

# 複雑系フォトリクスを用いた光 AI : リザーバコンピューティングと高速意思決定

## Photonic artificial intelligence using complex photonics: reservoir computing and fast decision making

埼玉大 内田 淳史

Saitama Univ. Atsushi Uchida  
E-mail: auchida@mail.saitama-u.ac.jp

**はじめに:** 複雑系フォトリクスの研究が近年注目されている。複雑系フォトリクスとは、カオスに代表される複雑系の分野と、レーザーや光学に関するフォトリクスの研究分野が融合した学際的学問分野である[1]。その代表例として、戻り光を有する半導体レーザーのカオス現象が1980年代から研究されている。特に近年、人工知能研究の進展に触発され、複雑系フォトリクス分野で培われた基礎技術を用いた人工知能(光 AI)に関する研究が進展している。

そこで本稿では、複雑系フォトリクスに基づく光 AI 技術の最新動向について述べる。特に、リザーバコンピューティングや高速意思決定方式について概説する。

**リザーバコンピューティング:** リザーバコンピューティングは、自己フィードバックを有するリカレントニューラルネットワークに基づく情報処理方式である。従来のリカレントニューラルネットワークでは、学習によりネットワークの結合間の重みが増えるため、アルゴリズムが複雑で計算量が膨大となるのが欠点であった。一方でリザーバコンピューティングでは、入力とネットワーク間および、ネットワーク同士の結合の重みを予め固定し、出力の結合間の重みのみ学習を行うことで、学習の簡素化を実現できる事が利点である。

さらに時間遅延フィードバックを有する非線形素子(レーザーなど)を用いたリザーバコンピューティングが提案されている[2]。Fig. 1 に示すように、時間遅延フィードバックループを複数のノードに区切り、その出力を仮想ノード状態と見なすことで、仮想的なネットワークを構築する。本手法では、従来のニューラルネットワークのように複数の素子を多数結合する必要が無く、単体の素子のみで実装できる点が大きな長所である。本実装により、時間遅延した戻り光を有する半導体レーザーを用いたリザーバコンピューティングが実現でき、GHz を超える高速な音声認識処理が報告されている[3]。また、入力マスク信号を変化させることで、時系列予測の性能向上を達成している[4]。

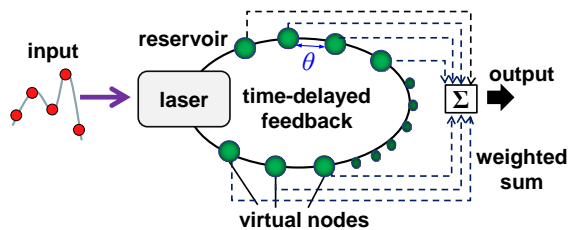


Fig. 1 Delay-based reservoir computing [1,2]

**高速意思決定:** 当たり確率が未知である複数のスロットマシンを選択して報酬を最大化するバンディット問題[5]を、レーザーカオス波形を用いて効率的に解く研究が報告されている[6,7]。Fig. 2 に示すように、カオスの時間波形に対してしきい値を設定し、サンプリングしたデータがしきい値よりも大きければ一方のスロットマシンを選択し、しきい値よりも小さければもう一方のスロットマシンを選択する。ここでスロットマシンの当たりまたははずれの結果に応じて、レーザーカオス波形のしきい値を上下に動かすことにより強化学習を行い、意思決定する。つまりスロットマシンが当たりの場合には、そのスロットマシンを選択する範囲が広がるようにしきい値を移動させる。一方でスロットマシンがはずれの場合には、そのスロットマシンを選択する範囲が狭くなるようにしきい値を移動させるという方式である。

本研究ではレーザーカオス波形を用いることで、GHz オーダでの意思決定が実現可能となる。さらに、スロットマシンの台数を増加させた場合のスケラビリティに関する調査も報告されている[8]。

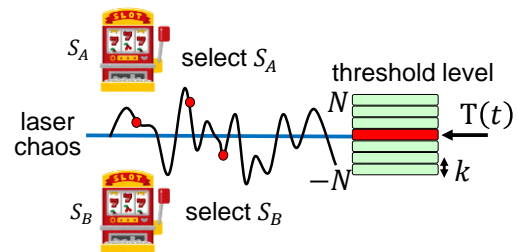


Fig. 2 Fast decision making using laser chaos [6,7]

**まとめ:** 本稿では、複雑系フォトリクスを用いた光 AI 技術について、リザーバコンピューティングや高速意思決定に関する研究を解説した。複雑系フォトリクスの基礎知識を用いた光 AI の研究は現在盛んに進展しており、今後の発展が期待できる研究分野である。

### 参考文献

- [1] 内田 淳史, 複雑系フォトリクス, レーザカオスの同期と光情報通信への応用, 共立出版 (2016).
- [2] L. Appeltant, et al., Nat. Commun. **2**, 468 (2011).
- [3] D. Brunner, et al., Nat. Commun. **4**, 1364 (2013).
- [4] Y. Kuriki, et al., Opt. Exp. **26**, 5777 (2018).
- [5] R. S. Sutton, et al., "Reinforcement learning," The MIT Press (1998).
- [6] M. Naruse, et al., Sci. Rep., **7**, 8772 (2017).
- [7] T. Mihana, et al., Complexity, **2018**, 4318127 (2018).
- [8] M. Naruse, et al., arXiv, 1803.09425 (2018).