

レーザーコンパス

レーザー25周年

霜田光一*

Koichi SHIMODA*

レーザーの発明以来、今年でちょうど25年になる。いわばレーザーと光学技術との縁組によって生まれたレーザー家が銀婚式を迎える。レーザーの研究は漸く成熟期に入り、初期の少壮研究者が世代交代期に達したので、研究の回顧録や裏話があちこちに書かれている。そういう筆者もこれまでにレーザーやレーザーの研究の思い出を数回書いたことがあるが、この際あらためて、レーザー発明の前後にわれわれがレーザー研究やレーザー応用の発展をどのように予想していたのか、記録をたどってみよう。次世代のレーザー研究の発展のためにいくらかでも役立つならば幸である。

レーザーやレーザーが発明された頃、わが国は戦後の経済復興の途上であった。電気冷蔵庫は漸く普及してきたが、エアコンもマイカーもカラーテレビもまだ時代の時代であった。1956年にFulbright交換教授として東大に滞在したTownesは、電気学会と電気通信学会共催の講演会で、レーザーの将来について次のように述べている¹⁾。

「アンモニア発振器は既に成功しているので周波数標準など二三の工学的応用が考えられている。そのほか、いろいろの分子・原子装置が将来、特に周波数の高いマイクロウェーブで用いられるようになってゆくであろうが、正確な予想は容易でない。しかしながら、私は無線工学で使われるすべての回路素子の特性が、原子や分子によって作れるということを指摘しておきたい。」

さらに岩波書店の座談会では、「マイクロ波技術、つまり（レーザーのような方法で）強い単色光源を波長1mm以下や0.1mm以下まで得られないという理由は何もないでしょう。」と述べている²⁾。

最近Townesは量子エレクトロニクスの研究途上の多くの躓きについて回想³⁾を書いている。彼は、レーザーの研究を始めた頃はその周波数安定度や低雑音を予想してはしないで、短波長を発振させることが主な動機であり、レーザー応用の分光学的研究を目指していたということである。

ところで筆者は1943年に卒業研究では熊谷寛夫先生の指導で計数管の放電機構を研究し、卒業後終戦までの2年間、海軍のマイクロ波レーダーの研究に参加した⁴⁾。そして戦後はマイクロ波技術を物理学に導入したマイクロ波分光学的実験をしていた。1952年からは原子時計の研究も始めていて、1953年にTownesがレーザーを研究していることを知った。そこで1954年にレーザー成功直後に彼の研究室に入ったとき、レーザーの周波数標準への応用と雑音の研究を主に分担した。

1955年帰国後、筆者の研究室で大学院学生と行なった多くの研究はマイクロ波やラジオ波の分光学的実験と周波数標準としてのアンモニアレーザーであった。そのほかに、ミリ波やサブミリ波をレーザーで発生しようという実験を高見道生君と試みていたが、波長4mm以下の実験は行き悩んでいた。レーザーが発明される少し

*慶応義塾大学理工学部 (〒223 横浜市港北区日吉3-14-1)

*Faculty of Science & Technology, Keio University (3-14-1 Hiyoshi Kohoku-ku Yokohama 223 Japan)

前に雑誌エレクトロニクスの1960年3月号に筆者は次のように書いている。

「超マイクロ波、さらに赤外線や可視光の発振器や増幅器も盛んに研究されている。これらが完成すれば、今までの光通信や赤外線応用と違って、位相や周波数を制御できるので、光を使って一度に数百チャンネルものテレビを同時中継したり、超々高速度の電子計算機（原子計算機？）を作ったりすることも可能となるに違いない。可視光よりもさらに高い周波数になると、自然放出の確率が大きくなっていくので、量子エレクトロニクス的な使い方は困難になる。しかし、…」

この年の夏に Maiman によるルビーレーザーの成功が報道された⁵⁾ 1960年8月8日の朝日新聞の科学特集には、レーザー応用のいろいろの可能性について Maiman の話を中心にして次のように出ている。

「レーザーは新しい電波工学の分野を開くだろう。(中略)。レーザーは5億メガサイクルの電磁波(波長0.6ミクロン)を作ることができる。(中略)。そして応用の実例としてレーダーやテレビをあげている。

この“原子電波光”は、これまでのレーダー電波よりも指向性が強く、波長が短いので、レーダーに使えば、きわめて鮮明な映像を得ることができる。テレビやラジオとして使う場合は一般聴視者用というより、むしろ特殊用途にむくものと考えられる。(中略)。また、レーザーは宇宙通信にも使われるようになるだろう。(中略)。

この“原子電波光”は非常に明るいので、長く照らされると、その部分は熱をもってくる。この熱もいろいろの応用分野をもつようだ。たとえば、(中略) いろいろの物体の表面をこの光で変質することもでき、工業的な表面処理法として利用されるかも知れない。(中略)。そのほか、病気の治療などにも利用できるかも知れないし、逆に“ひと殺し”にも使えるかも知れない。小説などによく出てくる“殺人光線”だ。レーザーをこのような用途と結びつけたのは、

アメリカの新聞記者たちのようである。

また、1960年10月22日の東京新聞は、ベル電話研究所で Schawlow らが Maiman に続いてルビーの“光学的レーザー”の実験に成功⁶⁾ したことを詳しく報じて、「まだ実験段階にあるこの程度の装置ですでにこれほどのふしぎな力を持つ光線を新“レーザー”は生んだのだから、将来の可能性は大きい。もちろん宇宙間の通信には雑音がないのだから、電波にかわる最有力候補とみられている。」と結んでいる。

同年の電子科学11月号に出た解説“量子エレクトロニクスによる発生と増幅”において、筆者はレーザーのことを次のように書いている。

「高周波レーザーが実用化されれば、赤外線を周波数変調したり、スーパーヘテロダイン検波したりすることなど、電気通信の技術が光に応用されるようになる。高周波レーザーから発生される赤外線や光は殆んど完全な平行光線である。従って、よいレンズを使えば、波長と同程度の小さな点に集めることができる。これは輝度の著しく高い光源である。出力を10W波長を1ミクロンとしても 10^9 W/cm²になる。しかもこれが100サイクル以下の帯域幅にある。これらの点が、物理、化学あるいは天文学の研究に種々応用されるにちがいない。赤外線の高周波の強電界(数10万V/cm)や強磁界での物性研究から何が生れるか、われわれはまだ何も知らない。」

次に12月29日の産経新聞は1960年のエレクトロニクスの進歩を筆者らに取材してまとめた記事で、「この光レーザーは光を電波の技術でいじれるようにしたもの。(中略)現在の通信界に革命的影響をおよぼすものとして注目されている。」と報じている。

さらに、雑誌エレクトロニクスの1961年2月号には次のような筆者の解説がでていますが、この原稿は1960年10月～11月に書かれたものである。

「(前略) 赤外線や光線の周波数での強い電界や磁界を用いて、いろいろの物質を化学的に研究して行くときに、どのような新しい現象が

見出されて、それらがまたどんな新しい応用を生むかは誰も知らない。たとえば特定の分子だけを選択的に振動させたり、化学結合を制御したりすることができるかも知れない。またそれらを利用して、赤外線の高周波数で動作する電子計算機の工夫も可能になるだろう。

高周波レーザーでつくられる非常に強い高周波電界を用いて、高エネルギーの電子加速器を作ることができるかも知れない。1 cmあたり10 kWの尖頭出力でも、1 mで2 GeVすなわち20億 eVの加速が可能になるはずである。誘電体の内外の電磁界が関連するモードの共振を用いれば電子の速度と同じ速度で常に加速しながら電磁波が進むようにすることができるが、他の多数の不要のモードを抑えることが困難な問題である。⁷⁾

その後、1960年12月にはベル電話研究所で JavanらがHe-Neレーザーの波長 $1.15\mu\text{m}$ での連続発振に成功したことが1961年2月に発表された⁸⁾。固体レーザーによる大出力のパルス発振と、気体レーザーによる小出力の安定な連続発振とが実現されたので、1961年には、レーザーのいろいろな応用に対する議論や期待はますます高まった。これまで引用したもののほか、レーザー加工、レーザー分光、非線形光学、レーザー計測、生物細胞のレーザー処理などあるが⁹⁻¹¹⁾引用が長くなり過ぎるので省略しよう。

これら多彩なレーザー応用の可能性の中には、レーザー通信のように、多くの人がかかなり以前から考えていて、誰が最初に言い出したのか全く分らないものもある。しかし、レーザー発明の当時、ファイバースコープは内視鏡などにすでに実用化されていたけれども、レーザー光をファイバーの中に通そうという積極的提案はなかった。空気中やガラスの中では光の吸収や散乱が著しいので、宇宙空間や近距離の空気中ではないとレーザー通信は電波通信にくらべて不利である、と25年前には一般に考えられていた。

レーザーの発明当初に、レーザー研究者が期待し、予想した各種のレーザー応用は、人によってかなり重点の置き方が違っていた。レーザ

ーが発明される前に、Townesはレーザーでワット程度までの出力が得られるだろうと予想していたが、kWやMWものパルス出力が容易に得られるようになろうとは考えていなかった。そしてMaimanが数kWのパルス発振に成功した後でも、大出力パルスレーザーの応用にはあまり関心を示さないうで、小出力レーザーの分光や光通信への応用を重視していた。これと対照的に、Maimanはレーザー光のコヒーレンスを軽視していて、レーザー加工やレーザーレーダーなど、パルスエネルギーの集中的利用に将来性があると考えていた。また、Townesと共著で“光および赤外レーザー”という最初の論文¹²⁾を発表したSchawlowは、分光のほかに、通俗的あるいは教育的なレーザーの応用を屢々考えていた。JavanはTownesの弟子であるので、やはり分光への応用に関心をもっていたが、彼はレーザー計測の発展を期待していた。Bloembergenは磁気共鳴や緩和の研究から固体レーザーの研究に進んだ人であるから、レーザーをマイクロ波より短波長の赤外や光にまで進めることには積極的でなかった。そのためレーザー研究への参加は少しおくれて1962年からであったが、磁気共鳴における飽和効果やコヒーレント過渡現象などに先駆的な研究成果を挙げた彼は、非線形光学効果の重要性を誰よりも強く意識していて、非線形コヒーレント光学とその応用の基礎を築いた¹³⁾。

さてこの辺で、25年前に研究者やジャーナリストが出した予想が、その後どのように発展し実現されたかを眺めてみることにしよう。予想された殆んど総べてのレーザー応用は、今では実現され、あるいは実現に向っての研究が盛んになっている。通信、加工、医療、分光、計測などへの応用は、段階的ではあっても着々と進歩して今日に至ったとってよいだろう。しかし、宇宙通信やレーザーレーダーのように、それほど進歩が速くなかった分野もあるし、光コンピューターのようにまだこれからという分野もある。

筆者が最初に提案した化学反応へのレーザー

応用は、1960年代には殆んど進展がなくて1970年代の後半になってから研究が活発になった。レーザー加速器の研究も、漸く最近本格的な検討や実験的研究が盛んになってきている。

一方において、レーザー発明の当初には予想されなかった重要分野もある。レーザーによる高速度写真¹⁴⁾やホログラフィー¹⁵⁾が発表され、注目されたのは1962年以来である。25年前にレーザー光を初めて見た人々は、その細いビームの鋭い指向性や高い輝度に目をうばわれて、わざわざレーザー光を広げて指向性も輝度も悪くする使い方に意義があるとは思いつかなかつたのであろう。

半導体レーザーの発振が成功したのも1962年であったが、その後も半導体レーザーの将来性があり期待されなかったのは、その指向性も出力もスペクトル幅も固体レーザーや気体レーザーに劣るためであった。低温を必要とすることも、半導体レーザーの魅力を減じていた。

当時は固体レーザーや気体レーザーの大出力化や超短パルス化についても、 Q スイッチの提案と実験が行なわれただけで、究極的な追求の努力は殆んどなされなかった。1960年代の前半では、レーザーが発振するかしないかが最大の関心事であって、出力をどこまで上げられるかパルスをどれだけ鋭くできるかというような問題は二の次であった。したがって、レーザー核融合や超短パルス(ピコ秒, サブピコ秒)のレーザーとその応用は、25年前には誰も予想していなかった。今後の発展がますます期待される次第である。

ひと口にレーザー加工といっても、今では、穴あけや溶接のほか、LSIのトリミング、ガラス器の彫刻、洋服生地のカット、金属の表面焼入れ、半導体のアニーリングなど多方面に発展している。レーザー計測にしても、原子分子レベルの計測から宇宙空間の計測まで、とても列挙し切れないほど多種多様な測定が実施されるようになっている。新しいセンサーと光ファイバーとレーザーとによって、将来一層の発展が約束されている。

以上、レーザー25周年を記念して、発明当初には光学的メーザーとか高周波メーザーと呼ばれたレーザーの発生する“原子電波光”あるいは“魔法の光”がいかに注目され、レーザーのどんな発展が期待されていたのかをいろいろな文献を引用して述べてみた。現在、レーザー研究の第一線には、レーザーよりも後から生れた研究者が従事している。25年前と今日とを比較して考えることによって、これからのレーザー研究の飛躍的進歩のための何らかの示唆、ヒント、あるいは刺激が得られるであろう。

引用文献

- 1) C. H. Townes: 電気通信学会誌 **31** -11 (1956) 1.
- 2) C. H. Townes, 山内, 霜田, 小谷, 朝永: 科学 **26** (1956) 567.
- 3) C. H. Townes: IEEE J. Quantum Electron. **QE-20** (1984) 347.
- 4) 霜田光一: 日本物理学会誌, **32** (1977) 800.
- 5) T. H. Maiman: Nature **187** (1960) 493.
- 6) R. J. Collins, D. F. Nelson, A. L. Schawlow, W. Bond, C. G. B. Garrett and W. Kaiser: Phys. Rev. Lett. **5** (1960) 303.
- 7) 詳細は K. Shimoda: Appl. Optics **1** (1962) 33.
- 8) A. Javan, W. R. Bennett and D. R. Herriott: Phys. Rev. Lett. **6** (1961) 106.
- 9) 霜田光一: 日本物理学会誌, **16** (1961) 606.
- 10) 霜田光一: 科学 **31** (1961) 660.
- 11) "Lasers I~IV", in electronics **34** (1961) Oct. 27, No. 43, p. 39; Nov. 3, No. 44, p. 40; Nov. 10, No. 45, p. 81; Nov. 24, No. 47, p. 51.
- 12) A. L. Schawlow and C. H. Townes: Phys. Rev. **112** (1958) 1940.
- 13) N. Bloembergen: Nonlinear Optics (Benjamin, New York, 1965).
- 14) K. Shimoda, T. Yajima and F. Shimizu: Sci. Papers Inst. Phys. Chem. Res. **56** (1962) 201.
- 15) E. N. Leith and J. Upatnieks: J. Opt. Soc. Am. **53** (1963) 1377.