

慶應義塾大学大学院商学研究科 2016 年度学事振興資金成果論集

『世界および地域のビジネス・商業』

直接効用モデルを利用した パッケージサイズ選択行動の分析

河 塚 悠

<要 約>

本研究の目的は、同一製品におけるパッケージの違いが消費者のパッケージサイズ選択、購買数量の決定に及ぼす影響を明らかにすることである。本研究では、同一ブランドの同一製品であるが異なるパッケージの製品に対して、消費者がどのようなコストを知覚するのか、知覚したコストとその度合がパッケージから得られる効用をどのように変化させるのか、さらにこれらが消費者のパッケージサイズ選択、購買数量の決定にどのような影響を与えているのかを検討し、モデル化を行った。構築したモデルは、直接効用関数を階層ベイズモデルの枠組みでモデル化したものであり、その推定にはマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いた。推定の結果、パッケージの違いは、消費者がパッケージから知覚するコストを変化させ、そのユニットコストの知覚度合を通して、選択するパッケージサイズとその購買数量に影響を及ぼしていることが明らかになった。さらに、同じパッケージであっても、消費者の特性によって知覚コストが及ぼす影響が異なるため、消費者間で選択するパッケージサイズと購買数量が異なることが示された。

<キーワード>

購買数量選択、直接効用関数、パッケージサイズ、パッケージタイプ、飽和、階層ベイズ

1. 本研究の目的

多くの消費財市場のブランドは、多様な消費者のニーズに応えるための製品戦略の 1 つとして、発売時に同一製品を異なる容量や形状の製品パッケージ(以下、パッケージ)で提供している (Cohen, 2008)。また、これらの製品はしばしば異なるユニットプライスで販売されている。例えば、茶系飲料水で、2L のペットボトルと 500ml のペットボトルでは、前者の方がユニットプライスが低く設定されている場合があり、このようなユニットプライスの設定は「容量割引 (quality discount)」と呼ばれている (Gu and Yang, 2010)。一般的に考えると、1 回の購買時に 2L の飲料水を購入するのであれば、この容量割引を活用して、2L のペットボトルを 1 本購入する方が 500ml を 4 本購入するよりもお得になる。しかし、現実の消費者の購買行動では、消費者は必ずしも容量割引されているパッケージの製品を選択しているわけではない。2L のペットボトルを 1 本購入する消費者もいれば、500ml のペットボトルを 4 本購入する消費者も存在する。では、

なぜ消費者によって選択するパッケージサイズとその購買数量が異なってくるのだろうか。

本研究では、消費者が継続的に消費する製品に対するパッケージサイズ選択とその購買数量の意思決定メカニズムを、直接効用関数を用いてモデル化を行う。具体的に、同一ブランドの同一製品であるがサイズやタイプの異なるパッケージに対して、消費者はどのような要因を考慮し、1回の購買機会で購入するパッケージサイズと数量を決定しているのか、また消費者によって購買数量の意思決定がどのように異なるのかを明らかにする。そこで、まず本稿の第2章で、パッケージサイズ選択に関連する先行研究を概観する。第3章では、先行研究をもとに、パッケージサイズ選択と購買数量の意思決定メカニズムをモデル化し、その推定方法を示す。そして、第4章ではモデル推定のために実施した実験室実験の内容を説明し、第5章では分析結果および推定結果に言及する。第6章で本研究の結論を述べる。

2. 先行研究

本章では、消費者の購買時におけるパッケージサイズ選択と購買数量に関する先行研究の中から、それらに影響を及ぼす要因に関して言及したものを取り上げる。

(1) 製品価値

まず、パッケージサイズ選択と購買数量に影響を及ぼす要因として議論されているものは、製品そのものから得られる価値、「製品価値」である。

洗剤やビール、紙タオルのようなパッケージ製品は、しばしば同じ製品でも様々なサイズで提供されている。そして、大きなサイズは小さなサイズよりも低いユニットプライスで販売されている。このような非線形的な価格設定は価格差別化の手段としてみなされており（Gu and Yang, 2010; Cohen, 2008）、その価格差別化の度合は、小さなサイズのパッケージと大きなサイズのパッケージのユニットマークアップの違いと捉えられている（Gu and Yang, 2010）。

一般的に考えれば、大きなサイズのユニットプライスが小さなサイズよりも低い場合、消費者は大きなサイズのパッケージを購入する。なぜなら、大きなサイズを購入することで、1単位（ml や g）当たりの価格で測定された「製品価値」を、支払い可能な金額の中で最大化させることができるためである。このようにユニットプライスによって測定された「製品価値」に着目すると、小さなサイズのパッケージよりも大きなサイズのパッケージが選択される。しかし、ユニットプライスで測定された「製品価値」に依拠したパッケージサイズ選択の考え方は、現実の消費者のパッケージサイズ選択とはやや乖離している（Gu and Yang, 2010）。例えば、消費者は1単位当たりの価格を比較するより、むしろ選択肢間の容量の増分と価格の増分を計算し比較したり、製品属性を比較し

たりすることで製品価値を決めている場合が多い。

(2) パッケージの利便性、知覚ユニットコスト

次に、パッケージサイズ選択と購買数量に影響を及ぼす要因として議論されているものが、パッケージの「利便性」およびパッケージから知覚した「ユニットコスト」である (Granger and Billson, 1972)。ユニットコストとは、パッケージ 1 単位当たりから消費者が知覚するコストのことを指している。パッケージサイズ選択と購買数量決定時には、製品価値以外にこれらも考慮されている。

Granger and Billson (1972) は、実証実験を行い、製品のユニットプライスが明示されている状況下でのパッケージサイズと消費者の選好の関係性を明らかにしている。この実験では、被験者に対して、飲料水のパッケージサイズを選択する際に、パッケージの利便性と製品価値とどちらを重視しているか、両方重視している場合にはよりどちらを重視しているかを尋ねている。その結果、199 名の被験者のうち、106 名 (全体の 53%) がパッケージの利便性あるいは製品価値のどちらか一方を重視していると回答し、そのうち 66 名 (62%) がパッケージの利便性だけを、40 名 (38%) が製品価値だけを重視していると回答した。そして、両方重視すると回答した 93 名 (全体の 47%) のうち、47 名 (51%) がパッケージの利便性を、46 名 (49%) が製品価値をより重視すると回答した。この結果から、消費者の中には製品価値以外にもパッケージの利便性を考慮してパッケージサイズの選択を行っている消費者も存在すること、また、その割合が製品価値のみを考慮する消費者よりも多いことがわかる。さらに、この研究では、パッケージの利便性には「取り扱いやすさ (ease of handling)」「保管スペース (shelf space in kitchen)」「買い物頻度 (frequency of purchase)」と関連があることを明らかにしている。これらの利便性の評価は、ガラス瓶と缶のようなパッケージタイプによって異なり、缶はガラス瓶よりもパッケージの廃棄、保管、安全性 (破損しにくい) が高く評価されている。この結果から、パッケージの利便性はパッケージタイプによって評価されていることがわかる。

それでは、パッケージの利便性はパッケージの購買数量にどのように影響を及ぼしているのだろうか。Gerstner and Hess (1987) は、パッケージの利便性ではなく、パッケージから知覚したユニットコストという視点で、消費者の「製品の消費率 (consumption rates)」、知覚した「欠品コスト (shortage costs)」「取引コスト (transaction costs : costs of making trips to the store)」とパッケージサイズ選択に関連があるという指摘を行い、これらが製品への支払い意思に影響を及ぼすことを数式的にモデル化している。このモデルにおける「製品の消費率」は、ユニットプライスで計算された「製品価値」と関連しており、一方、「欠品コスト」と「取引コスト」は、「パッケージの利便性」と関連している。この「取引コスト」は、先に言及した Granger and Billson (1972) で利便性として挙げられていた「買い物頻度」と同義として取り扱われている。この研究では、パッ

ケーシングされている製品容量，つまりパッケージサイズの大きさから評価した「欠品コスト」「取引コスト」をモデルに組み込んでいる。モデル推定の結果，パッケージサイズの選択が消費者個人の製品の消費率と欠品コスト，取引コストの知覚に依存することが明らかになり，これらの知覚の依存度は消費者の特性によって異なり，さらにその依存度の違いにより，小さなパッケージサイズが効用の高い製品とみなされたり，大きなパッケージサイズが効用の低い製品とみなされたりすることを明らかにしている。この研究成果から，パッケージサイズによってパッケージのユニットコストは評価され，その評価がパッケージサイズ選択に影響を及ぼしていることがわかる。そして，ユニットコストへの影響は消費者の特性によって異なることが示されている。

この他にも，Cohen (2008) は「保管コスト (inventory costs)」「取引コスト (transaction costs)」「再補充コスト (restocking costs)」の知覚がパッケージサイズ的意思決定に影響を及ぼしていると指摘している。また，Koenigsberg, Kohli, and Montoya (2007) は，製品に対して取引コストを小さく知覚している消費者は大きなパッケージサイズよりも小さなパッケージサイズを好むことを，さらに Gupta, Prakhya, and Rakshit (2014) は，大きなパッケージサイズに対して保管コストを大きく評価する消費者は小さなパッケージサイズを好むことを指摘している。

これらの先行研究が示しているように，消費者のパッケージサイズの選択は，製品価値だけでなく，彼らがパッケージサイズやパッケージタイプから知覚したパッケージの利便性あるいはユニットコストに依存している。つまり，消費者は製品価値およびパッケージの利便性やユニットコストを考慮しながら最適なパッケージサイズと購買数量を決定していると言える。

(3) 予算制約

先に言及したように，Gerstner and Hess (1987) は，消費者の「製品の消費率 (consumption rates)」，知覚した「保管コスト (shortage costs)」「取引コスト (transaction costs : costs of making trips to the store)」が製品への支払い意思に影響を及ぼすことを示唆している。しかし，製品に対して効用を高く評価し，支払い意思があっても，その製品価格や製品購入に予想される支出が，消費者の収入や消費者の支払い可能な範囲を超えてしまう場合には，消費者はその製品を購入することはできない。したがって，消費者の購買数量の決定は，必ず消費者の予算制約の範囲内で行われる。そのため，支払い可能な金額の中で，製品価値やパッケージの利便性，ユニットコストを考慮し，得られる効用が最大となるパッケージサイズとその数量を選択している。したがって，パッケージサイズ選択に影響を及ぼす要因として消費者の予算制約が指摘されている。

Koenigsberg et al. (2007) と Prahalad (2005) は，予算制約とパッケージサイズの選択，購買数量の決定との関係性に着目し，BOP (Bottom of Pyramid) 市場における小さなパッケージサイズの有効性を指摘している。小さなパッケージサイズが購入されるケ

ースが2つ存在する (Koenigsberg et al., 2007)。1つは、売り手と買い手との間にある取引コストが小さい場合、つまり消費者が小さなサイズのパッケージに対しても取引コストをあまり知覚していない場合である。そして、もう1つは消費者に予算制約がある場合である。BOP市場の多くの消費者は、賃金が日払いで、得られる収入も不確実である場合が多い。そのため、今ある収入を控えめに使わなくてはならず、その日に必要な量だけ購入する傾向がある。このような消費者が重要視していることは、「製品の品質や効能を損なうことなく手頃な価格で製品を入手することができる (Prahalad, 2005)」ということである。現在の市場に出回っている小さなサイズのパッケージの多くは、大きなサイズのパッケージよりもユニットプライスは高いが、彼らのような予算制約のある消費者にとっては、小さなサイズのパッケージは自身のニーズに合った量を自主選択することが可能であり、大きなサイズのパッケージよりも製品から得られる効用を大きく評価する。したがって、BOP市場ではシャンプー、ケチャップ、紅茶やコーヒー、アスピリンなど、様々な製品が手頃な価格帯で入手可能な“使い切りパック”，つまり小さなサイズのパッケージで販売されている。このような指摘から、消費者は予算の範囲内で製品価値やパッケージのユニットコストから評価した製品効用を最大化する最適なパッケージ選択と購買数量の意思決定を行っていることがわかる。

(4) 製品の品質劣化

今まで挙げた先行研究では、消費者はユニットプライスで測定された製品価値だけでなく、製品を消費する過程や製品保管におけるパッケージの利便性もしくはパッケージから知覚したユニットコストも、購買時のパッケージサイズ選択、購買数量の決定に影響を及ぼしていることが指摘されている。それに加えて、「製品自体に知覚するコスト」も購買数量に影響を及ぼしているという指摘がある (Iranmanesh, Jayaraman, and Ismail, 2014)。

Iranmanesh et al. (2014) は、鮮度の低下や品質の劣化のリスクが高い傷みの早い製品が、消費者の来店頻度を高めることを指摘している。製品が生鮮食品でないものや貯蔵できるものである場合には、一度にたくさんのユニット数を購入することが可能であるが、生鮮食品の場合は鮮度の低下や品質の劣化のリスクを伴うため、消費者は一度に複数個を購入することを避ける。このような数量選択行動は、上述した先行研究の議論を踏まえると、消費者が製品の品質劣化に対して知覚するコストが製品の取引コストを上回ったことによる行動であると考えられる。

このような行動は、生鮮食品に限らず、パッケージングされた加工食品においてもみられる。シリアルや野菜ジュース、ワインのような加工食品であっても、パッケージを開封後の鮮度の維持が困難な製品が存在する。このような時間の経過とともに鮮度の低下や品質の劣化する製品は、パッケージの購入数量が少なくなるだけでなく、選択するパッケージサイズも小さくなる。

しかし、今日では、パッケージング技術が向上し、鮮度や品質を維持するパッケージが開発されている。その例として、チャック付きの袋に入ったシリアルや、キャップ付きの紙パックに入ったジュースや牛乳がある。このようなパッケージは、鮮度の低下や品質の劣化のリスクが危惧されるさまざまな製品カテゴリーで、従来のパッケージと置き換えたり、多様な消費者のニーズに応えるための製品戦略の 1 つとして、従来のパッケージに加えるという形で採用されたりしている。これによって、消費者は品質劣化を気にすることなく、パッケージサイズを選択したり、購買数量を決定したりすることができるようになっている。このような背景から、鮮度の低下や品質が劣化しやすい製品に対する消費者のパッケージサイズ選択と購買数量の決定の仕方は、“小さなサイズのパッケージで購買する”，“1 回の購買機会に購買する数量を減らす”という従来の決定方略とは、異なる様相を呈している可能性がある。

(5) 本研究の位置づけ

これらの先行研究の議論をもとに、本研究では直接効用関数（Hasegawa, Terui, and Allenby, 2012）を用いて、消費者が同一製品であるが異なるパッケージが存在する状況下で、予算制約のもと効用を最大にするようなパッケージサイズとその数量を決定する（Koenigsberg et al., 2007; Prahalad, 2005）という意思決定モデルを構築する。モデルには、消費者がパッケージから知覚したユニットコストによって、各パッケージ 1 単位から得られる効用が異なるという構造を、また同じパッケージであっても購買数量の増加に伴いユニットコストによって製品 1 単位当たりから得られる効用が飽和する（Gerstner and Hess, 1987; Koenigsberg et al., 2007; Cohen, 2008; Iranmanesh et al., 2014; Gupta et al., 2014）という構造を、さらにユニットコストが及ぼす影響は消費者の特性によって異なる（Granger and Billson, 1972）とした構造を組み込む。

3. 提案モデル

第 2 章で言及した先行研究の議論をもとに、同一ブランドの同一製品であるがサイズやタイプが異なるパッケージの製品に対して、消費者がそれぞれのパッケージに対してどのようなユニットコストを知覚し、知覚したコストがパッケージの購買数量の増加に伴い、パッケージ 1 単位当たりから得られる効用をどのように変化させるのかを、直接効用関数を用いてモデル化する。さらに、消費者の異質性とパッケージサイズ選択、購買数量の決定との関係を階層的にモデルに組み込む。

(1) 直接効用関数

本研究では、ある購買機会における消費者 h の直接効用（ U ）を、同一ブランド同一製品でパッケージサイズの異なる製品 j ($j=1, \dots, J$) から得られる効用の和（第 1 項目）と、

その他の製品カテゴリーやブランド、つまりアウトサイドグッズから得られる効用（第2項目）の和で表す（式(1)）。

$$U(x_h, z_h) = \sum_{j=1}^J \frac{\psi_{hj}}{\gamma_{hj}} \ln(\gamma_{hj} x_{hj} + 1) + \ln(z_h) \quad (1)$$

$x_h = (x_{h1}, \dots, x_{hj})'$ は消費者 h の各製品の購買数量が格納されたベクトル、 z_h はアウトサイドグッズの購買量を表している。 ψ_{hj} と γ_{hj} ($j=1, \dots, J$) は 0 より大きな値を取ることが制約づけられたパラメータである ($\psi_{hj} > 0$, $\gamma_{hj} > 0$)。式(1)の両辺を購買数量 x_{hj} で微分すると、消費者 h における製品 j の限界効用を導出することができる。

$$\frac{\partial U(x_h, z_h)}{\partial x_{hj}} = \frac{\psi_{hj}}{\gamma_{hj} x_{hj} + 1}$$

ψ_{hj} は消費者 h の製品 j の購買数量 $x_{hj} = 0$ の時の製品 j の限界効用、つまりベースライン効用を表しており、 γ_{hj} は購買数量の増加に伴い製品 1 単位から得られる効用を逓減させる度合、つまり飽和パラメータを表している。本研究では、Kim et al. (2002), Satomura et al. (2011), Hasegawa et al. (2012) に倣い、制約のない ψ_{hj}^* と独立な誤差 ε_{hj} からなる、 $\psi_{hj} = \exp(\psi_{hj}^* + \varepsilon_{hj})$ を仮定した確率モデルを用いる。また、式(2)の下で式(1)を最大化することによって尤度関数を導出する。

$$p_h' x_h + z_h = E_h \quad (2)$$

p_h は消費者 h における価格のベクトル、 E_h はこの購買機会における消費者 h の予算を表している。 z_h の単位価格は 1 である。

(2) 尤度関数の導出

尤度関数は、ラグランジュ関数 Q

$$Q = U(x_h, z_h) - \lambda(p_h' x_h + z_h - E_h)$$

の予算制約付き効用最大化であるクーンタッカー条件から導出することができる。ラグランジュ関数 Q における λ はラグランジュ未定乗数である。

$$\frac{\partial Q}{\partial x_{hj}} = \frac{\psi_{hj}}{\gamma_{hj}x_{hj} + 1} - \lambda p_{hj} = 0 \quad \text{if } x_{hj} > 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x_{hj}} = \frac{\psi_{hj}}{\gamma_{hj}x_{hj} + 1} - \lambda p_{hj} < 0 \quad \text{if } x_{hj} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial z_h} = \frac{1}{z_h} - \lambda = 0 \quad \text{always } z_h > 0 \quad (5)$$

式(5)より

$$\lambda = \frac{1}{z_h} = \frac{1}{E_h - p'_h x_h}$$

となり，これを式(3)と式(4)に代入することで，購買数量 x_{hj} と誤差 ε_{hj} との関係を表すことができる。

$$\varepsilon_{hj} = -\psi_{hj}^* + \ln(\gamma_{hj}x_{hj} + 1) + \ln\left(\frac{p_{hj}}{E_h - p'_h x_h}\right) \quad \text{if } x_{hj} > 0$$

$$\varepsilon_{hj} < -\psi_{hj}^* + \ln(\gamma_{hj}x_{hj} + 1) + \ln\left(\frac{p_{hj}}{E_h - p'_h x_h}\right) \quad \text{if } x_{hj} = 0$$

$\mathcal{G}_{hj} = -\psi_{hj}^* + \ln(\gamma_{hj}x_{hj} + 1) + \ln\left(\frac{p_{hj}}{E_h - p'_h x_h}\right)$ と置くと，尤度関数は

$$L = \phi(\mathcal{G}_{h1}, \dots, \mathcal{G}_{h n_1}) |J| \times \int_{-\infty}^{\mathcal{G}_{h n_1+1}} \dots \int_{-\infty}^{\mathcal{G}_{hj}} \phi(\varepsilon_{h n_1+1}, \dots, \varepsilon_{hm}) d\varepsilon_{h n_1+1}, \dots d\varepsilon_{hm} \quad (6)$$

と定義される。 $|J|$ は，誤差 ε_{hj} を購買数量 x_{hj} に変数を変換するためのヤコビ行列であり (Bhat, 2005; Hasegawa et al., 2012)，

$$\begin{aligned}
|J| &= \det \left[\frac{\partial \mathcal{G}_{n_1}}{\partial x'_{n_1}} \right] \\
&= \det \begin{bmatrix} \frac{\gamma_{h1}}{\gamma_{h1}x_{h1}+1} + \frac{p_{h1}}{E_h - p'_h x_h}, & \frac{p_{h2}}{E_h - p'_h x_h}, & \dots & \frac{p_{hn_1}}{E_h - p'_h x_h} \\ \frac{p_{h1}}{E_h - p'_h x_h}, & \frac{\gamma_{h2}}{\gamma_{h2}x_{h2}+1} + \frac{p_{h2}}{E_h - p'_h x_h}, & \dots & \frac{p_{hn_1}}{E_h - p'_h x_h} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{p_{h1}}{E_h - p'_h x_h}, & \frac{p_{h2}}{E_h - p'_h x_h}, & \dots & \frac{\gamma_{hn_1}}{\gamma_{hn_1}x_{hn_1}+1} + \frac{p_{hn_1}}{E_h - p'_h x_h} \end{bmatrix} \\
&= \left(\prod_{k=1}^{n_1} \frac{\gamma_{hk}}{\gamma_{hk}x_{hk}+1} \right) \left(\sum_{k=1}^{n_1} \frac{\gamma_{hk}x_{hk}+1}{\gamma_{hk}} \cdot \frac{p_{hk}}{E_h - p'_h x_h} + 1 \right)
\end{aligned}$$

である (Satomura et al., 2011)。また, $\phi(\mathcal{G}_{hj})$ は誤差 ε_{hj} が従う分布の確率密度関数である。 $\Phi(\mathcal{G}_{hl})$ をその分布の累積密度関数とする。誤差 ε_{hj} は独立なので,

$$x_{hk} > 0 \quad k = 1, \dots, n_1 \quad : \quad \phi(\mathcal{G}_{h1}, \dots, \mathcal{G}_{hn_1})|J| = |J| \left\{ \prod_{k=1}^{n_1} \phi(\mathcal{G}_{hk}) \right\}$$

$$x_{hl} = 0 \quad l = n_1 + 1, \dots, J \quad : \quad \int_{-\infty}^{\mathcal{G}_{hn_1+1}} \dots \int_{-\infty}^{\mathcal{G}_{hJ}} \phi(\varepsilon_{hn_1+1}, \dots, \varepsilon_{hm}) d\varepsilon_{hn_1+1}, \dots, d\varepsilon_{hm} = \prod_{l=n_1+1}^J \Phi(\mathcal{G}_{hl})$$

と書き直すことができる。したがって式(6)は

$$L = \left\{ \prod_{k=1}^{n_1} \frac{\gamma_{hk}}{\gamma_{hk}x_{hk}+1} \right\} \left\{ \sum_{k=1}^{n_1} \frac{\gamma_{hk}x_{hk}+1}{\gamma_{hk}} \cdot \frac{p_{hk}}{E_h - p'_h x_h} + 1 \right\} \left\{ \prod_{k=1}^{n_1} \phi(\mathcal{G}_{hk}) \right\} \left\{ \prod_{l=n_1+1}^J \Phi(\mathcal{G}_{hl}) \right\} \quad (7)$$

となる。誤差 ε_{hj} は位置パラメータ $\mu = 0$, 尺度パラメータ $\theta = 1$ のガンベル分布に従うと仮定すると, 式(7)における 3 項目, 4 項目は,

$$\prod_{k=1}^{n_1} \phi(\mathcal{G}_k) = \prod_{k=1}^{n_1} e^{\psi_{kh}^* - \ln(\gamma_{kh}x_{kh}+1) - \ln\left(\frac{p_{hk}}{E_h - p'_h x_h}\right)} \quad (8)$$

$$\prod_{l=n_1+1}^J \phi(g_l) = e^{-\sum_{l=n_1+1}^J e^{\left[\psi_{lh}^* - \ln(\gamma_{lh} x_{lh} + 1) - \ln\left(\frac{p_{lk}}{E_h - p_h' x_h}\right) \right]}} \quad (9)$$

と書き直すことができる。式(7)に式(8), 式(9)を代入すると, 最終的に尤度関数は,

$$L = \left\{ \prod_{k=1}^{n_1} \frac{\gamma_{hk}}{\gamma_{hk} x_{hk} + 1} \right\} \left\{ \sum_{k=1}^{n_1} \frac{\gamma_{hk} x_{hk} + 1}{\gamma_{hk}} \cdot \frac{p_{hk}}{E_h - p_h' x_h} + 1 \right\} \\ \left\{ \prod_{k=1}^{n_1} e^{\psi_{kh}^* - \ln(\gamma_{kh} x_{kh} + 1) - \ln\left(\frac{p_{hk}}{E_h - p_h' x_h}\right)} \right\} \left\{ e^{-\sum_{l=n_1+1}^J e^{\left[\psi_{lh}^* - \ln(\gamma_{lh} x_{lh} + 1) - \ln\left(\frac{p_{lk}}{E_h - p_h' x_h}\right) \right]}} \right\} \quad (10)$$

となる。

(3) パラメータの定義

先に述べたように, ψ_{hj} は消費者 h における製品 j のベースライン効用, γ_{hj} は購買数量の増加に伴って製品1単位から得られる効用を逓減させる飽和パラメータで, それぞれ $\psi_{hj} > 0$, $\gamma_{hj} > 0$ の制約がついているため,

$$\psi_{hj} = \exp(\psi_{hj}^* + \varepsilon_{hj})$$

$$\gamma_{hj} = \exp(\gamma_{hj}^*)$$

とする。本研究では, 同一ブランド同一製品であるが異なるパッケージで提供された製品を研究対象としているため, 製品 j のベースライン効用 (ψ_{hj}^*) は提供されている製品 j の製品特性 a_{jm} ($m=1, \dots, M$) に対する選好と関連していると考え, また飽和パラメータ (γ_{hj}^*) はパッケージから知覚したユニットコスト c_{jn} ($n=1, \dots, N$) と関連しているとする。

$$\psi_{hj}^* = \beta_{0h} + \sum_{m=1}^M \beta_{hjm} a_{jm} \quad (11)$$

$$\gamma_{hj}^* = \omega_{0h} + \sum_{n=1}^N \omega_{hjn} c_{jn} \quad (12)$$

式(11)の β_{0h} は切片項, β_{hjm} は製品 j の m 番目の製品特性に対する消費者 h の選好度合を表すパラメータである。同様に式(12)の ω_{0h} は切片項, ω_{hjn} は消費者 h における製品 j の n 種類目のユニットコストに関する知覚度合を表すパラメータである。

(4) 消費者の異質性

Granger and Billson (1972) が指摘しているように, パッケージサイズ選択は, 消費者特性に依存し, 小さなパッケージサイズでも効用の高い製品とみなされたり, 大きなパッケージサイズでも効用の低い製品とみなされたりする。つまり, 同じパッケージであっても製品 1 単位当たりから得られる効用は消費者の特性によって異なる。そこで, ψ_{hj}^* と γ_{hj}^* は消費者特性 s_h によって異なるとする (式(13))。

$$\theta_h = \Delta' s_h + \eta_h \quad (13)$$

$$\eta_h \sim MVN(0, V_\theta)$$

式(13)は多変量回帰モデルで, θ_h は $\theta_h = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m, \omega_0, \omega_1, \dots, \omega_n)'$ の $M + N$ 個の変数からなる, このモデルにおける消費者 h のパラメータのベクトルである。 s_h は消費者 h の S 個の変数からなる特性ベクトルで, Δ は S 行 $M + N$ 列の消費者 h の特性パラメータの行列である。 η_{hj} は誤差項で平均 0, 分散共分散 V_θ である多変量正規分布に従う。この回帰モデルは,

$$\theta_h \sim MVN(\Delta' s_h, V_\theta)$$

と書くことができ, θ_h の事前分布が平均 $\Delta' s_h$, 分散共分散行列 V_θ の多変量正規分布であると考えることができる。また, Δ の事前分布は多変量正規分布, V_θ の事前分布は逆ウィッシュャート分布である。

$$vec(\Delta) | V_\theta \sim MVN(vec(\bar{\Delta}), V_\theta \otimes A^{-1})$$

$$V_\theta \sim IW(v_0, V_0)$$

以上のような提案モデルの推定として, 本研究ではマルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC 法) を採用する。各パラメータの推定にはメトロポリス・ヘイスティングス法 (以下, MH 法) とギブスサンプリングを用いる (付録 マルコフ連鎖モンテカルロ法のアルゴリズムを参照)。

4. 実験

本研究では、実験室実験で収集したデータを用いて、モデル推定を行う。まず、実験室実験の概要を説明し、次にデータ収集のための設問内容を説明する。

(1) 実験概要

本実験は、20代の大学生、大学院生、社会人24名に対して実施した実験室実験である。実験には、心理実験用ソフトウェア Media Lab を用いたパーソナルコンピュータ（以下、PC）を用いた。実験室内には、実験で使用するPCを設置し、実験と関連する製品の実物のパッケージを提示した。そして、被験者をPCの前に座らせ、画面上に表示される指示文に従って、設問に回答してもらった。

本実験では、3種類の内容の設問を行った。1つ目の設問は、選択するパッケージとその数量に関する設問である。ここでは、被験者に対して異なるパッケージサイズ、パッケージタイプの同一製品を2種類提示し、指定した購買シチュエーションと提示された製品価格をもとに、購買するパッケージとその数量を決定させた。そして、2つ目の設問は、パッケージから知覚するユニットコストに関する設問であり、先の設問で被験者に提示したパッケージをそれぞれ提示し、ユニットコストをどれくらい知覚しているかを評価させた。最後の3つ目の設問では、被験者のデモグラフィクスや買い物行動などの基本的な情報を収集した。製品属性の対する選好やユニットコストの知覚に影響を及ぼすと想定される消費者特性に関する設問である。以下、それぞれの設問に関して内容を詳細に説明する。

(2) 設問の内容

本実験では、明治乳業が販売している「おいしい牛乳」と伊藤園が販売している「1日分の野菜」を実験対象として取り上げた。この2つのブランドは、同一製品を様々なパッケージサイズやパッケージタイプで販売している。その中から、サイズやタイプの異なる3種類のパッケージを選び出し、実験に用いた（図1）。そして、それぞれのパッケージに対して2つの製品価格を設定した。

まず、選択するパッケージとその数量に関する設問では、指定された状況下において、画面上に提示された2つのパッケージの中から購買するパッケージとその数量を尋ねた。指定した状況とは、継続的に消費する製品を購入しようとしている状況である。牛乳に関しては、継続的に消費している牛乳を消費し切ってしまったので、牛乳を再補充するために、購買するパッケージとその数量を考えているという状況である。一方、野菜ジュースに関しては、健康のために今後継続的に消費するという目標のもとで購買するパッケージとその数量を考えているという状況である。継続的に消費する製品を購入するという点では同じシチュエーションであるが、習慣となっている製品を購入するように

消費者のパッケージ選択や数量選択に対する動機が弱い場合と、今後の目標の遂行するために製品を購入するように消費者の選択に強い目的や動機がある場合では、消費者の選択するパッケージや購買数量は異なるとも考えられる。したがって、類似した状況であっても2種類のシチュエーションに分けてデータを収集する。これをもとにモデル推定し、比較検討することで、より購買数量の意思決定のメカニズムの理解を深めることができる。提示される2つのパッケージに関しては、3種類のパッケージの中からランダムに2つのパッケージを組み合わせたもので、その価格もランダムに組み合わせたものである(図2)。したがって、被験者は、12通りのパッケージと価格の組み合わせが異なる質問に回答している。

	パッケージ1		パッケージ2		パッケージ3	
						
パッケージサイズ	200ml		900ml		1000ml	
パッケージタイプ	紙パック(キャップなし)		紙パック(キャップあり)		紙パック(キャップなし)	
製品価格	98円	100円	218円	248円	218円	248円
ユニットプライス	0.45円	0.50円	0.24円	0.28円	0.22円	0.25円

	パッケージ1		パッケージ2		パッケージ3	
						
パッケージサイズ	200ml		900ml		1000ml	
パッケージタイプ	紙パック(キャップなし)		ペットボトル(キャップあり)		紙パック(キャップあり)	
製品価格	89円	100円	322円	380円	365円	380円
ユニットプライス	0.45円	0.5円	0.36円	0.42円	0.36円	0.38円

図1：実験で用いるユニットプライスの異なるパッケージ



図 2：PC 画面上に表示されるパッケージ例

次に、12 問の選択するパッケージとその数量に関する設問に回答させたのち、3 種類のパッケージをそれぞれ提示し、ユニットコストをどれくらい知覚しているかを評価させた。評価させたユニットコストは、「再補充コスト」「保管コスト」「製品劣化コスト」「欠品コスト」である。「再補充コスト」とは、Cohen (2008) が指摘した「再補充コスト (restocking costs)」に依拠し、製品を再補充する際に費やす労力や費用であり、具体的には何度も製品を買い足しに店頭に出向くためのコストである。「保管コスト」は、同じく Cohen (2008) が指摘した「保管コスト (inventory costs)」に依拠した、製品を家庭内に保管することにかかる費用である。「製品劣化コスト」は、Iranmanesh, Jayaraman, and Ismail (2014) が指摘した製品の鮮度の低下や品質劣化に対するコスト、「欠品コスト」は Granger and Hess (1987) が指摘した「欠品コスト (shortage costs)」に依拠しており、製品を消費しようとしているタイミングで製品が不足してしまうことに対する費用である。パッケージから知覚されるこれら 4 種類のコストを、5 段階で評価させた (1: 非常に小さい, 2: 小さい, 3: どちらでもない, 4: 大きい, 5: 非常に大きい)。これらの設問を、牛乳と野菜ジュースに関して被験者に回答させた。回答順序によるバイアスをなくすために、被験者ごとに牛乳と野菜ジュースに関する設問の出力をランダムに行った。

さらに、3 種類のパッケージのユニットコストの知覚評価に関する設問が終了した後、製品属性の対する選好やユニットコストの知覚に影響を及ぼすと想定される消費者特性に関する設問を行った。被験者には「性別」、「買い物頻度」、普段購入している「パッケージ」、製品の「選好」、パッケージサイズ選択と購買数量の決定の際にユニットプライスにどれくらい注目したかを表す「価格重視度」を回答させた。

5. 分析結果および推定結果

本章では、購買数量の増加に伴って製品効用が「飽和する」と考える提案モデルと、「飽和しない」と考える比較モデルを実験で収集した牛乳と野菜ジュースの 2 種類のデ

ータを用いて推定し、その結果を示す。

(1) 牛乳データの分析および推定結果

第4章で言及したように、24名（男性7名、女性17名）の被験者に対して実施した実験室実験で収集した、牛乳のパッケージサイズ選択、購買数量に関するデータをもとにして、単純集計とモデルの推定を行った。

1) 変数設定と推定モデル

表1は、収集したデータを用いて推定する提案モデルと比較モデルの変数を表したものである。

表1：推定モデルの変数

		提案モデル	比較モデル
a_1	サイズダミー（200ml=1, 900ml=0, 1000ml=0）	○	○
a_2	タイプダミー（200ml=0, 900ml=1, 1000ml=0）	○	○
c_1	再補充コスト（-2：非常に小さい～2：非常に大きい）	○	
c_2	保管コスト（-2：非常に小さい～2：非常に大きい）	○	
c_3	製品劣化コスト（-2：非常に小さい～2：非常に大きい）	○	
c_4	欠品コスト（-2：非常に小さい～2：非常に大きい）	○	
s_1	性別（男性=0, 女性=1）	○	○
s_2	買い物頻度（-3：全く行かない～3：ほぼ毎日）	○	○
s_3	パッケージ（200ml=0, 900ml=1, 1000ml=1）	○	○
s_4	選好（-2：とても苦手である～2：とても好きである）	○	○
s_5	価格重視度（-2：全く重視なかった～2：非常に重視した）	○	○

先の式(11)で示したように、製品のベースライン効用(ψ_{hj}^*)は、製品属性 a_{jm} ($m=1, \dots, M$) に対する消費者 h の選好度合 β_{hjm} で規定される。実験に用いた3種類のパッケージには、パッケージサイズ（200ml／900ml／1000ml）とパッケージタイプ（キャップ付き紙パック／キャップなし紙パック）の2つの属性が存在する。そこで、分析に用いる製品属性の変数として、パッケージのサイズダミー a_1 とタイプダミー a_2 を設定した。サイズダミー a_1 は、200mlのパッケージサイズの小さいパッケージ1を1とし、900mlのパッケージサイズの大きいパッケージ2と1000mlのパッケージサイズの大きいパッケージ3を0とした。タイプダミー a_2 は、キャップ付き紙パックに製品が入っているパッケージ2を1とし、キャップなし紙パックのパッケージ1およびパッケージ3を0とした。これによって、パッケージ1は $a_1=1$, $a_2=0$ 、パッケージ2は $a_1=0$, $a_2=1$ 、パッケージ3は $a_1=0$, $a_2=0$ となり、ダミー変数によってパッケージの識別性を保っている。

同様に式(12)で示したように、飽和パラメータ(γ_{hj}^*)は、ユニットコスト c_{jn} ($n=1, \dots, N$) を消費者 h が知覚した度合 δ_{hjn} で規定される。実験で被験者に対して評価させたユニットコストは、再補充コスト c_1 、保管コスト c_2 、製品劣化コスト c_3 、欠品コスト c_4 であり、こ

れらを飽和パラメータの規定要因とした。比較モデルでは、この飽和パラメータを $\gamma_{hj}^* = 0$ とし、購買数量の増加に伴って製品効用は飽和しないと考える。そのため、比較モデルには、再補充コスト c_1 、保管コスト c_2 、製品劣化コスト c_3 、欠品コスト c_4 は組み込まれていない。

そして、式(13)のように、ベースライン効用(ψ_{hj}^*)と飽和パラメータ(γ_{hj}^*)は消費者によって異質であると考え。異質性が見られる理由として、消費者の性別 s_1 、消費者の買い物頻度 s_2 、普段購入しているパッケージ s_3 、製品に対する選好 s_4 、意思決定時における製品 1 単位当たりの価格重視度 s_5 が影響すると考える。よって、これらを変数とした階層構造を持つモデルを推定する。

提案モデルと比較モデルは、それぞれ式(2)で示した予算制約のもとで推定する。式(2)における $p_h'x_h$ 、つまり製品に対する支出額を、被験者 h に 12 問の設問で提示した 2 種類のパッケージの提示価格の行列 p_h と、被験者 h がそれぞれの設問で回答した 2 種類のパッケージの購買数量の行列 x_h の積の最大値とした。したがって、 $p_h'x_h$ は被験者 h がこの 12 問の設問の中で製品購買に支払った最大額である。そして、アウトサイドグッズの購買量 z_h を 1 とし、足し合せた値を予算 E_h とした。この予算制約のもとでモデルを推定する。

2) 単純集計

(i) 消費者特性

まず、消費者の異質性を説明するために質問した消費者特性に関して整理する。本実験に参加した被験者の「性別」は、24 名のうち男性 7 名 (29%)、女性 17 名 (71%) であった。24 名の被験者のうち、「買い物頻度」を 1 か月に 2, 3 回と回答した者は 3 名 (13%)、1 週間に 1 回と回答した者は 3 名 (13%)、1 週間に 2・3 回は 12 名 (50%)、1 週間に 4・5 回は 5 名 (21%)、ほぼ毎日 1 名 (4%) であった。買い物に全く行かない、1 か月に 1 回だけ行くと回答した被験者はいなかった。実験の状況設定のように“継続的に消費している製品の購入する”時に、被験者が普段購入している「パッケージ」に近いパッケージを選ばせた結果、「200ml の紙パック」を選んだ被験者は 2 名 (8%)、「900ml のキャップ付き紙パック」を選んだ被験者は 1 名 (4%)、「1000ml の紙パック」を選んだ被験者は 21 名 (88%) であり、大きなサイズのパッケージで購買、消費している消費者が多いことがわかった。そして、牛乳の「選好」に関しては、被験者自身が牛乳を飲むことが好きかどうかを尋ねており、「非常に苦手である」と回答した被験者は 4 名 (17%)、「苦手である」と回答した被験者は 2 名 (8%)、「どちらでもない」は 2 名 (8%)、「好きである」は 10 名 (42%)、「とても好きである」は 6 名 (25%) であった。最後に「価格重視度」に関しては、被験者に対して牛乳の購買数量の意思決定においてユニットプライスにどれくらい注目したかを尋ねている。その結果、全く注

目しなかった被験者はおらず、あまり注目しなかった被験者は 6 名（25%），やや注目した被験者が 16 名（67%），非常に注目した被験者は 4 名（17%）であった。

(ii) ユニットコスト

本研究では、購買数量の増加に伴い製品効用を飽和させる要因として、ユニットコストに着目し、「再補充コスト」「保管コスト」「製品劣化コスト」「欠品コスト」の 4 つのコストを取り上げた。実験では、被験者に対して、3 種類のそれぞれのパッケージに対して 4 つのコストをどれくらい知覚したかを評価させている。その評価の分布が表 2 である。

表 2：3 種類のパッケージにおけるユニットコストの分布（牛乳）

		パッケージ 1		パッケージ 2		パッケージ 3	
再補充コスト	$c_1 = 1$	1	(4%)	1	(4%)	7	(29%)
	$c_1 = 2$	1	(4%)	18	(75%)	15	(63%)
	$c_1 = 3$	3	(13%)	2	(8%)	0	(0%)
	$c_1 = 4$	8	(33%)	3	(13%)	2	(8%)
	$c_1 = 5$	11	(46%)	0	(0%)	0	(0%)
保管コスト	$c_2 = 1$	12	(50%)	0	(0%)	0	(0%)
	$c_2 = 2$	8	(33%)	9	(38%)	7	(29%)
	$c_2 = 3$	0	(0%)	9	(38%)	11	(46%)
	$c_2 = 4$	4	(17%)	6	(25%)	5	(21%)
	$c_2 = 5$	0	(0%)	0	(0%)	1	(4%)
製品劣化コスト	$c_3 = 1$	16	(67%)	1	(4%)	1	(4%)
	$c_3 = 2$	8	(33%)	6	(25%)	5	(21%)
	$c_3 = 3$	0	(0%)	15	(63%)	8	(33%)
	$c_3 = 4$	0	(0%)	2	(8%)	10	(42%)
	$c_3 = 5$	0	(0%)	0	(0%)	0	(0%)
欠品コスト	$c_4 = 1$	2	(8%)	3	(13%)	4	(17%)
	$c_4 = 2$	2	(8%)	14	(58%)	15	(63%)
	$c_4 = 3$	1	(4%)	7	(29%)	4	(17%)
	$c_4 = 4$	9	(38%)	0	(0%)	1	(4%)
	$c_4 = 5$	10	(42%)	0	(0%)	0	(0%)

同一製品であっても、パッケージのサイズやタイプが異なることにより、消費者が各パッケージから知覚するコストの度合が異なることを確認するために、各コストに対して分散分析を行った。その結果、4 つすべてのコストに関して 3 種類のパッケージ間に有意な差があることが確認された（再補充コスト： $F(2,69) = 34.39$, $p < .01$, $\eta^2 = .56$, 保管コスト： $F(2,69) = 11.72$, $p < .01$, $\eta^2 = .25$, 製品劣化コスト： $F(2,69) = 42.91$, $p < .01$, $\eta^2 = .53$, 欠品コスト： $F(2,69) = 31.97$, $p < .01$, $\eta^2 = .48$ ）。さらに、多重比較の結果、再補充コストに関しては、パッケージ 1（キャップなし紙パック 200ml）とパッケージ 2（キャップ付き紙パック 900ml）、パッケージ 1 とパッケージ 3（キャップなし紙パック 1000ml）の間に有意な差が確認されたが（ $M_{200} = 4.125 > M_{900} = 2.292$, $M_{200} = 4.125 > M_{1000} = 1.875$, $p < .01$ ）、パッケージ 2 とパッケージ 3 の間には有意な差が確認できな

った ($M_{900} = 2.292$, $M_{1000} = 1.875$, $p > .24$)。保管コストも、パッケージ 1 とパッケージ 2、パッケージ 1 とパッケージ 3 の間には有意な差が確認されたが ($M_{200} = 1.833 < M_{900} = 2.875$, $M_{200} = 1.833 < M_{1000} = 3.000$, $p < .01$)、パッケージ 2 とパッケージ 3 の間には有意な差が確認されなかった ($M_{900} = 2.875$, $M_{1000} = 3.000$, $p > .88$)。製品劣化コストも、パッケージ 1 とパッケージ 2、パッケージ 1 とパッケージ 3 の間には有意な差が確認されたが ($M_{200} = 1.333 < M_{900} = 2.750$, $M_{200} = 1.333 < M_{1000} = 3.125$, $p < .01$)、パッケージ 2 とパッケージ 3 の間には有意な差が確認されず ($M_{900} = 2.750$, $M_{1000} = 3.125$, $p > .16$)、欠品コストも、パッケージ 1 とパッケージ 2、パッケージ 1 とパッケージ 3 の間には有意な差が確認されたが ($M_{200} = 3.958 > M_{900} = 2.167$, $M_{200} = 3.958 > M_{1000} = 2.083$, $p < .01$)、パッケージ 2 とパッケージ 3 の間には有意な差が確認されなかった ($M_{900} = 2.167$, $M_{1000} = 2.083$, $p > .94$)。したがって、消費者がパッケージ 1 単位から知覚するコストの度合は、パッケージサイズが 200ml の小さいパッケージ 1 と、900ml の大きいパッケージ 2 あるいは 1000ml のパッケージ 3 とでは異なることが示された。しかし、900ml のパッケージ 2 と 1000ml のパッケージ 3 では、ほぼ同程度に知覚されることが示された。つまり、パッケージ 2 とパッケージ 3 の間には、100ml の容量の違いやキャップの有無といった違いがあるけれども、消費者はユニットコストを同程度に知覚しているということが明らかになった。パッケージ 2 とパッケージ 3 で消費者に知覚されるコストが同等であるにもかかわらず、消費者によって選択されるパッケージが異なるのであれば、パッケージ選択には消費者の異質性が影響していると想定される。

3) モデル推定結果

提案モデルと比較モデルを、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いて推定を行った。それぞれの推定結果の情報量基準 (WAIC) は、提案モデルのほうが比較モデルより小さくなっており、提案モデルを採択する (提案モデル: 78.29, 比較モデル: 87.65)。表 3 は、提案モデルの推定結果である。表の網掛けの値が、信頼区間 95% に 0 を含まなかった推定値である。

表 3: 提案モデルの推定結果 (牛乳)

	ψ^*			γ^*				
	β_0	β_1	β_2	ω_0	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4
δ_0	-7.282	-5.374	-2.032	-2.244	-6.632	-3.260	7.816	1.109
δ_1	0.507	-13.18	0.329	0.269	2.812	-8.196	-0.686	1.495
δ_2	-0.038	-1.849	0.647	-7.683	-0.363	6.363	-8.611	0.958
δ_3	6.694	-2.438	-0.607	-8.834	8.963	6.739	-5.318	-7.693
δ_4	0.156	-4.511	-0.185	1.002	-2.258	-0.471	1.036	-1.548
δ_5	0.586	0.840	0.734	-4.208	0.314	-3.528	6.795	1.389

まず、ベースライン効用に関する推定結果（ ψ^* の β_0 , β_1 , β_2 の列）をみると、切片項のパラメータ β_0 とパッケージサイズダミーのパラメータ β_1 はベースライン効用に影響を及ぼしているが、パッケージタイプダミーのパラメータ β_2 は影響を及ぼしていない。つまり、パッケージにキャップがついているか否かは、ベースライン効用を規定する要因ではなく、したがってベースライン効用を高める要因ではないということを表している。さらに、パッケージサイズダミー $\alpha_1 = 0$ であるパッケージ 2 とパッケージ 3 はベースライン効用が同等と解釈することができる。したがって、消費者はキャップ付き紙パックに入った 900ml の牛乳とキャップなし紙パックに入った 1000ml の牛乳のベースライン効用は同等に評価していると推察することができる。また、切片項のパラメータ β_0 の推定結果を見てみると、消費者が普段購入しているパッケージの種類（ δ_3 ）と、パッケージ選択と購買数量の意思決定の際に製品のユニットプライスの注目する度合（ δ_5 ）という 2 つの消費者特性のパラメータがベースライン効用に影響を及ぼしている。したがって、継続的に消費する製品を大きなサイズのパッケージで購入している消費者や、ユニットプライスに注意を払って購買数量を決めている消費者は、そうでない消費者よりも同一製品のベースライン効用を大きく評価する傾向があることが明らかになった。さらに、サイズダミーのパラメータ β_1 の推定結果を見ると、消費者の性別（ δ_1 ）と牛乳に対する選好（ δ_4 ）の 2 つのパラメータが影響を及ぼしている。したがって、男性消費者や牛乳が苦手な消費者は、女性消費者や牛乳が好きな消費者より、200ml の小さなパッケージサイズの牛乳のベースライン効用を大きく評価する傾向があることが明らかになった。

次に、飽和パラメータに関する推定結果（ γ^* の ω_0 列～ ω_4 列）をみると、切片項（ ω_0 ）と保管コスト（ ω_2 ）、製品劣化コスト（ ω_3 ）、欠品コスト（ ω_4 ）のパラメータは製品効用の飽和に影響を及ぼしているが、再補充コストのパラメータ（ ω_1 ）は影響を及ぼしていない。つまり、継続的に消費する製品のパッケージ選択や購買数量の意思決定には、製品の再補充コストは関係なく、製品の保管コストや劣化コスト、欠品コストが関係しているということを意味している。切片項のパラメータ（ ω_0 ）に関して見てみると、消費者が店頭で足を運ぶ頻度（ δ_2 ）と、パッケージ選択と購買数量の意思決定の際に製品のユニットプライスの注目する度合（ δ_5 ）という 2 つの消費者特性のパラメータが製品効用の飽和に影響を及ぼしている。したがって、買い物頻度の低い消費者やユニットプライスに注目せず意思決定をする消費者の方が、購買数量の増加にともなう製品効用の飽和が大きいということが明らかになった。保管コスト（ ω_2 ）のパラメータに関して見てみると、消費者の性別（ δ_1 ）、買い物頻度（ δ_2 ）、価格重視度（ δ_5 ）の 3 つの消費者特性のパラメータが影響を及ぼしている。つまり、男性消費者や買い物頻度の高い消費者、価格重視度の低い消費者は、女性消費者や買い物頻度の低い消費者、価格重視度の高い消費者よりも、保管コストによる効用の飽和が大きくなるということが示された。この結果から、このような特性を持つ消費者は、パッケージサイズや購買数量の決定の

際に保管コストに敏感で、保管コストの大きいパッケージよりも小さいパッケージを選択すると解釈することができる。同様に製品劣化コスト (ω_3) のパラメータに関して見てみると、買い物頻度 (δ_2)、価格重視度 (δ_5) の 2 つの消費者特性のパラメータが影響を及ぼしている。つまり、買い物頻度の低い消費者や価格重視度の高い消費者は、そうでない消費者よりも製品品質の劣化コストに敏感で、これによる効用の飽和が大きくなるということが示された。この結果から、このような特性を持つ消費者は、製品劣化コストに敏感で、製品劣化コストの大きいパッケージよりも小さいパッケージを選択すると解釈することができる。最後に、欠品コスト (ω_4) のパラメータにおいては価格重視度 (δ_{5h}) が影響を及ぼしており、価格重視度の高い消費者の方が製品の欠品コストに敏感で、これによる効用の飽和が大きくなるということが示された。したがって、価格重視度の高い消費者は欠品コストにも敏感で、欠品コストの大きいパッケージよりも小さいパッケージを選択すると解釈することができる。

以上の結果より、継続的に消費している牛乳を購入する状況下において、消費者のパッケージ選択、購買数量の意思決定に影響を及ぼす要因として、パッケージサイズに対する選好、パッケージから知覚する保管コスト、製品劣化コスト、欠品コストがあることが示された。それぞれの影響は、消費者の特性によって異なることも示され、これに起因して同一製品であっても、消費者によって選択するパッケージサイズとその購買数量が異なることが明らかになった。

(2) 野菜ジュースデータの分析および推定結果

牛乳データと同様に、24 名の被験者に対して実施した実験室実験で収集した、野菜ジュースのパッケージサイズ選択、購買数量に関するデータをもとにして、単純集計とモデルの推定を行った。

1) 変数設定と推定モデル

式(11)で示したように、製品のベースライン効用 (ψ_{hj}^*) は、製品属性 a_{jm} ($m=1, \dots, M$) に対する消費者 h の選好度合 β_{hjm} で規定される。実験に用いた 3 種類のパッケージには、パッケージサイズ (200ml/900ml/1000ml) とパッケージタイプ (紙パック/ペットボトル) の 2 つの属性が存在する。そこで、分析に用いる製品属性の変数として、パッケージのサイズダミー a_1 とタイプダミー a_2 を設定した。サイズダミー a_1 は、200ml のパッケージサイズの小さいパッケージ 1 を 1 とし、900ml のパッケージサイズの大きいパッケージ 2 と 1000ml のパッケージ 3 を 0 とした。タイプダミー a_2 は、ペットボトルに製品が入っているパッケージ 2 を 1 とし、紙パックのパッケージ 1 とパッケージ 3 を 0 とした。これによって、パッケージ 1 は $a_1 = 1, a_2 = 0$ 、パッケージ 2 は $a_1 = 0, a_2 = 1$ 、パッケージ 3 は $a_1 = 0, a_2 = 0$ となり、ダミー変数によってパッケージの識別性を保っている。

同様に式(12)で示したように, 飽和パラメータ(γ_{hj}^*)は, ユニットコスト c_{jn} ($n=1, \dots, N$)を消費者 h が知覚した度合 δ_{hjn} で規定される。実験で被験者に対して評価させたユニットコストは, 再補充コスト c_1 , 保管コスト c_2 , 製品劣化コスト c_3 , 欠品コスト c_4 であり, これらを飽和パラメータの規定要因とした。比較モデルでは, この飽和パラメータを $\gamma_{hj}^* = 0$ とし, 購買数量の増加に伴って製品効用は飽和しないと考える。

そして, 式(13)のように, ベースライン効用(ψ_{hj}^*)と飽和パラメータ(γ_{hj}^*)には消費者によって異質であると考え。異質性が見られる理由として, 消費者の性別 s_1 , 消費者の買い物頻度 s_2 , 普段購入しているパッケージ s_3 , 製品に対する選好 s_4 , 意思決定時における製品 1 単位当たりの価格重視度 s_5 が影響すると考え, これらを変数とした階層構造を持つモデルを推定する。提案モデルと比較モデルは, 被験者 h がこの実験における製品購買に支払った最大支払額 $p_h'x_h$ とアウトサイドグッズの購買量 $z_h = 1$ からの予算 E_h のもとでモデルを推定する。

2) 単純集計

(i) 消費者特性

消費者の異質性を説明するために質問した消費者特性に関して整理する。ここでは, 牛乳データとは異なる消費者特性の変数「選好」と「パッケージ」に関してのみ言及する。まず, 実験の状況設定のように“今後継続的に消費しようとする目標を立て製品を購入する”時に, 被験者が普段購入する「パッケージ」に近いパッケージを選ばせた結果, 「200ml の紙パック」を選んだ被験者は 16 名 (67%), 「900ml のペットボトル」を選んだ被験者は 6 名 (25%), 「1000ml のキャップ付き紙パック」を選んだ被験者は 2 名 (8%) であり, 小さなサイズのパッケージで購買, 消費している消費者が多いことがわかる。そして, 野菜ジュースの「選好」に関しては, 「非常に苦手である」と回答した被験者は 1 名 (4%), 「苦手である」と回答した被験者は 8 名 (33%), 「どちらでもない」は 3 名 (12.5%), 「好きである」は 8 名 (33%), 「とても好きである」は 4 名 (17%) であった。

(ii) ユニットコスト

野菜ジュースの 3 種類のパッケージに対しても, 被験者に 4 つのコストをどれくらい知覚したかを評価させている。その評価の分布が表 4 である。

表 4: 3 種類のパッケージにおけるユニットコストの分布 (野菜ジュース)

		パッケージ 1		パッケージ 2		パッケージ 3	
再補充コスト	$c_1 = 1$	0	(0%)	0	(0%)	4	(17%)
	$c_1 = 2$	2	(8%)	16	(67%)	13	(54%)
	$c_1 = 3$	1	(4%)	6	(25%)	5	(21%)
	$c_1 = 4$	11	(46%)	2	(8%)	2	(8%)
	$c_1 = 5$	10	(42%)	0	(0%)	0	(0%)
保管コスト	$c_2 = 1$	12	(50%)	1	(4%)	1	(4%)
	$c_2 = 2$	8	(33%)	7	(29%)	3	(13%)
	$c_2 = 3$	1	(4%)	5	(21%)	4	(17%)
	$c_2 = 4$	3	(13%)	11	(46%)	13	(54%)
	$c_2 = 5$	0	(0%)	0	(0%)	3	(13%)
製品劣化コスト	$c_3 = 1$	16	(67%)	1	(4%)	0	(0%)
	$c_3 = 2$	7	(33%)	7	(29%)	3	(13%)
	$c_3 = 3$	0	(0%)	6	(25%)	4	(17%)
	$c_3 = 4$	1	(4%)	10	(42%)	14	(58%)
	$c_3 = 5$	0	(0%)	0	(0%)	3	(13%)
欠品コスト	$c_4 = 1$	2	(8%)	3	(13%)	9	(38%)
	$c_4 = 2$	3	(13%)	13	(54%)	10	(42%)
	$c_4 = 3$	2	(8%)	7	(29%)	3	(13%)
	$c_4 = 4$	3	(13%)	1	(4%)	2	(8%)
	$c_4 = 5$	14	(58%)	0	(0%)	0	(0%)

同一製品であっても、パッケージのサイズやタイプが異なることにより、消費者が各パッケージから知覚するコストの度合が異なることを確認するために、各コストに対して分散分析を行った。その結果、すべてのコストに関して 3 種類のパッケージ間に有意な差があることが確認された (再補充コスト: $F(2,69) = 45.76$, $p < .01$, $\eta^2 = .57$, 保管コスト: $F(2,69) = 20.33$, $p < .01$, $\eta^2 = .37$, 製品劣化コスト: $F(2,69) = 46.25$, $p < .01$, $\eta^2 = .57$, 欠品コスト: $F(2,69) = 26.47$, $p < .01$, $\eta^2 = .43$)。また、多重比較の結果、再補充コストに関しては、パッケージ 1 (紙パック 200ml) とパッケージ 2 (ペットボトル 900ml), パッケージ 1 とパッケージ 3 (キャップ付き紙パック 1000ml) の間に有意な差が確認されたが ($M_{200} = 4.208 > M_{900} = 2.417$, $M_{200} = 4.208 > M_{1000} = 2.208$, $p < .01$), パッケージ 2 とパッケージ 3 の間には有意な差が確認できなかった ($M_{900} = 2.417$, $M_{1000} = 2.208$, $p > .63$)。保管コストも、パッケージ 1 とパッケージ 2, パッケージ 1 とパッケージ 3 の間には有意な差が確認されたが ($M_{200} = 1.792 < M_{900} = 3.083$, $M_{200} = 1.792 < M_{1000} = 3.583$, $p < .01$), パッケージ 2 とパッケージ 3 の間には有意な差が確認されなかった ($M_{900} = 3.083$, $M_{1000} = 3.583$, $p > .20$)。製品劣化コストは、パッケージ 1 とパッケージ 2, パッケージ 1 とパッケージ 3, パッケージ 2 とパッケージ 3 の間で有意な差が確認された ($M_{200} = 1.417 < M_{900} = 3.042$, $M_{200} = 1.417 < M_{1000} = 3.708$, $M_{900} = 3.042 < M_{1000} = 3.708$, $p < .05$)。欠品コストは、パッケージ 1 とパッケージ 2, パッケージ 1 とパッケージ 3 の間には有意な差が確認されたが ($M_{200} = 4.000 > M_{900} = 2.250$, $M_{200} = 4.000 >$

$M_{1000} = 1.917$, $p < .01$), パッケージ 2 とパッケージ 3 の間には有意な差が確認されなかった ($M_{900} = 2.250$, $M_{1000} = 1.917$, $p > .52$)。したがって, 消費者がパッケージ 1 単位から知覚するコストの度合は, パッケージサイズが 200ml の小さいパッケージ 1 と, 900ml の大きいパッケージ 2 あるいは 1000ml のパッケージ 3 とでは異なることが示された。しかし, 900ml のパッケージ 2 と 1000ml のパッケージ 3 では, 再補充コスト, 保管コスト, 欠品コストはほぼ同程度に知覚され, 製品劣化コストだけパッケージ 2 の方が小さく知覚されることが示された。つまり, パッケージ 2 とパッケージ 3 の間には, 100ml の容量の違いやパッケージの材質に違いがあるけれども, 消費者は再補充コスト, 保管コスト, 欠品コストは同程度に知覚しているということが明らかになり, 一方で, この違いによって消費者はパッケージ 2 の製品劣化コストを小さく知覚するということが明らかになった。

3) モデル推定結果

提案モデルと比較モデルを, マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いて推定を行った。それぞれの推定結果の情報量基準 (WAIC) を見ると, 提案モデルのほうが比較モデルよりも値が小さくなっており, 提案モデルを採択する (提案モデル: 283.0, 比較モデル: 301.3)。提案モデルの推定値は, 表 5 の通りである。

表 5: 提案モデルの推定結果 (野菜ジュース)

	ψ^*			γ^*				
	β_0	β_1	β_2	ω_0	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4
δ_0	-7.595	1.712	-5.075	-4.106	0.980	-0.060	-1.844	4.317
δ_1	-0.256	-4.521	-1.309	14.67	-0.004	2.346	2.237	-6.906
δ_2	0.294	4.161	-0.237	-7.753	3.916	-0.013	7.292	5.302
δ_3	0.350	2.349	0.648	-9.034	1.077	6.457	-8.317	-1.912
δ_4	0.172	-1.308	-0.119	4.296	0.401	-4.937	2.244	4.479
δ_5	1.270	-6.311	0.931	-4.463	-0.553	1.080	-1.176	2.150

まず, ベースライン効用に関する推定結果 (ψ^* の β_0 , β_1 , β_2 の列) をみると, 切片項のパラメータ β_0 とパッケージサイズダミーのパラメータ β_1 はベースライン効用に影響を及ぼしているが, パッケージタイプダミーのパラメータ β_2 は影響を及ぼしていない。つまり, パッケージがペットボトルか紙パックかのパッケージ素材の違いは, ベースライン効用を規定する要因ではなく, したがってベースライン効用を高める要因ではないということを表している。さらにパッケージタイプダミーのパラメータがベースライン効用に影響を及ぼしていないので, パッケージサイズダミー $a_1 = 0$ であるパッケージ 2 とパッケージ 3 はベースライン効用が同等であると解釈することができる。したがって,

消費者はペットボトルに入った 900ml の野菜ジュースと紙パックに入った 1000ml の野菜ジュースのベースライン効用は同等に評価していると推察することができる。パッケージサイズダミーのパラメータ β_1 の推定結果を見ると、消費者のパッケージ選択や購買数量の意思決定には、製品のユニットプライスにどれくらい注目したかを示す価格重視度のパラメータ δ_5 が影響を及ぼしている。したがって、意思決定においてユニットプライスをあまり重視していない消費者の方が、重視している消費者よりも 200ml の小さなパッケージサイズの野菜ジュースのベースライン効用を大きく評価する傾向があることが明らかになった。

次に、飽和パラメータに関する推定結果（ γ^* の ω_0 列～ ω_4 列）をみると、切片項（ ω_0 ）と保管コスト（ ω_2 ）、製品劣化コスト（ ω_3 ）、欠品コスト（ ω_4 ）のパラメータは製品効用の飽和に影響を及ぼしているが、再補充コストのパラメータ ω_1 は影響を及ぼしていない。つまり、今後継続的に消費を目標とした製品のパッケージ選択や購買数量の意思決定には、製品の再補充コストは関係なく、製品の保管コストや劣化コスト、欠品コストが関係しているということを示唆している。切片項のパラメータ ω_0 に関して見てみると、性別（ δ_1 ）と消費者が店頭に足を運ぶ頻度（ δ_2 ）と、継続消費を目標とした製品を購入する際に消費者が普段購入するパッケージ（ δ_3 ）、野菜ジュースへの選好（ δ_4 ）、パッケージ選択と購買数量の意思決定の際に製品のユニットプライスの注目する度合（ δ_5 ）という 5 つの消費者特性のパラメータが製品効用の飽和に影響を及ぼしている。したがって、女性消費者や買い物頻度の低い消費者、普段小さなパッケージで製品を購入している消費者、野菜ジュースが苦手な消費者、ユニットプライスに注目せず意思決定をする消費者の方が、購買数量の増加にともなう製品効用の飽和が大きいうことが明らかになった。保管コストのパラメータ ω_2 に関して見てみると、消費者の野菜ジュースに対する選好のパラメータ δ_4 が影響を及ぼしている。つまり、野菜ジュースが苦手な消費者は、好きな消費者よりも、製品の保管コストによる効用の飽和が大きくなるということが示された。この結果から、野菜ジュースが苦手な消費者は、パッケージサイズや購買数量の決定の際に保管コストに敏感で、保管コストの大きいパッケージよりも小さいパッケージを選択すると解釈することができる。同様に製品劣化コストのパラメータ ω_3 に関して見てみると、買い物頻度（ δ_2 ）、普段購入するパッケージ（ δ_3 ）の 2 つの消費者特性のパラメータが影響を及ぼしている。つまり、買い物頻度の低い消費者や普段大きなパッケージで製品を購入している消費者は、そうでない消費者よりも製品品質の劣化コストに敏感で、これによる効用の飽和が大きくなるということが示された。この結果から、買い物頻度の低い消費者や普段大きなパッケージで製品を購入している消費者は、製品劣化コストに敏感で、製品劣化コストの大きいパッケージよりも小さいパッケージを選択すると解釈することができる。最後に、欠品コストのパラメータ ω_4 においては性別（ δ_1 ）と選好（ δ_4 ）の 2 つのパラメータが影響を及ぼしており、男性消費者や選好の高い消費者の方が製品の欠品コストに敏感で、これによる効用の飽和が大き

くなるということが示された。したがって、男性消費者や選好の高い消費者は欠品コストにも敏感で、欠品コストの大きいパッケージよりも小さいパッケージを選択すると解釈することができる。

以上の結果より、今後継続的に消費することを目標とし、その目標に即した量の野菜ジュースを購入する状況下において、消費者のパッケージ選択、購買数量の意思決定に影響を及ぼす要因として、パッケージサイズに対する選好、パッケージから知覚する保管コスト、製品劣化コスト、欠品コストがあることが示された。それぞれの影響は、消費者の特性によって異なることも示され、同一製品であっても、消費者によって選択するパッケージサイズとその購買数量が異なることが明らかになった。

6. 結論

本研究では、消費者が継続的に消費する製品のパッケージサイズと購買数量の意思決定メカニズムを、直接効用関数を用いてモデル化を行った。同一ブランドの同一製品において、サイズやタイプの異なるパッケージに対して、消費者はどのような要因を考慮し、1回の購買機会で購入するパッケージサイズと数量をどのように決定しているのか、消費者特性によって購買数量の意思決定がどのように異なるのかを明らかにすることを試みた。先行研究をもとに、消費者が購買数量を意思決定する際に考慮する要因としてパッケージ1単位から知覚する再補充コスト、保管コスト、製品劣化コスト、欠品コストに着目した。

提案したモデルの推定に用いるデータは実験室実験で収集した。実験では、すでに継続消費している牛乳を補充するという状況で、購入するのに最適なパッケージと購買数量を決定させたデータと、他方、今後継続消費することを目標として野菜ジュースを購入するのに最適なパッケージと購買数量を決定させたデータを収集し、それぞれのデータを用いてモデルを推定した。この結果、異なる状況設定でのパッケージ選択、購買数量選択であっても、継続的に消費する製品を購入する状況下における消費者のパッケージ選択、購買数量の意思決定には、パッケージサイズ、パッケージから知覚する保管コスト、製品劣化コスト、欠品コストが影響を及ぼしており、一方、再補充コストは影響を及ぼしていないことが示された。また、保管コスト、製品劣化コスト、欠品コストは、製品数量の購買数量の増加に伴い製品1単位当たりから得られる効用を減少させる要因であることが示された。そして、それぞれの要因がベースライン効用や製品効用の飽和に及ぼす影響は、消費者の特性によって異なり、これに起因して同一製品であっても、消費者によって選択するパッケージサイズとその購買数量が異なることが明らかになった。つまり、消費者特性によって知覚するコストが異なることより、同一ブランド同一製品であっても大きなパッケージサイズを評価する消費者も存在すれば、小さなパッケージサイズを評価する消費者も存在することが示された。

以上のことから、本研究は、パッケージの違いは、消費者がパッケージから知覚するコストを変化させ、そのユニットコストの知覚度合を通して、選択するパッケージサイズとその購買数量に影響を及ぼしていることを明らかにした。さらに、同じパッケージであっても、消費者の特性によって知覚コストが及ぼす影響が異なるため、消費者間で選択するパッケージサイズと購買数量が異なることを示唆することができた。

参考文献

- [1] Bhat, C. R. (2005). "A Multiple Discrete-Continuous Extreme Value Model: Formulation and Application to Discretionary Time-Use Decisions", *Transportation Research Part B: Methodological*, 39(8), 679-707.
- [2] Kim, B. D. and Rossi, P. E. (1994) "Purchase Frequency, Sample Selection, and Price Sensitivity: The Heavy-User Bias", *Marketing Letters*, 5(1), 57-67.
- [3] Cohen, A. (2008). "Package Size and Price Discrimination in the Paper Towel Market", *International Journal of Industrial Organization*, 26, 502-516.
- [4] Gerstner, E. and Hess, J. D. (1987). "Why Do Hot Dogs Come in Packs of 10 and Buns in 8s or 12s? A Demand-Side Investigation", *Journal of Business*, 60(4), 491-517.
- [5] Granger, C. W. and Billson, A. (1972) "Consumers' Attitudes toward Package Size and Price", *Journal of Marketing Research*, 9(3), 239-248.
- [6] Gu J. Z. and Yang S.(2010) "Quantity-Discount-Dependent Consumer Preferences and Competitive Nonlinear Pricing", *Journal of Marketing Research*, 47(6), 1100-1113.
- [7] Gupta, S., Prakhya, S. and Rakshit, K. (2014) "Consumer Uncertainty and Pack Size", *Indian Institute of Management Bangalore, Working Paper, No.460*.
- [8] Hasegawa, S., Terui, N. and Allenby, G. M. (2012). "Dynamic Brand Satiation", *Journal of Marketing Research*, 49(6), 842-853.
- [9] Iranmanesh, M., Jayaraman, K. and Ismail, I. (2014) "Intention to Purchase Products under Volume Discount Scheme: A Conceptual Model and Research Propositions", *Verslas: Teorija ir Praktika*, 15(4) 371-380.
- [10] Kim, J., Allenby, G. M. and Rossi, P. E. (2002). "Modeling Consumer Demand for Variety", *Marketing Science*, 21(3), 229-250.
- [11] Koenigsberg, O., Kohli, R. and Montoya, R. (2007). "Package Size for the Bottom of the Pyramid", *Working Paper, Columbia University*, 1-48.
- [12] Prahalad, C. K.(2005). *The Fortune at the Bottom of the Pyramid: Eradicating Poverty Through Profits*(Upper Saddle River, NJ: Wharton School Publishing). (『ネクスト・マーケット 増補改訂版 「貧困層」を「顧客」に変える次世代ビジネス戦略』C. K. プラハラード著, スカイライト コンサルティング訳, 英治出版, 2012 年)
- [13] Satomura, T., Brazell, J. D. and Allenby, G. M. (2011). "Choice Models for Budgeted Demand and Constrained Allocation", *Working Paper, Ohio State University*.
- [14] 里村卓也(2015)『Rで学ぶデータサイエンス 13 マーケティング・モデル 第2版』共立出版.

付録：マルコフ連鎖モンテカルロ法のアプローチ

本研究の提案モデルのパラメータ θ_h は、消費者特性 s_h による階層構造を持つ (式(13))。

$$\theta_h = \Delta' s_h + \eta_h \quad (13)$$

$$\eta_h \sim MVN(0, V_\theta)$$

式(13)は多変量回帰モデルで、 θ_h は $\theta_h = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m, \omega_0, \omega_1, \dots, \omega_n)$ の $M + N$ 個の変数からなる、このモデルにおける消費者 h のパラメータであった。また、 s_h は消費者 h の S 個の変数からなる特性ベクトルで、 Δ は S 行 $M+N$ 列の消費者 h の特性パラメータの行列であった。 η_{hj} は誤差項で平均 0、分散共分散 V_θ である多変量正規分布に従うものとした。この回帰モデルは、

$$\theta_h \sim MVN(\Delta' s_h, V_\theta)$$

と書くことができ、 θ_h の事前分布が平均 $\Delta' s_h$ 、分散共分散行列 V_θ の多変量正規分布であると考えることができる。また、 Δ の事前分布は多変量正規分布、 V_θ の事前分布は逆ウィッシュアート分布である。

$$vec(\Delta) | V_\theta \sim MVN(vec(\bar{\Delta}), V_\theta \otimes A^{-1})$$

$$V_\theta \sim IW(v_0, V_0)$$

ここでは、 Δ の事前分布のパラメータは $\bar{\Delta} = 0$ 、 $A = I \times 10^{-2}$ と設定し、 V_θ の事前分布のパラメータは $v_0 = 11$ 、 $V_0 = v_0 I$ とした。 I は単位行列である。この事前分布のパラメータのもとで、ベイズ推定を行い、MH アルゴリズムとギブスサンプリングを組み合わせ、 θ_h 、 Δ 、 V_θ の事後分布を発生させ、パラメータを推定した。

手順は次の通りである。ここでは、購買数量 x_{hj} や知覚ユニットコスト c_{hjn} 、消費者特性 s_h のような個人ごとの観測データを y_h とまとめて表現する。

1. θ_h 、 Δ 、 V_θ の適当な初期値を設定する。
2. (1) から (3) の手順で θ_h 、 Δ 、 V_θ を順次発生させる。
 - (1) Δ 、 V_θ は所与として、 $MVN(\Delta' s_h, V_\theta)$ を事前分布として、事前分布と尤度 ($y_h | \theta_h$) から、酔歩連鎖 MH アルゴリズムにより θ_h の事後分布 $f(\theta_h | y_h)$ からサンプルを 1 つ発生さ

せる。事後分布からのサンプリングは以下のように行う。

- 1) 初期値 $\theta_h^{(0)}$ を設定する。
- 2) $i = 1, 2, \dots$ について以下を繰り返す。
- (i) $\theta_h^{(i)}$ が与えられたときに、提案分布 R を用いてサンプル候補 ϑ_h を発生させる。
本研究では、提案分布 R を正規分布とし、その密度関数(提案密度)を
 $r(\vartheta_h | \theta_h^{(i)}, y_h)$ とする。

$$\vartheta_h = \theta_h^{(i)} + u$$

$$u \sim N(0, t^2 \Sigma)$$

u は提案密度 $r(\vartheta_h | \theta_h^{(i)}, y_h)$ からのサンプルで、平均が 0、分散が $t^2 \Sigma$ である正規分布に従うとした。 t はスケーリングファクターで、 $t^2 = 0.1$, $\Sigma = I$ と設定した。

- (ii) 提案されたサンプル候補 ϑ_h は目標分布 $f(\theta_h | y_h)$ からのサンプルではないため、目標分布からのずれを修正するために、確率

$$\alpha_h(\theta_h^{(i)}, \vartheta_h) = \min \left\{ 1, \frac{f(\vartheta_h | y_h)}{f(\theta_h^{(i)} | y_h)} \cdot \frac{r(\theta_h^{(i)} | \vartheta_h, y_h)}{r(\vartheta_h | \theta_h^{(i)}, y_h)} \right\} = \min \left\{ 1, \frac{f(\vartheta_h | y_h)}{f(\theta_h^{(i)} | y_h)} \right\}$$

で採択し、採択された場合には $\theta_h^{(i+1)} = \vartheta_h$ とする。棄却する場合には $\theta_h^{(i+1)} = \theta_h^{(i)}$ とする。

酔歩連鎖 MH 法では $r(\theta_h^{(i)} | \vartheta_h, y_h) = r(\vartheta_h | \theta_h^{(i)}, y_h)$ であるため、 α_h の計算式が簡単になる。

- (2) (1) のようにして発生させた θ_h と V_θ を所与として Δ を発生させる。発生にはギブスサンプリングを用い、(1) でサンプリングした θ_h を被説明変数とする多変量回帰モデルから Δ の事後分布を得る。 Δ の事後分布は、

$$\text{vec}(\Delta) | V_\theta \sim \text{MVN}(\text{vec}(D), V_\theta \otimes (S' S + A)^{-1})$$

となる。ただし、

$$\theta = (\theta_1, \dots, \theta_H)'$$

$$S = (s_1, \dots, s_H)'$$

とすると,

$$D = (S'S + A)^{-1}(S'S\hat{\Delta} + A\bar{\Delta})$$

$$\hat{\Delta} = (S'S)^{-1}S'\theta$$

である。

(3) (1)と(2)で発生させた Δ と θ_h を所与として, V_θ を発生させる。 V_θ の事後分布は,

$$V_\theta \sim IW(v_0 + T, V_0 + W)$$

となる。このとき,

$$T = \sum_{h=1}^N (\theta_h - \Delta's_h)(\theta_h - \Delta's_h)'$$

とする。 θ_h は個人別のパラメータであるため 2. を(1)~(3)の各ステップを消費者 H 人分のサンプリングを行う。

3. 2. を 100,000 回繰り返し, θ_h , Δ , V_θ のサンプリングを行った。最初の 50,000 サンプルは, バーン・イン期間として捨て, 残りの 50,000 サンプルをパラメータの推定に利用した。サンプリング結果では, サンプルの自己相関の影響を小さくするために 10 回に 1 回の割合でサンプリング結果を利用した。

