



ファイバー通信のための非線形光学

井上 恭 著

森北出版, 2011年 (ISBN 978-4-627-78481-9)

光ファイバー通信を語る上で、いくつかの大きなエポックがある。そのひとつに1989年のEr³⁺添加光ファイバー増幅器(EDFA: Er³⁺-doped fiber amplifier)を用いた212 km 無中継光伝送実験の成功が挙げられ、これを契機に光通信システムの長スパン化に拍車がかかった。また、複数の異なる波長に信号を重畳する波長多重(WDM: wavelength-division-multiplexing)技術は光ファイバー1芯あたりの情報伝送容量を飛躍的に増大させた。1.6 Tbit/s (=40 Gbit/s×40波)の510 km 無中継光伝送システムの実用化は、EDFAによる光ファイバーへの高入力光電力化と光通信システムのWDM化が果たした役割の大きさを示すものといえる。光ファイバーへの平均入力光電力と伝送速度の間には経験則として、1 mW/Gbit/sの関係がある。これは1 Gbit/sの伝送速度に対して1 mWの平均入力光電力が必要となることを意味し、100 Gbit/sを超える伝送速度に対して0.1 W以上の平均入力光電力が必要となる。単一モードファイバーを例に考えると、0.1 Wの入力光電力に対して光電力密度は100 kW/cm²を超える。光ファイバー中でさまざまな非線形光学現象が顕著となる要因は、このような高い入力光電力密度と、光ファイバーの低損失性による光と媒質の長い相互作用長である。光通信で非線形光学効果がクローズアップされる背景は以上の通りである。

さて、本書は「光通信を勉強する大学院レベルの読者を想定」して書かれた「非線形ファイバー光学」のテキストであり、その章構成は以下の通りである。

第1章「光ファイバー通信と非線形現象」は、光ファイバーの振舞いを理解するための基礎的事項と、光ファイバー中の非線形光学効果がなぜ問題視されるかの背景が述べられている。

第2章「非線形分極」は、第3章以降の非線形光学効果を理解するための下敷きとして用意されたものであり、光ファイバー中では三次の非線形分極が重要な役割を果たすことが述べられている。

第3章「四光波混合」と第4章「光ファイバーにおける四光波混合」は、WDM伝送システムの波長チャンネル配置を議論する上で重要な章である。これは光ファイバー中で発生する四光波混合によりチャンネル間クロストークが生じるためであるが、著者自身がかつて精力的に研究した内容を多く含んでおり、実験データも豊富である。

第5章「自己位相変調」では、光パルス自身や強度変調光自身に起因した光強度の時間変化により屈折率が時間に依存して変化するため、スペクトル広がりを起こる。これは信号光の波形に影響する。

第6章「相互位相変調」は自己位相変調同様、光カー効果に起因した非線形現象である。ただし、他の波長チャンネルの光強度変化に起因して信号光波形が影響される。

第7章「光パラメトリック増幅」は四光波混合過程を介して発生した光が成長し、位相整合条件を満足しつつ元の入射光をも成長させる増幅過程である。光パラメトリック過程の丁寧な説明に加え、変調不安定性にも触れている。

第8章「ラマン散乱」と第9章「ブリリュアン散乱」は光ファイバー中の非線形光散乱現象を扱った章であり、発生の起源、誘導散乱、増幅過程について述べられている。特に注目の内容はファイバー・ラマン増幅器である。

第10章「周期分極反転デバイス」と第11章「半導体光増幅器の光非線形性」は光ファイバーとは直接関連しないテーマであるが、本書はこれらについても解説している。

本書は著者の研究成果を含み、かつ一人称で語られている点に好感が持てる。残念なのは、参考図書はともかく、本文の内容に関連する先駆的研究に関する参考文献が示されていないことである。察するに、「本書一冊で光通信に関連する非線形ファイバー光学は学べる」との著者の自負がそこにはあるのかもしれない。閑話休題、光ファイバー通信の研究開発に携わる技術者や大学院生に薦めたい一冊である。

(日本大学工学部 柴田 宣)