慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	中古PC市場における価格構成要因分析
Sub Title	
Author	牧田, 滉平(Makita, Kōhei) 林, 高樹(Hayashi, Takaki)
Publisher	慶應義塾大学大学院経営管理研究科
Publication year	2019
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2019年度経営学 第3614号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40003001-00002019-3614

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

慶應義塾大学大学院経営管理研究科修士課程

学位論文（　2019 年度）

論文題名

中古 PC 市場における価格構成要因分析

指導教員	林高樹
副指導教員	市来嵜 治
副指導教員	木村 太一
副指導教員	

氏 名	牧田 滉平

論 文 要 旨

所属ゼミ	林　高樹 研究会	氏名	牧田　滉平

（論文題名）

中古 PC 市場における価格構成要因分析

（内容の要旨）

本研究の目的は、探索的に中古ＰＣ市場に関する定量的な知見を獲得することである。

今後中古 PC 市場は伸張していくことが予想され、一般社会における重要性も増していくと考えられる。学術的意義として、本研究はそのような市場の中で価格的構成要因を探る。

中古 PC の価格構成要因を販売店、購入者双方に示すことによって、中古 PC 市場の活性化を図ることが期待されることから、本研究の潜在的な意義は大きいと考えられる。

先行研究では、中古 PC に関する統計分析は、筆者の調べた限りでは存在していない。よって、中古 PC 市場に対する機械学習も含めた現代的な手法による実証分析は学術的意義があると考える。

価格構成要因は、ヘドニックアプローチを用いてを行った。具体的な分析手法としては、被説明変数を価格として、線形回帰分析、ランダムフォレスト回帰分析、階層ベイズ線形回帰分析を用いた。

分析データセットは、日本最大級のＢ２Ｃサイト X 社のサイトから中古ノート PC に関する商品データである。クレンジング、前処理等を行った結果、使用したデータは 1218 件となった。

分析結果は以下に要約される。

線形回帰分析を行った結果、中古ＰＣに対して購入者に明示されていないＣＰＵのスペックが正の影響を及ぼしていることが示され、市場の効率性が存在していることが示唆された。

ランダムフォレスト回帰分析を行った結果も同様にＣＰＵのベンチマークが価格に正の影響を与えることを推察できる結果となった。

さらに、企業の財務がブランド効果を通じ、中古パソコンの価格に影響を与えている可能性を調べるため、階層ベイズモデルによる分析を行った。今回のデータセットでは、ROA がブランド効果を通じて中古ＰＣの価格に影響を与えているという結果は得られなかった。一方、パソコンメーカー間にはブランド力に差のあることが示唆された。

目次

1.研究目的
1.1 中古市場および中古 PC 市場の重要性…… 1
1.2 中古 PC 市場の特殊性…… 3
1.3 学術的意義、社会的意義…… 3
2. 先行研究とそれに伴う本論文の位置づけ…… 4
3. 分析手法…… 7
4. 分析データセット
4.1 データ項目…… 9
4.2 要約統計量…… 10
5. 分析結果
5.1 線形回帰分析と結果…… 15
5.2 ランダムフォレスト回帰分析と結果…… 16
5.3 線形回帰分析とランダムフォレスト回帰分析の比較…… 19
5.4 ベイズ線形回帰分析とその結果…… 21
6. 結論…… 25
参考文献…… 26

1.研究目的

この章では、本研究を行うこととなった経緯と背景について述べた後、この研究に関する目的と意義について述べる。

1.1 中古市場および中古 PC 市場の重要性

現在、研究を取り巻く環境として中古市場および中古 PC 市場の重要性が増してきたと考えられる。

初めに中古 PC 市場についてみていく。環境省(2018)によると、2018 年度のリユースパソコン・周辺機器（タブレット含む）の市場規模の推定は 850 億円である。一般社団法人 情報機器リユース・リサイクル協会(2017)によると、一般社団法人リユース・リサイクル協会に加入している団体における出荷台数は 2015 年度が 270.0 万台、2016 年度が 220.2 万台であり、若干の減少傾向がみられる。しかし、図 1.1.1 によると、パソコンのリユース品の市場規模は、ブランド品、ブランド品を除く衣類・服飾品に次ぐ割合を占めており、注目度は高いと考えられる。

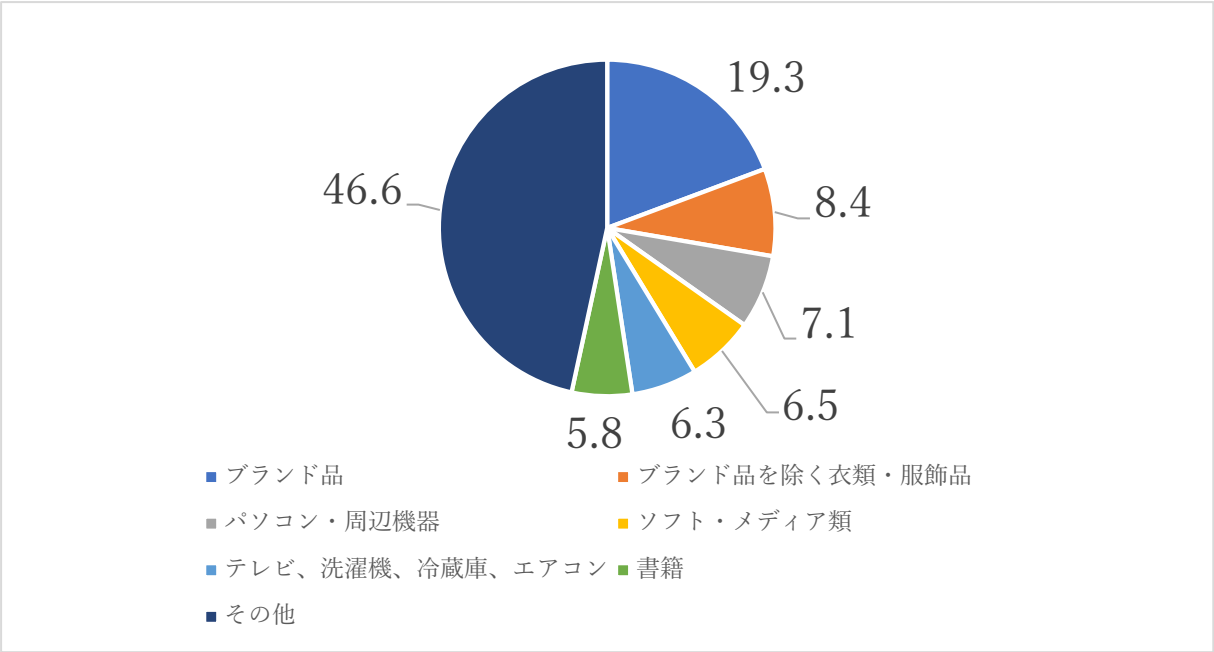


図 1.1.1　品目別リユース市場規模（自動車、バイクを除く）

（平成 30 年度リユース市場規模調査報告書より抜粋）

また、今後中古 PC 市場は伸びていくことが予想される。そのように推測する理由を下記に述べる。

日経 MJ(2019)によると、ソフマップが小学生のプログラミング必修化に合わせ、中古品の東芝製のノートパソコンを小学生に対して販売することを決定している。　2020 年に小学校教育でプログラミングが必修化することになり、パソコンの売上が伸びることが予想されるが、PC のスペックがその用途ではさほど必要がないため、中古品を買うユーザーが多いと考えられ、中古 PC 市場が伸びるということが予想される。

また、若年層においてリユース製品の購入頻度が増加している。日経速報ニュースアーカイブ(2017)によると、20 代は中古品の購入に抵抗が少なく、売買頻度とフリマアプリ利用が他世代より多い結果になった。今後もネットビジネス等の発展で中古品の売買の障壁が下がっていることにより、若年層での購入への抵抗は低く持続されると考えられる。中古品ビジネスが今後も伸張していくと考えられる。

1.2 中古 PC 市場の特殊性

上記のように、中古 PC 市場は重要だと考えられる一方で、特殊性についても述べていく。

中古 PC 市場は新品 PC 市場と比較すると、より多くの種類の PC が販売されている。新品 PC 市場においては、販売されている商品は最新のものに限定されている場合が多い一方で、中古 PC 市場においては様々なスペックの PC が販売されているためである。

楽天市場において、中古 PC と新品 PC について検索を行うと、新品 PC が 23,693 件であったのに対して、中古 PC は 33,376 件であった。このことからも、消費者にとってより選択肢が多く、より「複雑な」市場であるといえるかもしれない。

また、PC という財は、服や車と比較して、オプションが付属しているかどうかだけではなく、数値化されている情報が著しく多い。

例えば、メモリ、ストレージ容量、画面サイズ等多くの数値が存在し、それらの数値が乗算されたものが商品数となるため、消費者としては選択の幅が広いことが考えられる。PC の機能に関する数値情報の多さは、消費者をメーカー間の情報の種類の非対称性を軽減し、消費者の選択行動を助ける反面、消費者にかえって迷いや混乱を生じさせてしまっている可能性があるかもしれない。(例. Iyengar(2010))

以上のことから、中古 PC 市場を対象にした実証研究を行う意義は大きいと考えられる。

1.3 研究の目的と意義

本研究の目的は、探索的に中古ＰＣ市場に関する定量的な知見を獲得することである。

今後中古 PC 市場は伸張していくことが予想され、一般社会における重要性も増していくと考えられる。学術的意義として、本研究はそのような市場の中で価格的構成要因を探る。

中古 PC の価格構成要因を販売店、購入者双方に示すことによって、中古 PC 市場の活性化を図ることが期待されることから、実社会に対する潜在的な意義は大きいと考えられる。

２.先行研究と本論文の位置づけ

この章では、本研究に関連する先行研究をサーベイすることによって、本研究の位置づけを示す。

まず、国内、海外双方において、中古 PC に関する価格構成要因分析について過去に行われた例は筆者の調べた限りでは存在しない。

一方で、中古 PC 以外の価格構成要因分析については、国内の自動車市場やスマートフォン市場を中心に研究が多くみられる。

田中、富田、後藤(2008)では、軽自動車の中古車市場を対象とし、中古車から得られているベネフィットと割安感、割高感の関係性を明らかにしている。分析方法として、数量化三類と回帰分析を用いている。結果としては、価格プレミアムに影響を与えている要因として「感情」を取り上げている。なお、新車市場における重回帰分析のR^2は 0.971 と高いが、価格に与える要因は６割程度とのことである。

榎本(2018)は、ヘドニックアプローチを用いて中古スマートフォンに対して価格構成要因分析を行っている。回帰モデルの比較として、事業者の買取価格モデルと消費者の売却価格モデル、および消費者の購入価格モデルと事業者の販売価格モデルを比較している。結果として、ネットワーク利用制限や SIM ロックについて、消費者と事業者に乖離があるということを示唆している。

越川(2018)は中古車に対して価格構成要因分析を行っている。中古車の価格を新車の価格と比較して何パーセント維持しているかを価格維持率として算出し、それを被説明変数として用いている。結果として、価格維持率に対して最も影響力のある説明変数が年式と走行距離であり、輸入車が国産車と比べて価格維持率が下落することが示唆されている

徐（2019）は中古衣料に関して価格構成要因分析を行っている。中古衣料の価格を新品の衣料と比較して何パーセント維持しているかを価格維持率として算出し、それを被説明変数として用いている。階層ベイズモデルを用いることで、衣料メーカーのブランド力の評価を求めている。

ノートパソコンに関する実証研究も存在する。前田、長岡(2013)では、ヘドニックアプローチを用いることで、ノートパソコンの技術進歩とその源泉について分析をしている。ノートパソコンを種類ごとに分け、その種類ごとに技術進歩の方向性が異なってきていたということを示している。

次に、中古 PC 市場における消費者行動、企業戦略の分析についてみていく。

中古 PC に関する研究については、リユース、リサイクルの方法論に対する研究が見受けられる。

田崎、寺園、森口(2004)では、家電製品等の廃棄行動実態とその行動要因を保有状況と廃棄状況の両面から明らかにしている。方法としては、1500 世帯を対象にアンケート調査を行っている。家電製品と違い、パソコンについてはリユース行動が 60 パーセントと高く、特徴的な結果

となっている。また、パソコンは使用継続の意思決定には新製品の買い替えが大きくかかわっているという結果になっている。この論文は 2004 年のものであるが、近年も同じ傾向がみられる。

環境省(2015)によると、エアコン、テレビ、洗濯機、冷蔵庫のリユースショップとインターネットオークション・フリマアプリを通じてリユースが行われる製品の割合が 23.6 パーセントであるのに対して、パソコンでは、ユースショップとインターネットオークション・フリマアプリ、コミュニティでのリユースが行われる製品の割合が 56.7 パーセントとなっており、リユースの割合が高いこと示されている。

また、企業戦略の面からの、パソコンの価格に関する研究を取り上げる。

事例分析としては、上田(1998)があげられる。バブル経済前まで、価格戦略には重点がおかれなかったが、その後は価格戦略にも重点が置かれ始めた。その一例としてパソコン市場のことを取り上げている。パソコン業界は価格を下げてシェア拡大を目指そうとした結果、利益なき競争につながったと書かれてある。また、パソコンは品質の評価が容易で陳腐化しやすいため、激しい価格競争が行われ、価格引き上げのために新製品を投入することになっている、と指摘している。

表 2.1 が先行研究をまとめたものである。

表 2.1　国内の先行研究マップ

	価格構成要因分析（統計的手法）	消費者行動、企業戦略の分析など（事例ベース）
PC以外の中古市場	中古車（田中,富田,後藤(2008)） 中古スマートフォン（榎本(2017)） 中古車(越川(2019)) 中古衣料（徐(2019)）	家電製品・パソコンの廃棄行動実態と行動要因（田崎,寺園,森口(2004)）
PC市場	ノートパソコン（前田,長岡(2013)）	日本企業の価格戦略傾向（上田(1998)）
中古PC市場		家電製品・パソコンの廃棄行動実態と行動要因（田崎,寺園,森口(2004)）

表 2.1 を見てみると、パソコンに関する事例分析やリユースやリサイクルに対する方法論に関する研究はあるものの、中古パソコンの価格に関して統計的に分析した研究は見受けられなかった。

また、海外の先行研究を見ると、新品 PC の価格構成要因分析において、 Moch (2001)や Berndt・Rappaport(2001)があるが、中古 PC 市場における価格構成要因分析は見受けられない。

すなわち、中古ＰＣ市場に対する価格構成要因を分析する研究は新規性があり、学術的意義があると考えられる。

3.分析手法

分析は、ヘドニックアプローチを用いて行うことにする。

ヘドニックアプローチとは、商品を情報の束だと考え、それを構成要因に分解することによって、それぞれの構成要因がどのように商品について影響を与えているかを分析する手法である。

具体的には、以下の数式で表される。

$$\text{商品の価格} = \alpha + \sum_{i=1}^{n} \text{係数 i} \times \text{商品特性 i}$$

ヘドニックアプローチの理論的基礎として、Rosen(1974)によって説明されている。

Rosen によると、ヘドニック価格は属性で示唆された価格で定義され、差別化された製品とそれらに関連したの観察された価格から明らかになる。属性を持った財の均衡化状態の価格は需要サイド、供給サイド双方の効用関数を最大化するため、商品の価格が各属性の束となって表れる。

本研究に用いる具体的な定量分析の手法としては、線形回帰分析、ランダムフォレスト回帰分析、階層ベイズ線形回帰分析の三手法を用いることとする。この章では、線形回帰分析と、ランダムフォレスト回帰分析について述べ、階層ベイズ線形回帰分析については後述する。

まず、線形回帰分析について説明を述べる。線形回帰分析とは、被説明変数を説明変数を用いて数式で表現する手法である。

一般的に線形回帰分析は以下の式になる。

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 \cdots + b_k X_k$$

ここで、Y は被説明変数、b_0は切片項であり、X は説明変数となる。また、k の値は説明変数の個数となる。

被説明変数を説明変数と用いて近似することによって、係数b_iを算出する。(i=1,2,⋯,k)この計算により、どのような説明変数が被説明変数に対してどれほど影響を与えているかを推測する。

次にランダムフォレスト回帰分析について説明を述べる。ランダムフォレスト回帰分析とは、複数の決定木を作成し、その多数決を用いることで、予測の精度を上げる回帰方法である。

ランダムフォレスト回帰分析では主にハイパーパラメータとして、作成する決定木の数と、一つ一つの決定木を作成する際にランダムに用いられる特徴量の数を用いる。

4．分析データセット

この章では、本研究で用いることになる分析データについての項目と概要について説明する。本研究に用いるデータはＢ２Ｃサイト X 社のサイトに体裁されている中古ノート PC を対象として取得した。このサイトでは複数の業者が中古ノート PC を出品している X 社は国内最大手の通販サイトの一つであり、そこで販売されている中古ノート PC は十分に数が多く、日本市場について理解する目的に照らして十分一般性があると考えられる。本研究で収集したデータは未約定の価格であるが、当該 X 社のサイトには、複数の業者が商品を出品していることから、特定の業者による寡占の状態になく、業者間の競争による効率性が働いていると考えられる。そのため、市場において取引が正常に行われることで、一社が独占的に定めた価格ではなく、約定価格かつ市場の均衡に近い価格として値付けされていると考えられる。

本研究ではスクレイピングツールである Octoparse によってスクレイピングを行い、データを収集した。収集した日時としては 2019 年 7 月であり、取得した生データは 4546 件となった。

欠損値の取り扱いについては、欠損値の補完に平均値や中央値を代入することによる恣意性を回避するため、データ項目の一部にでも欠損値のあるデータはすべて削除した。処理を行った結果、使用データは 1218 件となった。

前処理・クレンジングについて一部見ていく。CPU は Core i7-8700 や Core i5-6600K 等固有名詞であり、加工せずに用いるとカテゴリー変数となる。しかし、CPU はベンチマークとして数値に変換可能である。IT 分野におけるベンチマークとは、Tableau(2020)によると、動作速度や性能を比較するときの基準を指す。

CPU のスペックは購入者には明示されていない。そこで、ネット上の各サイトでは、PASSMARK SOFTWARE の PerformanceTEST 等のツールを利用することによって、ベンチマークを算出している。今回の研究では、PerformanceTest の結果を利用している「パソコンの選び方と買い方」から一部データを引用し、CPU のスペックを数値化した。

4.1　データ項目

本研究では、価格を被説明変数とし、８つの説明変数を設定した。
表 4.1.1 は各データ項目、データ区分、具体例の説明となっている。

表 4.1.1　各データの説明

データ項目	データ区分	具体例
価格	連続値	20000円,23000円
メーカー	離散値（８種類）	TOSHIBA,FUJITSU, DELL,LENOVO,HP, SONY, PANASONIC,NEC
メモリ	連続値	4,8
ストレージの種類	離散値（２種類）	SSD,HDD
ストレージ容量	連続値	128,256
画面サイズ	連続値	13.3,15.6
ドライバーの種類	離散値（３種類）	DVD,BD,なし
CPUのスペック	連続値	4427,4119
Officeの有無	離散値（３種類）	WPS Office,Microsoft Office,なし

以下で、分析データの詳細を見ていく。

4.2　要約統計量

以下に一部の説明変数に関する要約を示す。

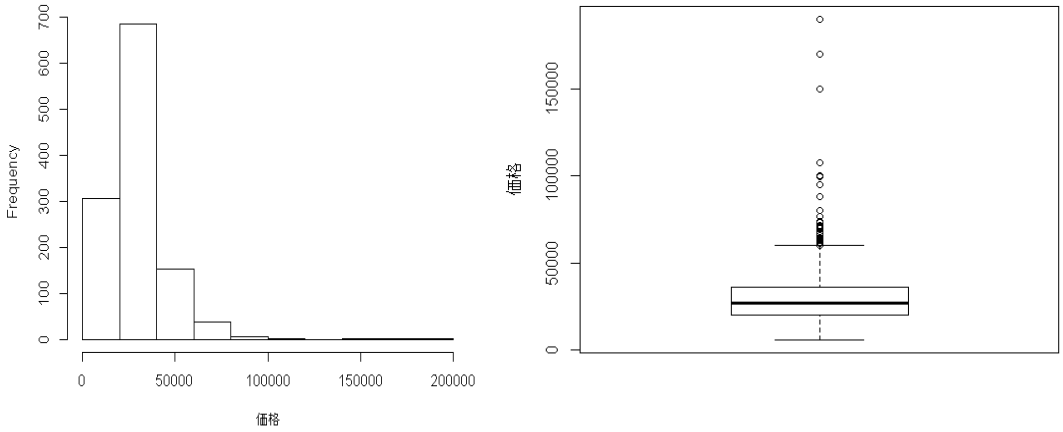


図 4.2.1 と 4.2.2　価格の分布

図 4.2.1 と 4.2.2 は中古 PC の価格に関するグラフである。それぞれを見てみると、大半の商品が 40000 円以内に収まっている一方で、著しく高い値段をつけている PC も一部見られる。価格 com(2020)によると、新品ＰＣでは人気があるのが 6~8 万円以下のＰＣである。その一方で、中古ＰＣではその値段帯よりも低い価格が望まれていることが見て取れる。ほとんどの購入者にとって中古 PC は Web ブラウザの巡回等スペックが高くなくても利用できるような用途で利用している一方、ごく一部のユーザーは高機能なパソコンを求めていることが推察される。

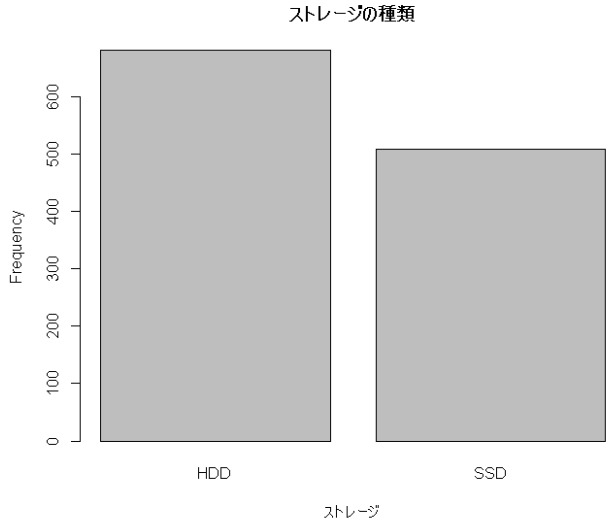


図 4.2.3　ストレージの種類の分布

図 4.2.3 はストレージの種類について示したものである。中古製品であり、古い製品が多い中で、現状は SSD を搭載したモデルよりも HDD を搭載したモデルの方が多く売られているということがわかる。この理由として SSD より HDD の方が価格が安くなっているため、中古ノートＰＣ購入者にはＨＤＤ搭載モデルが好まれている可能性が考えられる。

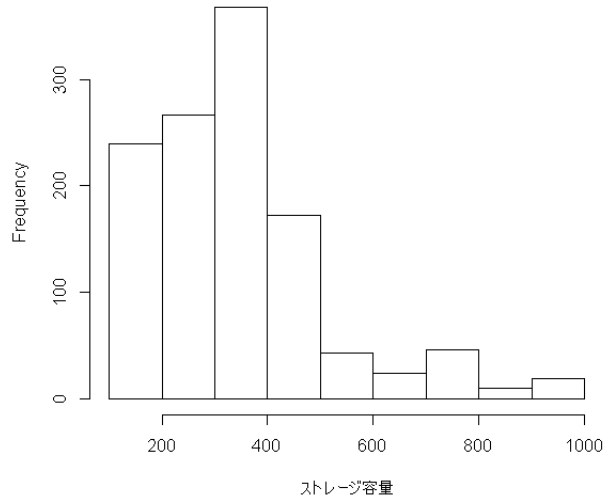


図 4.2.4　ストレージ容量の分布

図 4.2.4 はストレージ容量のグラフである。400 ギガ以下に一番大きな山が存在する。中古ノート PC では、スペックを必要としない作業をしている購入者が多いことが考えられ、

大容量を必要とされていないことが見て取れる。

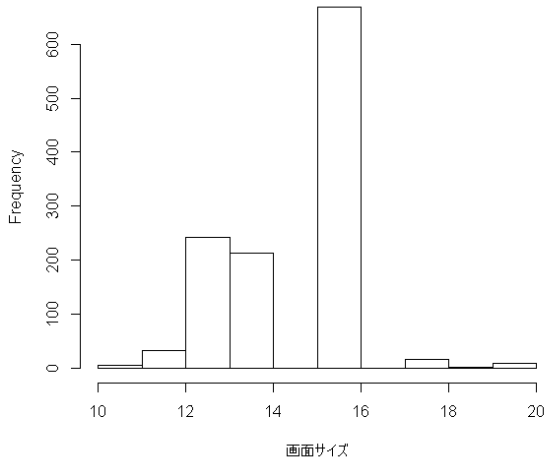


図 4.2.5　画面サイズの分布

図 4.2.5 は画面サイズの分布を表したものである。15.6 インチの時点に山があることが見て取れる。現行のノート PC のサイズとしてはこのサイズが大きいことが予想される。一方で、１４インチ未満のノート PC も多く見受けられる。中古ノートＰＣを購入する人間は、持ち運びを行うことを重視していることが想定される。

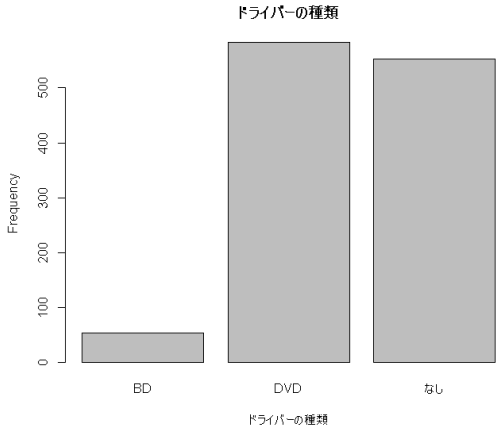


図 4.2.6　ドライバーの種類の分布

図 4.2.6 によると、中古ノート PC については BD レコーダーがついている PC はほとんど存在しない。また、DVD レコーダーがついている商品とついていない商品は同じくらいの種類があるということがわかる。中古ＰＣには、古い商品が多いため、ＢＤではなくＤＶＤドライバーが付属している商品が多いことがうかがえる。

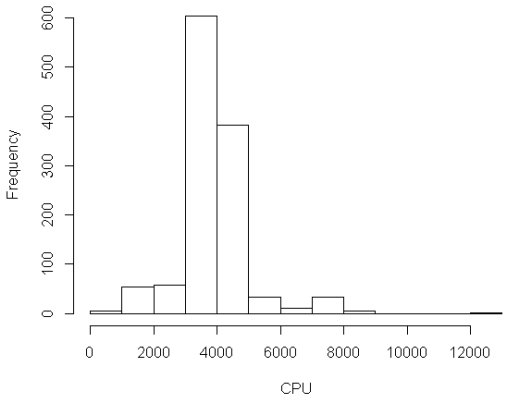


図 4.2.7　CPU のスペックの分布

図 4.2.7 は CPU のスペックの分布を表したものである。CPU のスペックは 4000 周辺に固まっていることが図表から判断できる。最新の Corei5 のベンチマークが約 10000 であることから見ると、中古ＰＣ購入者はかなり低い性能でも購入するユーザーであることが推察される。一方で、著しくスペックの高い PC が売られていることも見て取れる。

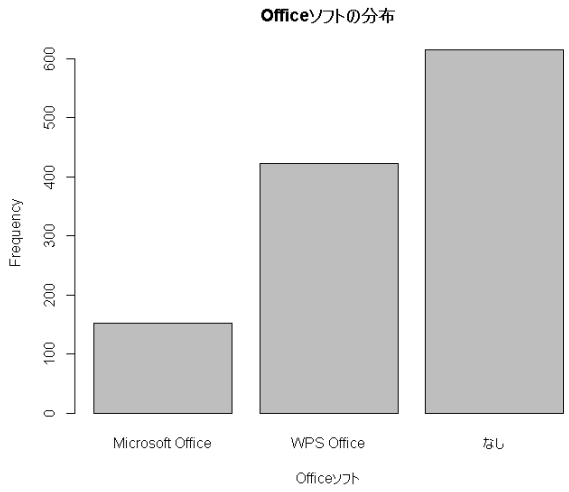


図 4.2.8　Office ソフトの付属の分布

図 4.2.8 は Office ソフトの付属の分布を表したものである。図 4.2.8 によると、Microsoft Office の互換品である WPS Office が多くの中古ノート PC に付属していることがわかる。これは中古ノート PC 市場の特徴であると考えられる。比較するのは難しいが、WPS Office Gold Edition の価格は 8,180 円に対して、Microsoft Office Home & Business 2019 の値段は 38,284 円であり、WPS office の方が Microsoft Office よりも安くなっている。WPS Office は Microsoft Office よりも値段が安く、中古ノート PC 購入者は中古ノート P C に対して値段の安さを求めていることが推察される。

5．分析結果

この章では、各々の分析結果を見ていく。

5.1　線形回帰分析と結果

5.1 章では、 3 章で説明をした線形回帰分析を行う。

この 5.1 章で行われる線形回帰分析に関して、被説明変数は価格を用いた。説明変数は、メーカー、メモリー、ストレージの種類、ストレージ容量、画面サイズ、ドライバーの種類、CPU のスペック、Office ソフトの種類となる。

CPU は図表 4.2.7 を見てみると、ほかの説明変数と比べて数値の平均が大きい（平均 3922)。CPU のスペックについて平均 0、分散 1 に標準化を行った。

線形回帰分析の結果は以下のようになった。

表 5.1.1 線形回帰分析の結果

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)	
切片	7385.198	3964.543	1.863	0.062739	.
FUJITSU	-3097.42	1381.28	-2.242	0.02512	*
HP	-1028.24	1390.324	-0.74	0.459709	
LENOVO	1987.256	1753.383	1.133	0.257285	
NEC	-5748.07	1473.808	-3.9	0.000102	***
PANASONIC	1886.397	1543.77	1.222	0.221976	
SONY	983.262	1880.742	0.523	0.601209	
TOSHIBA	-6030.87	1322.339	-4.561	5.63E-06	***
メモリー	541.579	98.515	5.497	4.73E-08	***
画面サイズ	971.66	273.197	3.557	0.000391	***
BDドライバー	-6503.72	1742.847	-3.732	0.000199	***
DVDドライバー	-4798.66	759.444	-6.319	3.74E-10	***
CPU	5757.704	347.943	16.548	< 2e-16	***
Microsoft Office	14325.06	1018.216	14.069	< 2e-16	***
WPS Office	7683.122	709.841	10.824	< 2e-16	***
HDD:ストレージ容量	9.736	1.901	5.122	3.54E-07	***
SSD:ストレージ容量	31.791	2.55	12.467	< 2e-16	***

```
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

カテゴリー変数の基準値として、メーカーは DELL,ドライバーの種類はなし、Office ソフトの付属はなし、となっている。

いくつかの説明変数の P 値が 0.05 以下となり有意という結果となった。

特徴的なのは DVD ドライバーの有無である。DVD ドライバーが付属している製品は 6503.72 円値段が安くなっている。これは、DVD ドライバーのついている商品が重く、持ち運びを目的としている消費者が選択していることが考えられる。

Office ソフトの有無は購入者に影響を与えていることがわかる。Microsoft Office が付属している場合、中古 PC の値段が 14325.06 円上昇する一方、WPS Office が付属している場合、7683.122 円上昇する。中古 PC に対して Microsoft Office 互換ソフトの WPS Office を付属するという戦略は成功しているといえよう。

また、CPU の p 値は 0.05 以下であり、有意であるということが示された。標準化した CPU のベンチマークの数値が 1 上昇すると、中古 PC の値段が 5757.704 円上昇する。中古 PC の価格と CPU の性能には因果関係があるということが推察される。中古 PC 市場において、パソコンが CPU のベンチマークをもとに価格が定められていることが見て取れる。

5.2　ランダムフォレスト回帰分析と結果

5.2 章では、3 章で説明を行ったランダムフォレスト回帰分析を行う。

初めに、一つの決定木を作成する際に用いられるランダムに用いられる特徴量の数を推定する。

図 5.2.1 と図 5.2.2 はチューニング結果とエルボープロットである。

```
mtry = 2  OOB error = 91772598
Searching left ...
mtry = 1        OOB error = 125468399
-0.3671663 0.05
Searching right ...
mtry = 4        OOB error = 83309337
0.09221992 0.05
mtry = 8        OOB error = 79305014
0.04806572 0.05

Call:
 randomForest(x = x, y = y, mtry = res[which.min(res[, 2]), 1])
               Type of random forest: regression
                     Number of trees: 500
No. of variables tried at each split: 8

          Mean of squared residuals: 77471103
                    % Var explained: 67.61
```

図 5.2.1　ランダムフォレスト回帰分析におけるチューニングの結果

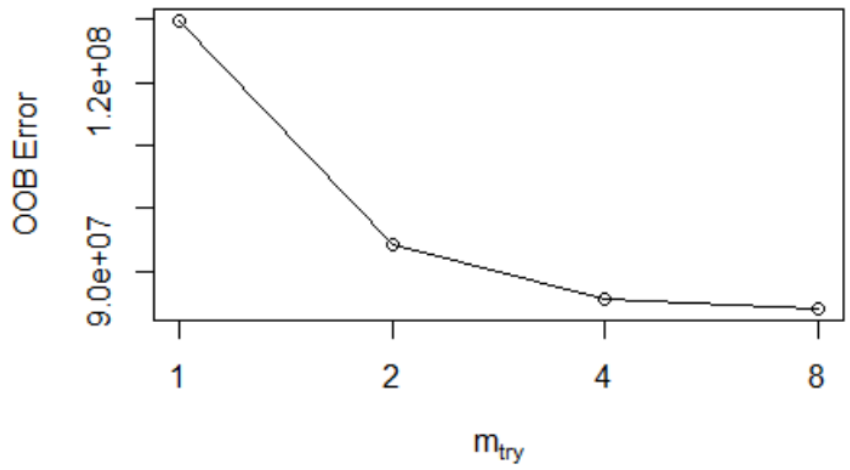


図 5.2.2　作成される決定木の特徴量に関するエルボープロット

上記のエルボープロットの結果から、一つ一つの決定木特徴量の数 mtry はすべての変数を使用した場合に最も OOB Error が低いことが示されている(mtry=8)。これを用いてランダムフォレスト回帰分析を行う。

図 5.2.3 はランダムフォレスト回帰分析を行った結果であり、図 5.2.4 はランダムフォレスト回帰分析を行った際の誤差と決定木の関係図である。

```
Call:
 randomForest(formula = price ~ ., data = df, m.try = 8)
               Type of random forest: regression
                     Number of trees: 500
No. of variables tried at each split: 2

          Mean of squared residuals: 88163222
                    % Var explained: 63.14
```

図 5.2.3　ランダムフォレスト回帰分析の結果

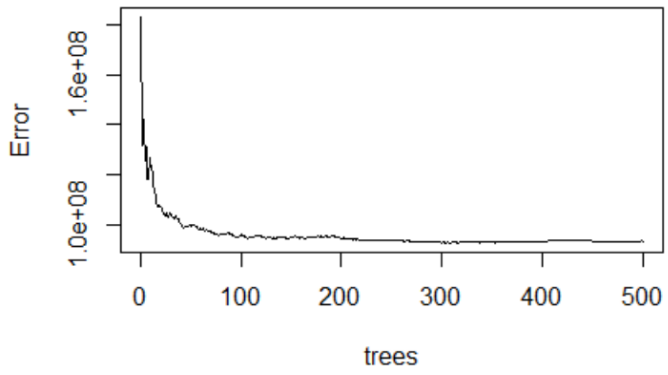


図 5.2.4　ランダムフォレスト回帰分析を行った際の誤差と決定木の関係図

図 5.2.4 を見ると、決定木の数が 100 を超えると誤差の改善が頭打ちとなり、300 を超えると改善が見られないことが分かる。現状の決定木の数である 500 以上を増やす意義は見当たらないと考えられる。

ランダムフォレスト回帰分析を行った際、変数重要度という指標を用いることによって、どのような説明変数がどれほど実際の説明に寄与したかを判断することが可能になる。図 5.2.5 は重要度と説明変数の関係を現したグラフとなっている。

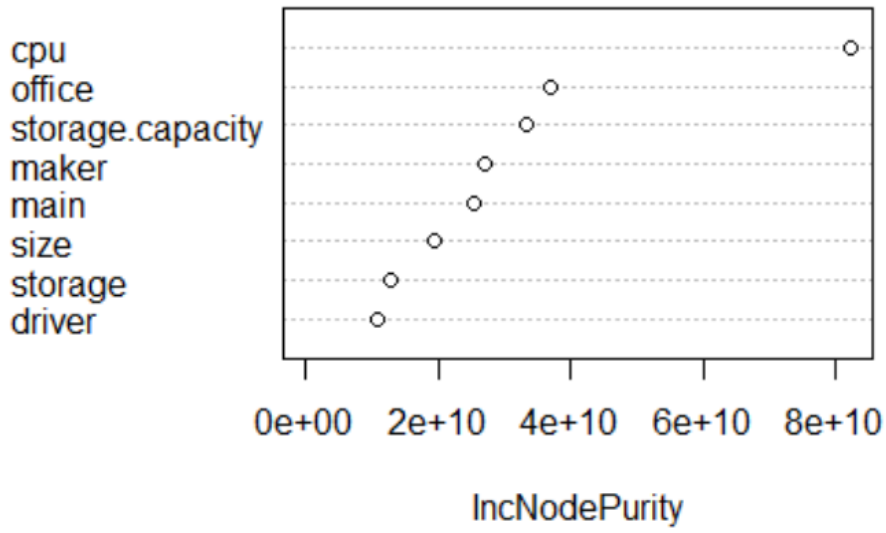


図 5.2.5　ランダムフォレスト回帰分析における重要度と説明変数の関係

図 5.2.5 を見ると、CPU のスペックが決定に一番影響を与えていることが見て取れる。ランダムフォレスト回帰の分析においても、購入者は実際の CPU のスペックを理解したうえで判断しているということが推察される。

5.3 線形回帰分析とランダムフォレスト回帰分析の比較

この節では、線形回帰分析の結果とランダムフォレスト回帰分析の結果の比較を行う。

まず、無作為抽出で訓練データを 8 割、テストデータを 2 割に分けた。その後、訓練データに対して、線形回帰、ランダムフォレスト回帰を行い、その結果をテストデータに用いて価格の予想を行った。

どれほど予測値と真の値が近いかを確かめるために RMSE を用いて、モデルの比較を行う。RMSE は、以下の数式で表される。

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_{obs,i}-y_{pred,i})^2}{n}}$$

ここで、$y_{obs,i}$=テストデータ内の i 番目商品の実際の価格、$y_{pred,i}$ =同じく i 番目商品のモデルによる予測価格、n=データ数である。RMSE が小さいほど、真の値と予測値のギャップが少ないこととされる。

線形回帰分析とランダムフォレスト回帰分析の RMSE の結果は表 5.3.1 となった。線形回帰分析よりもランダムフォレスト回帰分析の方が RMSE が低く、予測力が高いということが見て取れる。

表 5.3.1　線形回帰分析とランダムフォレスト回帰分析の RMSE

	RMSE
線形回帰	10768.32
ランダムフォレスト回帰	8663.08

また、図 5.3.1 と図 5.3.2 は、線形回帰の予測値と真の値の比較、およびランダムフォレスト回帰の予測値と真の値の比較となる。図 5.3.1、図 5.3.2 いずれも破線が真の値であり、通常線が予測値となっている。

図 5.3.1 と図 5.3.2 を比較すると、線形回帰と比較して、ランダムフォレスト回帰の方が当てはまりがよく、真の値と予測値のずれが少ない、ということが見て取れる。なお、いずれの手法においても、低価格帯、高価格帯における価格の乖離が相対的に大きく、改善の余地のあることが分かる。

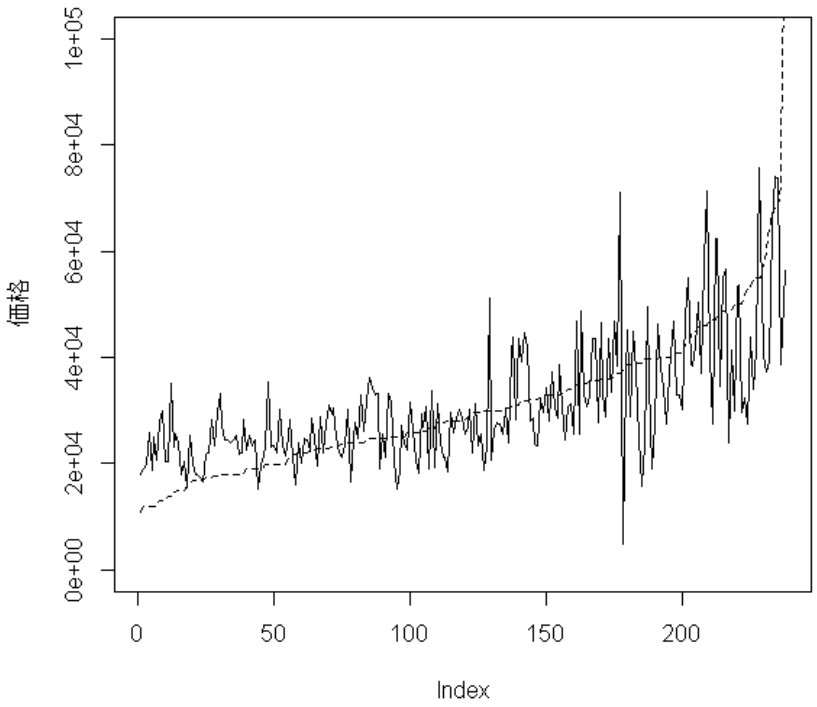


表 5.3.1 線形回帰分析分析の予測値と真の値の比較

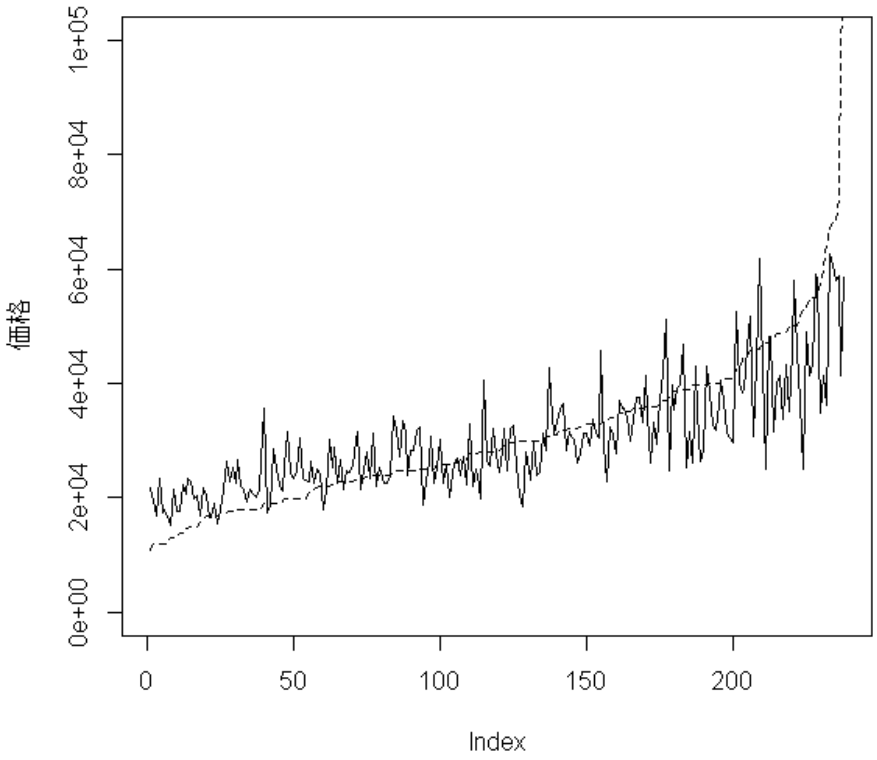


表 5.3.2 ランダムフォレスト回帰分析の予測値と真の値の比較

5.4　ベイズ線形回帰分析とその結果

次に、階層ベイズモデルにより、線形回帰モデルの改善を図った。まず、ベイズ統計について説明する。ベイズ統計とは、ベイズ推定を用いた統計手法である。ベイズの定理は以下の数式で表される。

$$P(H/D) = \frac{P(D/H)P(H)}{P(D)}$$

ここで、P(H/D)は事後分布、P(D/H)は尤度、P(H)は事前分布、P(D)は周辺尤度となる。

事前分布とはデータが得られる前に想定される分布である。事後分布とは、データが得られた後に想定される分布である。尤度とは、ある仮定の下での確率である。周辺尤度とは、データが得られる平均的な確率のことである。一般的に、事後確率を解析的に計算することは困難である。そこで、ＭＣＭＣ（マルコフ連鎖モンテカルロ法）を用いて事後分布に比例する P(D/H)P(H)から乱数を発生させることにより、近似的に計算を行う。

本研究では、階層ベイズ線形回帰分析を用いることとする。階層ベイズ線形回帰モデルは、説明変数だけでは説明がつかないようなグループ差や個人差をベイズモデルとして扱う際に用いられる。これにより現実に沿ったモデルを構築することが可能となる。

また、階層ベイズモデルを用いない場合、各個人や各グループに関するデータが少量となってしまい適切なモデル推定ができない恐れがあるが、階層ベイズモデルであれば、そのような状況への対応が可能である。

本研究では、説明変数であるメーカーに対してより上位の階層構造を想定する。

ここで、上位階層に導入する新たな説明変数として ROS（総資産営業利益率)、ＲＯＡ（売上営業利益率）を考えることとする。ROS は通常、総資産経常利益率を用いられる。以下の先行研究により、本研究では ROS を総資産営業利益率として用いることとする。

ところで、ブランド効果が高いほど価格に対して正の影響があると考えられる。経済産業省企業法制研究会(2002)によると、ブランド効果について、34.8%の企業が他社の製品等に比べて高い価格で販売できると考えており、ブランド効果が高いほど価格プレミアムが付くと多くの企業が考えていることが見て取れる。福田(2013)によると、ブランド効果は ROS、ROA で表される企業業績と正の相関があると述べている。すなわち、中古商品であっても価格に対してブランド効果を通じ、ROS、ROA が影響を与えている可能性がある。

今、ROS と ROA の相関係数を計算すると、約 0.6 であり、多重共線性といえるほどではないが、相関がかなり高い。そこで、説明変数として、企業の業績評価において一般的に用いられる ROA のみをモデルに追加して用いることとする。

ここでは、日本メーカーに限定することとし、DELL、HP、LENOVO は分析対象から外

した。日本と海外の決算処理方法には差異があるため、ROA の指標の算出方法も異なってくると考えられるからである。データは 829 件である。

被説明変数を価格、説明変数をメモリ、画面サイズ、BD ドライバーの有無、DVD ドライバーの有無、CPU、Microsoft Office の有無、WPS Office の有無、ストレージ容量と HDD の交互作用、ストレージ容量と SSD の交互作用、ROS、ROA とした。

モデル式としては以下のようになる。ここで、ストレージ容量:HDD とストレージ容量:SSD はストレージ容量とストレージの種類の交互作用を示している。

$$Y_i \sim normal(\mu_i,\ \sigma_1)$$

$$i = 1,2\cdots,n$$

$$\mu_i = b1+b2*X_{memory,i}+b3*X_{size,i}+\ \gamma_{,drive_{k[i]}}+b5*X_{cpu,i}+\theta_{office_{l[i]}}$$

$$+b7*\delta_{storage_{m[i]}};X_{storage_capacity,i}+\eta_{maker_{j[i]}}$$

$$i = 1,\cdots,n$$

$$k=1,\ \cdots,K$$

$$l = 1,\cdots,L$$

$$m=1,\cdots,M$$

$$j = 1,\ \cdots,J$$

$$\eta_{maker_{j[i]}}\ \sim normal(\mu_j,\ \sigma_2)$$

$$j = 1,\ \cdots,J$$

$$\mu_j = c1+c2*X_{ROA,j}$$

$$j = 1,\ \cdots,J$$

ここで、n は製品の数(n=829)を表し、i は製品のインデックスを示している。K はドライブの種類（K=3)、k はそのインデックスである。L は Office の種類(L=3)を示し、l はそのインデックスである。M はストレージの種類(M=2)を表し、m はそのインデックスであ

る。J はメーカー数(J=5)を示し、j はそのインデックスである。。ROA によってメーカーが表され、それが価格の説明変数となっているという階層モデルを作成した。

結果は表 5.3.1 のようになった。

表 5.3.1　階層ベイズ線形回帰分析の結果

	推測値	-95%	95%		推測値	-95%	95%
切片b1	20317.16	14160.38	25804.78	Microsoft Office	11473.75	9203.75	13875.28
メモリ	471.68	267.13	684.02	WPS Office	7459.28	6037.11	8947.64
画面サイズ	-398.49	-814.6	66.08	HDD:ストレージ容量	12.87	8.97	17.04
DVDドライバー	-1659.16	-3172.81	-128.32	SSD:ストレージ容量	41.34	35.17	47.45
BDドライバー	-744.45	-4449.26	2549.25	切片c1	58.68	-714.68	873.04
CPU	3277.87	2577.81	4018.79	ROA	120.59	-74.67	312.92

ROA の項目を見てみると、95%区間は 0 を含んでいる。ROA が企業のブランド効果を通じ、価格に影響を与えている可能性については今回階層ベイズ線形回帰モデルを通じては推察することができなかった。

次に、「ブランド力」について可視化を行う。徐(2019)は、各ブランドの「ブランド力」を把握するため、縦軸に各ブランドの事後平均、横軸に各ブランドの事後標準偏差をとった散布図を提案している。図 5.3.2 はその研究に基づき、グラフを作成したものである。

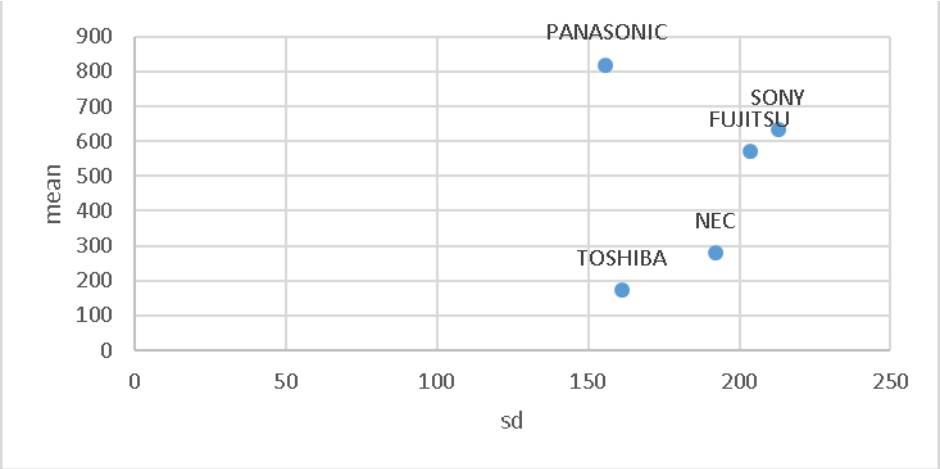


図 5.3.1 各ブランドの平均値と標準偏差

図 5.3.1 は、平均（縦軸）が大きいほど、標準偏差（横軸）が小さいほど望ましい。すなわち、徐（2019）に従えば、原点と各点を結ぶ直接の傾きが高いほど、そのメーカーの「ブランド力」が高いと言える。

図 5.3.1 を見ると、PANASONIC の標準偏差の小ささが特徴的である。これは PANASONIC が販売しているレッツノートシリーズが品質の信頼が高いためだと考えられる。PANASONIC というパラメータにレッツノートの頑丈性、耐久性が含まれているものの、PANASONIC のブランド力が今回のテストデータでは一番高いことがうかがえる。また、SONY と FUJITSU は、NEC と TOSHIBA と比較して、平均価格が高く、かつブランド力も高いということが推察される。

6. 結論と今後の展望

本研究の目的は、統計的手法を用いることにより、探索的に中古ＰＣ市場に関する定量的な知見を獲得することであった。

本研究では、ヘドニックアプローチの枠組みの中で、線形回帰分析、ランダムフォレスト回帰分析、階層ベイズ線形回帰分析を用いて分析を行った。

線形回帰分析、ランダムフォレスト回帰分析を用いて分析を行った結果、ＣＰＵのベンチマークを明示されていないのにもかかわらず消費者はそれを理解しているということが推察された。また、ランダムフォレスト回帰分析を用いた場合、線形回帰分析と比較して約20%の予測精度の改善が見られた。

階層ベイズ線形回帰分析では、ROA がブランド効果を通じて価格に影響を与えるのではないかという予想は今回のデータセットから確認することはできなかった。また、各メーカーのブランド力の評価に関しては、PANASONIC はデータセットに含まれるメーカーの中では事後平均が最も高い一方で、事後標準偏差が最も低くなり、ブランド力が最も高いことが示唆された。

本研究で、中古ＰＣ市場に関する価格構成要因について見てきた。本研究についてはいくつかの課題が残っている。

第一にこの研究では、特定の期間、特定の販売サイトのデータセットのみを利用して研究を行っている。本研究においては日本で最大級の販売サイトを用いているものの、本研究の結果が直ちに一般化可能であるかという点については疑問が残る。

第二に、ネットの BtoC での販売のみに着目しており、CtoC や実店舗での販売については分析していない。実際にはネットとリアルの相互作用も考えられることから、リアル店舗のデータも合わせた分析の余地があると考えられる。

第三に、分析に使用したデータの特徴量に関しての制約がある。キーボードの質や、マザーボードの質、中古品の品質、日時データや保証等を説明変数として織り込むことができなかった。これらを織り込むことができると、今後より正確な分析ができることが期待される。

第四に、階層ベイズ線形回帰モデルにおいて、ブランド力を説明するための指標に改善の余地がある。本研究ではメーカーに対する上位階層の回帰モデルの説明変数として ROA を用いたが、例えば、メーカーの公式ツイッターやインスタグラムのフォロワー数等が考えられる。

研究の限界については、未約定の価格を用いていることが挙げられる。多数の業者が参入している B2C サイトであり、約定かつ市場の均衡に近い価格であると仮定を置いたが、入手可能であれば約定価格を用いた方がより精緻なモデルを作成できることが推察される。

以上、課題と限界を抱えつつも、国内 PC 市場における価格高清要因分析を行った。今後、本研究をベースにさらなる学術研究が進展することが期待される。

参考文献

平成 30 年度リユース市場規模調査報告書」80p, 環境省, 2019 年
https://www.env.go.jp/recycle/H30_reuse_research.pdf(最終閲覧日:2020/2/3).
一般社団法人 情報機器リユース・リサイクル協会,「 報道発表」, 2017 年,
http://www.ritea.or.jp/pdf/171130.pdf(最終閲覧日:2020/2/3).
日経ＭＪ, 「プログラム教材・ＰＣセット販売、ソフマップ、小学生の必修化で。」, 2019/04/19, 4p
日経速報ニュースアーカイブ, 「楽天リサーチ、『中古品（リユース品）の売買に関する調査』結果を発表」, 2017/08/24.
楽天市場
https://search.rakuten.co.jp/search/mall/%E3%83%91%E3%82%BD%E3%82%B3%E3%83%B3/565162/?used=0(最終閲覧日：2020 年 1 月 16 日) .
シーナ・アイエンガー(2010) ,櫻井裕子訳, 「選択の科学」, 原題:"The Art of Choosing", 文藝春秋.
田中慶二・富田大介・後藤正幸(2008), 「中古車の価格モデルとユーザベネフィット分析に関する一考察」, 武蔵工業　環境情報学部 情報メディアセンタージャーナル 2008.4 第 9 号.
榎本慧太・林高樹(2018), 「中古スマートフォンの価格形成要因分析」、経営情報学会 2018 年度春季全国研究発表大会要旨集, 1P-2-4.
越川翼(2018), 「中古自動車の価格要因分析」, 慶應義塾大学大学院経営管理研究科修士課程学位論文, 39p.
徐思捷・林高樹(2019), 「BtoC 中古服市場における価格要因構成要素分析」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2019 年春季研究発表会アブストラクト集., pp.109-112.
前田高宏・長岡貞男(2013), 「ノートパソコンの技術進歩とその源泉：価格比較サイトデータに基づくヘドニック法による分析」, 一橋大学イノベーション研究センター, pp.35-36.
田崎智宏・寺園淳・森口祐一(2004), 「長期使用とリユース促進のための家電製品・パソコンの廃棄行動実態とその行動要因の調査」, 廃棄物学会論文誌, Vo1.15, No.4, pp.310-319.
上田隆穂(1998), 「日本企業の価格戦略傾向」, 『学習院大学　経済論集』第 35 巻　第 1 号, pp.53-75.
太田誠(1978), 「ヘドニック•アプローチの理論的基礎,方法および日本の乗用車価格への応用」, 季刊理論経済学 29 巻 1 号, pp.76-81.
Dietmar Moch(2001), " Price Indices for Information and Communication Technology Industries - an Application to the German Pc Market", ZEW Discussion Paper No. 01-20, pp18-19.
Ernst R. Berndt・Neal J. Rappaport, "Price and Quality of Desktop and Mobile Personal Computers: A Quarter-Century Historical Overview", AMERICAN ECONOMIC REVIEW VOL. 91, NO. 2, MAY 2001, pp. 268-273.
廣野桂子(1995), 「ヘドニヅク価格指数の理論的基礎」、城西大学大学院研究年報(11), pp .29-40.
Rosen, S(1974), *"Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition"* Journal of Political Economy, Vol. 82, No. 1, pp. 34-55.
Tableau, 「ベンチマークとは？経営における使い方や KPI との違いを解説」,
https://www.tableau.com/ja-jp/learn/articles/what-is-benchmark（最終閲覧日:2020/2/13）.
PASSMARK SOFTWARE, PerformanceTEST ,
https://www.passmark.com/products/performancetest/l(最終閲覧日:2020/2/3).
パソコンの選び方と買い方, インテル社のモバイルパソコン向け CPU,
https://pcinformation.info/cpu/comparison-intel-mobile.html（最終閲覧日：2020/1/29）.
KINGSOGT オンラインショップ, Windows 向け Office,
https://pay.kingsoft.jp/shopping/products/list.php?category_id=4 (最終閲覧日:2020/1/29).
Microsoft, Office 365 で Office を最大限に活用する,
https://products.office.com/ja-jp/compare-all-microsoft-office-products?tab=1)(最終閲覧日:2020/1/29).

平井有三(2012),「はじめてのパターン認識」, 森北出版株式会社, pp.194-197.
馬場真哉(2019),「実践 Data Science シリーズ　R と Stan ではじめる　ベイズ統計モデリングによるデータ分析入門」, 講談社.
松浦健太郎(2016),「Wonderful R 2 Stan と R でベイズ統計モデリング」, 共立出版.
福田正彦(2014),「ブランド効果と企業業績に関する実証研究」, 年報 経営分析研究第 30 号, pp.42-48.

謝辞

本論文は筆者が慶應義塾大学経営管理研究科に在籍中の研究成果をまとめたものである。本研究では同研究科教授林高樹教授に指導教授として本研究の実施を支えていただき、また、データ分析の基礎、ならびにその実践に至るまで数々のご指導をいただいた。ここに深謝の意を表する。副査である同研究科市来嵜治専任講師および同研究科木村太一専任講師には多くの助言をいただき、本論文の細部に至るまで指導していただいた。ここに感謝の意を表する。