

世帯単位の将来都市構造予測モデルに基づく 都市構造評価Webアプリケーションの作成

阪田 知彦¹・鈴木 温²・杉木 直³・正木 俊行⁴・田 寛之⁵

¹正会員 国立研究開発法人建築研究所住宅・都市研究グループ (〒305-0802 茨城県つくば市立原1)

E-mail: sakata@kenken.go.jp (Corresponding Author)

²正会員 名城大学教授 理工学部社会基盤デザイン工学科

(〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1丁目501番地)

E-mail: atsuzuki@meijo-u.ac.jp

³正会員 豊橋技術科学大学准教授 建築・都市システム学系 (〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

E-mail: sugiki@ace.tut.ac.jp

⁴非会員 アカデミックエクスプレス株式会社 (〒305-0047 茨城県つくば市千現2-1-6)

E-mail: masaki@academic-express.com

⁵非会員 アカデミックエクスプレス株式会社 (〒305-0047 茨城県つくば市千現2-1-6)

E-mail: den@academic-express.com

本研究は、世帯マイクロシミュレーションに基づいた将来都市構造の予測技術の実用化の一環として行っているものである。そのうち、本稿は世帯マイクロシミュレーションに基づく予測結果の評価指標を計算し、それらを可視化するためのWebアプリケーションの構築とそのケーススタディに関するものである。まず、世帯マイクロシミュレーションに基づく都市構造予測モデルの概要を述べる。次にその結果からの指標算出や可視化方法について述べる。ここでは、4つの指標の算出を行うこととした。可視化の単位としては、1/4地域メッシュを採用した。最後にこれらを実装したWebアプリケーションの概要と、富山県富山市でのケーススタディについて述べる。

Key Words : householdbased micro-simulation, population synthesis, open data, web application

1. はじめに

本報では、世帯マイクロシミュレーションに基づいた将来都市構造予測技術の実用化^(注1)の一環として作成した都市構造評価Webアプリケーションに関して報告する。

本格的な人口減少期に入った我が国の今後の都市構造を考えるには、多様な観点からの検討が必要であるが、その1つとして、将来の住宅立地や世帯分布の詳細な動向把握が不可欠であると考えている。それを支える技術は様々あるが、その1つに世帯マイクロシミュレーション (HUMS:Household based Urban Micro-Simulation model) に基づいた将来予測^(注2)が提案されている。世帯マイクロシミュレーションを構成する大きな2つの要素として、①現況の個々人の個人属性と世帯構成を再現する初期世帯マイクロデータの生成と、②個々のライフイベント変化をモデル化した将来予測、がある。さらに、こうして予測された世帯単位でのマイクロデータを元にした将来の都市構造を評価することも重要な視点である。先行研究において、世帯マイクロシミュレーション技術の都市構

造の予測や評価における有用性は明らかになっているものの、そのハンドリングは非常に高度な知識や技術を要することが、実用化への1つの課題であったといえる。

本研究では、この課題に対して、主に下記のような方針で検討を行った。

方針1：世帯を単位としたマイクロシミュレーションを基盤として、オープンデータを元に都市構造の予測と評価を1年単位で行えるようにする

方針2：アプリケーションのメンテナンス性を考慮して、Webブラウザ上で操作・閲覧できるWebアプリケーションとする

方針3：ユーザーとしては、自治体からの都市計画関係業務を受注するコンサルタント等を想定する

このうち方針1については、鈴木ら^(注3)や水流ら^(注4)等と同様に、初期 (基準年) の世帯マイクロデータを準備し、それを毎年目標年次までそれぞれの世帯の振る舞いを元にした状態更新を行っていくことを基本とする構造を採用した (図-1)。図-1のうち、初期マイクロデータ生成については、阪田ら^(注5)での方法で行っている。本稿では、

第2期以降のライフイベント発生モデル，転出入モデル，住宅タイプ・転居ゾーン選択モデル，地価モデルによる都市構造の将来予測手法について2章で概説する。方針2と方針3を具体化するために行った予測結果を基にした評価機能を主とするWebアプリケーションの構築については3章で述べ、4章では富山県富山市でのケーススタディ事例の紹介を行うこととする。

2. ライフイベント等に基づく将来予測

(1) 概要

世帯マイクロシミュレーションでの将来予測では、個々の振る舞いをモデル化し、それを個人や世帯の単位で管理されたマイクロデータの初期状態もしくは前期の状態を更新していくことを基本とした方法が採られる。

本章の以降では、ライフイベント発生モデル，転出入モデル，住宅タイプ・転居ゾーン選択モデル，地価モデルについて概説する。

(2) ライフイベント発生モデル

本研究では、様々なライフイベントのうち、出生、加齢、死亡、結婚、離婚、就業・就学を取り上げ、これにより個人の振る舞いを規定することとした。さらに、ライフイベントにより決定した個人の属性に免許保有状況を加味した状態で、世帯タイプごとに世帯合流と離脱、そして世帯主を設定するといった処理を行うことにした。特に、これらのライフイベントをどの順番で実行するかが、個々のイベントのモデル化の複雑さと密接に関わってくることから、本研究では図-2 のような順序で一連のライフイベントを発生させることとした。

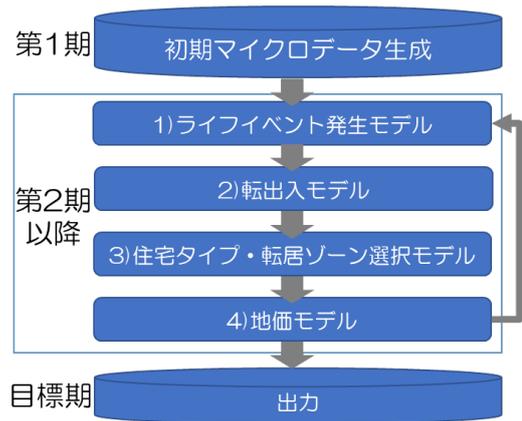
以降では、本研究で取り上げたライフイベントの主なものについて概説する。

a) 出生・加齢・死亡

個人の単位で見た時の基本的なライフイベントである。まず、一番単純な「加齢」は、死亡しない限り毎年年齢が1つ加算される処理を行っている。次に「死亡」は、性別年齢別死亡率に従い、モンテカルロ法により対象の個人を死亡させ、個人マイクロデータ上の状態フラグを「死亡」に変更する処理を行っている。出生は、結婚している女性を対象として、年齢別出生順位別出生率に従い、モンテカルロ法により年齢と出産人数に応じた確率で出生イベントを発生させている。これにより、新たに0歳の個人データが個人マイクロデータ上に追記される処理がなされる。

b) 結婚・離婚

結婚と離婚では、個人のライフイベントだけでなく、世帯の形成・分離などの要素も加わる。ここでは、個人



基本的なモデルとしては、初期状態のマイクロデータとそれを順動的に変更する1)~4)モデルを順に実行する。1期は年単位で設定可能

図-1 基本的なモデル構造



こうした個々のライフイベントを順次シミュレーションすることで、将来の予測を実施

図-2 ライフイベントの概要

マイクロデータ上の未婚（婚姻相手の ID が空のデータ）を対象として、次のイベントを発生させている。

- (ア) 性別年齢別結婚率に従い、モンテカルロ法により当年に結婚する男性と女性をそれぞれリストアップする
- (イ) 「夫の年齢に対する妻の年齢の割合」と「妻の年齢に対する夫の年齢の割合」を用いて、リストアップされた男女に配偶者の年齢を割り当てる
- (ウ) リストアップされた男女のうち、配偶者の年齢が一致しているペアが存在すれば結婚させる。ただし、母親の ID が同じ（＝兄弟）である場合は結婚させない
- (エ) ペアが成立しなかった残りの男女について、域外から当該年齢の配偶者を転入させ、結婚させる
- (オ) 結婚した夫婦の世帯が夫の世帯に合流するか、妻の世帯に合流するか、独立世帯を形成するかを、

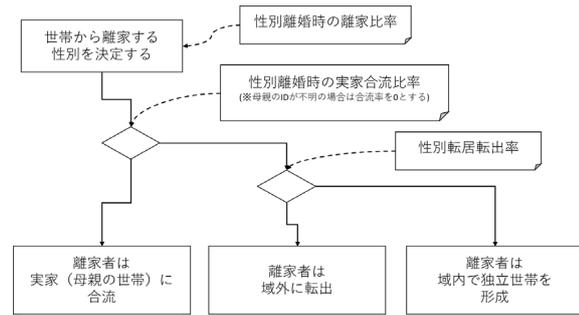


図-3 離婚の際の離家処理フロー

「結婚時の世帯合流比率」に従ってモンテカルロ法により決定する

一方、離婚については、個人マイクロデータ上の未婚(婚姻相手の ID が空でないデータ)を対象として、次のイベントを発生させている。

- (i) 性別年齢別離婚率に従い、モンテカルロ法により既婚男性を離婚させる
- (ii) 離婚の際の離家処理を図-3のフローに従って行う
- (iii) 離婚の際、妻が実母である子供は妻と行動をともにする

c) 就業・就学

これも、個人のライフイベントではあるが、世帯の変更が伴う場合もあるイベントである。ここでは、次のような処理を行っている。

a. 学生に対する処理

- ・ 「性別年齢別進学率」に従い、学生を進学または就職させるかを決定する
- ・ 「性別年齢別進学時離家確率」に従い、進学した学生を離家させる(世帯 ID の変更)
- ・ 「性別年齢別就職時離家確率」に従い、就職した学生を離家させる
- ・ 「性別年齢別 U ターン就職率」に従い、状態フラグが「一時的な転出」かつ当年に就職した学生を実家に合流させる

b. 学生以外に対する処理

当期のライフイベント(死亡、結婚に伴う域外からの転入、離婚に伴う域外への転出)により、マイクロデータ内の実際の性別年齢別職業割合は、前期の就業・就学イベントが終了した時点の性別年齢別職業割合から変化している状態である。つまり、当期の加齢イベントで x 歳となった個人は、前期の就業・就学イベントでは x-1 歳の性別年齢別職業割合にしたがって職業を割り当てられているため、x 歳の性別年齢別職業割合に従うよう職業を振り直す必要がある。上記の理由から、現状のマイクロデータ内の性別年齢別職業割合 r_A, r_B, r_C, r_D を、オ

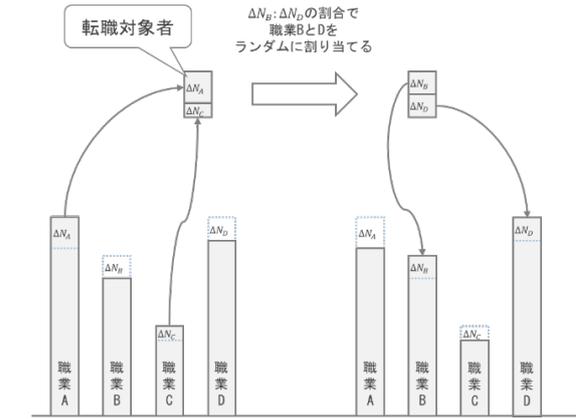


図-4 就業処理(ステップ1)の概念図

ープンデータから得られた性別年齢別職業割合 r_A', r_B', r_C', r_D' に変化させる処理が必要となる。

最も簡単な方法は、現状の職業を無視し、モンテカルロ法に従って全個人に r_A', r_B', r_C', r_D' の割合で職業を再割り当てすることであるが、1 年単位で転職を繰り返す個人が大量に生じてしまう問題がある。

そこで、ステップ1では必要最小限の職業遷移によって職業割合を目標に一致させ、ステップ2で全体の職業割合を保ったまま一定確率で振動的な職業遷移を発生させることにより、大部分の個人については従前の職業を維持したままで、任意の職業割合を実現することが可能となる。

ステップ1(図-4)：

- ① 性別年齢別人口に対する職業 A, B, C, D の割合 r_A, r_B, r_C, r_D に、以下の変更を加えるとする
 職業 A, C ⇒ 現状比減↓
 職業 B, D ⇒ 現状比増↑
- ② 変化前後で総人口は変化しないことから、各職業の人数の変化量の絶対値を ΔN_x としたとき下式が成り立つ

$$\Delta N_A + \Delta N_C = \Delta N_B + \Delta N_D \quad (1)$$

- ③ したがって、以下の手順で職業の付け替えを行うことで、転職する人数を必要最小限 ($\Delta N_A + \Delta N_C$ 人) に抑えた上で、性別年齢別人口に対する職業割合を変更できる
- ④ 職業 A から ΔN_A 人、職業 C から ΔN_C 人をそれぞれランダムに抽出し、転職対象者とする
- ⑤ $\Delta N_A + \Delta N_C$ 人の転職対象者に対して、
- ⑥ $\Delta N_B : \Delta N_D$ の割合で職業 B と職業 D をランダムに割り当てる

ステップ2：

- ① ステップ1では性別年齢別人口に対する職業割合は変化するが、もともと職業 B, D に就いてい

た個人は全員が同職にとどまることになる。つまり、職業 B, D から職業 A, C への遷移が一切発生しない

② そこでステップ 2 では職業割合を保ったまま、職業間でランダムな遷移 (= 摂動) を発生させる。具体的な処理内容は以下の通り。

- ・各職業から 10%(可変パラメータ)の個人をランダムに選択し、転職対象者とする(このとき、ステップ1で転職した個人も対象に含める)
- ・転職対象者に新たな職業をランダムに割り当てる。このとき、転職対象者内での各職業の割合が、性別年齢別人口に対する各職業と一致するようにする
- ・もともと職業 A だった転職対象者が再び職業 A に割り当てられる可能性もある。また、ステップ1で転職した個人が再び元の職業に戻り、結果的に転職が起きなかったこととなるケースもある

(3) 転出入モデル

世帯の転居や転出・転入のイベントを発生させるモデルである。前節までに世帯ごとの毎年の状態が更新されているため、この状態に対しての転居や転出等のイベントを考える。

基本的な処理の流れは、以下のようになっている。

- ・転居は、「世帯主年齢別世帯人数別転居率」に基づき、モンテカルロ法により世帯を転居させる(居住ゾーンを未定とする)
- ・転出は、「世帯主年齢別世帯人数別転出率」に基づき、モンテカルロ法により世帯を転出させる
- ・転入は、「性別 5 歳階級別人口の推移」と「平均世帯人数の推移」から性別 5 歳階級別人口フレームと総世帯数フレームを算出し、人口フレームから現在の性別 5 歳階級別人口を引き、不足分を転入者の性別 5 歳階級別人口とする。人口フレームよりも現在の性別 5 歳階級別人口が多い場合は、過剰な性別 5 歳階級を含む世帯を転出させる。次に、総世帯数フレームから現在の世帯数を引いたものを転入世帯数とする。
- ・転入世帯数を現在の域内の世帯人数別世帯数の割合で按分し、世帯人数別転入世帯数とする。さらに、転入人口と世帯人数別転入世帯数が整合するように、世帯人数別転入世帯数を調整する。
- ・最後に、『フレームとの差分により求めた転入者の性別 5 歳階級別人口』と『転入世帯数』を入力とし、初期マイクロデータ生成と同じアルゴリズムによって転入者(転入世帯)の世帯マイクロデータを生成する。

(4) 住宅タイプ・転居ゾーン選択モデル

前節では、世帯が立地するゾーンは未定として処理しているが、ここではその未定ゾーンに対しての住居タイプと転居ゾーンの選択を行う。

まず、住居タイプ選択では、世帯の属性を変数とする多項ロジットモデルによって行う。世帯 n の住居タイプ選択肢集合 A_n は、 $A_n = \{j=1$ (持家戸建), $j=2$ (持家集合), $j=3$ (賃貸戸建), $j=4$ (賃貸集合) $\}$ の 4 タイプとする。住宅タイプ選択モデルにおける多項ロジットモデルの選択確率および効用関数の確定項に関する式は以下の通り。

$$P_{jn} = \frac{e^{V_{jn}}}{\sum_{j \in A_n} e^{V_{jn}}}, \quad (j \in A_n) \quad (2)$$

$$V_{jn} = \sum_k \theta_k X_{jnk}, \quad (j \in A_n) \quad (3)$$

効用関数は線形を仮定し、特性変数として、以前の居住地(市内: 1, 市外: 0)、以前の住宅タイプ(持家: 1, 借家: 0)、世帯主年齢、世帯人数、フルタイム職ダミーを用いる。また、選択肢特性変数として持家戸建、持家集合、賃貸戸建に対してそれぞれ固有ダミーを設定する。

一方、転居ゾーン選択は、「ゾーン別転入率」に従い、モンテカルロ法によって居住ゾーンが未定の世帯に居住ゾーンを割り当てている。

(5) 地価モデル

前節までの処理で、ゾーンごとの世帯数等が決定しているため、これらを元に地価更新を次の方法で行う。

地価推定の方法は既存の手法が様々あることから、ここでは別途算出される「地価推定モデルパラメータ」で設定された係数 $\alpha_0, \alpha_{X_0}, \alpha_{X_8}, \alpha_{LH}$ を用いて次式によりゾーンごとの地価を算出することとした。

$$\text{地価} = e^{\alpha_{X_0} X_0 + \alpha_{X_8} X_8 + \alpha_{LH} \ln(L/H) + \alpha_0} \quad (4)$$

各変数の意味は表-1 の通り。世帯数 H 以外の値は「ゾーン別地価推定用データ」から取得し、世帯数 H は現時点のマイクロデータから集計した値を使用する。

表-1 地価更新にかかる各変数の意味

X0	富山駅との距離 (km単位) の対数を取った値
X8	市街化調整区域ダミー値
L	建物用地の総面積 (㎡単位)
H	当年に当該ゾーンに居住している世帯の数

3. 評価機能と Web アプリケーションの構築

前章で予測された結果のパフォーマンスを測るための評価機能を中心とした Web アプリケーションを構築した。

(1) 評価機能の検討

前章での方法で予測されたマイクロデータを元に、その評価を行う機能を検討した。

まずは、どういう指標を取り上げるかについて、国土技術政策総合研究所都市研究部で検討された都市の将来像アセスメントツール⁴⁾等の既往研究を参考に、今回のシミュレーション結果との親和性を考慮して、世帯類型バランス、災害危険区域の居住者数、空き家、駅アクセス圏内人口の4種類を実装することとした(表-2)。

指標の計算方法については、マイクロデータを元にして、既往研究の方法とは異なる方法も採用している。また、評価結果を可視化する単位としては、1/4 地域メッシュ (250mメッシュ) を採用することにした。

(2) Web アプリケーションへの実装

これまでの検討の成果を受けて、Web アプリケーションへの実装を行った。開発言語は Python, WebGIS の機能は Leaflet を用いた。

実装した Web アプリケーションの構造を図-5 に示す。基本的には、Web 上での応答性に配慮し、計算量の負荷が大きく長時間の計算時間を要する初期マイクロデータ生成の機能は、運用者があらかじめ Web アプリケーション

表-2 今回実装した評価指標

分類	評価指標	定義	単位	集計対象	マップ表示	グラフ表示
1. 世帯類型バランス	世帯類型別世帯割合	全世帯数に占める集計対象世帯の割合	世帯数の割合	子育て世帯	○	—
	世帯類型別世帯数	集計対象世帯の数	世帯数	[*1]	○	—
	世帯類型割合のジニ係数	各250mメッシュの集計世帯の割合から、不均衡さを示す指標であるジニ係数を算出する。	ジニ係数	高齢世帯	—	○
2. 災害危険区域の居住者数	災害危険区域の居住者数	災害危険区域に指定された250mメッシュに居住する集計対象世帯の世帯人数の合計	人数	全世帯 高齢世帯	○	○
	空き家数	住宅タイプ別の空き家数	住居数[*3]	全住宅	○	○
3. 空き家	空き家率	住宅タイプ別の空き家率	住居数[*3]の割合	戸建 集合	○	○
	駅アクセス圏内人口	最寄りの駅メッシュから800[m]圏内の250mメッシュに居住する集計対象個人の数	人数	全人口	○	○
4. 駅アクセス圏内人口	駅アクセス圏内人口割合	集計対象個人の都市全域の人口に対し、上記の駅アクセス圏内人口が占める割合	人数の割合	免許未保有 高齢	—	○

[*1]世帯内に15歳以下の個人が含まれる世帯 [*2]全構成員の年齢が65歳以上の世帯 [*3]集合住宅の場合は部屋数

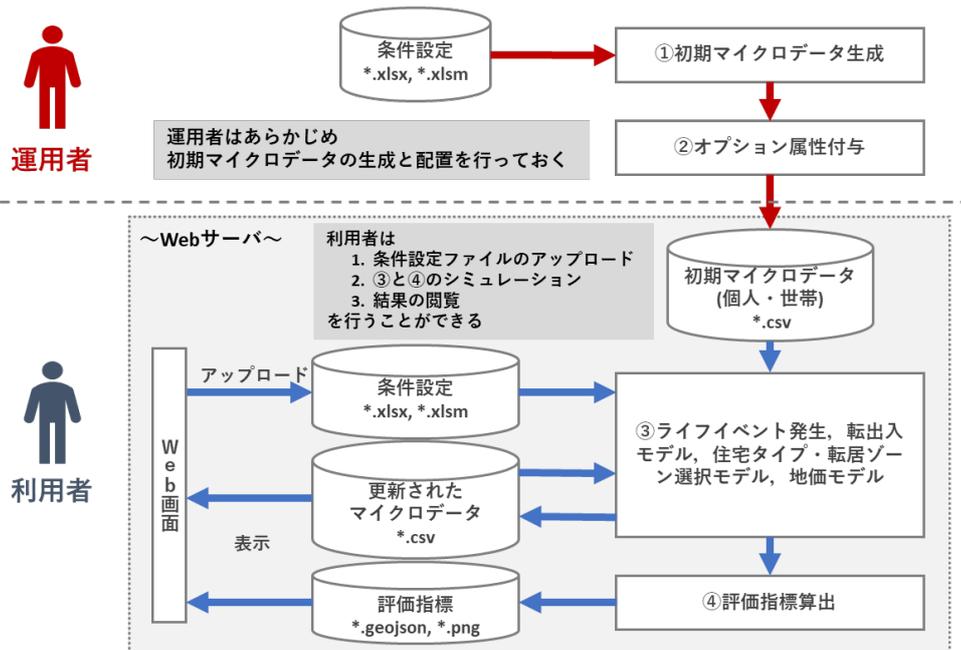


図-5 Web アプリケーションの構造

ン外で実行し、その初期マイクロデータファイルを Web アプリケーションにアップロードすることにした。これ以外の機能は、利用者が Web ブラウザーを介して条件設定をアップロードすると、予測結果や評価結果が地図上とグラフ表現で可視化されるようになる。可視化画面上では、閲覧したい指標の表示/非表示や、各年次の結果を表示するスライダーを実装している。現段階でのバージョンでは、個々の設定条件ごとに可視化できるようになっているが、現在複数の設定条件間の評価結果の比較ができるような仕組みの追加作業を実施している途上である。

4. ケーススタディー事例

前章までに構築した Web アプリケーションを用いて、富山県富山市でのケーススタディーを行った。なお、このケーススタディーでの設定条件は同市の都市施策上との関連性はない。

ここでは2つの事例について示す。

○世帯類型別世帯割合—子育て世帯の将来変化

世帯類型別世帯割合のジニ係数の分布を示したのが図-6である。2015年では値が高いメッシュが郊外部に多く存在するが、2025年では値が半分程度になっているメッシュが多くなっていることがわかる。つまり、子育て

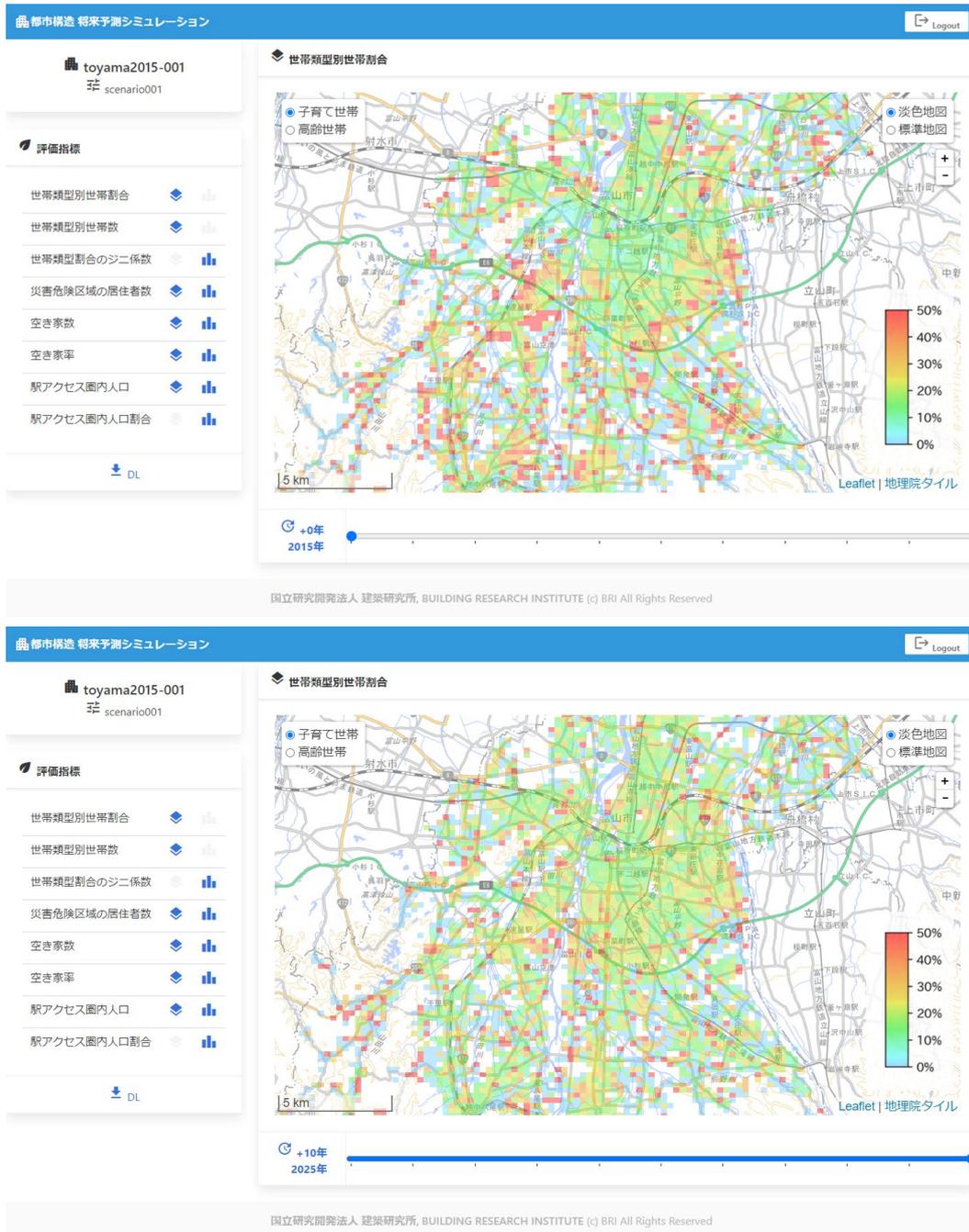


図-6 ケーススタディー事例：世帯類型別世帯割合—子育て世帯の将来変化，2015年（上）2025年（下）

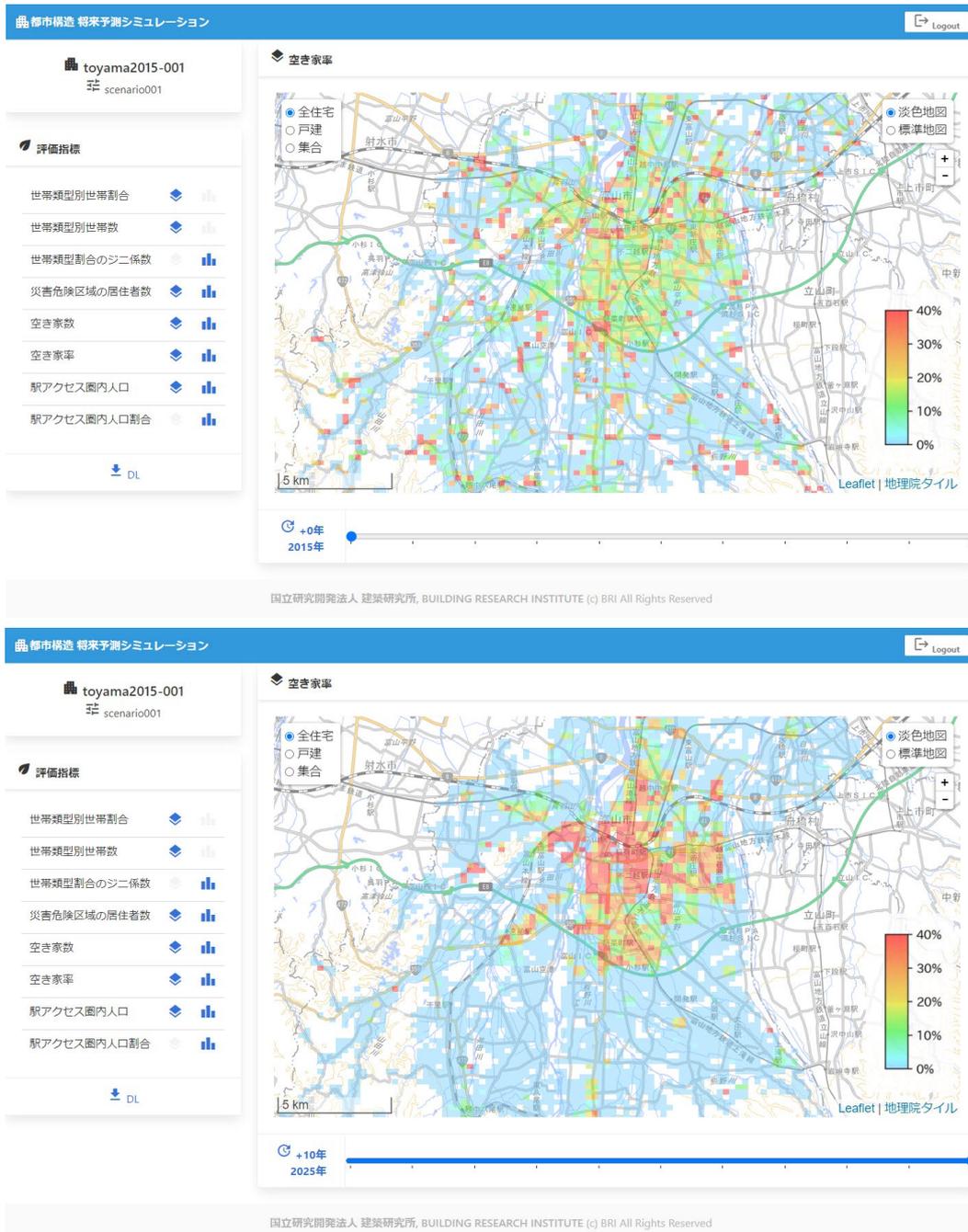


図-7 ケーススタディー事例：空き家の将来変化，2015年（上）2025年（下）

世帯の分布自体に大きな変化はないものの、その需要密度が下がる地域があることから、こうした観点を考慮した子育て関連の施設立地や施策の必要性等が見てとれる。
○空き家の将来変化

空き家率の変化を示したのが図-7である。2015年では市中央部が郊外部よりも若干高い値を示しており、郊外地の一部のメッシュでは非常に高い値を示している。2025年になると、市中心部での空き家率が上昇し、郊外部で高い値だったメッシュでは相対的に値が低下する現象が見られる。こうした変化が起こる原因については、モデルの精査を含めて目下検討しているところである。

5. まとめ

以上、世帯マイクロシミュレーションに基づいた将来都市構造予測技術の実用化の一環として作成した都市構造評価Webアプリケーションに関して報告した。目下改良作業を継続している途上であるが、2021年度内には第一弾のリリースを予定している。

今後の課題・展開としては、都市規模や都市の様相の異なるケーススタディのさらなる蓄積によるパラメータのチューニングや、生成結果の精度検証等があげられる。これらについては、機会を改めたい。

注釈

注1) 本研究は、国立研究開発法人建築研究所研究課題「将来都市構造の予測・評価手法の高度化による目標管理・推進評価技術の開発（平成28～令和3年度）」の一環として実施した。

参考文献

- 1) 鈴木温, 杉木直, 宮本和明: 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—人口40万人規模の富山市を対象として—, 都市計画論文集, Vol.51 No.3, 2016
- 2) 水流風馬, 平野巧真, 鈴木温: オープンデータを用いた初期世帯マイクロデータ生成方法に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.60, CD-ROM, 2019
- 3) 阪田知彦, 鈴木温, 杉木直, 正木俊行, 田寛之: 世帯を単位とした将来推計における初期世帯マイクロデータ生成の高速化, 土木計画学研究・論文集, Vol.76, 1_425-1435, 2021.
- 4) 国土技術政策総合研究所都市研究部: 都市の将来像アセスメントツール技術資料, <http://www.nilim.go.jp/lab/jbg/depopulation/assessment/assessment-tdocj-v1.0.pdf> (2021年9月29日確認)

WEB APPLICATIONS FOR EVALUATION OF URBAN STRUCTURE BASED ON FUTURE URBAN STRUCTURE FORECAST MODEL BY THE HOUSEHOLD UNIT

Tomohiko SAKATA, Atsushi SUZUKI, Nao SUGIKI, Toshiyuki MASAKI
and Hiroyuki Den