

量子ドットに宿る生命——量子ドット集積体で反応拡散系を模倣する——

Reaction-diffusion systems consisting of single-electron oscillators

北海道大学 工学部 雨宮好仁 (amemiya@sapiens-ei.eng.hokudai.ac.jp)

Department of electrical engineering, Hokkaido University, Amemiya Yoshihito

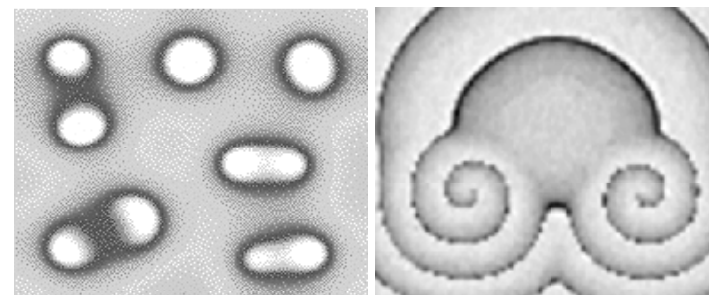
【はじめに】次世代の量子機能システム開拓に向けて、生命ダイナミクスの一端を集積回路上で模倣することを考える。第一段階として、生命ダイナミクスの舞台となっている「反応拡散系」を量子ドット集積体で構成することを検討した。

【反応拡散系とは】反応拡散系は化学反応と物質拡散が混在した非平衡-開放状態の化学系である。高次の非線形性を示し、きわめて動的で多様性に富む現象を生じる。反応拡散系の大きな特徴は「散逸構造」を発生することにある。すなわち、化学物質の濃度パターンが空間的・時間的に均一ではなく、巨視的な秩序をもった構造をつくる。系パラメータの変化にともない様々な散逸構造が現れて生き生きとした時空間パターンを描く。簡単な反応拡散系における散逸構造の例を図1に示す。

【反応拡散系のモデル】反応拡散系は多数の化学振動子が集合した反応場としてモデル化できる。振動子は微小な空間領域内の化学反応に対応する。近接する振動子どうしは物質拡散を介して相互に影響し共鳴や引き込みを生じる。反応拡散系は相互結合した非線形振動子の集合体であり、系全体として複雑なダイナミクスを生じる。これを電子デバイスで模倣するためには、まず電子的な非線形振動子を多数用意して配列する。次に、近接する振動子の間に拡散現象と類似の相互作用が生じるような工夫を設ければよい。

【電子デバイスによる構成】化学的な反応拡散系に匹敵する多数の非線形振動子を集積するために、ここでは量子ドットとトンネル接合で構成した単電子デバイスを使用する。多重トンネル接合を用いて単電子振動子を構成し、これを図2(上)のように二次元ネットワーク接続して電子的な反応拡散系を構成する。振動子どうしをキャパシタと伸介セル（負電圧にバイアスした単電子振動子）で接続し、トンネル待ち時間を利用して“拡散的”な結合を実現する。

【散逸構造の発生と成長】この電子的な反応拡散系においてもパラメータに応じて多様な散逸構造——時間的・空間的に変化するノード電位の二次元パターン——が現れる。例として螺旋パターンが成長する様子を図2(下)に示す。パラメータを変えれば分裂増殖パターン等を発生させることもできる。このようにして、化学的な反応拡散系に類似したシステムを量子ドット集積体の上に構成することができる。



(a) 分裂と増殖 (Gray-Scott 系) (b) 螺旋の成長 (Brusselator 系)

図1 反応拡散系が創り出す生き生きとした散逸構造

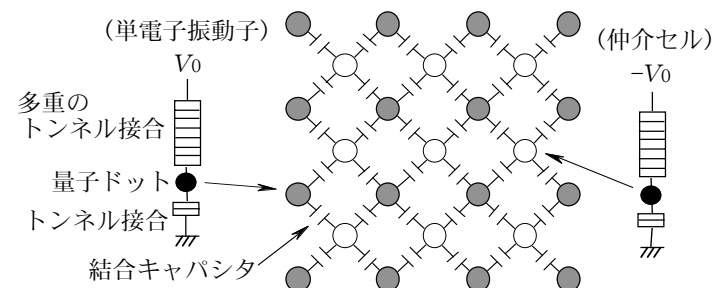
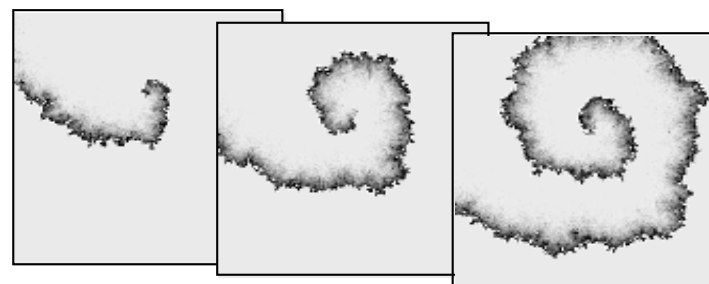


図2 量子ドット集積体による二次元の反応拡散系

(上) ネットワーク構成 (下) 散逸構造の成長 (螺旋の例)



(振動子ドット電位の二次元パターンが時間発展する様子。電位の高低を濃淡表現したもので低電位が黒。シミュレーション)