

道路途絶時の脆弱性評価のための 社会ダイナミクスシミュレーション

水野 杏菜¹・倉内 文孝²・杉木 直³

¹正会員 一般財団法人計量計画研究所 (〒162-0845 新宿区市谷本村町2-9)

E-mail: amizuno@ibs.or.jp

²正会員 岐阜大学教授 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜市柳戸1-1)

E-mail: kurauchi@gifu-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

平常時と道路途絶時の施設選択に関するアクセシビリティ指標により道路途絶時の脆弱性を評価するために、本研究では、岐阜県下呂市を対象とし、初期世帯マイクロデータ推定モデルから2010年の人口・世帯分布に基づいた初期世帯マイクロデータの生成とライフイベントや転居、地価の変動、施設アクセスの変化を加味したマイクロシミュレーション型都市モデルへの適用を行った。適用したモデルにより、平常時と道路途絶時のアクセシビリティ指標から経年的な脆弱性の評価を行い、アクセシビリティ指標の変化要因を明らかにしたほか、モデルから推定された2030年の社会状況に、施設立地や交通ネットワークを変化させた複数のシナリオ実施することによって、さまざまな状況下の道路途絶時の脆弱性を測り、モデルの活用法を示した。

Key Words : *society dynamics simulation model, secular change, accessibility, vulnerability*

1. はじめに

急速な高齢化や過疎化などの社会構造変化が生じるなか、持続可能な社会の構築は重要な課題である。持続可能性確保のために、市町村合併などによる効率化や集約性を向上させる施策が行われているが、地方都市ではそのような施策により、集約の中心になる地域とそれ以外の地域では享受できるサービスや利便性の差が大きくなることが考えられる。一方、近年災害が頻繁に発生する中、このような効率化を図られた社会では、移動距離などの観点から災害時に脆弱性が高まることが考えられる。平常時の施策が災害時の脆弱性を高めるという仮説を検証するにあたり、平常時に起こる土地利用や立地、交通環境の変化などに伴い、人の行動がどのように変化するかを理解することが必要である。そのような中で、個人や世帯などの最小単位の行動主体個々を対象に操作することで、人口分布や世帯構造の将来予測などの経時的な変化の表現や、都市政策の効果等を分析可能なモデルとして、マイクロシミュレーション型都市モデルが提案されている。先駆的な研究として、林ら¹は、サンプルデ

ータを用い、個人属性の変化や住宅立地に関する意思決定などを非集計モデルなどによってモデル化している。シミュレーション初期時点のマイクロデータを推定する手法では、杉木ら²による、サンプルマイクロデータの各属性の相関性や既存統計を用いるものが提案されている。また、鈴木ら³は、アンケート調査をもとに作成した初回試行時の初期世帯情報を用い、約40万人規模の富山市を対象にマイクロシミュレーション型都市モデルを構築したほか、長尾ら⁴は、オープンデータのみを使用し、メッシュベースでのマイクロシミュレーション型都市モデルを構築した。さらに、長尾ら⁵は仮想都市を対象に、個人とその集合体である世帯、それらが立地する都市空間を対象としたマルチレイヤネットワークモデルを構築し、個人や世帯の属性変化や立地、施設アクセスの変化をノードとリンクの変化として記述する手法を提示しているほか、平沼ら⁶は生活利便施設として買物施設の立地変化をシミュレーションに取り入れ、個人や世帯の遷移と生活利便施設の立地遷移の相互作用を表現している。これらの既往研究では、主体行動を行う個人に着目した分析や、刻一刻と変化する平常時の社会状態

の変容を表現することを可能にし、平常時の居住誘導などの施策評価に活用することができることを示しているが、災害時の施設利用に着目した評価を行っているものはない。そこで、本研究では、長尾ら^{4)・5)}の先行研究で構築された初期世帯マイクロデータ推定モデルおよび社会ダイナミクスシミュレーションモデルを岐阜県下呂市に適用し、平常時の社会状態の推定と平常時と災害時のアクセシビリティ指標の差異を比較することで災害時の脆弱性の評価を行う。また、様々な施策を仮定した結果から導かれる一般化時間（一般化費用）を用いた災害前後のアクセシビリティ指標から、本モデルの活用法を示す。

2. シミュレーションモデルの概要

本研究の目的である、経時的な社会の様相の変化に伴う災害時における社会の脆弱性を評価するにあたり、本章では、本研究で用いるシミュレーション初期年次の世帯データを生成する初期世帯マイクロデータ推定モデルと、人口分布や世帯構成など地域の様相の経時的な変化を表現する社会ダイナミクスシミュレーションモデルについて説明する。これらのモデルは長尾らによるマイクロシミュレーション型都市モデルをベースにしているが、モデルに使用した確率の導出方法が異なる部分がある。

(1) 初期世帯マイクロデータ推定モデル

初期世帯マイクロデータ推定モデルの全体構造を図-1に示す。初期世帯マイクロデータの生成は、まず推定を行う前にあらかじめ対象地域の居住ゾーンごとに世帯人数別世帯数を確定し、周辺分布として設定する。その後、1.世帯タイプの付加・世帯構成員の生成、2.ゾーン別周辺分布との調整、3.オプション属性の付加の順に推定を行う。世帯や個人属性の付加はモンテカルロ法により確率的に行う。世帯タイプの付加にあたっては、平成22年国勢調査の世帯の家族類型、世帯人員別一般世帯数から世帯人数ごとの構成割合が大きいものを考慮している。本研究で対象とする世帯構成を表-1に示す。世帯タイプを割り振ったのち、親子や夫婦の年齢関係を考慮し、世帯構成員の性別、年齢階層、世帯内世代、婚姻関係等の属性情報を付加する。また、オプション属性として、住宅タイプ、就学・就業状態、運転免許保有状態の情報を付加する。

(2) 社会ダイナミクスシミュレーションモデル

社会ダイナミクスシミュレーションモデルの全体構造を図-2に示す。本シミュレーションモデルはタイムステップごとに個人属性や世帯構成の変化を表現するライフ

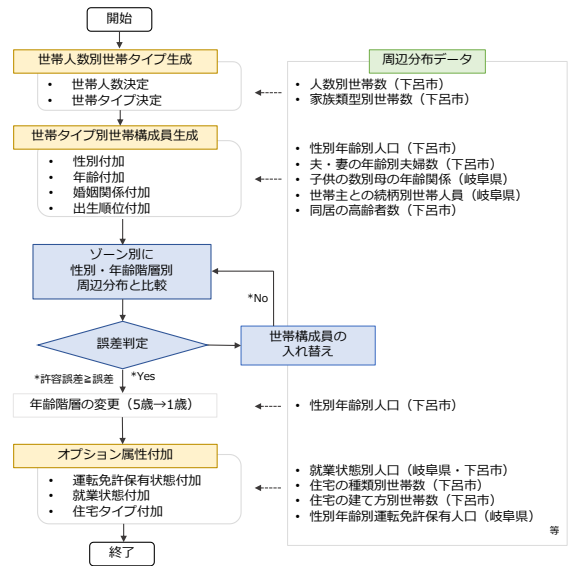


図-1 初期世帯マイクロデータ推定モデル

表-1 考慮する世帯タイプ

世帯タイプ	世帯人数	内訳	世帯タイプ	世帯人数	内訳
11	1	単身男性	51	夫婦と子3人	
12	1	単身女性	52	両親夫婦と夫婦と子1人	
21	2	夫婦のみ	53	夫婦の親1人と夫婦と子2人	
22	2	父子世帯 (子供1人)	50	夫婦と夫婦の兄弟と子2人	
23	2	母子世帯 (子供1人)	61	夫婦と子4人	
20	2	兄弟姉妹	62	両親夫婦と夫婦と子2人	
31	3	夫婦と子1人	63	夫婦の親1人と夫婦と子3人	
32	3	母子世帯 (子供2人)	60	夫婦の親1人と夫婦と子供夫婦と孫1人	
33	3	夫婦と親1人	71	夫婦と子5人	
30	3	夫婦とその兄弟	72	両親夫婦と夫婦と子3人	
41	4	夫婦と子2人	73	夫婦の親1人と夫婦と子4人	
42	4	母子世帯 (子供3人)	70	両親夫婦と夫婦と子供夫婦と孫1人	
43	4	両親夫婦と夫婦	70	夫婦の親1人と夫婦と子供夫婦と孫2人	
44	4	夫婦の親1人と夫婦と子1人	81	夫婦と子6人	
40	4	夫婦と夫婦の兄弟と子1人	82	両親夫婦と夫婦と子4人	
			83	夫婦の親1人と夫婦と子5人	
			80	両親夫婦と夫婦と子供夫婦と孫2人	
			80	夫婦の親1人と夫婦と子供夫婦と孫3人	
999		施設		施設世帯	

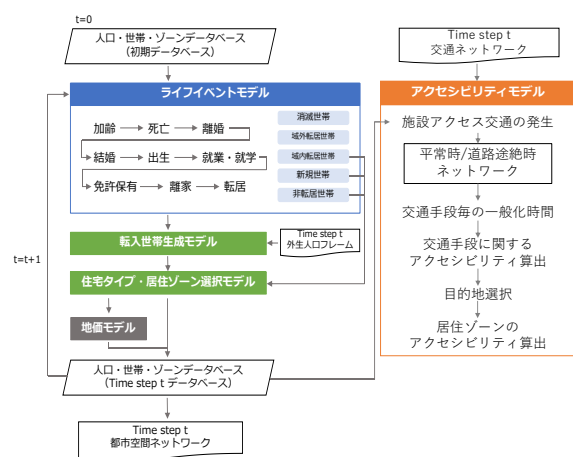


図-2 社会ダイナミクスシミュレーションモデル

イベントモデル、対象地域外からの転入世帯の生成を行う転入世帯生成モデル、転居者を対象に行われる住宅タイプ・居住ゾーン選択モデル、世帯の立地変化に伴う地価の変化を表現する地価モデル、個人の施設選択やアク

セス性を表現するアクセシビリティモデルから構成される。本シミュレーションのタイムステップは1年である。本モデルはタイムステップごとの対象地の人口を、人口問題研究所による性別年齢階層別将来推計人口および平均世帯人数と整合するようにシミュレーションを行う。そのうえで、ライフイベントに基づく世帯構成、立地選択の変化、地価の変動、施設利用の動向を表現する。

(a) ライフイベントモデル

加齢、死亡、離婚、結婚、出生、就業・就学、免許保有、離家、転居の順にライフイベントを考慮する。

加齢イベントは、タイムステップごとに発生し、すべての個人を対象に年齢を1歳加える。加齢した年齢を基準に以降のライフイベントの発生確率を与える。

死亡イベントは、生存しているすべての個人を対象に確率的に発生する。死亡確率は累積生存関数にワイブル分布を仮定した生存時間解析によって性別年齢別に定義する。 t を年齢、 α 、 β をパラメータとして、ワイブル分布の累積生存関数 $S(t)$ を式(1)に示す。

$$S(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right\} \quad (t \geq 0) \quad (1)$$

死亡確率は、 $1 - S(t)$ で定義される。死亡した個人はそれ以降のライフイベントは発生しない。

離婚イベントは、既婚者を対象に確率的に発生する。離婚確率は夫の年齢別離婚件数を年齢別有配偶者と年齢別離婚件数の和で除すことで算出する。この離婚確率に基づき離婚を判定する。離婚後、男女のどちらかで離家および転居が発生する。なお、子供がいる場合はすべて妻に随伴する。

結婚イベントは未婚の男性(18歳以上)と女性(16歳以上)を対象に確率的に発生する。結婚確率は性別年齢別の婚姻件数をその性別年齢別の未婚者数と年齢別婚姻件数の和で除すことで算出する。結婚イベントは性別年齢ごとに結婚判定を行い、結婚判定された個人は男女ごとにリストアップされ、年齢別夫婦の年齢差の分布に従うようにリスト内から相手を決定する。リスト内に適当な相手が存在しない場合は、対象地域外から適当な配偶者を転入させ、結婚させる。結婚の際には夫世帯に合流、妻世帯に合流、新しく世帯を構成するパターンを考慮する。なお、父子世帯、母子世帯から結婚イベントが発生した場合はその子供も新しい世帯の構成員となる。

出生イベントは、55歳以下の有配偶女性を対象に確率的に発生する。出生確率は年齢 X 歳の有配偶女性が第 n 子を産んだ数を、年齢 X 歳の有配偶女性の数から年齢 X 歳の有配偶女性が第 n 子以外を産んだ数を引いた値で除すことで導出する。

就学・就業イベントは、16歳、19歳、21歳、23歳、25歳の個人に確率的に発生する。就業・就学状態はフ

ルタイム職、パートタイム職、学生、就職の4カテゴリを考慮し、就学、就職確率は卒業者を進学、就職者数で除して算出する。また、進学・就職時に離家を判定し、離家する場合は転居が発生する。

免許保有状態の更新は18歳以上の個人で発生する。運転免許の取得率、返納率は運転免許統計の免許保有者を性別年齢別人口で除した免許保有率を1歳分スライドし、保有率の上昇率を前年齢の免許未保有率で除した割合を取得率、保有率の減少分を前年齢の免許保有率で除した値を返納率として与える。

離家イベントは、離婚、結婚、就学・就業で発生する離家とは別に、その他の目的で世帯から1人だけが世帯から離れることを意味する。離家判定された個人は転居を行う。離家確率は性別、年齢別にダミー値を設定している。離家は世帯内に15歳未満の子供だけの世帯が発生しないように処理する。

転居イベントは、世帯ごとに発生する。転居確率は世帯主年齢別世帯人数別に算出した転居確率によって発生する。ここで、世帯主は、婚姻関係があるものが世帯内に存在する場合は一番世代が上の夫婦の夫、婚姻関係があるものが世帯内に存在しない場合は、20歳以上の最年長男性、20歳以上の最年長女性、世帯内で最年長のものの順に定めている。

また、転居イベントの後に、外生フレームの性別年齢階層別将来推計人口および平均世帯人数と比較し、過剰となる年齢階層を含む層が存在する場合は、その年齢階層を含む世帯がランダムに選ばれ、対象地域外への強制的な転出(強制転居)が発生する。この転出と後述する転入世帯生成モデルにより、人口問題研究所による人口の推計値と次ステップの人口が整合するようにする。なお、一定回数以上の調整を繰り返しても人口フレームとの差が改善しない場合はその値のまま次のシミュレーションタイムステップに移る。

(b) 転入世帯生成モデル

転居人口とその世帯数は、タイムステップ $t+1$ における対象地域内の人口・世帯数の外生フレームと対象地域内の人口・世帯数の集計値の差分によって決定する。この差分が解消されるような世帯を、初期世帯マイクロデータ生成方法と同じ手法で生成を行う。転入世帯の居住ゾーンは後述する居住ゾーン選択モデルによって決定する。また、転入世帯の世帯構成員の上限は5人とした。

(c) 住宅タイプ・居住ゾーン選択モデル

住宅タイプ、居住ゾーンの選択は対象地内に転入してくる世帯を対象に行う。まず、住宅タイプ選択について、世帯 h が選択しうる住宅タイプの選択肢集合 H_h は $H_h = \{H_{type} = 1 \text{ (持家戸建)}, H_{type} = 2 \text{ (持家集合)}\}$ 、

$Htype = 3$ (賃貸戸建), $Htype = 4$ (賃貸集合) }の4タイプである. 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と効用関数を式 (2), 式 (3) に示す.

$$P_{h,Htype} = \frac{\exp(V_{h,Htype})}{\sum_{Htype' \in H_h} \exp(V_{h,Htype'})} \quad (Htype \in H_h) \quad (2)$$

$$V_{h,Htype} = \sum_k \alpha_k X_{h,Htype,k} + c_{Htype} \quad (3)$$

α_k : パラメータ

$X_{h,Htype,k}$: 世帯タイプ $Htype$, 世帯 h のダミー変数 (世帯人数, 世帯主年齢など)

c_{Htype} : 世帯タイプ $Htype$ の定数項

また, 対象地域内の転居世帯を対象に行われる居住ゾーン選択モデルでは, 対象地域内のすべての居住可能なゾーンから1つを選択する多項ロジットモデルにより居住ゾーンを決定する. 居住ゾーン選択モデルは4つの住宅タイプごとに選択確率を考える. 居住ゾーン i の選択肢集合を Z_n としたとき, 居住ゾーンの選択確率および効用関数を式 (4), 式 (5) に示す.

$$P_{h,i} = \frac{\exp(V_{h,i})}{\sum_{i' \in Z_n} \exp(V_{h,i'})} \quad (i \in Z_n) \quad (4)$$

$$V_{h,i} = \sum_k \alpha_k X_{ik} \quad (5)$$

α_k : パラメータ

X_{ik} : ゾーン i の条件 (地価, 最寄り駅距離, ストック数など)

居住ゾーンごとにストック数には上限があり, ストック数が不足する場合はそのゾーンに居住することはできず, 他の居住ゾーンを選択する.

(d) 地価モデル

地価はタイムステップごとに式 (6) の重回帰モデルにより更新する.

$$\ln(LP_i) = \sum_k \alpha_k \ln(X_{ik}) + \beta \ln(D_i) + \ln(c) \quad (6)$$

α_k, β, c : パラメータ

X_{ik} : ゾーン i の条件 (最寄り駅距離, 中心駅距離など)

D_i : ゾーン i の人口密度

この地価モデルより推定される地価 LP_i は居住ゾーン選択モデルの変数として必要に応じて使用する.

(e) アクセシビリティモデル

居住ゾーンごとのアクセシビリティ指標を算出するため, 個人の交通手段選択および目的地選択を多項ロジットモデルによってモデル化する. この際, 目的地選択には個人ごとの交通手段利用可能性を考慮し, 個人カテゴリ n の利用可能な交通手段の選択肢集合 M_n として自動車 ($m = car$), 世帯内同乗 ($m = RS$), 公共交通

($m = PT$) を与える. 個人カテゴリは年齢や利用可能な交通手段から分類する.

目的地選択に際し, 個人はまず OD 間 (ij 間) の一般化時間が最小となる経路を選択することとする. 各交通手段の一般化時間は式 (7) ~ 式 (11) より算出する.

$$gc_{ij,n}^{car} = t_{ij}^{car} + \frac{1}{VoT_{ride}} cf d_{ij}^{car} + \xi_n^{car} \quad (7)$$

$$gc_{ij,n}^{RS} = t_{ij}^{car} + \frac{1}{VoT_{ride}} cf d_{ij}^{car} + \xi_n^{RS} \quad (8)$$

$$gc_{ij,n}^{PT} = \min_{k \in \{1,2\}} gc_{ij,n}^{PTk} \quad (9)$$

ただし,

$$gc_{ij,n}^{PT1} = \frac{VoT_n^{walk}}{VoT_{ride}} t_{\delta ij,n}^{walk} + \left\{ t_{\delta ij}^{bus} + \frac{1}{VoT_{ride}} (\beta^{bus} d_{\delta ij}^{bus} + ct^{bus}) \right\} + \left\{ t_{\delta ij}^{train} + \frac{1}{VoT_{ride}} (\beta^{train} d_{\delta ij}^{train} + ct^{train}) \right\} \quad (10)$$

または,

$$gc_{ij,n}^{PT2} = t_{ij,n}^{taxi} + \frac{1}{VoT_{ride}} (\beta^{taxi} d_{ij}^{taxi} + ct^{taxi}) \quad (11)$$

であり, ここで,

$gc_{ij,n}^m$: 個人カテゴリ n , ij 間の交通手段 m による一般化時間 (分)

t_{ij}^m : 交通手段 m , ij 間の所要時間 (分)

$t_{\delta ij}^m$: ij 間のうち, 交通手段 m 利用区間の所要時間 (分)

d_{ij}^m : 交通手段 m , ij 間の移動距離 (m)

$d_{\delta ij}^m$: ij 間のうち, 交通手段 m 利用区間の移動距離 (m)

β^m : 交通手段 m 利用時のディスタンスチャージ (円/m)

VoT_{ride} : 乗車による時間価値 (円/分)

VoT_n^{walk} : 個人カテゴリ n の徒歩による時間価値 (円/分)

cf : 走行費用原単位 (円/m)

ξ_n^m : 個人カテゴリ n の交通手段 m 一般化時間定数項 (分)

ct^m : 交通手段 m 利用時のターミナルチャージ (円)

である.

つぎに, 式 (12) より交通手段ごとの一般化時間から個人カテゴリ n ごとに OD 間のアクセシビリティ指標 $ACC_{n,ij}$ を算出する. この OD 間のアクセシビリティ指標 $ACC_{n,ij}$ と目的地の魅力度 S_j を効用関数とし, 多項ロジットモデルにより目的地を選択する. 目的地選択に関する効用関数 $V_{n,ij}$ を用いて式 (13) のように目的地選択確率 $P_{n,ij}$ は導出される.

$$ACC_{n,ij} = \frac{1}{\mu} \ln \left\{ \sum_{m \in M_n} a v_n^m \exp(\mu gc_{ij,n}^m) \right\} \quad (12)$$

$$P_{n,ij} = \frac{\exp(V_{n,ij})}{\sum_{j' \in J} \exp(V_{n,ij'})} \quad (13)$$

$$V_{n,ij} = \alpha ACC_{n,ij} + S_j \quad (14)$$

- μ : 交通手段選択に関する分散パラメータ
- av_n^m : 交通手段 m の利用可能性ダミー (0: 利用不可, 1: 利用可)
- α : アクセシビリティ指標のパラメータ
- S_j : 施設 (目的地) の魅力度

これにより個人カテゴリ n , 居住ゾーン i ごとの目的地選択を表現する。また, 居住ゾーン, 個人カテゴリごとのアクセシビリティ指標はその定義より式 (15) で表現される。

$$ACC_{n,i} = \frac{1}{\eta} \ln \left\{ \sum_{j \in J} \exp(\eta V_{n,i,j}) \right\} \quad (15)$$

- η : 目的地選択に関する分散パラメータ

本研究において, アクセシビリティモデルは施設の利用選択とアクセシビリティ指標の算出のみを行い, これらの結果が後のステップに影響することはない, 地価や居住ゾーン選択との相互関係性は考慮できていない。

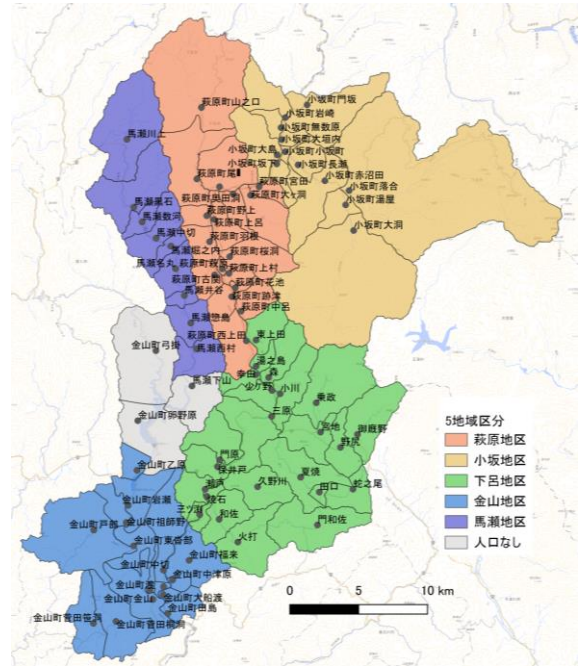


図-3 対象地域

3. モデルの適用と検証

(1) 地域設定

第 2 章で示した初期マイクロデータ推定モデルおよび社会ダイナミクスシミュレーションを岐阜県下呂市に適用する。適用にあたり, 本研究では図-3の灰色部分を除いた地域を郵便番号ごと 76 居住ゾーンに分割した。推定対象地域の一覧を表-2に示す。灰色部分である金山町卯野原と馬瀬下山は, シミュレーションの初期年次である平成 22 年 (2010 年) の国勢調査では人口が 0 人であり, 金山町弓掛は馬瀬惣島と合算処理されていた。金山町弓掛は平成 27 年国勢調査で人口が 0 人であるため, 平成 22 年における金山町弓掛の人口も 0 人とし, 2010 年に金山町弓掛に居住していたものは馬瀬惣島に住んでいるものとした。したがって, 金山卯野原, 馬瀬下山, 金山町弓掛の居住者は平成 22 年時点に存在しないため, 初期マイクロデータ推定の対象外とし, その後のシミュレーションでも居住するものはないとする。

(2) 初期世帯マイクロデータ推定モデル

(a) 使用データ

初期世帯マイクロデータ推定には, 下呂市または岐阜県の国勢調査, 人口動態調査, 学校基本調査, 運転免許統計を用いた。基本的に統計資料はシミュレーション初期年次である平成 22 年 (2010 年) のものを用い, 不足するものは他の年次で補う。

(b) 推定結果の検証

まず, 世帯人数別世帯数の推定結果について, 世帯タ

表-2 推定対象地域一覧

No	居住ゾーン名	No	居住ゾーン名	No	居住ゾーン名	No	居住ゾーン名	No	居住ゾーン名
1	萩原町宮田	17	萩原町西上田	33	森	49	三ツ洞	65	金山町祖師野
2	萩原町大ヶ洞	18	小坂町門坂	34	小川	50	焼石	66	金山町岩瀬
3	萩原町奥田洞	19	小坂町岩崎	35	少ヶ野	51	和佐	67	金山町乙原
4	萩原町上呂	20	小坂町無数原	36	三原	52	火打	68	金山町卯野原
5	萩原町桜洞	21	小坂町大垣内	37	御殿野	53	金山町菅田笹洞	69	金山町弓掛
6	萩原町萩原	22	小坂町小坂町	38	野尻	54	金山町菅田桐洞	70	馬瀬川上
7	萩原町上村	23	小坂町大島	39	宮地	55	金山町金山	71	馬瀬黒石
8	萩原町花池	24	小坂町坂下	40	乗政	56	金山町田島	72	馬瀬敦河
9	萩原町中呂	25	小坂町長瀬	41	夏焼	57	金山町大船渡	73	馬瀬中切
10	萩原町山之口	26	小坂町赤沼田	42	田口	58	金山町渡	74	馬瀬堀之内
11	萩原町尾崎	27	小坂町落合	43	蛇之尾	59	金山町下原町	75	馬瀬名丸
12	萩原町四美	28	小坂町湯屋	44	門和佐	60	金山町中津原	76	馬瀬井谷
13	萩原町野上	29	小坂町大洞	45	門原	61	金山町福来	77	馬瀬惣島
14	萩原町羽根	30	東上田	46	保井戸	62	金山町中切	78	馬瀬西村
15	萩原町古岡	31	湯之島	47	久野川	63	金山町東寄部	79	馬瀬下山
16	萩原町跡津	32	幸田	48	瀬戸	64	金山町戸部		: 対象外

表-3 世帯タイプ構成割合の比較

世帯タイプ	国勢調査	推定値	国勢調査-推定値	世帯タイプ	国勢調査	推定値	国勢調査-推定値
11				51	1.75%	1.81%	-0.05%
12	23.46%	23.46%	0.00%	52	2.63%	2.49%	0.14%
21	19.62%	20.61%	-1.00%	53	2.27%	2.72%	-0.45%
22	1.02%	1.36%	-0.34%	50	0.46%	0.72%	-0.26%
23	4.25%	2.07%	2.18%	61	0.17%	0.18%	-0.02%
20	0.24%	1.54%	-1.30%	62	3.24%	2.56%	0.68%
31	9.77%	7.38%	2.39%	63	0.72%	1.00%	-0.29%
32	0.79%	0.54%	0.25%	60	0.62%	1.34%	-0.73%
33	4.56%	6.30%	-1.74%	71,81	0.03%	0.05%	-0.02%
30	0.34%	2.20%	-1.86%	72,82	1.73%	1.44%	0.29%
41	5.12%	4.28%	0.84%	73,83	0.07%	0.09%	-0.02%
42	0.16%	0.12%	0.04%	70,80	1.42%	2.02%	-0.60%
43	2.32%	4.21%	-1.89%	999	5.79%	5.79%	0.00%
44	3.51%	2.62%	0.89%				
40	0.46%	1.10%	-0.63%				

イプの推定結果と国勢調査における実測値を表-3に示す。国勢調査で分類されるすべての世帯タイプは考慮できていないため, 一部世帯タイプで誤差が生じている。また, 国勢調査において, 施設世帯は寮や寄宿舎に居住する学生や病院の入院者などがあてはまり, 未成年は生じにく

いと考えられるが、本推定では 147 人の未成年が確認された。施設世帯は生成の特性上、居住ゾーンの性別年齢別人口の周辺分布との調整の際に、他の世帯タイプで余剰となったものが反映されやすい。そのため、20 歳未満の子供を含む世帯タイプについても考慮が十分にされていない可能性がある。

次に、性別年齢階層別人口の推計結果を図-4 に示す。推定した性別年齢階層別人口の平均平方二乗誤差率は 0.014 であり、国勢調査の分布を再現できているといえる。特に国勢調査と推定値の誤差は 85 歳以上の男性で 6.9% (+42 人) と高かった。これは、国勢調査で分類されるすべての世帯が考慮できていないことにより、夫婦、子供とひとり親からなる世帯（世帯タイプ：44, 53, 63）や、夫婦、子供、親と他の親族からなる世帯（世帯タイプ：60, 70, 80）の構成割合が多く推計されていることに伴い、より多くの 85 歳以上の男性が推定されたと考えられる。

オプション属性である、就業形態、住宅タイプ、免許保有者の推計は、どれも概ね統計値に近く、良好な推定結果を得られた。

(3) 社会ダイナミクスシミュレーションモデル

(a) 使用データ

社会ダイナミクスシミュレーションの適用には、初期マイクロデータ推定に用いた統計資料に加え、第 2 回全国家庭動向調査、生命表、人口動態調査、岐阜県人口動態統計調査、人口問題研究所による将来推計人口・世帯数、岐阜県衛生年報、全国地価マップ、ゼンリンによる建物ポイントデータにくわえ、本研究グループで実施した下呂市アンケート調査⁷⁾を用いた。下呂市アンケート調査は、世帯や個人の属性に応じた転居行動の違いや、買物目的と医療目的の移動を対象に、現在と 10 年前の日常的な施設利用について把握することを目的に調査を行った。調査の概要を表-4 に示す。統計資料は基本的にシミュレーション初期年次である平成 22 年（2010 年）のものを使用し、不足する統計資料は他の年次のものを使用している。また、交通ネットワークの構築のために、OpenStreetMap (OSM) から下呂市、高山市、郡上市、美濃市、関市、岐阜市、山県市、各務原市、美濃加茂市、可児市、恵那市、白川町、川辺町、七宗町、東白川村、中津川市、八百津町、御嵩町の道路ネットワークを得た。なお、2012 年に下呂金山道路が、2016 年には和良金山道路が開通し、2019 年にはバス路線である湯屋線、馬瀬線が廃止されており、これらの交通ネットワークの変化も加味し、アクセシビリティを算出する。

(b) パラメータ推定結果の整理

ここでは、シミュレーションの各モデルで用いる確率

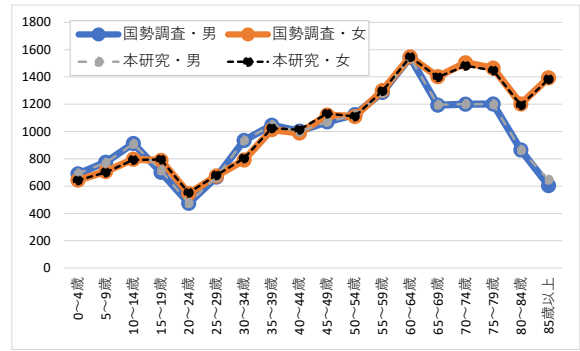


図-4 性別年齢別人口の比較

表-4 調査の概要

調査期間	2021/2/17 ~ 2021/3/16
対象者	下呂市居住者
調査方法	webアンケート調査 (下呂市メールマガジンにて配布)
調査項目	個人・世帯情報：世帯構成員5人までの性別、年齢、続柄、就学就業状況*、免許*、自動車の有無*、居住地の郵便番号*、居住年数、居住地選択理由*、転居の有無など 買物・医療目的行動：訪問施設* (最大3施設)、施設所在地*、交通手段*、頻度*、選択理由など その他：生活利便性の変化、生活の満足感、生活の重視項目、新モビリティについてなど *10年前にも下呂市に居住していた人を対象に10年前の情報を調査した
回答数	589人 (2021/4/1の下呂市人口31,090人)

表-5 累積生存確率のパラメータ推定結果

	α	β	R^2
男	8.527	113.230	0.994
女	11.003	111.426	0.997

を求める際にパラメータ等の推定を行ったものを取り上げ、推定結果の整理を行う。

まず、ライフイベントモデルで推定した死亡確率について、推定された式 (1) のパラメータ推定値を表-5 に示す。男女ともに決定係数が 0.99 以上であり有意な推定結果を得られた。なお、本モデルでは 100 歳を超えるものは強制的に死亡させているため、100 歳の人はこの確率によらず死亡判定される。

次に、住宅タイプ・居住ゾーン選択モデルはそれぞれ下呂市アンケートから得た、10 年以内に転居した 139 世帯から各モデルのパラメータを推定した。なお、下呂市アンケートの結果からは住宅タイプ 2 への転居はみられなかったため、住宅タイプの選択に際し、住宅タイプ 2 への転居は考慮しない。住宅タイプ選択モデルについて、式 (3) の効用関数の説明変数として、世帯主年齢ダミー (21~33 歳, 34~50 歳, 51 歳以上)、世帯人数ダミー

表-6 住宅タイプ選択モデル推定結果

		住宅タイプ		
		1: 持家戸建	3: 賃貸戸建	4: 賃貸集合
世帯主年齢	34~50歳	-	-1.94	-2.69*
	51歳~	-	-3.47*	-4.99*
世帯人数	1人	-2.51	-	0.891
	2人	-0.326	-	0.707
子供有		-	-0.244	-1.33
固有ダミー		-1.76	0	-1.37
尤度比		0.507		
修正済み尤度比		0.428		
サンプル数		95	14	30

*5%有意

表-7 住宅タイプ 1, 3の居住ゾーン選択モデル推定結果

変数	パラメータ	P値
下呂駅距離 $\sqrt{(m)}$	-0.00584	0.0647
戸建ストック数 $\log_{10}(x_{num})$	3.08	4.75e-13
地価 $\ln(LP)$	-0.193	0.405
尤度比	0.138	
修正済み尤度比	0.132	
サンプル数	109	

表-8 住宅タイプ 4の居住ゾーン選択モデル推定結果

変数	パラメータ	P値
下呂駅距離 (km)	-0.0255	0.284
最寄り駅距離 (km)	-0.102	0.557
集合ストック数 $\log_{10}(x_{num})$	2.77	3.45e-9
尤度比	0.422	
修正済み尤度比	0.399	
サンプル数	30	

(1人, 2人, 3人以上), 子供有世帯ダミー, 選択肢固有ダミーを設定する。各住宅タイプのパラメータ推定結果を表-6に示す。パラメータ推定には **biogeme** を使用した。尤度比は 0.507 となり, モデルの適合度はかなり高いが, 世帯主年齢ダミーに関するパラメータのみ有意水準 5% で有意な結果となった。

居住ゾーン選択モデルについては, 住宅タイプごとに全 76 の居住ゾーンから 1 つのゾーン i を選択すると仮定し, 式 (5) で示される効用関数の説明変数として, 各住宅タイプのストック数 x_{num} (戸), 駅からの距離, 地価 LP (円) を設定するが, 傾向に応じて適宜平方根や指数・対数変換などを行うことにした。推定にあたり住宅タイプごとのストック数は, 今後人口減少に伴い, 住宅が余剰になると考えられるため, 居住ゾーンごとに 2020 年の建物ポイントデータの住居系用途 (個人の家屋, マンション, アパート, 団地, 寮・社宅, 住居系建物, 事業所兼住宅) の家屋数 (部屋数), 平成 22 年国勢調査, 平成 27 年国勢調査の各住宅タイプの世帯数のうち最大値となるものを選択し設定した。また, 居住ゾーン

表-9 地価モデル推定結果

変数	係数	T値	P値
切片	5.710	1.93	0.058
下呂駅距離 $\ln(m)$	-0.234*	-3.96	0.0002
最寄り駅距離 $\ln(m)$	-0.321*	7.44	1.97e-10
可住地人口密度 $\ln(D_i)$	0.703*	2.66	0.010
人口 $\ln(Pop_i)$	0.135*	2.47	0.016
重相関係数	0.899		
重決定係数	0.809		
サンプル数	75		

*5%有意

表-10 アクセシビリティモデルの設定パラメータ

カテゴリ番号	年齢	免許有無	運転可能性	世帯内同乗可能性			公共交通利用可能性	徒歩速度 (m/min)	徒歩VoT (円/min)	乗車VoT (円/min)	走行費用原単位 (円/km)
				av_{car}	av_{bus}	av_{tr}					
0	20~34歳	有	1	0	1		80	120	40	20.8	
1	35~64歳	有	1	0	1		80	120	40	20.8	
2	65歳~	有	1	0	1		40	180	40	20.8	
3	20~34歳	無	0	1	1		80	120	40	20.8	
4	35~64歳	無	0	1	1		80	120	40	20.8	
5	65歳~	無	0	1	1		40	180	40	20.8	
6	20~34歳	無	0	0	1		80	120	40	20.8	
7	35~64歳	無	0	0	1		80	120	40	20.8	
8	65歳~	無	0	0	1		40	180	40	20.8	

カテゴリ番号	自動車一般化時間定数項		自転車一般化時間定数項		バス		電車		タクシー	
	買物 (min)	医療 (min)	買物 (min)	医療 (min)	ターミナルチャージ (円)	ディスタンスチャージ (円/分)	ターミナルチャージ (円)	ディスタンスチャージ (円/分)	ターミナルチャージ (円)	ディスタンスチャージ (円/分)
	β_{car}^{buy}	β_{car}^{med}	β_{bicy}^{buy}	β_{bicy}^{med}	β_{bus}	β_{trmin}	β_{trmin}	β_{trmin}	β_{taxi}	β_{taxi}
0	3	7	-	-	36	0.024	41	0.0155	230	0.39
1	3	6	-	-	36	0.024	41	0.0155	230	0.39
2	4	0	-	-	36	0.024	41	0.0155	230	0.39
3	-	-	6	11	36	0.024	41	0.0155	230	0.39
4	-	-	6	11	36	0.024	41	0.0155	230	0.39
5	-	-	9	17	36	0.024	41	0.0155	230	0.39
6	-	-	-	-	36	0.024	41	0.0155	230	0.39
7	-	-	-	-	36	0.024	41	0.0155	230	0.39
8	-	-	-	-	36	0.024	41	0.0155	230	0.39

からの駅距離は OSMnx から算出した。パラメータ推定には住宅タイプ選択モデルと同様に **biogeme** を用いた。居住ゾーンの選択肢集合 Z_n に属する居住ゾーン i の番号は表-2で示した居住可能ゾーンの No_i に準じる。式 (4), 式 (5) で表される多項ロジットモデルの推定結果は表-7, 表-8 のようになり, 住宅タイプ 1, 3 の推定結果の尤度比は 0.138, 住宅タイプ 4 の尤度比は 0.422 となり, とともに良好な結果が得られた。

地価モデルは, 式 (6) で示した地価モデルの効用関数の説明変数として, 下呂駅からの距離, 最寄り駅からの距離, 可住地人口密度 D_i (人/km²), 人口 Pop_i (人) を設定する。表-9の地価モデルの推定結果より, 重相関係数は約 0.90 であり, 良好な推定結果を得られた。

アクセシビリティモデルでは, 買物目的行動と医療目的行動の目的地選択を表現する。アクセシビリティモデルで設定した個人カテゴリとその条件を表-10に示す。個人カテゴリは年齢, 免許の有無と世帯内同乗の可能性によって 9 カテゴリに分類する。目的地選択の対象とする施設とモデルに用いるパラメータをそれぞれ図-5, 表-11, 図-6, 表-12に示す。施設選択に際し, 施設の魅力度および所要時間に関するパラメータを 2010 年と 2020 年を対象に, 式 (16), 式 (17) を用いて **biogeme** により推定した。

$$P_{ij,r} = \frac{\exp(V_{ij,r})}{\sum_{j \in J} \exp(V_{ij,r})} \quad (16)$$

$$V_{ij,r} = \alpha_r x_{time,ij} + \sum_j S_{j,r} \quad (17)$$

$P_{ij,r}$: round r における居住地 i から施設 j の選択確率

α_r : round r における所要時間パラメータ

$x_{time,ij}$: 居住地 i から施設 j までの所要時間

$S_{j,r}$: round r での施設 j の魅力度

なお、施設魅力度の推定にあたり、施設は下呂市アンケート調査から抽出し、所要時間は、OSMnx から算出した自動車を利用した際の所要時間を用いている。また、施設の魅力度は、買物施設は床面積が 1000m² 以上のスーパーマーケット以外は施設種類および市外に立地する施設ごとに同一の魅力度を持ち、病院以外の医療施設は診療科目が似通う施設は同一の魅力度を持つと仮定した。この多項ロジットモデルによるパラメータ推定では、所要時間（アクセシビリティ指標）に対するパラメータ α が時点間で異なる値をとるが、アクセシビリティモデルの実行にあたっては所要時間に対するパラメータは一定

であるとし、施設の魅力度と所要時間の変化が施設選択の変化に影響すると仮定する。アクセシビリティ指標に対するパラメータ α は買物目的行動、医療目的行動ともに 2010 年の推定値である、-0.122 と -0.0564 を用いる。施設の魅力度は推定した 2 時点間のパラメータを線形補間することでシミュレーションタイムステップによる施設の魅力度の変化を表現する。また、施設の立地について閉業および開業した年次がわかっているものはその年次を利用停止、利用開始の年とし、これらの年次がわからない施設、2010 年には利用されていたが 2020 年では利用されていない施設、2010 年には利用されていなかったが 2020 年では利用されている施設については、乱数を用いて利用停止と利用開始の年を、2010 年または 2020 年に施設の利用がなく、魅力度の変化率が不明である施設は魅力度の変化率を乱数によって定めた。

(c) 推定結果の検証

構築したモデルを2010年から2020年までの10シミュレーションタイムステップを実行し、シミュレーションの

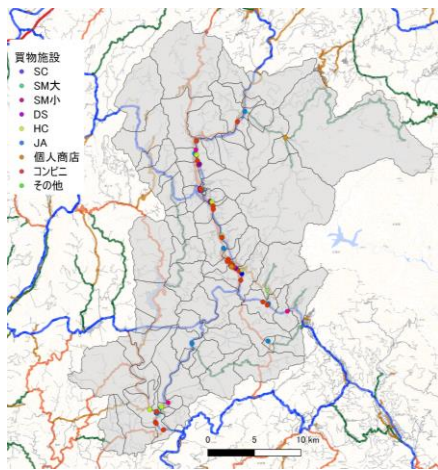


図-5 商業施設の分布



図-6 医療施設の分布

表-11 買物施設選択パラメータ

	魅力度 S_j		施設数		備考
	2010	2020	2010	2020	
ショッピングセンター	0	0	1	1	
マツオカ萩原	-0.847	-0.0605	-	-	床面積1000m ² 以上
パロー萩原	0.021	0.5237	-	-	床面積1000m ² 以上
マツオカ金山	-0.148	-0.5121	-	-	床面積1000m ² 以上
スーパーマーケット	-2.56	-1.79	4	5	床面積1000m ² 未満
ドラッグストア	-1.61	-0.4319	3	8	
ホームセンター	-2.12	-2.351	3	3	
JA	-0.583	-0.5929	8	7	
個人商店	-3.73	-	3	0	
コンビニエンスストア	-2.61	-1.5665	12	16	
そのほか	-4.45	-	1	0	
市外店舗	-4.19	1.4904	9	6	
所要時間パラメータ	: 2010年	-0.122	2020年	-0.14	赤字: 5%有意
尤度比	: 2010年	0.174	2020年	0.126	
修正済み尤度比	: 2010年	0.174	2020年	0.126	

表-12 医療施設選択パラメータ

	魅力度 S_j		施設数		備考
	2010	2020	2010	2020	
下呂温泉病院	-2.87	-3.49	-	-	2014年移転
金山病院	-3.68	-3.92	-	-	2013年移転
高山赤十字病院	-4.18	-2.96	-	-	
久美愛厚生病院	-4.66	-2.78	-	-	2012年移転
厚生会木沢記念病院	0.577	-2.7	-	-	
白川病院	-2.79	-4.52	-	-	
岐阜大学病院	0	0	-	-	
南飛騨せせらぎ病院	-	-6.7	-	-	
内科	-4.12	-4.33	10	7	
外科	-4.19	-3.8	2	2	
内科・外科	-4.41	-4.18	1	3	
小児科	-3.69	-3.86	5	5	
眼科	-4.56	-4.24	1	1	
婦人科	-4.8	-4.55	1	1	
歯医者	-3.9	-4.91	9	11	
耳鼻咽喉科	-4.42	-4.81	2	1	
所要時間パラメータ	: 2010年	-0.0564	2020年	-0.0464	赤字: 5%有意
尤度比	: 2010年	0.081	2020年	0.0562	
修正済み尤度比	: 2010年	0.0807	2020年	0.0558	

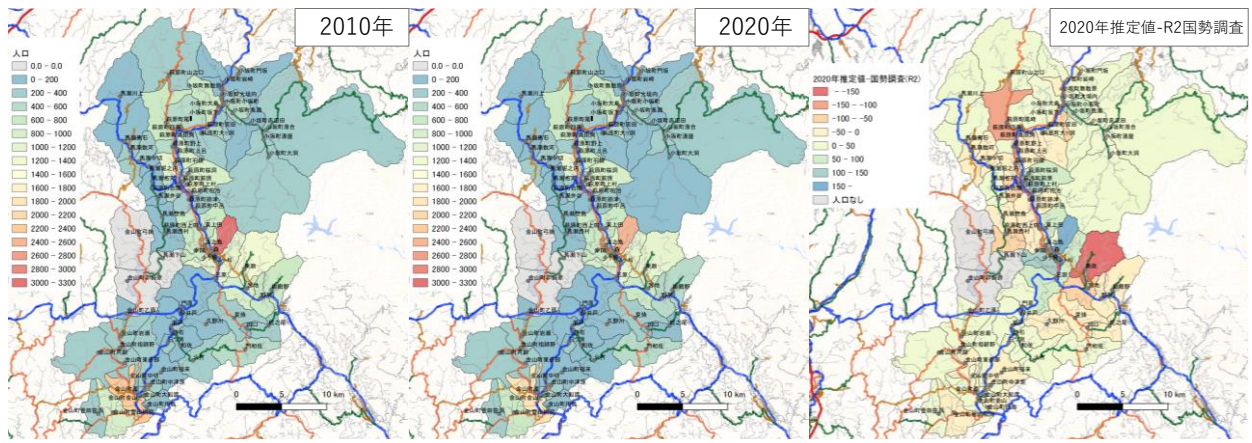


図-7 人口推移と令和2年国勢調査との誤差

挙動を確認した(図-7)。人口は概ね外生フレームに沿って推定されており、下呂駅周辺、萩原地区、金山地区の人口が多いが、2020年に向け、下呂市全域で人口が減少している。令和2年国勢調査と推定値を比較すると、一部地域で人口が過剰、過小に推計されている地域がある。また、ライフイベントについて、表-13より死亡、離婚、結婚については良好に推定できている一方、出生は実測値の3割程度となり改善が必要である。転居に関してもシミュレーションタイムステップによっては実測値との誤差が大きく、この誤差により5人以上の世帯が過少に、父子・母子世帯などが過剰に生じていることが確認された。これは、モデルの設定上世帯主が高齢であることで転居が適切に行われていないこと、離家確率の設定が不十分であること、転入が5人以下で行われる設定をしていることなどから生じると考えられる。社会ダイナミクスシミュレーションモデルでは、これらのほか、地価やアクセシビリティモデルで表現される買物、医療目的行動の目的地選択について現実の分布に近いものが得られた(表-14)。

表-13 ライフイベントモデルの実行結果

ステップ数	ライフイベント	推定値	実測値	ステップ数	ライフイベント	推定値	実測値
1 (2010~ 2011)	死亡	447人	451人	9 (2018~ 2019)	死亡	505人	562人
	離婚	49件	49件		離婚	23件	32件
	結婚	117件	127件		結婚	83件	82件
	出生	108人	264人		出生	57人	186人
	転出	1123人*	1117人		転出	1193人*	1108人
	転入	1007人	880人	転入	1044人	882人	

*強制転出を含む

表-14 医療施設選択結果の例

(a) 2020年推定値

D	市内					市外
	萩原	小坂	下呂	金山	馬瀬	
萩原	61.21%	6.70%	24.06%	2.30%	2.08%	3.65%
小坂	39.51%	33.40%	13.85%	1.34%	1.40%	10.49%
下呂	28.37%	1.84%	58.34%	7.99%	1.04%	2.42%
金山	6.12%	0.40%	16.99%	67.06%	0.30%	9.13%
馬瀬	52.82%	3.75%	22.22%	2.63%	16.05%	2.52%
総計	36.51%	6.15%	34.65%	16.15%	1.75%	4.80%

(b) アンケート結果

D	市内					市外
	萩原	小坂	下呂	金山	馬瀬	
萩原	61.85%	1.33%	24.42%	0.97%	0.00%	11.43%
小坂	26.03%	30.21%	10.65%	0.00%	0.00%	33.11%
下呂	24.84%	0.25%	67.06%	4.15%	0.00%	3.69%
金山	2.25%	0.00%	11.99%	74.34%	0.00%	11.42%
馬瀬	47.85%	0.00%	22.50%	0.00%	29.15%	0.50%
総計	35.64%	4.32%	34.80%	12.87%	1.26%	11.11%

4. 道路途絶時の脆弱性評価

(1) 想定する道路途絶時のネットワーク

本研究では災害時の想定として、下呂市周辺地域における連続降水量 80mm および 240mm 規制時における 2 パターンの道路ネットワークの途絶を想定する。規制が行われた際、いかなる交通も規制されている道路を利用することはできないものとし、バスは通行規制区間にあるバス停で、電車は連続雨量 80mm, 240mm の両方で運休するとした。雨量規制区間とバス路線を図-8に示す。

(2) 道路途絶時の脆弱性の定義

平常時の社会の動きの一つに、施設立地や提供されるサービス、交通ネットワークの変化に伴う個人の目的地

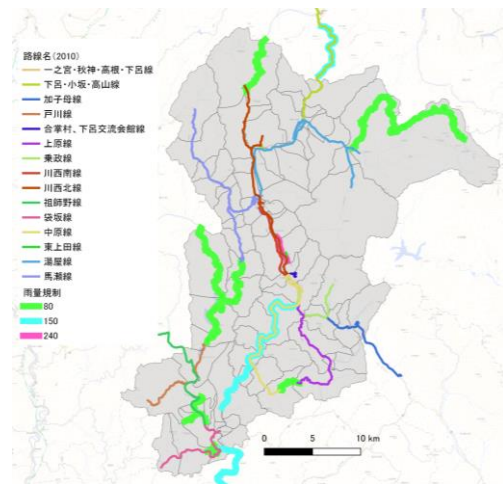


図-8 雨量規制区間とバス路線

選択行動に変化があると考え、本研究では、平常時の行動と道路途絶時の行動から得られるサービスや財の差異が脆弱性となり、地域社会に影響を与えると仮定する。ここでは、平常時と道路途絶時それぞれの目的地選択によるアクセシビリティ指標を、行動によって得られる財として扱い、この値から道路途絶時の脆弱性を評価する。

脆弱性評価にあたり、式 (17) を式 (18) のように変形し、式 (19) より居住ゾーン、個人カテゴリごとのアクセシビリティ指標を算出する。この変形により、移動あたり得られる効用を時間の単位で表すことができ、この値が正に大きいほど良好といえる。また、居住ゾーンごとの平均アクセシビリティ指標を式 (20) で求める。

$$V'_{n,ij} = ACC_{n,ij} + \frac{S_j}{\alpha} \quad (18)$$

$$ACC_{n,i} = \frac{1}{\alpha} \ln \left\{ \sum_{j' \in J} \exp(\alpha V'_{n,ij'}) \right\} \quad (19)$$

$$\overline{ACC}_i^{total} = \frac{\sum_{n' \in N} Pop_{n',i} ACC_{n',i}}{Pop_i} \quad (20)$$

$Pop_{n,i}$: 居住ゾーン*i*, 個人カテゴリ*n*の人口

Pop_i : 居住ゾーン*i*の人口

平常時と道路途絶時の交通ネットワークそれぞれから \overline{ACC}_i^{total} (以下 ACC) を算出し、その変化率を道路途

絶時の脆弱性として扱い、評価を行う。

(3) 2020年までのアクセシビリティの経年変化

図-9、図-10、図-11、図-12に買物目的、医療目的の平常時 ACC と、道路途絶時における ACC 変化率の推移を示す。色が赤いほど ACC 変化率が負で値が大きい、つまり脆弱性が高いといえる。両目的ともに通行規制がある区間で脆弱性が高いが、買物目的の行動はより局所的に、医療目的の行動は下呂市北部を中心に全体的に ACC 変化率が低下する傾向がみられた。平常時の経年変化として、施設の魅力度と施設立地の変化により買物目的の行動は国道 41 号沿いを中心として ACC の向上が、医療目的の行動では市全域で ACC 低下の傾向が確認されていることから、平常時の ACC の変化が上記のような道路途絶時の ACC の変化をもたらしたと考えられる。小地域に着目すると、2020年にバス路線が廃線した小坂町大洞 (図-13) では、ACC の経年変化は図-14 に示すようにバス路線が廃線となった 2020 年で ACC の低下が顕著であった。さらに、同年に付近の個人商店の利用が無くなったこともあり、特に公共交通しか利用できない個人カテゴリで

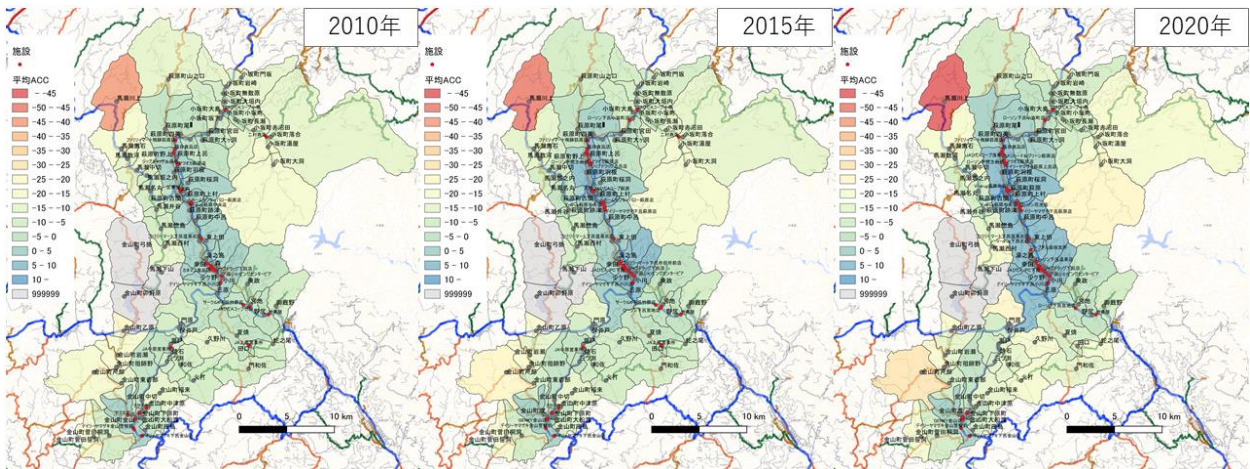


図-9 買物目的 ACC の推移 (平常時)

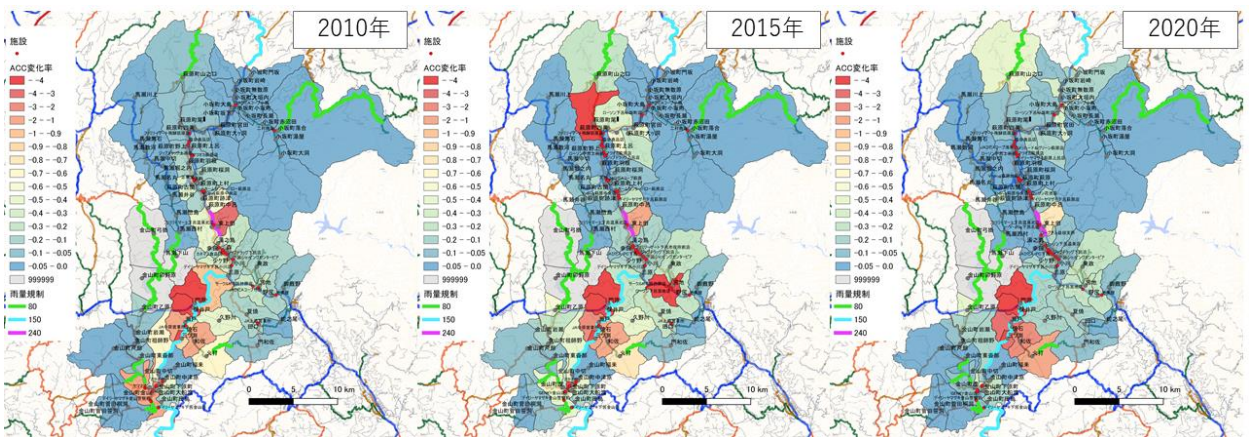


図-10 買物目的 ACC 変化率の推移 (240mm 規制時)

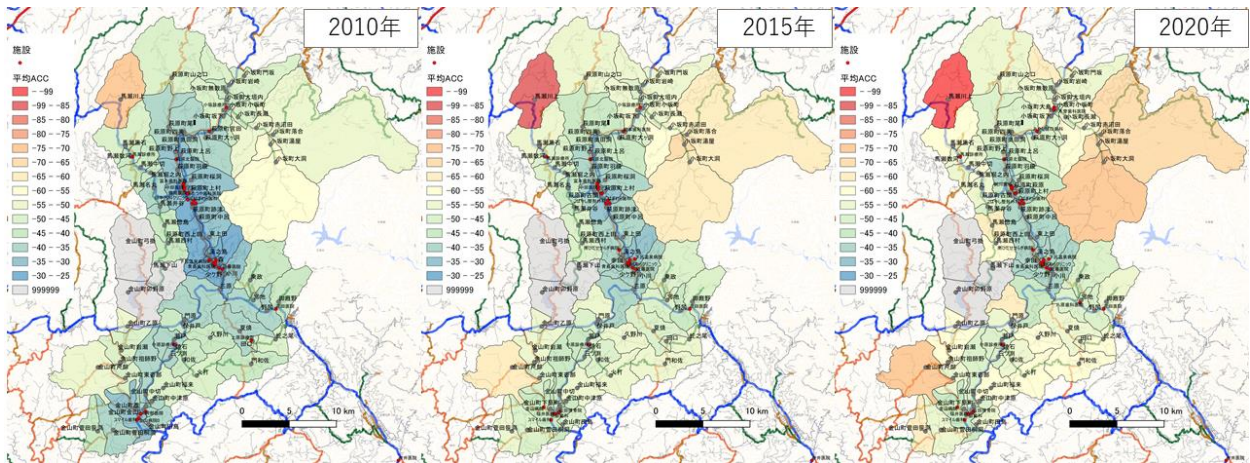


図-11 医療目的 ACC の推移 (平常時)

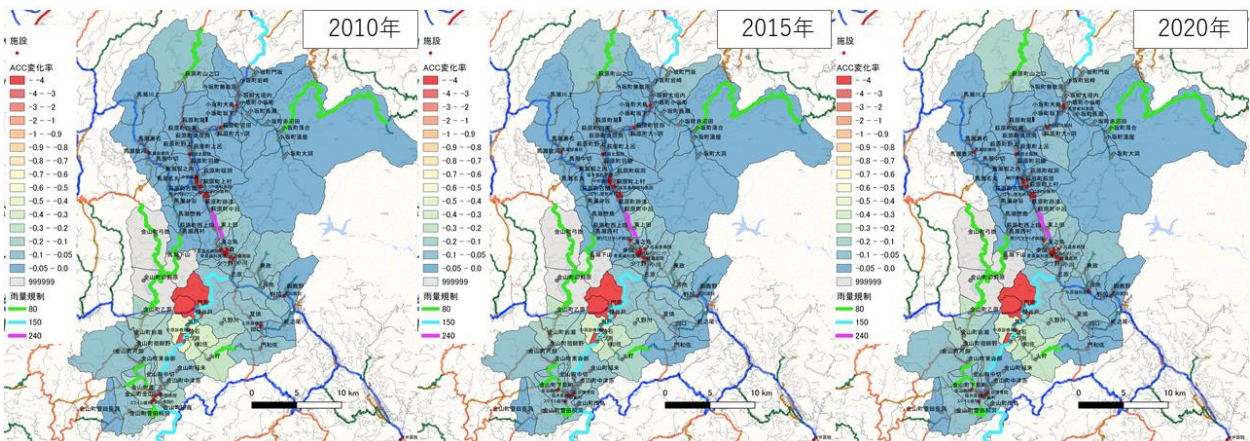


図-12 医療目的 ACC 変化率の推移 (240mm 規制時)

は 30 分ほど ACC が低下したことが確認されている。そのほかの経年的な ACC の変化としては、平常時、道路途絶時の ACC とともに 2015 年まではほとんど変化はなかったが、2016 年に高齢化の影響で公共交通しか利用できない層が増加したことで ACC が低下し、2019 年にかけて萩原地区に複数の魅力度が高い施設が立地したことにより、ACC の向上が確認された。なお、小坂町大洞は通行規制の影響をほぼ受けなため道路途絶時の ACC の低下はほぼみられなかった。以上より、ACC の変化要因には施設立地の変化、施設の魅力度の変化、交通ネットワークの変化、居住者の高齢化、通行規制による影響があげられる。これらの要因が単一で ACC の変化に寄与する場合もあるが、多くの場合、いくつかの要因が複数組み合わせたり居住ゾーンの ACC に影響を与えている。

(4) シナリオによる2030年の脆弱性の予測

本シミュレーションモデルの活用の一例を示すために、シミュレーションによって予測された 2030 年の社会状況 (Case 0) に複数のシナリオを設定し、道路途絶時の

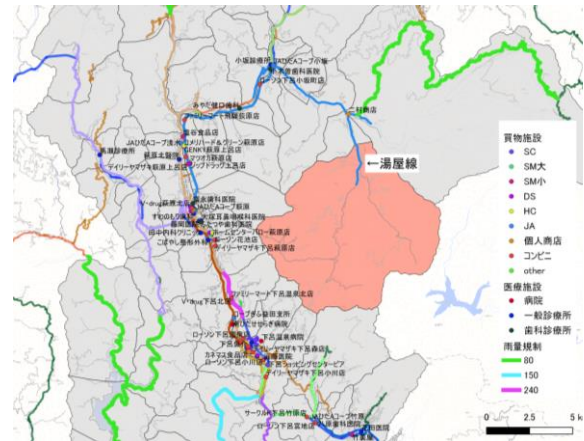


図-13 小坂町大洞

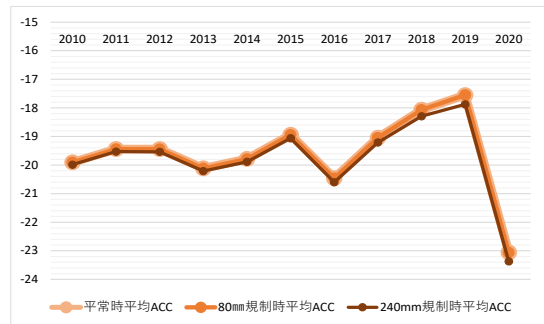


図-14 買物目的行動の ACC 推移 (小坂町大洞)

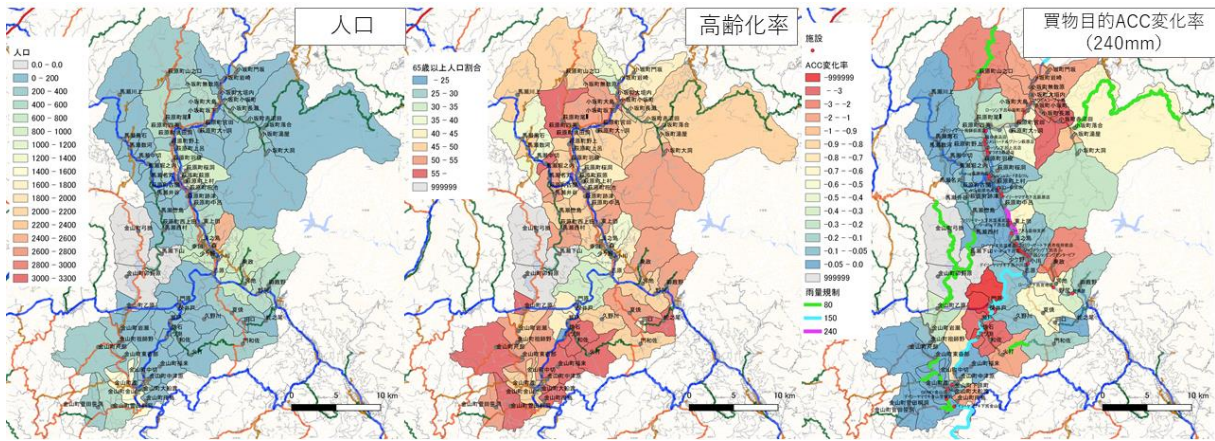


図-15 2030年 (Case 0) の各推定値

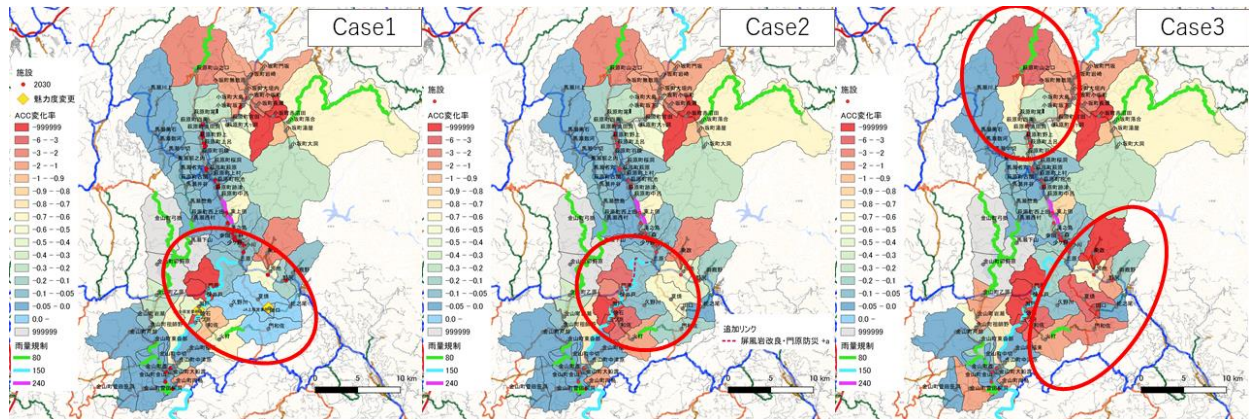


図-16 各 Case の買物目的 ACC 変化率 (240mm 規制時)

脆弱性について考察する。2030年のシミュレーション結果を図-15に示す。なお、施設の魅力度は、2010年から2020年にかけての変化傾向を維持すると仮定する。つまり、平常時では買物目的行動は国道41号沿いにACCが高くなり、医療目的行動は市全体でACCが低下する。Case0の平常時ACCと各Caseの240mm規制時ACCの差をCase0の平常時ACCの絶対値で除し各Caseの道路途絶時の脆弱性を測る。

Case 1, 2, 3で想定するシナリオと240mm規制時のACC変化率を表-15, 図-16に示す。まず、Case 1は240mm規制時に国道41号が使用できなくなること、2018年にJA中原営業所、上原営業所が廃業したことにより脆弱性が悪化していたゾーンに再び両施設を立地させた。これにより、図中赤丸で道路途絶時のACCがCase 0より良好になった。Case 1より、居住ゾーン付近に施設があることは、道路途絶時のACCを担保するために効果的といえ、施設を存続させるためにも日ごろから身近な施設を利用することが重要であるといえる。Case 2については現在高山国道事務所で事業化されている屏風岩改良・門原防災の整備に、その前後にある雨量規制区間の影響を軽減するために下呂駅方面のみに接続

表-15 検証シナリオ

	検証目的	変更内容
Case1	ローカルな買物施設の存在効果	廃業したJAの再立地
Case2	道路ネットワークの強化による効果	屏風岩改良・門原防災 +下呂駅方面へ接続道路の整備
Case3	路線バス撤退が地域のACCに与える影響	全路線バス廃線

表-16 門原と保井戸のACC変化 (Case 2)

	Case0 平常時	Case5		
		平常時 (参考値)	240mm 規制時	ACC変化率 (case0ベース)
門原	-2.09	-0.95	-10.51	-4.025
保井戸	-5.34	-4.29	-18.19	-2.407

道路を追加整備する場合を考える。この整備により、下呂地区、金山地区を中心に平常時ACCが向上し、門原と保井戸では平常時の数倍のアクセシビリティとなるものの(表-16)、道路途絶時に施設アクセスが確保できるようになった。また、この区間が整備されることにより下呂ICが利用できるようになるため、道路途絶時の市外交通の担保にも大きな効果をもたらすと考える。Case 3では、路線バスがすべて撤退した場合を検証する。Case 0時に路線バスが運行しているのは下呂駅以南、下

呂駅から高山市に向かう国道 41 号沿いであるが、特に図中赤丸で示した居住ゾーンでの ACC 変化率が大きく、脆弱性が高い。これらのゾーンは周囲に買物施設が少ないことに加え、高齢化率が高い地域でもある。高齢者にとって公共交通は重要な交通手段であると考えられることから、今後高齢化が進む中で高齢者を対象としたアクセシビリティ確保のための施策検討を行う必要があるといえる。

5. おわりに

本研究では、経年的な個人属性、世帯構成の変化、ライフイベントの発生、居住立地を加味した施設選択など、地域社会の変容を表現可能な社会ダイナミクスシミュレーションモデルを下呂市に適用し、ACC の変化要因を考察するとともに、モデルから算出される平常時と道路途絶時における ACC の変化率から脆弱性の評価を行った。また、施設立地や交通ネットワークを変化させた複数のシナリオ実施することによって、さまざまな状況下の道路途絶時の脆弱性を測り、どのような対策を講ずるかを考察するモデルの活用を示した。その結果、ACC の変化には、施設立地の変化、施設の魅力度の変化、交通ネットワークの変化、居住者の高齢化、通行規制が関わることを示し、これらに対応することにより、将来の地域の脆弱性を高めることが可能であることを示した。

一方、課題として、出生や世帯構成、転居に関するモデルの推定精度を改善するほか、社会変容の表現をより詳細にするために、世帯および施設の立地選択にアクセス性を加味すること、施設魅力度の変化を内生化するなどがあげられる。また、本研究では買物目的行動と医療目的行動の災害時脆弱性を個別に評価しているが、その評価は他の居住ゾーンと比較した相対的なものであるほか、災害の発生頻度と絡めた評価や両目的を組み合わせた各居住ゾーンの脆弱性の総合的な検討は行っていない。脆弱さを定量的、段階的に評価することによって居住ゾーンごとの災害時における特性の理解が可能とな

り、施策検討への活用が容易になると考える。これらの課題に対応することで、施策検討に活用可能なモデルの構築を目指す。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 JP18H01557 の助成を受け、さらに東大 CSIS 共同研究 No.795 の一部として遂行された。また、調査実施にあたり、下呂市生活部には調査の周知および参加の働きかけについて多大なる協力をいただいた。ここに記し、深謝する次第である。

参考文献

- 1) 林良嗣, 富田安夫: 安夫マイクロシミュレーションとランダム効用モデルを応用した世帯のライフサイクル, 土木学会論文集, Vol.395, pp85-94, 1988
- 2) 杉木直, 宮本和明: 土地利用マイクロシミュレーションにおける初期マイクロ世帯データの推定手法, 第 39 回土木計画学研究・講演集, CD-ROM, 2009
- 3) 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—, 日本都市計画学会, 都市計画論文集 Vol.51 No.3, pp839-846, 2016
- 4) 長尾将吾, 杉木直, 鈴木温, 松尾幸二郎: オープンデータを用いたメッシュベースのマイクロシミュレーション型都市モデルの構築, 第 60 回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, 2019
- 5) 長尾将吾, 杉木直, 倉内文孝, 松尾幸二郎: マルチレイヤネットワークを用いた社会ダイナミクスモデルのシミュレーション, 第 62 回土木計画学研究発表会・論文集, CD-ROM, 2020
- 6) 平沼克, 鈴木温, 香田拳斗: 生活利便施設の立地殿相互作用を考慮した世帯マイクロシミュレーションの構築, 第 62 回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, 2020
- 7) 水野杏菜, 倉内文孝: 中山間地域における施設立地と日常的行動に関するアンケート分析: 岐阜県下呂市を対象にして, 第 64 回土木計画学研究・講演集, CD-ROM, 2021

SOCIAL DYNAMICS SIMULATION FOR VULNERABILITY EVALUATION OF ROAD DEGRADATION

Anna MIZUNO, Fumitaka KURAUCHI and Nao SUGIKI