

## 反省はあっても悔いのない仕事を

各分野の研究活動の世界的なリーダーとして活躍している“NTT R&Dフェロー”。NTTの研究活動の顔というよりは、日本が誇る研究分野の世界の顔ともいえるNTT R&Dフェローに、研究活動にける熱い想いを語っていただくシリーズの第1回目として、超伝導デバイスを用いた量子情報処理の先駆的存在として知られる高柳英明NTT R&Dフェロー・NTT物性科学基礎研究所所長に、お話をうかがった。

### 研究活動の世界的なリーダーとしての役割を担うNTT R&Dフェロー

高柳所長は「NTT R&Dフェロー」でいらっしゃいますが、はじめにNTT R&Dフェローの位置づけ、役割などを教えてください。

**高柳** NTT R&Dフェローは研究成果が卓越しており、内外ともに業績に対する評価が極めて高く、革新的研究者として、現在はもちろんこれから活躍が期待される研究者に

贈られる称号です。これまでに9名の研究者に贈られましたが、いずれも現役で世界的に活躍している研究者です。世界的に見てそれぞれの分野の研究活動を牽引しているリーダー的な存在であるとともに、NTT研究所のプレゼンス向上ということで、NTTの研究活動を広く内外にアピールする役割を担っています。私自身、“NTTの研究活動の顔”として、政府の各種委員を委嘱されているほか、学会に限らず各種講演会

での講師として積極的に参加することを心がけています。

### 量子力学の特徴を利用した量子情報処理

現在、NTT物性科学基礎研究所（以下、物性基礎研）で積極的に研究を進めている「量子情報処理」とは何かを簡単に教えてください。

**高柳** 物性基礎研で行っている研究の大きくは、量子情報処理に関連したものといっても過言ではありません。個人的には、量子ドット列などの研究に注目していますが、研究所としては、量子情報処理の研究に4割のリソースを投入しています。量子情報処理とは、情報を処理するのに量子力学の原理を使おうというものです。20世紀初頭に物理学の巨星たちが、原子分子などの微視的なもののふるまいを扱う「量子力学」という学問領域を創ってくれました。しかし20世紀には、まだ量子力学を十分に使いこなすことができませんでした。現在、情報を処理するのに、トランジスタやレーザーを使っていますが、特にトランジスタは電子の古典的な性質を使っているに過ぎません。しかし、21世紀に入ってから、量子力学を掌に乗せる



NTT R&Dフェロー  
NTT物性科学基礎研究所  
所長 高柳英明氏  
たかやなぎ ひであき

1977年電電公社電気通信研究所入社。超伝導素子の研究、特に超伝導体と半導体の結合した構造における量子効果の研究を経て、量子コンピュータの研究、量子ドット列を用いた物質設計の研究、及びNTT物性科学基礎研究所のマネジメントに従事。現在、NTT R&Dフェロー、NTT物性科学基礎研究所所長。理学博士(東京大学)。東京理科大学連携大学院教授、東京大学先端科学技術センター客員教授

ことができる量子工学へと発展させることが可能になりました。

**工学的な応用が可能になった要因として、どのような点があげられますか。**

**高柳** 学問的な進歩と技術の進展が積み重なった結果ですが、大きな要因としてナノテクノロジーの急速な発展があげられます。これにより、超微細加工や超精密測定が可能になりました。「半導体の集積密度は18カ月～24カ月で倍増する」というムーアの法則がありますが、これはすでに物理的限界に達しつつあります。そこで重要になるのが、量子力学を使った量子工学であり、換言すると量子を使った情報処理です。具体的な分野としては、量子コンピュータや量子暗号、量子情報通信などがあげられます。量子力学が古典力学を凌駕するというではありませんが、少なくとも量子ということ無視して21世紀は語れません。

**量子情報処理の基礎的な原理について、概要を教えてください。**

**高柳** これは、量子力学が根本的に持つ性質を、デバイスや情報処理に利用しようというものです。量子論的性質の一つに、「重ね合わせ」という原理があります。しかも、量子の位置や状態を観測しようとする壊れてしまう性質があります。これは我々が住む世界ではなかなか実感し難いのですが、原子・分子のようなナノレベルの微小な世界では、重なり合った2つの状態が同時に存在します。これを説明するのに、よく「量子猫」という例えが使われま

す。古典、つまり我々の住んでいる世界では猫は、「生きている」か「死んでいる」かの2つの状態しかありません。しかし、量子力学の世界では、「生きている状態」、「死んでいる状態」のほかに、「生きているとも死んでいるともいえない状態」があります。つまり、古典ビットは0か1ですが、量子猫の状態を表す量子ビットは量子力学の重ね合わせの原理により、同時に2つの異なった状態を取ることができます。実際に私ども物性基礎研では、量子ビットの一つとしてマイクロオーダーの超伝導SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) 素子を用いて、超伝導永久電流の重ね合わせ状態の観測に成功しています(図1参照)。右側のグラフが、超伝導電流が右向きに流れている状態と、左向きに流れている状態間のコヒーレントな振動を表します。これに関与している電子の数は、100万個です。100万個の電子が、同時にコヒーレント(位相が揃った状態)に逆方向に流れています。これが、量子力学の本質の一つです。

もう一つ、「量子もつれ」という不思議な性質があります。これは、量子力学の世界で2個以上の粒子が古典力学とは異なる特殊な相互関係を持つという現象です。「量子もつれ」という性質を利用し、ペアとなる光子の間隔を10km離しても、量子力学的相関が保たれて

いることを確認した実験がすでに行われています。

この「重ね合わせ」と「量子もつれ」という2つの量子論的性質を20世紀には使うことができませんでした。21世紀に入って初めて、こういった性質を活用することが可能になり、これを使って量子コンピュータや量子暗号、量子情報通信、量子テレポーテーションを実現しようとしています。

**物性基礎研では、それらすべての研究を行っているのですか。**

**高柳** 量子テレポーテーションの研究は近々始めようとしています。まず、量子暗号に関しては、実験段階にきており、5～6年以内には実用が可能になると思います。量子暗号の伝送距離を伸ばすには、量子リピータ(量子中継器)が必要です。これは、量子テレポーテーションのようなもので、必然的にこの分野の研究も不可欠となっています。量子コンピュータに関しては、実用化まで最低でも20年はおかかるとみています。

**NTTが量子情報処理の研究を推進する狙いをお聞かせください。**

**高柳** NTTにとって、ビジネスを展開するうえでセキュリティという

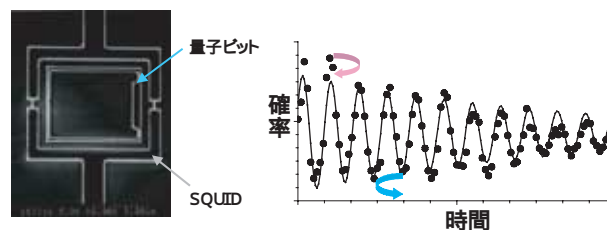


図1 超伝導 SQUID と永久電流の観測結果



図2 量子コンピュータの基本概念

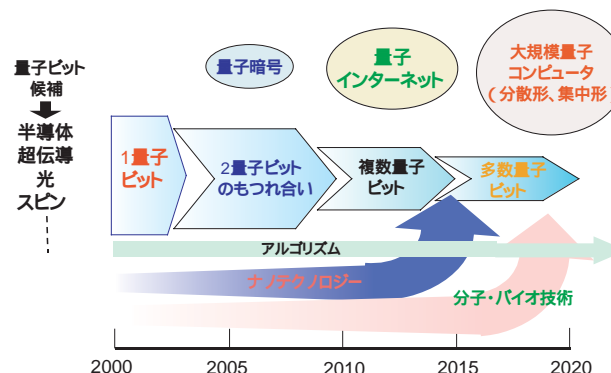


図3 量子コンピュータ実現に向けた展開シナリオ

のは非常に重要です。その意味で、以前からNTTは暗号の研究を積極的に推進してきました。しかし、現在使われている暗号は、量子コンピュータが実現されると、容易に解読され、まったく無力になってしまいます。現在のコンピュータで20桁の整数の素因数分解をすると1万年かかりますが、量子コンピュータが最適化されると1μ秒(100万分の1秒)でできます。これに対し、暗号鍵を量子情報として送る量子暗号の場合は、前述した「観測した瞬間に壊れてしまう」という量子力学の特徴を利用するので、絶対に安全です。いずれにしても、未来の量子情報ネットワーク社会を見据えた量子情報処理の研究は、NTTにとって必要不可欠であるといえます。

### 超並列処理の量子コンピュータは、古典(現在の)コンピュータと共存

**量子コンピュータの基本概念と、実現に向けた展開シナリオについて教えてください。**

**高柳** 量子コンピュータは、現在のコンピュータ、これを我々は古典

力学に基づいていることから「古典コンピュータ」と称していますが、これと動作原理をまったく異にする量子力学を原理としたコンピュータです。前述したように、量子力学の世界では、1つの素子が2つの状態をつくります。素子2個だと4状態、100個だと $10^{30}$ 状態、 $n$ 個だと $2^n$ 状態をつくりだすわけです。この量子力学の原理を応用することで、超並列処理が可能になります。図2に示すように、古典コンピュータでは、1匹の猫が迷路の出口を探すのに対し、量子コンピュータの場合は、分身の術を使って同時に別々のルートで出口を探すために、非常に早く出口を見つけることができます。しかし、量子猫の寿命(デコヒーレンス時間)が短いために、これをいかに長くするかという課題があります。つまり、どれだけ長いデコヒーレンス時間を持つ量子ビットをつくれるかが一番の課題です。物性基礎研では、現在5種類の量子ビットの研究と量子暗号の研究を並行して進めています。5年くらいで数量子ビットでの演算、10年で100量子ビット程

度までの集積化が可能になり、その次の10年で実用的な量子コンピュータが実現できると考えています(図3参照)。しかし、将来的に量子コンピュータが実現されたからといって、古典コンピュータを置き換えることにはなりません。古典コンピュータとはそれぞれの得意な分野を活かした形で相応的に共存していくことは間違いありません。

**量子暗号は、すでに実験段階にきているということですが...**

**高柳** 物性基礎研内に実験施設を構築し、実際に動いています。

### 基礎研究の分野で世界中の注目を集める NTT 物性科学基礎研究所

**高柳フェローは、超伝導デバイスを用いた量子情報処理の先駆者の存在とうかがっています。ノーベルシンポジウムに3回招待されるなど世界的に著名ですが、この分野の研究はいつ始められたのですか。**

**高柳** 超伝導デバイスの研究は大学院生の時からです。当時は、今とは比べものにならないくらい大きくて、単に高感度な検知器というもの

でしたが、この時の研究は現在行っているSQUIDそのものです。研究人生とは面白いもので、螺旋的に進歩しつつまた同じようなところに戻ってくる。そしてNTT基礎研究所に入り、超伝導状態で動くトランジスタの開発に世界で初めて成功しました。その後、1年間カリフォルニア大学パークレー校で、どのくらいの大きさのものまで量子力学が成立するかに興味を持ち、今の量子コンピュータの前提となる巨視的量子トンネリングとか巨視的量子コヒーレンス（干渉性）について勉強し理論を発表しました。本格的に量子コンピュータの研究を始めたのは、1996年にカリブ海のキュラソー島で行われたNATOの会議で初めて量子コンピュータに関する話を聞いてからです。

**最近では、この分野の国際会議は頻繁に開催されているのですか。**

**高柳** 非常に増えています。私も昨年1年間で12回海外で講演しましたが、その内10回は量子コンピュータに関する会議でした。

**それだけ講師として招聘されるということは、NTTは世界的にもかなり注目されている……。**

**高柳** ある非常に著名な米国の友人は、「ベル研なき後は、物性基礎研が世界のベルだ」と言ってくれました。非常におこがましいのですが、基礎研究を行っている企業がほとんどないということもあって、世界的な評価も含めて、そういう存在になりつつあると思います。この1月には、ノーベル賞受賞者二人、ノーベ

ルコミッティの委員長はじめ9名の錚々たる方々をお呼びしてアドバイザーボードミーティングを開きました。超多忙な皆さんが来てくれるのは、皆さん私の友人ということもありますが、物性基礎研に来ることに意味があり、研究上役

に立つと思っているからです。これは、我々にとっての誇りですね。

また、最近是世界中の研究機関との共同研究を積極的に推進しており、その数を増やしています。昨年秋に、オックスフォード大学とバイオナノサイエンスの共同研究を行うことを発表しました。その際に担当大臣が来所され、非常に感激して「英国政府として全面的にサポートする」と言われました。これは非常に名誉なことだと思います（写真1参照）。

**最後に、高柳フェローの研究者としての夢をお聞かせください。**

**高柳** 他人のやっていないことを研究することです。技術ですから他人の後追いをすることもあります。独創的な研究を行うという考えは貫いてきたつもりですし、今後も



写真1 英国科学・イノベーション担当大臣一行来所時の記念写真

後列左から NTT物性科学基礎研究所所長 高柳 英明氏、日本電信電話株式会社第三部門長 井上 友二氏、NTT先端技術総合研究所所長 河内 正夫氏、セインズペリー卿秘書 ジョー・バーズ氏、対英投資部ダイレクター アラスター・モーガン氏、科学技術参事官代理 フィリパ・ロジャース氏  
前列左から 日本電信電話株式会社副社長 山田 隆持氏、科学・イノベーション担当大臣 セインズペリー卿

この考えを変えるつもりはありません。若い人達に言いたいのは、とにかく何か一つでも自分に自信の持てることをやり遂げることです。そして、反省はあっても悔いのない仕事をする事です。反省は必要ですが、後で後悔するような安易な妥協はすべきではないと思いますね。

**独創性というかアイデアは、どのようにして生まれるのですか。**

**高柳** とにかく一生懸命考えることが前提ですが、状況を変えて歩いたり、若い人達と議論をしていると思いつくことが多いですね。先人達が思索にふけた京都の「哲学の道」が有名ですが、歩くことは思考のアクティビティを上げるようです。

**本日は有り難うございました。**

（聞き手・構成：編集長 河西義人）