サポート理論の一般化による主観確率評価の説明と予測

東京大学 齋藤聖子・繁樹算男

Explanation and estimation of subjective probability by generalized model of Support Theory

Kiyoko Saito and Kazuo Shigemasa (Department of Life Sciences, Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo, Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153)

The purpose of this paper is to develop a new model for describing the cognitive process of decision making. Being of a generalization of Tversky and Koehler's Support Theory, the proposed model firstly defines the choice probability among several alternatives in terms of degree of "support." Secondly the model defines the degree of support in terms of objective probability and representativeness. Thirdly, this model specifies the integration process by which one reaches the probability of an event utilizing the already assessed subevents. This model was applied to and tested by, real experimental data. In the experiment, subjects were asked to evaluate the proportions (a kind of probability) and the degrees of representativeness of two objects. Compared to the estimates derived by a Bayesian approach, the subjective probabilities estimated by the proposed model were shown to be closer to those reported by the subjects.

Key words: Bayesian approach, degree of support, Support Theory, subjective probability.

不確実な状況における意思決定の分析において、主観確率評価は最も重要な要因の一つである。合理的な意思決定を行うには、確率法則に従った主観確率評価が要求される。しかし実際に評価された主観確率は必ずしも確率法則を満たさず、規範から逸脱する現象は多くの研究で示されている (Tversky & Kahneman, 1992)。最近注目すべき理論的発展として Tversky らが提案した Support Theory (Tversky & Koehler, 1994) がある。これは確率評価の対象となる客観事象は必ずしも主観的な評価の対象として同一の心的過程を生じないとする考えによって規範からの逸脱現象の理論的説明を試みたものである。例えば、保険掛金についての実験で (Johnson, Hershey, Meszaros, & Kunreuther, 1993)、すべての場合の看護をカバーする保険と病気と事故に関する看護をカバーする保険の2種類の保険があり、それぞれの保険についての掛けてもよい額を質問したところ、病気と事故のみカバーする保険の方が、金額が高いという現象がみられた。これは客観確率では特価した事象の方が生起確率が低いにもかかわらず、主観確率が高いことを意味する。Support Theory ではこの現象は“いかなる理由”という客観事象にも“病気と事故”という客観事象にも心的評価プロセスにおいて客観事象とは異なる解釈 (これを Support Theory では“仮説”とした) が生じ、その解釈においては、“病気と事故”の方が“い

かなる理由”より蓋然性が高くなるとし、評価はそれを通して行われるため病気と事故のみカバーする保険の金額が高くなるという現象がおきると説明した。つまり、同一客観事象に対しても、異なる解釈が存在すれば、異なる主観確率が存在するといえる。このように Support Theory は主観確率評価値の規範からの逸脱の現象記述のみでなく、逸脱の原因の分析を可能とした。

本研究においてはこの Support Theory の理論を拡張し、同一客観事象に対して構成される“仮説”が客観事象と異なる原因を新たに仮定し、合理的意思決定を行うための指針を示すモデル——Generalized Support Model (以下 GSM と略称する)——を提案した。本モデルでは、評価者が自身の主観確率を事前に予測し、メタ認知行動によって評価する主観確率を合理的評価に改善することを可能にする。本論文は GSM を実データに適用し、実験により GSM の有効性を検証するものである。

Generalized Support Model

GSM の基本的な仮定を説明する。評価対象の客観事象は心的過程において、主観事象 (Support Theory で“仮説”と呼んだものに対応する) に写像される。この主観事象はさらに下位レベルにおけるいくつかの主観事象の複合である。これを主観部分事象と呼ぶ。

GSM では主観部分事象の選択確率のルールと全体評価への統合のルールを提案する。

GSM における記述方法は以下のとおりである。\$T\$ を外界の状態を表現する集合であるとする。このとき \$T\$ は少なくとも 2 要素以上で構成される有限集合である。その部分集合を“客観事象”とし、\$A'\$ として記述する。\$T\$ に対応する主観事象の集合を \$H\$ とし、\$A'(A' \subset T)\$ に対応する、主観事象を \$A(A \subset H)\$ とする。実生活において客観事象 \$A'\$ は主観的世界において、個人によって異なるイメージや概念によっておきかえられる可能性があり、それを \$V_1, V_2, V_3, \dots, V_n\$ と表す。主観事象 \$H\$ における客観事象 \$A'\$ に対応する主観事象 \$A\$ は \$V_1, V_2, V_3, \dots, V_n\$ の和集合である。\$A'\$ と \$A\$ の関係はかなり自由性があるが、\$A = \phi\$ (\$\phi\$ は空事象を表す) なら \$A' = \phi\$、\$A' \cap B' = \phi\$ なら \$A \cap B = \phi\$ であることは仮定しておく。上記の定義の概略図を Figure 1 に示す。

GSM では、主観確率 \$P\$ はベイズ的確率法則に従う数学的確率ではなく、評価者が評価する心的確率をさす。主観事象に対応する客観事象の確率が頻度論的に定められる場合は、主観事象に対応する客観確率とし、\$P_0\$ と記述する。

まず、主観事象の主観確率評価モデルを示す。\$V_i \subset A\$ かつ \$V_i \cap V_j = \phi\$ (\$i \neq j\$) のとき、主観部分事象 \$V_i\$ と \$V_j\$ のうち \$V_i\$ が生起する確率の主観評価値である \$P(V_i, V_j)\$ は次のように示される。

$$P(V_i, V_j) = \frac{s(V_i)}{s(V_i) + s(V_j)} \quad (1)$$

\$s(V_i)\$ は主観部分事象 \$V_i\$ の支持度である。支持度 \$s(V_i)\$ とは、単独にみた \$V_i\$ の生起可能性を反映する直観的な測度である。式(1)は Support Theory においてすでに提案されたモデルであるが、GSM では式(1)を拡張し、\$V_1, \dots, V_n\$ のうち \$V_i\$ が生起する主観確率を次のように示されると仮定する。

\$V_i \subset A\$ かつ \$V_i \cap V_j = \phi\$ (\$i \neq j\$), \$i, j = 1, 2, \dots, n\$ であるとき

$$P\left(V_i, \bigcup_{j \neq i} V_j\right) = \frac{s(V_i)}{s(V_1) + s(V_2) + \dots + s(V_n)} \quad (2)$$

とする。

さらに GSM において支持度という測度の性質を明確化するために、支持度を次のようにモデル化した。

Figure 1. Diagram of GSM.

すなわち支持度 \$s(V_i)\$ は、

$$s(V_i) = W_i \cdot P_0(V_i) + \epsilon \quad (3)$$

と表され、客観確率 \$P_0\$ を \$W_i\$ によって重みづけしたものである。客観確率の重みづけ係数 \$W_i\$ は \$V_i\$ の代表性度 \$r(V_i)\$ で主に構成されるため、\$W_i\$ は \$r(V_i)\$ に関係があると仮定する。代表性度とは、評価事象が典型事象からどの程度離れているかを示す測度である (Tversky & Kahneman, 1982)。支持度は先に示したように確率評価の基のような存在であるが、評価事象の客観確率が評価可能であっても直接主観確率に影響を及ぼす支持度は代表性によって変形されることを式(3)は主張している。もちろん一般的には支持度がこのような客観確率をベースに評価されるとは限らないが、評価する際に客観確率がデータとして提示されており、参考のできる場合などのある種の条件下では、上記の仮定が有効であると考ええる。これより式(3)から代表性が高いほど、客観確率が過大評価され、低いほど過小評価されることを意味する。

また \$V\$ に代表性が全くないと考えられるときは、\$V\$ の客観確率は無視される。

GSM では、客観事象に対応する主観事象は評価者にとって代表性が高い主観部分事象で構成され、それらのみの評価が行われると仮定する。Robinson & Hastie (1985), Van Wallendael & Hastie (1990) は、ある事象に対しての新たな情報が加わると主観確率が増加する傾向にあるとしている。これは情報の増加によって主観事象に対する代表性が高くなり、その結果支持度が高くなることにつながり、主観確率の増加がみられると説明できる。

次に各部分事象の評価を上位集合である主観事象に統合し、全体評価する評価モデルを示す。決定場面において評価事象は条件つき事象であることが多く、GSM における条件つき確率の評価法を示す。このとき所与の条件である客観事象を \$C'\$, それに対応する主観事象を \$C\$ と記述する。まず条件つき事象 \$A\$ が \$V_i\$ (\$i = 1, \dots, n\$) に分かれる場合を説明する。

\$V_i \subset A\$ かつ \$V_i \cap V_j = \phi\$ (\$i \neq j\$), \$i, j = 1, 2, \dots, n\$ であるとき、規範ルールに従うと

$$P(A|C') = \sum_{i=1}^n P(V_i|C') \quad (4)$$

である。

このように結合過程が主観事象 \$A\$ において代表性によって影響されることを仮定し GSM は

$$P(A|C) = \sum_{i=1}^n P(V_i|C) r(V_i) \quad (5)$$

である。

次に条件となる事象 \$C\$ が \$V_j\$ (\$j = 1, \dots, m\$) に分かれる場合を示す。

\$V_j \subset C\$ かつ \$V_j \cap V_k = \phi\$ (\$j \neq k\$), \$j, k = 1, 2, \dots, m\$ であるとき、規範ルールに従うと

$$P(A|C) = \sum_{j=1}^m P(A|V_j) P(V_j) \quad (6)$$

である。

このように結合過程が主観事象 C において代表性によって影響されることを仮定し GSM は

$$P(A|C) = \sum_{j=1}^m P(A|V_j) t(V_j) \quad (7)$$

$$\text{ただし } t(V_j) \text{ は, } t(V_j) = \frac{r(V_j)}{\sum_{j=1}^m r(V_j)}$$

となる。

主観部分事象を主観事象に統合するモデル式(5), (7)は, 数学的確率の統合法則ではなく代表性度による主観的バイアスがかかることを意味している。

実験——GSM の検証——

本実験では主観確率評価を行う質問紙（データは朝日ジュニア年鑑, 1995 による）を作成し, 被験者に質問紙を実施した。

質問紙においては, V_i には対応する V'_i が存在し, かつその客観確率が存在していることは明らかな場合である。なお実験 1, 2, 3 は GSM 式(3), (5), (7)の各々の検証を目的とした。

実験 1——GSM 式(3)の検証実験

被験者 大学生 87 名。JP 群 (47 名), US 群 (40 名) の 2 群に分け, 各群異なった内容の質問紙を実施した。実施日は 1994 年 11 月。

手続き 質問紙を配布し, その回答を求めた。時間は約 20 分。

質問紙の構成 質問紙は JP 群 US 群にそれぞれ別々の項目群を用意した。項目の内容は“ C という国の全輸出額のうち V_i という項目が占める割合額”を回答する主観確率評価問題である。つまり条件は“ C ”, 評価事象は“ V_i ”である。 C は JP 群は日本, US 群はアメリカ合衆国である。質問紙における V_i は主観事象の部分事象である主観部分事象であり, 主観事象は全輸出額である。 V_i は JP 群は 4 項目, US 群は 5 項目で構成される。

- ・JP 群 機械類, 工業製品, 化学製品, 食料品
- ・US 群 機械類, 工業製品, 化学製品, 食料品, 原材料

被験者には質問は次のように記されている。

1. 指定した 2 項目比較による比率 $P(V_i, V_j)$ の評価
例えば機械類と工業製品を比較し, 輸出比率を評価するよう指示した。
2. 代表性度 $r(V_i|C)$ の評価 項目 V_i の C の生産項目における代表性度の測定であり, 項目 V_i の C の生産項目における代表性度の測定であり, 被験者には項目 V_i がいかにも C のものであると思う度合を 1, 全く C のものでないと思う度合を 0 として数直線上に

○をつけるよう指示した。数直線は 0.1 間隔で目盛りを示した。

実データ適用による推定 支持度の決定ルールである式(1), (2)を適用し, 得られたデータ $P(V_i, V_j)$ から支持度 $s(V_i|C)$ を推定する。推定した支持度 $s(V_i|C)$ と, V_i に対応する客観確率 $P_0(V_i|C)$ から W_i を推定し, W_i が代表性度 $r(V_i|C)$ の影響を受けているかどうかを分析する。

結果 推定した W_i と $r(V_i|C)$ の相関を JP, US 群の 2 群について求め, この結果, JP 群においては, 機械類 ($r=.453$), 工業製品 ($r=.422$), 化学製品 ($r=.531$), 食料品 ($r=.571$) であった。また US 群においても, 機械類 ($r=.458$), 工業製品 ($r=.406$), 化学製品 ($r=.445$), 原材料 ($r=.658$), 食料品 ($r=.658$) であった。

以上の結果から W_i と $r(V_i|C)$ の間には相関がある程度あると考え, 支持度は評価者のもつ事象に対する代表性に関係があるとした GSM 式(3)は成立すると考える。

実験 2——GSM 式(5)の検証実験

被験者 被験者は大学生 166 名。JP 群-分野別項目群 (47 名), 具体的項目群 (44 名), US 群-分野別項目群 (40 名), 具体的項目群 (35 名) の 4 群に分け, 各群異なった内容の質問紙を実施した。実施日は 1994 年 11 月。

手続き 質問紙を配布し, 回答を求めた。時間は約 20 分。

質問紙の構成 質問紙は JP 群-分野別項目群, 具体的項目群, US 群-分野別項目群, 具体的項目群のそれぞれに別々の項目群を用意した。内容は実験 1 に使用した質問紙と同様の主観確率評価問題である。この場合に評価される事象は実験 1 の内容と同様に分類された項目 V_i の比率評価と, 全輸出額において加工貿易が占める割合を評価する。これは項目 V_i が加工貿易の部分事象であるという関係を前提とした。 V_i は JP, US 群ともに 3 項目である。

JP 群

- ・分野別項目群——機械類, 工業製品, 化学製品
- ・具体的項目群——自動車, 産業用ロボット, プラスチック製品

US 群

- ・分野別項目群——機械類, 工業製品, 化学製品
- ・具体的項目群——航空機, 産業用ロボット, プラスチック製品

被験者に対する質問は次のように記されている。

1. 指定した 2 項目比較による比率 $P(V_i, V_j)$ の評価
例えば機械類と工業製品を比較し, 輸出比率を評価するよう指示した。
2. 輸出総額における加工貿易の占める割合の主観確

Table 1
Mean and *SD* of estimated value and actual value for JP-field item group

	<i>n</i>	mean	<i>SD</i>
estimated value	46	.729	.134
actual data	47	.741	.181

Table 2
Mean and *SD* of estimated value and actual value for JP-concrete item group

	<i>n</i>	mean	<i>SD</i>
estimated value	35	.703	.162
actual data	43	.784	.139

Table 3
Mean and *SD* of estimated value and actual value for US-field item group

	<i>n</i>	mean	<i>SD</i>
estimated value	36	.323	.183
actual data	39	.308	.190

Table 4
Mean and *SD* of estimated value and actual value for US-concrete item group

	<i>n</i>	mean	<i>SD</i>
estimated value	34	.330	.154
actual data	35	.299	.183

Figure 3. Result of estimated value and actual value for JP-field concrete item group.

Figure 4. Result of estimated value and actual value for US-field item group.

Figure 2. Result of estimated value and actual value for JP-field item group.

Figure 5. Result of estimated value and actual value for US-concrete item group.

Table 5
The result of Wilcoxon signed rank test for
JP-field item group

	<i>n</i>	total	mean
rank < 0	10	228	22.8
rank > 0	36	853	23.694

$Z = -3.414, p < .01$

Table 6
The result of Wilcoxon signed rank test
for US-concrete item group

	<i>n</i>	total	mean
rank < 0	6	81	13.5
rank > 0	33	699	21.182

$Z = -4.312, p < .01$

Table 7
The result of Wilcoxon signed rank test
for US-field item group

	<i>n</i>	total	mean
rank < 0	15	192	12.8
rank > 0	19	403	21.211

$Z = -1.804, p = .0713$

率評価

3. 代表性度 $r(V_i|C)$ の評価 項目 V_i の C の生産項目における代表性度の測定であり、被験者にはいかにも C のものであると思う度合を 1、全く C のものではないと思う度合を 0 として数直線上に○をつけるよう指示した。数直線は 0.1 間隔で目盛りを示した。

実データ適用による推定 実データを GSM モデル式(5)に適用し、評価された各項目の主観確率値から加工貿易の主観確率値を推定する。また推定した値と質問紙で得た加工貿易の主観確率評価値（実測値と呼ぶ）との近似度を分析する。さらに GSM の妥当性を検証するために、規範モデルに従った式(4)と実測値との近似度と比較し、どちらのモデルがより適切なモデルであるかを検討する。

結果 $P(A|C)$ の実測値と推定値の相関を前述の 4 群（JP-分野別項目群；JP-具体的項目群；US-分野別項目群；US-具体的項目群）の各々について求めた。推定値、実測値は Table 1, 2, 3, 4 に示す。また相関分析の結果 JP-分野別項目群 ($r = .629$)、具体的項目群 ($r = -.051$)、US 群-分野別項目群 ($r = .639$)、具体的項目群 ($r = .547$) となり、4 群中 3 群は推定値は実測値にある程度近似しているといえる。4 群の相関図

Table 8
Mean and SD of estimated value and
actual value for conditional group

	<i>n</i>	mean	SD
estimated value	50	.630	.235
actual data	50	.642	.229

Table 9
The result of Wilcoxon signed rank
test for conditional group

	<i>n</i>	total	mean
rank < 0	12	126	10.5
rank > 0	38	1149	30.237

$Z = -4.938, p < .01$

を Figure 2, 3, 4, 5 に示す。

また、規範モデル式(4)との近似度の比較は、相関がみられた 3 群について、規範モデルによる推定値、GSM による推定値の各値と実測値の 2 乗誤差平均を求め、その差の検定（分布が正規分布ではないため、Wilcoxon の符号順位検定）を行った。その結果、4 群中 3 群の順位平均の差は規範モデルによる推定値の方が有意に大きかった。結果は Table 5, 6, 7 に示す。

以上の結果から JP 群の具体的項目群以外は GSM の方が規範モデルより実測値に近似しているといえ、規範モデルよりも日常の主観確率評価をよく表現しているといえる。

実験 3—GSM 式(7)の検証実験

被験者 被験者は大学生 50 名。質問紙を実施した。実施日は 1994 年 11 月。

手続き 質問紙は 1 種類（条件群とする）を使用し

Figure 6. Result of estimated value and actual value for conditional group.

た。質問紙における主観事象は、“早稲田大学 V_j 学部の A さんが卒業後すぐ大企業に就職する”であり、その主観確率評価を行う内容である。つまり、条件が早稲田大学 C 学部であり、評価事象が大企業への就職である。質問紙における主観部分事象は早稲田大学の各学部であり、統合後の主観事象は早稲田大学を意味する。 C は9学部で構成される。

・条件群 政治経済学部，法学部，第1文学部，第2文学部，教育学部，商学部，理工学部，社会科学部，人間科学部

被験者に対する質問は次のように記されている。

1. 各学部の早稲田大学における代表性 $r(V_j)$ の評価
早稲田大学そのものであるを1とし，全く早稲田大学らしくないを0として数直線上に○をつけるよう指示した。数直線は0.1間隔で目盛りを示した。

2. 各学部を条件とした A さんの大企業への就職率の主観確率 $P(A|V_j)$ の評価 A さんを指定した学部と仮定して回答を指示し，9全学部について求める。

早稲田大学の学部の人員構成比率を一覧で示し，早稲田大学に所属する A さんの大企業への就職率の主観確率評価を求めた。

実データ適用による推定 実データを GSM モデル式(7)に適用し， A さんを各学部の所属と仮定した際の就職の主観確率評価値から早稲田大学に所属する A さんの大企業への就職の主観確率値を推定する。また推定した値と，質問紙で得た早稲田大学に所属する A さんの大企業への就職の主観確率評価値（実測値とする）との近似度を分析する。さらに GSM の有効性を検証するために，規範モデルに従った式(6)と実測値との近似度と比較し，どちらのモデルがより適切なモデルであるかを検討する。

結果 $P(A|C)$ の実測値と推定値の相関を求めた。推定値，実測値は Table 8 に示す。

また相関分析の結果 ($r=.952$)，推定値が実測値に近似している。相関図を Figure 6 に示す。

また，規範モデル式(6)との近似度と比較するために，規範モデルによる推定値，GSM による推定値の各値と実測値の2乗誤差平均を求め，その差の検定を行った（分布が正規分布ではないため，Wilcoxon の符号順位検定）。その結果順位平均の差は規範モデルによる推定値の方が有意に大きかった。結果は Table 9 に示す。

以上の結果から GSM の方が規範モデルより実測値に近似しているといえ，規範モデルよりも日常の主観確率評価をよく表現しているといえる。

考 察

Generalized Support Model は事象の主観確率評価を行うプロセスにおいて評価者がもつ評価事象に対す

る代表性尺度が大きく影響を及ぼすことを主張したモデルである。本研究では実験1, 2, 3から GSM が実際に評価者の評価プロセスを表しているといえる。

GSM は日常場面における評価者の評価行動を記述する性質をもつのみでなく，評価者の評価事象に対する代表性モデルに応じて，評価者の事象評価を予測できるモデルである。これは同時に，事象の代表性に過度に影響されないことが，合理的判断に近くなることも示唆する。

日常における主観確率判断のバイアスが望まれる場面では，評価者が GSM を理解し，代表性によるバイアスを意識すれば，より良い合理的評価が可能と考える。

一方では，代表性度のバイアスがどのプロセスにおいて最も影響を受けるのか，事象に対する代表性度がすべてのプロセスにおいて同じ尺度によって評価されているかについては今後さらに分析し，GSM の精緻化を行うことが，今後の課題である。

引用文献

- 朝日出版社 1995 朝日ジュニア年鑑 [統計]・朝日出版社
- Johnson, E. J., Hershey, J., Meszaros, J., & Kunreuther, H. 1993 Framing, probability distortions and insurance decisions. *Journal of Risk and Uncertainty*, 7, 35-51.
- Robinson, L. B., & Hastie, R. 1985 Revision of beliefs when a hypothesis is eliminated from consideration. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 47, 443-456.
- 繁樹算男 1985 ベイズ統計入門 東京大学出版会
- Tversky, A., & Kahneman, D. 1979 Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47, 263-291.
- Tversky, A., & Kahneman, D. 1982 *Judgement under uncertainty: Heuristics and biases*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tversky, A., & Kahneman, D. 1992 Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5, 297-323.
- Tversky, A., & Koehler, D. J. 1994 Support theory: A nonextensional representation of subjective probability. *Psychological Review*, 101, 547-567.
- Van Wallendael, L. R., & Hastie, R. 1990 Tracing the foot-steps of sherlock holmes: Cognitive representations of hypothesis testing. *Memory and Cognition*, 18, 240-250.

—1996. 6. 10 受稿, 1997. 1. 11 受理—