

The submitted manuscript has been authored by an employee or employees of Triad National Security, LLC (Triad) under contract with the U.S. Department of Energy (DOE). Accordingly, the U.S. Government retains an irrevocable, nonexclusive, royalty-free license to publish, translate, reproduce, use, or dispose of the published form of the work and to authorize others to do the same for U.S. Government purposes.

2019年6月6日にMassachusetts Institute of Technology, Department of Nuclear Science and EngineeringにおいてPh. D in Quantum Engineeringを取得し、2019年9月より、博士研究員としてアメリカのロスアラモス国立研究所で量子計算と量子情報理論の研究をしております、2013年より二年間、船井情報科学振興財団より海外大学院留学のための奨学金を頂いておりました曾根 彬です。今回のレポートでは、MITを卒業してからこれまでの活動について紹介したいと思います。本報告書の英訳も添付しておきました。

1. ロスアラモス国立研究所までの道のり

MITを卒業する約一年前から博士研究員のポストを探し始めました。当初は、量子理論に関して様々なトピックに興味を持っていましたので、応用研究に強いアメリカだけでなく基礎研究に多く精力を注いでいるヨーロッパでの博士研究員のポジションを探していました。当初は、大学のみに着目して、国立研究所は考慮していませんでした。MITの指導教員からはなぜ大学を中心に考えるのか尋ねられました。私はただ自由度が高そうだったからとしか答えられず、先生からは国立研究所での研究経験がない私に先入観が少し入った考えなのではないかと指摘され、国立研究所も考慮に入れて、いろいろな場所と環境で研究をした方がいいとアドバイスされました。実はその考え方はMITの伝統とも言える考え方でした。20世紀を代表する理論物理学者であるRichard FeynmanはMITの学部を卒業した後、MITに残って研究をしようとしたのですが、指導教員にMITを離れて他の大学で研究しなさいと言われて、プリンストン大学を選んだという話があるように、MITでは学生を残すのではなく、「外に出す」という考えに基づいて、学生の進路を指導しています。卒業生が世界規模の広いネットワークを作り上げていくことがMITの教育方針の一つでもあります。もちろんMITに残る学生もいますが、多くの学生はMITとは異なる大学や研究機関で博士研究員の研究をします。私もそのようにアドバイスされました。

さて、博士研究員を探す際に、物理学を専攻する私は以下の二つのサイトを活用しました。

(1) HigherEdJobs (<https://www.higheredjobs.com/>)

(2) Physics Today Jobs (<https://jobs.physicstoday.org/>)

ここで自分の興味持っている分野のキーワードと職の種類を入力すれば全世界のそのキーワードに関する教授職または研究職の採用情報が表示されるのです。私はそこでロスアラモス国立研究所での量子計算理論に関する採用情報を見つけ、その博士研究員に応募しました。そして2月に面接があり、その数週間後に採用の知らせが来ました。私は指導教員のアドバイスを思い出し、国立研究所での研究経験のない私にとってこれは極めて貴重な機会だと思い、国立研究所で研究してみようと決心しました。そして引越しや航空券などの費用はすべてカバーされ、とても助かりました。しかし、家探しが大変で、やっとの思いで研究所に近い家が見つかり、一息安心したのを覚えています。

2. ロスアラモス国立研究所での研究環境と内容

ロスアラモス国立研究所はアメリカ南西部にあるニューメキシコ州の自然豊かな小さな町ロスアラモスに位置しており、四方山々に囲まれた研究所です。ロスアラモスに着くと、そこは高層ビルが立ち並ぶボストンとは違って、山々や木々に囲まれた大自然がありました。物理学を研究するには最高の環境がここにあると私は心からそう確信し、希望に満ち溢れたのを覚えています。国立研究所では、チームワーク精神が何よりも大切でした。互いの専門を活かし、協力しあって一つの大きな科学成果を作り上げることが何よりも重要で、改めて科学研究におけるチームワークの大切さを実感しました。

さて、9月に国立研究所に入ってまず行った研究は量子コンピューターと古典コンピューターを合わせたハイブリッドシステムに関する研究で、量子コンピューターによって計算されるコスト関数に関する最適化問題を古典コンピューターで解くと言うものです。私たちは、今まで提案されたグローバル測定によるコスト関数では古典コンピューターで解き難いという事実を数学的に証明し、局所測定に基づくコスト関数ならば古典コンピューターで解きやすくなることを数学的に証明しました。この論文は1月に書き終え、preprintとしてarXivに掲載し、Nature Communicationにsubmitしました。

Reference: <https://arxiv.org/abs/2001.00550>

私個人で行っている研究として、量子熱力学という分野があるのですが、ミクロの世界を記述する量子力学の立場からマクロの世界を記述する熱力学の法則を理解するという考え方です。その中で、熱浴と相互作用している量子系における仕事と熱を量子力学的にどのように定義すれば良いのかという問題が議論されてきました。私は、少しユニークな測定スキームに着目して、非平衡熱力学におけるもっとも重要な恒等式である Jarzynski 恒等式を用いて、量子力学における仕事の定義、熱の定義、さらに熱力学第二法則について私の MIT にいたころの指導教員と同僚で以下の論文を書きました。こちらも preprint として2月に arXiv に掲載し、Physical Review Letters に submit しました。

Reference: <https://arxiv.org/abs/2002.06332>

以上がロスアラモス国立研究所での今までの研究生活でした。1月10日に娘の博絵も生まれ、これからは研究と育児の両立に努めなければなりません、毎日が充実しているように感じています。心から財団に感謝を申し上げますと共に、財団の期待に応えられるよう、将来学術界の中で研究と教育事業を精一杯頑張っていきます。

曾根 彬

2020年04月08日

ニューメキシコ州 ロスアラモス

(English Translation)

The Funai Foundation for Information Technology, First postdoc term report

Scholarship student of the year 2013, Akira Sone

The submitted manuscript has been authored by an employee or employees of Triad National Security, LLC (Triad) under contract with the U.S. Department of Energy (DOE). Accordingly, the U.S. Government retains an irrevocable, nonexclusive, royalty-free license to publish, translate, reproduce, use, or dispose of the published form of the work and to authorize others to do the same for U.S. Government purposes.

My name is Akira Sone. I graduated from Massachusetts Institute of Technology, Department of Nuclear Science and Engineering with Ph. D degree in Quantum Engineering in June 6th, 2019. Since September 2019, I have been working on quantum computation and quantum information as a postdoctoral researcher at Los Alamos National Laboratory (LANL) in United States. I received the scholarship for my oversea Ph. D study at MIT from the Funai Foundation for Information Technology for two years from 2013. In this report, I would like to introduce my recent activities since my graduation from MIT. I also attach the English translation for this report, too.

1. The road to Los Alamos National Laboratory

I started to search for the postdoc opportunity one year before my graduation from MIT. In the very beginning, I was interested in many different topics related to quantum theory, so I was looking for the postdoc position not only in U.S., which is very strong in application research, but also in Europe, which pays more attention to basic research. I only focused on the opportunity at universities, but never thought about the opportunity at national laboratory. Then, my supervisor at MIT asked me why I was focusing on only universities. The only answer that I was able to give is the high degree of freedom of doing research. However, my supervisor pointed out that I had never had experience of working at national laboratory and my thought was biased. She suggested that I should have the experience of doing research in different places and different environment. Actually, this point of view can be regarded as the traditional way of thinking of MIT.

Richard Feynman, who was one of greatest theoretical physicists who represents the 20th century, tried to stay at MIT for continuing his research after his bachelor at MIT. However, his supervisor suggested that he should go other universities for the research, and Feynman chose Princeton University for his graduate study. Like this story, MIT's motto for student's career guidance is to send their students out instead of keeping their students. MIT's educational guidance policy is to have their alumni to build up a global network. Of course, there are some students staying at MIT after their graduation, but most of students will continue their research as postdoc in different universities or institutions. I was also advised in that way.

When I looked for the postdoc position, as a student majoring in physics, I took advantage of the following website.

- (1) HigherEdJobs (<https://www.higheredjobs.com/>)
- (2) Physics Today Jobs (<https://jobs.physicstoday.org/>)

Inputting the keyword related to the fields one is interested in, and the type of the positions one is looking for, one can find the recruitment information related to the keyword and position type from all around the world. I found the

postdoc recruitment information for quantum computation theory at LANL, and I applied for it. In February, I got an interview opportunity, and after couple of weeks, I got their response. I recalled my supervisors' advice, and made up my mind to do my research at national laboratory. It was very helpful that LANL covered all moving and air tickets for me. However, it was very hard to find the apartment. Fortunately, I was able to find an apartment close to the laboratory, and I remembered that I felt really relieved.

2. Research environment and research contents at LANL

LANL, surrounded by beautiful mountains, is located in a small town with beautiful nature, Los Alamos, in New Mexico in the southwestern United States. Once I arrived at Los Alamos, there was a nature surrounded by mountains and forests, which is completely different from Boston, the city filled with many buildings. I was sincerely convinced that this is the best place to study physics, and I remembered that I was full of hope. In the national laboratory, teamwork spirit is the most important. Everybody has to take advantage their expertise to make a great scientific achievement in collaboration. This is the most important spirit in the national laboratory, and I realized again the importance of the teamwork.

The first research after I started working at LANL in September was the one about the hybrid system of the quantum computer and classical computer, in which we studied the scenario that the classical computer solves the optimization problem related to the cost function computed by quantum computer. We mathematically proved that it was hard for the classical computer to solve the optimization problem of the cost function, which was conventionally defined by considering the global measurement. Then, we also mathematically proved that it would be easier for the classical computer to solve if we consider the cost function defined by the local measurement. We have finished this paper in January, posted it on arXiv as preprint, and submitted it to Nature Communication.

Reference: <https://arxiv.org/abs/2001.00550>

As an individual research, I have been working on the field called quantum thermodynamics, which aims to understand the law of thermodynamics, which describes the macroscopic world, from the perspective of quantum mechanics, which describes the microscopic world. It has been discussed how to quantum mechanically define the work and heat in the quantum system interacting with a heat bath. With my previous colleague and supervisor at MIT, I wrote a paper about the definition of work, heat in quantum mechanics, and second law of thermodynamics by focusing on a little bit more unique measurement scheme and using Jarzynski equality, the most equality in the nonequilibrium thermodynamics. We posted this paper on arXiv in February as preprint, and submitted it to Physical Review Letters.

Reference: <https://arxiv.org/abs/2002.06332>

These are the life of mine so far at LANL. On January 10th, my daughter Hiroe was born. I need to do my best for both research and childcare. Thanks to the Funai Foundation's encouragement, I feel that every day is fulfilling. I would like to offer my deep gratitude to the Funai Foundation for their encouragement, and to meet the expectation of the Funai Foundation, I will continue to do my best in research and education in the academia in the future.

Akira Sone

April 8th, 2020

Los Alamos, New Mexico