

# コヒーレントイジングマシンによる 2 次元イジングモデルの相転移の観測 Observation of phase transition in two-dimensional Ising model using coherent Ising machine

<sup>1</sup>NTT 物性研、<sup>2</sup>NTT 先デ研

○ 武居弘樹<sup>1</sup>、山田康博<sup>1</sup>、稲葉謙介<sup>1</sup>、生田拓也<sup>1</sup>、米津佑哉<sup>1</sup>、稲垣卓弘<sup>1</sup>、本庄利守<sup>1</sup>、  
風間拓志<sup>2</sup>、圓佛晃次<sup>2</sup>、梅木毅伺<sup>2</sup>、笠原亮一<sup>2</sup>

<sup>1</sup>NTT Basic Research Labs., <sup>2</sup>NTT Device Technology Labs.

○ H. Takesue<sup>1</sup>, Y. Yamada<sup>1</sup>, K. Inaba<sup>1</sup>, T. Ikuta<sup>1</sup>, Y. Yonezu<sup>1</sup>, T. Inagaki<sup>1</sup>, T. Honjo<sup>1</sup>,  
T. Kazama<sup>2</sup>, K. Enbutsu<sup>2</sup>, T. Umeki<sup>2</sup>, and R. Kasahara<sup>2</sup>

E-mail: takesue.hiroki@lab.ntt.co.jp

**概要:** コヒーレントイジングマシン (CIM) は縮退パラメトリック発振器 (DOPO) のネットワークを用いてイジングモデルを模擬するものである [1]。既に CIM を用いてイジングモデルの低エネルギー状態が探索可能であることが実証されている一方、CIM がイジングモデルの熱平衡エネルギー分布をどの程度反映しているか明らかでなかった。今回、理論的によく理解されている 2 次元正方格子イジングモデルを用いて、CIM が相転移を模擬できるかを調べる実験を行った。

**実験:** 図 1(a) に示す CIM 実験系において、測定・フィードバックにおける信号の増倍係数  $R$  を 0 から 125 まで変化させ、反強磁性結合された  $10 \times 10$  (総スピン数 100、周期境界条件を仮定) の 2 次元正方格子イジングモデルのスタガード磁化  $M_s$  を測定した。CIM においては、フィードバック信号振幅を変化させることにより、結合係数だけでなく DOPO の実効的なポンプ振幅も変化するため、CIM が表現するイジングモデルの「温度」も変化する。そこで、各  $R$  において得られた状態のイジングエネルギーの分布から逆温度  $\beta$  を最尤推定した。推定の際には、Wang-Landau 法 [2] により求めたイジングモデルの正準分布を理想模型として用いた。

**実験結果:** 得られた逆温度  $\beta$  とスタガード磁化  $M_s$  の関係を図 1(b) に示す。このように、 $\beta J \sim 0.44$  付近を転移点とした相転移の兆候 [3, 4] を示すことを確認した。

## 参考文献

- [1] T. Inagaki et al., Science **354**, 603 (2016).
- [2] F. Wang and D. P. Landau, Phys. Rev. Lett. **86**, 2050 (2001).
- [3] L. Onsager, Phys. Rev. **65**, 117 (1944)
- [4] C. N. Yang, Phys. Rev. **85**, 808 (1952)

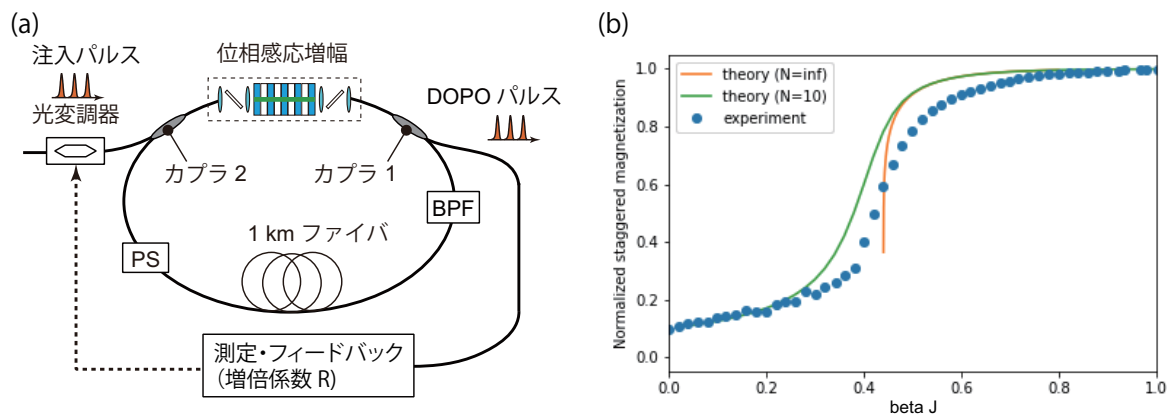


図 1: (a) 測定・フィードバック CIM 実験系、(b) 推定した逆温度と平均スタガード磁化。橙線：理論 (無限次元)、緑線：理論 ( $10 \times 10$ )、青点：実験結果。