

単一光子意思決定の理論：幾何学及び圏論による構造分析

Theoretical Approach to Single-Photon Decision Maker based on Category Theory

○成瀬 誠¹、堀 裕和²、青野真士^{3,4}、Serge Huant⁵、金 成主⁶ (1. 情通機構、2. 山梨大、3. 東工大、4. JST さきがけ、5. Inst. NEEL, CNRS and Univ. Joseph Fourier、6. 物材機構)

○Makoto Naruse¹, Horikazu Hori², Masashi Aono^{3,4}, Serge Huant⁵, Song-Ju Kim⁶

1. NICT, 2. Univ. Yamanashi, 3. Tokyo Tech, 4. JST PRESTO,

5. Inst. NEEL, CNRS and Univ. Joseph Fourier, 6. NIMS

E-mail: naruse@nict.go.jp

我々は、自然界のダイナミクスを知的機能に発展させる「自然知能」を提案し、その一例として、単一光子の粒子性と確率性を用いて、多本腕バンディット問題 (Multi-Armed Bandit problem: MAB) と呼ばれる意思決定課題を、実験によって物理的に解決することに成功した¹⁾。MAB とは、複数のスロットマシンからの獲得報酬の最大化問題である。報酬の最大化には、何れの台の報酬確率が高いかを知るための探索が必要だが、過度な探索は試行回数増による損失増に繋がりがねない。他方、性急な判断は最適な選択を阻む。すなわち探索と選択の決断に難しいトレードオフ (Exploration-exploitation dilemma) が存在する。単一光子意思決定は、「綱引き原理」を規範として²⁾、単一光子の確率性と粒子性を活かし、偏光状態の制御によって偏光ビームスプリッタ通過後の光子がいずれの検出器において検出されるかを意思決定に用いる¹⁾。

このシステムは、単一光子の偏光状態とそれに応じた意思決定、選択されたスロットマシンからの報酬の確率的な有無、さらにスロットマシンの報酬確率の変化など、複数の要素が複雑に絡み合って動作しており、今後のシステムの高度化や応用展開を見据えると、理論的基盤を明確な形で構築し、システム構造を捉えることが不可欠と言える。本研究では、「意思決定 (スロットマシンの選択)」と「選択したマシンの報酬の有無」を、各々、単一光子の偏光状態 ($\phi/2$) と外部からは不可知のスロットマシンのセッティング ($\theta/2$) としてモデル化し、 ϕ が自律的に θ の方向に時間発展することを示す。さらに、圏論を規範として、本システムは、「三角圏」で知られている「8面体図式」³⁾を満たすことを見出した (図1)。この考察によって、自律的に性能を改善できるシステム要素と、不確実性を解除不可能なシステム要素の依存関係を、明確に図式化・整理・評価することが可能となった。

謝辞 本研究の一部は日本学術振興会「研究拠点形成事業 (A.先端拠点形成型)」の助成による。

参考文献 1) M. Naruse, M. Berthel, A. Drezet, S. Huant, M. Aono, H. Hori, and S.-J. Kim, *Sci. Rep.* **5** 13253 (2015). 2) S.-J. Kim, M. Aono, E. Nameda, *New J. Phys.* **17**, 083023 (2015). 3) B. イヴァセン, 前田博信訳, 層のコホモロジー (丸善, 2012).

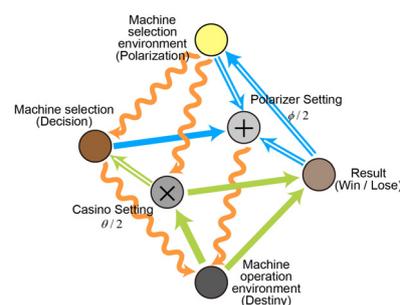


Figure 1. Octahedron structure of the single-photon decision maker