式は他の式の合計と一致するため、式(5)は、 $N-1$ 個の独立した式からなる。ここに、分布 π の合計が1であるという条件を加えることで連立方程式により定常分布が求められる⁹⁾。

$$\pi = \pi P \quad (5)$$

また、定常分布は、転置推移確率行列 P^T の固有値1に対応する固有ベクトルを合計が1になるように正規化することでも求められ、1を除く絶対値が最大の固有値（以下、第2固有値）により収束の速さを把握でき、絶対値が小さいほど収束が速いことが知られる¹⁰⁾。

マルコフ連鎖がエルゴード的とされる条件は、既約であることと非周期的であることの2つである。このうち既約であることは、将来的に任意の状態から任意の状態に推移することができることを指す⁹⁾。また、全ての状態 i について $p_{ii} > 0$ が成り立つときマルコフ連鎖は非周期的となる¹⁰⁾。地域間人口移動では、将来的に任意の地域（状態）に移動が可能（既約）であり、全ての地域について地域内に留まる確率が正（非周期的）であれば、エルゴード的マルコフ連鎖となる。

地域間人口移動データでは、通常これらの条件が成立するため、定常分布を用いることで現在の人口移動の趨勢が継続した場合の将来の人口シェア（極限分布）を予測できる。そのため、人口移動の変化が将来の人口シェアに及ぼす波及的かつ相互的な影響把握が可能となる。

b) マルコフ連鎖による人口移動の分析事例

マルコフ連鎖は、しばしば人口移動分析に活用されてきた⁹⁾。

稲葉ら⁹⁾は、マルコフ連鎖を用いて1955年から1993年にかけての都道府県間の人口移動を分析した。分析の結果、マルコフ連鎖の定常分布が都道府県別人口シェアの変化に対する先行指標として有用であることや人口移動の縮小に伴い都道府県別人口シェアが定常分布と似た分布形になりつつあることを明らかにした。

また、坂本⁷⁾は、1980年から2015年にかけての福岡県内の4地域間の人口移動を対象にマルコフ連鎖による分析を行い、福岡市を中心とする福岡地域への人口集積が進む可能性があることを示した。さらに、人口移動確率に変化を加える政策シミュレーションを行い、県外への人口流出抑制と県外からの人口流入促進のそれぞれの施策の効果を比較した。

しかし、人口移動分析にマルコフ連鎖を適用することについては批判もある¹¹⁾。稲葉ら⁹⁾は、マルコフ連鎖を人口移動分析に用いることの問題として、モデルの単純さに起因する分析能力の低さ、およびマルコフ性や定常性の仮定の妥当性の低さを挙げている。そのため、単純なマルコフ連鎖を将来人口推計に活用することは適切ではないとされるが、人口移動の趨勢把握に有用な情報を有しており⁹⁾、規範的モデルとしての活用には一定の有効性が認められている¹¹⁾。

また、マルコフ性の仮定には、出生地が移住先に影響を及ぼすUターン等を考慮できないという問題があるものの、非マルコフ性の理論的な扱いづらさやデータ制約を踏まえれば、こうした仮定には一定の妥当性がある⁹⁾と考えられる。実際に、人口学的に特に洗練された地域別将来人口の推計手法とされるロジャース・モデル（多地域人口モデル）¹²⁾は、非定常的なマルコフモデルの一種であり⁹⁾、こうした非定常的なマルコフ連鎖は人口移動分析にも用いられている⁹⁾。

c) マルコフ連鎖の「人口のダム機能」の評価への適用可能性と従来手法による代替可能性

以上を踏まえ、マルコフ連鎖は、地域間人口移動の相互作用を扱える点、および、定常分布により地域間人口移動が将来的に都市圏全体に及ぼす影響を把握できるという利点をもつ点で「人口のダム機能」の評価に適していると考えられる。さらに、過去の評価事例より明らかなように、「人口のダム機能」は将来人口推計ではなく都市圏の課題把握を目的に使用されるものであり、先行研究で一定の有効性の認められる規範的モデル¹¹⁾から逸脱するとは言いえない。

また、「人口のダム機能」の評価方法として、ロジャース・モデルをはじめとする既存の地域別将来人口の推計手法や推計結果を転用することが考えられるが、こうした既存手法や既存結果による代替については、以下のに示す問題が生じる。

まず、ロジャース・モデルの転用については、地域間、年齢階級別の大規模な人口移動データが必要になるという問題がある。こうした問題については、地域区分を自地域とその他に分けた二地域モデルと呼ばれるロジャース・モデルの簡易版により解消することが可能となる¹²⁾が、ロジャース・モデルや二地域モデルでは、死亡が吸収状態となり¹³⁾既約性が失われ、定常分布を算出できないという別の問題も生じる。

これらの手法以外の地域別将来人口の推計手法として、プールモデルや純移動率モデルが存在するが、いずれもデータ制約等の問題解消を目的としたロジャース・モデルの簡易版にあたる¹²⁾。

このうち、プールモデルでは、地域別の転出率と地域別の配分率を設定し、地域別の転出者数を全地域で合計したプールに配分率を掛けることで地域別の転入者数が推計される¹²⁾が、周辺地域から中心都市に移動が生じやすいといった地域間の人口移動特性が考慮できないという問題がある。

また、純移動率モデルは、その名のとおり各地域の純移動率に基づいて将来人口推計を行う手法である。プールモデルでは、地域間の転出者数と転入者数が一致することが保証される¹²⁾が、本モデルでは、こうした地域間の整合性が満たされる保証はなく、地域間の人口移動特性は全く考慮されない。

次に、既存の地域別将来人口の推計結果の転用については、国立社会保障・人口問題研究所（以下、社人研）による地域別将来推計人口¹³⁾等の活用が考えられる。しかし、精緻な推計手法とされるロジャース・モデルの国内での適用事例は少なく¹²⁾、社人研の地域別将来人口推計ではプールモデルが使用されている¹³⁾。そのため、既存の地域別将来人口の推計結果では、人口移動特性を適切に評価できないと考えられる。

(3) 本研究の位置づけ

従来の「人口のダム機能」の評価手法は、地域間人口移動の一部のみに着目するものや一時的な維持効果のみを測るものが主であったため、相反する機能である「人口のダム機能」と「吸水ポンプ機能」が明確に区別されず、将来の人口流出リスクを適切に評価することができなかった。

本研究では、こうした課題を解決するため、マルコフ連鎖を用いた「人口のダム機能」の評価手法を提案する。マルコフ連鎖は、しばしば人口移動分析に活用されてきた一方で、これまで「人口のダム機能」の評価に活用されてこなかった。

本研究は、稲葉ら⁹⁾と同様に、定常的マルコフ連鎖を基盤としつつ、特に、東京一極集中における典型的な人口移動パターンをモデル化した点や人口移動特性による人口流出抑制策の効果の違いを明らかにした点に新規性がある。

本研究の成果は、地方都市圏における「人口のダム機能」の現状評価を可能とするとともに、各都市圏の実情に応じた人口流出抑制策を検討する上での参考情報になることが期待される。

3. 提案手法

(1) マルコフ連鎖による「人口のダム機能」の評価

各都市圏の「人口のダム機能」を評価するため、周辺地域、中心都市、東京圏、その他の4つの地域区分を想定する。これらの地域間の人口移動データは表-2のようにまとめられる。ここで、 m_{ij} は地域*i*から地域*j*への移動人口、 n_j は地域*j*の期末人口である^{注4)}。

ただし、起終点が同一地域の移動人口 m_{jj} には移動を行わない人口が含まれることに留意が必要である。起終点が同一地域の移動人口 m_{jj} は、期末人口 n_j と域外への移動人口 m_{ij} ($i \neq j$) を用いて、式(6)により算出できる。本研究では、式(6)を用いて起終点が同一地域の移動人口 m_{jj} を算出した。

$$m_{jj} = n_j - \sum_{i \neq j} m_{ij} \quad (6)$$

表-2 都市圏を取り巻く地域間人口移動データ

終点 起点	周辺地域 <i>s</i>	中心都市 <i>c</i>	東京圏 <i>t</i>	その他 <i>r</i>
周辺地域 <i>s</i>	(m_{ss})	m_{sc}	m_{st}	m_{sr}
中心都市 <i>c</i>	m_{cs}	(m_{cc})	m_{ct}	m_{cr}
東京圏 <i>t</i>	m_{ts}	m_{tc}	(m_{tt})	m_{tr}
その他 <i>r</i>	m_{rs}	m_{rc}	m_{rt}	(m_{rr})
期末人口	n_s	n_c	n_t	n_r

本研究では、稲葉ら⁹⁾と同様に、移動者数の比を用いて、式(7)より、地域間人口移動確率 p_{ij} を算出した。なお、稲葉ら⁹⁾では移動前の人口にあたる分母に期央人口が用いられているものの、人口移動の影響を受ける期央人口を分母に用いるのは適切ではないと考えられる。そこで、本研究では、移動前の人口にあたる $\sum_i m_{ij}$ を分母に用いた。

$$p_{ij} = \frac{m_{ij}}{\sum_i m_{ij}} \quad (7)$$

すでに指摘したとおり、通常、各都市圏の地域間人口移動に関するマルコフ連鎖はエルゴード的であるため、地域間人口移動確率 p_{ij} から算出される定常分布 π により将来の人口分布にあたる極限分布が定まる。そのため、稲葉ら⁹⁾は、ある時点における地域別の人口シェアに対する定常分布の比により、当該時点における人口集積傾向を評価している。

そこで、本研究では、稲葉ら⁹⁾の人口集積傾向の指標を拡張した式(8)により「人口のダム機能」を評価した。定住自立圏構想等では、中心都市が「人口のダム機能」を果たすことにより、周辺地域を含む都市圏全体での定住促進が図られている。そのため、式(8)は、都市圏を形成する中心都市と周辺地域を1つの地域とみなして稲葉ら⁹⁾の指標を算出したものである。

$$\frac{\pi_s + \pi_c}{(n_s + n_c) / \sum_j n_j} \quad (8)$$

(2) 人口移動特性に基づく都市圏の類型化

「人口のダム機能」や「吸水ポンプ機能」では、東京一極集中における典型的な人口移動パターンとして、周辺地域→中心都市→東京圏というパターンが想定されている。一方で、都市圏によって人口移動パターンは異なる場合、「人口のダム機能」や人口流出抑制策の効果に影響を及ぼす可能性がある。

そこで、本研究では、図-1に示す3種類の人口移動パターンを設定する。このうち、中心都市経由型の都市圏とは、周辺地域・中心都市間および中心都市・東京圏間の人口移動が多い一方で、周辺地域・東京圏間の人口移動が少ない都市圏である。これは、中心都市が周辺地域から人口を吸引し東京圏に送り出すという東京一極集中における典型的な人口移動パターンに対応する。本研究では、表-3に示すように、人口移動が最小となる地域のペアに基づき各都市圏を中心都市経由型、東京圏経由型および周辺地域経由型のいずれかの人口移動パターンに分類した。

さらに、「人口のダム機能」に影響を及ぼす可能性のある人口移動特性をさらに網羅的に扱うため、人口移動パターンに加えて、新たに3つの指標を導入する。これらの指標の概要を図-2に示す。

なお、「人口のダム機能」の結果として表れる人口変化率等は人口移動特性として扱わないこととした。

計算方法の詳細については後述するが、図-2の各指標の白色セルは表-2に示した地域間人口移動データのうち、その指標の計算に使用されるデータを示している。割合データの場合、灰色セルを含む対象セル全体の合計値に対する割合が算出される。

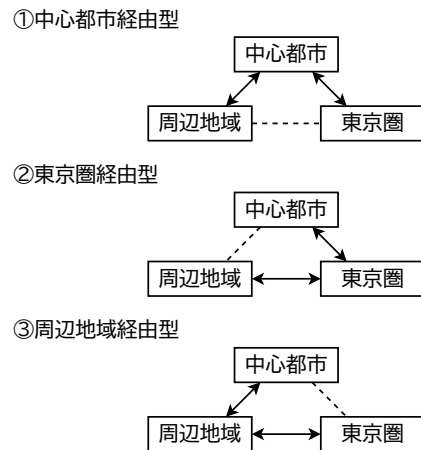


図-1 人口移動パターンによる都市圏の類型化
(実線：移動人口多、点線：移動人口少)

表-3 人口移動パターン別の人口移動最小の地域ペア

人口移動パターン	人口移動が最小の地域のペア
① 中心都市経由型	周辺地域・東京圏
② 東京圏経由型	周辺地域・中心都市
③ 周辺地域経由型	中心都市・東京圏

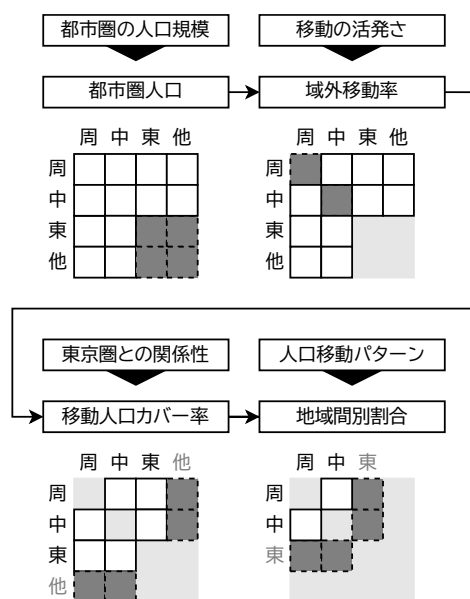


図-2 東京一極集中に関する人口移動特性
(周：周辺地域，中：中心都市，東：東京圏，他：その他)

以下では、各人口移動特性の計算方法と利点について述べる。

図-2に示した指標のうち、都市圏人口は、周辺地域および中心都市の移動前後の合計人口の平均を指し、式(9)により算出した。本指標は、大都市への人口集積傾向を捉える上で重要であると考えられる。

$$\frac{\sum_{i \in \{s,c\}} \sum_j m_{ij} + \sum_{j \in \{s,c\}} \sum_i m_{ij}}{2} \quad (9)$$

また、域外移動率は、都市圏人口のうち同一地域内での移動人口である m_{ss} および m_{cc} を除く移動人口の占める割合を指し、式(10)により算出した。本指標は、地域間の社会動態を捉える上で重要と考えられる都市圏をまたぐ移動の活発さを表すものである。なお、本指標は、域外への転出者数の多さに加えて、域外からの転入者数の多さを反映した値となることに留意が必要である。

$$\frac{\sum_{i \in \{s,c\}} \sum_{j \neq i} m_{ij} + \sum_{j \in \{s,c\}} \sum_{i \neq j} m_{ij}}{\sum_{i \in \{s,c\}} \sum_j m_{ij} + \sum_{j \in \{s,c\}} \sum_i m_{ij}} \quad (10)$$

さらに、移動人口カバー率は、その他の地域に関する移動人口である m_{sr} 、 m_{cr} 、 m_{rs} および m_{rc} を除いた場合にどの程度の域外移動人口がカバーされるかを示したものであり、式(11)により算出される。本指標は、都市圏と東京圏との関係性が東京圏への人口流出に与える影響を分析する上で重要であると考えられる。

$$\frac{\sum_{i \in \{s,c\}} \sum_{j \neq i \wedge j \neq r} m_{ij} + \sum_{j \in \{s,c\}} \sum_{i \neq j \wedge i \neq r} m_{ij}}{\sum_{i \in \{s,c\}} \sum_{j \neq i} m_{ij} + \sum_{j \in \{s,c\}} \sum_{i \neq j} m_{ij}} \quad (11)$$

最後に、人口移動パターンを表す地域間別割合は、その他の地域を除く域外移動人口がどのような地域のペアで構成されるかを割合で示したものであり、地域*i*と地域*j*のペアの割合は、式(12)で算出される。表-3より、地域間別割合が最小となるペアに基づき、人口移動パターンの類型化を行った。

$$\frac{m_{ij} + m_{ji}}{\sum_{i \in \{s,c\}} \sum_{j \neq i \wedge j \neq r} m_{ij} + \sum_{j \in \{s,c\}} \sum_{i \neq j \wedge i \neq r} m_{ij}} \quad (12)$$

(3) マルコフ連鎖による人口流出抑制効果の評価

本節では、どういった人口移動の変化が「人口のダム機能」に寄与するかを把握するため、人口流出抑制効果の定量化を行う。さらに、前節の人口移動特性との関係性について論じる。ここでは、簡単のため、前節で示した人口移動パターンにおいて中心的役割を果たした周辺地域、中心都市および東京圏の3地域間人口移動に関するマルコフ連鎖を考える。

3地域間人口移動に関するマルコフ連鎖の定常分布に関する連立方程式は、式(13)で表される。この連立方程式を解くことで、式(14)に示す定常分布が得られる。ただし、 D は、定常分布の共通の分母であり、式(15)で表される。定常分布の合計は1であるため、 D は定常分布の分子の和に等しい。

$$\begin{pmatrix} p_{sc} + p_{st} & -p_{cs} & -p_{ts} \\ -p_{sc} & p_{cs} + p_{ct} & -p_{tc} \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \pi_s \\ \pi_c \\ \pi_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$\begin{cases} \pi_s = \frac{p_{cs}p_{tc} + p_{ts}p_{cs} + p_{ts}p_{ct}}{D} \\ \pi_c = \frac{p_{sc}p_{tc} + p_{st}p_{tc} + p_{ts}p_{sc}}{D} \\ \pi_t = \frac{p_{sc}p_{ct} + p_{st}p_{cs} + p_{st}p_{ct}}{D} \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} D &= p_{cs}p_{tc} + p_{ts}p_{cs} + p_{ts}p_{ct} \\ &+ p_{sc}p_{tc} + p_{st}p_{tc} + p_{ts}p_{sc} \\ &+ p_{sc}p_{ct} + p_{st}p_{cs} + p_{st}p_{ct} \end{aligned} \quad (15)$$

坂本⁷⁾は、地域間人口移動確率に微小変化を与えた際の定常分布の変化量により、人口減少の抑制効果の評価した。こうした評価は、将来的な施策効果の評価だけでなく、現状、どの地域間の人口移動が「人口のダム機能」に大きく寄与しているかを測ることに活用することができると考えられる。

一方で、坂本⁷⁾では、地域間人口移動確率を一律に変化させて人口減少の抑制効果を定量化しており、各地域の人口規模が考慮されていない。坂本⁷⁾は、域外への人口流出を抑制するよりも域外からの人口流入を促進するほうが効果的であると結論付けられているが、坂本⁷⁾が分析対象とした福岡県とその他全国では人口規模に大きな隔りがある。そのため、同等の人口移動確率の変化であっても移動者数の変化は大きく異なり、これらの影響を同列に扱うことは誤った政策的示唆をもたらす危険性がある。

そこで、本研究では、人口規模を考慮した人口流出抑制効果の評価を可能とするため、移動人口に対応する変数として、式(16)に示す $\tilde{\pi}_{ij}$ を導入する。ここでは、実際の人口シェアの近似として定常分布 π_i を用いており、式(7)の分子にあたる $\tilde{\pi}_{ij}$ の変化が地域間人口移動確率 p_{ij} に与える影響は人口規模を考慮したものとなる。ただし、人口規模にあたる π_i は定数であると考える。

$$p_{ij} = \frac{\tilde{\pi}_{ij}}{\pi_i} \quad (16)$$

そのため、地域間移動人口の微小変化に伴う人口流出抑制効果は、式(17)の偏微分で表される。式(17)より、人口流出抑制効果は、坂本⁷⁾が用いた方法に該当する人口移動確率を微小に変化させた場合の定常分布の変化を、人口移動の起点側の人口規模で割った値に等しいことがわかる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_k}{\partial \tilde{\pi}_{ij}} &= \frac{\partial \pi_k}{\partial p_{ij}} \frac{\partial p_{ij}}{\partial \tilde{\pi}_{ij}} \\ &= \frac{\partial \pi_k}{\partial p_{ij}} \frac{1}{\pi_i} \end{aligned} \quad (17)$$

地域間移動人口の微小変化に伴う人口流出抑制効果は、起終点別に表-4のように導出される。表-4より、定常分布 π_k を移動人口 $\tilde{\pi}_{ij}$ および移動人口 $\tilde{\pi}_{ji}$ で偏微分した結果は、式(18)を満たすことがわかる。

$$\frac{\partial \pi_k}{\partial \tilde{\pi}_{ij}} = -\frac{\partial \pi_k}{\partial \tilde{\pi}_{ji}} \quad (18)$$

式(18)は、たとえば中心都市から東京圏への人口流出を1人減らすのと東京圏から中心都市への人口流入を1人増やすのでは、人口流出抑制効果が等しいことを示している。そのため、人口規模を考慮すると、坂本⁷が指摘した、人口流出を抑制するより人口流入を促進するほうが効果的であるという結果が得られないことが示された。

なお、こうした結果は、マルコフ連鎖において出生地等の影響が考慮されないことに起因するものと考えられるが、実際には、出生地に居住するほうがその後の移住が生じづらいといった効果が存在する可能性があり、結果の活用には留意が必要である。

式(18)より、人口流出抑制効果は、実質的に表-4の上3行にあたる東京圏→中心都市 $\tilde{\pi}_{tc}$ 、東京圏→周辺地域 $\tilde{\pi}_{ts}$ および中心都市→周辺地域 $\tilde{\pi}_{cs}$ の3種類の地域間移動人口の変化のいずれかに起因するものに帰着される。

前節で示した人口移動特性のうち、移動の活発さを表す域外移動率と人口移動パターンが、これらの人口流出抑制効果に影響を及ぼしうることを以下に示す。

まず、移動の活発さを表す域外移動率が人口流出抑制効果に与える影響については、域外移動率が大きいほど人口流出抑制効果の絶対値が小さくなる傾向があると考えられる。これは、域外への人口移動確率を全て k 倍すると、表-4の人口流出抑制効果の分母 D が式(15)より k^2 倍、分子が k 倍となり、その結果、人口流出抑制効果が k 分の1となるためである。

また、表-4より、東京圏→中心都市 $\tilde{\pi}_{tc}$ および東京圏→周辺地域 $\tilde{\pi}_{ts}$ を微小に増加させると、いずれも都市圏全体での人口シェア $\pi_s + \pi_c$ が増加することがわかるが、前節で示した人口移動パターンは、これらの人口流出抑制効果の大小関係の決定要因になる可能性がある。

東京圏→中心都市 $\tilde{\pi}_{tc}$ および東京圏→周辺地域 $\tilde{\pi}_{ts}$ の移動人口の微小変化に伴う人口流出抑制効果の分子は、共通の項として p_{cs} および p_{sc} をもつ。これらの項は、中心都市と周辺地域における人口の滞留の多さを表していると捉えることができる。

さらに、分子の共通項以外の項に着目すると、中心地域→東京圏の人口移動確率 p_{ct} が周辺地域→東京圏の人口移動確率である p_{st} よりも大きければ、東京圏から周辺地域への人口流入の効果が東京圏から中心都市への人口流入の効果よりも大きくなる。

人口移動パターンのうち、中心都市経由型の都市圏では、周辺地域・東京圏間の人口移動が少ないため、東京圏から周辺地域への人口流入を促進することで高い人口流出抑制効果が得られる可能性がある。逆に、周辺地域経由型の都市圏では、東京圏から中心都市への人口流入の促進により高い人口流出抑制効果が得られると考えられる。これらの結果は、都市圏外から「人口のダム機能」の上流にあたる地域への人口流入を促進、または人口流出を抑制することが効果的であることを示唆している。

最後に、中心都市から周辺地域への移動人口を増やすことで「吸水ポンプ機能」を弱める対策について検討する。中心都市→周辺地域 $\tilde{\pi}_{cs}$ の人口移動の微小変化は、 p_{ct} が p_{st} よりも大きいと考えられる中心都市経由型の都市圏では人口シェアを向上させる一方で、周辺地域経由型の都市圏では人口シェアを悪化させる可能性がある。また、これらの対策は、常に中心都市または周辺地域のいずれかの人口シェアを減少させることにつながる。

表-4 地域間移動人口の微小変化に伴う人口流出抑制効果

微小変化させる 移動人口	人口流出抑制効果		
	周辺地域 π_s	中心都市 π_c	周辺地域 π_s + 中心都市 π_c
東京圏→中心都市 $\tilde{\pi}_{tc}$	$\frac{\partial \pi_s}{\partial \tilde{\pi}_{tc}} = \frac{p_{cs} - p_{ts}}{D}$	$\frac{\partial \pi_c}{\partial \tilde{\pi}_{tc}} = \frac{p_{sc} + p_{st} + p_{ts}}{D}$	$\frac{\partial (\pi_s + \pi_c)}{\partial \tilde{\pi}_{tc}} = \frac{p_{cs} + p_{sc} + p_{st}}{D}$
東京圏→周辺地域 $\tilde{\pi}_{ts}$	$\frac{\partial \pi_s}{\partial \tilde{\pi}_{ts}} = \frac{p_{cs} + p_{ct} + p_{tc}}{D}$	$\frac{\partial \pi_c}{\partial \tilde{\pi}_{ts}} = \frac{p_{sc} - p_{tc}}{D}$	$\frac{\partial (\pi_s + \pi_c)}{\partial \tilde{\pi}_{ts}} = \frac{p_{cs} + p_{ct} + p_{sc}}{D}$
中心都市→周辺地域 $\tilde{\pi}_{cs}$	$\frac{\partial \pi_s}{\partial \tilde{\pi}_{cs}} = \frac{p_{ct} + p_{tc} + p_{ts}}{D}$	$\frac{\partial \pi_c}{\partial \tilde{\pi}_{cs}} = -\frac{p_{st} + p_{tc} + p_{ts}}{D}$	$\frac{\partial (\pi_s + \pi_c)}{\partial \tilde{\pi}_{cs}} = \frac{p_{ct} - p_{st}}{D}$
中心都市→東京圏 $\tilde{\pi}_{ct}$	$\frac{\partial \pi_s}{\partial \tilde{\pi}_{ct}} = -\frac{p_{cs} - p_{ts}}{D}$	$\frac{\partial \pi_c}{\partial \tilde{\pi}_{ct}} = -\frac{p_{sc} + p_{st} + p_{ts}}{D}$	$\frac{\partial (\pi_s + \pi_c)}{\partial \tilde{\pi}_{ct}} = -\frac{p_{cs} + p_{sc} + p_{st}}{D}$
周辺地域→東京圏 $\tilde{\pi}_{st}$	$\frac{\partial \pi_s}{\partial \tilde{\pi}_{st}} = -\frac{p_{cs} + p_{ct} + p_{tc}}{D}$	$\frac{\partial \pi_c}{\partial \tilde{\pi}_{st}} = -\frac{p_{sc} - p_{tc}}{D}$	$\frac{\partial (\pi_s + \pi_c)}{\partial \tilde{\pi}_{st}} = -\frac{p_{cs} + p_{ct} + p_{sc}}{D}$
中心都市→周辺地域 $\tilde{\pi}_{sc}$	$\frac{\partial \pi_s}{\partial \tilde{\pi}_{sc}} = -\frac{p_{ct} + p_{tc} + p_{ts}}{D}$	$\frac{\partial \pi_c}{\partial \tilde{\pi}_{sc}} = \frac{p_{st} + p_{tc} + p_{ts}}{D}$	$\frac{\partial (\pi_s + \pi_c)}{\partial \tilde{\pi}_{sc}} = -\frac{p_{ct} - p_{st}}{D}$

4. 検証方法

本章では、本研究で提案した「人口のダム機能」の評価手法の妥当性や人口移動特性との関係性等を実証的に確かめるための検証方法について述べ、次章で検証結果を示す。

(1) 検証対象とする都市圏の定義

定住自立圏構想および連携中枢都市圏構想の圏域設定では、人口規模等の一定の条件が考慮されるものの、いずれも中心都市と周辺地域との協定に基づくため、客観的指標に基づいて圏域が設定されているわけではない。

そのため、本研究では、客観的な指標に基づき設定され、かつ、これらの構想の圏域設定と一定の共通性をもつり、金本ら⁸⁾による2015年基準の都市雇用圏^{注5)}を分析対象とした。

都市雇用圏では、市町村を最小単位として圏域設定がなされ、各都市圏には、中心都市および中心都市への通勤率の高い郊外都市が設定されている。2015年基準では、中心都市のDID人口が5万人以上の大都市雇用圏および1万人～5万人の小都市雇用圏を合わせて222の都市圏が存在する。

そこで、本研究では、都市雇用圏における中心都市および郊外都市を、それぞれ前章で示した評価手法における中心都市および周辺地域に対応させ分析を行った。ただし、分析の都合上、「東京」都市圏（東京圏）を除く221都市圏を「人口のダム機能」の評価対象とした。また、一部の都市圏は郊外都市を含まないが、本研究では、これらの都市圏についても周辺地域を除外して「人口のダム機能」等の評価を行った。

(2) 使用データ

前節の都市雇用圏に加えて、人口移動データ、地域別人口データおよび行政区画データを使用した。

まず、人口移動データについては、2015年および2020年の国勢調査における全国の市区町村間移動人口より、異なる市区町村への移動人口を抽出して使用した。さらに、2015年基準の都市雇用圏の都市圏ごとに中心都市、周辺地域、東京圏およびその他の4地域区分で分類し、それぞれの地域区分でデータ集計を行った。

次に、地域別人口データについては、地域間人口移動データと同様に、2015年および2020年の国勢調査における全国の市区町村別人口を使用し、都市圏ごとに4地域区分による集計を行った。

最後に、「人口のダム機能」等の可視化を行うため、国土数値情報における2020年の行政区画データを都市圏別に結合し、各都市圏のポリゴンデータを作成した。

(3) 検証内容

本研究では、以下に示す3つの検証を行った。

a) 「人口のダム機能」の評価手法の妥当性検証

「人口のダム機能」は、中心都市だけでなく周辺地域も含めた都市圏全体の人口維持に寄与することが期待される。そこで、従来手法に対する提案手法の優位性を明らかにするため、「人口のダム機能」が都市圏人口の先行指標として有効かを比較した。

具体的には、東京圏を除く221都市圏を対象に、2015年の「人口のダム機能」が、2015年から2020年にかけての都市圏人口変化をどの程度、説明するかについて単回帰分析による精度比較を行った。また、マルコフ連鎖の収束の速さを表す第2固有値と都市圏人口変化が関係するかを確認した。

なお、従来手法のうち増田編²⁾で用いられた中心都市の人口移動に基づく評価手法では、「人口のダム機能」の算出方法が明確には定められていない。さらに、長崎県の長期人口ビジョン^{注7)}で用いられた周辺地域の人口移動に基づく評価手法では、評価結果が意図しない挙動を示す問題がある^{注2)}。

そこで、従来手法の代替指標として以下の2つの指標を用いることとした。まず、中心都市の人口移動に基づく指標として、中心都市における「域外への転出者数」に対する「域外からの転入者数」の比を用いた。次に、周辺地域の人口移動に基づく指標として、周辺地域から域外への転出先に占める中心都市の割合を用いた^{注9)}。

b) 人口移動特性の「人口のダム機能」への影響評価

次に、「人口のダム機能」と関連する人口移動特性を明らかにするため、2015年および2020年のデータを用いて、都市圏別に第3章で定義した人口移動特性を算出した。さらに、これらの人口移動特性を説明変数、提案手法による「人口のダム機能」を目的変数とする重回帰分析を行った。さらに、変数重要度を示す標準化偏回帰係数により、重要度の高い人口移動特性を抽出し、「人口のダム機能」に与える影響を考察した。

c) 人口移動特性の人口流出抑制効果への影響評価

最後に、人口移動の変化が「人口のダム機能」に与える影響を把握するため、2020年データを用いて、都市圏ごとに「東京圏→中心都市」、「東京圏→周辺地域」および「中心都市→周辺地域」の3種類の地域間移動人口を1人分増加させたときの人口流出抑制効果を算出した。具体的には、「東京圏→中心都市」の場合、「東京圏→東京圏」への移動人口を1人分だけ「東京圏→中心都市」に振り分けた上で人口移動確率および定常分布を再計算し、定常分布の変化量に当該時点の総人口を掛けることで人数ベースの人口流出抑制効果を算出した。さらに、中心都市と周辺地域における人口流出抑制効果の差や人口移動特性が人口流出抑制効果に与える影響を確認した。

5. 検証結果および考察

(1) 「人口のダム機能」の評価手法の妥当性検証結果

まず、提案手法による 2015 年および 2020 年における東京圏を除く 221 都市圏別の「人口のダム機能」の評価結果を図-3 に示す。

図-3 より、「人口のダム機能」が 100%以上、すなわち定常分布に基づく人口シェアが実際の人口シェア以上となった都市圏は、2015 年から 2020 年にかけて減少したことがわかる。具体的には、「人口のダム機能」が 100%以上の都市圏は約 23.1% (51 都市圏/計 221 都市圏) から約 15.4% (34 都市圏/計 221 都市圏) に減少した。

こうした結果より、2015 年から 2020 年にかけて東京一極集中が加速した可能性が示唆される。ただし、国勢調査の人口移動データは 5 年前の常住地に基づいているため、2020 年以降の新型コロナウイルス感染症の影響は十分に反映されていない可能性がある。

また、図-3 より、2015 年および 2020 年の両年において「人口のダム機能」が 100%を超える都市圏の多くは、大都市やその周辺に位置していることがわかる。両年で「人口のダム機能」が 100%以上となった大都市雇用圏および小都市雇用圏を、それぞれ表-5 および表-6 に示す。図-3、表-5 および表-6 より、特に、東京圏周辺の都市圏、具体的には関東地方の都市雇用圏や中部地方の小都市雇用圏で「人口のダム機能」が高い傾向がみられた。なお、図-3 より、東北地方の一部の都市圏において「人口のダム機能」が大きく変化しているが、これは、2011 年の東日本大震災に伴う人口移動が影響した可能性がある。

表-5 2015 年と 2020 年の両方で「人口のダム機能」が 100%以上となった大都市雇用圏

地方	都市圏	「人口のダム機能」 2015 年・2020 年平均
北海道地方	札幌市・小樽市	112.2%
	千歳市	114.4%
東北地方	仙台市	116.8%
関東地方	つくば市・土浦市	109.8%
	栃木市	105.4%
中部地方	小山市	106.8%
	前橋市・高崎市	106.5%
	金沢市	112.5%
	松本市	114.6%
近畿地方	名古屋市・他	106.4%
	彦根市	105.5%
中国・四国地方	広島市	102.0%
	東広島市	105.6%
九州・沖縄地方	山口市	108.3%
	福岡市	115.3%

表-6 2015 年と 2020 年の両方で「人口のダム機能」が 100%以上となった小都市雇用圏

地方	都市圏	「人口のダム機能」 2015 年・2020 年平均
関東地方	本庄市	114.8%
	日高市	115.6%
	毛呂山町	116.7%
	館山市	106.7%
	瑞穂町	114.5%
中部地方	佐久市	111.1%
	熱海市	127.7%
	伊東市	104.2%
中国・四国地方	浜田市	111.1%
九州・沖縄地方	鳥栖市	116.7%
	名護市	119.3%
	宮古島市	117.3%

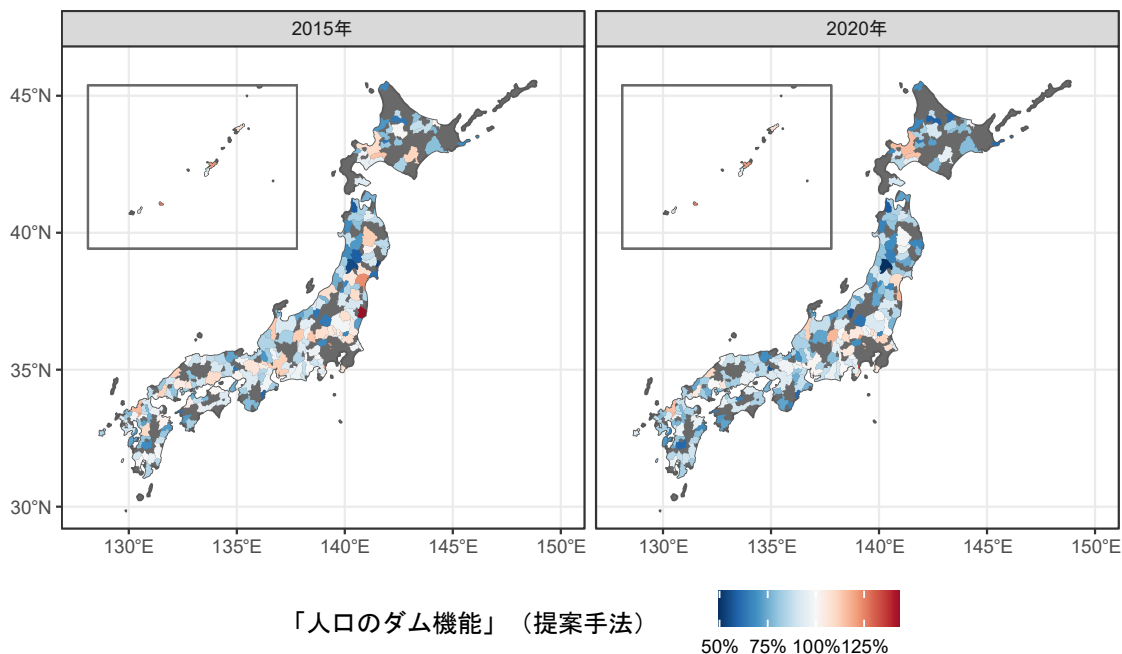


図-3 提案手法による都市圏別の「人口のダム機能」の評価結果

次に、各都市圏の「人口のダム機能」と2015年から2020年にかけての都市圏人口変化の比の関係を、図-4に示す。

図-4より、提案手法による「人口のダム機能」は都市圏人口比と正の相関をもち、従来手法と比較して自由度調整済み決定係数が0.41と高くなった。そのため、提案手法は、従来手法に比べて都市圏人口の先行指標として優れていると考えられる^{注7)}。

一方、周辺地域の人口移動に基づく従来手法の指標（周辺地域から域外への転出者に占める中心都市への転出者の割合）は、自由度調整済み決定係数が0.01を下回り、最も精度が低い結果となった。これは、中心都市が周辺地域からの人口移動の受け皿となったとしても、中心都市からの転出超過数が大きければ、都市圏人口が大きく減少する可能性があることを示唆している。

なお、図-4より、提案手法の「人口のダム機能」が100%以上の場合においても、2015年から2020年にかけて人口が減少した都市圏が存在することがわかる。具体的には、「人口のダム機能」が100%の都市圏の人口比の推定値は約97.1%であり、約2.9%の乖離がある。この原因として、以下の2点が考えられる。

1点目は、日本の総人口が減少している点である。提案手法は国内の地域別人口シェアを扱っているため、日本の総人口の減少は反映されない。なお、2015年から2020年にかけての人口減少率は約0.7%（約1億2615万人/約1億2709万人）であり、総人口減少だけでは「人口のダム機能」と都市圏人口変化率の乖離の約2.9%を全て説明することはできないと考えられる。

2点目は、提案手法において移動者の年齢構造が考慮されていない点である。ここでは、2015年および2020年の平均で最も「人口のダム機能」が高くなった「熱海市」都市圏を例に、この点について論じる。

「熱海市」都市圏は中心都市である熱海市のみで構成される都市圏だが、本市の総人口は1980年以降、一貫して減少しており、2015年から2020年にかけて約8.9%人口が減少した。それにもかかわらず、本都市圏の「人口のダム機能」が高いと評価されたのは、熱海市では、若年層で転出超過、高齢者層で転入超過の傾向がみられる^{注8)}ことに起因すると考えられる。

若年層の転出超過は、当該地域の出生数の低下を通じて将来的な人口減少をもたらすと考えられるが、提案手法ではこのような年齢構造の変化による影響を考慮することができない。したがって、特に高齢者層の転入超過が顕著な都市圏では、「人口のダム機能」が過大評価される可能性があることに留意する必要がある。

以上より、提案手法による「人口のダム機能」は、移動者の年齢構造を考慮していないという課題はあるものの、従来手法では考慮が困難な地域間人口移動の相互作

用を扱える点で優れており、都市圏人口変化の先行指標として従来手法よりも高い説明力を持つことが示された。

なお、マルコフ連鎖の収束の速さを表す第2固有値については、2015年では0.957~0.963、2020年では0.959~0.962となり、都市圏間の差はほとんどみられなかった。さらに、都市圏人口比やその絶対値との相関はみられなかったため、第2固有値は、人口シェアの収束の速さを示す指標に適していない可能性がある。この原因としては、本研究において、その他の地域として全国を含めることが影響している可能性があるが、今後さらなる検討が必要である。

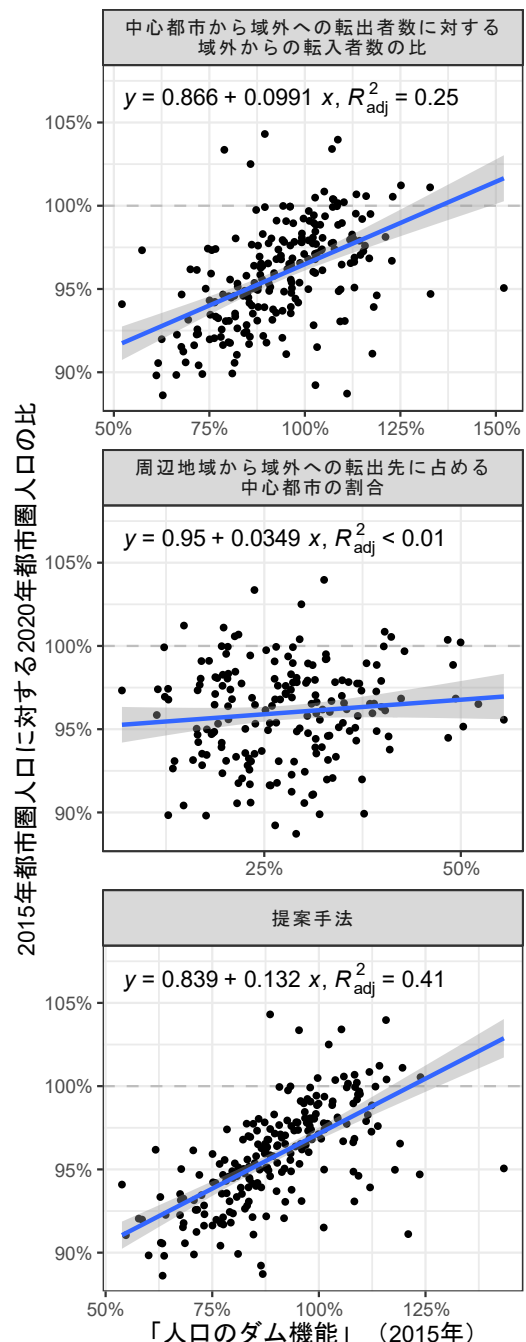


図-4 従来手法と提案手法による「人口のダム機能」と2015年から2020年の都市圏人口変化の関係

(2) 人口移動特性の「人口のダム機能」への影響評価結果

図-5に、図-2に示した4つの人口移動特性を都市圏別に算出した結果を示す。以下では、図-5の域外移動率、移動人口カバー率および人口移動パターンの3指標から得られる地域特性について論じる。

まず、域外移動率については、図-5より、北海道地方および九州・沖縄地方では他の地方と比べて域外移動率がやや高かった。具体的には、北海道地方および九州・沖縄地方における平均域外移動率は、それぞれ約10.4%および約8.18%となった。また、地方別平均域外移動率が最低だった近畿地方では、約6.61%であった。

次に、都市圏・東京圏間の地域間人口移動による移動人口カバー率については、図-5より、東京圏との関係性の強さを反映する結果が得られた。具体的には、東京圏周辺の都市圏、および「大阪」都市圏や「名古屋市・他」都市圏をはじめとする大都市圏で移動人口カバー率が高い傾向がみられた。

また、人口移動パターンについては、多くの都市圏が東京一極集中における典型的な人口移動パターンに該当する中心都市経由型に分類されたが、東京圏周辺では東京圏経由型が多くなる傾向がみられた。また、「大阪」都市圏等の一部の都市圏は、周辺地域経由型に分類された。

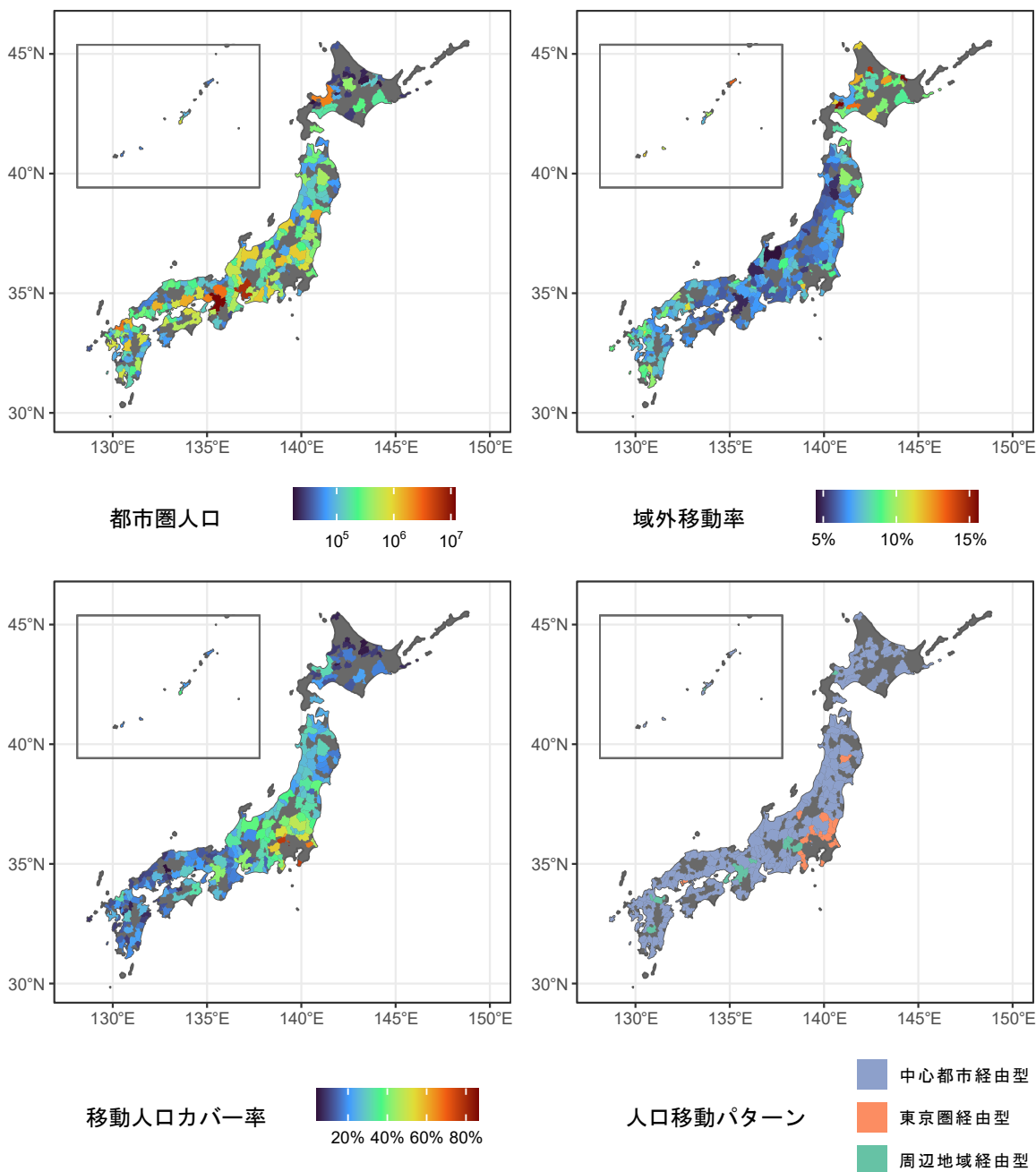


図-5 都市圏別の人口移動特性の評価結果

さらに、人口移動特性を説明変数、提案手法による「人口のダム機能」を目的変数とする重回帰分析を2015年および2020年のデータに対して、それぞれ実施した。これらの結果を表-7に示す。なお、自由度調整済み決定係数は、それぞれ0.489および0.527であった。

表-7より、2015年および2020年の推定結果はおおむね類似しており、都市圏人口（自然対数）、域外移動率および移動人口カバー率の偏回帰係数は、いずれも有意に正の値となった。また、人口移動パターンに関するダミー変数には有意な差が見られなかった。

次に、説明変数の標準偏回帰係数により変数重要度を算出した。ダミー変数を除く説明変数の変数重要度は、図-6のとおりである。図-6より、2015年および2020年の平均では、域外移動率、都市圏人口（自然対数）および移動人口カバー率の順に変数重要度が高いという結果となった。以下では、変数重要度が高い順に結果の解釈を行う。

まず、域外移動率の推定結果は、域外との移動が活発であるほど人口減少が抑制される可能性を示唆している。この結果は、就業機会等が多い都市圏において、若年層の人口比率が高いことが影響している可能性がある。一方で、提案手法では、年齢構造が考慮されておらず、こうした解釈の有効性については検証が必要である。

次に、都市圏人口の推定結果は、人口規模が小さいほど人口減少が加速する可能性があることを示している。これは、人口規模の小さい都市圏において生活機能等の維持が困難となり、さらなる人口減少が生じる悪循環が生じている可能性を示唆している。

最後に、都市圏・東京圏間の地域間人口移動による移動人口カバー率の推定結果より、東京圏へのアクセスの高さが人口減少の抑制に寄与する可能性が示唆される。これは、東京圏周辺の都市圏で移動人口カバー率が高い傾向がみられるためである。

(3) 人口移動特性の人口流出抑制効果への影響評価結果

2020年データを対象に移動人口の微小変化に伴う人口流出抑制効果を評価した結果を図-7に示す。また、周辺地域および中心都市別の評価結果を図-8に示す。

図-7より、最も人口流出抑制効果が高いのは、「東京圏→周辺地域」の移動人口を増加させた場合であり、人口流出抑制効果の中央値は約19.1人であった。これは、5年間で移動人口を1人増やすと将来的に約19.1人分に該当する割合だけ人口シェアが増加する可能性があることを示している。

また、図-7より、次に人口流出抑制効果が高いのは、「東京圏→中心都市」の移動人口を増加させた場合であり、人口流出抑制効果は約16.1人であった。

さらに、図-7より、最も人口流出抑制効果が低いのは、「中心都市→周辺地域」の移動人口を増加させた場合であり、人口流出抑制効果は約1.93人であった。

また、図-8より、「東京圏→中心都市」および「東京圏→周辺地域」の人口移動の増加では、いずれも周辺地域および中心都市の両方で人口流出抑制効果が見込まれる一方で、「中心都市→周辺地域」の人口移動の増加では、中心都市の人口が常に減少することを確認した。

表-7 「人口のダム機能」に関する重回帰分析の結果

説明変数	2015年	2020年	
切片	-0.326** (0.099)	-0.290** (0.092)	
都市圏人口（自然対数）	0.070*** (0.007)	0.061*** (0.007)	
域外移動率	3.857*** (0.384)	4.354*** (0.385)	
移動人口カバー率	0.331*** (0.064)	0.396*** (0.060)	
人口移動パターン	東京圏経由型	-0.006 (0.031)	-0.000 (0.027)
	周辺地域経由型	-0.025 (0.032)	-0.024 (0.031)

注：* $p < 0.05$ ，** $p < 0.01$ ，*** $p < 0.001$ ，括弧内は標準偏差

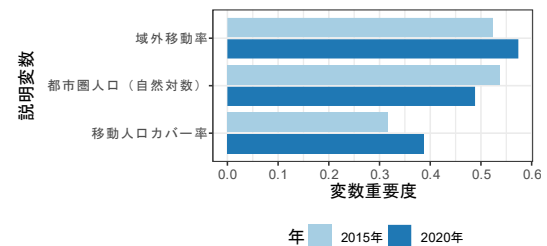


図-6 重回帰分析の説明変数の変数重要度

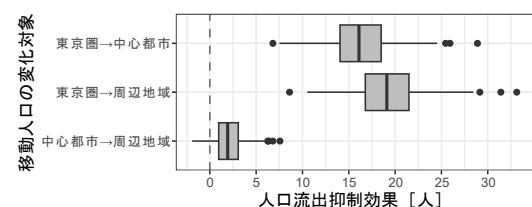


図-7 移動人口の微小変化に伴う人口流出抑制効果の評価結果（2020年都市圏別）

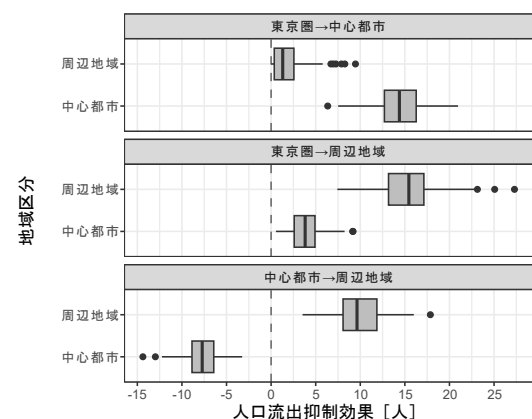


図-8 地域別の人口流出抑制効果（2020年都市圏別）

また、図-7より、都市圏によって人口流出抑制効果にばらつきがあることがわかるが、第3章では、域外移動率が高いほど人口流出抑制効果が小さくなることを理論的に示した。この点を実証的に確認するため、域外移動率が10%未満および10%以上の都市圏の人口流出抑制効果の差を図-9に示す。図-9より、域外移動率が小さい都市圏で高い人口流出抑制効果が見込まれることが確認でき、第3章で示した理論的な結果と整合的な結果が得られた。

最後に、第3章で示した人口移動パターンが人口流出抑制効果に与える影響を確認する。

第3章では、中心都市経由型の場合は「東京圏→周辺地域」の人口流入、周辺地域経由型の場合は「東京圏→中心都市」の人口流入を促進することで、それぞれ高い人口流出抑制効果が得られると予想された。

そこで、人口移動パターン別の人口流出抑制効果を、図-10に示す。図-10より、人口移動パターンによって人口流出抑制効果の大小関係が逆転するといった現象はみられなかった。この原因として、中心都市経由型以外に分類された都市圏が少数であり、人口移動パターン以外の地域特性が影響した可能性が考えられる。

次に、人口移動パターン別の「東京圏→中心都市」の人口流出抑制効果に対する「東京圏→中心都市」の人口流出抑制効果の差を、図-11に示す。図-11より、差はわずかであるものの、中心都市経由型では、他の人口移動パターンと比べて「東京圏→周辺地域」の人口移動による人口流出抑制効果が相対的に高い傾向がみられ、第3章で示した理論的な結果と整合的な結果が得られた。

6. おわりに

本研究では、地方都市圏の人口減少緩和に資するため、中心都市に期待される「人口のダム機能」をマルコフ連鎖を用いて定量的に評価し、その類型化を試みた。さらに、各都市圏の人口移動特性を明らかにし、それらの特性が「人口のダム機能」、および、その向上に寄与する人口流出抑制策に与える影響を分析した。

本研究の成果は以下の3点にまとめられる。

1点目は、提案手法では、マルコフ連鎖を用いることで、地域間の人口移動における相互作用を考慮しつつ、現在の人口移動の趨勢が継続した場合の将来的な地域別人口シェアを予測できるようになった点である。さらに、提案手法による「人口のダム機能」の評価は、従来手法と比較して都市圏人口変化の先行指標として高い説明力を持つことを実証的に示した。

2点目は、地域間人口移動データより4種類の人口移動特性を算出し、それらの指標と「人口のダム機能」と

関連することを明らかにした点である。具体的には、都市圏をまたぐ移動の活発さ、都市圏の人口規模、東京圏との関係性といった人口移動特性が「人口のダム機能」と正の相関を持つことを重回帰分析により明らかにした。

3点目は、移動の活発さや人口移動パターンといった人口移動特性が、人口流出抑制効果に影響を与えることを理論的・実証的に明らかにした点である。具体的には、まず、マルコフ連鎖を用いて、地域間人口移動の変化が将来の人口シェアに与える影響を人数ベースで算出できる理論的枠組みを構築した。

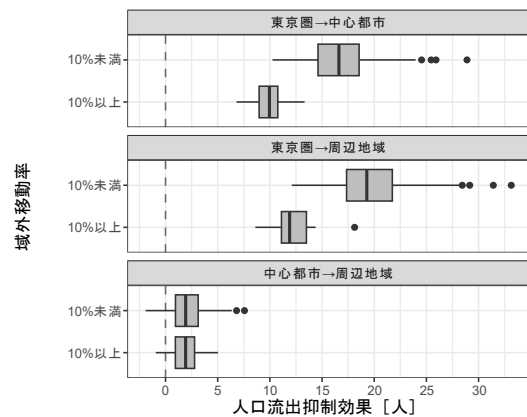


図-9 域外移動率別の人口流出抑制効果
(2020年都市圏別)

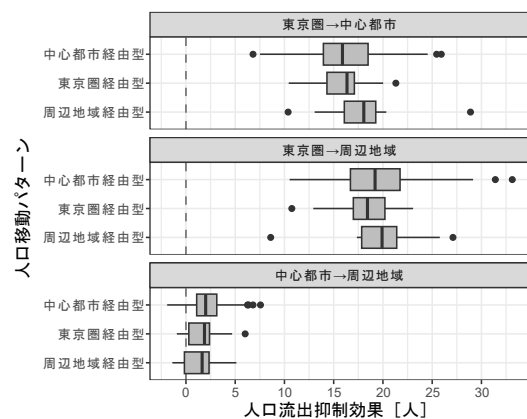


図-10 人口移動パターン別の人口流出抑制効果
(2020年都市圏別)

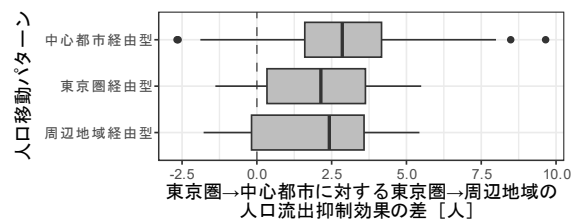


図-11 人口移動パターン別の「東京圏→周辺地域」と「東京圏→中心都市」の人口流出抑制効果の差
(2020年)

さらに、都市圏をまたぐ移動が活発な都市圏ほど人口移動の変化による人口流出抑制効果が小さくなる傾向があること、人口移動パターンによってどの地域への人口流入が人口減少の抑制に高く寄与するかが異なることを理論的および実証的に明らかにした。

これらの成果は、地方都市圏における「人口のダム機能」の現状評価を可能にするものである。さらに、「人口のダム機能」が低い都市圏に対しては、各都市圏の人口移動特性に応じた人口流出抑制策の検討に有用な参考情報を提供できる可能性がある。

本研究の今後の課題として以下の3点が挙げられる。

1点目は、移動者の年齢構造の考慮である。提案手法では、移動者の年齢構造が考慮されていないため、高齢者層の転入超過が顕著な都市圏では、「人口のダム機能」が過大評価される傾向がみられた。そのため、今後、年齢構造を考慮したモデルへの拡張が必要である。

2点目は、地域区分の詳細化である。本研究では、東京一極集中の影響を評価することを主眼とし、周辺地域、中心都市、東京圏、その他の4地域区分というやや粗い地域区分を用いて分析を行った。そのため、提案手法では、東京圏以外の大都市圏に対する依存関係等を適切に評価することができない。そのため、今後、東京圏に限定しない都市圏間の相互関係を扱えるようモデルを拡張する必要がある。

3点目は、生活機能等の影響や施策の実現可能性の考慮である。本研究では、主に地域間人口移動データのみを用いて分析を行ったため、生活機能、就業機会等の要因が人口移動に及ぼす影響を考慮していない。さらに、提案手法は人口流出抑制策の効果を定量的に評価できる可能性を持つが、各政策の実現可能性や費用対効果までは考慮していない。

今後は、これらの要因を考慮し、各都市圏の「人口のダム機能」や人口移動特性の実情に合わせ、効果的な政策提言につなげられるようモデルを発展させていく必要がある。

NOTES

注1) 長崎県：長崎県まち・ひと・しごと創生総合戦略（平成27年度から令和元年度まで）長崎県長期人口ビジョン，2015。

<https://www.pref.nagasaki.jp/bunrui/kenseijoho/ken-nokeikaku-project/sousei/>（2025年3月1日閲覧）

注2) 長崎県の長期人口ビジョンにおいて用いられた「人口のダム機能」の評価手法の他の問題として、県庁所在地を除く県内市町村（周辺地域）が県庁所在地（中心都市）に対して転入超過、すなわち $B < 0$ の場合に意図しない挙動を示す点が挙げられる。具体的には、全体として転出超過か転入超過か、すなわち $A + B$ が正であるか負であるかによって、式(1)が $-\infty$ から $+\infty$ に不連続的に変化する。これは、周辺地

域が中心都市に対して転入超過である都市圏では、 B のわずかな変化によって「人口のダム機能」の評価結果が大きく変化することを意味し、本手法は全国の都市圏を対象とした評価手法として適切とはいえない。こうした問題は、転出超過数に対して割合を算出したことに起因するものであるため、全国の都市圏に適用する場合、転出超過数を転出者数に置き換えるといった修正を行う必要があると考えられる。

注3) 森村ら⁹⁾では、推移確率行列に対する固有値について述べられているが、転置行列は元の行列と同じ固有値をもつため、ここでの議論は転置推移確率行列についても成り立つ。そのため、転置推移確率行列についても、常に1を固有値にもち他の固有値は絶対値が1未満となることがわかる⁹⁾。

注4) ここでは、国勢調査のデータ活用を念頭に置いている。国勢調査では、移動人口が5年前の常住地に基づいて調査されるため、国勢調査の人口は、人口移動が生じた後の期末人口と捉えるのが妥当であると考えられる。

注5) 金本良嗣：都市雇用圏（Urban Employment Area）コード表，2015。https://www.csis.u-tokyo.ac.jp/UEA/uea_code.htm（2025年3月1日閲覧）

注6) この評価手法は、式(1)に示した長崎県の長期人口ビジョンにおいて用いられた「人口のダム機能」の評価手法の「転出超過数」を「転出者数」に置き換えたものである。

注7) 本検証では2010年から2015年にかけての人口移動データより2015年の「人口のダム機能」を算出しているため、2011年の東日本大震災に伴う人口移動が2015年から2020年にかけての都市圏人口変化に対する説明力に影響を及ぼした可能性がある。実際に、被災3県（岩手県、宮城県および福島県）内の都市圏を除くと、提案手法の自由度調整済み決定係数 R_{adj}^2 は、0.41から0.50に上昇した。同様に、中心都市の人口移動に基づく従来手法の指標（中心都市から域外への転出者数に対する域外からの転入者数の比）の R_{adj}^2 は0.25から0.35に上昇したが、周辺地域の人口移動に基づく従来手法の指標（周辺地域から域外への転出者に占める中心都市への転出者の割合）の R_{adj}^2 は0.01を下回ったままであった。

注8) 熱海市：第二期熱海市まち・ひと・しごと創生人口ビジョン，2021。

<https://www.city.at-ami.lg.jp/shisei/keikaku/1001311/1001314.html>（2025年3月1日閲覧）

REFERENCES

- 1) 森川洋：連携中枢都市圏構想の問題点について再度考える，自治総研，42巻457号，pp. 50-64., 2016。[Morikawa, H.: Rethinking the Problems in the Plan of Renkei-Chusu-Toshiken, *Monthly review of local government*, Vol. 42, No. 457, pp. 50-64, 2016.]
- 2) 増田寛也編：地方消滅—東京一極集中が招く人口急減，中央公論新社，2014。[Masuda, H. ed.: *The Disappearance of the Region: The Rapid Population Decline brought on by Mono-Polar Concentration in Tokyo*, Chuo Koron Shinsha, 2014.]

- 3) 久井情在：第8回人口移動調査の結果からみた将来人口移動に関する考察，人口問題研究，78巻，1号，2022. [Hisai S.: A Study of Future Migrations Based on the Result of the Eighth National Survey on Migration, *Journal of Population Problems*, Vol. 78, No. 1, 2022.]
- 4) 森川洋：北海道における年齢階級別人口移動，地理科学，75巻，2号，pp. 37-53, 2020. [Morikawa, H.: Regional Analysis of Internal Migration by Age Group in Hokkaido, *Geographical Sciences*, Vol. 75, No. 2, pp. 37-53, 2020.]
- 5) 大西隆：マルコフ連鎖モデルを用いた地域間人口移動の研究，都市計画論文集，14巻，pp. 7-12, 1979. [Onishi, T.: Study of interregional population movement using a Markov chain model, *Journal of the City Planning Institute of Japan*, Vol. 14, pp. 7-12, 1979.]
- 6) 稲葉寿，三田房美：都道府県間人口移動の趨勢分析 1954-1993，人口問題研究，51巻，2号，1995. [Inaba, H. and Mita, F.: Trend Analysis for Interprefectural Migration in Japan 1954-1993, *Journal of Population Problems*, Vol. 51, No. 2, 1995.]
- 7) 坂本博：福岡県における市町村人口の変遷と確率動向，東アジアへの視点，29巻，2号，pp. 33-47, 2018. [Sakamoto, H.: Municipal population changes and probability trends in Fukuoka prefecture, *East Asian Economic Perspectives*, Vol. 29, No. 2, pp. 33-47, 2018.]
- 8) 金本良嗣，徳岡一幸：日本の都市圏設定基準，応用地域学研究，7号，pp. 1-15, 2002. [Kanemoto, Y. and Tokuoka, K.: PROPOSAL FOR THE STANDARDS OF METROPOLITAN AREAS OF JAPAN, *Journal of applied regional science*, No. 7, pp. 1-15, 2002.]
- 9) 森村英典，高橋幸雄：マルコフ解析，日科技連出版社，1979. [Morimura, H. and Takahashi, Y.: *Markov analysis*, JUSE Press, Ltd., 1979.]
- 10) 竹居正登：入門確率過程，森北出版，2020. [Takei, M.: *An introduction to stochastic processes*, Morikita Publishing Co., Ltd., 2020.]
- 11) 日本人口学会編：人口大辞典，培風館，2002. [Population Association of Japan ed.: *Encyclopedia of Population*, BAIFUKAN CO., LTD, 2002.]
- 12) 小池司朗：地域別将来人口推計における人口移動モデルの比較研究，人口問題研究，64巻，3号，2008. [Koike, S.: Comparative Research of the Migration Models in Regional Population Projections, *Journal of Population Problems*, Vol. 64, No. 3, 2008.]
- 13) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の地域別将来推計人口：令和2(2020)～32(2050)年，人口問題研究資料，349号，2024. [National Institute of Population and Social Security Research: Regional population projections for Japan : 2020-2050, *Population Research Series*, No.349, 2024.]

QUANTITATIVE EVALUATION AND TYPOLOGY OF “POPULATION DAM FUNCTION” OF URBAN EMPLOYMENT AREAS IN JAPAN BY MARKOV CHAINS

Mizuki UCHIDA, and Shuji TAKAMORI

In this study, we focused on the “population dam function” that is expected of central cities in regional metropolitan areas in to reduce the overconcentration of population in Tokyo. Until now, no academic definition of the “population dam function” has been established, and the results have sometimes differed depending on the evaluation method. This study proposes a method to quantitatively evaluate the “population dam function” using Markov chains, thus facilitating comprehension of the interaction of interregional migration and the future population share by region under the current trend. Furthermore, the study demonstrates, both theoretically and empirically, that the characteristics of interregional migration affect the “population dam function” and the population outflow control measures that contribute to its improvement. It is anticipated that the findings of this study will serve as a valuable resource for evaluating the current status of the “population dam function” in regional metropolitan areas and for considering measures that are tailored to the specific conditions of each metropolitan area.