

丸山 善宏

オーストラリア国立大学
講師

生命と認知の量子情報理論：圏論的定式化とその応用

§ 1. 研究成果の概要

量子認知科学は、量子論の数学的枠組みを利用して認知をモデリングする科学である。近年特に大きな注目を集めているのは、量子論におけるベルの定理、量子現象におけるベルの不等式の破れの、認知科学における対応物である。ベルの不等式は、純粋に統計的相関に関する不等式であり、原理的には物理的な系以外にも適用可能である。特に圏論的に一般化された論理的ベル不等式の理論は、全てのベル型不等式を統一する理論であり、極めて広範な適用可能性を持つ。近年の量子認知科学における実験研究は、ベル型不等式がある種の認知実験において実際に破れることを示してきた。しかしその意味、認知実験におけるベル型不等式の破れが認知の本性的理解に対してどのような含意をもつものとして捉えるべきなのか、は量子認知科学の専門家が集まる国際会議においても議論が紛糾する状態であった。本研究では、認知科学におけるベル型不等式の破れがもつ意味を明らかにした。そしてそれを量子物理におけるベル型不等式の破れがもつ意味と比較し、量子物理的な意味と認知科学的な意味の違いを明らかにした。一般にベル型不等式の破れは古典的には存在し得ない文脈依存性の存在を示す。量子論における文脈依存性は、アインシュタインが Spooky action at a distance と呼んだいわゆる非局所性の一般化であり、量子論が量子論である理由を特徴付ける性質である。本研究では量子物理的な文脈依存性と認知科学的な文脈依存性が如何に異なるのかを解明した。特に、前者は単一状態ダイナミクスに関するものであるのに対して、後者は本質的に複合状態ダイナミクスにおいて生じるものであることを明らかにした。さらに認知科学における様々な文脈依存性の研究から、量子の論理がモノイダル圏的／部分構造論理的であるように、認知の論理もまたモノイダル圏的／部分構造論理的であることが分かった。これは、量子認知科学が可能であるのは、量子の数理構造と認知の数理構造が相同的なものであるからである、という量子認知科学に対する新たな構造主義的見地を示唆するものである。