

銀河団における宇宙線の一次元分布と高エネルギー放射

西脇 公祐 (ICRR), 浅野勝晃 (ICRR), 村瀬孔大 (Penn State, YITP)

Introduction/Motivation

銀河団はその巨大な半径(~Mpc)と弱い磁場(~ μ G)により宇宙線の"貯蔵庫"になりうると考えられている。

「貯蔵庫 (reservoir) モデル」 (e.g. Fang & Olinto (2016); Fang & Murase (2018))

- ~ 10 EeV (= 10^{19} eV) 以上の陽子 … 拡散で抜け出して超高エネルギー宇宙線(UHECR)として観測される
- 100 PeV 以下の陽子 … 銀河団内物質(ICM)中に蓄えられ、ICM中の陽子と p-p 突衝 → 系外ガムマ線背景放射(Fermi, IGRB)やニュートリノ背景放射(IceCube, INB)に寄与
- 宇宙線加速源? 構成銀河の活動銀河核(AGN)や構造形成の過程で生じた衝撃波・乱流など

「乱流再加速(turbulent re-acceleration)モデル」 (e.g. Brunetti et al. (2017))

- 銀河団宇宙線からの放射 … 唯一の直接観測は電子からの電波放射のみ
- 銀河団の電波ハローは乱流による電子の再加速が起源だと考えられている

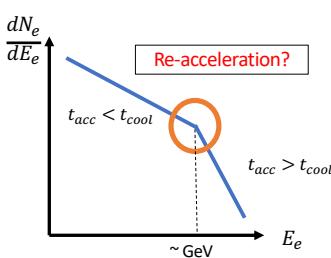
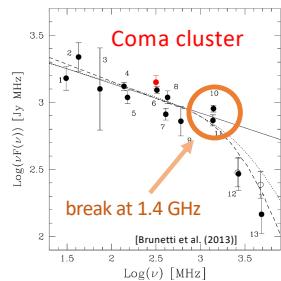
電波観測を考慮に入れた上で高エネルギー放射を評価したい

空間拡散と定常な宇宙線注入を含む一次元のFokker-Planck方程式を解き、銀河団内の宇宙線分布とその時間発展を再考

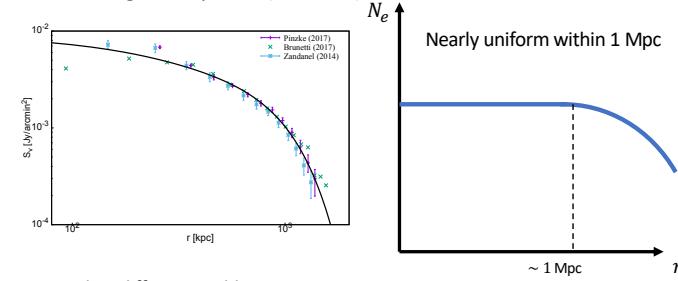
Radio Properties

電波観測から電子と陽子の空間分布やスペクトルにどのような制限を与えることができるだろうか

• spectrum



• Surface brightness profile (350 MHz)

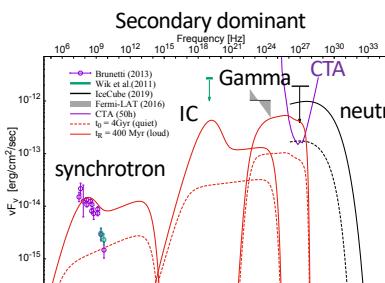


- GeV付近で放射による冷却と再加速が釣り合う
- 再加速の典型的なタイムスケール

$t_{acc} \approx 200 \text{ Myr} \approx \text{transit-time damping}$ による加速時間

- Slow diffusion problem $t_{cool} \ll t_{diff}(r = \text{Mpc})$ 放射領域の各所で注入または加速
- 一次陽子はどこから注入されたのか?
- 一次電子と二次電子の比?

Multi-wavelength spectra

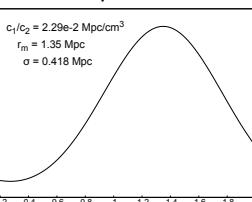


$$L_{\nu_\mu} \approx 6.0 \times 10^{42} [\text{erg/sec}]$$

点線 … 再加速前 or radio quiet cluster

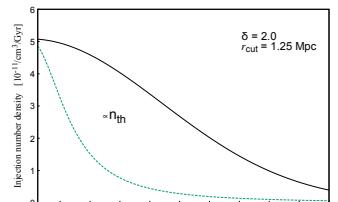
Primary Injection Profile

Secondary dominant



電波ハローの端からの注入が必要

Primary dominant



熱的粒子よりも広がった注入が必要

- 中心AGNからの注入とは考えにくい
- Accretion shock や merger shock?
- ICMの進化との関係?

Neutrino Background : a Rough Estimation

LEFT: 電波ハローの輝度と質量の関係
(radio to X-ray relation)

- 質量の大きな銀河団ほど明るい電波ハローを持つ
- 近傍の重い銀河団ほど電波ハロー持つか割合が多い [e.g. V. Cuciti et al. 2015]

RIGHT: 本研究でのニュートリノ光度と数密度

- 数密度 (effective number density)

$$L_\nu \frac{dn}{dM} \text{ が最大となる質量} \approx 10^{15} M_\odot \rightarrow n_0^{\text{eff}} \sim 10^{-6} [\text{Mpc}^{-3}]$$

Primary dominantでもIceCubeを再現できる可能性
電波ハロー数密度のredshift依存性次第

Overplotted on [Murase & Waxman 2016]

