

光子場の完全制御の夢

石川 顕一

(東京大学)

2018年のノーベル物理学賞は、「レーザー物理の分野における革新的な発明」に対して A. Ashkin, G. Mourou, D. Strickland に授与された。このうち、G. Mourou と D. Strickland の受賞理由は「高強度超短光パルスを発生する方法」である。2人が発明したチャープパルス増幅によって、高強度のフェムト秒レーザーパルスの発生が可能になった。ノーベル物理学賞選考委員会は、その主要な応用として「高強度場物理とアト秒科学」「レーザープラズマ加速」「産業・医療用高強度レーザー」を挙げている。これらでは、いずれも、高強度レーザーと物質の（時に非摂動論的に）非線形で非平衡な相互作用が本質的な役割を果たしている。

筆者はそのような相互作用の理論・シミュレーション研究を専門にしているが、「理論家の視点から、どのようなレーザーがあると嬉しいですか」と尋ねられることがある。即答で「理論で想定しているパルス波形、シミュレーションが最適とはじきだしたパルス波形を、そっくりそのまま出してくれるレーザー」である。非線形な現象では、少しの条件の違いが結果に大きく影響しうる。レーザーの膨大なパラメーターを自在に操り、思い通りの時空間プロファイルを有するパルスを発生できれば、より精密な実験と理論の比較が可能になり、光と物質の相互作用の解明と応用は格段に進むであろう。光技術を用いたスマートものづくりにもはずみがつくと期待される。そのためには、光源技術の発展に加えて、レーザーの時空間プロファイルを計測する技術の進歩も望まれる。

レーザー電磁場の完全制御、すなわち、時刻と三次元空間の位置の関数として光の任意の電磁場が与えられたとき、対応するレーザーパルスが発生できるようになったとしても、高強度レーザーには開拓すべき領域が残っている。それは、古典的な高強度レーザーから「量子高強度レーザー」への飛躍である。さまざまなモード、光子数状態の重ねあわせとして表される光の量子状態制御は、比較的弱い光では量子イメージング分野などで進展が著しいが、高強度の光では未開拓である。高強度超短光パルスの自在な量子状態制御が可能になり、例えば、コヒーレント光であれば高次高調波発生やレーザープラズマ加速が起きるような強度のスクイズド光が発生できるようになれば、今は想像もできないような学術と応用が、まさに量子跳躍的に広がるであろう。