

# ぼやけた像から本来の姿へ 画像逆畳み込み法の天文学応用

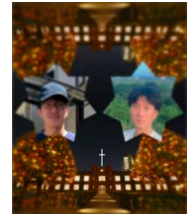
酒 井 優 輔・山 田 真 也

〈立教大学理学部物理学科 〒171-8501 東京都豊島区西池袋 3-34-1〉

e-mail: sakai.yusuke.d@rikkyo.ac.jp, syamada@rikkyo.ac.jp



酒井&山田



ブレ画像（光軸は+）

観測装置を通じて得られる天体像は、宇宙の姿を知る上で重要な手がかりとなります。ただし、その像は観測装置の性能や観測中に含まれるノイズの影響を受けるため、本来の姿がそのまま映し出されているとは限りません。こうした制約を緩和するために、これまでにさまざまな工夫が凝らされてきました。X線天文学では、観測画像に対して望遠鏡の点広がり関数（Point Spread Function）を利用した画像復元、すなわちデコンボリューション法がしばしば用いられます。本稿では、世界最高の空間分解能を誇るX線天文衛星Chandraを対象に、超新星残骸カシオペア座A（数分角スケール）とマイクロクエーサーSS 433（数秒角スケール）における、筆者らが開発・応用を進めてきたデコンボリューション法を紹介します。これらの応用により、カシオペア座Aではフィラメント構造や星周物質との相互作用の詳細がより明瞭に捉えられ、SS 433ではジェットの放射過程に関する新たな観測的証拠が得られました。これらの成果は、高い空間分解能を持つ可視・赤外線や電波観測との直接的な比較を可能にし、今後の多波長研究の展開にもつながると考えられます。

## 1. はじめに

X線天文衛星XRISMが2023年9月7日に打ち上げられ、最新のデータが続々と公開されています[1-3]。天文学といっても、私たちのように人工衛星のデータを主に扱う研究者は、意外と夜空を望遠鏡で眺める機会は少ないのですが、2024年の1月初めにXRISM衛星が3C 273というクエーサーを観測するタイミングで、立教大学池袋キャンパスの屋上から望遠鏡で同時観測を試みましたが、残念ながら有名なジェットは解像できませんでした。少しでも解像度のよい画像を撮りたいという思いは、誰もが抱くのではないのでしょうか。

ただ、観測装置には限界があります。光学系や検出器の性能、観測中に含まれるノイズなどに

よって、天体像は本来の姿をそのまま映してくれるとは限りません。身近な例として、ピントの合っていない望遠鏡で星団を観測したとき、広がった像が実際に広がった天体なのか、それとも星の集まりが重なって見えているだけなのかを観測像から見極めるのは難しいでしょう。著者欄に示すブレ画像（光軸から離れるほど像がぼやける）もその典型例です。

このような不鮮明な像から本来の天体像を正確に知るために、これまでにさまざまな工夫が試みられてきました。その一つが画像逆畳み込み法（image deconvolution）と呼ばれる手法です。語源的に言えば、観測像はレンズや鏡によって畳み込み（convolution）として記録されるものであり、その逆操作にあたる逆畳み込み（deconvolution）を行うことで、本来の像を取り出そうとい

う考え方になります。実際はノイズの影響が大きく、単純に逆畳み込みするだけでは解けないという課題もあり、この手法に関しても数多くの方法が提案されてきました。

本稿では、X線天文衛星Chandraに対するデコンボリューション法を、超新星残骸カシオペア座Aから、マイクロクエサーSS 433まで、さまざまな空間スケールの天体に適用できるように開発した手法について紹介します。この研究は、筆者らが学部4年から約4年間にわたり取り組んできた事例 [4-8] に基づいています。

## 2. Chandra衛星が拓いた高分解能の世界

X線天文衛星の歴史は、1970年に打ち上げられたアメリカのUhuru衛星に始まります。その後、世界各国で開発が進み、日本からもこれまでに7機が打ち上げられてきました。それぞれの衛星は独自の強みを持っています。例えば2023年に打ち上げられたXRISM衛星 [9] では、マイクロカロリメータResolveが分光観測において世界最高水準の性能を有し、CCD検出器Xtendが広視野観測を可能にしています。また、1999年に打ち上げられたChandra衛星は、2025年現在も運用されており、X線天文衛星の中で最も高い空間分解能を誇っています。

集光の仕組みは波長によって大きく異なります。例えば、可視光観測ではレンズで光を屈折させて集光します。これに対してX線は、物質に対する屈折率がほぼ1であるためレンズで曲げることができず、物質表面に浅い角度で入射させる必要があります。代表的な光学系としてWolter-I型望遠鏡 [10] がよく知られています。この光学系は、放物面と双曲面という二枚の反射面を組み合わせる仕組みであり、複雑な曲面を精密に加工し、正確に配置するなどの工程を高精度に実現するのは極めて難しいものでした。Chandra衛星では、この光学系を精密に再現することに成功し、秒角スケー

ルの構造を鮮明にとらえる能力を実現しました。

Chandra衛星の優れた撮像性能は、打ち上げ前に行われた入念な地上試験のおかげでもあります。技術文書 [11] によると、Chandra衛星の開発計画は1980年代末に始まり、打ち上げに向けて長期にわたる準備が進められました。較正計画は事前に緻密に立案されていましたが、試験を進める過程で得られるデータに応じて大幅な修正や更新が繰り返されました。このため、較正は24時間体制・週7日で行われ、各シフトには試験手順をその場で調整できる上級プロジェクト科学者が配置されていました。このような膨大な労力を思うと、決して簡単な道のりではなかったことがわかります。ちなみに、当初の計画であるAXAFでは撮像と分光の両方が構想されており、マイクロカロリメータ分光器も候補に挙がっていました。最終的には撮像ミッションであるAXAF-Iのみが進められてChandra衛星となりましたが、この流れは現在のXRISM衛星など、分光を主眼とする衛星へと受け継がれています。

観測装置の撮像性能は、点広がり関数 (PSF: Point Spread Function) として表されます。PSFは、点源がどのように像として広がるかを示すものであり、撮像全般に共通して用いられる一般的な指標です。Chandra衛星のPSFは、長年にわたるキャリブレーションの蓄積に基づいて整備されたシミュレーションツールMARX [12] によって見積もることができます。そのPSFの特性は、光軸付近では広がりが約0.5秒角とほぼ対称である一方、光軸外では約2.5秒角程度まで劣化し、彗星状に伸びた非対称な分布を示します (図1, 図2左も参照)。Chandra衛星は、XMM-Newton (約6秒角) やXRISM (約1分角) と比べても圧倒的に高い空間分解能を持ちますが、それでも光軸外では像の広がりが生じていることがわかります。筆者ら自身、図1を初めて見たとき、その整然とした構造的な美しさに感銘を受けると同時に、Chandraの性能がまだ限界ではないことを強く感

じたのを今でも覚えています。

### 3. デコンボリューション法とは

デコンボリューション法の実装方法は、観測される波長や観測条件によっても異なります。例えば、電波干渉計 Event Horizon Telescope を用い

た観測では、天体像を直接得るのではなく、アンテナ間で取得されるフーリエ成分を利用します。観測局を増やしたり地球の自転を利用することで成分を補いますが、すべてを完全にそろえることはできず、欠損が生じます。この欠損を補いながら真の天体像を推定する手法が開発されています (e.g., [13])。

これに対して、X線観測で得られるデータは、通常位置情報を持った画像として記録されます。数式で表すと、観測画像を  $D$ 、真の天体像を  $S$ 、PSF を  $P$ 、ノイズを  $N$  として、次のように書けます。

$$D = S * P + N, \quad (1)$$

ここで  $*$  は畳み込み演算子を意味します。

最も単純な真の天体像の復元方法は、PSF の逆行列を用いた逆畳み込みです。式 (1) をフーリエ変換  $\mathcal{F}$  で表すと次のようになります。

$$\mathcal{F}[D] = \mathcal{F}[S] \mathcal{F}[P] + \mathcal{F}[N], \quad (2)$$

$$\mathcal{F}[\hat{S}] = \frac{\mathcal{F}[D]}{\mathcal{F}[P]} = \mathcal{F}[S] + \frac{\mathcal{F}[N]}{\mathcal{F}[P]}, \quad (3)$$

ここで  $\mathcal{F}[\hat{S}]$  はフーリエ空間における復元像を表

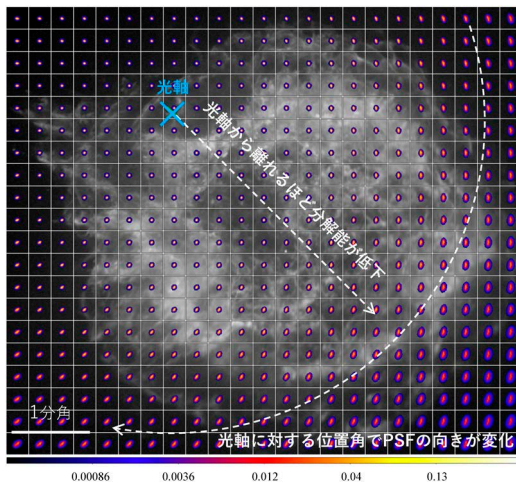


図1 Chandra衛星のPSFを任意の等間隔に配置したグリッドの中心でシミュレーション計算した例。背景はChandra衛星による超新星残骸カシオペア座Aの観測画像であり、各PSFはその位置に対応している。カラースケールはPSFの確率分布を示す。

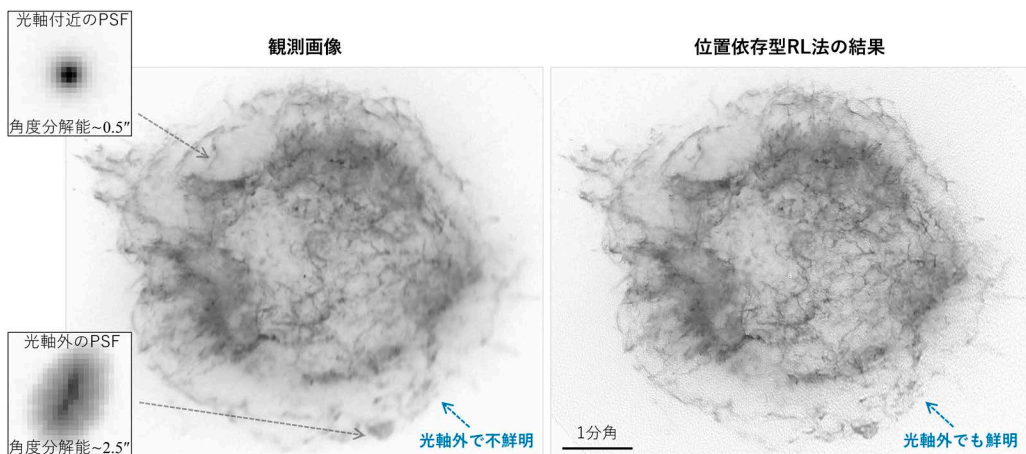


図2 (左) Chandra衛星による超新星残骸カシオペア座Aの観測画像 (0.5–7 keV)。(右) 観測画像に対し、図1に示す観測位置に応じたPSFを用い、位置依存RL法を200回反復して得られた結果。



し、 $1/\mathcal{F}[P]$  は PSF のフーリエ空間での逆フィルタを意味します。ノイズが十分に小さい場合には  $\mathcal{F}[\hat{S}] \approx \mathcal{F}[S]$  となり、逆フーリエ変換することで元の像を再現できます。現実の観測データでは  $\mathcal{F}[N]/\mathcal{F}[P]$  が支配的となり、復元像は大きく劣化します。特に  $\mathcal{F}[P]$  は高周波数領域で急激に減少するため、ノイズが著しく増幅され、単純な逆畳み込みは極めて不安定になります。

この問題を緩和する方法として、信号対雑音比に基づいて最適化された Wiener フィルタが提案されています (e.g., [14, 15])。ただし、実際の天体画像ではノイズの性質が複雑なため、適用できる場面は限られます。また、すぎく衛星の解析では、まず PSF に基づく逆フィルタを適用し、その結果として増幅されるノイズ成分を抑えるために、各画素の信号対雑音比に応じてガウシアンカーネルの幅を変える“適応的平滑化”を施しています [16]。この処理で得られる像は、必ずしも真の天体像を直接復元したものではありませんが、構造の推定には有効であることが示されています。

このような非反復的な手法に対して、統計的な安定性を重視した反復的な推定法も広く用いられています。その代表が、観測がポアソン分布に従うことを前提に、最尤推定の枠組みで像を逐次的に改善する Richardson-Lucy (RL) 法 [17, 18] です。RL 法の反復式は次のように表されます。

$$S^{(r+1)} = S^{(r)} \cdot \left( \frac{D}{S^{(r)} * P} * P^\dagger \right), \quad (4)$$

ここで、 $\cdot$  は画素ごとの乗算、 $r=0, 1, 2, \dots$  は反復回数、 $S^{(r)}$  は  $r$  回目の推定像、 $D$  は観測像、 $P$  は PSF、 $P^\dagger$  は  $P$  を原点反転 (2次元画像では  $180^\circ$  回転) したカーネルを表します。推定像の初期値  $S^{(0)}$  には一様分布を用いることが一般的です。反復を進めることで推定像が収束し、その解を復元像として利用します。ただし過剰に反復するとノイズが増幅されるため、実際には適切な反

復回数が停止させることが重要です。数式の直感的な理解としては、観測空間における  $D$  と  $S^{(r)} * P$  の類似度を、真の像空間へフィードバックするために、PSF の逆向きの演算として  $P^\dagger$  を用いると捉えることができます。導出や理論的背景については文献 [5] をご参照ください。

RL 法は、問題設定や観測条件に合わせて柔軟に拡張することができます。例えば、天体の空間構造がある程度事前にわかっている場合には、その情報を取り入れた拡張も可能です。ひとみ衛星のカニ星雲の解析では、カニパルサー (点源成分) とその周囲のパルサー風星雲 (広がった成分) という 2 成分の事前構造を組み込んだ RL 法の拡張が実装されています [19]。また、ガンマ線観測では、位置やエネルギーごとにモデル化された PSF を用いる拡張も提案されています [20]。RL 法はこのように幅広く応用されてきており、対象や目的に応じてさまざまな工夫が加えられています。私たちも Chandra 衛星の観測データへの応用を目指し、RL 法を拡張してきました。その内容について次節で紹介します。

## 4. Chandra 衛星へのデコンボリューションの応用

### 4.1 数分角の天体：超新星残骸カシオペア座 A

超新星残骸カシオペア座 A は、約 340 年前に発生した重力崩壊型超新星に由来し、地球から約 3.4 kpc に位置しています。直径はおおよそ 5 分角に達し、フィラメント状構造や爆発噴出物が全体に広がっています (e.g., [21, 22])。また、順行衝撃波や逆行衝撃波といった特徴的な構造も明瞭に確認されています (e.g., [23–25])。

通常、RL 法は観測画像に対して単一形状の PSF を用いて適用されることが多いですが、Chandra 衛星の PSF は観測位置によって形状が変化するため、そのままでは真の天体像を正しく推定することが難しいという問題があります。そこで私たちは、式 (4) における PSF  $P$  を観測位置

ごとに切り替える位置依存型RL法を実装しました [4]。ただし、PSFをピクセルごとにモデル化すると計算コストが膨大になるため、サンプリングを間引きつつ境界の切り替えを工夫することで、現実的な規模で処理できるようにしました。間引きの影響についての詳細な検証は論文 [5] にまとめています。図2に、左に観測画像、右に位置依存RL法を200回反復した結果を示します。光軸外の領域でも像がよりはっきりと見えていることがわかります。

全域での鮮明化の利点の一つは、固有運動解析への応用です。固有運動解析とは、異なる時期の観測画像を比較して天体の移動量を推定する手法です。複数の移動成分が関心領域に含まれると推定が困難になるため、多くの場合、解析者が領域を人為的に選定する必要がありました。この制約を緩和するために、観測時期を増やしたり、全域で滑らかな移動場を導入することで頑健性を高める試みも行われています (e.g., [26])。本研究 [6] では、画像の鮮明化によって複数の構造が混ざるこ

とを抑制し、さらに複数時期の観測を組み合わせることで安定性を高め、視野全体を統一かつ高精度に運動学的特徴を捉える手法を構築しました。

具体的な方法として、2000, 2009, 2019年の3回の観測データを活用しました。前処理として位置依存型RL法による鮮明化を行い、その後にポアソン統計に基づく複数観測を組み合わせた最尤推定を実装し、適用しました (図3左)。図では見やすさのためにベクトルを間引いて表示していますが、解析はピクセル単位で実行しています。その結果、順行衝撃波や逆行衝撃波を含む全域で精密な固有運動が得られました。さらに、推定された固有運動ベクトルに従って観測画像を画素単位で移動させ、その結果と対応する観測時期の画像との差分を比較することで、提案手法の妥当性を定量的に検証しました [6]。また、XRISM/Resolveの分光観測によるドップラーシフト解析から視線方向の速度を得て、Chandraの固有運動と組み合わせることで、3次元的な構造を高精度に調べることも可能です [7]。

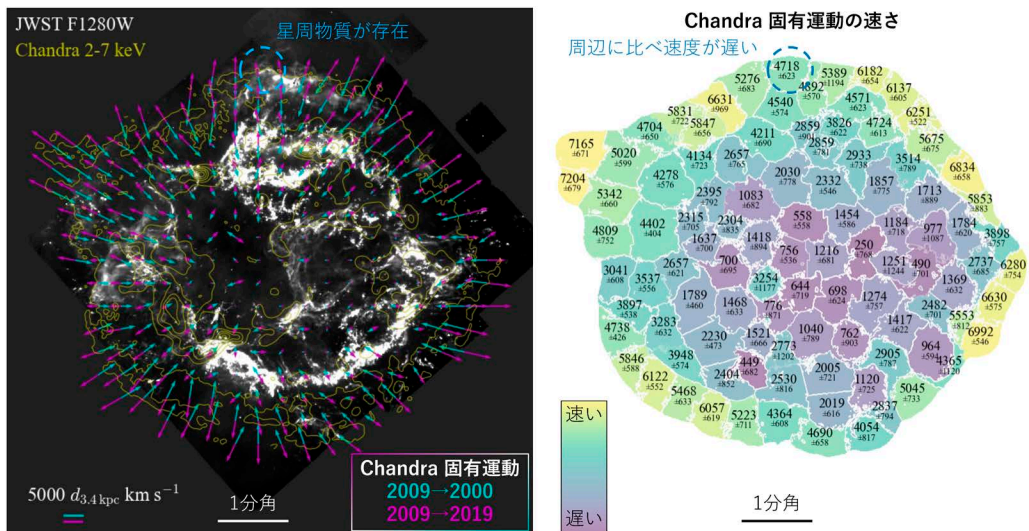


図3 (左) 超新星残骸カシオペア座Aの固有運動の結果。矢印はChandraによる固有運動ベクトル、コントアはChandraの観測画像 (2-7 keV)、背景はJWST画像を示す。(右) Chandraの固有運動ベクトルをK-means法で100クラスに分類した結果。図中に各クラスタの速さとその誤差を $\text{km s}^{-1}$ 単位で示す。青枠で示すようにJWST構造と関連した速度の非対称性がみられる。

こうして得られた高精度な固有運動は、多波長観測にも活用できます。例えば、JWST [27] の赤外線観測装置MIRI F1280 フィルター ( $12.8\ \mu\text{m}$  帯域) で得られた像には、星周物質や爆発で生成されたダスト放射がとらえられています。図3左に示すように、JWSTの観測画像にChandraの固有運動ベクトルを重ね合わせることで、衝撃波との対応を比較することができます。

固有運動ベクトルを詳細に見ると、同じ方向を示す噴出物は空間的に関連した特徴として理解できます。しかし、このような特徴の分類を手で全域に対して行うのは困難です。そこで本研究では、機械学習の手法として広く用いられるK-means クラスタリングを導入し、固有運動ベクトルを100のグループに分類しました(図3右)。その結果、図中の青円で示す領域では、星周物質の存在に伴って固有運動速度が低下する傾向が確認され、カシオペア座Aの詳細な空間構造と時間発展をより明確に示すことができました [6]。

## 4.2 数秒角の天体：マイクロユーザー SS 433

マイクロユーザー SS 433 は、1970 年代の発見以来、その特異な性質から多波長で精力的に研究されてきた天体です。1997 年には、あすか衛星の観測によって2本の高電離鉄輝線が初めて検出され、銀河系内で唯一、バリオン成分を伴う相対論的ジェットを持つ天体であることが示されています [28]。このジェットの速度は光速の約26%に達し、さらに約162日の歳差運動周期を示すことが知られています。距離はおよそ5.5 kpc と考えられており、電波星雲W50の中心に位置しています(図4左下)。近年はXRISMによる分光観測も行われ、ジェットの性質や時間変動の理解に向けた研究が進められています [29]。

SS 433の電波観測では、数秒角スケールに広がるらせん状の構造が鮮明にとらえられています [30]。X線でもChandra衛星によって同様のスケールでジェット方向への広がりが確認されています [31]。しかし、電波に比べると空間分解能が約1桁劣るため、その詳細な構造までは明らかに

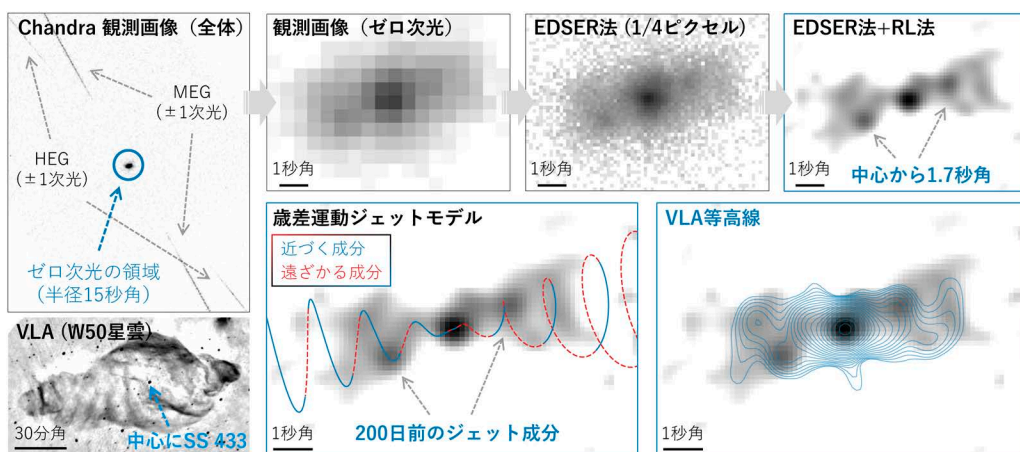


図4 Chandra/HETG 分光観測における SS 433 のゼロ次光へのデコンボリューションの流れ。上段は左から順に、観測画像、ゼロ次光の拡大図 (0.5–8 keV)、EDSEF 法によるサブピクセル補正した画像 (1/4 ピクセルスケール)、さらにその画像に対して RL 法を 30 回反復適用した結果を示す。下段は左から順に、VLA による W50 電波星雲の画像、RL 法適用後の画像に歳差ジェットモデルを重ねたもの、VLA 観測との比較結果である (青枠内の 3 枚はいずれも同じ RL 法適用後の画像を背景にしている)。なお、VLA の観測 (2003 年) は Chandra 観測 (2014 年) とは同時期ではないが、両者はおおむね同じ歳差位相に対応している。VLA の画像は、Chandra の空間分解能に合わせて畳み込み処理を施している。



なっていませんでした。このため、Chandraでの研究の多くは、撮像観測（ACIS）ではなく、回折格子分光器（HETG）による分光観測が中心となってきました。ただし、HETGも空間情報を完全に失うわけではなく、ゼロ次光については半径およそ15秒角まで撮像解析に利用できます。

本研究 [8] では、HETGのゼロ次光をイメージング解析に活用しました。図4に示すように、検出器のCCDチップは0.5秒角ほどのサイズに対応しますが、グレード情報などを利用することで1ピクセル以下の位置精度を得ることができます。Chandra衛星では、EDSER (Energy-Dependent Sub-pixel Event Repositioning) 法 [32] が広く使われており、本研究でもこの手法によってサブピクセル補正を行いました。

PSFもサブピクセルスケールで用意することで、RL法による復元が可能になります。ただし、RL法は反復を重ねすぎるとノイズが増えることが知られています。さらに、推定像は真の分布に完全に一致するわけではなく、有限の幅を持って収束する傾向があります。そのため、SS 433の解析で電波観測など空間分解能の高いデータと比較する際には、得られた推定像の分解能を適切にそろえておくことが重要です。評価の詳細については、本論文 [8] にまとめています。

EDSER法とRL法を組み合わせた結果、図4に示すように、中心から約1.7秒角離れた位置にピーク構造とらせん状の描像が確認されました。ピーク構造については、歳差運動ジェットを仮定したモデルと比較することで、およそ200日前に放出されたジェット成分に対応することがわかりました。さらに、らせん状の描像はVLA電波像と位置的に一致していることも確認されました。また、ゼロ次光のスペクトル解析から、1.7秒角の構造を含む外側の領域では輝線がほとんど検出されないことがわかりました。電波像との整合性を踏まえると、この領域には非熱的成分が含まれている可能性が示唆されます。

## 5. おわりに

本稿では、Chandra衛星の最高の空間分解能をさらに活用し、天体のスケールに応じた最適な応用方法を紹介しました。超新星残骸カシオペア座AやマイクロユーザーSS 433など、さまざまな天体で詳細な空間構造が見えてくることで、物理的な解釈の幅が広がることを感じていただければ幸いです。

天文学における解析手法は今も進化を続けています。近年は機械学習を活用した研究 (e.g., [33, 34]) が成果を挙げており、さらに量子機械学習の応用も始まっています (e.g., [35])。観測装置の進歩や長期観測の蓄積とあわせて、こうした解析技術の発展が、宇宙の理解をさらに深めていけることを願っています。

## 謝 辞

共同研究者の佐藤寿紀氏、酒見はる香氏、町田真美氏、五十嵐太一氏、丹海歩氏、早川亮大氏、小湊菜央氏、日暮凌太氏、古山泰成氏に感謝いたします。また、吉田明広氏、佐々木雄一氏、見上敬洋氏からはデコンボリューション手法の応用について貴重な助言をいただきました。SS 433の解析に関しては、XRISM SS 433 チーム (PI: 志達めぐみ氏)、小谷太郎氏、河合誠之氏から有益なご意見をいただきました。さらに、山口大学での議論の場では、元木業人氏や学生の皆様から電波解析に関する助言をいただきました。

匿名査読者の方々からは有益なコメントをいただき、また『天文月報』編集部の方々には丁寧にご対応いただきました。日本天文学会という議論の場を提供いただいていることにも感謝いたします。

日々を共に過ごした研究室の仲間や同期、学部時代の友人にも感謝いたします。また、本学広報の方々には本研究を広く紹介する機会をいただきました。そして、研究生活を支えてくれた家族にも感謝いたします。

最後に、このような美しいX線画像を私たちが手にできるのは、Chandra衛星の開発・運用に携わった方々、観測提案を行ったPIの方々、そしてデータ公開の仕組みを整えてくださった多くの関係者の尽力によるものです。そのことを胸に刻みつつ、これからも光子一粒一粒を大切にしながら宇宙を眺めていきたいと思っています。

## 参考文献

- [1] XRISM チーム, 2024, 天文月報, 117, 540
- [2] 鈴木寛大, 2024, 天文月報, 117, 592
- [3] 山口弘悦, 野田博文, 2025, 天文月報, 118, 328
- [4] Sakai, Y., et al., 2023, ApJ, 951, 59
- [5] 酒井優輔, 山田真也, 佐藤寿紀, 早川亮大, 日暮凌太, 小湊菜央, 2024, 宇宙科学情報解析論文誌 JAXA-RR-23-007, JAXA, 83
- [6] Sakai, Y., et al., 2024, ApJ, 974, 245
- [7] Suzuki, S., et al., 2025, PASJ, 77, S131
- [8] Sakai, Y., et al., 2025, PASJ, 77, 1113
- [9] Tashiro, M. S., 2022, Int. J. Mod. Phys. D, 31, 2230001
- [10] Wolter, H., 1952, Annalen der Physik, 10, 94
- [11] Arenberg, J., et al., 2014, SPIE Conf. Ser., 9144, 91440Q
- [12] Davis, J. E., et al., 2012, SPIE Conf. Ser., 8443, 84431A
- [13] 秋山和徳, 2021, 天文月報, 114, 184
- [14] Starck, J. L., et al., 2002, PASP, 114, 1051
- [15] Puetter, R. C., et al., 2005, ARA&A, 43, 139
- [16] Sugizaki, M., et al., 2009, PASJ, 61, S55
- [17] Richardson, W. H., 1972, J. Opt. Soc. Am.(1917–1983), 62, 55
- [18] Lucy, L. B., 1974, AJ, 79, 745
- [19] Morii, M., et al., 2024, PASJ, 76, 272
- [20] Tajima, H., et al., 2007, AIP Conf. Ser., 921, 187
- [21] Hughes, J. P., et al., 1999, ApJ, 528, L109
- [22] Uchiyama, Y., & Aharonian, F. A., 2008, ApJ, 677, L105
- [23] Sato, T., et al., 2018, ApJ, 853, 46
- [24] Vink, J., et al., 2024, ApJ Lett., 964, L11
- [25] Kominato, N., et al., 2025, PASJ, 77, 802
- [26] Ichinohe, Y., & Sato, T., 2023, ApJ, 946, 87
- [27] Milisavljevic, D., et al., 2024, ApJ Lett., 965, L27
- [28] 小谷太郎, 1997, 天文月報, 90, 575
- [29] Shidatsu, M., et al., 2025, PASJ, 77, 1313
- [30] Blundell, K. M., & Bowler, M. G., 2004, ApJ, 616, L159
- [31] Marshall, H. L., et al., 2002, ApJ, 564, 941
- [32] Li, J., et al., 2004, ApJ, 610, 1204
- [33] Ichinohe, Y., & Yamada, S., 2019, MNRAS, 487, 2874
- [34] 高橋一郎, 2022, 天文月報, 115, 517
- [35] Kawamuro, T., et al., 2025, ApJ, 987, 105

## From Blur to Clarity: Image Deconvolution in Astronomy

Yusuke SAKAI and Shinya YAMADA

*Department of Physics, College of Science, Rikkyo University, 3-34-1 Nishi Ikebukuro, Toshima-ku, Tokyo 171-8501, Japan*

Abstract: Astronomical images provide vital clues to the nature of the universe, but they are inevitably affected by instrumental limitations and observational noise. To mitigate these effects, various image-processing techniques have been developed. In X-ray astronomy, a common approach is image deconvolution, which reconstructs the intrinsic structure of sources using the telescope's point spread function. Here, we present applications of such methods with the *Chandra* X-ray Observatory, renowned for its superb spatial resolution. Two cases are highlighted: the supernova remnant Cassiopeia A, on scales of a few arcminutes, and the microquasar SS 433, on scales of a few arcseconds. These applications have revealed filamentary structures and detailed circumstellar interactions in Cassiopeia A, and provided new observational evidence for jet emission processes in SS 433. They also enable direct comparison with high-resolution observations at other wavelengths, such as optical, infrared, and radio, paving the way for future multiwavelength studies.