マルチエージェントモデルを用いた MaaS 導入による土地利用分布影響分析

佐治　宏尚[1]・北詰　恵一[2]

[1]学生会員　関西大学大学院　理工学研究科（〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3 丁目 3 番 35 号）
E-mail:k526022@kansai-u.ac.jp

[2]正会員　関西大学教授　環境都市工学部（〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3 丁目 3 番 35 号）
E-mail:kitazume@kansai-u.ac.jp

住宅や生活施設の立地は，都市部および都市郊外部では，鉄道・バスでのアクセスを主に想定する交通利便性を評価して，公共交通拠点周辺に集積する傾向が見られていた．しかし，今後導入が期待される Mobility as a Service (以下 MaaS)によって，多様な交通サービスの普及が進むと，必ずしもそのような土地利用分布とはならず，そのことが都市サービスにも影響すると考えられる．そのため，都市部，郊外部を含んだ地域での土地利用分布への MaaS による影響を明らかにする必要がある．本研究では，様々な MaaS サービスのうち，土地利用にも影響が大きい医療 MaaS に重きを置き，兵庫県西宮市を対象として，住宅，商業，病院に着目したマルチエージェントシミュレーションを構築し，それぞれのエージェントの相互作用によってもたらされる土地利用変化の特性を明らかにした．

Key Words: *MaaS,location choice model,multi agent simulation,urban structure*

1. はじめに

これまでの都市部，都市郊外部の住宅や生活施設の立地は，鉄道・バス等の交通利便性を評価して，公共交通拠点周辺に集積する傾向が見られていた．しかし，Mobility as a Service と呼ばれる MaaS のようなサービスを含んだデジタル技術の発達により，住む場所の選択肢が増えた場合では，これまでとは異なる土地利用になると考えられる．このことは令和 5 年版国土交通白書 [1]に示されている，時間的・空間的制約から解放された社会が実現した場合に住みたいと思う都市規模への意向を加味した人口分布（シミュレーション）の，デジタル化を加味した将来人口分布の結果から伺い知ることができる．都市部である関東 1 都 3 県（東京都，神奈川県，埼玉県，千葉県）の市区部ではデジタル化を加味する前後では，31%から 29%，近畿 2 府 1 県（大阪府，兵庫県，京都府）の市区部等では 13%から 9%に減少し，県庁所在市・中核市（上記以外の道県の県庁所在地，中核市）では 12%から 19%，町村部（市に属さない町村）では 7%から 8%に増加している．

国土交通省 [2]によれば，MaaS は複数の公共交通等を最適に組み合わせて，検索・予約・決済を一括で行うサービスとして提供するものとされている．MaaS に関する国の取り組みとして国土交通省，経済産業省が移動課題の解決及び地域活性化を目指すことを目的とした「スマートモビリティチャレンジ」プロジェクト [3]を 2019 年度から開始している．このプロジェクトでは各自治体で MaaS の実証実験が進められており，令和 5 年度の支援対象には 14 地域が選定されている．

近年，MaaS は移動だけでなく，移動先でのサービスと連携したも実証実験が多く行われている．しずおか MaaS[4]では，リアルタイムの混雑情報に加えて，混雑していない時間帯ほど商業店舗の割引率の高いクーポンを配布している．沖縄県宮古島市 [5]では，観光客に向けて相乗りタクシーの 1 日乗り放題チケットと食事や博物館の入場券等の販売を実証実験している．また，長野県伊那市 [6]では，医療機器を搭載した車両で，患者の自宅へ出向き，車内で病院にいる医師からオンライン診療を受けることができる医療 MaaS が実施されている．

そこで本研究では，様々な MaaS サービスのうち，土地利用にも影響が大きい医療 MaaS に重きを置き，兵庫県西宮市を対象として，住宅，商業，病院に着目したマルチエージェントシミュレーション（MAS）を構築し，それぞれのエージェントの相互作用によってもたらされ

る土地利用変化の特性を分析し考察する．

2. 既存研究と本研究の位置づけ

MaaS，マルチエージェントシミュレーションに関する研究の整理を行う．相馬ら（2021）[7]の研究では市町村別の医療サービス充実度を把握し，導出された都市類型や Web アンケート調査から得られた通院行動・意識から医療 MaaS の利用意向を分析した．分析結果より，高齢者よりも若年層に医療 MaaS の利用意向が高く，都市類型より，通院頻度・年齢階層による影響が，医療 MaaS の利用意向には大きいことが得られた．

古田ら（2021）[8]の研究では住居，業務，商業，空閑地のエージェントを持ったマルチエージェントモデルを構築し，各エージェント間の相互作用とその変化によって生じる都市構造変化のシミュレーションを行った．その結果，鉄道ネットワーク（十字）の整備は，住居・業務・商業主体が集積する拠点が形成され，商業主体の集客に格差が拡がった．環状線を追加した場合，住居や業務の集積拠点が増加し，商業施設の集客格差の拡大は緩和し，商業主体の消滅はほとんど起こらなかった．このことから，鉄道ネットワークの形状により商業施設の集客や存続可能性に違いが生じること分かった．

東ら（2018）[9]らの研究では茨城県南地域を対象に，自動運転車によるシェア型交通サービス（Shared-adus）の運転効率と都市構造の関係性を把握した．生活拠点となるゾーンに都市機能を集約することで，ライドシェア（以下 RS）の成立割合は増加するが，必要車両台数や車両走行時間は増加する傾向が示された．また，RS 成立割合を地域間で比較した場合，鉄道沿線地域や集約先ゾーンに隣接するゾーンで増減率が増加することが明らかになった．この結果から，単純に都市機能を集約するだけでは，車両偏在による課題が発生する可能性があるため，「小さな拠点」のように居住者の利便性を落とさない範囲でトリップ需要を集約することで Shared-adus の効率的運行を実現していく必要性があるとされている．

既存研究では，医療 MaaS 等の特定の MaaS に絞った研究は見られるものの，土地利用の影響まで研究しているものはあまり見られない．また MaaS の要素を含んだマルチエージェントモデルを構築しているものも見られないことから，本研究の特徴として 2 点あげられる．1 点目は土地利用にも影響が大きい医療 MaaS に重きを置いている点．2 点目は医療 MaaS 導入前後による土地利用変化をマルチエージェントシミュレーションによって分析している点である．

3. シミュレーション概要

(1) シミュレーション環境

分析方法はマルチエージェント用ソフトウェアの artisoc Cloud[10]を用いてマルチエージェントモデルを構築した．artisoc Cloud は構造計画研究所が開発したソフトであり，誰でも簡単にモデル構築ができる点，ルール記述の言語して Python を採用し，外部ライブラリとの連携を可能とすることで，より柔軟なモデル構築を可能とした点に特徴がある．

(2) モデル設定

本研究の仮想都市空間は 1 セル 50m×50m，全体で 50 セル×50 セルの 2,500 セルで構成されている．セル上に立地する主体として，住宅，商業，駅，病院，学校の 5 主体を設定する．初期配置では住宅 2,000，商業 400 をランダム配置，病院 142，小中学校 12，駅 4 を国土数値情報ダウンロードサービスを基に設定している．その理由として，仮想都市ではあるが，現実空間に近づけるために，駅や病院，小中学校のような簡単に移転，消滅はしない主体は現実空間を基に設定した．参照した地域は，住宅や商業がバランスよく立地する住宅街で医療 MaaS のポテンシャルの高い兵庫県西宮市の阪急西宮北口駅周辺である．また，同一主体であれば，同セルに複数存在が可能としており，色が濃いほど 1 セルに同一主体が立地している．駅，病院，小中学校は初期配置から動くことはないが，住居，商業は，立地ポテンシャル式により，移転，現状維持，消滅を繰り返し行う．

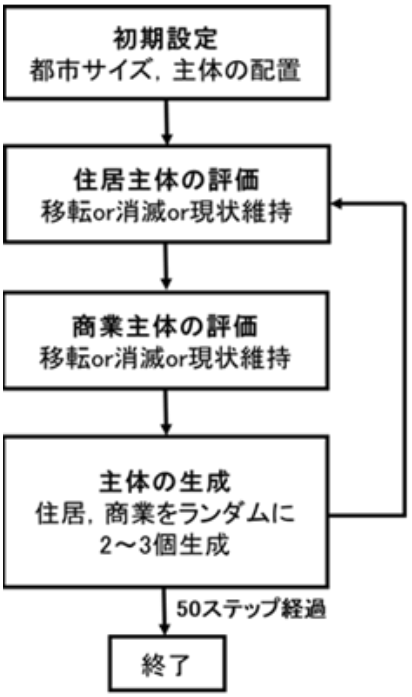


図 1　シミュレーションフロー図

移転する条件は，住宅ポテンシャルが $movePr$（移転閾値）を下回った場合とし，距離 3 以内の場所に移転する．消滅する条件は，住宅ポテンシャルが 0 以下になった時である．移転，消滅に条件が当てはまらない場合は，現状維持となる．生成は，1 ステップごとにランダムに 2～3 個，空閑地に行われる．商業主体も同様の設定にしている．距離 3 というのは上下左右斜めに 3 つ隣のセルまでの移動できることを示している．図 1 にシミュレーション概要を示す．住居，商業の移転，現状維持，消滅の動作を 1 ステップとし，50 ステップに達するまで繰り返し行う．

(3) 住居主体の定式化

住宅主体，商業主体の式は古田ら（2021）を参考に作成した．住宅主体の式を（1）～（8）に示す．

$$P_i^r = a_1 + a_2 ACC_i^c + a_3 ACC_i^h - R_i \quad (1)$$

P_i^r：住宅立地ポテンシャル，a_1：定数項，a_2：商業アクセシビリティに関するパラメータ，ACC_i^c：地点 i における住宅主体全体の商業へのアクセシビリティ，a_3：病院アクセシビリティに関するパラメータ，ACC_i^h：地点 i における住宅主体全体の病院へのアクセシビリティ，R_i：地点 i における地代

$$ACC_i^c = \sum_{j \in J} n_j^c \exp(-a_4 T_{ij}^c) \quad (5)$$

$$T_{ij}^c = d_{ij}^c / v_{ij}^c \quad (6)$$

n_j^c：地点 j における距離 3 以内の商業主体数，a_4：移動時間の減衰パラメータ，T_{ij}^c：地点 i から地点 j の商業までの移動時間，d_{ij}^c：i，j 間の直線距離，v_{ij}^c：i，j 間の移動速度

$$ACC_i^h = \sum_{j \in J} n_j^h \exp(-a_5 T_{ij}^h) \quad (7)$$

$$T_{ij}^h = d_{ij}^h / v_{ij}^h + \mathrm{w_t} \quad (8)$$

n_j^h：地点 j における距離 3 以内の病院主体数，d_{ij}^h：i，j 間の直線距離，v_{ij}^h：i，j 間の移動速度，w_t：診察待ち時間（デマンドバス利用：2 分，デマンドバス非利用：15 分）

$$R_i = R_i' + \Delta R_i \quad (2)$$

$$\Delta R_i = \gamma^r n_i^r + \rho^r (n_i^h + n_i^c) \quad (3)$$

$$\Delta R_i = \gamma^c n_i^r + \rho^c (n_i^h + n_i^c) \quad (4)$$

R'_i：地点 i の基本地代，ΔR_i：地代変化，γ^{rc}, ρ^{rc}：重みとなるパラメータ，n_i^r：地点 i における距離 3 以内の住居主体数，n_i^c：地点 i における距離 3 以内の商業主体数，n_i^h：地点 i における距離 3 以内の病院主体数，

住宅立地ポテンシャルは商業アクセシビリティ，病院アクセシビリティ，地代で求められる．商業アクセシビリティ，病院アクセシビリティが増加すれば住宅ポテンシャルが増加する．地代の式は，住宅や商業が集まると，地代上昇の影響を受けて郊外に転出する人も増えることを表現している．住宅主体 i は，距離 3 以内の商業，病院すべてを利用していると仮定している．商業アクセシビリティは商業までの移動時間 によって求められ，移動時間が減少することでアクセシビリティが向上する．移動速度は鉄道駅から距離 5 以内に存在する住宅主体は 10.0，それ以外の場所では 3.0 で設定している．病院アクセシビリティも同様に移動速度によって求められる．移動速度は商業アクセシビリティと同様に，鉄道駅から距離 5 以内に存在する住宅主体は 10.0，それ以外の場所では 3.0 と設定している．異なる点として，病院アクセシビリティではデマンドバス運行によるアクセシビリティ向上を考えているため，デマンドバス運行範囲では 10.0 と設定している．地代は基本地代に加えて，距離 3 以内の住宅主体数，商業主体数による変化を表現している．距離 3 以内の設定理由として，町の大きさが 350m ×350m程度であることが多いため，その大きさに合わせて設定した．住宅数，商業数が増加すると地代が高騰し，立地ポテンシャルが減少する．また，基本地代は住宅主体が 2，商業主体が 4 と設定している．各変数の関連性を図 2 に示す．

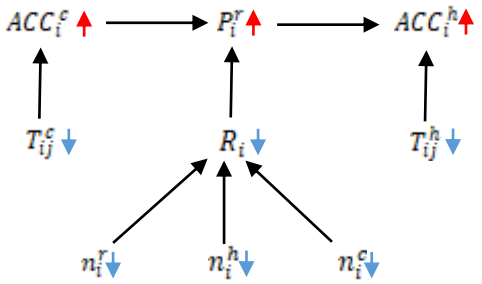


図 2　変数の関連性

(4) 商業主体の定式化

商業主体の式を（9）に示す．

$$P_i^c = b_1 + b_2 n_i^r + b_3 n_i^c - R_i \quad (9)$$

P_i^c：商業主体の立地ポテンシャル，b_1：定数項，b_2，b_3：重みとなるパラメータ

商業主体の立地ポテンシャルは距離 3 以内の住宅数と商業数が多ければ増加する．住宅立地ポテンシャルと同様に住宅主体や商業主体が集まると，地代上昇の影響を受けて郊外に店舗を移転することを表現している．

これらの式間の相互作用を反映して繰り返し計算を行い，条件変化による土地利用変化を推計する．

4. シナリオ設定

本研究ではシナリオは以下の 2 つとする．

1. 基本設定
2. 医療 MaaS

本研究の医療 MaaS はデマンドバス導入により通院速度の向上，通院範囲の拡大，診察待ち時間の減少を考えている．通院速度の向上はデマンドバスを利用することにより，徒歩での移動より速くなることから考えられる．通院範囲の拡大では，徒歩移動では限界があり，遠くの病院には自分の足で行けなかった人が，デマンドバスの利用により運行範囲の病院にいつでも行けることから通院範囲が拡大すると考えている．基本設定では通院範囲を距離 3 にしているが，医療 MaaS シナリオでは通院範囲を距離 8 に設定している．診察待ち時間の減少は，現状の病院では予約をしても診察待ち時間が発生することも多いのに対し，本研究の医療 MaaS では，診察時間に合わせてデマンドバスが運行すると考え，利用することで診察待ち時間が減少すると設定した．デマンドバス非利用の時の診察待ち時間は 15 分としている．これは厚生労働省の令和 2（2020）年受療行動調査（概要）の概況 [11]で示されている診察等までの待ち時間に関する項目に 15 分未満が 27.9%，15 分～30 分未満が 25.8%と示されていることから決定した．またデマンドバス利用時の診察待ち時間は 2 分としている．本研究では表 1 のようにパラメータを設定した．

表 1　パラメータの設定

パラメータ	値	パラメータ	値
a1	40	ρ^r	0.30
a2	5.3	ρ^c	1.7
a3	5.0	b1	19
a4	0.4	b2	1.2
a5	0.36	*b3*	1.0
γ^r	0.35	$movePr$	36
Γ^c	1.5	$movePc$	29

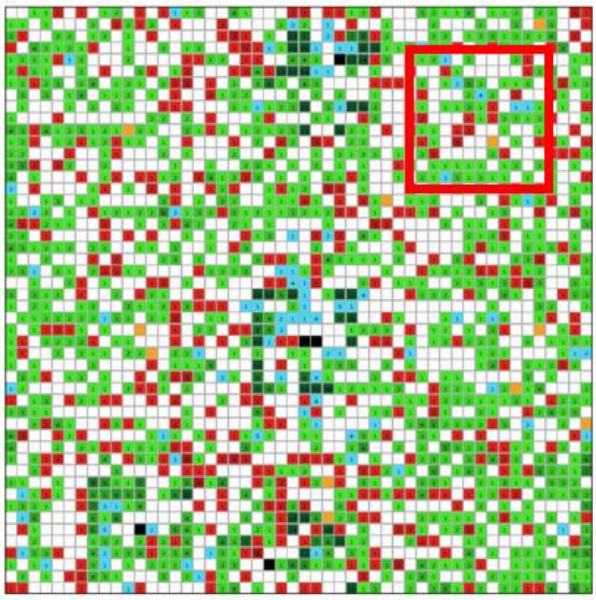


図 3　基本設定

5. シミュレーション結果

以下にシミュレーション結果の一例を示す．赤色で囲っている箇所がデマンドバス運行範囲を想定したものである．赤枠内に存在する住宅主体は，デマンドバスを利用して通院すると想定しており，通院速度の向上，通院範囲の拡大，診察待ち時間の減少の効果が得られる．図 3 の基本設定のシミュレーション結果を見ると，鉄道駅周辺に住宅主体が多く立地していることがわかる．鉄道駅周辺は他の場所に比べ，商業，病院へのアクセシビリティの良さから立地が多くなっていると考えられる．図 4 の医療 MaaS では基本設定での鉄道駅周辺への集積以外にも，デマンドバス運行範囲に住宅主体が立地していることが確認できる．基本設定と医療 MaaS 導入した場合の土地利用分布を比較すると，デマンドバス運行範囲に住宅数が増加していることがわかる．赤枠内の住宅主体数は 78（基本設定），374（医療 MaaS）となっている．これはデマンドバス運行による病院アクセシビリティの向上が住宅立地に影響を与えたと考えられる．

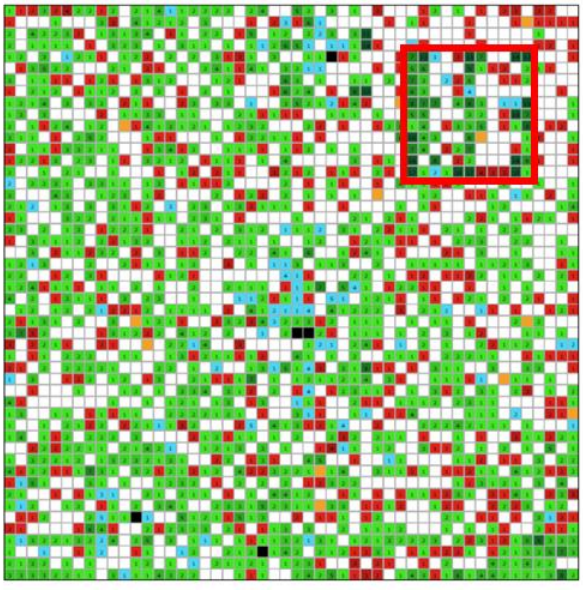


図 4　医療 MaaS

6. おわりに

本研究では兵庫県西宮市を対象として，医療 MaaS が土地利用分布に与える影響を，住宅，商業，病院に着目したマルチエージェントモデルを構築して明らかにした．医療 MaaS 導入により，デマンドバス運行範囲に住宅主体数が増加することが示された．デマンドバス運行による病院アクセシビリティが向上したため，土地利用に変化があったと考えられる．

今後の課題として，パラメータ値が仮想のものになっているので，シミュレーション結果がパラメータ値に依存している．パラメータ値を決定するために，現在西宮市を対象にアンケートを行っている．今後はアンケート結果を基にパラメータ推計を行い，リアルなデータからシミュレーションを行う必要がある．また，医療 MaaS 以外にも MaaS は多義に渡り考えられるため，別の観点から見た MaaS 導入効果のシミュレーションを行う必要がある．

REFERENCES

1) 令和 5 年版国土交通白書-国土交通省
2) 国土交通省日本版 MaaS の推進
3) Mobility Challenge：企業・地域の取り組み紹介
4) 茂地顕一郎：特集論文　アフターコロナ社会を見据えた“しずおか MaaS”での人流制御の実証実験，三菱電機技報・Vol95-No12 2021 年
5) 「宮古島 MaaS」の実証事業が始まります！：内閣府沖縄総合事務局運輸部企画室
6) 「医療×MaaS」で地域課題を解決！私たちのまちをヘルスケアモビリティが走る日：PHILIPS
7) 相馬佑成・森本瑛士・谷口守：医療 MaaS 等を含むコネクティッド・メディスンの導入に向けた一考察ー通院行動・意識とコロナ禍の影響に着目して，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol76，No5（土木計画学研究・論文集第 38 巻）
8) 古田 稜・鈴木 温：住居・業務・商業間のネットワーク構造に着目した土地利用変化のマルチエージェントシミュレーション，公益社団法人日本都市計画学会　都市計画論文集 Vol56,No3,2021 年 10 月
9) 東達志・清水宏樹・高原勇・谷口守：都市特性から見るシェア型自動運転車の影響比較　ー国内外都市の車両走行距離の変化に着目してー，公益社団法人日本都市計画学会都市計画報告集 No18,2019 年 8 月
10) 小川倫・北上靖大：マルチエージェントシミュレーション用ソフトウェア artisoc Cloud の紹介，オペレーションズ・リサーチ：経営の化学，2020
11) 厚生労働省：令和 2（2020）年受療行動調査（概数）の概況

(Received July 21,2023)
(Accepted ??????)

Analysis of the Impact of MaaS on land use distribution using the multi-agent model

Hirotaka SAJI, and Keiichi KITAZUME

In urban and suburban areas, residential and living facilities have tended to be concentrated around public transportation terminals, mainly because of the convenience of transportation, which is assumed to be accessed by rail and bus. However, if a variety of transportation services are introduced by Mobility as a Service ("MaaS"), which is expected to be introduced in the future, the land use distribution will not necessarily be like that, and this will affect the urban services. Therefore, it is necessary to clarify the impact of MaaS on land use distribution in urban and suburban areas. In this study, among various MaaS services, we focus on the medical MaaS, which has a large impact on land use, and construct a multi-agent simulation focusing on residential, commercial and hospital locators in Nishinomiya City, Hyogo Prefecture, to clarify the characteristics of land use change caused by the interaction of each agent. The characteristics of land use change caused by the interaction of each agent are clarified.