

宇宙地球フロンティア実地研修 報告書

Report for Onsite Training in Earth-Space Frontier Science

氏名/Name	徳野 鷹人 TOKUNO Takato		
所属部局/ Affiliation	理学系 研究科 天文学 専攻 Department of Astronomy , Graduate School of Science		
研究機関・企業名 /Hosting Institution	三菱電機株式会社 情報技術総合研究所 Mitsubishi Electric Corp., Information Technology R&D Center		
期間/Period	2023年1月10日 01 / 10 / 2023	~	2023年3月31日 03 / 31 / 2023 *西暦で記入 mm/dd/yyyy

実習背景

量子計算機は現在、実現した時のインパクトの大きさという観点から注目されており活発に研究されている。筆者の専門分野である天体物理学においても、量子計算機特有のアルゴリズム（量子アルゴリズム）を用いた数値計算手法に関する研究が近年報告されている。この時勢とかねてからの興味から、量子計算機に関する体系的な知識を学びたいと考え、2023年1-3月にかけてc-engine研究インターシッププログラムに参加し、株式会社三菱電機 情報技術総合研究所において量子計算機に関する研究インターシップに従事した。

実習内容

インターンシップ前半では、量子計算機について教科書を用いて基礎から学習した後、古典計算機による量子計算シミュレーションを実装する演習を行った。基礎的な量子アルゴリズムを再現する量子計算シミュレーションの実装を通して、量子アルゴリズムを研究する下地を身に着けた。

インターンシップの後半では量子計算が天体物理学に対してどのように貢献可能かを検討した。恒星の研究において必須となる恒星進化計算は連立微分方程式を数値的に解く必要がある。Henye法と呼ばれる計算スキームにより線形方程式の数値解の導出に帰着できる事が知られており、基本的にこの手法に基づいて数値計算が行われている。一方で、近年の研究から多層構造となっている恒星の境界付近の構造が進化において非常に重要であるということが示唆されており、これを数値的に検証するには恒星進化計算の時間と空間両方の刻み幅を十分に細かくする必要がある。しかし、現在の古典計算機ではメッシュ数を増やしてパラメータサーチを行おうとすると非常に大きな計算資源が要求される事がわかっている。

この点に関して、疎な行列に対応する線形方程式の数値解の導出は量子計算機のほうが古典計算機よりも計算量オーダーが小さい問題の一つであることが判明している。Henye法で現れる線形方程式も疎な行列に対応する事を踏まえ、恒星進化計算に量子計算が有効である事を指摘した。線形方程式の数値解を導出する量子アルゴリズムであるHHLアルゴリズムを用いた際、空間メッシュ数 N に対して古典計算機では $O(N^2)$ の計算が必要になるが量子計算では $O(N \log N)$ と指数加速する事ができ、量子計算機を用いれば細かい構造を捉える恒星進化計算が現実的な時間で実行可能となる事を指摘した。

研究インターンシップの最後に、自らの大学での研究内容と上記の当インターンシップの成果に関して部署内で研究発表を行った。

Background:

Quantum computers are actively discussed in terms of their impact. From the viewpoint of astrophysics, which is my research field, there is research about the numerical simulation method considering the algorithms of quantum computers (quantum algorithms). Based on this background and my interest, I participated in the research internship program at Mitsubishi Electric Corporation from January to March 2023 and engaged in research on quantum computers.

Details:

In the former half of the internship, I learned about quantum computers from the basics, and then I practiced

implementing the simulations method of quantum computation using a classical computer.

In the latter half of the internship, I examined how quantum computation can contribute to astrophysics. The simulation of stellar evolution, which is essential in stellar physics, requires the numerical solution of simultaneous differential equations. Through the Henyey method, the problem can reduce to the derivation of numerical solutions to sparse linear equations. On the other hand, recent studies have suggested that the thin structure of a star is fundamental in its evolution, and it is necessary to make both the time and space mesh of calculation sufficiently fine. These calculations need many computational resources for classical computers.

In this respect, the derivation of numerical solutions to sparse linear equations has been found to be one of the problems for which quantum computers are effective. We found that, when using a quantum algorithm such as the HHL algorithm, the computational complexity is reduced exponentially, potentially making it possible to simulate stellar evolution that resolves the detailed structure.

I have presented my research at the university and the achievement of this internship at the end of the program.



三菱電機株式会社 情報技術総合研究所
Mitsubishi Electric Corp.
Information Technology R&D Center



研究インターンシップ最終発表の様子
Final presentation at the end of the program