

ICORP「量子もつれプロジェクト」追跡評価報告書

1. 総合評価

本 ICORP プロジェクトでの主な成果は、①マイクロ共振器量子ドットからの単一光子の発生、②作動位相シフト方式 (DPS 方式) 量子暗号鍵配布の提案、③励起子ポラリトンのボーズ・アインシュタイン凝縮 (BEC) の観測、④シリコン量子計算機の提案、などであり、どれも当時の世界トップクラスの業績と言える。プロジェクト終了後も JST の SORST による継続的支援のために、高い業績を維持しながら順調に発展している。とくに、単一光子源の研究は、半導体電子スピンの光による量子ビット制御や量子中継技術の提案などに発展し、光による量子計算機の実現に向けた基礎研究の領域で着実な成果を挙げている。また、励起子ポラリトンの BEC の研究でも、数々の興味深い物理現象を発見しており、最近の超流動状態での量子渦対の発見に繋がっている。今後、この分野でのパイオニア的な研究業績と見なされるようになるであろう。

以上のように、本プロジェクトは世界的な成果を挙げ、さらにその成果はより発展的に展開されている。本プロジェクトの意義は、わが国のあるいは世界の量子情報研究に大きく貢献したこと、そしてわが国のこの分野における国際的存在感の向上に寄与したことである。

ICORP の前に ERATO、後に SORST と JST が研究の重要性を認識し、ICORP の 5 年を含め 15 年間にわたってサポートし続けたからこそ、世界をリードする山本グループの今日があると言える。その意味で、JST がもつ様々な研究費のスキームが連携した非常によい成功例であると言える。目利きの役割も含めて JST が組織として果たした役割には大きなものがあると考えられる。

2. 研究成果の発展状況や活用状況について

2. 1 プロジェクト終了後の研究の継続、発展

本 ICORP では大きく以下の 3 つのテーマが追及された。すなわち

- ①単一光子源の研究と、量子暗号鍵配布(QKD)の新プロトコルの研究
- ②励起子ポラリトンのボーズ・アインシュタイン凝縮の研究
- ③シリコン量子コンピューターの研究

である。これらの研究はそれぞれの報告にあるように、世界トップクラスの成果を挙げている。

上記テーマのうち、①、②については SORST(2004-2008)に引き継がれ、

(i) フーリエ変換限界の単一光子状態の発生、ベル状態の発生、半導体電子スピンの光による量子ビット制御、などに大きく発展した。QKD 技術に関しては

(ii) NTT のグループとの共同で作動位相シフト方式 (DPS 方式) の開発を継続し、鍵生成レートとして 12bps@200Km、17kbps @100Km という優れた成果に結びついている。

(iii) 励起子ポラリトンの研究は、数々の興味深い物理現象を現在も発見しつつあり、最近の

超流動状態での量子渦対（渦一反渦の束縛状態）の発見に繋がっている。

シリコン量子計算機の研究は、慶応大学に引き継がれ、量子メモリの提案がなされている。

2. 2 プロジェクトにおける相手国チームとの交流の効果

山本グループとフランスの Haroche のグループは、ともに量子情報あるいは量子物理の世界のトップグループである。本 ICORP では、この確立した2グループが共同で一つのテーマを当てるのではなく、相補的に互いに影響を及ぼしあうことによって、それぞれに大きな成果を挙げた。具体的には、Haroche グループが蓄積してきた超伝導キャビティを用いた Cavity QED(量子電磁力学)に関する蓄積が山本グループに、また山本グループの量子非破壊測定などに関する深い考察が Haroche グループに移行することで、両グループとも、新しい展開を量子実験科学にもたらした。

3. 研究成果から生み出された科学技術的、社会的及び経済的效果・効用及び波及効果について

3. 1 研究成果の科学技術の進歩への貢献

単一光子を発生・制御する半導体量子情報の分野では、間違いなく世界トップレベルにあり、この分野のけん引役の一人であることは間違いない。さらに光子の制御技術は、光による単一電子スピンの超高速制御の成功へと発展しており、スピンと光の新たな領域を開拓しつつある。

QKD の研究では、新プロトコルとして、作動位相シフト方式（DPS 方式）を提案し、見事に実証した。完全安全性の証明は未解決ではあるが、QKD の分野に新風を吹きこんだ業績は高く評価される。

励起子ポラリトンのボーズ・アインシュタイン凝縮の研究では、励起子ポラリトンの超流動を実験的に確立しつつあり、さらに渦一反渦の束縛状態の発見は、この分野だけでなく、低温物理学全般において、大きなインパクトを持った成果である。

光子の制御と励起子ポラリトンの研究は、どちらも世界のトップレベルの成果であり、量子情報科学実験をリードするものである。

3. 2 研究成果の応用に向けての発展

量子情報処理技術は、従来の情報処理技術に飛躍的な発展をもたらすものとして期待されているものの、如何に実用的なデバイスにインプリメントするのか、その解は見えていない。そのような状況にあって、本プロジェクトの目指すところは大変に野心的であり、半導体スピンの光による量子制御の実証などで、量子情報処理の実現可能性を示した意義は大きい。実用的な量子計算機の実現までは、まだ道のりが遠いが、一つの技術的な回答を示しつつあるものとしてインパクトは大きく、世界的にも注目されている。

量子情報通信（量子暗号）に関しては、量子コンピューターと比較して、実用化は近いと思われる。通信プロトコルに関しては、いくつもの方式が提案されており、現状では、微弱レー

ザーを光源としたデコイ BB84 が最も大きな研究対象となっている。今後、本 ICORP で提案された DSP 法がどのように評価されるか、期待を持って見守りたい。なお、量子通信を光通信ネットワークに持ち込むためには、量子テレポーテーション技術が必須であるが、本 ICORP でその実現可能性が示されたことは特記に値するだろう。

3. 3 参加研究者のプロジェクト後の活動状況

多数の人材が山本グループから輩出しており、参加研究者の約半数が公的な研究機関に就職し、世界の大学の教員として一大グループを形成するまでになっている。また、ICORP 直接の参加研究者ではないが、日本からは NTT や NEC などの企業から人が派遣され、世界最先端の研究を山本グループで担った後、帰国しており、人材のキャリアアップに多大な貢献がなされている。ただ、日本人の学生やポストドクが少数なのが少々残念である。

4. その他

評価会においては、評価委員の間で活発に意見が交わされ、本評価報告書を出すに至った。この中で個別の意見ではあるが参考となる意見が 2 件出された。

山本グループと Haroche グループの共同研究は、概念をやりとりするという広い意味での国際的共同研究であった。お互いの異なる概念をぶつけ、取り入れることで研究を充実させ大きな飛躍をもたらした好事例である。また、本プロジェクトと、それに先行する研究を通して俯瞰すると研究の初期の段階から発展段階まで継続して支援することといえば苗木から大木に育てることの重要性が認識される。これは、JST が作り上げたスキームの有効性を物語っている。

本プロジェクトは、研究代表者が Stanford 大学教授であり、海外に研究拠点がある珍しい例である。このことについては、国費を投入し、国内の研究開発アクティビティを高めるという観点から異論があることも考えられる。しかしながら、少なくとも本プロジェクトに限れば、研究代表者は世界第一級の研究者であり、また日米両国に研究拠点を持ち、常に日本の研究者と活発に交流されている。本プロジェクトについては、特に問題視することはないと思われる。