T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	深層自己符号化器によるクエーサー可視光光度変動の特徴量抽出
Title(English)	Deep Autoencoder Applied for Feature Extraction of Temporal Variations in Quasar Optical Flux
著者(和文)	橘優太朗
Author(English)	Yutaro Tachibana
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11042号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:河合 誠之,堂谷 忠靖,中村 隆司,西森 秀稔,宗宮 健太郎,篠田 浩一
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11042号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第　　号		学位申請者氏名	橘 優太朗	
論文審査 審 査 員		氏　名	職　名	氏　名	職　名
	主査	河合　誠之	教授	宗宮 健太郎	准教授
	審査員	堂谷　忠靖	特定教授	篠田 浩一	教授
		中村 隆司	教授		
		西森 秀稔	教授		

論文審査の要旨（2000 字程度）

クェーサーは、宇宙遠方の銀河の中心に位置する極めて明るい点状の放射源である。クェーサーにおいては、太陽の数百万倍～十億倍もの巨大質量を持つブラックホールが周囲のガスを吸い込み、そこで解放される重力エネルギーが広い波長域で放射されていると考えられている。しかし、ブラックホールへのガス降着と放射や物質放出の物理機構はまだ完全には理解されていない。また、多くのクェーサーは光度変動を示す。この一見して不規則な変動の背後にある物理現象を理解することができれば、ブラックホールへの降着現象解明への手がかりが得られるとの期待の元に、今まで比較的少数のクェーサーの可視光やＸ線の強度変動（光度曲線）に対して様々な研究が行われてきたが、クェーサーの特徴や物理的性質との関係も理解されておらず、変動の物理的機構の理解に至っていない。しかし、近年の天文観測技術と情報処理技術の発展に伴い種々の大規模なサーベイ観測が行われ、かつては考えられなかった大規模な天文観測データが得られるようになってきた。クェーサーの光度曲線も例外ではなく、Catalina Real-Time Transient Survey (CRTS) によって、数万ものクェーサーの 10 年間にわたる可視光の光度曲線が得られている。本研究ではこの巨大なサンプルに深層学習手法を適用し、従来の手法では見つけることが困難なクェーサー光度曲線の特徴を見出し、さらに将来の変動の予測を試みた。

本論文は“Deep Autoencoder Applied for Feature Extraction of Temporal Variations in Quasar Optical Flux”と題し、５章の本文と６つの補遺からなる。

第１章 “Introduction” はブラックホールへのガス降着現象の物理、クェーサーを含む活動銀河核とその光度変動に関する現在の理解をレビューし、Ornstein-Uhlenbeck (OU)過程などクェーサーの光度変動を特徴付ける数学的モデルと天体の物理量を結びつける先行研究を紹介する。そして本研究で用いられる人工ニューラルネットワークに関して、天文学への応用例、基本的原理と多層パーセプトロン、再帰的ニューラルネットワークの一つである LSTM (Long Short Term Memory)、また機械学習で抽出した特徴量から原データを再現する自己符号化器を解説し、最後に本論文の目標を述べている。

第２章 “Method” の前半は研究に用いたデータを取得したCRTSに用いられた観測装置と光度曲線の生成に関わる基本データ処理を解説し、さらに本研究に用いるサンプルとして、降着円盤の放射が支配的で、母銀河の影響が無視できる明るいクェーサー15,438 個の 7~11 年間にわたる 10~30 日間隔の光度曲線を用いることを述べる。また比較対象とするOU過程に基づいて擬似データを生成したことと、解析に用いる自己符号化器ネットワークの構造の説明を記述している。

第３章 “Result” では、まず自己符号化器が学習によってクェーサーの光度曲線を再現することを検証し、さらに OU 過程よりも優れた予測性能を持つことを示す。また、中間層に現れる 16 の特徴量とクェーサーの物理量の相関を検証し、赤方偏移、光度、およびブラックホール質量と相関する特徴量を見出している。さらに、クェーサーの光度曲線時間軸の反転や強度反転を施した加工データに対しては再現性能が落ちることを示している。

第４章 “Discussion”では、前章の結果を吟味し、クェーサーの光度曲線において時間非対称性と光度増減に関する非対称性があることを述べ、その二つの非対称性が、不安定降着円盤モデルによって説明できることを示している。また、時効符号化器が 60 日程度の限られた時間尺度で将来を予言できることによって示されるクェーサー光度曲線のヒステリシスがクェーサーの放射が60光日程度の大きさの領域での散乱によって遅延が生じることによって説明できることを示し、旧来の方法に基づく少数例に対する先行研究との比較を行なっている。

第５章 “Summary and Conclusions” においては、本研究の方法、結果、および議論を要約すると

ともに、本研究によって新たに開発された人工ニューラルネットワークを用いた解析手法を今後の得られる大規模で高品質なデータに適用することにより得られる将来の展望を述べている。

補遺においては、解析手法の詳細や、補足的な解析結果を記述している。

このように、本研究において著者は、深層学習という新しい情報科学的手法を、不均等サンプル間隔など独特な制約のある天文観測データに適用するために改良・進化させ、クェーサーの光度曲線を再現する自己符号化器ネットワークの作成に成功し、さらに中間層に現れる圧縮された特徴量を、データ再現性を指標として天体の物理量と相関の強さを調べる方法を開発した。また、光度曲線の特徴が降着円盤不安定性モデルや、ブラックホール周辺の散乱領域の存在によって説明できることを示し、クェーサーの放射過程と変動機構の解明への重要な手がかりを提供した。本研究は情報科学と宇宙物理学の学際的領域を開拓する高い新規性を持つだけでなく、直ちにクェーサーの物理に関する重要な知見をもたらすもので、研究手法と天体物理学の両面において多大な貢献をなすものである。本研究は著者の研究能力の高さを示すものであり、本論文は博士(理学)の学位請求論文として十分な価値があるものと認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。