

掛川市の年少人口実績データを用いた マイクロシミュレーションモデルの検証

○岩田 恵人（静岡大学大学院） 與野木 龍 李 皓（静岡大学）

Verification of Micro-Simulation Model Using Actual Results of Young Population in Kakegawa City

* K. Iwata (Shizuoka University Graduate School), R. Yonoki and H. Lee (Shizuoka University)

概要一 日本において少子高齢化や空き家問題が進行している。これらの問題に行政が対応していくためには、人口分布予測や施策の影響評価を行った上で有効な対策を講じる必要がある。同様に、掛川市の総人口、年少人口も減少傾向にある。市内の人口分布状況は今後も変化していくと考えられるため、少子高齢化対策に向けて10、20年後における人口分布を推定・把握することが必要となる。これら都市問題の把握や政策検討にマイクロシミュレーションの導入が進んでおり、都市構造が変化していく中で、都市政策の効果や影響を推定する際に有効な手法として活用されている。

本研究では掛川市の全人口、年少人口実績データを導入し、マイクロシミュレーションモデルによる推定結果を検証する。

キーワード: マイクロシミュレーション, SA 法, 個票生成

1 はじめに

日本の少子高齢化が進行し、今後の人口推計では Fig. 1 に示す通り、総人口が 2048 年に 1 億人を割り 9,913 万人になると見込まれている。その中で大きな問題の一つとなるのが空き家の増加である。全国の空き家数は Fig. 2 に示す通り、平成 25 年には空き家数・空き家率共に過去最高を記録した。¹⁾

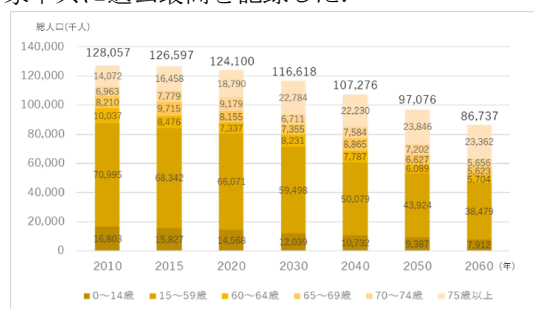


Fig. 1: 年齢区分別将来人口推計。

内閣府「将来推計人口でみる50年後の日本」¹⁾を基に作成

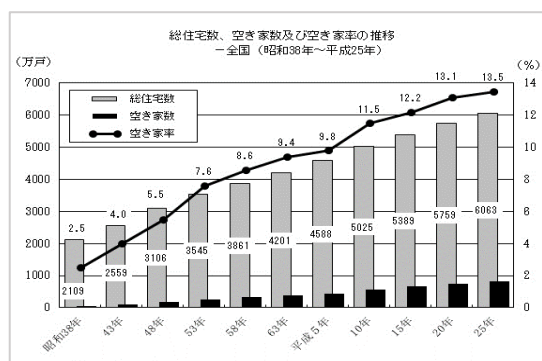


Fig. 2: 総住宅数、空き家数及び空き家率の推移。²⁾

これらの問題は掛川市においても例外ではなく、Fig. 3 で示す通り掛川市の総人口、年少人口も減少傾向にある。³⁾市内の人口分布状況は今後も変化していくと考えられるため、少子高齢化社会にむけて、10、20年後における人口分布を推定・把握することが必要となる。

掛川市の人口推移(3区分)

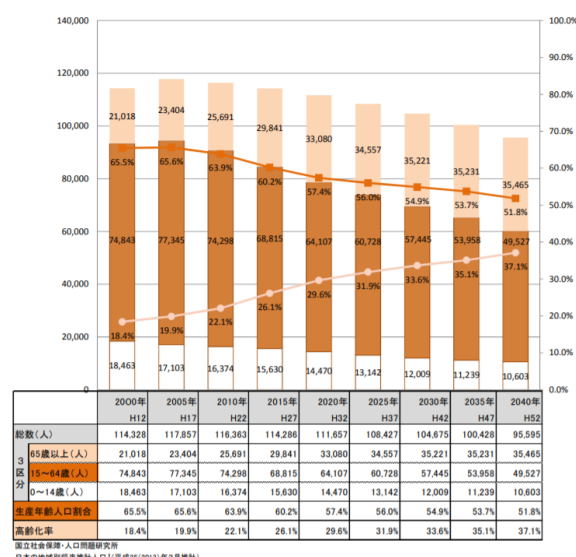


Fig. 3: 掛川市の人口推移。

これら都市問題の把握や政策検討にマイクロシミュレーションの導入が進んでおり、都市構造が変化していく中で、都市政策の効果や影響を推定する際に有効な手法として活用されている。これらの問題把握や政策検討にマイクロシミュレーションの導入が進んでいる。我々は掛川市の人口動態や世帯構成の変動をマイクロシミュレーションによって予測、分析し、予測結果の検証を行う。具体的には、掛川市の世帯、市民、企業、建物に関する仮想個票データベースを構築し、市民にライフイベントモデルを適用し、掛川市の自然動態、社会動態を表現することで、人口動態を推定する。

2 マイクロシミュレーションについて

本研究におけるマイクロシミュレーションは市民、世帯、企業といった活動主体の確率的な選択行動の積

み上げによって都市全体の動向を表現し、世帯構造の変化や政策の効果を分析する。マイクロシミュレーションは特に海外で活発に研究が進められており、UrbanSim⁴⁾などの実際の都市への適用事例が存在する。日本においては富山市の人口予測(鈴木・杉木・宮本, 2016)⁵⁾や京都市での京町家の取壊し状況の予測(花岡, 2009)⁶⁾が事例として挙げられる。

3 マイクロシミュレーションモデル

本研究のマイクロシミュレーションモデルは市民や世帯等の仮想個票を格納する「個票データベース」と人々の立地選択における意思決定やライフイベントの発生を表現する「意思決定モデル」、各種モデルの出力結果を可視化する「GIS」の3つの構成要素に分けられる。立地選択を表現するモデルは、結婚や就職等により転居の決まった世帯や移転が決定した企業の立地をそれぞれの属性を説明変数とする多項ロジットモデルによって選択する。本研究の視覚化としてはArcGISを用いる。ArcGISはEsri社が提供するGISプラットフォームであり、モデル出力結果の分析や可視化が可能である。

本研究の手順としては、まずシミュレーションの基盤となる掛川市の市民、世帯、企業、建物の仮想個票データベースを国勢調査や事業所統計等の各種統計データや掛川市による人口分布データを用いて構築し、市民にライフイベントモデルを適用することで、掛川市の全人口及び年少人口の分布状況の推定・検証を行う。

4 仮想個票データベースの構築

本研究の仮想個票データベースに格納されているそれぞれの個票データが持つ属性は以下の通りである。仮想個票は原田・村田⁷⁾⁸⁾により合成されたものをベースに、不足データの推定を改めて行った。個票データは日本人口の約95%をカバーする9種類の世帯類型で構成されており、推定結果は実際の人口よりも少なく出力される。

市民(市民番号, 世帯番号, 年齢, 性別, 世帯内の役割, 収入, 産業タイプ, 所属企業の規模, 交通手段, 従業地(大分類), 所属企業)
世帯(世帯番号, 世帯類型, 世帯人数, 建物番号, 町丁目コード)
企業(企業番号, 町丁目コード, 産業タイプ, 組織タイプ, 従業者数, 建物番号)
建物(建物番号, 緯度, 経度, 建物の構造, 町丁目コード, 建築面積, 住宅タイプ)

4.1 SA法を用いた個票合成

本研究における仮想個票の合成方法には、統計データに適合させるSA法を用いた手法とモンテカルロ法を適用した手法を用いている。本研究のSA法では統計データと仮想個票データとの誤差を計算する目的関数を設計し、誤差を最小化していく。初期仮想個票データを構築するために建物への企業割当と企業への市民割当にSA法とモンテカルロ法を用いた。割当手順をFig. 4に示す。

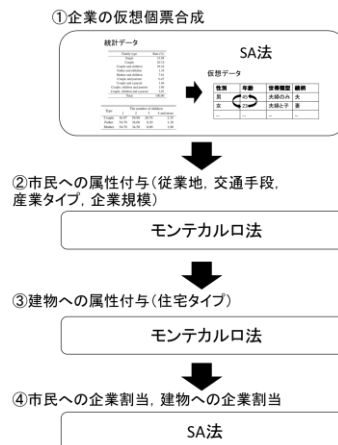


Fig. 4: 企業への市民割当, 建物への企業割当手順.

4.2 SA法について

SA法とは、解空間の中から設定した目的関数を満たす最適解を探索する最適化アルゴリズムである。SA法の特徴は温度パラメータを使用した、確率的な改悪解への遷移であり、確率によって最適解から遠ざかる解の遷移を行うことで局所最適解からの脱出を可能としている。解の遷移は式(1)に示す、メトロポリス基準に従い、改良する解はすべて受理、改悪する解は確率的に受理する。改悪解を受理する確率は温度が下がるにつれ低くなり、解の変化量が大きいほど低くなる。

$$Prob(accept) = \begin{cases} 1 & \text{if } \Delta E \leq 0 \\ \exp\left(-\frac{\Delta E}{T}\right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots (1)$$

$$\Delta E = (E' - E)$$

この仕組みにより、安定して大域的最適解を求めることができるため、本研究の仮想データの最適化に用いることとした。

4.3 企業データベースの構築

企業のデータベースはSA法を用いて企業に関する統計データに適合するように合成を行う。企業データは産業分類, 町丁・大字, 従業者数を示す属性で構成されている。テーブルはcompany, industry_type, town, district, cityがある。companyテーブルは、企業を一意的な値で示すcompany_idと大字単位の立地を示しシミュレーション上の建物に割り振るためのtown_code, 産業分類を示すindustry_type_id, 従業者数を示すemployeeで構成される。

企業データの構成を表すE-R図をFig. 5に示す。companyテーブルは初期生成により、town_code, industry_type_idが割り振られる。employeeは従業者割り振り度で付与され、SA法による最適化の対象となる。townは外部キーとしてdistrict_codeを持ち、districtは外部キーとしてcity_codeを持つことで、townとdistrict, cityを関連付けている。

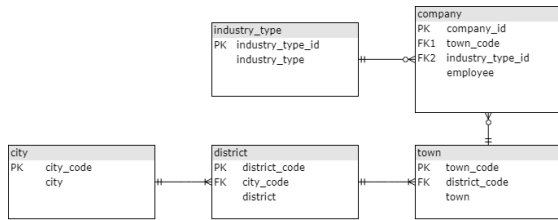


Fig. 5: 企業仮想データの E-R 図.

適合させる統計データは掛川市が公開している平成21年事業所統計を用い、以下が対象の統計データとなる。

- (1) 産業分類, 町丁目別事業所数
- (2) 産業分類, 町丁目別従業者数
- (3) 産業分類, 行政区, 企業規模別事業所数
- (4) 産業分類, 行政区, 企業規模別従業者数

これらの統計データを用い、産業分類, 町丁目, 従業者数に関する属性を持つ企業を合成する。最適化にあたり使用した目的関数は村田ら⁷⁾⁸⁾が用いているものである。目的関数を式(2)に示す。

$$f_s(A) = \sum_{j=1}^{G_s} |C_{sj}(A) - \text{Round}(r_{sj} \cdot m_{sj}(A))| \cdots (2)$$

A : 復元データ

s : 統計データの種類

G_s : 統計データの項目数

c_{sj} : 統計データ s の条件 X_{sj} と Y_{sj} を満たす, 復元データの人・組の数

r_{sj} : 統計データ s の項目 j の正しい割合の値

m_{sj} : 統計データ s の条件 X_{sj} を満たす, 復元データの人・組の数

式(2)の目的関数では $r_{sj} \cdot m_{sj}$ を四捨五入で整数値に丸めることで、小数点以下の誤差を考慮する必要がない。また、重み付けを行わないため、新たに統計データを追加する際に重み付けの値を再検証する必要がないといった特徴がある。式(2)で求められる目的関数値は統計データとの誤差を表すため、この値が0に近いほど復元データが統計データの割合に一致していることになり、復元データの市民の年齢を変更し、目的関数値を変化させ、統計データの割合に近い復元データを生成することが目標となる。本研究の個票生成では、式(2)の目的関数を基に統計データとの誤差の最適化を行う。SA法による最適化を行った結果、各統計データに対して99%以上適合した企業仮想データが生成された。

4.4 建物への企業割当結果

Fig. 6は掛川駅周辺の企業割当状況を示している。多くの企業が割り当てられる建物もあるが、実際のデータがないため、建物割当に関する正当性は保証できない。一方で、町丁目単位の事業所数は統計データに対して99%以上適合しており、概ね現実的な割当が行われていると考えられる。

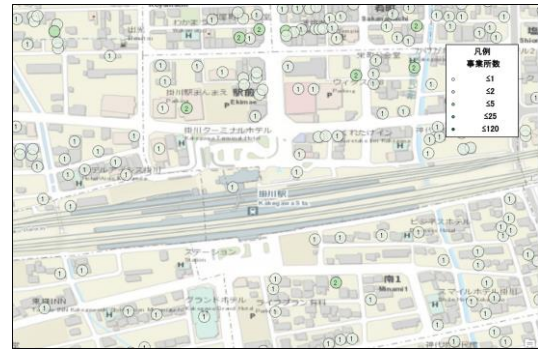


Fig. 6: 建物への企業割当.

5 ライフイベントとモデル設計

5.1 ライフイベント

1) 加齢イベント

加齢イベントはデータベース内の市民の年齢に1加えるイベントである。これ以降の市民の各イベント発生確率は加齢した年齢を基に算出される。

2) 死亡イベント

死亡イベントは生存している市民に対して男女別年齢別の死亡確率を与え、死亡が決定した市民はこれ以降のライフイベントの適用外となる。死亡確率は式(3)に示すワイブル分布の累積生存関数によって表される。

$$S(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\beta} \right)^\alpha \right] \quad (t \geq 0) \quad (3)$$

t : 年齢

パラメータは静岡県の平成22年、平成27年は都道府県別生命表、それ以外の年度は簡易生命表を基に算出する。推定したパラメータ α 、 β をTable 1に示す。

Table 1: 平成 22 年死亡モデルのパラメータ推定結果.

パラメータ	男性	女性
α	9.393	9.209
β	86.902	94.653

3) 進学・就職イベント

進学・就職イベントは18歳、22歳の市民に対して大学、専門学校等への進学確率、就職確率を与える。18歳の市民に対する進学確率及び就職確率は静岡県の平成22年学校基本調査統計表「高校卒業後」を基に算出し、22歳の市民に対する進学確率及び就職確率は平成22年学校基本調査卒業後状況調査を基に算出した。就職イベントが発生した市民は、各事業所に配属され、収入、産業タイプ、所属企業の規模、交通手段、従業地(大分類)、所属企業に関する属性が付与される。上記の統計データより算出した進学確率及び就職確率をTable 2に示す。

Table 2: 進学確率, 就職確率.

	進学確率	就職確率
高校卒業	0.696	0.213
大学卒業	0.116	0.697

4) 結婚イベント

結婚イベントは男性は18-49歳, 女性は16-49歳の未婚者を対象として, 男女別年齢別の結婚確率を与える. 結婚確率は平成22年人口動態調査年齢別男女別婚姻件数を基に算出した. 統計データより算出した各年齢の男女別婚姻確率をFig. 7に示す.

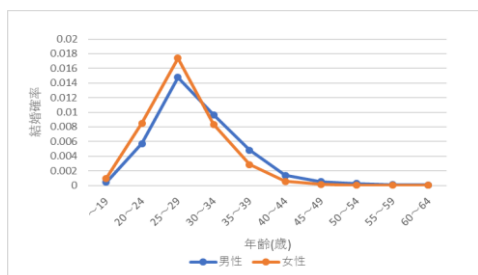


Fig. 7: 年齢別男女別結婚確率.

結婚が決定した市民は同様に結婚が決定した異性と結婚する. 結婚の際は, 結婚相手との年齢差が確率的に決定され, 決定した年齢差の異性とマッチングする. 年齢差別結婚確率は平成22年人口動態調査初婚夫婦の年齢差別婚姻件数(全国)を基に算出する. マッチングしたカップルは新規世帯として世帯データベースに追加され, 立地選択モデルによって, 居住する行政区を決定する.

5) 出生イベント

出生イベントは母の年齢別, 出生順位別の出生確率を与え, 新たな市民をデータベースに追加する. 出生確率は式(4)で示すような一般化対数ガンマ分布⁹⁾によって与えられる.

$$g_n(x) = \frac{C_n \lambda^n}{b_n \Gamma(\lambda^{-2})} (\lambda^{-2})^{\lambda n^2} \exp \left[\lambda_n^{-1} \left(\frac{x - u_n}{b_n} \right) - \lambda_n^{-2} \exp \left(\lambda_n \left(\frac{x - u_n}{b_n} \right) \right) \right] \quad (4)$$

$\Gamma()$: ガンマ関数 C_n, u_n, b_n, λ_n : パラメータ

各パラメータは平成22年, 平成27年人口動態調査の年齢別, 出生順位別出生数(全国)を基に推定した. 算出したパラメータをTable 3に示す.

Table 3: 平成22年出生モデルのパラメータ推定結果.

パラメータ	第一子	第二子	第三子
C_n	0.68494	0.49571	0.21262
U_n	28.48892	30.43673	31.79038
b_n	5.33179	4.94055	4.62677
λ_n	-0.09045	-0.12520	0.28426

6) 転居イベント

転居イベントはデータベース内の市民や世帯の転出確率, 新たに転入を行う世帯の転入確率を与え, データベース内の市民や世帯の転入出を行う. 高校から大学への進学に伴う転出確率は平成27年掛川市内高校実態調査より算出し, 掛川市外への転出確率を85.5%とした. 大学から企業への就職に伴う転出確率は平成27年静岡県内大学・専門学校実態調査より算出し, 掛川市外への転出確率を35.9%とした. 進学・就職以外の事由による20~25歳の転入確率, 転出確率を平成27年国勢調査の年齢(5歳階級), 男女別転出・転入人口より算出した. 算出した転入確率, 転出確率をFig. 8に示す.

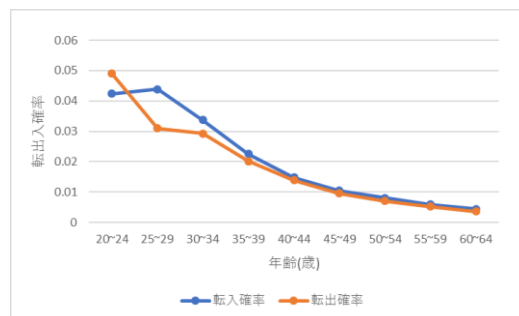


Fig. 8: 20~25歳の転入確率, 転出確率.

市内に転入する世帯には立地選択モデルが適用され, 居住する行政区が決定される.

5.2 立地選択モデル

立地選択モデルは新たに転入が決定した世帯や結婚イベントにより生成された世帯の転居先となる行政区を選択する. 立地選択は行政区 j を選択する多項ロジットモデルを世帯 n に適用することで行う. 立地選択モデルにおける多項ロジットモデルの選択確率及び効用関数を式(5), (6)に示す.

$$P_{jn} = \frac{\exp(V_{jn})}{\sum_{j \in A_n} \exp(V_{jn})} \quad (5)$$

$$V_{jn} = \sum_k \beta_k x_{jnk} \quad (6)$$

x : 説明変数 β : 重みパラメータ

行政区選択の効用関数の説明変数として掛川駅との距離, 事業所と住居の割合, 最寄駅の有無, 土地価格, 世帯人数, 世帯収入を適用する. 立地選択モデルの各パラメータは最尤推定法を用いて推定する.

6 シミュレーション結果と考察

本研究では, 掛川市における市民や世帯, 企業を格納したデータベースにライフイベントモデルを適用し, 掛川市の全体人口と年少人口の実データと比較・検証している. 実データと仮想データの自然動態に係わる各イベントの発生数をFig. 9, 10, 年少人口の推移をFig. 11, 年少人口実績データとの差の推移をFig. 12に示す.

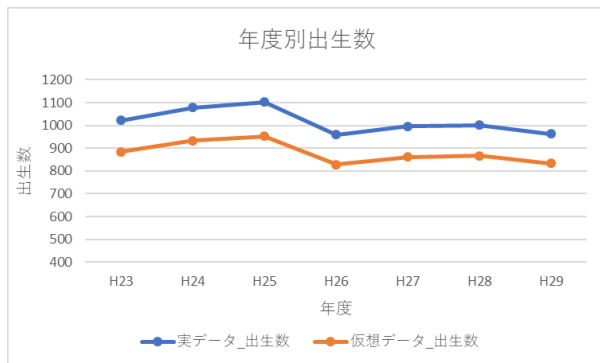


Fig. 9: 年度別出生数.

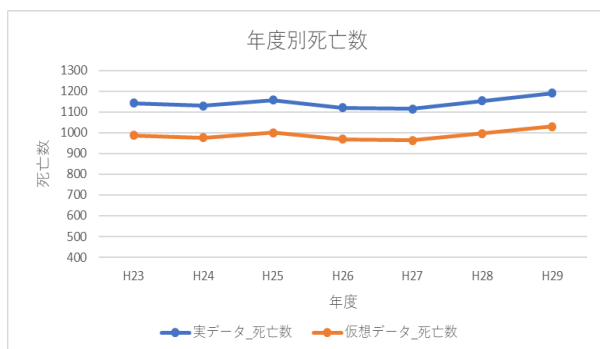


Fig. 10: 年度別死亡数.

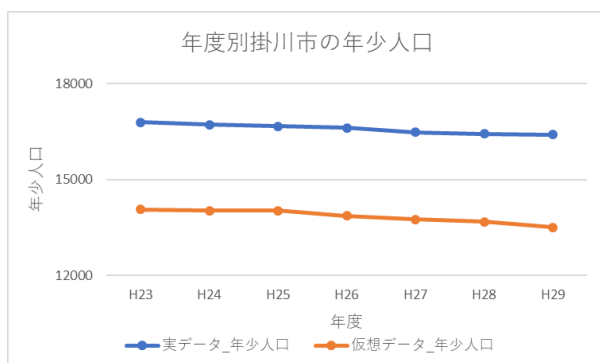


Fig. 11: 年度別掛川市の年少人口.

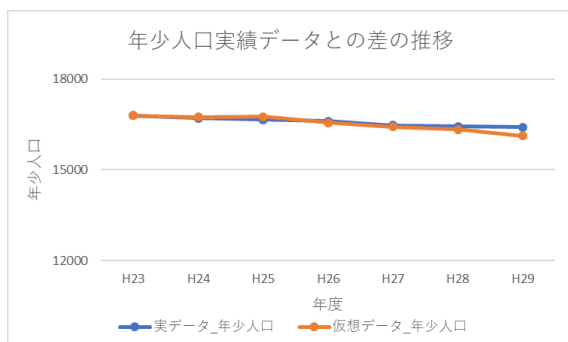


Fig. 12: 年少人口実績データとの差の推移.

世帯データベースから、例外となる世帯類型を除いた関係で、全体に人口のずれが見られるが、年度別の推移は実データに沿ったものとなっており、適切な自

然動態が表現できていると考えられる。仮想データにおける自然動態に係わる各イベントの発生率は概ね実データと一致しているが、年少人口の推移に若干の乖離が生じているため、年齢に重点を置いた上で、より高い精度でイベントの発生を表現する工夫が必要である。また、掛川市の全人口を含んだ個票データベースを構築し、シミュレーションを行う必要があると考えられる。

次に実データと仮想データにおける2010年時点の行政区別人口分布をFig. 13, 2017年時点の行政区別人口分布をFig. 14に示す。また、2010年時点の行政区別年少人口分布をFig. 15, 2017年時点の行政区別年少人口分布をFig. 16に示す。

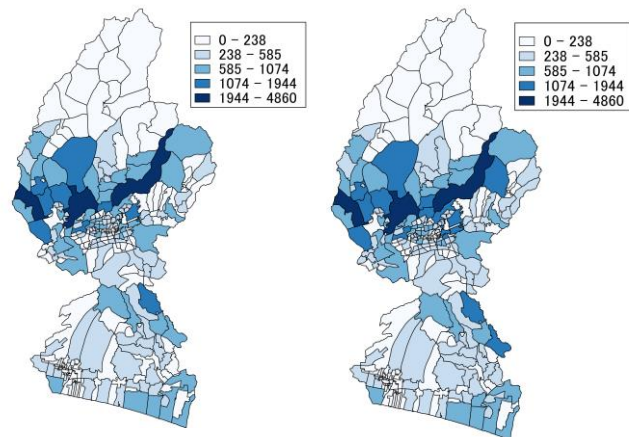


Fig. 13: 仮想データと実データの行政区別人口分布(2010年).

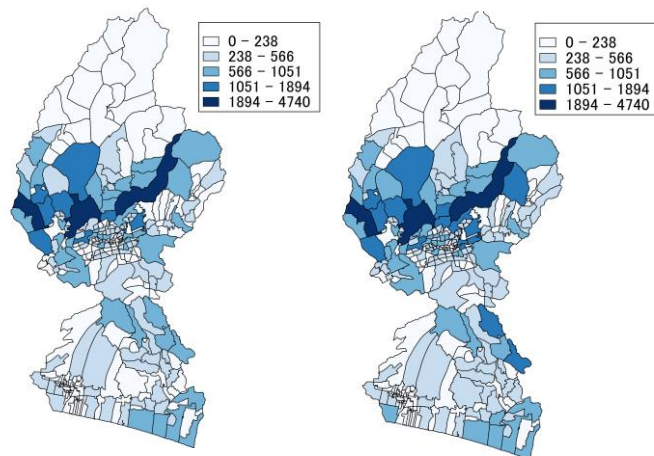


Fig. 14: 仮想データと実データの行政区別人口分布(2017年).

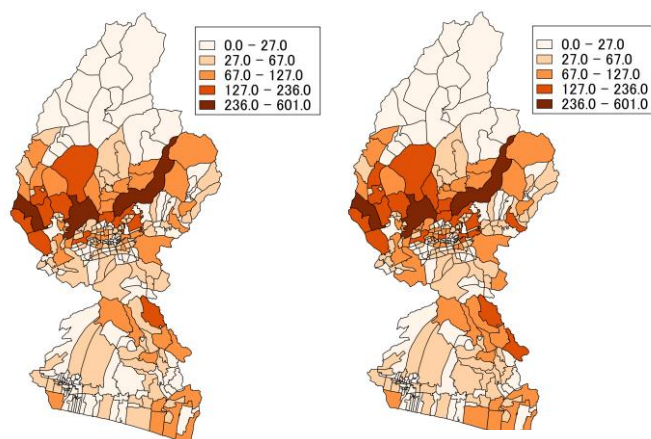


Fig. 15: 仮想データと実データの行政区別年少人口分布(2010年).

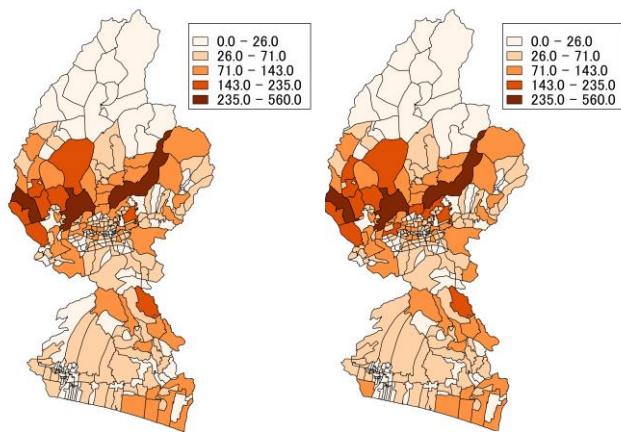


Fig. 16: 仮想データと実データの行政区別年少人口分布(2017 年).

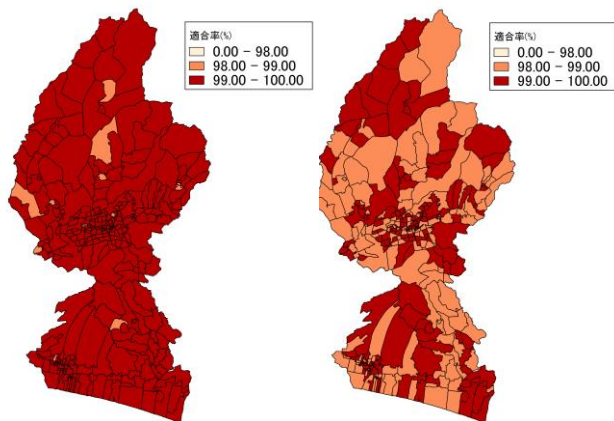


Fig. 17: 年少人口適合率の推移(2010 年, 2017 年).

「数値地図」(国土地理院)¹⁰⁾を基に作成

全体において、初期合成の時点で、除かれている例外の世帯類型の分、仮想データの人口が少なく、出力されているが、全人口、年少人口共に実データに近い人口分布となっていることが分かる。2017年の人口分布においても、概ね正確な人口分布となっており、市民や世帯に対して、適切なライフイベントの適用がなされていると考えられる。年少人口の仮想データと実データの適合率の算出結果をFig. 17に示す。2010年から2017年にかけて年少人口のずれが大きくなっており、立地選択モデルの導入や市民の年齢をより考慮した工夫が必要となる。

今後は立地選択モデルを掛川市のマイクロシミュレーションに適用し、行政区単位での人口の推移を推定することで、掛川市内における転居行動を検証する。

7 おわりに

本研究では、掛川市による人口推定結果を検証するためにマイクロシミュレーションを導入し、掛川市における人口動態を推定した。今回は構築した個票データベースにライフイベントモデルを適用し、掛川市の全人口、年少人口における自然動態の表現を行った。モデルの出力結果の妥当性を検証するために複数の初期仮想個票データを用いて、複数試行出力を行い、同様の結果が得られることを確認する必要がある。また、今回は実データが存在する平成29年までの検証に留まったが、5、10年後のシミュレーションを

実施することで新たな知見が得られると考えられる。今後は他市区町村からの転入、自市内での転居行動をシミュレーションし、掛川市における行政区別人口動態を推定する。

参考文献

- 1) https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2013/zenbun/s1_1_1_02.html
- 2) <https://www.stat.go.jp/data/jyutaku/topics/topi861.html>
- 3) <http://www.city.kakegawa.shizuoka.jp/data/open/cnt/3/11242/1/kakeawasinogenkyou.pdf>
- 4) Paul Waddell : UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation, and Environmental Planning, Journal of the American Planning Association, 68:3, 297-314 (2007)
- 5) 鈴木・杉木・宮本 : 空間的マイクロシミュレーションを用いた都市内人口分布の将来予測, 都市計画論文集, Vol.51 No.3 (2016)
- 6) 花岡 : 動的な空間的マイクロシミュレーションを用いた社会シミュレーション, 地学雑誌, Vol.108, No. 4, pp. 646-664(2009)
- 7) T.Murata, T.Harada, D.Masui : Comparing Transition Procedures in Modified Simulated-Annealing-Based Synthetic Reconstruction Method without Sample, Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.10, No.6, pp. 513-519 (2017)
- 8) T.Harada, T.Murata : Projecting Households of Synthetic Population on Building Using Fundamental Geospatial Data, Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.10, No.6, pp. 505-512 (2017)
- 9) 金子隆一 : 年齢別出生率の将来推計システム, 人口問題研究, 206, pp.17-38 (1993)
- 10) <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>