

オケージョナル・ペーパー No.88

ロジャーズ－ウィルキンス・モデルの
東京都の人口への応用

2018年3月

法政大学

日本統計研究所

ロジャーズ - ウィルキンス・モデルの東京都の人口への応用*

菅 幹雄 (法政大学経済学部)

櫻井 祐子 (東京都総務局統計部) †

はじめに

人口予測のモデルの中に、産業連関分析に類似した行列形式のモデルがある。多地域における死亡率、出生率、地域間移動率を考慮して予測を行う「ロジャース・モデル」である(黒田他(1980)、鈴木(1981)、小池(2008))。「ロジャース・モデル」の中でも「ロジャーズ - ウィルキンス・モデル」(Willekens and Rogers(1978))は、川嶋他(1982)により「人口学における投入産出分析モデルとも呼びうる構造的特質を有し、逐次的な行列演算を通して、将来時点における地域別年齢階級別人口水準を系統的に算出する。とくに、地域別人口の合計が全国人口に一致するという整合性が、各年齢階級毎に自動的に確保されている点は、同モデルが誇る独自性として高く評価」されている。このモデルをわが国の地域別人口に応用した研究として、黒田他(1980)、鈴木(1981)、川嶋他(1982)、小池(2008)が挙げられる¹。

近年、都道府県並びに市区町村における地方自治体では、政府による「まち・ひと・しごと創生総合戦略」の一環として「人口ビジョン」が策定され、出生や死亡による自然増減と転出入による社会増減の推移における将来の見通しを分析し、それぞれの自治体で人口予測が行われるようになった。このように近年は、社会増減等の人口動態の推移や将来人口の推計に対する関心がますます高まってきている。東京都では1960年から人口予測を行ってきたが²、人口移動の影響が大きい東京都にとって、社会増減の見通しの違いは将来推計人口を大きく左右すると考えられる。

そこで、本稿では川嶋他(1982)を参考にし、東京都の人口に応用するための試算を行った。ロジャーズ - ウィルキンス・モデルの理論的枠組みを概括すると共に、2010年の国勢調査や人口動態統計のデータを用いて同モデルを東京都の年齢別人口へ応用した試算結果について紹介する。

* 本稿の執筆にあたり、新井益洋氏、木村文勝氏、小池司朗氏からの確かつ貴重なコメントをいただいた。ここに記して感謝の意を表す。なお、本稿は、2017年10月21日から22日までの期間に開催された環太平洋産業連関分析学会第28回(2017年度)大会における報告(菅幹雄・櫻井祐子、「ロジャーズ - ウィルキンス・モデルの東京都の人口への応用」)に加筆したものである。

† 本稿の内容と意見は、筆者個人に属するものであり、東京都の公式見解を示すものではない。本稿における内容や誤りはすべて筆者の責任に帰する。

¹ 鈴木(1981)によれば、Kawashima(1979)¹が既に試みられていたとされるが筆者未見である。

鈴木(1981), p61, Kawashima, Tatsuhiko: *Migration and Settlement in Japan(A Part)* Laxenburg, International Institute for Applied System Analysis, 1979.

² 櫻井・菅(2016)

1. ロジャーズ - ウィルキンス・モデル

ロジャーズ - ウィルキンス・モデルは、Rogers(1966)、Rogers(1975)を年齢別に拡張したモデルである。Andrei Rogers によって最初に考えられたモデルは、ある期間における地域別の期末人口を、地域別期首人口を示すベクトルと地域別の出生率、死亡率、転出率とを組み合わせて作られる地域別増加率と移動率を要素とするマトリックスとの積によって示されたものであった³。

ロジャーズ - ウィルキンス・モデルは、年齢別人口を居住地 (region of residence) によって細分割した上で転出と転入による移動 (migration) の概念を導入した手法である⁴。また、一つ一つの地域の将来人口を個々に推計する単一地域型の人口分析とは異なり、多数の地域の将来人口を他の地域との関連の中で同時に推計する⁵。なお、同モデルは、男女を区別しない単性型であり、地域間移動を行う個人に対しては、移動先の居住地の出生率、死亡率、移動率を適用するという属現住地主義に則した前提としている。

ロジャーズ - ウィルキンス・モデルの理論の枠組みとなっているのは一般化レスリー行列⁶である。生存に関する行列と、出生と生存に関する行列の 2 つの部分行列を一般化レスリー行列 \mathbf{G} の形で表す。それぞれの部分行列は、5 年前の居住地 (転出元) に x 歳で居住していた者が 5 年後の居住地 (転出先) に $x + 5$ 歳で居住している確率を表す。すなわち、 $\{\mathbf{K}^{(t)}\}$ を t 年における地域別年齢階級別人口の分布を表わすベクトルとし、 \mathbf{G} を一般化レスリー行列とすると、次式のとおりとなる。

$$\{\mathbf{K}^{(t+5)}\} = \mathbf{G} \cdot \{\mathbf{K}^{(t)}\}$$

$\{\mathbf{K}^{(t)}(x)\}$ を t 年における $(x, x + 4)$ 歳階級の地域別人口 (ただし、 $x = 0, 5, \dots, z$)、 $K_i^{(t)}(x)$ を t 年における i 地域の $(x, x + 4)$ 歳階級の地域別人口 (ただし、 $i = 1, 2, \dots, n$) とすると、 $\{\mathbf{K}^{(t)}\}$ は、

$$\{\mathbf{K}^{(t)}\} = \begin{bmatrix} \{\mathbf{K}^{(t)}(0)\} \\ \{\mathbf{K}^{(t)}(5)\} \\ \vdots \\ \{\mathbf{K}^{(t)}(z)\} \end{bmatrix}, \text{ ただし、} \{\mathbf{K}^{(t)}(x)\} = \begin{bmatrix} K_1^{(t)}(x) \\ K_2^{(t)}(x) \\ \vdots \\ K_n^{(t)}(x) \end{bmatrix} \text{ のように分割される。}$$

また、 $\{\mathbf{K}^{(t+5)}\} = \mathbf{G} \cdot \{\mathbf{K}^{(t)}\}$ の一般化レスリー行列 \mathbf{G} は、次のとおりとなる。行列 \mathbf{G} において、 α と β はそれぞれ出産可能な年齢階級の下限と上限を表している。本稿では、人口動態統計における年齢階級別出生数の実績に基づき $\alpha = 15$ 、 $\beta = 55$ とした。 $\mathbf{B}(10)$ は 10 - 14 歳であるが 15 歳未満とし、 $\mathbf{B}(50)$ は 50 - 54 歳であるが 50 歳以上とした。

³ 河邊(1983), pp.27-29

⁴ 川嶋他(1982), pp.3-4

⁵ 河邊(1983), pp.27-28

⁶ 川嶋他(1982), p.43

レスリー行列は P.H. レスリーによって提示された人口分析における自然増減 (死亡と出生) の 2 要素を一つの行列にまとめる方法 (Leslie 1945, Leslie 1948) で社会移動の影響は考慮されていなかったが、一般化レスリー行列では社会移動も考慮されている。

一般化レスリー行列 \mathbf{G}

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \cdots & 0 & \mathbf{B}(\alpha-5) & \cdots & \mathbf{B}(\beta-5) & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ \mathbf{S}(0) & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{S}(5) & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & \mathbf{S}(z-5) & 0 \end{pmatrix}$$

部分行列

$\mathbf{S}(x)$: 生存に関する行列 (移動を含む)、 $\mathbf{B}(x)$: 出生と生存に関する行列 (移動を含む)

$$\mathbf{S}(x) = \begin{pmatrix} s_{11}(x) & s_{21}(x) & \cdots & s_{n1}(x) \\ s_{12}(x) & s_{22}(x) & \cdots & s_{n2}(x) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{1n}(x) & s_{2n}(x) & \cdots & s_{nn}(x) \end{pmatrix} \quad \mathbf{B}(x) = \begin{pmatrix} b_{11}(x) & b_{21}(x) & \cdots & b_{n1}(x) \\ b_{12}(x) & b_{22}(x) & \cdots & b_{n2}(x) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{1n}(x) & b_{2n}(x) & \cdots & b_{nn}(x) \end{pmatrix}$$

$s_{ij}(x)$: 単位期間の期首に $(x, x+4)$ 歳の年齢階級に属する i 地域の居住者が、5年後に $(x+5, x+9)$ 歳の年齢階級で j 地域に生存する割合

$b_{ij}(x)$: 単位期間 (5年間) の期首に $(x, x+4)$ 歳の年齢階級に属する i 地域の居住者 1 人当たりがその期間内に出産した子供のうち、期末に j 地域で生存する子供の平均人数

なお、それぞれ部分行列の各成分は、実測データから得られる出生率、死亡率、転出率を用いて⁷、次のとおり求める。

⁷ 実測データから得られる出生率、死亡率、転出率は、以下のとおり算出する。

本稿では、出生率は、東京都とその他地域ごとに、ある 1 年間の年齢階級別出生数 (男児と女児の合計) をある時点の年齢階級別人口 (男女計) で除して算出した。出生数は「人口動態統計」、年齢階級別人口 (男女計) は「国勢調査」を用いた。

死亡率は、東京都とその他地域ごとに、ある 1 年間の年齢階級別死亡数 (男女計) をある時点の年齢階級別人口 (男女計) で除して算出した。死亡数は「人口動態統計」、年齢階級別人口 (男女計) は「国勢調査」を用いた。

転出率は、東京都とその他地域への転出率については、ある 1 年間の当該地域における年齢階級別転出数のある時点の当該地域の年齢階級別人口 (男女計) で除して算出した。その他地域から東京都への転出率については、ある 1 年間の東京都における年齢階級別転入数のある時点のその他地域の年齢階級別人口 (男女計) で除して算出した。本稿では、「国勢調査」の人口移動集計による移動人口の男女・年齢等集計「第 3 表 現住地又は 5 年前の常住地(10 区分)による年齢(5 歳階級), 男女別人口(転入・転出—特掲) — 全国, 都道府県, 市区町村」の東京都に基づく年齢階級別転入数 (その他地域から東京都に転出した数) 及び転出数 (東京都からその他地域へ転出した数) を用いた。なお、国勢調査に基づく転入数及び転出数は 5 年ベースであるため、これに 0.2 を乗じて 1 年ベースに変換(Willekens and Roger(1978),p.8)した。

$\mathbf{S}(x)$ は、実測データから得られる死亡率と転出率による死亡率移動率行列 $\mathbf{M}(x)$ を用いて求める。死亡率移動率行列 $\mathbf{M}(x)$ は、 $M_{i\delta}(x)$ を*i*地域における $(x, x+4)$ 歳の年齢階級の死亡率、 $M_{ij}(x)$ を*i*地域から*j*地域への $(x, x+4)$ 歳の年齢階級人口移動率とし、次のように定義する。

$$\mathbf{M}(x) = \begin{pmatrix} \left[M_{1\delta}(x) + \sum_{j \neq 1} M_{1j}(x) \right] & -M_{21}(x) & \cdots & -M_{n1}(x) \\ -M_{12}(x) & \left[M_{2\delta}(x) + \sum_{j \neq 2} M_{2j}(x) \right] & \cdots & -M_{n2}(x) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -M_{1n}(x) & -M_{2n}(x) & \cdots & \left[M_{n\delta}(x) + \sum_{j \neq n} M_{nj}(x) \right] \end{pmatrix}$$

死亡率移動率行列 $\mathbf{M}(x)$ を用いた $\mathbf{S}(x)$ の導出は、以下のとおりである。

まず、正確な年齢が*x*歳である*i*地域の居住者が、正確な年齢が*x*+5歳のとき*j*地域に居住（生存）する確率を $p_{ij}(x)$ とすると、 $p_{ij}(x)$ を要素とする行列 $\mathbf{P}(x)$ は、

$$\mathbf{P}(x) = \begin{pmatrix} P_{11}(x) & P_{21}(x) & \cdots & P_{n1}(x) \\ P_{12}(x) & P_{22}(x) & \cdots & P_{n2}(x) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{1n}(x) & P_{2n}(x) & \cdots & P_{nn}(x) \end{pmatrix}$$

となる。

*j*地域生まれの人のうち、正確な年齢が*x*歳のとき*i*地域に居住（生存）する人数を ${}_{j0}l_i(x)$ と定義し、 ${}_{j0}\hat{l}_i(x) = {}_{j0}l_i(x) / {}_{j0}l_i(0)$ とすると、 ${}_{j0}\hat{l}_i(x)$ は*j*地域生まれの人が正確な年齢*x*歳で*i*地域に居住（生存）する確率となる。 ${}_{j0}\hat{l}_i(x)$ を要素とする行列は、

$$\hat{\mathbf{l}}(x) = \begin{pmatrix} {}_{10}\hat{l}_1(x) & {}_{20}\hat{l}_1(x) & \cdots & {}_{n0}\hat{l}_1(x) \\ {}_{10}\hat{l}_2(x) & {}_{20}\hat{l}_2(x) & \cdots & {}_{n0}\hat{l}_2(x) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ {}_{10}\hat{l}_n(x) & {}_{20}\hat{l}_n(x) & \cdots & {}_{n0}\hat{l}_n(x) \end{pmatrix}$$

$$\hat{\mathbf{l}}(0) = \mathbf{I}$$

となる（ \mathbf{I} は単位行列である。）。

$\hat{\mathbf{l}}(x+5)$ は、 $\hat{\mathbf{l}}(x)$ に $\mathbf{P}(x)$ を乗じて得られることから、 $\hat{\mathbf{l}}(x+5) = \mathbf{P}(x)\hat{\mathbf{l}}(x)$ となる。

ここで、 j 地域生まれの人が x 歳から $x+5$ 歳の間に i 地域に居住する平均年数（居住平均年数）を ${}_{j0}L_i(x)$ とすると、 ${}_{j0}L_i(x) = \int_0^5 {}_{j0}\hat{l}_i(x+t)dt$ となる。 ${}_{j0}L_i(x)$ を要素とする行列 $\mathbf{L}(x)$ は、

$$\mathbf{L}(x) = \begin{pmatrix} {}_{10}L_1(x) & {}_{20}L_1(x) & \cdots & {}_{n0}L_1(x) \\ {}_{10}L_2(x) & {}_{20}L_2(x) & \cdots & {}_{n0}L_2(x) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ {}_{10}L_n(x) & {}_{20}L_n(x) & \cdots & {}_{n0}L_n(x) \end{pmatrix}$$

となる。 $\mathbf{L}(x)$ は死亡及び移動が単位期間中に一様に発生するという仮定のもとに、実際に計算する場合には一次結合による近似を用いて、

$$\mathbf{L}(x) = \frac{1}{2} [\hat{\mathbf{l}}(x) + \hat{\mathbf{l}}(x+5)] \times 5 = \frac{5}{2} [\hat{\mathbf{l}}(x) + \hat{\mathbf{l}}(x+5)]$$

となり、これに $\hat{\mathbf{l}}(x+5) = \mathbf{P}(x)\hat{\mathbf{l}}(x)$ を代入すると、次式のとおりになる。

$$\mathbf{L}(x) = \frac{5}{2} [\hat{\mathbf{l}}(x) + \hat{\mathbf{l}}(x+5)] = \frac{5}{2} [\hat{\mathbf{l}}(x) + \mathbf{P}(x)\hat{\mathbf{l}}(x)] = \frac{5}{2} [\mathbf{I} + \mathbf{P}(x)]\hat{\mathbf{l}}(x)$$

同様に $\mathbf{L}(x+5) = \frac{5}{2} [\mathbf{I} + \mathbf{P}(x+5)]\hat{\mathbf{l}}(x+5)$ となり、これに $\hat{\mathbf{l}}(x+5) = \mathbf{P}(x)\hat{\mathbf{l}}(x)$ を代入すると、

$$\mathbf{L}(x+5) = \frac{5}{2} [\mathbf{I} + \mathbf{P}(x+5)]\mathbf{P}(x)\hat{\mathbf{l}}(x)$$

となる。

$\mathbf{L}(x)$ と $\mathbf{S}(x)$ は、 $\mathbf{L}(x+5) = \mathbf{S}(x)\mathbf{L}(x)$ という関係から、 $\mathbf{S}(x) = \mathbf{L}(x+5)[\mathbf{L}(x)]^{-1}$ とな

る。これに $\mathbf{L}(x) = \frac{5}{2} [\mathbf{I} + \mathbf{P}(x)]\hat{\mathbf{l}}(x)$ および $\mathbf{L}(x+5) = \frac{5}{2} [\mathbf{I} + \mathbf{P}(x+5)]\mathbf{P}(x)\hat{\mathbf{l}}(x)$ を代入すると、

$$\begin{aligned} \mathbf{S}(x) &= \frac{5}{2} [\mathbf{I} + \mathbf{P}(x+5)]\mathbf{P}(x)\hat{\mathbf{l}}(x) \left[\frac{5}{2} [\mathbf{I} + \mathbf{P}(x)]\hat{\mathbf{l}}(x) \right]^{-1} \\ &= [\mathbf{I} + \mathbf{P}(x+5)]\mathbf{P}(x)\hat{\mathbf{l}}(x) [\hat{\mathbf{l}}(x)]^{-1} [\mathbf{I} + \mathbf{P}(x)]^{-1} \\ &= [\mathbf{I} + \mathbf{P}(x+5)]\mathbf{P}(x) [\mathbf{I} + \mathbf{P}(x)]^{-1} \end{aligned}$$

となる。

ここで、死亡率移動率行列 $\mathbf{M}(x)$ を用いると、 $\hat{\mathbf{l}}(x+5) = \hat{\mathbf{l}}(x) - \mathbf{M}(x)\mathbf{L}(x)$ となる。

これに $\mathbf{L}(x) = \frac{5}{2}[\hat{\mathbf{l}}(x) + \hat{\mathbf{l}}(x+5)]$ を代入すると、

$$\hat{\mathbf{l}}(x+5) = \hat{\mathbf{l}}(x) - \mathbf{M}(x) \cdot \frac{5}{2}[\hat{\mathbf{l}}(x) + \hat{\mathbf{l}}(x+5)]$$

$$\hat{\mathbf{l}}(x+5) + \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\hat{\mathbf{l}}(x+5) = \hat{\mathbf{l}}(x) - \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\hat{\mathbf{l}}(x)$$

$$\left[\mathbf{I} + \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\right]\hat{\mathbf{l}}(x+5) = \left[\mathbf{I} - \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\right]\hat{\mathbf{l}}(x)$$

$$\hat{\mathbf{l}}(x+5) = \left[\mathbf{I} + \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\right]^{-1} \left[\mathbf{I} - \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\right]\hat{\mathbf{l}}(x)$$

となる。

これを $\mathbf{P}(x) = \hat{\mathbf{l}}(x+5)[\hat{\mathbf{l}}(x)]^{-1}$ に代入すると、

$$\mathbf{P}(x) = \left[\mathbf{I} + \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\right]^{-1} \left[\mathbf{I} - \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\right]\hat{\mathbf{l}}(x)[\hat{\mathbf{l}}(x)]^{-1} = \left[\mathbf{I} + \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\right]^{-1} \left[\mathbf{I} - \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\right]$$

$$\left[\mathbf{I} + \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\right]\mathbf{P}(x) = \mathbf{I} - \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)$$

$$\left[\mathbf{I} + \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\right]\mathbf{P}(x) + \mathbf{I} + \frac{5}{2}\mathbf{M}(x) = 2\mathbf{I}$$

$$\left[\mathbf{I} + \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\right][\mathbf{I} + \mathbf{P}(x)] = 2\mathbf{I}$$

$$\mathbf{I} + \mathbf{P}(x) = 2\left[\mathbf{I} + \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\right]^{-1}$$

となる。これより、

$$\mathbf{I} + \mathbf{P}(x+5) = 2\left[\mathbf{I} + \frac{5}{2}\mathbf{M}(x+5)\right]^{-1}$$

$$[\mathbf{I} + \mathbf{P}(x)]^{-1} = \frac{1}{2}\left[\mathbf{I} + \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\right]$$

となり、これらを $\mathbf{S}(x) = [\mathbf{I} + \mathbf{P}(x+5)]\mathbf{P}(x)[\mathbf{I} + \mathbf{P}(x)]^{-1}$ に代入すると、

$$\mathbf{S}(x) = 2\left[\mathbf{I} + \frac{5}{2}\mathbf{M}(x+5)\right]^{-1} \cdot \left[\mathbf{I} + \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\right]^{-1} \left[\mathbf{I} - \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\right] \cdot \frac{1}{2}\left[\mathbf{I} + \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\right]$$

$$= \left[\mathbf{I} + \frac{5}{2}\mathbf{M}(x+5)\right]^{-1} \cdot \left[\mathbf{I} - \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\right]$$

となり、このように死亡率移動率行列 $\mathbf{M}(x)$ から生存に関する行列 $\mathbf{S}(x)$ を算出する。

$\mathbf{B}(x)$ については、死亡率行列 $\mathbf{M}(0)$ と実測データから得られる出生率による出生率行列 $\mathbf{F}(x)$ を用いて求める。出生率行列 $\mathbf{F}(x)$ は、 $F_i(x)$ を i 地域における $(x, x+4)$ 歳の年齢階級に関する1年間の出生率とし、次のように定義する。

$$\mathbf{F}(x) = \begin{pmatrix} F_1(x) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & F_2(x) & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & F_n(x) \end{pmatrix}$$

死亡率行列 $\mathbf{M}(0)$ と出生率行列 $\mathbf{F}(x)$ を用いた $\mathbf{B}(x)$ の導出は、以下のとおりである。

単位期間の期首に $(x, x+4)$ 歳に属する i 地域の居住者1人当たりがその期間内に出生した子供の人数は一次結合による近似により、 $\frac{1}{2}[\mathbf{F}(x) + \mathbf{F}(x+5)\mathbf{S}(x)] \times 5$ となる。これらの出生児が単位期間の期末まで生存する比率は $\frac{1}{5}\mathbf{L}(0)$ であるから、

$$\mathbf{B}(x) = \frac{1}{2}\mathbf{L}(0)[\mathbf{F}(x) + \mathbf{F}(x+5)\mathbf{S}(x)]$$

となる。これに、 $\mathbf{L}(x) = \frac{5}{2}[\mathbf{I} + \mathbf{P}(x)]\hat{\mathbf{L}}(x)$ より $\mathbf{L}(0) = \frac{5}{2}[\mathbf{I} + \mathbf{P}(0)]\hat{\mathbf{L}}(0)$ を代入すると、

$$\mathbf{B}(x) = \frac{1}{2} \cdot \frac{5}{2}[\mathbf{I} + \mathbf{P}(0)][\mathbf{F}(x) + \mathbf{F}(x+5)\mathbf{S}(x)] = \frac{5}{4}[\mathbf{I} + \mathbf{P}(0)][\mathbf{F}(x) + \mathbf{F}(x+5)\mathbf{S}(x)]$$

となり、これに、 $\mathbf{I} + \mathbf{P}(x) = 2\left[\mathbf{I} + \frac{5}{2}\mathbf{M}(x)\right]^{-1}$ より $\mathbf{I} + \mathbf{P}(0) = 2\left[\mathbf{I} + \frac{5}{2}\mathbf{M}(0)\right]^{-1}$ を代入する

と、次式が求まる。

$$\mathbf{B}(x) = \frac{5}{4} \cdot 2\left[\mathbf{I} + \frac{5}{2}\mathbf{M}(0)\right]^{-1}[\mathbf{F}(x) + \mathbf{F}(x+5)\mathbf{S}(x)]$$

このように死亡率行列 $\mathbf{M}(0)$ と出生率行列 $\mathbf{F}(x)$ から出生・生存率行列 $\mathbf{B}(x)$ を算出する。

2. ロジャーズ - ウィルキンス・モデルの再現と東京都の人口を用いた試算

まず、1で示したロジャーズ - ウィルキンス・モデルの各式に基づき、Willekens and Rogers (1978)で示されているスロベニアとユーゴスラビアの2地域の基礎データを用いて推計を行った。推計結果については、Willekens and Rogers(1978)で示されている推計値と照合し、一致することを確認した。

次に、2010年の国勢調査データを用いて2015年の東京都の5歳階級別人口（男女計）を試算した⁸。試算結果については、2015年の国勢調査データと照合し、モデルの推計精度を検証した。試算にあたっては、Willekens and Rogers(1978)や川嶋他(1982)と同様に、男女を合わせた単性型とした。地域間については、東京都とその他地域の2地域を対象とし、年齢階級区分は0-4歳から85歳以上までの18階級を対象とした。なお、その他地域とは、46道府県を一括りにした地域をいう。

一般化レスリー行列における2つの部分行列については、1で述べたとおり、基礎データからそれぞれの導出式にあてはめて各率を算定した。算定した部分行列の各率は、表1から表11のとおりとなり、 $S(x)$ と $B(x)$ を図1のように配列させた。なお、表1から表11は、表頭は5年前居住地、表側は現住地を表す。

表1 死亡率移動率行列 $M(x)$

		0-4歳→5-9歳		5-9歳→10-14歳		10-14歳→15-19歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	東京都	0.040	-0.003	0.040	-0.004	0.027	-0.003
	その他地域	-0.040	0.004	-0.040	0.004	-0.027	0.003

		15-19歳→20-24歳		20-24歳→25-29歳		25-29歳→30-34歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	東京都	0.009	-0.006	0.026	-0.015	0.073	-0.007
	その他地域	-0.009	0.006	-0.026	0.016	-0.073	0.007

		30-34歳→35-39歳		35-39歳→40-44歳		40-44歳→45-49歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	東京都	0.023	-0.010	0.048	-0.001	0.024	-0.009
	その他地域	-0.023	0.010	-0.047	0.001	-0.023	0.010

		45-49歳→50-54歳		50-54歳→55-59歳		55-59歳→60-64歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	東京都	0.056	-0.002	0.026	-0.008	0.067	-0.001
	その他地域	-0.054	0.003	-0.023	0.010	-0.063	0.004

		60-64歳→65-69歳		65-69歳→70-74歳		70-74歳→75-79歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	東京都	0.017	-0.005	0.071	-0.001	0.186	-0.003
	その他地域	-0.012	0.011	-0.061	0.010	-0.001	0.188

		75-79歳→80-84歳		80-84歳→85-89歳		85歳以上→90歳以上	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	東京都	0.085	0.000	0.048	-0.007	0.252	-0.006
	その他地域	-0.065	0.023	-0.011	0.050	0.000	0.155

⁸ 試算に用いた基礎データは、次のとおりである。①2010年の国勢調査（総務省統計局）に基づく東京都と全国の常住人口（男女計、年齢5歳階級別）、②2010年の人口動態統計（厚生労働省）に基づく東京都と全国の母親の年齢階級別出生数（男女計）及び死亡数（男女計、年齢5歳階級別）

その他地域のデータは、全国の数から東京都の値を差し引いて求めた。

なお、本稿における基礎データから算出した出生率は、母親の年齢階級別出生数を男女計の5歳階級別常住人口で除した率である。

表2 $I + \frac{5}{2}M(x+5)$

		0-4歳→5-9歳		5-9歳→10-14歳		10-14歳→15-19歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都		1.101	-0.010	1.068	-0.007	1.023	-0.014
その他地域		-0.100	1.011	-0.068	1.008	-0.022	1.015

		15-19歳→20-24歳		20-24歳→25-29歳		25-29歳→30-34歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都		1.065	-0.038	1.183	-0.017	1.058	-0.025
その他地域		-0.064	1.039	-0.182	1.018	-0.057	1.026

		30-34歳→35-39歳		35-39歳→40-44歳		40-44歳→45-49歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都		1.120	-0.001	1.061	-0.023	1.139	-0.005
その他地域		-0.119	1.003	-0.058	1.025	-0.135	1.008

		45-49歳→50-54歳		50-54歳→55-59歳		55-59歳→60-64歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都		1.065	-0.020	1.167	-0.003	1.043	-0.014
その他地域		-0.058	1.026	-0.157	1.011	-0.031	1.027

		60-64歳→65-69歳		65-69歳→70-74歳		70-74歳→75-79歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都		1.177	-0.002	1.063	-0.016	1.212	0.000
その他地域		-0.152	1.025	-0.032	1.051	-0.163	1.056

		75-79歳→80-84歳		80歳以上→85歳以上	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都		1.119	-0.018	1.261	-0.028
その他地域		-0.027	1.126	0.000	0.774

表3 $\left[I + \frac{5}{2} M(x+5) \right]^{-1}$

		0-4歳→5-9歳		5-9歳→10-14歳		10-14歳→15-19歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.909	0.009	0.937	0.007	0.978	0.014	
その他地域	0.090	0.990	0.063	0.993	0.022	0.986	

		15-19歳→20-24歳		20-24歳→25-29歳		25-29歳→30-34歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.941	0.034	0.847	0.014	0.947	0.023	
その他地域	0.058	0.965	0.152	0.985	0.052	0.976	

		30-34歳→35-39歳		35-39歳→40-44歳		40-44歳→45-49歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.893	0.001	0.944	0.021	0.878	0.004	
その他地域	0.106	0.997	0.054	0.977	0.118	0.992	

		45-49歳→50-54歳		50-54歳→55-59歳		55-59歳→60-64歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.940	0.018	0.858	0.002	0.959	0.013	
その他地域	0.054	0.976	0.134	0.990	0.029	0.975	

		60-64歳→65-69歳		65-69歳→70-74歳		70-74歳→75-79歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.850	0.002	0.941	0.014	0.825	0.000	
その他地域	0.126	0.976	0.029	0.952	0.127	0.947	

		75-79歳→80-84歳		80歳以上→85歳以上	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.894	0.014	0.793	0.029	
その他地域	0.021	0.889	0.000	1.292	

表 4 $I - \frac{5}{2}M(x)$

		0-4歳→5-9歳		5-9歳→10-14歳		10-14歳→15-19歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.899	0.008	0.899	0.010	0.932	0.007	
その他地域	0.100	0.991	0.100	0.989	0.068	0.992	

		15-19歳→20-24歳		20-24歳→25-29歳		25-29歳→30-34歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.977	0.014	0.935	0.038	0.817	0.017	
その他地域	0.022	0.985	0.064	0.961	0.182	0.982	

		30-34歳→35-39歳		35-39歳→40-44歳		40-44歳→45-49歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.942	0.025	0.880	0.001	0.939	0.023	
その他地域	0.057	0.974	0.119	0.997	0.058	0.975	

		45-49歳→50-54歳		50-54歳→55-59歳		55-59歳→60-64歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.861	0.005	0.935	0.020	0.833	0.003	
その他地域	0.135	0.992	0.058	0.974	0.157	0.989	

		60-64歳→65-69歳		65-69歳→70-74歳		70-74歳→75-79歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.957	0.014	0.823	0.002	0.937	0.016	
その他地域	0.031	0.973	0.152	0.975	0.032	0.949	

		75-79歳→80-84歳		80歳以上→85歳以上	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.788	0.000	0.881	0.018	
その他地域	0.163	0.944	0.027	0.874	

表 5 生存に関する行列 $S(x)$

		0-4歳→5-9歳		5-9歳→10-14歳		10-14歳→15-19歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.819	0.017	0.843	0.017	0.913	0.021	
その他地域	0.180	0.982	0.156	0.983	0.087	0.978	

		15-19歳→20-24歳		20-24歳→25-29歳		25-29歳→30-34歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.920	0.047	0.793	0.046	0.777	0.039	
その他地域	0.078	0.951	0.205	0.952	0.221	0.960	

		30-34歳→35-39歳		35-39歳→40-44歳		40-44歳→45-49歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.842	0.023	0.833	0.022	0.825	0.024	
その他地域	0.156	0.974	0.163	0.974	0.169	0.970	

		45-49歳→50-54歳		50-54歳→55-59歳		55-59歳→60-64歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.812	0.023	0.802	0.019	0.801	0.015	
その他地域	0.178	0.968	0.183	0.967	0.178	0.964	

		60-64歳→65-69歳		65-69歳→70-74歳		70-74歳→75-79歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.813	0.014	0.777	0.016	0.773	0.013	
その他地域	0.151	0.952	0.168	0.929	0.149	0.900	

		75-79歳→80-84歳		80歳以上→85歳以上	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.707	0.013	0.699	0.039	
その他地域	0.161	0.838	0.035	1.130	

表 6 出生率行列 $F(x)$

		0-4歳→5-9歳		5-9歳→10-14歳		10-14歳→15-19歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
その他地域	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

		15-19歳→20-24歳		20-24歳→25-29歳		25-29歳→30-34歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.001	0.000	0.007	0.000	0.025	0.000	
その他地域	0.000	0.002	0.000	0.013	0.000	0.034	

		30-34歳→35-39歳		35-39歳→40-44歳		40-44歳→45-49歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.040	0.000	0.027	0.000	0.008	0.000	
その他地域	0.000	0.052	0.000	0.027	0.000	0.005	

		45-49歳→50-54歳		50-54歳→55-59歳		55-59歳→60-64歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
その他地域	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表 7 $F(x+5)S(x)$

		0-4歳→5-9歳		5-9歳→10-14歳		10-14歳→15-19歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	
その他地域	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	

		15-19歳→20-24歳		20-24歳→25-29歳		25-29歳→30-34歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.006	0.000	0.020	0.001	0.031	0.002	
その他地域	0.001	0.012	0.007	0.033	0.011	0.050	

		30-34歳→35-39歳		35-39歳→40-44歳		40-44歳→45-49歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.023	0.001	0.006	0.000	0.000	0.000	
その他地域	0.004	0.027	0.001	0.005	0.000	0.000	

		45-49歳→50-54歳		50-54歳→55-59歳		55-59歳→60-64歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
その他地域	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

		60-64歳→65-69歳		65-69歳→70-74歳		70-74歳→75-79歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
その他地域	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

		75-79歳→80-84歳		80歳以上→85歳以上	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.000	0.000	0.000	0.000	
その他地域	0.000	0.000	0.000	0.000	

表 8 $F(x) + F(x+5)S(x)$

		0-4歳→5-9歳		5-9歳→10-14歳		10-14歳→15-19歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
その他地域	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002

		15-19歳→20-24歳		20-24歳→25-29歳		25-29歳→30-34歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.007	0.000	0.026	0.001	0.056	0.002	
その他地域	0.001	0.014	0.007	0.045	0.011	0.084	

		30-34歳→35-39歳		35-39歳→40-44歳		40-44歳→45-49歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.063	0.001	0.034	0.000	0.008	0.000	
その他地域	0.004	0.078	0.001	0.032	0.000	0.005	

		45-49歳→50-54歳		50-54歳→55-59歳		55-59歳→60-64歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
その他地域	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

		60-64歳→65-69歳		65-69歳→70-74歳		70-74歳→75-79歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
その他地域	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

		75-79歳→80-84歳		80歳以上→85歳以上	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
その他地域	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表9 $I + \frac{5}{2}M(0)$

		0-4歳→5-9歳		5-9歳→10-14歳		10-14歳→15-19歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	1.101	-0.008	1.101	-0.008	1.101	-0.008	
その他地域	-0.100	1.009	-0.100	1.009	-0.100	1.009	

		15-19歳→20-24歳		20-24歳→25-29歳		25-29歳→30-34歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	1.101	-0.008	1.101	-0.008	1.101	-0.008	
その他地域	-0.100	1.009	-0.100	1.009	-0.100	1.009	

		30-34歳→35-39歳		35-39歳→40-44歳		40-44歳→45-49歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	1.101	-0.008	1.101	-0.008	1.101	-0.008	
その他地域	-0.100	1.009	-0.100	1.009	-0.100	1.009	

		45-49歳→50-54歳		50-54歳→55-59歳		55-59歳→60-64歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	1.101	-0.008	1.101	-0.008	1.101	-0.008	
その他地域	-0.100	1.009	-0.100	1.009	-0.100	1.009	

		60-64歳→65-69歳		65-69歳→70-74歳		70-74歳→75-79歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	1.101	-0.008	1.101	-0.008	1.101	-0.008	
その他地域	-0.100	1.009	-0.100	1.009	-0.100	1.009	

		75-79歳→80-84歳		80歳以上→85歳以上	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	1.101	-0.008	1.101	-0.008	
その他地域	-0.100	1.009	-0.100	1.009	

表 10 $\left[\mathbf{I} + \frac{5}{2} \mathbf{M}(0) \right]^{-1}$

		0-4歳→5-9歳		5-9歳→10-14歳		10-14歳→15-19歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.909	0.007	0.909	0.007	0.909	0.007	
その他地域	0.090	0.992	0.090	0.992	0.090	0.992	

		15-19歳→20-24歳		20-24歳→25-29歳		25-29歳→30-34歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.909	0.007	0.909	0.007	0.909	0.007	
その他地域	0.090	0.992	0.090	0.992	0.090	0.992	

		30-34歳→35-39歳		35-39歳→40-44歳		40-44歳→45-49歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.909	0.007	0.909	0.007	0.909	0.007	
その他地域	0.090	0.992	0.090	0.992	0.090	0.992	

		45-49歳→50-54歳		50-54歳→55-59歳		55-59歳→60-64歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.909	0.007	0.909	0.007	0.909	0.007	
その他地域	0.090	0.992	0.090	0.992	0.090	0.992	

		60-64歳→65-69歳		65-69歳→70-74歳		70-74歳→75-79歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.909	0.007	0.909	0.007	0.909	0.007	
その他地域	0.090	0.992	0.090	0.992	0.090	0.992	

		75-79歳→80-84歳		80歳以上→85歳以上	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都	0.909	0.007	0.909	0.007	
その他地域	0.090	0.992	0.090	0.992	

表 11 出生・生存率行列 $B(x)$

		0-4歳→5-9歳		5-9歳→10-14歳		10-14歳→15-19歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都		0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000
その他地域		0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.005

		15-19歳→20-24歳		20-24歳→25-29歳		25-29歳→30-34歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都		0.016	0.001	0.060	0.003	0.127	0.005
その他地域		0.004	0.034	0.023	0.112	0.041	0.208

		30-34歳→35-39歳		35-39歳→40-44歳		40-44歳→45-49歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都		0.143	0.003	0.076	0.001	0.018	0.000
その他地域		0.025	0.194	0.009	0.079	0.002	0.012

		45-49歳→50-54歳		50-54歳→55-59歳		55-59歳→60-64歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都		0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
その他地域		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

		60-64歳→65-69歳		65-69歳→70-74歳		70-74歳→75-79歳	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
その他地域		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

		75-79歳→80-84歳		80歳以上→85歳以上	
		東京都	その他地域	東京都	その他地域
東京都		0.000	0.000	0.000	0.000
その他地域		0.000	0.000	0.000	0.000

t-5年の 常住地		0-4歳		5-9歳		10-14歳		15-19歳		...		45-49歳		...		80-84歳		85歳以上	
		東京都	その他 地域	東京都	その他 地域	東京都	その他 地域	東京都	その他 地域	東京都	その他 地域	東京都	その他 地域	東京都	その他 地域	東京都	その他 地域	東京都	その他 地域
0-4歳	東京都					0.0025	0.0001	0.0163	0.0010	...	...	0.0006	0.0000						
	その他 地域					0.0006	0.0045	0.0041	0.0343	...	...	0.0001	0.0003						
5-9歳	東京都	0.8185	0.0166	B(x)															
	その他 地域	0.1800	0.9820																
10-14歳	東京都			0.8433	0.0166														
	その他 地域			0.1563	0.9830														
15-19歳	東京都				0.9126	0.02092													
	その他 地域				0.08681	0.97843													
...	東京都					...	...										
	その他 地域					...	...										
45-49歳	東京都						0.82523	0.02393											
	その他 地域						0.16853	0.9702											
...	東京都							...	...								
	その他 地域							...	...								
80-84歳	東京都									0.70705	0.01323								
	その他 地域									0.16131	0.83846								
85歳以上	東京都											0.69947	0.03889						
	その他 地域											0.03475	1.12961						

図1 東京都の人口に応用した一般化レスリー行列

$\{K^{(t+5)}\} = G \cdot \{K^{(t)}\}$ の推計は、図2のとおり、期首人口に2010年の人口をセットし、各率が配置された一般化レスリー行列との積によって、2015年の東京都の5歳階級別人口を推計した。

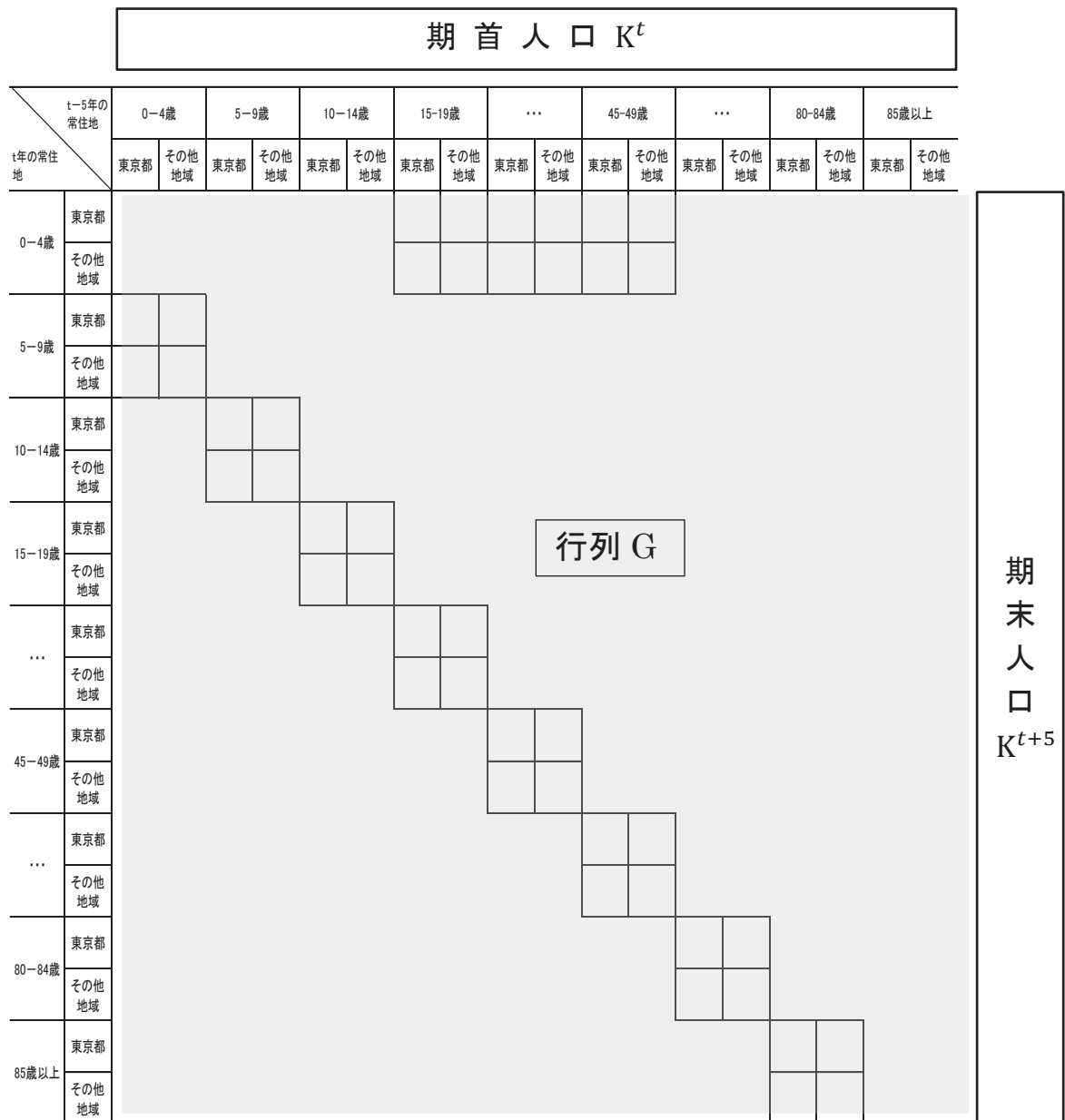


図2 モデル推計のイメージ

試算結果は、表1のとおりである。25歳未満の年齢階級においてやや乖離がみられたものの、全体的には概ね2015年国勢調査の結果と近似した。また、全年齢階級を積み上げた合計（総人口）では、2015年国勢調査の実績値よりも1万弱程度下回ったものの実績値にかなり近い結果が得られた。

表 1 2010 年国勢調査データを用いた 2015 年推計の試算結果
(東京都の 5 歳階級別人口)

単位:人

年齢階級区分	2015年国勢調査 実績値	2015年推計値	乖離(推計値-実績値)
0-4歳	526,693	529,528	2,835
5-9歳	501,345	495,008	-6,337
10-14歳	495,315	498,583	3,268
15-19歳	572,290	569,194	-3,096
20-24歳	776,599	770,825	-5,774
25-29歳	893,277	895,048	1,771
30-34歳	996,665	996,060	-605
35-39歳	1,061,764	1,061,062	-702
40-44歳	1,176,675	1,177,550	875
45-49歳	1,067,672	1,067,934	262
50-54歳	907,423	907,389	-34
55-59歳	735,458	735,852	394
60-64歳	738,372	737,241	-1,131
65-69歳	870,289	870,198	-91
70-74歳	726,526	726,625	99
75-79歳	595,446	594,763	-683
80-84歳	459,411	459,806	395
85歳以上	414,051	413,329	-722
計	13,515,271	13,505,995	-9,276

また、年齢 3 区分別による試算結果は表 2 のとおりである。年齢 3 区分別人口の構成比は、15-64 歳の区分で実績値よりも若干下回り、0-14 歳及び 65 歳以上の区分で実績値よりも若干上回ったが、小数第一位ではほぼ一致する結果となった。

表 2 2010 年国勢調査データを用いた 2015 年推計の試算結果
(東京都の年齢 3 区分別人口の構成比)

単位:%、%ポイント

年齢3区分	2015年国勢調査 実績値	2015年推計値	乖離(推計値-実績値)
0-14歳	11.27	11.28	0.006
15-64歳	66.05	66.03	-0.014
65歳以上	22.68	22.69	0.008

さらに、ロジャーズ - ウィルキンス・モデルによる 2015 年を試算した結果について、単一地域人口分析の手法を用いた東京都(2013) による 2015 年の推計値⁹と比較してみたところ、表 3 のとおりとなった。人口移動の影響が大きい 15-64 歳人口において差が大きく生じている。

表 3 ロジャーズ - ウィルキンス・モデルの試算結果と東京都(2013)による
2015 年推計値の比較

単位：人

年齢3区分	2015年国勢調査結果 (実績値)	予測値		実績値との差	
		東京都(2013)推計	ロジャーズ-ウィルキン ス・モデル推計	東京都(2013)推計	ロジャーズ-ウィルキン ス・モデル推計
0-14歳	1,523,353	1,473,749	1,523,119	-49,604	-234
15-64歳	8,926,195	8,790,946	8,918,154	-135,249	-8,041
65歳以上	3,065,723	3,064,513	3,064,721	-1,210	-1,002

おわりに

本稿では、ロジャーズ - ウィルキンス・モデルを東京都の人口に応用するにあたり、川嶋他(1982)を参考に 2010 年の国勢調査等の人口データを用いて 2015 年の試算を行った。試算結果は、2015 年国勢調査結果の実績値にかなり近い結果が得られた。同モデルは、初期人口と推計時点までの出生率、死亡率、移動率が正確に与えられれば、産業連関分析と同様に、モデル自体は定義式であるので推計時点の人口は誤差がほとんど無いはずである。今回試算した結果が 2015 年国勢調査の実績値と差が生じた要因として、試算に用いた基礎データのうち、「国勢調査」の移動データに含まれる移動不詳の影響が考えられる。また、同モデルの推計結果について単一地域人口分析の手法を用いて推計されたものと比較したところ、人口移動の影響が大きい年齢区分において推計結果に差が大きく生じ、東京都とその他地域間を構造的に捉えた同モデルの推計値が 2015 年国勢調査実績値に近い結果となったことが示された。

今後は、同モデルの長期の将来予測への応用にあたり、基礎データの整備や $\{\mathbf{K}^{(t+5)}\} = \mathbf{G} \cdot \{\mathbf{K}^{(t)}\}$ を構成する部分行列の $\mathbf{S}(x)$ や $\mathbf{B}(x)$ の導出に必要な人口変動要因パラメータ（死亡率や転出率及び出生率）の設定について時系列的にどのように変化させていくかが課題であると考えている。また、同モデルの年齢階級区分の対象範囲については、今回の試算で

⁹ 東京都(2013)、表 3 で引用した推計値は、東京都総務局が 2013 年 3 月に公表した「東京都男女年齢(5 歳階級)別人口の予測」によるものである。この予測は、2010 年の国勢調査結果に基づく人口を基準とし、2015 年、2020 年、2025 年、2030 年、2035 年の将来 5 時点における東京都の 62 区市町村ごとに男女別、5 歳階級別人口を予測したもので、「コーホート要因法」が用いられている。

は0-4歳から85歳以上までの18階級としたが、 $S(x)$ のその他地域に残留する80歳以上→85歳以上の生存率が1を超える結果となった。これは、85歳以上が一括りでまとめられており、かつ85歳以上を超える年齢階級の生存率が上昇しているからである。今後、基礎データが整備されてきた場合は、85歳以上についても年齢階級区分を5歳階級別に区分することが考えられる。

参考文献

- 川嶋辰彦・大鹿 隆・大平純彦・木村文勝(1982),「わが国の地域別年齢階級別将来人口像 — ロジャーズ-ウィルキンス・モデル(IIASA モデル)の応用—」,『学習院大学経済集』,18(2),pp.3-69
- 河邊 宏(1983),「わが国における地域人口推計の系譜」,『人口問題研究』,165号,pp.20-31
- 黒田俊夫・岡崎陽一・南條善治・鈴木啓祐・大塚友美(1980),「ロジャーズモデルとその日本人人口への適用」,『日本統計学会誌』, Vol.10, No.1, pp.73-83
- 小池司朗(2008),「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,pp.87-110
- 櫻井祐子・菅幹雄(2016),「東京都の人口予測」,『統計研究参考資料』117, 法政大学日本統計研究所
- 鈴木啓祐(1981),「ロジャースの地域別人口分析法とその方法のわが国における地域別人口の構造分析への適用」,『流通経済大学論集』, 15(3), pp.39-87
- 舘 稔(1960),『形式人口学』, 古今書院
- 東京都総務局統計部(2013),「東京都男女年齢(5歳階級)別人口の予測」, 推計資料第65号
- R.ウーズ・河邊 宏・小笠原節夫・高橋眞一(1983),『地域人口分析法—地理学と人口学の接点—』, pp.303-308, 古今書院
- Rogers,A.(1975) "Estimating Interregional Population and Migration Operator from Interregional Population Distribution," *Demography*, Vol.4,No.2, pp.515-531
- Willekens,F. and Rogers,A.(1978) "Spatial Population Analysis: Methods and Computer Programs",RR-78-18, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria
- Zenji Nanjo, Tatsuhiko Kawashima, Toshio Kuroda "MIGRATION AND SETTLEMENT : 13. JAPAN", RR-82-5, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria

オケージョナル・ペーパー(既刊一覧)

号	タイトル	刊行年月
68	「その他全ての自由人」―「マイノリティ」への米国センサス調査の初期事例―	2016.11
69	2010年代前半東京50キロ圏におけるインバウンド・アウトバウンド移動者の距離帯別年齢特性について	2016.12
70	東京多摩地区における域内人口移動の空間的特徴とその変化	2016.12
71	東京多摩地区から特別区部への人口移動の空間的特徴とその変化	2016.12
72	東京50キロ圏における距離帯間の移動選好について―住民基本台帳人口移動報告「参考表」による年齢階級別移動状況―	2017.01
73	つくばEX沿線における地域間人口移動について	2017.01
74	「チャイニーズ」と「ホワイト」との間で ―1852年カリフォルニア州センサスにおける中国人をめぐる調査の実態―	2017.01
75	鉄道開業前・後期における鉄道沿線域内人口移動について ―つくばEX沿線域内18市・区間の移動を事例として―	2017.02
76	首都圏南西翼地域における距離帯間・距離帯内移動について	2017.02
77	首都60キロ圏における移動ホットスポットの検出	2017.03
78	地域間移動における転出・転入移動圏とその特徴 ―首都60キロ圏を対象地域として―	2017.04
79	首都60キロ圏における20歳代移動者の移動圏について	2017.04
80	1880年ドイツ帝国営業調査構想について ―エンゲルの「建白書」を中心にして―	2017.04
81	転出入移動圏から見た地域人口移動の方向的特性について	2017.05
82	ビスマルク政権とプロイセン統計局 1862-82年 ―エンゲルのプロイセン統計局退陣をめぐる―	2017.05
83	角度情報を用いた東京40キロ圏の子育期世代の移動分析	2017.06
84	移動選好度による居住移動圏の検出 ―住民基本台帳人口移動報告「参考表」(2012-16年)による分析―	2017.10
85	九州・沖縄地方の域内移動から見た移動圏とその構造	2018.01
86	QGISによる西武国分寺線沿線の産業構造分析	2018.02
87	The Simulation Results of Expenditure Patterns of Virtual Marriage Households Consisting of Working Couples Synthesized by Statistical Matching Method	2018.03

オケージョナル・ペーパー No.88

2018年3月1日

発行所 法政大学日本統計研究所

〒194-0298 東京都町田市相原4342

Tel 042-783-2325、2326

Fax 042-783-2332

jsri@adm.hosei.ac.jp

発行人 菅 幹雄