

特集Ⅱ：国際的・地域的視野から見た少子化・高齢化の新潮流に対応した
人口分析・将来推計とその応用に関する研究（その2）

タイプ別再生産数で見る日本の人口減少

大 泉 嶺

本稿では、移動を考慮した一般化レスリー行列を導入し、その最大固有値の増減を評価する閾値の一つであるタイプ別再生産数を用いて日本の人口減少構造を分析する。タイプ別再生産数とはある地域出身の女性が同地域で再生産する数とその子孫が同地域に再帰して再生産した子孫の総数を表す。この数値が高い地域は、その地域出身者とその子孫が地元で再生産年齢の時に再帰するか、その歳まで留まる確率が高い事を意味する。本研究ではこの指標による地域特性の人口減少の分析を試みる。それにより、タイプ別再生産数の解釈を用いて人口減少局面を迎えた日本の地域間移動と地域別出生率の影響を考察したい。

キーワード：少子化、レスリー行列、データ解析、マルコフ過程

I. 背景と目的

国勢調査をみると日本の人口は2010年を境に人口減少に転じている。これは1974年以降合計特殊出生率（TFR: *total fertility rate* 2.05）が人口置換水準（RLF: *replacement level of fertility* 2.11）を下回り、40年以上この状況が続いた結果と考えられる（国立社会保障・人口問題研究所 2020）。こうした人口増減に関わる指標は人口全体の増加率だけでなく、TFR と RLF といった間接的な指標によって分析出来る事は、人口学の常識の一つである。一方で、RLF は、その時々々の乳児死亡率や出生性比によって変動するので、普遍的な値を持たない。そこで、より普遍的な人口増減の閾値を与える指標として純再生産率（NRR: *net reproduction rate*）あるいは基本再生産数（BRN: *basic reproductive number*）と呼ばれる指標がある。この値は一人の女性が生涯に産む、出生に寄与する女兒の数を表す。この指標においては閾値が常に1（人）であり、理論的な解析にとっては非常に扱いやすい数値となる。

本論文ではNRRではなくBRNを用語として採用する。BRNはLeslie行列における支配的固有値の大きさを計る値でもあり、TFRがRLFを下回ることと、BRNが1を下回るとは同値の関係にある。一方で、BRNは出生率と生残率からなる指標であるため、地域間移動や出生・死亡に関する地域特性の総人口に与える影響を評価するには不向きである。そこで、本研究ではタイプ別再生産数（TRN: *type reproduction number*）による地域特性の人口減少の分析を試みる。

TRN は BRN 同様, 1 を閾値とした人口増減を評価できる間接的な指標の一つである (Inaba 2009). 元々は疫学分野における, 感染タイプの異なる感染者ごとに疫病の蔓延への貢献度を表す指標として登場した (Heesterbeek and Roberts 2007). そのアナロジーは人口学においても有用であり, タイプ別感染者から地域別人口へと定義を変えても同様に成り立つことが知られている. しかし, 具体的な人口学データへの応用は筆者が知る限り殆ど行われていない. 本研究では TRN の解釈を用いて人口減少局面を迎えた日本の地域間移動と地域別出生率の影響を考察したい.

II. タイプ別再生産数

1. 一般化レスリー行列とその固有値問題

タイプ別再生産数を考える為には, 一般化レスリー行列について述べる必要がある. 一般化レスリー行列とはレスリー行列の出生・生存率の成分が地域間移動などと組み合わさった行列で表された安定人口モデルを指す. 具体的には, 女性コーホートの生活史は加齢とともに居住地の移動がある一定割合起こるとする. 今, a 歳の女性が j 県から i 県に移動する確率を $T_{ij}(a)$ とする, j 県における同年齢の生存率 $s_j(a)$ を用いて i 県に移住出来る確率 $K_{ij}(a)$ は

$$k_{ij}(a) := T_{ij}(a) \times s_j(a)$$

と表せるものとする. 連続モデルからの近似方法もあり, 初期の研究ではそうした方法が用いられた.

ここで, 時刻 t における a 歳で j 県に在住する女性コーホートの人口を $P_t(a, j)$ とおくと, 翌年 i 県に移住した女性コーホートは以下の方程式に従う

$$P_{t+1}(a, i) = \sum_j k_{ij}(a) P_t(a, j). \quad (1)$$

一方, 時刻 t における a 歳で j 県に在住する女性コーホートの翌年 i 県に再生産する出生率を $m_{ij}(a)$ とおくと, 再生産過程は

$$P_{t+1}(0, i) = \sum_{a=0}^{\omega} \sum_j m_{ij}(a) P_t(a, j) \quad (2)$$

となる. \mathbf{A} を一般化レスリー行列とすると, 時刻 t における人口 \mathbf{p}_t は (対角化が可能であれば)

$$\mathbf{p}_t = \mathbf{A}^t \mathbf{p}_0 = \sum_{k=1}^n \frac{\langle \mathbf{v}_k, \mathbf{p}_0 \rangle}{\langle \mathbf{v}_k, \mathbf{w}_k \rangle} \lambda_k^t \mathbf{w}_k$$

と表される. また, 固有値の番号 k を固有値の絶対値の大きさの順に付与する

($|\lambda_k| \geq |\lambda_{k+1}|$) と十分な時間が経過したとき、対角化出来るか否かに関わらず以下の漸近挙動が成り立つことが知られている

$$\mathbf{p}_t \approx \frac{\langle \mathbf{v}_1, \mathbf{p}_0 \rangle}{\langle \mathbf{v}_1, \mathbf{w}_1 \rangle} \lambda_1^t \mathbf{w}_1 \quad t \rightarrow \infty.$$

この事実はペロン-フロベニウス (Perron-Frobenius) の定理と呼ばれており、支配的な固有値 λ_1 は正の実単根であり、個体群動態を支配している (Meyer 2000). この固有値はレスリー行列における内的自然増加率 (intrinsic rate of natural increase) にあたる. λ_1 が 1 よりも大きいかわ小さいかで、今後の人口の増加・減少傾向がわかる.

2. 一般化レスリー行列における基本再生産数 (純再生産率) およびタイプ別再生産数

内的自然増加率は一般的に数値的にしか求める事が出来ない.そこで、出生率と生残率から直接求める事の出来る基本再生産数がレスリー行列を基礎とするモデルでは閾値として用いられる. 基本再生産数が 1 を上回れば λ_1 が 1 を上回り、逆にそれが 1 を下回れば、内的自然増加率も 1 を下回る事が知られている. 基本再生産数には初産年齢など世代時間に関する情報が計算過程で欠落するため、内的自然増加率の大きさ自体を評価することは出来ない.

一方、一般化レスリー行列では地域別出生率と地域間移動の効果が含まれるため、基本再生産数などの指標を拡張し、再定義する必要がある. 稲葉 (1987) はこれから紹介する次世代行列のスペクトル半径を持ってこれを定めた. j で出生した女性が i 県に女兒を再生産する期待値は以下の関数で表される.

$$\phi_{ij} := \sum_{a=0}^{\omega} \sum_{\ell=1}^n K(0, j \rightarrow a, \ell) m_{i\ell}(a),$$

$$K(s, j \rightarrow a, i) := \begin{cases} \sum_{j_{a-1}} \sum_{j_{a-2}} \cdots \sum_{j_{a-s-1}} k_{ij_{a-1}}(a-1) k_{j_{a-1}j_{a-2}}(a-2) \cdots k_{j_{a-s-1}j}(s) & s < a-1 \\ \delta_{ij} & s = a-1 \end{cases} \quad (3)$$

δ_{ij} は Kronecker のデルタとする. 関数 $K(s, j \rightarrow a, i)$ は s 歳で j 県にいた女性が a 歳で j に生存して居住する確率を表している.

この期待値 ϕ_{ij} で作られる行列 $\Psi := (\phi_{ij})_{1 \leq ij \leq n}$ を次世代行列という (Inaba 2017). この行列は各県で出生した女兒が再生産する次世代の女兒数を生成する写像となっている. 次世代行列のスペクトル半径は女性一人当たりの平均再生産数とみなせるので、これをもって一般化レスリー行列の BRN とされる (Inaba 2009).

基本再生産数が全国平均とするなら、各地域あるいは領域に特化した再生産数を表す指標が TRN である. この指標は 2 地域モデルを持って定義される. n 県ある地域のうち k 県が都市部 1 であるとする (これをターゲット地域という (Inaba 2009)). そのとき、残りの $n-k$ 県を地方部 2 とする. 次世代行列 Ψ の成分を都市部と地方部への小行列に再構

成した行列を以下で定義する：

$$\Phi := \begin{pmatrix} \mathbf{Q}_{11} & \mathbf{Q}_{12} \\ \mathbf{Q}_{21} & \mathbf{Q}_{22} \end{pmatrix}$$

ここで、 $\mathbf{Q}_{\kappa l}$ は l 地域から κ 地域への推移行列を表す。 \mathbf{Q}_{11} は都市部 1 から都市部 1 への $\kappa \times \kappa$ 行列、 \mathbf{Q}_{22} は地方部から地方部への推移を表す、 $(n-\kappa) \times (n-\kappa)$ 行列、同様に \mathbf{Q}_{12} 及び \mathbf{Q}_{21} はそれぞれ $\kappa \times (n-\kappa)$ 行列と $(n-\kappa) \times \kappa$ 行列となる。行列 \mathbf{Q} のスペクトル半径を $\Lambda(\mathbf{Q})$ とすると、都市部の TRN は以下で定義される：

$$\text{TRN}_1 := \Lambda(\mathbf{Q}_1), \mathbf{Q}_1 := \mathbf{Q}_{11} + \sum_{m=0}^{\infty} \mathbf{Q}_{12} \mathbf{Q}_{22}^m \mathbf{Q}_{21}, \mathbf{Q}_{22}^0 = \mathbf{I}.$$

\mathbf{I} は単位行列。仮に $\Lambda(\mathbf{Q}_{22}) < 1$ である場合、以下の公式が使える：

$$\mathbf{Q}_1 = \mathbf{Q}_{11} + \mathbf{Q}_{12}(\mathbf{I} - \mathbf{Q}_{22})^{-1} \mathbf{Q}_{21}. \quad (4)$$

つまり、

$$(\mathbf{I} - \mathbf{Q}_{22})^{-1} = \sum_{m=0}^{\infty} \mathbf{Q}_{22}^m.$$

右辺をノイマン級数と呼ぶ (Nuemann 1877)。同様に地方部の TRN は以下となる。

$$\text{TRN}_2 := \Lambda(\mathbf{Q}_2), \mathbf{Q}_2 := \mathbf{Q}_{22} + \sum_{m=0}^{\infty} \mathbf{Q}_{21} \mathbf{Q}_{11}^m \mathbf{Q}_{12}.$$

BRN との大きな違いは(3), (4)ともに無限大を含む場合がある点である。オリジナルの TRN の定義ではこうした発散級数は含まれていないが、方程式の意味を考えれば無限大を含むことは不自然ではない。 Ψ が次世代の再生産数を表す行列であったことを思い出そう。式(3)の右辺第 1 項 \mathbf{Q}_{11} は都市部で出生した女性が次世代における都市部への再生産の推移を表す。第 2 項 $\mathbf{Q}_{12} \mathbf{Q}_{21}$ は次世代で地方部に再生産し、さらに孫世代が都市部に再生産する推移を意味する。つまり、べき数 m は地方部で再生産を繰り返す世代数を表している。したがって、TRN とはある出身地に子孫（あるいは先祖）が初めて再帰する総数に相当する。このことから、出生率の高い地域が含まれていればすべての世代（無限世代）までの再帰した子孫数の和が発散することは、単に有限世代で必ず同じ地域に一人以上の子孫もしくは先祖に行き着く。言い換えれば、 \mathbf{Q}_1^M を \mathbf{Q}_1 の部分積：

$$\mathbf{Q}_1^M := \mathbf{Q}_{11} + \sum_{m=0}^M \mathbf{Q}_{12} \mathbf{Q}_{22}^m \mathbf{Q}_{21}$$

としたとき、式(3)および(4)は正項級数であるので TRN が発散級数であれば、次を満たす $0 \leq M_0 < \infty$ が存在することが分かる。

$$\Lambda(\mathbf{Q}_1^{M_0}) > 1$$

これは、内的自然増加率が1より大きい事を意味している。内的自然増加率、BRN および TRN の関係は符号関数を用いて次のように表すことができる。

$$\text{sgn}(\lambda_1 - 1) = \text{sgn}(\text{BRN} - 1) = \text{sgn}(\text{TRN} - 1).$$

TRN はどのように地域を分割しても上記の性質を満たすので、 $\kappa=1$ と取れば各都道府県について TRN を定義することができ、この場合スペクトル半径を計算するまでもなく、値として計算できる。本研究はこれを採用し、例えば東京都の TRN は東京都とそれ以外の地域で分割した次世代行列で計算された TRN を指すこととする。すなわち、

$$\text{TRN}_i = \phi_{ii} + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{i_1 \neq i} \cdots \sum_{i_m \neq i} \phi_{ii_1} \cdots \phi_{i_m i}, \quad (5)$$

と表すことができる。

2015年の日本の場合、基本再生産数が既に1を下回っているため、上記の級数が発散することはない。

III. データによる行列成分の構築

前節までは、一般化レスリー行列モデルのダイナミクスと TRN との関係紹介してきた。本節は、実際の日本における TRN がどのような値になっているか解析するために、国勢調査およびいくつかの政府統計を用いて必要な行列要素を構築していく。

1. 生存率を含む地域間移動率の構築

本研究では都道府県間の移動に関するデータを直近の2015年国勢調査に基づくものとする。本調査が5年おきであるため、単位時刻および年齢階級も5年刻みにそろえる必要がある。つまり、年齢5歳階級で1コーホートとし、一般化レスリー行列は5年後の人口構成を生み出す写像とする。また、実際には人口国際移動が存在するが、外国人の国籍および都道府県への詳細な移住先、そして外国における出生率に関して本研究に必要となる十分詳細なデータがないため、これらは無視し、封鎖人口のみを考える。

まず、5歳階級の地域間移動確率 $T_{ij}(a)$ は以下とする。

$$T_{ij}(a) = T_{ij}(a-5 \sim a-1) := \frac{\sum_{x=a}^{a+4} P_{2015}(x, j \rightarrow i)}{\sum_{x=a-5}^{a-1} P_{2010}(x, j)}.$$

ここで、 $P_t(x, j \rightarrow i)$ は t 年に x 歳で j 県から i 県に移った女性コーホートの人口を表す。

また、 $P_t(x, j)$ は t 年に x 歳で j 県在住の女性コーホートの人口を意味する。更に、同地域への滞留は次で与えるものとする。

$$T_{jj}(a) = T_{jj}(a-5 \sim a-1) = 1 - \sum_{i \neq j} T_{ij}(a-5 \sim a-1).$$

各地域への 5 歳階級別生存率は以下のとおりである。

$$s_j(a) = \frac{l_{a+4,j}}{l_{a,j}}, \quad s_j(0) = 1.$$

$l_{a,j}$ は j 県における a 歳までの生残率を表す。50歳を超えた年齢階級は出生に寄与しないため、考慮しない。

2. 地域別出生率の定義

一般論で与えた女兒出生率 $m_{ij}(a)$ は、 j 県在住の女性コーホートが同年齢で他県に出生する場合に拡張されている。5 年刻みで構成された一般化レスリー行列の場合この定義のままだとタイムステップの一貫性が失われるので、5 年前の所在地が 5 年後の同地域の再生産数に関わると近似する。すなわち、

$$m_i(a) = m_{ij}(a)\delta_{ij}.$$

女兒出生率も 5 歳階級で考える必要があるので、国立社会保障・人口問題研究所 (2020) に収録されたデータを用いて以下のように与える：

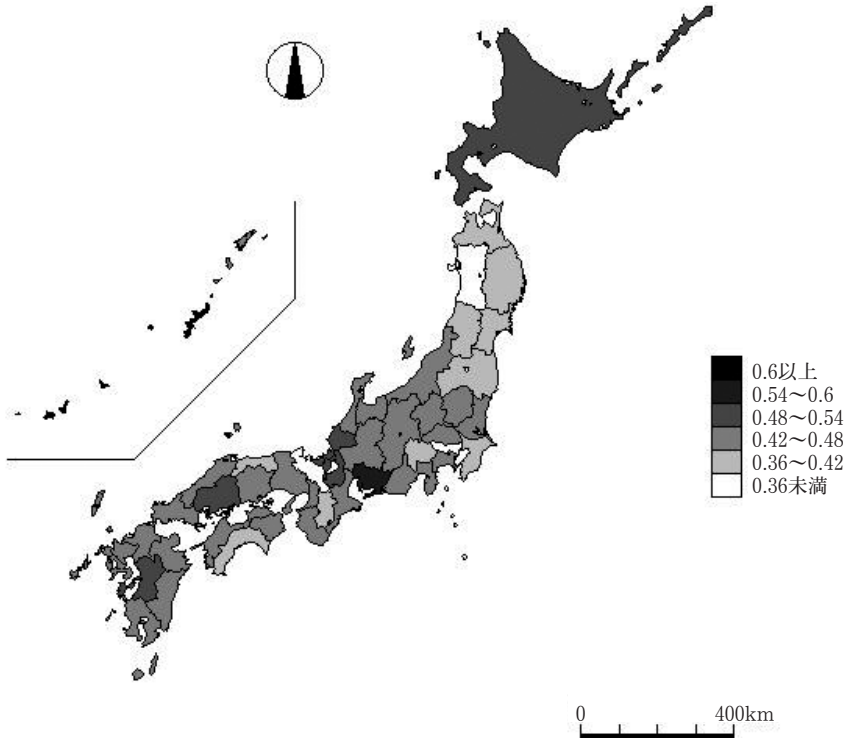
$$m_i(a) = \underbrace{\frac{100}{100 + \sum_{\tau=2011}^{2015} \text{MSB}_{\tau}/5}}_{\text{出生性比}} \times \underbrace{\frac{\left(1 - \frac{\text{TFM}_i(2015)}{1000}\right) \sum_{k=0}^4 B_{i,a+k}(2015-k) l_{k,i}(2015)}{1000}}_{\text{期待出生率}}$$

MSB_{τ} は τ 年における平均男児出生性比、 $\text{IFM}_i(2015)$ は 2015 年における千人当たりの乳児死亡数、 $B_{i,a}(\tau)$ は τ 年、 i 県における a 歳女性の千人あたりの出生数、また生残率 $l_{k,i}$ は簡単のために 2015 年の生命表に統一した。

IV. 結果

Ⅲ節で構成した数値を元に、式(3)を計算し、式(5)から TRN を求めた¹⁾。各都道府県を TRN の高いところを濃く色分けすると図 1 のようになる。

図 1 タイプ別再生産数 (2015年)



TRN の最も高い地域は沖縄県 (0.63) であり続いて愛知県 (0.54), 滋賀県 (0.51), 福井県 (0.50), 広島県 (0.49), そして熊本県 (0.49) となる。TRN の定義からこれらの地域出身者は他地域と比べて、出生地に再帰し、再生産する傾向が強いといえるだろう。逆に TRN が最も低い地域は秋田県 (0.35), 東京都 (0.35), 京都府 (0.35) となる。こちらの地域出身者は他地域と比べて出身地に再帰して再生産する割合が少ないことを意味している。日本の場合, これらの傾向は TRN の第一項を構成する次世代行列の対角成分の傾向に強く依存する。つまり, 次世代を自身の出身地で再生産する人数 (1 代目の値: ϕ_{ij}) である (図 2)。

1) 数値的に Neumann 級数が収束するので式(4)の方法を用いた。

図2 タイプ別再生産数と一世代目の出身地における再生産数

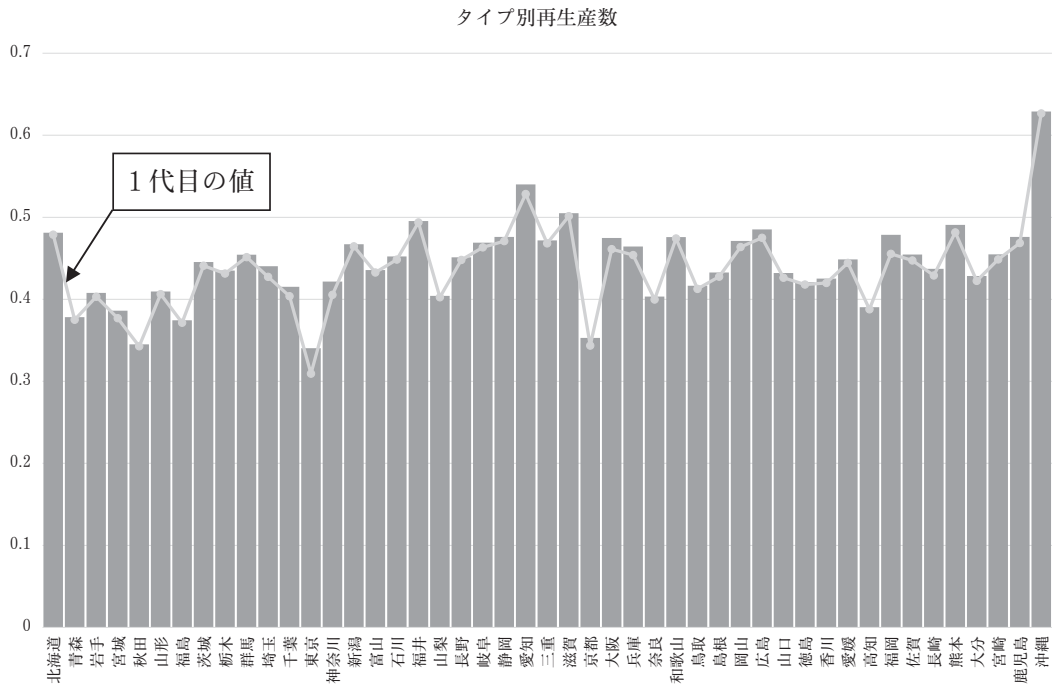


図2はTRNの値を棒グラフにまとめたものである。折れ線を「1代目の値」として重ねると傾向に大きな違いが無いだけでなく、TRNとの差も大きくないことが分かる。つまり、2代目以降の後世の再生産数よりも、1代目が出身地で再生産する傾向が高いかどうか重要であることがわかる。

図2の事実を、より詳細に出生行動と関連付けるために、次世代行列の成分を用いて三つの出生行動を比較する。図2で用いた「1代目の値」を出生地域同一再生産数と呼称する。次に地域別再生産数を以下で定義する。

$$\text{地域別再生産数} := \sum_i \phi_{ij}$$

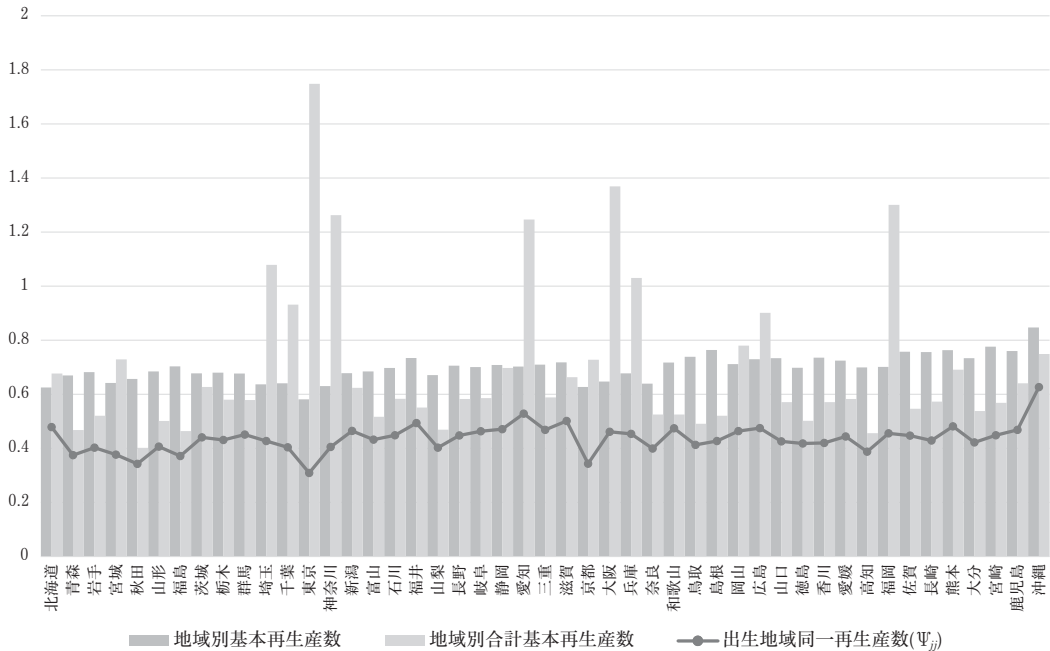
これは j 県出身の1人の女性が生涯に渡って再生産する女兒の総数である。一方、各都道府県出身の女性一人が次世代を i 県で再生産する総数を地域別合計再生産数と呼ぶとき、これも以下で定義できる。

$$\text{地域別合計再生産数} := \sum_j \phi_{ij}$$

この三つを比較することで、個々の地域出身の女性が基本再生産数に対して、自身の出身

地とそれ以外の地域における出生割合を考察することができる。これを、グラフに表したものが図3である。

図3 新規人口の流入・流出を表す様々な再生産数の比較



地域別再生産数を見ると全ての地域が0.55~0.85の間である。最も高い値は沖縄県で0.85、最も低い値は東京都で0.58である。ちなみにこの次世代行列を用いてBRNを計算すると0.69となる。地域別再生産数は出生地域同一再生産数を含むため、必ず折れ線以上の値を持つ。一方、地域別合計再生産数は都市部とそれ以外の地域に関して顕著な違いを見せている。最も高い値は東京都であり、1.75。その後に大阪府(1.36)、福岡県(1.30)、神奈川県(1.26)、愛知県(1.25)と大都市圏が1を上回る値を示している。全体的に地域別再生産数よりも地域別合計再生産数が大きい地域は政令指定都市を含む都市圏が多い。この結果は大都市圏の再生産人口は他県出身者の再生産数の流入によって支えられていると言える。一方、地域別再生産数より地域別合計再生産数が小さい地域、最小は秋田県(0.40)で地域別再生産数(0.66)と-0.26と最も差が大きい、他にもこの差が大きい県は鳥取県(-0.25)、高知県(-0.24)、島根県(-0.24)など、人口規模の比較的小さい県で顕著である。大都市圏を持たない県の殆どはこうした地域別再生産数より地域別合計再生産数が小さい状態にある。つまり、非都市部出身者の出生力の一部は大都市圏で消費されている事を示している。

V. まとめ

本研究は2011年から2015年までのデータを固定した一般化レスリー行列モデルを基軸として解析を行った。このモデルの特徴の一つである人口の増減を評価する TRN に焦点を当てた。こうした安定人口模型は期間データに基づくため、それらを構成するコーホートの特性は反映されない。よって、ここでの考察はこれらの期間データが今後とも同様の値をとり続けた場合についてのものとなる。話を戻すと、日本における TRN はすべて 1 を下回っている。そして、すべての県において出生地域同一再生産数 (ϕ_{ii}) と近い。これは母親が自らの出生地と異なる地域で出生した娘・孫またはその先の子孫が再びその先祖と同じ地域で再生産する可能性が低い事を意味する。

東京都と京都府の TRN はおよそ 0.35 であり、最も低い値であった。これは、これらの地域出身者が再びその地域に再帰し再生産する子孫数が少ないことを意味するので、低出生および出身者の流出が多いと考えられる。逆に最も TRN が高い値となった沖縄県は 0.63 であり、これは出生力が高いだけでなく、この地域出身者は同地域に留まる率が高い事を意味する。この事を裏付ける為に、出生地域同一再生産数を地域別再生産数の値で割ってみる (図 3 のオレンジの点と青の棒グラフとの比)。東京と京都はそれぞれ再生産数の 53.2% および 54.8% が母親の出身地と同じ、つまり、地元に戻る (あるいは出ない) ということになる。沖縄県は 73.9% となり、先ほどの地域と比べると地元に戻って (残って) 出産する割合が高いと言えるだろう。こうした傾向が出生率のみならず TRN の値に影響を与えていることが分かる。ちなみにこの比率が最も高い値は北海道の 76.6% である。これは北海道の地域別再生産数が 0.62 と低いにもかかわらず、高い割合で地元において再生産するため、TRN は 0.48 と若干高めめの値を取る理由である。

特筆すべきは東京都と愛知県の違いである。大都市である東京都は先述のように、低出生に加え再生産の流出により TRN は低かった。一方、名古屋市などの大都市を抱える愛知県は沖縄県に次ぐ TRN の値 (0.54) を持つ。愛知県は図 3 が示す通り特に地域別再生産数が高い地域ではない (愛知県の地域別再生産数: 0.70)。しかしながら、愛知県は出生地域同一再生産数を地域別再生産数の比を計算すると 75.1% と地元での再生産率が高い事がわかる。

地域別合計再生産数を見ると東京都が最も多く、高い値を示している地域は大都市圏であることが分かる。つまり TRN が低い東京においても、東京以外の出身地域からの再生産によって高い人口が維持されている構造が見て取れる。なぜなら、東京都の地域別再生産数を地域別合計再生産数が上回っているからだ。逆に地域別合計再生産数が地域別再生産数を下回っている地域は、再生産年齢人口が流出している事意味している。

TRN は出生力と死亡だけでなく、移動と世代の効果も反映した指標である。そのため、見かけ上の地域別出生率とは別に、その地域出身者がどの程度その地域で再生産するのかという指標になる。東京都のように出生率が低く、人口流入出が激しい地域では TRN が

小さくても、他地域出身者の流入によって人口減を緩和することができるが、非都市部のように再生産人口の流出超過の地域では TRN の減少は自治体の維持に関わる問題となるであろう。人口減少局面を迎える日本社会の分析において TRN のような移動と世代の効果を反映した指標を考えることで、将来世代の地域への再帰や地域間移動の人口動態への影響も少子高齢化の直接的な影響を評価することができるであろう。

謝辞

本研究を進めるにあたり、東京大学大学院数理科学研究科の稲葉寿教授には多くの助言をいただいたことに感謝を申し上げたい。東京理科大学の江夏洋一氏、工学院大学の金城謙作氏とは本研究に関する議論に多くの時間を割いていただいた事に感謝申し上げます。また、本研究は、厚生労働行政推進調査事業費補助金（政策科学総合研究事業（政策科学推進研究事業））「国際的・地域的視野から見た少子化・高齢化の新潮流に対応した人口分析・将来推計とその応用に関する研究（研究代表者石井太、小池司朗、課題番号（H29-政策-指定-003）」（2017～2019）、「長期的人口減少と大国際人口移動時代における将来人口・世帯推計の方法論的発展と応用に関する研究」（研究代表者小池司朗、課題番号20AA2007）（2020～2022）および、日本学術振興会研究助成事業科研費、若手研究「一般化レスリー行列を用いた人口減少社会の分析と理論構築」（研究代表者 大泉嶺 課題番号20K14368）による助成を受けた。

参考文献

- 稲葉寿（1987）「多次元安定人口理論の数学的基礎 I：古典論」『人口問題研究』184, pp.52-77.
- 国立社会保障・人口問題研究所（2020）『人口統計資料集2020』
<https://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/Popular/Popular2020.asp?chap=0>
- Heesterbeek, J. and Roberts, M. (2007). The type-reproduction number t in models for infectious disease control. *Mathematical Biosciences* 206(1), pp.3-10.
doi:10.1016/j.mbs.2004.10.013.
- Inaba, H. (2009). The net reproduction rate and the type-reproduction number in multiregional demography. *Vienna Yearbook of Population Research* 7, pp.197-215.
doi:10.1553/populationyearbook2009s197.
- Inaba, H. (2017). *Age-structured population dynamics in demography and epidemiology*. Singapore: Springer, Singapore, 1st ed.
- Meyer, C. D. (2000). *Matrix analysis and applied linear algebra*, volume 71. Philadelphia: SIAM.
- Neumann, C. (1877). *Untersuchungen uber das logarithmische und newton'sche potential*. Leipzig: Teubner.

Population Decline in Japan from the Perspective of Type Reproduction Number

OIZUMI Ryo

This paper introduces a generalized Leslie matrix that considers migration and analyzes the structure of population decline in Japan using the type reproduction number, one of the thresholds to evaluate the increase or decrease of its maximum eigenvalue. The type reproduction number is the number of women from a specific prefecture who reproduce in the same region and the total number of their offspring who return to the same region and reproduce. The higher type reproduction number means that the prefecture has the higher recursivity of reproductive-age women. First, this study attempts to analyze the population decline of regional characteristics using this index. Then, we will examine the effects of interregional migration and prefecture-specific fertility rates on Japan's declining population using the interpretation of the type reproduction number.

Keywords: declining birth rate, Leslie matrix, data analysis, Markovian process