



## 光通信への道

熊谷信昭\*

通信の歴史をふりかえってみると、人類が最初に行なった通信は光通信であった。ノロソをあげて変事を味方に知らせるといった類のものがそれである。今日の言葉でいう信号源がこの場合ノロソの火煙で、それを遠方で見ると人間の眼がいわゆる検出器に相当し、その間の大気中が信号を運ぶ光の伝送路となっていたわけである。そして、「ノロソがあがれば敵が襲来した知らせである」という約束が、現在の通信工学でいう符号化に相当している。このような、人間の視認による光通信は、おそらく数千年にもわたって、古くから用いられていたものと考えられている。

人間の視認による光通信に画期的な向上をもたらしたのは、フランスのChappeによる腕木式通信機の発明(1791年)である。これは、数kmおきに建てられた塔の上の3本の腕木の動きを各塔に配置されている人間、すなわち通信士が見て、順次その通りに次の塔に伝えていくというものであって、この場合には塔のある場所が今日のいわゆる中継所ということになる。腕木を用いたこのような通信システムは、ナポレオンの時代には西ヨーロッパ全域に広げられ、たとえばパリ・ツェロン間764kmのルートでは、中継所の数が120、信号の伝送時間が10数分であったといわれている<sup>(1)</sup>。

このような視認による初期の光通信方式は、Morseによる電信機の発明(1831年)によって表舞台から姿を消すことになった。さらに、Maxwellによる電磁波の理論的発見(1864年)とHertzによるその実験的検証(1887年・明治20年)、Marconiによる無線電信機の発明(1895年・明治28年)やDe Forestによる3極真空管の発明(1905年・明治38年)等がキメ

手となって、近代電気通信技術の目ざましい発展の途が開かれたのである。灯火の点滅による艦船相互間の通信や手旗信号による通信なども残存はしていたが、もはやこれらの光通信が通信技術の主流でないことは明らかであった。

第1次世界大戦の終結にともなって、戦時中軍需用に活躍した電気通信技術がラジオ放送という平和目的の民需産業に転用されたのと同様に、第2次世界大戦中に電波兵器の研究に関連して飛躍的に進歩したマイクロ波技術は、戦後のマイクロ波通信回線網を生み出す原動力となった。筆者が大学を卒業した翌年の昭和29年には、我が国でも電々公社が東京・大阪間のマイクロ波回線を完成し、マイクロ波通信の技術はまさに結実期に入ろうとしていた。

そのころ、マイクロ波通信に続く次代の通信はミリ波通信であるという考えが、この方面の関係者の間では一致した認識となっていた。その理由は、信号を運ぶ搬送波の周波数が高くなる程、伝送できる情報量が増大するので、激増しつづける膨大な情報量をさばくには、近い将来、どうしてもマイクロ波より1ケタ以上周波数の高いミリ波を用いる通信にたよらなければならないであろうと考えられていたからである。特に、ミリ波伝送線路としてとりあげられた円形TE<sub>01</sub>モード導波管というのは、周波数が高くなればなる程、減衰がいくらかでも少なくなるという、他のいかなる伝送線路にもみられないきわめて特異な性質をもっており、しかもTE<sub>01</sub>モードという波動形態でミリ波を伝送しようとする、導波管は本質的に多重モード伝送系になるという、これまでに通信技術者が経験したことのない困難な問題点をも含んでいたため、研究テーマとしてもまことに興味深いものであった。世界中の大学や研究所・企業で多くのマイクロ波研究者がミリ波の研究に

\* 熊谷信昭(Nobuaki KUMAGAI), 大阪大学工学部, 通信工学教室, 教授, 工博, 電磁波工学

転向し、激しい研究競走が続けられて、昭和40年代前半には一応実用化のメドがつくところまで到達した。円形  $TE_{01}$  モード導波管を用いたミリ波大容量通信系の実現は、もはや時間の問題であるとみられていた。社会的ニーズと決断だけが残された問題であると考えられ、この分野で世界最高の技術水準をきそっていたアメリカと日本のいずれかが、世界で最初にミリ波通信系を実現する国になるであろうといわれていた。

ところが一方、1960年にレーザーが発明され、人類は電波に遅れること半世紀にして、はじめてコヒーレントな光を手にすることができるようになった。光はミリ波よりもさらに3ケタ以上周波数が高く、したがってレーザー光を用いた光通信系が実現できれば、ミリ波通信系よりもさらにはるかに大量の情報を伝送し得る可能性がある。そこで、ミリ波通信の研究にたずさわっていた人達の中の多くが、今度は一斉に光通信の研究に再転向するという事態が起った。レーザーの発明は、通信技術の立場からみれば、まさに電気通信における3極真空管の発明に匹敵する画期的な大発明であった。人類がその通信手段として最も古くから用いていた光通信が、昔日の姿を一新して、将来最も有望な最新の通信技術として、我々の前に再登場してきたわけである。

しかし、いかなる技術についてもいえることであるが、原理的な可能性と実用化・企業化との間には千里の道のりがある。レーザー光通信の場合にも、具体的に検討してみると、それを実用化するためには解決しなければならないきわめて多くの困難な問題が前途に横たわっていることが明らかになってきた。中でも最も大きな問題の一つはその伝送方法である。光はミリ波と同様、いやそれよりもはるかに大きく気象の影響を受けるため、大気中を伝搬路とする無線方式は、ごく短距離の簡易通信を除いては、採用できない。そこで、光の低損失伝送線路を開発することが、光通信系実現のための基本的な要件であるということになり、世界各国で活発な研究が始められた。ガスレンズ・ビーム導波系などというまことに奇抜な着想を含む

多種多様の光伝送線路が提案・検討された。その中で最も早くから知られており、しかも一番見込みが薄いと考えられていたものが、ガラスなどの誘電体で作られる繊維状の細いファイバーであった。

もともと、光に対して透明な物質、たとえばガラスの棒などに沿って光が導かれる現象は、非常に古くから知られていたようである。科学的には1870年に Tyndall が、容器に水を満たして光を当て、容器の側壁にあけた小孔から流出する曲った柱状の流水に沿って光が導かれることを英国王立協会で実演してみせたという記録がある<sup>5)</sup>。そして、1920年代には、英国と米国とでそれぞれ独立にガラスファイバー束による画像伝送の方法が考案され、特許となっている<sup>6)</sup>。しかし、これらの提案は主としてファイバー間の光の漏洩にもとづく相互結合が実用上の難点となり、その後約20年間は顕著な進展がみられなかった。1950年代にはいり、ファイバーの周囲を屈折率の僅かに小さいもう一つの誘電体で被覆する、いわゆるクラッド形ファイバーの着想が現れ<sup>6)</sup>、ファイバー間の光学的な漏洩の問題が解消するにおよんで、光ファイバーは一挙に実用性をもったものとなり、その後の特性の改良や応用の開発によって、たとえば胃カメラで用いられるファイバースコープなどとして実用に供されるようになった。このように、1950年代までの光ファイバーの応用は、主として計測やセンサーを目的としたものであったが、今にして思えば、結局このクラッド形ファイバーは、今日の通信用光線路の基本形をなすものであった。実際、レーザーの発明に端を発して通信用光線路の研究が始まると、クラッド形ファイバーについても詳しい再検討が加えられ、波形伝送の立場からの考察なども行われるようになった。

しかし、今から10年前に、ファイバーが光通信の長距離伝送線路の主流とみなされるようになるであろうことを、本気で予想した人は皆無に等しかったといつてよい。その最大の理由は、ファイバーの損失が余りにも大きすぎることであった。光のエネルギーが全部ファイバーという物質の中を通過して送られるわけであるか

ら、その減衰が大きいことは当然である。当時、最も良質のガラスを用いても、その伝送損失は1km当り1,000 dbを超えていた。これでは20mおき位に中継所が必要となり、到底使いものにならない。ファイバーではとても無理だというのが一般的な常識となり、前述のように、それ以外のあらゆる方策が真剣に模索されていたわけである。

ところがである。1970年にアメリカの Corning 社が伝送損失20 db/kmという、全く信じられないような低損失光ファイバーを発表した。この成果は世界中の関係者にきわめて大きな衝撃を与え、光ファイバーの爆発的な開発競争の幕が切って落された。

その後2、3年の間の改良・進歩はまさにドラマチックであったといつてよい。殆んど数カ月ごと位にデータは更新され、1973年頃には、約2 db/kmという驚くべき低損失光ファイバーが作られるようになった。この減衰は、例えば深さ11kmのマリアナ海溝の底を、直接のぞき見ることができる程度の透明さである。このような成果は、全てガラス中の不純物の除去技術の向上と高精度の製造技術の進歩とによるものであるが、最近のデータでは、石英ガラスを用いて我が国で作られたファイバーが約0.5 db/kmという殆んど信じ難い程の値を示している。ちなみに、現在電々公社が広く現用している同軸ケーブルの減衰定数が約4～5 db/kmという値である。

ここに至って、マイクロ波通信の次に来たるべき次代の通信は、ミリ波導波管方式を飛び越して、光ファイバー方式になるのではないかということが本気で論議されるようになった。なぜならば、光ファイバー通信系は従来の通信系に見られない数々の素晴らしい長所・利点を持っているからである。まず、きわめて大容量の通信ができる可能性がある。減衰が非常に小さいので長い中継間隔がとれる。電磁誘導による障害の問題が全くない。きわめて軽量で、かつ可撓性があり、しかも線路の断面積は従来の他のいかなる伝送線路にくらべてもケタ違いに小さい。ファイバーそれ自体の太さは髪の毛ほどの太さだと思えばよい。さらに、長期的にみて根本的に有利なことは、光ファイバーの原材料

が殆んど無尽蔵といつてよい程豊富であつて、年々高価になり、その資源の枯渇が憂慮されている銅を必要としないことである。このようなことから、将来、通信線路の大部分は、末端にいたるまで、全て光ファイバーに置き換えられる時代が来るかもしれないと予測する人すら現れはじめている。また、いわゆる電波というのは波長が0.1mmよりも長い電磁波のことであつて、その使用は電波法によってきびしく規制されている。しかも現在、電波の利用はまさに極限状態にまできており、周波数の割当ては国内的にも国際的にも深刻な問題である。それに対して光波帯は、電波法による取締りなどに全く拘束されない未開拓の広大な新領域である。周波数も人類が利用できる有限の資限であると考えれば、この点でも光通信のもつ新資源開発の効果は決して小さくはないのである。

技術開発の前途はもちろんバラ色の夢だけではない。ファイバーの分散特性による帯域制限の問題、ケーブル化や接続法の問題等の他に、レーザー自体の問題、変・復調の問題等数え挙げればきりが無い。ともあれ、20年前にはマイクロ波の次はミリ波しかないと思われていたものが、10年前には「ミリ波か光か？」となり、現在では「ひよっとするとミリ波より光」というところまで来た。予想もしなかった全く別の画期的な大発明でも現れれば話は別だが、もしいまのような状態で今後も推移していくなれば、恐らく今から5年後にはその判断はさらに確定的に下せるようになっていであろう。

一世紀半にもわたった「電気と銅線」による通信の時代に決別して、古くて新しい「光とファイバー」による通信の時代を迎える日は案外そう遠い将来ではないかも知れない。

#### 参考文献

- 1) 山崎俊雄, 木本忠昭, “電気技術史” 第2章, オーム社 (1976)
- 2) N. S. Kapany, “Fiber Optics—Principles and Applications”, chapter 1, Academic Press, (1967)
- 3) J. L. Baird, British Patent 285,738 (1926)
- 4) C. W. Hansel, U. S. Patent 1,751,584 (1927)
- 5) A. C. S. van Heel, Ingenieur, Vol.65, P. 25 (1953)
- 6) B. O'Brien, U. S. Patent 2,825,260 (1954)