

## 榊裕之先生インタビュー

日時：2008年3月30日(日) 12:30-15:00

場所：応用物理学会来賓室（日大理工）

面会者：中川正広、佐藤勝昭



**佐藤**：CREST12 の記念誌を作るにあたって、研究総括の先生方にインタビューをして、CREST が果たした役割をクローズアップしようと考えています。榊領域の一押しの成果を教えてくださいませんか。

**榊**：量子細線レーザについての秋山チームと荒井チームがかなりしっかりした仕事をしていました。特に、理論の小川グループとの協力で、1次元の量子細線における高励起密度状態で相関のある状態におけるレーザ作用についての理解が深まったことが重要です。

**佐藤**：一般の方に、相関といってもありがたみがわかりません。もう少し優しい言葉で説明していただけないでしょうか。

**榊**：そうですね。もう少し丁寧に説明しましょう。半導体レーザは、電子と正孔が高密度に注入されて誘導放出でレーザ発振するというのが単純な図式ですよね。当初、量子細線は、量子ドットに比べ、形状が制御しやすいし、状態密度がするどいピークをもち、線の全領域にわたって広がっている電子と正孔がゲインに寄与するのでレーザ発振しやすいだろうと、オプティミスティックに考えていました。しかし、実際には、高密度の電子と正孔があると、互いに結合して励起子（エキシトン）ができます。さらに高密度になると、励起子同士が結合して励起子分子をつくります。このように、量子細線の中での電子状態は、単純な1体問題ではなくって、本質的に多体問題になるので、損失も考慮しなければならないことがわかってきました。量子閉じ込めが起きると、電子や正孔、あるいは励起子同士の相互作用が強くなるのです。これが上で述べた相関の説明です。量子細線レーザを作って実験してみると発振の閾値が単純に考えたほどは低下しなかったのですが、それにはこういう相互作用が影響していたのです。

**佐藤**：それじゃあ、レーザとしては、ネガティブなことを明らかにしたのですね。

**榊**：それまで、量子細線レーザの学理がなかったのです。これを世界で初めて確立したとことは、重要な成果だといえますよ。

**佐藤**：秋山先生の作られた T 字構造の量子細線レーザの意義はどこにあるのですか。

**榊**：薄膜において横方向にナノサイズをきちんと制御することは至難のワザですが、膜の厚さ方向にナノサイズを制御するのは比較的容易です。秋山先生のアイデアは、2つの量子構造の平面シートを T 字型に直交してつくと、交差点のところに1次元の量子構造、つまり、量子細線をきちんと作ることができるということにあるのです。

**佐藤**：それでも、量子構造を T 字にきちんと作るのはむずかしいでしょうね。

**榊**：結晶成長のプロセスを制御できたことが重要です。秋山先生の CREST でのお仕事の成果は、平坦な(110)面を得るために、超高真空の中でアニールすることによって、不純物の堆積を抑え、非常に平坦な表面を形成できたことです。

**佐藤**：要するに正攻法できちんとやったということですね。

榊： そうです。量子細線をきちんと作るということを徹底的に追求したことが、1次元系のレーザー発振のメカニズムの学理をはっきりさせたといえるでしょう。単純な理論では、容易に利得が得られると言うことになるのですが、それでは多体の効果のために頭打ちになってしまいます。私たちが得た学理を考慮して設計しないとイケませんよと、楽観論を戒めたのです。

佐藤： しかし、学理の確立というだけなら、科研費でもできたのでは

榊： いや、理論だけなら科研費でもできたかも知れません。しかし、徹底して微細デバイス加工技術を追求し、きちんとした分光法で研究した実験家と、理論家の密接で有機的な接触があればこそ、学理の確立も可能になったのです。また、秋山グループの仕事は、荒井グループの設計方針にも大きな影響を与えました。これも CREST で一緒にやったことが、役立ちました。

佐藤： 荒井先生の成果として、私は、記念誌の記事として次のようにまとめました。「光通信には、光源として半導体レーザーが使われていますが、その消費電力を下げるのが課題でした。荒井教授らは、幅が 20~30 ナノメートルしかない細い半導体(GaInAsP)の線（量子細線）を別の半導体(InP)の中に埋め込んだ構造をつくり、現在使われているものの 1/100 の消費電力で動作するレーザーを開発しました。」これでよいでしょうか。

榊： 大筋ではよいのですが、1/100 という数値を出すのはいい過ぎでしょう。荒井先生のお仕事の最も強調すべき点は、細線構造の幅によってバンドギャップが精密に制御できることを、膜厚の制御ではなく、面内の構造のサイズの制御において世界で初めて実現してみせたところにだと思えます。今後半導体レーザーの周辺に変調器やその他光学部品を集積化していくときに、機能の異なるいろんなサイズのものを集積化するための指針を確立したと言えるでしょう。

佐藤： 加工性の工夫としてどんなことが行われたのですか。

榊： パターニングの精度を、レジスト、露光状況、エッチングをかける、歪みまで考慮してまっすぐ 10nm から 20nm のオーダーで切れるような技術、つまり、結晶成長と露光法の組合せを極めたのです。

佐藤： 特許化されていますか。

榊： ほんとうは、すべきけど特許化はされていないですね。しかし、グループ全体として、超高速・超省電力をめざすということで、荒井先生のサンプルの供給を受けて、チームワーク作りが行われました。

佐藤： ほかに注目される研究はどれですか。

榊： 河口先生の超高速光メモリのアイデアはユニークで面白いと思います。光だけを使って状態を記憶してメモリを構成するのです。面発光レーザーに光をフィードバックすることによって前に来た光の状態を残しているのです。次に来た光で反転するというバイステーブルのメモリをつくるというのは、河口オリジナルのアイデアです。シフトレジスタを 2 ビットにして、光メモリを実証して見せたことは評価します。

佐藤： 私は、新田先生の半導体スピンエンジニアリングのレベルの高さを大いに評価しているのですが。

榊： この課題が関与する物理的な理解のゆたかさという点から言えば、類を見ない高いレベルのものですね。これによってスピントランジスタの基本的な学理ははっきりしたと思います。しかし、この領域の目的である「デバイス」という話になると隔たりは大きいですね。

佐藤： 超伝導をつかったテラヘルツ・エレクトロニクスを採択されたのはどういう意図があったのでしょうか。またこのテーマはこの CREST でどのような進展があったのでしょうか。

榊： 超伝導の研究は、一時はブームでしたが、平成 14 年頃はやっているグループも激減していました。そんな中で名古屋大学は、高温超伝導体のジョセフソン接合の技術に対し情熱を失わずに続けていまし

た。戦略のミッションとして、超伝導という大切な分野は、日本全体としてサポートしなければならない、冷やしすぎないようにという配慮がありました。

この CREST での進展ですが、この期間中に高温超伝導体デバイスのプロセスを確立することができ、SFQ の回路を作って動作の可能性を検証しました。高温超伝導体で 500GHz という高い周波数で動作させたのは世界で最高水準だと思います。光による書き込みはソコソコの進展がありました。読み出しについてはこれから進めていくというところでしょう。一歩でも前進した点は評価すべきでしょう。

佐藤：CREST の特徴として研究総括のイニシアチブで進めるということがあるのですが、榊先生の領域ではどのようなことをされましたか。

榊：InN 系のナノデバイスは期待感があって採択したのですが、材料が悪すぎていつまでたっても、デバイスのものにならないのです。私自身、以前に、GaAs に InAs のモノレーヤーを挿入することをやったことがあって、ナイトライド（窒化物）にも適用できるのではないかと考えて、「InN を一原子層だけ入れたものを作ってはどうですか」と提案してやって貰いました。これによって、InGaN の発光の長波長化が一步前進しました。

研究期間の最後のほうになって、光通信システムと情報処理システムの将来をめぐって、議論を深めることができました。この領域には、小柳先生の LSI、秋山先生の光、とそれぞれの先端を進めているメンバーが加わっていて、前線を広げるために役割を果たしたという点で、支援が有効に作用したのではないかと思います。また、この研究領域で育った若手が企業に行って、この研究領域で積んだ経験をその場で活かすことによって、前線を広げて行くことに意味があったのではないのでしょうか。これも CREST のよいところですね。

佐藤：CREST あるいは JST を俯瞰的にみて、どうおかんがえですか。

榊：CREST には、大きく云うと、米国の DARPA のような将来の発展をサーチするソリューションと、シーズの方を試行錯誤しながら開いていくというのと、2つの働きがあります。私の領域は、前者の方で正攻法でやるのですが、梶村領域のようにシーズ探索型のものもあって、ナノテクバーチャルラボ10領域全体で見れば、この2つの領域がカバーされていると思います。

新産業、何千億が一挙にできるとは思えない。既存の LSI テクノロジーにきちんとした接点をもつのも CREST の役割だと思うのです。理論屋でないものがとんでもないことをいう、それをきちんとやる人がいる。理学はアナリティック、工学はシンセティックと云われますが、工学の方が舞台を設定することによって、それを理論屋が再解析する。秋山、小川の組合せはよくかみ合っていたと思います。

佐藤：最後に JST に対する注文を。

榊：今後発展する領域を上から示すのは重要だと思います。示された戦略目標に応じてやろうという人が集まって対話をはじめ。ここが科研費とちがうファンクションです。このときに、いくつかのグループが対話しやすいようにということで、公募だけでは足りない。リクルートしてこることも必要ではないでしょうか。2-3割はコミッティーが付け加える要素があってもよいのではないのでしょうか。複数年のプログラムであれば、2年目に採択する課題で調整することもかかろうでしょうが、ナノテクバーチャルラボのように1年では、それもできません。研究総括の意志で組織できる計画班も必要ではないでしょうか。また、SORST がなくなりましたが、5年を超える継続を保証するシステムがほしいと思います。

佐藤：お忙しいところを長時間にわたりインタビューをさせていただきありがとうございました。

