

コンジョイント分析によるライフサイクル
(LC)インパクト・アセスメント
—— 家庭用エアコンを事例として ——

1999年8月

鷲田豊明（神戸大学経済学部）

國部克彦（神戸大学経営学部）

栗山浩一（早稲田大学政治経済学部）

コンジョイント分析によるライフサイクル (LC)インパクト・アセスメント¹

——— 家庭用エアコンを事例として ———

鷲田豊明（神戸大学経済学部）

國部克彦（神戸大学経営学部）

栗山浩一（早稲田大学政治経済学部）

1. LCAインパクト・カテゴリの統合評価と製品多属性評価

環境問題の原因を、環境が社会経済システムにとって適切に評価されていないままに利用されていることに求める考え方が急速に広がりつつある。一例として、干潟や藻場、森林や河川の生態系が、たとえ市場で売買されない対象であっても、社会的に高い価値を持っていることがわかってきている。環境を社会経済システムに内部化するためには、その大切さ、重要性を社会経済システムそれ自身が評価しなければならないのである。

社会経済システムによる環境評価は、「自然科学的評価からの飛躍」としてとらえられなければならない。自然科学的評価の延長線上にあらわれてくるものではないのである。もちろんそれは、環境への負荷についての自然科学的な認識が不要ということではまったくない。自然科学的により精密な環境負荷の認識は不可欠であるが、その認識を社会に受け入れ可能な形にするためには、社会経済システムの側からの評価アプローチが必要なのである。

環境アセスメント、環境・経済統合勘定、環境指標、環境会計などさまざまな分野で自然科学的評価と社会経済的評価の接合が重要な課題となっているが、製品LCA（ライフサイクルアセスメント）においても、ライフサイクル・インベントリー分析から得られた、さまざまなインパクト・カテゴリの環境負荷データから、統合的な指標を形成することが重要な検討課題となっている²。そこには、インパクト・カテゴリが持っている統合困難な多次元性を、どのように乗り越えるのかという共通の課題があり、最後の評価は社会の主観的な判断によらざるを得ないという、共通の認識が存在しているのである。

LCAにおけるこれらのインパクト・カテゴリは、製品が体化している属性として解釈

¹ 本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託業務の結果として得られたものである。また、家庭用エアコンに関する環境負荷標準値としてのライフサイクルデータは、ダイキン工業（株）からのヒアリングに基づいて著者らが判断で設定したものである。協力いただいた、ダイキン工業（株）機械技術研究所の河原克己氏、柳谷和太氏に心から感謝申し上げます。

² 1999年2月16日実施シンポジウム「環境評価のフロンティア」（神戸大学）での稲葉敦氏の報告。

できることに注目しなければならない。製品は、その有用性を認識する側の消費者や中間投入としての需要者などからみれば、さまざまな属性のかたまりとしてとらえられる。コンピュータならば、CPUの速さや、搭載OS、ハードディスク容量、デザイン、価格などの通常性能の属性を持っている。自動車ならば、排気量や、デザインや、用途、価格などの属性を持っている。これらの属性は、消費者の前に統合化された指標として与えられていない。消費者や利用者が自己の選好にもとづいて、これらの属性に共通の指標を与えることによって、製品の購入希望順位を決めているのである。製品があたえるライフサイクル環境負荷のインパクト・カテゴリもまた、これらの属性と同じなのである。

したがって、製品のLCAインパクト・カテゴリとしての属性を、環境ラベリングなどによって利用者に示し利用者の購入状況によって、統合的な評価とすることもありうる。そこでは、製品の通常性能と、LCAによって得られた環境属性の全体が販売水準や市場占有率の形で評価が与えられるのである。

しかし、このような方法では、製品を供給する側が(1)どの属性(通常性能であれLCA属性であれ)がどれほど結果に影響を与えているかが把握できず、製品開発などに評価を生かすことができない。(2)LCA情報の与え方と評価の関係をとらえることができない、などの問題がある。

必要なことは、社会が平均してどのようなウエイトでLCAインパクト・カテゴリのそれぞれの水準を評価するのか、あるいは通常性能や価格との関係でどれほどの評価が与えられるかを、供給者側が識別できるようにすることである。さまざまな通常性能や価格などの属性に、消費者や利用者がどれほどの部分効用を与えているかを知る多属性評価手法として、マーケティング・リサーチの分野で発展してきたコンジョイント分析がある。コンジョイント分析を用いれば、通常性能や価格だけではなくLCAによって得られた環境属性についても、人々の与える評価を推計することができる。

製品の持っている、LCAインパクト・カテゴリの属性ではなく、リサイクル率などの通常環境属性を含んだコンジョイント分析は、すでに先進的な企業によって実際の調査が行われており、また研究上の成果もあらわれている³。しかし、LCAのインベントリー分析などを通して得られた各インパクト・カテゴリデータを、環境属性としてコンジョイント分析した例は、まだあらわれていない。

ライフサイクルデータは、消費者や利用者によるライフサイクルというコンセプトそのものの理解が必要であり、コンジョイント分析においては、通常性能や価格などと比較してなじみの薄いLCAインパクト・カテゴリ属性を、一般の消費者や利用者が識別できるのかという、重要な困難が予想される。もちろん、これらの識別と評価の可能性は、環境問題に対する消費者や利用者の意識の高さに依存する。1980年代以降の、地球環境問

³ 栗山浩一・石井寛、1999年、「リサイクル商品の環境価値と市場競争力 コンジョイント分析による評価」、『環境科学会誌』、12(1)。

題に対する認識の広まりや、廃棄物問題への関心の高さなど、客観的条件のある程度の成熟は前提にできるが、それがどの程度、LCAインパクト・カテゴリデータへの認識につながるかは明らかでない。

本研究では、この点での最初の試みとして、家庭用エアコンを対象にして、通常性能、価格、通常環境性能、そして、ライフサイクルデータを含めた形でのコンジョイント分析調査を行った。家庭用エアコンを選択した理由は、第1に、調査対象を容易に集めることができる消費者に、日常的に親しみのある製品であること。第2に、通常性能としてリサイクル率を取り上げることを通して、予定されている家電リサイクル法との関係づけが可能になること。第3に、すでにLCAを実施している企業の協力が期待できたこと、などである。

調査においては二つのコンジョイント分析の手法を用いた。1つは、ACA（適応コンジョイント分析）である。東京銀座でモルトラッピングの方法で、1999年1月29日に実施され102人からの回答を得た⁴。もう1つは、仮想ランキングによるコンジョイント調査である。1999年2月9日東京渋谷で同様の方法で実施され102人からの回答を得た。

2. 属性と水準の設定

(1) 通常性能

まず、通常性能と価格の属性と其中でのレベルの設定について述べておこう。

エアコンの通常性能として、代表的なものは「冷暖房パワー」がある。冷暖房パワーの水準としては、ここでは6畳、8畳、10畳、12畳の4つを用いることにした。ただし、この冷暖房パワーは、選好としての線形性を持っていないことが予測される。すなわち、一番望ましいものが12畳で、小さくなればなるほど望ましさが低下するとはいえない。たとえば、狭い部屋しかない場合、12畳は敬遠され、8畳や10畳が最も選好される可能性もある。この問題は、実際の推計上もあらわれてくるので、後にもう一度触れよう。

次に、消費者が注目すると予想されるのは、電気代である。電気代は、時間あたりの電気代として水準を設定することも考えたが、回答者にわかりにくいので、1日5時間使用して1ヶ月（30日）あたりの電気代として水準を設定した。水準としては2000円、3000円、4000円、5000円の4水準とした。

この他に、エアコンの通常性能としては、除湿機能や脱臭機能、あるいは騒音水準など多様な機能属性があるが、今回はLCA属性に注目しているため、属性が多くなると回答者がこれらの属性に対して、明確な反応が困難になる可能性も予想されるために、多様な

⁴ ACAはSawtooth Software社のソフトウェアである。調査は、仮想ランキングも含めて（株）日経リサーチに委託しておこなわれた。

通常属性とLCA属性との結合は、次回以降の課題とした。

(2) 価格

価格は、消費者が最も強く反応する属性であると予想される。今回は、工事費込みの価格として10万円、15万円、20万円、25万円の4つの水準に設定した。

(3) 通常環境属性としてのリサイクル率

LCAではない、製品に帰属する通常的环境属性の代表として重量比のリサイクル率を考慮することにした。リサイクル率としては、60%を標準リサイクル率としてそれよりも悪い50%と、標準より高い75%と90%を水準として設定した。

(4) LCA属性

LCAに関する属性としては、当初、温暖化ガス負荷、大気汚染負荷、水質汚染負荷の3つを予定していたが、最後の水質汚染負荷はデータとしての精度の問題と、LCA属性が相対的に多くなることによって回答者が、十分識別できなくなることを回避するために分析対象からはずした。

しかし、これはあくまでもLCA属性をコンジョイント分析に組み込む最初の試みであることからの制約であって、一般にコンジョイント分析がLCAの多様な属性を評価する困難性を持っているということではない。私たちがおこなった二つの手法のうち、ACAの場合は、最大30属性まで処理することが可能であり、LCAのインパクト・カテゴリの全体をコンジョイント分析によって対象とすることも不可能ではない。

使用したライフサイクルデータは、製品のライフサイクル、



全体を通した、負荷である。

(温暖化ガスLC負荷)

地球温暖化に関わるLCガス排出は、一昨年の気候変動枠組み条約の京都会議などによる盛り上がりもあって、比較的一般市民に理解しやすいのではないかと考えて採用した。ライフサイクルデータとしては、「標準的な家庭用エアコン」のライフサイクルでの二酸化炭素で測った温暖化ガス排出量が5トンとして設定した。この約7割は、使用中に排出される。問題は、この5トンという意味を消費者としての回答者がどこまで理解できるかである。

そこでまず、日本人1人あたりの1年間の二酸化炭素排出量が約10トンであることを意識させる。そして、ライフサイクルデータとして得られた5トンという排出を、エアコンの耐用年数を8年とし、また日本の平均世帯人数を2.7人とすると、標準的エアコンを1年間使用することによって一人あたり直接、間接に排出する温暖化ガスが0.23トンであることを示すことによってライフサイクル排出量の意味をとらえるようにした。

この属性の水準としては、0.28トン(標準エアコンの120%)、0.23トン(同100%)、0.18トン(同80%)、0.14トン(同60%)の4つとした。

(大気汚染LC負荷)

大気汚染に関するライフサイクルデータとしては、大気汚染基準の逆数を負荷係数とする方法でとらえられた、負荷をもとにした。各大気汚染物質のライフサイクルでの排出量に、この負荷係数をかけた値の総計を、 $100Nm^3$ とし、これを基礎に設定した。大気汚染負荷の場合は、まず、この数字の意味をわかり易くとらえることが容易ではない。

負荷係数は、たとえば大気汚染基準が $0.04ppm$ の二酸化硫黄の場合、 $0.114mg/Nm^3$ でありこの逆数は $8.772Nm^3/mg$ となる。この意味は、数字の作り方から $1mg$ の二酸化硫黄が排出された場合にそれを大気汚染基準まで薄めるためには $8.772Nm^3$ の汚染されていない、きれいな大気が必要になるということである。その他、一酸化炭素、煤塵、二酸化窒素などのほかの大気汚染物質の排出量について、それぞれ環境基準まで薄めるのに必要な大気量を算定し、合計したものと $100Nm^3$ となる、と解釈することができる。

そこで、 $100Nm^3$ を、必要とされる6畳の部屋5部屋分のきれいな大気として、回答者に表現することにした。

水準としては、 $120Nm^3$ 、 $100Nm^3$ 、 $80Nm^3$ 、 $60Nm^3$ の4つとした。

属性と水準をまとめると次のようになる。

属性	水準1	水準2	水準3	水準4
冷暖房パワー	6畳用	8畳用	10畳用	12畳用
電気代	2000円	3000円	4000円	5000円
リサイクル率	50%	60%	75%	90%
温暖化ガス排出	$0.14t$ (標準の60%)	$0.18t$ (標準の80%)	$0.23t$ (標準と同じ)	$0.28t$ (標準の120%)
大気汚染物質排出	60立方メートル (標準の60%)	80立方メートル (標準の80%)	100立方メートル (標準と同じ)	120立方メートル (標準の120%)
価格	10万円	15万円	20万円	25万円

3. 調査票デザインと回答者の認識

ACAの実際の調査は、コンピュータによって行われ、仮想ランキングの場合は、紙の調査票によって行われた。手法の違いなどは後に説明するが、LCAに対する認識や、LCAデータに対して理解を促すための説明や質問は共通の調査票を用いた⁵。

本来、この部分は、商品の購入にあたって消費者に与える情報をわかり易く表現するためのものである。たとえば、自動車購入やエアコンの購入でもそれぞれの機種にあわせて、パンフレットが作られる。パンフレットでは、性能や特性などがわかり易く描かれる。今

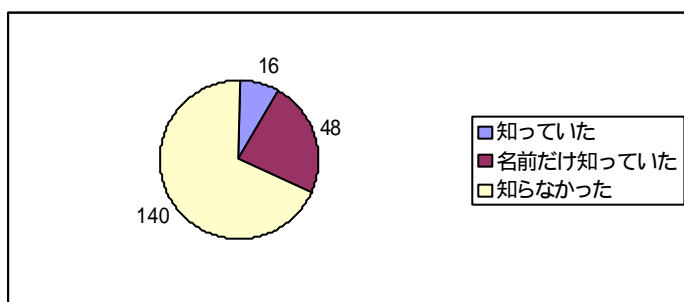
⁵ 添付している調査票の資料を参照のこと。

回は、予算上の制約もありこのようなパンフレットを作成することは困難であった。しかし、今後はLCA属性を統合評価するための仮想的なパンフレット作成や、それに基づくコンジョイント分析が必要になる。

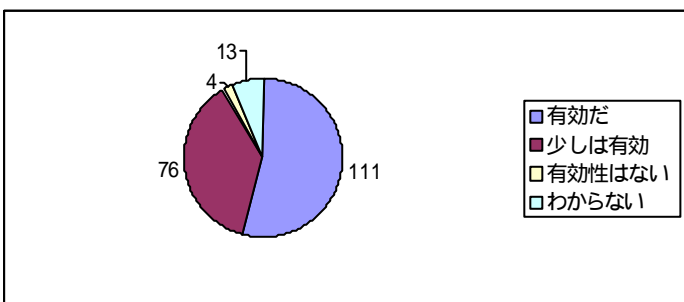
調査票ではまず、LCAがどのような内容と目的を持っているかを説明した。そして、この説明に対する理解度を回答してもらった。ACAとランキングにおける調査対象者の合計204人のうち、140人(68.6%)が名前すら知らないという状況だった。これに対して、説明を受けてLCAが環境保全に有効だと思うかという問に対しては、「有効だ」が111人、「少しは有効」も含めれば187人(91.7%)になった。

また、実際の製品選択の際にLCA情報がわかりやすく与えられていれば、参考にするかという問に対しては、「参考にする」、「少しは参考にする」をあわせると189人(92.6%)になった。これによって、短い説明ではあるが、ある程度回答者はLCAの内容と意味を理解したものと思われる。

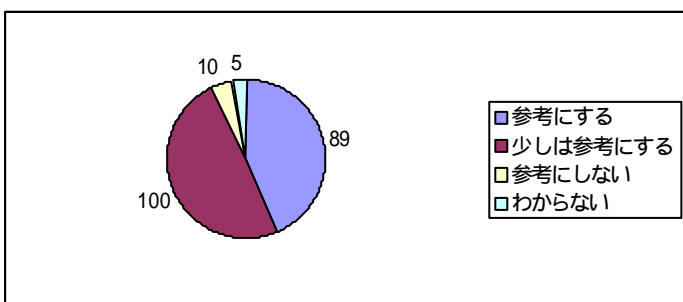
< LCAに対する理解状況 >



< LCAの有効性に対する認識 >

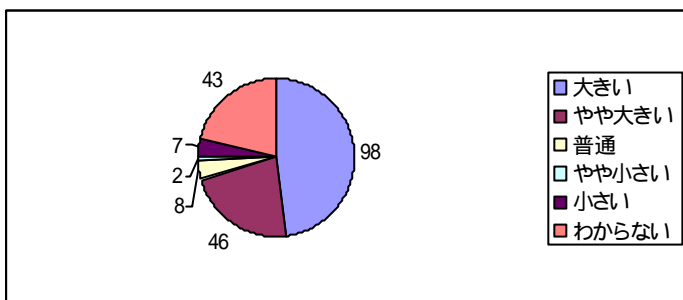


< 製品選択の際に参考にするか >

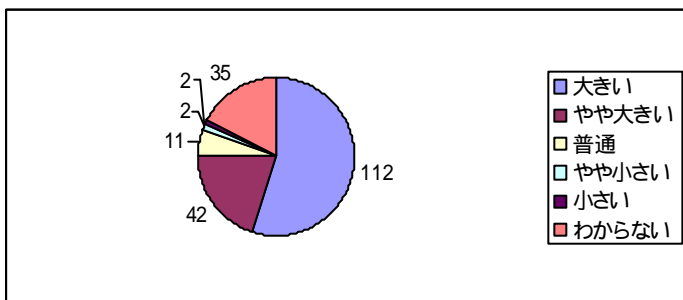


次にライフサイクルデータに関する説明と質問をした。質問では、示されたデータの大きさに対する認識をたじた。これは、大きさの認識そのものを知るだけでなく、回答者にLCAデータの水準に対する、自己評価を明確に意識させるというねらいも持っている。

< 温暖化ガスL C 排出量に対する認識 >



< 大気汚染物質排出L C データの認識 >

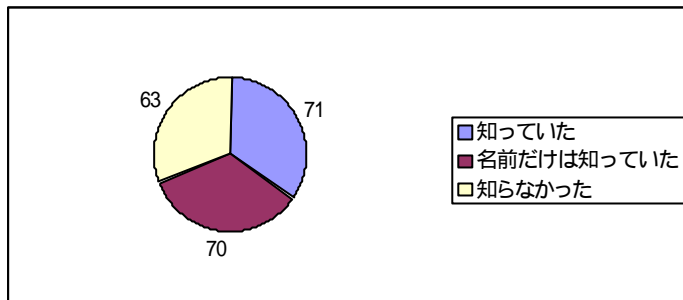


調査の質問表の回答結果からは、温暖化ガスと大気汚染物質のL C データの認識について、両者ともおよそ7割の回答者が「大きい」ないしは「やや大きい」と答え、質問表の表現の仕方が有効であることを示している。

ただし、これらの認識がそれぞれのライフサイクル負荷データの正確な科学的認識に基づいているとは必ずしもいえない。自らの日常生活の経験や、新聞やテレビを通して与えられる情報に基づく個人的な判断と考えるべきだろう。しかし、そのことが評価として不正確というわけでは決してない。社会経済評価は、つねにこのような柔軟性を持つものであり、バイアスというべきものではない。それは、りんごの値段に正しい価値が存在しないのと同じなのである。

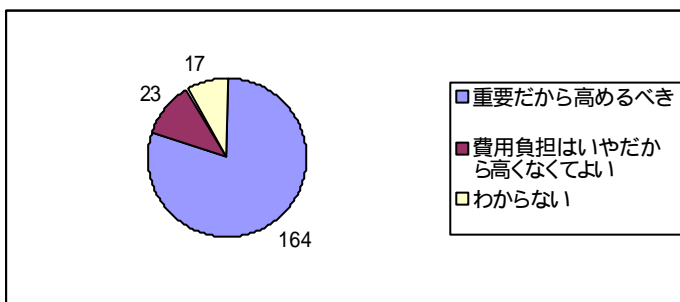
つづいて、リサイクル率に関する質問をしている。家電リサイクル法に対する認識とリサイクル率と、それを高めることによる負担の問題についての認識をたずねた。家電リサイクル法に対する認識としては、名前を知っている割合が6割あったが、内容も含めての理解度は高くないという結果とみることができる。

<家電リサイクル法を知っていたか>



これに対して、リサイクル率を高めるべきか否かについては、費用負担が高まったとしても、リサイクル率を高めるべきだという考え方が8割を超えていた。

<廃エアコンのリサイクル率は高めるべきか>



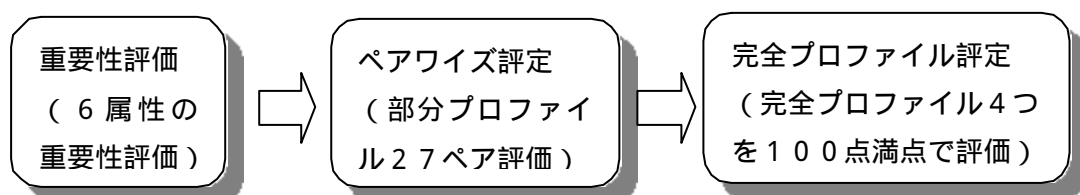
リサイクル問題の社会的認知度の高さを示している。後にみるように、このことは、後にみるようなコンジョイント分析の結果におけるリサイクル率の評価の高さもつながっている。

質問票に対する全体の結果は、およそこちらの意図した通りの結果になったことを示している。

4. A C Aコンジョイント分析の結果

(1) A C Aの流れ

A C Aコンジョイント分析は質問票によるL C Aの認識についての質問などの後に、コンピュータを利用した質問のことをさしている。A C Aのおよその流れは、つぎのようなものである。



ただし、この重要性評価の前に各属性のレベルの選好順序をあたえる質問がある。ここでは、レベルの選好順序が不明確なのは、冷暖房パワーだけであるので、それについて一番望ましいものから順序を尋ねる質問部分が用意された。

重要性評価部分では、各属性についてもっとも望ましいものと望ましくないものが示されて、その間の重要性の差がどれほどか1から4のランクで尋ねられる。一番望ましくないものに比べて望ましいものの重要性が大きい場合は4の評定があたえられ、逆にもっとも小さい場合は1の評定を与えるように質問がおこなわれる。

ペアワイズ評定では、重要性評価の質問に基づいて、6個の属性のうちから2つないしは3つが選ばれそれぞれのレベルとともにペアになって示される。そして、どちらがどれほど重要であるか1から9までの評定によって示すことを求められる。右側のペアがもっとも望ましい場合には、9の評定、逆に左がもっとも望ましい場合には1の評定を与えることになる。このペアは、27ペアが示され回答することが要求される。かなりの神経的な消耗を経験する回答者が少なくない。

最後に、すべての属性がその適当なレベルとともに示されたプロフィールが示され望ましさの水準を0から100点の間で示されることが要求される。この完全プロフィール評定は4つのプロフィールについておこなわれる。

一人の回答者から上記のような多様なデータを得ることができることもACAの特徴となっている。

(2) ACAデータの解析

ACAは得られたデータから属性の部分効用を計算する場合に最小二乗法のダミー回帰分析で推計している。しかし、この方法は効用測度を与えるものとしては不適切であるといわれている。そこで、ここでは回答者が共通のランダム効用関数をもとに回答していることを仮定して、すべてのデータを結合した形での最尤法で推計した⁶。

まず、ランダム効用関数は次のような形をしていると仮定しよう。

$$U_j = V(X_j) + e_j$$

ここで U は効用水準を表し、 V はそのうち観察可能な部分を表し、 X は属性の水準をあらわすベクトル、 e は観察不可能な部分を表している。それぞれについているサフィックスの j は提示されているプロフィールの番号である。ここでの問題は、関数 V を特定化する係数を推定することである。

⁶ 同様の推計方法をとったものとしては、竹内憲司・栗山浩一・鷲田豊明、1997、「油流出事故の沿岸生態系への影響 - コンジョイント分析による評価 -」、鷲田他編『環境評価ワークショップ』、pp.91-104、築地書館。

この推計の理論として Johnson and Desvousges の順序プロビットを用いる⁷。

まず、ペアワイズ評定の場合の推計を説明しよう。そして、それが最初の重要性評価の場合にも応用できることを示そう。このペアワイズ評定の場合、プロフィールが回答者に二つ提示されて、どちらがどれだけ望ましいかを 9 段階の評定で答えることになっている。回答者の評定は、二つのプロフィールが与える効用差に依存しているはずである。そこで、 l (左側のプロフィール) と r (右側に提示されたプロフィール) という二つのプロフィールが回答者に提示されたとするとその効用差 dU は次のように与えられる。

$$dU_{rl} = dV_{rl} + e_{rl}$$

ただし、

$$dV_{rl} = V(X_r) - V(X_l)$$

$$e_{rl} = e_r - e_l$$

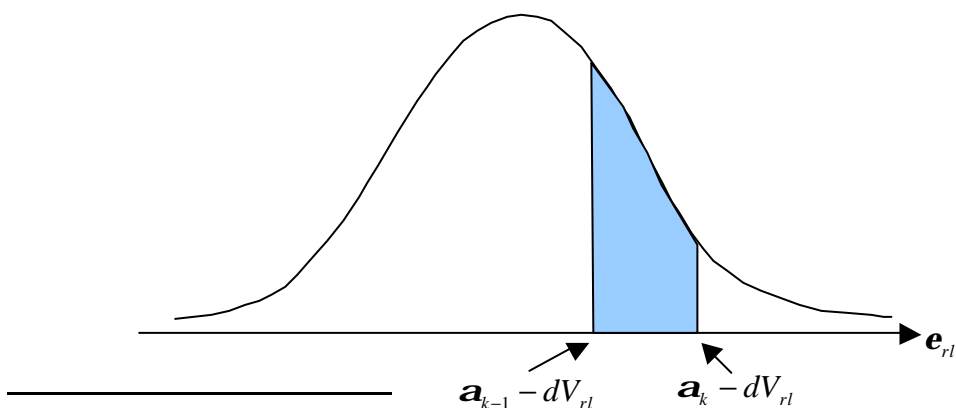
である。回答者は、この効用差に基づいて評定を与えるのであるが、もし効用差が大きければ、9 ないしはそれに近い評定を与え小さければ 1 ないしはそれに近い評定を与えるだろう。このような評定がある閾値に基づいて与えられると考えよう。いま例えば、 k ($k = 1, 2, \dots, 9$) という評定を与える閾値を a_k としよう。回答者が k という評定を与える状況は次のような場合に発生する。すなわち、効用差から a_{k-1} 差し引いただけでは効用差は正であるが、それよりも大きな値の閾値である a_k を引くと効用差が負になるという状況で回答者は評定 k を与えると考えるのである。すなわち、

$$dU_{rl} - a_{k-1} > 0 \quad \text{かつ} \quad dU_{rl} - a_k < 0$$

ならば回答者は k という評定を与えると考えるのである。この関係は、次のようなことを意味する。

$$e_{rl} > -dV_{rl} + a_{k-1} \quad \text{かつ} \quad e_{rl} < -dV_{rl} + a_k$$

という状況のとき、回答者は評定 k を与えるということである。いま、 e_{rl} が $N(0, s_1^2)$ の正規分布に従っていると仮定しよう。



⁷ Johnson, F.R. and W.H. Desvousges, 1997, "Estimating Stated Preferences with Rated-Pair Data: Environmental Health, and Employment Effects of Energy Programs," *Journal of Environmental Economics and Management*, 34:79-99.

このとき、評定 k を与える確率 $Pr ob(k)$ は次のように与えられる。

$$Pr ob(k) = \Phi\left(\frac{\mathbf{a}_k - dV_{rl}}{\mathbf{s}_1}\right) - \Phi\left(\frac{\mathbf{a}_{k-1} - dV_{rl}}{\mathbf{s}_1}\right)$$

ただし、ここで Φ は標準正規分布の累積分布関数をあらわしている。この状況は上の図によってあらわされるだろう。

この \mathbf{a}_k ($k = 1, 2, \dots, 9$) および \mathbf{s}_1 も推計対象のパラメータとなる⁸。ただし、 \mathbf{a}_0 は $-\infty$ 、 \mathbf{a}_9 は ∞ に基準化される。

これによって、次のような対数尤度関数を与えることができる。

$$\log L_p = \sum_i \sum_k d_k \ln \left[\Phi\left(\frac{\mathbf{a}_k - dV_{rl}}{\mathbf{s}_1}\right) - \Phi\left(\frac{\mathbf{a}_{k-1} - dV_{rl}}{\mathbf{s}_1}\right) \right] \quad (1)$$

ただし、 i は回答者を区別するサフィックスで、対数尤度がすべての回答者の回答について合計されることを示している。

ところで、ペアワイズ評定の対象となるプロファイルは、左右逆で提示されても評定が逆になるだけのはずである。すなわち、A と B というプロファイルのペアが提示されて、それぞれ左と右におかれていて、回答者が比較的 B が望ましいという意味で、8 という評定をつけたとしよう。すると、同じペアが逆に、すなわち A が右に、B が左に提示されたときは、回答者が矛盾のない回答をしているならば、2 という評定が与えられるはずである。このことは1から9という評定が、すべて0から4の評定に書き換えられることを意味している。もちろん、提示されているプロファイルに偏りがあったり、回答者が一方に提示されたプロファイルに高い評価を与える傾向があれば、このことは成立しない。

このような対称性を仮定すると、5という評定を0として9, 8, 7, 6を4, 3, 2, 1に、1, 2, 3, 4を4, 3, 2, 1の評定に変換して推計することが可能になる。これによって、推計すべきパラメータの数も節約できるという長所も出てくる。

以上がペアワイズ評定型コンジョイント分析の推計方法である。

そして、ACAの第1段階で行われる重要性評価もペアワイズ評定の特殊な場合として解釈することができるのである。すなわち、ペアワイズ評定においてプロファイルにリスとされている属性が1つしかなく、評定が1から4で与えられているペアワイズ評定が重要性評価になるのである。したがって、重要性評価についてはあらためて述べることはなくなってしまう。

次に、ACAの最後の質問分類である、完全プロファイル評定型の場合、効用差は問題にならない。したがって、 $V(X_j)$ を直接推計することになる。ただし、その際、評定が負に

⁸ \mathbf{s} は単独で推計される場合は1に基準化される。後にみるような他の方法と結合して推計される場合に

ならないことを考慮し Tobit モデルで推計することになる。

Tobit モデルの対数尤度関数は次のように与えられる⁹。

$$\log L_t = \sum_{r_j > 0} \ln[\mathbf{s}_2^2 \mathbf{f}(\frac{r_j - V(X_j)}{\mathbf{s}_2})] + \sum_{r_j < 0} \ln[1 - \Phi(\frac{V(X_j)}{\mathbf{s}_2})] \quad (2)$$

ただし、 \mathbf{f} は標準正規分布の密度関数であり、 Φ は前と同じ標準正規分布の累積分布関数である。

そして、ペアワイズ評定と重要性評価に関する対数尤度関数である(1)と完全プロファイル評定の対数尤度関数である(2)を合計した対数尤度関数を最尤法によって推計し、目的とするパラメータが得られるのである。

(3) A C A の結果

A C A の計算にあたっては、ペアワイズ評定のデータについて対称性を前提にして推計した¹⁰。そして、効用関数の中での冷暖房パワーについては、非線形性が予測されるが、まず線形性を前提にして、冷暖房パワーを直接入れた次のようなモデルで推計した¹¹。

$$V(X_j) = \mathbf{b}_0 + \mathbf{b}_1 PWR + \mathbf{b}_2 CST + \mathbf{b}_3 RCY + \mathbf{b}_4 GHG + \mathbf{b}_5 AIR + \mathbf{b}_6 PRC \quad (3)$$

ただし、 PWR は冷暖房パワーの水準、 CST は電気代の水準、 RCY はリサイクル率の水準、 $L C A$ データとしての GHG は温暖化ガスの排出水準、 AIR は大気汚染物質の排出水準、 PRC は価格水準である。

計算には、GAUSS Xを使用し、22回のiterationの後に収束した¹²。その結果は以下ようになった。なお、対数尤度は、-5566.7429であった。

スケールパラメータとして扱われ、独自の推計対象となる。

⁹ 実際の推計では、このままのTobit関数を用いるのではなく、GAUSSXのコマンドとして用意されているTobit関数によって対数尤度を与えている。

¹⁰ ただし、以下の3つのモデルについて、それぞれ非対称の場合も推計したが、理論的整合性から対称性を前提にしたモデルを検討対象としている。

¹¹ 推計にあたっては、あらかじめペアワイズ評定データだけを用いて順序プロビット関数を用いて推計し、その推定係数を初期値としてすべてを結合したモデルの最尤推定をおこなった。

¹² GAUSS XはEconotron Software社の計量経済分析パッケージである。以下の推計は、すべてこのソフトウェアを利用して計算されている。GAUSSXを動かすためには、Aptech Systems, Inc.社のソフトウェアパッケージであるGAUSSが必要である。

		係数	標準偏差	t 値	p 値
定数項		4.786577	0.175076	27.340015	0.000
(1)	冷暖房パワー	0.023466	0.006143	3.819967	0.000
(2)	電気代	-0.277166	0.019039	-14.557559	0.000
(3)	リサイクル率	0.016357	0.001242	13.172897	0.000
(4)	温暖化負荷	-0.011094	0.000847	-13.094163	0.000
(5)	大気汚染負荷	-0.011263	0.000763	-14.761593	0.000
(6)	価格	-0.055341	0.003480	-15.901199	0.000
1		0.932520	0.061519	15.158287	0.000
2		1.553782	0.109635	14.172281	0.000
1		-0.855858	0.063292	-13.522457	0.000
2		-0.202495	0.027640	-7.326217	0.000
3		0.209506	0.023421	8.945244	0.000
4		0.613029	0.040903	14.987401	0.000

結果は、全体としては悪くない。すべての係数が1%以下の有意水準をもっている。しかし、1つ特徴的なことは冷暖房パワーのt値が他と比較して著しく低いことである。やはり、冷暖房パワーに問題があることを示唆している。そこで、あくまでも線形性を前提にする方法として、冷暖房パワーについて直接、6畳、8畳、10畳、12畳といったデータを用いずに、選好ランキングを用いて推計した。すなわち、冷暖房パワーだけは、重要性の評価の前に望ましいものの順位を答えさせているので、この回答者の回答を用いて、一番望ましいものに4の評定を与える、以下3、2、1の評定を与えそれを効用関数の中に入れて推計してみた。すなわち、(3)式のPWRをこのようなランク値で推計したのである。対数尤度は-5514.3445で次のような結果を得た。

		係数	標準誤差	t 値	p 値
定数項		4.396958	0.173276	25.375404	0.000
(1)	パワーランク	0.129209	0.013397	9.644363	0.000
(2)	電気代	-0.251733	0.018661	-13.490120	0.000
(3)	リサイクル率	0.014925	0.001148	12.997602	0.000
(4)	温暖化負荷	-0.010413	0.000897	-11.605740	0.000
(5)	大気汚染負荷	-0.010431	0.000780	-13.374286	0.000
(6)	価格	-0.050255	0.003206	-15.674169	0.000
1		0.739381	0.054195	13.643017	0.000
2		1.575616	0.117533	13.405762	0.000
1		-0.682193	0.055282	-12.340192	0.000
2		-0.148843	0.021733	-6.848629	0.000
3		0.186397	0.021109	8.830109	0.000
4		0.510299	0.036793	13.869309	0.000

全体としての統計的有意性は維持されている。また、対数尤度が増加すると共に、パワーのパラメータのt値が上昇している。

次に、効用関数を線形とはせず、冷暖房パワーの部分が分離可能な二次関数となっていてと考えて推計した。すなわち、観察可能な部分の関数を次のように特定化した。

$$V(X_j) = b_0 + b_1PWR + b_2PWR^2 + b_3CST + b_4RCY + b_5GHG + b_6AIR + b_7PRC$$

A C A データの最尤法による推定結果は、次の表にまとめられる。なお対数尤度は -5559.2555 だった。この対数尤度は、冷暖房パワーをランキング値にした場合と比べて低下しているが、最初のモデルである冷暖房パワーを線形に直接入れた場合と比べて増大している。全体としてのモデルパフォーマンスの改善もそこにあらわれていると、考えることができる。

		係数	標準偏差	t 値	p 値
定数項		3.565409	0.232496	15.335342	0.000
(1)	冷暖房パワー 1 次	0.303821	0.017850	17.020425	0.000
(2)	冷暖房パワー 2 次	-0.015774	0.000925	-17.050604	0.000
(3)	電気代	-0.271178	0.018643	-14.546003	0.000
(4)	リサイクル率	0.016220	0.001190	13.632813	0.000
(5)	温暖化負荷	-0.010996	0.000831	-13.231210	0.000
(6)	大気汚染負荷	-0.011202	0.000759	-14.760956	0.000
(7)	価格	-0.054466	0.003342	-16.297156	0.000
1		0.897213	0.061062	14.693572	0.000
2		1.556206	0.194496	8.001214	0.000
1		-0.820856	0.065136	-12.602148	0.000
2		-0.189247	0.028166	-6.718889	0.000
3		0.208279	0.023264	8.952967	0.000
4		0.596865	0.041126	14.513254	0.000

統計的には、どの係数も高い有意性を持って推定されている。したがって、ここでは、評価ウェイトを示す係数に注目しよう。冷暖房パワー一次 (1) から価格 (7) までが私たちが求めている評価ウェイトである。冷暖房パワーは畳数が単位となっている。電気代は、結果の桁数を調整したためにデータを線で割っているため、1 単位が 1 0 0 0 円となっている。リサイクル率は%がそのまま単位となっている。温暖化負荷は 1 % すなわち 2 . 3 k g 排出が 1 単位となっている。大気汚染負荷も 1 % すなわち 1 立方メートルが 1 単位となっている。

冷暖房パワーを除いてすべての係数は、それぞれの 1 単位が上昇することによって効用がどれだけ上昇するかを示している。価格や環境負荷につながるものはその増加が効用水準を低下させるので負の値となっている。

まずやっかいな、冷暖房パワーを片付けておこう。冷暖房パワーに関する 1 次と 2 次項の推計された値から、冷暖房パワー (PWR) については効用水準 (U_{PWR}) と次のような関係があることがわかる。

$$U_{PWR} = 0.303821PWR - 0.015774PWR^2$$

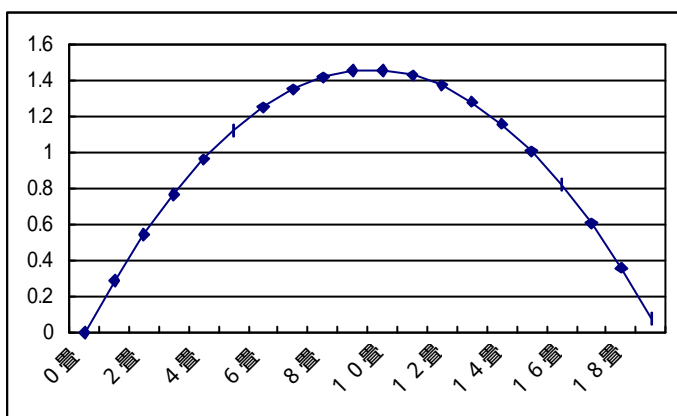
また、この関係を図に表すと次のようになる。

縦軸は効用水準で値の大きさそのものは意味がないが、各畳数に対する高さの順番は

意味を持っている。この効用水準の山は、9.6畳水準で頂上に達する。すなわち、回答者の冷暖房パワーに対する平均的な選好は9.6畳が最も高いのである。したがって、8畳と12畳は10畳についてほぼ同じ選好であり、6畳が最も低い選好となっていることがわかった。

私たちが問題にするのは、限界効用である。すなわち、パワーが1単位増加したときの効用水準の増加度合いである。これが、他の限界効用と比較されることによって、ウエイトが求められるのである。限界効用が最も高いのは、提示した水準の中では6畳である。

<冷暖房パワーに対する選好強度>



(4) A C AによるLCインパクト・アセスメント

家庭用エアコンに関するこれまでの計算結果を総合しよう。まず、上記の3モデルのうち、全体としてパフォーマンスが良好だった、冷暖房パワーを非線形にしたモデルを分析の対象としよう。

私たちが注目すべきは、その係数である。冷暖房パワーについては、上で見たように、その限界効用(上図の傾き)が水準に依存する。ここでは、6畳の水準における冷暖房パワーの限界効用を指数として採用しよう。すなわち、上図における6畳の位置における接線の傾きを指数として用いるのである。このとき、各指標の評価ウエイトは次の表のようにまとめられる。

カテゴリ (属性)	冷暖房パワ ー	電気代改 善	リサイク ル率	温暖化負 荷改善	大気汚染 負荷改善	製品価格
(単位) 評価ウエイト 効用指数	畳 0.114533	千円 0.271178	% 0.016220	% 0.010996	% 0.011202	万円 0.054466
(単位) 評価ウエイト 製品価格単位	万円/畳 2.1	円/円 49.8	円/% 2978.0	円/Kg 877.9	円/m ³ 2056.7	円/円 1.0

この表の二重線から上段はパラメータの推計値をすべて正の値に直したものである。たとえば、電気代の場合は、負号がついていたがこれは電気代の上昇が効用水準を「低下」させるということを表していた。これは、電気代の上昇ではなく低下、すなわち電気代の節約と考えれば、そのパラメータの値は改善に対する正の評価ウエイトなるのである。同じように、温暖化ガスの排出の増加は効用水準を低下させるが、その改善は人々の効用を増大させる。これも、このように考えれば正の値とすることができるのである。

効用指数は、その水準そのものに意味を持たず、他の効用水準との比較においてしかウエイトの機能を果たさない。そこで、それぞれを製品価格の単位で基準化したものが二重線から下の部分にあらわされている。それぞれについて説明を加えておこう。

<冷暖房パワー>

まず、冷暖房パワーである。冷暖房パワーについては先にも述べたように非線形である評価関数の 6 畳付近の傾きを指数として採用している。したがって、この 2 . 1 万円 / 畳という意味は、6 畳から 1 畳冷暖房パワーが増加することを、消費者は価格として 2 . 1 万円の上昇に値すると評価するということである。あるいは、冷暖房パワーが 6 畳の製品に比較して 7 畳の製品は製品価格が 2 . 1 万円高くてもそれを受け入れるほどに評価することを意味している。先の図から明らかのようにこの評価は、基準となる畳数が大きくなるに従って低下する。例えば 9 畳から 10 畳に冷暖房パワーが増加しても、消費者はそれをほとんど評価しなくなってしまうのである。

<電気代の改善>

電気代改善の 49 . 8 円 / 円の意味するところは、1 ヶ月の電気代が 1 円安い家庭用エアコン製品の価格は約 50 円高くてもそれを受け入れるということである。ここでのエアコンは耐用年数が 8 年であることを前提としている。この耐用年数は、紙の調査票の中には明示的に示していなかったもので、回答者の意識していた耐用年数は不明である。仮に、およそ 8 年の耐用年数を前提としていたとすると、96 ヶ月間 1 円の電気代を追加的に払いつづけることと、現在の 49 . 8 円の貨幣額が等しい価値を持つと考えているとみなすことができる。すなわち、1 ヶ月の割引率を r として、これを求める式は次のようになる。

$$49.8 = \frac{1}{1+r} + \left(\frac{1}{1+r}\right)^2 + \left(\frac{1}{1+r}\right)^3 + \dots + \left(\frac{1}{1+r}\right)^{96}$$

これは近似的に解くことができ $r = 0.00966$ となる。すなわち、1 ヶ月の割引率が約 1 % である。これは、現行の金利水準からみれば高いが、割引率としてある程度妥当な値であるといえる。すなわち、消費者は電気代をかなり合理的に評価しているとみなすことができる。

<リサイクル率>

リサイクル率に対する評価はかなり高めに出ている。すなわち、重量比リサイクル率の 1 % の増加は製品価格で 2978 円の増加に値する評価されている。これは、先に述べたよう

に回答者の 8 割以上が費用はかかってもリサイクル率は高めるべきだと、高い選好を持っていることの結果である。実際にリサイクル率を高めるための費用は平均的でも、これほどの高さにはならないだろう。電気製品メーカーがリサイクル率を高めることの重要な意味がここに示されている。家電リサイクル法におけるメーカーが義務を負うべきリサイクル率は与えられて義務的にこなすというのではなく、その高さを積極的にアピールすることが必要であるといえる。

< 温暖化負荷改善・大気汚染負荷改善 >

ライフ・サイクルデータとしての温暖化負荷の改善は、二酸化炭素換算で測った 1 人 1 年間の温暖化ガス排出量を 1 Kg 低下させることが、製品価格でみて 878 円の追加的な上昇を受け入れさせるほどに評価されることがわかった。また、大気汚染負荷の場合は、 $1 m^3$ の要求大気量の改善について 2056 円の製品価格での評価が与えられることがわかった。

このような LC 環境負荷に対する社会経済的評価の高低を、現時点で判断する材料はないが、これらが比較的高い評価になっている可能性がある。

また、これらの評価は、LCA データを評価する経験をほとんどない回答者によって行われていることに注意が必要である。先に見たように、回答者の中で LCA を「知っていた」と明確に答えているのは 1 割に満たない。すなわち、その場で与えられた温暖化負荷と大気汚染負荷についての情報をもとに回答しているのである。もちろん、評価と回答そのものが全体としてみれば一貫性のあるものだったことは、推計されたパラメータの有意性に反映している。しかし、情報の与え方によって値が無視しがたいほどに異なる可能性を現時点では否定できない。

LCA のコンジョイント分析評価を、どのように「評価」するかは、今後の重要な課題なのである。

5 . 仮想ランキングによるコンジョイント分析の結果

A C A とともに仮想ランキングによる家庭用エアコンのコンジョイント分析もほぼ平行して行った。L C A の意義や L C A データの意味の解説については、A C A とまったく同じ紙の調査票を用いて回答者に正した。その調査票の結果はすでに示したとおりであり、A C A とほぼ同じ傾向を示している。

(1) 仮想ランキングの特徴

A C A と比較した仮想ランキングの著しい特徴は、回答者にプロファイルが複数 (今回 の調査の場合は 3) 示され、回答者にそれらのプロファイルの選好順序を回答することを要求する点にある。今回の場合は、一人の回答者あたり、1 0 個のリストが提示された。1 つのリストに 3 つのプロファイルがはめ込まれていて、その中から最も望ましいものと 2 番目のものを回答する。もしも、いずれも望ましくない場合は、「どれも望ましくない」

と回答する。

A C Aと異なり、仮想ランキングの調査票デザインにおいて重要な問題となるのは、提示するプロフィール中のそれぞれの属性をどの水準と共に示すかという点である。仮想ランキングでは、分析を容易にし、回答者の混乱を可能な限り回避するために、冷暖房パワーは除いた5つの属性を用いた。それぞれの属性が4つの水準を持っているために理論的には $5^4 = 625$ 種類のプロフィールが存在する。すべてのプロフィールを用意することは困難であり、また、パラメータ推計上でも望ましくはない。そこで、これらのプロフィールの中から調査に望ましいプロフィールを選び出してリストを作成する必要がある。このときに考慮されるのが実験計画法における直交デザインである。直交デザインは、各レベルの登場回数の均等性や配置が対角でありパラメータ推計上の多重共線性などの回避も容易になる。しかし、機械的に構成するために、すべてのほかの水準はもう一方のプロフィールと比べて望ましくなっているのに、価格だけが高くなっているなど、非現実的なプロフィールが発生する可能性もある。

今回の調査では、4水準の直交表を用いて、見た目の不自然さをなくすことと、6つのバージョンを作成して、全体のばらつきを確保する形でプロフィールデザインをした¹³。

<ランキングデータのリスト例>

番号	1	2	3	標準製品
製品の価格	10万円	20万円	25万円	
リサイクル率	50%	75%	90%	60%
温暖化ガス排出 (標準製品との比較)	120%	80%	80%	0.23トン (100%)
大気汚染物質排出 (標準製品との比較)	120%	80%	100%	100立方メートル (100%)
電気代(1カ月)	2000円	4000円	2000円	

1番目望ましい製品 2番目に望ましい製品 どれも望ましくない

(2) 仮想ランキングの推計理論と計算結果

A C Aの場合と同様に、回答者が、共通の $U_j = V(X_j) + e_j$ というランダム効用関数によってプロフィールの望ましさの評価をしていると仮定する。いま、誤差項が Gumbel 分布に従うと仮定する。このとき、選択肢の中からあるプロフィール(例えば j) が選択され

¹³ 直交表は、島田正三著、『やさしい直交配列の話』、日本規格協会、1958年刊にある4水準の直交表を用いた。直交デザインに関しては、その他、朝野熙彦著、『入門多変量解析の実際』、講談社、1996、Lorenzen, T.J. and V.L. Anderson, 1993, *Design of Experiments: A No-name Approach*, Marcel Dekker, Inc.などを参照した。

る確率 P_j は次のようにあらわされることがわかっている¹⁴。

$$P_j = \frac{e^{IV_j}}{\sum_k e^{IV_k}}$$

ただし k は選択肢の全体にわたって合計される。 I はスケールパラメータであり、通常 1 に基準化される。したがって、いま例えば、選択肢が 1, 2, 3 の 3 つあり、そのなかから第 2 番目のプロフィールが選択される確率 $P_{2.123}$ は、

$$P_{2.123} = \frac{e^{IV_2}}{e^{IV_1} + e^{IV_2} + e^{IV_3}}$$

となり、さらに例えば残りの中では 1 が望ましいとするとその確率 $P_{1.13}$ は次のように与えられる。

$$P_{1.13} = \frac{e^{IV_1}}{e^{IV_1} + e^{IV_3}}$$

これらの確率を用いてパラメータの最尤法による推計が可能になる。たとえば、調査データを並び替えて、常に第 1 番目のプロフィールが第 1 に望ましいと回答者が答えたプロフィールを置き、2 番目には第 2 に望ましいと回答者が答えたプロフィールデータおくようにすると、対数尤度関数 $LogL_r$ は、次のように与えられることになる。

$$LogL_r = \sum_i [\ln(P_{1.123}) + \ln(P_{2.23})]$$

ここで、 i はリストを示すサフィックスである。

仮想ランキングも A C A と同じソフトウェアを用いて推計した。ただし、私たちのデータは、「どれも望ましくない」という選択肢は、他の選択肢と同様に順序づけがなされるようになっていないので、3 個のプロフィールに順序づけるランキングになっている。

結果は以下ようになった。なお、対数尤度は -1432.7210 であった。

	係数	標準偏差	t 値	p 値
電気代	-0.290995	0.027558	-10.559511	0.000
リサイクル率	0.013769	0.002020	6.816784	0.000
温暖化負荷	-0.011414	0.001466	-7.784490	0.000
大気汚染負荷	-0.009265	0.001264	-7.331781	0.000
価格	-0.050902	0.005465	-9.314518	0.000

いずれの係数も高い有意性で推定され、かつ符号条件も予想通りの結果となっている。

(3) 仮想ランキングによる LC インパクトアセスメント

上で推定された係数をもとに、A C A と同様に通常性能と L C A データとの社会経済評

¹⁴ McFadden, D., 1974, "Conditional logit analysis of qualitative choice behavior," In *Frontiers in Econometrics*, P. Zarembka (ed.), Academic Press, 105-142.

価のウェイトを調べてみよう。

まず、全体の結果は次の表のように表すことができる。

カテゴリ (属性)	電気代改 善	リサイク ル率	温暖化負 荷改善	大気汚染 負荷改善	製品価格
(単位) 評価ウェイト 効用指数	千円 0.290995	% 0.013769	% 0.011414	% 0.009265	万円 0.050902
(単位) 評価ウェイト	円/円 57.2	円/% 2705.0	円/Kg 974.9	円/ m^3 1820.2	円/円 1.0
(A C A 結果)	(49.8)	(2978.0)	(877.9)	(2056.7)	(1.0)

A C Aの場合と比較しながら、それぞれ検討してみよう。まず、電気代改善であるが、これはA C Aと比較してやや高くなっている。しかし、A C Aとの差は7.4円(15%)である。リサイクル率もまたA C Aと比較して228円(8%)の差しかでていない。温暖化負荷改善も97円(11%)の差である。大気汚染負荷改善は236.5円(12%)の差となっている。

全体としてみれば、回答者標本もまったく異なり、調査方法もA C Aとランキングとかなり異質なものであるにもかかわらず、ここまで結果の類似性が出てきていることは注目すべきことである。

(4) LCインパクトアセスメントと家庭用エアコン市場シェアの予測

このランキングデータを用いると市場シェアについての簡単な予測シミュレーションが可能になる。いま、仮想的に4つの家庭用エアコン製品を考えてみよう。第一は、高リサイクル製品であり、他は標準製品に等しくリサイクル率だけが重量比で95%を達成すると仮定する。第二は電気代節約型製品であり他は標準製品と同じで1ヶ月の電気代がそれよりも1000円安い製品であるとする。次に、低温暖化負荷製品で、他は同じで温暖化ガス排出量が標準製品の60%しかないとする。そして、標準製品の4つである。

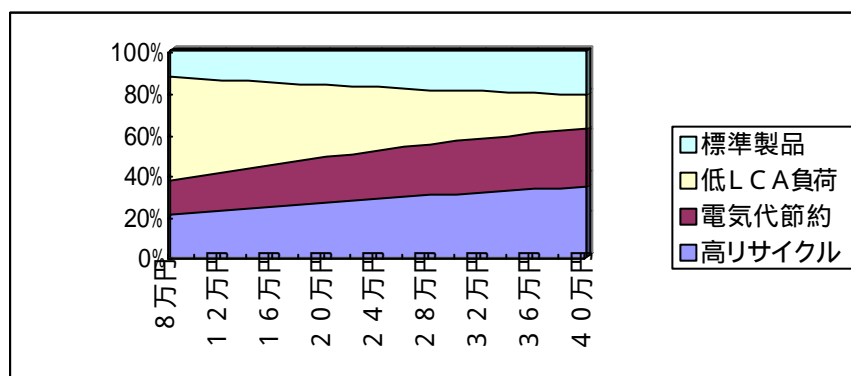
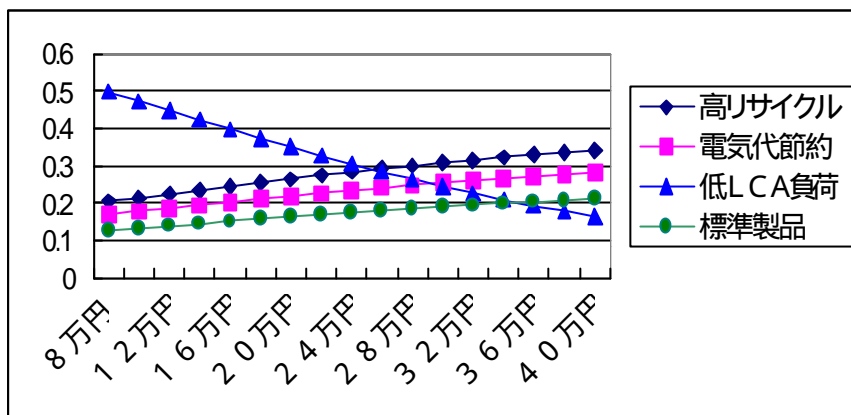
そして、低温暖化負荷製品の価格を小さい値から高い値に変化させたときの全体としての市場シェアの変化を見てみる。

まとめると次の表のようになる。

番 号	高リサイクル 製品	電気代節約型 製品	低温暖化負荷 製品	標準製品
製品の価格	20万円	20万円	変化させる	20万円
リサイクル率	95%	60%	60%	60%
温暖化ガス排出	0.23ト _ン	0.23ト _ン	0.14ト _ン	0.23ト _ン (100%)
大気汚染物質排出	100立方 _{メートル}	100立方 _{メートル}	100立方 _{メートル}	100立方 _{メートル} (100%)
電気代(1カ月)	3000円	2000円	3000円	3000

これをもとに、先のランキングの理論のところでも示した選択確率を市場シェアと読み替えてシミュレーションすると次のグラフのような結果を得ることができる。

< 低温暖化負荷製品価格による市場占有率の変動 >



価格が安いときは、低温暖化負荷製品は高い市場占有率を持ちうるが24万円を超えるあたりから他の製品に抜かれていく状況を読み取ることができる¹⁵。

6. まとめと今後の課題

上記の研究は、コンジョイント分析によるLCインパクトアセスメントの可能性が示されたという点で重要な意味を持っている。しかし、また一方でこの研究は、LCインパクトアセスメントをコンジョイント分析の枠組みの中で発展させていく端緒的試みに過ぎない。これまで、ほとんど研究がなされていず、社会的な経験の蓄積がゼロという中で、統計的にも高い有意性をもちながらLCAデータの評価ができたことは今後の研究発展の上で重要

¹⁵ この方法は、前掲、栗山・石井論文を参照。

な意味を持っている。LC インパクトアセスメントをコンジョイント分析と発展させていく上での方向性と課題について、以下述べておこう。

(1) LCA データの表現手法に対する研究

コンジョイント分析においては、回答者が評価可能な事前情報をどのように与えるのが重要な意味を持っている。自然科学的な数値を並べたとしても、それは専門知識を持った研究者にしか理解できない。通常の製品評価能力しか持ち合わせていない一般の人々が LCA データを自らの限界的貨幣支出とつなげられるほどに理解するためには、LCA 結果をわかりやすく表現する手段に対して真剣な検討が必要である。

研究の課題としては、第 1 に、このような LCA データに関する事前情報の与え方と LCA 属性に対する評価との関係を実証的に分析することである。第 2 に、回答者にとってのコンジョイント分析の調査の環境が実際の製品購入の環境と同様の状況をつくりだし、そのもとで得られた調査データによって評価ウエイトを推計すべきである。そのためには、仮想的にでも実際に商品イメージを的確に表現し LCA データの意味をわかりやすく解説した製品パンフレットを作成し、それによって情報を伝えることによって回答者の評価ウエイト情報を取り出すことが必要である。

(2) 異なった製品間での同一 LCA インパクト・カテゴリの評価水準の比較

基本的に同じインパクト・カテゴリの LC 環境負荷は、それが与えられている製品が異なったとしても同じに評価されるべきである。これに対して、コンジョイント分析は、LCA の場合製品を対象にしておこなわれるが普通である。したがってそこに、異なった商品に対しておこなわれたコンジョイント分析による LCA インパクト・カテゴリの評価ウエイトが同一化するのか、異なったものになるのか、異なるとすれば原因は何か分析、研究されるべきである。それはまた、製品から独立した一般的で共通の LCA の評価ウエイトを、コンジョイント分析によって作り上げることができるか否かという問題でもある。これは、多くの時間と費用を要するが、今後の LC インパクトアセスメント研究の決定的に重要な課題であると考えられる。

(3) 多様な LCA インパクト・カテゴリの評価ウエイトの推計

コンジョイント分析は、取り上げる属性に絶対的な制限はないが、回答者に直接質問するという形式をとっているために、1 度に数多くの LCA インパクト・カテゴリをコンジョイント分析の属性化することは困難である。1 つの製品に関わる多様な LCA インパクト・カテゴリのデータをコンジョイント分析で推計する方法も、もっと研究される必要がある。

以上を、今後の新たな研究方向課題としながら、コンジョイント分析による LC インパクトアセスメントにもっと多くの人的、物的資源が投下されるべきである。

付録1 ACAパラメータの推計に用いたGAUSS Xプログラム

```
? Air conditioner LCA Data conjoint analysis by ACA
create (u) 1 3366;
? input importance-pare wise data
open pwr_l cst_l ryc_l ghg_l air_l prc_l pwr_r cst_r ryc_r ghg_r air_r prc_r rat;
fname = imppare1.asc;
? input full profile data
open dum_f pwr_f cst_f ryc_f ghg_f air_f prc_f rat_f;
fname = full-1.asc;
genr pwr = (rat .> 4).*(pwr_r - pwr_l) + (rat .< 5).*(pwr_l - pwr_r);
genr pwr2 = (rat .> 4).*(pwr_r.*pwr_r - pwr_l.*pwr_l)
           + (rat .< 5).*(pwr_l.*pwr_l - pwr_r.*pwr_r);
genr cst = (rat .> 4).*(cst_r - cst_l)/1000 + (rat .< 5).*(cst_l - cst_r)/1000;
genr ryc = (rat .> 4).*(ryc_r - ryc_l) + (rat .< 5).*(ryc_l - ryc_r);
genr ghg = (rat .> 4).*(ghg_r - ghg_l) + (rat .< 5).*(ghg_l - ghg_r);
genr air = (rat .> 4).*(air_r - air_l) + (rat .< 5).*(air_l - air_r);
genr prc = (rat .> 4).*(prc_r - prc_l) + (rat .< 5).*(prc_l - prc_r);
genr rate = abs(rat-5);
frml eq1 dv1 = b_pwr*pwr+b_pwr2*pwr2+b_cst*cst+b_ryc*ryc
             +b_ghg*ghg+b_air*air+b_prc*prc;
frml eq1_1 f1_1 = cdfn((a1_1-dv1)/sig1);
frml eq1_2 f1_2 = cdfn((a1_2-dv1)/sig1)-cdfn((a1_1-dv1)/sig1);
frml eq1_3 f1_3 = cdfn((a1_3-dv1)/sig1)-cdfn((a1_2-dv1)/sig1);
frml eq1_4 f1_4 = cdfn((a1_4-dv1)/sig1)-cdfn((a1_3-dv1)/sig1);
frml eq1_5 f1_5 = 1 - cdfn((a1_4-dv1)/sig1);
frml eq1_6 llfn1 = (rate .== 0).*ln(f1_1)
                  +(rate .== 1).*ln(f1_2)
                  +(rate .== 2).*ln(f1_3)
                  +(rate .== 3).*ln(f1_4)
                  +(rate .== 4).*ln(f1_5);
genr pwr_f2 = pwr_f.*pwr_f;
frml eqm m = b_0 + b_pwr*pwr_f + b_pwr2*pwr_f2 + b_cst*cst_f/1000 + b_ryc*ryc_f
           + b_ghg*ghg_f + b_air*air_f + b_prc*prc_f;
frml eq2 llfn2 = dum_f.*tobit(rat_f,m,sig2);
frml eq3 llfn = llfn1 + llfn2;
param b_0 b_pwr b_pwr2 b_cst b_ryc b_ghg b_air b_prc sig1 sig2
```



```

a1_1 a1_2 a1_3 a1_4;
? value will be give after ordered probit estimation
value = 1.0 0.23292 -0.01119 -0.25515 0.01449 -0.00983 -0.00948 -0.04982 1.0 1.0
-0.84 -0.11 0.33 0.64;

ml (i,d) eq1 eq1_1 eq1_2 eq1_3 eq1_4 eq1_5 eq1_6
eqm eq2 eq3;
method = bhhh bfgs bfgs nr bfgs;
maxit = 200;
end;

```

付録2 ランキングパラメータの推計に用いたGAUSS Xプログラム

```

? Air conditioner LCA Data conjoint analysis by ranking conjoint
create (u) 1 1020;
? input ranking data
open prc_l ryc_l ghg_l air_l cst_l
prc_m ryc_m ghg_m air_m cst_m
prc_r ryc_r ghg_r air_r cst_r
rank1 rank2 rank3;

fname = rank.asc;
? remove not buy sample
genr notbuy = 1-(rank1 .== 0);
smpl notbuy;
frml eq0l v_l = b_prc*prc_l + b_ryc*ryc_l
+ b_ghg*ghg_l + b_air*air_l + b_cst*cst_l/1000;
frml eq0m v_m = b_prc*prc_m + b_ryc*ryc_m
+ b_ghg*ghg_m + b_air*air_m + b_cst*cst_m/1000;
frml eq0r v_r = b_prc*prc_r + b_ryc*ryc_r
+ b_ghg*ghg_r + b_air*air_r + b_cst*cst_r/1000;
frml eq1 v1 = (rank1 .== 1).*v_l + (rank1 .== 2).*v_m
+ (rank1 .== 3).*v_r;
frml eq2 v2 = (rank2 .== 1).*v_l + (rank2 .== 2).*v_m
+ (rank2 .== 3).*v_r;
frml eq3 v3 = (rank3 .== 1).*v_l + (rank3 .== 2).*v_m
+ (rank3 .== 3).*v_r;

```

```

frml eq4 ev1 = exp(v1)/(exp(v1)+exp(v2)+exp(v3));
frml eq5 ev2 = exp(v2)/(exp(v2)+exp(v3));
frml eq7 llfm = ln((ev1 .== 0).*0.0005+(ev1 .> 0).*ev1)
               + ln((ev2 .== 0).*0.0005+(ev2 .> 0).*ev2);
?
param b_cst b_ryc b_ghg b_air b_prc;
value = -0.25515 0.01449 -0.00983 -0.00948 -0.04982;
ml (i,d) eq0l eq0m eq0r eq1 eq2 eq3 eq4 eq5 eq7;
method = bhhh bfgs bfgs nr bfgs;
maxit = 200;
end;

```