

## 不動産バリュエーション・マップ

石島 博<sup>†1</sup> 前田 章<sup>†2</sup> 谷山 智彦<sup>†3</sup>

本論文では、不動産が立地する、Google Earth(GE)などの地球儀・地図上の座標にピンを打ち、金融工学の理論に基づいて評価した不動産の価格とリスクを表示させるシステム「不動産バリュエーション・マップ」を提案する。本システムは、金融工学を地理情報システム(GIS; Geographic Information System)上に、融合・展開する新しいモデルである。

不動産は、個人や企業等にとって最も大きな資産であるにも関わらず、株式などの金融資産とは異なり、その売買の意思決定において、手軽に利用・活用できるデータや分析ツールが圧倒的に少ない。このような状況に1つの解決策を提案すべく、クラウド時代のWeb上のデータやGEなどの高度な地球儀・地図アプリケーションを効果的に用いることにより、不動産バリュエーション・マップを構築する。

キーワード: 不動産, 価格とリスクの評価, システム構築, 金融工学, 地理情報システム.

### Real Estate Valuation Maps

HIROSHI ISHIJIMA,<sup>†1</sup> AKIRA MAEDA<sup>†2</sup>  
and TOMOHIKO TANIYAMA<sup>†3</sup>

This paper presents a system called “Real Estate Valuation Maps” which displays prices and risks of target real estate by clicking the pin at which it is located on the globes or maps such as Google Earth (GE). These prices and risks are rigorously evaluated based on the financial theory which are previously developed by authors. Hence this system can be regarded as a new Geographic Information System in the sense that financial engineering techniques are driven on it.

Although real estate is no doubt the largest asset for individuals and firms, there are few data or tools available when they make a decision to buy or sell real estate. The situation is quite different from the one concerning financial assets such as stocks. Hence we are to present the system in the era of cloud computing which effectively uses data on the Web and well-developed globe or map applications such as GE.

**Keywords:** real estate, evaluation of price and risk, system development, financial engineering, geographic information system.

### 1. はじめに

不動産は国富の2/3を占め、家計や企業をはじめとして、経済活動の基盤となる主要な資産である。

近年、金融技術の高度化や市場のグローバル化に伴い、不動産市場は、密接に金融市場と連動している。2008年の金融危機の一因は、米国住宅価格のバブルの崩壊にあったとも言われている。

金融資産に関するデータは、豊富に利用・活用できる状況にある。情報ベンダー(日経NEEDS, 東洋経済新報社, Bloomberg, Thomson Reutersなど)や、証券会社のオンライン・サービスを通じて、企業のみならず個人も、低コストで膨大な情報を取得することができる。学術的にも、シカゴ大学は1960年からちょうど今年で50年間にわたってCRSP(The Center for Research in Security Prices)というデータベースを継続整備しており、ファイナンス分野の精力的・膨大な金融経済学の実証分析を支えている。

一方で、不動産に関するデータはどうだろうか? 「スマッチ!(株式会社リクルートが提供するマンション情報に関するWebサービス)」など、Web APIを通じて取得することができつつあるが、十分とは言えない。まだまだ、これからの整備が期待されるところである。

また、金融資産の投資における分析手法は多種多様であり、かつ、個人レベルまで十分に浸透してきている。ファンダメンタルズ分析(財務比率分析(ROE等), マルチプルズ(PER, PBR等), DCF法), チャート分析, およびファイナンス理論に基づいた分析(CAPMにおけるアルファとベータの分析, ポートフォリオ分析)などが挙げられる\*1。

一方で、不動産の投資における分析手法はどうだろうか? 何も定着していないため、想起することすらできないであろう。特に、個人にとって、アクセスできる情報は、リクルート, アットホーム, ジ・アースなどが提供する不動産の募集価格, およびその属性情報から

†1 中央大学大学院国際会計研究科

Graduate School of International Accounting, Chuo University.

†2 京都大学大学院エネルギー科学研究科

Graduate School of Energy Science, Kyoto University.

†3 株式会社野村総合研究所

Nomura Research Institute, Ltd.

\*1 ここでの略記は、ファイナンス・金融工学分野における常識としてよく用いられるものである。ROE=Return On Equity, PER=Price Earnings Ratio, PBR=Price Book-value Ratio, DCF=Discounted Cash Flow, CAPM=Capital Asset Pricing Model.

いである。また、住宅ローンの金利等について、各銀行のHP等で確認する程度である。

家計の総資産に占める不動産の割合は、金融資産の割合よりも断然に大きい。企業においても同様のことが言える。しかし、それほどに巨大な資産であっても、現状の不動産投資、特に住宅やマンションの売買の際には、適切な情報に基づくことなく、意思決定をせざるを得ない状況にある。

そこで、本論文では、上記問題意識の下、2つの視点に対するソリューションを提案したい。

- (1) 金融工学に基づいて評価した不動産の価格とリスクを、クラウド時代のWeb上のデータやGoogle Earthなどの高度な地球儀・地図アプリケーションを効果的に用いて、評価・表示するシステムを提案する。
- (2) 金融資産には見られない不動産の特性に注意しつつ、不動産の価格とリスクを適切に評価するモデルを提案する。また、その特徴と、既存モデルに比した優位性を実証した上で、不動産バリュエーション・マップに実装するモデルとする。

本論文の構成は以下の通りである。第2節で、不動産バリュエーション・マップというシステムについて詳述する。第3節で、不動産バリュエーション・マップに実装する不動産の価格とリスクを評価するモデルを提案する。第4節で、その提案モデルを実際の不動産データに適用した場合の特徴を明らかにし、既存モデルと比した場合の優位性を実証する。第5節で、まとめをする。

## 2. 不動産バリュエーション・マップ: 不動産の価格とリスクの評価システム

「不動産バリュエーション・マップ」とは、金融工学の理論に基づいて不動産の価格とリスクを、Web上のデータを用いて評価し、Google Earth/Google Mapsといった高度な地球儀・地図アプリケーション上に表示するシステムのことをいう。本システムは、金融工学を地理情報システム(GIS)上に、融合・展開するという点に新規性を持つ。本節では、本システムの構成(第2.1節)、システムに入出力する不動産データの形式(第2.2節)、および本システムが評価・表示する不動産の価格とリスク(第2.3節)について詳しく述べる。

### 2.1 不動産バリュエーション・マップの構成

不動産バリュエーション・マップは、図1のように構成される。これをフローチャートに沿って説明する。

#### (1) XML形式の不動産データ

Web APIが公開されている不動産情報サイトより、不動産データをXML形式で取得する。本研究では、マンション情報サイト「スマッチ!(株式会社リクルート)」を

利用した。2つ下の項目「(3) 統計分析」を、SASで行う場合には、Filenameステートメントが用意されており、Web APIを介してデータを取得できる。

#### (2) データ形式の変換

XML形式の不動産データを、統計分析アプリケーションが扱えるデータ形式に変換する。1つ下の項目「(3) 統計分析」を、SASで行う場合には、MAPファイルを利用して、XMLのデータ構造をSASのデータ構造にマッピングする。

#### (3) 統計分析

第3節にて提案する、(5)式で表現されるモデルに基づき、不動産の価格とリスクを評価する。本研究では、SASを用いて、提案モデルの統計分析を行う。

#### (4) データ形式の変換

統計分析結果をXML形式に変換・出力する。

#### (5) XML形式の不動産データ+統計分析結果

オリジナルのXML形式の不動産データに、XML形式の統計分析結果を加え、これをシステムの出力とする。特に、これを、Google Earth/Google Mapsの地球儀・地図アプリケーションで利用する場合には、XMLの一種であるKML(Keyhole Markup Language)形式で出力する。

### 2.2 XML形式で行う不動産データの入出力

不動産バリュエーション・マップというシステムに入出力する不動産データの形式は、XML(Extensible Markup Language)であることに注意する。

ITが高度に進化したクラウド時代において、ユーザーの効率的な利用を想定してネット上で公開・配布される統計データは、XML形式で提供されることが圧倒的に多い。例えば、企業財務データは、金融庁が管轄するEDINETにおいて、XMLベースのXBRL(eXtensible Business Reporting Language)によって公開されつつある。一方、本研究が扱う不動産データについても、いわゆる公示地価は、国土交通省によってXMLベースで整備・公開されている。前述の「スマッチ!」において公開されているマンションの募集価格とその属性データもXML形式である。さらに、ユーザーが効率的に取得・利用するための最も標準的なインターフェースはWeb APIであり、その参照データベースもXMLによって構築されることが多い、という背景がある。

また、不動産の価格とリスクの分析結果を、Google Earth(GE)/Google Maps(GM)などの高度な地球儀・地図アプリケーションへの表示する場合、XML(GE/GMではその一種のKML)形式で入力する。不動産が立地する座標上に、不動産の価格やリスクを表示す

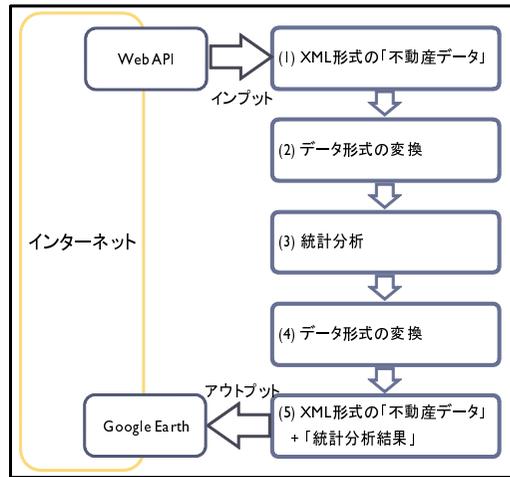


図1 不動産バリュエーション・マップの構成とフローチャート。  
Fig.1 Flow chart of real estate valuation maps.

するためには、座標情報とともに不動産の価格やリスク等を一定のXML形式で格納することを、GE/GM等の地球儀・地図アプリケーションがコンベンションとして要求しているからである。

したがって、不動産を対象としたシステムにおいては、入出力する不動産データの形式は、XMLであることを前提とすべきだろう。

### 2.3 Google Earth/Google Maps上の不動産の価格とリスクの表示

KML形式(XML形式の一種)で、オリジナルの不動産データに、統計分析結果を付加した電子ファイルを、インターネット上に公開しさえすれば、ユーザーは、Google Earth(GE)/Google Maps(GM)を利用して、不動産の価格とリスクに関する情報を表示することができる(図2,図3)。また、価格や属性等に関する不動産情報を、Web APIを利用して取得するため、リアルタイムに情報を更新することも可能である。なお、本システムの動作環境は以下の通りであり、誰でも利用できる: (a) GEがインストールされたWindows PC, Macや、iPhone/iPod Touch/iPad。または、(b) WebブラウザがインストールされたWindows PC, Macや携帯端末。以上の動作環境で、第4節で行う不動産価格の分析結果を、ユーザーにとって直感的で分かりやすい以下の指標に置き換えて表示する。

(1) 座標: 対象不動産が立地する緯度と経度によって特定される座標にピンを打つ(図2)。

ピンをクリックすることにより、以下の情報が表示される(図3)。

- (2) 募集価格: 市場で募集している不動産の価格を表示する。
- (3) 理論価格: 第3節にて提案する「Box-Cox変換付き混合効果モデル(5)式」について、その推定パラメータと対象不動産の属性を代入する。これによって求められるBLUP(Best Linear Unbiased Prediction)予測値を、対象不動産の理論価格とする。
- (4) リスク: 理論価格は、個別性に起因する属性価格のブレや、市場のノイズ等によって確率変動する。その99%(または、95%)信頼区間をGoogle Chart Toolsによる青いグラフで表示する(赤いグラフは募集価格を表す)。信頼区間の下限は、金融資産の市場リスク測定である $VaR_{99\%}$ ( $VaR_{95\%}$ )に対応し、99%(95%)の確率で起こり得る最悪の底値=リスクを意味する。信頼区間の下限は、不動産価格のリスクとしての $VaR_{99\%}$ ( $VaR_{95\%}$ )を示すこととなる。
- (5) バリュースコア: 理論価格と募集価格の差を「バリュースコア」と定義する。但し、べき乗価格ベースでの差分である。もし、バリュースコアが正の値を取れば、対象不動産は「買い」であることを、負の値を取れば「売り」であることを意味する。
- (6) 不動産偏差値: バリュースコアは理論上、正規分布に従う。従って、いわゆる「偏差値(standard score,あるいはT-score)」を算出することが可能である。これを不動産偏差値と呼び、表示する。さらに、偏差値に応じてピンの色を分けて表示する。赤色(赤点)に近いほど偏差値が低く、青色(blue chip=優良銘柄)に近いほど偏差値が高いことを意味する。

このように、不動産バリュエーション・マップは、不動産の募集価格(もし情報公開が進展すれば取引価格も含む)データに加えて、その理論価格やリスク等を、地球儀・地図上にリアルタイムに表示することができる。したがって、本システムは、個人や企業等が、不動産の売買や利用・活用に関する意思決定を行う際に、その支援ツールの1つとして手軽に利用することができる。

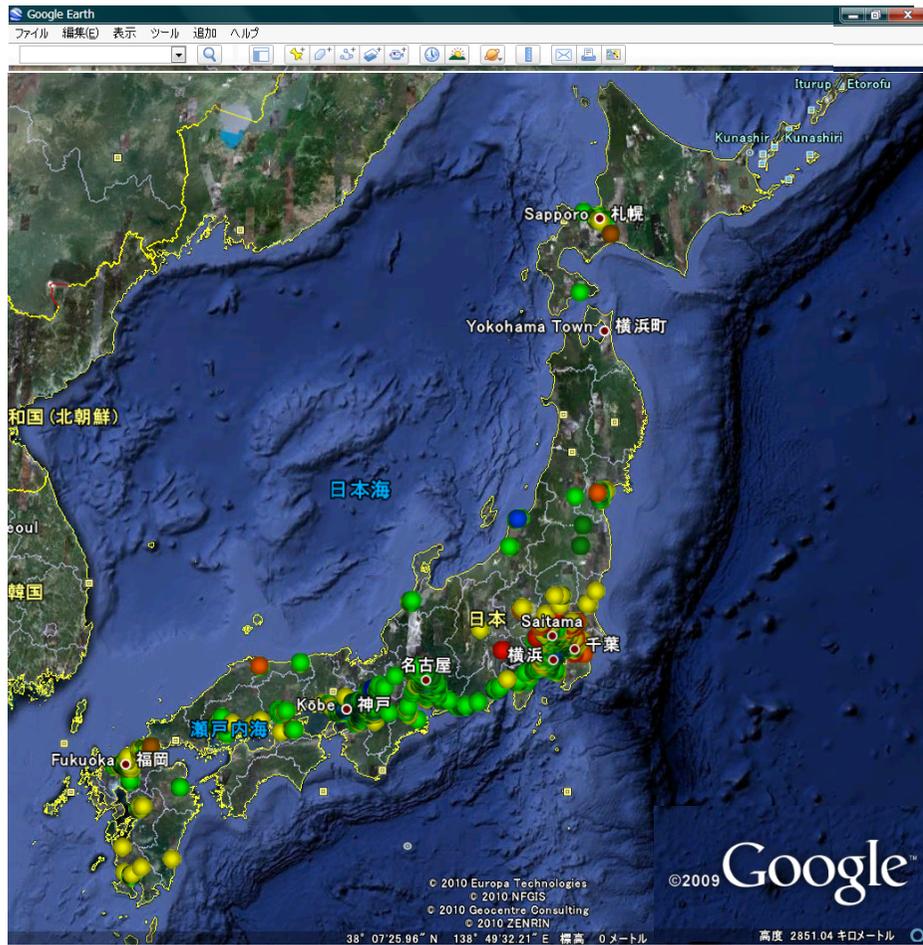


図 2 Google Earth 上への表示例: 不動産の立地座標へピンを打ち、不動産偏差値によって色分け表示する。  
 Fig. 2 Example picture on Google Earth: Pins at which real estate is located on Google Earth are shown in several colors according to its real estate standard score.

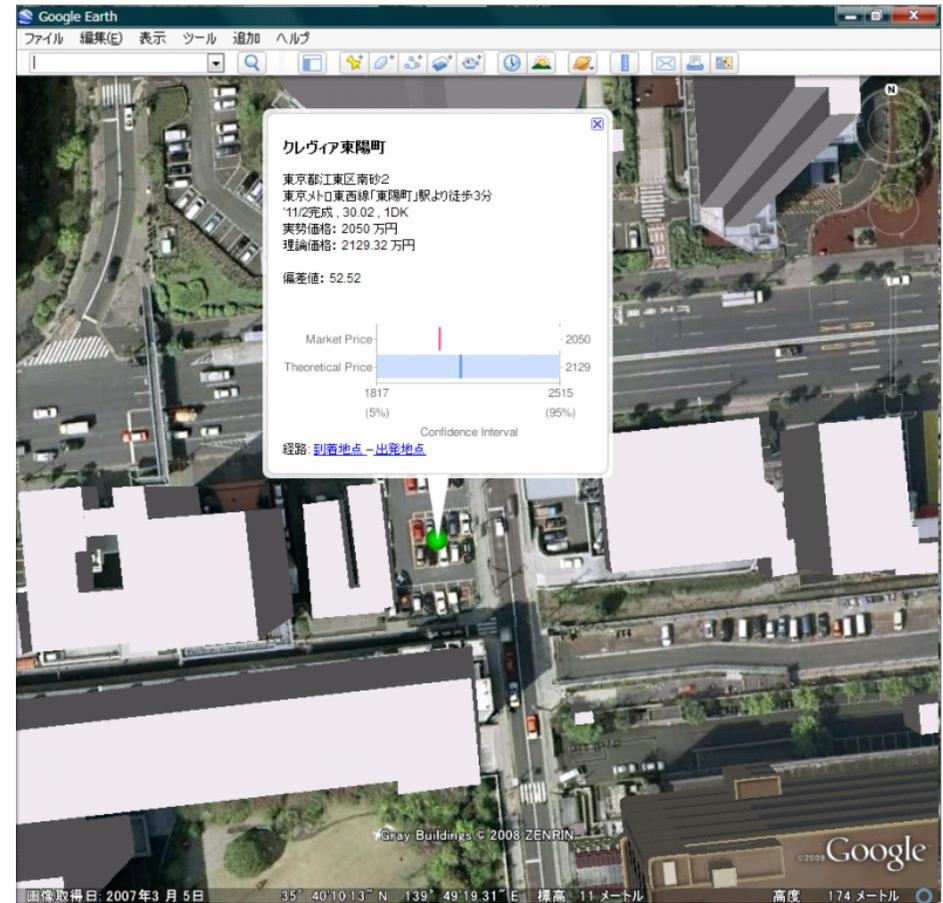


図 3 Google Earth 上への表示例: 不動産の基本属性、募集価格、理論価格、偏差値、およびリスクを表示する。  
 Fig. 3 Example picture on Google Earth: Showing the target real estate information such as basic attributes, ask prices, theoretical prices, standard scores and risks.

### 3. 不動産価格評価モデル

本節では、不動産バリュエーション・マップに実装する、不動産価格評価モデルについて述べる。本モデルは、金融工学に基づいた合理的なものであることに特徴を有する。その上で、不動産評価の社会制度や実務の観点からも、妥当なものでなければならない。そもそも、不動産の鑑定評価を独占的に行えるのは、不動産鑑定士に限られている（不動産の鑑定評価に関する法律（通称、不動産鑑定法））。そして、その鑑定評価の方法も、国土交通省が定める「不動産鑑定評価基準」に準拠するべきとされている。その基本的考察として、「不動産の価格は、一般に、(1) その不動産に対してわれわれが認める効用、(2) その不動産の相対的稀少性、(3) その不動産に対する有効需要、の三者の相関結合によって生ずる不動産の経済価値を、貨幣額をもって表示したもの（同基準、総論第1章第1節）」とある。

このような観点をすべて満たすフレームワークとして、石島・前田<sup>5)</sup>による、動的一般均衡モデルを用いた不動産価格評価の一般理論が挙げられる。ここでは、完全競争市場における、均衡不動産価格、および均衡不動産賃料の評価公式を導出しており、以下のようにまとめられる。

均衡不動産賃料の源泉は、不動産が有する「延床面積」「築年数」「駅徒歩」といった属性である。つまり、均衡不動産賃料は、保有する属性の量にその属性単価を掛け合わせた総和として与えられる。ここで、属性単価は、属性・消費間の限界代替率として表現される。

一方、均衡不動産価格は、将来にわたって発生する均衡不動産賃料の現在価値の期待総和として与えられる。したがって、均衡不動産価格は、3ステップの結果、求めることができる（ステップ1）将来にわたって発生する均衡不動産賃料を、保有する属性量にその単価を掛け合わせた総和として求める（ステップ2）将来の各時点で発生する均衡不動産賃料を、異時点間の限界代替率という確率的割引ファクターによって、現在価値へと割引引く（ステップ3）均衡不動産価格を、将来の均衡不動産賃料の現在価値の期待総和として求める。

そして、技術的な仮定の下、完全競争下での均衡不動産価格は以下のように表現される（石島・前田<sup>5)</sup>）\*1。

\*1 技術的な仮定とは、以下の2つの仮定を指す：（仮定1）不動産が保有する属性量が時間に依らず一定値を取ること。例えば、最寄り駅からの徒歩時間や広さという属性量は一定であると見なして良いであろう（仮定2）不動産の利用率（1-空室率）が、時間に依らず一定である、あるいは不動産に依らず一定値を取ること。

不動産の価格 =

$$\sum_k (\text{属性 } k \text{ の量}) \times (\text{属性 } k \text{ の単価}) \quad (1)$$

このように、不動産の価格や賃料を、その構成要素である属性によって説明するとき、これを「ヘドニック・モデル (hedonic model)」と呼ぶ (Lancaster<sup>6)</sup>, Rosen<sup>10)</sup>)。重要なことは、不動産賃料についてはヘドニック性が明らかに成立するが、不動産価格については、技術的な2つの仮定を満たして初めて成立するという点である。

以下では、この理論価格(1)式に基づき、不動産の市場価格を分析するための統計モデルを提案することとする。そのために、分析対象とする  $N^H$  個の不動産を、地域や用途によって  $N$  個の「不動産クラス  $i$ 」に分類する。つまり、各不動産に、不動産クラス  $i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) に属する第  $j$  ( $j = 1, \dots, n_i$ ) 番目のデータというラベリングをする。各クラス  $i$  に属するデータ数は、同一でなくても良く、そのバランスの欠いたデータ数を  $n_i$  とする。 $n_i$  を、 $i$  について1から  $N$  まで合計すると、 $N^H$  である。その上で、不動産クラス  $i$  に属する第  $j$  番目の不動産について、その価格  $H_{ij}$  と、 $K$  個の属性  $x_{ij}^{(k)}$  からなる組  $\{H_{ij}; x_{ij}^{(k)} (k = 1, \dots, K)\}$  を「不動産データ」として格納する。不動産の属性について、本研究では  $K = 3$  とし、 $x_{ij}^{(1)}$  に「延床面積 (平米)」、 $x_{ij}^{(2)}$  に「築年数 (年)」、 $x_{ij}^{(3)}$  に「駅徒歩 (分)」を用いることとした。本研究における分析対象とする不動産はマンションであり、住居用途の不動産において最も基本的な属性と考えられるからである。

#### 3.1 基本モデル

(1)式は、「不動産の理論価格が、それを構成する属性によって、すべて説明し尽くされなければならない」ことを意味する。これに基づけば、不動産の市場価格を分析するための最も単純で自然な統計モデルの1つは、(1)式の右辺に、期待値がゼロであるような誤差項  $\varepsilon$  を加えた線形回帰モデルである。

右辺にさらに、切片  $\alpha$  を加えることを考えてみる。理論価格において、この切片はゼロでなければならない。しかし、推定の結果、プラス(マイナス)の値をとるとしたら、回帰モデルに含めた属性だけでは説明がつかない、プラス(マイナス)の価格プレミアムが存在することを意味する。これは、ファイナンス理論における Jensen のアルファのアナロジーとして捉えることができる。本研究では、切片  $\alpha$  を、不動産が立地する地域によって分類した、 $N$  個の不動産クラスを表すダミー変数  $x_{ij}^{(l)}$  ( $l = 1, \dots, N$ ) の線形結合で置き換えることにした。つまり、 $\alpha := \sum_{l=1}^N x_{ij}^{(l)} \beta^{(l)}$  とした。ここで、 $x_{ij}^{(l)}$  は、不動産クラス  $i$  に属す

る第  $j$  番目の不動産が、クラス  $l$  に属する ( $i = l$ ) のとき 1 をとり、それ以外のときには 0 をとるようなダミー変数である。また、その係数  $\beta^{(l)}$  は、地域で分類された不動産クラス  $l$  の価格プレミアムを表すと解釈される。以上の考察を経て、不動産の市場価格を分析するための基本統計モデルを次式で表す。

$$H_{ij} = \sum_{l=1}^N x_{ij}^{(l)} \beta^{(l)} + \sum_{k=1}^K x_{ij}^{(k)} \beta^{(k)} + \varepsilon_{ij} \quad (i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, n_i) \quad (2)$$

ここで、推定すべき係数  $\beta^{(k)}$  は、属性  $x_{ij}^{(k)}$  の単価を表す。また、 $\varepsilon_{ij}$  は、平均 0 の  $N^H$  次元の正規分布に従う誤差項である。その共分散行列は対角であって、成分は同一であるとする。このような通常の線形回帰モデルは、従来より、学術研究や不動産実務において、不動産価格の分析に用いられてきた。

3.2 提案モデル

さて、不動産の理論価格を表す (1) 式について再考してみる。これは、以下の 2 つの条件を課している。

- 理論価格の条件 1: 不動産価格は線形でなければならない。
- 動的一般均衡モデルに基づいた、完全競争下における均衡価格であるための条件である。
- 理論価格の条件 2: 属性単価は不動産に依らず同一でなければならない。

一物一価の原則という条件より、不動産に依らず共通した同一の属性単価でなければならない。

このように、価格が線形構造を持つことや、一物一価という原則は、不動産を含めた資産価格評価理論においては、よく知られている (例えば、Luenberger<sup>8)</sup>)。

しかしながら、不動産市場においては、理論価格と市場価格とのギャップが存在すると考えられる。そこで、本研究では、このようなギャップを埋められるような不動産の価格とリスクの評価モデルを提案する。その提案ロジックを、上述の 2 つの「理論価格の条件」に沿って述べることとする。

「理論価格の条件 1: 不動産価格は線形でなければならない」とは、動的一般均衡モデルに基づいた、完全競争下における均衡価格であるための条件である。しかし、現実の不動産市場では、流動性の欠如や情報の非対称性等に起因して、不動産価格は歪んでいる可能性がある。そこで、不動産価格 ( $H_{ij}$ ) に Box-Cox (べき乗) 変換を施すこととする (Box-Cox<sup>1)</sup>)。

$$H_{ij}^*(\lambda) = \begin{cases} \frac{H_{ij}^{\lambda}-1}{\lambda} & (\lambda \neq 0 \text{ のとき}) \\ \log H_{ij} & (\lambda = 0 \text{ のとき}) \end{cases} \quad (3)$$

この変換を (2) 式に施すことにより、価格の歪みを考慮した、不動産の市場価格を分析する統計モデルを次式のように表す。

$$H_{ij}^*(\lambda) = \sum_{l=1}^N x_{ij}^{(l)} \beta^{(l)} + \sum_{k=1}^K x_{ij}^{(k)} \beta^{(k)} + \varepsilon_{ij} \quad (i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, n_i) \quad (4)$$

$\lambda$  は、市場の歪み度合いを表していると解釈できる。 $\lambda = 1$  のとき、不動産価格は理論上の線形構造を有していることを表す。これから乖離すればするほど、歪んでいることを示す。特に、 $\lambda = 0$  のとき、不動産価格は対数構造を有していることを示す。学術・実務を問わず、不動産価格の分析をする際に、価格に対数を取った上で、これを属性量で回帰することが多い。モデルのフィットの良さだけを根拠として、価格に対数変換を取ると考えられる。本研究では、対数変換を含めたべき乗変換を導入した上で、その最適な  $\lambda$  を推定し、市場が対数の歪みを持つのか、あるいはそれ以上の歪みが存在するのかを明らかにする。これを以下に提案するモデルとの対比において、「Box-Cox 変換付き固定効果モデル (fixed effects model)」と呼ぶ。

「理論価格の条件 2: 属性単価は同じでなければならない」とは、一物一価の原則を満たすための条件である。しかし、現実市場では、属性単価は不動産によって異なっている可能性がある。例えば、マンション 1 平米あたりの単価は不動産に依らず同一でなければならないが、港区と足立区とでは、その単価は大きく異なっている。そこで、本研究では、属性単価を混合効果モデルで表現する。つまり、属性  $k$  の単価が、不動産によらず共通する固定単価  $\beta^{(k)}$  と、不動産 (クラス) によって確率的に変動する変動単価  $\nu_i^{(k)}$  とに分離・推定できる統計モデルを考えることとする。したがって、価格の歪みの考慮 ((4) 式) に加えて、個別性を考慮した不動産の市場価格を分析する統計モデルは、次式のように表される。

$$H_{ij}^*(\lambda) = \sum_{l=1}^N x_{ij}^{(l)} \beta^{(l)} + \sum_{k=1}^K x_{ij}^{(k)} \left( \beta^{(k)} + \nu_i^{(k)} \right) + \varepsilon_{ij} \quad (i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, n_i) \quad (5)$$

ただし、 $\nu_i := (\nu_i^{(1)} \dots \nu_i^{(k)} \dots \nu_i^{(K)})'$  は、平均  $\mathbf{0}$  の  $K$  次元の正規分布に従い、その共分散行列を  $\mathbf{G}$  と書く。以上の考察を経て、本研究では、理論と市場の価格のギャップを捉えうる「Box-Cox 変換付き混合効果モデル (mixed effects model)」を (5) 式として提案し、これを不動産バリュエーション・マップに実装することとする。

一方で興味深いのは、本モデルは金融工学に基づいた理論価格と現実市場の価格とのギャップを埋めるべく提案するものであるが、これは、統計学の分野で「混合効果モデル (Mixed Effect Model)」あるいは「ランダム係数モデル (Random Effect Model)」と呼ばれるものの 1 つである、という点である。「経時データ (longitudinal data)」や「パネルデータ (panel data)」を分析する際に有用とされ、近年盛んに研究されるようになったものである (Hsiao<sup>4)</sup>, Fitzmaurice et al.<sup>2)</sup>, McCulloch et al.<sup>9)</sup> )。

したがって、本モデルの推定は、かかる分野の成果を礎として実装された、SAS 9.1.3 の MIXED プロシジャを用いて行うことができる (Littell et al.<sup>7)</sup> )。推定は、制限付最尤法 (REML; Restricted Maximum Likelihood) によって行い、推定値は、BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) として得ることとする。また、被説明変数である不動産価格に施す Box-Cox 変換の係数  $\lambda$  の推定は、Gurka et al.<sup>3)</sup> の方法を用いて行う。なお、(5) 式における共分散行列  $\mathbf{G}$  は、混合効果モデルにおいて、自由にデザインすることができるが、本研究においては最も単純な構造として、対角行列を採用した。

#### 4. 実証分析

本節では、不動産バリュエーション・マップに実装する、(5) 式で表現される不動産価格評価モデルを、実際の不動産データに適用した場合の特徴を明らかにする。そして、既存モデルの範疇にあるともいえる、(4) 式と比べた場合の優位性を実証する。

用いたデータは、先述の「スマッチ!」より取得した、2010 年 7 月における全国のマンションの募集価格と属性に関するデータを用いた。マンションが立地する地域によって、全国を 8 つの不動産クラスに分けた。北海道、東北、東京、東京以外関東、東海、関西、中国・四国、九州という  $N = 8$  のクラスである (表 1)。このデータを用いて、(5) 式で表される Box-Cox 変換付き混合効果モデルを推定した。比較のために、(4) 式で表される Box-Cox 変換付き固定効果モデルも推定した。前者と後者による推定結果をそれぞれ、表 2 と表 3 に示す。

まず、統計モデルとして、どちらが優れているかを調べてみる。混合効果モデルの方が、

地域クラス ( $\ell$ )	地域	データ数
1	北海道	119
2	東北	79
3	東京	671
4	東京以外関東	563
5	東海	306
6	関西	603
7	中国・四国	108
8	九州	301

表 1 住宅の地域クラスの定義、および各地域クラスのデータ数。

Table 1 Definition of real estate classes which are classified by location. Also the numbers of data of real estate which belongs to each class are shown.

固定効果モデルよりも、AIC (Akaike Information Criterion) が小さい。したがって、AIC の意味において、混合効果モデルは固定効果モデルに比べて優れていることが分かる。

次に、不動産価格がどのように形成されているのかを、2 つの観点より詳細に分析した。第 1 の観点は、不動産価格が完全競争価格からどれくらい歪んでいるかを分析することである。 $\lambda$  が 1 のときには、不動産価格は理論上の完全競争均衡価格となる。 $\lambda$  が 1 でないときには、不動産価格には歪みがあることを表す。特に、 $\lambda$  が 0 であるとき、不動産価格を線形構造から対数構造まで歪ませる必要があることを示している。推定された  $\lambda$  は、混合効果モデルでも固定効果モデルでも、-0.2 程度のマイナスの値をとることが分かる。つまり、我が国のマンション価格は、完全競争均衡価格ではなく、対数 ( $\lambda = 0$ ) を超えた歪みが存在することが分かった。

第 2 の観点は、マンションの個別性とその募集価格に与える影響を分析することである。換言すれば、地域によって分類された不動産クラスという個別性が、どのように属性単価に反映されるかを見る。つまり、マンション価格は属性単価に要因分解することができるが、これがどのように固定単価と変動単価に分離できるかを分析する。推定された属性単価をみると、マンション価格は、地域による不動産クラス (個別性) によって大きく確率変動することが分かる。これを 3 つの属性「延床面積」「築年数」「駅徒歩」ごとに、詳細に分析する。

延床面積：係数は 1 平米あたりの単価を表し、予想される符号はプラスである。面積が広いほど、不動産価格は高いと考えられるからである。推定の結果、混合効果モデル、固定効果モデルともに、有意にプラスの値をとる属性である。固定効果モデルにおける推定属性単価 56.84 をベンチマークとして、混合効果モデルに結果をみると、関

西や九州では相対的に属性単価が高く、東海や東京では相対的に属性単価が低いことが分かる。

築年数：係数は1築年数あたりの単価を表し、予想される符号はマイナスである。マンションは古いほど、価格が下がると考えられるからである。固定効果モデルでは、有意にマイナスの値をとる。混合効果モデルでも、2つの例外を除いてマイナスの値をとるが、有意でないことが多い。ただし、東京以外関東と東海では有意にマイナスの値をとる。これらの地域においては、固定効果モデルの属性単価 -134.94 をベンチマークとすれば、マンションが古いほど、価格が大幅に安くなっている。一方、例外として、東京と関西ではプラスの値をとり、築年数が古いほど価格が高い。これらの地域のマンションには、築年数よりも価格に大きな影響を与える属性があって、そのような属性を持つマンションは、結果として築年数が古い、という可能性が考えられる。

駅徒歩：係数は最寄駅からの駅徒歩1分あたりの単価を表し、予想される符号はマイナスである。マンションは駅から遠いほど、価格が下がると考えられるためである。固定効果モデルでは、有意にマイナスの値をとる。混合効果モデルでも多くの場合、マイナスの値をとる。特に、北海道では、固定効果モデルをベンチマークとするとき、マンションが駅から遠いほど、価格が大幅に安くなっている。一方、例外として、九州と東北が挙げられる。これらの地域においては、有意ではないものの、駅から遠い(駅徒歩時間がかかる)ほど、価格が高くなっている。

以上のように、不動産の個別性、あるいは不動産クラスに応じて、不動産の属性単価は確率変動するため、不動産価格自体も大きく確率変動することが分かった。

したがって、不動産価格のリスクを定量化する手法は重要である。一つのアプローチとして、「不動産価格インデックス」の構築作業を通じて、不動産価格がどれくらいぶれるのかというリスクを、その99%信頼区間として示すこととする。

そのためにまず、(5)式で表されるBox-Cox変換付き混合効果モデル、および、比較のために、(4)式で表されるBox-Cox変換付き固定効果モデルを推定しておく。次に、地域によって分類された不動産クラスごとに、3つの属性「延床面積」「築年数」「駅徒歩」の平均値を求める。その上で、推定パラメータと属性の平均値を(5)式、または(4)式に代入することによって求める、BLUP(Best Linear Unbiased Prediction)予測値を、不動産価格インデックスとする。

一方、(5)式、(4)式に基づいた不動産価格インデックスの99%信頼区間は、SASのプロシージャによって算出することができる。本研究では99%の信頼水準を採用したが、これ

を任意の水準に置き換えることも、もちろん可能である。また、信頼区間の下限は、金融産業において市場リスクを計量する際に頻繁に用いられるリスク測度であるVaR(Value at Risk)と一致する。市場リスクの測度としての $VaR_{99\%}$ は、99%の確率で被りうる最大の損失額と定義される。そのアナロジーとして、不動産価格のリスク測度としての $VaR_{99\%}$ は、99%の確率で起こり得る不動産価格の最悪の底値と定義することができる。

以上の手続きによって算出した、地域によって分類された不動産クラスごとの不動産価格インデックスとその99%信頼区間を、図4と表4(混合効果モデル)、図5と表5(固定効果モデル)に示す。

混合効果モデルと固定効果モデルによって算出した不動産価格インデックスは、モデルによって数値のオーダーに大きな差異は見られなかった。それは、インデックスは、それ自体が不動産の個別性を分散除去した結果であり、不動産クラスごとの動向を示しているものであるためである。そのため、不動産価格インデックスのランキングは、モデルによらず、東京、東京以外関東、関西、東海、東北、九州、北海道、中国・四国の順となっている。しかし、信頼区間として表現される不動産価格の変動リスクは、数パーセント程度、モデルによって異なる推定がされていることが分かる。つまり、混合効果モデルは、固定効果モデルに比べ、不動産クラスという個別性に応じた不動産価格の変動リスクを捉えられる、という特徴を持つことが分かる。

## 5. まとめと今後の研究

本研究では、不動産の立地地域等の不動産クラスごとに異なる不動産価格の確率変動を適切に表現でき、かつ、これを地球儀・地図上でビジュアルとして把握できる、という特徴を持った不動産バリュエーション・マップを構築した。今後は、次の3つの方向で拡張研究したいと考えている。(A)時系列方向の確率変動を捉える柔軟なモデリングを行う。これにより、現在および将来に向かっての不動産価格のリスクとリターンを表現できる。(B)非常に細かく区切った座標ごとに、つまり「メッシュ・ベース」で、不動産価格のリスクとリターンを分析する。そのためには、データが存在しない座標に立地する不動産のリスクとリターンを補間して算出する適切な手法が必要とされよう。(C)クラウド時代の不動産に関する意思決定のソリューションとして、個人が自ら情報をネットワーク上にアップロードし、他の不動産との比較を行うことができる相互性を持たせる。これにより、例えば、いま保有している住居に住み続けるべきか売却すべきか、住宅ローンを借り替えるべきか等の意思決定を支援することができるようになるだろう。

	混合効果モデル ( $\lambda = -0.23$ )							
	北海道	東北	東京	東京以外 関東	東海	関西	中国・四国	九州
AIC	45,536.5							
切片								
北海道 ダミー変数	86,047* ( <.0001 )							
東北 ダミー変数		85,891* ( <.0001 )						
東京 ダミー変数			89,518* ( <.0001 )					
東京以外関東 ダミー変数				87,902* ( <.0001 )				
東海 ダミー変数					87,554* ( <.0001 )			
関西 ダミー変数						86,796* ( <.0001 )		
中国・四国 ダミー変数							85,970* ( <.0001 )	
九州 ダミー変数								85,552* ( <.0001 )
延床面積 (平米)	59.25* ( <.0001 )	62.78* ( <.0001 )	51.31* ( <.0001 )	56.07* ( <.0001 )	50.18* ( <.0001 )	63.87* ( <.0001 )	60.67* ( <.0001 )	63.59* ( <.0001 )
築年数(年)	-100.21 ( 0.1344 )	-74.56 ( 0.5337 )	80.03 ( 0.1385 )	-317.46* ( 0.0002 )	-389.26* ( 0.0018 )	8.60 ( 0.8648 )	-171.03 ( 0.1739 )	-95.53 ( 0.1867 )
駅徒歩(分)	-66.28* ( 0.0088 )	3.46 ( 0.7416 )	-31.71* ( <.0001 )	-22.79* ( 0.0036 )	-12.96 ( 0.1353 )	-20.13* ( 0.0030 )	-34.22 ( 0.1188 )	14.53 ( 0.3232 )
価格インデックス (万円)	2,840	3,055	4,922	3,591	3,366	3,556	2,755	2,918

表 2 「混合」効果モデルによる推定結果: カッコ内の数値は  $P$  値を表す。  
Table 2 Estimation results by *mixed* effects model. Figures in parentheses show  $P$  values.

固定効果モデル ( $\lambda = -0.18$ )							
北海道	東北	東京	東京以外 関東	東海	関西	中国・四国	九州
45,627.3							
64,965 <sup>*</sup>							
( <.0001 )							
	65,558 <sup>*</sup>						
	( <.0001 )						
		68,103 <sup>*</sup>					
		( <.0001 )					
			66,644 <sup>*</sup>				
			( <.0001 )				
				65,822 <sup>*</sup>			
				( <.0001 )			
					66,381 <sup>*</sup>		
					( <.0001 )		
						65,134 <sup>*</sup>	
						( <.0001 )	
							65,267 <sup>*</sup>
							( <.0001 )
56.84 <sup>*</sup>							
( <.0001 )							
-134.94 <sup>*</sup>							
( <.0001 )							
-24.04 <sup>*</sup>							
( <.0001 )							
2,851	3,068	4,961	3,603	3,378	3,571	2,762	2,931

表 3 「固定」効果モデルによる推定結果: カッコ内の数値は  $P$  値を表す。  
 Table 3 Estimation results by *fixed* effects model. Figures in parentheses show  $P$  values.

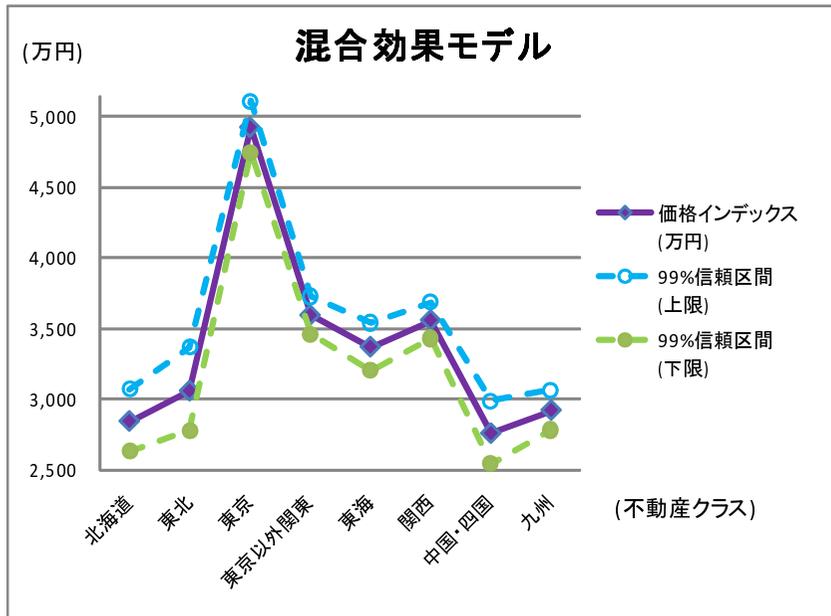


図4 「混合」効果モデルによる不動産価格インデックス (実線): 破線は、不動産価格インデックスの99%信頼区間の上限と下限を表す。

Fig. 4 Real estate price index based on *mixed* effects model (solid line). Dashed lines show upper and lower bounds of 99% confidence interval.

不動産クラス	価格インデックス (万円)	信頼区間 99%上限	信頼区間 99%下限
北海道	2,840	3,071	2,631
		(8.11%)	(-7.38%)
東北	3,055	3,368	2,777
		(10.25%)	(-9.12%)
東京	4,922	5,108	4,745
		(3.78%)	(-3.61%)
東京以外関東	3,591	3,729	3,459
		(3.84%)	(-3.67%)
東海	3,366	3,541	3,203
		(5.18%)	(-4.85%)
関西	3,556	3,687	3,430
		(3.69%)	(-3.53%)
中国・四国	2,755	2,988	2,543
		(8.47%)	(-7.69%)
九州	2,918	3,065	2,780
		(5.04%)	(-4.74%)

表4 「混合」効果モデルによる不動産価格インデックス: カッコ内の数値は、不動産価格インデックスの99%信頼区間の上限と下限が、それに比べてどれくらい乖離しているかパーセント表示したものを表す。

Table 4 Real estate price index based on *mixed* effects model. Figures in parentheses show the difference between the real estate price indices and their upper and lower bounds of 99% confidence interval in percentage.

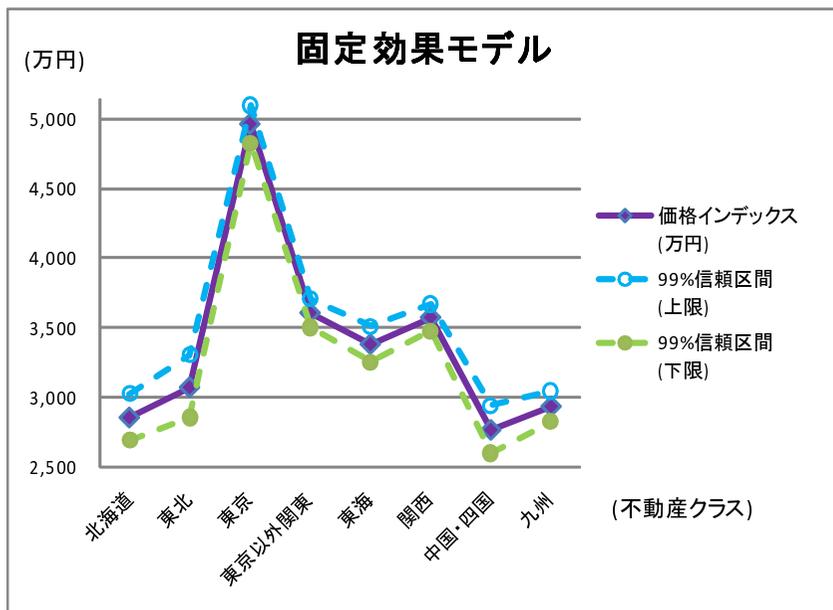


図5 「固定」効果モデルによる不動産価格インデックス (実線): 破線は, 不動産価格インデックスの99%信頼区間の上限と下限を表す。

Fig. 5 Real estate price index based on *fixed* effects model (solid line). Dashed lines show upper and lower bounds of 99% confidence interval.

不動産クラス	価格インデックス (万円)	信頼区間 99%上限	信頼区間 99%下限
北海道	2,851	3,027	2,688
		(6.16%)	(-5.72%)
東北	3,068	3,305	2,852
		(7.72%)	(-7.05%)
東京	4,961	5,101	4,827
		(2.82%)	(-2.71%)
東京以外関東	3,603	3,708	3,503
		(2.91%)	(-2.79%)
東海	3,378	3,509	3,252
		(3.88%)	(-3.74%)
関西	3,571	3,671	3,475
		(2.8%)	(-2.68%)
中国・四国	2,762	2,940	2,598
		(6.42%)	(-5.97%)
九州	2,931	3,044	2,824
		(3.84%)	(-3.67%)

表5 「固定」効果モデルによる不動産価格インデックス: カッコ内の数値は, 不動産価格インデックスの99%信頼区間の上限と下限が, それに比べてどれくらい乖離しているかパーセント表示したものを表す。

Table 5 Real estate price index based on *fixed* effects model. Figures in parentheses show the difference between the real estate price indices and their upper and lower bounds of 99% confidence interval in percentage.

### 参 考 文 献

- 1) Box, G. E.P. and Cox, D.R.: An Analysis of Transformations (with Discussion), *Journal of the Royal Statistical Society: Series B*, Vol.26, pp.211–252 (1964).
- 2) Fitzmaurice, G.M., Laird, N.M. and Ware, J.H.: *Applied Longitudinal Analysis*, John Wiley & Sons, Inc (2004).
- 3) Gurka, M.J., Edwards, L.J., Muller, K.E. and Kupper, L.L.: Extending the Box-Cox Transformation to the Linear Mixed Model, *Journal of Royal Statistical Society A*, Vol.169, No.2, pp.273–288 (2006).
- 4) Hsiao, C.: *Analysis of Panel Data: Second Edition*, Cambridge University Press (2003).
- 5) 石島 博, 前田 章: 不動産価格評価の一般理論, 日本金融・証券計量・工学学会 (JAFEE) 2009 冬季大会予稿集, pp.93–111 (2009).
- 6) Lancaster, K.: A New Approach to Consumer Theory, *Journal of Political Economy*, Vol.74, pp.132–157 (1966).
- 7) Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W., Wolfinger, R.D. and Schabenberber, O.: *SAS for Mixed Models: Second Edition*, SAS Publishing (2006).
- 8) Luenberger, D.G.: *Investment Science*, Oxford University Press (1997) (今野 浩, 枇々木規雄, 鈴木賢一訳: 金融工学入門, 日本経済新聞社 (2002)).
- 9) McCulloch, C.E., Searle, S.R. and Neuhaus, J.M.: *Generalized, Linear, and Mixed Models: Second Edition*, John Wiley & Sons (2008).
- 10) Rosen, S.: Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition, *Journal of Political Economy*, Vol.82, pp.34–35 (1974).