

EXCEL でできるコンジョイント*

Version 1.1

栗山浩一**

2003年12月

* EXCEL は Microsoft 社の製品です。

** 早稲田大学政治経済学部・カリフォルニア大学バークレー校農業資源経済学科
School of Political Science and Economics, Waseda University and Department of Agricultural and Resource Economics,
University of California, Berkeley
207 Giannini Hall #3310, University of California, Berkeley, CA 94720-3310, USA
Tel: (510) 643-3250, Fax: (510) 643-8911 E-mail: kkuri@waseda.jp

EXCEL できるコンジョイント (Version1.1)

栗山浩一(早稲田大学政治経済学部)

要旨

コンジョイント分析は最先端の環境評価手法である。コンジョイント分析は評価対象を構成する属性別に価値を分解し、代替案別に評価することが可能であることから、近年、急速に注目を集めている。しかし、コンジョイント分析はCVM以上に複雑な統計分析が必要であり、特殊な統計ソフトを使いこなす必要があるため、これまでは研究段階にとどまっていた。本研究は、初心者でもコンジョイント分析を体験できるように表計算ソフトのみで推定する方法を示すとともに、推定方法の詳細を明らかにすることで統計ソフトがどのように計算しているかを示すことを目的としている。なお、Version 1 では代替案数は3つのみであったが、Version1.1 では代替案数が3つと4つの両方について対応している。

キーワード： 環境評価, コンジョイント分析, 選択型実験, 代替案評価, 最尤推定

1. はじめに

これまで、生態系などの非利用価値を評価する際には、仮想評価法(contingent valuation method: CVM)が使われてきた。CVM は環境の仮想的な変化を人々に示して、支払意志額(willingness to pay: WTP)や受入補償額(willingness to accept compensation: WTA)を回答者に直接たずねることで環境の経済価値を評価する手法である。CVM は海外では多くの環境政策で使われており、国内でも公共事業の費用対効果を評価する手法として現実の政策の場面で使われている。

しかし、CVM を用いて環境政策の代替案を評価するのは必ずしも容易ではない。CVM は一つの対象の価値を評価するときには便利な手法であるが、一回の調査で複数の対象を評価することが困難であるため、複数の代替案を比較するときには CVM 調査を代替案の数だけ実施する必要がある。例えば、5つの代替案を比較するためには、CVM 調査を5回繰り返す必要があり、多額の調査コストが必要となる。むりやり一回の調査で5種類の代替案のWTPを聞き出そうとすると順序バイアスなどの影響を受ける可能性がある。

そこで、環境政策の代替案を評価するための新たな手法として、コンジョイント分析(conjoint analysis)に注目が集まっている。コンジョイント分析は主に計量心理学の分野で誕生し、その後マーケティング・リサーチや交通経済学などの分野で研究が進められた手法である。環境評価の分野では 1990 年代に入ってから導入されたばかりの最新の手法である。コンジョイント分析は複数の評価対象に対する選好を回答者に繰り返したずねることで、評価対象を構成する属性別に価値を評価することが可能である。

例えば、レクリエーション整備について評価する場合を考えると、駐車場の広さ、遊歩道の長さ、キャンプ場の広さ、ビジターセンターの有無、景観の状態、魚の生息数など様々な属性が考えられる。代替案の中には、キャンプ場や駐車場を整備するなどの利用促進型のものもあれば、逆に景観保全や魚の生息地保全など生態系保全型のものもある。こうした様々な代替案別に、レクリエーション整備の価値を評価する必要がある。従来の CVM ではこのような代替案評価は困難であるが、コンジョイント分析では駐車

場整備の価値、遊歩道整備の価値、キャンプ場整備の価値などのように属性単位で価値を評価できることから、代替案別の評価が可能となる。

図1 選択型の質問例

	代替案1	代替案2	代替案3	代替案4
駐車場の広さ	50 台	20 台	100 台	現状のまま
遊歩道の長さ	300m	500m	800m	
キャンプ場の数	3ヶ所	5ヶ所	2ヶ所	
魚の生息数	100 匹	50 匹	20 匹	
利用料金	1000 円	3000 円	5000 円	

一つを選択→

コンジョイント分析では、完全プロファイル評定型(代替案の好ましさを点数で回答)、ペアワイズ評定型(対立する二つの代替案を提示してどちらがどのくらい好ましいかを回答)、選択型(複数の代替案を提示して最も好ましいものを回答)などの複数の質問形式が開発されている。図1は選択型の質問例を示している。選択型では複数の代替案が回答者に提示され、回答者は最も好ましい代替案を選択する。提示された代替案の内容と回答データとの関係を統計的に分析することで、代替案を構成する属性(駐車場の広さ、遊歩道の長さなど)単位で価値を評価する。

選択型の質問は、消費者がお店で複数の商品の中から購入商品を選択する行動に近く、回答しやすいという利点がある。一方、選択型のデータから価値を推定するためには、条件付ロジットと呼ばれる特殊な推定方法が必要であり、条件付ロジットに対応する上級者向けの特殊な統計アプリケーションを用いるか、自分でプログラミングを行う必要がある¹。また、コンジョイント用に開発された専用アプリケーションもあるが、コンジョイント専用アプリケーションは市場調査を目的に開発されているため、環境価値を算出することはできず、環境評価には不向きである²。このため、コンジョイント分析に関心を持っているものの、統計アプリケーションを持っていないために評価できないケースや、統計アプリケーションを入手しても統計分析のプログラミング作業に苦しむケースがしばしば見られる。

そこで本研究では、統計アプリケーションを持っていないがコンジョイント分析を体験してみたいという人や、統計アプリケーションがどのように推定を行っているのかを知りたい人を対象に、一般的に使われている表計算ソフト(Excel)を使って選択型コンジョイントの推定方法を紹介する。本研究で紹介するファイル(CJ1.xls および CJ2.xls)を使えば、表計算ソフトを使える人ならば誰でもコンジョイント分析による推定を体験することが可能である。

注意事項(必ずお読みください)

なお、このファイル(CJ1.xls および CJ2.xls)はフリーウェアであるが、著作権は著者にある。著者に断りなく改変することは禁じる。また、本ファイルは初心者がコンジョイント分析を体験することやコンジョイント分析の統計分析の詳細を知ることとを目的としたものである。コンジョイント分析の学習目的に本ファイルを個人で用いるのは自由である。ただし、学術論文や業務を目的として本ファイルを用いた場合は、その評価

¹ 条件付ロジットに対応している統計アプリケーションには、Limdep (Econometric Software), SYSTAT, SPSS (エス・ピー・エス・エス株式会社) などがある。

² コンジョイント専用アプリケーションには、例えばACA, CVA, CBC (Sawtooth 社) があるが、これらのアプリケーションは属性の限界支払意思額を算出しないため、代替案の貨幣価値を算出できない。

結果に対して著者は一切の責任を有さないもので、各自の責任において使用されたい。

2. CJ1.xls の使い方

次に CJ1.xls の実際の使い方について解説する。なお CJ1.xls は代替案数が3つのときのものである。代替案数が4つのときは CJ2.xls を使うので注意されたい。コンジョイント分析は評価属性と水準を決定し、プロファイルと呼ばれるカードを作成した上で、アンケートを行う。そして回収されたデータを分析し、各属性の限界支払意思額を算出することで、代替案別の評価を行う。これらの手順のうち、CJ1.xls はデータの分析と限界支払意思額の算出の部分を行う。以下、東京湾油濁汚染防止の評価例を用いて具体的な評価手順について解説する。この評価の詳細については鷺田・栗山・竹内編著(1999)『環境評価ワークショップ』築地書館を参照されたい。また CJ1.xls を使うときは、CJ1.xls の「お読みください」のシートを事前に必ず読んでおいてください。

図2 Excel でできるコンジョイントの説明

	A	B	C	D	E	F
1						
2	必ずお読みください					
3						
4	Excelでできるコンジョイント					
5	Version 1.0					
6						
7						栗山浩一(早稲田大学政治経済学部)
8						http://homepage1.nifty.com/kkuri/
9						kkuri@mn.waseda.ac.jp
10	注意事項					
11	このExcelブックはフリーウェアですが、著作権は著者にあります。著者に断りなく改変しないでください。					
12	環境評価を研究しようとする方が学習目的にこのワークシートを個人的に用いることは構いませんが、					
13	学術論文として用いたり、業務目的に用いる場合は必ず著者の許可を得てください。					
14	著者に許可なく用いた場合は、評価結果について著者は責任を有しません。					
15						
16	使い方					
17	同封のマニュアルを参照してください。					
18						
19	各シートの説明					
20	代替案3	選択型コンジョイント。代替案が3種類の場合				
21		東京湾油濁汚染防止				

以下、評価手順に従って説明する。とりあえず「Excel でできるコンジョイント」(CJ1.xls)の使い方を知りたい方は、(1)-(3)はとばして(4)データ入力から読み進めても構わない。

(1)属性と水準の決定

コンジョイント分析は、まず評価対象を構成する属性を決定する。例えば、タンカー事故などの油濁汚染を防止することの価値には、海水浴場や釣り場などのレクリエーション地の保護、気化した油によるにおい・めまいなどの健康被害の防止、干潟生態系の保護、漁港の保護などが考えられる。これらが油濁汚染対策の属性に相当する。また、各属性にはいくつかの水準が設けられる。例えば、レクリエーション地の保護の場合、全体の何%を保護するかにより数種類の水準が考えられる。表1はここで用いた属性と水準である。属性や水準の設定には、評価対象の現実性を考慮するが、あまり属性数が多くなりすぎると

回答が困難になる。コンジョイント分析で使われる属性数は一般に6以下である³。

表1 属性と水準

属性	水準			
REC レクリエーション地の保護(保護される割合)	0.07	0.24	0.69	0.93
HEL 健康被害の対策(ダミー)	0	1		
WET 干潟の保護(保護される割合)	0.24	0.48	0.79	0.9
FISH 漁港の保護(保護される割合)	0.66	1		
C 負担額(万円)	0.5	1	3	9

(2)プロフィール・デザイン

属性と水準が決まったら、各属性の組み合わせでプロフィールと呼ばれるカードを作成する。ここではプロフィールは油濁汚染防止策の代替案に相当する。プロフィール・デザインにはいくつかの方法が考案されているが、一般に使われているのは直交配列を用いる方法である。表2は4属性、4水準の場合の直交配列の一例を示している。例えば、プロフィール(1)の場合は属性1は水準1、属性2は水準2、属性3は水準3、属性4は水準4を組み合わせで作られることを意味している。直交配列を用いると各属性間の相関が0となり、推定時に多重共線性が生じることを回避できるという利点がある。ただし、機械的に直交配列を用いると、しばしば非現実的な組み合わせが生じる。このため、非現実的な組み合わせを除外してプロフィール・デザインを行うことも見られるが、あまり多くの組み合わせを除外すると直交性が崩れて、推定に影響を及ぼす危険性もあるので注意が必要である⁴。直交配列の詳細については例えば田口玄一(1981)『実験計画法』丸善などを参照。

表2 直交配列の例

プロフィール	属性 1	属性 2	属性 3	属性 4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	3
3	1	3	3	4
4	1	4	4	2
5	2	1	2	2
6	2	2	1	4
7	2	3	4	3
8	2	4	3	1
9	3	1	3	3
10	3	2	4	1
11	3	3	1	2
12	3	4	2	4
13	4	1	4	4
14	4	2	3	2
15	4	3	2	1
16	4	4	1	3

³ ACA のようにコンピュータ・インタビューを用いるものでは最大 20 属性まで推定できるものもある。

⁴ 例えば CBC は特定の組み合わせを除外してプロフィール・デザインを行うことが可能である。

選択型コンジョイントの場合は、複数のプロファイル(代替案)のを回答者に提示して、もっとも好ましいものを選択してもらう。図3は油濁汚染防止の場合の質問例を示している。この場合は3つの代替案から一つを選んでもらう形式である。なお、対策3は現状であり、すべての質問で同じものにしてある。一般に代替案の数は3～5つ程度が使われている。

図3 油濁汚染防止の質問例(選択型の場合)

番号	1	2	3
負担額(税金の上昇)	10,000 円	90,000 円	0 円
海水浴場・釣り場などレクリエーション地	レク地の 7%を保護	レク地の 7%を保護	レク地の 7%を保護
におい・めまいを感じる人の数	10,000 人に抑える	0 人に抑える	10,000 人に抑える
干潟	干潟の 48%を保護	干潟の 90%を保護	干潟の 24%を保護
漁港	漁港の 100%を保護	漁港の 100%を保護	漁港の 66%を保護

あなたはどの対策が最も好ましいと思いますか、一つを選んでください。

(3)アンケート調査の実施

プロファイル・デザインが完了したら、アンケート調査を実施する。コンジョイント分析では一般に一人の回答者に何度も繰り返し質問を行う。繰り返し回数は調査事例によって異なるが、あまりにも繰り返し回数が多いと回答者が疲労により適切に回答できなくなる危険性もある。プレテストにより回答者の疲労度を調べた上で繰り返し回数を決めるとよい。鷲田・栗山・竹内編著(1999)『環境評価ワークショップ』築地書館の東京湾油濁汚染防止の調査では、一人に質問を8回繰り返している。また、8種類の質問票を準備し、回答者はこのうちのどれか一つが割り当てられた。このため、8種類×8回=64 個の質問が用意された。

(4)回答データの入力

アンケート調査によって得られた回答データを CJ1.xls のワークシートに入力する。まず CJ1.xls の「代替案3」のワークシートを開くと以下の画面が表示される。

図4 「代替案3」のワークシート

	A	B	C	D	E	F
1	Excelでできるコンジョイント					
2	選択型、代替案3種類用					
3					推定結果	
4						
5		属性変数	変化させるセル			係数
6		COST	-0.2		COST	-0.2000
7		REC	0.1		REC	0.1000
8		HEL	0.5		HEL	0.5000
9		WET	0.5		WET	0.5000
10		FISH	0.5		FISH	0.5000
11					N	920
12		対数尤度	目的セル		対数尤度	-900.849
13			-900.849			
14						
15						
16						
17						
18						

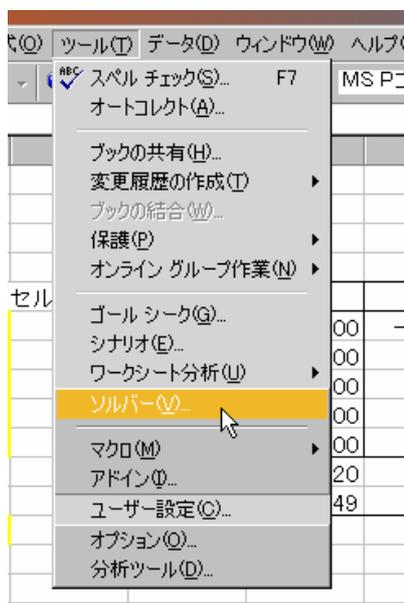
このワークシートの下の方に移動すると、以下のようなデータ入力エリアが表示される。すでにデータが入力されているので、とりあえず体験してみたい人は、このデータのままで構わない。自分のデータで試してみたい人は、入力されているデータを参考に自分のデータを入力する。3つの代替案の各属性の値を入力し、そして回答データを入力する。変数名は自由に変更しても構わないが、代替案のデータを入力する場所や、負担額(C)のデータを入力する場所は移動しないこと。一人の回答者が一回の質問で回答した内容が一行に入る。したがって、一人に質問を8回繰り返した場合は、一人の回答者のデータで8行使うことになる。なお、ここで入力されているデータは鷺田・栗山・竹内編著『環境評価ワークショップ』築地書館に掲載されている推定結果をもとにモンテカルロ・シミュレーションにより作成したデータである。

図5 データ入力エリア

19	データ入力エリア												
20													
21				代替案1						代替案2			
22	ID	version	card	C_1	REC_1	HEL_1	WET_1	FISH_1	C_2	REC_2	HEL_2		
23	1	11	1	9	0.69	1	0.9	0.66	9	0.24			
24	2	11	2	1	0.93	0	0.79	1	1	0.07			
25	3	11	3	1	0.24	0	0.9	0.66	1	0.69			
26	4	11	4	0.5	0.69	0	0.79	0.66	0.5	0.24			
27	5	11	5	3	0.93	0	0.79	1	3	0.07			
28	6	11	6	1	0.24	1	0.79	0.66	1	0.69			
29	7	11	7	0.5	0.93	0	0.24	1	1	0.24			
30	8	11	8	3	0.93	0	0.24	0.66	0.5	0.24			
31	9	12	1	3	0.69	1	0.48	0.66	1	0.93			
32	10	12	2	9	0.07	0	0.9	0.66	9	0.69			
33	11	12	3	0.5	0.93	0	0.79	1	9	0.07			
34	12	12	4	3	0.24	0	0.9	1	0.5	0.93			
35	13	12	5	9	0.93	0	0.24	1	9	0.24			
36	14	12	6	1	0.24	1	0.24	1	3	0.69			
37	15	12	7	9	0.07	0	0.79	0.66	9	0.24			
38	16	12	8	1	0.07	1	0.79	0.66	0.5	0.93			
39	17	13	1	3	0.24	0	0.79	1	0.5	0.69			
40	18	13	2	0.5	0.93	0	0.48	1	0.5	0.24			

(5)メニューから「ツール／ソルバー」を選択する

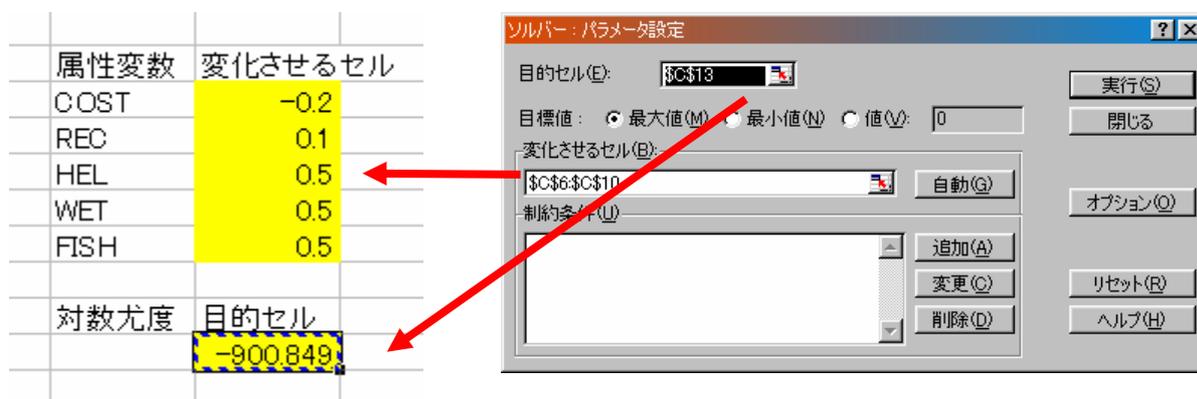
図6 ソルバーの選択



ツールの中に「ソルバー」の表示がない場合は「ソルバー」が組み込まれていないので、まず組み込む必要がある。同じ「ツール」メニューの「アドイン...」から「ソルバー」をチェックするとソルバーが組み込まれる。詳細は、「ヘルプ」メニューから「ソルバーを組み込む」を検索すると表示される。

(6)目的セルと変化させるセルを選択する

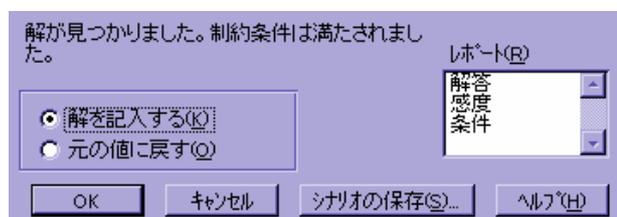
図7 目的セルと変化させるセルの選択



(7)実行ボタンを押すと推定が開始される

この推定にはかなり複雑な計算が必要であり、相当の時間を要する。Pentium III 500MHz 程度のコンピュータでも1分程度かかる。推定が完了すると図8が表示されるので、OK ボタンを押す。

図8 推定完了の画面



すると表3のように推定結果が表示される。表3は最初から入力されていたデータをそのまま分析したときの結果である。

表3 推定結果と推定 WTP

推定結果

	係数	t値	p値
COST	-0.2831	-14.026	0.000***
REC	0.1373	1.226	0.221
HEL	0.5296	6.328	0.000***
WET	0.5568	3.929	0.000***
FISH	0.8482	3.555	0.000***
N	920		
対数尤度	-890.041		

限界支払意志額

REC	0.485103
HEL	1.8705
WET	1.966644
FISH	2.995854

係数は各属性変数の推定された値である。係数を見ると、COST の符号はマイナスなので負担額が高くなると回答者の効用が低下してその対策の選択される確率が低下することを示している。その他の属性はすべて符号はプラスであり、油濁対策の実施によって効用が上昇し、その対策の選択確率が高くなることを意味している。REC 以外の t 値は高く1%水準で有意となっている。有意水準は p 値が示している。***は1%水準、**は5%水準、*は10%水準で有意を意味する。

限界支払意志額は、各属性が一単位増加したときの支払意志額に相当する。この場合、負担額の単位が1万円なので、限界支払意志額も1万円単位となる。REC の場合を見てみると、レクリエーション地の保護割合が1単位増加する(REC は比率なので1単位増加は 100%の増加に相当)するときの支払意志額が4851円である。1%あたりにすると49円/%となる。ただし、REC は有意ではないことに注意が必要である。健康被害対策の場合、HEL はダミー変数で1万人の保護に対して 18,705円となる。干潟保護(WET)については、REC と同様に保護割合なので 19,666円/100%=197円/%となる。同様に漁港(FISH)の場合は 29,959円/100%=300円/%である。

限界支払意志額が算出されれば、代替案の水準に限界支払意志額をかけて総和をとることで、代替案別の貨幣価値を容易に算出できる。例えば、レクリエーション地の 23%を保護し、干潟の 42%を保護するが、健康被害対策や漁港保護は実施しない代替案を考えてみよう。すると表4のように代替案の水準に限界支払意志額(MWTP)をかけて総和をとると、この代替案の支払意志額は9,376円となる。

表4 代替案評価

	代替案	MWTP	水準 × MWTP
REC	0.23	0.4851	0.1116
HEL	0	1.8705	0.0000
WET	0.42	1.9666	0.8260
FISH	0	2.9959	0.0000
			0.9376

3. 代替案が4つの場合

代替案が4つの場合は、CJ1.xls ではなく CJ2.xls を用いる。CJ2.xls の使い方は、CJ1.xls とまったく同じである。

4. 推定方法

ここでは CJ1.xls の推定方法の詳細について説明する。これ以降は統計学の知識を必要とするため、初心者の方は読み飛ばしても構わない。

4.1 条件付ロジットによる推定

選択型コンジョイントは、条件付ロジット(conditional logit)によって推定を行う。回答者がプロファイル j を選択した時の効用 U_{ij} を次式のようなランダム効用モデルを想定する。

$$\begin{aligned}
 U_{ij} &= V_{ij} + \varepsilon_j \\
 &= \beta \mathbf{x}_{ij} + \varepsilon_j
 \end{aligned}
 \quad j=1,2,\dots,J \quad (1)$$

ただし、 V_{ij} は効用のうち観察可能な部分、 ε_j は観察不可能な部分、 \mathbf{x}_{ij} はプロフィール j の属性ベクトル、 β は推定されるパラメータである。ここで誤差項が Gumbel 分布(第一種極値分布)に従うと仮定すると、プロフィール j が選択される確率 P_j は

$$P_j = \frac{\exp(V_j)}{\sum_k \exp(V_k)} \quad (2)$$

となる。このとき対数尤度関数は以下のとおりとなる。

$$LL = \sum_i \sum_j d_{ij} \ln \frac{\exp(V_j)}{\sum_k \exp(V_k)} \quad (3)$$

ただし、 d_{ij} は回答者 i がプロフィール j を選択したときに1となるダミー変数である。部分価値 β のパラメータはこの式より最尤法により推定される。(3)の一階および二階の条件は以下のとおりである。

$$\frac{\partial LL}{\partial \beta} = \sum_i \sum_j d_{ij} (\mathbf{x}_{ij} - \bar{\mathbf{x}}_i) \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 LL}{\partial \beta \partial \beta'} = - \sum_i \sum_j P_{ij} (\mathbf{x}_{ij} - \bar{\mathbf{x}}_i)(\mathbf{x}_{ij} - \bar{\mathbf{x}}_i)' \quad (5)$$

ただし、 $\bar{\mathbf{x}}_i = \sum_j P_{ij} \mathbf{x}_{ij}$ である。

(5)式より、対数尤度関数は大域的に凹関数であり、最大点は唯一であることを示している。

4.2 限界支払意志額の算出

ここでは、効用関数に次のような主効果モデルを考える。

$$V(\mathbf{x}, c) = \sum_k \beta_k x_k + \beta_T T \quad (6)$$

ただし、 \mathbf{x} は属性変数、 T は負担額、 β は推定されるパラメータである。ここで上式を全微分すると、

$$\sum_k \frac{\partial V}{\partial x_k} dx_k + \frac{\partial V}{\partial T} dT = dV \quad (7)$$

となる。ここで、効用水準を初期水準に固定し($dV=0$)、属性 x_1 以外の属性も初期水準に固定($dx_k=0, k \neq 1$)すると仮定する。このとき、属性 x_1 が1単位増加したに対する限界支払意志額(marginal willingness to pay)は

$$MWTP_{x_1} = \frac{dT}{dx_1} = - \frac{\partial V}{\partial x_1} / \frac{\partial V}{\partial T} = - \frac{\beta_1}{\beta_T} \quad (8)$$

となる。

4.3 最尤法

最尤法は、対数尤度関数が最大となるようにパラメータの推定を行う。一般に対数尤度関数は非線型なので、最適解を直ちに求めることが困難であり、試行錯誤により最適解を求める必要がある。繰り返し回数 t 回目のときのパラメータを θ_t とすると、次式によりパラメータの更新を行う。

$$\theta_{t+1} = \theta_t + \lambda_t \Delta_t \quad (9)$$

ただし、 λ はステップサイズ、 Δ は方向ベクトルである。このパラメータの更新方法のアルゴリズムには、Newton 法、BHHH、DFP、BFGS など様々な方法が開発されているが、ここでは最も簡単な Newton 法について解説する。対数尤度関数の一階の条件を θ_t でテーラー展開すると、

$$\frac{\partial \ln L(\theta_{t+1})}{\partial \theta_{t+1}} = \frac{\partial \ln L(\theta_t)}{\partial \theta_t} + H(\theta_t)(\theta_{t+1} - \theta_t) = 0 \quad (10)$$

ただし、 H は対数尤度関数のヘッセ行列である。

$$H(\theta_t) = \frac{\partial^2 \ln L(\theta_t)}{\partial \theta_t \partial \theta_t'} \quad (11)$$

(11)式を θ_{t+1} について解くと次式が得られる。

$$\theta_{t+1} = \theta_t + (H(\theta_t))^{-1} \frac{\partial \ln L(\theta_t)}{\partial \theta_t} \quad (12)$$

ロジットの場合はヘッセ行列が(5)式のように簡単な形となるので、このニュートン法により最尤法の最適解が得られる。

最尤法の推定値は漸近的に正規となる性質がある。つまり、 $\hat{\theta}_{ML} \rightarrow N[\theta, \{I(\theta)\}^{-1}]$ が成立する。

ただし、 N は正規分布、 $I(\theta) = -E[\partial^2 \ln L / \partial \theta \partial \theta']$ はフィッシャー情報行列である。これより、パラメータの推定値の標準誤差が得られ、推定値の検定が可能となる。

なお、ヘッセ行列を厳密に計算することが容易ではない場合は、BHHH 推定量が用いられる。これは

$$I(\theta) = \sum_{i=1}^n \hat{\mathbf{g}}_i \hat{\mathbf{g}}_i' = [\hat{\mathbf{G}}_i \hat{\mathbf{G}}_i']$$

ただし、

$$\hat{\mathbf{g}}_i = \frac{\partial \ln L(\theta)}{\partial \theta}, \quad \hat{\mathbf{G}} = [\hat{\mathbf{g}}_1, \hat{\mathbf{g}}_2, \dots, \hat{\mathbf{g}}_n]$$

である。CJ1.xls ではヘッセ行列の計算に BHHH を用いている。

5. おわりに

本研究では、統計アプリケーションを用いずに、表計算ソフト(Excel)のみで選択型コンジョイントのデータを分析する方法を紹介した。コンジョイント分析は属性単位で環境価値を推定できることから、世界的に研究者が注目を集めているが、統計分析が複雑なため初心者には推定が難しいという問題があった。このため、コンジョイント分析を実際に試してみたいと思っても、統計分析の段階で壁にぶつかるケースがしばしば見られる。このような場合、表計算ソフトのみでコンジョイント分析を体験できることは、初心者にとつ

て有用となるであろう。

また統計アプリケーションを用いるにしても、現段階では条件付ロジットに対応しているアプリケーションが少なく、多くの場合は自分でプログラムを組むことが必要となる。またコンジョイント分析の専用アプリケーションも開発されているが、これらのアプリケーションはマーケティング・リサーチに使うことが目的とされているため、代替案の貨幣単位の評価はできない。そのため、本格的にコンジョイント分析を研究するならば、統計アプリケーションをブラックボックスとして使うのではなく、コンジョイント分析の推定方法について詳細を知っておくことは重要である。このような場合も、CJ1.xls のワークシートを参照することで推定方法の詳細を知ることができるであろう。

このように、本研究で紹介したCJ1.xlsを用いることで初心者であってもコンジョイント分析を体験できるようになる。ただし、実際にコンジョイント分析で環境価値を評価するときには、統計分析以外にも注意しなければならない点が多いことを忘れてはならない。コンジョイント分析もCVMと同様にアンケートを用いる手法であるため、慎重にサーベイデザインを行わなければバイアスが生じる危険性がある。また、CVMとは異なり、コンジョイント分析にはプロフィール・デザインのプロセスが不可欠であり、適切な手順でプロフィール・デザインを実施しないとデザインが推定に影響しかねない。これらの問題点を解決するためには、プレテストを繰り返す必要がある。

本研究は、コンジョイント分析の統計分析を体験したり理解することに役立つであろうが、コンジョイント分析は統計分析だけで結果が出るものではない。なぜなら統計分析は一連のコンジョイント分析の評価プロセスの一つにすぎないからである。サーベイデザイン、プロフィール・デザイン、プレテスト、統計分析、評価結果の信頼性の確認など、様々な評価プロセスのすべてがコンジョイント分析の評価には不可欠であることに注意が必要である。

参考文献

CVMをわかりやすく解説したものは

栗山浩一(1997)「公共事業と環境の価値－CVMガイドブック－」築地書館

栗山浩一(2000)「環境評価と環境会計」日本評論社

環境評価全般をわかりやすく解説したものは

鷺田豊明(1999)「環境評価入門」勁草書房

環境評価手法の最近の動向を解説したものは

鷺田豊明・栗山浩一・竹内憲司編(1999)「環境評価ワークショップ－評価手法の現状」築地書館

栗山浩一(2003)「環境評価手法の具体的展開」、吉田文和・北嶋能房編『岩波講座環境経済・政策学
第8巻 環境の評価とマネジメント』、岩波書店

環境評価へのコンジョイント分析の適用については

栗山浩一(1998)「環境の価値と評価手法」北海道大学図書刊行会

栗山浩一(2000)「コンジョイント分析」大野栄治編著『環境経済評価の実務』105-132、勁草書房

最尤法, 条件付ロジットなどの統計手法については

Greene, W. H. (2000) *Econometric Analysis*, 4th ed. Prentice Hall.