

マイクロシミュレーション型都市モデルによる介護サービス需給の将来推計と空間的公平性の評価

— 愛知県豊橋市を対象として —

Projection of Long-Term Care Service Supply and Demand and Evaluation of Spatial Equity Using an Urban Micro-Simulation Model

— A Case Study of Toyohashi City, Aichi Prefecture —

須本 英暉*・杉木 直**・小野 悠**
Hideki Sumoto*, Nao Sugiki**, Haruka Ono**

This study proposes a framework to evaluate future spatial supply-demand balance and spatial equity in long-term care (LTC) services. Using Toyohashi City as a case study, we extend an open-data urban microsimulation model by incorporating LTC certification processes to project the spatial distribution of care recipients from 2020 to 2040. Accessibility is evaluated using the Kernel density two-step floating catchment area (KD2SFCA) method, and spatial equity is assessed using Gini coefficients and bivariate LISA. Results indicate that accessibility declines as demand increases and that center-periphery disparities persist. Simulated additions of providers improve accessibility, but marginal effects diminish as the number of new providers increases, suggesting the need for integrated planning of care services and urban structure.

Keywords: Long-term care services, Supply-demand balance, Urban microsimulation model,

Kernel density two-step floating catchment area method, Spatial equity, Provider location

介護サービス, 需給バランス, MS 型都市モデル, KD2SFCA 法, 空間的公平性, 事業所立地

1. はじめに

1-1. 研究背景と目的

我が国の地方都市では、高齢化と人口減少の進行により介護サービスの持続的な確保が課題となっている。2040 年頃までは介護需要の増加が見込まれる一方、介護人材不足は深刻化しており、とりわけ訪問系・通所系サービスでは供給体制の維持が困難となる地域も生じている¹⁾。こうした状況に対応するため、厚生労働省は地域包括ケアシステムの構築を推進している²⁾。地域包括ケアシステムでは、高齢者が住み慣れた地域で生活を継続できるよう、日常生活圏域を単位として医療・介護・生活支援等のサービスを提供することが想定されている。

一方、人口減少社会への対応として、立地適正化計画に基づく都市構造の誘導が進められている。国土交通省は、コンパクト・プラス・ネットワークの取組の中で医療・介護サービスと住まい・移動等の生活支援の連携の重要性を指摘しており、地域包括ケアシステムと都市構造誘導は相互に関連する政策課題として位置づけられている。

しかし、介護サービス供給の計画は主に介護保険事業計画に基づいて策定され、保険者である市町村単位での集計・検討が中心となることが多い。このため、地域内における需給バランスの地域差や局所的不足といった空間的問題を把握しにくい。また、訪問系・通所系サービスの多くは民間事業者によって供給されるため、事業所立地は需要規模や事業採算性の影響を受ける。その結果、居住地によってサービス利用可能性が異なるサービスアクセスには地域差が生じ得る。本研究では、このようなサービスアクセスの地域差を空間的公平性と呼ぶ。将来の需要増加を見据えつつ都市内の空間構造を踏まえて介護サービス供給のあり方を検討するためには、需要と供給の空間的関係を定量的に把握する必要がある。しかし、既存の介護サービス計画で

はこうした空間的分析が十分に行われているとは言い難い。

本研究は、介護サービスの将来需要推計と空間的なアクセシビリティ評価、および事業所追加シミュレーションを統合した分析枠組みを構築・提示することを主目的とする。その上で、愛知県豊橋市をケーススタディとして本枠組みを適用し、提案手法の有効性を検証するとともに、同市における将来の空間的需給バランスに関する知見を提示する。対象期間は 2020 年を基準年、全国的に高齢者人口がピークを迎えるとされる 2040 年を将来時点として設定する。

1-2. 既往研究と本研究の位置づけ

介護サービスの空間的分析では、GIS を用いてサービス供給の偏在やアクセシビリティを評価する研究が増加している。佐藤ら³⁾は、供給点ごとの供給・需要比を到達圏内で算出し、需要点ごとにそれらを合算してアクセシビリティを求める Two-Step Floating Catchment Area (2SFCA) 法により、サービス供給の地域偏在を定量化している。医療分野では、Jin ら⁴⁾が 2SFCA 法等で得たアクセシビリティに対して二変量 LISA を用い、空間的ミスマッチの抽出を通じてサービスアクセスの地域差を分析する枠組みを提示している。さらに、高瀬ら⁵⁾は訪問介護事業を対象に介護提供記録と道路ネットワークに基づき距離・移動時間を計測し、地理的条件や介護内容により移動コスト負担の大きい利用者が生じることを整理した。加えて、西野ら⁶⁾は GIS による将来の人口分布推計を基に、高齢者施設の配置適正化や要介護高齢者の施設への割り当て手法を構築しており、空間的視点から施設の適正配置を検討している。このように、既往研究では、アクセシビリティ、移動コスト、将来人口分布等の観点から、介護・医療サービスの空間的な需給関係や施設配置を評価する方法が提示されている。

一方で、介護サービスの立地配置や供給誘導エリアの検討、およびその計画単位となる日常生活圏域に関する研究

*正会員 独立行政法人都市再生機構 (Urban Renaissance Agency)

**正会員 豊橋技術科学大学大学院建築・都市システム学系 (Toyohashi University of Technology)

も多数蓄積されている。野原・佐藤⁷⁾は介護レセプトを用いて圏域間の流入出やサービス利用実態を分析し、圏域設定の課題を指摘している。また、竹澤ら⁸⁾は複数自治体の介護レセプトを一体的に分析することで広域的なサービス利用実態を明らかにし、自治体境界を超える圏域設定やサービス誘導の必要性を論じている。これらの研究は、実際の利用行動に基づいて介護サービスの圏域や供給のあり方を検討する上で重要な知見を示している。

さらに、将来の人口・世帯分布を推計する方法として、近年の都市計画・交通計画分野では、個人や世帯単位の人口動態を動的に表現するマイクロシミュレーション (Micro-Simulation:MS) 型都市モデルの活用が進んでいる⁹⁾¹⁰⁾。MS 型都市モデルは、個人や世帯の属性やライフイベントの変化を再現することで将来の都市構造や行動を予測する手法として用いられており、国内では Sugiki ら¹¹⁾ がオープンデータのみを利用した MS 型都市モデル HUMS を開発している。しかし、こうしたモデルを福祉分野へ応用し、要介護認定や要介護度の遷移といった制度的要素を考慮した将来需要分布を推計する研究はほとんど見られない。

以上を踏まえると、既往研究では、介護サービスのアクセシビリティや地域偏在の評価、将来人口を考慮した施設配置、実際のサービス利用に基づく圏域設定、将来人口・世帯分布の推計について、それぞれ有効な分析手法が蓄積されている。しかし、将来の介護需要分布を推計し、それをアクセシビリティおよび空間的公平性の評価と接続した上で、さらに事業所配置による改善効果までを一貫して検証する分析枠組みは十分に構築されていない。そこで本研究は、MS 型都市モデルによる将来需要分布の推計、カーネル密度関数による距離減衰を導入した KD2SFCA (Kernel Density 2SFCA) 法によるアクセシビリティ評価、ジニ係数と二変量 LISA による空間的公平性の評価、事業所追加シミュレーションを統合した分析枠組みを提示する。豊橋市への適用を通じて、その有効性を検証するとともに、将来の介護サービス需給に関する空間的課題を明らかにする。なお、本研究は将来需要と事業所立地との空間的関係の評価するものであり、介護人材の確保、事業採算性、自治体間の実際のサービス利用行動など、事業所立地を規定する非空間的要因そのものを分析するものではない。

2. 分析手法

2-1. MS 型都市モデルの基本構造

本研究の分析フローを図-1 に示す。まず MS 型都市モデルにより将来の要介護認定者数の空間分布を推計する。初期マイクロデータに対し、年次ごとに加齢・死亡・転出入等のライフイベントを確率的に適用し、将来の人口構造と居住分布の変化を再現する。得られた将来の要介護認定者分布を需要量算出に用い、KD2SFCA 法に基づくアクセシビリティ評価を統合した分析フローを構築する。橙色で示す箇所は、本研究で新規に実装した要介護関連イベントと分析枠組みである。分析期間は2020年を基準年とし、2040

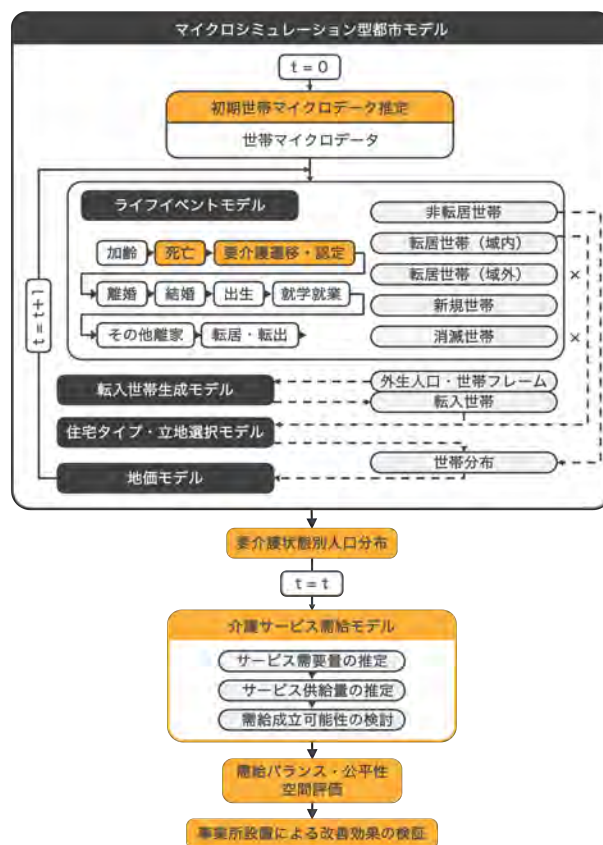


図-1 分析フロー

年までとする。なお、本研究では供給側は現状の立地分布と供給水準が継続すると仮定し、需要側のみを MS 型都市モデルにより将来推計することで、需要増による不足の顕在化を評価する。本研究で MS 型都市モデルを採用する理由は、将来人口メッシュに年齢階級別の要介護認定率を乗じる静的な推計とは異なり、個人単位で要介護認定の発生・更新、要介護度の遷移、要介護状態別の死亡等を年次ごとに再現することで、要介護度別の需要量とその空間分布の時系列変化を一貫して推計できる点にある。

2-2. 要介護状態の再現と将来推計の手法

一般的な MS 型都市モデルの枠組みに加え、要介護認定の発生・更新・要介護度遷移・要介護状態別死亡率を実装し、将来の要介護需要を推計する。本研究では要介護状態 c を、自立 ($c = 0$)、要支援 1・2 ($c = 1, 2$)、要介護 1～5 ($c = 3, \dots, 7$) の 8 区分 ($K = 8$) とする。年次更新におけるイベント適用順序は死亡判定→更新判定→要介護度遷移・新規認定の順とする。

(1) 初期要介護状態の付与 (初期世帯マイクロデータ推定)

初期状態の要介護度は、性別 s と年齢階級 a により決定される。東三河広域連合の 2020 年介護保険事業状況報告に基づく性別・年齢別の要介護度別認定者数と、国勢調査による性別・年齢別人口から推定した確率分布 $p_{s,a}$ により、高齢者個人 i へ確率的に付与する。転入世帯生成時も同分布に基づき、高齢者に要介護状態を付与する。

(2) 要介護状態別死亡率の適用

死亡は性別・年齢別の生命表に基づく基礎死亡率 $m_{s,a}$ をベースに、佐藤ら¹²⁾の先行研究から導いた要介護状態別の相対死亡リスク $r_{s,a,c}$ を乗じて補正した死亡確率 $d_{s,a,c}$ を設定し、モンテカルロ法により判定する。代表年齢の死亡確率は線形補間により連続年齢へ拡張し、全体の死亡者数が人口動態と整合するよう補正係数により調整する。

(3) 認定更新（継続・終了）の判定

認定更新は、厚生労働省「介護 DB オープンデータ」（2017 年～2022 年）およびダイヤ高齢社会研究財団「新規要介護認定者の経年変化」（2017 年）をもとに設定した要介護度別更新確率 π_c に基づき判定し、更新者に対して要介護度遷移を適用する。更新者の要介護度を暫定状態 $\tilde{c}(t)$ とし、要介護度遷移を適用する。非更新者は当該年に自立へ移行させ、年 t の新規認定の対象には含めない（次年度以降に対象となる）。

(4) 要介護度遷移と新規認定

要介護度遷移は、介護 DB オープンデータのクロス表から、元状態 c ごとに正規化して遷移確率行列 T を構築し、更新判定後の暫定状態 $\tilde{c}(t)$ に対応する確率ベクトルにより翌年状態を確率的に決定する。自立者は、全国の性別・年齢別認定件数および対象人口に基づき作成した新規認定率 $q_{s,a}$ により、翌年の要介護状態を確率的に決定する。

要介護関連パラメータは市内で一様とし、確率モデルのばらつきを考慮するため、複数回試行の平均値を以降の需給評価に用いる。

2-3. 介護サービスの需給バランス評価

在宅生活を支える中核サービスであり、サービス提供地域や日常的な移動制約の影響を受けやすく、立地と距離に基づくアクセシビリティ評価が妥当であることから、訪問系・通所系サービス事業所を対象とする。なお、訪問系・通所系のうちリハビリテーション系や看護系といったサービスは医療的要素が強く、供給体制や利用決定の前提が介護系サービスと異なるため、最終的な解釈の容易性を優先し介護系サービスに限定する。また、入所系（施設）サービスは定員等の収容能力が利用可能量を規定する側面が強く、立地に基づく距離摩擦の影響を相対的に受けにくいことから、本研究の分析対象から除外する。本研究では、2SFCA 法を基礎として、距離帯別の離散的な重み付けではなく、カーネル密度関数による連続的な距離減衰を導入した KD2SFCA 法¹³⁾により上述の式(1)～(3)を用いて ACC_i を算出する。本研究では、需要（利用回数）と供給（対応可能回数）を月あたりに統一し、アクセシビリティを需給比で表す。 d_{ij} は需要点 i と供給点 j のユークリッド距離として算出する。本研究では、市全域を対象として将来の介護サービス需給のマクロな空間的偏在を把握することを主眼とし、計算負荷および分析手法の簡便性・他地域への適用可能性を考慮してユークリッド距離を採用する。供給点 j を起点に閾値距離 $d_0=7\text{km}$ 以内の需要を集計して供給点別需給比 R_j を算出し、これを需要点 i に集約して ACC_i を得る。

$$f(d_{ij}) = \begin{cases} \exp(-\alpha d_{ij}^2) & (d_{ij} \leq d_0) \\ 0 & (d_{ij} > d_0) \end{cases} \quad (1)$$

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{k \in I} D_k \cdot f(d_{kj})} \quad (2)$$

$$ACC_i = \sum_{j \in J} R_j \cdot f(d_{ij}) = \sum_{j \in J} \frac{S_j \cdot f(d_{ij})}{\sum_{k \in I} D_k \cdot f(d_{kj})} \quad (3)$$

$f(d_{ij})$: サービスの需給成立可能性を表す関数

d_{ij} : 需要点 i と供給点 j の距離

R_j : 需給成立範囲内における供給点 j の需給比

D_i : 需要点 i からの需要量

S_j : 供給点 j からの供給量上限

ACC_i : アクセシビリティスコア

2-4. 空間的公平性の評価

本研究では、需要（認定者人口）分布に対してアクセシビリティの地域差がどの程度生じているかを、サービスアクセスの空間的公平性に関わる分布特性として評価する。具体的には、 ACC_i 分布の地域内偏在をジニ係数とローレンツ曲線により把握し、需要分布と ACC_i の局所的な不一致を二変量 LISA により分析する。二変量 LISA では、需要側指標を認定者人口、供給側指標を ACC_i とし、近傍関係は k 近傍法 ($k=8$) で設定した。統計的有意性は置換検定により評価し、有意なメッシュのうち、認定者人口が多く周辺 ACC_i が低い集積を抽出する。これにより、需要に対してサービスアクセスが相対的に不利となる局所的な不足集積を把握する。ジニ係数は地域全体における ACC_i 分布の偏在の大きさを要約し、二変量 LISA は不足がどこに集積しているかを空間的に同定する。本研究ではこれらを併用することで、地域全体の分布特性と局所的不足の双方を把握する。

2-5. 事業所設置による改善効果の検証

サービスアクセスの地域差が相対的に大きい訪問系サービスを対象に、目的関数の増分が最大化する地点を順次選択し、事業所を 1 件ずつ追加する貪欲法により、事業所追加による改善効果を検証する。

目的関数は、新規事業所の追加によって ACC_i が 1 未満となるメッシュで生じる ACC_i 改善量 $\min(1-ACC_i, \Delta ACC_i)$ に当該メッシュの認定者数を乗じた総和とし、最近隣距離の制約を満たす候補地点のうち、目的関数の増分が最大となる地点を追加順に選択する。

また、追加事業所数の上限は事前設定せず、最近隣距離の制約を満たす候補地点のいずれに事業所を追加しても目的関数の増分がなくなるまで探索を継続する。

3. 豊橋市への適用

3-1. 対象地域・空間分析単位

本研究では、将来需要を見据えた介護サービス供給の空間的課題を検討対象として愛知県豊橋市を取り上げる。第 9 期豊橋市高齢者福祉計画では、在宅サービスの安定的提供や介護人材確保が課題として位置付けられている。図-2

に対象地域の都市構造を示す。豊橋市は都市部と農山漁村地域が混在し、地域特性や交通条件の差異がサービスの利用環境に影響し得る地方都市である¹⁴⁾。総務省「2020 年国勢調査」によると、市内人口は 371,920 人、居住誘導区域内人口は 255,793 人 (68.8%) である。介護需要の規模として、東三河広域連合資料では 2020 年 10 月時点の高齢者人口は 96,208 人、要介護等認定者数は 14,196 人である。

本研究では、500m メッシュを基本単位とした。メッシュ中心点が豊橋市域内に位置し、居住人口が 0 人のメッシュを除く、831 メッシュを分析対象とした。人口分布やサービス提供体制の偏在を把握する。併せて政策的対応の検討を念頭に日常生活圏単位でも再集計し、圏域ごとの傾向を整理する。豊橋市の日常生活圏域は図-3 に示すように 22 圏域で構成される。

適用において、データの前処理および空間集計には QGIS (Ver. 3.40)、MS 型都市モデルによるシミュレーション、KD2SFCA 法、ジニ係数、二変量 LISA および事業所追加シミュレーションの計算には Python (Ver. 3.8.10) を用いた。

3-2. 対象介護サービス

介護サービスのうち、居宅および一部地域密着型サービスを対象とし、訪問系と通所系に分類して分析する。厚生労働省「介護サービス情報公表システム」に基づき、2025 年時点の事業所データを取得した。表-1 に示すように訪問介護および定期巡回・随時対応型訪問介護看護を含む訪問系 (計 64 事業所)、通所介護、認知症対応型通所介護、地域密着型通所介護を含む通所系 (計 138 事業所) を対象とする。さらに、小規模多機能型居宅介護 (計 5 事業所) を複合型サービスとして扱い、福祉医療機構「小規模多機能型居宅介護の経営状況」(2021 年) に示された利用者割合に基づき訪問系・通所系に按分した。

ACC_i 算出において、需要点は 500m メッシュ中心点とし、需要量は表-2 に示すようにメッシュ内の要介護度別認定者数に、認定者 1 人あたりサービス利用回数 (月) を乗じた合計として定義した。利用回数は、東三河広域連合「介護保険事業状況報告」(2020 年) に基づき、サービス別受給者数と要介護認定者数から算出した。供給点は 2025 年時点の各事業所立地とし、供給量は月あたり供給上限量として推計した。訪問系は常勤換算職員数に対応件数、通所系は 1 日利用定員に稼働日数 (25 日) を乗じて設定した。

以上の需要量・供給量を用い、2-3 の定式化に従って 500m メッシュ単位の ACC_i を算出した。

距離減衰は、先行研究³⁾¹⁵⁾に基づき 3km で供給効果が半減するパラメータ α を設定した。なお、豊橋市を対象とした先行研究¹⁴⁾では、通所系施設利用者の 45% が概ね 3km 圏内から利用されていると示されており、この利用実態に照らしても、供給効果の半減距離を 3km とする設定は概ね妥当と判断した。 $ACC_i \approx 1$ を需給均衡の目安とし、 $ACC_i > 1$ を相対的充足、 $ACC_i < 1$ を相対的不足と解釈する。

3-3. モデルパラメータの設定

MS 型都市モデルにおける基本パラメータは Sugiki ら¹¹⁾

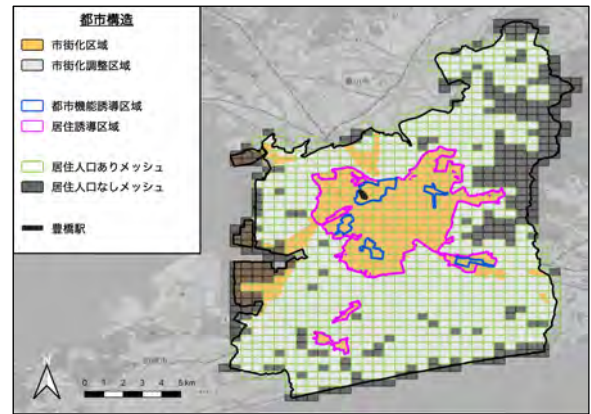


図-2 豊橋市の都市構造

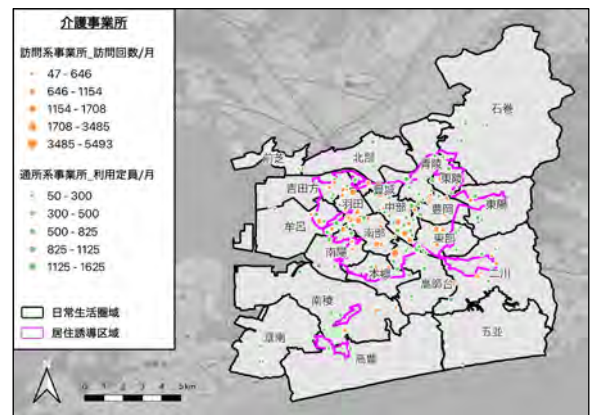


図-3 豊橋市の日常生活圏域と介護事業所立地

表-1 介護サービス分類 事業所数

訪問系サービス (64)		通所系サービス (138)	
訪問介護 (61)		通所介護 (62)	
定期巡回 (3)		認知症対応型通所介護 (10)	
		地域密着型通所介護 (66)	
複合型サービス (5)			
小規模多機能型居宅介護 (5)			

表-2 要介護度別介護サービス利用回数

要介護認定者 1人あたりの 利用回数 (回/月)		
	訪問系	通所系
	要支援 1	0.032
	要支援 2	0.029
	要介護 1	2.773
	要介護 2	3.972
	要介護 3	4.436
	要介護 4	4.686
	要介護 5	6.085
		2.213

において推定されたものを用いた。要介護関連パラメータについては、MS 型都市モデルの基準年となる 2020 年に対応する介護保険事業状況報告、介護 DB 等の公的統計および各種データベースを利用して設定した。

4. 分析結果

4-1. 要介護認定者分布推計

MS型都市モデルによるシミュレーションは2020年を起点に2040年までの20年間を実行した。確率的挙動によるばらつきを考慮し、50回試行の平均値を用いて要介護状態別人口分布を集計した。

図-4に要介護認定者数と認定率の年次推移を示す。要介護認定者数は通増し、2020年の14,400.5人から2040年には21,711.2人へ増加した。要介護度別の構成割合は概ね安定して推移しており、要介護認定・更新・遷移・死亡といったイベントがモデル内で整合的に作用していることが示唆される。東三河広域連合の公的推計（2040年：約19,000人）と比較すると、認定者数は14%ほど過大推計であるが、

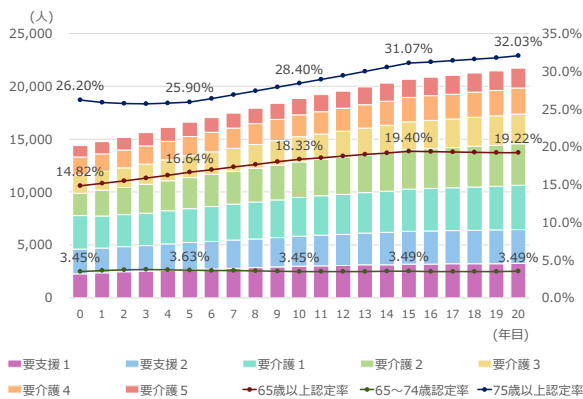


図-4 要介護認定者数と認定率の年次推移

認定率推移の挙動は概ね捉えている。

図-5に2020年から2040年における要介護認定者数の増減の空間分布を示す。豊橋駅周辺で増加が顕著であり、既存の人口集積地域で需要増が見込まれる。特に市内中央部から南部にかけて増加傾向が強い一方で、郊外部では減少傾向も見られ、将来の介護需要には地域差が生じる。

4-2. 介護サービスの需給バランス評価

訪問系・通所系サービスについて、KD2SFCA法により、500mメッシュ単位の ACC_i 算出結果を図-6に示す。 ACC_i は概ね1を基準として解釈し、1未満は相対的不足を示す。

豊橋市全体の平均 ACC_i は、2020年では訪問系1.112、通所系1.136、2040年では訪問系0.695、通所系0.734へ低下し、サービス供給に対する需要の相対的増大が示された。

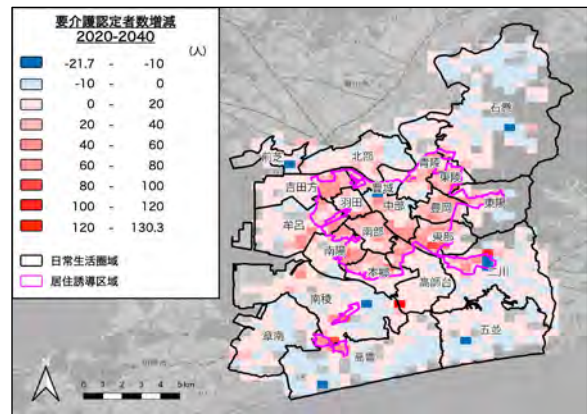


図-5 要介護認定者数の増減（0年目～20年目）

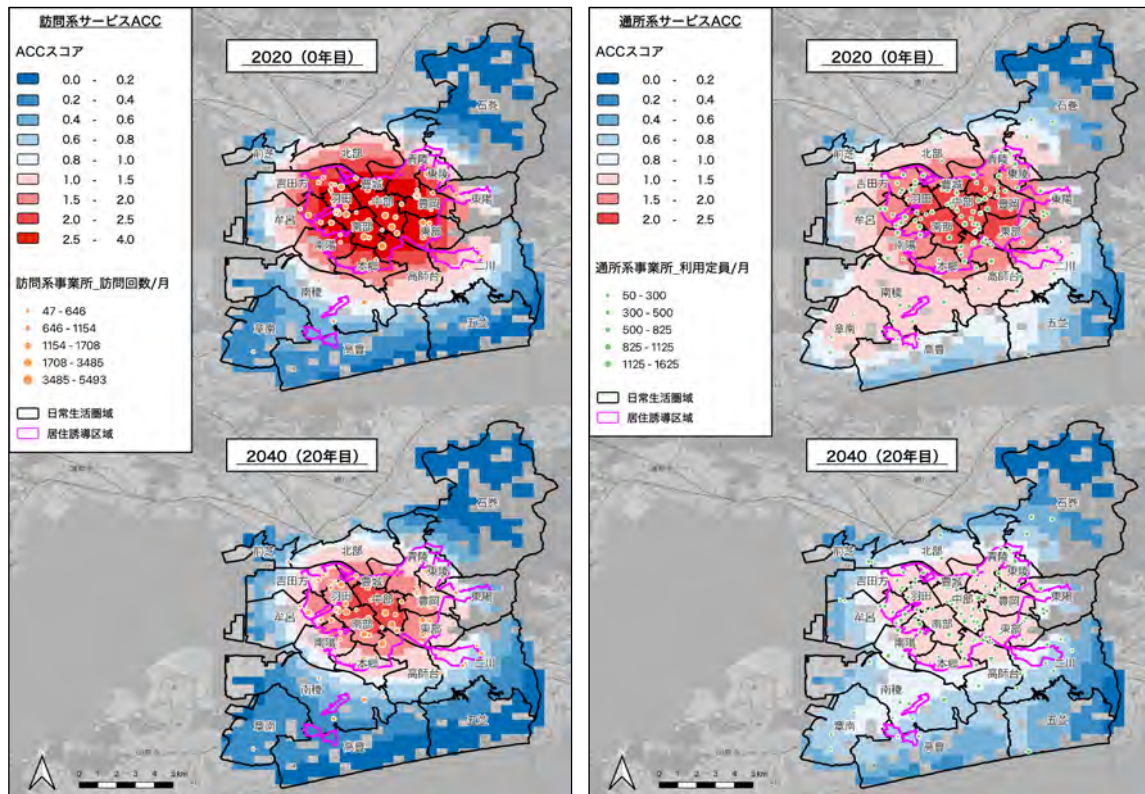


図-6 訪問系・通所系サービス ACC_i の空間分布

表-3 日常生活圏域別集計結果 2040 年

	訪問系サービス			通所系サービス	
	認定者数	ACC_i	$ACC_i < 1$ 人口	ACC_i	$ACC_i < 1$ 人口
石巻	690.9	0.113	690.9	0.306	690.9
青陵	1,491.4	1.016	353.6	0.934	353.6
東陵	834.1	1.065	139.3	1.065	139.3
北部	913.3	1.031	326.2	0.826	718.7
前芝	261.1	0.382	261.1	0.444	261.1
中部	1,714.7	2.089	0.0	1.422	0.0
豊城	582.1	1.803	0.0	1.239	0.0
羽田	895.9	1.963	0.0	1.320	0.0
豊岡	1,083.3	1.565	0.0	1.282	0.0
東陽	602.8	0.834	392.6	0.877	427.2
東部	1,345.9	1.536	0.0	1.222	0.0
吉田方	912.6	1.023	63.3	0.877	199.1
牟呂	1,222.7	0.948	221.1	0.849	339.2
南部	1,599.7	1.997	0.0	1.341	0.0
南陽	957.9	1.271	37.1	1.041	66.5
本郷	1,050.9	1.214	7.4	1.008	274.9
高師台	1,402.8	1.118	448.4	0.967	507.9
二川	1,484.1	0.501	1,274.1	0.518	1,462.0
南陵	1,465.0	0.476	1,465.0	0.764	1,465.0
章南	405.0	0.242	405.0	0.704	405.0
五並	221.3	0.188	221.3	0.464	221.3
高豊	573.6	0.208	573.6	0.543	573.6
全体	21,711.2	0.695	6,880.0	0.734	8,105.2

空間分布を見ると、訪問系・通所系とも豊橋駅周辺で高いスコアが分布し、サービス資源が中心部に集積している傾向が確認された。一方、郊外部で低スコアのメッシュが点在し、アクセス上不利な地区が生じ得る。すなわち、現状供給を前提とすると、需要増の下で中心部の相対的充足と郊外部の相対的不足が併存する可能性が示唆される。

表-3 に日常生活圏域別の集計結果を示す。中部、南部、羽田など中心市街地周辺の圏域では、訪問系・通所系とも ACC_i が相対的に高く、 ACC_i が 1 未満となる人口も小さい。一方、南陵、二川、石巻、など郊外部を含む圏域では、訪問系・通所系のいずれか、または両方で ACC_i が 1 を下回り、 ACC_i が 1 未満となる人口が大きい傾向が確認された。2040 年時点の $ACC_i < 1$ 人口は、訪問系で約 6,880 人、通所系で約 8,105 人に達し、平均値の低下に加えて、サービス不足が特定の圏域に集中する可能性が示唆される。

4-3. 空間的公平性の評価

認定者人口で重み付けしたアクセシビリティ分配の偏在を、サービスアクセスの空間的公平性に関わる分布特性として、図-7 に示すようにジニ係数およびローレンツ曲線により評価した。訪問系のジニ係数は 2020 年では 0.280 から 2040 年では 0.267 であり、通所系も 2020 年では 0.165 から 2040 年では 0.152 と大きな変化は見られなかった。ジニ係数が大きく変化しないことは、中心部にサービスが集積し周辺部で相対的不足が生じるという空間構造が維持されたまま、需要増加が上乗せされる状況と整合的である。さらに、サービス間で比較すると、訪問系の方が通所系より ACC_i 分布の不均衡性が大きく、サービスアクセスの地域差が相対的に大きいことが示された。

二変量 LISA による 2040 年時点の訪問系・通所系のクラスタリング結果を図-8・図-9 にそれぞれ示す。訪問系では、

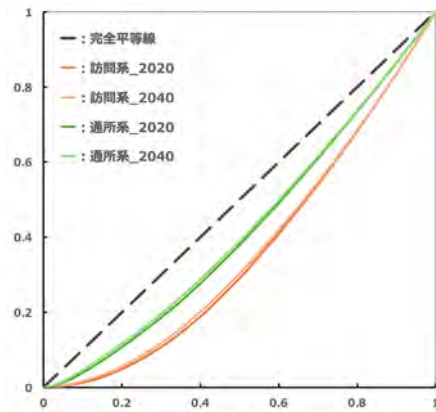


図-7 訪問系・通所系 ACC_i のローレンツ曲線

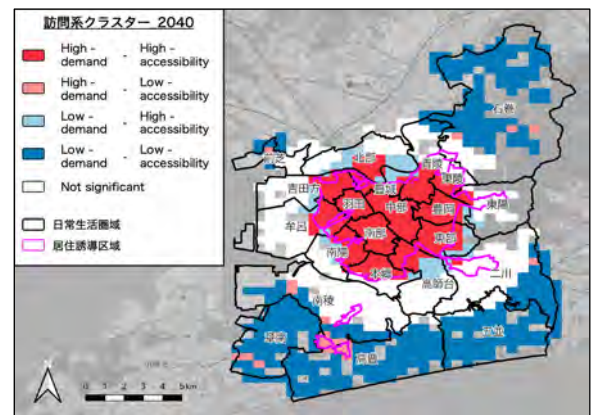


図-8 訪問系 4 クラスター分類 2040 年

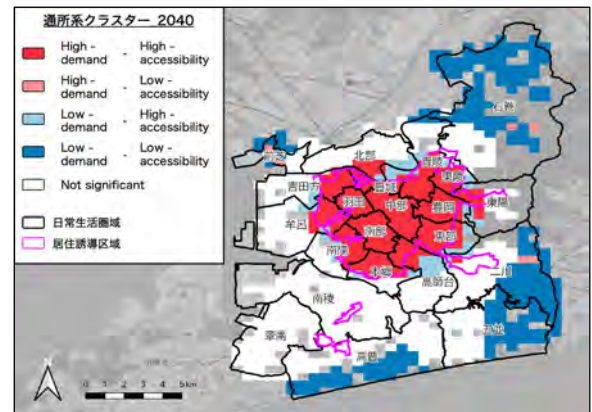


図-9 通所系 4 クラスター分類 2040 年

表-3 でアクセスが不利と示された南陵や二川、石巻などに、HL (High demand-Low accessibility: 需要が高い一方でアクセシビリティが低い状態) クラスターが確認された。これらの HL クラスターの一部は、飛び地状の居住誘導区域の周辺にも分布している。一方、通所系では同地区に HL クラスターはみられなかった。これは、需要に対して相対的にアクセスが不利な局所的な不足集積を示すものであり、以降の分析では、当該地区が事業所追加の優先候補として選択されるか、また追加によってアクセシビリティがどの程度改善されるかを検証する。

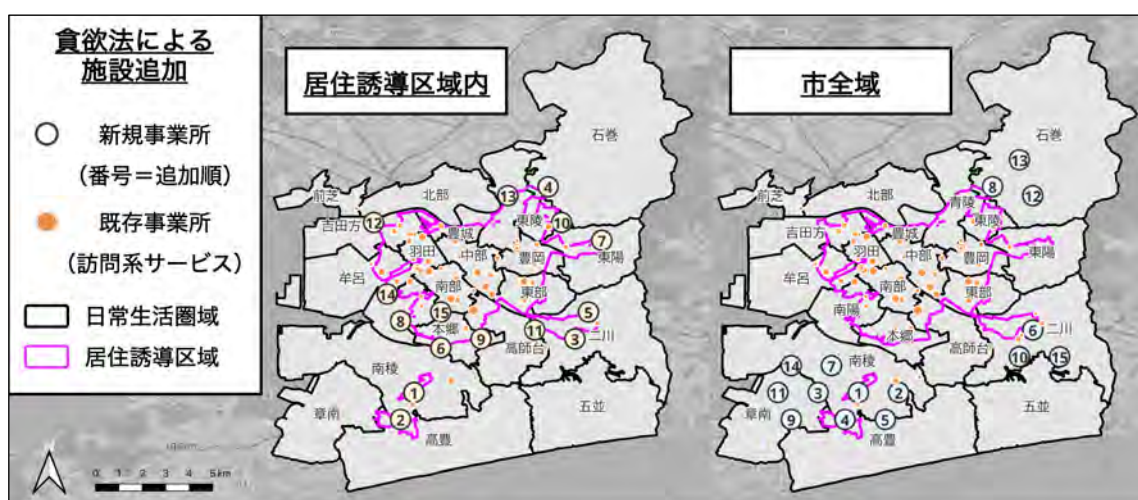


図-10 探索範囲別新規事業所立地

4-4. 事業所設置による改善効果の検証

追加事業所の供給規模は市内既存事務所の平均水準とした。立地候補は3-1節で設定する分析対象500mメッシュと同一のメッシュの中心点とした。また、候補点が過度に近接して選択されることを避けるため、追加事業所間の最近隣距離は1.5km（供給半減距離の半分）以上とした。

探索範囲は(i)居住誘導区域内、(ii)市全域（分析対象メッシュ内）の2ケースとした。豊橋市では、立地適正化計画に基づき居住誘導区域が設定されている一方、訪問系・デイサービス等は市内全域に必要な生活機能として位置づけられている¹⁶⁾。そこで本研究では、将来的な人口減少を踏まえ、居住誘導と介護サービス供給の配置を連動させた場合の影響を検討するため、(i)居住誘導区域内に新規事業所の立地を限定する場合と、(ii)居住誘導区域による制約を設けず、市全域を立地候補とする場合の2ケースを設定した。なお、これらは事業所の実際の立地可能区域や望ましい誘導区域を示すものではなく、探索範囲の違いによる改善効果を比較するための分析上の設定である。

図-10に探索範囲別新規事業所立地の結果、図-11に探索範囲別事業所追加による改善量の推移を示す。両ケースとも追加初期に改善効果が大きく、その後は追加件数の増加に伴い限界効果が逓減する傾向が確認された。とくに1～2件目は両ケースで選択地点がほぼ一致し、改善効果も同程度であった。一方、3件目以降は探索範囲の制約が影響し、市全域探索の方が改善効果を確保しやすい。セグメント回帰の結果、高効率域は、(i)で追加4件程度、(ii)で追加7件程度までに集中することが示唆された。追加10件以降は改善効果が小さくなり、供給増設のみで不足を解消しようとする多数の事業所追加が必要となる。そのため、事業所設置のみで対応する場合には、担い手確保や事業採算性などの現実的制約を受けやすい。

図-12に探索範囲別事業所追加による ACC_i が1未満となる人口の推移を示す。追加に伴い ACC_i が1未満となる人口は減少し、その削減量は追加初期に大きく、その後は徐々

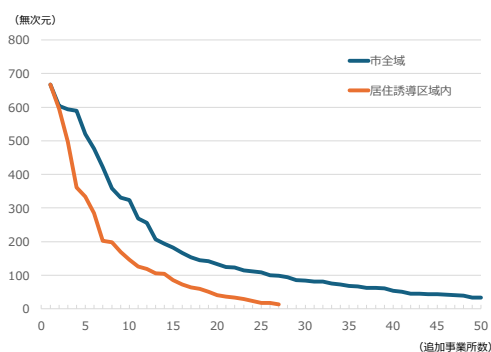


図-11 探索条件別ACC改善量の推移

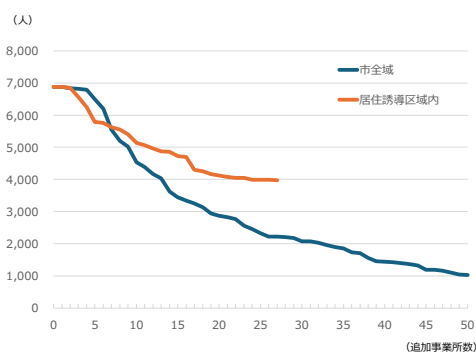


図-12 探索条件別 $ACC_i < 1$ メッシュ人口の推移

に小さくなる傾向を示した。追加前の人口は約6,900人（認定者全体の約30%）であり、市全域探索では追加7件程度で約1,500人の削減が見込まれる。探索範囲の比較では、市全域探索の方が、 ACC_i が1未満となる人口の削減を進めやすく、居住誘導区域内探索では区域外の不足が残りやすいことが示された。なお、本指標は閾値（ $ACC_i = 1$ ）を跨ぐ影響を受けるため、追加過程で一時的に両ケースの大小が逆転して見える局面が生じ得る。

以上より、事業所追加による改善効果は追加初期に大きく、その後は逓減することが確認された。また、図-10において追加初期（1～2件目）の立地先として選択された飛

び地状の居住誘導区域周辺では少数の事業所追加で改善効果が大きい不足が存在する一方、追加配置のみでは解消が難しい不足も存在する可能性が示唆された。

5. おわりに

5-1. まとめ

本研究は、MS 型都市モデルにより豊橋市の将来的な要介護需要分布を 2020 年から 2040 年にわたり推計し、訪問系・通所系介護サービスのアクセシビリティを KD2SFCA 法により評価することで、介護サービスの需給バランスを空間的に分析した。さらに、ジニ係数および二変量 LISA を用いてサービスアクセスの地域差と局所的な不足集積を把握し、事業所追加による改善効果を検証した。

分析の結果、市全体では要介護認定者数が増加し、それに伴い平均アクセシビリティスコア (ACC_i) は低下した。空間分布では、中心部にサービスが集積し周辺部で相対的な不足が生じる構造は 2020 年から 2040 年にかけて大きく変化しないことが示された。また、訪問系サービスでは需要が高い一方でアクセスが不利な地区 (HL クラスター) が、一部の飛び地状の居住誘導区域周辺にみられた。

さらに、貪欲法により事業所を段階的に追加した結果、追加初期には飛び地状の居住誘導区域周辺が選択され、改善効果が大きいことが確認された。その後は追加件数の増加に伴い改善効果は小さくなる傾向が見られた。居住誘導区域内のみを探索した場合は追加 4 件程度まで、市全域を探索した場合は 7 件程度まで改善効果が比較的大きいことが示された。市全域探索は不足地区の解消や地域差の縮小に効果が大きく、居住誘導区域内探索は市全体の平均的なアクセシビリティの改善に有利となる傾向が見られた。以上より、事業所配置の工夫によって比較的少ない追加で改善できる不足が存在する一方で、追加配置だけでは解消が難しい不足も存在することが示された。豊橋市においては、将来需要に対してアクセシビリティが相対的に低く、かつ事業所追加による改善効果が大きい地区を、事業所配置を優先的に検討する候補地区として抽出できる可能性が示された。また、事業所追加のみでは改善が困難な地区については、居住誘導や移動支援等を組み合わせた統合的な対応が必要であることが示唆される。

5-2. 研究の限界と今後の展望

本研究には、以下のような限界がある。第一に、要介護認定の発生・遷移・死亡率等の要介護関連パラメータを空間的に一様と仮定し、地域ごとの健康状態や介護慣行の差異を十分に反映できていない。第二に、需要量・供給量は平均的な稼働率・利用実績に基づく推計であり、サービスを利用したいが利用に至らない潜在的需要を捉えきれていない。また、供給条件が現状固定のため、事業所の撤退・参入や人材制約に伴う供給量の変動を考慮していない。第三に、アクセシビリティ評価はユークリッド距離に基づく量的指標に限定している。対象地域の需給は道路網が密な市街地に集中しており、ネットワーク距離との相関が高い

ためマクロな偏在把握の目的は概ね達成できていると考えられるが、道路ネットワークや渋滞等を考慮した所要時間ベースの分析は今後の課題である。また、道路ネットワークや移動手段、サービスの質、利用者の選好、費用負担等の非空間的要因を扱っていない。今後は、供給側の変動や政策介入を考慮したシナリオを導入し、都市構造の変化を踏まえたより現実的な需給分析へ拡張する必要がある。加えて、本知見は豊橋市という特定地域の分析に基づくものであり、その一般化には限界がある。また、他地域への本分析枠組みの適用を通じて、その有効性および地域間での知見の共通性・差異を検証する必要がある。

<謝辞>

本研究はJSPS 科研費 23K26224 の助成を受け実施しました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 宮澤仁 (2021), 都市高齢者の介護・住まい・生活支援 福祉地理学から問い直す地域包括ケアシステム, 明石書店
- 2) 厚生労働省, 地域包括ケアシステム, https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/hukushi_kaigo/kaigo_koureish_a/chuiki-houkatsu/index.html, 2026 年 2 月 3 日閲覧
- 3) 佐藤栄治, 山田あすか (2024), 「地方都市における介護サービス需給の定量的評価および整備方針の検証に関する研究」, 日本建築学会技術報告集, Vol. 30, No. 74, pp. 299-304
- 4) Jin T, Cheng L, Wang K, Cao J, Huang H, Witlox F (2022), 「Examining equity in accessibility to multi-tier healthcare services across different income households using estimated travel time」, Transport Policy, Vol. 121, pp. 1-13
- 5) 高瀬 敦, 山田 あすか, 野原 康弘, 佐藤 栄治 (2016), 「地方都市における訪問介護の効率的配置と運用に関する研究」, 都市計画論文集, Vol. 51, No. 3, pp. 901-908
- 6) 西野 辰哉, 笠井 翔平 (2019), 「GIS による人口分布推計を用いた高齢者施設の配置適正化計画手法の構築」, 日本建築学会技術報告集, Vol. 25, No. 60, pp. 813-818
- 7) 野原 康弘, 佐藤 栄治 (2021), 「介護レセプトからみる介護サービス利用実態と日常生活圏域設定の課題」, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 86, No. 781, pp. 1045-1053
- 8) 竹澤 くるみ, 佐藤 栄治, 野原 康弘 (2025), 「複数自治体の介護レセプトの体系的な分析による介護サービス利用実態の把握」, 日本建築学会計画系論文集, Vol. 90, No. 828, pp. 179-190
- 9) Paul Waddell (2002), 「UrbanSim: Modeling urban development for land use, transportation, and environmental planning」, Journal of the American Planning Association, Vol. 68, No. 3, pp. 297-314
- 10) J.D. Hunt, J.E. Abraham (2009), 「Pecan-for spatial economic modelling: theoretical formulation. System documentation technical memorandum 1 working draft」, HBA Spatial Incorporated
- 11) Sugiki N, Nagao S, Munkhbat B, Suzuki A, Matsuo K (2021), 「Development of a Household Urban Micro-Simulation Model (HUMS) Using Available Open-Data and Urban Policy Evaluation」, Urban Informatics and Future Cities, pp. 343-370
- 12) 佐藤幹也, 伊藤智子, 谷口雄大, 大森千尋, 金雪瑩, 渡邊多永子, 高橋秀人, 野口晴子, 田宮菜奈子 (2022), 「介護保険受給者台帳の資格喪失記録を死亡代理変数として使用することの妥当性の検討」, 日本公衆衛生雑誌, Vol. 69, No. 8, pp. 617-624
- 13) Dai D, Wang F (2011), 「Geographic Disparities in Accessibility to Food Stores in Southwest Mississippi」, Environment and Planning B, Vol. 38, No. 4, pp. 659-677
- 14) 浅野純一郎, 松下建介 (2018), 「地方都市の市街化調整区域における介護保険福祉施設の立地状況に関する研究」, 都市計画論文集, Vol. 53, No. 2, pp. 179-188
- 15) 増山 篤 (2015), 「青森県弘前市における介護サービスへのアクセシビリティ計画の試み」, 都市計画論文集, Vol. 50, No. 2, pp. 210-220
- 16) 豊橋市, 豊橋市立地適正化計画について, <https://www.city.toyohashi.lg.jp/31847.htm>, 2026 年 8 月 14 日閲覧