

# 霜田光一に聞く 電波と光の最前線開拓

## ヒアリンググループ

- 桂井 誠 (東京大学名誉教授)  
川上彰二郎 (東北大学名誉教授)  
榊 裕之 (東京大学名誉教授)  
清水 忠雄 (東京大学名誉教授)  
濱崎 襄二 (東京大学名誉教授)  
広井 禎 (物理教育学会名誉会員, 元筑波大学付属高校)  
矢島 達夫 (東京大学名誉教授)  
餘家 清 (海軍電探史研究家)



タウンズ博士と……東大で



マグネトロン・鉱石……戦時研究



メーザー2号機……コロンビア大で

## Mens et Manus (Mind and Hand) の 100 年

### ヒアリンググループ

霜田光一は 1920 年に誕生し、このたび白寿を迎えた。霜田の名は、レーザーやレーザの誕生と直後の発展の経緯に通じた世代には親しいものであるが、若い読者のために、霜田による卓越した業績の中から、あえて 4 つの代表例を紹介するならば、

- ・第二次大戦中の海軍マイクロ波レーダー用の鉱石受信機の開発と実用化
- ・戦後半世紀を超す期間になされた量子エレクトロニクスの前線開拓の研究、特に、
  - レーザーやレーザ発振の基本理論の構築
  - レーザーやレーザの雑音の基本となる STT 理論の構築
  - レーザー分光学の推進とこれを基にしたレーザー周波数の超安定化

の研究が挙げられるのではなかろうか。

霜田の誕生から 100 年間、電波と光の科学と技術は劇的な発展を遂げてきたが、その要所で、霜田は歴史的な貢献をなしている。そうした霜田の主要な研究に関し、連続してヒアリングを行った。ヒアリングの動機は 54 頁に述べてあるが、以下に、幾らかの補足をおきたい。

本ヒアリングのもともとの動機は、霜田が戦時中に集中的に行った海軍のマイクロ波レーダー受信機であり、特に、鉱石スーパーヘテロダイン受信機に必須となる鉱石検波器を実用化し、受信機を高性能化する研究にあった。この研究期間は 2 年弱だが、聞き手の興味と話し手の熱意が高まったため、戦後のマイクロ波研究、レーザーやレーザの誕生と発展への霜田の貢献、霜田の幼少期や学校での経験や教育、霜田の物理教育への寄与についても、話を伺うこととなった。このため、ヒアリングでは、新たな聞き取りメンバーの参加・協力も得て、実現したものである。

このような経緯もあり、戦時中のレーダー研究は短

期間であったが、詳しい聞き取りを行い、連載 2 回分として纏めることとなった。他方、その後の数十年に及ぶレーザーやレーザの研究に関する聞き取りは、紙面の都合もあり、同等の詳しきで扱うことはできず、内容を圧縮し、駆け足になっている。この部分に、主たる興味をお持ちの方々や読者には、ご容赦を願うほかはない。幸い、霜田のレーザーやレーザに関する研究の詳細は、多くのオリジナル論文・解説論文・専門書に記されているので、それらを参考にさせていただきたい。

逆に、本ヒアリングでは、学術論文や専門書には、あまり述べられていない事項をできるだけカバーするように努めている。例えば、聞き手から、「アインシュタインにより誘導放出の概念が提示されてから、レーザーが誕生するまで 50 年を要したのはなぜか」という素朴な疑問が霜田に提示された。これに対し、霜田は「アインシュタインの誘導放出理論では、光（電磁波）の粒子性に基づくフォトン数の増大を論じているが、光（電磁波）の波動性に基づくコヒーレンスに関する問題意識がなかったため、レーザー概念を直ちに誕生させるに至らなかった」ことを指摘している。タウンズや霜田など、少数のマイクロ波の研究者が誘導放出における電磁波のコヒーレンスの問題に気づくことで、レーザーが誕生・発展したのである。

霜田によれば、この誘導放出におけるコヒーレンスに関する問題意識は、レーダー用多空洞マグネトロンにおける発振周波数の安定性と不安定性の問題にそのルーツがあり、その原因でもある空洞共振器のモード間の連成振動と深く関係しているという。特に、アンモニア分子の量子論的連成振動を用いたレーザー発振器の登場の際に、マイクロ波発振のコヒーレンスの重要性が直ちに把握できたことを述べている。1953 年の霜田とタウンズの東京での邂逅は運命的なものであり、1954 年のレーザー誕生の直前に始まったこの霜田とタウンズとの学術的交わりが契機となって、その後多くの研究上の実りを齎（もたら）すことになった。そう

した背景には、両者が共に、戦時中にレーザー研究に従事し、共通の発想に到達していたことによるとの説明には、大いに感銘を受けた次第である。

本インタビューは、霜田の100年に及ぶ活動を記しているが、工学と理学の間を、また、実験と理論の間を、自由に往き来して卓越した業績をあげてきた物理学者・工学者の回想として、味読していただければ幸いである。本ヒアリングを通じて聞き取りグループ全員が等しく感銘を受けたのは、霜田光一の独自の研究スタイルが、物作りのスキル、実験における創意、数理解析の全てにわたる力量によって生み出されてきたことにある。Mens et ManusはMITの教育・研究のモットーであるが、まさに霜田のことをいっているようにも感じられる。

(本書は、「O plus E」誌2018年7・8月号～2019年7・8月号までの連載記事に一部手直しを加えてまとめたものである。)

## 反省と希望

霜田光一

2016年5月以来、3年余りの長期のヒアリングによって、マグネトロン不安定な発振スペクトルの研究を初めとして、幾多の未発表の研究の意義と重要性が顕やかにされた。また、別々に発表されたいくつかの研究の繋がりが見いだされた。

これらについて、ヒアリンググループの刺激と励ましに深く感謝する次第である。

発明王エジソンいわく「失敗は成功の母である」。本書は一連の成功物語のように見えるが、これには表に現れない失敗物語が付きまとっている。一般論としても言えることであるが、優れた研究は発表されたものの何倍もの失敗の上に達成されたのである。

本文では、小学生のとき反射望遠鏡を作るのに失敗したこと、中学生のとき蒸気機関車のボイラー作りに失敗したことが書かれている。前者は1966年、理化学研究所で遠赤外レーザーの反射鏡を作って、 $84.2\mu\text{m}$ の $\text{D}_2\text{O}$ レーザーを発振させるのに役立った。これは世界で最初の、レーザーによる光速度測定に用いられた。後者は、ナトリウムのマイクロ波分光と、メーザーの周波数可変空洞共振器の製作技術に生かされている。戦時中に高感度で安定な鉱石検波器の製作法を確立するまでには、数多の失敗があったことは、いうまでもない。

論文の内容が正しくなかったという恥ずべき失敗もある。これにより、その後の発表は入念に検討して、推敲し改筆している。

最終章は未解決の課題の羅列のようにになっているが、これらは現在なお進行中の研究テーマである。そして、その中には量子技術の基礎概念など、未来に発展する研究の種子が含まれていると思われる。

長寿のおかげで、今も課題の探求と独創的実験を続けている。あるいは、創作活動を続けているので生き長らえているのだろう。さてどちらが本当だろうか？

---

第0章	霜田光一の百年と電波と光技術の進展 －連続インタビューの趣旨とその概要－	1
第I章	小学校から中学・高校, 大学まで －工作に没頭して成長, 戦時下に過ごした学生時代－	5
第II章	戦時中のマイクロ波レーダー研究(上) －鉱石スーパー受信機の開発を中心に－	11
	戦時中のマイクロ波レーダー研究(下) －敗戦が近づく中での空洞波長計開発など－	18
第III章	戦後のマイクロ波研究とレーザーの誕生・発展 －C. H. Townes との交わりを中心に－	25
第IV章	レーザーの誕生とレーザー科学・技術の発展	32
第V章	教育の場で～教科書, カリキュラム研究, 実験教室～	40
第VI章	霜田の物理教育を目的とした振り子実験 －現在も継続中の実験と思索－	47

---

# 霜田光一に聞く電波と光の最前線開拓

## 第IV章

## 【レーザーの誕生とレーザー科学・技術の発展】

### 第IV章の位置づけとその概要

本書は、第0章で述べた通り、マイクロ波・メーザー・レーザーに関し、世界的業績を挙げた霜田光一に、この1世紀の電波と光科学の驚異的發展に関し、経験や思いを語ってもらうものである。第I章では、1920年の誕生から、明星学園小・中学校や旧制武蔵高校でのユニークな日々と東京帝国大学での学びについて聞き取りを行った。第II章では、1943年9月の大学卒業から終戦までの2年間、特別研究生の立場で従事した海軍でのマイクロ波レーダー開発、特に、鉱石検波システムの研究開発と実装について伺った。第III章は、1945年から1960年のレーザー登場前までの15年間に焦点を当て、東京大学でのマイクロ波研究、コロンビア大学C. H. Townes(以下、タウンズ)に招かれて米国で行ったメーザーに関する先駆研究、メーザーの周波数安定化や分子分光の研究をカバーした。この第IV章は、1958年ごろから、霜田が東京大学を定年退職する1981年までの約20年間を中心に、レーザー登場の前後の事情、その後の関連の研究についての話をまとめたものである。特に、レーザー登場直後に行った短パルス光の発生と高速度写真への応用、粒子加速器への応用、周波数安定化と時間標準への展開、レーザーを駆使した分子分光について記している。また、最後に、タウンズを中心に、メーザーやレーザーに関する成果でノーベル賞を受けた研究者達との交わりについて語っていただいた。

#### 1. 序：レーザー誕生前のマイクロ波・メーザー研究の思い出

**聞き手：**第III章では、マイクロ波研究と1954年に生まれたメーザーの研究について伺いましたが、今回は1960年のレーザー登場とその後の研究についてお聞かせ下さい。

**霜田：**まず、戦後間もなく、東大物理教室の工作室で職員に協力してもらい鉱石検波器を作り、2 GHzの波から

高周波を発生させるなどして、研究を進めました。この一連の実験については、「マイクロ波の実験」と題する論文(科学19, p.490(1949))にまとめました。また、朝永振一郎先生が定式化した導波管回路のSマトリックスに関心を抱き、6分枝回路の研究などに活かしましたが、朝永先生と共著で「極超短波理論概説」をリスナー社から1950年に出版したことも良い思い出です。さらに、Na原子の超微細構造に関するマイクロ波分光などの研究が進み、論文を発表したところ、関心をもったタウンズから手紙が来たことはお話ししましたが、光ポンピングの業績で後にノーベル賞を受賞するフランスのA. Kastler(以下、カストレル)からも手紙が来ました。タウンズは1953年に来日し、議論の機会があったことが契機で米国に招いてくれたことをお話し済みですが、カストレルも招いてくれました。米国行きを決断後なので断りましたが、パリに滞在していたら、またちがった展開になっていたかもしれません。

**聞き手：**1954年秋からの米国滞在についてはすでに伺いましたが、ほかに思い出がありますか。

**霜田：**波長約1 cmのクライストロンを私費で購入し、持ち帰りました。ジャンク屋から1本約75ドルで7本買いました。奨学金が4000ドル(当時の為替レートで144万円、大学卒の初任給の100か月分以上)だったので買いましたが、研究に大いに役立ちました。また、文化勲章を受けた作曲家一柳慧さんが、同じニューヨークのInternational Houseに滞在されており、一緒に食事やコンサートに度々行ったのも良い思い出です。

#### 2. メーザーからレーザーへの発展：先駆論文と量子エレクトロニクス会議

**聞き手：**先生は、1955年に帰国後にメーザーの研究を進められましたが、1960年にはレーザーが登場しました。このレーザー誕生の背景についてお聞かせ下さい。

**霜田：**当時のメーザー研究者は、(1)低雑音の増幅器や発

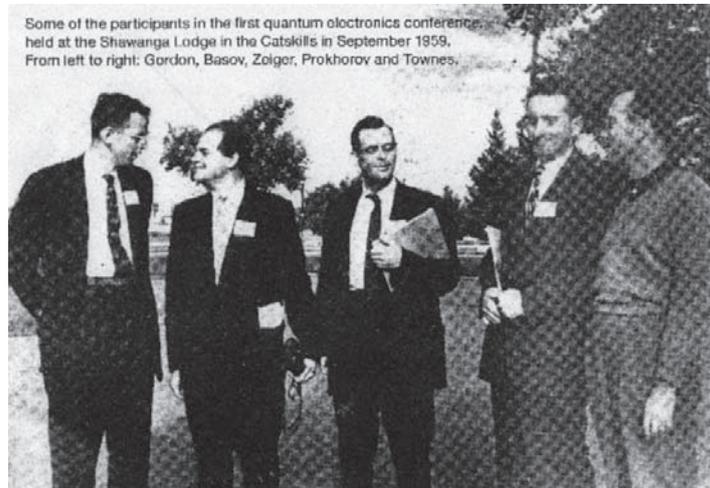


図1 第一回量子エレクトロニクス会議（1959年9月）。左より，J. P. Gordon ，バソフ，H. J. Zeiger ，プロホロフ，タウンズ。

振器として活かす，(2)周波数標準に用いる，(3)発振の波長を短くすることを考えていたと思います。実際，低雑音増幅器は天文観測などに貢献しましたが，波長を短くし，サブミリ波や遠赤外光を出すのは困難でした。レーザーの多くは，マイクロ波領域で発振し，原子にとって重要な赤外域や可視域とは波長が大きく離れているので，原子を用いて，いわゆる光領域で動くレーザー，すなわちレーザーの実現可能性を探ることは自然な流れでした。そうした状況の中，A. Schawlow（以下，ショーロウ）とタウンズは，サブミリ波や遠赤外域を飛び越し，光領域での発振の可能性を理論的に検討し，有望であることを示しました。

光の領域は，光の検出器や窓材料が存在する点で有利ですが，周波数 $\omega$ が高くなると，自然放出確率が $\omega$ の3乗に比例して増し，励起準位に十分な数の電子やその他の励起に関わる粒子を留まらせるのが難しくなる面もあります。しかし，彼らは，ある条件のもとでは量子準位間の双極子遷移の強さも $\omega$ の3乗にほぼ比例して増すため，光領域でもマイクロ波領域でも，発振に必要な条件はさほど変わらないことを見出しました。さらに， $\omega$ が増すと，共振器内の電磁波のモード数が $\omega$ の3乗に比例して増え，モード選択が困難になりますが，2枚の鏡を対向させたファブリーペロー共振器（いわゆる1次元共振器）を使えば，モード数が劇的に減ることも示しています。これらの解析結果を“*Infrared and Optical Masers*”と題する論文にまとめて1958年8月に投稿し，12月に，*Phys. Rev.* 112, 1940(1958)に掲載されました。量子準位間の遷移確率をもとに，必要な励起光強度を計算

し，アルカリ原子の蒸気や結晶中の希土類原子を具体例として，発振の可能性を示したのです。

この論文は，発行前からpreprintの形で，私などレーザー関連の主要研究者に届けられたこともあり，赤外や可視光レーザーへの関心が高まりました。この流れを強めたのが，翌年9月にタウンズが招集した第1回量子エレクトロニクス国際会議です。ニューヨーク市の北，Catskill山域のBloomingburg村のShawanga Lodgeで開かれ，物理学者と電子工学者，実験家と理論家たち約150名が集まりました。日本から私が，欧州からはソ連（当時）のN. G. BasovとA. M. Prokhorovら10名余が参加しました（図1）。量子エレクトロニクス，Quantum Electronics，という言葉はそのころに生まれたものです。従来のElectronicsでなく，分光学者と電子工学者とが協力して新分野の開拓を目指すためのものでした。しかし，これを境に，研究者間の関係に競争的要素が強まったように感じました。

### 3. ルビーレーザーとHe-Neレーザーの誕生の経緯

#### A. ルビーレーザー

**聞き手**：1960年にはレーザーが登場しますが，それまでの1年間にどんな動きがあったのでしょうか。

**霜田**：この会議には，後にルビーレーザーの発明で有名となるヒューズ社のT. H. Maiman（以下，メイマン）も参加し，クロムの濃度が低い，濃度0.05%ほどのピンクルビーを用いたミリ波レーザーの研究を発表しましたが，光レーザーにも関心を抱いていたのです。他方，ショー

## 霜田光一（しもだ・こういち）

### ●略歴

1920年10月5日生まれ，1943年9月 東京帝国大学理学部物理学科卒業，同年10月同大学院特別研究生入学，1948年6月 大学院特別研究生中途退学，同年6月 東京大学理学部助教授，1954年9月～1955年8月 米コロンビア大学博士研究員，1955年5月 理学博士（東京大学），1959年5月 東京大学教授，1960年4月 理化学研究所主任研究員（兼任），1962年11月～1964年3月 米MIT客員教授，1969年7月～12月 独シュトゥットガルト大学客員教授，1981年4月 理化学研究所名誉研究員，同年4月 東京大学名誉教授，同年4月 慶應義塾大学工学部教授，1986年4月 客員教授，1989年4月 非常勤客員教授，1992年3月 退職，1993年4月 東京都立科学技術大学客員教授，1994年3月 退職，2010年12月 日本学士院会員

### ●主な受賞歴

1968年6月 郵政大臣表彰，1974年3月 第14回東レ科学技術賞受賞，1979年10月 米国光学会第9回C.E.K.Mees Medal受賞，1980年6月 第70回日本学士院賞受賞，1990年11月 勳二等瑞宝章受章，1997年6月 レーザー学会功績賞受賞，2008年11月 文化功労者顕彰，2009年7月 レーザー技術総合研究所泰山賞・レーザー功績賞受賞

## 霜田光一に聞く電波と光の最前線開拓

2019年12月4日初版発行

著者 ヒアリンググループ  
発行者 喜多 野乃子  
発行所 アドコム・メディア株式会社  
〒169-0073 東京都新宿区百人町2-21-27  
電話 (03)3367-0571(代)

Advanced Communication Media Co. Ltd., Tokyo, Japan, 2019

ISBN978-4-910636-25-2 C3042 ¥2200E

© Koichi Shimoda 2019

印刷/製本 ㈱ブックフロント

Printed in Japan

・本書に掲載する著作物の複製権・翻訳権・上映権・譲渡権・公衆送信権（送信可能化権を含む）はアドコム・メディア㈱が保有します。

・**JCOPY**＜出版者著作権管理機構 委託出版物＞

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構（電話 03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, E-mail info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。