解説

曖昧さと意思決定†

竹村 和久 *1・大久保 重孝 *2

1．はじめに

意思決定の理論のひとつとして，意思決定や選好関係を表現する一群の公理を導く理論的研究がある[1−9]．このアプローチは，公理的方法であり，数理心理学者や数理経済学者によって採用され，意思決定の定量的モデルの背後にある少数の定性的な公理を導く理論的研究の体系を目指している．意思決定の理論の公理を経験的にテストすることによって，意思決定や選好関係の本質的な特徴を探索することが可能であり，行動意思決定論においても一群の公理が実証的に検討されている．

期待効用理論の公理を実証的に検討した結果，十分に支持されない知見が提出されている．この中のひとつが曖昧性（ambiguity）の下におけるEllsberg[10]のパラドックスである．曖昧性とは，どのような状態や結果が出現するかはわかっているが，状態や結果の出現確率がわからない状況を言う．

本稿では，期待効用理論と，その反例としてのEllsbergのパラドックスを示した後，それに関する心理学的研究，神経科学的研究を紹介し，曖昧性下における意思決定についての研究の概観を行う．

2．リスク下の意思決定と期待効用理論の前提

期待効用理論の公理を説明する前に，リスク下の意思決定の構造を整理してみよう．まず，有限な選択肢の集合をAとして，その要素を互いに背反な選択肢α_1，…，α_i，…，α_l(lは選択肢の数)に整理すると，集合A＝$\{\alpha_1, \ldots, \alpha_i, \ldots, \alpha_l\}$と記述できる．つぎに，この選択肢を採用することによって，生起する結果の集合X＝$\{x_1, \ldots, x_j, \ldots, x_m\}$を考える．例えば，Xの要素は，

x_1＝１万円もらえる

x_2＝何ももらえない

x_3＝２万円もらえる

などである．ある特定の選択肢α_iを採用すると，ある結果x_jが出現すると考えられるが，α_iとx_jは一対一に対応しているとは限らない．選択肢α_iを採用することによって生起する結果x_jは，少なくとも何らかの状態$\Theta=\{\theta_1, \ldots, \theta_k, \ldots, \theta_n\}$に依存していると考えることができ，リスク下の意思決定では，Θの確率分布がわかっていることになる．

例えば，サイコロを投げるいくつかのギャンブルを考えて，

θ_1＝１か２か３の目が出る

θ_2＝４か５の目が出る

θ_3＝６の目が出る

とする．そうすると，表１のように，投げたサイコロの目の状態によって，賞金額が決まってくることになるとする．

表１からもわかるように，結果は，採択した選択肢と状態から結果への関数（写像），すなわち，

$$f : A \times \Theta \rightarrow X \tag{1}$$

によって決まることになる．ただし，

$$A \times \Theta = \{(\alpha_i, \theta_k) \mid \alpha_i \in A, \ \theta_k \in \Theta\} \tag{2}$$

である．ここで確率を考えると，θ_1の確率$p(\theta_1)$＝1／2，θ_2の確率$p(\theta_2)$＝1／3，θ_3の確率$p(\theta_3)$＝1／6というようになる．なお，この確率は，頻度論的に考えても，主観的確率で考えてもよい．そうすると，選択肢$\alpha_j \in A$ごとに，結果X上の確率が決定でき，表２のようになる．例えば，表２のp_{33}は，ギャンブル３（α_3）を選んだときの２万円がもらえという結果（x_3）の確率であるが，表１より，この結果は，状態θ_1とθ_2が生起した時に生じるので，確率p_{33}は，$p(\theta_1)+p(\theta_2)$＝1／2+1／3＝5／6となって，表２に示されているように，p_{33}＝5／6となるのである．

† Ambiguity and Decision Making
Kazuhisa TAKEMURA and Shigetaka OKUBO

*1 早稲田大学文学学術院・同大学意思決定研究所・同大学理工総研
Faculty of Letters, Arts and Science, Waseda University Center for Decision Research, Waseda University Waseda Research Institute for Science and Engineering, Wasda University
*2 早稲田大学文学研究科
Graduate School of Letters, Arts and Sciences, Waseda University

表１　選択肢と状態に応じた結果の例

A ＼ Θ	θ_1：１，２，３	θ_2：４，５	θ_3：６
α_1：ギャンブル１	x_1：１万円	x_2：　０円	x_1：１万円
α_2：ギャンブル２	x_1：１万円	x_2：　０円	x_3：２万円
α_3：ギャンブル３	x_3：２万円	x_3：２万円	x_1：１万円

表２　リスク下の意思決定における結果の確率分布の例

A ＼ X	x_1：１万円	x_2：　０円	x_3：２万円
α_1：ギャンブル１	p_{11}：２／３	p_{12}：１／３	p_{13}：　０
α_2：ギャンブル２	p_{21}：１／２	p_{22}：１／３	p_{23}：１／６
α_3：ギャンブル３	p_{31}：１／６	p_{32}：　０	p_{33}：５／６

このことから，選択肢$\alpha_j \in$Aのうち，どれを選択するかというリスク下の意思決定問題は，X上の確率分布

$$p_1 = [p_{11},\ p_{12},\ \ldots,\ p_{1m}]$$
$$p_2 = [p_{21},\ p_{22},\ \ldots,\ p_{2m}]$$
$$\cdots$$
$$p_l = [p_{l1},\ p_{l2},\ \ldots,\ p_{lm}]$$

のどれを選ぶかという問題に置き換えることができる．このことは，X上の確率の集合P＝$\{p_1, p_2, \ldots, p_l\}$の上に選好関係$\succ$を入れた選好構造(P，$\succ$)でリスク下の意思決定を表現できることを意味している．

リスク下の意思決定をさらに考えるために，田村ら[9]の説明に従って，最初に確率の定義をとりあげ，ギャンブルを再定義してみよう．

まず，結果の集合Xを考える．この集合Xの部分集合E(E⊂X)は，Xのべき集合(power set)の2^Xの要素である(E$\in 2^X$)．ここで，Xのべき集合とは，集合Xの部分集合を全部集めた集合のことであり，2^Xであらわす．べき集合の要素はそれ自体が集合であることに注意する必要がある．例えば，X＝$\{x_1, x_2, x_3\}$のとき，2^Xは次のような８個の要素からなる集合である(ただし，ϕは空集合である)．

$$2^X = \{\phi, \{x_1\}, \{x_2\}, \{x_3\}, \{x_1, x_2\}, \{x_1, x_3\}, \{x_2, x_3\}, \{x_1, x_2, x_3\}\} \quad (3)$$

ここで，2^X上の有限加法的確率測度pというものを考える．有限加法的確率測度というのは，いかめしい名前の概念であるが，簡単に言うと，例えば，$p(\{x_1\})=0.2$というような，「確率」のことである．2^X上の有限加法的確率測度pは，すべてのE_i，$E_j \in 2^X$に対して，

(1) $p(X)=1$

(2) $p(E_i) \geqq 0$

(3) $E_i \cap E_j = \phi$

$\Rightarrow p(E_i \cup E_j) = p(E_i) + p(E_j)$

をみたすような集合関数である．すなわち，(1)結果の集合Xの全体の確率は１であり，(2)Xの任意の部分集合E_iの確率は０以上であり，(3)Xの任意の部分集合の積集合，$E_i \cap E_j$が空集合であれば(すなわち，E_iとE_jの交わりがなければ)，E_iとE_jの和集合(すなわち，E_iとE_jを合わせた集合)の確率は，$p(E_i)+p(E_j)$と等しいという性質を持つことである．

つぎに，2^X上の有限加法的確率測度(以下，簡単のために，確率測度と呼ぶ)の凸集合P_Xというものを考える．P_Xが凸集合とは，$0 \leqq \lambda \leqq 1$かつ任意のp，qがP_Xの要素である($p, q \in P_X$)ならば，$\lambda p+(1-\lambda)q$もP_Xの要素であること($(\lambda p+(1-\lambda)q) \in P_X$)を言う．すなわち，任意の２つの結果の確率を混合させても，それがP_Xの要素になっていることを言うのである．

ここで，$E_i \in P_X$が有限集合であるとき，$p(E_i)=1$となる確率測度は，単純(simple)であるといわれる．この単純確率測度は，表２の例から考えると，ギャンブルや籤(くじ)と解釈することができる．したがって，P_Xが凸集合であるというのは，籤やギャンブルをある確率λと$(1-\lambda)$で組み合わせた複合籤や複合ギャンブルも，P_Xの要素となっていることであると解釈できるのである．

３．期待効用理論の公理系

期待効用理論の公理系を，引き続き，田村ら[9]の表現をもとに，説明することにしよう．

まず，P_Xは，選択肢の集合と解釈できるので，P_X上の２項関係を考え，すべてのp，$q \in P_X$に対して，

$$p \succ q \quad \Leftrightarrow \quad \Phi(p, q) > 0 \qquad (4)$$

を満たす$P_X \times P_X$上の実数値関数Φを想定することができる．ここで，$\succ$は，強選好関係(すなわち，$\forall p, q \in P_X$，$p \succsim q \wedge \mathrm{not}(q \succsim p)$であり，$\succsim$は弱選好関係である)．

この実数値関数Φをもとにして，von NeumannとMorgenstern[7]の期待効用理論を，つぎの線形効用モデルから説明する．

線形効用モデルとは，すべてのp，$q \in P_X$に対して，$\Phi(p, q)=U(p)-U(q)$となるようなP_X上の線形汎関数(linear functional)Uのことである．線形汎関

数というのは，以下のように定義できる．P_XをR上の線形空間とするとき，写像U：$P_X \to R$が次の２つの性質（線形性）をもっているとき，すなわち，

(1) $\forall p, q \in P_X$，$U(p+q)=U(p)+U(q)$

(2) $\forall a \in R$，$\forall p \in P_X$，$U(ap)=aU(p)$

が成り立つとき，UはP_Xにおける線形汎関数であると言う．Uが線形であるというのは，別の言い方をすると，すべての$p, q \in P_X$と，すべての$0<\lambda<1$に対して，

$$U(\lambda p+(1-\lambda)q)=\lambda U(p)+(1-\lambda)U(q) \quad (5)$$

となることである．

Uの線形性の定義より，Φは正の定数倍しても一意性をもつので（すなわち，比例尺度であるので），Uは正の線形変換の範囲で一意性を持つこと（すなわち，間隔尺度であること）がわかる．なぜなら，$U'=\alpha U+\beta(\alpha>0)$とすると，$\alpha\Phi(p, q)=U'(p)-U'(q)$となるからである．

ギャンブル$\alpha_i \in A$のm個の結果$x_j \in X$を，それぞれ，確率$p_{ij}(\sum_{j=1}^{m} p_{ij}=1)$で生じさせる単純確率測度$p_i$の効用$U(p_i)$をもとにした線形効用モデルは，$U(x_j)$の期待値を求めていると考えることができる．なぜなら，Uの線形性より，$U(p_i)=\sum_{j=1}^{m} p_{ij}U(x_j)$となり，$U(p_i)$は$U(x_j)$の期待値を求めていることになるからである．その意味で，この線形効用モデルUは，期待効用モデルであると考えることができる．また，von NeumannとMorgenstern[7]の期待効用理論は，線形効用モデルUによって期待効用を求めていることになるのである．

von NeumannとMorgenstern[7]の期待効用理論が成立する必要十分条件はいくつかある．彼らも，必要十分条件を示す公理系を提出しているが，Jensen[11]の公理系が一般に引用されることが多いので，以下に示すことにする．なお，下記の公理系は，上に定義した，すべての$p, q \in P_X$と，すべての$0<\lambda<1$に対して成立するものとする（公理系の表現は，田村ら[9]による）．

公理Ａ１（順序公理）

P_X上の$\succ$は弱順序である．

ただし，選好関係$\succ$が弱順序であるとは，

(1)非対称性　$p \succ q \Rightarrow \mathrm{not}(q \succ p)$

(2)負推移性　$\mathrm{not}(p \succ q) \wedge \mathrm{not}(q \succ r) \Rightarrow \mathrm{not}(p \succ r)$

が成立することである．

また，このことは，弱選好関係$\succsim$について

(1)推移性　$p \succsim q \wedge q \succsim r \Rightarrow p \succsim r$

(2)比較可能性　$\forall p, q \in P_X$，$p \succsim q \vee q \succsim p$

が成り立つことと等価である．

公理Ａ２（独立性公理）

$p \succ q$ならば$\lambda p+(1-\lambda)r \succ \lambda p+(1-\lambda)r$である．

公理Ａ３（連続性公理）

$p \succ q$かつ$q \succ r$ならば，ある$\alpha, \beta \in (0, 1)$が存在して，$\alpha p+(1-\alpha)r \succ q$かつ$q \succ \beta p+(1-\beta)r$である．

von NeumannとMorgensternの期待効用の定理

公理Ａ１，Ａ２，Ａ３が成り立つとき，また，そのときに限り，P_X上の線形汎関数Uが存在して，すべての$p, q \in P_X$に対して，

$$p \succ q \quad \Leftrightarrow \quad U(p)>U(q)$$

が成立する．また，Uは正の線形変換の範囲で一意性を持つ（Uは間隔尺度である）．

公理Ａ２の独立性公理は，Uが線形であるために必要十分な条件であり，公理Ａ３の連続性公理は，UがP_Xの実数の集合への写像となるために必要な公理である．特に，独立性公理は，期待効用理論において重要な性質であるが，この公理からの逸脱が，Ellsbergのパラドックスが生じさせていると解釈できる．独立性公理は，ある２つの選択肢（ギャンブル）の選好関係が定まっている場合，それらの選択肢に結果が等価であり各結果を得る確率が等しい別のギャンブルをそれぞれ複合した場合にも，それらの選択肢の選好関係は保存されることを意味している．例えば，表２のギャンブルの例で，ギャンブル２をギャンブル１より選好しているとする．ギャンブル１とギャンブル３，ギャンブル２とギャンブル３を0.5の確率で混合した複合ギャンブルを構成すると，表３のギャンブル１’とギャンブル２’のようになる．独立性公理は，ギャンブル１よりギャンブル２を選好するならば，ギャンブ

表３　複合ギャンブルの例

A ＼ X	x_1：１万円	x_2：　０円	x_3：２万円
a_1：ギャンブル１’	p_{11}：５／１２	p_{12}：１／６	p_{13}：５／１２
a_2：ギャンブル２’	p_{21}：１／３	p_{22}：１／６	p_{23}：１／２

ル1’よりギャンブル2’を選好することを要請するのである．

4．曖昧性と期待効用理論の反例 －Ellsbergのパラドックス－

このような効用理論は，現実の人々の意思決定を反映したものなのだろうか．Ellsbergのパラドックス(図1参照)と呼ばれる現象は，期待効用理論の反例となっており，先に示した期待効用理論の独立性公理を逸脱していることになる．これらの現象は，期待効用理論が現実の意思決定を十分に反映したものでないことを示している(Slovic & Tversky[12])．

Ellsberg[10]は，結果の確率分布が未知な場合の曖昧さに関する選好を具体例で表現し，期待効用理論の反例を挙げている(竹村[13])．彼の提示したパラドックスに従い，次のような状況を考えてみる(図1参照)．ある壷の中に合計90個の玉が入っており，そのうち，赤玉が30個，黒玉と黄玉が合わせて60個であることがわかっているが，その構成比率はわからない．この壷から1個の玉を取り出すとする．次の意思決定問題を考えてみる．

問題1では，選択肢Aでは，赤玉(r)が出れば100ドルをもらえ，それ以外では何ももらえない賭，別の選択肢Bでは，黒玉(b)が出れば100ドルをもらえ，それ以外だと何ももらえない賭である．両選択肢を比較すると，多くの人々は，BよりもAを選好するだろう(A$\succ$B)．次に，問題2では，図2のように，選択肢Cでは，赤玉か黄玉(r or y)が出れば100ドルもらえ，それ以外だと何ももらえない賭，他方の選択肢Dでは，黒玉か黄玉(b or y)が出れば100ドルをもらえ，それ以外だと何ももらえない賭である．この場合，多くの人々は，CよりDを選好するだろう(D$\succ$C)．

しかし，この選好の結果は，背反な事象の和事象の確率が各事象の確率の和に等しいという，確率の加法性を仮定する期待効用理論に明らかに矛盾する．すなわち，問題1での選好(A$\succ$B)は，赤玉を取り出す確率$P(r)$が黒玉を取り出す確率$P(b)$より高いこと($P(r)>P(b)$)を意味し，問題2での選好(D$\succ$C)は，赤玉か黄玉を取り出す確率($P(r\cup y)$)が黒玉か黄玉を取り出す確率($P(b\cup y)$)よりも低いことを意味している($P(r\cup y)<P(b\cup y)$)．rとy，bとyは互いに背反な事象なので確率の加法性を仮定すると，$P(r\cup y)=P(r)+P(y)$，$P(b\cup y)=P(b)+P(y)$となる．このことから，問題2での選好(D$\succ$C)は，$P(b)>P(r)$を意味し，問題1での選好からの帰結$P(r)>P(b)$と明らかに矛盾する．このEllsbergのパラドックスは，期待効用理論における独立性公理からの逸脱を示していると解釈することができる．このEllsbergのパラドックスの心理的原因として，意思決定者が曖昧さを避けようとする曖昧性忌避(ambiguity aversion)が考えられている．すなわち，この性質は，結果の確率が不明の場合は，人々は曖昧さを嫌ってその曖昧な選択肢の選択を避けるという性質である．

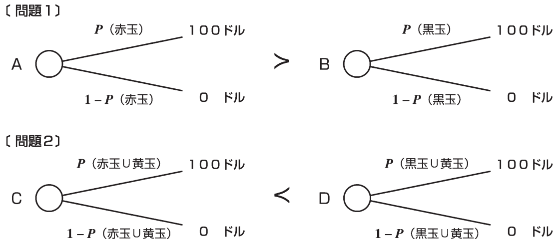

図1　Ellsbergのパラドックス

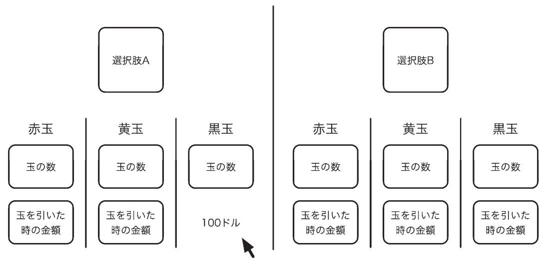

図2　情報モニタリング法を用いた曖昧性下の意思決定の研究例

これらの曖昧性下の意思決定については，期待効用理論では説明できないが，現在では，非加法的確率に基づく非線形効用理論やファジィ理論などによって説明されている．これらの理論的に扱いについては，Takemura[14]や中村[15]の文献を参考にしていただきたい．

5．曖昧性下における意思決定ついての心理学的研究

曖昧性下における意思決定がどのようなものかについて多くの研究がなされている．

早くも1970年代に，Yates & Zukowski[16]は，リスク下の意思決定と，確率についての確率である2次確率分布が一様であるという形での曖昧性下の意思決定，2次確率分布が不明な曖昧性下の人々の意思決定を比較した．その結果，2次確率分布が既知か不明かに関わらず曖昧性忌避が認められた．2つの曖昧性下の意思決定の間では選択傾向に差は見られなかったが，値付け法(WTP：Willing To Pay)では2次確率分布が一様な方が高く評価された．Curley & Yates[17]

は更に，当たりと外れ２つの結果があるギャンブルについて，当たりの確率が取り得る値の中央値と，確率が取り得る値の幅の影響を検討した．その結果，中央値が高くなるほど曖昧性忌避が強くなる傾向を見出し，その中央値が低いと曖昧性忌避が見られなくなることも明らかにした．また，幅の大きさの違い(曖昧さの程度)による選好の差は認められなかった．我が国でも繁桝[18]が1980年代にベイズ的合理性の例示としてEllsbergの２つの壺課題の追試を行い，曖昧性忌避の傾向を見出している．

Keren & Gerritsen[19]は, 複数の実験を実施し，曖昧性忌避の頑健性を検討したところ，利得領域でも損失領域でも共通して曖昧性忌避が認められた．また，この研究では，曖昧性の程度による曖昧性忌避の強さの変化は見られなかった．Powell & Ansic[20]は，意思決定に関連するリスク態度や決定方略などついての性差を検討した一連の研究の中で，曖昧性忌避には性差が見られないことを報告している．

このように，曖昧性忌避については，概ね認められる研究知見が当初続いたが，必ずしも曖昧性忌避が常に見られるわけではいということが近年明らかになってきた．

Fox & Tversky[21]は，曖昧性忌避が生じるには，曖昧な選択肢がリスキーな選択肢と対提示される必要があるとしている．彼らは，Ellsbergの２色，３色の課題，現実の事象を用いた問題などで，曖昧な選択肢とリスキーな選択肢を比較して提示した場合は曖昧性忌避が起きるが，個別に提示した場合は曖昧性忌避が生じないことを明らかにした．Heath & Tversky[22]も，あるクイズに対する正答の自信度と同じ確率のギャンブルでは，自信度が高い場合曖昧でもクイズに回答する方を選ぶ傾向が見られた．このことは，高い有能感がある場合は，曖昧性忌避よりむしろ曖昧性選好が見られことを示している．

また，増田[23]は，課題に被験者自身が制御できる要素を入れた場合，曖昧さの程度を少なく判断する傾向を見出している．更に，増田・坂上・広田[24]は，選択の機会が曖昧性忌避に与える影響を検討したところ，競争が有ると曖昧性選好が見られる傾向を，選択の自由が無いと曖昧性忌避が強まる傾向を見出した．

したがって，曖昧性の選好か忌避かについては心理的要因や状況の要因の影響を受けることが考えられる．曖昧性下の意思決定の過程を知るには，さらに突っ込んだ検討が今後必要になると思われる．図２に，意思決定過程の追跡技法である情報モニタリング法での曖昧性下の意思決定問題を提示したが，このような手法を用いて，我々は曖昧性下の意思決定過程を検討しつつある．

６．曖昧性下の意思決定についての神経科学的研究

曖昧性下の意思決定過程について知るには，過程追跡技法のような認知心理学的手法を用いることも考えられるが，神経科学的手法を用いることも極めて有望である．近年，機能的核磁気共鳴画像法(fMRI)や陽電子放射断層撮影法(PET)などの非侵襲的脳活動計測法が発展し，これまで心理学者らが行動実験のみで扱ってきた知見を神経科学者と協同で明らかにできる体制が整ってきた．これらの手法に基づく研究は，あまり多くはないが最近なされるようになってきている．神経科学的研究において，曖昧性を含んだ意思決定が注目され始めたのはここ５年程度のことである．

Hsuら[25]は，曖昧性下の意思決定とリスク下の意思決定を比較し，曖昧性下の意思決定では眼窩野(OFC：OrbitoFrontal Cortex)(感情と認知的入力の統合と関連するとされる)と扁桃体(Amygdala)(感情的情報に反応するとされる)，前頭前野背内側部(DMPFC：DorsoMedial PreFrontal Cortex)(扁桃体の活動を調節するとされる)に賦活が見られ，リスク下の意思決定では尾状核(Caudate)に賦活が見られることを示した．また，眼窩野の賦活が高ければ高いほど，曖昧性忌避の傾向が強いことが明らかにした．

また，Huettelら[26]は，確実な選択肢，リスキーな選択肢，曖昧な選択肢を用いた実験から，曖昧な選択肢が存在する意思決定では，後部下前頭溝(pIFS：Posterior Inferior Frontal Sulcus，外側前頭前野(LPFC：Lateral PreFrontal Cortex)に含まれる)，前部島皮質(aINS：Anterior Insular Cortex)，後部頭頂皮質(pPAR：Posterior Parietal Cortex)に賦活が見られることを示した．また，実験結果から被験者ごとに曖昧性忌避のパラメータを推定しており，後部下前頭溝の賦活が大きいほど曖昧性忌避の傾向が強いことを示した．

Levyら[27]は，リスク下と曖昧性下の意思決定課題を通して，曖昧性下における主観的価値が，リスク下における主観的価値よりも多くの脳内部位と相関することを示した(図３)．しかし，各意思決定に特異的に関連する部位は見出されず，少なくとも共通して賦活する部位として線条体(Striatum)と前頭前野内側部(MPFC：Medial PreFrontal Cortex)が見出された．

また意思決定の文脈ではないが，Bachら[28]は，リスク下の状況，曖昧性下の状況，無知下の状況を条件刺激とした恐怖条件付けを行ない，曖昧性下の状況において，リスク下の状況・無知下の状況よりも強い

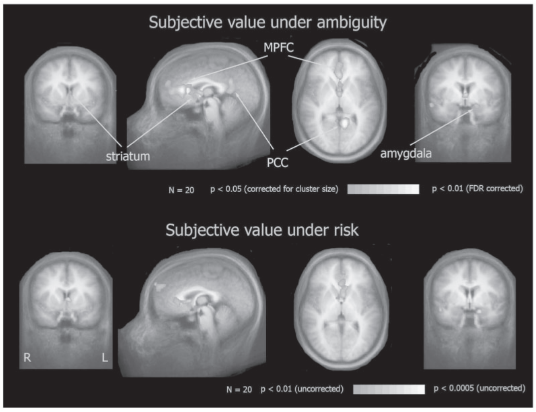

図 3 Levyら[27]による曖昧性下の意思決定とリスク下の意思決定について主観的価値と相関が見られた部位

賦活を見せた部位として，後部下前頭回（pIFG：Posterior Inferior Frontal Gyrus）や右後部頭頂皮質（pPAR：Posterior PARietal cortex），後頭葉外側部（Lateral Occipital Cortex）示した．

Krainら[29]は，先に紹介した 4 つの研究に先立ち，ギャンブル課題を用いた意思決定の神経科学的研究について，用いられた課題の性質を基に，リスキーな意思決定と曖昧な意思決定とに分類し，メタ分析を行っている．

彼らは高リスクな選択肢と低リスクな選択肢との間で選択を求める課題を用いているものをリスキーな意思決定の研究，結果の大きさと確率が同等の選択肢からの選択を求める課題を用いているものを曖昧な意思決定の研究とした．彼らによれば，従来の神経科学における意思決定研究で多く用いられてきた，アイオワ・ギャンブリング課題（Iowa Gambling Task）やケンブリッジ・リスク課題（Cambridge Risk Task）を用いた研究はリスキーな意思決定の研究であり，曖昧性に関する意思決定を直接検討した神経科学的研究はないとしている．

また彼らは，検討の前提として，認知過程の“温かい（Hot）”プロセスと“冷たい（Cool）”プロセスのデュアルプロセスを想定しており，リスク下の意思決定は感情的・直感的な“暖かい”プロセス，曖昧性下の意思決定は理性的・熟慮的な“冷たい”プロセスに対応していると仮定している．

“温かい（Hot）”認知プロセスと“冷たい（Cool）”認知プロセスが眼窩野と前頭前野背外側部（DLPFC：DorsoLateral PreFrontal Cortex）との間の機能局在に対応しているという知見を前提としており，メタ分析の結果，彼らの想定通りリスク下の意思決定では眼窩野など，曖昧性下の意思決定では前頭前野背外側部などが賦活していることを示している．

しかし，彼らの用いた分類基準は，本稿で述べてきた意思決定論の枠組みに基づく曖昧性下の意思決定の定義とは一致していない．彼らの基準で曖昧な意思決定の研究と分類された研究で用いられている課題は，赤か青の玉が表示された画面を連続呈示し赤と青どちらが多いか聞く課題，1 〜10のカードを用いたHi&Lowゲーム，トランプの山から次に出てくるカードが赤か黒かを聞く課題，ジャンケンなどであった．それらは本稿で述べてきた枠組みでは，リスク下の意思決定に含まれる課題である．

以上のような理由から，彼らの知見をそのまま受け入れることはできないと考えられる．彼らが前提としている“温かい”認知プロセスと“冷たい”認知プロセスといった視点は不確実性下の意思決定研究に多くの示唆を与えると考えられるが，リスク下の意思決定と曖昧性下の意思決定との差異に直接対応していると仮定することはできない．実際に，先に紹介した 4 つの研究[25−28]では，意思決定論の観点に根ざした，厳密な基準に基づいて曖昧性を定義しており，Krainらのメタ分析[29]とは異なった部位の賦活が見られている．今後，意思決定論の知見を考慮に入れた，更なる手法の洗練が待たれるところである．

7．おわりに

本稿では，人々の意思決定を説明する期待効用理論について概説し，期待効用理論では，確率分布がわかっているリスク下の意思決定は説明できても，Ellsbergが示したような曖昧性下の意思決定を十分に説明できないことを解説した．つぎに，曖昧性下における意思決定の心理学的研究を概観し，概ね曖昧性忌避の現象は認められるものの，有能感がある場合や競争の状況では，むしろ曖昧性選好が見られることを述べた．また，曖昧性下における意思決定の心理学的研究を行うには，今後情報モニタリング法などの過程追跡技法を用いることが必要であることを説いた．最後に，曖昧性下における意思決定の神経科学的研究について概観し，これらの知見を紹介するとともに，これまでの研究の理論的考察の問題点を指摘した．これまでの曖昧性下における意思決定の研究は，貴重な知見を明らかにしているが，まだまだ検討すべき問題が多くあり，今後の研究の進展が期待される．

参 考 文 献

[1] Barberà, S., Hammond, P. J., & Seidl, C. (Eds.) (1998) Handbook of utility theory, Vol.1 (Principles), Dordrecht, The Netherlands : Kluwer Academic Publishers.

[2] Bell, D. E., Raiffa, H., & Tversky, A. (1988) Descriptive, normative, and prescriptive interactions in decision making. In Bell, D. E., Raiffa, H., & Tversky, A. (Eds.), "Decision making : Descriptive, normative, and prescriptive interactions." New York, NY : Cambridge University Press, pp.9 – 30.

[3] Edwards, W. (Ed.) (1992) Utility theories : Measurement and applications. Boston : Kluwer Academic Publishers.

[4] Fishburn, P. C.(1988) Nonlinear preference and utility theory. Sussex : Wheatsheaf Books.

[5] 市川淳信（1983）「意思決定論」（エンジニアリング・サイエンス講座 33）共立出版

[6] Iverson, G., & Luce, R. D. (1998) The Representational Measurement Approach to Problems. In Birnbaum, M. H. (Ed.), Measurement, Judgment, and Decision Making, San Diego : Academic Press. pp.1 – 79.

[7] von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1944, 1947), Theory and games and economic behavior. Princeton, NJ: Princeton University Press.

[8] Savage, I. R. (1954) The foundations of statistics. New York : Wiley.

[9] 田村坦之，中村豊，藤田眞一（1997）「効用分析の数理と応用」コロナ社

[10] Ellsberg，D. (1961) Risk, ambiguity, and the Savage axiom. Quarterly Journal of Economics, 75, 643 – 669.

[11] Jensen, N. E. (1967) An introduction to Beronoullian utility theory. I. Utility functions. Swedish Journal of Economics, 69, 163 – 183.

[12] Slovic, P. & Tversky, A. (1974) Who accepts savage's axiom?. Behavioral Science, 19, 368 – 373.

[13] 竹村和久（1996）意思決定とその支援 市川伸一（編）「認知心理学 4 巻 思考」東京大学出版会 pp.81 – 105.

[14] Takemura, K. (2000) Vagueness in human judgment and decision making. In Liu, Z. Q. & Miyamoto, S. (Eds.), Soft computing for human centered machines, Springer Verlag, Tokyo, 249 – 281.

[15] 中村和男（2005）意思決定と曖昧性：ファジィ論的視点から．知能と情報：日本知能情報ファジィ学会誌，17（6），665 – 671.

[16] Yates, J. F. & Zukowski, L. G. (1976) Characterization of ambiguity in decision making. Behavioral Science, 21, 19 – 25.

[17] Curley, S. P. & Yates, J. F. (1985) The center and range of the probability interval as factors affecting ambiguity preference. Organizational Behavior and Human Decision Processes, 36, 273 – 287.

[18] 繁桝算男（1988）あいまいさの認知における合理性，行動計量学，16（1），39 – 48.

[19] Keren, G. & Gerritsen, L. E. M. (1999) On the robustness and possible accounts of ambiguity aversion, Acta Psychologica, 103, 149 – 172.

[20] Powell, M. & Ansic, D. (1997) Gender differences in risk behaviour in financial decision – making : An experimental analysis. Journal of Economic Psychology, 18, 605 – 628.

[21] Fox, C. R. & Tversky, A. (1995) Ambiguity aversion and comparative ignorance. The Quarterly Journal of Economics, 110(3), 585 – 603.

[22] Heath, C. & Tversky, A. (1991) Preference and belief : Ambiguity and competence in choice under uncertainty. Journal of Risk and Uncertainty, 4, 5 – 28.

[23] 増田真也（2010）曖昧な情報と制御幻想が割合の推定に及ぼす影響．感性工学，9（4）．232 – 240.

[24] 増田真也・坂上貴之・広田すみれ（2002）選択の機会が曖昧性忌避に与える影響－異なる種類の曖昧性での検討－，心理学研究，73，34 – 41.

[25] Hsu, M., Bhatt, M., Adolphs, R., Tranel, D. & Camerer, C. F. (2005) Neural Systems Responding to Degrees of Uncertainty in Human Decision – Making. Science, 310, 1680 – 1683.

[26] Huettel, S. A., Stowe, C. J., Gordon, E. M., Warner, B. T. & Platt, M. L. (2006) Neural Signatures of Economic Preferences for Risk and Ambiguity. Neuron, 49, 765 – 775.

[27] Levy, I., Snell, J., Nelson, A. J., Rustichini, A. & Glimcher, P. W. (2010) Neural Representation of Subjective Value Under Risk and Ambiguity. Journal of Neurophysiology, 103, 1036 – 1047.

[28] Bach, D. R., Seymour, B. & Dolan, R. J. (2009) Neural activity associated with the passive prediction of ambiguity and risk for aversive events. Journal of Neuroscience, 29(6), 1648 – 1656.

[29] Krain, A. L., Wilson, A. M., Arbuckle, R., Castellanos, F. X. & Milham, M. P. (2006) Distinct neural mechanisms of risk and ambiguity : A meta – analysis of decision-making. NeuroImage, 32, 477 – 484.

（2010年　月　日　受付）

［問い合わせ先］
〒162-8644　東京都新宿区戸山 1 – 24 – 1
早稲田大学文学部心理学教室
竹村　和久
TEL：03 – 5286 – 3549
FAX：03 – 3203 – 7718
E-mail： kazupsy@waseda.jp

著 者 紹 介

竹村　和久［正会員］

早稲田大学文学学術院教授，早稲田大学意思決定研究所所長，早稲田大学理工学術院総合研究所兼任研究．1989 年光華女子短期大学講師，1992 年筑波大学社会工学系講師，1994 年東京工業大学博士（学術）取得，1995 年筑波大学社会工学系助教授，1999－2000 年カーネギーメロン大学社会意思決定学部フルブライト上級研究員，2002 年より早稲田大学教授．人間の判断と意思決定に関する心理実験，調査，モデル化を行う研究を行っている．2002 年日本行動計量学会優秀賞（林知己夫賞），2003 年日本感性工学会優秀論文賞受賞．日本行動計量学会理事・和文誌編集委員長，日本消費者行動研究学会理事，日本社会心理学会の理事・編集委員．

大久保　重孝［非会員］

2004 年早稲田大学第一文学部総合人文学科心理学専修卒業．2006 年同学学大学院文学研究科心理学専攻修士課程修了．現在，同学大学院文学研究科心理学専攻博士課程在籍中．専門分野は意思決定論，消費者心理学．日本心理学会，日本消費者行動研究学会などの会員．