

2021 年度日本数学会応用数学研究奨励賞授賞報告

日本数学会応用数学研究奨励賞は、応用数学分野研究者の研究を奨励し、分野全体の交流・発展を図ることを目的として、2013年9月に日本数学会に設立されました。応用数学および応用数学に関連する分野で優れた業績をあげた若手研究者に、その業績を顕彰し本賞を授与しています。2021年度は3名の研究者が受賞しました。授賞式は、埼玉大学で開催された日本数学会年会二日目に、オンラインにて執り行われました。

なお、本年度の応用数学研究奨励賞委員会の委員は、長山 雅晴（委員長）、池田 榮雄、栄 伸一郎、小俣 正朗、小西 由紀子、佐久間 雅、萩田 真理子、樋口 雄介の8名でした。

3名の受賞者とその受賞題目、受賞理由は以下の通りです。

受賞者：中井 拳吾（東京海洋大学）

受賞題目：機械学習モデルの力学系構造の再現性と流体統計量の予測

受賞理由：本研究は、リザーバーコンピューティングによる機械学習の性能を力学系の持つ構造再現性という観点から研究したものである。自然現象を予測することはさまざまな場面で必要となるが、それが困難であることはバタフライ効果として表現されるカオスの初期値鋭敏性からも明らかである。しかし、そのカオス的な複雑な現象を機械学習で予測する研究が近年盛んに行われており、十分な予想精度を実現するなどの成果が上がっている。リザーバーコンピューティングは時系列情報処理に適した機械学習の枠組みの1つとして注目を浴びており、その応用範囲も多岐にわたる。

本研究では、リザーバーコンピューティングを用いた決定論的ダイナミクスの時系列予測において、学習により得られた時間発展モデルが元の力学系構造をどの程度再現できるかについて、カオス性を有するローレンツ方程式を題材として考察している。その成果として、ローレンツ方程式に現れるアトラクターのポアンカレ断面や不動点・周期軌道等の不変集合、さらにはリアプノフ指数や安定多様体と不安定多様体の接構造まで精度良く再現されていることを明らかにしている。単なる時系列予測にとどまらず力学系構造の再現に着目したこれらの結果は新規性が高く、また複雑な力学系構造を有する流体場への応用を試みるなど、将来の発展性が期待される。今後、より高次元の力学系に適用してその本質的な有用性を示すことが望まれるが、応用数学研究の新たな試みとして、本発表を行った著者は本賞の推薦を受けるにふさわしいと考える。

受賞者：劉 逸侃（北海道大学）

受賞題目：不正確なデータによる非整数階拡散方程式の係数決定逆問題の一意性
受賞理由：非整数階微分を含む微分方程式は、不均質媒質における粒子の異常拡散など、通常の整数階微分方程式では表せない現象を記述するモデルとして近年精力的に研究が進められている。例えば、非整数階拡散方程式は粒子の連続時間ランダムウォークから導かれ、その際の時間微分の階数は媒質の微細構造に由来する。

本研究では、複数の非整数階時間微分項を含みうる拡散方程式の初期値境界値問題において、初期データが未知の状況で、空間上の1点の観測データだけから非整数階時間微分の項数・階数および方程式に含まれる係数を同時に決定するという逆問題を考察している。先に述べたように、非整数階時間微分の階数を決定することは、媒質の性質を同定することであり、このような逆問題は理論のみならず応用上も重要な問題である。先行研究でこの逆問題の一意性は示されていたが、本研究では応用を意識して観測データが不正確な場合に仮定を弱めて、非整数階時間微分の項数および階数の一意性を証明しているのが特筆すべき成果である。本研究は直ちに現実の問題の解決に寄与するものではないが、今後の研究の契機を与える本質的な結果であり、同分野における重要な進展である。これら全体の評価を鑑みた結果、応用数学研究の新たな試みとして、本発表を行った著者は本賞の推薦を受けるにふさわしいと考える。

受賞者：和田 和幸（八戸工業高等専門学校）

受賞題目：1次元スプリットステップ量子ウォークの Witten 指数

受賞理由：量子ウォークは古典ランダムウォークの量子版と称される数理モデルである。量子ウォークには、ランダムウォークでは見られない「局在化」と「線形的広がり」の特徴を有している。応用の面から物理や工学を始めとする諸分野にも大きな影響を与えている。

本研究の主題はスプリットステップ量子ウォーク (SSQW) におけるトポロジカル相の研究である。SSQW の系のトポロジカルな情報を持っているものとして回転数が考えられる。従来研究では、原点にスペクトルギャップが存在する場合に、SSQW に付随する回転数に対応する不変量をフレドホルム指数として捉えて研究されてきた。

一方、原点にスペクトルギャップが存在しない場合にはフレドホルム指数が定義できず、従来は研究が進んでいなかった。そこで本研究では、フレドホルム指数の拡張として、Witten 指数を採用することを提案し、非フレドホルム条件における Witten 指数の具体的な値を明らかにした。Witten 指数を計算するにあたり、

4 階の差分作用素にランク 1 の摂動が加わった自己共役作用素から導かれるスペクトルシフト関数が重要な役割を果たす. 量子ウォークの研究において, スペクトルシフト関数が登場した研究は本研究が初めてであり, 今後のより多様な活用・発展が期待される内容である. 以上から, 本賞の推薦を受けるにふさわしいと考える.

(2021 年度日本数学会応用数学研究奨励賞委員会委員長 長山 雅晴)