

立教大学学術推進特別重点資金(立教SFR)

個人研究

2018年度研究成果報告書

研究代表者	所属部局・職	氏名
	理学部物理学科・助教	一戸悠人 印
研究課題	X線天文データ解析への深層学習の応用	
研究期間	2018年度	
研究経費 (1円単位)	(支出金額) 956,719円 / (採択金額) 1,000,000円	
<p>研究の概要(200~300字で記入、図・グラフは使用しないこと)</p> <p>近い将来に X 線天文学の分野にもたらされる膨大なデータを余すことなく解析する上で、熟練した研究者の経験や「勘」に基づいて逐一解析するという現在主流の手法は通用しなくなることが予想される。本研究では、研究者の経験に基づく「勘」などに代表される、アルゴリズムとして陽に書き下すことが非常に困難で、自動化のボトルネックとなっていたデータ解析を、深層学習の手法を取り入れることで自動化し、将来のデータを責任を持って解析しきることができる足がかりを作ることを試みた。</p>		

キーワード(研究内容をよく表しているものを3項目以内で記入。)

[ X線天文学 ] [ 深層学習 ] [ データ解析 ]

**研究成果の概要** (図・グラフ等は使用しないこと。)

申請者は過去研究において、XRISM や Athena などによって将来取得できる、高エネルギー分解能 X 線分光スペクトルを用い、そのスペクトルを生成したモデルパラメータ (温度、重元素量、赤方偏移など) を推論することのできるニューラルネットワークを開発した。本手法は、モデルが既知で単純な場合には、数パーセントの精度で入力パラメータを予測することができた。しかし、実際のスペクトルを生成したモデルが訓練に使用したモデルと異なるときや、モデルが複雑な場合にうまくいくことは保証されていなかった。

上記手法を様々なモデルに適応できるように拡張することを目指し、モデルとしてプラズマが複数存在した時に、その個数を見分けることのできるニューラルネットワークを生成することを試みた。まず初めに、ナイーブに全結合ニューラルネットワークを構築した場合、成分数の正答率は 66%程度にとどまった。プラズマのスペクトルが取りうる値のダイナミックレンジが広いことを考慮して入力の規格化の方法を変更したほか、プラズマスペクトルに存在する輝線構造が局所的であることを用い、畳み込みニューラルネットワークの方法を適用したところ、正答率は 80%程度まで向上した。

正答率は大幅に上がったものの、実用レベルとはまだ言えないため、さらなる改善を試みている。通常のニューラルネットワークでは、特徴の存在を一つのスカラー量として表現する。一方で、実際のデータに存在する特徴は、その存在の有無だけではなく、それがどのように存在しているかという情報も含むべきである。このような情報の表現のために、近年出力をベクトルで表現する新しいアーキテクチャが提唱されており、この手法を適用する。

また、成分数を求めるだけでなく、それぞれの成分がどのようなパラメータに基づいて生成されているかを知ることができれば、さらに効率的な処理が可能となると考えられる。このような場合、各成分は順不同であるため、出力に成分の入れ替えに対する不変性を導入する必要がある。集合を扱うことのできるニューラルネットワークを用いてこれを解決することを目指す。

上記の手法では初めから全てモデルが複雑であることを仮定していたが、実用上は、まずは単純な手法を用いてデータをモデル化することを試み、それがうまくいかない場合はより複雑な手法を試すという戦略を取ることが多い。この手法を自動化するためには、単純なモデルによる表現が不可能であるようなデータを検出することのできるネットワークを開発できればよい。そこで、上記の手法と並行し、異常検知の方法を適用することを試みた。

深層学習を用いた異常検知の方法として、訓練データの生成モデルを学習する変分オートエンコーダの手法を用いた。変分オートエンコーダの特徴として、教師なし学習である点と、訓練のために単純なモデルのデータセットのみが必要であることが挙げられる。異常検知とは、定義から言って多数の正常の中から少ない異常を検知することであるため、一般的に異常データの訓練データを集めることは困難である。本手法はそれを集めなくて良いところが強力なアドバンテージである。

X 線スペクトルの各値はポアソン統計によってモデル化されるため、上記変分オートエンコーダをポアソン統計のものを扱えるように改良した。結果として一成分平衡プラズマの中から、二成分のプラズマや、非平衡プラズマを検知することのできるネットワークを開発することができた。この結果は論文として投稿中である。

**研究成果の概要** (つづき)

以上に述べた開発の他に、X 線スペクトルや、そこから示唆される物理現象の研究を行っている。X 線で一番明るい銀河団であるペルセウス座銀河団のチャンドラ衛星による高角度分解能データを用い、いくつかの特徴的な領域を発見し、解析した。その結果、ペルセウス銀河団のコアのガスにおける渦の輪郭に沿って、Kelvin-Helmholtz 不安定性が発達している可能性、およびガスの渦により磁場が増幅している可能性を指摘し、Kelvin-Helmholtz 不安定性による乱流によるガスの加熱がその場所でのガスの冷却を抑えられること、磁場が  $30 \mu\text{G}$  まで増幅されていることなどを観測的に求めた。この結果は MNRAS 誌から出版されたほか、ハンガリーで招待講演を行った。

**研究発表** (研究によって得られた研究経過・成果を発表した①～④について、該当するものを記入してください。該当するものが多い場合は主要なものを抜粋してください。)

- ①雑誌論文 (著者名、論文標題、雑誌名、巻号、発行年、ページ)
- ②図書 (著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)
- ③シンポジウム・公開講演会等の開催 (会名、開催日、開催場所)
- ④その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)

査読付き論文

- ・ Hiroyasu Tajima, Yuto Ichinohe (9/42), et al., “Design and performance of Soft Gamma-ray Detector onboard the Hitomi (ASTRO-H) satellite, JATIS, 4, 2, 021411, 2018
- ・ Y. Ishisaki, Y. Ichinohe (4/31), et al., “Resolve Instrument on X-ray Astronomy Recovery Mission (XARM)”, Journal of Low Temperature Physics, 2018
- ・ S. Yamada, Y. Ichinohe (5/27), et al., “Super DIOS: Future X-ray Spectroscopic Mission to Search for Dark Baryons”, Journal of Low Temperature Physics, 2018
- ・ Hitomi Collaboration (including Yuto Ichinohe), “Hitomi X-ray observation of the pulsar wind nebula G21.5-0.9”, PASJ, 70(3), 1, 2018
- ・ Hitomi Collaboration (including Yuto Ichinohe), “Detection of polarized gamma-ray emission from the Crab nebula with the Hitomi Soft Gamma-ray Detector”, PASJ, 70(6), 1, 2018
- ・ A. Simionescu, Y. Ichinohe (18/35), et al., “Constraints on the Chemical Enrichment History of the Perseus Cluster of Galaxies from High-Resolution X-ray Spectroscopy”, MNRAS, 483(2), 1701, 2019
- ・ Y. Ichinohe (1/5), et al., “Substructures associated with the sloshing cold front in the Perseus cluster”, MNRAS, 483(2), 1744, 2019
- ・ Kento Torigoe, Yuto Ichinohe (15/19), et al., “Performance study of a large CSI(Tl) scintillator with an MPPC readout for nanosatellites used to localize gamma-ray bursts”, NIMA, 924, 316, 2019
- ・ Shutaro Ueda, Yuto Ichinohe (2/4), et al., “Line-of-sight gas sloshing in the cool core of Abell 907”, ApJ, 871(2), 6, 2019

招待講演

- ・ “Substructures associated with the sloshing cold front in the Perseus cluster”, Physics of the Intra-Cluster Medium: Theory and Computation, Budapest, Hungary, March 2019