

Gale-Shapley アルゴリズムによる 微視的土地取引メカニズムのモデル化と実証

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における需給の均衡の理論化は、未だ途上にある。本研究の目的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点にある。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。モデルは交通行動を説明変数としリンク毎の推定売り量が買い行動に影響し、推定買い量が売り行動に影響するとして入れ子構造となっており、売りモデルと買いモデルを擬似最尤推定法によって同時推定している。推定したパラメータを用いて選択確率を計算し、選択確率に基づいて各地主の選好を定義し DA アルゴリズムで一對多のマッチングを行った。結果に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を明らかにした。

Key Words: land transaction, discrete choice model, travel behavior questionnaires, 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への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⁴⁾。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が増加し、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⁷⁾。

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い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い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のうち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い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、売り手と買い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) 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¹⁸⁾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¹⁹⁾²⁰⁾。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 MUSSA²¹⁾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)²²⁾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)²³⁾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²⁴⁾。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²⁵⁾。MUSSA²¹⁾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 Henríquez (2007)²⁶⁾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²⁷⁾²⁸⁾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²⁹⁾。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)³⁰⁾は Martinez and Henríquez (2007)²⁶⁾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。

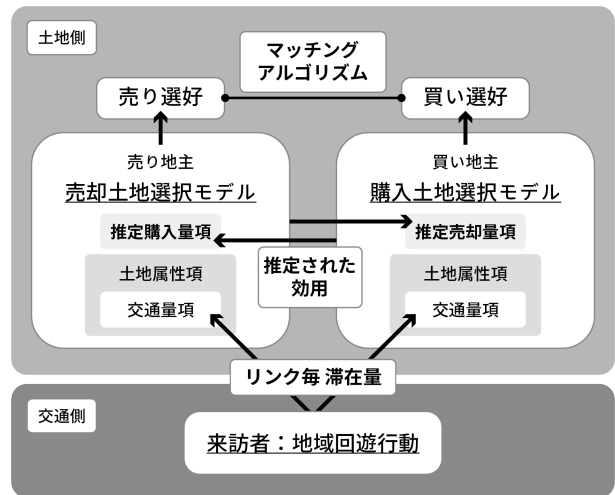


図-1 本研究で対象とする経済主体とモデル構造

(4) 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。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については実証的に明らかにされていない。

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データを含む実データ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する（図-1）。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る。2 章では土地売買モデル、3 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。4 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。5 章で結論及び今後の課題について議論する。

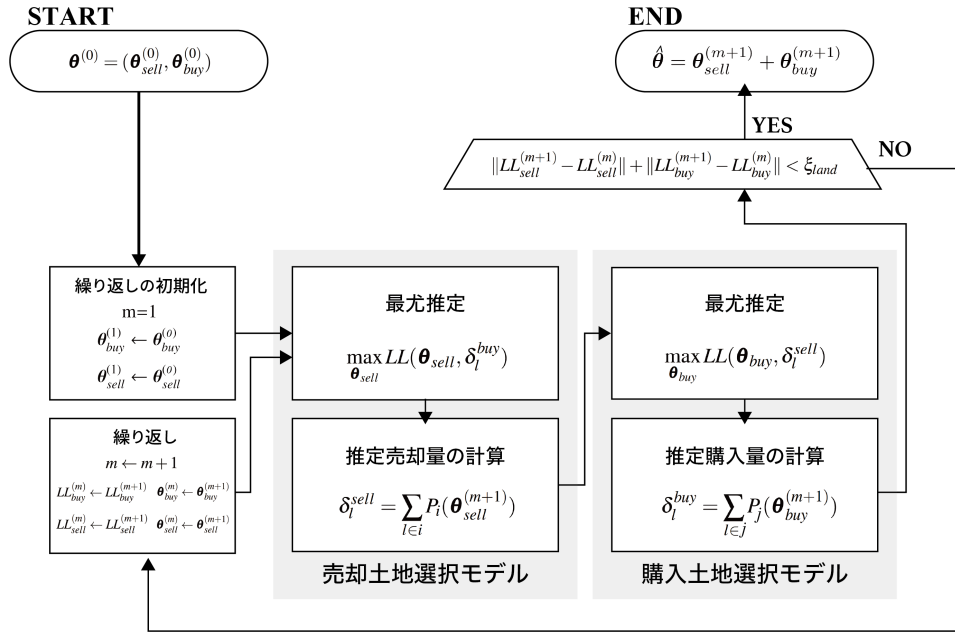


図-2 売却土地選択モデルと購入土地選択モデルの同時推定

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。

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

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。

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

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

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。

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

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.

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

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

(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-2)。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。

3. 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-3)。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。

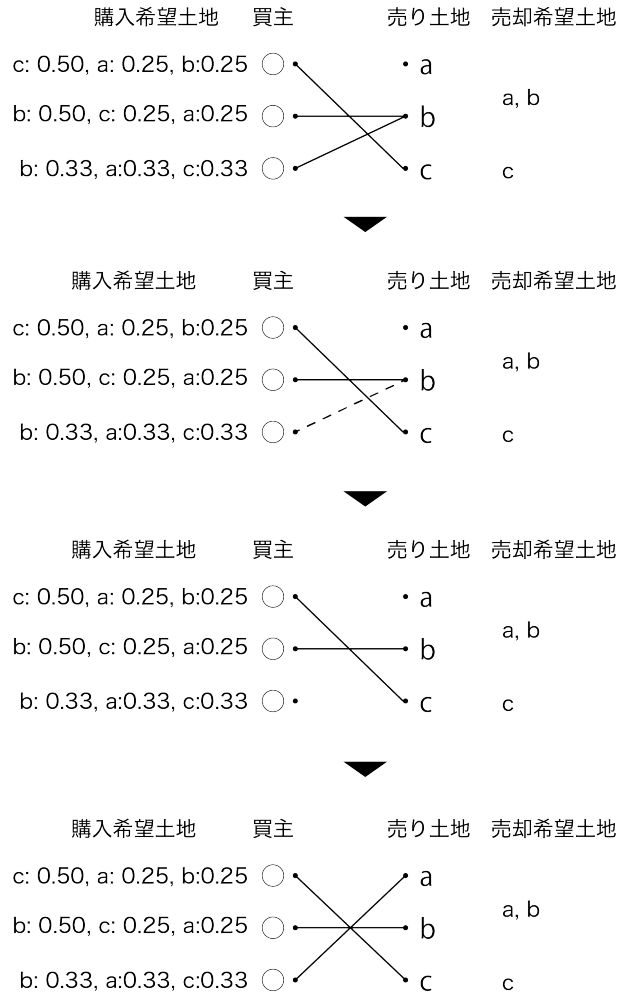


図-3 マッチングアルゴリズムのフロー

4. 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、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、

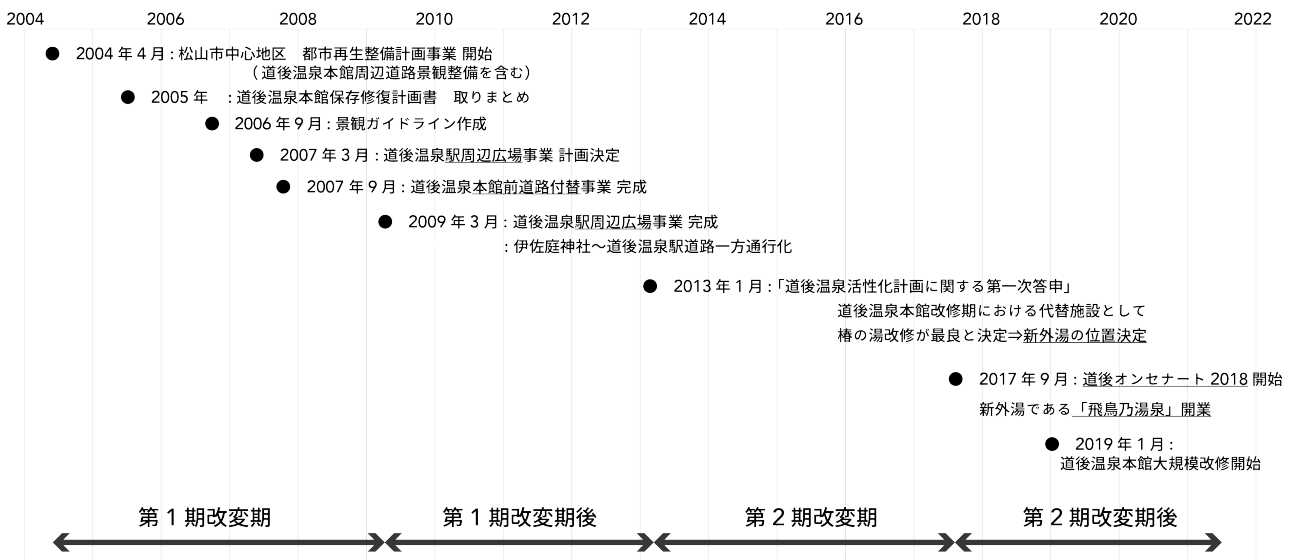


図-4 道後温泉周辺における空間改変事業年表と時代区分

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-4）。

- 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）
- 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滞り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

表-1 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
$\alpha_{sell}, \alpha_{buy}$	滞在量	回遊行動データから明らかになる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-2 売却土地選択モデルと購入土地選択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.	-1.974	-0.684	-2.341	-1.175	-3.818	-0.894	-0.243	-1.496
	t-value	-5.184**	-5.608**	-4.678**	-4.130**	-6.240**	-4.147**	-0.310	-2.507**
間口	Est.	0.459	0.382	1.680	0.695	1.486	1.047	1.690	0.381
	t-value	5.064**	3.505**	10.801**	2.514**	9.066**	3.001**	8.772**	1.751*
滞在量	Est.	3.023	-0.306	2.894	-0.737	0.708	4.183	2.127	-1.875
	t-value	3.096**	-0.566	2.651**	-0.419	1.803*	0.632	2.440**	-0.622
推定購入量	Est.	-0.308	-	-0.565	-	-0.528	-	-0.907	-
	t-value	-14.872**	-	-10.714**	-	-10.484**	-	-8.760**	-
推定売却量	Est.	-	-0.009	-	-0.167	-	-0.063	-	-0.026
	t-value	-	-0.308	-	-2.731**	-	-0.916	-	-0.322
LL(0)		-1393.707	-220.606	-1275.413	-136.680	-980.078	-122.293	-718.381	-100.712
LL		-894.267	-160.307	-643.540	-71.166	-508.008	-83.927	-357.748	-66.255
ρ^2		0.355	0.269	0.492	0.472	0.478	0.306	0.496	0.332
サンプル数		1717	92	1607	57	1230	51	884	42

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) 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-1 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 4(1)b) のデータを用い、リンク毎の滞在数を表示している。

b) 推定結果

表-2 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。売却土地選択モデルは年ごと地主ごとに選択肢集合のサンプリングを行い、4 選択肢を生成している。購入土地選択モデルは購入件数ごとに選択肢集合のサンプリングを行い、

不動産登記上で売買が行われた全ての土地からランダムに 10 選択肢を選択肢集合としている。

全ての期間、モデルにおいて尤度比 ρ^2 が 0.27 から 0.50 の間にあり一定の説明力がある。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ほとんどの期間で有意に負になっていることから、土地を集積して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。購入土地選択モデルにおいても同様の傾向が見られ、間口が比較的広く既に所有している土地に近い土地を購入する選好が見られる。

滞在量パラメータについて、売却土地選択モデルでは全ての期間で有意に正であることから、旅行者の多いリンクに面している土地を維持して他を売却すると推測される。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

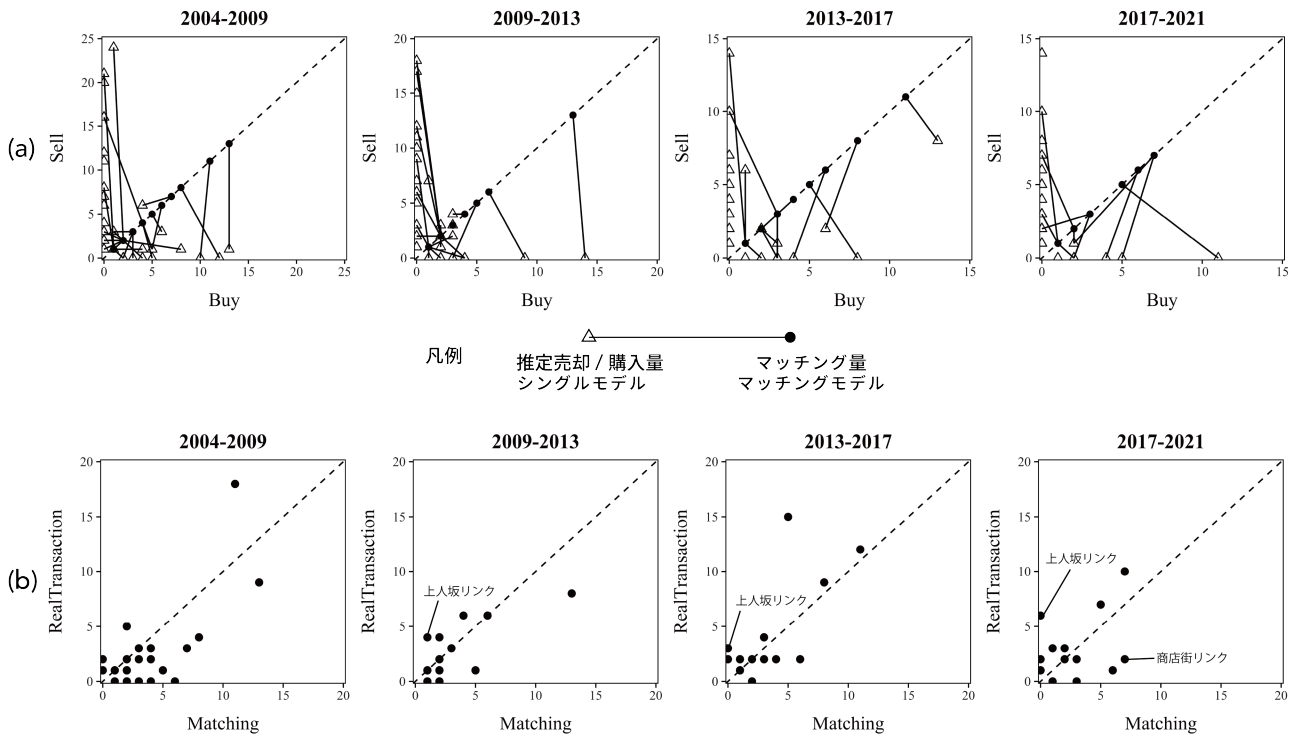


図-5 (a) 2004年から2021年までの推定売却/購入量とマッチング結果と推移
 (b) 2004年から2021年までの実際の取引量とマッチング量

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有意、推定売却量パラメータは2009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

リンクごとの、推定パラメータによる売却土地量と購入土地量、DAアルゴリズムによるマッチングの結果(点線上)を図-5(a)に示す。図中の矢印の長さはマッチングの効率性を表しており、長いほど推定された売却量と購入量とマッチング結果の乖離を表している。

2004年から2009年の結果と2009年から2013年の結果より売りが過剰であったリンクではマッチングにより推定購入量に落ち着く傾向があることがわかる(図-5(a)各図左部)。また同様に買いが過剰であったリンクにおいても売却土地量にマッチングが安定していることがわかる。特に2004年から2009年の結果は買い手の付かなかった売り土地に買い手がついている(x軸に平行のライン)リンクが存在する傾向が見られる。

一方2013年から2017年、2017年から2021年の結果からは、その前の期間と比較して売却に対して買い手の付

かないリンクがいくつか見られ、マッチングの不成立が示唆される。この結果は年を経るにつれ売りが過剰になり買い手の付かない土地が増加するという現在の土地市場を反映していると同時に、提案アルゴリズムが買い手の提案に基づいていることから、マッチングの不成立に至っていると考えられる。

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リンクは存在し、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、徐々に買い手がつかなくなるという時間変化が存在することを提示した。

図-5(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。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に特筆すべきものとしては、2009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)と商店街の一部リンクである。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、低位均衡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。一方で商店街リンクは実際の取引量よりもマッチング量の方が多く、実際より高位で均衡しており、上人坂リンクと比較して、商店街リンクでは高い均衡価格で取引がなされている可能性が示唆された。

5. 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データの 2 つの実データから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、現状ではスペ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活用することで、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、通期的に利活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売り手が余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。

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、操作性が高いことから、効率的な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、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 4.5 年間をかけた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など時間軸についても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。

参考文献

- 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) 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.
- 19) 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)

- 20) 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.
- 21) Martinez, Francisco. "MUSSA: land use model for Santiago city." *Transportation Research Record* 1552.1 (1996): 126-134.
- 22) McFadden, Daniel, "Modeling the choice of residential location" In: Anders Karlqvist, and Lars Lundqvist. "Spatial interaction theory and planning models." (1978): 75-96.
- 23) Rosen, Sherwin. "Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition." *Journal of political economy* 82.1 (1974): 34-55.
- 24) Ellickson, Bryan. "An alternative test of the hedonic theory of housing markets." *Journal of Urban Economics* 9.1 (1981): 56-79.
- 25) Martinez, Francisco J. "The bid—choice land-use model: an integrated economic framework." *Environment and Planning A* 24.6 (1992): 871-885.
- 26) 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.
- 27) 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.
- 28) Ueda, Takayuki, et al. "Unified computable urban economic model." *The annals of regional science* 50.1 (2013): 341-362.
- 29) 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.
- 30) 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.

(Received ??, ??)

(Accepted ??, ??)

MODELING AND CASE STUDY OF MICRO LAND TRANSACTION MECHANISM WITH GALE-SHAPLEY ALGORITHM

Risa KOBAYASHI, Eiji HATO

Theorizing the equilibrium between supply and demand in the buying and selling behavior of urban landowners is still in its infancy. The purpose of this study is to clarify the equilibrium state of land transactions from real data including travel data by introducing a matching algorithm. The MNL model was developed for the problem of selecting land for sale, and the model was estimated using actual land transaction data. The model has a nested structure in which travel behavior is used as an explanatory variable, the estimated selling volume for each link affects the buying behavior, and the estimated buying volume affects the selling behavior. The estimated parameters were used to calculate the choice probabilities, and one-to-many matching was performed using the DA algorithm, defining the preferences of each owner based on the choice probabilities. The results reveal a balance between supply and demand for land that cannot be determined from actual land transaction data alone.