組合せ情報爆発を物理の力で高速に解決する、非ノイマン型コンピュータ

光発振器ネットワークで組合せ最適化問題を高速に解く コヒーレントイジングマシン

宇都宮 聖子A, 玉手 修平A, 針原 佳貴A,B, 坂口 潤将A,B, 竹田 悠大河A,C

A国立情報学研究所 B東京大学大学院 C東京理科大学大学院

どんな研究?

デジタルコンピュータを用いて計算するこ とが難しい問題(組合せ最適化問題)を解決 することを目指し、光共振器ネットワーク を用いた新しい計算機の開発に取り組んで います。

何がわかる?

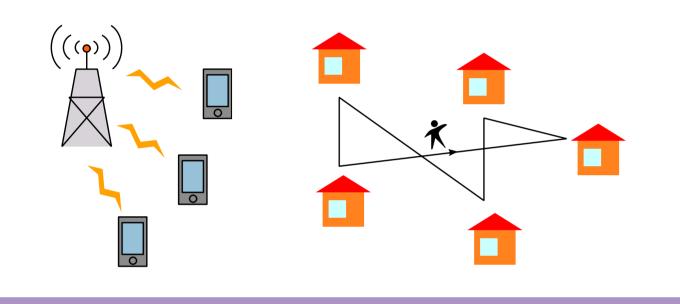
回路設計、無線周波数割り当て、タンパク 質の構造解析など、組合せ最適化問題とし て表現できる問題は多岐にわたります。こ れらの問題を光計算機で高速に解くことで、 様々な応用が広がると期待しています。

状況設定

組合せ最適化問題

バイナリ変数をもつコスト関数の 最小化 (NP完全/困難)

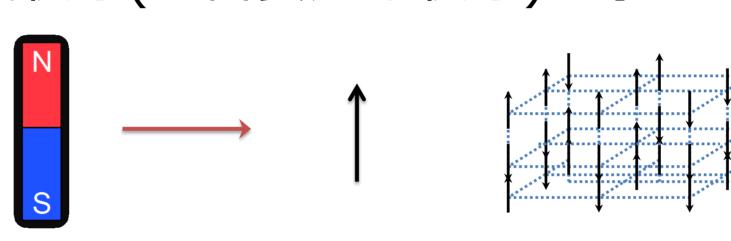
 $f(\mathbf{x}): \mathbf{x} \in \{0,1\}^n$ Minimize



イジングモデル

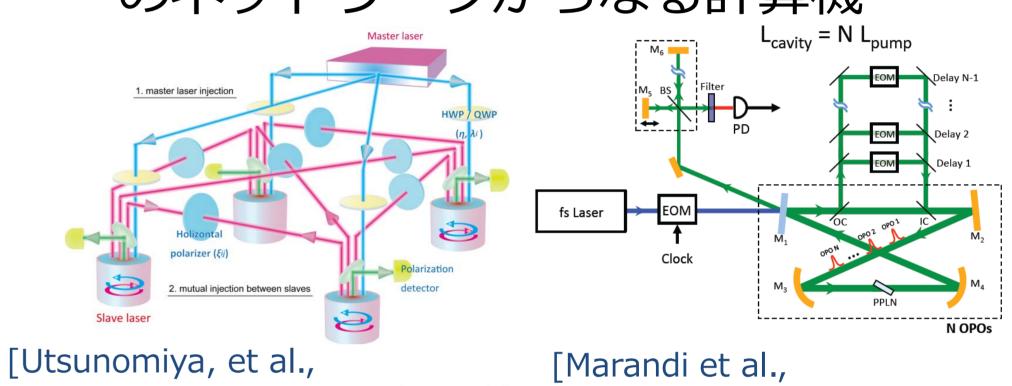
バイナリスピンをもつ磁性モデル $H = \sum_{i < i} J_{ij} \sigma_{iz} \sigma_{jz} \left[+ \sum_{i} \lambda_{i} \sigma_{iz} \right], \quad \left(\sigma_{iz} = \pm 1 \right)$

基底状態(一番安定な状態)を求める



コヒーレントイジングマシン

イジングモデルを模擬した光共振器 のネットワークからなる計算機



Opt. Express **19**, 18091 (2011)]

Nature Photonics 8, 937 (2014)]

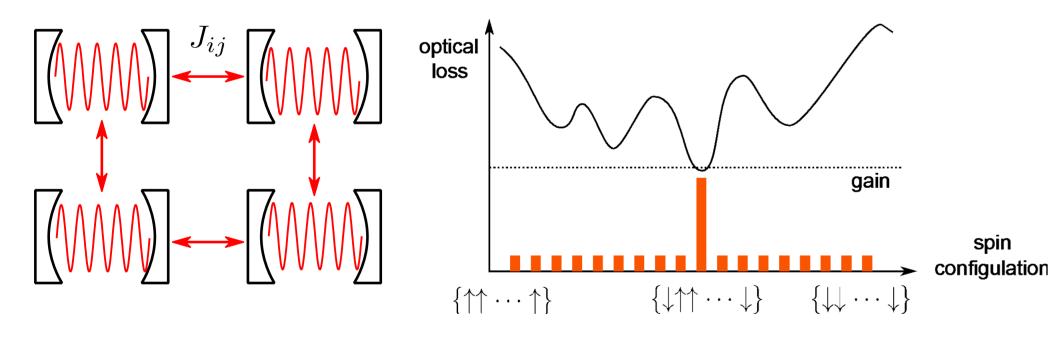
研究內容

コヒーレントイジングマシンの原理

・光パラメトリック発振: 光でバイナリスピンを生成



・光共振器ネットワーク: 光注入でスピン間の結合を実装

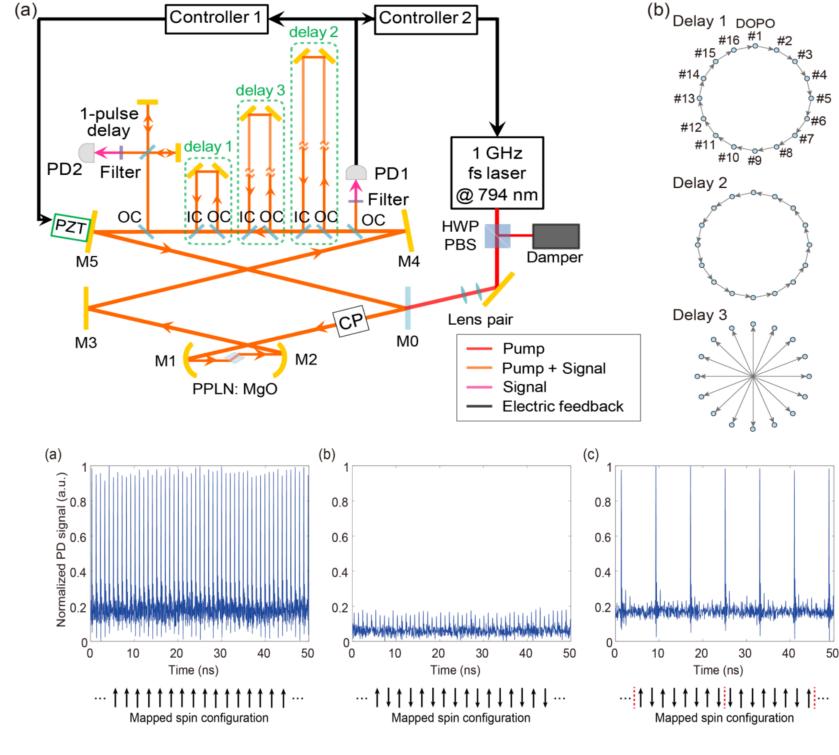


光発振器ネットワークが安定な状態 (基底状態)を自然に見つける

検証実験

・16bit の原理検証実験

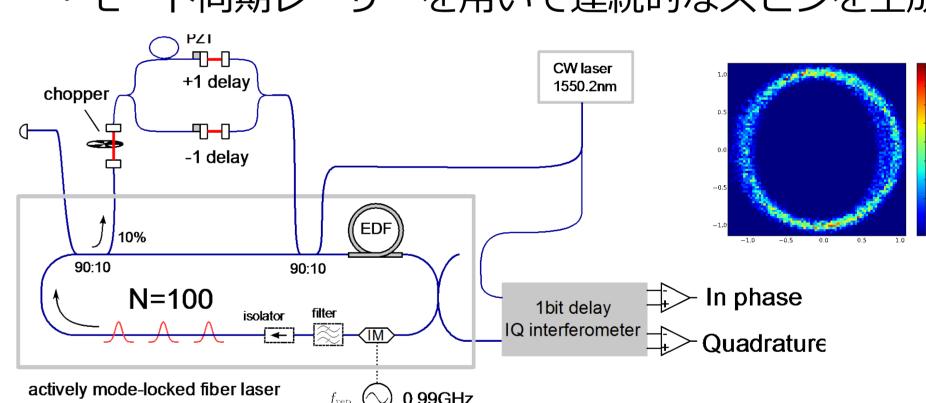
・時分割多重方式: 1つの共振器に複数のパルスを生成 [Takata et al., arXiv:1605.03847]



99%以上の確率で正しい解を発見

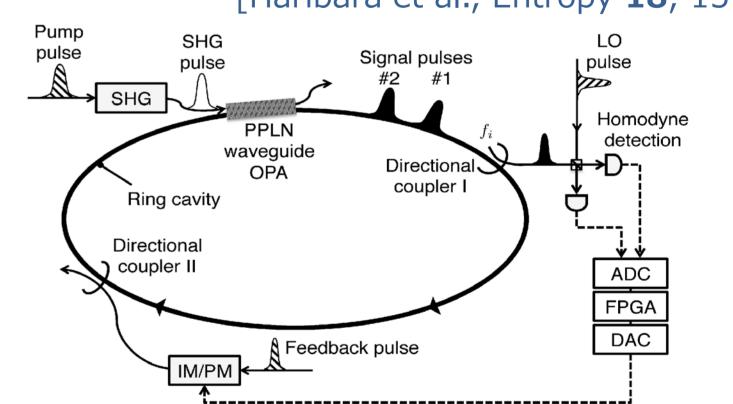
・連続値スピンの最適化実験(XYマシン)

・モード同期レーザーを用いて連続的なスピンを生成



100パルスのXYスピンを実現 基底状態・準安定状態の実現を確認

・測定フィードバックによる大規模化の検討 [Haribara et al., Entropy **18**, 151 (2016)]



・光パルス生成: ファイバ中で10,000 パルスの発振に成功(NTT) [Inagaki et al., Nature Photonics (2016)]

・相互注入: 「位相検波 + FPGA演算 + 光注入」 に置き換え

2016年中に2,000パルス、2019年までに

20,000パルスの組合せ最適化の実現を目指す

最適な原子種の配置を行う X - - - Y - - - Z 1 =CH- 2 =CH₂ 3 =O 4 =NH₂ 5 =OH 6 -CH₃ 化学構造 原子種

・コミュニティ検出

・創薬のための化合物最適化

・ターゲットのタンパク質の構造と

上手くフィットする化学構造から

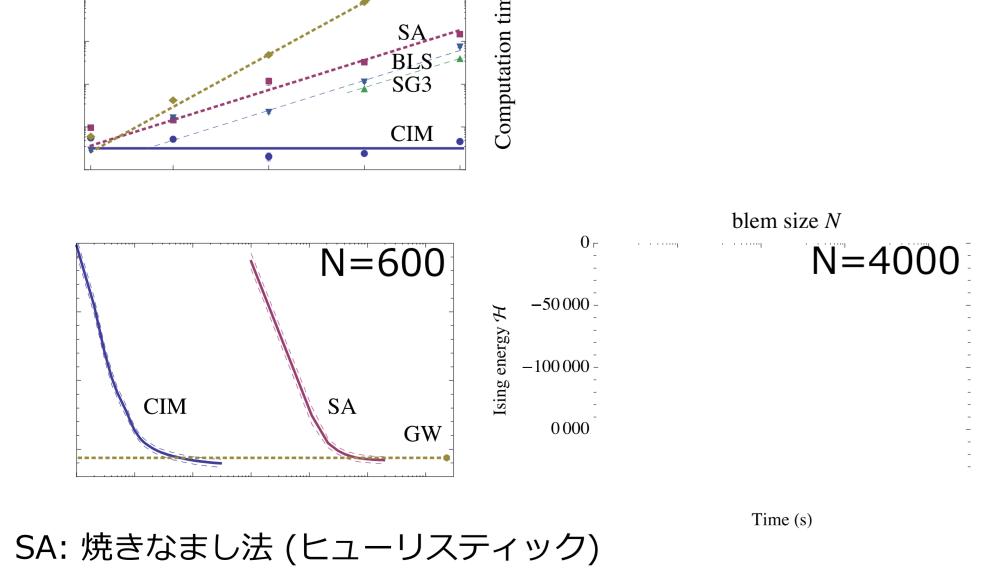
応用研究

XYマシンの発振位相の同期現象を利用

繋がりが密なノードの集合を検出 (コミュニティ)

計算時間のベンチマーク (MaxCut 問題)

[Haribara et al., Entropy **18**, 151 (2016)]



GW: Goemans Williamson (精度保証付きアルゴリズム)

CIM: コヒーレントイジングマシン

従来のアルゴリズムに比べて1000倍の高速化

連絡先:宇都宮聖子/国立情報学研究所情報学プリンシプル研究系 FAX: 03-4212-2641 TEL: 03-4212-2559