

◆平成 28 年度 第 6 回（通算第 60 回）蔵前ゼミ 印象記◆

日時：2016 年 10 月 21 日（金）

場所：すずかけ台 B223 講義室

非常識を常識に：先端技術を世の中の課題解決に昇華させるために

萩本和男（1978 電気電子，1980 電子物理 MS）NTT エレクトロニクス（株）社長

科学の世界の“^{ひとめぼ}一目惚れ”がセレンディピティー（Serendipity）らしい。出会った瞬間に恋に落ちるように、出会った瞬間にその理論や技術の価値を見抜くことができる力のようだ。講演冒頭の魔法のようなシーン（DVD の上映）^{（注1）}が目に焼き付いているに違いない。竹トンボのようなものと軽く考えていたドローンが、今や自律的に、まるで運動選手のようにボールを追いかけて打ち返したり、ワイン・グラスを載せ その中身をこぼさないどころか揺らさないで空中回転したりできるのだ。子供の頃に、手のひらに棒や傘を立ててバランスをとって遊んだ人も多いだろう。この微妙な「バランス棒ゲーム」をドローンが難なくこなすのも驚きだった。ドローンを初めて見たときに竹トンボを連想した私には技術的 Serendipity はなかったことになるが、そんな私でも どうしてそんな芸当ができるのか知りたくなった。ドローンを操っているのは魔法使いではなく、論理的なアルゴリズムで、その指令に合わせた動きを支えているのが各種センサーやコンピュータや今回の主題である通信技術の進歩だ。

萩本さんは通信技術分野で画期的な仕事をした。古くは狼煙・半鐘^{のろしはんしょう}、そして 19 世紀以降の電気通信の時代を経て、私たちは今 光通信で結ばれようとしている。萩本さんが卒業研究で所属した電磁波工学の研究室では、“マイクロ波回路”の研究から“光回路”の研究に舵を切ろうとしていた。“マイクロ波”も“光”も電磁波には違いないが、周波数が大きく違うことによって全く異なった振る舞いをする。しかし、マイクロ波回路で確立した技術（進行波と反射波を振り分ける技術など）は光通信分野を切り開く際にヒントになるはずだ。これが萩本さんのいう「アナロジー融合」の概念だ。借りてきて組み合わせることにより斬新なアディアが生まれ

るとすると、努力さえすれば大きな仕事ができる。類似分野の成功例を参考にするやり方ならば誰にでもできそうだが、常に問題意識を持って努力している人にのみ、アナロジー融合が起きるようだ。

光信号を光ファイバで長距離伝送するためには、途中で減衰した信号を増幅する必要がある。従来は、光信号を一旦 電気信号に変え増幅していたが、この方式ではコストが大きな問題となっていた。萩本さんは、光のまま直接増幅できる光増幅器を開発し世界で初めて長距離伝送実験に成功した。光通信のコストは一挙に $\frac{1}{1,000}$ 以下になり、今や世界中の光通信システムにおいて必須の装置となっている。萩本さんのキャリアを辿りつつ、萩本さんが如何にしてこれを成し遂げたか、日頃の心構えを含めて、見てみよう。

萩本さんのキャリア

<東工大時代>

光^ひ非^ひ相^{そう}反^{はん}回路の設計 & “逆らい方”の学習

萩本さんは愛知県豊橋市で育った。学部時代は電気電子工学科に所属し勉学に励むとともに、卓球部で汗を流した。練習場だった体育館は、蒲鉾^{かまぼこ}形で学生に親しまれていたが、今はない。大岡山駅の再開発（1990～1997）の際に土地を東急に譲ることになったからだ（実際には換地）。跡地には東急ストアが建っている。旧体育館の代わりに東急が 20 億円近くをかけて作ってくれたのがグランド脇にある現在の体育館で温水プールまで備わっている。

卒業研究は内藤喜之（よしゆき、後の学長、1936～2011）研究室で、電磁波^{（注2）}としての光回路（光サーキュレータ・光アイソレータ）の研究をおこなった。難しそうなテーマだが、ここでは次のようなイメージが掴めればよしとしよう。光ファイバ通信の効率と信

頼性を高めるためには、順方向には光を通すが逆方向には通さない部品が必要になる。この開発に挑んでいたのが内藤研究室で、磁石によって光の偏光面が回転するという磁気光学効果（ファラデー効果）を利用するアプローチを考えていた。内藤さんの目指していたものは卒研究生には難しかったので、萩本さんは少しやり方を変えた。見かけ上は先生に逆らったことになるので少し気まずい思いもあったが、この時の経験（逆らい方の学習）が社会に出てからの人間関係の構築に役立ったそうだ。

修士1年生（M1）の時にドイツを旅行し、3車線のアウトバーンをいきなり120キロ（km/h）で走った。驚異のスピードだが、これで驚いてはいけない。追い抜き車線では、200キロを出している車も珍しくなかった。その一方で、トラクターも走っていたそうだ。この時のカルチャーショックは忘れられないようで、アウトバーンを走るとポルシェの設計思想がよく分かるとのことだった。講演の

キーワードに挙がっていた『世界で働く醍醐味と苦勞』につながる洗礼だったかもしれない。

M2の時に、父が突然倒れしばらく危篤状態が続いた。病院から、大学に通った日もある。萩本さんの仕事は後輩の水本哲弥（現 副学長、教育担当）らに引き継がれて実を結び、「光非相反回路の先導的研究」として高く評価されている。そういえば、この蔵前ゼミの後期分が教育改革のあおりで消滅しそうになっていた時に、新教育システムの第3クォータに組み込まれ存続できたのは水本さんの助力のお陰だ。

光通信で世の中を変えたい。 萩本さんが、そう思うようになったのは、本学での教員との出会いと両親の苦勞を見ていたからだそうだ：(1) 指導教官だった内藤さんは「マイクロ波も光も同じ電磁波（図1）なのだから」とマイクロ波で確立した基盤を光デバイスの開発に応用しようとしていた。



図1. 電磁波のスペクトル。光通信に使われている光は赤外線（波長 $1.55 \mu\text{m}$, 193.1 THz ）で目には見えない。光ファイバの中は明るく輝いているように思うが、実は暗いのだ。M (mega) 10^6 , G (giga) 10^9 , T (tera) 10^{12} , P (peta) 10^{15} , E (exa) 10^{18} .

このコンセプトに感化されるとともにライフワークの大切さに気づき、萩本さんも「長期的な目標を持とう」と考えるようになっていた。(2) 末松安晴教授(後の学長, 2015 文化勲章)が書き上げたばかりの教科書『光ファイバ通信』(オーム社, 1976, 現在は改訂4版)を使っておこなっていた講義に触発され、これからは光通信の時代になると確信していた。さらに(3)「今から思えば妄想のような話だが…」との注釈つきだったが、東京一極集中のあおりで地価が上がり、両親が家を持つのに苦労していたので、光通信を浸透させ、諸悪の根源である東京一極集中を打破したいという思いに駆られていた。

こうして、光通信で世の中を変えるために臨んだのが、NTTの面接だった。東京一極集中の打破や電磁波としての光周波数のフル活用などを目指すと熱く語ったが、「究極の目的は？」と聞かれ、勢い余って「テレポーテーション(瞬間移動)」と答えた。「どうやって?」、「……」というわけで、うまく答えられず大技は決めそこなったが、近未来から遠未来のことまで考えている点が高く評価されたのだろう、合格通知が届いた。

<電電公社(1985年に民営化)–NTT時代>

光増幅器の開発 & 高密度波長多重伝送技術の確立

思惑外れて研究へ : 光通信の研究よりは寧ろその普及事業に関わりたと思っていたが、入社早々(1980)、「事業化の前に、まだ解決しなければならない技術的課題が残っている」ということで横須賀電気通信研究所に回された。ここで大容量光通信システムの研究開発に取り組むことになるが、それが紫綬褒章につながるホームランになるとは! 萩本さんは自分が思う以上に研究者に向いていたのだ。少し専門的になるがフォローしてみよう。

光を光で増強 そんな魔法のようなことできるの? : 電子の力を借りればできる。具体的に説明しようとする量子化学の世界に入り、案内役の私自身が迷子になりそうなので、ここでは詳細は省くが、**注3**で図解を試みるので参照されたい(後掲の図5)。

レーザー(Laser: **light amplification by stimulated emission of radiation**)はフルネームの通り、特定の波長の光を増幅する装置だ。波長は使用する元素に特有な“電子の励起状態”で決まるので、適当な元素を選ぶ必要がある。T. H. Maiman(1927~2007)によって、ルビー($\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Cr}^{3+}$)を用いて固体レーザーが作られたのが1960年。その翌年、Elias Snitzer(**注4**)(1925~2012, American Optical社、後にPolaroid社を経てRutgers大学教授)がガラス・レーザーを開発し、1964年にはネオジム(neodymium, Nd^{3+})添加ガラス・ファイバで、波長1.06 μm の光を増幅できることを報告した(**注5**)。この仕事は今からみれば画期的だが(**注6**)、当時はレーザーの分野以外で大きな話題となることはなかった。早過ぎたのだ。1964年といえば、東京オリンピックのあった年で私たちには馴染み深い。

その頃、もう一つ重要な研究がなされていた。それまで、光通信に使える程にガラスの質を上げるのは不可能だとする悲観論者が少なくなかったが、英国のStandard Communications LaboratoriesのCharles Kao & George Hockhamが数年にわたる丁寧な検討の結果、光がガラス・ファイバを伝わる際に減衰するのは、ガラス中の不純物のせいゆえ、ガラスの純度を上げさえすれば光通信が十分可能であることを理論的に示した(**注7**)。それでも光通信の研究開発が実用化を見据えて本格化するには、しばらく時間がかかった。

この間に、(1)通信に適した低減衰(超高純度石英ガラス)の光ファイバや(2)損失最小となる通信用の光(波長が約1.5 μm)を発する半導体レーザー(**注8**)等が次々と開発され、部分的あるいは試験的に光通信ケーブルが敷設され始めた。しかし、減衰を極力抑えたとしても長距離通信のためには途中の中継点での信号の増幅は避けられず、光信号を一旦電気信号に変えて増幅した後に再び光信号に変えるという複雑な方法をとっていた。この変換器が高価で、光ケーブルの高速・高容量化の度に莫大な交換費用がかかり、普及の大きな壁となっていた。

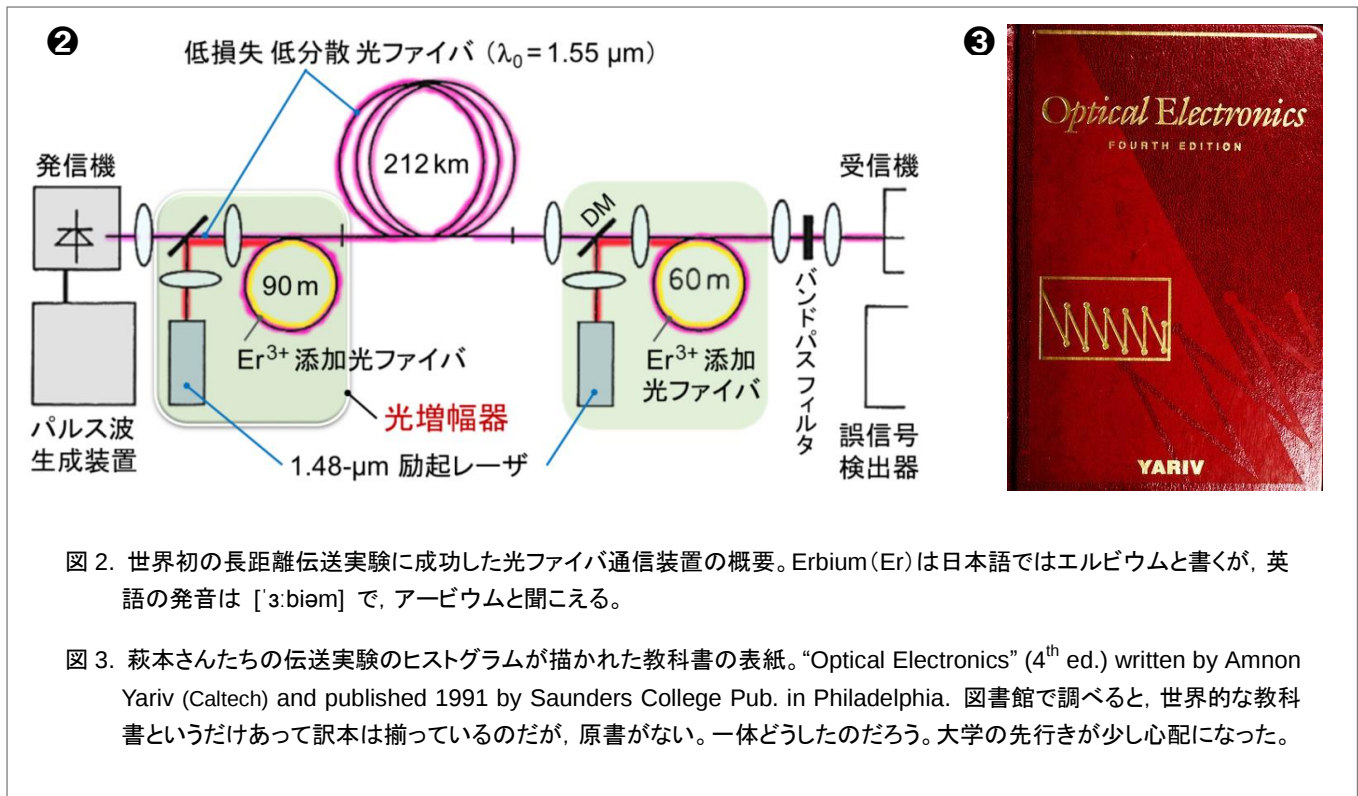


図 2. 世界初の長距離伝送実験に成功した光ファイバ通信装置の概要。Erbium (Er) は日本語ではエルビウムと書くが、英語の発音は ['ɜːbiəm] で、アービウムと聞こえる。

図 3. 萩本さんたちの伝送実験のヒストグラムが描かれた教科書の表紙。“Optical Electronics” (4th ed.) written by Amnon Yariv (Caltech) and published 1991 by Saunders College Pub. in Philadelphia. 図書館で調べると、世界的な教科書というだけあって訳本は揃っているのだが、原書がない。一体どうしたのだろう。大学の先行きが少し心配になった。

希土類元素 エルビウム (Er³⁺) の威力 : この壁が壊れ始めたのが 1980 年代後半で、萩本さんの貢献も大きかった。光を光のままで増幅する“光増幅器”のプロトタイプは上述のように Snitzer によって試作されていたが (注 5, 6), 当時は超高純度ガラスを作る技術がなかったためにガラス・ファイバの“透明度”が悪く、光を遠くまで通せなかった。光通信はまだ夢の夢だったのだ。それから 22 年後の 1986 年に David Payne (Southampton 大学) と Emmanuel Desurvire (Bell 研究所) が Snitzer の発明を応用して光増幅器 (Er³⁺-doped optical fiber amplifier, EDFA) を開発したと発表した。しかし、まだ満足できるレベルのものではなかった。

丁度このころ、萩本さんたちは光増幅器用の半導体レーザ (Laser diode, LD) を試作していた。波長は 1.48 μm で、エルビウム (Er³⁺) を添加したガラス・ファイバに合波器を介して照射し、(誘導放出現象を利用して)、1.55 μm の通信光を増強することを狙っていた (エネルギー的には、1.48 μm > 1.55 μm)。同じ研究所内の別のチームが解散するという残念なことが起こったが、これが萩本さんたちに幸運をもたらした。そのチームは一時期待されたリング・レーザの研究開発を行っていたが、半導体レーザの急速な発展によって、「もう勝ち目はない」と判断しプロジ

ェクトを閉じることにしたのだ。彼らは、Er³⁺ を薄く溶かし込んだ石英ガラス・ファイバ (150 m) を持っていた。「欲しければどうぞ」というので貰ってきて、萩本さんたちが設計していた光増幅装置に組み込んだ (図 2)。動作確認をすると見事に光が増幅されて出てきた。この光増幅器を使うと一挙に 212 km も無中継で信号を送ることが出来ることも分かった。1989 年のことで、世界初の長距離伝送実験に成功したのだ。急いで国際会議 (注 9) (Optical Fiber Communication Conference 1989) で報告した。萩本さんたちの結果は、光通信の分野でバイブルとなっている洋書『Optical Electronics』の第 4 版が出版される時に、タイミング良くその表紙の図柄として採用された (図 3)。「学会賞や紫綬褒章より、教科書の表紙になったのが嬉しい」というのは研究者らしいコメントだ。

鉄則: 2 等分してはいけない。 成功の裏には、もう 1 つ萩本さんが大事にしている流儀があった。その場面を再現してみよう。上記のように店じまいをしようとしていた Ring Laser 開発チームから 150 m の光ファイバ (Er³⁺-doped optical fiber) を貰ってきて実験を始めようとしていた時のことだ。萩本さんたちの励起用レーザのパワーが少し弱かったので、光ファイバを短く切って使うことにした。

担当者が真ん中で切断して 2 つにしようとしたので、萩本さんは慌てて止めた。「2 等分したら、片方がダメなら、残りもダメだろう。黄金分割といわないまでも 3:2 ぐらいに切ろう」ということで 90 m と 60 m の 2 本の光ファイバができた。まず、長い方を試してみると、これがピッタリでパワー・アンプ (Power amplifier) 役を果たしてくれることが分かった。しかも、短い方がプレ・アンプ (Pre-amplifier) になるという願ってもない結果になったのだ (図 2)。

萩本さんたちのグループは、その後も先導的役割を果たし、ラマン増幅技術を組み合わせることでテラ (10^{12}) ビット級の増幅帯域と低雑音特性を同時に実現し、高密度 波長分割 多重通信システム (Dense wavelength division multiplexing) の設計法を確立していくことになるが、ここでは深入りしないことにする。以下では、萩本さんが下表のように部長や研究所長、そして最近では社長として研究開発事業を率いる際に拠り所としてきた考え方を辿ってみよう。

1980	本学 理工学研究科修士修了
1980	電電公社(現 NTT)横須賀 通研
1999	NTT コミュニケーションズ 部長
2000	NTT 未来ねっと研究所 部長
2005	NTT 先端技術総研未来ねっと研 所長
2008	IEEE フェロー
2009	NTT 先端技術総研 所長
2013	NTT エレクトロニクス 社長

研究所から富士山を眺めながら考えたこと

先端技術とかけて何と解く? 山頂の雪と解く。その心は? 遠くから見つめるにはいいが、いざ冬山に登るとなると大変だ。山頂の雪が夏には溶け大地を潤すのも、先端技術は先端であり続けることはなく、すぐ陳腐化し普通の技術になって社会に浸透していくことと相通じる。研究開発にはタイミングとスピードが大事なことを代弁してくれている。謎かけのようになってしまったが、萩本さんは、先端技術の例えに富士山をよく使う。約 20 年

間、富士山に見える研究所 (図 4) で仕事をしたが故の発想で、分り易い例えだった。



図 4. 萩本さんが研究開発をおこなった NTT 横須賀電気通信研究所(現 横須賀研究開発センター)。背景は富士山。研究所の庭にある石碑には、1948 年の創設時に初代所長の吉田五郎(1907 年生れ, 64 歳で没)が掲げた「知の泉を汲んで研究し実用化により、世に恵を具体的に提供しよう」という言葉が刻まれている。

冒険者と山登り: 2 つの登山ルートがあるとしよう。先に頂上に達するのに、急峻なルートに挑むか、比較的なだらかなルートを駆け上がるか、どちらを選ぶべきか。萩本さんならば、どちらも取らず中間の道を行くそう。既にできているルートを登っても冒険者にはなれない。それに、急峻ルートと緩慢ルートが確立しているならば、中間ルートも拓けるはずだからだ。冒険者は自分のことを冒険者とはいわないそう。入念に下調べをし、安全に関しては決して賭けをしない。むしろ臆病な側面も大事なようだ。

無謀なことは部下には決して勧めない(無謀なことはするな!とまでは言わないが、無謀なことは勝手にやればいいという考えらしい)。ノーベル賞を取るには、野垂れ死にの死屍累々を尻目に仕事をしなければならぬだろうが、製品化を目指した開発研究では、組織だって無謀な試みをするわけにはいかないのだ。もちろん実用化研究でも限界追求(急峻ルートの縁; ここから先に行ったら転落するという点の見極め)はするが、そのようにしてつかんだ崖っ縁を登攀するのではなく、安全のためのマージンを確保して少し内側を進むのが萩本流のようだ。精神の高揚だけでは如何ともし難い現実の壁 (Physical limitation) を正しく認識するのもリーダー

一の役目ということだろうか。大学の研究室の運営においても、このマージンの取り方は難しくなっている。

時代の流れの中で今の立ち位置を理解する

情報通信関係の科学技術の進歩を辿ってみると、

(1) 19世紀までは「物理の時代」で、古典力学(力学・電磁気学)や量子力学が発達した。情報通信の視点からは、準備段階ともいえるべき『知識集積』の時代だった。(2) 20世紀は「エンジニアリングの時代」で、内燃機関、自動車、飛行機、コンピュータが登場ないしは飛躍的に進歩した。情報通信的には、実際に恩恵にあずかれる『経験』の時代といえる。(3) 21世紀は「アプリケーション」の時代で、Google, Facebook, DeNA, クックパッドなどが生活の隅々まで入り込み、情報通信の観点からは『利用』の時代になっている。より便利で面白いサービスを提供するために、時代はクラウド・コンピューティングそしてエッジ・コンピューティングに向かっている。萩本さんはこのように説明した後、新約聖書の1節を引用した:「新しい酒は新しい革袋に」^(注10)。私にはピンと来なかったが、古い体質に固執するな!ということだろう。上記1~3に相当する“革袋”は、それぞれ(1)個人、(2)組織、(3)コミュニティになるようだ。

多くの人は基本的欲求として、(i) 他^{ひと}人と話をし繋がりたい、(ii) いろいろなことを知り理解したい、(iii) あらゆる物を思い通りに動かしたいという願望を持っている。i と ii は電話やインターネットや人工知能によって実現し、今私たちは、IoT (Internet of things) やエッジ・コンピューティングという言葉が飛び交う iii のステージにいる。IoT って何? と思っていた人も萩本さんの説明で納得できたのではないだろうか。

問題を解くカギはどこにあるの?

これが一番知りたいところだろう。上記歴史の流れを見ると技術の進歩は非連続的 (Quantum leap) で、ADHD 的な天才^(注11) の出現に負うところ大だが、凡人でもやり方さえマスターすれば革新的技術を開発できると教えて貰った。1 つは冒頭で紹介した

アナロジー融合で、もう1つは思考範囲を制限しないことだ。夜道で鍵を落とすと、街灯の光の範囲のみを必死に探そうとするが、そこにはもともと無いかも知れないのだ。これは自戒を込めてということだったが、「ひととおりに調べて答えが見つからなかったら、諦めないで、暗闇に飛び込む勇気を持とう」が結びの言葉だった。

(注1) Raffaello D'Andrea, “The astounding athletic power of quadcopters”, TEDGlobal 2013.

https://www.ted.com/talks/raffaello_d_andrea_the_astounding_athletic_power_of_quadcopters

(注2) 電磁波: 空間の電場と磁場の変化によって形成される波(波動; 量子力学的には光子と呼ばれる粒子)。波長によって性質が異なり、光(赤外線、可視光線、紫外線)や電波などと呼ばれる。

(注3) 誘導放出による光増幅: 電子の励起(光によるエネルギーの付与)とその解消(エネルギーが光に変わる)を光でおこなうことができる。下図5のように、例えば希土類元素 Er を添加した石英ガラスファイバに外部から励起光を当てると電子が励起され準安定状態にしばらくとどまる($^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$)。ここに(エネルギーがほぼ同じ)通信光が入ってくると電子の励起状態は解消され光が放出される(誘導放出)。誘導放出では放出光の波長のみならず位相も通信光と同じになるので、光増幅器を作ることが可能になる。◆エルビウム(^{68}Er)の場合、電子は原子核の周りの次のような軌道にある(カッコ内は電子数で1つの軌道に2個まで入る): 1s (2), 2s (2), 2p (2, 2, 2), 3s (2), 3p (2, 2, 2), 3d (2, 2, 2, 2, 2), 4s (2), 4p (2, 2, 2), 4d (2, 2, 2, 2, 2), 4f (2, 2, 2, 2, 2, 1, 1), 5s (2), 5p (2, 2, 2), 6s (2)。 $^{68}\text{Er}^{3+}$ では、6sの電子2個と4fの電子1個が抜けてイオン化していると考えられるので4f (2, 2, 2, 2, 1, 1, 1) になっていると推定される。

【参考】(1) 元素の電子配置:

<http://www.din.or.jp/~itoh01/Chemical/AtomicOrbitalsTable.htm>; 太田 充恒, 「希土類元素の物理化学」, https://staff.aist.go.jp/a.ohta/japanese/study/REE_ex_fc2.htm。(2) Er^{3+} のエネルギー準位等に関する解説: 田部 勢津久, 「光ファイバアンプの原理, 開発の現状と展望」, New Glass 21, 47-56, 2006。

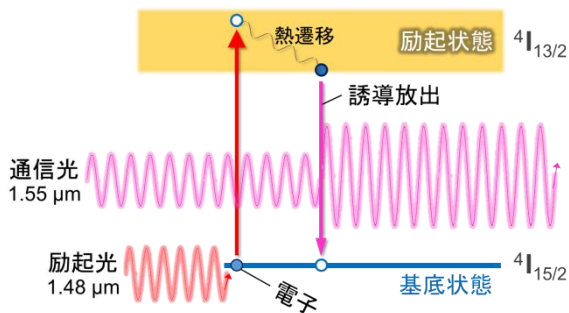


図 5. 原子による光の吸収と放出及び光増幅の原理。Er³⁺ に励起光が当たると電子が励起される。そこにほぼ同じエネルギーを持つ通信光が当たると、励起状態が壊れ、電子が安定な基底状態に戻る。この時にエネルギー差に相当する光(通信光と同じ波長で同じ位相の光)が放出され、結果として通信光が増幅されたことになる。基底状態のエネルギー準位 ($4I_{15/2}$) 及び励起状態のエネルギー準位 ($4I_{13/2}$) に関しては注 3 の参考文献を参照のこと。

(注 4) Snitzer さんの人柄を知ることができる滞在記：田部 勢津久，「Rutgers 大学滞在記」，セラミックス **32**, No 7, 567–569, 1997; ニューガラス **12**, No.4, 50–54, 1997。

(注 5) E. Snitzer, Optical maser action of Nd³⁺ in a barium crown glass, *Phys. Rev. Lett.* **7**, 444–446, 1961.

Charles J. Koester and Elias Snitzer, Amplification in a fiber laser, *Applied Optics* **3**, 1182–1186, 1964.

(注 6) 米国電気電子学会 (IEEE アイ・トリプル・イー) が顕彰する歴史的偉業 “Milestone” に認定されている。記念碑は American Optical 社の工場があった近くの公園に設置されている (Southbridge, MA, USA)。Milestone の文面: First Optical Fiber Laser and Amplifier, 1961–1964. In 1961, Elias Snitzer and colleagues constructed and operated the world's first optical fiber laser in the former American Optical complex at 14 Mechanic Street. Three years later this team demonstrated the first optical fiber amplifier. Fiber lasers that can cut and weld steel have since become powerful industrial tools and fiber amplifiers routinely boost signals in the global optical fiber network allowing messages to cross oceans and continents without interruption.

(注 7) E. K. C. Kao and G. A. Hockham, Dielectric-fibre

surface waveguides for optical frequencies, *Proc. IEE* **113**, 1151–1158, 1966. (Republished in *Proc. IEE* **133**, Pt. J, 191–198, 1986.

(注 8) 本学元学長の末松安晴 (名誉教授) は、光ファイバの損失が最小となる波長の光を発生し、かつ高速変調時に波長変動が抑制できる半導体レーザの開発に成功し、大容量長距離光ファイバ通信に道を拓いた (日本国際賞 2014, 文化勲章 2015)。解説「わが国の光ファイバ通信研究」, 科研費 NEWS Vol. 3, 18–30, 2015 & Vol. 4, 18–22, 2015。

(注 9) K. Hagimoto, K. Iwatsuki, A. Takada, M. Nakazawa, M. Saruwatari, K. Aida, K. Nakawaga, and M. Horiguchi, "A 212 km non-repeated transmission experiment at 1.8 Gb/s using LD pumped Er³⁺-doped fiber amplifiers in an IM/direct-detection repeater system," *OFC'89 PD-15*, 1989.

(注 10) 『新約聖書』マタイ伝第九章の一節に、「新しき葡萄酒を古き革袋に入れることは^{なら}為じ。もし^{しかり}然せば袋張り裂け、酒ほとばしり出て袋もまた^{すた}廃らん。新しき葡萄酒は新しき革袋に入れ、かくて^{ふた}両つながら保つなり」と記されている。現代語訳：新しいぶどう酒 (ユダヤ教に代わるキリスト教の教え) は古い革袋に入れてはいけない。そんなことをすれば革袋が破れて酒が漏れるし、袋もだめになる。新しいぶどう酒を新しい革袋に入れれば、ぶどう酒も袋も両方ともいい状態に保たれる。

(注 11) ADHD (attention deficit hyperactivity disorder): 注意欠如・多動症。アインシュタイン、エジソン、フランクリンなど伝記でおなじみの人たちも ADHD だったと推定されている。ADHD の特徴、すなわち「興味があることには異常なほど集中し、好奇心に満ち、エネルギーギッシュであること」は、その集中力・好奇心・活発さの矛先が社会的に価値のあるテーマに向かった時には大きな長所になる。参考：http://adhd.co.jp/otona/shoujou/manga.html

謝辞：Er³⁺ のエネルギー準位等の量子化学に関しては、渋谷一彦名誉教授に教えを乞うた。

(東京工業大学 博物館 資史料館部門 特命教授 広瀬茂久)