特集 不動産テックの動向

計算統計の不動産実務応用

株式会社おたに 小谷 祐一朗
おたに ゆういちろう

概要

本稿では計算機シミュレーションの不動産業への応用について述べる[1]。最初に弊社で提供しているサービス「GEEO（ジーオ:http://geeo.otani.co/)」の設計思想について触れ、その後にモンテカルロ法、リサンプリングの概要を不動産データを用いて説明する。また、不動産証券化協会のJ-REITのデータを使用したシミュレーションの応用例を示す[2]。なお、日本における「不動産テック」の方向性を計算機のもたらす価値と共に一考することも目的としている。

キーワード：不動産テック、計算統計、DCF法、ダイナミックDCF法、モンテカルロ法、リサンプリング、シミュレーション、ヒストリカル・シミュレーション、ヘドニック推定

はじめに

「不動産テック」への期待は「ソフトウェア技術が不動産業界を変える」期待である。特に諸外国の例を学ぶとこの期待は大きくなるのかもしれない。IoT[3]による不動産のハードウェア化や、「AI（Artificial Intelligence）」や「機械学習（Machine Learning)」等を使用したソフトウェアの開発と応用が挙げられる。後者は、計算用ソフトウェアそのものであり、基層は計算機の発展と計算機の使い方である。

計算機の発展は、計算問題の解を得る方法自体を変えた。モンテカルロ法が考案され計算機で擬似乱数を扱えるようになると、解析的な解き方では非常に時間のかかる問題をシミュレーションによる近似解で代替する方法が急速に普及した。それは文系と理系、アカデミアと実務の壁を越え、経済や金融を含めた様々な分野で応用されるようになった。今日では、計算機シミュレーションなしでは業務が成り立たない分野も存在する。計算機の性能向上は、新たな職域を確立するだけでなく、計算機を使う者の生産性と地位を飛躍的に向上させた。

ところで、表1は総務省統計局の「平成26年度経済センサス」から全産業と不動産業の事業所数を従業者規模別でまとめたものである。不動産業の事業所数は2014年7月1日時点で353,558だが、1-4人といった小規模な事業所が全体の86.14%を占めており、全産業と比較しても高い比率である。

不動産テックが「非効率な不動産業界をソフトウェアで効率化する」場合、そのメリットはAI等へ大規模な投資ができる事業者が享受し、小規

---

[1] 本稿の執筆にあたり多くの方にご助言を頂いた。改めて感謝を示したい。まず、本稿執筆の機会を頂いた一般財団法人土地総合研究所の荒井俊行氏と白川慧一氏である。不動産の鑑定評価の方法論とその実務については、桜木不動産コンサルタントの不動産鑑定士の武藤悠史氏から多くのことを教わった。他にも多くの方との情報や意見交換は計算機の存在意義と可能性そしてその経済への影響を改めて考える際に非常に参考になった。

[2] なお、本稿で示す分析結果等は方法論の観点から作成しており、示した結果はあくまで計算結果である。筆者の所属する組織等からの分析や意見等ではない。

[3] Internet of Things。モノとソフトウェアがインターネットでつながること。

表 1[4]

	1-4 人(%)	5-9 人(%)	10 人以上(%)	出向・派遣業者のみ(%)	合計
全産業	3,268,407 (57.45%)	1,114,421 (19.59%)	1,283,410 (22.56%)	23,128 (0.40%)	5,689,366 (100%)
不動産業	304,566 (86.14%)	32,437 (9.17%)	14,157 (4.00%)	2,398 (0.68%)	353,558 (100%)

模事業者を取り巻く環境は更に厳しくなることを想像するのは容易い。

先に例を挙げた通り、計算機に関する技術の発展は業務の効率化だけではなく、新たな分野や職域の創出につながることがある。不動産業ではどうだろうか。例えば、不動産業には物件毎に様々なリスクが存在するわけだが、日本中全ての物件に対し、それを事前にシミュレーションが可能な環境を整えソフトウェアとして利用できたらどうなるだろうか。利用する事業者にとっての最適解を得る方法を変えるだけでなく、企業内でも新たな職域の創出を行うことにつながらないだろうか。

GEEOの設計思想

このような考えで弊社が設計・開発した計算用エンジンが GEEO（http://geeo.otani.co/）である。GEEO を使用したアプリケーションの一つである GEEO Pro は日本全国 6000 万ヶ所以上の建物と土地の価格を推定できるだけでなく、時系列の推定値を算出したり、推定した市場価格（以下「推定価格」）と積算価格（以下「推定積算価格」）を比較できる。

例えば、図 1 は 2007 年のある地価公示点（前年比+1.79%）に 2003 年築の木造建物があった場合の推定価格（市場をベースとした予測成約価格）である。土地価格は地価公示をベースとした推定公示地価であり、建物価格は推定価格から土地価格を減じた価格である。

図 1　GEEO Pro の画面（推定価格）

図 2 は同一条件で推定積算価格を算出した場合である。推定積算価格は建築着工統計等から新築時の原価[5]を算出し国税庁の基準で減価償却した建物価格に推定公示地価を足した価格である。そのため、ここでは戸建住宅の例を用いているが、マンションやアパート一棟だけでなく、病院やホテル、工場や倉庫の価格を求めることもできる。

図 2　GEEO Pro の画面（推定積算価格）

[4] 2014 年 7 月 1 日の総務省統計局の「経済センサス」から筆者作成。なお、百分率の小数点第 3 位以下は四捨五入している。そのため、合計は 100%にならない。

[5] 再調達原価のようなもの。構造別の価格推定と建築時点の補正もしている。

推定価格と推定積算価格は同程度の場所もあれば、どちらかが上回る場所もある。この地点の場合は推定価格が約2500万円程度高い。取引価格と再調達原価が異なる場合があることは周知の事実だが、GEEOの算出アルゴリズムを通してもそれは確認できる。

更に、時系列で比較したものが図3と図4である。推定価格は灰色の点線であり、オレンジ色と青の実線がそれぞれ6ヶ月の移動平均線と12ヶ月の移動平均線である。また、緑色の実線が推定積算価格であり、緑色の点線は2017年の推定公示地価である。

図3 GEEO Proの画面
（時系列グラフ：推定価格 ＞ 推定積算価格）

図3からは推定積算価格が推定価格を常に下回っていることがわかる。このような場所は不動産市場が存在し、市場価格での取引が期待される。

図4 GEEO Proの画面
（時系列グラフ：推定価格 ＜ 推定積算価格）

この逆の常に推定積算価格が推定価格を上回る場所（図4）は取引市場が未成熟又は衰退していると考えられ、実際の取引価格は推定積算価格に近づくことが多い。また、同一の場所と条件であっても、推定価格と推定積算価格が交差する時期が存在することもある。これは、同じ不動産でも築年数によって市場性が生じる場合とそうでない場合があることを示している。

さて、GEEOの計算アルゴリズムは非公開だが、ヘドニック・アプローチ[6]や空間統計学[7]の思想も当然取り入れている。また、不動産鑑定評価基準も参考にしている。一番の特徴は対象地域の広さと精度を[8]両立させ、かつモデル自体を一つにしていることであり、その自由度調整済R二乗は0.92である[9]。同一のモデルで日本全体を捉えているため、どの地域の不動産がどの程度高騰しているか、あるいは下落しているか等の判断もできる。なお、データには総務省統計局のe-Statからダウンロードできる国勢調査の小地域統計等の各種オープンデータも使用している。また、算出している価格や建物情報（全国6000万の建築面積と建物構造）のデータはAPI（Application Programming Interface）[10]に対応しており、自らが利用するソフトウェアに取り込むことで分析に使用できる。

算出アルゴリズムの研究には総務省による「クラウドテストベッドコンソーシアム」における活動の一つとして2012年度から2013年度に国立研究開発法人情報通信研究機構のJGN-X上に構築したMPIクラスタを計算基盤とした[11]。その後、弊社環境での研究開発を経て、初期バージョンをローンチしたのは、「不動産テック」という言葉が存在しなかった2014年の10月である。その後、総

---

[6] 代表的なものにRosen（1974）がある。
[7] 例えば井上（2007）もある。
[8] ヘドニックにしろクリギングにしろ日本全国を対象とすると精度は落ちる。
[9] リサンプリングによる推定でも0.89-0.97程度に分布する。
[10] 有償である。
[11] 株式会社三菱総合研究所の清水友晴氏がMPIクラスタの構築を行なっている。

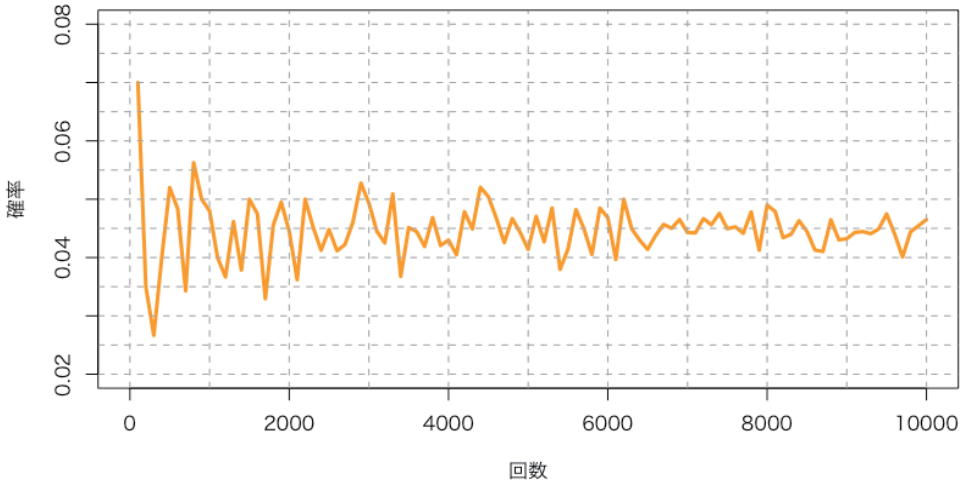


図 5

務大臣奨励賞やグッドデザイン賞等[12]を受賞し、現在はビジネスでの本格的な活用に至っている。なお、このアルゴリズムは、不動産のみを対象にするわけではなく、他の分野[13]でも使用できる。

シミュレーションとは

さて、ここでモンテカルロ法による計算、「シミュレーション」[14]を紹介したい。当然、GEEO ではこの手法や思想は取り入れている。なお、本節では、最初はやや実務や不動産から離れた議論を展開するが、その後に実際の不動産データを使用した例を示す。

まず、「モンテカルロ法（Monte-Carlo method）とは，確率変数のサンプリングをコンピュータを用いて行うことによって数学的問題を（主として数理統計学における意味で）数値的に解く手法」[15]である。確率変数のサンプリングなのだから、当然ながら標本空間とその上での関数、確率分布は定義される。

例えば「100 回のコイン投げを行い表が 10 回以上連続で出る確率を求める」問題を考えてみよう。まず、コインを 100 回投げた場合の組み合わせは以下である。

$$2^{100} = 1{,}267{,}650{,}600{,}228{,}229{,}401{,}496{,}703{,}205{,}376$$

当然、この組み合わせを全部調べれば解は得られる。手計算が得意な場合は紙とペンを使ってもよいだろうし、計算機を用いて全ての組み合わせを調べてもよいかもしれない。ただ、下記のチェビシェフの不等式（「投げる回数がnのとき、表の出る相対度数が区間$p \pm \varepsilon$に入る確率は$1 - (1/4n\varepsilon^2)$以上である」[16]）は一定の精度で近似解を求められることを示している。

$$P\left(\left|\frac{\text{表の出る回数}}{n} - p\right| < \varepsilon\right) \geq 1 - \frac{1}{4n\varepsilon^2}$$

近似解で良ければ、実際に 0 又は 1 をランダムに 100 回発生させることをN回繰り返し、その中で 10 回以上連続で 1 が出た（0 が裏、1 を表とする場合）割合を調べればよい。図 5 が、Nを 100 回から 1 万回までとして実際に実験を行った結果である。

Nを∞に近づけていけば、一点に収束していくことが想像できる。その一点は解析的に求めた場合

[12] マッシュアップアワード 10 オープンデータ部門最優秀賞（2014 年 11 月）、総務大臣奨励賞（2015 年 5 月）、グッドデザイン賞（2015 年 9 月）。
[13] 実用例としてマーケティングがある。
[14] そもそも AI や機械学習を構成する技術の根底にはモンテカルロ法がある。
[15] 杉田 洋（2012）「モンテカルロ法の数学的定式化」、pp. 2.（http://www.math.sci.osaka-u.ac.jp/~sugita/Public/imath/ipaper/MCM_SS_digest.pdf）
[16] 杉田 洋「確率と乱数」（http://mathsoc.jp/publication/tushin/1802/1802sugita.pdf）

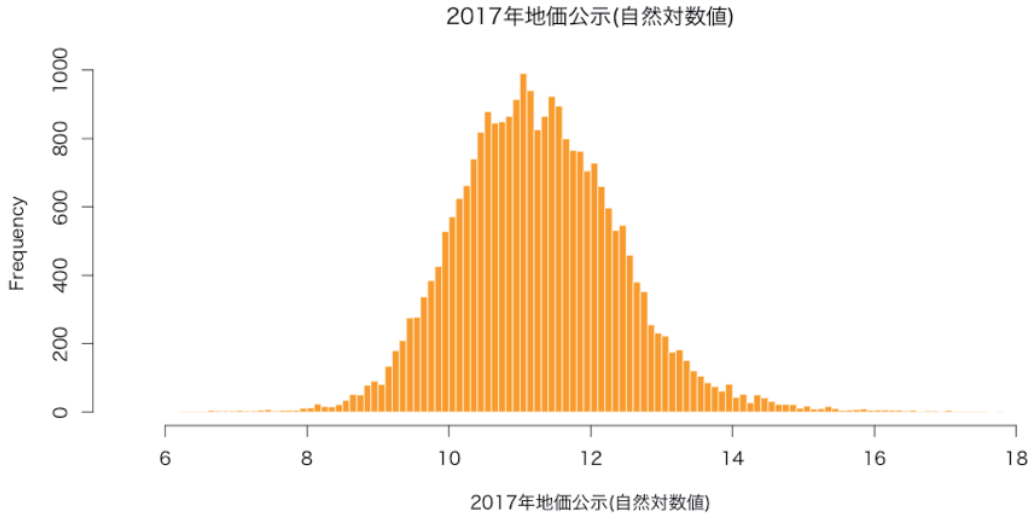


図 6

表 2　2017 年地価公示の四分位数・平均値・分散及び標準偏差

最小値	25%点	50%点	平均値	75%点	最大値	分散	標準偏差
6.23	10.48	11.20	11.26	11.99	17.74	1.37	1.17

の答えである。なお、精度に不安があれば、計算機と自分の心の許す限りにおいて、回数を増やせば良い[17]。

ところで、この「コインを投げる」という問題は[0,1]のどちらかが$\frac{1}{2}$で出ることを想定している。これはデータの従う分布（理論分布）を想定しているわけだが、データが従う分布を予め定めない考え方もある。この場合はデータ（標本）から標本を生成し(再標本やリサンプリングと呼ばれる)、確率分布を考える。リサンプリングは、例えば次の手順で行う。

1. まず、得られたn個のデータ$\{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$を$\chi$とおく。
2. $\{1,2,\ldots,n\}$から等確率で整数を選ぶことをm回繰り返す。つまり、$\{i_1, i_2, \ldots, i_m\}$の整数列$K$を生成する。なお、同じ整数を複数回選んでも良い（復元抽出)。
3. Kに基づき、χから$\{x_{i_1}, x_{i_2}, \ldots, x_{i_m}\}$を取り出し、$x^*$とおく。
4. 2. と 3. を B 回繰り返す。つまり$\chi^* = \{x^*{}_1, x^*{}_2, \ldots, x^*{}_B\}$である。
5. χ^*のそれぞれから求めたい統計量を求める。

これは「ブートストラップ法」[18]と呼ばれるリサンプリングの手法である。計算統計学の中では古典的な手法の一つであり、シンプルだが非常に強力な推定手法である。また、「ブートストラップに伴う反復計算は並列化が容易」[19]である。

ここで、2017 年の地価公示（n ＝ 25,988）の平均値と標準偏差を使って正規分布に基づく乱数（正規乱数）を発生させた場合とリサンプリングの場合を比べてみよう。まず、図 6 のヒストグラムは 2017 年の地価公示（自然対数値）である。

[17] ところでこういったシミュレーションはコンピュータを使って行う、つまりプログラムを使うわけだから、問題の難易度に関わらず自分のプログラムコードが正しいかどうかの検証は必要である。コード検証には様々なものがあるが、Geweke(2004)のようなアプローチも方法論として参考になるだろう。

[18] 「ブートストラップ」という名前は「Pull yourself up by your bootstrap.（自分で何とかせよ)」という英語のイディオムに由来する。ブートストラップ法は Efron（1979）によって提案された。

[19] 下平英寿（2011)「第 8 章 ブートストラップ」21 世紀の統計科学 3 数理・計算の統計科学 第 III 部 統計計算の展開と統計科学 日本統計学会 HP 版 2011 年 10 月、pp. 194（http://ebsa.ism.ac.jp/ebooks/sites/default/files/ebook/1881/pdf/vol3_ch8.pdf)

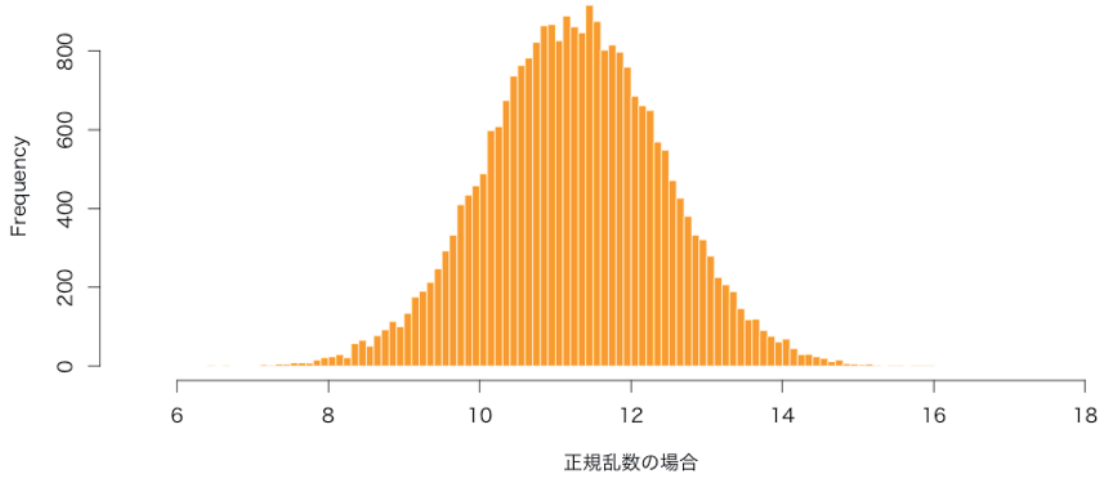


図 7　正規乱数の場合

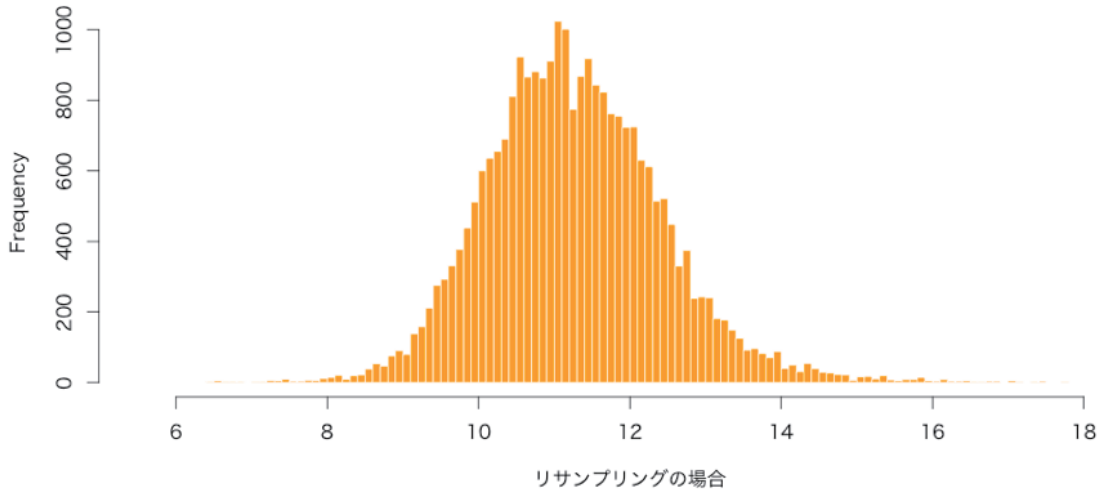


図 8　リサンプリングの場合

表 3　2017 年地価公示、正規乱数、リサンプリング、それぞれの場合の四分位数・平均値・分散及び標準偏差

	最小値	25%	50%	平均値	75%	最大値	分散	SD
地価公示価格	6.23	10.48	11.20	11.26	11.99	17.74	1.37	1.17
正規乱数	6.48	10.47	11.26	11.26	12.05	15.92	1.36	1.17
リサンプリング	6.23	10.48	11.19	11.26	11.99	17.74	1.37	1.17

平均値、分散、標準偏差（SD）及び四分位数[20]は表 2 のようになっている。

図 7 は地価公示データの平均と標準偏差を用いて同数の正規乱数を発生させた場合のヒストグラムである。当たり前だが、正規分布の形状を示す。

図 8 は、リサンプリングしたデータのヒストグラムである。

正規乱数の場合とリサンプリングの場合の平均、分散、標準偏差（SD）、四分位数は表 3 のようになる。

表 4 は二つの分布の同一性をテストする 2 標本のコルモゴロフ・スミルノフ検定を、自然対数変換を行なった地価公示のデータ（元データ）と正

[20] 小数点第 3 位以下は四捨五入している。

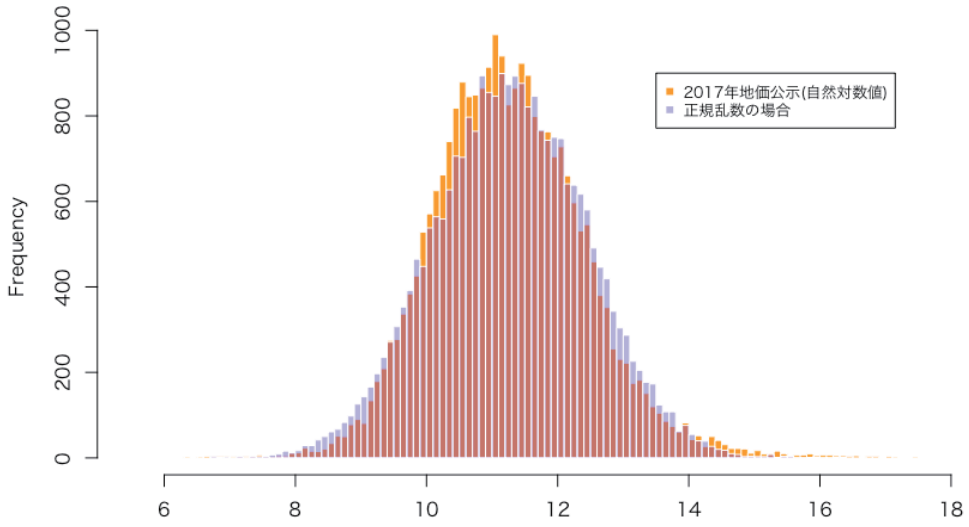


図 9　正規乱数に基づくデータと地価公示データのヒストグラムを重ねた場合

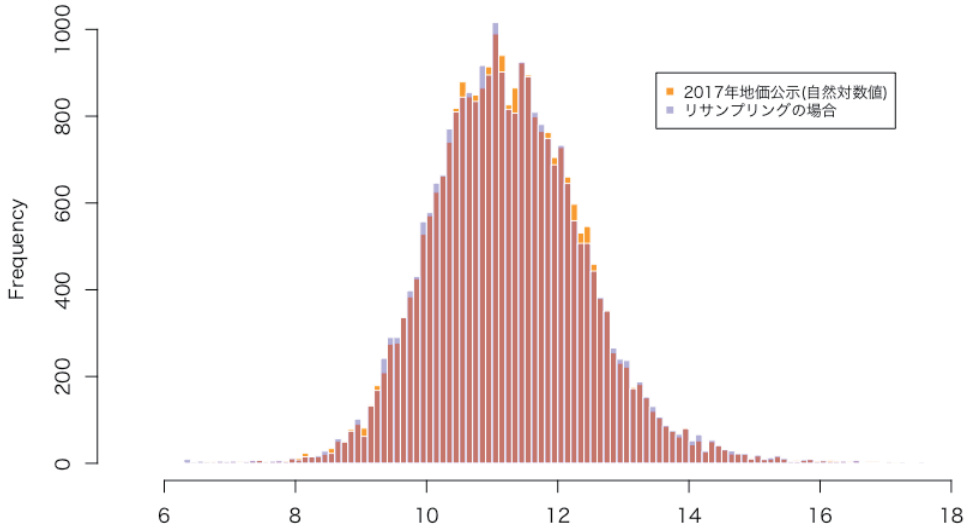


図 10　リサンプリングに基づくデータと地価公示データのヒストグラムを重ねた場合

表 4　2 標本のコルモゴロフ・スミルノフ検定の結果

分布	検定統計量 D	p 値
正規分布	0.021394	1.364e-05
リサンプリング	0.0031168	0.9996

規乱数のケース、元データとリサンプリングで得たデータで行った結果である。

正規分布を仮定して正規乱数を発生させた場合は帰無仮説を棄却でき、リサンプリングの場合は帰無仮説を棄却できない。

図 9 と図 10 は地価公示データとその平均値と標準偏差から正規乱数を発生させたデータを重ね合わせたヒストグラムと地価公示データとリサンプリングによって得られたデータを重ね合わせたヒストグラムである。正規乱数を使った場合は微妙に異なり、リサンプリングの場合はほぼ一致する。

不動産の価格推定では価格を何らかの方法（例えば、今回のような対数変換を含むべき乗変換）で変換し、モデルを構築するアプローチが一般的である。これは近似ではあるが、データが従う分布を予め想定する視点である。不動産市場の歪みを適切に表すような変換方法、変換のための時系列に従って変化する動的パラメータを探す試みは、同じ手法が常に正しいとは限らない。そもそも適

切さを判断することとその正しさ、統計的検定を行う場合はその検定力そのものにも目を向けなければならない。他方、このようなデータに基づくシミュレーションは同じ近似だが、分布そのものが市場を直接表現する。これを解釈することはより実務的であろう。

シミュレーションの応用

さて、このようなシミュレーションはどのように使えるのかであるが、その一つが古くから提案されているダイナミック DCF 法や感度分析である。下記は不動産鑑定基準で示されている DCF 法（Discounted Cash Flow 法）の式である。

$$P = \sum_{k=1}^{n} \frac{a_k}{(1+Y)^k} + \frac{P_R}{(1+Y)^n}$$

$$P_R = \frac{a_{n+1}}{R_n}$$

P　：求める不動産の収益価格
a_k　：毎期の収益
Y　：割引率
n　：保有期間
P_R　：復帰価格
a_{n+1}　：n＋1 期の純収益
R_n　：還元利回り

これらの値に乱数を使うことがダイナミック DCF 法の発想であるが、割引率や還元利回り（キャップレート）をどのように求めるかが重要になる。例えば、「金融資産の利回りに不動産の個別性を加味」[21]することを統計学の視点でみるとキャップレートと呼ばれるデータの生成構造を吟味することになる。例えば、下記のような回帰式[22]を考えられるだろう。

$$R_n = X\beta + e$$

ここでは例として、不動産証券化協会(ARES)の J-REIT 個別保有不動産検索システムからダウンロードできるデータを用いて、期末時点 NOI 利回り（NOI × 2 ÷ 期末算定価格）[23]を被説明変数とした回帰分析を行う。説明変数は不動産の個別要因として、各物件の「土地面積（自然対数値）」、「建物面積（自然対数値）」、「建築年（自然対数値）」、「土地権利の態様（ダミー変数）」[24]、「建物権利の態様（ダミー変数）」[25]、「建物用途（ダミー変数）」[26]、「用途地域（ダミー変数）」[27]を扱い、地域要因は「都道府県名称（ダミー変数）」[28]とし、経済的要因として各物件の期末時点の「日経平均株価（株式市場の市況として。ただし、前日差）」[29]、「国債（10 年）利回り（金融資産の利回り及び債券市場の市況として。ただし、前日差）」[30]を採用する。得られた回帰式が一定の信頼性を持つ場合、経済的要因を表す各変数のリサンプリングを行い、キャップレートの分布をシミュレートすることが意味を成す。

表 5、表 6 は実際のデータで行った結果（ダミー変数以外）[31]である。

修正済 R 二乗は 0.5092 である。ここで得られた回帰式を$\theta(X)$とする。ただし、日経平均株価（x_{nikkei}とする）と国債利回り（x_{bond}とする）以

[21] 国土交通省、「不動産鑑定基準」、p.31（https://www.mlit.go.jp/common/001043585.pdf）。
[22] もちろん回帰構造以外もありえる。
[23] なお、ここで NOI を 2 倍にしているのは、データの NOI が半期で示されているためである。
[24] データ出典：AREAS J-REIT 個別保有不動産検索システム（https://jreit-pdb.ares.or.jp/pdb/index.fcap/data）。なお、2016 年以降に期末があり、かつ NOI 利回りが 12.5%以下の物件を抽出した。
[25] 複数の権利等が存在する場合、例えば「所有権・地上権」の場合は「・」で分割し、最初の要素である「所有権」をデータとしている。また、「所有権（準共有）」等と括弧書きがある場合でも、「所有権」として、ダミー変数を作成している。
[26] 同上。
[27] 同上。
[28] 住所から正規表現で都道府県名を抽出した。
[29] データ出典：日本経済新聞社（https://indexes.nikkei.co.jp/nkave/index/profile?idx=nk225）。
[30] データ出典：財務省（http://www.mof.go.jp/jgbs/reference/interest_rate/）。
[31] この回帰分析は変数の作成や選択といった点から、線型性の仮定や自由度等に至るまで、様々な粗さや批判すべき点が存在する。なお、各ダミー変数の回帰係数については文末の付録を参照されたい。

外の値が変化しない場合は$\theta(x_{nikkei}, x_{bond})$である。

次に、$\theta(x_{nikkei}, x_{bond})$を使用して、ある物件（残差が 0、NOI 利回りは 0.050）のデータを使用し、経済要因である日経平均株価と国債利回りの値（経済シナリオ）を変化させ、先の回帰式に基づく利回りを計算することを 10 万回繰り返してみよう。具体的には次の手順である。

1. 日経平均株価のn個のデータ$\{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$を$X_{nikkei}$とおく。
2. X_{nikkei}の標準偏差σ_{nikkei}を計算する
3. 国債利回りも 1-2 と同様にX_{bond}からσ_{bond}を計算する。
4. $\{1,2,\ldots,n\}$から等確率で整数$\{k_1, \ldots, k_{100000}\}$を 10 万個選び、$X$から$x_k$を取り出す。$x_k$は同じものが複数回選ばれてもよい。これを$X^*{}_{nikkei} = \{x_{k_1}, \ldots, x_{k_{100000}}\}$とする。
5. 平均0、標準偏差σ_{nikkei}に基づく正規乱数列$\Xi_{nikkei} = \{\xi_1, \ldots, \xi_{100000}\}$を発生させる。
6. $X^*{}_{nikkei} + \Xi_{nikkei} = \{(x_{k_1} + \xi_1), \ldots, (x_{k_{100000}} + \xi_{100000})\}$を行い$\widehat{X^*}_{nikkei}$とする。
7. 国債利回りも同様に 4-6 の手順で$\widehat{X^*}_{bond}$を計算する。
8. $\widehat{X^*}_{nikkei}$と$\widehat{X^*}_{bond}$のm番目の値（$m = \{1, \ldots, 1000000\}$）を使用して、$\hat{\theta}_m = \theta(\widehat{x^*}_{m,nikkei}, \widehat{x^*}_{m,bond})$を計算し、$\Theta = \left[\hat{\theta}_1, \ldots, \hat{\theta}_{100000}\right]$を得る。

この操作で得た 10 万個のキャップレートΘの分布は図 11、表 7 のようになる。

シミュレートしたキャップレートの中央値は 0.049、平均値も 0.049 程度である。実際のキャップレートは 0.050 程度（青破線）であり、中央値とほぼ同一ではあるが、若干高い。なお、得られたヒストグラムは正規分布のように見えるが、シミュレートしたキャップレートの平均値と標準偏差の正規分布を仮定した 1 標本のコルモゴロフ・スミルノフ検定を行うと、検定統計量 D（p 値）は 0.0149（< 2.2e-16）となる。

表 5　ダミー変数以外の回帰係数

	回帰係数	標準誤差	t 値	p 値
切片	2.966e+00	3.248e-01	9.133	< 2e-16
日経平均株価	-1.616e-05	1.893e-05	-0.854	0.393263
国債利回り	8.432e-02	6.417e-01	0.131	0.895473
ln(土地面積)	-7.931e-11	1.653e-10	-0.480	0.631387
ln(建築面積)	1.964e-08	1.031e-08	1.904	0.056998
ln(建築年)	-3.798e-01	4.267e-02	-8.900	< 2e-16

表 6　回帰分析の結果

R 二乗	自由度調整済 R 二乗	F 値（自由度）	p 値
0.5373	0.5092	19.17（191, 3154）	< 2.2e-16

シミュレートした値（$X^*{}_{nikkei}$と$X^*{}_{bond}$）及び過去データ（X_{nikkei}とX_{bond}）の散布図は図 12 のようになる。

実際に生じた組み合わせだけでなく、生じていない組み合わせ[32]についても滑らかに計算できている。

なお、シミュレートした値Θを分母にし、$n+1$期の純収益を分子とすれば、復帰価格の分布を求められる。また、最終的な収益価格を算出するにあたっても、各要因に回帰構造を設定するなどして、同様の手法を使えば良い。もちろん、こういった構造を増やすと、計算量は増えるわけだが、その場合は並列計算によって対処できる。

さて、このような分布をどのように捉えるかは分析者次第だが、描かれたヒストグラムは個別の不動産が抱えるリスクを表す。状況を固定値（例えば平均値）のみで観察するよりは分布（例えばヒストグラム）で観察する方が情報量が多く、様々な想定が可能になる。

例えば、シミュレートしたキャップレートの

[32] 当然、今後生じるかは分からない。ただ、このようにして過去データとシミュレーション値の比較を行い、対策を事前に講じておくことは重要である。

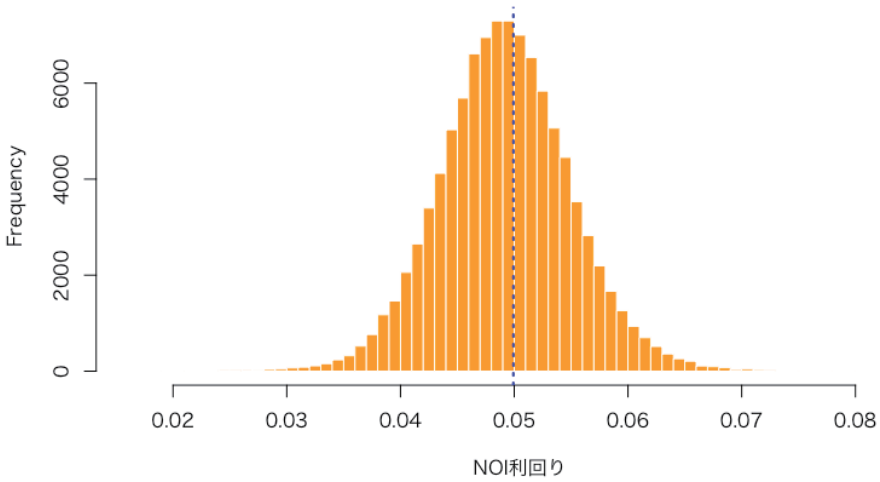


図 11　シミュレートした値のヒストグラム

表 7　シミュレートした値の四分位数・平均値・分散及び標準偏差

最小値	25%点	50%点	平均値	75%点	最大値	分散	標準偏差
0.016	0.046	0.049	0.049	0.053	0.085	3.39e-05	0.006

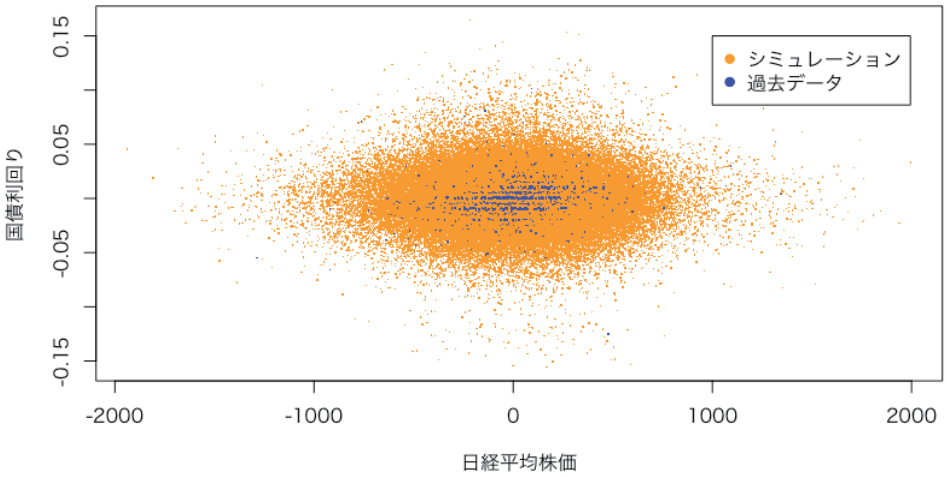


図 12　シミュレートした値と過去データの散布図

95%は 0.038 から 0.061 の間に存在するため、この区間の外側に実際のキャップレートが位置する場合は、あまり起きないことが起きていることになる。何らかのアクションを取るべき基準となるかもしれない。また、取得前にこのようなシミュレーションを行えば、いつ時点でいくらで取得すべきかの検討材料にできる。投資家であれば、自身のポートフォリオ上の物件全てに対してこのような計算をすれば、現在の利回りとシミュレーション上の利回りがどのような関係にあるかがわかるだけでなく、ポートフォリオのストレステストもできる。

実務的には、損失を出さないことが極めて重要なことであるから、予め想定できることが多ければ多いほど事前に対策を講じやすい。実データを使ったシミュレーションは実務家にとって、情報を多く引き出すという点で一考の価値がある計算機の使い方である。なお、このような計算は決して大規模な計算環境は必要としない[33]。例えば

[33] 今回のシミュレーションは Mac Book Air (Early 2015) で行なっている。OS は macOS Sierra、CPU は Intel Core i5 1.6Ghz、RAM は 8GB。ソフトウェアは R であり、特別

REITの物件全て（数千件程度）にこのようなシミュレーションを行うことも現実的である。また、ある程度の規模の計算環境を用意すれば全国に6000 万以上ある建物にこのような事前計算を行うこともできる。

おわりに

さて、ここまで様々な論を展開してきた。シミュレーションはデータからより多くの情報を引き出すために有用である。物件毎に事前に想定できる選択肢が多ければ、事業者にとっての最適解を得る方法は今までと変わり、事業の規模や種類は関係なく、優位性を持つことにつながるであろう。新たなソフトウェアを活用できる者及びその周辺の職域が競争力の源泉となることも期待できよう。「不動産テック」の諸外国の例は参考になるかもしれないが、変革をもたらす計算機の本質と向き合い、その可能性と使い方を再検討し、実務に取り入れることが日本における不動産テックの肝要である。

参考文献

以下に、参考文献を示す。ここで示している文献は本稿で扱ったモンテカルロ法やリサンプリング以外にMCMC（Markov Chain Monte Carlo）に関するものもある。

石島博、前田章、谷山智彦（2011）、「不動産の価格とリスクの評価モデルとその応用」、情報処理学会論文誌 数理モデル化とその応用 Vol.4 No.2 pp.1-12.

井上亮（2007）「時空間クリギングによる地価推定に関する研究」、平成19年度土地関係研究推進事業 研究成果報告書（http://www.lij.jp/info/sien/sien19/inoue.pdf）

大森裕浩、渡部敏明（2011）「第9章 MCMCとその確率的ボラティリティ変動モデルへの応用」、21世紀の統計科学1 社会・経済の統計科学 第III部 ファイナンス（金融）と保険の統計学 日本統計学会HP版 2011年11月(http://ebsa.ism.ac.jp/ebooks/sites/default/files/ebook/1856/pdf/vol1_ch9.pdf)

佐久間誠、矢嶋康次（2016）「J-REITのインプライド・キャップレートを使った金利感応度分析」、土地総合研究 2016年秋号（http://www.lij.jp/html/jli/jli_2016/2016autumn_p112.pdf）

下平英寿（2011）「第8章 ブートストラップ」21世紀の統計科学3 数理・計算の統計科学 第III部 統計計算の展開と統計科学 日本統計学会HP版 2011年10月（http://ebsa.ism.ac.jp/ebooks/sites/default/files/ebook/1881/pdf/vol3_ch8.pdf）

杉田洋（2012）「モンテカルロ法の数学的定式化」（http://www.math.sci.osaka-u.ac.jp/~sugita/Public/imath/ipaper/MCM_SS_digest.pdf）

株式会社住信基礎研究所（2006）「不動産投資リスク評価手法の開発に関する研究」（http://trust-mf.or.jp/business/pdf/download/20130218111154.pdf）

Efron, B. (1979), "Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife", *Annals of Statistics* Vol. 7, No. 1, pp. 1-26.

Efron, B. (2012), "Bayesian inference and the parametric bootstrap", *Annals of Applied Statistics*, Vol. 6, No. 4, pp. 1971-1997.

Geweke, J. (2004), "Getting It Right: Joint Distribution Tests of Posterior Simulators", *Journal of the American Statistical Association*. Vol. 99, No. 467 (Sep., 2004), pp. 799-804.

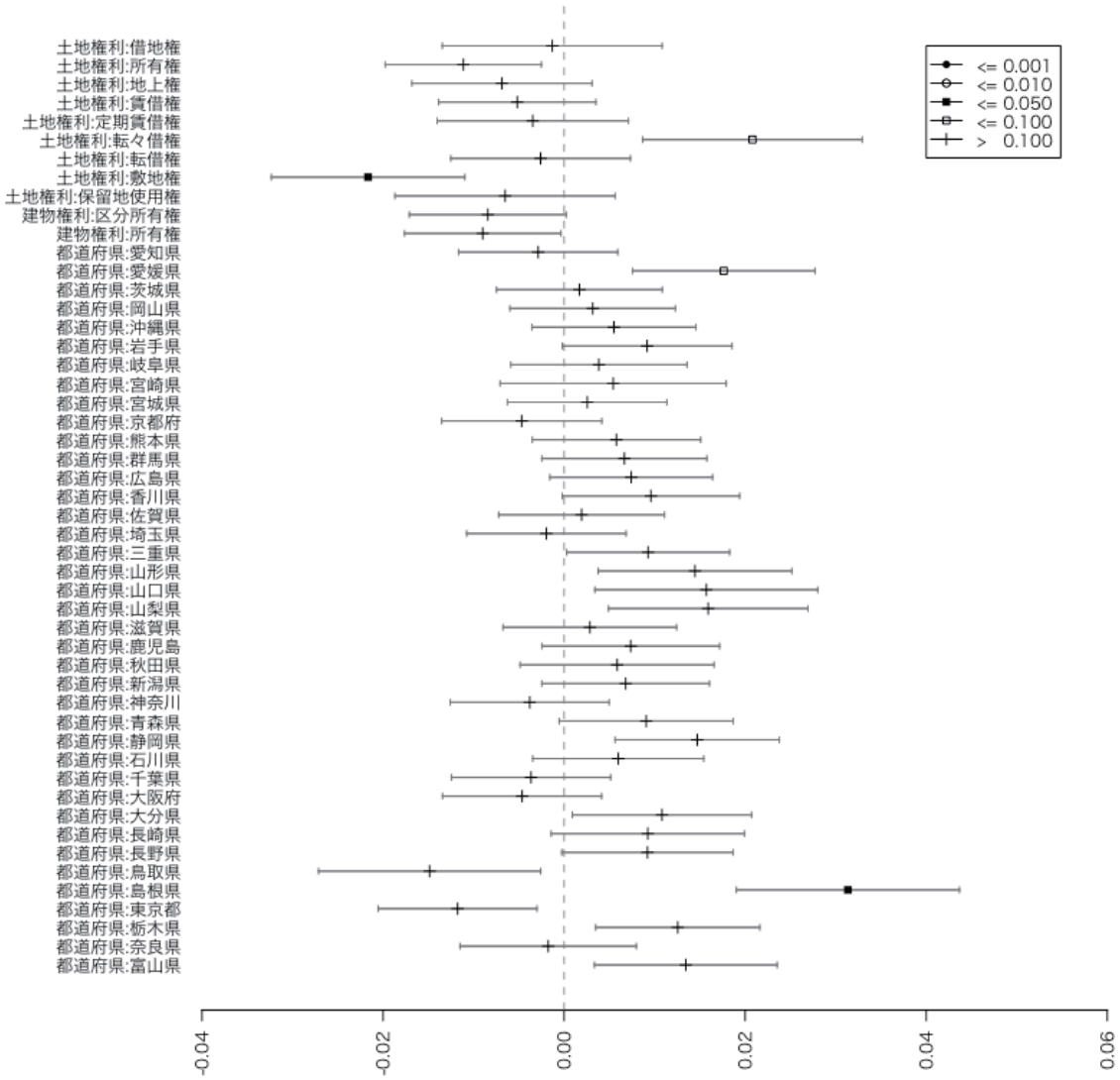
Hoshino, T. and Nakanishi, H. (2016), "Economic Valuation of Environmental Quality Using Property Auction Data: A Structural Estimation Approach", *Land Economics*. Vol. 92, No. 4, (Nov., 2016), pp. 703-717.

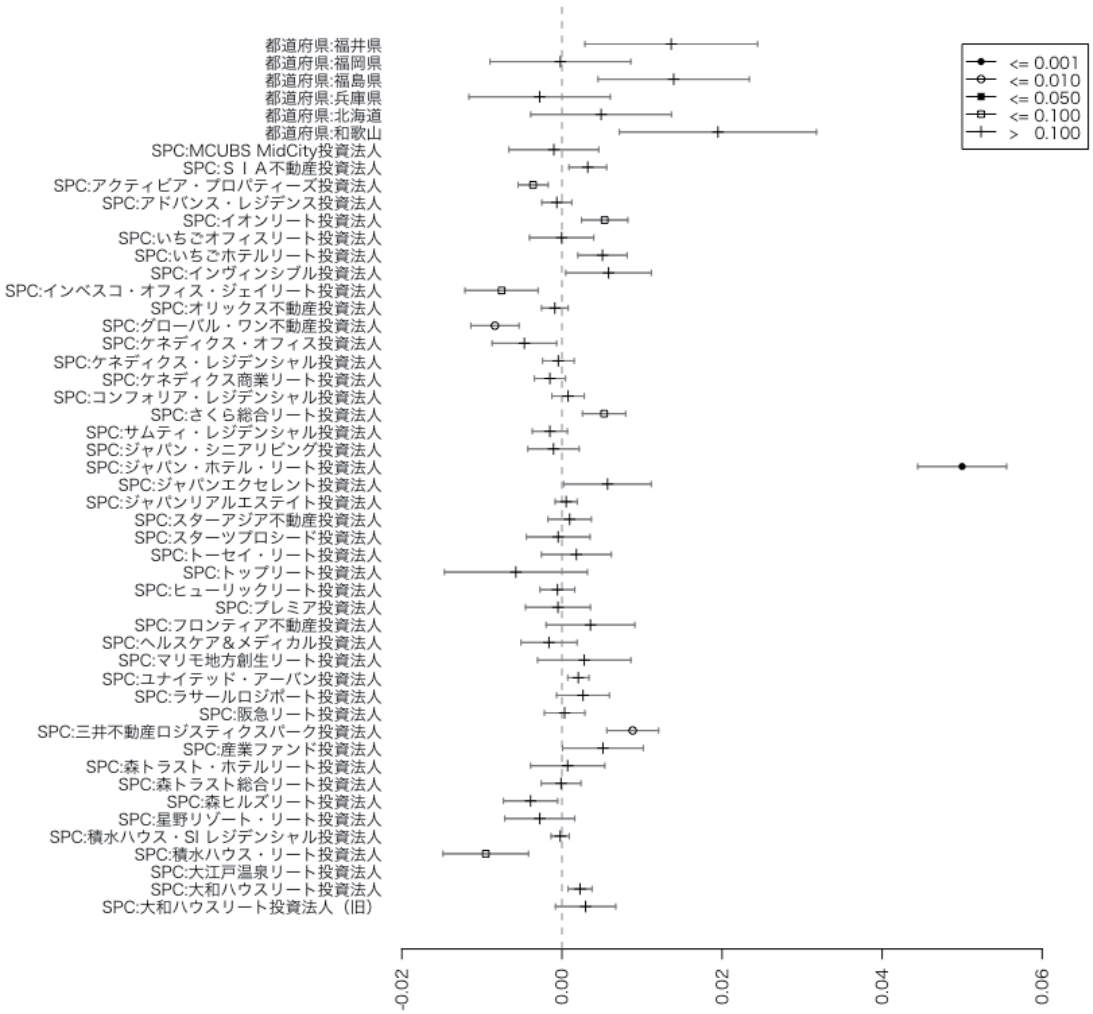
Rosen, S. (1974) "Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition." *The Journal of Political Economy*, 82, pp. 34-55.

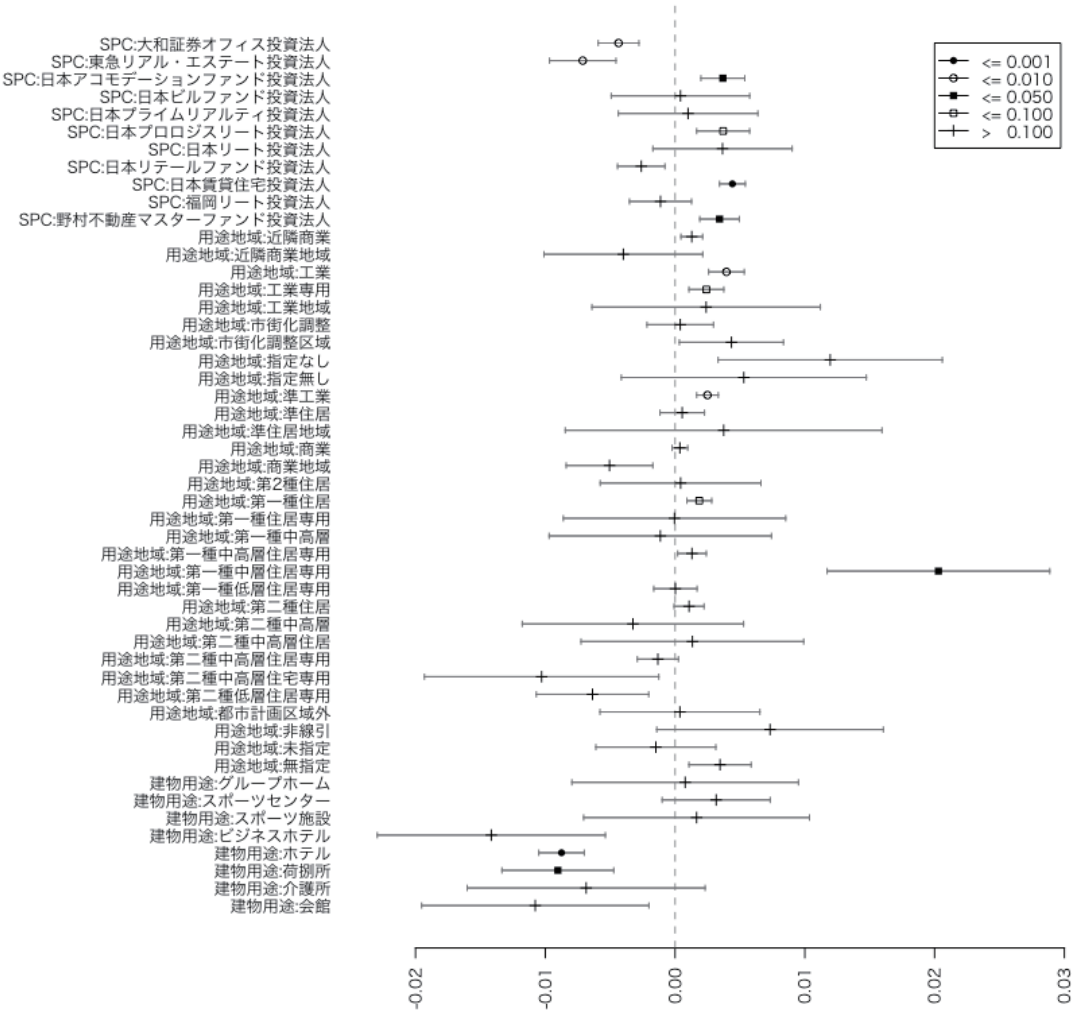
な計算環境は用意していない。

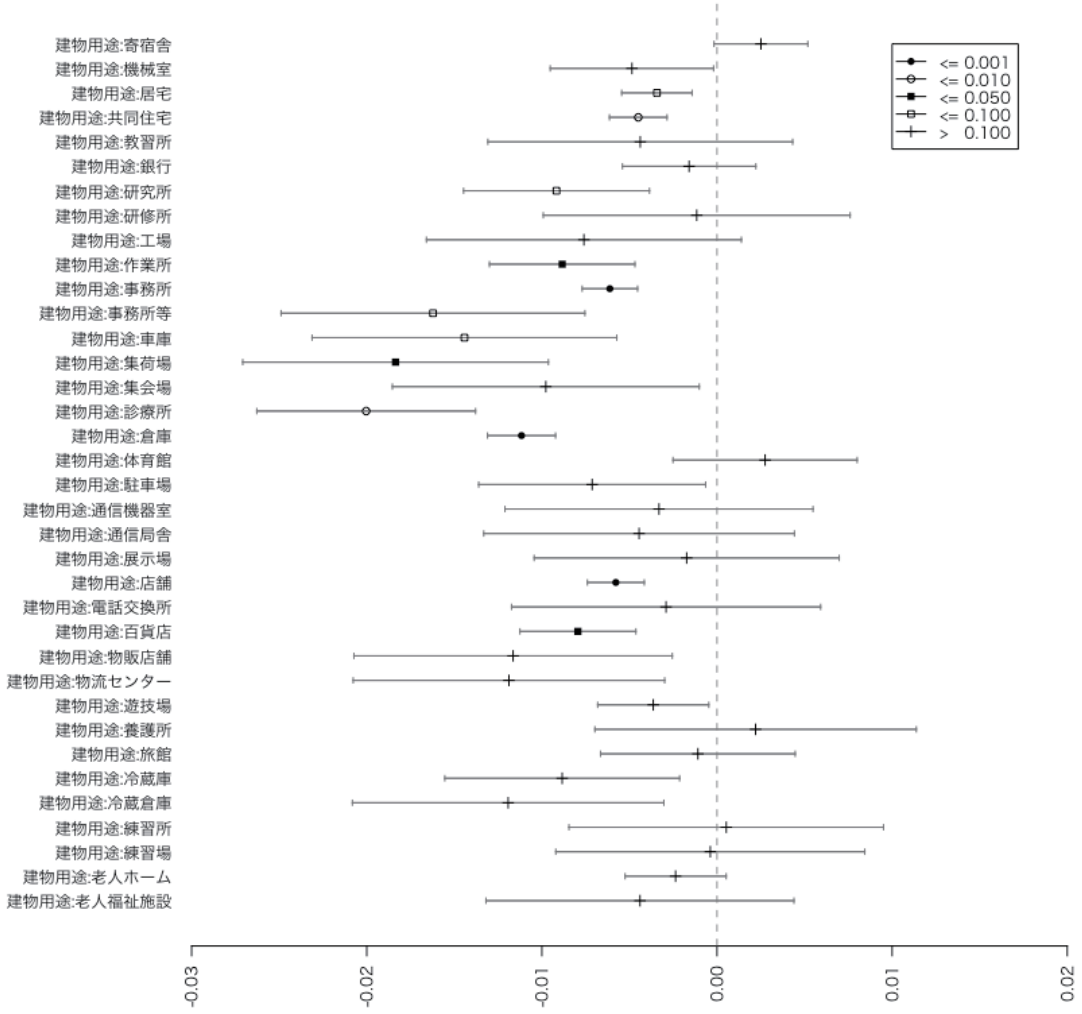
付録

下記は各ダミー変数の回帰係数を表した図である。回帰係数の有意性（p 値）は凡例で示す。また、各回帰係数のエラーバーは回帰係数を中心に加減した標準誤差を表す。




都道府県:福井県
都道府県:福岡県
都道府県:福島県
都道府県:兵庫県
都道府県:北海道
都道府県:和歌山
SPC:MCUBS MidCity投資法人
SPC:ＳＩＡ不動産投資法人
SPC:アクティビア・プロパティーズ投資法人
SPC:アドバンス・レジデンス投資法人
SPC:イオンリート投資法人
SPC:いちごオフィスリート投資法人
SPC:いちごホテルリート投資法人
SPC:インヴィンシブル投資法人
SPC:インベスコ・オフィス・ジェイリート投資法人
SPC:オリックス不動産投資法人
SPC:グローバル・ワン不動産投資法人
SPC:ケネディクス・オフィス投資法人
SPC:ケネディクス・レジデンシャル投資法人
SPC:ケネディクス商業リート投資法人
SPC:コンフォリア・レジデンシャル投資法人
SPC:さくら総合リート投資法人
SPC:サムティ・レジデンシャル投資法人
SPC:ジャパン・シニアリビング投資法人
SPC:ジャパン・ホテル・リート投資法人
SPC:ジャパンエクセレント投資法人
SPC:ジャパンリアルエステイト投資法人
SPC:スターアジア不動産投資法人
SPC:スターツプロシード投資法人
SPC:トーセイ・リート投資法人
SPC:トップリート投資法人
SPC:ヒューリックリート投資法人
SPC:プレミア投資法人
SPC:フロンティア不動産投資法人
SPC:ヘルスケア＆メディカル投資法人
SPC:マリモ地方創生リート投資法人
SPC:ユナイテッド・アーバン投資法人
SPC:ラサールロジポート投資法人
SPC:阪急リート投資法人
SPC:三井不動産ロジスティクスパーク投資法人
SPC:産業ファンド投資法人
SPC:森トラスト・ホテルリート投資法人
SPC:森トラスト総合リート投資法人
SPC:森ヒルズリート投資法人
SPC:星野リゾート・リート投資法人
SPC:積水ハウス・SI レジデンシャル投資法人
SPC:積水ハウス・リート投資法人
SPC:大江戸温泉リート投資法人
SPC:大和ハウスリート投資法人
SPC:大和ハウスリート投資法人（旧）
<= 0.001
<= 0.010
<= 0.050
<= 0.100
> 0.100
-0.02
0.00
0.02
0.04
0.06


SPC:大和証券オフィス投資法人
SPC:東急リアル・エステート投資法人
SPC:日本アコモデーションファンド投資法人
SPC:日本ビルファンド投資法人
SPC:日本プライムリアルティ投資法人
SPC:日本プロロジスリート投資法人
SPC:日本リート投資法人
SPC:日本リテールファンド投資法人
SPC:日本賃貸住宅投資法人
SPC:福岡リート投資法人
SPC:野村不動産マスターファンド投資法人
用途地域:近隣商業
用途地域:近隣商業地域
用途地域:工業
用途地域:工業専用
用途地域:工業地域
用途地域:市街化調整
用途地域:市街化調整区域
用途地域:指定なし
用途地域:指定無し
用途地域:準工業
用途地域:準住居
用途地域:準住居地域
用途地域:商業
用途地域:商業地域
用途地域:第2種住居
用途地域:第一種住居
用途地域:第一種住居専用
用途地域:第一種中高層
用途地域:第一種中高層住居専用
用途地域:第一種中層住居専用
用途地域:第一種低層住居専用
用途地域:第二種住居
用途地域:第二種中高層
用途地域:第二種中高層住居
用途地域:第二種中高層住居専用
用途地域:第二種中高層住宅専用
用途地域:第二種低層住居専用
用途地域:都市計画区域外
用途地域:非線引
用途地域:未指定
用途地域:無指定
建物用途:グループホーム
建物用途:スポーツセンター
建物用途:スポーツ施設
建物用途:ビジネスホテル
建物用途:ホテル
建物用途:荷捌所
建物用途:介護所
建物用途:会館
<= 0.001
<= 0.010
<= 0.050
<= 0.100
> 0.100
-0.02
-0.01
0.00
0.01
0.02
0.03


建物用途:寄宿舎
建物用途:機械室
建物用途:居宅
建物用途:共同住宅
建物用途:教習所
建物用途:銀行
建物用途:研究所
建物用途:研修所
建物用途:工場
建物用途:作業所
建物用途:事務所
建物用途:事務所等
建物用途:車庫
建物用途:集荷場
建物用途:集会場
建物用途:診療所
建物用途:倉庫
建物用途:体育館
建物用途:駐車場
建物用途:通信機器室
建物用途:通信局舎
建物用途:展示場
建物用途:店舗
建物用途:電話交換所
建物用途:百貨店
建物用途:物販店舗
建物用途:物流センター
建物用途:遊技場
建物用途:養護所
建物用途:旅館
建物用途:冷蔵庫
建物用途:冷蔵倉庫
建物用途:練習所
建物用途:練習場
建物用途:老人ホーム
建物用途:老人福祉施設
<= 0.001
<= 0.010
<= 0.050
<= 0.100
> 0.100
-0.03
-0.02
-0.01
0.00
0.01
0.02