

## アリゾナ大学 OSC 訪問記

神戸大学 大学院自然科学研究科分子集合科学専攻

小路谷 将範

### My stay at Optical Sciences Center, University of Arizona

Masanori Shojiya

*Division of Molecular Science, Graduate School of Science and Technology  
Kobe University*

平成 11 年 7 月から同年 9 月までの約 2 ヶ月間、神戸大学若手研究者派遣制度により、米国アリゾナ大学 OSC (Optical Sciences Center) の Nasser Peyghambarian 教授の研究室において、光導波路開発等に関わる機会に恵まれた。2 年も前の経験記であり恐縮だが、できる限り当時の記憶を辿り、研究室で行われていた研究の概要等をご紹介できればと思う。

#### アリゾナ州ツーソン市

アリゾナ大学は、アリゾナ州の州都フェニックス市にあるのではなく、その南約 200 km に位置する小都市ツーソン (Tuscon) 市にある。メキシコと国境を接するアリゾナ州は、ご存じのように全米で最も暑い、岩砂漠と赤土色の大地が広がる乾燥地帯である。私の訪れた真夏の時期は、日中の気温が華氏 100 度 (摂氏約 38 度) 付近の猛暑続きとなり、昼間に建物の外を長時間歩き回することは少々危険に思う。一方、毎日夕方から夜にかけて、ほぼ確実に 1 時間

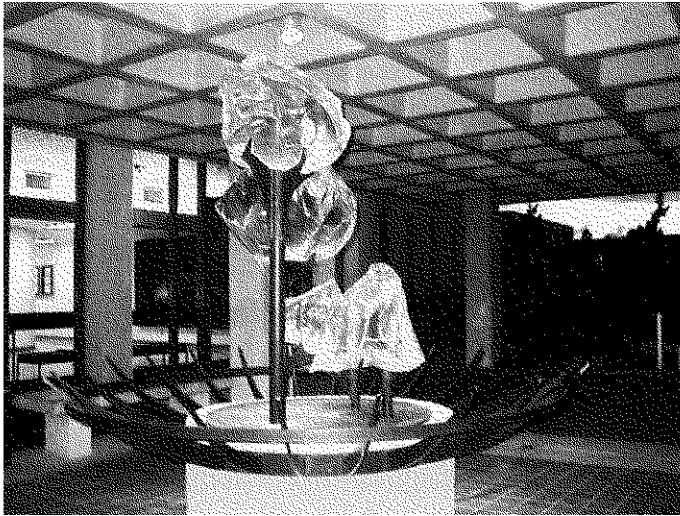
程度の大雨が降る。必ず降ると分かってはいるものの、昼間は大抵快晴なので、とても傘を持ち歩く気にはなれない。おかげで 2 ヶ月の滞在の間に 3 度ずぶ濡れになってしまったが、毎日のようにしとしと雨降りが続く 6 月の日本で本稿を書いていると、当時のスコールも懐かしい気がする。

#### アリゾナ大学と OSC

土埃が舞い、草木といえばサボテン程度の、悪く言えば無味乾燥とも思えるツーソンの町並みとは異なり、毎日手入れされる広大な緑の芝生が広がるアリゾナ大学のキャンパスは大変美しい。アリゾナ大訪問は今回が二回目であったが、まだ大学院生の時分に初めて訪れた際は、学内にナイターの試合が可能なアメリカン・フットボールのスタジアムを見て驚いたものである。

キャンパス内の食堂について一言。土地柄のせいかわ、キャンパス内にはタコスなどのメキシコ料理を扱っている食堂もある。普通の (大方の教職員や学生が利用する) 食堂には「ライスボール」なる日本人向けと思われるメニューもあるのだが、これを口にされるよりは、少々辛くともこちらのメキシコ料理をお勧めしたい。

〒657-8501 神戸区灘区六甲台町 1-1  
神戸大学大学院自然科学研究科  
TEL 078-803-5703  
FAX 078-803-5679  
E-mail: saroma@gradis.scitec.kobe-u.ac.jp



OSC 玄関前に飾られているガラスのオブジェ

Peyghambarian 教授の研究室がある Optical Sciences Center (写真) では、地下工場において天体望遠鏡用の巨大なレンズを作製している他、有機発光素子、光ファイバアンブなど、光機能性材料の基礎から応用まで幅広く研究されている。筆者は、当時 OSC のガラス材料研究グループのリーダーであった Shibin Jiang 先生に公私共々大変お世話になった。Jiang 先生には昨年、外国人研究員特別招聘制度により神戸大学にもお越しいただいたが、現在は Research Professor の職を辞され、Peyghambarian 教授と共に設立したベンチャー企業にてご活躍中とのことである。

## 研究について

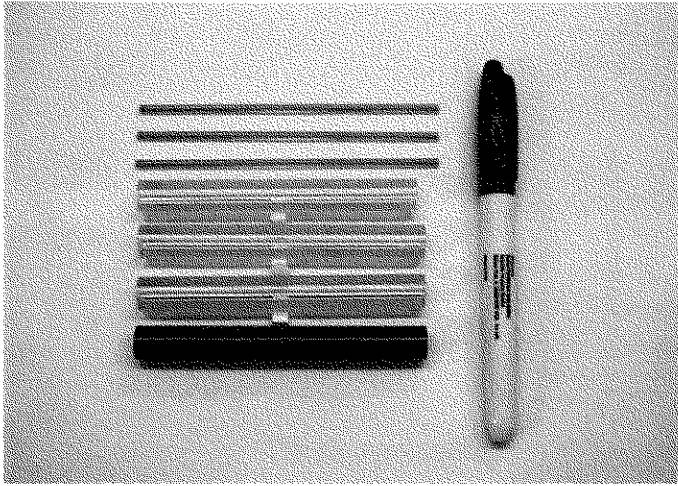
Shibin Jiang 先生（シビンさんと呼びしていたが）のグループは、各スタッフの専門分野によって材料合成グループと光学特性測定グループとにおおよそ分かれ、シリケート系以外の酸化物ガラスを利用して、能動的機能を持ったファイバー型、あるいは平面型の光導波路開発を行っていた。中でも、 $\text{Er}^{3+}$  イオンの  $4f$  準位間誘導放出 ( ${}^4\text{I}_{13/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{15/2}$ ) を利用した  $1.55$

$\mu\text{m}$  帯光ファイバアンブ (EDFA; Erbium Doped Fiber Amplifire) の開発に注力していた。以下にご紹介する研究内容は、筆者が OSC に滞在していた一昨年当時のものであることをご了承願いたい。

## 高増幅利得リン酸塩ガラス EDFA

$\text{Er}^{3+}$  イオンを高濃度に含有するシリカガラス EDFA は、 $\text{Er}^{3+}$  イオンのクラスタリングのため開発困難と言われている。現状の低濃度 EDFA においては、充分な数の  $\text{Er}^{3+}$  イオンと  $1.55 \mu\text{m}$  光とを相互作用させて充分な増幅利得を得るために、 $10 \sim$  数  $10 \text{ m}$  程度のファイバ長が必要である。

Jiang 先生のグループは、 $\text{Er}^{3+}$  イオンを均一分散状態で高濃度 ( $4 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ) に含有できるリン酸塩ガラスをホストに用い、ファイバ長わずか  $5 \text{ cm}$  という短さの EDFA を開発された (写真)。利得係数は  $2.1 \text{ dB cm}^{-1}$  (Pumping power :  $110 \text{ mW}$ ) とのことであるから、これは既に実用化されているシリカガラス EDFA の利得係数 ( $0.02 \text{ dB cm}^{-1}$ ) の実に  $100$  倍である。



Er<sup>3+</sup> 含有リン酸塩ガラスファイバのコア材料（上3本）とクラッド材料（下3本）

### リン酸塩ガラス平面型光アンプ

前述の Er<sup>3+</sup> 含有リン酸塩ガラスが短い相互作用長で充分 1.55 μm 光を増幅できることから、これを小型の平面型光アンプに応用する試みも行われており、当時 Tao Luo さんが作製法（イオン交換法）等に関する基礎データを揃え始めていた。ちなみに彼女は Jiang 先生の奥さんで、ほぼ毎日ガラス作製に励んでおられたが、当時 2 人目のお子さんを妊娠中であった。

検討されていたリン酸塩ガラスは、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>O および BaO を主成分とした系であった。表面を研磨したバルク形状のリン酸塩ガラスを、硝酸銀、硝酸ナトリウムおよび硝酸カリウムからなる熔融塩に浸し、熔融塩中の Ag<sup>+</sup> あるいは K<sup>+</sup> とガラス中の Na<sup>+</sup> とを交換すると、ガラス表面に高屈折率層が導入され、光導波路として利用できるようになる。ガラスの耐水性（吸湿性）が若干心配に思えるが、開発されたガラスを沸騰水に浸して重量減を測定した結果によれば、レーザー用のシリケートガラス（Q-246, Kigre co.）よりも優れた化学的耐久性を持つとのことであった。

なお、私は滞在中短い期間ではあったが、同

様のイオン交換法を利用した GeO<sub>2</sub> 系ガラスの平面型光導波路作製に関する研究をさせていただいた。

### 表面結晶化シリケートガラス平面型光導波路

当時岡山大学環境理工学部から留学されていた Yong Ding（丁勇）先生は、リチウムダイシリケートガラス（Li<sub>2</sub>O・2SiO<sub>2</sub>）の表面のみを熱処理によって結晶化させたスラブ型光導波路の作製を試みておられた。

結晶層はガラス層よりも高い屈折率を持つため、熱処理後の材料表面は光導波層になる。例えば、波長 1.55 μm のレーザー光は、厚さ約 4 μm の結晶層をシングルモード（TE）で導波する。導波路作製の方法はガラス母材を加熱するのみと簡便であり、また、析出結晶が 2 次の非線形性を有するため、配向をコントロールできれば平面型 SHG レーザに応用可能と教えて下さった。当時は析出結晶の粒径制御が最適化されておらず、極めて大きな伝播損失が問題であったが、熱処理条件の検討が重ねられ、昨年には数 dB cm<sup>-1</sup> 程度にまで低損失化が進められたと伺っている。

## DWDM システムのためのテルライトガラス EDFA

現在、WDM システム用のファイバ材料候補として、半値幅の広い4f 遷移スペクトルが得られるという理由により、Er<sup>3+</sup> 含有テルライトガラスが注目されている。

前出の Ding 先生らは、2 種のアルカリイオンを含有する Er<sup>3+</sup> ドープテルライトガラスを作製し、Er<sup>3+</sup> イオンの吸収スペクトル  $^4I_{13/2} \leftarrow ^4I_{15/2}$  の半値幅に対する混合アルカリ効果を検討されていた。吸収スペクトルの半値幅は、1 種のアルカリイオンを含有するテルライトガラスよりも 10% 程度広くなり、TeO<sub>2</sub>-ZnO-Na<sub>2</sub>O-Li<sub>2</sub>O ガラスでは、最大半値幅約 70 nm が得られていた。この値は、従来の Er<sup>3+</sup> ドープシリケートガラスにおける半値幅 37 nm の約 2 倍である。計算された Judd-Ofelt パラメータ  $\Omega_6$  の値は  $0.8 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$  とシリカガラスの 2 倍以上であり、電気双極子遷移の線強度の増加が半値幅の増大に寄与していると考えられる。

## 友人について

本稿の後半は幾つかの思い出話を。

当時博士課程に在籍していた台湾人の Bor-chyuan Hwang と夕食を予定していたある日のこと。彼の車に乗せてもらってレストランに行く矢先、用事を思い出した私は、途中自分のアパートに立ち寄ってもらうことにした。用事を済ませ、さて出かけようか、と部屋のドアを勢いよく閉めた瞬間……部屋の中に鍵を残したままドアをロックしてしまったことに気が付いた。古いアパートではあったが、ロックされたドアはさすがにビクともしない（古いからと言って壊してもまずいのだが）。合鍵を借りようと管理人室に向かったが、夜なので予想通り誰もいない。そこで、アパート中の部屋のドアをノックし、管理人の電話番号を聞いて回ることにしたが、住民の多くがメキシコ人であったためそもそも英語が通じない。結局その日は夕

食後 Bor-chyuan のアパートに泊めてもらい、真っ暗な砂漠での野宿だけは免れた（少し大きいかも）。

彼には他にもいろいろと迷惑をかけてしまった。知人からカウボーイハットとブーツのお土産を頼まれていたのだが、テキサス州ではないのでそうそう良い専門店は見つからない。帰国直前に方々を探し回ってくれたのも彼である。彼は日本人よりも寿司好きで、ツーソン市内にある寿司屋で幾度か夕食を共にしたのも懐かしい思い出である（ちなみにツーソンで食べられる寿司の味はかなりまともである。前菜としてサラダが出てくるあたりは珍妙だが）。

ところで、筆者が Bor-chyuan を今でも印象深く記憶しているのは、彼の親切さのためばかりではない。彼は台湾人であることに大変誇りを持っており、そのため台湾と中国との関係についてずいぶんと心悩ませていたことを思い出す。

## 誕生日

滞在中の 8 月某日、筆者は 20 台最後の誕生日を迎えた。その日、たまたまシビンさんに昼食に招かれ、とあるレストランで中華料理をご馳走になった。そこで、「良い誕生日になりました」とお礼を言ったのだが、それを聞いたシビンさんはわざわざ研究グループの皆さんに声をかけ、当夜私のアパートでパーティーを開いて下さった。いい年をして恥ずかしいことに、ろうそくの火を吹き消す儀式までさせられてしまったが、大変良い思い出を作っていたいただき感謝している。

## 謝 辞

後半は一層他愛のない話になってしまったが、最後に、留学に際し大変お世話になった方々のお名前を挙げ、紙面をお借りして感謝の意を表させていただきたい。

渡米前に多くのご助言をいただいた大阪工業技術研究所（産業技術総合研究所）の角野広平

先生（アリゾナ大については、以前先生が本誌に寄せた留学記に詳しい）。面倒な諸手続を代行していただき、また、毎週末日常品の買い物にもお付き合いいただいた OSC 秘書（当時）の田形恭子さん。実験にご助力いただいた Yong Ding 先生。先生には Mt. Lemon へのハイキングにもお誘いいただいた。2 ヶ月間、親友のように接してくれた Bor-chyuan と小林毅

之さん（当時学振 PD）は、現在それぞれ Lucent Technologies, Trinity College Dublin にてご活躍とのこと。今となっては当時の研究者の多くが OSC を離れ、寂しい限りである。

最後に、本留学を暖かくご支援下さった神戸大学理学部化学科の河本洋二教授に感謝して、駄文を結ぶこととしたい。