William J. Munro

特別研究員　NTT物性科学基礎研究所

研究はレボリューションである

今月号に登場する研究者は，NTT研究所の中で初めて外国人でグループリーダ（研究グループを統括する立場）となったWilliam J. Munro氏．世界を大きく変える可能性を持つ量子物理の情報通信分野への応用や幾多のキャリアを経てNTTの研究所に籍をおいた理由，そして成果を生み出すための研究姿勢などについて，熱く語ってもらいました．

定説を覆し，量子ネットワークの新たな未来像を描く

●手掛けている研究内容を教えてください．

量子的性質の探求を通じた新しい量子技術の創出と情報処理の原理的限界の解明を目指して研究しています．例えば，私のペンですが，さまざまな小部品（ケース，ばね等）が集まって構成されています．これを細かく分解していくことを繰り返していくと，やがて肉眼では見えないマイクロンサイズになります．さらに千倍，1万倍と小さくしていくと原子という究極の部品にたどりつきます．ここで重要なのは，ペンを形づくっている法則と，原子を支配している法則が全く違うことです．つまり，古典力学が私たちの目に見える実世界を支配しているのに対し，量子力学はこの原子の世界を支配する法則であると一般的に考えられています．例えば，このペンを壁に向かって投げつけると跳ね返ることは誰でも分かります．ところが原子を投げると実に面白いことが起こるのです．原子は跳ね返るどころか，もはや壁の中に見つかることもなく，なんと壁の中を通り抜けてしまうことがあるのです．これは量子力学の面白い現象の1つです．

小型化を求める電子デバイスの技術革新は私たちの日常生活の中でもありふれたものになっています．例えば，車にはたくさんの機能を制御する数多くの小型コンピュータが搭載されています．車は元来，古典物理の世界のモノですが，それは量子物理を借りて設計されているかもしれません．例えば，量子的な原理は，コンピュータを構成するマイクロプロセッサの製造に使われています．量子的性質そのものを受け入れることによって，技術に真の革命を起こすことができると考えられています．つまり，従来できなかった新しいことや考えてもみなかったこと，例えば非常にセキュリティの高い地球規模のネットワーク構築や次世代コンピュータなどが可能になるかもしれないのです．今，全世界で注目を浴びている量子コンピュータ（**図1**）は，皆さんの手元にあるコンピュータの10億倍も強力になるかもしれないし，地球上にあるすべてのコンピュータを寄せ集めたものよりも高性能であるかもしれません．量子コンピュータは，原理的には宇宙に存在するすべての原子の数以上のデータを処理することが可能なのです．

古典物理学からみると，量子の世界はとてもユニークで

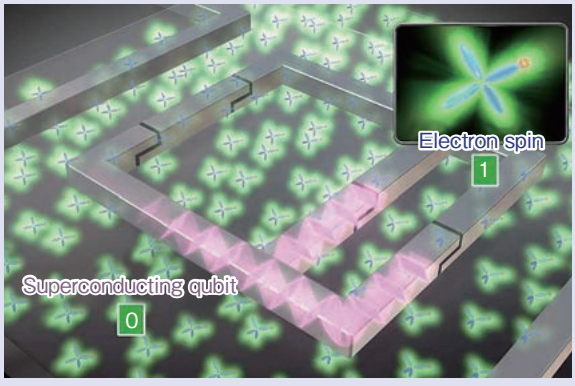


図1　超伝導量子ビットの模式図．量子コンピュータの要素技術

す．例えば，「量子もつれ」という現象がありますが，これは遠く離れた複数の量子の間に，まるでコインの裏表のように切り離すことのできない相関をもたせることができます．信じられないことかもしれませんが時空を超えるのです．ここで私たちが問うべきことは，これらの性質を活かしたデバイスをどう実現するかであり，また，この量子原理を私たちの生活に役立たせるにはどうすれば良いかです．量子もつれの現象は，量子通信，量子計算等に欠かせないリソースになっています．私たちのグループでは，これらの量子理論を使った情報処理システム（QIP）について20～30年後を見通した技術の具体的なビジョンを提示し，量子技術によって世界を大きく変える方法を見いだすことをミッションとしています．

●世界における研究分野の傾向，トレンドについて教えてください．

量子コンピュータと量子情報デバイスの誕生によって，全く新しい産業が誕生するでしょう．例えば，今言うところのeコマースはなくなるかもしれません．なぜなら，セキュリティが破綻するか，または全く新しいものにつくりかえる必要があるからです．こう言うと，何か社会に対してネガティブな印象を与えるかもしれませんが，一方で大きな利点もあるのです．今まで私たちが考えもしなかったことを実現できるようになるかもしれません．医療分野では，患者個人や患者の状況に合わせたオーダーメイドの医薬品をつくることが可能になるかもしれませんし，気象分野では，量子コンピュータを使って数週間先までの天気を正確に予測できるようになるかもしれません．こういった技術は，作物の収穫にも絶大な影響を与えるでしょう．これが我々のビジョンであり，夢のようだと思う方もいらっしゃるかもしれませんが，むしろ近い将来に実現するものなのです．

情報通信の分野では，データのセキュリティ強化について世界中で関心が集まっていますが，ブレークスルーを起こすには，従来の仕組みそのものを変える必要があります．現在においても，メッセージが暗号化されていれば，復号のための鍵を持っているか，暗号が破られない限りはメッセージが読まれることはまずないでしょう．一方で，量子通信は絶対的に安全にメッセージを送ることが可能です．送受信者が，送受信者以外には誰にも予測できない「秘密鍵」と呼ばれるランダムなビット列を持っていれば，使用後に秘密鍵を消費することで，無線通信路やインターネットのような公開通信路で秘匿通信が行えます（バーナム暗号）．そうすると，どうやってこの鍵を手に入れるか，が問題の焦点となります．量子暗号とは，送受信者間での量子力学的「重ね合わせ状態」のやり取りを通じ，そのような「秘密鍵」を送受信者に提供する方法のことです．そのため，量子鍵配送（QKD）と呼ばれることもあります．

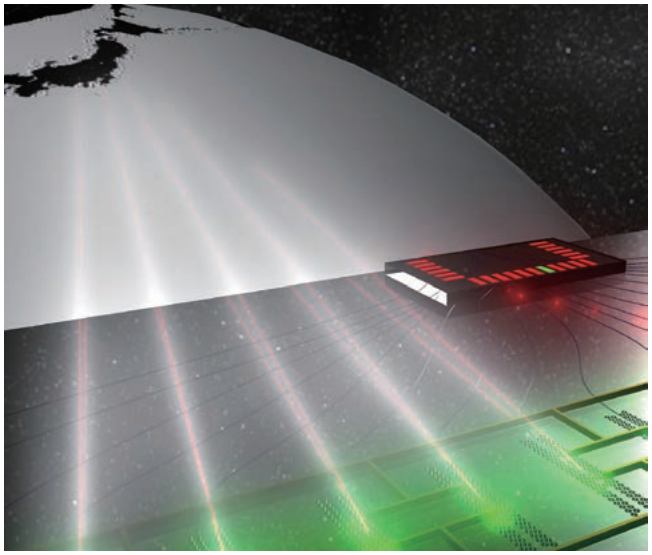
図２　量子鍵配送（QKD）の模式図

例えば，100 km程度離れて量子鍵配送が使えるとしましょう．送信者（アリス）と受信者（ボブ）は次のようにして秘密鍵を手に入れることができます（**図２**）．まず，アリスは，光子をいくつかの決まった状態の中のどれか1つの状態に準備し，ファイバを通してボブに送ります．ボブは測定の向きをランダムに選んで，光子を測定します．1つひとつの光子に対して，ボブの選んだ測定からアリスの選んだ状態を予想可能なときだけ，その1ビット分の測定結果を保存します．次に，ビット誤りを訂正して，さらに盗聴者や自然界へ漏れてしまった情報の程度に応じてビット列を縮めることで，所望の「秘密鍵」を得ることができます．

ところで，量子通信の研究，特に量子鍵配送と量子ネットワークの研究で，私たちのグループが世界の先頭を走っていることに私自身誇りを感じています．約15年にわたる量子ネットワークの研究において，当初は伝送レートで1時間に1量子ビットの情報を送る程度が限界でしたが，今は1秒間に数十億の量子ビットを伝送するスキームを提案しています．最初のうちは懐疑的だった研究コミュニティでも，今では広く受け入れられ，高く評価されています．

●なぜ日本で，しかもNTTで研究に取り組もうと思われたのですか．

研究環境の素晴らしさです．私は海外の大学や企業でも研究生活を送ってきましたが，NTTでは，理論研究者が多くの実験グループとスムーズに交流できます．この環境はとても恵まれたものだと感じます．海外では，1人の実験研究者に対して，理論研究者が10人というのが典型的なのに対し，NTTの基礎研究所は全くその逆で，10人の実験研究者に対して，理論研究者が1人，いやもしかすると実験研究者20人に理論研究者1人かもしれません．何かちょっと変わったアイデアが湧いたとき，「この考え方はクレイジーなのかな？」と実験研究者に聞くことができます．そこに，「いや，そんなこともないかもしれない．挑戦してみよう！」と，私たちのアイデアに即座に対応し



てくれる仲間がいることは，とてもユニークで素晴らしいことだと思います．もちろんその逆もあり，理論研究者だからこそ実験結果を説明できることもあります．

私たちのグループでは，研究のアプローチは極めてインタラクティブです．メンバーが何か面白いアイデアを思いついたとき，私たちは数学的な言葉を使って活発に議論し，数式をホワイトボードのいたるところにどんどん書き始めます．もちろん，こうした数式を普通の言葉にも置き換えられるのですが，この2〜3行の数式があれば，日本語や英語にして50ページ分ほどのコミュニケーションが図れるのです．

ここ数年，HP，IBM等の海外の多くの有力企業の研究所は縮小傾向にあるのに対して，NTTは研究開発の重要性を認識し続け，多様性のある基礎研究を大切にしています．

一方で，職務規律や職場のルールの面では，私がNTTに入社した当時は研究所も典型的な日本企業という感じでした．そこで，私は上層部とも話し合い，結果を優先にしたいことを伝えると，風通しの良い環境で，フレキシブルな勤務体制で研究を進めることができるように取り計らってくれました．研究者が所定の勤務時間中に，机に張り付いてやるべきことだけを考えていたら，とてもクリエイティブにはなり得ないと思うのです．

ポロシャツにハーフパンツで仲間のもとへ飛び込もう．大切なのは「結果」だ！

●研究手法，研究者のあり方という意味で柔軟な姿勢が必要という意味でしょうか．

よくある一日として例をあげてみましょう．私たちのグループのメンバーは典型的ないわゆる会社員のような生活はしていません．私自身は午前7時前には出社して午後4時半には退社します．研究者として大事なことは，長時間働くことではなく生産性が高いことです．スーツを着て出社することは稀で，普段はほとんど1年中，ポロシャツにハーフパンツで研究活動をしています．研究に取り組む考え方も変わってきています．20年前までは，研究は研究者個人が取り組むものと考えられていましたが，近年はチームワークによって達成されるものだと考えられるようになってきています．このことは，最近のNTTの研究論文が，研究者からなるいくつもの小さな研究チームが協力することで得られた成果であることを見ればお分かりになると思います．そこでは，チームの誰もが役割を持っています．事実，1人の研究者が1つのチームだけに属しているとは限りません．

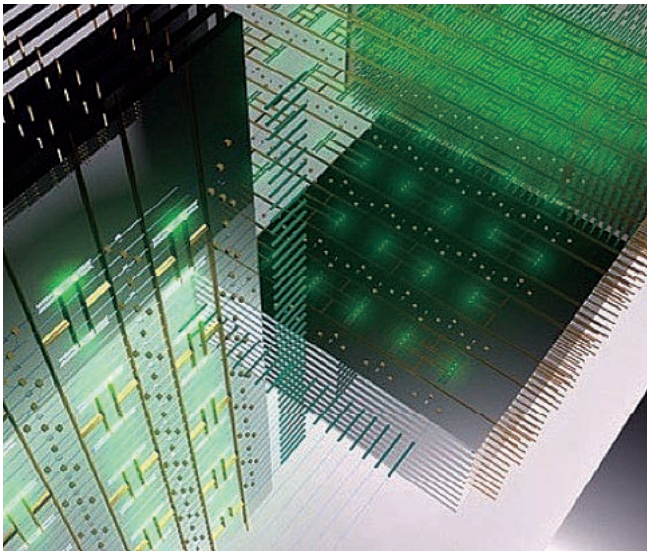
日本の研究者が誰かに意見を聞きたくなったときは，同僚と一緒にミーティングルームに行って，長時間2人だけで議論する傾向があるのではないでしょうか．しかし，周囲の研究者を惹きつけ，巻き込むような活発でダイナミックな議論ができる職場環境が，新しい考え方への刺激には必要だと思います．

そういった議論の中で，発言が正しいのか，間違っているのかは，問題ではありません．自分の考えを明確に積極的に発言することで，議論の焦点が明らかになるからです．実際に，私のグループと関連する研究室とは，このような関係を築いてきています．私にとっては，このような環境や関係性は自然であり，また当然なものですが，日本企業ではともすると上下関係にとらわれてしまい，まず上司に発言権があり部下はそれに従うという光景がみられます．NTT研究所においても上席などの肩書きを反映した序列はあります．しかし，肩書きを外せばすべてが「研究者」なのです．多くのNTT研究者に開かれた研究環境があることを知っていてほしいし，活発な議論をしている仲間を見かけたら，進んで議論の中に飛び込んでいってもらいたいと思います．

●柔軟，かつ新しい発想をつかむために，プライベートではどんなことをしていらっしゃいますか．

私はリラックスしたいときには料理をします．料理は喜びを感じられることの1つなのです．それというのも，実は私には物理学者という一面に加えて，化学者でもあるのです．さまざまな材料を混ぜ合わせるという点では，料理と化学はとても似ているところがあります．私は料理をしているときであっても，コンピュータを開いて，分割した画面でチョコレートケーキのレシピをチェックしながら，ラグビーを楽しんだりしています．こうすることで同時に複数の刺激を受けることができるわけです．実際，こうしているうちにアイデアが頻繁に浮かんできます．コンピュータを開いているのは，そのとき浮かんできたアイデ

アを書きとめるためでもあるのです．さまざまなアイデアを思いつくままに書き込むので，明快でも正確なものでもありませんが，これを後からパズルのように組み立てていくのが楽しいのです．疲れているときは良いアイデアは浮かばないので，ウォーキングやサイクリングも楽しんでいます．毎日の通勤でも歩きますし，週末は自宅から皇居あたりまで（20 km）歩くこともあります．そして，1000作品以上の電子書籍を楽しんでいます．読書が好きで，特にSF作品や漫画が好みです．アーサー・クラークが本に描いた世界は，いろいろな側面で今では現実のものになっていると思います．一方で，ドラゴンボールZの世界は非現実的ではありますが，他とは違う，他にないところが楽しいです．その正統的でないアイデアは，「型破りな発想」であり，日々の研究にある意味似通っていると思います．



既成概念にとらわれず，ダイナミック，かつ柔軟な姿勢で未来を描こう

●若い研究者の皆さんにアドバイスをお願いします．

とにかく枠を飛び出してほしいですね．自分のアイデアはクレイジーかもしれないし，他の人は馬鹿げていると思うかもしれません．しかし，100のアイデアがあれば，1つは良いアイデアがあるかもしれません．社会に大きなインパクトをもたらす，世界を変えるようなテーマに挑戦してください．そして失敗を恐れないでください．うまく問題が解けなかったとしても，それは失敗ではないのです．次の研究ステップでどうすれば良いのかを考える機会です．失敗することができないのであれば，成功することもできません．実際，若い研究員やポスドクが私のところに相談に来たら，何百というさまざまなアイデアを話すところから始めます．ホワイトボードの前に陣取って，これは実現可能か，どんなところに魅力を感じるか，すぐに実現できそうもないようなら，どうアプローチするのが最良の方法かとまくしたてます．つまり，研究とは情熱なのです．自分のアイデアがなければ，達成感の感じられない仕事をしているにすぎません．研究者は，何かを解決したいとか，探求したいといった自分の研究の目的を持っています．だから，情熱なしには，研究を続け，何か意義のあることを達成することはできないのです．

そして，最後にコミュニケーションの大切さを強調したいですね．これは若い方だけではなく，すべての研究者に対して言えることです．自分の席で，すべてのことを自分の手で片付けようとしないで，隣にいる人に話しかけ，質問してみてください．自分が今5分間ほど行き詰まっている問題でも，隣の人はさらっと解いてくれるかもしれません．自分の机や研究所を時々離れると，外部から良い刺激が受けられるものです．

●今後はどのように進まれますか．

やはり，量子デバイスの実現ですね．実際，量子力学そのものはハイテク機器にはすでに取り入れられています．私たちの挑戦は，量子原理そのものを用いた，より強力なデバイスをつくり出すことです．しかし，私たちのこの試みは，コンピュータや通信デバイスを小型化するといった今までの技術開発の単なる延長線上にはないのです．同じ原理を基にしながらも，今までとは異なる全く新しいものであり，変化ではなく，革命を引き起こすものなのです．具体的には，いろいろな実験グループと共同研究を進め，5年から10年以内に小型の量子デバイスを実現化することを目指しています．まだ基礎研究の段階で，実際にどのように機能するかはもう少し先の話ですが，今のところ順調に進んでいます．

私自身についていえば，日々の仕事はとても楽しいです．研究は仕事というよりも，やっていて楽しくて仕方がないものです．研究の楽しみを仕事から切り離すのは難しいですね．私たちはこの分野の最前線にいて，研究者としての役割は，その限界に挑戦し，より良い社会へと根本的に変えていくことです．

研究はエボリューションではなく，レボリューションなのです！