

意思決定における非合理性の量子意思決定モデルによる研究

氏名：金城 卓司

指導教員：高橋泰城

本研究では、意思決定における「非合理性」を示すデータのうちこれまでの量子意思決定理論のモデルでは十分に記述することができないデータに対して、量子論の公理の一つであるボルンの確率規則を一般化した拡張モデルを構築することで記述することを試みた。

不確実性下での意思決定理論によれば、人びとは主観的期待効用が最大になるような「合理的」な意思決定を行っている(von Neumann & Morgenstern, 1947; Savage, 1954)。「合理的」な意思決定者は、sure thing principle (STP) にしたがうべきである。STPとは「互いに排反な2つの選択肢 $X=\{x,y\}$ があるとき、もし意思決定者が、任意の事象 A が起こるときに y より x を選好し、かつ A が起こらないときにも y より x を選好するならば、 A が起こるかどうかわからないときにも、彼は y より x を選好するべきである」とする不確実性下での意思決定の規範理論の根幹をなす原理である(Savage, 1954)。

STP にしたがう意思決定者の主観確率はコルモゴロフの確率論を逸脱しないので、Law of total probability(LTP)と呼ばれる (コルモゴロフの確率論の) 重要法則:

$$P(B) = \sum_{i=1}^n P(B|A_i)P(A_i)$$

(B は任意の事象, $A_1 \dots A_n$ は互いに排反な事象, $P(B)$ は B の生起確率)

にもしたがう(Khrennikov, 2010)。しかし、STP が破れる事例、言い換えると「非合理性」を示す事例が心理学者の Shafir & Tversky (1992), Tversky & Shafir (1992) により報告された。また、認知判断課題において人びとが用いる確率が合理性の破れを示すことがあることもわかった(Kahneman & Tversky, 1972; Tversky & Kahneman, 1983; Tversky & Koehler, 1994)。つまり、人間の意思決定や認知課題における「合理性」の破れの事例、とりわけ LTP が破れるような事例が積み重なってきたのである。これらアノマリーの一部は、客観確率と主観確率とのあいだに何かしらの対応付けを行う理論によって記述できるようになったものの (Kahneman & Tversky, 1979; Tversky & Kahneman, 1992; Tversky & Koehler, 1994)、記述できない LTP の破れのデータが存在するなど、LTP の破れを説明する理論としては十分ではない (Franco, 2010)。

しかし、近年注目を浴びている量子意思決定理論では、上述のアノマリーを公理的に記述できることがわかっている(e.g. Busemeyer & Bruza, 2012)。特に量子論の著しい特徴である干渉効果は、

LTP の破れを説明する有力な考え方である(Khrennikov, 2010)。干渉効果によって LTP の破れを説明するモデルはいくつか提唱されているが(Ashtiani & Azgomi, 2015)、その多くが標準的な量子論により干渉効果を導出するモデルである(e.g. Busemeyer et al., 2006a; Franco, 2009)。これらのモデル(コサイン型と呼ぶ)では干渉係数 λ (干渉効果の大きさを規格化したもの。 λ の値を見ればそのモデルで干渉効果が記述できるかを判定できる)が $-1 \leq \lambda \leq 1$ の範囲でしか干渉効果を記述することができず、実際、記述することのできないデータ(Shafir & Tversky, 1992)の存在が示されている(Khrennikov, 2010)。それに対して、Khrennikov (2010) のモデル(ハイパボリック型と呼ぶ)では、干渉係数の範囲が $\lambda \geq 1$ となってコサイン型のそれとは($\lambda = 1$ を除いて)重ならず、上述のデータに対しても LTP の破れを干渉効果として記述することができる。ただし、一般的に得られるデータはコサイン型で記述できるものとハイパボリック型で記述できるものと両タイプが混ざっている。したがって、コサイン型またはハイパボリック型の 2 つのモデルを用いて干渉効果を記述しようとすると、データに応じてそれぞれのモデルを使い分けなければならない。これではモデルとしての頑健性・一貫性を欠く上に、分析の際に煩瑣となる。

そこで本研究では、従来のコサイン型を拡張し、記述できる干渉効果の大きさを広げることを試みた。主観確率のような心理量が必ずしも物理量同様に標準的な量子論にしたがっているとは言えないことから、量子論の公理の一つであるボルンの確率規則を一般化し(ボルンの確率規則のべき指数 2 を一般の正の実数 α とし)、拡張モデルを構築した。そして拡張モデルの性質のとして、干渉効果の大きさの α 依存性を解析的に考察した。拡張モデルでは、干渉効果の大きさが α の減少関数となるので、 α を $0 \leq \alpha \leq 2$ に選べば、従来のコサイン型より干渉効果が大きくなることがわかった。さらに実データに拡張モデルを適応して分析も行った。データとして従来のコサイン型で記述できない Shafir & Tversky (1992) のデータに拡張モデル($\alpha = 1$)を適応して干渉効果を計算すると、干渉効果は大きくなった。さらに λ が $-1 \leq \lambda \leq 1$ の範囲に収まることがわかった。つまり、これまでハイパボリック型では記述できるがコサイン型では記述できなかったデータを、拡張モデルで記述することができた。

しかし、拡張モデルにもいくつか課題が残っている。まず、ある特定のデータに関しては拡張モデル($\alpha = 1$)で記述することができたが、その他のデータに対しても同様に記述できるかの一般的な検討は解析的にも数値計算でも行っていない。また今回は $\alpha = 1$ としたが、この α の選択は恣意的である。さらに一般の α の場合、どの条件のときに近似を行えるのか、またどこまで近似を行うべきかについても議論の余地があるだろう。今後はこのような課題に向き合いながら現象を記述するより妥当なモデルを模索しつつも、また一方で、量子意思決定理論に実体を与える研究も進めていくべきだろう。特に神経科学と接続することで、干渉効果のメカニズムの神経基盤を探求するなど、この量子意思決定理論が他領域とともに発展していく可能性は大いにありと期待する。