

日時：2008年3月25日(火) 16:15-17:45

場所：国立情報学研究所（神田）

面会者：東良太、佐藤勝昭



**佐藤**：CREST12 の記念誌を作るにあたって、JST では、「暮らしを支える光」、「量子が拓く次世代の社会」などというようになるべく出口が見えやすい形で、CREST の成果を訴えたいと考えています。私は、先生の総括しておられる分野の中で、香取先生の「16 桁の時計」という課題を取り上げたのですが、先生のお考えをお聞かせいただけませんか。

**山本**：香取先生の「光格子時計」というのは、日本発のアイデアでそのアイデアを香取先生自ら実証されたという点でも、大変優れた研究だと考えています。一昨年ですか、秒の 2 次標準に採用され、日本発の独創的技術として、世界的にも高い評価を受けています。研究の出口という点で、ブロードバンド社会の土台を支える周波数と時間の基準を日本人の研究者が確立した意義は大変大きいと思います。

**佐藤**：量子情報通信、量子暗号とか量子コンピュータというのは、概念がむずかしく、なかなかやさしく説明できないので、一般向けの場合スキップしがちなのですが、私は、そこをかみ砕いて説明するのが私たち間に立つ人間の役割だと思っていて、何とか記念誌でも取り上げたいと思っているのですが。

**山本**：米国では、科学の先端的な話題を一般の人にわかりやすく説明するような場がいくつも設けられています。出口が説明できないような研究は、たいしたことのない研究といえるのではないのでしょうか。量子暗号を説明しますと、現在の暗号技術は、現在のコンピュータの性能が前提となっていて、「現在のスーパーコンピュータで解読に半年かかるものなら、当面は破られないだろう」と考えてやっているわけです。しかし、これは安全性からは問題で、ある日誰かが、超高速のコンピュータを作ってしまうと、暗号通信が一気に壊滅するという脆弱性をもっているわけです。量子暗号は「未来永劫、絶対破れない」ことが量子力学の原理によって検証されている暗号のアルゴリズムなのです。

**佐藤**：量子暗号の最先端は、どの研究ですか。

**山本**：世界で最も実用に使いやすい量子暗号のプロトコルは、DPS-QKD というものですが、これは、CREST の私の領域の研究代表者である井上恭先生が発明したものです。そのチームにおられる NTT の たけすな 武居さんが実装して、200km にわたって 10GHz で伝送することに成功しました。これが現在のところ国際的なチャンピオンデータです。出口がはっきりわかっている研究においては、日本人の発明と技術が優れています。単に（他国で出されたアイデアを）実証することに成功したというのでなく、香取先生にせよ、井上先生にせよ、アイデアを作り出して自ら実証するということをしておられる。日本は、光と超伝導は伝統的に強いです。

**佐藤**：せっかく先頭を走っていても、すぐに追いつかれて追い越されるという危惧はないのですか。

**山本**：その通りなのです。これまで、日本人がアイデアを出し実証して見せると、たいていは、実用化のところで欧米に追い抜かれています。香取先生の技術もそのうちに追いつかれ、追い抜かれるかも知れません。量子暗号の QKD プロトコルも、追いかけています。日本は、リソースの集中の仕方が苦手で、国家プロジェクトに持って行っても、足の引っ張り合いをして、ベクトルが揃わない。この点、DARPA にしても NASA にしても、米国の国家プロはよく集中してやっています。

佐藤：その中であって CREST は強いチームを作っていますよね。

山本：CREST はチーム研究であるといっても、所詮は個人研究の寄り合い所帯なのです。領域全体をみれば、カバーしているのだけど、本当のトップダウンになっていないで、実際にやる内容はボトムアップです。強い意志をもって、束ねていく体制にはなっていないように思います。

佐藤：日本では「光」の研究が強いですね。強い理由は何でしょうか？

山本：私見ですが、日本では技術の COE は、光通信で成功している NTT, NEC, 富士通, 電線会社などの企業の中であって、その中で育ってきた研究者たちが大学や研究機関に移籍して、さらに研究を進めています。企業は、最近では基礎研究をやめるところも多いけれど、コアな部分は残っていて、何十年という技術と知識の蓄積があるところが、強みとなっているのではないのでしょうか。

佐藤：日本は、光通信だけでなく、発光素子、受光素子、ディスプレイなど全般にわたって、光に強いですね。

山本：各研究所に特色ある研究グループを抱えていて、それらを総合するとかなりの力を発揮します。そのよい例が、CREST です。さきほどの量子暗号通信ですが、阪大井上先生の QKD プロトコルという暗号化の技術があって、それを実装して 10GHz で符号化の動作させる NTT 武居さんがいて、それを古沢先生のグループの NICT がもつ超伝導単一光子検出器で受光することによって始めて、可能になったのです。領域内の異なったグループがそれぞれの最も強いものを持ってきて、チームを横断してやったからこそ実現できたのです。

東：さきほど先生は、CREST は結局のところ個人研究の集まりだとおっしゃっていましたが、総括の意志でそれを結集したからこそ、成果が出たのですね。

山本：個々を束ねて、マスの力をどうやって出すために、それぞれの研究者を焚きつけてやらせたことは事実です。

佐藤：さきほどの 200km、10GHz まで行った技術がここで止まってしまっただけではもったいないですね。

山本：各要素技術をそれぞれ一層磨き上げる時間が必要でしょう。それらを数年後に束ねてみると、今よりずっと進んでいるでしょう。

佐藤：量子暗号が未来永劫解読できないという裏付けは、誰によっていつ頃証明されたのですか。

山本：世界に数グループの理論家がありますが、その中の一人に、井元グループの小蘆さんという優れた人がいます。量子暗号のプロトコルが提案されて 15 年、2000 年頃だったのでしょうか、ようやく絶対安全性が示されたのです。

佐藤：量子暗号には、もつれあった光子対が必要と聞いていますが、先ほどの通信に量子もつれは使われたのですか。

山本：いいえ、井上先生の DPS-QKD プロトコルは通常の半導体レーザを使ってできる場所に特徴があるのです。理論は厳密に、実装系は現実的だというのが重要です。レーザ光を弱めて、1 パルスあたり 1 個の単一光子を使うところがみそです。これができたのも、わが国には、超伝導単一光子検出器という大変高感度の光検出器があったからできたことなのです。量子暗号は、絶対に破られないのですが、その代償として通信速度が犠牲になるのです。

佐藤：アメリカでは軍事技術として、秘密裏に量子暗号を進めていて日本に追いついているということはないのですか。

山本：私の知る限りでは NIST(アメリカ国立標準技術研究所)もロス・アラモス研究所も近いところまで来ているが、要素技術がないので、日本には追いついていないと思います。

佐藤：香取先生、井上先生の他に、これは注目に値するという研究はどれですか。

**山本**：1期生では、京大の高橋先生でしょう。さきほど香取先生のところで出てきた「光格子」を時計に使うのではなく、量子シミュレーションに使おうというモチーフです。レーザ光によって作られた原子の光格子を変調して、波動関数の働きをシミュレーションしようというものです。超伝導体のような多体系の量子力学計算を現在のデジタルコンピュータでやると、とてつもない時間がかかってしまう。その代わりに、光格子のパラメータを振って波動関数のシミュレーションをやる訳です。一種のアナログコンピュータの量子版です。このような量子シミュレーションは、最先端の量子技術として DARPA でも取り上げています。高橋先生は、Yb の原子を用いた光格子の実験技術をもっており、ボース・ハバードやフェルミ・ハバードといった固体物性の理論モデルを組み込むところまで行っています。これからデータが出てくる段階です。将来、実用化すれば、超伝導のメカニズムが解明されるという期待を持たれています。

1期生の蔡さんは、日本の量子コンピュータの最高峰、いわば、富士山です。そこに中村さんという若手がいて、将来の日本のエースになると期待されています。NEC の実験技術はすごいですね。1999 年以来 10 年一貫して日本のこの分野をリードしています。4 つの実験グループと 2 つの理論グループから構成されていて超伝導を使った量子コンピュータでは、世界のリーダーといってもよいでしょう。

2期生は、どれも世界のレベルに達していないが、イオントラップなど日本が弱いところなので強化しようという意味で入れたので、どれも成果はこれからです。小坂先生などハイリスクなテーマをあえて採択しましたが、失敗したとしても、失敗した研究から学べることは大きいと考えています。

**佐藤**：実用化はいつ頃ですか。

**山本**：量子コンピュータの研究にはさまざまなアプローチがあります。どれが先に進むかは予想も付きません。あるいは、本命ではないところから、とてつもないイノベーションが出てくるかも知れません。これだけの人材が結集してこれだけ熱心に研究しているのだから、何か出てくるはずだという信念もっています。30-40年後に量子コンピュータが世に出たとすると、いまやっている若手が、世界を引っ張っているのではないかと思います。この時、彼らが同世代の欧米の研究者に負けないよう、若手人材の育成に力を入れています。

**佐藤**：最後に CREST あるいは JST に伝えたいメッセージがあればお教えてください。

**山本**：教育と研究は分けることができないと思います。今まで、ERATO でも CREST でも偶然に出た才能を拾って育てている状態です。これを打破するには、各大学での大学院生の教育システムに踏み込まなければなりません。たとえば、CREST に関連した主要な大学間で量子情報の最高の講義をやるか。今、JST のプロジェクトでは、教育を表に出していえないところがあって、その足かせがなくなれば、各 PI がどういうカリキュラムやレクチャーで後進を育てているか、どういう院生が輩出したか。どこどこの大学の何先生の講義で育ったというような、そこまで踏み込んで人材育成をはかる必要があるのではないのでしょうか。

**佐藤**：わたしも教育担当副学長として大学院教育の実質化など、教育の充実を叫んでいましたが、研究が忙しいと言って、教育には力が入らないようです。

**山本**：意識をどこで変えるかですが、例えば研究費を配分するところの研究と教育を総合して評価するとか、「大学院生」やレクチャーノートが研究の成果であると言えるくらい、教育力を強くしていかなないと、総合力というか、本当に深いところに根を張った研究にならない。その意味で、ファンディング機関の責任は重いといえます。若手（大学院生）の個人名が研究成果として JST にも上がってくるくらいにならないといけません。

**佐藤**：本日は、長時間、インタビューに応じていただき有り難うございました。