

JST-7

# ERATO 今井量子計算機構プロジェクト ERATO Imai Quantum Computation and Information Project

今井 浩<sup>†</sup>  
Hiroshi IMAI

## 1. はじめに

科学技術振興事業団のもう 20 年ほど歴史あるプロジェクトで、創造科学技術推進事業、英文略を用いて ERATO プロジェクトというのがある（現在は様々な制度展開がなされているが、ERATO 的プロジェクトは引き続きある）。このプロジェクトは昔の横並びの日本の感覚らしくない将来的センスに溢れた「とんがった」プロジェクトで、5 年間に渡って既存組織と独立したプロジェクトを立ち上げ、特定研究テーマを総括責任者のもと遂行するものである。量子計算機構に関する ERATO プロジェクトが 2000 年 10 月より 5 年間の期間で著者を総括責任者としてスタートしている。量子計算はまさしくこのようなとんがったプロジェクトを必要とする分野ではまり役であり、本稿ではこのプロジェクトを紹介したい。

## 2. ERATO による量子情報科学への挑戦

量子計算・量子情報処理はどの分野に属する学問なのだろうか？ 量子力学を使うからには、それを産み出した物理だろうか、計算とか情報処理というからにはコンピュータに関する科学を研究する情報科学なのだろうか、さらにはこれまで CPU のスピードアップを支えて来た半導体技術のエレクトロニクスなのだろうか、はては量子通信まで眼中にいれると数理情報基礎としての量子情報理論なのだろうか？

ERATO 今井量子計算機構プロジェクトのこの間にに対するスタンスは、我々は量子計算機構を中心とした量子情報科学を統一した分野として基礎科学研究を進め、研究論文・特許を通して将来を支える技術を産み出そうというものである。そこでは、もはや学際的という言葉も特に意味をなさず、従来の縦割りの学問では克服できない独創的な研究を進めるというものである。5 年間と年限はついているが、大学の外に独立したオフィスを構え、そこに元々は種々の関連分野で学位を取得した研究者が集結して、これまで確立されていなかった量子情報科学を確たるものにすることを目指している。

今のコンピュータは 20 世紀初頭に理論的な萌芽があり、20 世紀半ばに実現され、以降 50 年ほどの間に格段と進歩してきた、今の FIT 分野の研究・開発者は成熟期の先端にいる。一方、コンピュータの黎明期の研究者がもっていた大きな夢を、今 21 世紀で黎明期の広分野に渡る量子情報科学に挑戦する研究者はもちえる。すなわち、量子コンピュータ、さらには量子情報システムは、半世紀前のコンピュータ発明の時代に近い段階に今あり、20 世紀が産み出した 1 大物理である量子力学をもとに、それを情報という世界で 21 世紀にはばたかせる夢を広く描ける時代なのだ。しかも、半世紀前とは全く違った IT 環境における研究となって、昔は天才達でも時間がかかるってはじめてできた研究が、多くの人の智慧を集め

<sup>†</sup>ERATO 今井量子計算機構プロジェクト、JST; 東京大学情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻



図 1: ERATO 量子計算機構プロジェクトの 3 オフィス

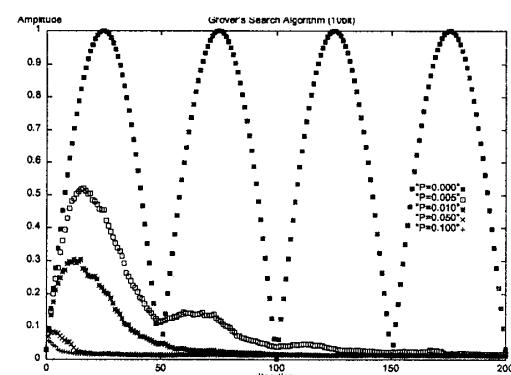


図 2: 10 量子ビットの Grover の量子探索アルゴリズムで、depolarizing channel モデルでデコヒーレンスが起こった場合のシミュレート結果。特定部位の振幅(縦軸)が反復(横軸)に従って変化するグラフ。量子計算特有のデコヒーレンスというエラーに対する耐性をシミュレーションで検証できる。デコヒーレンスで周期関数が減衰していく度合いが観測されている。

た集中的研究も迅速にできる環境である。そういう時代において、夢あるプロジェクトに参加できる機会があり、そこで大きな成果を得られるのは、おそらく今の若い人の特権で、それにまさる研究上の幸せを探すのはなかなか難しいかもしれない。

ERATO 今井量子計算機構プロジェクトでは、このような夢を現実のものとするために、幅広い分野から十数名のポスドク研究員、十数名の大学院生の研究員の参加を得て、研究を推進している。具体的には、図 1 のように東京オフィス（東大赤門前の学外に配置）を核に、量子回路・計算理論を中心に扱う京都オフィス（河原町丸太町）、光量子暗号・通信・計算実験を推進する筑波オフィス（NEC 基礎研究所内）の 3 抱点でトライアングルを構成し、互いに連携をとりながら進めている。

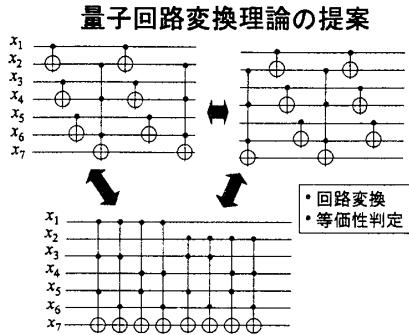


図3: 量子回路変換理論: 制御 NOT よりなる回路間で変換を施して標準形にもっていくことにより等価性判定可能。これに基づき最小化問題を扱うことなど可能に。従来のVLSI設計のトップの国際会議でERATOより始めて量子回路変換理論を提示

### 3. プロジェクト推進方針・成果

箇条書きで研究方針研究方針を書くと、

- 量子情報科学の確立・基礎研究・技術開発推進
  - 量子コンピュータの能力発展・解析
  - 量子コンピュータ実現援用の理論・システム開発
  - 量子情報理論の基礎
  - 光量子暗号・計算・通信の実験、新技術開発
- 国際貢献・日本からの情報発信
- 3極構造による拠点活動
- 量子情報科学における特許等知的財産確立

のようになる。さらに、これまでの成果の一部を同様に簡潔に表すと、

- 量子コンピュータ実現援用理論に関するもの
  - 量子誤り訂正回路の忠実度限界の解明 [2]
  - 量子計算シミュレーションによる回路解析(図2)
- 量子コンピュータの能力発展・解析
  - 量子回路変換理論の提案(図3; [3])
  - 量子対話証明の計算能力解明(図4; [4])
- 量子情報理論に関するもの
  - 量子ユニバーサル圧縮方式の開発
  - 量子エンタングルメントに関する包括的研究
  - 量子推定に基づく量子情報科学理論構築
- 最先端光子検出器開発(都市間量子暗号を可能に; 図5)と、真に量子情報的実験の展開[5]となる。

### 4. おわりに

ERATOプロジェクトの色々な活動などはホームページ[1]に掲載されているので、そちらを参照頂ければ幸いである。新たに参加する若手研究者は引き続き募集しており、そのような方は是非連絡をとって頂きたい。またEQIS(ERATO Workshop on Quantum Information Science)という国際ワークショップを年1回200名程度の参加者の規模で開催しており、それへのさらなる参加も是非お願いしたい。

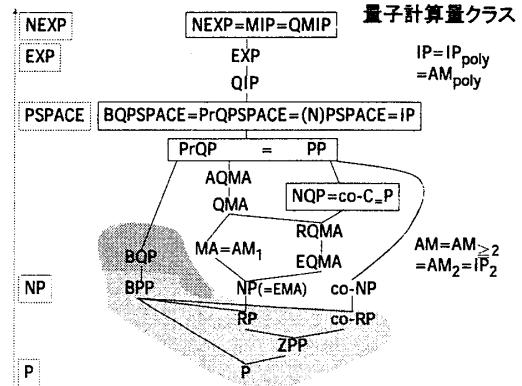


図4: 量子計算量クラス: 量子コンピュータがPとNP完全の間だと思われていていた問題を効率よく解く。その周辺の計算量クラスと、量子コンピュータの本質的な計算能力を解析した図

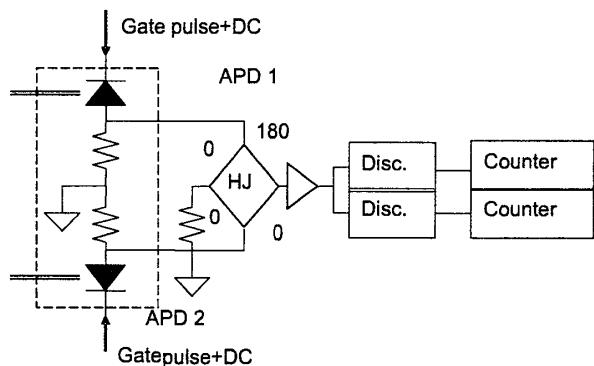


図5: 高感度光子検出器回路図。APD: アバランシェ・フォトダイオード, HJ: ハイブリッド・ジャンクション, Disc: ディスクリミネータ。2つのAPDに同時にパルス電圧をかけて雑音を打ち消す。

### 参考文献

- [1] ERATO 今井量子計算機構プロジェクト, JST. <http://www.qci.jst.go.jp/>
- [2] M. Hamada: Lower bounds on the quantum capacity and highest error exponent of general memoryless channels. *IEEE Trans. Information Theory*, in press.
- [3] K. Iwama, Y. Kambayashi and S. Yamashita: Transformation rules for designing CNOT-based quantum circuits. *39th Design Automation Conference (DAC)*, June 2002.
- [4] H. Kobayashi and K. Matsumoto: Quantum multi-prover interactive proof systems with limited prior entanglement. *13th Annual Int. Symp. on Algorithms and Computation (ISAAC)*, November 2002, to appear.
- [5] A. Tomita and K. Nakamura: A balanced gated-mode photon detector for qubit discrimination in 1550nm. arXiv:quant-ph/0206150, 2002.