

銀河団の磁場

滝沢元和

2012.7.6
研究室談話会

お品書き

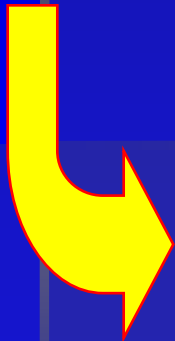
- 銀河団磁場の観測的証拠
- 銀河団磁場の観測的決定方法
 - Faraday Rotation
 - シンクロトロン+逆コンプトン
(Nakazawa et al. 2009, Sugawara et al. 2009)
- 銀河間磁場に関する数値シミュレーション
(Takizawa 2008など)
- まとめ

Observational Evidence of Intracluster Magnetic Field (1): Radio Halos / Relics

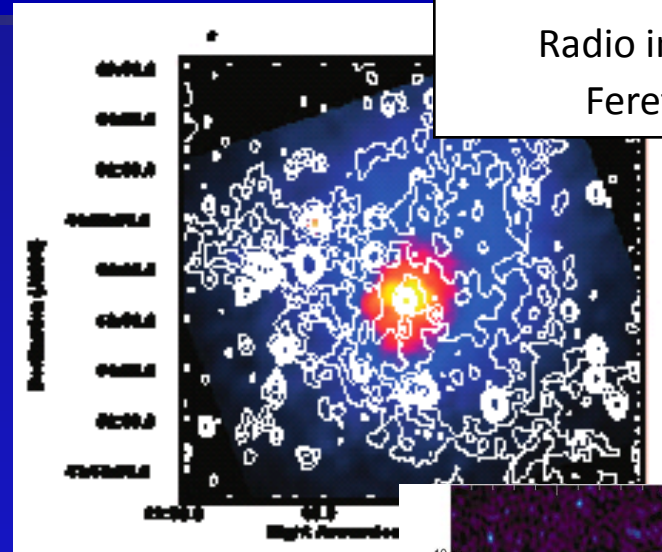
Non-thermal radio emission from merging clusters of galaxies

synchrotron radio

$\gamma \sim 10^4$ electrons + 0.1-10 μG B



Hard X-ray will be emitted through Inverse Compton with CMB



Abell 2319 with Radio Halo

Rosat X-ray image (colors)

Radio image (contours)

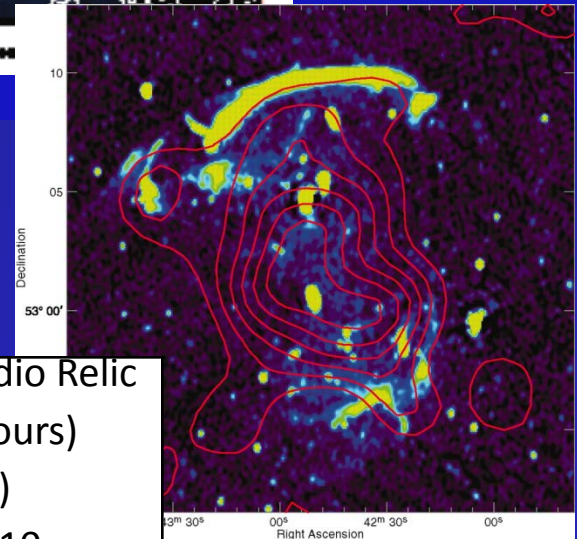
Feretti et al. 1997

CIZA J2242.8+5301 with Radio Relic

Rosat X-ray image (contours)

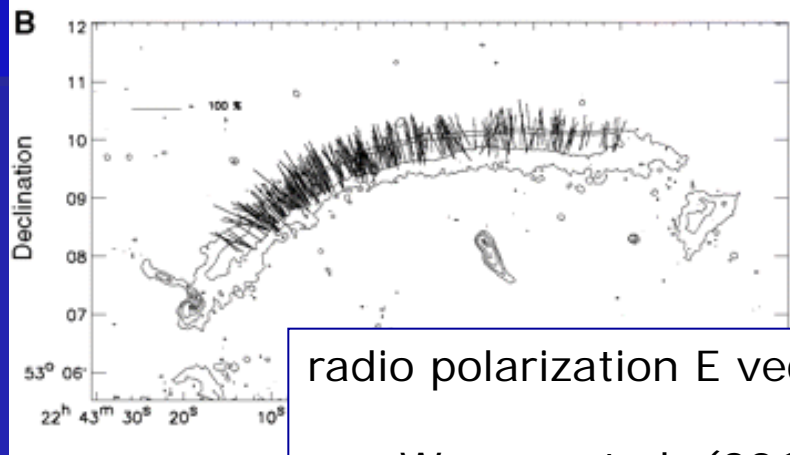
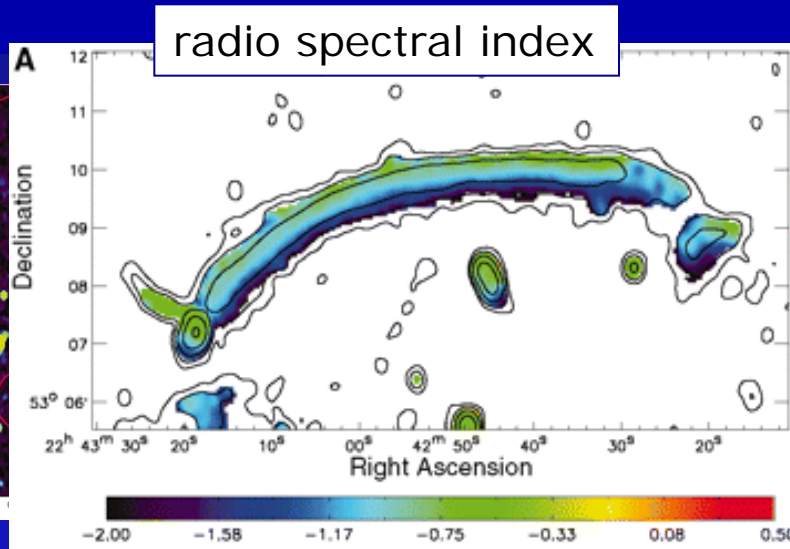
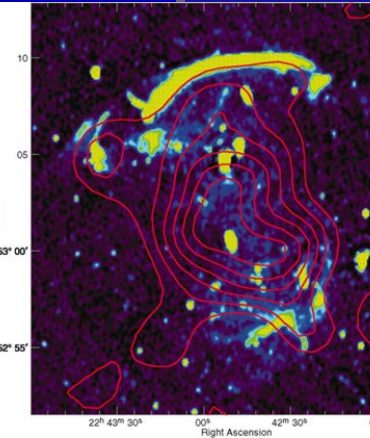
Radio image (colors)

Van Weeren et al. 2010

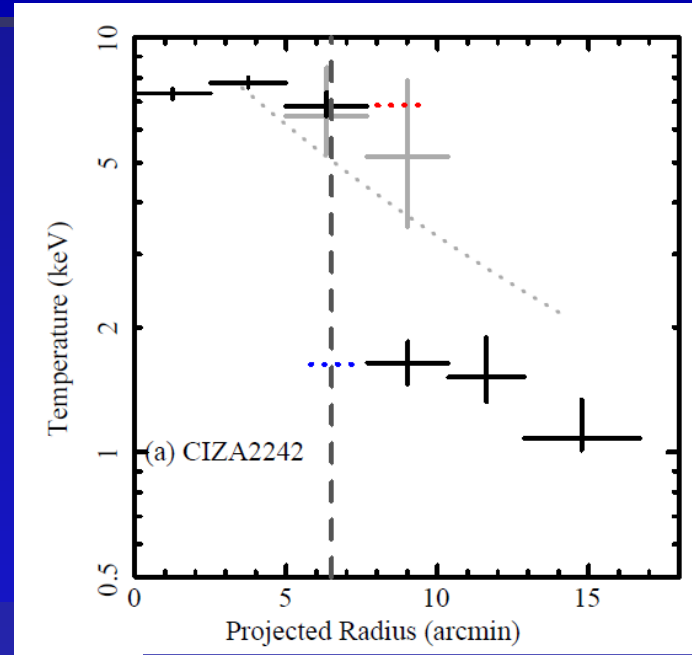


Radio relic in CIZA J2242.8+5301

aligned magnetic fields parallel to a shock front ?



radio polarization E vector
van Weeren et al. (2010)



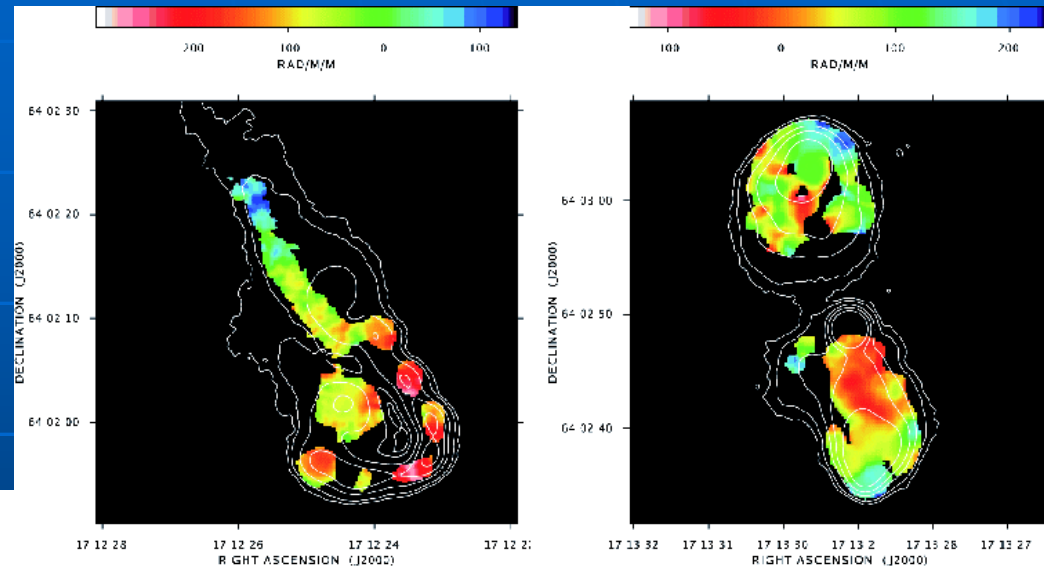
kT profile across the relic
with Suzaku
Akamatsu & Kawahara
(2011)

Observational Evidence of Intracluster Magnetic Field (2): Faraday Rotation

- Polarized plains of linear polarized radio wave rotate when propagating through the magnetized plasma.

$$\Delta\theta = \frac{2\pi e^3}{m^2 c^2 \omega^2} \int_0^d n B_{\parallel} ds.$$

- Polarized radio sources observations in and behind clusters suggest random magnetic field structures.

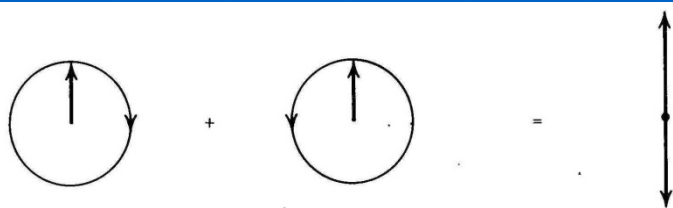


Faraday rotation measure map of the radio sources in Abell 2255
Color: FRM
Contour: radio
Govoni et al. 2006

銀河団の磁場について

- 銀河団内には数 μG 程度の乱れた磁場が存在
 - ◆ シンクロトン電波ハロー(レリック)
 - ◆ Faraday rotation measure
 - ◆ ただし、衝撃波付近などでは整った構造も??
- $P_B \sim 0.01 P_{\text{th}}$ 重要じゃないのか? そんなことはない。
 - ◆ 流体不安定性の抑制
 - ◆ 熱伝導の抑制
 - ◆ 粒子加速(磁気乱流、衝撃波)
- 磁場強度だけでなく構造も重要

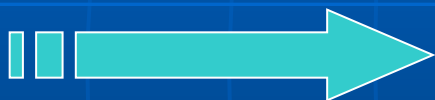
磁場決定方法: Faraday Rotation(1)



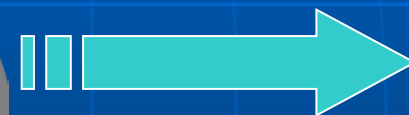
(a)

Figure 8.1a Decomposition of linear polarization into components of right and left circular polarization.

直線偏光した電磁波



磁化した
プラズマ
 B, n



偏光面が回転

$$\Delta\theta = \frac{2\pi e^3}{m^2 c^2 \omega^2} \int_0^d n B_{\parallel} ds.$$

波長(振動数)依存あり
多波長観測で nB_{\parallel} がわかる

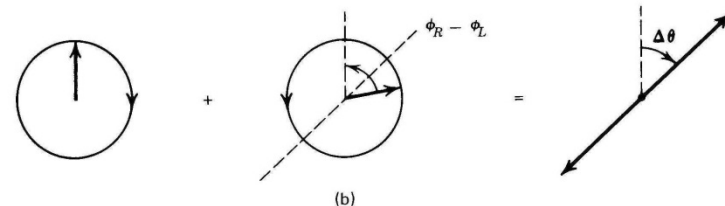


Figure 8.1b Faraday rotation of the plane of polarization.

磁場決定方法: Faraday Rotation(2)

偏光源



天体での偏光

磁化したプラズマ
 B, n
磁場はランダム
 B_{\parallel} は+になったり
-になったり、



観測される偏光

$$\Delta\theta = \frac{2\pi e^3}{m^2 c^2 \omega^2} \int_0^d n B_{\parallel} ds.$$

磁場決定方法: Faraday Rotation(3)

天体の長さ L

磁場は長さごとに向きが変わる
|: 磁場の反転長

磁化した
プラズマ
 B, n
磁場はランダム

偏光面の回転角 $\Delta\theta$ はrandom walkすると考えて、

$$\Delta\theta \sim \lambda^2 n B_{\parallel} (IL)^{0.5}$$

より精密な議論をするにはもっと精密な磁場構造モデルが必要

磁場決定方法： シンクロトロンvs逆コンプトン

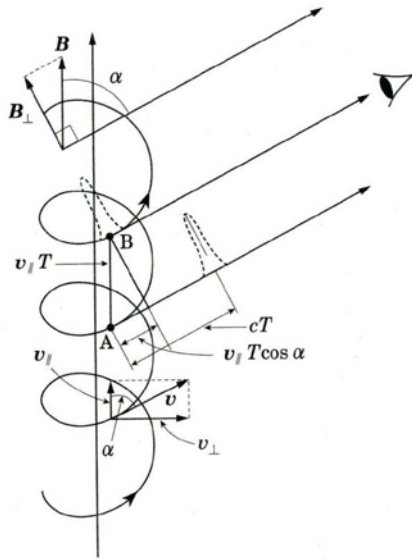


図 3.12 磁場中の相対論的電子の軌道とその電子からの放射.

高エネルギー電子＋磁場
→シンクロトロン放射
(電波—X線)

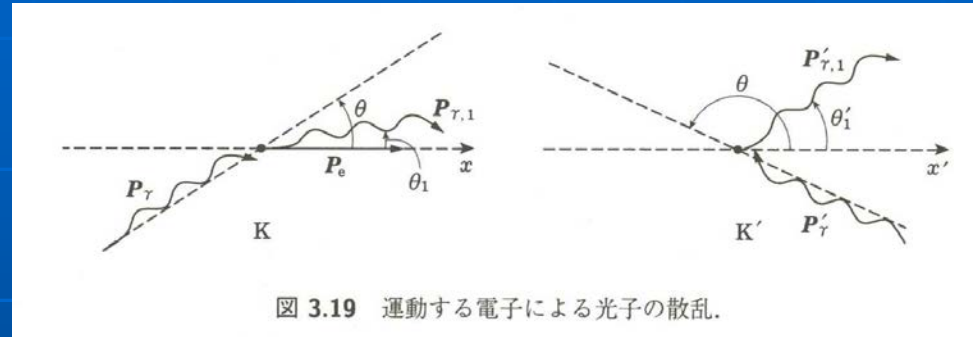


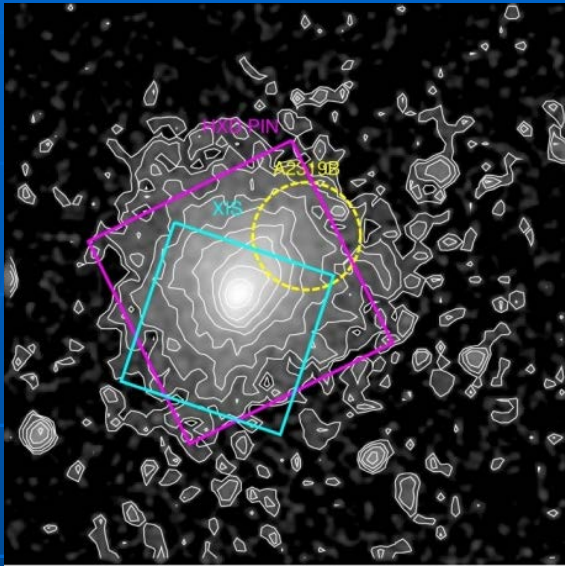
図 3.19 運動する電子による光子の散乱.

高エネルギー電子＋低エネルギー光子(例えばCMB)
→逆コンプトン散乱(硬X線—ガンマ線)

$$\frac{F_{IC}}{F_{syn}} = \frac{U_{CMB}}{U_{mag}} = \frac{U_{CMB}}{B^2 / 8\pi},$$

Suzaku Results of Abell 2319

(Sugawara, Takizawa & Nakazawa 2009)

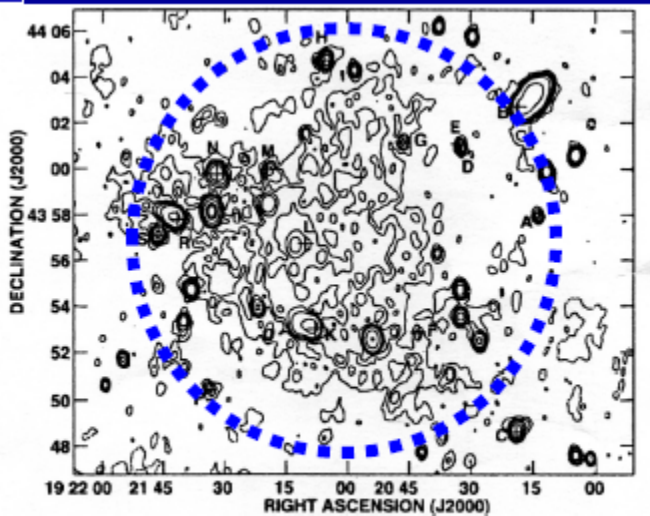
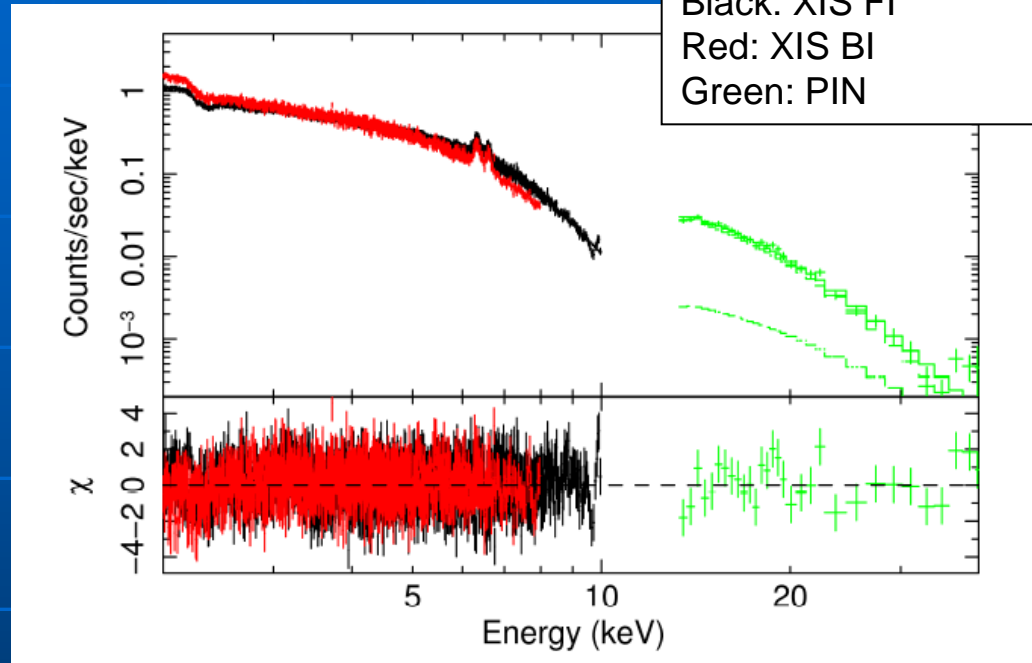


Wide band spectrum

Black: XIS FI

Red: XIS BI

Green: PIN

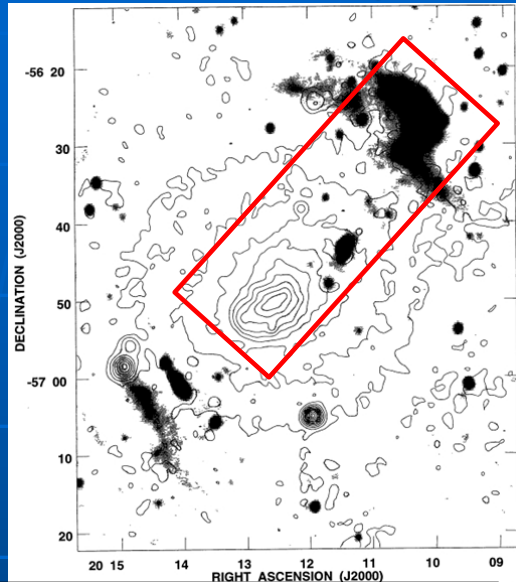


Feretti et al. 1997

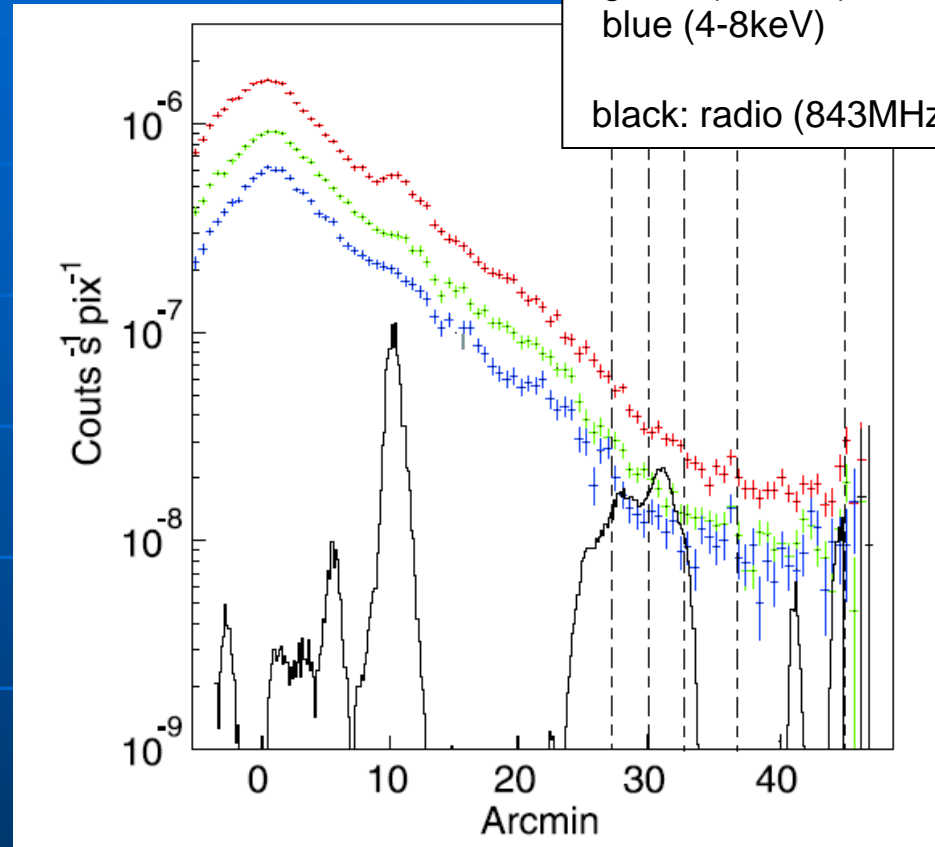
- $F_{\text{nth}}(10\text{-}40\text{keV}) < 3 \times 10^{-11} \text{ erg/s/cm}^2$
- $B > 0.3 \mu\text{G}$
- $U_B/U_{\text{th}} > 3 \times 10^{-5}$
- $U_{\text{CRe}}/U_{\text{th}} < 5 \times 10^{-4} (5.7 \times 10^3 < \gamma < 1.1 \times 10^4)$

Suzaku Results of Abell 3667

(Nakazawa et al. 2009)



X-ray (contours)
Radio (gray shaded)
Rottgering et al. (1997)



- $F_{\text{nth}}(10\text{-}40\text{keV}) < 3.9 \times 10^{-13} \text{ erg/s/cm}^2$
- $B > 2.2 \mu\text{G}$
- $U_B / U_{\text{th}} > 0.12$
- $U_{\text{CRe}} / U_{\text{th}} < 0.15 \quad (5 \times 10^2 < \gamma < 4 \times 10^4)$

磁場決定方法に関するコメント

■ Faraday Rotation

- 磁場構造についてのモデルが必要
- プラズマの密度で重みをかけた磁場強度
- 偏光電波源(主にAGN,Jet)がないとできない(CMBを使えばどこでもできる? SKAができればいくらでも?)。

■ シンクロトロンvs逆コンプトン

- 磁場強度の体積平均(ただし高エネルギー電子があるところでの)
- 逆コンプトンの観測はまだ(当分?)難しい。上限値のみがほとんど。(磁場だと下限値)

Magnetic Field Structures and Mergers

- Cluster mergers and resultant moving substructures

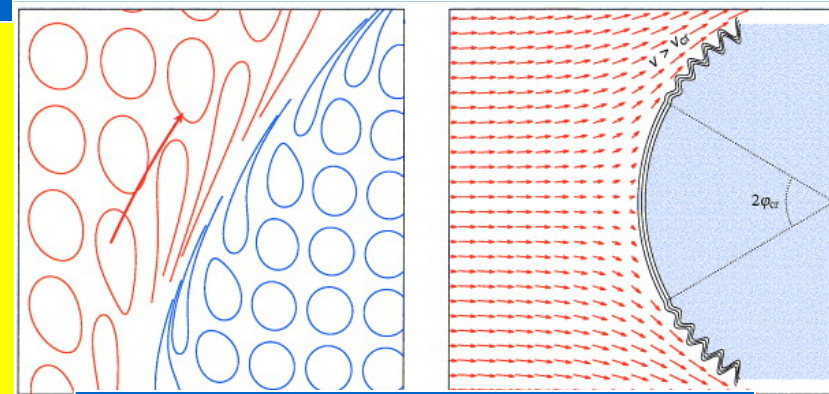
--->

bulk flow motions and turbulence in the ICM

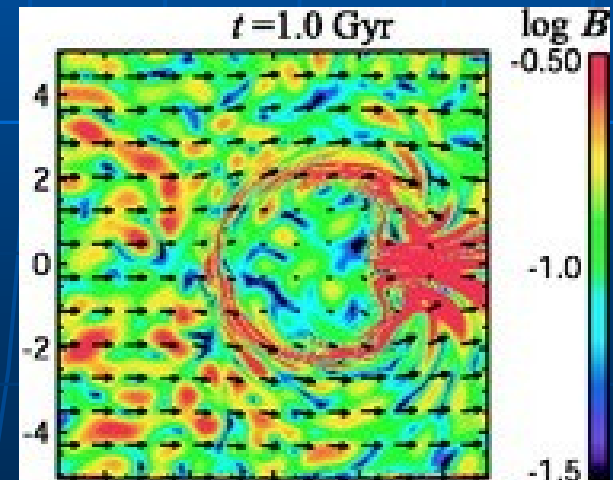
--->

impact on magnetic field structures

- Field structures parallel to the contact discontinuity???
- Ordered magnetic field???
- Investigate mergers of clusters with random magnetic field



Schematic view of field structure near the cold front
Vikhlinin et al. (2001)



MHD simulation of moving subclump (Asai et al. 2007)

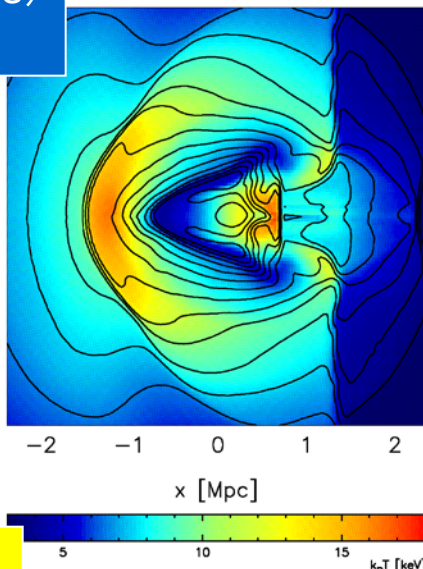
Magnetic Field with Mergers(1)

Takizawa (2008)

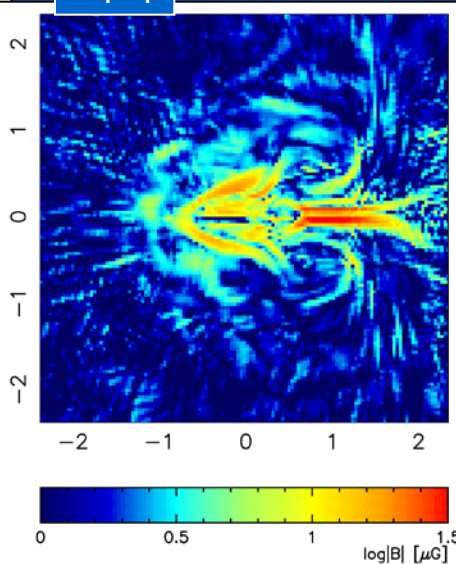
density (contours)
& $k_B T$ (colors)

1:4
head-on merger

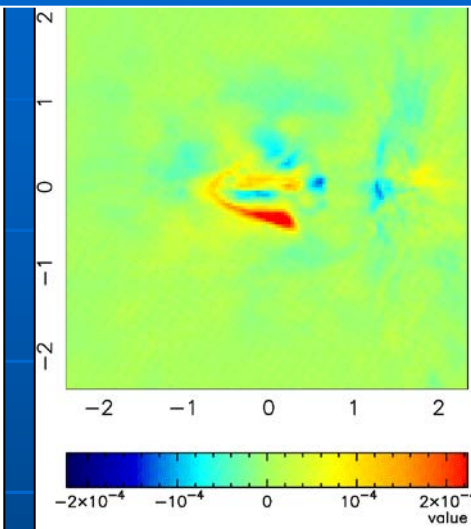
0.66 Gyr after the
core passage



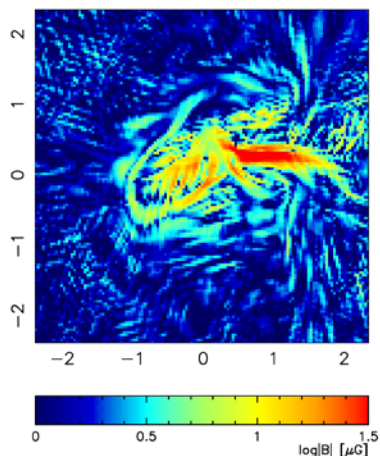
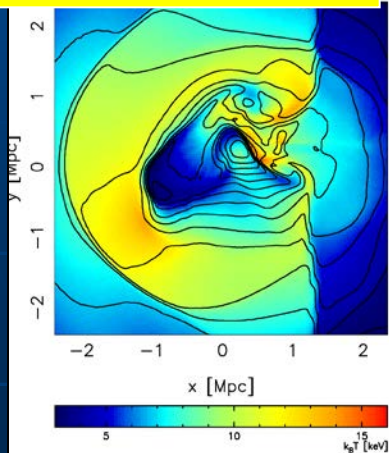
$|B|$



Faraday Rotation Measure
($\int n_e B_{\parallel} dl$)



1:4
off-center merger



- ◆ Low temperature region surrounded by the magnetic field (high Faraday Rotation Measure)
- ◆ ordered magnetic field structure behind the small subclump
- ◆ These structures are partly recognized in Faraday rotation measure maps.

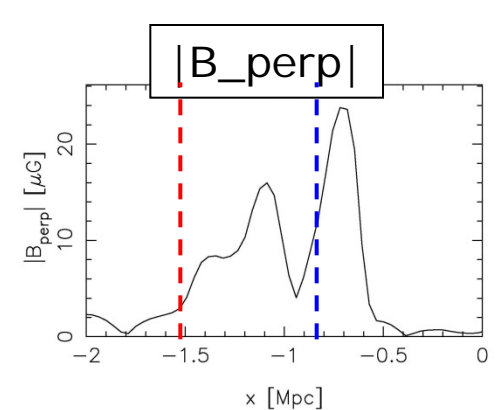
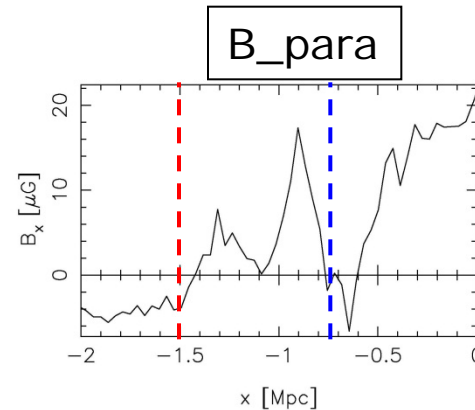
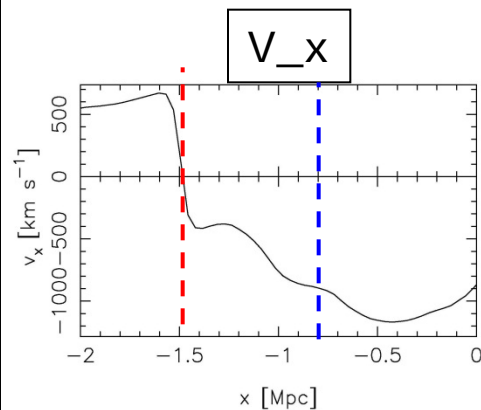
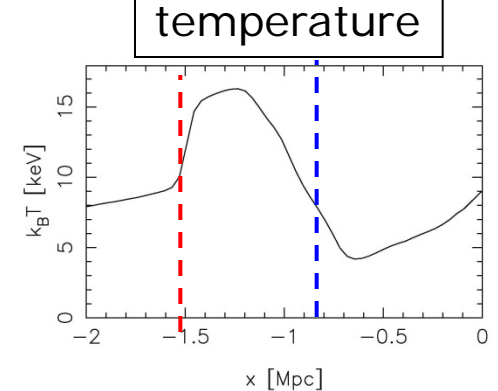
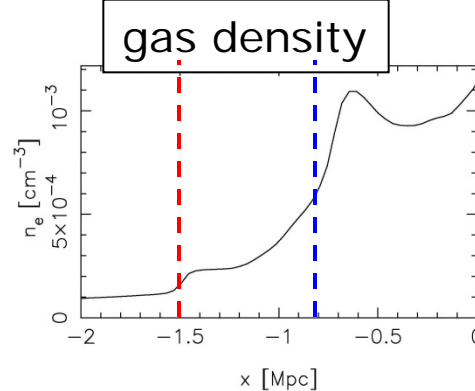
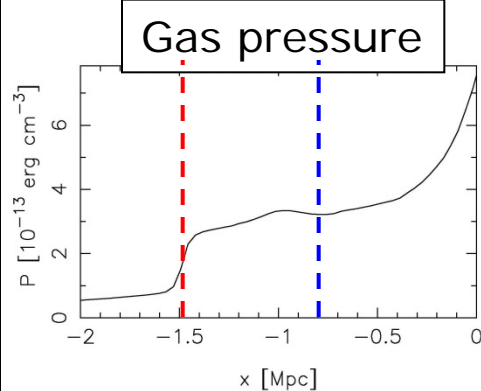
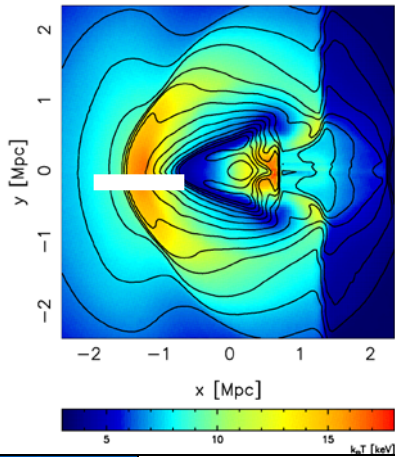
Magnetic Field with Mergers(2)

Takizawa (2008)

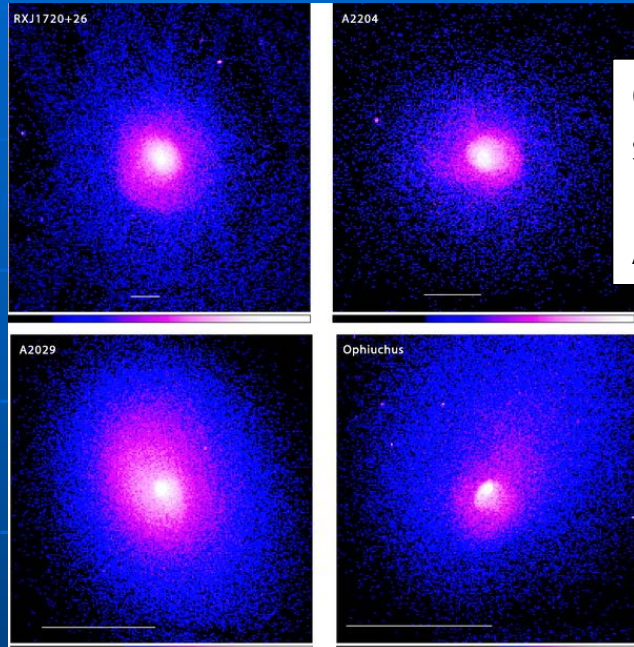
Physical quantity profiles in front of the substructure along the collision axis.

Red: bow shock, blue: contact discontinuity

Magnetic field perpendicular to the collision axis is amplified around the contact discontinuity.



Magnetic fields associated with a sloshing-type cold front

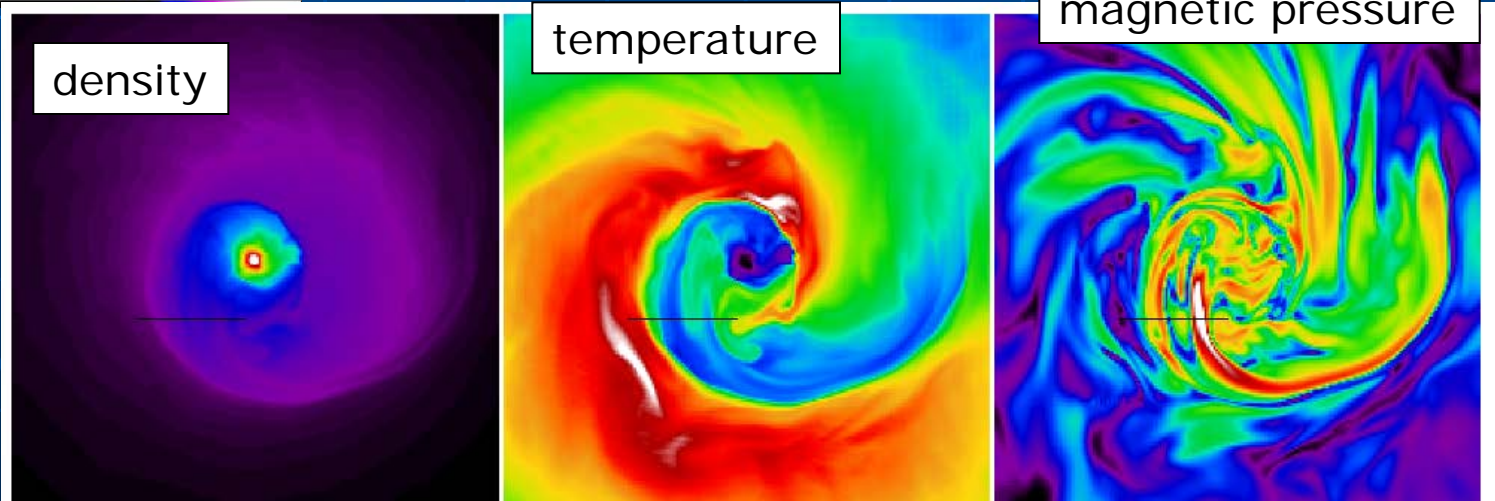


Chandra X-ray images of sloshing-type cold fronts

Ascasibar&Markevitch(2006)

MHD simulations of sloshing-type cold fronts

ZuHone et al (2011)



density

temperature

magnetic pressure

Summary

- 銀河団ガスには乱れた磁場がある。衝撃波近傍では整った強い磁場も??
- Faraday Rotation
 - 磁場構造のモデル化に結果が依存
 - うまく偏光電波源がないとできない。
- シンクロトロン+逆コンプトン
 - 逆コンプトンの観測がまだ(当分?)難しい。磁場に関しては下限値のみ。
- MHDシミュレーションで銀河団磁場構造の進化を調べる。以下のような特徴的な構造がひきおこされる。
 - 磁場に囲まれた低温領域。
 - 低温領域の境界面(接触不連続面)では温度勾配と磁場が直交する構造が自然に作られる。この構造は熱伝導を抑制して低温領域を守る方向に働くであろう。
 - 小銀河団の後方にガスの運動によって集められた整った磁場構造があらわれる。
 - KH渦をトレースするような磁場構造
 - 衝撃波よりは接触不連続面で強い整った磁場ができやすい傾向。
- 銀河団全体をカバーするようなFaraday rotation measure map が得られれば、磁場構造のみならずガスの運動についても情報が得られる可能性がある。
 - 偏光源としてCMBを使う?(当分難しそうだが、Ohno et al. 2003)
 - SKAができれば????