

京都大学教育研究振興財団助成事業
成果報告書

2024年10月28日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団
会長 藤 洋作 様

所属部局・研究科 基礎物理学研究所

職名・学年 准教授

氏名 笹倉 直樹

助成の種類	令和6年度 ・ 国際研究集会発表助成			
研究集会名	Random tensors and related topics (ランダムテンソルと関連課題)			
発表形式	<input type="checkbox"/> 招待 ・ <input checked="" type="checkbox"/> 口頭 ・ <input type="checkbox"/> ポスター ・ <input type="checkbox"/> その他()			
発表題目	Signed eigenvalue distributions of complex random tensors and geometric measure of entanglement of multipartite states			
開催場所	アンリ・ポワンカレ研究所 (パリ市, フランス)			
渡航期間	2024年9月30日 ~ 2024年10月21日			
成果の概要	タイトルは「成果の概要／報告者名」として、A4版1枚程度・和文で作成し、添付して下さい。「成果の概要」以外に添付する資料 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有()			
会計報告	交付を受けた助成金額	35万円		
	使用した助成金額	35万円		
	返納すべき助成金額	0円		
	助成金の使途内訳	費目	金額(円)	
		航空運賃	10万円	
		宿泊費	25万円	
		滞在費	0円	
		学会参加費	0円	
その他	0円			
	以上に助成金を充当			
当財団の助成について	(今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。) 採用決定が早く計画が立てやすかった。他の資金との合わせての使用が可能なのも大変ありがたく、非常に有効に助成金を活用できた。科研費等と合わせて使用したため、上記の使途内訳は目安程度のものである。参加させていただいた国際会議は大変刺激的で最高の経験をさせていただき、財団にはとても感謝している。今後とも財団の補助でますます多くの研究者がこのような素晴らしい恩恵を得ることを願っている。			

成果の概要／笹倉直樹

研究会

本研究会はパリにあるアンリ・ポワンカレ研究所で行われ、「Random tensors and related topics」をタイトルとし、ランダムテンソルをキーワードとして、量子重力・素粒子論、ガラスなどの複雑系物性、量子物性、量子情報理論、機械学習、確率論などの数理的分野を横断的に結びつけようとする極めて野心的な研究会である。世話人の意図としては、専門用語の言語的な壁を打破し共通のプラットフォームを醸成することにより発展を促そうというものであり、私の知る限りこのような研究会はこれまでなかった。実際のところ、それぞれの分野で同種の事項が違う言葉で書かれていることや、他分野の手法や結果を応用できることなどの共通事項が多々あり、また私自身の研究もこのような横断的なものであることもあって、世話人の意図に共感する。研究会の構成としては、3週間にわたり、講義、ショートトーク、各論の講義、未解決問題セッション、ポスターセッション、本研究会などで構成され、様々なアプローチで上記の目的を達しようとした。私自身、後述するように、これまでの研究会では決して得ることのできなかつた様々な成果を得ることができたこともあり、個人的な印象としては、世話人の意図はかなりうまく行ったのではないかと思っている。今後も同様な研究会の企画を意図していると聞いており、次回もとても楽しみにしている。

研究発表

私の研究発表はショートトークで受け入れてもらった。内容としては、複素ランダムテンソルの固有値分布の端点を、素粒子論のテクニクである場の量子論を使って計算するというものであり、これは量子情報理論においてランダムな量子状態に対して幾何学的量子もつれ量を計算することと同じである。私はここ数年様々なランダムテンソルの固有値分布を量子場の理論により計算していたのだが、この研究もどちらかというとその延長上であった。ところが、知人の研究者 L.L.氏にこの結果を話したところ非常に驚かれ、重要な結果なのでこの研究会に是非参加するようにと促された。しかし一方で、この研究は今年度の科研費の審査に落ちてしまい、会議参加のための渡航費もなく絶望していたところ、この助成金をいただけることになり、急遽参加と発表が決まった。

この私の結果を量子情報理論や確率論の言葉で書くと、「ランダムな量子状態に対する Injective norm を求めよ」という問題になるのだが、実は、私の結果が出るまでは、不等式や数値計算での結果しかなく、解析的に求める方法が知られていなかった。私はこの長年の問題を、私の専門とする素粒子論の手法である場の量子論により解いたことになる。

研究会での発表は私としては易しくしたつもりだったが、上記のような様々な分野が混じる聴衆全体にはあまり伝わらなかったようであった。素粒子論分野にとっては場の量子論はイロハの常識であるが、他分野の多くの聴衆にとっては不明な手法である。一方で、

素粒子論や物性分野の聴衆からはクリアでナイスなトークと言ってもらったことや、比較すべき数値計算の結果を出していた情報理論分野の C.L.氏と I.N.氏からは質問をいただいた。

更に、未解決問題セッションにおける G.Aubrun 氏の講演では、「Sasakura によりランダム量子状態の Injective norm の問題が解かれた」とはっきりとした言及があり、続く未解決問題としてランダムな量子状態の Projective norm の問題が出された。また、B.McKenna 氏の講演においても私の結果が紹介された。

このように私の発表自体については、その発表の仕方として課題はあったものの、関連する研究者の助けも得ながら、会議参加者に成果をはっきりと印象づけることができたという点ではかなりの成功だったと考えている。

また、関連するテーマで共同研究している N.Delporte 氏がポスターセッションで発表を行った。私は共同研究者とはいえ本来なら発表に加わらないはずだったが、関心を集めて様々な研究者から質問を受けてしまい、彼一人では処理しきれなくなったため、私も質問への回答・解説を行った。

議論

私の結果は同時に発表された S. Dartois 氏と B. McKenna 氏の共著論文と重なる部分がある。ただし彼らは行列模型を使って計算している点で手法が異なる。意外だったのは、ある量のある極限での展開において3次の項が微妙に食い違う結果になっていることであった。3次の項が実際の応用において問題になることはないのであるが、何が厳密な計算であるのかを知ることは今後の研究において重要であり、理由を明らかにする必要がある。お互いの空き時間を利用して S. Dartois 氏と議論を行ったが、概ね3通りの可能性があるということ以上には合意に至ることができなかった。それらの可能性を検証するには更に詳細な計算を行う必要があり、場の量子論による計算を実行することを考えている。

M.Jivulescu 氏の講演は大変興味深かった。上記の Injective norm に加え、量子情報理論には量子もつれを計る手段として上記の Projective norm もあることを初めて知った。このような横断的な研究会のおかげである。Projective norm の等価な表現や量子もつれとの関係の文献などを紹介してもらった。Projective norm に対して、場の量子論がどのように使えるのかを検討することや、上記の G.Aubrun 氏の出した未解決問題を量子場の理論で挑戦することなどを考えている。また、M.Jivulescu 氏からは、私の研究にも役立つだろうと、研究者のネットワークを紹介してもらった。

ある研究者との会話により私が現在考察中の研究に似たことを V. P.氏が行っていると聞き状況を尋ねに行った。似てはいるものの、背景となる動機や設定が微妙に異なることや、研究を進める時間設定が異なることがわかり、このまま進めることとした。

共同研究者の N.Delporte 氏と現在再投稿中の論文について詳細な議論を行った。近日中に再投稿できることになった。

他にも学生やポストドク研究者から様々な質問をいただいた。

講義

G.Ben-Arous 氏の講義が非常に興味深かった。彼らの研究グループは、テンソルが（ノイズに相当するランダムテンソル+信号に相当する固定テンソル）で与えられた場合にその信号のテンソルを検出する問題を長年取り扱ってきた。テンソルの最大固有値とその固有ベクトルを使っての検出限界は静的な取り扱いにより彼らにより求められていたが、最近新たにアルゴリズム限界という動的な検出限界の存在を提唱しており、静的な検出限界よりも大きく、またテンソルの次元に対するスケーリングも異なっている。動的な検出限界とは一体何なのか、アルゴリズム特有の限界にすぎないのか、などの疑問について、場の量子論の立場から検討してみたい。

M.E.A.Seddik 氏の各論の講義と H.Goulart 氏の講演も非常に興味深いものであった。彼らは上記の静的検出限界を、確率論での cumulant 間の無矛盾性条件から導くのだが、議論を逆にしたような論理的に分かりにくい定式化である。本人たちもコメントしていたのだが、なぜうまくいくのかという点が分かりにくい。場の量子論の言葉で言えば、Schwinger-Dyson 方程式や Ward-高橋恒等式に相当することを行っているようにも見え、場の量子論の立場からもう少し論理的に分かりやすい理解があるのではないかと思われた。検討してみたい。

まとめ

今年度の科研費の獲得に失敗し絶望していたところを教育財団の発表助成により救われた。参加・発表した研究会はランダムテンソルを軸とする分野横断的な研究会であり、場の量子論を使って量子情報理論の重要な量の計算を行うという、他の研究会では発表の難しいような分野横断的な私の研究を発表する貴重な機会を得ることができた。他の発表者の助けを借りながらも重要な成果として研究会参加者に印象付けることにはかなり成功したと考えている。また、研究会では講演・議論を通じて様々な課題をいただいた。一つずつ検討し解決を目指したい。更に他分野の知り合いができたことや他分野のネットワークへの参加なども貴重な成果である。分野横断的な研究は科研費の申請においてもどの分野に出せば良いのかもよくわからず困ってしまう。今年度の科研費の獲得に失敗した原因の一つかもしれない。救っていただいた教育財団には非常に感謝しており、今後も多くの研究者がその恩恵を受けることを願い信じている。