

# 選択型コンジョイントを用いた 住宅市場マッチングモデルの推定

市川 航也<sup>1</sup>・鈴木 温<sup>2</sup>・北詰 恵一<sup>3</sup>・宮本 和明<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生会員 名城大学大学院 理工学研究科修士課程建設システム工学専攻 (〒468-8502 愛知県名古屋市中白区塩釜口1-501)

E-mail:123437003@c alumni.meijo-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 名城大学准教授 理工学部建設システム工学科 (〒468-8502 愛知県名古屋市中白区塩釜口1-501)

E-mail:atsuzuki@meijo-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 関西大学准教授 環境都市工学部都市システム工学科 (〒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

<sup>4</sup>フェロー 東京都市大学教授 環境情報学部環境情報学科 (〒224-8551 神奈川県横浜市都筑区牛久保西3-3-1)

E-mail:miyamoto@tcu.ac.jp

筆者らは、これまでに多様な世帯と多様な住宅のマッチングに着目した住宅市場モデルを構築してきた。これまでの研究では、実際の世帯と住宅データをもとに住宅市場のモデル化を行っているが、選好データの不足による住宅選択モデルにおける効用推定の課題が残されており、改良が必要となっている。そこで本研究では、富山県富山市を対象とした選択型コンジョイント形式のアンケート調査を実施し、選好データを収集し効用推定を行い、マッチングのシミュレーションを行った。また、世帯と住宅のマッチングアルゴリズムに関しても、従来のGale and Shapleyのアルゴリズムに加えて、応募者の一時的キープを認めないポストン方式を新たに加え、比較検討を行った。最後に現状の課題と今後の発展の方向性についても論じる。

**Key Words :** *land-use model, conjoint analysis, matching, housing market*

## 1. はじめに

日本の多くの地方都市では中心市街地の衰退や、無秩序な郊外化等の問題が生じている。今後、さらなる少子高齢化、人口減少が予測される中で、住民の生活の質を維持・向上していくためには持続可能な都市構造へ転換していくことが必要である。持続可能な都市構造へ転換するためには、世帯構成や年齢構成の変化を考慮し、効率的な都市政策を行っていくことが有効であると考えられる。マイクロシミュレーション型の都市モデルは、多様な主体属性の選択行動を表現することが可能なことから、少子高齢化に伴う人口構成の変化が社会に与える影響を分析するのに有効であるといえる。本研究では、マイクロシミュレーション型住宅市場モデルを実際の都市に適用することを目的としている。

住宅市場は、世帯人数や世帯主年齢等の世帯属性の違

いによって住宅の選好が大きく左右される傾向がある。しかし、これまで開発されてきたモデルの多くは、多様な世帯属性と多様な住宅属性の相関関係や住宅市場における探索行動、取引プロセスを表現できていなかった。鈴木ら<sup>1,2,3)</sup>は、これらの問題を解消するため、住宅市場を世帯と住宅のマッチングに着目した住宅市場マッチングモデルの開発を行っている。しかし、これまでの住宅市場マッチングモデルでは、パーソントリップ調査の付帯調査であるライフスタイル調査のデータから住宅の選好順位を決定する効用関数が推定されていたが、高い精度が得られていなかった。また、世帯と住宅のマッチングに用いたアルゴリズムはGale and Shapley<sup>9)</sup>のアルゴリズムを住宅市場のモデルに応用して行っている。Gale and Shapleyのアルゴリズムでは、住宅供給者が契約世帯を決定する際に、もっとも高い付け根を提案した世帯と直ちに契約するのではなく、一時保留するという過程は、実

際の住宅市場の契約成立までの流れとは必ずしも一致しないため、改良が必要と考えられる。

そこで、本研究では、実際の住宅購入行動に近い質問を行うことのできる選択型コンジョイント<sup>45)</sup>によるマッチングモデルの効用推定を行う。そのため、富山市を対象としたアンケート調査を実施し、得られた住宅選好データから世帯の住宅に関する効用推定を行う。推定されたモデルを用い、住宅選択に関するシミュレーションを行う。また、世帯と住宅のマッチングを行うアルゴリズムは既存のモデルで用いられていたGale and Shapleyのアルゴリズムに加え、新たにポストン方式<sup>7)</sup>のアルゴリズムを用い、二つのアルゴリズムのマッチング結果の比較と検討を行う。

## 2. 住宅市場モデルの理論的枠組み

### (1) 世帯の住宅に対する選好

住宅市場モデルは、世帯集合 $I$ と住宅集合 $H$ によって構成される。

$I = \{1, 2, \dots, i, \dots\}$ : 世帯集合

$H = \{1, 2, \dots, h, \dots\}$ : 住宅集合

また、世帯集合は、 $\{I_1, I_2, \dots, I_k, \dots\}$ という世帯タイプの集合に分割することができる。同様に、住宅集合もという住宅集合に分割することができる。

世帯の住宅に対する選好は効用関数から導かれる。世帯は予算制約の下での効用最大化行動を行っていると考え、 $t$ 期の世帯 $i$ の効用 $V_i^t$ は、世帯属性、住宅属性、住宅価格を説明変数とする間接効用関数 $u_i$ として、式(1)のように表わされる。

$$V_i^t = u_i(X_h^t, r_h^t) \quad (1)$$

$X_h^t = \{X_{h2}^t, X_{h2}^t, \dots\}$ : 住宅 $h$ の $t$ 期の属性集合

$r_h^t$ : 住宅 $t$ の $t$ 期の価格

住宅属性には、床面積、部屋数、アクセシビリティ、周辺環境等が考えられる。

本研究では、住宅選択モデルにおいて世帯の実際の住宅購入行動に近い選好を表現するため選択型コンジョイントを用いて効用の推定を行った。また、パラメータ推定は世帯の選好の多様性を表現するため世帯主年齢と世帯人数によって分類された世帯タイプ毎に行った。世帯の住宅に対する選好は以下の式(2)、(3)のような多項ロジットモデルによって推定される。

$$P_{ih} = \frac{\exp(V_{ih})}{\sum \exp(V_{ih})} \quad (2)$$

$$V_{ih} = \sum_l \beta_l Y_{lh} + \varepsilon \quad (3)$$

式(2)は世帯 $i$ が住宅 $h$ を選択する確率を表しており、 $V_{ih}$ は世帯 $i$ の住宅 $h$ に対する効用の確定項である。 $V_{ih}$ は式(3)のように住宅属性に関する説明変数 $Y_{lh}$ によって構成されている。住宅属性に関するパラメータ、 $\varepsilon$ は確率項である。住宅属性に関する説明変数は、間取り、築年数、価格、最寄駅までの徒歩時間を設定した。

### (2) 世帯と住宅供給者の選好

世帯による住宅の選好は、式(3)と表-5によって求められた効用関数をもとに導出される。本研究では、アンケート調査では得られにくいばらつきを表現するため同一世帯タイプ内の選好の差を効用関数の誤差項をランダムに割り振った。

住宅供給者の世帯に対する選好順位は、入居を希望する世帯が提示する支払意思額によって決定する。世帯の住宅 $j$ に対する支払意思額は、式(4)、(5)によって得られる。式(4)は世帯の住宅に対する支払意思額を示しており、 $MWTP_{xi}$ は住宅属性の限界支払意思額である。 $MWTP_{xi}$ は式(5)のように住宅属性と価格のパラメータによって構成されている。

$$WTP = \sum_l MWTP_l Y_{lh} \quad (4)$$

$$MWTP_{xi} = -\frac{\beta_{x1}}{\beta_p} \quad (5)$$

### (3) 住宅供給者の世帯に対する選好

世帯の支払意思額は、間接効用 $V_i^t$ によって導出される。世帯 $i$ の住宅 $j$ に対する支払意思額は、式(6)のように表わす。

$$r_{ih} = r(X_h^t) \quad (6)$$

### (4) 世帯と住宅のマッチング

本モデルでは、世帯の住宅に対する選好と世帯の住宅に対する支払意思額から得られる住宅供給者の住宅希望世帯に対する選好によって表現される世帯の住宅のマッチングを考慮することによって、世帯の住宅選択行動と住宅市場価格形成をモデル化する。本研究では、これまで提案してきたGale and Shapleyのアルゴリズムを基にした方法に加え、ポストン方式のアルゴリズムを用いて世帯と住宅のマッチングを行った。住宅市場マッチングモデルにおけるGale and Shapleyとポストン方式のアルゴリズムは表-1に示す。

表-1 マッチングアルゴリズム

	Gale and Shapley	ボストン方式
ステップ1	転居を希望するすべての世帯は購入可能な住宅の中から最も望ましい住宅に応募	
ステップ2	すべての住宅供給者は購入を希望している世帯の中で最も高い支払意思額を提示した世帯を選択する。	一時的キープなしで契約成立
	住宅供給者は、より条件の良い需要者出現の可能性を残すため、この世帯を一時的にキープする。	
ステップ3	購入を拒否された世帯は、まだ購入を拒否されていない購入可能な空家住宅の集合の中から最も好ましい住宅に応募。もし購入可能な住宅の集合が空ならば、今期はどの住宅への移転を取りやめる。	
ステップ4	住宅供給者は選択している世帯と新しく応募を受けた世帯の中から最も好ましい世帯を選択する。	住宅供給者は新しく応募を受けた世帯の中から最も好ましい世帯を選択する。
	以下、第3、第4ステップを繰り返し、すべての世帯が拒否されなくなるか、転居をあきらめた段階でアルゴリズムは終了する。	

Gale and Shapleyのアルゴリズムでは、上記のステップ2において、いったん受け入れた応募者を直ちには決定せず、さらに条件の良い応募者がその後応募してくることを期待して一旦保留するという手順が組込まれている。しかし、住宅市場においてこのような手順は一般的ではない。ボストン方式のアルゴリズムには、住宅供給者が一時保留するといった手順がなく、世帯の応募を受けた時点で、その世帯と契約することを決定する。我が国の住宅市場は、このような手順に近いと言える。Gale and Shapleyとボストン方式のアルゴリズムのマッチング結果の比較検討については第4章で述べる。

### 3. 住宅選択モデルのキャリブレーション

#### (1) 世帯と交通に関するアンケート調査

##### (1.1) 対象地域

本研究では世帯による住宅の選好データを収集するため、世帯と交通に関するアンケート調査を実施した。マイクロシミュレーションモデルの開発は、自治体による土地利用政策等の立地選択に与える影響を評価するツールとして提供することを目的としているため、調査対象地域としてコンパクトシティに向けた都市政策を積極的に行っている富山県富山市を選択した。

##### (1.2) 調査概要

アンケート調査は、無作為に抽出した富山市および周辺一部地区に居住する140,734世帯の10%に当たる14,073世帯を対象に2011年12月に実施した。アンケート調査は郵送送付、郵送回収で行った。アンケートの主な質問内容を表-2に示す。

表-2 質問内容

<u>世帯属性に関する質問</u> 世帯主年齢, 世帯人数, 居住年数
<u>住宅属性に関する質問</u> 現在住んでいる住宅の間取り, 築年数, 住宅タイプ 以前住んでいた住宅の間取り, 築年数, 住宅タイプ
<u>転居に関する質問</u> 転居の希望・予定の有無 転居を希望・予定している住宅タイプ
<u>選択型コンジョイント</u> 転居を希望している世帯は仮想住宅の中から住宅の選好を行う

#### (2) 選択型コンジョイント

##### (2.1) プロファイルの作成

本研究では住宅選択における世帯の効用関数を推定するために、選択型コンジョイントを用いた。選択型コンジョイントとは、回答者に商品の属性とその水準から構成されたプロファイルと呼ばれる仮想商品を複数提示し、その中から最も望ましいものを選択してもらうことで選好に対する属性ごとの影響度を分析する方法であり、世帯の住宅選択における選択行動を表現することにも適した方法であると考え採用した。まず、富山市の住宅相場を捉えたプロファイルを提示するため、ヘドニック法による住宅価格推定式の構築を行った。住宅価格推定式を式(7)に示す。

$$r_h = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_i x_i + \varepsilon \quad (7)$$

$r_h$  = 住宅価格

$x_1, x_2, \dots, x_i$ : 住宅に関する説明変数

$\varepsilon$ : 誤差項

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i$ : 推定されるパラメータ

住宅価格推定式は不動産サイトの分譲戸建住宅データを200件収集し構築を行った。住宅価格推定式のパラメータ推定結果を表-3に示す。

表-3 パラメータ推定結果 (価格推定式)

変数	偏回帰係数	標準偏回帰係数	t値
X1	137.7073	0.0848	1.7060
X2	-16.4931	-0.1848	-3.7372**
X3	5.6627	0.3186	6.6939**
X4	287.3012	0.1509	2.3956*
X5	-29.3907	-0.6788	-11.6670**
X6	-145.2408	-0.0654	-1.3771
X7	-118.3736	-0.0361	-0.7255
X8	1768.9413		7.8032**
R	0.6119		

※x1: 最寄駅タイプ, x2: 最寄駅までの徒歩時間, x3: 建物面積, x4:

新築α中古, x5: 築年数, x6: 階数, x7: 構造タイプ, x8: 定数項

\*\* : 1%の有意水準で有意, \* : 5%の有意水準で有意

プロフィールの属性には、住宅価格への影響度の高い最寄駅までの徒歩時間、建物面積、築年数を設定した。各属性の水準は、実際に富山市内で取引されている割合の高い数値を設定した。設定した属性と水準を直交表に割り付け、9個のプロファイルを作成した。また、質問回数は回答者の負担を減らすため、3選択肢を3回に分けて聞いた。表-4に9つのプロファイルを示す。

表-4 選択型コンジョイントの住宅プロフィール

	住宅 A	住宅 B	住宅 C
最寄駅までの距離	5分	15分	30分
間取り	7LDK	3LDK	3LDK
築年数	30年	10年	30年
住宅価格	3000万	3000万	2000万

	住宅 D	住宅 E	住宅 F
最寄駅までの距離	30分	5分	15分
間取り	5LDK	5LDK	5LDK
築年数	新築	10年	30年
住宅価格	3000万	2000万	1000万

	住宅 G	住宅 H	住宅 I
最寄駅までの距離	15分	30分	5分
間取り	7LDK	7LDK	3LDK
築年数	新築	10年	新築
住宅価格	2000万	1000万	1000万

## (2.2) パラメータ推定結果

2011年1月31日現在までに収集したアンケートの回収数は2950件であり、選択型コンジョイントに関する問いの有効回答数は1473件となった。

本研究では、住宅市場モデルにおける住宅タイプの選択は所与として持家戸建を希望する世帯の住宅選択をモデル化を行った。世帯タイプは世帯主年齢と世帯人数によって5タイプに分類した。世帯タイプの詳細を表-5、パラメータ推定結果を表-6に示す。世帯タイプ分けは世帯主年齢別、世帯人数別にパラメータ推定を行い、選好の違いがみられた数値をしきい値として設定した。パラメータ推定結果は、どの世帯タイプでも説明変数のt値は有意な結果が得られた。世帯タイプ別にパラメータの比較をしてみると、世帯人数の多い世帯タイプが建物面積の効用へのプラスの影響度が強く、世帯主年齢が高齢の世帯は最寄駅までの徒歩距離の効用へのマイナスの影響が強いという傾向がみられた。しかし、住宅価格と築年数に関しては、世帯タイプのパラメータに違いは見られず、改善が必要である。

表-5 世帯タイプ分け

		世帯主年齢	
		50歳未満	50歳以上
世帯人数	単身	世帯タイプ 1	
	2~3人	世帯タイプ 2	世帯タイプ 3
	4人以上	世帯タイプ 4	世帯タイプ 5

表-6 パラメータ推定結果

	パラメータ (t 値)				
	タイプ 1	タイプ 2	タイプ 3	タイプ 4	タイプ 5
	N=75	N=112	N=261	N=106	N=124
X 1	-0.0023 (-4.253)**	-0.0018 (-3.921)**	-0.0016 (-5.178)**	-0.0021 (-6.0475)**	-0.0015 (-3.962)**
X 2	0.0206 (2.963)**	0.0116 (2.037)*	0.0134 (3.309)**	0.0219 (4.820)**	0.0185 (3.559)**
X 3	-0.1934 (-5.711)**	-0.1641 (-5.656)**	-0.1463 (-7.812)**	-0.1866 (-8.243)**	-0.1405 (-5.805)**
X 4	-0.0464 (-5.017)**	-0.0355 (-4.666)**	-0.0537 (-10.958)**	-0.0322 (-5.431)**	-0.0546 (-8.563)**
R	0.30	0.28	0.27	0.22	0.21

※X1:住宅価格, X2:建物面積, X3:築年数, X4:最寄駅までの徒歩時間

\*\*:1%の有意水準で有意 \*5%の有意水準で有意

## 4. 世帯と住宅のマッチング

### (1) マッチングシミュレーションのサンプルデータ

前章で推定された効用関数から、世帯の住宅に対する選好順位および、支払意思額が得られる。選好順位が得られれば、2.(4)で説明したアルゴリズムに従って、世帯と住宅のマッチングを行うことができる。マッチングシミュレーションに用いる世帯のサンプルは、居住と交通に関するアンケート調査で選択型コンジョイントに回答した1473世帯のうち、200世帯をランダムに抽出した。一方、住宅に関するサンプルは、現在、富山市内で売りに出されている持家戸建住宅200戸を不動産サイトから抽出した。

### (3) シミュレーション結果と考察

本研究では、従来のGale and Shapleyのアルゴリズムと新たにボストン方式を用いて、富山市内の200世帯と200戸の住宅のマッチングシミュレーションを行った。二つのアルゴリズムのマッチングの計算時間は、極めて短い時間で唯一の安定解に収束した。Gale and Shapleyのアルゴリズムを用いたマッチングによって転居先として決定した住宅の属性ごとの平均値を表-7、ボストン方式のアルゴリズムを用いたマッチングによって転居先として決定した住宅の属性ごとの平均値を表-8、アンケート調査から入手可能な現在居住している住宅の建物面積の実績

値の世帯タイプ別の平均値とシミュレーション結果との比較を表-9、マッチングによって決定した転居先の住宅への世帯の選好順位の累積相対度数の比較を図-1に示す。

表-7、表-8のシミュレーション結果を見てみると、Gale and Shapleyのアルゴリズムに比べ、ボストン方式が前章の効用関数の推定結果からみられた世帯人数が多い世帯は広い住宅に、世帯主年齢が高齢の世帯は最寄り駅までの徒歩時間が短い住宅を好むといった世帯タイプごとの選好の違いを表現できていると言える。しかし、マッチングの結果からも住宅価格と築年数に関して世帯タイプごとの選好の違いをみられることができなかったため、世帯所得による価格制約条件の下での選択肢の絞り込むプロセスを取り入れる必要がある。表-9の建物面積に関しての実績値との比較からGale and Shapleyのアルゴリズムによりボストン方式のアルゴリズムのほうが全体の誤差が小さくなっていることが確認できた。図-1の累積相対度数の比較を見てみると、Gale and Shapleyのアルゴリズムに比べ、ボストン方式の方が世帯の住宅に対する選好順位が低い時点で契約成立をしていることがわかる。このことから、ボストン方式のアルゴリズムは、Gale and Shapleyのアルゴリズムに比べて世帯に有利なマッチングを行う傾向があるということが確認できた。

表-7 Gale and Shapley のアルゴリズム

	価格 (万円)	建物面積 (m <sup>2</sup> )	築年数 (年)	最寄り駅までの 徒歩時間
世帯タイプ1	1737	124	13	7
世帯タイプ2	1098	108	36	18
世帯タイプ3	1209	123	32	6
世帯タイプ4	1773	111	4	17
世帯タイプ5	2023	135	5	4

表-8 ボストン方式

	価格 (万円)	建物面積 (m <sup>2</sup> )	築年数 (年)	最寄り駅までの 徒歩時間
世帯タイプ1	832	112	34	12
世帯タイプ2	1816	90	1	15
世帯タイプ3	1406	105	25	6
世帯タイプ4	1353	148	27	16
世帯タイプ5	1975	166	15	5

表-9 建物面積に関する実績値との比較

	平均値 (実績値との誤差)		
	Gale and Shapley	ボストン方式	実績値
世帯タイプ1	124(30)	112(40)	154
世帯タイプ2	108(21)	90(39)	129
世帯タイプ3	123(40)	105(58)	163
世帯タイプ4	111(37)	148(0)	148
世帯タイプ5	135(60)	166(29)	195
平均誤差	37.6	33.6	

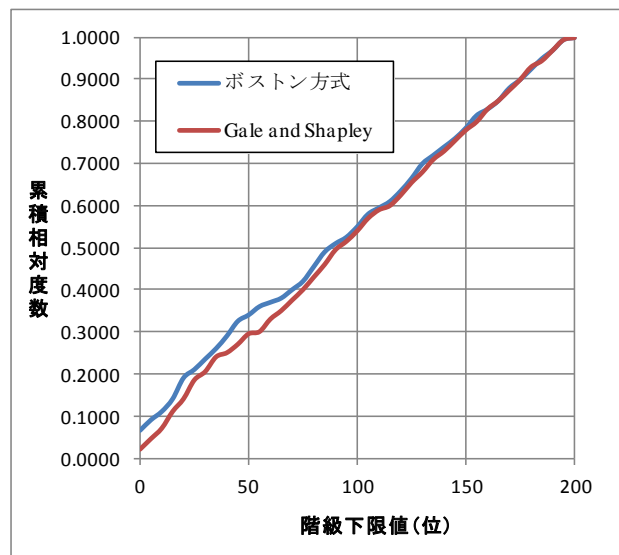


図-1 選好順位の比較

## 5. おわりに

本研究では、既存の住宅市場モデルにおける住宅選択モデルの効用推定の精度を向上させるため選択型コンジョイントを用いてモデルの構築を行った。また、世帯ごとの選好の多様性を表現するため、世帯タイプに分けて効用関数の推定を行った。世帯と住宅のマッチングは、既存のモデルで用いられていたGale and Shapleyのアルゴリズムと、より現実に近いマッチングをすることのできるボストン方式のアルゴリズムを用いて行い二つのアルゴリズムのシミュレーション結果の比較検討を行った。その結果、世帯の住宅に対する効用推定は、既存のモデルに比べ世帯主年齢や世帯人数による選好の多様性を表現することができ、マッチングシミュレーションの結果は、ボストン方式のアルゴリズムを用いた結果が現実の傾向に近いものとなることが確認できた。しかしながら、本研究のモデルでは、転居を希望する世帯は転居先の住宅を選ぶ際に希望する住宅タイプのすべての住宅に対し順位づけを行っている。実際にはこのようなことは非現実的であり、ある程度の価格制約条件の下での選択肢の絞り込みが必要であるといえる。また、効用関数のパラメータ推定に関しては、住宅価格と築年数に対しての世帯タイプごとの選好の違いが表現できていないので、世帯主の所得等の新たな世帯属性の考慮が必要であるといった課題が残されている。今後は、このような課題を解消し、モデルの改良を加え、社会変動に伴う立地の変化をきめ細かく分析できるツールを開発するとともに、人口減少、高齢化に伴う都市構造への影響や持続可能な都市構造への転換政策に関する政策評価を行ってゆきたいと考えている。

謝辞：富山市アンケート調査は、富山市都市整備部都市政策課の協力を得て実施した。また、本論文は、平成

23 年度科学研究費補助金（基盤研究（B）, 課題番号：23360228, 研究課題名：縮退状況における都市マネジメントのための世帯マイクロシミュレーションシステム）の研究成果の一部を取りまとめたものである。ここに記して謝意を表したい。

#### 参考文献

- 1) Suzuki, A., Kitazume, K. and Miyamoto, K. : A Model of Individual Transactions in a Housing Market for Land-Use Micro-Simulation, Selected Proceedings of the 12th WCTR, No.1774, 2010
- 2) 鈴木温・北詰恵一・宮本和明：マイクロシミュレーション型土地利用モデルにおける世帯と住宅のマッチング, 土木計画学・講演集, Vol.40, 2009
- 3) 鈴木温・北詰恵一・宮本和明：マッチングモデルを用いた住宅市場のマイクロシミュレーション土木計画学・講

演集, Vol.42, 2010

- 4) 大野栄治：環境経済評価の実務, 勁草書房, 2000
- 5) 栗山浩一：EXCEL でできるコンジョイント, 早稲田大学政治経済学部 環境経済学ワーキングペーパー, 2003
- 6) Gale, D. and Shapley, L.S.: College Admissions and the Stability of Marriage, American Mathematical Monthly, January 69, 9-15, 1962
- 7) Ergin, H. and T. Sönmez, Games of school choice under the Boston mechanism, Journal of Public Economics, Vol.90, pp.215-237, 2006

(2012. 5. 7 受付)

Estimation of utility function on the housing matching mode with choice-based conjoint

Kouya ICHIKAWA , Atsushi SUZUKI , Keiichi KITAZUME and Kazuaki MIYAMOTO