

光増幅器の雑音について (雑学?)

渡邊 俊夫

光増幅器から出力される光子数を表す式

平均値 $\langle n \rangle = \underbrace{\langle n \rangle_0 G}_{\text{信号光}} + \underbrace{n_{sp}(G - 1)}_{\text{ASE}}$
(Amplified Spontaneous Emission)

利得: $G = e^{(a-b)t}$

反転分布パラメータ: $n_{sp} = \frac{a}{a - b}$

分散 $\langle n^2 \rangle - \langle n \rangle^2 = \langle n \rangle_0 G + n_{sp}(G - 1)$
 $+ 2n_{sp}\langle n \rangle_0 G(G - 1) + n_{sp}^2(G - 1)^2$
 $+ (\langle n^2 \rangle_0 - \langle n \rangle_0^2 - \langle n \rangle_0)G^2$

a : 誘導放出の発生確率
(= 自然放出の発生確率)

b : 吸収の発生確率

一般に、第3項は“信号光-ASEビート雑音”、第4項は“ASE-ASEビート雑音”
と呼ばれる[1]が、この表現は物理的には正しくない[2]。

[1] 石尾秀樹 監修「光増幅器とその応用」オーム社、1992

[2] E. Desurvire, “Erbium-Doped Fiber Amplifiers,” John Wiley & Sons, 1994

光増幅器から出力される光子数のレート方程式

計算の詳細は【計算篇】を参照

$$\frac{dP_n}{dt} = -[(an + c) + bn]P_n + (a(n-1) + c)P_{n-1} + b(n+1)P_{n+1}$$

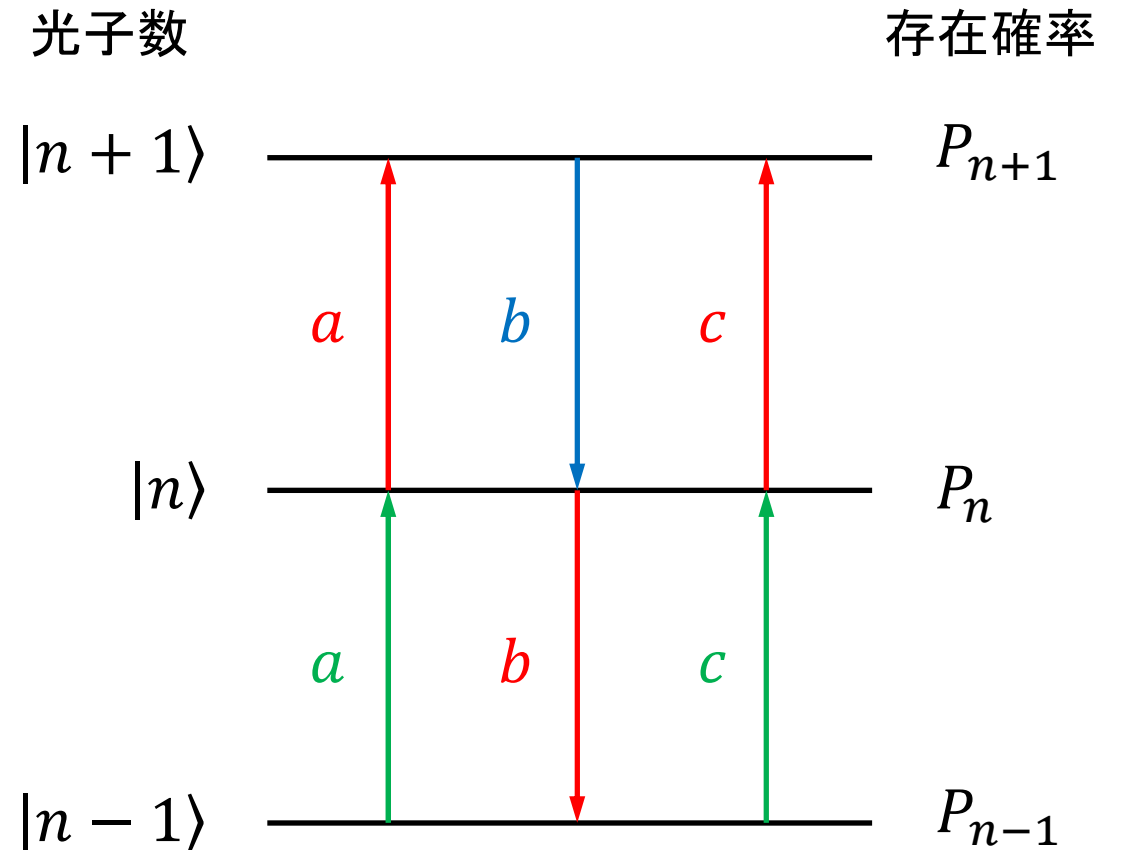
a : 誘導放出の発生確率

b : 吸収の発生確率

c : 自然放出の発生確率

実際には $a = c$ であるが、
あえて区別して計算してみる

$$\langle n \rangle = \sum_{n=0}^{\infty} nP_n, \quad \langle n^2 \rangle = \sum_{n=0}^{\infty} n^2 P_n$$



光増幅器から出力される光子数を表す「正しい」式

計算の詳細は【計算篇】を参照

$$\text{平均値} \quad \langle n \rangle = \underbrace{\langle n \rangle_0 G}_{\text{信号光}} + \underbrace{\frac{c}{a-b} (G-1)}_{\text{ASE}}$$

$$\text{利得: } G = e^{(a-b)t}$$

$$\text{反転分布パラメータ: } n_{sp} = \frac{c}{a-b}$$

$$\begin{aligned} \text{分散} \quad \langle n^2 \rangle - \langle n \rangle^2 = & \langle n \rangle_0 G + \frac{c}{a-b} (G-1) \\ & + 2 \frac{a}{a-b} \langle n \rangle_0 G (G-1) + \frac{ac}{(a-b)^2} (G-1)^2 \\ & + (\langle n^2 \rangle_0 - \langle n \rangle_0^2 - \langle n \rangle_0) G^2 \end{aligned}$$

a : 誘導放出の発生確率

b : 吸収の発生確率

c : 自然放出の発生確率

第3項に自然放出の発生確率 c は含まれず、信号光とASEの平均光子数の積(の2倍)にはなっていない

⇒正しい表現は「**信号光が増幅される際の誘導放出の揺らぎによる雑音**」

第4項の正しい表現は「**ASEが増幅される際の誘導放出の揺らぎによる雑音**」