

レーザー光のコヒーレンスの進化

霜 田 光 一

(東京大学名誉教授)

レーザーが発明されたとき、人々はその画期的性能に驚かされた。その後の高性能化も驚異的だったが、やがて頭打ちになった。ところが再び近年、力強い進展が続いている。その科学的原因を一言で要約するならば、コヒーレンスの進化であると思われる。そこで、コヒーレンスという概念の変遷をみてみよう。

レーザー光は古典的な光と違ってコヒーレントであり、その顕著な特徴は、①単色性、②指向性、および③高出力である、といわれた。高出力といっても、レーザーの全出力は古典的光源には及ばないが、レーザー光はその単色性のために輝度が高く、パワー密度の高い光である。レーザー光の線幅は1 kHz以下にもなるので、通常のスเปクトル光源より7桁以上も輝度が高い。また、通常的光源はほぼ全立体角に放射するが、レーザービームの広がりには1 mrad以下だから、ビームの中の光強度は7桁以上高い。また、レーザーは超短パルスを発生するので、たとえば1 mJのエネルギーでも1 psのパルスにすると、1 GWの尖頭出力が得られる。

レーザー技術にも、やがてその高性能化の限界が見えてきた。単色性を表すレーザー線幅の限界は量子ゆらぎであった。指向性の限界は光の回折であり、パルス幅の限界はレーザー増幅の帯域幅で決まることは明らかだった。これらはいずれも理論的限界であるから、レーザー技術はこれを超えられないというのが常識だった。

しかし、レーザー光のコヒーレンスを制御し改良することにより、これらの標準的理論の限界を超える新技術の研究開発が進んでいる。ここでは詳細を述べる余裕はないが、レーザー光の線幅は標準量子限界を超えて狭く、空間的分解能は波動光学の回折限界を超え、レーザー増幅の帯域幅の逆数より狭い極超短パルスも発生可能になっている。このようなレーザー技術が開発され、レーザーの高性能化には天井が見えない。レーザーの高出力化にはエネルギー保存則による限界があるが、非レーザー遷移のエネルギーを回収したり、利用されなかったレーザー出力エネルギーの回収もできるようなになれば、実質的な高効率化が達成されるだろう。これだから、レーザーの魅力はいつまでも尽きない。