

かみのけ座銀河団の Diffuse Intracluster Light の観測

中島王彦、岡村定矩(東京大学大学院理学系研究科)

征矢野隆夫、猿楽祐樹、中田好一(東京大学大学院理学系研究科木曾観測所)

1. 研究の背景と目的

銀河団が形成される過程で、銀河は重力相互作用によって自らの持つ星のかなりの割合を失う。その失われた星は、現在銀河間空間に散在している (Murante et al. 2004, ApJ, 607, L83)。シミュレーションの予測によれば、それらの星々は比較的最近に銀河からはぎ取られ、まだ力学的に若い状態にある。すなわち、空間分布と視線速度分布が非一様である (Napolitano et al. 2003, ApJ, 594, 172)。

銀河団中の銀河間空間にある星は、淡い広がった銀河間光 (Intracluster Light=ICL) (e.g., Feldmeier et al. 2004, ApJ, 609, 617) や惑星状星雲 (ICPNe; Okamura et al. 2002, PASJ, 54, 883; Arnaboldi et al. 2003, AJ, 125, 514) や赤色巨星 (Ferguson et al. 1998, Nature, 391, 461) として観測されている。このうち惑星状星雲は輝線天体なので、視線速度の測定が可能である。我々は、かみのけ座銀河団ほどの遠距離においても惑星状星雲を検出できる Multi-Slit Imaging Spectro-scropy という手法を開発し、約 40 個の ICPNe の観測に成功し、速度分布に二つのピークがあることを見いだした (Gerhard et al. 2005, ApJ, 621, L93; 図 1)。その結果をもとに、銀河団中心にある二つの巨大楕円銀河が銀河団に落ち込んできた軌道の推測を行った (図 2; Gerhard et al. 2007, A&Ap, 468, 815)。

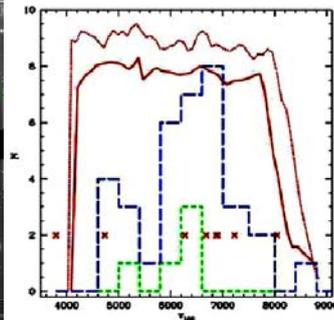
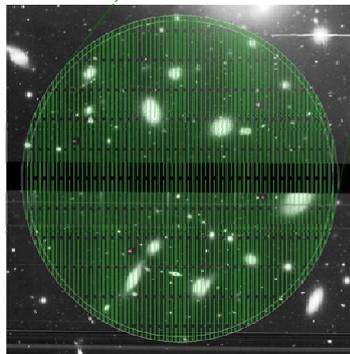
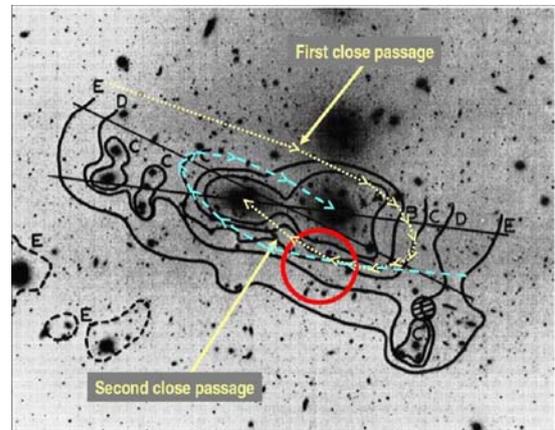
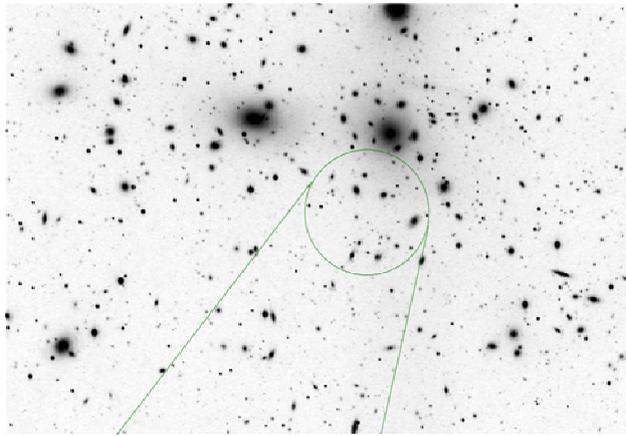


図2(上) 推定した楕円銀河の軌道。等高線は Thuan and Kormendy (1977)が写真観測で求めたICLの輝度分布。

図1(左) MSIS法で検出した35個のICPNeの視線速度分布(青色のヒストグラム)。×は銀河に付随する5個のPNeの視線速度分布で、赤色のヒストグラムは視野内の銀河の視線速度を示す。二つの曲線は分光感度(場所により少し異なる)。

そこで、かみのけ座銀河団の ICL の分布を精度良く観測して推測軌道との関連などを調べてみたいと思い始めた。これには、広視野を有する木曾

観測所の 2K-CCD カメラが最適の装置である。実際最近では、長時間露光によって ICL の分布を明瞭に描き出した例がいくつか出てきた (e.g., Mihos et al. 2005, ApJ, 631, L41; Krick and Bernstein 2007, AJ, 134, 466)。

かみのけ座銀河団は中心近くに明るい星があり、ICL の観測にはその影響を注意深く除去する必要がある。従来の主な観測例として Thuan and Kormendy (1977, PASP, 89, 466 ; それ以前の写真観測の文献あり), Gregg and West (1998, Nature, 396, 549), Adami et al. (2005, A&A, 429, 39) などがある。

2. 観測およびデータの品質評価

木曾 2K-CCD カメラを用いて、かみのけ座銀河団中心部の 1 視野 (50 分角) を 1 つのバンドでできるだけ長時間 (数 10 時間のオーダー) 撮像することを目指した。明るい星の影響を避けるため、銀河団中心より意図的に SW 側に視野を少しずらした。明るい星のゴーストを差し引くために、視野近傍にある明るい星 A, B, C, D, E の位置に Vega をおいて 10 秒露出した画像も取得した。解析の結果、視野を外れている D, E の影響は無視できることがわかったので、A, B, C のゴーストのみを後に補正する (図 3)。

2008 年 2 月から試験観測を始め、4 月には R バンドで、また 2009 年 4 月には V バンドで本観測を行った。この観測は diffuse light の検出が目的なので、シーイングは気にせず、ノーガイド 300 秒露出、13 点のディザリングを繰り返した。今回は、暗夜にのみ観測した 2009 年の V バンドデータの観測結果を報告する。

画像を重ね合わせる前に、良質の画像のみを選定する作業が必須である。このために、バイアスを引いてフラット化した撮影画像すべてについて、(1) 適当に選んだ 3 つの星の明るさ ($I_i, i=1,2,3$)、画像中の 5 点 (check) における空の明るさの、(2) 平均値 (sky) と (3) 分散 (σ_{sky}) を測定した。これらを観測夜ごとに観測開始からの時間の関数と

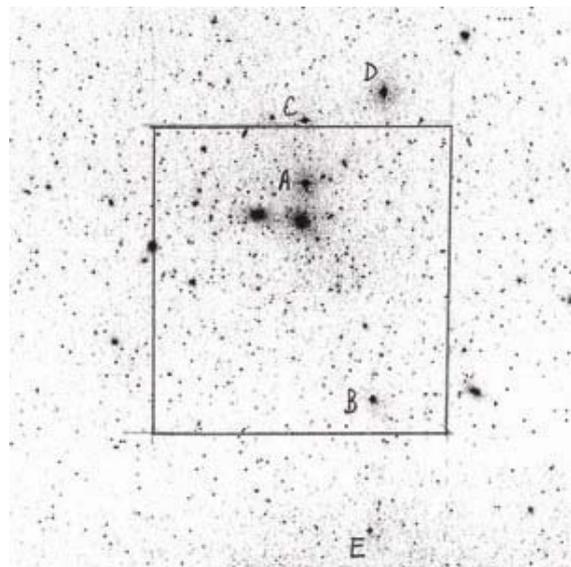


図3 観測視野とゴーストの影響を調べた明るい星 (A,B,C,D,E)

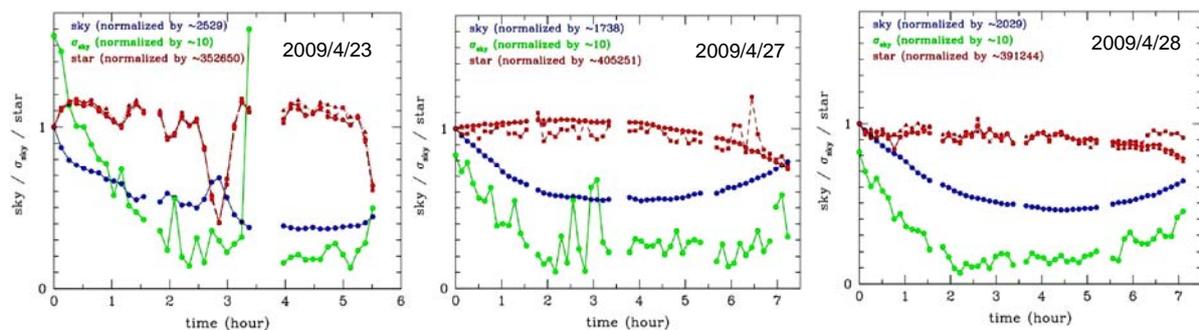


図4 データの品質評価のためのグラフ。星の明るさと空の明るさは各夜の最初のデータで規格化してある。また、分散 (σ_{sky}) は全夜を通じて10で規格化した。

してプロットしたものが図 4 である。

この図から、薄雲の通過など観測条件の時間変化が読み取れる。これを基に重ね合わせる画像を選択する。基本的には σ_{sky} が 10 以下のものを選択し、さらに野帳も参考にして、目で見て問題が疑われるものを除去して最終的に右表の 132 枚 (11 時間露出相当) を採用した。

set	1st	2nd	3rd	4th	5th	
4月22日	0/13	0/13	0/13	-	-	0枚
4月23日	10/13	9/13	3/13	-	-	32枚
4月27日	13/13	13/13	13/13	6/10	3/3	48枚
4月28日	13/13	13/13	13/13	13/13	-	52枚
						132枚

3. データ処理

採用した画像に対して、まずバッドコラムを `fixpix` で消した後、1 ディザリングのセットごとに `combine=average` で足し合わせていく。その時、各フレームの空の明るさを星がない 5 箇所の平均値で定義し、1 セットの中でその平均値の `median` を求め、各フレームのスカイの高さを揃えてから足し合わせた。このようにして出来た 12 セットの画像を、`combine=median` で全て足し合わせる。この画像からスカイの値を差し引いたものが図 5(a) である。

次に、Vega を星 A, B, C の位置に置いて撮影した画像を星の V バンドの明るさの比、1.00:0.55:0.41、で重みをつけて加算したゴースト画像を作った。ウエイトは処理の過程で微調整し、最終的に採用したのは 1.0:0.48:0.41 である。これが図 5(b) に示されている。

図 5(b) にウエイトを掛けて図(a)から差し引いた最終結果が図 5(c) である。星のゴーストがきれいに差し引かれていることがわかる。ウエイトはゴーストがきれいに消えるように試行錯誤で調整し、最終的に 0.042 とした。

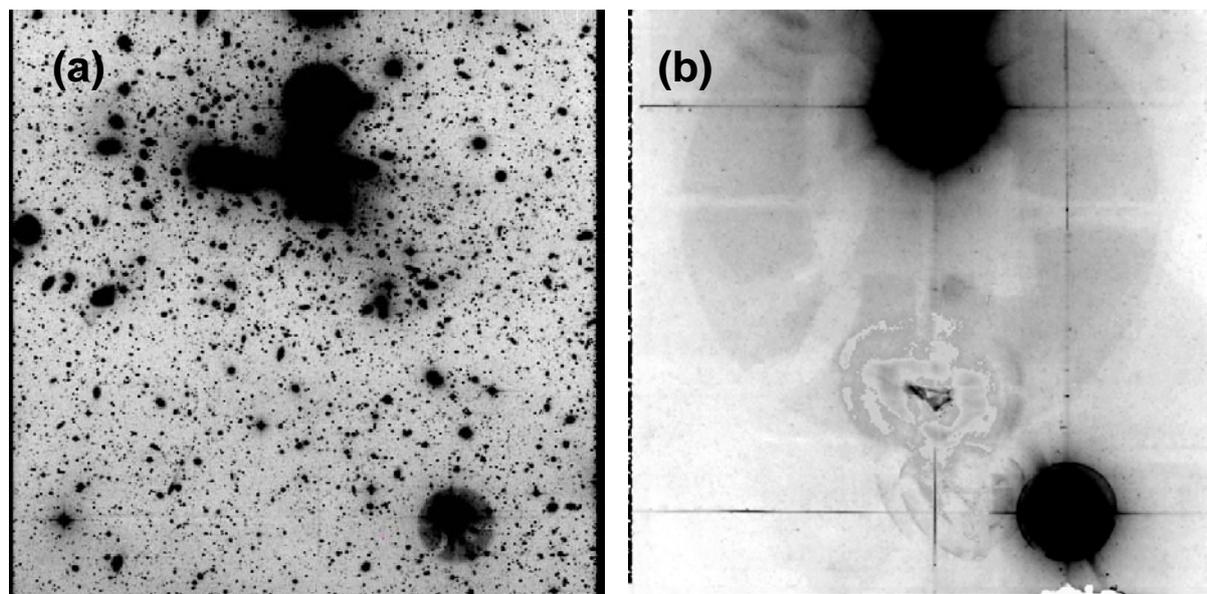


図5

(a) Vバンド132枚(11時間露出)のフレームを重ね合わせた画像。

(b) 図1の星A, B, CのゴーストをVegaによってシミュレートした画像 (VegaをA, B, Cの位置で10秒露出した画像に 1.0:0.48:0.41 のウエイトを掛けて足し合わせたもの)。

(c) (a) - 0.042x(b)で求めた最終画像。

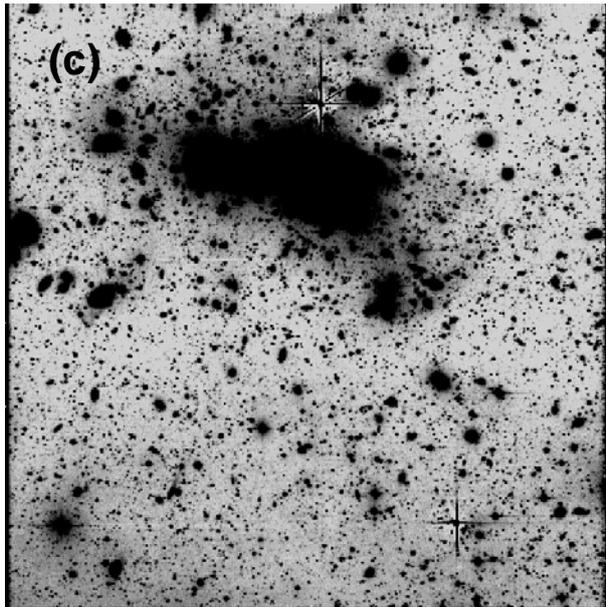


図6(下)

(a) キットピークの口径0.6mのBarrel Schmidtにより撮影された75分露出のRバンド画像である(2"/pixel; FOV 1.1度)(Gregg and West (1998, Nature, 396, 549)による)。

(b) 我々の最終画像図5(c)から図6(a)と同じ領域を切り出したもの。

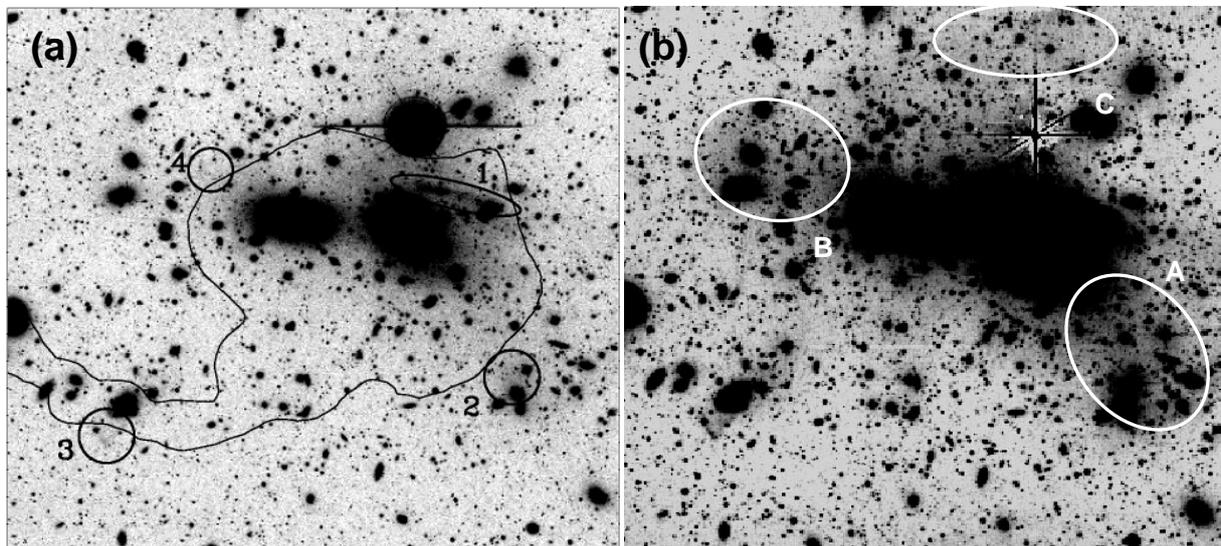


図 6(a)の 1, 2, 3, 4 の円で示されているのが、Gregg and West が議論している Low-Surface-Brightness(LSB) features である。1, 2, 3 の features は彼らが新たに発見したもので、4 は Trentham and Mobasher (1998 MNRAS, 293, 53)が発見したものである。曲線は、ROSAT による X 線強度分布を示す一つのコントアである。彼らは、このほかに露出時間 30-45 分の B, V, I バンドの画像も撮影している。図 6(b)は我々の画像である。バンドは同じではないが、露出時間が約 10 倍であるので、diffuse ICL がずっとはっきりと見えている。

特に、中心の二つの楕円銀河 NGC4874 と NGC4889 を包み込む領域だけでなく、南西の infalling subgroup につながる領域 (楕円 A) および東側にも伸びた構造 (楕円 B) が見られる。ICL の大まかな分布の様子は図 2 の、写真観測から得られたコントアに合致しているが、写真ではよくわからなかった北東の領域の分布がはっきりした。北側にも ICL が少し広がっているように見えるが、北側の視野の端近くの領域 (楕円 C) については、星 C のゴーストの影響を注意深く調べないとはっきりしたことは言えない。