

## ERATO 今井量子計算機構プロジェクト事後評価報告書

総括責任者：

今井 浩 【東京大学大学院情報理工学系研究科／教授】

研究体制：

量子コンピューティンググループ（東京オフィス）

量子情報グループ（東京オフィス、筑波分室）

量子回路プログラミンググループ（京都オフィス）

評価委員：

甘利 俊一 【理化学研究所脳科学総合研究センター／センター長、東京大学名誉教授】

小芦 雅斗 【大阪大学大学院基礎工学研究科／助教授】

○細谷 暁夫 【東京工業大学大学院理工学研究科／教授】

村尾 美緒 【東京大学大学院理学系研究科／助教授】

(○は主査)

### 1章 事後評価の意義

今井プロジェクトが開始された2000年10月以前に、この国の量子計算科学と量子情報科学の研究者の多くは、個人あるいは少数のゆるい結びつきで行われていた。今井プロジェクトは、この新しい分野では日本で最初の、そして唯一の公的資金でサポートされた研究センターである。その5年間の実績と今後の展開の評価を行うことは、この国における量子計算科学と量子情報科学の健全な発展に極めて重要であることを認識している。

われわれ評価委員は、このプロジェクトの5年間の業績、組織運営の適切さと科学界・社会への貢献について評価を依頼されている。われわれは、このプロジェクトのセンターとしての役割と、若い研究者たちへ与えた広い意味の育成効果についても言及する。

### 2章 事後評価の資料と根拠

- (1) 「終了評価資料」（2005年9月13日）
- (2) 2005年10月13日に行われた総括の今井浩教授による組織運営に関する発表と、林博士、松本助教授、富田博士による研究成果の発表
- (3) 国内外の一般的な評判の総括

### 3章 事後評価

#### 1. 総合評価

評価：秀 (Excellent)

今井プロジェクトの対象とする研究は、量子力学の基本原理に立脚する未来型の計算・情報技術の基礎とされる量子計算、量子情報の理論的、実証的な研究である。そして、その研究の中で次世代の若手研究者を国際的な環境の中で育成することも重要な任務としている、ERATO の理念に合致したプロジェクトであった。

今井プロジェクトの5年間の研究業績は質・量とも顕著であり、世界水準にあると認める。さらに、毎年国際会議 EQIS (ERATO conference on Quantum Information Science) の開催を主とした国際交流を通じて、この分野における日本の研究の存在感を示し、これからの研究を担う有望な若手を育成したと高く評価する。

このプロジェクトは、3つのグループ (a) 量子アルゴリズム (b) 量子プログラミング (c) 量子情報通信からなり、(1) 量子計算分野 (2) 量子情報分野 (3) 実用に向けた実験的研究の3分野を発展させてきた。オフィスは東京を本部とし、京都、筑波に拠点を置く三角形構造を取っていた。それらの間の連携は密で、最終的には融合している観すらあった。これは、初段階では全く違う分野で仕事をしていた人たちが、言葉の使い方からコミュニケーションを始めたことを考えると、特記すべきことであろう。

その中で、グループリーダーたちを適切に配置し、存分に働かせた今井総括責任者の統率力を高く評価する。特に、途中で「量子暗号」へ重心を移すという「舵切り」を、勇気をもって行ったということは、世界的な研究の流れとも整合し、この5年間の ERATO プロジェクトの成功につながったと評価する。

研究成果のうち幾つかは世界的に高く評価されて、しかもその中には波及した研究も挙げることができる。それを以下の評価の詳細に述べるが、グループが融合して研究を行っている状態になったことに鑑み、研究分野ごとに対して行う。

#### 2. 研究業績の詳細

##### (1) 量子計算分野

量子アルゴリズムの分野においては、「リーダー選挙問題」に対する貢献が特に高く評価される。これは、量子計算が古典計算と質的に異なることを厳密に示した点で、独創的かつ重要である。また、若手の研究者によってなされた「隠れ部分群問題」については、部分群

が非可換群の場合にはじめて拡張できたという意味で特記される。

計算量的な研究については、暗号と関連した計算の複雑さの研究に特徴がある。そのうち量子一方向関数の性格付けと量子公開鍵暗号は、次世代の暗号技術の基礎たる提案をしていて、注目される。また、量子オートマトンによる、対話型証明に関する言語クラスのギャップが示されたことも興味深い。

また、「量子ランダムウォーク問題」では、シミュレーションの結果から ERATO が提起した問題とその推測が、外国の研究者によって理論的に裏付けられるという波及の例を示している。

この分野では、東京と京都のグループの成果が有機的に発展している点にも高く評価を与えたい。

## (2) 量子情報分野

まず特筆すべきは、中間評価前にあった成果で、ホレボ容量と生成エンタングルメントの加法性の同等性に対する貢献である。この ERATO の成果を国際的に一級の研究者たちが発展させて上記の同等性を証明した。加法性問題について、日本は先端を切り開いているが、この ERATO の研究の独創性は国際的にも高く評価されている。

量子統計・検定に関する組織的かつ広範な研究も評価される。また、筑波の実験グループと協力して、量子鍵配送について、デコイ状態を用いて、弱レーザー光を用いた盗聴を検知するというアイデアを実用レベルに持っていったことに、理論家が貢献している。

## (3) 量子暗号の実証的研究

良質の微弱な光子検出器の開発によって、実用的な量子鍵配送をめざし、エンタングルした光子対の基礎実験に成功している。その基本技術の一部は、以前から NEC が蓄積したものであるが、東京の量子情報理論、特に量子統計・検定の研究者とのコミュニケーションを通じてそれを量子通信・暗号に役立てるようにした点に価値を認める。

長距離 (150 km) 単光子通信において、世界記録が達成された。それは主に検出器の効率とダークカウントの比が顕著に改善されたことと、伝送の安定化によるものである。さらに、実際に電柱間に配線された商用光ファイバーによる通信のデモンストレーションなど、この分野の実用的な展望まで示したことは、一般社会に対する説得力があるという点で高く評価される。同様のことが、1000 キュービットの量子フーリエ変換のデモンストレーションについても言える。

## 3. 運営体制と人材の活用

このプロジェクトの特長であるところの量子計算、量子情報と実験的研究の「3角形構造」はたいへんうまく働いた。具体的には数人のプロジェクトリーダーが3角形の繋手になって研究を推進していたことにある。彼らは同時に強く動機づけられた若い研究者を育成もしていて、高く評価される。今後は、若い研究者同士もふくめて、真の multipartite な共同研究が活発になると期待される。

この分野における日本の唯一のセンターである ERATO 今井量子計算機構プロジェクトは、毎年国際会議 EQIS を組織開催し、国際的に一流の研究者を数多く招待し、国内の研究者との交流をはかり、また ERATO プロジェクトの研究者のみならず国内の研究者に研究発表の機会を与えた。厳密な事前査読に基づくこの会議は、国際的にも評価の定着した会議となっている。さらに、他の科学分野の研究者が、この新しい分野を認知する役割も果たしてきた。

このプロジェクトの人材育成面での貢献も、強調されなければならない。このプロジェクトで成長した若い研究者がやがて、この分野を深く理解した識見をもって、高等教育における量子力学や情報科学の良質な教育者として、社会に貢献していくことは間違いない。

以上