

# ドレスト光子によるフォトンブリーディング過程 に関する確率モデル

中大理工 高橋 幹, 香取眞理

NICT 成瀬 真

東大工 川添 忠, 大津元一

Stochastic model of photon breeding process  
using dressed photon

日本物理学会 2015年秋季大会 2015年 9月18日

# 目次

- 導入

  - 最新の光学理論 ドレスト光子工学

  - ドレスト光子の性質

  - ドレスト光子の応用例

- モデル解説

  - 確率モデル

  - シミュレーション結果

- まとめと展望

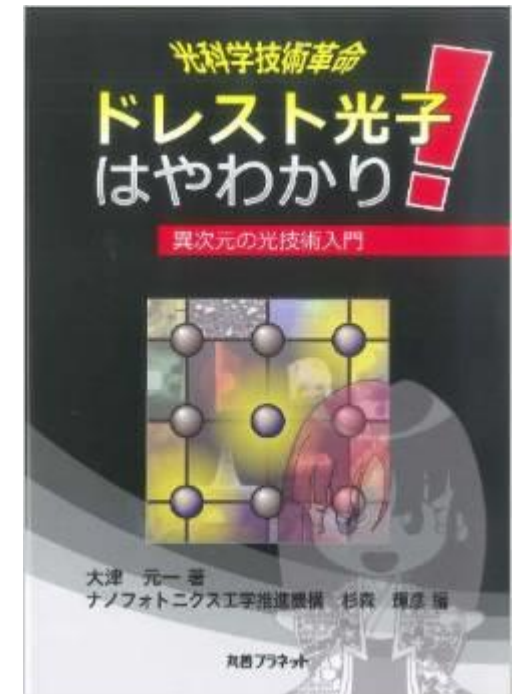
# 最新の光学理論 ドレスト光子工学

東大工(電気)の大津元一先生が提唱した、「進歩の限界に達しつつある既存の光技術に取って代わり、多くの分野に使える基盤的な包括技術」(右書籍より引用)

応用範囲:

- ・光リソグラフィ
- ・光起電力デバイス
- ・情報セキュリティ
- ・物質表面平坦化
- ・精密計測

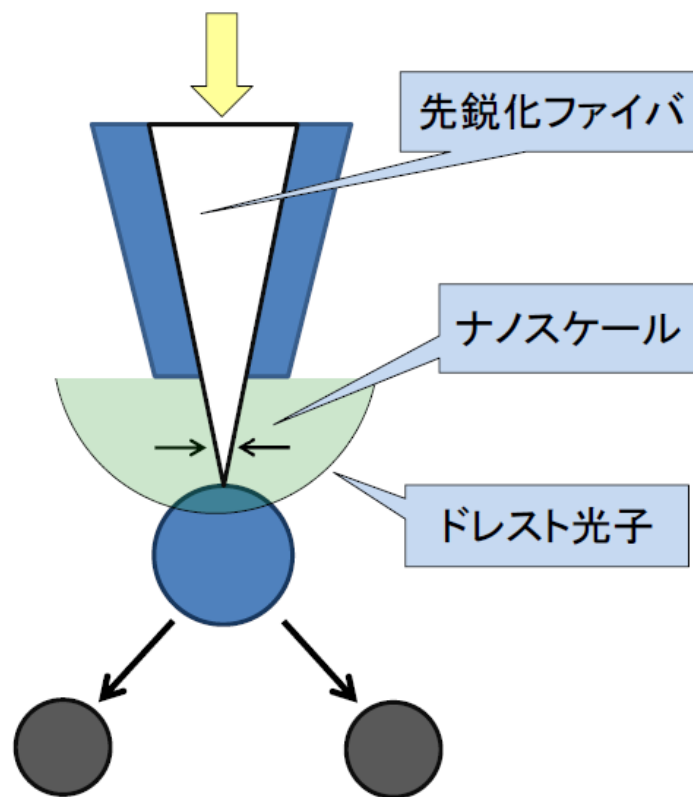
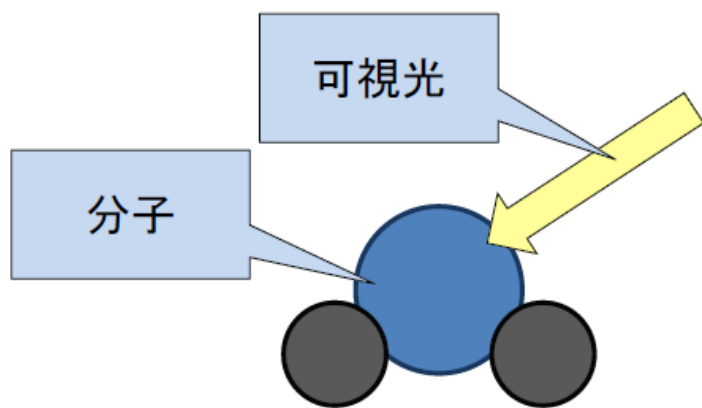
他にも多岐にわたる。



# ドレス光子の性質

ナノスケールの物体に光照射を行うことで相互作用により物体周囲に広がる、電子の衣を纏った光子

→ フォノンと結合し照射光よりも  
高いエネルギーを持つ



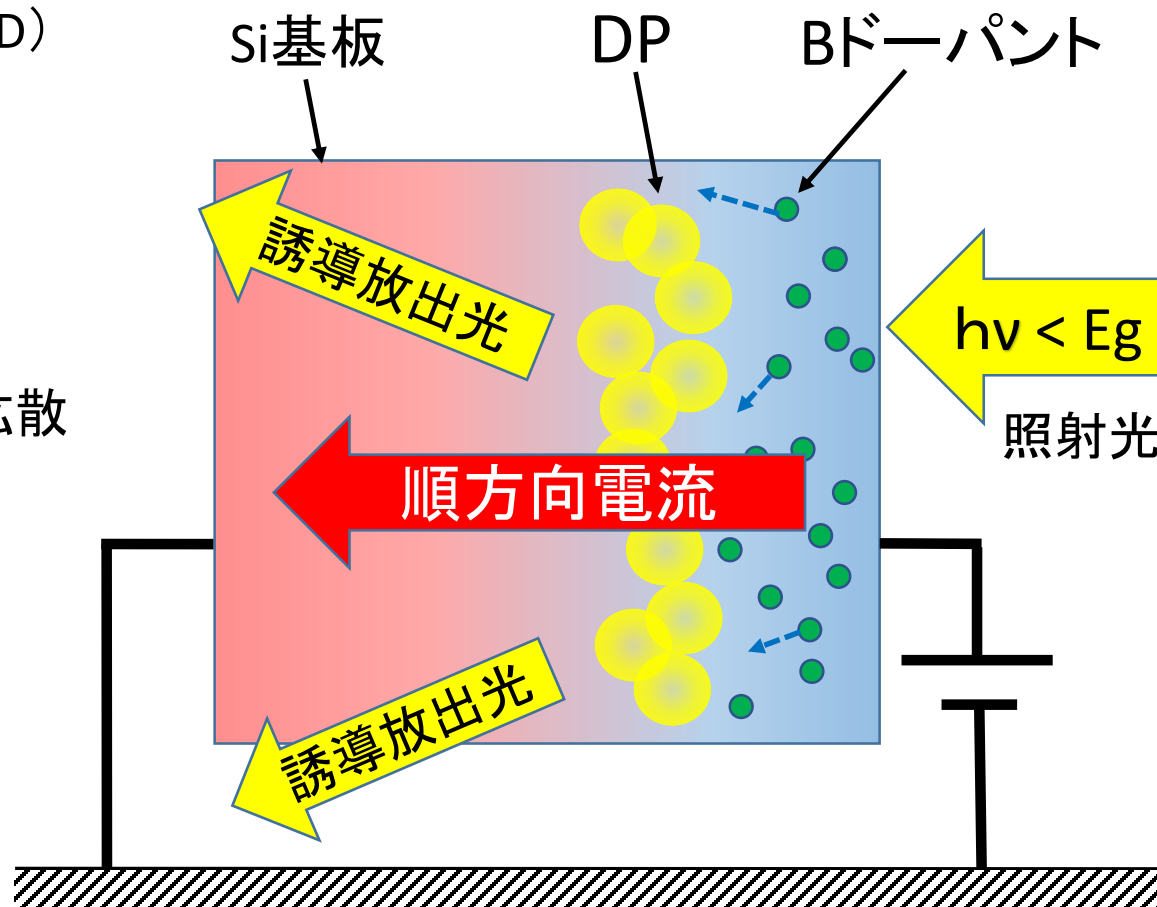
# ドレスト光子の応用例

## ドレスト光子の利用はSiデバイスの発光素子化が可能

フォトンブリーディング素子 (PBD)  
作製の手順

1. Si基板にBイオンを打ち込む
2. 順方向電流の印加と共に長波長光を照射する
3. ジュール熱でドーパントが拡散
4. ドーパントがDPの発生する配置に達する
5. 誘導放出の冷却により拡散が停止

→加工後のデバイスは  
照射光の波長で発光する



引用 : M. Ohtsu and T. Kawazoe: Silicon light emitting diodes and lasers using dressed photons, in *Progress in Nanophotonics 3* (edited by M. Ohtsu) (Springer, Heidelberg, 2014), pp.1-56.

# ドレスト光子の応用例

PBDの作製にあたり2準位モデルが現在考察されている

- ・ アニール開始時点では励起状態のうち高い方にいるので誘導放出はされない

→ DPの効果で低い方の励起状態に移ることで誘導放出が起きる

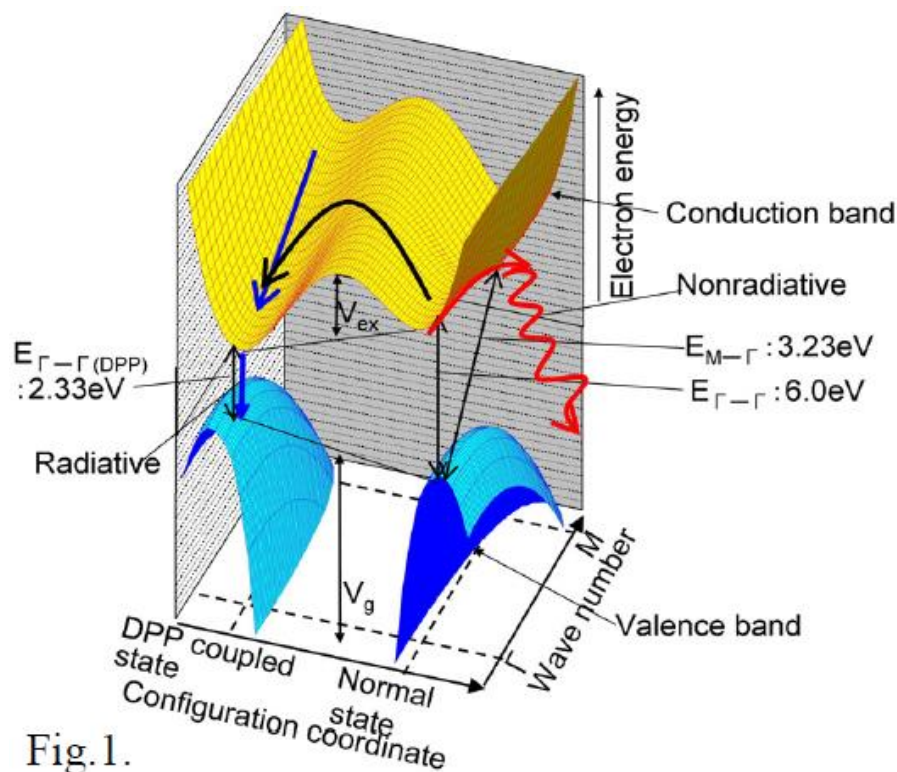
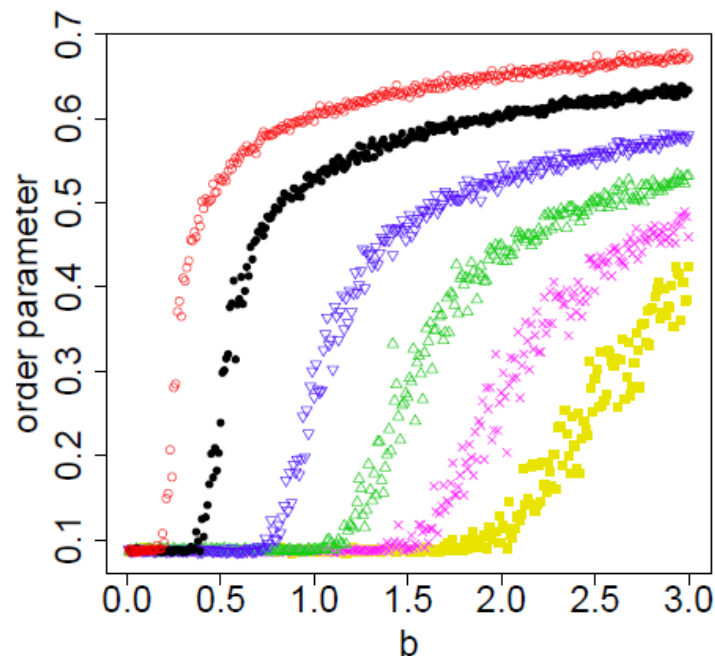
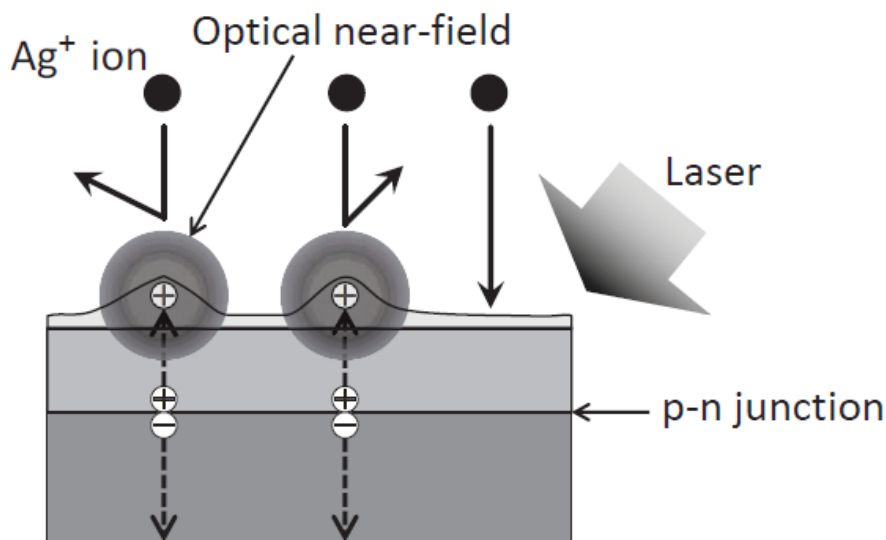


Fig.1.

引用 : T.Kawazoe et al., 2準位モデルを用いた SiC-LEDのDPPアニールの考察 (2015年9月応用物理学会予稿)

# ドレスト光子の応用例

DPによる粒子の空間配置について、確率モデルを用いた研究が有効である



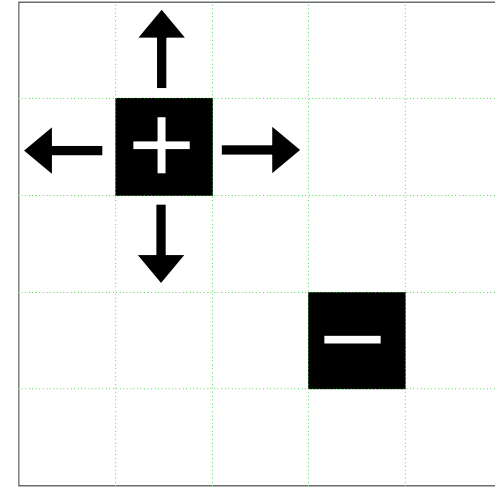
引用 : K.Takahashi , et al , Appl. Phys. B **120** (2015) 247.

アニーリングによるBの空間配置の  
時間発展を記述する確率モデルを構築する

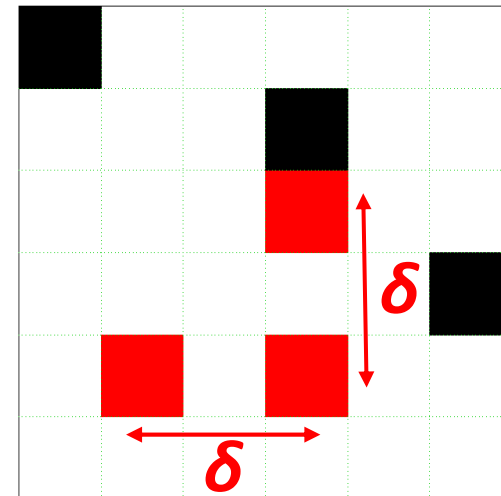
# 確率モデル

1.  $L \times L$ の格子を設定する
2. 総粒子数を  $N = \rho \times L$  として  
格子上にランダムに配置  
その内いくつかを活性状態(+)  
残りを不活性状態(-)とする
3. 活性状態にある粒子を  
確率  $\alpha$  でランダムウォークさせる
4. DPを発生させる粒子間隔を  $\delta$  とし、  
各粒子のペア数を確認する
5. 活性状態の粒子を不活性に、  
不活性状態の粒子を活性に、  
それぞれ確率的に遷移させる
6. 手順3~5のサイクルを  $T$  回行う

システムサイズ  $L$ 、粒子密度  $\rho$ 、  
総サイクル数  $T$  などを適宜変えて  
シミュレーションを行う



活性・不活性状態の例



$\delta = 2$  の場合のペアの例



# 確率モデル

5.

$\beta \Leftrightarrow$  電流の強さ、 $\gamma \Leftrightarrow$  照射光の強さ としてパラメータを与える

5-1.

$n, m$  をある粒子について垂直・水平方向のペアの個数として、

$$P[+ \rightarrow -] = 1 - (1 - \gamma)^{n+m}$$

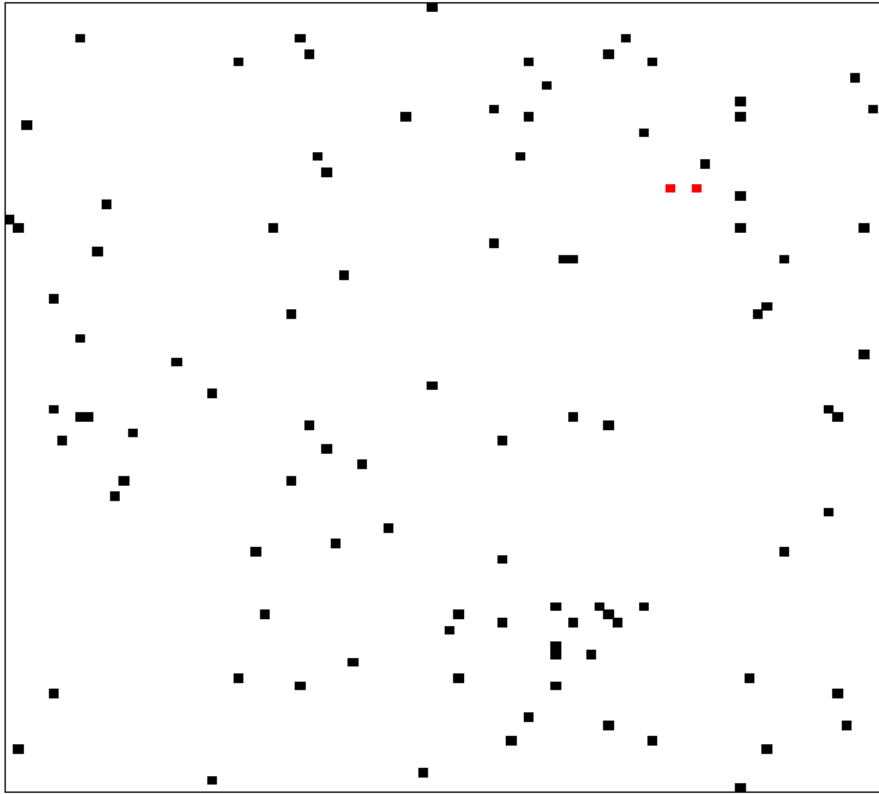
・・・ペア数が多くなるほど、照射光が強いほど不活性化しやすい

5-2.

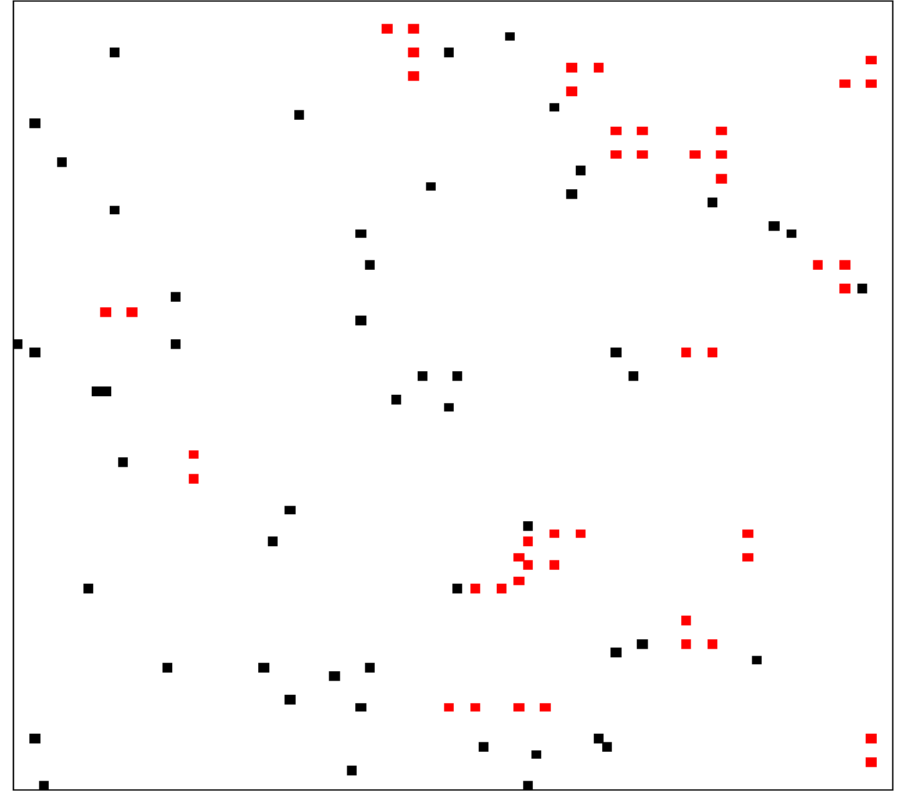
$$P[- \rightarrow +] = |\beta - \gamma|$$

・・・照射光と電流の強さが離れすぎていると、活性化しやすい

# シミュレーション結果



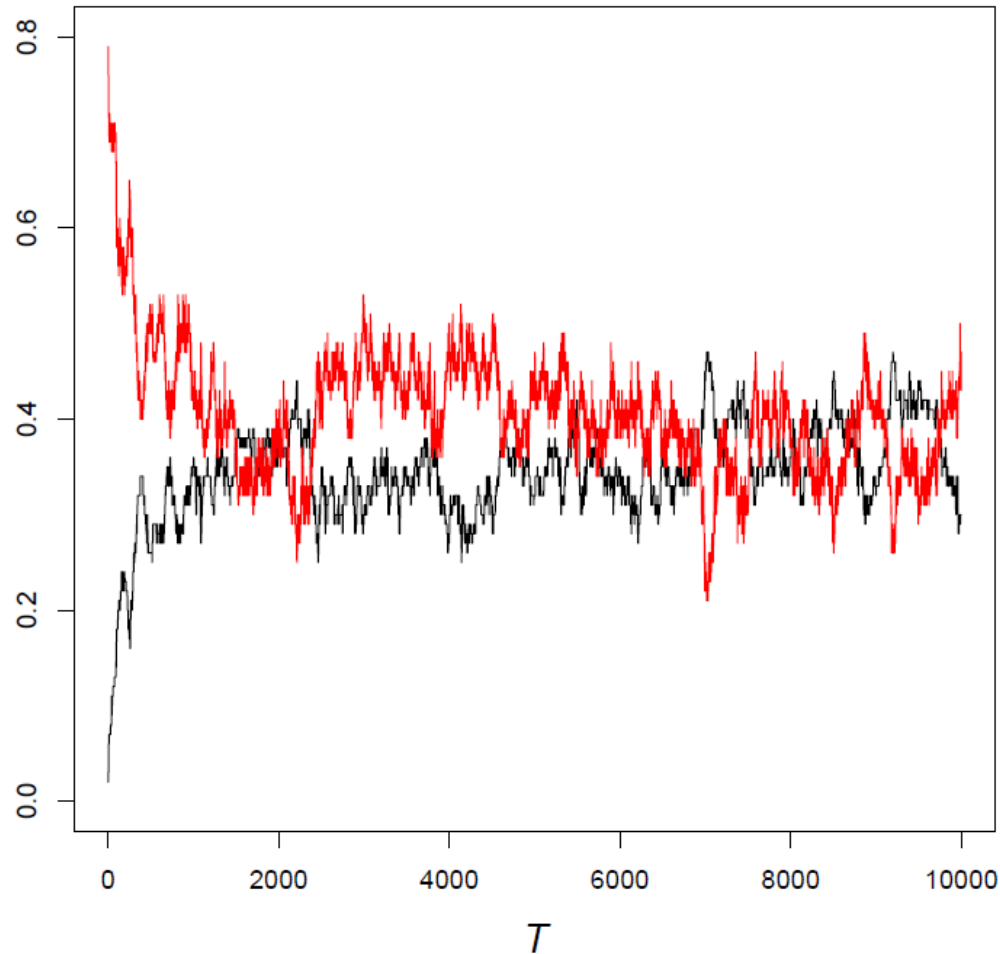
$T = 0$



$T = 10,000$

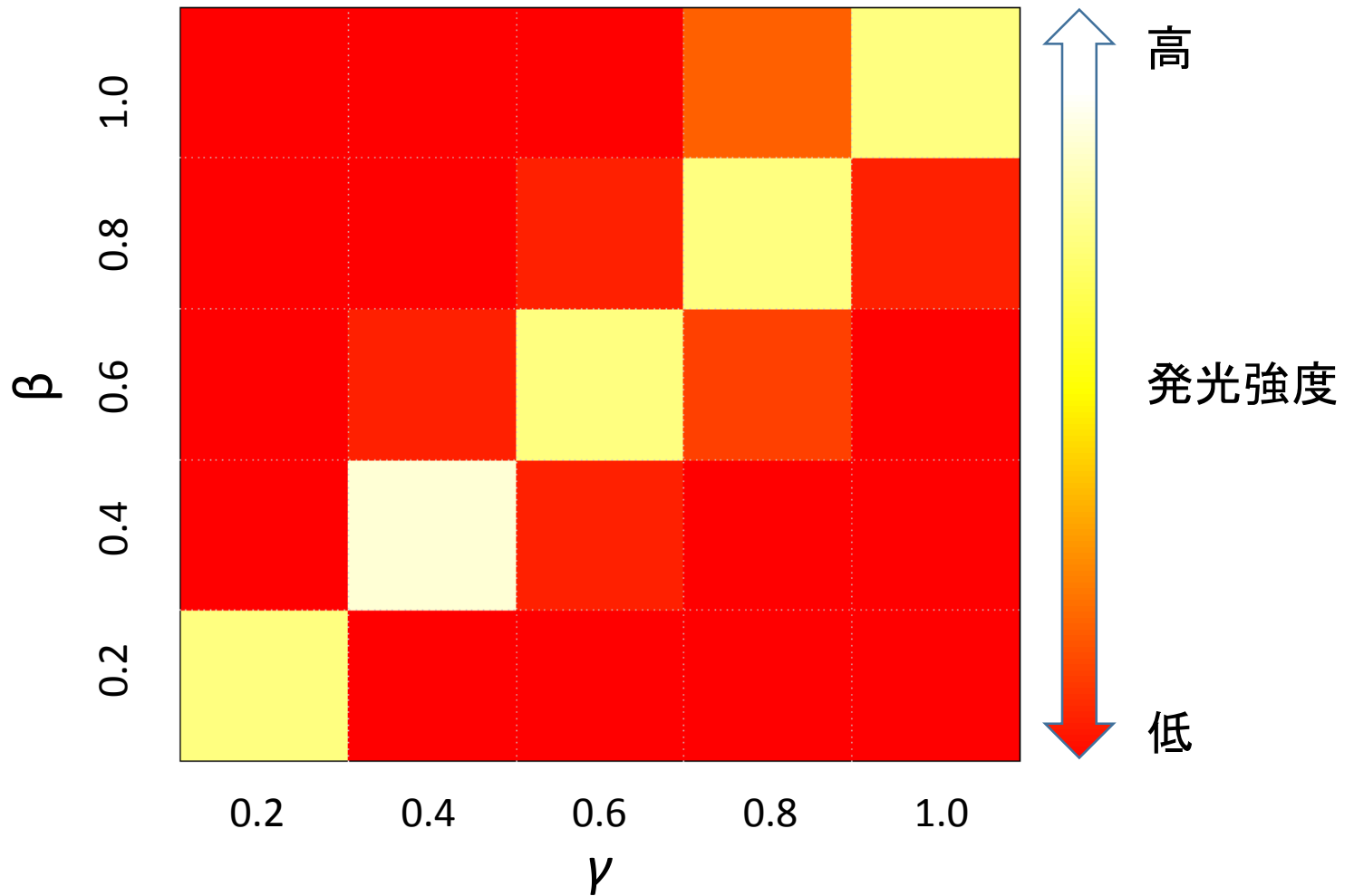
$$L = 100, \rho = 0.01, \delta = 3$$
$$\alpha = 0.10, \beta = 0.60, \gamma = 0.61$$

# シミュレーション結果



- ・黒線:系全体のペアの割合 ⇔ デバイスの発光強度
- ・赤線:活性状態の粒子の割合 ⇔ デバイスの温度

# シミュレーション結果



・・・実験結果と同様の傾向を示すことができた

# まとめと展望

- ドレスト光子工学と呼ばれる最新の光学理論は光デバイスや加工、情報通信技術などの様々な分野への応用が可能である
- フォトンブリーディング素子の作製について、2準位モデルが提唱されている
- ドーナツ配置の時間発展について確率モデルを構築し、デバイス温度や発光強度について実験結果と一致する傾向が得られた
- 今後は様々な条件での試行を行うとともに、クラスターの概念や発光の波及効果などをモデルに導入することを予定している