

TSUBAME 共同利用 令和 5 年度 学術利用 成果報告書

利用課題名 量子アニーリングにおける近似的断熱ショートカット  
英文: Approximated shortcuts to adiabaticity in quantum annealing

利用課題責任者: 早坂 太志  
Hiroshi Hayasaka

産業技術総合研究所  
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)  
<https://www.aist.go.jp>

邦文抄録(300 字程度)

我々は磁化の平均場ダイナミクスを計算することで、平均場近似された CD 項を構築する手法を提案した。量子スピングラスに対して量子アニーリングを行ったところ、平均場近似された CD 項によって正解率のスケールリングが改善されることが分かった。

英文抄録(100 words 程度)

The counter diabatic (CD) driving has attracted much attention for suppressing non-adiabatic transition in quantum annealing (QA). However, it can be intractable to construct the CD driving in the actual experimental setup due to the non-locality of the CD driving Hamiltonian and necessity of exact diagonalization of the QA Hamiltonian in advance. Using our method, we clarify that a scaling of success probability is improved compared to the conventional QA without the CD driving.

*Keywords:* Quantum annealing, Counter diabatic driving, Spin glass, Mean field theory

#### 背景と目的

量子アニーリング (QA) は、量子多体系の基底状態を求める手法として注目を集めている [1]. 一般に QA は、断熱条件を満たすように、ハミルトニアンによる状態変化をゆっくりと行う必要がある。一方、Counter-diabatic (CD) ドライブの方法は、非断熱遷移を抑制し、短時間で量子アニーリングを行うことを可能にすることが知られている [2, 3]. しかし CD 項の構成には厳密な固有状態を事前に用意する必要があるうえに、CD 項が非局所的な形で表されるため、実験的な実装には困難さを伴う。

この問題を解決する方法として、CD 項を平均場近似する手法が知られている [4]. 平均場理論において相互作用が一様な強磁性イジング模型の場合、解くべき平均場方程式 (自己無撞着方程式) は系を代表する一つの磁化の閉じた方程式となる。

しかし相互作用が非一様な場合、特にスピングラスのような相互作用がランダムな

問題では、各量子ビットのもつ磁化を区別する必要があるため、自己無撞着方程式は、システムのサイズを  $L$  としたとき、 $L$  本の非線形な連立方程式となる。平均場 CD 項の構成にはこの自己無撞着方程式を量子アニーリングの各時刻で解く必要があるため、計算時間の律速となる。

そこで我々は磁化の平均場ダイナミクスを計算することで、平均場近似された CD 項を得る手法を提案する。我々の方法では各時刻で自己無撞着方程式を解く必要はなく、初期配位のみを与えれば良い。平均場近似された CD 項付きのダイナミクスが自己無撞着解を再現するということを数値的に示す。この手法を用いて量子スピングラスに対して量子アニーリングを行い、正解率のスケールリングが平均場近似された CD 項によって改善することを示す。

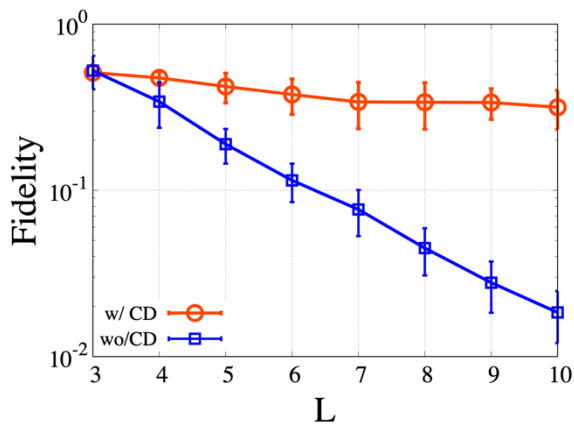
#### 概要

非一様な相互作用をもつスピン系において、平均場近似された CD 項を構成する手

法を提案した. この手法を用いて量子スピ  
ングラスに対して量子アニーリングを行っ  
たところ, 正解率のスケールが改善さ  
れることを示す.

### 結果および考察

(a)



(b)

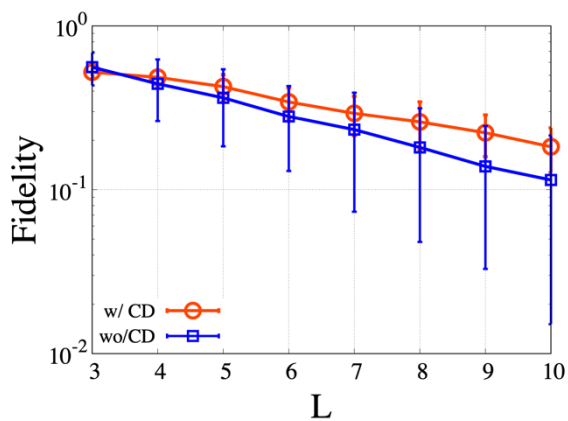


図 1. 正解率のスケール. (a) 全結合横磁場ス  
ピングラス模型. (b) 1次元横磁場スピングラス模  
型. アニーリング時間は  $T=1$  とした.

平均場近似された CD 項を横磁場スピング  
ラス模型に対して適用し量子アニーリング  
を行った (図 1). スピングラス模型の相互  
作用は正規分布で与えられるものを選んだ.  
また全結合系 (図 1(a)), および 1次元系  
(図 1(b)) を扱った. 相互作用のサンプル数  
(インスタンス数) は 20 サンプルとした. ま  
た平均場ダイナミクスが準安定解に落ち込  
むのを回避するために一様ランダムな縦磁

場を導入した. 縦磁場のサンプリングは 50  
サンプル行った. インスタンス数と縦磁場  
のサンプル数の両方に関するの平均値を正  
解率としてプロットしてある. 図 1(a), (b)  
より, 平均場近似された CD 項を用いるこ  
とで, 平均場近似された CD 項を用いない  
場合よりも正解率のスケールが改善され  
ることを明らかにした. また全結合系の方  
が 1次元系よりも平均場近似された CD  
項の効果がより顕著に現れている. 一般に  
平均場近似は高次元系の方が良い近似と  
なるため, 1次元よりも高い次元ではより  
平均場近似された CD 項の効果が現れると考  
えられる.

### まとめ、今後の課題

我々は磁化の平均場ダイナミクスを計算  
することで, 平均場近似された CD 項を構  
築する手法を提案した. 量子スピングラ  
スに対して量子アニーリングを行ったところ,  
平均場近似された CD 項によって正解率の  
スケールが改善されることが分かった.

### 参考文献

- [1] T. Kadowaki, et al., Phys. Rev. E, **58**, 5355 (1998)
- [2] M. Demirplak, et al., J. Phys. Chem. A **107**, 9937 (2003)
- [3] M. V. Berry, J. Phys. A: Mathematical and Theoretical **42**, 365303 (2009)
- [4] T. Hatomura, J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 094002 (2017)