

概要

超新星爆発は元素やエネルギーの放出を通じて銀河の化学的、力学的進化に重要な役割を果たしている。しかし、超新星爆発の一種である重力崩壊型超新星では、爆発メカニズムや爆発後の物質分布に寄与する非対称性に関して依然として未解明な点が多い。爆発後に残る構造である超新星残骸は爆発直後の非対称性や初期条件を反映しているため、その詳細な観測を通じて進化過程を辿ることで爆発メカニズムに重要な制限を与えることができる。また、残骸の周辺環境は残骸の進化に影響を与える可能性があり、残骸の進化を正確に理解するためには相互作用を考慮する必要がある。

2023 年に打ち上げられた X 線分光撮像衛星 XRISM に搭載された精密分光器 Resolve は、6 keVにおいて 4.5 eV という非常に高いエネルギー分解能を実現し、これまでに得られなかった高精度のスペクトルを提供する。こうした精密なスペクトルにより詳細なプラズマの状態診断が可能となり、超新星残骸のプラズマの状態に関して新たな知見がもたらされる。

本研究では、高いエネルギー分解能をもつ XRISM/Resolve によって取得された、重力崩壊型超新星を経験した超新星残骸 Cassiopeia A の Si および S のスペクトルを解析することで、イジェクタのプラズマ状態、運動学的特性、さらには周辺環境との相互作用に関して調査を行った。

南東部および北部のリムにおいてはスペクトルが電離度と視線速度の異なる 2 成分によって説明できることを確認し、この 2 成分はイジェクタの外層と内層の二重構造を観測しているという描像と整合した。電離度の異なる 2 成分を超新星残骸の X 線スペクトルから検出したのは初めてである。さらに、この結果と Chandra 衛星による固有運動測定の結果を組み合わせることによって、外層が加熱される際の逆行衝撃波速度と自由膨張速度を制限することに成功した。特に自由膨張速度の空間分布は、非対称な爆発によって起こる物質の偏った放出によって中性子星キックが生じるという描像と矛盾しない結果を得た。

一方、西部リムにおいてはスペクトルが輝線幅の広い成分と狭い成分で説明できることを確認し、局在したプラズマ構造が示唆された。輝線幅の異なる 2 成分を超新星残骸の X 線スペクトルから検出したのは初めてである。また、輝線幅の狭い成分では電離進行プラズマで説明できない禁制線と共に鳴線の強度比を示していることを確認した。主要な輝線強度比を用いたプラズマ診断の結果、輝線幅の狭い成分では電荷交換または共鳴散乱による影響が示唆された。物理量の見積もりの結果、共鳴散乱を主要因とする場合は局在したプラズマが高密度物質に接触している可能性があり、電荷交換を主要因とする場合は順行衝撃波の外側に位置するイジェクタの塊が周辺の中性物質と電荷交換を起こしている描像が示唆された。

本研究の結果は、Cassiopeia A のイジェクタのダイナミクス及び西部における周辺環境との相互作用に関して新たな制限を与え、重力崩壊型超新星の爆発メカニズムや超新星残骸における進化の過程の一部に迫るものである。今後は本研究で用いた手法を他の元素や超新星残骸に適用するとともに、多波長観測との比較を通じて、爆発メカニズムや周辺環境との相互作用に関してより理解を深めることを目指す。