OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Thermal Emission and Magnetic Fields of Isolated Neutron Stars
Author(s)	米山, 友景
Citation	大阪大学, 2021, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/82041
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　米山友景　）	
論文題名	Thermal Emission and Magnetic Fields of Isolated Neutron Stars (単独中性子星の熱的放射と磁場)

論文内容の要旨

中性子星は、重力崩壊型超新星爆発の際に形成されるコンパクト天体の一種である。平均密度は原子核物質と同等であり、その超高密度によって、中性子星の内部及び周辺では様々な極限環境が実現していると考えられる。特に、宇宙最強といわれる 10^{12}-10^{15} G の超強磁場は大きな特徴である。中性子星からは電波からガンマ線に至る広帯域の電磁波が観測されていて、多くの場合、自転に伴う周期的な光度変動が見られる。これらの磁場や電磁波スペクトルによって中性子星は様々な種族に分類されるが、ほとんどの種族では中性子星周辺の磁気圏からの非熱的な放射が支配的である。一方、一部の種族では軟X線帯域で熱的放射が観測され、そのスペクトルや放射半径から中性子星表面の放射であると考えられている。これは中性子星本体を直接観測する数少ない方法として重要である。

X線単独中性子星（X-ray Isolated Neutron Star; XINS）は非熱的放射を伴わず、軟X線帯域の熱的放射のみが観測される中性子星の種族である。これまでに7天体が発見されており、そのスペクトルは温度 ~100万 Kの単温度黒体放射と幅の広い吸収線で近似できるとされていた。本研究では、XINS全7天体についてXMM-Newton 衛星による10年以上の観測データを積算し、7天体全てについて従来の単温度黒体放射では説明できない高エネルギー成分を発見した。この成分を含むスペクトルは、全天体について2温度の黒体放射と幅の広い吸収線で再現されることを明らかにした。更に、XINSの中で最も明るいRX J1856.5-3754 について、大面積・高時間分解能のX線望遠鏡であるNICERによる観測を行った。その結果、従来知られていなかった低エネルギー側の吸収線を発見した。加えて、自転周期が従来知られていた約7秒ではなく、その2倍である約14秒である可能性を示した。

低温+高温の2温度黒体放射はXINSだけではなく、他の中性子星種族でも観測されている。これらに関して、低温、高温両成分の温度と放射半径をそれぞれ種族間で比較した。XINSは年齢が一桁若く、磁場が一桁小さい電波パルサーと類似している一方、更に年齢が若く、磁場が一桁大きいマグネターとは放射半径は相同で、温度が一桁違うことを明らかにした。高温成分の起源については、エネルギー収支などの議論から、電波パルサーで見られる磁場で加速された電子による磁極の加熱ではなく、中性子星表層の強磁場による熱伝導率の非等方性で生じた温度勾配に起因する可能性が高いことを示した。更に、XINSの吸収線について、幅や深さなどのパラメータと磁場との間に相関を発見した。これは、吸収線が磁場に由来する現象であることを裏付ける証拠である。吸収の物理過程として陽子によるサイクロトロン共鳴散乱を仮定し、中性子星の自転軸と磁軸のずれを観測的に推定する方法を発案し、その角度を初めて系統的に制限した。更に、その角度と自転周期によるX線振幅との間に相関を発見した。これは、磁極付近が熱く、赤道側が冷たいという温度勾配を支持するものである。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　　名　（米山　友景）		
論文審査担当者	（職）	氏　　名
	主 査　教授	松本　浩典
	副 査　教授	住 貴宏
	副 査　准教授	林田　清
	副 査　准教授	井上 芳幸
	副 査　チームリーダー	榎戸 輝揚（理化学研究所白眉研究チーム）

論文審査の結果の要旨

中性子星は、平均密度が原子核に匹敵する高密度天体であり、大質量星が恒星としての寿命を終えたあとに誕生すると考えられている。その高密度のために、原子核物理的・素粒子物理的にも興味深い天体である。中性子星にはいくつかの種類が存在し、そのうちの一部は X 線のみで観測することが出来る孤立 X 線中性子星（X-ray isolated neutron star; XINS）と呼ばれ、これまでに 7 天体が発見されている。これまでは、XINS の X 線スペクトルは、温度 50 eV 程度の単一温度の黒体放射と幅の広い吸収線で表されると考えられてきた。前者は中性子星表面の熱放射、後者は陽子サイクロトロン共鳴などの中性子磁場に関連する現象だと解釈されてきた。

本研究で申請者は、XINS の X 線スペクトルを高エネルギー側まで詳細に解析することで、7 個全ての XINS から、温度の 50 eV 程度の黒体放射に加えて、温度 100 eV 程度の黒体放射で表される高エネルギー成分を発見した。申請者は、XINS の強い双極子磁場のために、XINS 表面での熱伝導性が方向により大きく異なり、そのために磁極付近が赤道付近よりも高温になっているという仮説で、XINS の二温度成分を説明できることを指摘した。一方、回転駆動型パルサーやマグネターという異なる種類の中性子星も二温度の黒体放射成分をもち、その起源はよくわかっていない。申請者は、XINS の二温度黒体放射の温度や放射面積といったパラメターの間の関係が、回転駆動型パルサーやマグネターのものと良く似ていることを見出した。このことは、異なる種類の中性子星が、同じような物理的機構の放射を持つことを示唆している。申請者の発見は、回転駆動型パルサーやマグネターの高温成分の起源に関しても示唆を与えるものである。

また申請者は、XISN の吸収線を表すパラメターと双極子磁場強度の間に相関があることを発見した。これは、吸収線が磁場に起因する現象であることを強く示唆するものである。そして、吸収線が陽子サイクロトロン共鳴であることを仮定し、申請者は XINS における自転軸と磁気軸の間の角度に初めて制限をつけることに成功した。中性子星の磁場の起源はいまだによくわかっていないが、自転軸と磁気軸の間の角度は、その起源に制限を与える重要な情報である。

また申請者は、高感度を誇る最新の観測装置 NICER を使った XINS RX J1856.5-3754 の観測を自ら進め、その X 線強度時間変動を詳細に解析し、自転周期が従来言われていた 7.055 秒ではなく、その倍の 14.11 秒である可能性を指摘した。これにより、中性子星の磁場の推定値も変わることになる。このことは、低感度観測で得た中性子星の自転周期とそれに基づく磁場推定は、間違っている可能性があることを表す重要な知見である。

このように申請者の発見は、中性子星の熱放射や磁場の起源に関して重要な示唆を与えるものである。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。