

# 低光度活動銀河核での 乱流加速と高エネルギー粒子放射

- 1) SSK, Murase, & Toma, 2015, ApJ. 806, 159
- 2) Murase & SSK in prep.
- 3) SSK, Toma, Suzuki, & Inutsuka in prep.

木村成生 (東北大学)

共同研究者

當真賢二 (東北大学)

村瀬孔太 (Penn. State. Univ.)

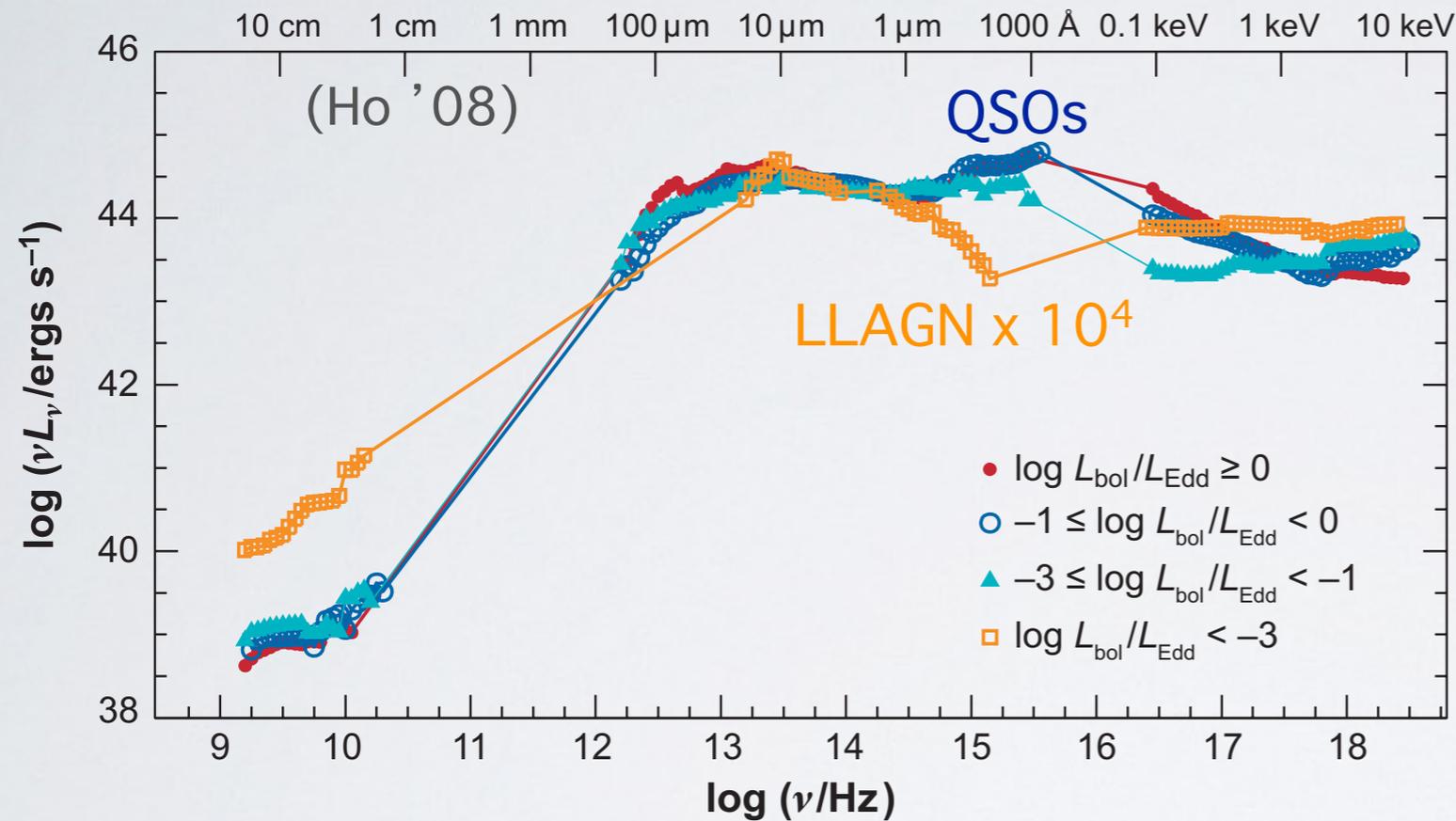
鈴木建 (名古屋大学)

犬塚修一郎 (名古屋大学)

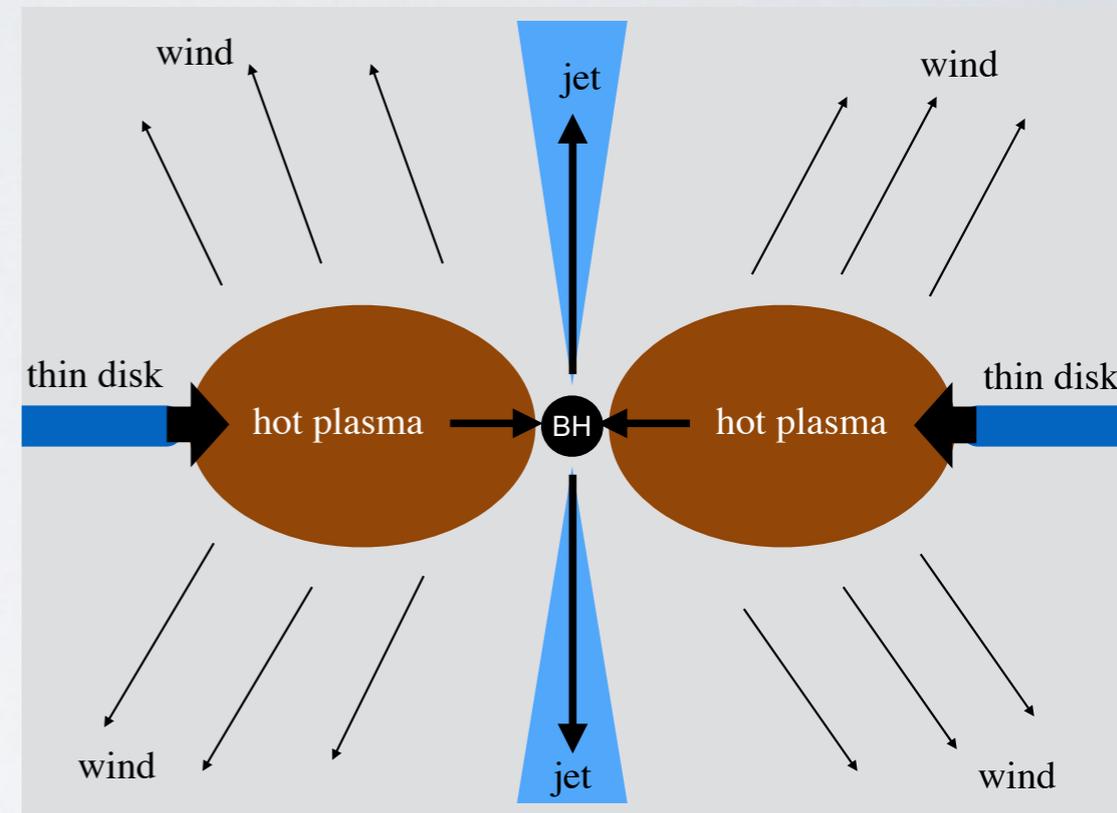


# 低光度活動銀河核(LLAGN)

## Spectral Energy Distribution



## Schematic picture



Blue Bump がない → 標準円盤がない

——> 輻射非効率降着流 (RIAF)

(Narayan & Yi 94, Yuan + 03, Abramowicz & Fragile 13, Yuan & Narayan 14)

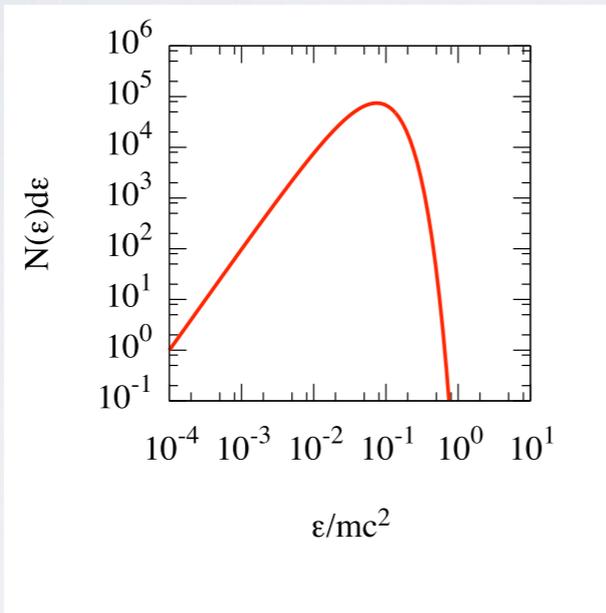
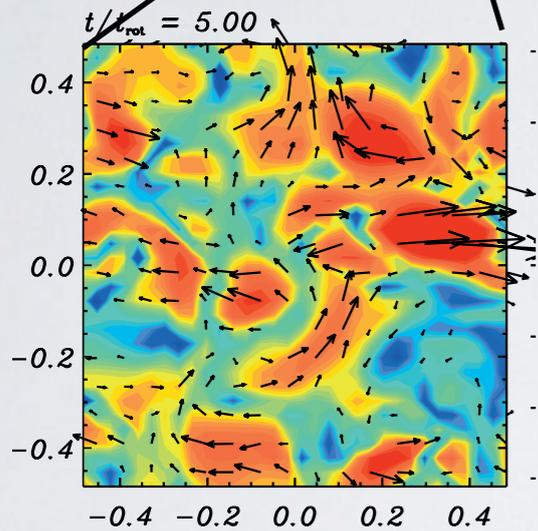
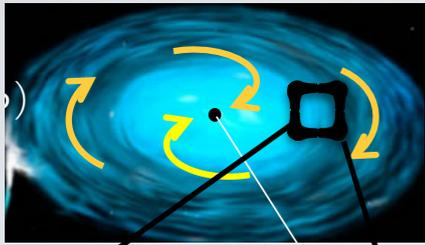
高温 & 希薄 ——> クーロン衝突は非効率

(Mahadevan & Quataert 97)

# 磁気回転不安定と粒子加速

## MHD simulation (Fluid)

Balbus & Hawley '91



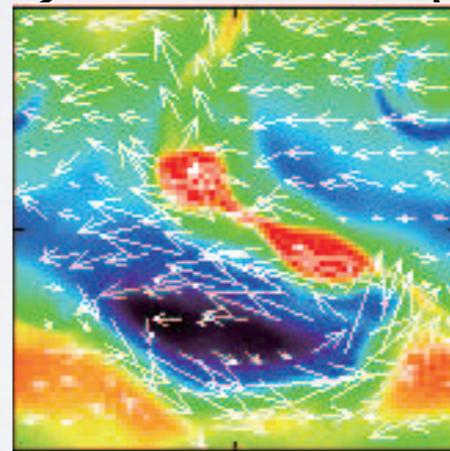
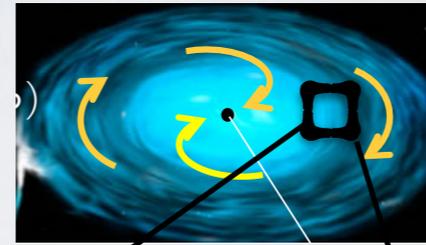
乱流場発達

Maxwellian

Sano, Inutsuka, Turner, Stone '04

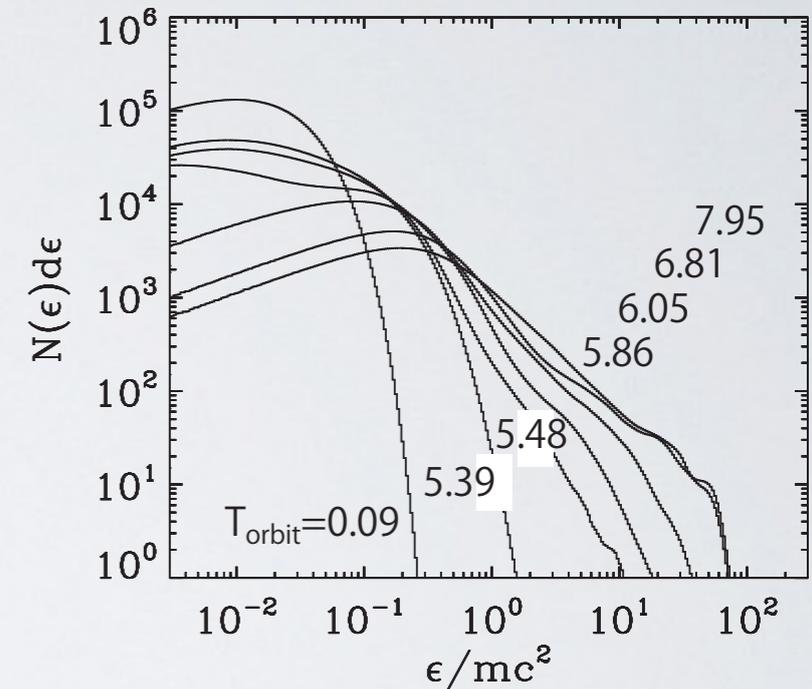
(See also, Machida, Nakamura, & Matsumoto 01;  
Ohsuga & Mineshige 11; Sadowski, Narayan + 13;  
Bai & Stone 14)

## Plasma Particle simulation (PIC)



乱流場発達

Hoshino 13, Hoshino 15  
(see also Riquelme+ '12)

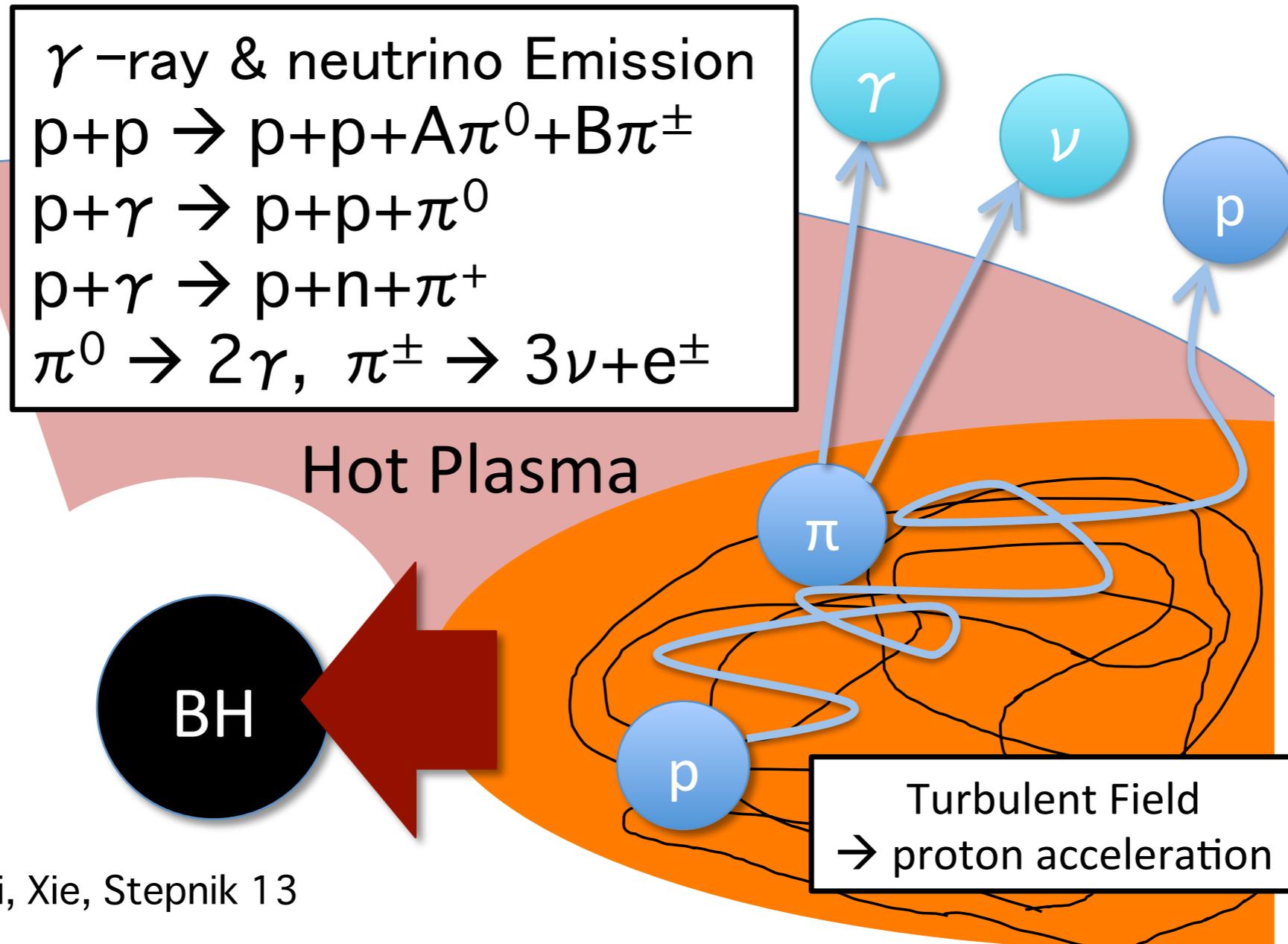


Power-law

乱流磁場のリコネクション

→非熱的な宇宙線陽子 (CR) 生成

# 非熱的粒子の反応



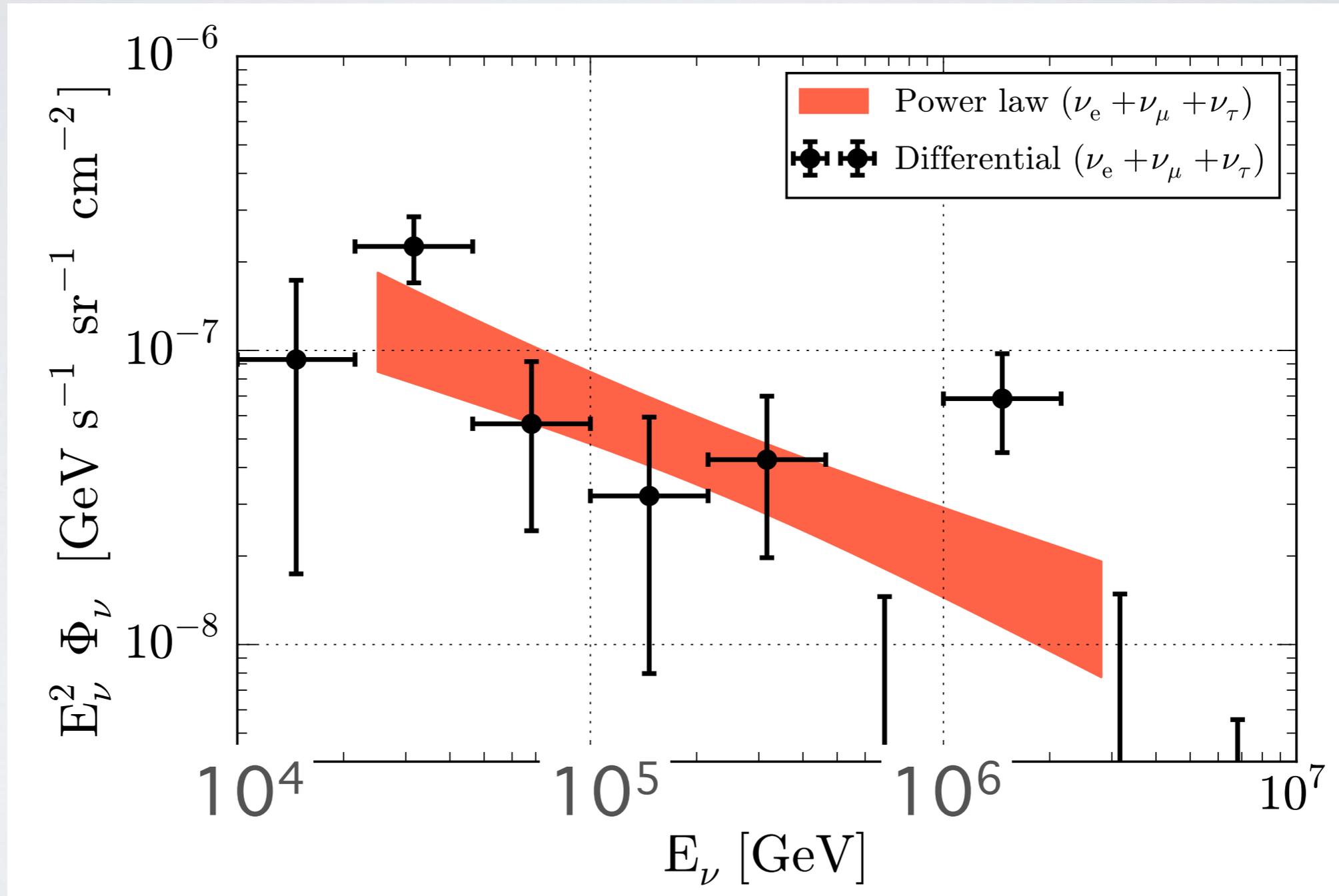
cf.) Niedzwiecki, Xie, Stepnik 13

高温降着円盤は高エネルギーニュートリノ源かつ $\gamma$ 線源

# 天体ニュートリノの観測

Aartsen et al. '13

- IceCube が拡散ニュートリノの検出を報告



起源天体は不明 → RIAFはどうか？

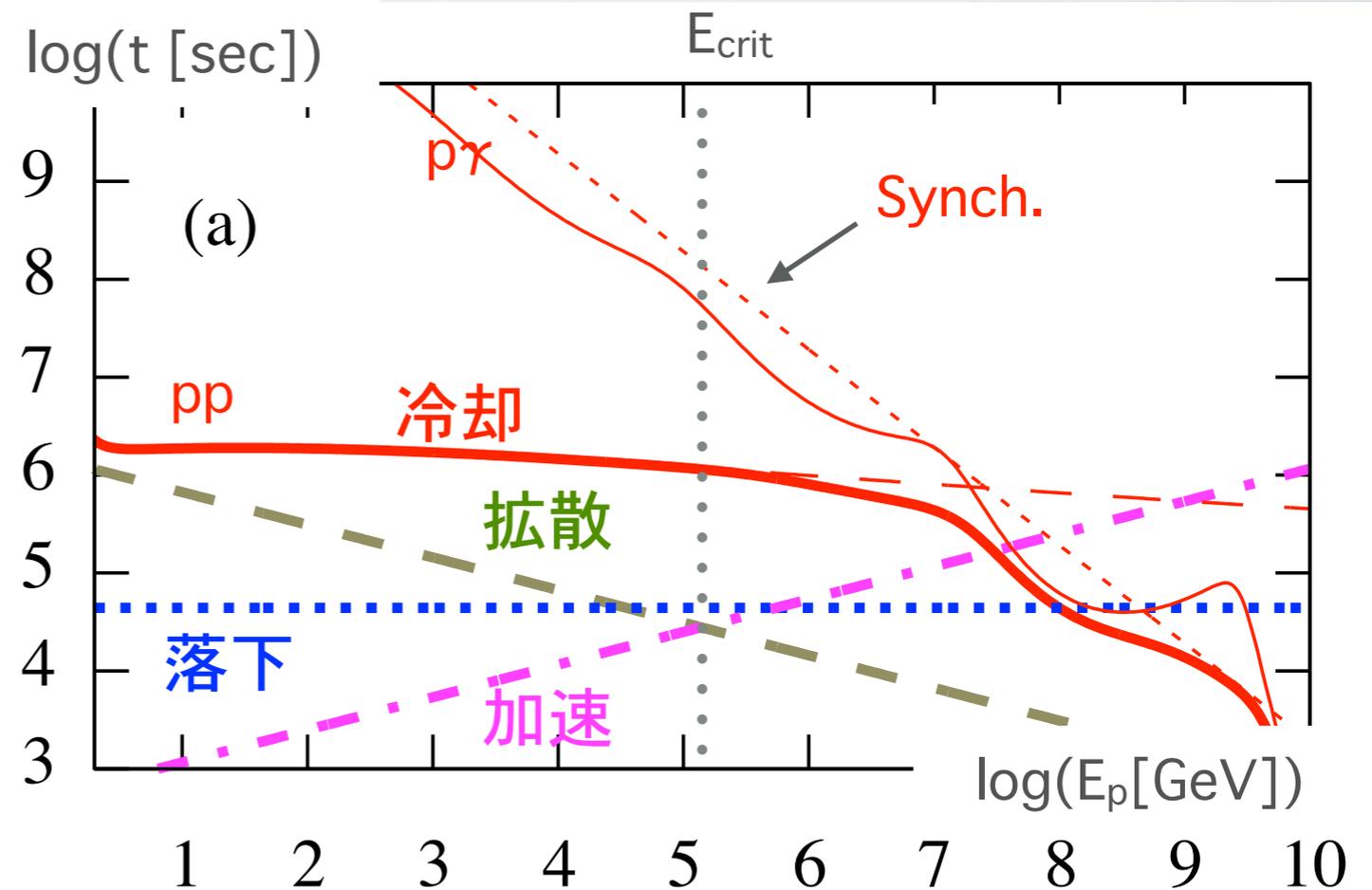
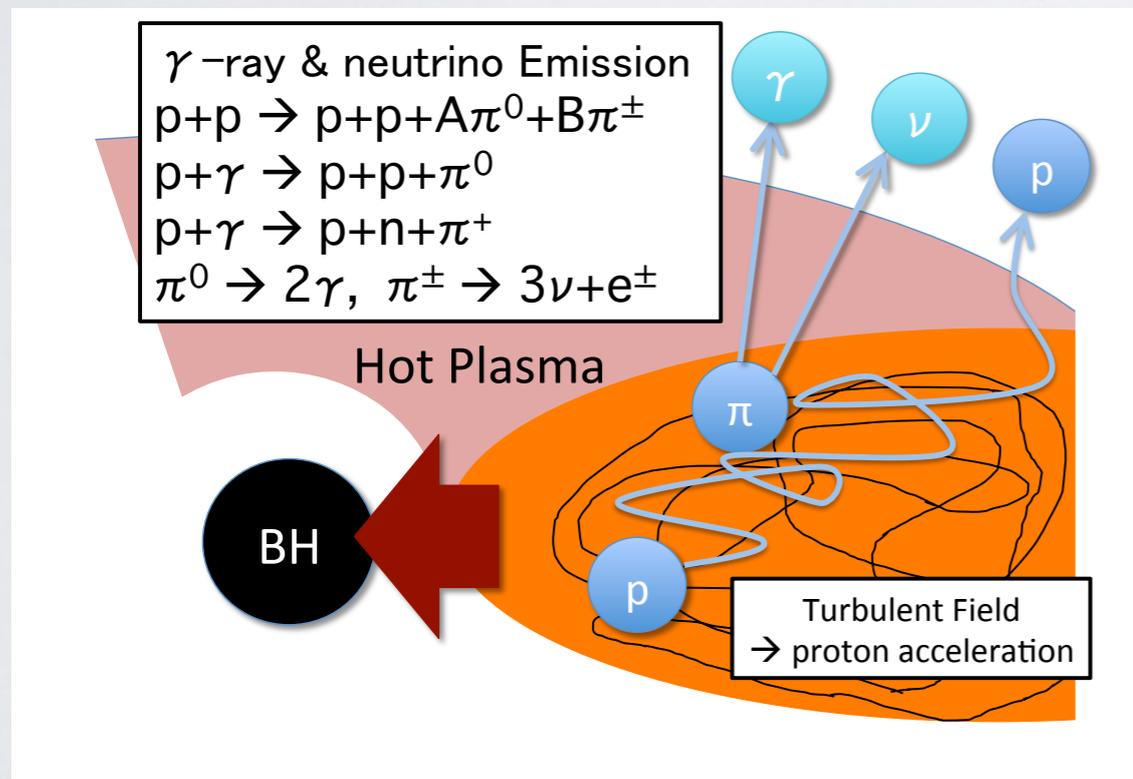
# LLAGN MODEL

SSK, Murase, & Toma, 2015

- RIAF内での乱流加速→非熱的陽子のスペクトルを計算

$$\frac{\partial}{\partial t} F(p) = \frac{1}{p^2} \frac{\partial}{\partial p} \left[ p^2 \left( D_p \frac{\partial}{\partial p} F(p) + \frac{p}{t_{\text{cool}}} F(p) \right) \right] - F(p) (t_{\text{diff}}^{-1} + t_{\text{fall}}^{-1}) + \dot{F}_{\text{inj}},$$

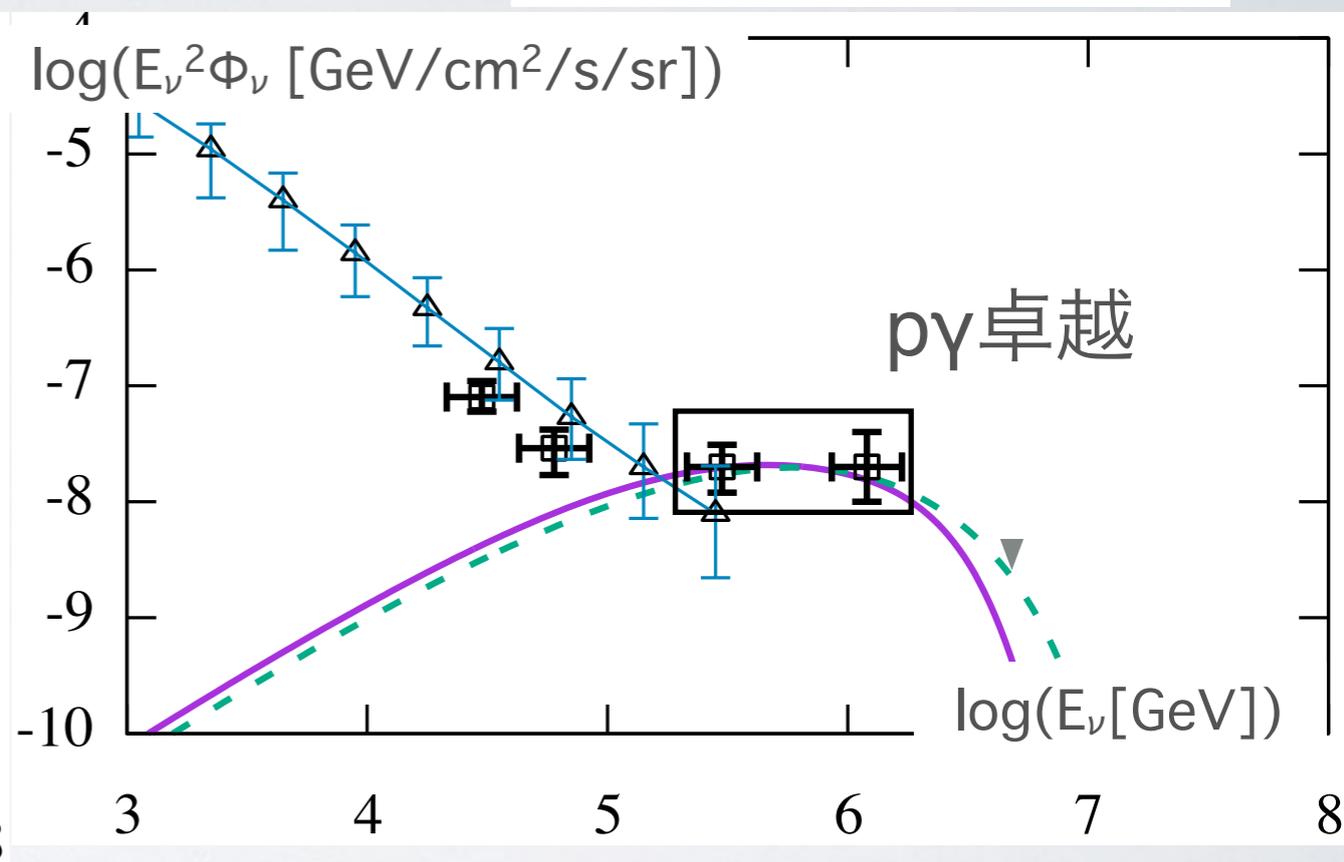
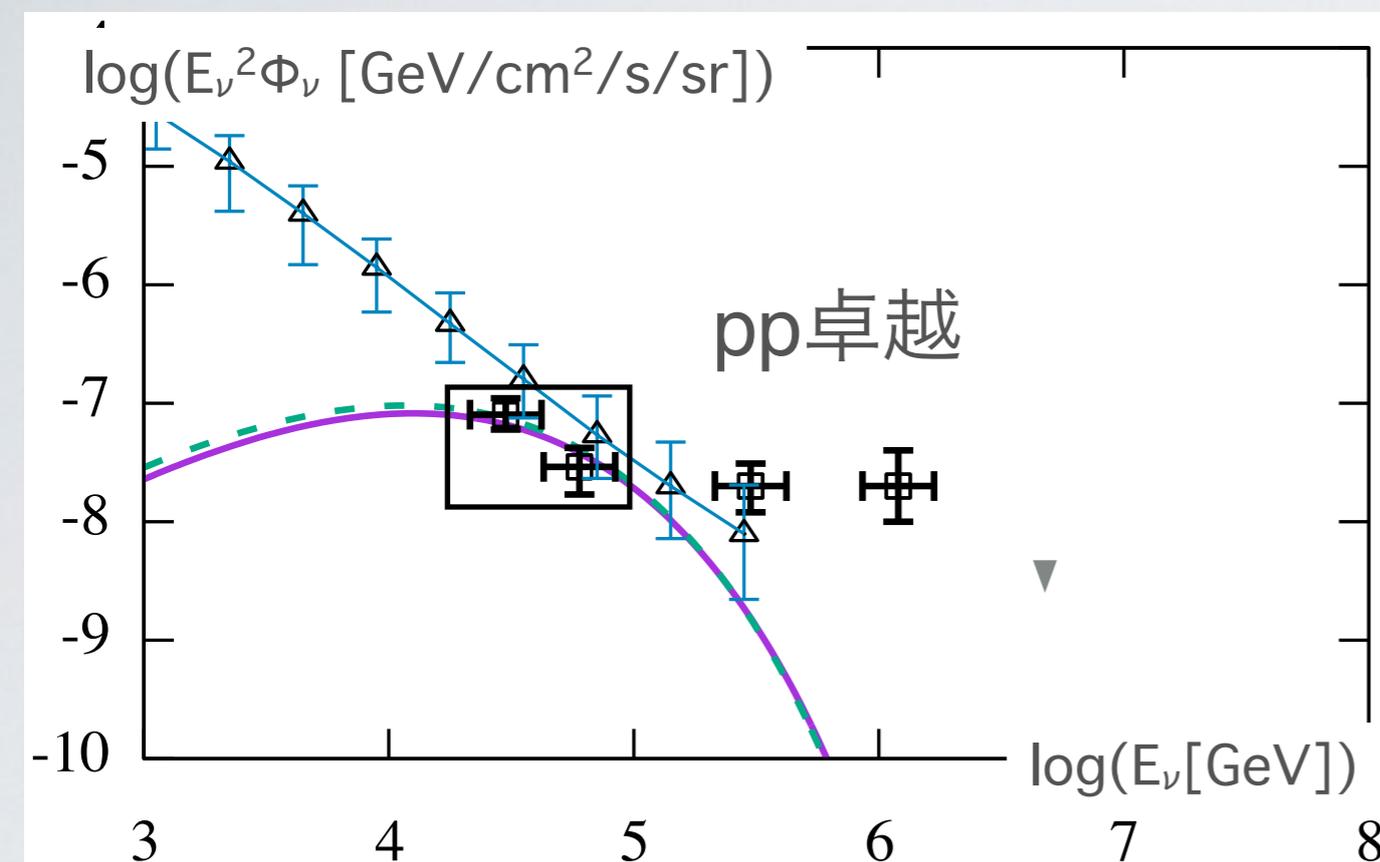
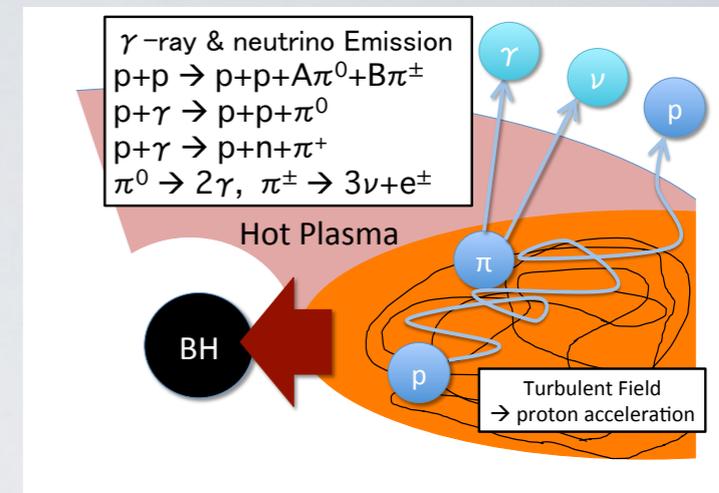
加速
冷却
拡散
落下



最高エネルギーは加速と拡散的逃走の釣り合いで決まる

# LLAGN MODEL

SSK, Murase, & Toma, 2015



- LLAGNモデルはIceCube eventの一部を説明可能
- 片側は別の天体の寄与と考えられる  
(e.g., Starburst Galaxies, Low Luminosity GRBs)

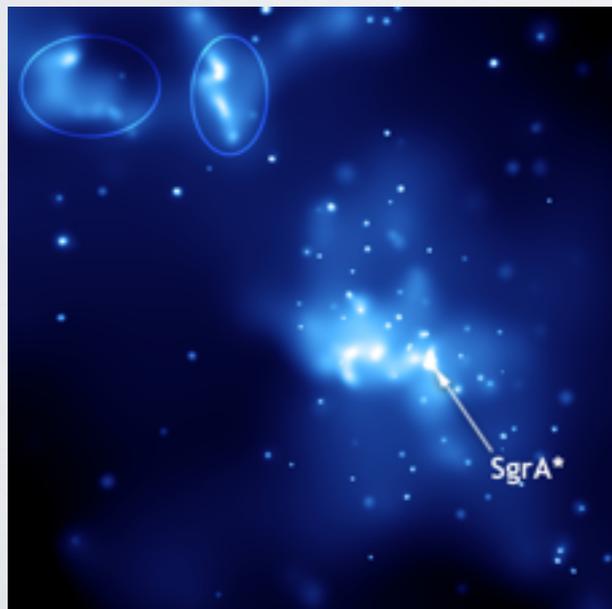
# 近傍のLLAGNの観測可能性

Murase & SSK in prep.

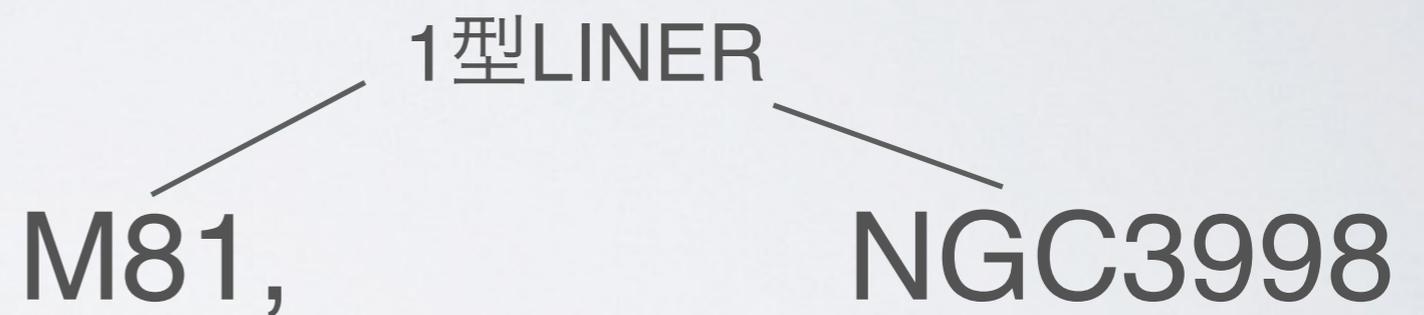
- 近傍LLAGNを点源として観測できないか？

- 候補天体

Sgr A\*,



d~8 kpc



d~4 Mpc



d~14 Mpc

# 近傍のLLAGNの観測可能性

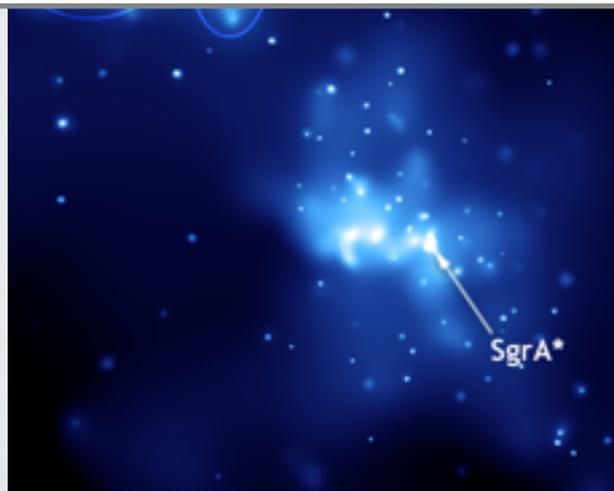
Murase & SSK in prep.

- 近傍LLAGNを点源として観測できないか？

- 候補天体

Sgr A\*,

藤田さんの講演



d~8 kpc

1型LINER

M81, NGC3998

d~4 Mpc

d~14 Mpc

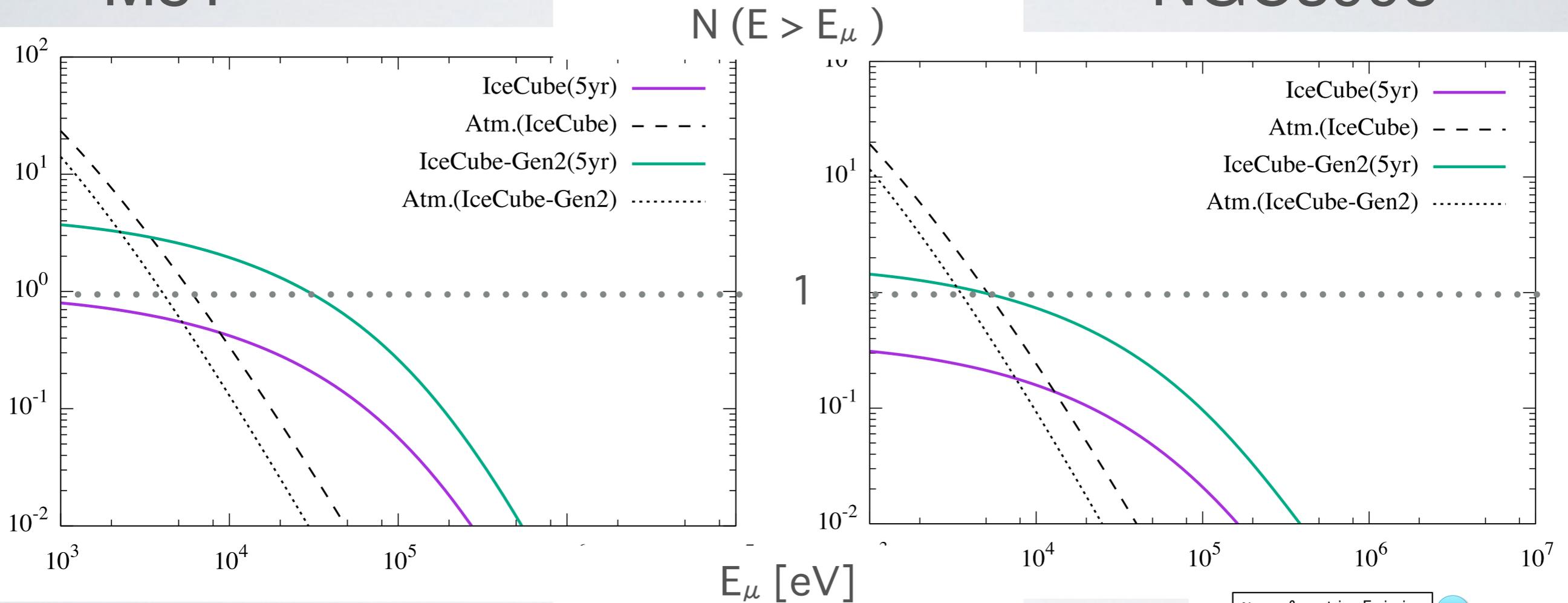
# 近傍のLLAGNの観測可能性

Murase & SSK in prep.

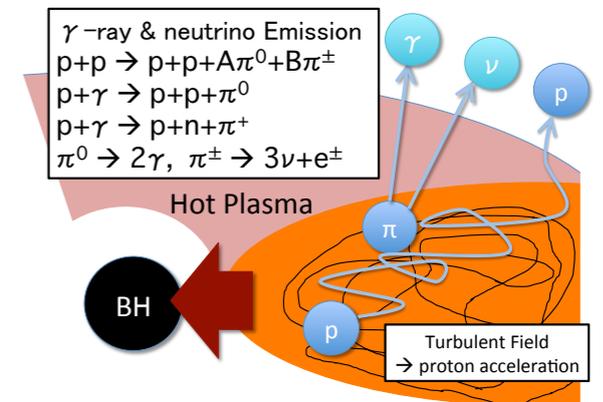
点源ニュートリノ源としての観測可能性

M81

NGC3998



次世代ニュートリノ望遠鏡なら検出できる



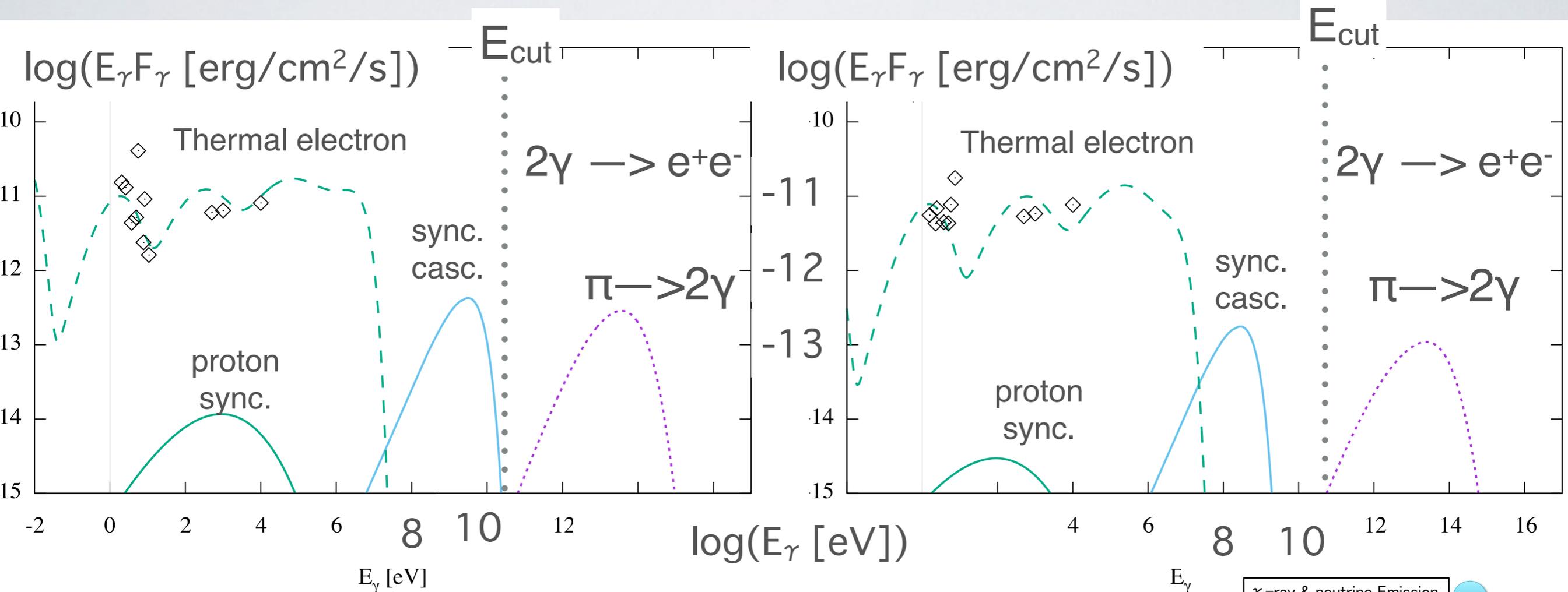
# 近傍のLLAGNの観測可能性

RIAFからのガンマ線の観測可能性

Murase & SSK in prep.

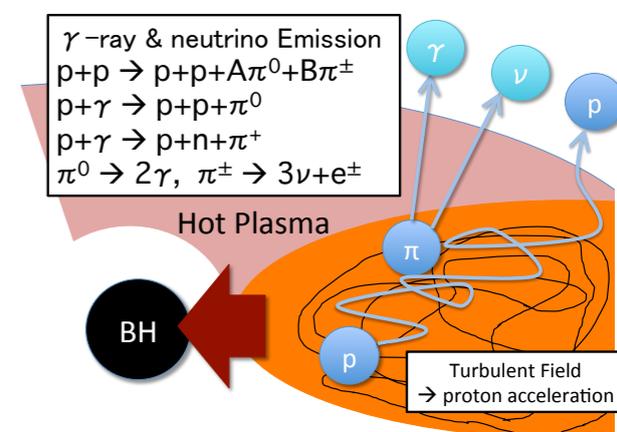
M81

NGC3998



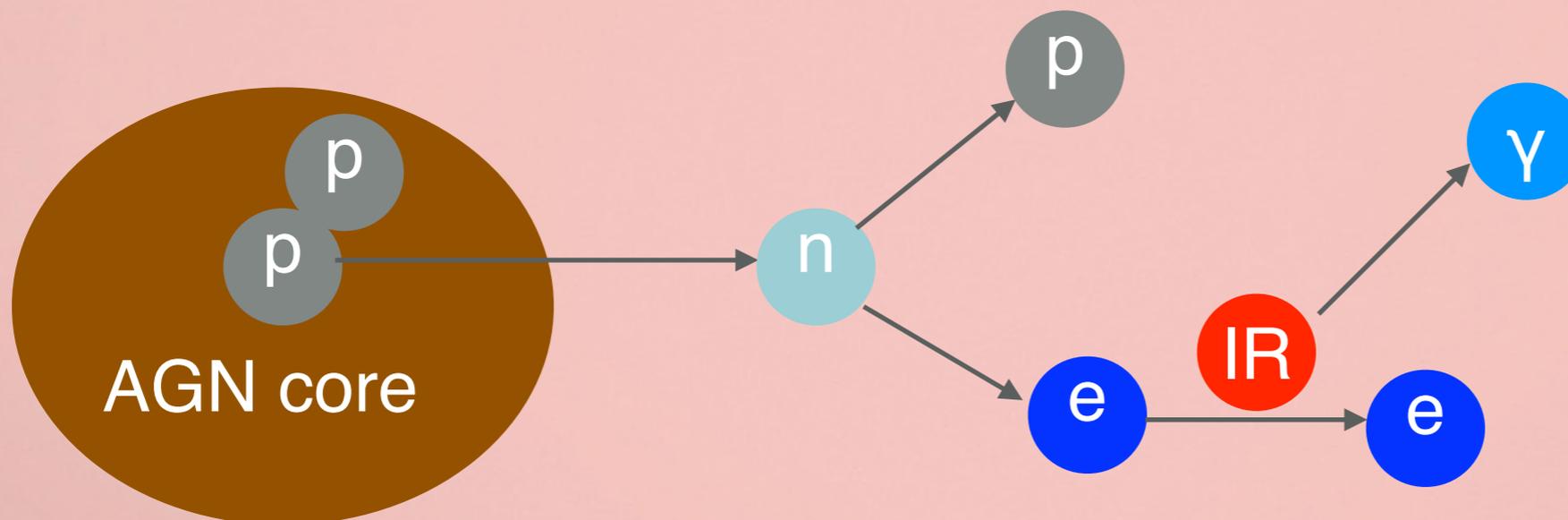
一回カスケードでGeV付近にピークがくる

→ *Fermi* で検出できる可能性



# 近傍のLLAGNの観測可能性

- TeV halo 形成？
  - ハドロンモデルでPeVのニュートリノ生成
  - 10PeV中性子もほぼ同量発生
  - 10PeV中性子は $\sim$ pc 程度走って崩壊
  - 10TeVの電子を放出
  - 放出された電子が赤外線光子を逆コンプトン
  - $\sim$  pc scale に広がったsubTeV - TeV の光子を放出



# 乱流加速シミュレーション

SSK, Toma, Suzuki, & Inutsuka in prep.

- ここまでの話は全て加速を現象論的に取り扱っている  
降着円盤の乱流場に適用して良いかは自明でない  
→ 数値計算による乱流加速モデルの検証も重要
- 「MHD計算によるMRI乱流場の生成」と  
「テスト粒子計算による粒子軌道の時間発展」  
の2つを組み合わせた数値実験を行う

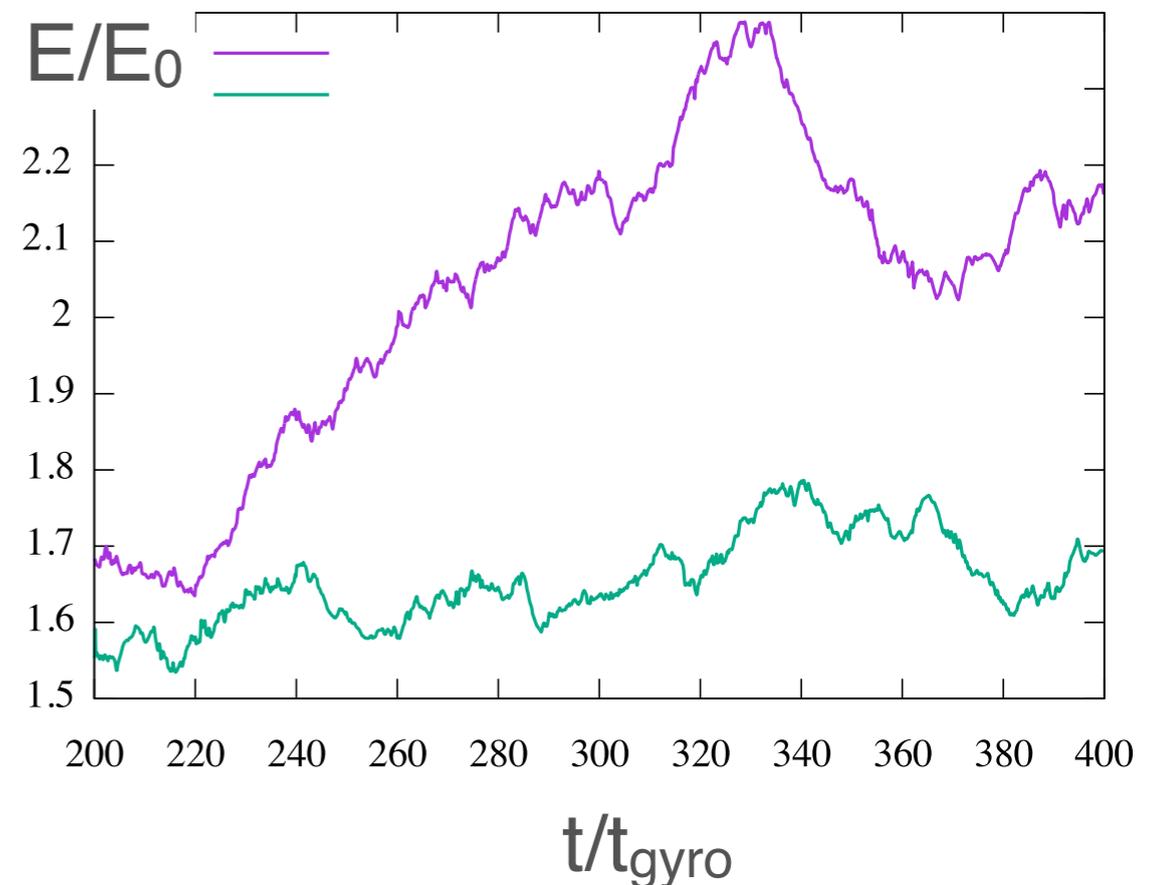
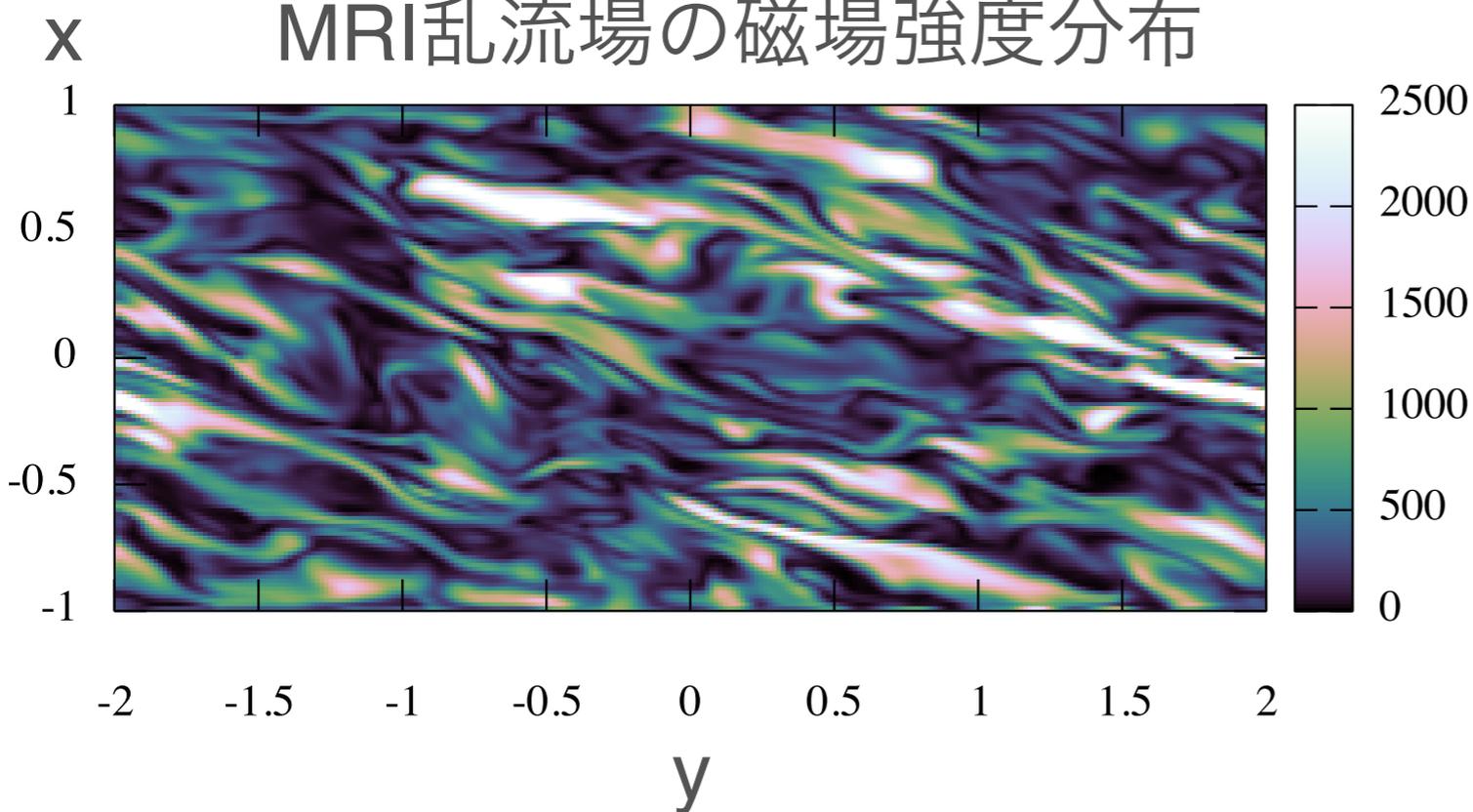
# 乱流加速シミュレーション

SSK, Toma, Suzuki, & Inutsuka in prep.

- ここまでの話は全て加速を現象論的に取り扱っている  
降着円盤の乱流場に適用して良いかは自明でない  
→ 数値計算による乱流加速モデルの検証が重要

粒子のエネルギーの時間進化

MRI乱流場の磁場強度分布



# まとめ

- LLAGNの高温降着円盤は HE  $\nu$ 、 $\gamma$ の起源天体と成り得る
- LLAGNモデルはIceCube events の一部を説明可能
- 次世代ニュートリノ望遠鏡で点源として検出可能
- 近傍のLLAGNはフェルミで検出の可能性あり
- AGN周りに逃走中性子によるTeV halo 形成の可能性
- 降着円盤中での乱流加速理論も重要
  - 数値シミュレーションにより理論モデルを検証中

ありがとうございました