

令和元年6月10日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K17674

研究課題名(和文) 天の川銀河中心からの高温ガスアウトフロー解明

研究課題名(英文) Revealing hot gas outflows from the Galactic Center

研究代表者

中島 真也 (Nakashima, Shinya)

国立研究開発法人理化学研究所・開拓研究本部・基礎科学特別研究員

研究者番号：20737449

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：天の川銀河中心からの高温ガスアウトフローの性質や起源を明らかにすることが目的である。すざく衛星による銀河中心付近のサーベイ観測を用い、超新星により生成された高温ガスが、銀河中心の強磁場に沿って噴き出していることを発見した。また、銀河中心から離れた領域を観測する際にバックグラウンド放射となる天の川銀河高温ハローの空間分布も明らかにし、研究を進展させるための足がかりを作った。ひとみ衛星の観測データを最大限に活かすために、その較正作業も行った。ひとみ衛星の限られたデータからは高温ガスアウトフローに対して有意な結果を得ることはできなかったが、後継のXRISM衛星による観測に期待したい。

研究成果の学術的意義や社会的意義

天の川銀河は比較的静穏であるが、星生成活動に伴って高温ガスが吹き出していることを示した。このような高温ガスの吹き出しによって、銀河内の物質循環が促進されていると考えられる。また銀河中心領域では磁場が重要な役割を果たすこともわかった。

研究成果の概要(英文)：Purpose of this research is to reveal nature and origin of hot gas outflows from the Galactic Center. We discovered that hot gas created by supernovae is blowing out from the Galactic Center along a strong magnetic field. We also revealed spatial distribution of the Galactic hot gaseous halo, which becomes background emission in analyses of high Galactic latitude regions. In addition, we performed the calibration of the Hitomi data. Even though no significant results were derived from the limited Hitomi data, the XRISM satellite (successor of Hitomi) will likely provides unique results.

研究分野：X線天文学

キーワード：天の川銀河中心 X線 すざく衛星 ひとみ衛星

1. 研究開始当初の背景

天の川銀河の中心領域は大質量ブラックホール射手座A*が存在し、その周囲 100pc に渡って高密度ガスが充満している。他の活発な銀河（活動銀河核やスターバースト銀河）と比べると現在は静穏であるが、射手座A*フレアのエコーや、巨大なガンマ線バブル（フェルミバブル）の発見により、つい最近まで活発に活動していたことが明らかになってきた。このことから、天の川銀河中心は、銀河核の活動と母銀河の相互作用を調べる格好の実験場といえる。

銀河核活動のフィードバックの一つに、物質のアウトフローが挙げられる。これまで、天の川銀河中心100 pc 以内では、アウトフローに関する情報は電波・赤外線観測によるごく断片的なものしかなかった。とくに、アウトフローの主成分と考えられる 10^6 - 10^7 K の高温ガスの観測が欠けていた。銀河中心領域では超新星残骸や分解できない星の集合による広がった高温ガス放射がバックグラウンドとして存在し、区別が難しいことがその主な原因である。これに対してわれわれは、バックグラウンド放射が弱くなる銀河中心から200 pcほど離れた位置を重点的に観測し、大きく広がった高温ガス放射を検出することに成功した (Nakashima et al. 2013, ApJ)。その熱エネルギーは通常の超新星残骸10-100個分に相当する上、電子温度に比べて電離が進んだ「過電離」という特殊な電離状態であった。「過電離」はガスの急激な断熱膨張などアウトフローに特有な環境で形成されうるため、まさに天の川銀河中心から吹き出した高温ガスを見ている可能性が高い。しかしながら、観測領域が限られており、アウトフローの全容を解明するには至っていない。

2. 研究の目的

既存のアーカイブ観測と新しい観測を組み合わせ、天の川銀河中心からの高温ガスアウトフローを数度角（約1kpc）スケールで探査し、その全容や起源、周辺物質との相互作用を調べるのが本研究の目的である。銀河中心付近はすぎく衛星のサーベイ観測による豊富かつ高品質のデータがあるので、それを用いる。また、既存の衛星では性能の不足により測定できなかった速度などの情報を得るために、新しいひとみ衛星のデータも用いる。

3. 研究の方法

X線観測から得られたスペクトルデータに Nakashima et al. 2013で確立した過電離の高温ガスモデルを適用することで、以下のパラメータを導出、仮説の検証を試みる。

- (1) 星間吸収量：星間吸収量は我々から放射体までの距離のよい指標となる。とくに天の川銀河中心までの吸収量は他の多数の観測から精度よく見積もられているため、それと観測から得られた吸収量を比較することで、高温ガスが真に銀河中心領域に存在するのかを検証する。
 - (2) 温度・密度：高温ガスが銀河中心から吹き出しているとすれば、大局的には膨張とともに温度・密度が下がっていく。数度角の大きさに渡って温度・密度の空間分布を測定する事で、この仮説を検証する。
 - (3) 電離非平衡パラメータ：過電離状態は急激な断熱膨張など特殊な環境でなければ形成されないため、アウトフローを裏付ける証拠となる。また、(b) で求めた密度と合わせれば電離のタイムスケールが求まるため、高温ガスの時間進化を追う事ができる。アウトフローであれば、銀河中心から離れるほど、タイムスケールが長くなると予想できる。
 - (4) バルク速度：アウトフローを決定づけるのは、高温ガスのバルク速度の向きである。輝線のドップラーシフトから、バルク速度の向きと大きさを測定する。銀河中心を挟んだ南北の両側において、銀河中心から脱出する方向の速度ベクトルが検出されるかを検証する。
 - (5) メタルアバundance：メタルアバundanceの測定することで、アウトフローのエンジンを突き止めることができる。もしスターバーストがエンジンとなっていれば、重元素汚染がすすみ、II型超新星に特有のアバundanceパターンを示すだろう。一方で、射手座A*からのjet/wind が起源であれば、太陽組成に近いアバundanceパターンとなるはずである。
- (1), (2), (3) の研究にはすぎく衛星のデータを、(4)と(5)の研究には2016年打ち上げのひとみ衛星のデータを用いる。

4. 研究成果

- (1) 銀河中心から磁場に沿って吹き出す高温ガスの発見
すぎく衛星の天の川銀河中心サーベイ観測を用いて、Nakashima et al. 2013 で発見した高温ガスと、銀河中心を挟んで反対側にも高温ガスが存在することを発見した（図1）。そして、スペクトル解析から、星間吸収量・温度・密度・電離状態を推定した。星間吸収量は大きく、この高温ガスは銀河中心の距離にあると考えられる。温度・密度は高温ガスの中でほぼ一様であり、電離平衡状態にあることがわかった。電波アークと呼ばれる強磁場構造を介して銀河中心部の星生成領域とつながっていることから、重力崩壊型超新星で形成されたプラズマが磁場に沿って噴き出し、観測されたような高温ガスを形成したと結論づけた。この結果を論文誌にて報告した。

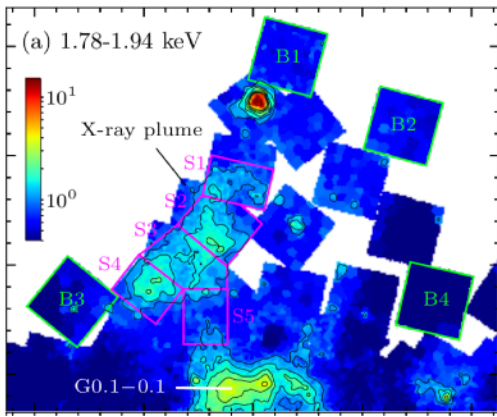


図1：すざく衛星で発見した銀河中心からの高温ガスアウトフロー（X-ray plume）。

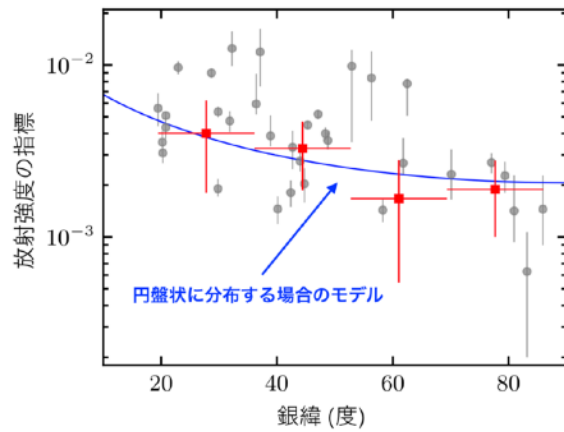


図2：天の川銀河高温ハローの空間分布とそれにフィットする円盤状分布のモデル。

(2) 天の川銀河高温ハローの空間分布

銀河中心から離れた領域のアウトフロー成分を解析する際、銀河円盤部からの放射は無視できる一方、銀河ハロー全体に広がる高温ガス放射がバックグラウンドとして問題になる。しかしながら、高温ハローの強度分布は過去の観測結果では不定性が大きかった。そこですざく衛星の10年間分の観測結果を用いて、銀河ハロー領域のあらゆる場所のスペクトルデータを解析し、その強度や温度、元素組成の分布を得た。観測から得られた強度分布をいくつかの単純な分布モデルでフィットし、円盤状の分布を考えるとうまく説明できることを明らかにした(図2)。また、元素組成から、プラズマの起源が銀河円盤部で起きた重力崩壊型超新星による物質噴出であると結論した。これらの結果を論文誌で報告すると共に、学会で発表した。

(3) ひとみ衛星が取得したデータの解析

本研究で用いる予定だったひとみ衛星(2016年打ち上げ)は、軌道上の事故により1ヶ月という短命に終わってしまったが、事故の前に取得した観測データを最大限に活用するべく、まずは観測データの較正を行なった。衛星の姿勢を精度よく決定する方法を検討・実装するとともに、検出器のエネルギー帯域幅を限界まで活用する方法を確立した。また、ペルセウス座銀河団のデータを用いて、プラズマモデルの検証や、輝線診断方法の確立を行なった。これらによって得られた結果を学会で報告した。その後、銀河中心から少し離れた領域の観測データ解析を行なったが、有効な観測時間が短く、有意な結果を得ることはできなかった。ひとみ衛星の後継機XRISMによる観測が実現できれば、研究が進展するはずである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- (1) Nakashima, Shinya; Koyama, Katsuji; Wang, Q. Daniel; Enokiya, Rei “X-Ray Observation of a Magnetized Hot Gas Outflow in the Galactic Center Region”, *The Astrophysical Journal*, Volume 875, Issue 1, article id. 32, 7 pp. (2019). (査読有)
- (2) Nakashima, Shinya; Inoue, Yoshiyuki; Yamasaki, Noriko; Sofue, Yoshiaki; Kataoka, Jun; Sakai, Kazuhiro “Spatial Distribution of the Milky Way Hot Gaseous Halo Constrained by Suzaku X-Ray Observations”, *The Astrophysical Journal*, Volume 862, Issue 1, article id. 34, 16 pp. (2018). (査読有)

〔学会発表〕(計5件)

- (1) 中島真也、井上芳幸、酒井和広、山崎典子、祖父江義明、片岡淳「X線天文衛星すざくによる銀河系高温ガスハローの空間分布測定2」、日本天文学会2018年春季年会、2018年
- (2) 中島真也、ひとみコラボレーション「X線天文衛星「ひとみ」によるペルセウス座銀河団の温度構造解析」、日本天文学会2017年春季年会、2017年
- (3) 中島真也、ひとみコラボレーション「X線天文衛星「ひとみ」によるペルセウス座銀河団の温度構造解析」、日本物理学会第72回年次大会、2017年
- (4) Shinya Nakashima and the Hitomi collaboration “Hitomi observation of the Perseus cluster”, *The*

12th IACHEC meeting , 2017

- (5) 中島真也、井上芳幸、酒井和広、山崎典子、祖父江義明、片岡淳「X線天文衛星すざくによる銀河系高温ガスハローの空間分布測定」、日本天文学会2016年秋季年会、2016年

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

〔その他〕

理研プレスリリース：http://www.riken.jp/pr/press/2018/20180720_3/

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。