

課題名 (タイトル) :

多数の量子ドットからなる系における近接場光相互作用による  
光エネルギー移動を利用した新規計算機概念の提案

利用者氏名 : ○若林 政光, 中田 浩弥

所属 : 中村特別研究室

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクト  
ナノフォトニクス技術の進展に伴って、高効率な新規デバイスの提案がなされている。そのような中で、多数のナノ構造体の間での近接場光相互作用を介した光エネルギー移動の複雑な振る舞いに対する理解の必要性が高まっている。

現在までのところ、クラス NP 困難、NP 完全に属する問題の解を探索するアルゴリズムを粘菌が問題を解く様子に着想を得て開発し、その性能を評価するまでに至っている。本研究では、解探索アルゴリズムの実行可能な量子ドット系の構築を目指し、コンピュータを使って相応しい実験条件を予測する。

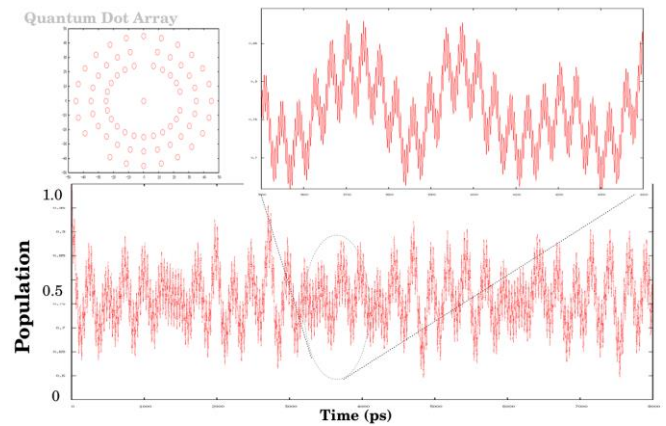
2. 具体的な利用内容、計算方法

複数の量子ドットからなる系に光子を注入し続けたときに生じる励起子の移動とエネルギー散逸を量子確率過程として取扱いその振る舞いの模擬、観察を行う。また、実際の物理系において、この非平衡開放系に外部フィードバックまたは量子ドットの適切な配置を行うことで、組み合わせ最適化問題や判定問題の解探索アルゴリズムを実装できることが予想されるが、それを達成しうる条件を探る。励起子の確率密分布の時間発展を Liouville 方程式、マスター方程式に則って数値計算した。

3. 結果

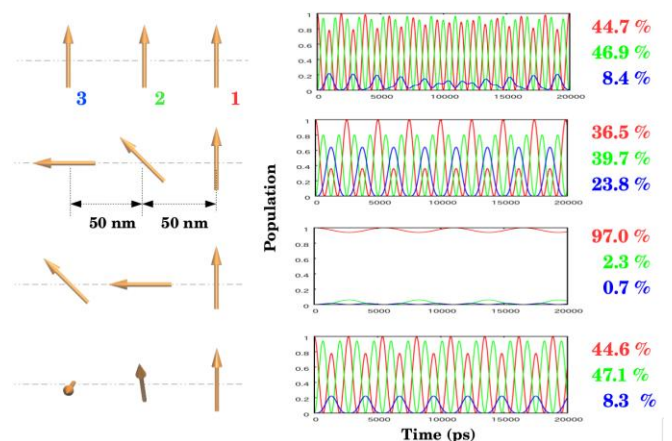
閉鎖系における励起エネルギー移動は、ノーマルモード展開で記述できて、その時間発展は解析に求められ、数値計算も容易に並列化可能であった。そのため、量子ドット数が大規模な系も計算可能であった。

次にその一例として、量子ドット数 69 での計算結果を示す。



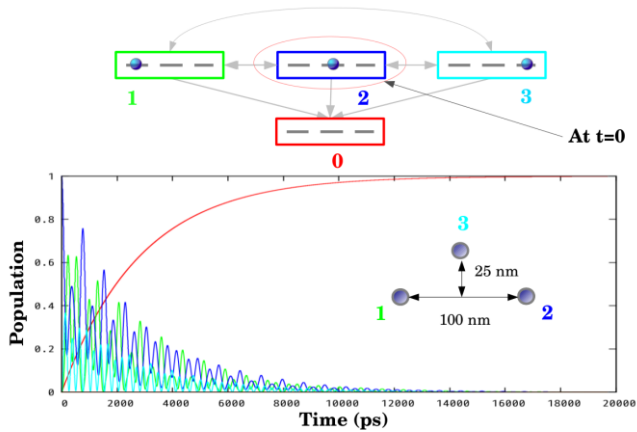
左上の図は量子ドットの配置を表す。正方形の辺は 50 nm である。下図は、中心にある量子ドットでの励起子確率密度の時間発展 (8000ps) を表す。右上の図はその拡大図である。様々な周波数を含み、その波形は自己相似の様相を呈している。

遷移双極子モーメントの向きを考慮したフェルスタ一機構励起子輸送のモデル系についても同じく、時間発展を計算したので以下にその結果を示す。



左は遷移双極子モーメントの向きと位置関係を示し、その右にあるグラフは、1、2、3の各サイトにおける励起子確率密度の変化である。初期条件は、1のサイトに励起子が確率1で存在するとした。右の数値は、励起子存在確率の長時間平均である。遷移双極子モーメントの向きが重要な因子であることが分かる。

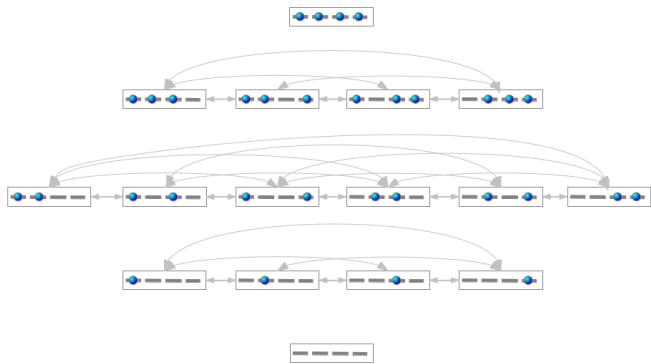
環境との相互作用によってエネルギー散逸の起こる系では、励起子の存在確率が減衰し、基底状態の確率が 1 へ漸近する。



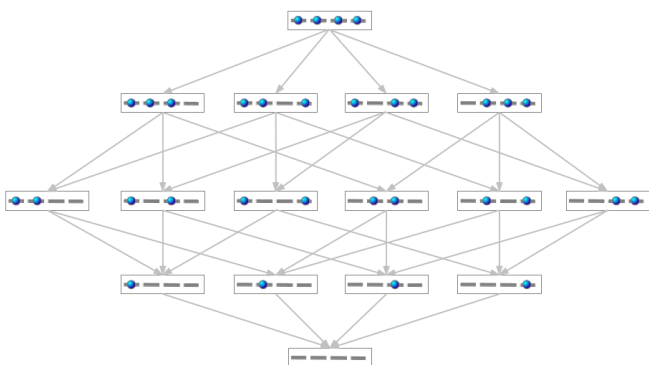
その際、デコヒーレンスが起り、系のエントロピーが変化する。その様子を、任意の量子ドット配置で数値計算できるようにした。

さらに、電場による励起子生成も同時にシミュレーション可能とした。以下にその例を示す。

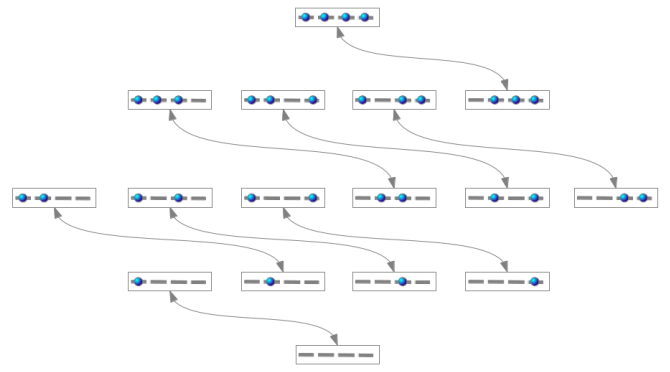
### Optical Near-Field Interaction



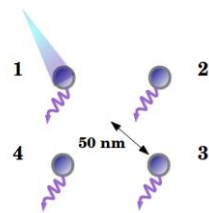
### Dissipation



### Interaction with External Field

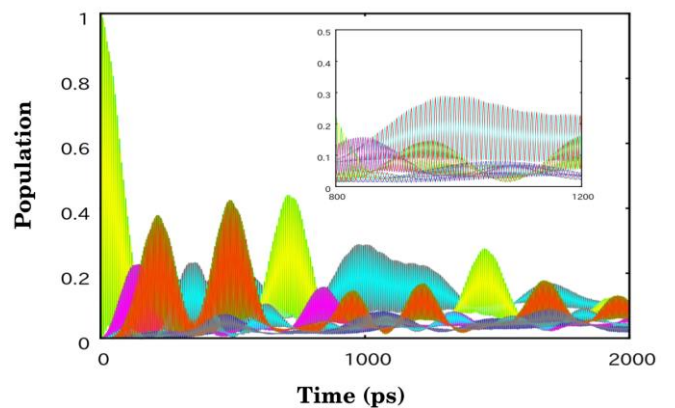


#### Regular Triangle



Dissipation occurs at every QDs.  
External Field is applied to QD1.

量子ドットの数 は 4 つ。サイト 1 に電場がかかっており、励起子が生じ続けると同時に、すべてのサイトではエネルギー散逸が起こる。励起子数は最大 4 つで、可能な 16 通りの状態の線型結合として系を表現できる。グラフは、その 16 通りの確率の時間発展である。



4. まとめ

任意の量子ドット配置での励起エネルギー移動、エネルギー散逸、電場による励起子生成を考慮した系の時間発展の計算を可能にするプログラムを完成させた。

5. 今後の計画・展望

様々な系での時間発展について考察し、演算素子の実現やアルゴリズムの実装を目指す。その際に、エネルギー散逸によるエントロピーの変化と情報量について注目して進めてゆく予定である。

平成 25 年度 RICC 利用研究成果リスト

**【国際会議、学会などでの口頭発表】**

応用物理学会 2014 春季講演会 3月18日

近接場光学

題目：「大規模量子ドット系における励起輸送ダイナミクスの情報理論的考察」