

滞在行动の影響を考慮した 地主間土地取引マッチングモデルの構築と実証

小林 里瑛¹・羽藤 英二²

¹正会員 東京大学工学系研究科 社会基盤学専攻 助教 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)
E-mail: kobayashi@bin.t.u-tokyo.ac.jp

²正会員 東京大学工学系研究科 社会基盤学専攻 教授 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)
E-mail: hato@bin.t.u-tokyo.ac.jp

都市における地主の売買行動の需給均衡の理論化は、未だ途上にある。本研究はマッチングアルゴリズムの導入により土地取引の均衡状態を交通行動データを含む実データから明らかにすることを旨とする。売買土地選択問題を MNL モデルで構築し、実際の土地取引データを用いてモデルの推定を行った。モデルは交通行動モデルの推定量を説明変数とし推定売量が買い行動に、推定買量が売り行動に影響するとした入れ子構造とした。売買モデルの推定パラメータを用いて選択確率を計算、各地主の選好を定義し、DA アルゴリズムでマッチングを行った。結果より実際の土地取引データだけでは判明しない土地の需給バランス、開発によるマッチングの空間分布の変容を明らかにした。

Key Words: land transaction, discrete choice model, travel behavior model, stable matching

1. はじめに

土地と交通の相互作用モデルフレームワークは、サブモデルである土地市場において需給バランスによってその均衡を記述し、社会基盤の費用便益分析に用いられてきた。こうしたモデルはゾーンごとの集計的な単位で推定されてきたが、ゾーン単位の分解能では、リモート技術や高密度で部分的な都市開発が引き起こす回遊パターンの劇的な変化に伴う土地取引の変化を記述することは困難である。本研究では、地主の意思決定問題に着目してマッチング問題として定式化することで、ゾーン以下で非集計な地主間の相互メカニズムの解明を試みる。

さらにここで着目する地主の土地取引行動は、都市計画及び土木計画の立案・実行において不可欠な要素である。しかしながら、土地取引行動の予測に必要な情報は、公正な取引を担保する目的で公開されているものの、悉皆的に把握されていないため時間的にも空間的にもスペースである上に、取引価格と取引された不動産の形状のみと非常に限定的なものにとどまる。この他に公開された土地取引に関する情報である地価もまた、土地の評価額をベースとした公示地価や路線価といった、取引価格とは別の基準で定められている。このように我が国において土地取引と取引価格の決定メカニズムがブラックボックスとなっていることは、取引価格と評価価格の乖離によるバブル現象や地方における買い手の付かない土地

の増加といった諸問題を解決する有効な政策を打ち出せていない原因となっている。従って、土地取引の状況を理論を元に実データから明らかにすることは、都市計画や取引の調整など土地に関する制度改革に対して、理論的かつ現実に即した論拠を与えることになるだろう。

以上の観点から、相互動的な地主の土地取引と交通の相互作用の理論化を試み、その実証によるミクロな土地取引モデルの妥当性の検証と交通行動から受ける影響を確認することで、本研究で提案するモデルの可能性を示したい。

(1) 土地取引とサーチ理論

土地取引に関する理論は、経済学においては住宅市場における取引問題として捉えられている。住宅市場における取引を扱う方法論の一つがサーチ理論である¹⁾。サーチ理論は、労働市場や購買決定において商取引の前に売り手と買い手を探し求めるという現実の行動の存在を明示的に取り扱うところに大きな特徴がある。サーチ理論における行動モデルは、再探索を行った時に得られる将来価値とコストと、探索を打ち切ったときに得られる利得のバランスを釣り合わせる最も良い均衡点である留保価格（労働市場における職探しのサーチにおいては留保賃金）を探索するものであり、数学的には最適停止問題として定式化することができる。Stigler (1961, 1962)²⁾は情報や職業の探索行動をサーチ理論で定式化し、

McCall は最適停止問題に基づいた逐次的で動的な職業探索モデルを提案している⁴⁹⁾。これらの先駆的研究では、選択肢が完全情報的で貨幣価値が不変である場合、雇用主が失業者を雇用するかどうかについて理論的にその解を提示していると言えよう。労働市場のサーチ理論においては時間の経過と共に留保賃金に変化し、失業期間が長期化するほど失業者が受け入れる職場環境の水準が下がると仮定されている⁹⁾。

選択肢が完全情報ではない、すなわち不完全情報から探索を行う問題はバンディット問題と呼ばれている。バンディット問題では、どこで最低価格の商品が売られているかという完全情報を買手が持たない時、全ての売手が同じ価格で財を提供するとは限らない、という現象が生じる。これは、売り手の販売量と収益の間にあるトレードオフを原因とする。売り手が高い値段をつけた場合には留保価格を高く設定している少数の買手が財を購入し、低い値段をつけた場合には多くの買手が財を購入することから、売り手は複数の価格を提示する⁷⁸⁾。

こうした探索現象は、マッチング関数という枠組みを用いて、マクロ経済学モデルに組み入れられつつあり、2 者の探索が相互作用すると仮定されている。すなわち労働市場においては失業者による職の探索（求職）と、雇用主による労働者の探索（求人）の両方向サーチが新たなジョブマッチングを可能にする。

今井(2016)¹⁾によると 2 者すなわち売り手と買手両方の行動を仮定した「両方向サーチ理論」を住宅市場に持ち込んだのは Wheaton(1990)⁹⁾であり、マルコフ的な状態推移により住宅価格が買手間のナッシュ交渉によって決定づけられると仮定している。Wheaton (1990)⁹⁾のモデルをブラウンフィールドの売買のような具体的な都市計画的な課題に適用した研究も存在し、ブラウンフィールド発生機構についてそのメカニズムを数値実験により提示している¹⁰⁾。

(2) 土地取引とマッチング問題

土地取引サーチ理論の他に住宅市場におけるマッチング問題は主に住居割り当ての問題で考慮されてきたと言えよう¹¹⁾。住居割り当て問題は TTC (Top-Trading Cycle) アルゴリズムを導入することで、耐戦略性を持つ配分となる割り当てとなることが証明されている。住宅の割り当て問題については、公的所有と私的所有が混じった混合所有の問題¹²⁾や混合所有を前提としたアルゴリズムの提案¹³⁾¹⁴⁾がなされている。しかしながらこれらの問題が想定しているのは、選好を考慮する主体が片側のみという場合であり、取引に見られるような 2 者両方の選好については想定されていない。実際には売り手と買手両方の選好が存在するはずであることから、2 主体による最適な取引行動を考慮する。

2 主体の選好を用いたマッチング問題の代表的な解法には Gale-Shapley(1962)¹⁵⁾の DA アルゴリズムがある。DA アルゴリズムは結婚問題に代表される一対一の問題に始まり、学校選択問題に代表されるような一対多、多対一の問題にも拡張されていると同時に、実務における実装例も多く理論的にも実証的にも頑健なアルゴリズムであると言える。実装の例として、日本の研修医マッチング¹⁶⁾や、待機児童問題における保育園割当マッチング¹⁷⁾などが挙げられる。

このマッチング問題を土地取引に適用するのであれば、各地主の土地の選好順序が各地主の好みに基づいており、売り手と買手全員を全順序で並べたリストであると仮定した安定土地取引問題であると定義することができる。自分自身とのマッチングであれば誰からも土地を買わず、売らないままであることを意味し「参加者全員が土地を売ったり買ったりしないことよりも望ましい地主に土地を売るか買う」マッチング、つまり個人合理性を満たすと仮定する。安定土地取引問題の解は安定マッチングである。互いに現在の取引相手より良いペアが存在せず、全員が個人合理性を満たすマッチングを安定マッチングという。

(3) ゲーム理論における土地取引問題

土地取引は、土地や不動産の開発プロセスにおいて必ず生じる現象であり、個人間あるいはグループ間の相互作用の一形態である¹⁸⁾¹⁹⁾。従って都市開発・都市再開発の文脈において、ゲーム理論を用いた主体間の相互作用と意思決定のモデリングが試みられてきた。

例えば、最初期の研究である Eckart (1985)²⁰⁾は、地主と開発者間で三段階のプロセスからなる交渉を仮定している。具体的には、まずはじめに開発者が地主に対してオファー価格を提示する。次に、オファー価格を元に地主が最適希望価格を決定する。開発者によるオファー価格が最適希望価格を下回る場合、開発者のオファーは断られる。最後にオファーが断られた場合、開発者は地主から提示された希望価格を受け入れるかリジェクトするかを決定する。以上の手番で定式化されたゲームにおける均衡価格とそれぞれの主体における最適戦略について証明している。

また、Asami (1988)²¹⁾は土地市場に数少ない参加者しかない場合の土地開発ゲームを定式化し、開発者と地主の利益配分について分析した。利益配分についてはゲーム的枠組みの中で「協力関係からの離反のリスク」を考慮していることから、協力的なゲーム理論に立脚しているといえよう。

これら 2 つのモデルに対して O'Flaherty (1994)²²⁾は、開発者がすべての土地を買収せずにプロジェクトを進めると条件を緩和し、ある地主が良い価格を求める場合は非効

率になることを示している。また、Eckart (1985)²⁰が構築したゲームに対して、地主と開発者間の情報の非対称性において、情報獲得がベイズ的に行われると仮定し、双方の均衡価格や、開発者の戦略が明らかとなっている²¹。以上に述べたゲーム理論モデルは、売り手（地主）と買い手（開発者）の非協力²⁰あるいは協力²¹ゲームであり都市開発の文脈で各主体の最適戦略と均衡価格の性質を明らかにしている。以降、都市開発における二者のゲームの研究蓄積は土地の収容交渉と反抗に焦点を当てた中国のケーススタディに多く見られ、開発者と地方政府²⁴あるいは農民（地主）と地方政府²⁵を経済主体としたモデルが存在する。

土地取引を伴う交渉ゲーム理論モデルは、各国の土地取引やゲーム参加主体間の権力関係の特性を取り入れつつ三者以上の相互作用モデルに拡張されつつある。Mu & Ma(2007)²⁶は中国を対象に政府・土地開発者・不動産開発者・消費者の4主体における非協力・協力ゲームの両者を構築し、土地と不動産の開発者が独立して価格決定を行う場合に、協力ゲームの場合より最適価格が高くなることを示した。こうした協力もしくは非協力ゲームに対してXie et al.(2018)²⁷は農民-政府、地方政府-中央政府間の戦略を動的な進化ゲームによって定式化した。

同じく3者以上のモデルは地主の意思決定原則の異質性によって交渉に費やす時間が異なることも明らかにしている²⁸。Lin & Lin(2014)²⁸は台北における都市再生事業を想定し、地主と開発者という2者に対して不確実性を考慮した「Nature」を第3の主体として位置付け逐次的な交渉ゲームを提案した。Samusura et al.(2010)²⁹はオランダで新たに施行された土地開発法の文脈において、市町村・土地を持っていない開発者・土地を持っている開発者・土地所有者4者のゲームを提案し、全ての利害関係者が最良の利益を得る均衡状態に達することが可能であることを示した。Jana et al.(2020)³⁰はland assembly問題における土地所有者-開発者ゲームに対して、インドというインフォーマルな都市開発が卓越している地域固有の問題として、地主・政府・民間デベロッパー・フリーライダーの4者を主体に設定し、線形/非線形で表現した彼らの効用を最適化することで生じる最適土地価格を見つけるゲームを構築した。

こうしたゲーム論的モデルフレームワークは均衡価格への収束プロセスや、土地所有者と地価の依存関係、開発者の最適戦略について解析的に明らかにしている。しかしながら、地主の行動が価格にのみ依存し、行動の構造パラメータについては不明である。また、地主間のゲームは研究の対象外となっている。

(4) 土地-交通モデルにおける土地市場問題

一方、都市計画や土木計画の分野における土地取引問

題は、土地-交通の相互作用モデル³¹のサブコンポーネントである土地市場における土地の需要と供給問題として位置付けることができる。経済理論に基づく土地-交通モデルにおける土地市場モデルの特徴は、土地取引に対する交通需要の影響を考慮している点、需要モデルと供給モデルをそれぞれ定義し両者による調整を行っている点にある。

経済理論に立脚した土地利用-交通モデルの一例としてはAnas (1982, 1984)のCATLASが挙げられる^{32,33}。CATLASは家計と企業の立地に加えて、開発者の開発と開発場所選択をMNLモデルで定式化しており、多主体の同時均衡を仮定している最もマイクロ経済学的に厳密なモデルフレームワークである。各主体の行動関数について、まず需要側である企業は利益を最大化する建築タイプをゾーンから選択すると仮定する。家計は効用を最大化するように住宅を選択すると仮定する。同時に供給側として開発者と地主を仮定し、ゾーンで開発を行うかそのまま運用するかという運用選択行動を利益変数を用いて表現している。

同様に経済理論をもとにする土地-交通モデルの一つであるMUSSA³⁴では、土地側の行動をランダム項と支払い意思額の最大化を仮定したランダム入札モデルをMultinomial Logit Model (MNL)モデルで定義している。この付け値地代を元にした立地選択モデルは、McFadden, (1978)³⁵によるランダム効用最大化理論に基づく居住地選択モデルで提案されたMNLモデルと、Rosen(1974)³⁶による住宅の性質と価格へと反映したヘドニック理論の2つをもとにして、最大入札額による家計の居住地選択モデルとして定式化可能であることが示されている³⁷。また、効用最大化による立地選択と最大入札額による立地選択は均衡状態において等価であることが示されている³⁸。MUSSA³⁴では供給量が外生的に与えられており、需要側すなわち買い手側の行動のみを取り扱っていた。

これに対し、Martinez and Henriquez (2007)³⁹は、供給側の行動にランダム性を仮定して、最大利益オプションが確率的に決まるとしたMNL型モデルを提案すると同時に、総需要と総供給が一致するという条件のもと両者の取引をオークションとしてモデル化している。この研究のもう一つの大きな特徴は、供給者の行動モデルを仮定する、すなわち市場における経済主体が2つであると仮定したことで、両者の調整過程と均衡を考慮している点にある。均衡価格はオークションと市場精算条件の結果として与えられるとし、集約された経済主体と集約されたゾーンを基本単位として不動点問題を解くことで均衡解を得ているものの、非集計化されていない。

同じく経済理論に立脚している土地-交通モデルのCUEモデル^{40,41}も同様に、需要者の立地選択モデルと供給者の行動モデルを仮定しており、各ゾーンにおける土

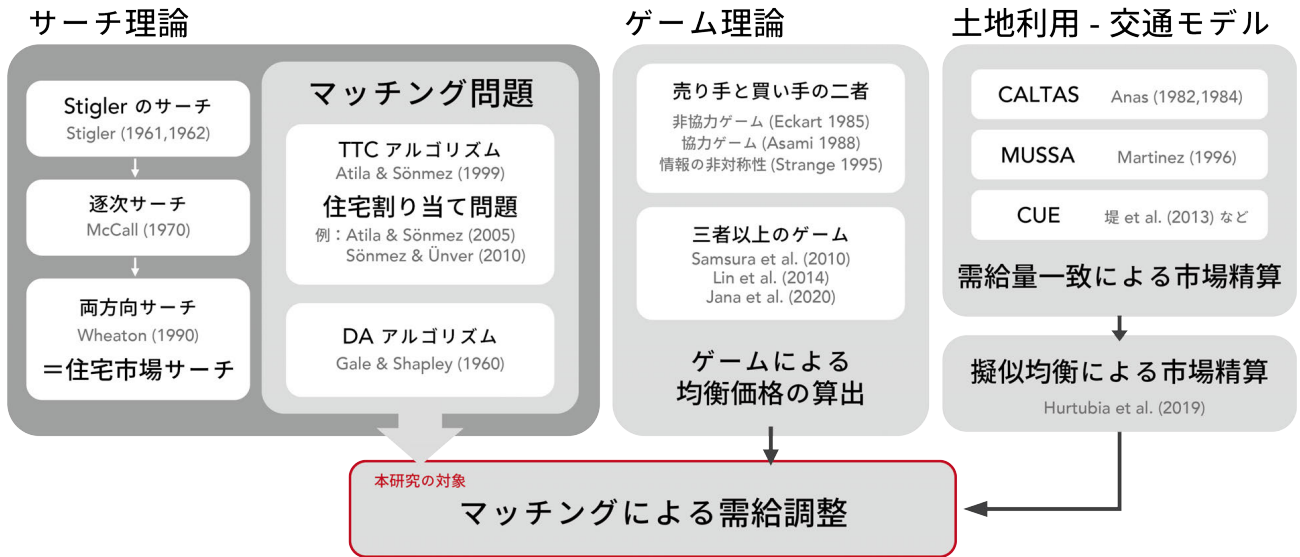


図-1 既往研究と本研究の位置付け

地需要量と各ゾーンにおける土地供給量（面積ベース）の一致を精算条件としている⁴²⁾。CATLAS や MUSSA と同様にゾーンごとの集計値を用いており、住環境や地形要因といった地域固有の変数が考慮されているのが特徴である。

以上の既往研究より、土地側の 2 主体の行動がもたらす均衡状態の求解は、経済理論に基づく土地-交通モデルにおける土地需給問題において重要な課題となっている。Hurtubia ら (2019)⁴³⁾は Martinez and Henriquez (2007)³⁹⁾における需要と供給の完全な一致という条件が現実的でないとして、オークションプロセスをシミュレーションすることで最大入札額を推定し、外生的に与えられた供給レベルに対して需要側が支払い意思額を調整する方法を提案している。この方法は、従前の研究で集約せざるを得なかった需要者と供給者の属性を単純化することなく市場価格を計算することを可能にしている。しかしながら、価格均衡による市場精算を仮定しており、2 経済主体のマッチングによる市場精算については取り扱われていない。

(5) 本研究の目的及び特徴

以上を考慮すると、土地取引問題は主に住宅市場におけるマッチング問題やサーチ理論問題として取り扱われているものの、交通需要量が土地取引に与える影響については考慮されておらず、モデルには含まれていない。また、ゲーム理論モデルによる土地取引の定式化は、ゲームによる均衡価格の性質については明らかにしているものの、実証と実装の途上にあると言える。同時に、交通の影響を考慮する多くの土地-交通モデルにおける立地選択モデルでは、2 主体のランダムな行動を仮定しているものの価格均衡のみを仮定し、主体の行動的均衡

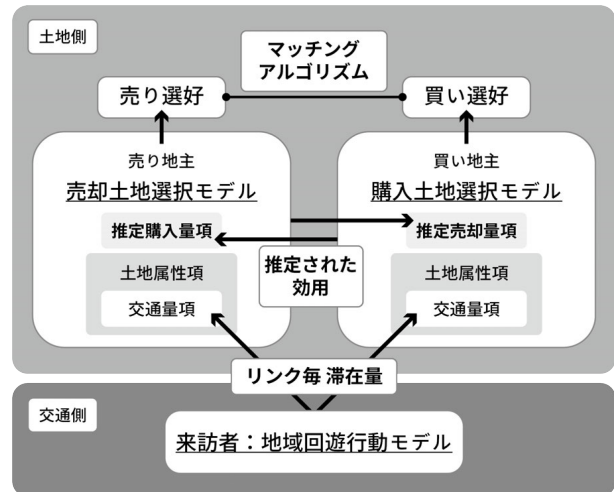


図-2 本研究で対象とする経済主体とモデル構造

については明らかにされていないと同時に、従前の均衡概念とは異なる方法による 2 経済主体の市場精算すなわち需要と供給のマッチングについては手法論も含め考慮されていない。また土地取引データの入手困難さを原因に、実証的研究も限定的なものにとどまり、特に交通による影響は実証的に明らかにされていない(図-1)。

本研究の目的は、土地取引行動を DA アルゴリズムの導入によるマッチング問題として定式化し、土地取引のマッチング状態を交通行動モデルの推定結果から明らかにする点にある。土地取引行動は売り地主（売主）と買い地主（買主）という 2 つの経済主体を仮定し、交通行動の主体は来訪者であると仮定した行動モデルを構築する(図-2)。本研究は、(1)複数経済主体の非集計化と、(2)価格均衡とは異なる市場均衡をマッチング問題として定式化すること、(3)提案モデルに対して実データを用いた実証に大きな特徴がある。土地取引データとして

不動産登記全部事項を活用すると同時に、交通行動については2時点の交通調査アンケートを用いて交通行動モデルの推定を行う。2章では土地売買モデル、3章では来訪者の逐次的回遊モデルを定式化し、4章では本問題におけるマッチングアルゴリズムの提案を行う。5章ではケーススタディとして使用データの概略を示し、モデル推定と推定結果を用いたマッチングを行う。6章で開発を仮定した数値実験で、滞在場所の変化がもたらすマッチングの変化を明らかにする。7章で結論及び今後の課題について議論する。

2. 土地売買モデル

本研究では土地の売買行動をそれぞれ、離散選択モデルにて表現する。

(1) 売却土地選択モデル

土地所有者のうち、ある年に売主 s は売却する土地の集合 $\{i\}$ と売却せずに所有を維持する土地の集合 $\{i\}^-$ の組み合わせ $i = \{\{i\}, \{i\}^-\}$ を、選択肢集合 I^s から選択すると仮定する。選択の主体は全ての地主とすることで、潜在的な売主の存在を仮定する。以上の通りに主体と行動を定義することで、離散的な選択肢集合からの確率的な選択を MNL モデルで表現すると、組み合わせ $i = \{\{i\}, \{i\}^-\}$ の選択確率は以下の通りになる。

$$P_{\{\{i\}, \{i\}^-\}}^s = \frac{e^{V_{\{\{i\}, \{i\}^-\}}}}{\sum_{\{\{i\}, \{i\}^-\} \in I^s} e^{V_{\{\{i\}, \{i\}^-\}}}} \quad (1)$$

式(1)のうち効用の確定項 V は以下の通り表される。

$$V_{\{\{i\}, \{i\}^-\}} = \theta_{sell}^T \mathbf{X}_{\{i\}^-} + \alpha_{sell} \sum_{l, l_i \in I^s} Q_l + \gamma_{sell} \sum_{l, l_i \in I^s} \delta_l^{buy}(\hat{\theta}_{buy}) \quad (2)$$

式(2)の第一項にある $\mathbf{X}_{\{i\}^-}$ は所有を維持する土地の属性などの説明変数を表す。第二項の Q_l は外生的に与えられるリンク l ごとの交通量、第三項は後述する購入土地モデルの推定パラメータ $\hat{\theta}_{buy}$ を用いて計算されたリンク l ごとの推定購入量 δ_l^{buy} を説明変数としている。第三項を導入することで購入行動との相互作用を表している。モデル推定のパラメータは $\theta_{sell} = (\theta_{sell}^T, \alpha_{sell}, \gamma_{sell})$ である。この問題で推定すべきパラメータは以下の対数尤度関数と条件式によって表される。

$$LL(\theta_{sell}) = \sum_s \log P_{\{\{i\}, \{i\}^-\}}^s(\theta_{sell}) \quad (3)$$

$$\max_{\theta_{sell}} LL(\theta_{sell}) \text{ s.t. } \sum_{l, l_i \in I^s} \delta_l^{buy}(\hat{\theta}_{buy}) \quad (4)$$

対数尤度最大化によってパラメータを推定する場合、推定購入量(式2の第三項)を制約条件とする最適化問題を解くことでパラメータを得ることができる。

(2) 購入土地選択モデル

土地所有者のうち、ある年に買主 b は購入する土地 j を選択肢集合 J から選択すると仮定する。この時、2-(1)と同様に MNL モデルで表現すると土地 j を選択する確率は以下の通り表される。

$$P_j^b = \frac{e^{V_j}}{\sum_{j' \in J} e^{V_{j'}}} \quad (5)$$

式(5)のうち効用の確定項 V は以下の通り表される。

$$V_j = \theta_{buy}^T \mathbf{X}_j + \alpha_{buy} \sum_{l, j_l \in J} Q_l + \gamma_{buy} \sum_{l, l_i \in I^s} \delta_l^{sell}(\hat{\theta}_{sell}) \quad (6)$$

式(6)第一項の \mathbf{X}_j は購入する土地の属性などの説明変数を表す。第三項は売却土地モデルの推定パラメータ $\hat{\theta}_{sell}$ を用いて計算されたリンク l ごとの推定売却量 δ_l^{sell} を説明変数としている。モデル推定のパラメータは $\theta_{buy} = (\theta_{buy}^T, \alpha_{buy}, \gamma_{buy})$ である。本モデルで推定すべきパラメータは2-(1)同様に以下の対数尤度関数と条件式によって表される。

$$LL(\theta_{buy}) = \sum_b \log P_j^b(\theta_{buy}) \quad (7)$$

$$\max_{\theta_{buy}} LL(\theta_{buy}) \text{ s.t. } \sum_{l, j_l \in J} \delta_l^{buy}(\hat{\theta}_{buy}) \quad (8)$$

(3) 売却土地選択モデルと購入土地選択モデルの推定アルゴリズム

本モデルでは、売却土地モデルと購入土地モデルの同時推定を行う(図-3)。実際の行動に即して、土地の売却が購入に先立つことから、売却土地選択モデルをはじめに推定し、推定結果を用いて購入土地選択モデルの推定を行うとする。対数尤度の差分が一定の値を下回った段階で収束したとみなし、計算を打ち切ることとした。

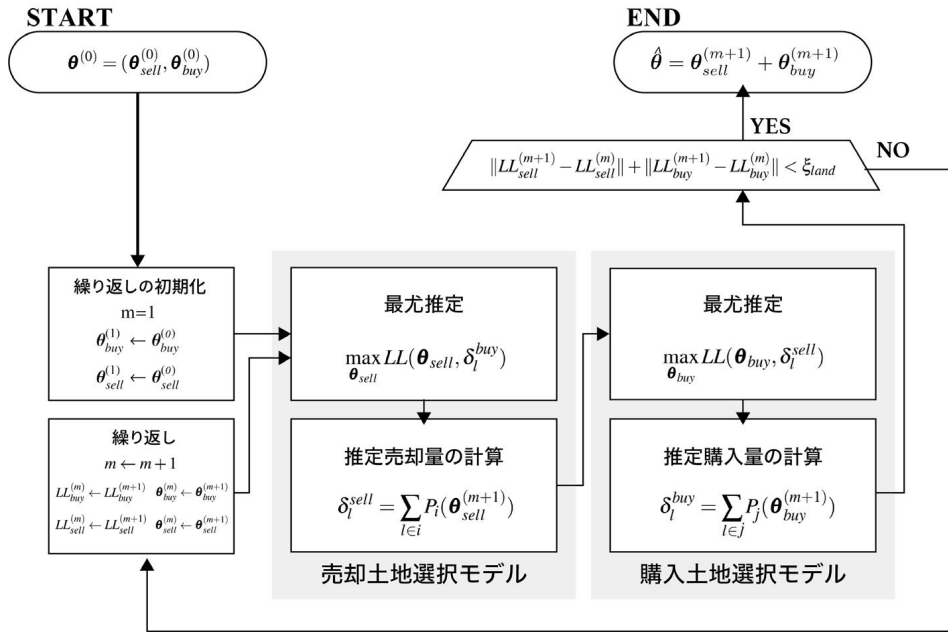


図-3 売却土地選択モデルと購入土地選択モデルの同時推定

3. 来訪者の逐次的回遊モデル

行動主体である来訪者 n に対し、滞在場所を逐次的に選択し最終目的地に達するマルコフ過程を仮定する。この時、逐次的選択に基づく滞在場所ベクトルをツアー σ と定義すると、ツアー選択確率 P_n は式(9)で表される。

$$P_n(\sigma_n = [s_1, s_2, \dots, s_T]) = \prod_{\tau=1}^{T-1} P^d(s_{\tau+1} | s_\tau) \quad (9)$$

ここで d は最終目的地、 $P^d(s_{\tau+1} | s_\tau)$ は τ 番目の滞在場所 s_τ を条件とした滞在場所 $s_{\tau+1}$ の選択確率である。

有向グラフ $G = (\mathcal{E}, \mathcal{S})$ を考える。 \mathcal{E} はエッジ、 \mathcal{S} は滞在場所の集合である。来訪者は滞在場所 s_τ にいる時、遷移可能な滞在場所の集合 $\mathcal{S}(s_\tau) \in \mathcal{S}$ から即時効用 $u(s_{\tau+1} | s_\tau; \theta)$ と、 $s_{\tau+1}$ を選択した時以降最終目的地 d まで得られる時間割引率 β によって割引された最大期待効用 $\beta V^d(s_{\tau+1})$ との和を最大化する選択肢 $s_{\tau+1}$ を選択する。期待効用 V^d はBellman方程式における価値関数として式(10)のように表すことができる。

$$V^d(s_\tau) = E[\max_{s_{\tau+1} \in \mathcal{S}(s_\tau)} \{v(s_{\tau+1} | s_\tau) + \beta V^d(s_{\tau+1}) + \mu_{s_\tau}(\varepsilon(s_{\tau+1}))\}] \quad (10)$$

$v(\cdot)$ は即時効用 $u(s_{\tau+1} | s_\tau; \theta)$ の確定項であり、未知パラメータ θ によって特徴付けられる。効用の誤差項は $\varepsilon(s_{\tau+1})$ 、 μ_{s_τ} は状態固有のスケールパラメータで常に正である。 β は $0 \leq \beta \leq 1$ を満たす時間割引率である。

ここで、誤差項 $\varepsilon(s_{\tau+1})$ はi. i. d. な一般化極値分布であることを仮定したロジット型とすると、選択肢 $s_{\tau+1}$ の選

択確率はロジット型で式(11)の通り与えられる。

$$P^d(s_{\tau+1} | s_\tau) = \frac{e^{\frac{1}{\mu} \{v(s_{\tau+1} | s_\tau) + \beta V^d(s_{\tau+1})\}}}{\sum_{s'_{\tau+1} \in \mathcal{S}(s_\tau)} e^{\frac{1}{\mu} \{v(s'_{\tau+1} | s_\tau) + \beta V^d(s'_{\tau+1})\}}} \quad (11)$$

ロジット型であることから、ログサムを用いて式(10)を式(12)のように変形することができる。さらに式(12)の両辺に指数をとることで式(13)を得る。

$$V^d(s_\tau) = \begin{cases} \mu \ln \sum_{s'_{\tau+1} \in \mathcal{S}(s_\tau)} \delta \cdot e^{\frac{1}{\mu} \{v(s'_{\tau+1} | s_\tau) + \beta V^d(s'_{\tau+1})\}} & 0 \\ 0 & 1 \end{cases} \quad (12)$$

$$e^{\frac{1}{\mu} V^d(s_\tau)} = \begin{cases} \sum_{s'_{\tau+1} \in \mathcal{S}(s_\tau)} \delta \cdot e^{\frac{1}{\mu} \{v(s'_{\tau+1} | s_\tau) + \beta V^d(s'_{\tau+1})\}} & 1 \end{cases} \quad (13)$$

ここで式(11)を計算するためには式(10)のBellman⁴⁰⁾方程式を解く必要がある。RLモデル⁴⁵⁾に従って、式(14)(15)をそれぞれを要素に持つ $|\mathcal{S}| \times |\mathcal{S}|$ 行列 M^d 、 $|\mathcal{S}| \times 1$ ベクトル z^d を定義する(以降、スケールパラメータ μ は省略する)。

$$z_{s_\tau} = e^{V^d(s_\tau)} \quad (14)$$

$$M_{s_\tau, s_{\tau+1}} = \delta(s_{\tau+1} | s_\tau) e^{v(s_{\tau+1} | s_\tau)} \quad (15)$$

式(14)(15)で表された価値関数は次の線形方程式の解として求められる。

$$z^d = M \odot X(z) + b \quad (16)$$

式(16)は大山・羽藤(2017)⁴⁰⁾に従い、不動点に達するまで繰り返し計算を行うことで求解する。

4. マッチングアルゴリズム

本研究では推定結果を用いて、土地売買のマッチング問題を定式化する。マッチング問題においては、経済主体からなる2つの集合と両者の好みの順番(選好順)を元に、DA アルゴリズム¹⁵⁾を適用することで、2つの経済主体の集団について不安定対が存在しない完全マッチングである安定マッチングを目指す。ここでは売主、買主という2つの経済主体の集合を仮定し、両者の選好順は2章のパラメータ推定によって得られる選択確率の大小によって定義づけられる。売主、買主ともにマッチングが成立していない状態(フリー)か、マッチングが仮に成立している状態(仮マッチング)かのどちらかにあると仮定する。

マッチングアルゴリズムはDA アルゴリズムに従って以下のとおりとなる(図-4)。まず、フリーの買主は自身の選択の中で最も選択確率の高い土地に対してオファーを出す。次に、その土地を所有する売主がフリーであればそのオファーを受け入れ、仮マッチングが成立する。その土地を所有する売主が既に仮マッチング状態であれば、仮マッチング買主と新しくオファーしてきた買主の選択確率を比較し、より高い選択確率の買主と仮マッチングする。もし売主との仮マッチングが解消された場合、買主は解消された売主の土地を嗜好リストから外し、フリーとなる。以上の手順を、仮マッチングしていない買主がいなくなるまで繰り返す。

以上に示したDA アルゴリズムを適用することで、安定マッチングが成立することが知られている。ただし本研究では買主側提案DA アルゴリズムとなっており、買主側最適安定マッチングとなっていることに注意する必要がある。

5. マッチングモデルのケーススタディ

(1) 使用データ

a) 対象地域の概要

本研究では、土地取引に関するデータと筆界を正確に取得可能かつ交通行動調査が実施された地域として、愛媛県道後温泉周辺を提案モデルのケーススタディの対象とする。

道後温泉周辺では近年多くの空間改変を伴う都市計画事業が実施されている。まず2004年度から2008年度を事業対象期間とする「都市再生整備計画事業」において、

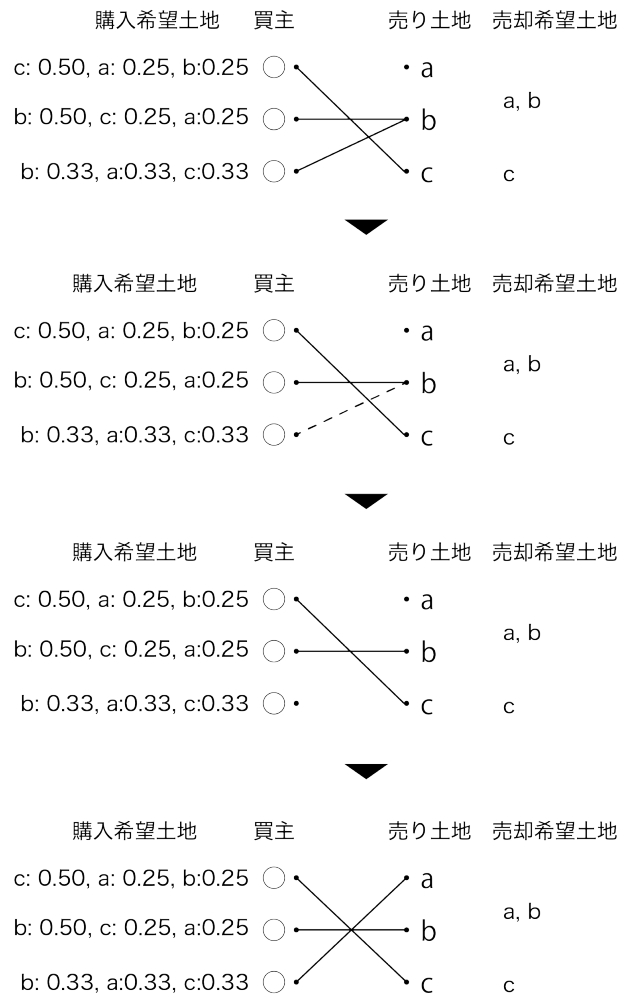


図-4 マッチングアルゴリズムのフロー

松山市街と同様に道後でも、道後温泉本館前の歩行者優先空間整備計画などが計画された。これらの計画は2006年から2009年にかけて実施され、2007年の9月には道後温泉本館前道路の付け替えと歩行者空間の拡張、2009年3月には道後温泉駅周辺広場と道路の再編が竣工した。

同時期に2005年頃から道後温泉本館の保存修復について論じられるようになり、保存修復期間中の入浴制限に伴う観光客減が懸念されることとなり、2013年1月に「道後温泉活性化計画に関する第一次答申」が提出され、新たな外湯施設建設が提案、公になった。答申に盛り込まれた新たな外湯施設は、現存する外湯施設「椿湯」に隣接する土地に建設されることとなり、2017年9月に「飛鳥乃湯泉」として開業した。

以上の空間改変事業を考慮して、本研究では次の通りに4つの期を定義し以降の分析に用いる(図-5)。

- 2004年4月1日～2009年3月31日：第1期改変期(計画立案から事業の竣工まで)
- 2009年4月1日～2013年1月30日：第1期改編期後
- 2013年1月31日～2017年9月27日：第2期改編期(計画の公表から事業の竣工まで)

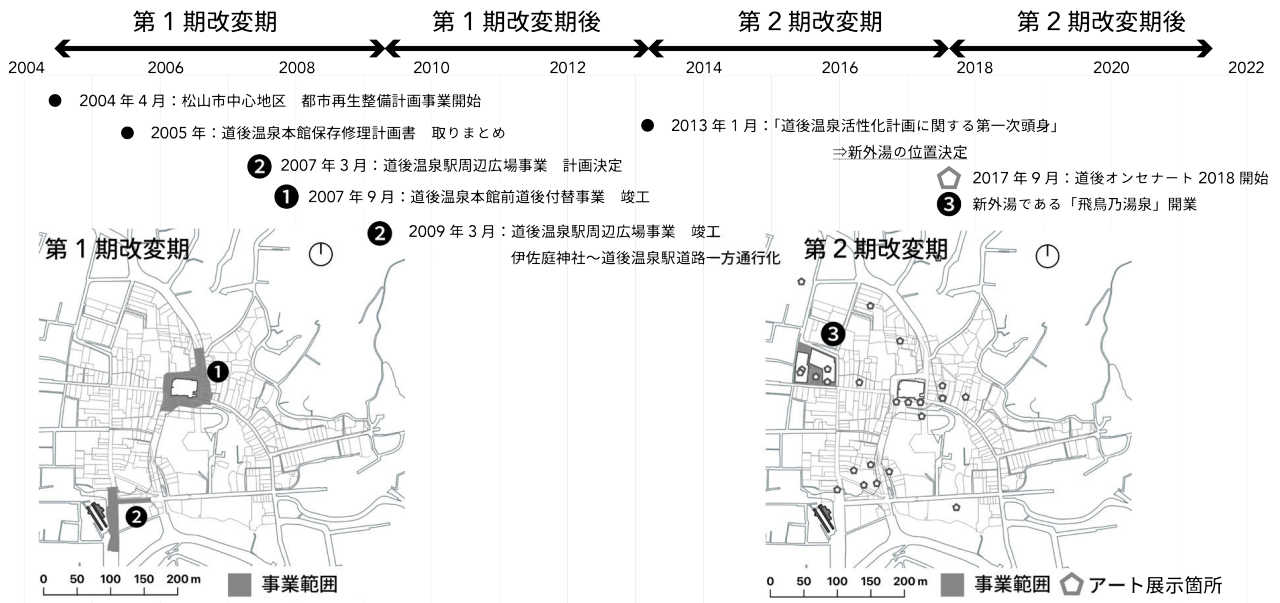


図-5 道後温泉周辺における空間改変事業年表と時代区分

- 2017年9月28日～2021年1月31日：第2期改編期後

b) 回遊行動データ

土地売買モデルの説明変数となる交通量は、来訪者の回遊行動データを基にしており、2009年12月と2017年11月～2018年1月にかけて実施した道後來訪者を対象としたアンケート調査から得ている。2009年実施調査は現地で配布し、郵送にて回収した。2017年実施調査は2009年同様の現地配布／郵送回収に加えて、道後温泉近辺のホテル宿泊者にアンケートを配布、回収した。調査参加者に対して全旅程のうち道後温泉周辺に限らず来訪した場所と来訪場所間の移動手段について回答するよう依頼した。以上の手法と調査内容より2009年調査は734件、2017年調査は548件の回答を得た。なお、2009年調査では道後温泉周辺の滞在場所を回遊施設位置として調査者が予め想定、ナンバリングし、その番号を参加者が回答した。

回遊行動の抽出を目的に、得た回答は以下の手順でスクリーニングした。(1) 2009年調査で予め想定した回遊施設への滞在の直前・直後まで削除し(道後温泉周辺以外の滞在を削除)、(2) 3箇所以上の施設に滞在している回答者を抽出(道後温泉周辺で複数箇所に滞在すなわち回遊を行なっているサンプルの抽出)した。スクリーニングの結果、2009年調査は684件、2017年調査は421件の行動を分析・集計対象とする。滞在場所の位置とリンクの結合については2009年、2017年の住宅地図を用いて、施設名が一致する建物の前面リンクを、滞在リンクと定義した。

c) 土地取引関連データ

本研究では、土地売買状況と土地の形状といった地理的属性をモデルのインプットデータに用いる必要があることから、不動産登記全部事項と筆界図(不動産登記法第14条地図)を基にデータを作成した。また、正確に測量された地図を用いる目的から、道後温泉周辺のうち精度区分が甲1の地図を備え付けている筆(土地)全てを分析の対象とする。

まず土地売買の状況について、対象範囲全ての筆について不動産登記全部事項を「不動産登記情報提供サービス」を経由して取得し、表題部・権利部(甲区)に記載されている情報について表計算ソフトを用いてデジタル化した。デジタル化した情報は毎年1月1日時点の所有者ごとの土地所有状況としてデータベース化すると同時に、記載されている登記目的のうち「売買」「買収」と書かれた筆については売り所有者と買い所有者から構成されるネットワークデータを作成した。

次に土地の形状に代表される地理的属性の付与を目的に、登記所備付地図を用い、売買の対象となる土地の位置と境界を特定する筆界図を作成した。測量地図に記された図郭座標値を基準としGISソフトを用いて位置を特定した上で、筆界を表す地図の実線をトレースすることで土地(筆)のポリゴンを生成した。生成した土地ポリゴンは正確な測量図に基づくため土地の形状を精度高く再現している。

(2) 選択肢集合の生成方法

それぞれのモデルにおける選択肢集合の生成方法について述べる。

売却土地選択モデルは、年ごと地主ごとにサンプリング

表-1 逐次的回遊行動モデルの効用関数の定義

変数名	変数の内容
温泉ダミー	5(1)b)で定義した外湯を1とするダミー変数
ホテルダミー	5(1)b)で定義したホテルを1とするダミー変数
土産物ダミー	5(1)b)で定義した土産物屋を1とするダミー変数 住宅地図から判別
史跡ダミー	5(1)b)で定義した寺社仏閣・史跡・名所を1とするダミー変数
取引量(2004-2009)	滞在場所が属するリンク毎の土地売買量 (2004年～2009年)
取引量(2013-2017)	滞在場所が属するリンク毎の土地売買量 (2013年～2017年)
本館前事業	2007年に竣工した本館前道路付け替え事業範囲の50mバッファ内の滞在場所を1とするダミー変数
駅前事業	2009年に竣工した道後温泉駅周辺広場事業範囲の50mバッファ内の滞在場所を1とするダミー変数
距離	滞在場所間の距離
アート事業	道後オンセナート2018で公式に作品が設置されている滞在場所を1とするダミー変数
新外湯事業	2017年に竣工した「飛鳥乃温泉」50mバッファ内の滞在場所を1とするダミー変数

を行った。所有土地の集合に対して売却した筆とそうでない筆それぞれの組み合わせからなる集合を、実際の選択を含めて4つ生成した。所有筆が3つ以上の地主の場合はランダムサンプリングであり、3つ未満の地主の場合はすべての選択肢集合を列挙している。重複する組み合わせはサンプリング後に削除している。

購入土地選択モデルは購入件数ごとに選択肢集合をサンプリングした。サンプリングの対象となる筆は当該期間に実際に売買として登記された筆であり、実際に購入された土地を中心とする距離分布に基づく選択確率に基づきMCMC法でサンプリングを行っている。選択肢集合数は実際の選択を含めて10である。

回遊モデルは3章(3)で定義した有効グラフに基づく。

2009年調査のエッジ数は618、滞在場所であるノード数は74、2017年調査のエッジ数は310、ノード数は44である。実データから得られた各調査年ごとの滞在場所遷移確率に基づいて1000回サンプリングし、次時点の滞在場所集合を生成した。

(3) 来訪者逐次的回遊モデルの推定結果

来訪者回遊行動選択モデルの効用関数式を表-1の通り定義した。時間割引率は0.1と固定して推定し、結果を表-2に示した。LL(0)は初期尤度、LLは最終尤度である。

2009年調査・2017年調査ともに調査前の土地取引量パラメータが有意でないことから、滞在行动は都市改変中に生じる土地売買の影響をすぐには受けないことが明らかになった。2009年調査データセットを用いた推定結果における事業に対する感度を把握することを目的に、本館前事業パラメータおよび駅前事業パラメータの比をとると、駅前周辺が明確に滞在場所として選択される傾向にある。2017年調査データセットを用いた推定結果は、アート事業パラメータが有意に正であることに特徴がある。屋内外問わずアートが展示されている場所を選択する、

表-2 逐次的回遊行動モデルのパラメータ推定結果

	2009年調査		2017年調査	
	Est.	t-value	Est.	t-value
温泉ダミー	1.592**	4.376	1.913	1.236
ホテルダミー	-0.536	-1.364	2.801**	2.072
土産物ダミー	1.388**	4.789	3.866**	2.801
史跡ダミー	1.663**	5.718	3.054**	2.550
取引量(2004-2009)	0.040	0.896	0.067	0.595
取引量(2013-2017)	-	-	-0.246	-1.027
本館前事業	0.851	2.893**	0.548	0.900
駅前事業	1.258	5.728**	-0.938	-0.838
距離	0.000	-0.001	0.178*	1.821
アート事業	-	-	1.588**	2.159
新外湯事業	-	-	3.152	1.279
β		0.1		0.1
LL(0)		-398.739		-124.605
LL		-315.357		-89.363
ρ^2		0.189		0.195
サンプル数		88		118

** : 5%有意, * : 10%有意

あるいはアートそのものを滞在目的としていることが推察されると同時に、逐次的な観光回遊行動におけるソフト事業の滞在効果があることが示唆された。

(4) 土地売買モデルの推定結果

a) 効用関数の定義

売却土地選択モデルの効用関数式(2)と購入土地選択モデルの効用関数式(6)を表-3の通り定義した。クラスターサイズは所有土地の集積傾向を表す変数であり、小さいほど集積していることを示す。間口は4(1)c)でトレースした地図を用いており値が高いほど接道部分の幅が大きく、土地の有用性を表す変数である。滞在量は逐次的回遊モデルの推定結果を用い、推定結果に従って滞在量を配分し、滞在箇所が属するリンク毎の滞在数を表している。

表-3 売却モデル・購入モデルの効用関数の定義

パラメータ	変数名	変数の内容
$\theta_{sell}^T, \theta_{buy}^T$	クラスターサイズ (10m)	既に所有している筆をウォード法によるクラスタリングの結果得たクラスターの重心から、維持・購入筆ポリゴンの重心までの平均距離
	間口 (10m)	維持・購入筆ポリゴンの重心から道路リンクに対する垂線と交差する筆界の平均長さ。垂線が他の筆ポリゴンと交差した場合は接道していないとして 0m とする
$\alpha_{sell}, \alpha_{buy}$	配分滞在量	逐次的回遊行動の推定結果を用いて配分したリンクごとの来訪者数
γ_{sell}	推定売却量	売却土地選択モデルから計算されるリンクごとの推定売却量
γ_{buy}	推定購入量	購入土地選択モデルから計算されるリンクごとの推定購入量

表-4 売却モデル・購入モデルのパラメータ推定結果

		2004-2009		2009-2013		2013-2017		2017-2021	
		売却	購入	売却	購入	売却	購入	売却	購入
クラスターサイズ	Est.	-2.459**	-1.219**	-3.288**	-2.973**	-3.158**	-1.658**	-1.106	-30.646
	t-value	-7.128	-6.104	-5.997	-3.218	-5.469	-4.355	-1.530	-0.212
間口	Est.	0.859**	0.126	1.419**	0.362	1.515**	-0.155	1.858**	0.097
	t-value	10.001	0.535	8.991	0.685	9.786	-0.393	10.163	0.354
配分滞在量	Est.	4.135**	0.042	2.409**	3.038	0.727*	-24.752	0.900*	-20.414
	t-value	3.614	0.084	2.502	1.093	1.752	-0.785	1.849	-0.808
推定購入量	Est.	-0.144**	-	-0.838**	-	-0.470**	-	-0.344**	-
	t-value	-10.089	-	-12.097	-	-10.909	-	-6.213	-
推定売却量	Est.	-	-0.102**	-	-0.159*	-	-0.022	-	-0.087
	t-value	-	-2.864	-	-1.749	-	-0.282	-	-0.889
LL(0)		-1692.091	-234.994	-1272.876	-136.680	-975.985	-122.293	-712.718	-100.712
LL		-1205.429	-109.164	-563.474	-37.055	-496.894	-48.223	-407.977	-25.597
ρ^2		0.285	0.531	0.554	0.722	0.487	0.597	0.422	0.736
サンプル数		2093	98	1607	57	1230	51	884	42

** : 5% 有意, * : 10% 有意

b) 推定結果

表-4に推定結果を示す。LL(0)は初期尤度、LLは推定アルゴリズムの収束値である最終尤度を表す。全ての期間、モデルにおいて尤度比 ρ^2 が0.28から0.77の間にあり一定の説明力がある。また、MCMC サンプルングを行った購買土地選択モデルで高い尤度比を示しており、サンプルングの有効性が示唆された。売却土地選択モデルの推定結果を見ると、クラスターサイズパラメータが2017-2021年のデータセットを除いて有意に負になっていることから、近い土地同士を維持する選好があると推測される。また間口パラメータが全期間にわたって有意に正であることから、間口の広い使い勝手の良い土地を売却せず維持する傾向があると言える。

逐次的回遊行動モデルの推定結果を用いた配分滞在量パラメータについて、売却土地選択モデルでは2004-2013年で有意に正であることから、この期間においては旅行者の多いリンクに面している土地を維持し、他を売

却していたと推測される。一方で購入土地選択モデルでは全ての期間で有意とならなかったことから、直感に反して購入に際して滞在量は考慮されない可能性があることが明らかになった。

最後に、売却土地選択モデルにおける推定購入量パラメータと購入土地選択モデルにおける推定売却量パラメータについて、推定購入量パラメータは全ての期間で負に有意、推定売却量パラメータは2004年から2013年にかけてのみ負に有意となった。このことは、購入量の少ないリンクの土地の売却を示唆していることから、売り手側提案によるマッチングが不成立となる可能性が高いと予想される。従って、買主側提案型マッチングを行うことで、土地取引成立の挙動を検証することが望ましいと考えられる。

(3) マッチングアルゴリズムの結果

各時期における DA アルゴリズムによるマッチングの

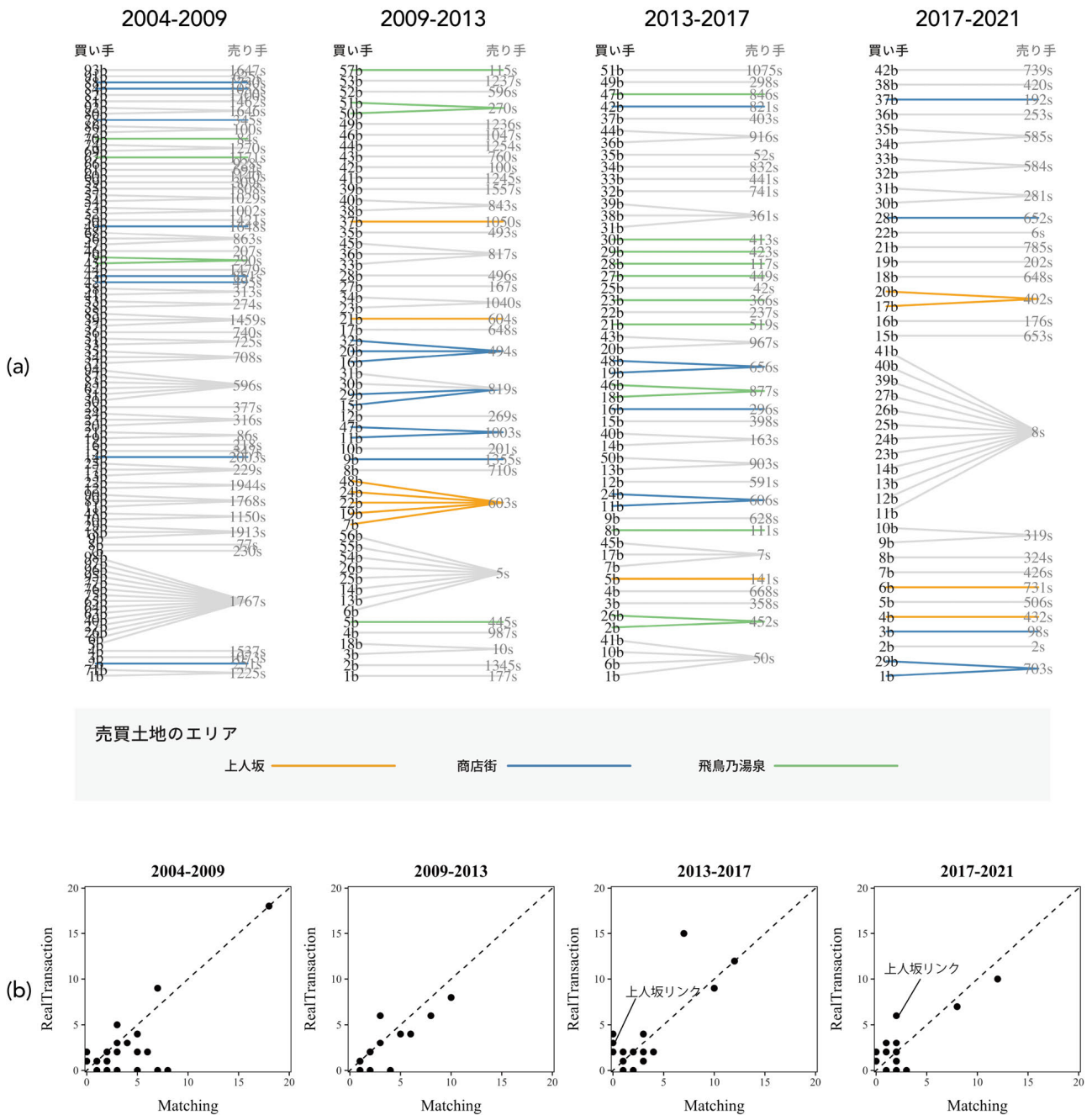


図-6 (a) 2004年から2021年までのマッチング結果と推移
(b) 2004年から2021年までの実際の取引量とマッチング量

結果を二分グラフを用いて図-6(a)に示す。

マッチング成立量は時代を経るごとに減少している。特に2013-2017年から2017年-2021年にかけての減少幅が大きい結果となった。また2017-2021年は特定の土地(8s)に買い手が集中しており、全マッチングに占める割合が他の時期に比べて大きい。これは区分所有の土地売買であることに起因しており、商業利用が中心の地域にも関わらず住宅用途の建築物に付随する土地の売買が起きているためである。現状、住宅用途の建築物が地域に占める割合は高くないが、効用に応じた選好に基づいてマッ

チングした場合に住宅用途の需要が高まっていることを示唆している。商店街に面する土地は全ての期間において断続的にマッチングが成立しているのに対し、低未利用地の上人坂の土地マッチングは時期的な偏りがあることがわかる。また2013年に計画が発表され、2017年に竣工した外湯である飛鳥乃湯泉に面する土地は、開発時期においては開発敷地を含めて多くマッチングしているが、竣工後の2017-2021年ではほとんどマッチングしていない。これは開発完了後すぐには周辺の土地がマッチングしないことを表している。

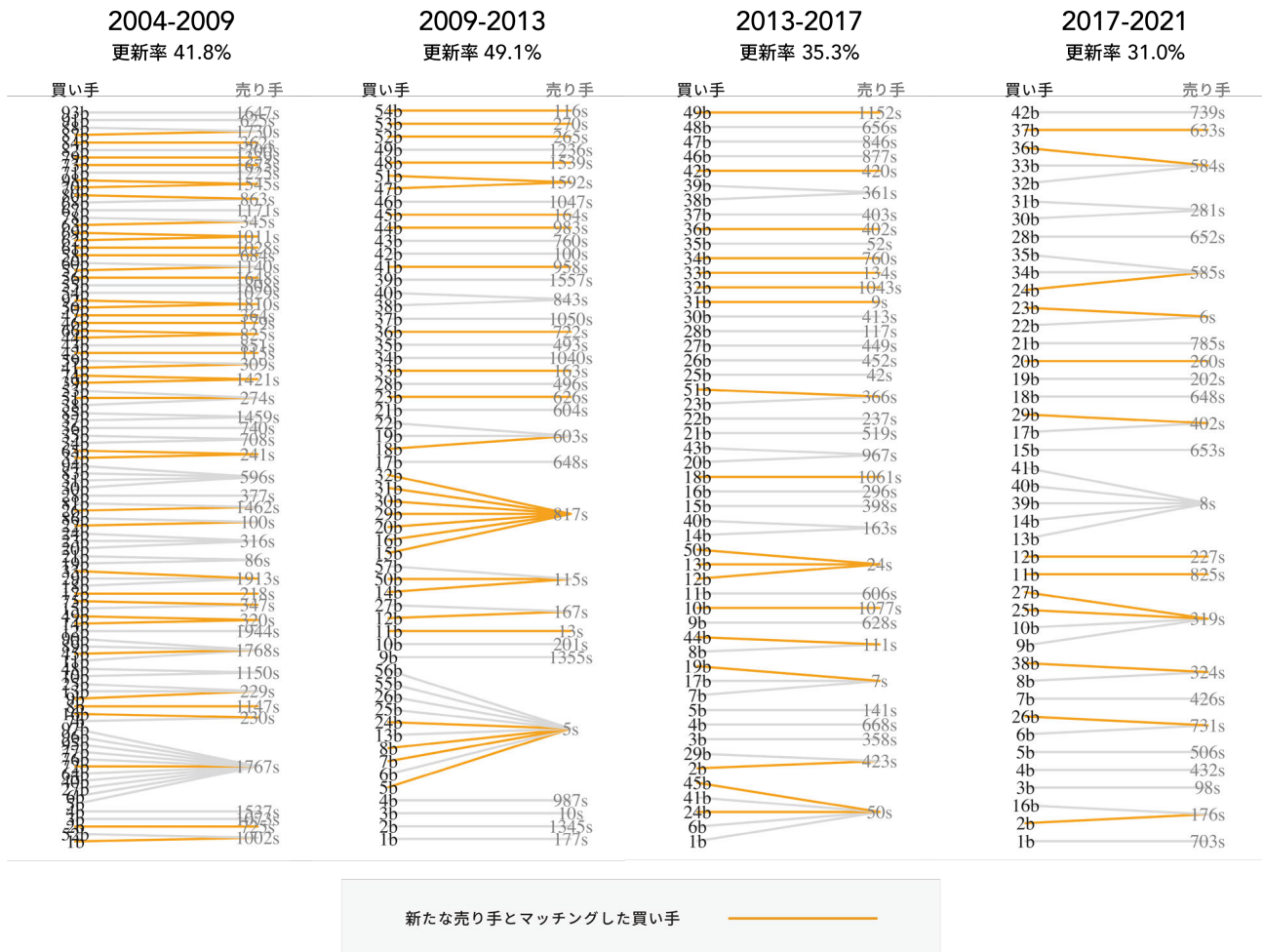


図-7 2004年から2021年までの都市事業実施によって生成する新たな土地取引マッチング結果

以上の結果より、DA アルゴリズムを用いて安定マッチングが達成される土地は存在し、不安定解の存在しない土地売買がなされることを明らかにしたと同時に、徐々にマッチング件数が減少するという時間変化が存在することを提示した。

図-6 (b)に、リンクごとの実際の取引量(y 軸)とマッチング量(x 軸)を示した。実際の取引量とマッチング量は多少の誤差はあるものの概ね一致していることから、マッチングアルゴリズムを使った予測に対する有効性が示唆された。実際の取引量とマッチング量との乖離があったリンクで特筆すべきものとしては、2013年から2021年の間に空き地及び駐車場用地への転換が急速に進んでいる「上人坂」と呼ばれる通り(リンク)である。上人坂リンクはマッチング量よりも実際の取引量が多いことから、低い価格で取引されている状態に陥っている可能性を示唆しており、土地が取引されたとしても有効な土地利用がなされていない現状とも合致すると言える。

6. 数値計算例

新たな都市開発事業が回遊行動と土地取引行動に与える影響を明らかにすることを目的に、5章で推定したパラメータおよびマッチング結果を用いて数値実験を行う。5章で、駐車場という低未利用地の多い上人坂においてマッチングと実際の取引に乖離があることを明らかにした。これを踏まえ、上人坂エリアを含んだ駐車場のいくつかは足湯や新たな外湯として開発され、公共的な滞在が可能になったと仮定し計算を行う。具体的には上人坂に位置する6つの滞在場所および、高台にある大規模駐車場に温泉ダミーを追加した。

図-7 事業を行ったと仮定した場合のマッチング結果及び、図-6 (a)に示したマッチング結果と比較して新たな売り手とマッチングした買い手の関係、マッチングの更新率を示した。全ての期間でマッチングの更新が発生しており、3割から5割程度の買い手が新たな売り手とマッチングすることが明らかになった。このことは、滞在場所の創出を目指した開発は、選好を満たす土地売買マッチングに影響を与える可能性があり、公共事業が周辺地域の土地マネジメントにおいて有効であるという、新たな都市政策のあり方を提示したと言える。

図-8 に、5章のマッチング結果と事業を行ったと仮定

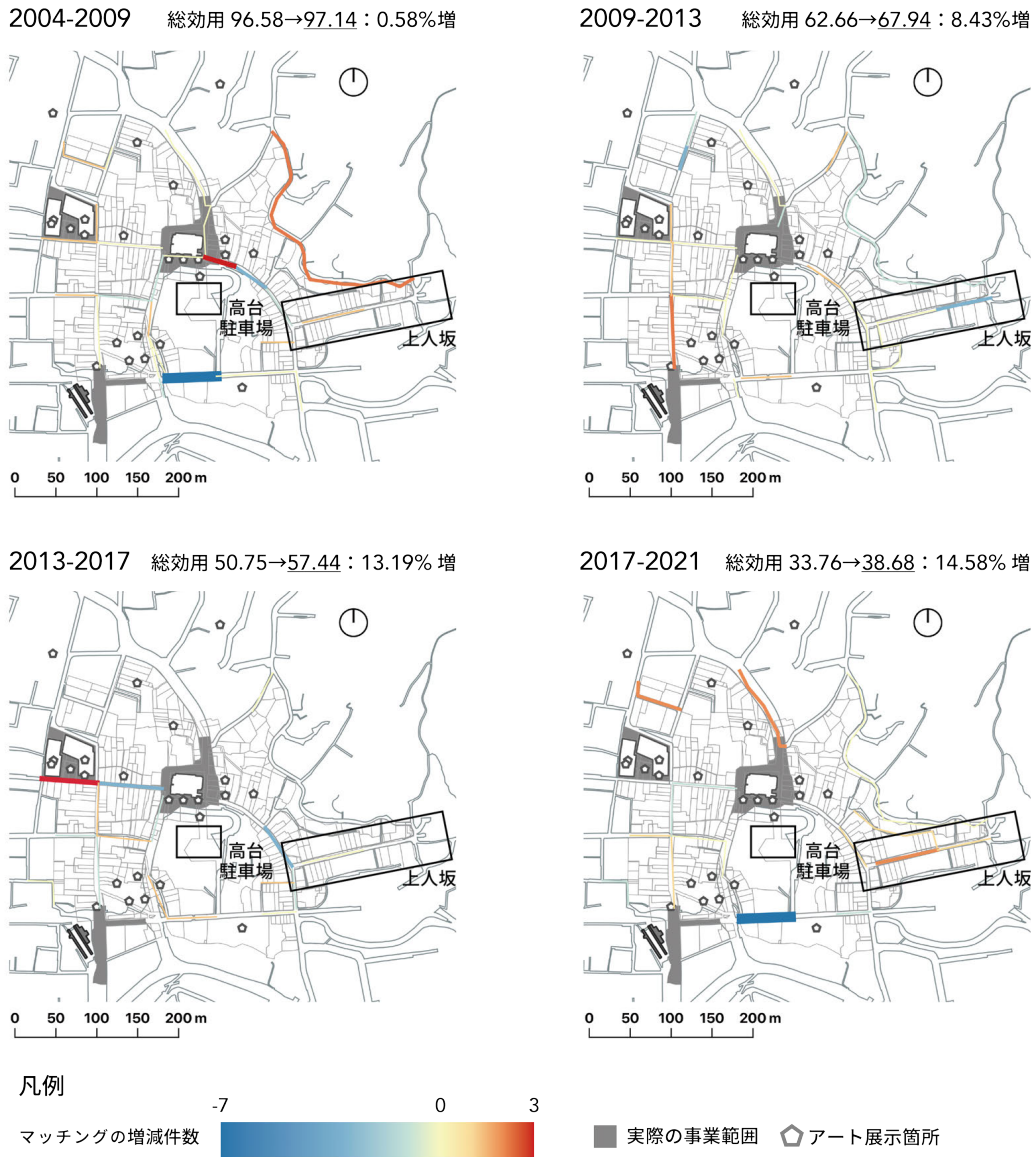


図-8 2004年から2021年までの推定によるマッチング結果とシミュレーションによるマッチング結果のリンクごとの増減量および総効用の変化

した場合のマッチング結果のリンクごとの増減と総効用の変化を、マッチング期間ごとに示した。計算の結果、特に 2004-2009 年及び 2017-2021 年の結果に顕著に現れているが、特定のリンクに集中していたマッチングが地域全体に分散し、総効用が全ての期間で向上した。これは、新たな外湯が低未利用地に建設されることで、地域全体で満足する取引が行われる可能性を表している。同時に、総効用の絶対値は時間を経るごとに減少しているものの、開発による効用の増分が徐々に増加することが明らかになった。

地域の核となる施設や交通関連施設の開発が途中の段階で低未利用地の開発を試みても、マッチングの効用は上昇せず、多くの開発が終わった後に次の開発の計画段階になると、開発が盛んだった時期に比べて取引の満足度は下がるが、新たな開発を行うことで効用を上昇させ

ることができることを意味する。特に 2017-2021 年のマッチング量及び効用の増加は、上人坂リンクに顕著にみられる。

以上より、縁辺部に位置する低未利用地の滞在を誘発するような開発は、地域において分散的な土地取引とより効用の高いマッチングを促すと言える。また、地域におけるその他の開発が一通り終了した時点で、低未利用地のマッチングが最も増加したことから、開発のタイミング次第では効果的な土地マッチングには至らないことが明らかになり、事業スキームの重要性が示唆されることとなった。

7. 結論

本研究では、土地取引行動を DA アルゴリズムの導入

によるマッチング問題として定式化し、土地取引の均衡状態を土地取引データと交通行動モデルの推定結果より推定することを試みた。従前の研究では、土地の売主と買主という 2 つの経済主体については仮定されていたものの、交通行動が土地取引に与える影響については仮定されておらず、一方で土地と交通の相互作用を考慮した都市モデルのほとんどが集計的で価格均衡のみを考慮しており均衡状態の再現に課題を残していた。以上の背景を踏まえ、本研究では売り手と買い手が平等な立場にあるという理想状態を仮定し、両者の行動規範を効用最大化理論に基づく MNL モデルで定式化すると同時に、モデル推定パラメータを用いて 2 主体の選好順を明らかにし、選好順を用いて DA アルゴリズムを実行することで、従前の研究では集計量として扱われてきた土地取引行動に対して、非集計な土地の安定マッチング状態の推定が可能であることを示した。

本研究ではまず、現状ではスパースにしか入手できない土地取引データについて、不動産登記全部事項を用いることで土地取引の有無に関するデータを悉皆的に取得した。同時に、土地取引が行われている地域における交通行動アンケートを用いて来訪者の逐次的な回遊モデルを定式化・推定することで、1km メッシュ以下の地区スケールにおける土地の取引に対して交通行動が影響を明らかにする微視的な相互作用モデルフレームワークを提示した。加えてパラメータの推定結果から、通期的に利用が容易な土地やまとまった土地所有が行われていることと、土地の維持行動と購入行動に推定交通量が正に影響していることを明らかにした。買主提案型のアルゴリズムによるマッチング結果から、時間が経つにつれてマッチング件数が減少することを明らかにした。この結果は、土地の買い手がつかないという昨今の日本の土地市場の状況と整合すると同時に、土地取引データのみでは明らかではなかった安定マッチングに現れる均衡と不均衡の存在を示唆している。またマッチングが不均衡となっているリンクが低未利用地という土地利用と一致することを明らかにした。低未利用地の公共的な滞在を見込んだ開発を仮定したシミュレーションの結果より、マッチング総効用の上昇、地域における事業スキームを計画的に遂行することと土地利用の重要性が示唆された。

本研究で用いた DA アルゴリズムによるマッチング問題の定式化は、研修医や研究室マッチングといった実務でも活用されており操作性が高い。従って、提案したマッチングアルゴリズムを導入した効率的かつ満足する土地売買方法の提案という実社会の実装を見込むことが可能である。しかしながら、今回、買主提案型マッチングだったことに起因する売り手の余剰は解決されるべき課題となった。また本モデルでは 45 年間でマッチングを暗に仮定したが、年単位でマッチングが成立する、

あるいは動学化するなど時間軸の取り方については考慮されるべきであり、今後の課題である。さらに両面市場のサーチ理論との整合性も問題であり、サーチ型モデルとの比較検討が求められる。

REFERENCES

- 1) 今井亮一. "住宅市場のサーチ理論 (特集 不動産流通の課題)." 土地総合研究 24.1 (2016): 14-24.
- 2) Stigler, George J. "The economics of information." *Journal of political economy* 69.3 (1961): 213-225.
- 3) Stigler, George J. "Information in the labor market." *Journal of political economy* 70.5, Part 2 (1962): 94-105.
- 4) McCall, John J. "The economics of information and optimal stopping rules." *The Journal of Business* 38.3 (1965): 300-317.
- 5) McCall, John Joseph. "Economics of information and job search." *The Quarterly Journal of Economics* (1970): 113-126.
- 6) Danforth, John P. "On the role of consumption and decreasing absolute risk aversion in the theory of job search." *Studies in the Economics of Search* 123 (1979): 109-131.
- 7) Butters, Gerard R. "Equilibrium distributions of sales and advertising prices." *The Review of Economic Studies* 44.3 (1977): 465-491.
- 8) Burdett, Kenneth, and Kenneth L. Judd. "Equilibrium price dispersion." *Econometrica: Journal of the Econometric Society* (1983): 955-969.
- 9) Wheaton, William C. "Vacancy, search, and prices in a housing market matching model." *Journal of political Economy* 98.6 (1990): 1270-1292.
- 10) 大川内佑, and 織田澤利守. "土地市場におけるマッチングを考慮したブラウンフィールド発生機構のゲーム論的分析." 都市計画論文集 49.3 (2014): 615-620.
- 11) Shapley, Lloyd, and Herbert Scarf. "On cores and indivisibility." *Journal of mathematical economics* 1.1 (1974): 23-37.
- 12) Abdulkadiroğlu, Atila, and Tayfun Sönmez. "House allocation with existing tenants." *Journal of Economic Theory* 88.2 (1999): 233-260.
- 13) Sönmez, Tayfun, and M. Utku Ünver. "House allocation with existing tenants: an equivalence." *Games and Economic Behavior* 52.1 (2005): 153-185.
- 14) Sönmez, Tayfun, and M. Utku Ünver. "House allocation with existing tenants: A characterization." *Games and Economic Behavior* 69.2 (2010): 425-445.
- 15) Gale, David, and Lloyd S. Shapley. "College admissions and the stability of marriage." *The American Mathematical Monthly* 69.1 (1962): 9-15.
- 16) Hatfield, John William, Fuhito Kojima, and Yusuke Narita. "Improving schools through school choice: A market design approach." *Journal of Economic Theory* 166 (2016): 186-211.
- 17) Kojima, Fuhito, and Hiroaki Odahara. "Toward market design in practice: a progress report." *The Japanese Economic Review* (2021): 1-18.
- 18) Adams, C. D., and H. G. May. "Active and passive behaviour in land ownership." *Urban Studies* 28.5 (1991): 687-

- 705.
- 19) Goodchild, Robin N., and Richard John Cyril Munton. *Development and the landowner: an analysis of the British experience*. Taylor & Francis, 1985.
 - 20) Eckart, Wolfgang. "On the land assembly problem." *Journal of Urban Economics* 18.3 (1985): 364-378.
 - 21) Asami, Yasushi. "A game-theoretic approach to the division of profits from economic land development." *Regional Science and Urban Economics* 18.2 (1988): 233-246.
 - 22) O'Flaherty, Brendan. "Land assembly and urban renewal." *Regional Science and Urban Economics* 24.3 (1994): 287-300.
 - 23) Strange, William C. "Information, holdouts, and land assembly." *Journal of Urban Economics* 38.3 (1995): 317-332.
 - 24) Lai, Shih-Kung, et al. "A game-theoretic approach to urban land development in China." *Environment and Planning B: Planning and Design* 35.5 (2008): 847-862.
 - 25) Hui, Eddie CM, and Haijun Bao. "The logic behind conflicts in land acquisitions in contemporary China: A framework based upon game theory." *Land Use Policy* 30.1 (2013): 373-380.
 - 26) Mu, Lingling, and Junhai Ma. "Game theory analysis of price decision in real estate industry." *International Journal of Nonlinear Science* 3.2 (2007): 155-160.
 - 27) Xie, Hualin, Wei Wang, and Xinmin Zhang. "Evolutionary game and simulation of management strategies of fallow cultivated land: a case study in Hunan province, China." *Land Use Policy* 71 (2018): 86-97.
 - 28) Lin, Yu-Chih, and Feng-Tyan Lin. "A strategic analysis of urban renewal in Taipei City using game theory." *Environment and Planning B: Planning and Design* 41.3 (2014): 472-492.
 - 29) Samsura, D. Ary A., Erwin Van der Krabben, and A. M. A. Van Deemen. "A game theory approach to the analysis of land and property development processes." *Land use policy* 27.2 (2010): 564-578.
 - 30) Jana, Arnab, Rounaq Basu, and Conan Mukherjee. "A game theoretic approach to optimize multi-stakeholder utilities for land acquisition negotiations with informality." *Socio-Economic Planning Sciences* 69 (2020): 100717.
 - 31) Acheampong, Ransford A., and Elisabete A. Silva. "Land use-transport interaction modeling: A review of the literature and future research directions." *Journal of Transport and Land use* 8.3 (2015): 11-38.
 - 32) Anas, Alex. "Residential location markets and urban transportation : economic theory, econometrics, and policy analysis with discrete choice models. *Studies in urban economics*" / under the editorship of Edwin S. Mills, Academic Press (1982)
 - 33) Anas, Alex. "Discrete choice theory and the general equilibrium of employment, housing, and travel networks in a Lowry-type model of the urban economy." *Environment and Planning A* 16.11 (1984): 1489-1502.
 - 34) Martinez, Francisco. "MUSSA: land use model for Santiago city." *Transportation Research Record* 1552.1 (1996): 126-134.
 - 35) McFadden, Daniel, "Modeling the choice of residential location" In: Anders Karlqvist, and Lars Lundqvist. "Spatial interaction theory and planning models." (1978): 75-96.
 - 36) Rosen, Sherwin. "Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition." *Journal of political economy* 82.1 (1974): 34-55.
 - 37) Ellickson, Bryan. "An alternative test of the hedonic theory of housing markets." *Journal of Urban Economics* 9.1 (1981): 56-79.
 - 38) Martinez, Francisco J. "The bid-choice land-use model: an integrated economic framework." *Environment and Planning A* 24.6 (1992): 871-885.
 - 39) Martínez, Francisco J., and Rodrigo Henríquez. "A random bidding and supply land use equilibrium model." *Transportation Research Part B: Methodological* 41.6 (2007): 632-651.
 - 40) 堤盛人, et al. "応用都市経済モデルの課題と展望." *土木学会論文集 D3 (土木計画学)* 68.4 (2012): 344-357.
 - 41) Ueda, Takayuki, et al. "Unified computable urban economic model." *The annals of regional science* 50.1 (2013): 341-362.
 - 42) 山崎清, and 武藤慎一. "開発・誘発交通を考慮した道路整備効果の分析." *運輸政策研究* 11.2 (2008): 014-025.
 - 43) Hurtubia, Ricardo, Francisco Javier Martinez, and Michel Bierlaire. "A quasi-equilibrium approach for market clearing in land use microsimulations." *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science* 46.3 (2019): 445-468.
 - 44) Bellman, Richard. "Dynamic programming.", Princeton University Press (1957).
 - 45) Fosgerau, Mogens, Emma Frejinger, and Anders Karlstrom. "A link based network route choice model with unrestricted choice set." *Transportation Research Part B: Methodological* 56 (2013): 70-80.
 - 46) 大山雄己 and 羽藤英二, "一般化 RL モデルを用いた災害時の経路選択行動分析," *交通工学論文集*, vol. 3, no. 5, pp. 1-10, 2017

(Received ??, ??)
(Accepted ??, ??)

DEVELOPMENT AND EMPIRICAL ANALYSIS OF A MODEL FOR MATCHING LAND TRANSACTIONS CONSIDERING THE INFLUENCE OF EXCURSION BEHAVIOR

Risa KOBAYASHI, Eiji HATO

Theorizing the supply-demand equilibrium of urban landowners' buying and selling behavior is still in its infancy. This study aims to clarify the equilibrium state of land transactions from real data, including traffic data, by introducing a matching algorithm. The MNL model was developed for the problem of selecting land for sale, and actual land transaction data were used to estimate the model. The model is nested, with the estimated volume of sales affecting the buying behavior and the estimated volume of purchases affecting the selling behavior, using the estimated volume of the travel behavior model as the explanatory variable. The estimated parameters of the transaction model were used to calculate the choice probability, and the preferences of each owner were defined and matched using the DA algorithm. The results revealed the balance between supply and demand for land, which is not revealed by actual land transaction data alone, and the change in the spatial distribution of matching due to development.