研究分野の世界の顔
“NTT R&Dフェロー”に聞く6

実用化研究と基礎研究の両輪で長距離光伝送技術を研究

半導体レーザーを用いた小型・高効率なエルビウム光ファイバー増幅器（EDFA）の開発・実用化、ならびに光ソリトン通信に関する先駆的研究開発で、高速長距離光伝送に貢献した中沢正隆NTT R&Dフェロー・東北大学電気通信研究所教授に、光の研究に取り組まれた経緯など、お話をうかがった。

大学４年生の時に興味を抱き、光にのめりこむ

── 中沢フェローは光技術がご専門で、特に光ファイバー増幅器や非線形効果の理論的研究で多くの成果をあげておられます。光に興味を覚えたきっかけから教えてください。

中沢　金沢大学４年生の時、光の研究を行っていた松浦先生（現・金沢大学教授）がいらっしゃり、ヘリウムネオンレーザーを使った実験などを行い興味を持ちました。卒論は光変調をテーマにし、光にのめりこんでいきました。大学院（東京工業大学）に進んでからドクターコースを出るまでの５年間、武者利光先生（現・東京工業大学名誉教授）のもとで、レーザーの発振周波数の周波数ゆらぎの研究を行いました。武者先生は“1/fゆらぎ”や脳機能の研究で有名ですが、もともとは物理が専門で、レーザー量子光学の大家です。研究の重要性、物事の基本を教えてくださったのは武者先生であり、末松安晴先生（現・国立情報学研究所顧問）、古川静二郎先生、福与人八先生方は、いろいろ哲学的なことや研究の進め方を教えてくださいました。

大学院を出て、NTT（当時の電電公社）に就職しました。レーザーなど、光に関することを研究したかったのですが、配属先は茨城電気通信研究所の光線路研究室でした。どうして線路に行くのかなと思いましたが、そこは光ファイバー関係の実用化の真っ最中の部隊だったのです。

── 最初どのような研究を行ったのですか。

中沢　当時F400 Mという単一モードファイバー伝送技術の実用化試験を行っていたのですが、任されたのはファイバーの光パルス試験器（OTDR）と呼ばれる測定器の研究開発です。試作器を作り、それこそ朝の８時半から現場の若い人とマンホールの蓋を開けてメタンガスが充満していないかチェックして、現場実験を行いました。その現場試験を通じて実用化するというのが最初に任された仕事でした。OTDRはそれなりに面白かったのですが、もっと基礎的なところにも興味があり、測定器をやりながら他の研究も始めました。そして、徐々に光ソリトンとかエルビウム光ファイバー増幅器

NTT R&Dフェロー
東北大学　電気通信研究所
教授
中沢（なかざわ）　正隆（まさたか）　氏

1980年電電公社電気通信研究所入社。光ファイバー中の非線形光学効果、ソリトン通信、フェムト秒パルスレーザ、光ファイバー増幅器の研究に従事。1984年～1985年MIT客員研究員。1988年第5回　光技術産業協会（OITDA）桜井健二郎記念賞、1990年IEE, Electronics Letters Premium Award, U. K受賞、1997年科学技術庁長官賞、1999年NTT R&Dフェロー、東北大学電気通信研究所客員教授。2001年4月より東北大学電気通信研究所教授。2002年IEEE Daniel E. Noble Award, U. S. A.、電子情報通信学会　第8回　猪瀬賞、第27回科学技術振興事業団　井上春成賞を受賞、平成17年度電子情報通信学会 エレクトロニクスソサイティ会長

の研究を行うようになりました。

光パルス試験器を開発する中で、光ファイバーの中の非線形光学効果というのが非常に大事になるわけです。パルスを入れて、障害点探索を行いますが、遠くまで調べるためにパルスの強度を強くしていくのですが、そうするとラマン散乱とかいろいろな非線形現象が発生します。だからおのずと、光ファイバー中の非線形光学効果といった方向に研究範囲が広がっていきました。当時の内田直也室長（現・産総研）は、私も注目していたソリトン関係の文献を私の机の上に置いたり、「線路の次の将来を担うような研究をやりなさい」と助言してくださいました。彼は研究室の将来を見据えて実用化の後の弾込めを私に期待していることが判りました。内田室長のおかげで今日の私がある、というくらいいろいろとサポートしていただきました。

線路技術者の夢は、伝送損失のないロスレス（無損失）伝送路を実現することです。ところが、光ファイバーは、どうしても0.2dB/km程度の損失があります。そこで、ラマン増幅を行い、非線形な効果で損失と同じくらいの弱い利得を持たせ、バランスをとることによってロスレスを実現しようと考えました。

ロスレス伝送の実現に向けた光ソリトンとEDFAの研究開発

── エルビウム光ファイバー増幅器（EDFA）や、光ソリトン通信に関して画期的な研究をされましたが、これらはどのような技術ですか。

中沢　ソリトンというのは、もともとは波形の変わらない波です。普通は分散があって、波形の幅が広がってしまいます。ところが、分散とソリトンの非線形光学効果とをうまくバランスさせると、波形が広がらないのです。ソリトンというのは自然界に非常に多くあって、このソリトン効果がファイバーの中にもあるということを初めて提案したのが、退官された大阪大学の長谷川晃教授でした。

── 波形が変わらないということは、伝送するうえでものすごいメリットがある。

中沢　まずはソリトンを記述する非線形の偏微分方程式をコンピュータで解析し、その後いろいろな伝送実験を行いました。光ファイバーには損失があるため、ソリトンを維持するためにはある程度のパワーレベルが必要です。そのためには、光の増幅器が必要で、当時からすごく興味を持っていました。ところが当時の光ファイバー増幅器といえば、ガスレーザーなど大型レーザーが出力する短波長の光で駆動するのが常識で、Er（エルビウム）なんてものにはほとんど誰も興味を示していませんでした。新しい技術というのは、誰か一人が考えて、やがてマジョリティになっていきます。だからいつも「アイデアというのは誰か一人の頭の中から産まれるからそれを大事にしないといけない。新しいことに取り組む時は、あまりたがをはめずにやったほうが成果は出やすい。」と言っています。

── どうしてエルビウムにたどりついたのですか。

中沢　光パルス試験器というのは、パルスを出すパルス光源が必要です。当時、保谷硝子（現・HOYA）さん、NECさん、我々の3社で1.5μmという長波長のパルスを出すエルビウムのガラスレーザーを作りました。それは、1.5μmのパルスが一番ロスが少なく、100 km程度の障害点探索が行えるからです。当時は半導体レーザーはまだなくて、まして1.5μmなどという長波長の光を出力する半導体レーザーはありませんでした。そこで、いろいろと調べていくと、米国にエルビウムを使った固体レーザーがありました。しかし、軍事用に開発されたものなので、情報がまったく取れませんでした。

── どのようにして、Erのガラスレーザーを作られたのですか。

中沢　実は、HOYAさんが固体レーザーのロッドを作っていました。上司と私とでお願いに行き、エルビウムを入れたロッドを作ることから始め、NECさんにそれを使ったエルビウムレーザーを作っていただきました。それを用いてパルス試験器を作り、論文も発表しました。その頃MITに客員研究員として留学することになりましたが、その時に、エルビウムの入ったリン酸系ガラスで光ファイバーを作れば、ファイバー増幅器になるのではないかと考えました。そこで、HOYAさんにお願いしましたところ、シリカ系ガラスと比べてリン酸系のガラスは融点が低いために、クラッド（光をコアに閉じ込めるために、コアより屈折率の低い物質で構成されるコアを取り囲む部分）がつけられませんということでした。やむなく、空気クラ

ッドでも良いからということで光ファイバーを作ってもらい、MITに持っていって本当に光が通るかどうか調べました。結局、増幅実験はできませんでしたが、そういうトライはしました。そして、１年後に帰ってきた時に、サザンプトン大学がファイバーの中にエルビウムとかネオジウムを入れてレーザーにしたり増幅器にするという話が出ました。アイデアとしては私どもが先行していただけに、もの凄いショックでしたね。

――違いはどこにあったのですか。

中沢　ガラスにありました。我々はエルビウムをリン酸系ガラスに入れましたが、彼らはシリカの中に入れました。そこで、日本で当時三菱電線工業さんがエルビウムのシリカ系ファイバーに取り組んでいることが分かり、共同研究を始めました。その後、EDFA（エルビウム増幅器）というのが私のグループの主な研究テーマとなりました。

――光ソリトン通信技術とEDFAの開発により超長距離の光伝送が実現できた。

中沢　ソリトンというのは最初は机上の話でした。それを我々が開発した光ファイバー増幅器を、30kmとか50km間隔で置くことによって、太平洋横断する距離の伝送が実現出来、更に工夫を加えると100万kmもの超長距離光伝送が原理的に可能であることを世界で初めて実証しました。

実用化研究と基礎研究を並行した研究スタイルが論文の多さにつながった

―― NTT在職中の21年間で、300編の論文を書かれたそうですが…。

(a) 世界で初めて開発したプロトタイプEDFA

(b) 簡易型商用EDFA

写真１　EDFA(エルビウム光ファイバー増幅器)の外観

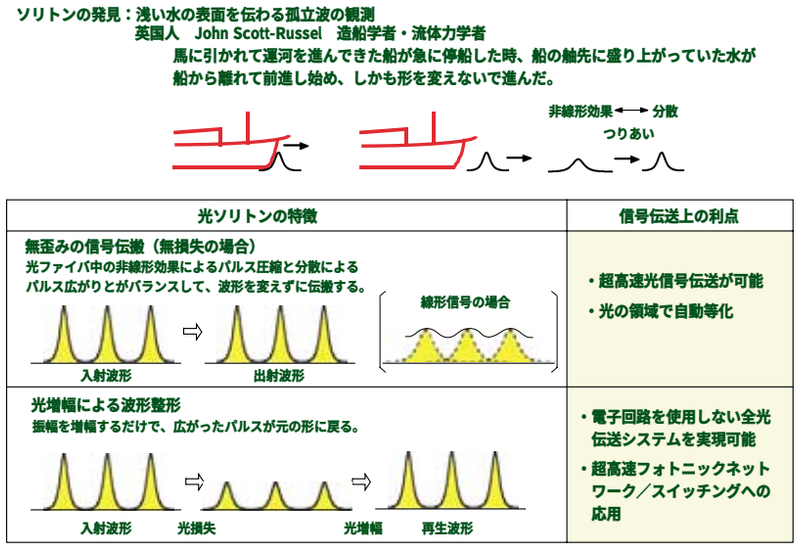

図１　ソリトンの発見と光ソリトンの特徴・信号伝送上の利点

中沢　在職中に書いた論文は私独りではなくグループとして書きました。東北大学にきてからも書いていて、今350編くらいになっています。

これだけは勘違いされては困るのですが、研究開発で面白い結果が出たのでそれを世の中に広く問うための論文であり、論文を書くための研究ではありません。私の論文を読んでいただければ判ると思いますが、必ずあるレベルを超えたものを発表しており、私がいうのもなんですが駄作はすくないと思います。

私が論文を多く書けたのは実用化的な部分で企業の人と一緒に世界の最先端をいく装置を開発したことと、それを使ったり、応用したりといった比較的基礎的な研究も並行して行ったからです。実用化の先端にいると、次に何が大事かというのがよく分かります。自分が一番フロントにいるわけですから、こっちの方向にいったら面白いか、それを判断する能力があれば、それを基礎的な研究の方にフィードバックするといったように、実用化研究と基礎研究を両輪にすると良いのです。

欧米と同様に、科学やエンジニアリングを面で支えることが必要

――わが国の光技術は、海外に比べて

どのようなレベルにありますか。

中沢　バブル崩壊で日本の光産業は大打撃を受け、光の研究は停滞しています。しかし、欧米では研究開発に関してもっと余裕を持って考えており、光通信の関係は少し停滞しましたが、他の分野では光の研究が進んでいます。サイエンスから始まり、光通信は一番最後のシステム的な要素が大きいです。そこにいたるまでに研究者がたくさんいます。ところが日本の場合は、研究とかサイエンスというものを一般的にあまり余裕を持ってみてくれません。すぐ収益につなげようとします。もちろん企業として収益をあげることは大事ですが、そのために種を蒔いたり、弾込めしたりしないといけません。そのへんの裾野の広さが欧米は凄いですよ。

――最近は、日本でも科学にかなりお金をかけるようになった…

中沢　多くはなりましたが、まだ充分とはいえないと思います。欧米は科学とかエンジニアリングを面で支えるのですが、日本はポイントで支えているような感じです。先端研究で優れたところはいくつかありますが、そのいくつかだけなのです。欧米では、あちこちに凄いグループがたくさんいて競争しています。

企業の光技術の研究がトーンダウンしたので、今は国の研究所や大学が頑張らないといけないと思っています。もちろんNTTが一番頑張らないといけませんが、今はなかなか大変です。今までは大部分の研究をNTTが背負っていたわけです。これからもNTTの果たす役割は大きいですが、任せられるところは大学や国などに任せ、その上で組織としてどこにエネルギーを集中するか、「選択」と「集中」を上手くすることが大事だと思います。例えば、大学に予算を出して研究をさせ、その成果をNTTが実用化するというようにですね。全部自分でやるのは難しいと思います。

信念と広く深い知識の蓄積に加え、客観的な自己評価が重要

――最後に、明日を担う若いひとたちに、研究者として生きていくためのアドバイスをお願いします。

中沢　まず、研究とは直線的にはいかないということです。ずっと成果が出ず、このまま終わるのではないかと思った瞬間にバーンと弾ける時があります。私の場合は1989年のEDFAだったと思います。エルビウムが世の中で使えるなんてことは、その頃は誰も考えていませんでしたし、期待もしていませんでした。

もう一つは、技術の融合が大事です。そのためには、やはり知識をたくさん蓄積しないとだめです。「広く深く」ということが重要です。そのためには時間がかかりますが、知識が自分の血や肉になって醸成されてくると、頭の中であっち側の技術とこっち側の技術を融合して新しいものを作り出すことができます。それがすごく大事で、ある瞬間に融合が起こります。基礎的な技術をやっている人や実用化をやっている人は、いろいろな分野でそういう場面に出くわすはずです。そういう組み合わせの技術が非常に重要です。実際、我々の開発したEDFAも、その組み合わせから生まれました。

――それは、どういうことですか。

中沢　我々は、最初光パルス試験器から派生したラマン増幅とエルビウムの両方をやっていました。当時、半導体レーザーのパワーが足りなかったために、ラマン増幅では数dBの光利得しか得られませんでした。そこで、ラマンの励起用の光源をエルビウムに使ってみたら良いのではないかとある日思いました。そしてエルビウムで試したところ、ゲインが10 dBくらいボンと出てきました。それで上手くいきました。要するに温故知新的な組み合わせが重要です。

研究開発に携わる人は、自分のアイデアのどこが新しいか、周りのものと何が違っているかということを頭の中で客観的な評価ができないとだめです。自分を高いレベルにおく客観的な評価ができないと良い仕事はできません。自分のやっている仕事にすぐ満足するのではなく、もう少し良い方法があるのではないだろうかとか、そのためにはこの技術と組み合わせてみようという意識が重要です。研究の位置づけや意義を自分の中で明確にして、それによってどういうインパクトがあるか、世の中にどう貢献できるかを考えれば、おのずとやるべきことが分かってきます。研究者というのは安住の地はないので、いつも考えていることが大事です。

――本日は有り難うございました。