



光 ソ リ ト ン

長 谷 川 晃*

OPTICAL SOLITON

Key words : Optical Communication, Soliton.

私は35年の研究生活で、宇宙科学、プラズマ核融合、光通信の三大話のような分野を手掛けてきた。どの分野にも夢があるが、それぞれ意味の異なる夢である。宇宙科学では自然の神秘を観測し、それに科学的な説明を加えるという夢がある。プラズマ核融合ではエネルギー問題の半永久的解決をするという夢がある。そして光通信では、通信速度を大きくするという事により通信コストを下げるという夢がある。理学にしても工学にしても夢がなければやる価値がない。しかしその夢の内容はそれぞれ異なる。自然科学では自然の神秘に対する解釈を産むという夢があるのに対し、工学では新しいものを創るという夢がある。どちらの夢に惹かれるかはそれぞれ個人の興味の違いからくる。

幸い私自身はAT&Tベル研究所という大変恵まれた環境に居たため、これら両方の夢を追求することが出来た。しかし、この雑誌ではその中でも工学的な夢を要求されているのであろうと思われるのでその事について紹介する事にする。

私が夢を追いかけて大変うまくいったのは、光ソリトンを用いた高速通信の実現である。誘電体で出来たファイバーの中に光ソリトンが存在することを理論的に発見してから約20年、やっ

とその通信への応用が実現可能になる見通しがついた。こういう意味でこのテーマはすでに夢でなくなりつつあるわけだが、しかしここまで到達した経過を振り返ってみることは、夢というものを実現化のイメージを重ね合わせるのに良い例と思われるので、あえて紹介することにする。

筆者がベル研究所の同僚のTappertとともにファイバー中の光ソリトンの存在とその高速通信への応用の論文をApplied Physics Lettersに発表したのは、1973年である。当時は誘電体(ガラス)ファイバーを導波路とする、光波による高速通信のアイデアがようやく一般の目を引くようになっていた。しかし、実際には通信に必要な損失の少ないファイバーも、また光源としての半導体レーザーも存在しなかった。それでも理論上ファイバーを伝播する光波の群速度の分散性(群速度が波長によって変化する性質)が、変調を受けた光波の伝送特性を歪ませ光通信に支障をきたすであろうという論文が盛んに出版されていた。そこで我々は群速度分散とファイバーの誘電率が光波の電力に比例して増大するカー効果を組み合わせる事により、非線型な安定した光パルス(光ソリトン)がつくられることを証明し、この効果を用いると高速通信が可能になることを提案したのだ。

しかし、当時は適当なレーザー光源も低損失ファイバーも存在しなかったため光ソリトンを実験的に確認するには7年間の月日を必要とした。1980年にやっベル研究所の同僚のL.F. Mollenauerが色素センターレーザーを用いファイバー中のソリトンの存在を突き止めるのに成



*Akira HASEGAWA
1934年6月17日生
1964年カリフォルニア大学院博士課程・電気工学科修了
現在、大阪大学工学部通信工学科、教授、Ph. D理博、プラス物理、宇宙科学、光通信
TEL 06-877-5111(内線4751)

功したのだ。

この成功に勇気づけられて筆者は現オハイオ大学教授の児玉氏とともに中継器を用いない全光学的光ソリトンシステムのアイデアを次々に提案した。現在実用化されている光通信システムでは、ファイバーの分散による波形歪みを修正するため一定間隔に中継器を設け、波形の整形を行っている。中継器は光波の検出装置、及び検出した電気信号を光波に変換する光波変調器を有し、このためエレクトロニクスと光の変換プロセスを必要とする。このことが通信コストを大きくし、更に通信速度に大きな障壁となっている。

一方、ソリトンを用いるとファイバー損失を光学的に補う方法があれば光/エレクトロニクスの変換を必要としない。このため全光学通信システムが考えられることになるのだ。そのなかでもファイバー自身の持つラマン効果による光増幅を用いたシステムの考えは、再びモレナウワーの手で実験され1987年にはソリトンを6000キロメートルの長距離に渡り無中継で伝送することに成功したのだ。

更に幸いなことに、1987年にエルビウム (Erbium) をファイバーにドープすることによりファイバー自身を1.55 μm の光波の増幅器にすることが英米の各チームで発見された。NTTの中沢等は1989年にこのエルビウム増幅器を用いソリトンの波形修正に成功した。

エルビウムファイバー増幅器は先のラマン増幅に比べ効率が高いため、より優れた増幅器となる。

しかし、光増幅器には二つの問題が存在する。その一つはソリトンの振幅を急激に上げるため、増幅の前後でソリトンとしての性質すなわちパルス幅 \times パルス高=一定の性質を失うことである。パルスの振幅にこうして大きな変化が生じると、非線形効果が変動してソリトンが作られ

なくなるのだ。しかしこの問題は、伝送路にそって平均したパルス振幅がソリトンを作るのに必要な非線形性を産むように振幅を調製することによって解決できた。

次に大きな問題は、増幅器からの雑音がソリトンの速度を変化させ、このためソリトンが受信側に到達したときにその到達時間にエラーが発生する点である。しかし、この問題も筆者の提案する狭帯域フィルターを用いることによって解決出来ることが証明された。狭帯域フィルターはソリトンの搬送周波数を固定する働きをし、この結果ソリトンの中心周波数が固定され、ソリトン速度がゆらぎを持たなくなるのだ。

ベル研究所のモレナウワー等はこれらの考えを利用し、その後毎秒5ギガビットのソリトン信号を1万4000キロメートルに渡って伝送することに成功した。更に今年に入ってから波長分割形方式を用いることにより、毎秒10ギガビット \times 2チャンネル=20ギガビットのソリトン信号を、1万3000キロメートルに渡って光増幅器のみを用いて伝送することに成功した。

こうして、光ソリトンは数々の障壁を乗り越えることに成功し、実験室系で従来の線形通信システムの最高値に比べ通信速度で4倍、距離で1.5倍のデータを得ることに成功するに至ったのだ。通信速度は更に狭帯域フィルターの改良を行うことにより、毎秒100ギガビット程度まで大きく出来る可能性があると考えられている。ソリトンを用いたデータが従来方式の最良のデータより一桁多くなれば、光ソリトンは高速通信のシステムとして実用化されることになるだろう。

応用数学と計算機末シュミレーションの産物であるソリトンの概念が20数年後先端技術の分野に応用されるに至ったのは、夢の実現といえよう。幸運と多くの方々の努力の賜である。