

プログラム名：量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ高度知識社会基盤の実現

PM名：山本 喜久

プロジェクト名：量子人工脳

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成 28 年度

研究開発課題名：

量子アニーリングの性能向上に関する理論研究

研究開発機関名：

東京工業大学

研究開発責任者

西森 秀稔

## I 当該年度における計画と成果

### 1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

組み合わせ最適化問題の汎用近似解法である量子アニーリングは、量子力学的な重ね合わせを用いてパラメータの適切な時間制御により、最適解を高速あるいはより高い精度で求める手法である。理論的な解析は、絶対零度に保った孤立系がシュレディンガー方程式に基づくユニタリな時間発展でどう変化するかを主な視点として展開されてきた。しかし現実の系では、熱雑音やパラメータ制御の不完全性の影響で、理想的な状況における理論はそのままでは適用できない。そこで、従来の枠から踏み出して外界と相互作用する系の性質を解析的および数値的な手法で計算し、D-Wave マシンのような現実の系の状況を解析する手段を与えると同時に、将来の改良の指針も探る。量子アニーリングの状況下で明らかにされた事柄は、コヒーレントイジングマシンの設計製造にもある程度の示唆を与えると期待される。今年度は特に、熱雑音の効果に加えて量子ゆらぎの制御がもたらす影響を探る。

### 2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

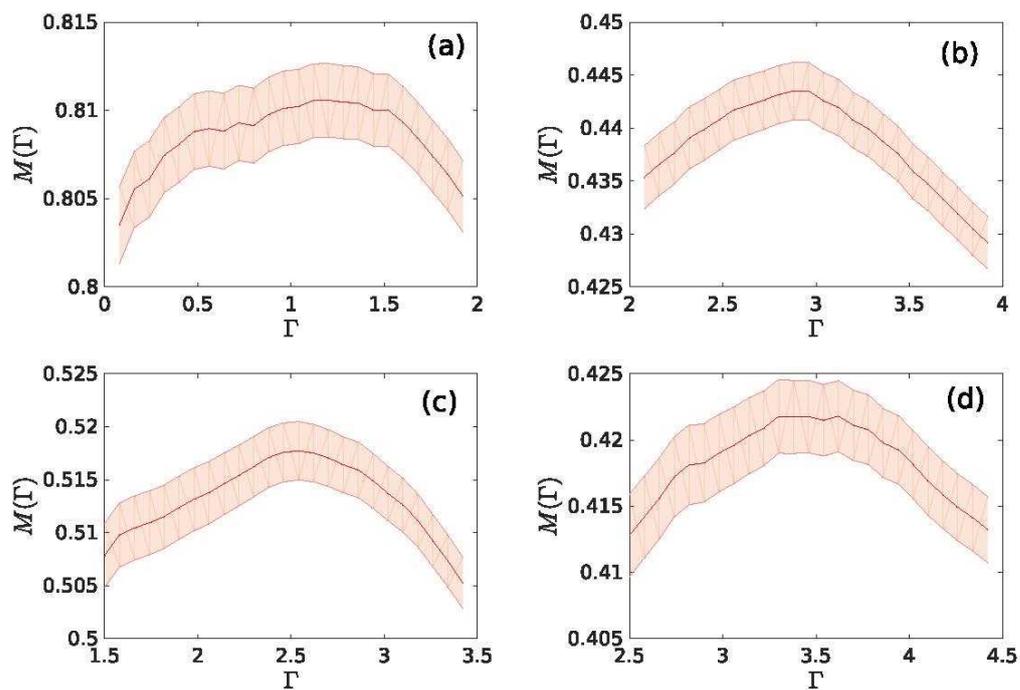
#### 2-1 進捗状況

前年度においては、パラメータ設定の不完全さに起因する誤差を、熱雑音を利用することによりある程度打ち消すことが出来ることを明らかにした。今年度は、量子ゆらぎが同様の効果をもたらすかどうか重点を置いて研究を推進した。準1次元系の数値計算に加えて、平均場理論を用いて空間次元が十分高い状況における解析を実行した。準1次元の場合には、標準的な数値計算技法である密度行列くりこみ群DMRGを適用した。平均場理論では、スピングラスの標準的な理論解析法であるレプリカ法を適用し、解析を行った。

#### 2-2 成果

熱雑音（古典確率過程）を用いた場合に前年度得られた結果と非常に類似した成果を導くことが出来た。図においては、いずれも、横軸は量子性を制御する横磁場の強さ、縦軸は本来の基底状態と実際に得られた状態との類似度であり、縦軸の値が大きければ大きいほど高い性能を示すことになる。各種のパラメータを変えて数値計算を実行したところ、4枚の図に見られるとおり、いずれの場合においても横磁場を0でない値に留めたときの方がより高い性能を示すことが明らかになった。熱雑音の場合には、設定誤差を古典確率過程としてとらえて、それを同じ古典確率過程である温度効果である程度キャンセルできるというのは多少なりとも直感的に理解できるが、量子ゆらぎに関しては全く非自明である。

この現象は、準1次元のみならず空間次元無限大に相当する全結合系（平均場理論系）でも同様に成立することが明らかになった。もちろん一般的な証明は未完成だが、かなり広範囲にわたって成立する事象であると期待される。



### 2-3 新たな課題など

1次元と無限次元の両極端において量子ゆらぎが有用であることが明らかになったことを踏まえ、中間の次元領域においてもやはり同様の事象が見られることが期待される。何らかの方法を用いてこれを確認することが次の課題として浮かび上がってきた。この方向にむけて研究を進めるには、数値計算、解析計算、いずれにおいても木樹的な困難があり、新たに斬新な手法を開発しなければならない。

### 3. アウトリーチ活動報告

該当なし