

MERIT 長期海外派遣報告書

工学系研究科 物理工学専攻 博士3年 MERIT 9期生
沙川研究室 三橋 洋亮

派遣先: Jagiellonian 大学

受け入れ研究室: Kamil Korzekwa's Group

渡航期間: 2023年7月1日から2023年7月30日

研究課題: 対称操作による状態の変換条件の研究

概要

ポーランドにある Jagiellonian 大学の Kamil Korzekwa 先生の下で、時間並進と交換するような対称操作による状態変換の条件について考えた。まず、この問題は半正定値計画問題として定式化されるため数値的に解けることを明らかにした。さらに、いくつかの特殊な場合については解析的に条件を与えられることを示し、その条件が数値的に得られたものと一致することを確認した。

研究について

エネルギー保存の条件は古典的な熱力学だけでなく、量子的な熱力学においても重要な役割を果たす。例えば、量子コヒーレンスが増加しないという性質はエネルギー保存の条件から導かれており、これはより一般に、量子熱力学で許容される操作が時間並進と交換するという性質から得ることができる。そこで、今回はこの時間並進共変な完全正値トレース保存 (CPTP) 写像による状態の変換条件を考える。



図 1: Jagiellonian 大学の物理系の建物。

時間並進共変な CPTP 写像による変換においては、エネルギー準位の分布によって、問題の難易度や取り扱い方が大きく異なるため、大きく次の 2 つの場合に分けて考察した。まず、1つ目は、エネルギー準位差が全て異なる状況である。この場合についてはコヒーレンスの移り変わり方が単純であり、任意の準位数の系に対して、状態変換の条件を明らかにした。2つ目の状況としては、1つ目とは対極的に、エネルギー準位が等間隔である状況について考えた。この場合は、コヒーレンスの移り変わりに追加の自由度が発生するため、取り扱い方がより複雑になるが、2準位系から多準位系への変換条件については明らかにすることができた。

研究手法としては、Choi-Jamiołkowski 同型を重要なアイデアとして利用している。これにより、考える条件を操作の存在条件からベクトルの存在条件へと変換することが可能となっている。さらに、変換された条件は反正定値計画問題として書かれるが、そのプログラムを研究室の学生である Moisés Bermejo Morán 氏に書いてもらうことができ、解析的な結果を数値的に検証することができ、研究を効率良く進めることができた。

今回得られた結果は論文としてまとめる予定で、今後の方針としては、今回とは逆の方向の変換条件、つまり多準位系から 2 準位系への変換条件を明らかにし、さらに多準位から多準位への変換についても何らかの洞察を得たいと考えている。

生活について

ポーランドの気温は 25°C から 30°C 程度であり、日差しは日本よりも少し強かった。

Jagiellonian 大学の文系学部のキャンパスは Kraków の中心部にあるのに対して、理系学部は中心部からトラムで 40 分ほど離れた新しいキャンパスに位置している (図 1 参照)。

生活スタイルとしては、朝は各自で個別の作業をし、13 時に研究室のグループで食堂に昼ご飯を食べ、その後少しコーヒープレイクがあり、午後は基本的に毎日 Korzekwa 先生と議論をした。Korzekwa 先生がいない日や忙しい日には、研究室の他の学生と研究内容について交流し、また Morán 氏とともに解析的な結果と数値的な結果が一致するかどうかについて検証を行った。

休日に Morán 氏に Kraków の街の中心部を案内してもらうことができ、歴史的な街並みや、Kraków を流れる Wisła 川を見ることができた (図 2 参照)。Kraków は解析学で有名な Banach の出身地で、Jagiellonian 大学の文系キャンパスの近くの公園で Banach と Steinhaus の像を見ることができた (図 3 参照)。



図 2: Kraków を流れる Wisła 川。



図 3: Banach と Steinhaus の像。

謝辞

Korzekwa 先生には今回の滞在を受け入れていただき、また滞在中に大変親切に議論に付き合ってください感謝申し上げます。研究室の学生も、温かく受け入れて交流していただき感謝申し上げます。特に Morán 氏には状態の変換条件を数値的に得るためのプログラムを書いていただいたことに感謝申し上げます。また、この MERIT 長期海外派遣に関わってい

ただいた沙川先生や、MERIT の先生方、事務局の方に感謝申し上げます。今回の滞在に関して、日本学術振興会に経済的支援をいただき、感謝申し上げます。