

半導体レーザー励起光増幅器の開発を中心とする 光ファイバ網の長距離大容量化への顕著な貢献

中沢正隆 博士

1952年9月17日生まれ(70歳)
東北大学 卓越教授(DP)/特任教授

萩本和男 氏

1955年1月8日生まれ(68歳)
国立研究開発法人情報通信研究機構 主席研究員

世界をつなぐ光通信システム

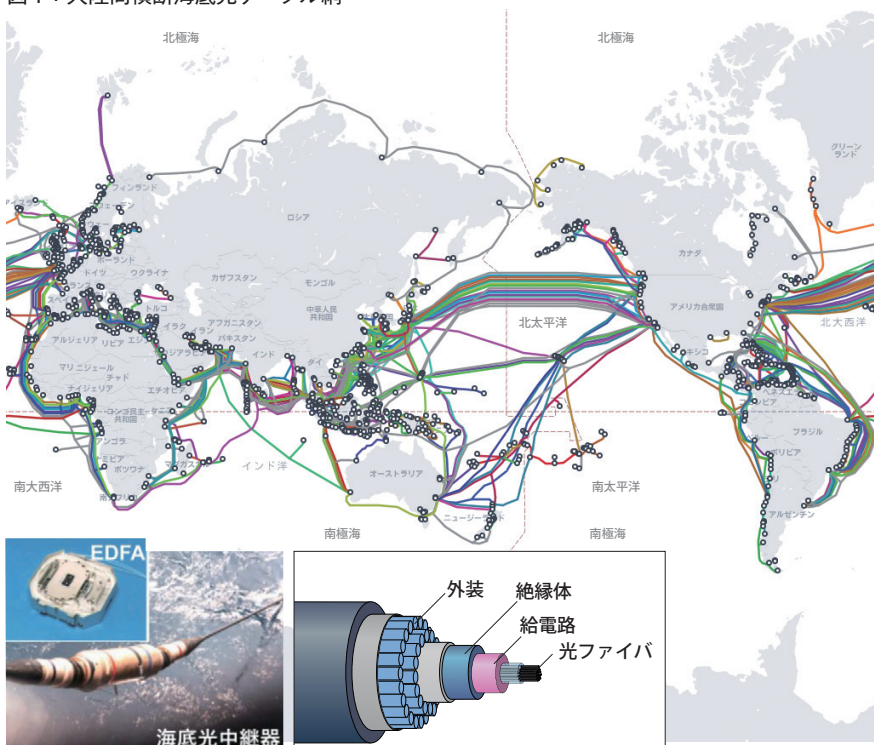
海底光ケーブルが海を渡って大陸間を結び、世界がひとつにつながっています。光通信は、光信号を送る媒体である光ファイバを通して情報を送ります。0と1で表される情報を光の点滅で送るため、高速で長距離の伝送が可能です。

光ファイバは、光信号の損失を極力減らすように高純度ガラスなどでつくられています。それでも長距離伝送では、光信号の強度の減衰は避けられません。例えば、太平洋を横断する、東京=サンフランシスコ間の約8300kmを1回の光信号の発信で伝送することはできません。そこで、数十 kmから100 kmおきに海底光中継器を設置し、そこに搭載されている光増幅器によって、光ファイバの損失で減衰した光信号を繰り返し増幅します。現在、この信号増幅のために、中沢博士と萩本氏が開発に携わった「エルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA: Erbium-Doped Optical Fiber Amplifier)」が世界的に使われています。

光増幅器のメリットと原理

1980年代、単一モード(経路)ファイバによる光通信が実用化されました。しかし当時は、光信号を増幅するのに、光信号を電気信号に変換して増幅する電気増幅器が使われました。この装置が大型で大電力が必要だったことから、光信号をそのまま増幅する小型で高効率、広帯域の光増幅器が望まれていました。

図1：大陸間横断海底光ケーブル網

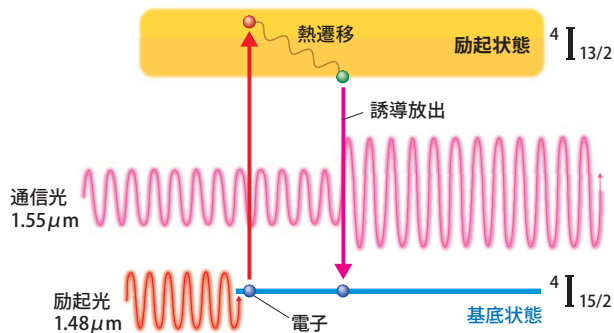


地図の出典：Submarine Cable Map(<https://www.submarinecablemap.com/>)

中沢博士は、「エルビウム添加ファイバ」と、それを励起する1.48 μm の波長の光を出す「InGaAsP半導体レーザー」(InGaAsP: インジウム・ガリウム・ヒ素・リン)を用いる方法を世界で初めて提案しました。その光増幅の原理は図2のように、半導体レーザーの1.48 μm の光が、エルビウム原子の基底状態($^4\text{I}_{15/2}$)の電子にエネルギーを与えて励起状態($^4\text{I}_{13/2}$)へと押し上げます。この電子が誘導放出という現象で出すエネルギーを、1.55 μm の通信光が受け取って増幅します。

現在の光通信は、伝送距離を延ばすために、1 km当たりの光減衰が0.2 dBともっとも小さい1.5 μm 波長帯(最低損失波長)で行われています。エルビウム原子の誘導放出で生じるエネルギーによって、ちょうどこの波長帯の光が増幅され、12.5dBの利得(入力と出力の比に相当する値)が得ら

図2：光増幅器の原理



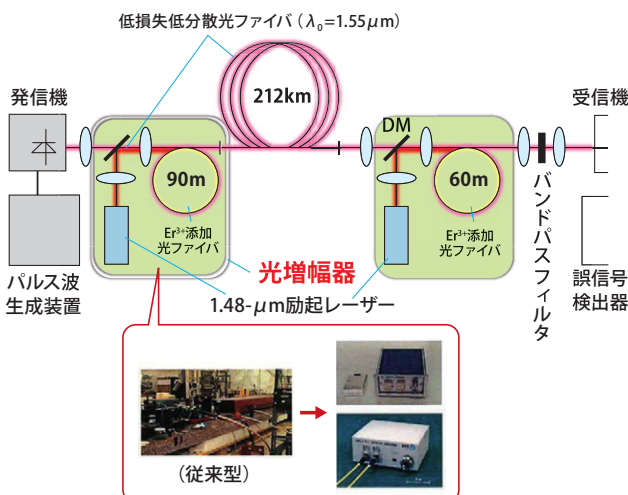
れたのです。さらに増幅波長はピンポイントではなく、波長幅が40 nmで広帯域であることもわかりました。

急がれた実用化

中沢博士の提案により、それまで1.5 m四方もある大がかりな励起光源を必要としていた光増幅器が、小型で電池でも駆動できる可能性が示されました。しかも1.5 μm波長帯を幅40 nmに渡って増幅できるという広帯域の光増幅器であることも、その後の光通信の大容量化に貢献する可能性を秘めていました。

これを受けて、萩本氏はすぐさま実用的な光通信システムの構築に着手しました。開発されたばかりの約10 cm四方という小型の「エルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)」を用いて、1.8Gbit/sの強度変調直接検波方式で試験を行ったところ、212 kmもの長距離伝送が可能だという結果が得られました。この成功により、光増幅器の実用

図3：半導体レーザー励起EDFA増幅器と1.8Gbps 212km無中継伝送実験



出典：https://www.youtube.com/watch?v=v_Xkn14XWcQ

性が世界で初めて実証されたのです。

この技術は非常に優れていたため、開発からわずか5年ほどで、世界を結ぶ幹線系長距離伝送網に採用されることになりました。

さらなる大容量化をけん引

1990年代に導入されて以来、光増幅は光通信にはなくてはならない技術になりました。ほかの光増幅法も開発されていますが、現在でも「エルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)」が世界の主流であり続けています。萩本氏らが国際標準化を主導したことも、この技術が優れていることを世界に示す結果になりました。

一方で、EDFAの多波長光信号を一括で増幅できるという特質は、複数の波長の光を混ぜて伝送し検出側で分割する「波長分割多重伝送技術(WDM：Wavelength Division Multiplexing)」と相まって、1990年代半ばから光通信の大容量化をけん引し、テラビット(Tbit： 10^{12} bit)という大容量の光伝送の扉を開きました。

さらに「多値変調伝送技術」や「デジタルコヒーレント伝送技術」など新しい技術が次々に登場し、中沢博士も萩本氏もそれぞれに最新伝送技術の研究を続けています。

その後、社会はIoTやビッグデータの利用などデータ爆発の時代に入ると、通信容量増大への要求はますます大きくなっています。実験では、単一モードファイバの物理限界とされる100Tbitを超えて、ペタビット(Pbit： 10^{15} bit)の伝送も可能になっており、私たちの生活を支える光通信は途切れることなく進化し続けています。

図4：長距離大容量光ファイバ通信の実用化

