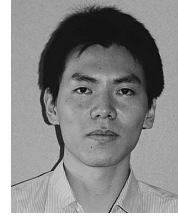


# 銀河団同士の衝突による 巨大衝撃波の誕生を捉えた

加藤 佑一<sup>1</sup>  
中澤 知洋<sup>2</sup>



加藤



中澤

〈東京大学大学院理学系研究科 〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1〉

e-mail: <sup>1</sup>kato@juno.phys.s.u-tokyo.ac.jp, <sup>2</sup>nakazawa@juno.phys.s.u-tokyo.ac.jp

大規模構造の進化とともに、銀河団はその重力で周りの物質や別の銀河団を引き寄せ衝突しながら成長していく。その衝突によって銀河団内の高温プラズマには、 $\sim$ Mpcスケールにわたる衝撃波が発達する。実際に弾丸銀河団、Abell 2416, Abell 520など数多くの銀河団衝突の観測で顕著な衝撃波が報告されている。しかし、これまでのサンプルは互いの銀河団コアが通過した後の系で、衝突が始まったばかりのものが欠落していた。お互いのコアがすれ違う直前のものであれば、衝撃波が銀河団の中心付近の高密度領域に位置し明るく、かつ衝突によるガスの攪乱も強く起きていないため衝突幾何学を推定しやすいので、観測するうえで大きな利点がある。本稿では、最近になり発見された、そのような理想的な天体CIZA J1358.9-4750とその観測結果について紹介する。

## 1. 銀河団

銀河団は、直径がおおよそ2 Mpc (1 pc=3.26光年)にも及ぶ、自己の重力で束縛された系として宇宙最大の天体である。1,000個もの銀河、大量の高温プラズマのガス (Intra-cluster medium; 以下, ICM) および暗黒物質からなり、質量は $\sim 10^{15} M_{\odot}$  ( $1 M_{\odot}=2.0 \times 10^{30}$  kg)にも達する。3者の重量比は、5, 20, そして75%である。

銀河団はその名のおおりに銀河が密集する天体として、可視光観測から研究が始まった。1781年には、フランスの天文学者シャルル・メシエによって距離18 Mpcに位置するおとめ座銀河団が発見された。1958年には赤緯 $-27^{\circ}$ より北の銀河団2,712個 (Abell 1-2712)を集めたAbellカタログが、1989年には南天の銀河団1,364個 (Abell 2713-4076)を集録したACOカタログが、ジョージ・エイベルらにより作成された<sup>1), 2)</sup>。現在も銀

河団カタログとして、このAbell/ACOカタログが主に用いられている。1970年には、世界で最初のX線衛星Uhuruが打ち上げられ、銀河団はX線で明るく輝いていることも明らかになり<sup>3)</sup>、銀河の総和をしのご、大質量で高温なICMが存在するという、だれも予期していなかった発見へとつながった。

ICMは、銀河団の巨大な重力に捉えられて圧縮され、 $10^7$ - $10^8$  Kにまで加熱されて、X線帯域で輝く。その光度は $10^{42}$ - $10^{45}$  erg s<sup>-1</sup>と、全天で最も高光度なX線源の一種となっている。その主なX線放射過程は、電子からの熱制動放射および重元素からの輝線放射である。制動放射とは、電荷をもった粒子がほかの粒子がもつ電荷によりクーロン力によって曲げられ、加速度が加わることにより起こる連続放射のことで、特に熱的分布つまりマクスウェル分布をした粒子が起こす制動放射を熱的制動放射と呼ぶ。輝線放射とは、原子

がエネルギーの高い準位から低い準位へと遷移するとき、その準位のエネルギー差に応じた光子を放出をする現象のことである。ICMは極めて高温であるために、重元素（Si, Fe, Niなど）が完全電離もしくは原子核の周りに電子が1個あるいは2個のみが残ったH/He-like状態にまで電離されている。このように原子構造が比較的シンプルなため、輝線強度比などからICMの元素組成を計測することが可能で、宇宙の元素組成がどのように進化してきたかを探るのに有効である。

X線観測の大きな利点は、可視光観測では銀河を用いるため離散的なデータになるうえ、銀河団とその背景で光度に大きな差がないために、そもそもその同定が難しいのに対して、X線では背景と比較しておよそ1,000倍も明るくコントラストがはっきりしていて、かつICMは連続的な分布をしているために、その形状からその銀河団がどのような状態にあるのか一目瞭然に判定できることである。ICMは、先ほど述べたとおり高温で、かつ密度が $10^{-2}$ - $10^{-4}$  cm<sup>-3</sup>と極めて小さく、核融合プラズマや太陽コロナ（温度 $10^8$  Kで密度 $10^{13}$  cm<sup>-3</sup>および温度 $10^6$  Kで密度 $10^8$  cm<sup>-3</sup>）などは全く異なる極限的な状態にあるために、プラズマそのものの物理を研究するうえでもとても魅力的である。最近では、「ひとみ」衛星が（本格的な観測を始める前に故障してしまったものの）観測装置立ち上げの際に、Perseus銀河団を観測し、ICMと中心に位置する活動銀河核からの高速ジェットの相互作用を観測し、ICMは予測されていたよりも乱流が起きにくい、つまり粘性の大きな流体であることを明らかにした<sup>4)</sup>。

## 2. 銀河団の衝突

銀河団は、宇宙の大規模構造の節に位置し、物質が降着したり、別の銀河団と合体しながら、大きな系へと成長してきたと考えられる。こうしてある程度まで進化した銀河団同士の衝突では、 $10^{64-65}$  ergにも達する重力ポテンシャルが解放さ

れる。これは銀河団に所属するすべての恒星が超新星爆発を起こしたエネルギーにも匹敵する。衝突が始まると、二つの銀河団の境目にあるICMが断熱圧縮により徐々に加熱されていく。さらにそれが進んでくると、互いの引力で加速された両者の相対速度がついにはICMの音速を超え、衝撃波が発生する。ただし、ICMがすでに銀河団のビリアル温度（ガス圧力が重力と平衡状態のときに達する温度）に近い高温をもつため音速が大きく、衝突速度はそれを大幅には超えることができず、ICM中に発生する衝撃波のマッハ数は、 $M=1-5$ 程度と非常に小さいという特徴がある。

衝撃波とは、物体の速度が媒質中の情報を伝える速さ、つまり音速を超えるときに発生する圧力の不連続面のことで、流体の運動エネルギーを熱エネルギーなどへと変換する。特に、銀河団などの密度の小さいプラズマ中で起きる衝撃波は、粒子間の衝突を介さずに電磁場と荷電粒子の相互作用によって生じるために、無衝突衝撃波と呼ばれる。衝撃波の上流と下流の温度の関係式は、以下のRankine-Hugoniot方程式で記述される。

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{5M^4 + 14M^2 - 3}{16M^2} \quad (1)$$

$T_1, T_2$ は上流および下流の温度、 $M$ はマッハ数で、 $M=v_1/C_s$ で定義される。ここで、 $C_s$ は上流での音速、 $v_1$ は衝撃波面からみた上流の流速である。無衝突衝撃波は、流体を加熱するだけでなく、フェルミ加速などにより粒子を加速するとともに、プラズマ中に不安定性を発達させて、磁場増幅や乱流も引き起こす。

銀河団の衝突で発生する衝撃波は、宇宙最大のエネルギー変換器であり、プラズマ加熱はX線観測で、粒子加速については電波帯域のセンチ波、メートル波の観測により、衝撃波付近にradio relicと呼ばれる数十GeVにまで加速された電子によるMpcスケールに拡がったシンクロトロン放射から確認されている<sup>5)</sup>。磁場増幅は、2020

年ごろから本格的に始動する Square Kilometer Array という GHz 帯をカバーする巨大電波干渉計、乱流は、「ひとみ」衛星の後継機を用いた X 線輝線の精密分光観測によって明らかになると期待される。

これまでの X 線観測や電波観測により、数多くの衝突銀河団において、ICM 中に衝撃波が発達していることが明らかになっている。特に、顕著な衝撃波をもつ天体としては、弾丸銀河団 (1E 0657-558), Abell 2146, Abell 520 などが有名である<sup>6)</sup>。しかし、これらを含めてこれまで見つかった天体では、衝突が進み、密度が小さく X 線で暗い銀河団の外縁部にまで衝撃波が達してしまったものばかりであった。そのうえに、このような衝突後期の系では、ICM の攪拌が強く起きて、温度や密度にむらが生じることがしばしばあり、元々どのくらいの質量をもった銀河団同士がどのように衝突したのかを推定するのが難しかった。二つの銀河団が互いのコアを通り過ぎる以前の系であれば、ICM も乱雑にかき混ぜられるまえで、しかも衝撃波が銀河団の中心付近の明るい領域に発達する。よってそのような衝突初期の系

の探索が精力的に続けられてきた。ただし、銀河団の進化のタイムスケールに比べて (数十億年以上), その期間は短く、これまでに発見された例は Abell 222-223, Abell 399-401 および Cygnus A など数える程度しか見つかっておらず<sup>7-9)</sup>, さらに明確な衝撃波の証拠が確認されたものは皆無であった。そのため、衝撃波のすぐ後方ではプラズマは非平衡状態で、多様な非線形緩和過程をわれわれに教えてくれる宝箱であるにもかかわらず、それを精密に観測できる系がなく、どのような物理過程を経て平衡状態に達するのか、明らかにできずにいた。

### 3. CIZA J1358.9-4750

1章で述べたように、銀河団カタログとして Abell/ACO カタログがよく用いられている。しかし、これらは全天の 2/3 を網羅しているものの、残り 1/3 の領域は銀河面吸収帯と呼ばれる銀河面に沿った領域で、星間物質により銀河系外からの放射が減光され、さらに系内の星の混入が激しいため、可視光による観測が難しく探索が遅れていた。X 線観測が発展するにつれ、混入天体が少な

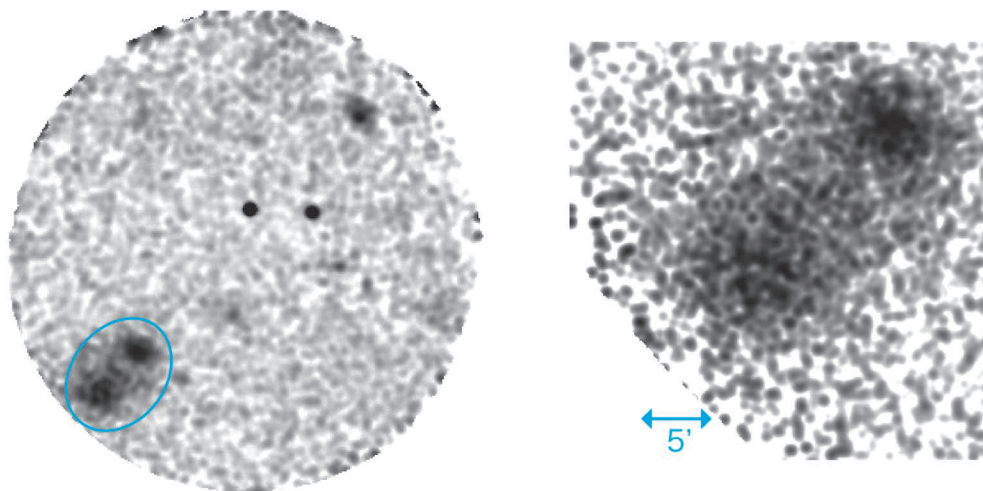


図1 左: CIZA J1358.9-4750 が偶然にも ROSAT の PSPC によるポインティング観測視野 (半径 1°) の隅に収められた軟 X 線画像。エネルギー帯域は 0.1-2.4 keV。青く囲まれた領域に CIZA J1358.9-4750 が位置している。右: 左図の青く囲まれた領域を拡大したもの。

く透過力の強いX線が用いられるようになり、銀河面およびその近くに注目して、X線衛星ROSATのAll-Sky Surveyによりそこでの銀河団を集めたCIZAカタログが作られた<sup>10), 11)</sup>。CIZAカタログは歴史が浅く、集録された銀河団の研究は進んでいなかったが、近傍で最大の系として詳しく調べられているPerseus銀河団（近傍で明るいいため、CIZA領域でも可視光でよく観測されている）や、外縁部に数Mpcにわたるソーセージのような形をしたradio relicをもつCIZA J2242.8+5301など、銀河団の研究を進めるうえで重要な知見をもたらした天体も含まれている<sup>12), 13)</sup>。

われわれは明るい衝撃波をもつ系を見つけるため、このCIZAカタログの中を探し、ROSATによるAll-Sky Surveyだけでなく、図1（左）のように偶然にも他天体のPSPCのポインティング観測の視野の隅に捉えられていた二つ目玉のCIZA J1358.9-4750（以下、CIZA J1358）に注目した。図1（右）はCIZA J1358が位置する領域を拡大した軟X線画像で、およそ14分角ほど離れた南東と北西にそれぞれ銀河団コアに対応する二つのX線ピークをもつこと、さらにその間に明るい放

射が存在していることから、二つの銀河団が近くに位置し、それらが相互作用していることが示唆された。銀河面の吸収を受けにくい2 $\mu$ m帯を用いた2MASS全天サーベイを調べると、南東と北西の銀河団コアのX線で最も明るいところには、銀河団の中心付近でしばしば見られる巨大楕円銀河がそれぞれ存在し、その赤方偏移は0.0745と0.0709であった。この赤方偏移は銀河団としては比較的小さく、近傍に位置するため観測研究に適している。赤方偏移から決まる角径距離はおよそ290 Mpcで、1'あたり84 kpcの物理的距離に対応する。X線ピークの間は14分角なので、二つの銀河団の射影距離はおよそ1.2 Mpcである。

### 3.1 「すぎく」観測

PSPCの観測は、積分時間が短いうえにエネルギー帯域は0.1-2.4 keVと狭く、そのスペクトルからICMの基本パラメータとなる温度などを正確に計測することができない。そこで、われわれは2013と2014年にCIZA J1358の中央および外縁部の計5点に対して、X線衛星「すぎく」により観測を行った。

「すぎく」は、2005年に打ち上げられた日本の5番目となるX線観測衛星<sup>14)</sup>で、2015年まで運用され、査読付き論文は2014年12月末までに762件にも及ぶなど多くの科学的成果を残した。詳細については天文月報すぎく10周年特集号（2015年11月号-2016年1月号）を参照されたい。その特徴は、大有効面積かつ優れた分光性能をもつとともに、上空500 kmと低軌道を運行していたために、地磁気により太陽や宇宙から飛来する宇宙線から守られ、バックグラウンドがほかのX線衛星と比較して低く、薄く広がった放射を捉える能力に優れていることである。これにより、銀河団の外縁部にあるICMのスペクトルを初めて抽出し、観測的に銀河団が周りのガスを取り込んで成長していることや、鉄元素が100億年よりも以前に宇宙中にばらまかれたことを明らかにした<sup>15)</sup>。

図2は、南東の銀河団コアから抽出した「すぎ

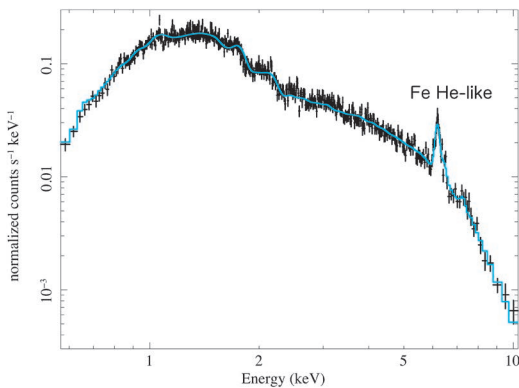


図2 CIZA J1358の南東の銀河団コアから抽出された「すぎく」による検出器応答を含んだ0.6-10 keV帯域のスペクトル。青の実線は、抽出されたスペクトルを再現したモデルで、熱制動放射+輝線放射およびバックグラウンドからなる。



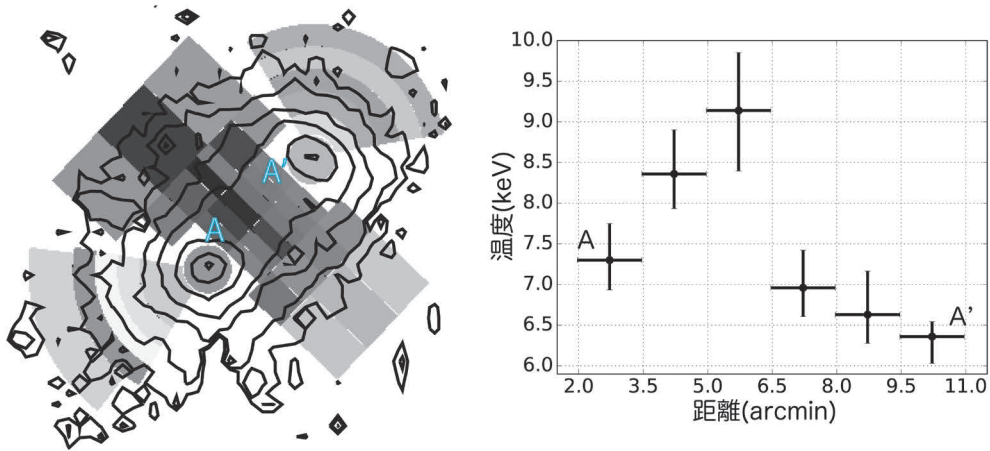


図3 右:「すぎく」によるCIZA J1358.9-4750の中央部および外縁部4点の観測で計測されたX線コントアおよび温度分布を重ねた図。色が濃くなる領域ほど高温となっている。左: 右図A-A'の温度分布。誤差は1σで示している。横軸は、南東の銀河団の中心からの距離。

く」によるスペクトルで、6.2 keV付近に強い輝線放射があり、高エネルギー側で急速に暗くなっていることがわかる。この輝線放射はHe-likeのFeからの放射で、本来は6.7 keVに位置するが、赤方偏移により低エネルギー側へとずれている。熱制動放射では、スペクトルの高エネルギー側での傾きは、プラズマ温度によって決まるため、そこからICMの温度を測定することができる。

領域を細分化してスペクトルを抽出し、上記のようにしてスペクトルから温度を求めて、X線コントアと重ねたものが図3(左)である。南東と北東の銀河団コアの温度はそれぞれ5.6および4.6 keV (1 keV~1.2×10<sup>7</sup> K)であった。銀河団の質量とその温度には強い相関があることが知られていて<sup>16)</sup>、二つの銀河団の温度差はたかだか20%であることから、ほぼ同程度の質量をもつと推測される。加えて、その温度から推定される二つの銀河団のビリアル半径はおよそ1.5 Mpcで、コア間の距離を超えている。図3(左)のA-A'の領域の温度分布に注目したものが図3(右)であり、ICMの温度は二つの銀河団を結んだ中間領域に向かって、急激に上がっていき、最大で9.2 keVにも達していることがわかる。高温

領域は、衝突軸と鉛直に北東側へとMpcスケールにわたって広がっており、二つの銀河団が強く相互作用していることが確かめられた。その反対方向では、通常の銀河団で見られるように外縁部へ向かって緩やかな温度低下を示しており、衝突の影響が及んでいないことがうかがえた。このことから、CIZA J1358は二つの銀河団が衝突を起こし始めたばかり系であると考えられる。

### 3.2 Chandra衛星による精密撮像

「すぎく」は分光性能、有効面積および低バックグラウンドと優れた点をいくつももっているものの、角分解能に関しては1.5'と海外のX線衛星には及ばない。それを補完すべく、われわれはNASAのX線衛星ChandraによるCIZA J1358の観測も実施した。Chandraは1999年に打ち上げられ、現在も運用が続けられている。広がった天体に対する分光性能に難があるものの、その<1"という卓越した角分解能によって、銀河団に関してもこれまでにあまたの鮮烈なX線画像を撮像し、その研究に多大な貢献をしてきている。

図4(左)は、CIZA J1358のそのChandraによるX線画像である。その優れた角分解能によって、南東および北西の銀河団の形状はどちらも球

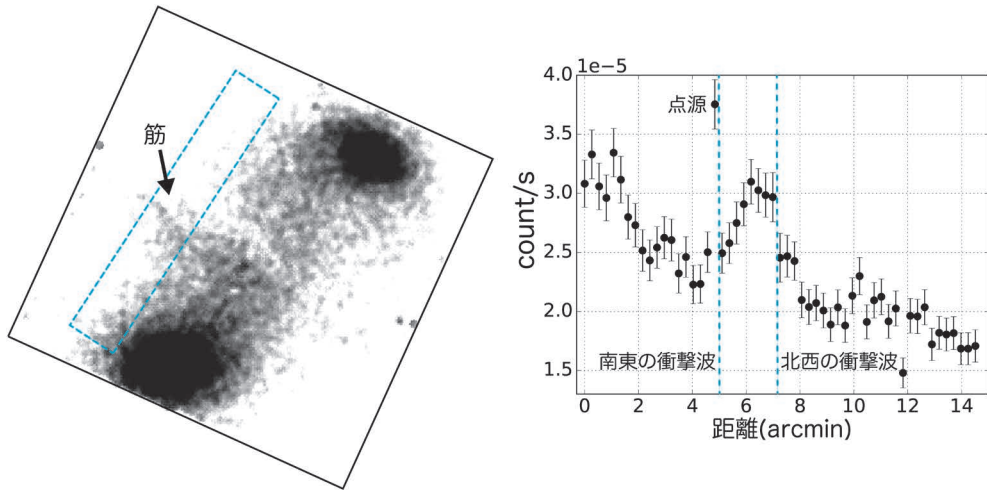


図4 左: ChandraによるCIZA J1358のエネルギー帯域0.5-7.0 keVのX線画像. 右: 左図の青の点線で囲まれた領域から抽出した輝度分布. 二つの青の点線は、それぞれ衝撃波の位置を示している.

対称ではなく少しひしゃげていること、「すぎく」で高温成分が見つかった中間領域には「筋」のような構造があることが明らかになり、これらは共に衝突による影響と推測される。熱制動放射の放射強度は密度の2乗に比例するため、輝度分布から密度分布を探ることができる。そこで高温領域のそれを知るために、図4(右)に示したように輝度分布を抽出した。すると、「筋」の構造のところで2度にわたって輝度が急激な変化を示し、台形状の形をしていた。この平行な2本の輝度ジャンプの間は、ちょうど「すぎく」が最も高温を示した領域であった。温度と密度の急激な増加は圧力の急上昇を表し、典型的な衝撃波の証拠である。これらのことから、ほぼ同質量の二つの銀河団が衝突することによって、二つの衝撃波がほぼ左右対称に発生していることが判明した。

#### 4. 観測からわかったこと

CIZA J1358の衝突は、おおむね左右対称に起きているので、その衝突幾何学は近似的に、図5に示したように片方の銀河団が壁に激突したものと描ける。よりはっきりと温度ジャンプを見せている北西の銀河団側の衝撃波の上流と下流の温度

は、それぞれ7.0および9.2 keVであり、これを2章の(1)式に代入して、そのマッハ数は $M=1.3$ と導出された。音速も上流の温度から $1,360 \text{ km s}^{-1}$ と決まり、衝撃波面に対する上流と下流の速度は、それぞれ $1,800$ および $1,200 \text{ km s}^{-1}$ と求まった。それを図5の上側に示した。ここから観測者系(下流)へ移れば、図5の下側に示したように衝撃波面の速度と銀河団の突入速度が、それぞれ $1,200$ および $600 \text{ km s}^{-1}$ と求まる。片方の衝撃波の下流領域の大きさは85 kpcで、それを衝撃波面の速度 $1,200 \text{ km s}^{-1}$ で割り、衝撃波の年齢がおよそ70 Myrということが導かれた。これは数十億年にも及ぶ銀河団の衝突タイムスケールと比較すると極めて若く、まさに衝撃波が生まれて間もない瞬間を見ていることを意味する。

##### 4.1 衝撃波の非線形的な形成

2章では、衝撃波は相対速度が音速を超えたときに生じると述べたが、不思議なことに、二つの銀河団の相対速度は $2 \times 600 \text{ km s}^{-1}$ で、音速 $1,360 \text{ km s}^{-1}$ よりも小さい。それにもかかわらず、CIZA J1358では明確に二つの衝撃波が形成されている。このことは相対速度が音速を超えずとも、衝突によってガスが強く圧縮され、大振幅

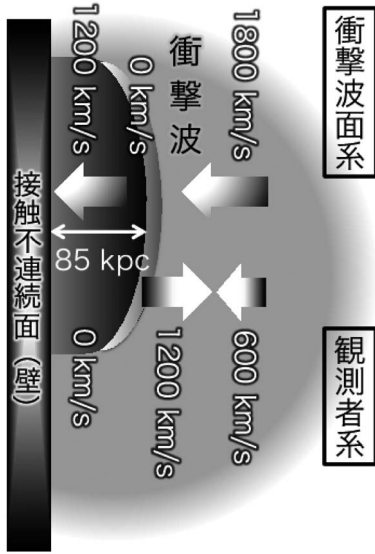


図5 CIZA J1358の衝突幾何学. ほぼ左右対称であるために銀河団が壁に衝突したものと近似している.

音波が発生し、断熱圧縮による内部の音速増加を伴う非線形効果によって波が急峻化したことにより衝撃波へと成長した可能性を示唆する。これは共同研究者である藤田裕氏の理論研究に基づくもので、詳しくはFujita-Suzuki<sup>17)</sup>を参照されたい。ただし、ここでは完全な左右対称を仮定していることや、誤差のことを考慮すると衝突速度が音速を超えた可能性も残されている。さらには、なぜ北東側にだけ衝撃波が発達し、南西側には発達していないのかなど、説明すべき課題も多く、今後のいっそうの研究が必要である。

#### 4.2 電子加熱のタイムスケール

大部分が陽子および電子からなるICMは、その流体の運動エネルギーが衝撃波によって熱エネルギーへと変換されるときに、最初は陽子と電子はともに同じ速さで動くため、前者のほうが後者よりも、その質量比である1,836倍も強く加熱される。その後、その衝撃波の後方でそれらが平衡状態に至るまで熱散逸が起きることになる。単純には、熱伝達はクーロン散乱によるものだと考えられるので、CIZA J1358における衝撃波下流の

密度 $10^{-3} \text{ cm}^{-3}$ の電子を温度9 keVまで加熱するには、およそ $\tau_c=200 \text{ Myr}$ ほどかかる計算になる。ところが、衝撃波の年齢は70 Myrであるにもかかわらず、X線で見られる熱的制動放射、すなわち電子温度は衝撃波の後方で急速に高くなっている。これは、 $\tau_c/3$ 以下で電子加熱が起きることを意味し、クーロン散乱とは異なる何かしらの物理過程により、急激な電子の加熱が起きることを示唆する。これは、おそらくは電磁流体的な相互作用と思われるが、ICMのプラズマ中でどのようにその相互作用が起きるかの研究は、まだ始まったばかりである。

### 5. まとめと展望

われわれは、X線衛星「すざく」およびChandraを用いて、CIZA J1358.9-4750では、ほぼ等質量の二つの銀河団が衝突をし始めたことによって、一对の衝撃波が発達し、その結果として、二つの銀河団を結ぶ中間領域で温度と密度が急上昇していることを解明した。さらにその衝撃波は、X線で極めて明るいことから、物理パラメータを高い精度で決定できるため、ICMにおける衝撃波の理解そのものへのインパクトも大きい。

CIZA J1358に対して、すでに大有効面積で良い角分解能 (Chandraには劣るが)、良い分光性能 (「すざく」には及ばないが) を兼ね備えたESAのX線衛星XMM-Newtonへの長時間観測が採択されており、この観測が2016年度中に行われる予定である。これにより、陽子から電子への熱輸送の物理機構と密接に関係していると考えられる電子加熱のタイムスケールを、 $\tau_c/3$  (現状での上限) から $\tau_c/10$ のどの付近にあるか知ることができる。同時に、これまでよりも細かい領域でより正確な温度や密度を決定し、正確なマッハ数を導出することができるので、衝撃波の誕生につながる非線形な音波進化の研究の前進も期待している。

われわれは、X線観測だけではなく、粒子加速

の兆候を探るために共同研究者である赤堀卓也氏と協力し、電波干渉計 Australia Telescope Compact Arrayで低GHz帯の観測も行っており、その結果、CIZA J1358ではほかの衝突銀河団で見られるような強い粒子加速が起きていないことがわかった。これは、ICM中での無衝突衝撃波によって、粒子加速が起こるときに何らかの条件があることを示唆しており、銀河団衝突で励起される粒子加速について、新たな進展をもたらすと期待している。将来的には、次世代電波干渉計 Square Kilometer Arrayでの観測を提案し、より高い感度で粒子加速の兆候を探るとともに、衝撃波による磁場増幅の研究も行いたい。

無衝突衝撃波は銀河団の衝突に限らず、同様の現象は太陽圏プラズマや超新星残骸など、宇宙の随所で確認されている。最終的には、CIZA J1358の結果をスケールとパラメータが大きく異なるこれらと比較し、エネルギー散逸過程はどう異なってくるのか、はたまた同じなのかというプラズマそのものの物理まで突き止めたいと考えている。

## 謝 辞

本稿の内容は、2015年に投稿論文として公表したもので、およびその後に進展した研究に基づいております。共著者の方々に深く感謝いたします。加えて、本稿の執筆を勧めていただいた馬場彩編集委員に御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) Abell G. O., 1958, ApJ 3, 211
- 2) Abell G. O., Corwin H. G. Jr., Olowin R. P., 1989, ApJ 70, 1
- 3) Forman W., et al., 1978, ApJ 38, 357
- 4) Hitomi Collaboration, 2016, Nature 535, 117
- 5) Feretti L., et al., 2012, A&A Rev. 20, 54
- 6) Markevitch M., Vikhlinin A., 2007, Phys. Rep. 443, 1
- 7) Werner N., et al., 2008, A&A 482, L29
- 8) Fujita Y., et al., 2008, PASJ 60, S343
- 9) Sarazin C. L., Finoguenov A., Wik D. R., 2013, Astronomische Nachrichten 334, 346
- 10) Ebeling H., Mullis C. R., Tully R. B., 2002, ApJ 580, 774
- 11) Kocevski D. D., Ebeling H., Mullis C. R., Tully, R. B., 2007, ApJ 662, 224
- 12) Fabian A. C., et al., 2006, MNRAS 366, 417
- 13) van Weeren R. J., et al., 2010, Science 300, 347
- 14) Mitsuda K., et al., 2007, PASJ 59, 1
- 15) 松下恭子, 2016, 天文月報 109, 13
- 16) Vikhlinin A., et al., 2006, ApJ 640, 691
- 17) Fujita Y., Suzuki T. K., 2005, ApJ 630, L1

## The Discovery of Newborn Gigantic Shocks in Merging Cluster of Galaxies

Yuichi KATO and Kazuhiro NAKAZAWA

*Department of Physics, School of Science, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan*

Abstract: Clusters of galaxies are growing up by attracting one another and merging each other with the evolution of large-scale structure of Universe. At the merging, shocks of  $\sim$ Mpc scale are induced within hot plasma. Many prominent shocks have been reported from observations of merging clusters, such as Bullet cluster, Abell 2146 as well as Abell 520. However, the samples discovered so far are late merger system, in which cluster cores have already passed each other and the shocks are X-Ray dim. In early merger systems, shocks are bright and an estimation of the merger geometry is easy, since these are located in high density region and gases are not mixed strongly. In this paper, we introduce the newly discovered early merger cluster, almost ideal system CIZA J1358.9-4750. We detect clear linear shocks in the middle of the two cluster cores. X-Ray image shows clear hump in the middle, and X-Ray temperature map shows jump from 7 to 9.2 keV there. We interpret these results as an evidence for newly born, very young ( $\sim$ 70 Myr) shocks in the ICM. Since the shocks are bright and young, further observational research will provide good information of the properties of shocks in cluster merger.