光物質系の複雑ダイナミクスを用いた物理的強化学習

Physical Reinforcement Learning based on Complex Dynamics in Photons and Materials

○成瀬 誠[1]、青野真士[2,3]、堀 裕和[4]、金 成主[5]

(1. 情通機構、2. 東工大、3. さきがけ、4. 山梨大、5. 物材機構)

°Makoto Naruse[1], Masashi Aono[2,3], Hirokazu Hori[4], Song-Ju Kim[3]

1. NICT, 2. Tokyo Inst. Tech., 3. JST PRESTO, 4. Univ. Yamanashi, 5. NIMS

E-mail: naruse@nict.go.jp

人工知能の重要課題である強化学習とは、動的に変化する環境での意思決定や最適化であり、情報通信網・電力網･データセンタ等のインフラ瞬時最適化（調停:アービトレーション)、自動運転等の運輸・交通、医療・製薬等の多くの重要な応用に直結している。強化学習の根幹に、当たり確率の未知なスロットマシンからの獲得報酬を最大化する問題（多本腕バンディット問題（Multi-Armed Bandit Problem)）がある[1]。報酬の最大化には、よいマシン知るための探索が必要だが、過度な探索は損失であり、一方、性急な判断はよい選択を阻む。選択肢やプレイヤー数の増加等に伴い問題はさらに複雑化する[2]。すなわち､探索と決断に難しいトレードオフが存在する。その解決のための計算機上のアルゴリズムが活発に研究されているが、探索コストの指数爆発などフォンノイマンボトルネックによる明確な限界が存在し、技術革新が強く期待されている。

我々は、光物質系の複雑ダイナミクスを活用して「物理的に」強化学習課題の解探索を実現する新光機能の実現を目指している。具体的には、①光物質系における素励起の非局所性による並行探索と、②散逸によるダイナミクスの動的変化によって、解空間の効率的探索という機能につなげる。例えば、量子ドット間の近接場光を介したエネルギー移動はエネルギー散逸の起きやすさに依存して確率的に異なり、これが、探索空間を適応的かつ効率的に探索可能とさせる。近接場光を含め、素励起の非局所性が多数の選択肢の並行探索を可能とさせ、かつ、(微小な）散逸過程を繰り返すことにより試行錯誤が実現される[3]。この原理の一形態として、単一光子の非局所性と粒子性を応用して、ナノダイヤモンドによる単一光子源と偏光制御を用いた独自システムを構築し、強化学習課題を単一光子レベルで物理的に解決することに成功した[4]。単一光子の場としての性質（非局所性）が探索に活かされ、粒子としての性質が決断に直結している。近接場光を用いた強化学習に関しても理論構築[3]及びコロイダル量子ドットを用いた原理実験に成功している[5]。

今後の課題として、フォトニクスの極限性能での実証と応用を様々な形で示すことに加え、より応用範囲の大きな深化した能力の物理的実現がある。例えば、複数のユーザーが関わる状況では「全体最適性」が目標となり、ナッシュ均衡を孕んだ難しい問題の解決が問われる[6]。また、報酬が遅延を伴って還ってくるマルコフ決定過程も重要と考えられる。ここでは「苦労（損失）の先に初めて得られる巨大な報酬（遅延報酬)」を考慮しなければならない。このような課題を、(アルゴリズムとしてではなく)「物理として」「フォトニクスとして」論じることもフォトニックインテリジェンスの研究の範疇にあると考えられる。

さらに､「物理過程に基づいた知能」を学術として確立するためには、光や物質系の物理と知能を含む機能の論理的構造を統合したフォトニック機能学とも言える体系の構築が課題になると考えられる。この目的のために、圏論を用いた研究に着手している。圏論は、様々なエンティティ間の関係性を極めて高い一般性のもとで扱う数学[7]だが、その能力は、フォトニックインテリジェンスの学術統合によくマッチする。これまでに、単一光子による強化学習の原理を圏論で説明している[8]。

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) R. S. Sutton, *et al.*, Reinforcement Learning (MIT Press, 1998). 2) S.-J. Kim, *et al.* New J. Phys. **17**, 083023 (2015). 3) S.-J. Kim, *et al.* Sci. Rep. **3**, 2370 (2013). 4) M. Naruse, *et al.* Sci. Rep. **5** 13253 (2015). 5) M. Naruse, *et al.* J. Appl. Phys. **116**, 154303 (2014). 6) S.-J. Kim, et al. arXiv:1504.03451. 7) B. イヴァセン，層のコホモロジー (丸善, 2012). 8) M. Naruse, *et al.* arXiv:1602.08199.

© 2016年 応用物理学会