

# 序

「前世紀の古典的計算機と同じように、今世紀にはおそらく量子計算機が私たちの日常生活を劇的に変えるだろう。」

— 2012年ノーベル物理学賞の記者発表からの抜粋

量子計算機は、既存の計算機と比して劇的な優位性が見込まれる。今や、世界中の政府や産業界が、実用的な量子計算機の構築を期待して多額の資金を投資している。近年の急速な物理的実験の進展は、大規模で機能的な量子計算機ハードウェアが10年から20年以内に構築されるであろうという大きな期待を抱かせた。しかしながら、量子計算の素晴らしい力を現実のものとするためには、あきらかに量子計算機ハードウェアだけでは足りず、量子計算ソフトウェアもまた重要な役割を担う。今日使われているソフトウェア開発技術は、量子計算機に応用することはできない。古典的世界の性質と量子的世界の性質が本質的に異なることは、量子計算機をプログラムするための新たな技術が必要となることを意味する。

量子プログラミングの研究は1996年には早くも始まり、この20年の間に、豊富な内容の結果がさまざまな会議で発表されたり、さまざまな学術誌で報告された。一方では、量子プログラミングは、いまだ未成熟な対象分野であり、その知識ベースは非常に断片的で分断されている。本書は、量子プログラミング分野の体系的で詳細な解説を与えることを意図している。

量子プログラミングはいまだ発展中の領域であるから、本書では、特定の量子プログラミング言語や量子プログラミング技術に焦点を当てることはしない。それらは、この先大きな変化が生じると考えられる。その代わりとして、さまざまな言語や技術に広く用いることができる基本的な概念、手法、数学的ツールに重

点を置く。本書では、量子力学と量子計算の基本的知識から始めて、量子計算機の比類なき威力を効果的に利用することのできるさまざまな量子プログラムの構成要素や一連の量子プログラミングモデルを詳しく紹介する。さらに、量子プログラムの意味論や論理や検証解析技術を体系的に論じる。

量子計算テクノロジーに対する莫大な投資と急速な進歩により、この10年以内に量子プログラミングの刺激的な領域にますます多くの研究者が参入してくると筆者は考える。こうした研究者には研究の出発点として参考図書が必要であろう。また、ますます多くの大学で、量子プログラミングの講義が開講されるであろう。教師にとっても学生にとっても教科書が必要になる。そこで、本書を執筆するにあたって、次の二つの目標を立てた。

- (i) この分野のさらなる研究の基礎を与えること。
- (ii) 大学院や学部専門課程の講義の教科書として使えること。

量子プログラミングは、高度に学際的な対象領域である。初心者や、とくに学生は、通常多くの異なる対象領域の知識を要求されることに挫折しやすい。本書は、プログラミング言語に通じた人が理解しやすいよう、詳細を具体的に提示して、可能な限り自己完結するように努めた。

本書の執筆により、量子プログラミングに対する見方を体系化する機会が得られた。一方で、この対象領域についての筆者自身の理解にもとづいて、本書に含める話題を選び、題材をまとめた。そして、いくつかの重要な話題については、それについて限られた知識しかないために、本文からは除いた。その救済策として、巻末の展望の章で、これらの話題について簡単に考察した。

# 謝 辞

本書は、清華大学知能技術・システム研究所の量子計算・量子情報グループおよびシドニー工科大学量子計算・知能システムセンター（QCIS）量子計算研究所における過去15年間の著者の研究から生まれたものである。そこでの同僚や学生との共同研究や議論は非常に心踊るものであった。彼ら全員に感謝したい。

本書の草稿を精読し、有益なコメントや助言をくれた蓮尾一郎（東京大学）とユアン・フェン（シドニー工科大学）には、とくに感謝する。また、本社発刊の提案に対する匿名の査読者にも非常に感謝する。彼らからの助言は、本書の構成に非常に役立った。そして、モーガン・カウフマンの編集者や企画責任者である、スティーブ・エリオット、パニサバシー・ゴピンドラジャン、アミ・インヴェルニッツィ、リンゼイ・ローレンスにも感謝したい。

著者の考えを自由に追求させてくれたシドニー工科大学工学・情報技術学部の量子計算・知能システムセンターにはとくに感謝する。

量子プログラミングに関する著者の研究は、オーストラリア研究会議（ARC）、中国国家自然科学基金委員会（NSFC）、中国科学院（CAS）数学与系统科学研究院海外チームプログラムの支援を受けている。この組織すべてに感謝の意を表す。