

レーザーのコヒーレンスとは？

光波は時々刻々変化するものです。異なる時刻間における光波の関係を表すのが時間コヒーレンスです。ある時刻に波の山が通過したとして、それからある特定の時間経過したきに通過する波の様子が予想できるでしょうか？一般的に、経過時間が短ければある程度は可能ですが、経過時間が長くなるにしたがって難しくなると予想されます。その度合いを示すものが時間コヒーレンスです。時間コヒーレンスや、それを長さに変えたコヒーレンス長は、二つに分けたレーザー光をふたたび合わせたときにどのくらいずれていても干渉するのかを示すものです。しかし、レーザーのカタログを見てもこれら記載されていないことが多いです。これらはスペクトルバンド幅から求めることができます。

光が理想的に単色（単一波長 λ （ラムダ））であるとしします。このとき、光の波長は決まっているので、どんなに時間が経過してもその後やってくる波は予想できます。もし、波長が違った光が混在している場合はどうでしょう？**図1**に描いてあるように、ある時刻で山であった波の t 秒後の位相は波長によって異なる値を取ります。 t が大きくなると、谷と山が混在して、平均化されてしまうでしょう。

波の相関が保証される最大の時間差 T は、光の波長の違いを $\Delta\lambda$ として、おおよそ $T = \lambda^2 / c\Delta\lambda$ で与えられます。 c は光速です。これを

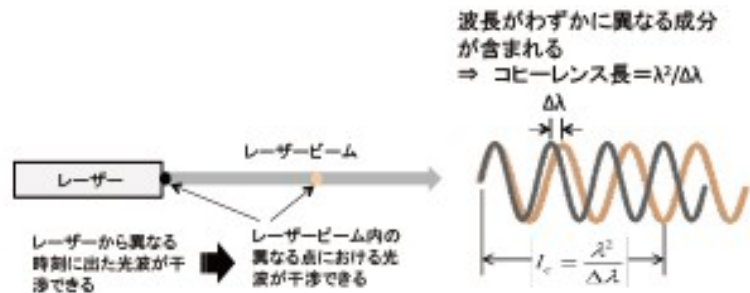


図1

コヒーレンス時間と呼び、 $\ell_c = cT = \lambda^2 / \Delta\lambda$ を**コヒーレンス長**と呼んでいます。レーザー光の進行方向の中で、この範囲内にある光は干渉しあうことができます。時間コヒーレンスが大きいということは、 $\Delta\lambda$ が小さい、すなわち単色性が高いことを意味します。波長の違い $\Delta\lambda$ を周波数の違い Δf に置き換えますと、 $T = 1/\Delta f$ になります。

したがってコヒーレンス長は $\ell_c = cT = c/\Delta f$ となります。

スペクトルバンド幅（spectral bandwidth）が Δf に相当します。例えば、スペクトルバンド幅が1 MHz（ 10^6 Hz）のレーザーでは、コヒーレンス長は $\ell_c = 3 \times 10^8 / 10^6 = 300$ m になります。時間に換算すると、 $300 \text{ m} / (3 \times 10^8 \text{ m/s}) = 10^{-6}$ 秒です。このレーザー光の場合では、 10^{-6} 秒（1 μ s）以内の時間差であれば、出てきた光波が干渉することができるのです。一般の原子の自然放出における典型的な値は 10^{-9} 秒程度ですので、コヒーレンス長に直すと数十 cm 程度しかありません。