

山西 正道*

Masamichi YAMANISHI*

1975年頃より、光通信工学の将来性が、世に大々的となえられ、現在すでに多くの分野で、その有用性が認識され、実用に供されている。こうした光通信技術体系の構築に当たり、量子物理学の知識は確かに多用されてきた。しかし、その利用は、現象説明理論の形で間接的な形でなされてきた。特に、光通信に利用する光そのものについては、古典物理学の枠組みで表現できるものを対象としてきた。ところが、最近になって、以下に述べるように量子物理学の教える光の性質を直接通信技術に利用する研究が盛んになってきた。

理想的な動作状態にあるレーザーから得られる光は、コヒーレント状態と呼ばれるもので、その状態の光子数のゆらぎ Δn や位相のゆらぎ $\Delta\phi$ は、 $(\Delta n)^2 \cdot (\Delta\phi)^2 = 1/4$ になりうるが、どちらも完全に0というわけではない。従って、振幅変調方式を採用にしても、位相変調方式を採用にしても、 $\Delta n \neq 0$ 、 $\Delta\phi \neq 0$ であるため、量子力学的なゆらぎによる雑音は、避けられないものとして残ってしまう。

ここで、もし、光の量子状態そのものを制御することが出来れば、量子力学的ゆらぎによる雑音を、極限にまで小さくすることが出来る。例えば、 $\Delta n = 0$ 、 $\Delta\phi = \infty$ で、しかも $(\Delta n)^2 \cdot (\Delta\phi)^2 = 1/4$ という状態を考えてみよう。このような状態は、ハイゼンベルグの不確定性原理($(\Delta n)^2 \cdot (\Delta\phi)^2 \geq 1/4$)に抵触しないので、原理的には可能である。このような状態にある波動の、振幅(光子数)は完全にある値に決まるが、その位相は、まったくでたらめである。この量子状態のことを光子数(確定)状態という。この場合、振幅に信号を乗せる振幅変調(光子数変調)では、雑音が存在しないことになる。(しかし、この状態にある光を使つての位相変調方式は全く無意味になる。)しかも、こうした謎めいた光($\Delta n = 0$ 、 $\Delta\phi = \infty$)を、おどろくほど簡単な方法で半導体レーザーや発光ダイオードを使って発生させることが、最近になってわかってきた。このことは、量子ゆらぎが人工的に操作された光(このような光をスクイズド光と呼ぶ)を使った通信を実用化しうる可能性を示している。

次に、少数個の光子でもって情報を伝達する通信(量子暗号通信)に話を移そう。少数光子から成る光の場合には古典物理学はもはや通用しない。少数光子系は量子物理学をもってはじめて理解出来る。このような系を量子系と呼ぶ。量子系に対しては、測定(盗聴)を試みると、量子系は必ず変化を受ける。この変化は原理的なもので、盗聴者がどんなに技術を磨いても、避けることの出来ないものである。しかも、その変化量は量子系にとっては、0か1かというくらいに劇的なものである。そうすると、こうした少数光子を使った通信では、盗聴があると、送信された内容が途中で変わるため、受け手と送り手の間で別の通信路を使って頻りに内容照合をすると、盗聴されたかどうか必ずわかることになる。こうして盗聴された光子に相当する情報を捨てて、新たな暗号構成をすることによって、安心して通信を続けることが出来る。ここに述べた量子物理学の根本思想である観測理論をもとにした新しい通信を量子暗号通信という。この量子暗号通信に関する実験研究も進みつつあり、今や、実用可能性が議論されつつある。

以上をまとめてみると、光を量子物理学に支配される物理現象としてみる量子光通信の場合には、信号の物理現象とそれによって運ばれる情報との間を分離して考察することは許されなくなる。この点は、古典物理学に従う信号媒体の通信とは根本的に異なる。すなわち、量子光通信の世界では、通信理論と量子物理学の完全な融合化が必要となる。この分野の研究は、実用という観点に立てば、まさに最初の一步を踏み出したに過ぎないが、21世紀の通信と言うにふさわしい潜在的な能力と、学問体系の深みを持ったものとして、今後の発展が期待される。

* 広島大学工学部 電子物性工学講座(〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1)

* Department of Physical Electronics, Hiroshima University, 1-4-1 Kagamiyama, Higashihiroshima, Hiroshima 739-8527