

# ブレーザーからの 2次ガンマ線による 宇宙磁場探索

高橋慶太郎  
名古屋大学

2010年9月12日@物理学会

森正樹 (立命館大) ・ 井上進 (京都大)  
市來浄興 (名古屋大)

# 宇宙磁場の生成と観測

## 宇宙論的磁場の生成

- ・再イオン化
- ・構造形成
- ・第1世代星
- ・原始ゆらぎ
- ・相転移
- ・インフレーション



- ・痕跡を磁場として残す
- ・ボイドではそのまま保存されている
- ・磁場を通して初期宇宙を探る
- ・弱い ( $10^{-15} \sim 10^{-20}$  G)

## 宇宙論的磁場の観測

- ・ファラデー回転
- ・宇宙背景放射のゆらぎ

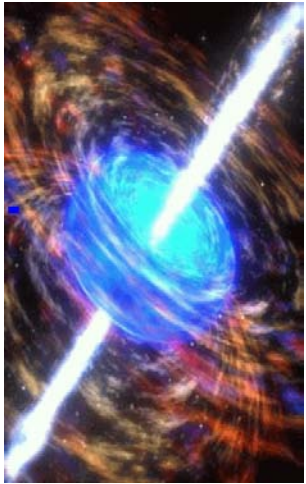


$10^{-9}$  G程度の感度  
→ 全然足りない!

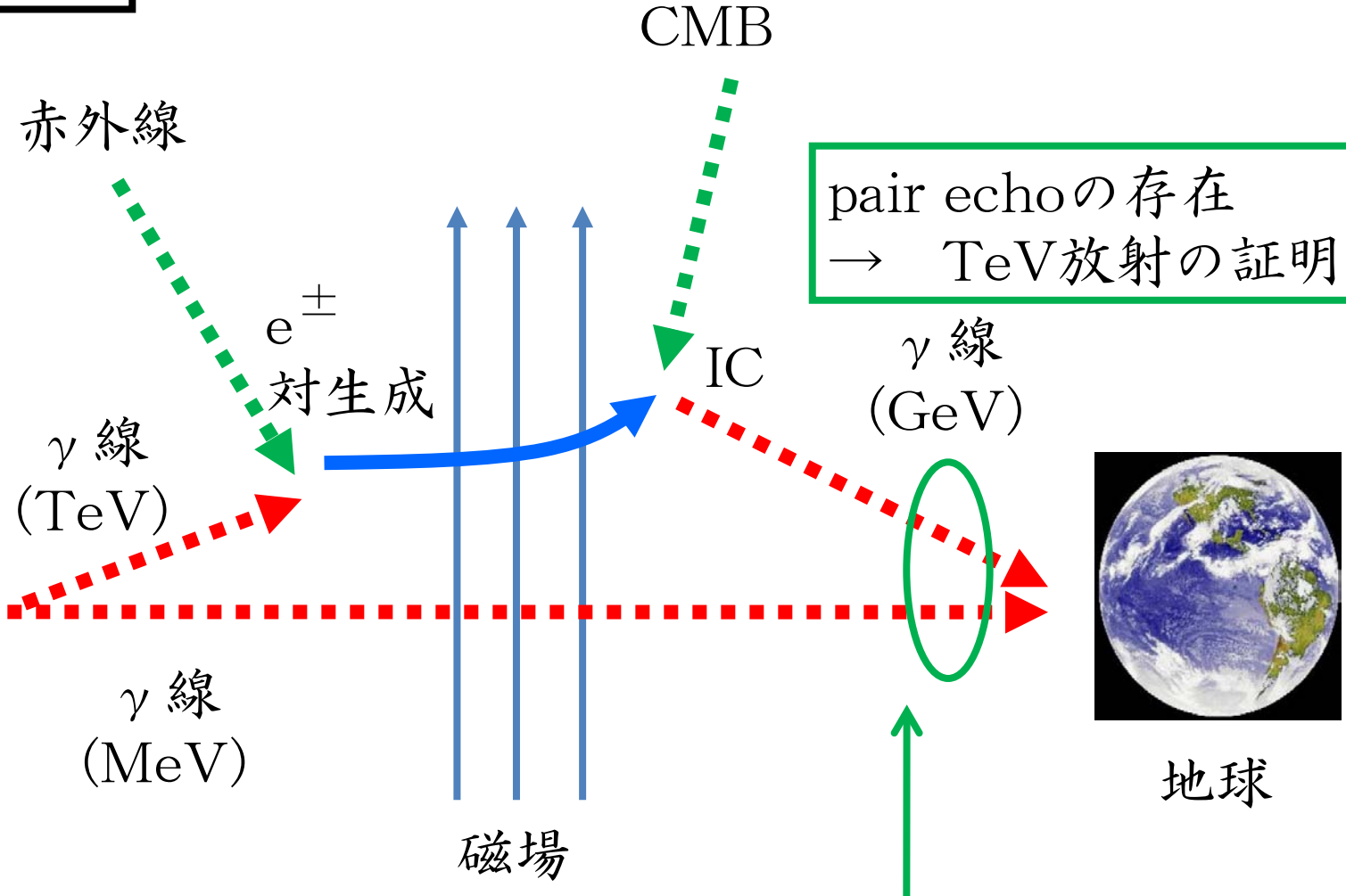
ブレーザー・GRBなどの高エネルギー天体からの  
2次ガンマ線 (pair echo) を用いて微弱な磁場を測定

# pair echo

Plaga (1995)



ブレイザー  
GRB



pair echoの存在  
→ TeV放射の証明

磁場により曲がり、到着時刻が遅れる  
遅延時刻 → 磁場の強さ

# スケール感覚

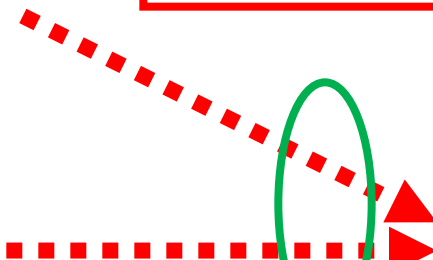
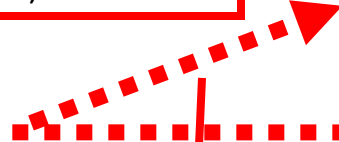
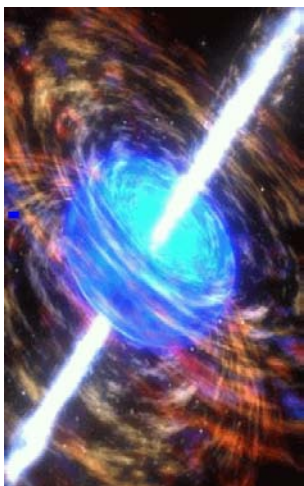
赤外線

$$E_{\text{IR}} = 0.1\text{eV} \left( \frac{E_\gamma}{1\text{TeV}} \right)^{-1}$$

CMB

$$E_{\text{echo}} = 0.6\text{GeV} \left( \frac{E_\gamma}{1\text{TeV}} \right)^2$$

$$E_\gamma = 1\text{TeV}$$



$$\lambda_{\text{IC}} = 0.4\text{Mpc} \left( \frac{E_\gamma}{1\text{TeV}} \right)^{-1}$$

$$\lambda_{\gamma\gamma} = 2\text{Mpc} \left( \frac{n_{\text{IR}}}{1\text{cm}^{-3}} \right)^{-1}$$

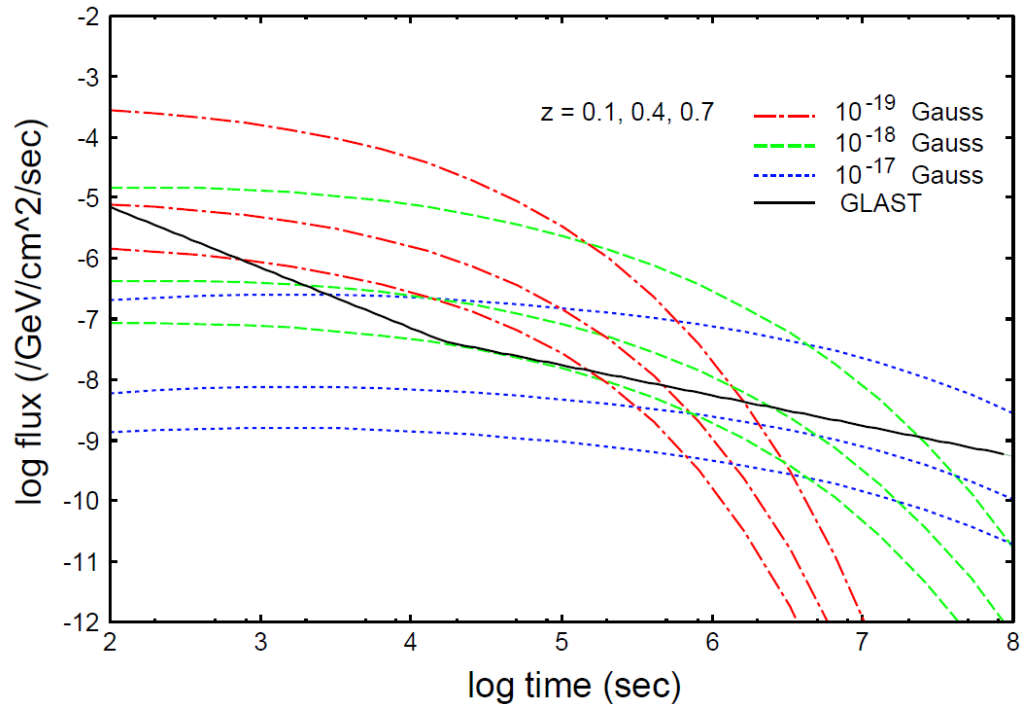
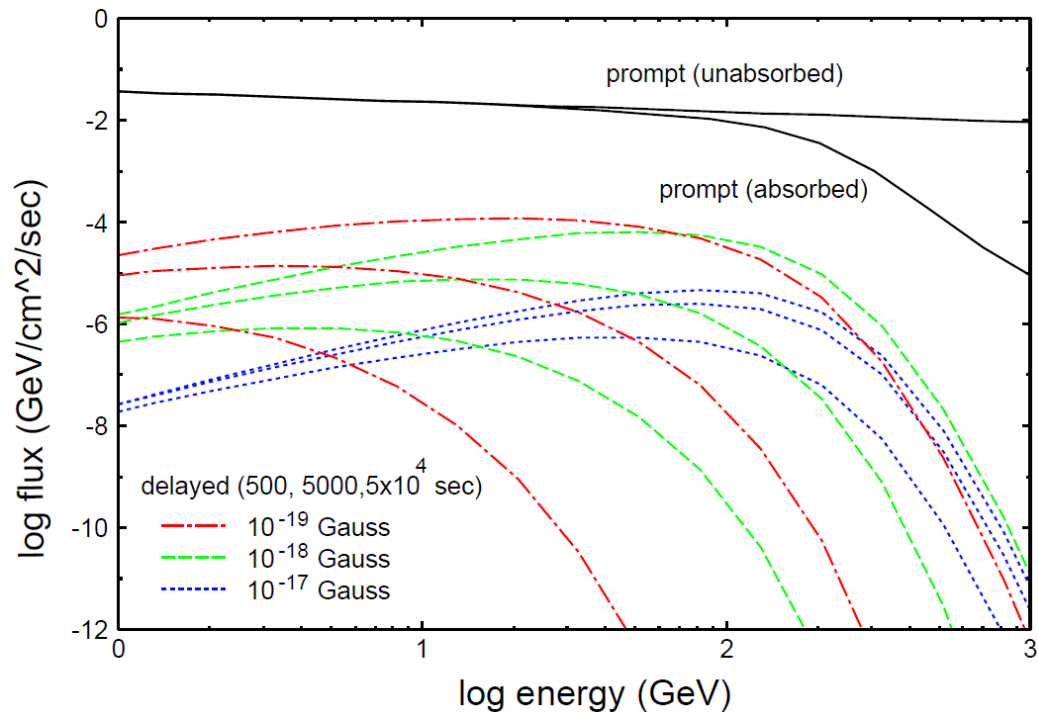
$$\Delta t_B = 0.5 \text{ day} \left( \frac{E_{\text{delay}}}{1\text{GeV}} \right)^{-2} \left( \frac{B}{10^{-20} \text{ G}} \right)^2$$

# GRBの場合

短い間光るだけの  
GRBは話が単純。

スペクトル  
高エネルギーから  
速く暗くなっていく。

光度曲線  
磁場が強いほど  
暗いが長く持続する。

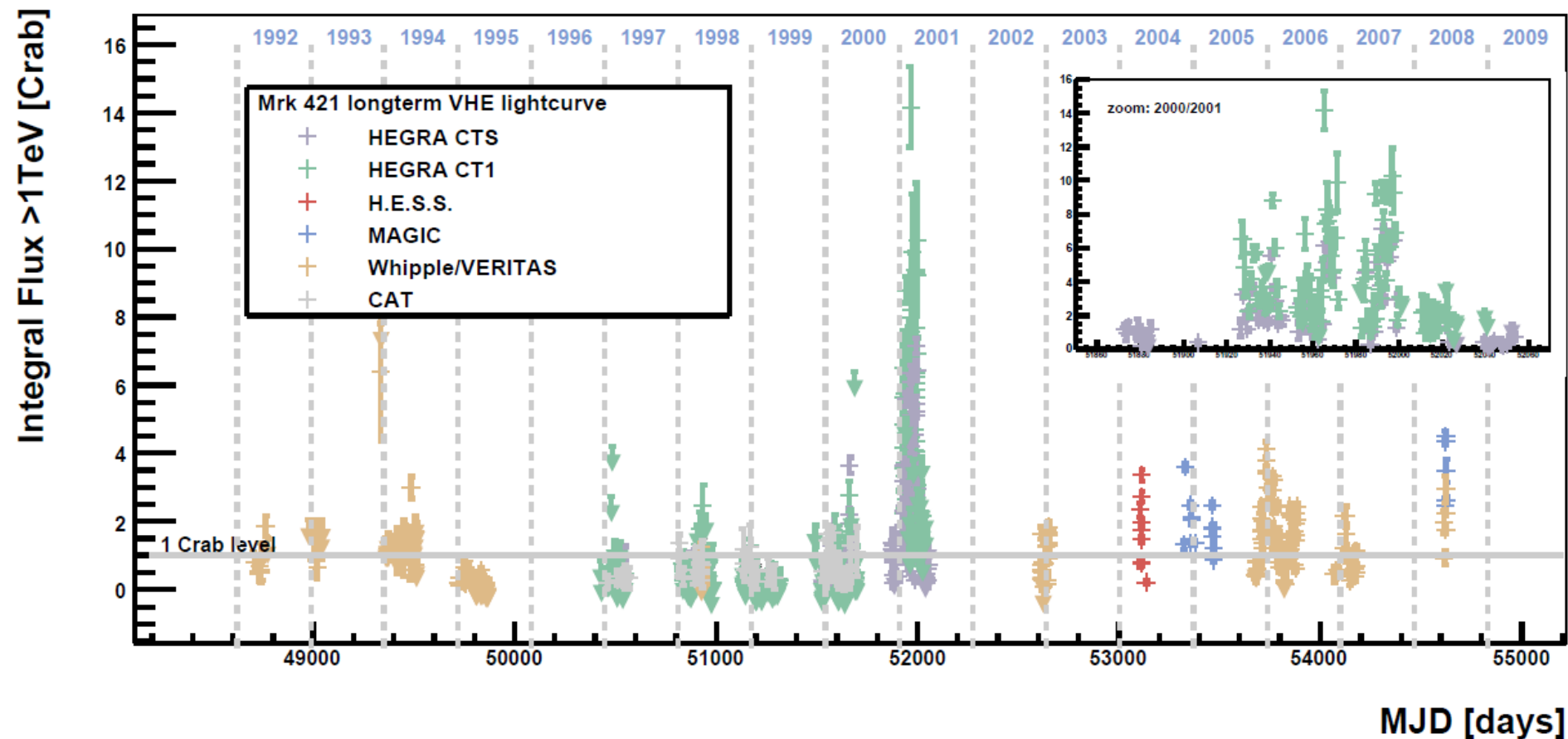


# Mkn421

Mkn421

最も近く明るくハードな  
ブレーザーの1つ

長年わたって断続的に観測

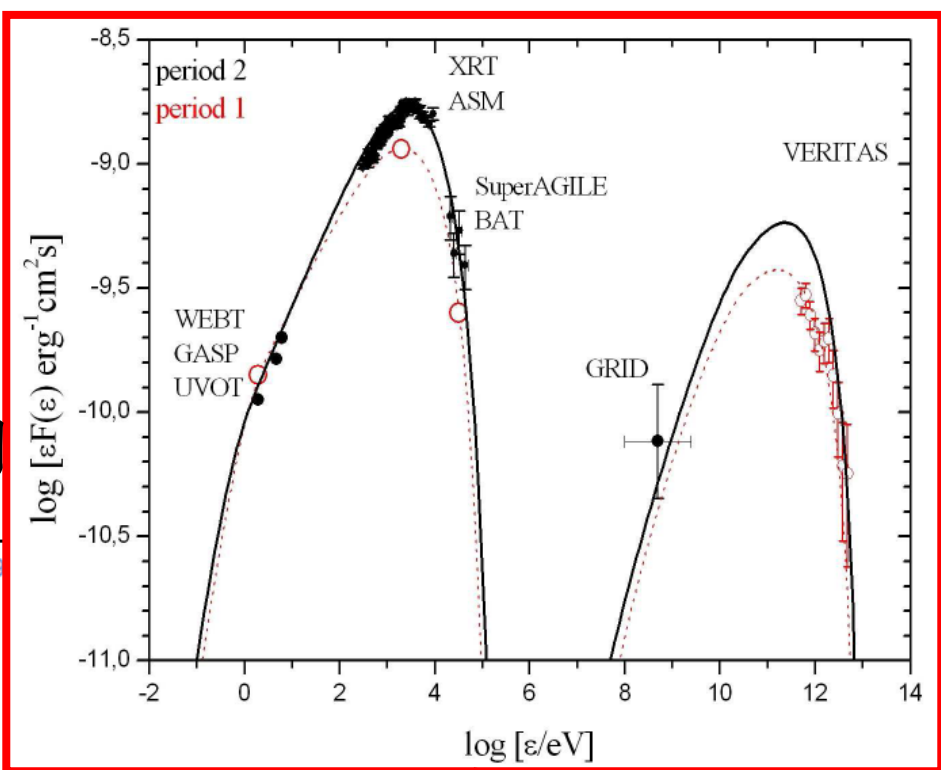


# Mkn421

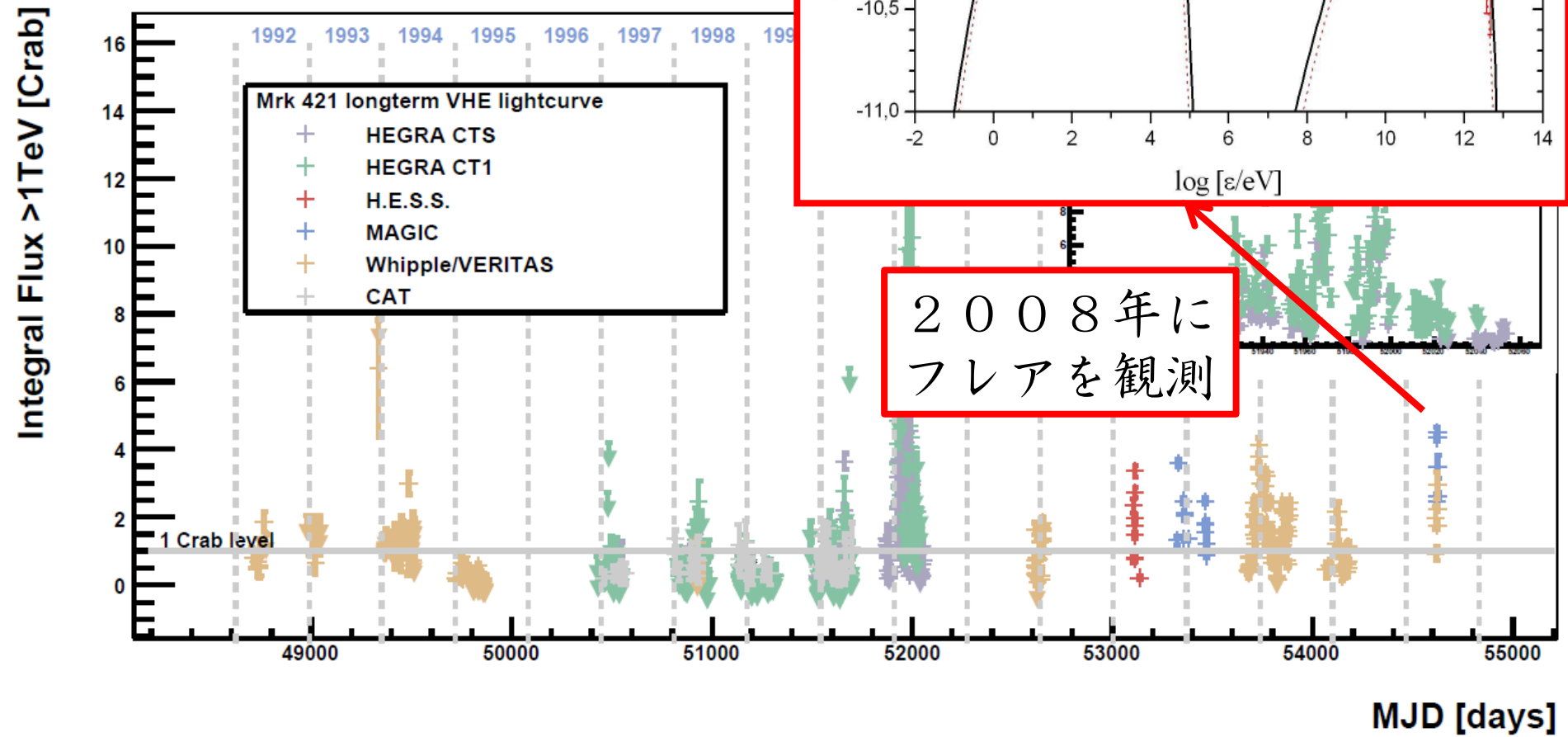
Mkn421

最も近く明るくハードな  
ブレーザーの1つ

長年にかけて断続的に観測



2008年に  
フレアを観測



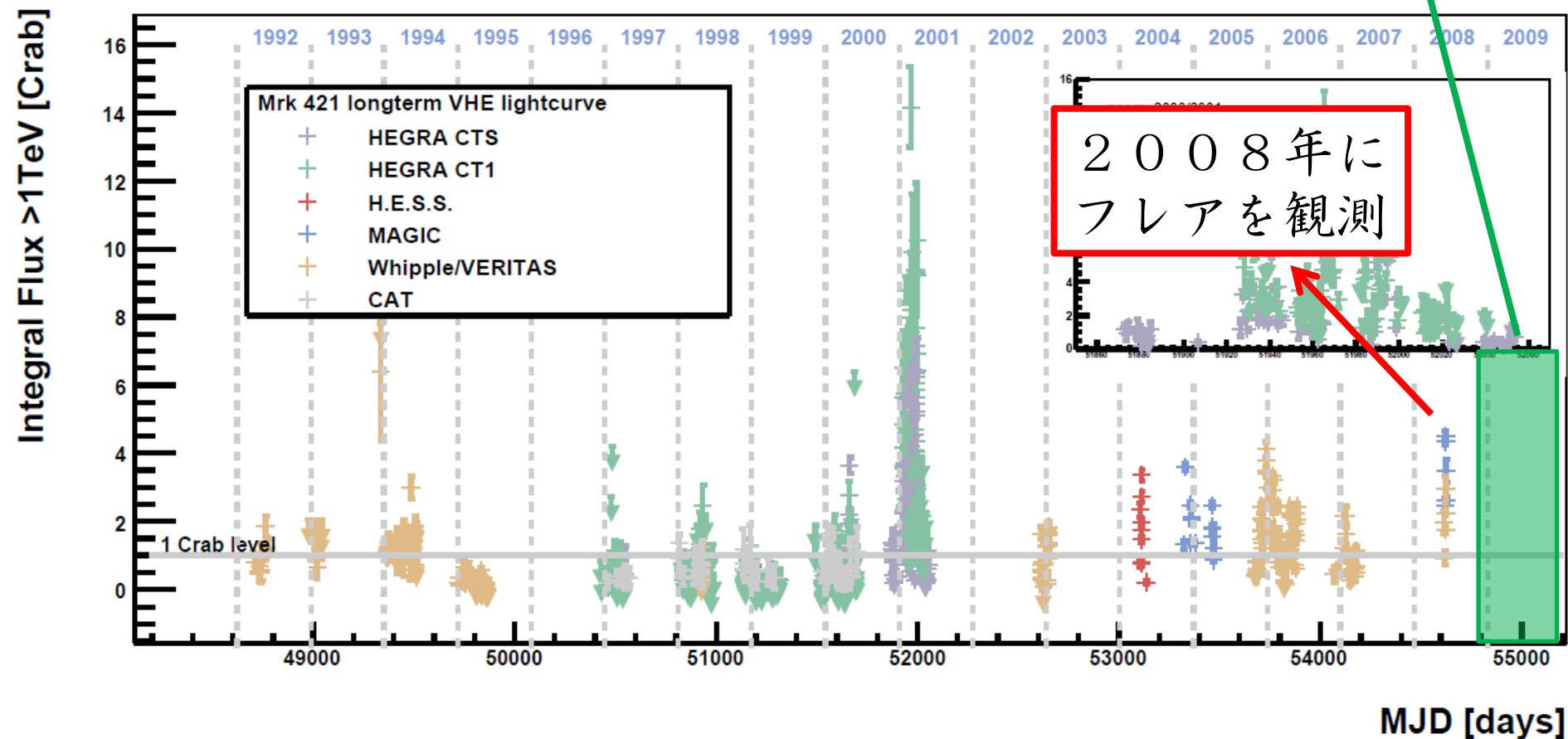
# Mkn421

Mkn421

最も近く明るくハードな  
ブレーザーの1つ

長年にわたって断続的に観測

フレアの65日後から  
Fermiが観測。  
pair echoが見えているか？

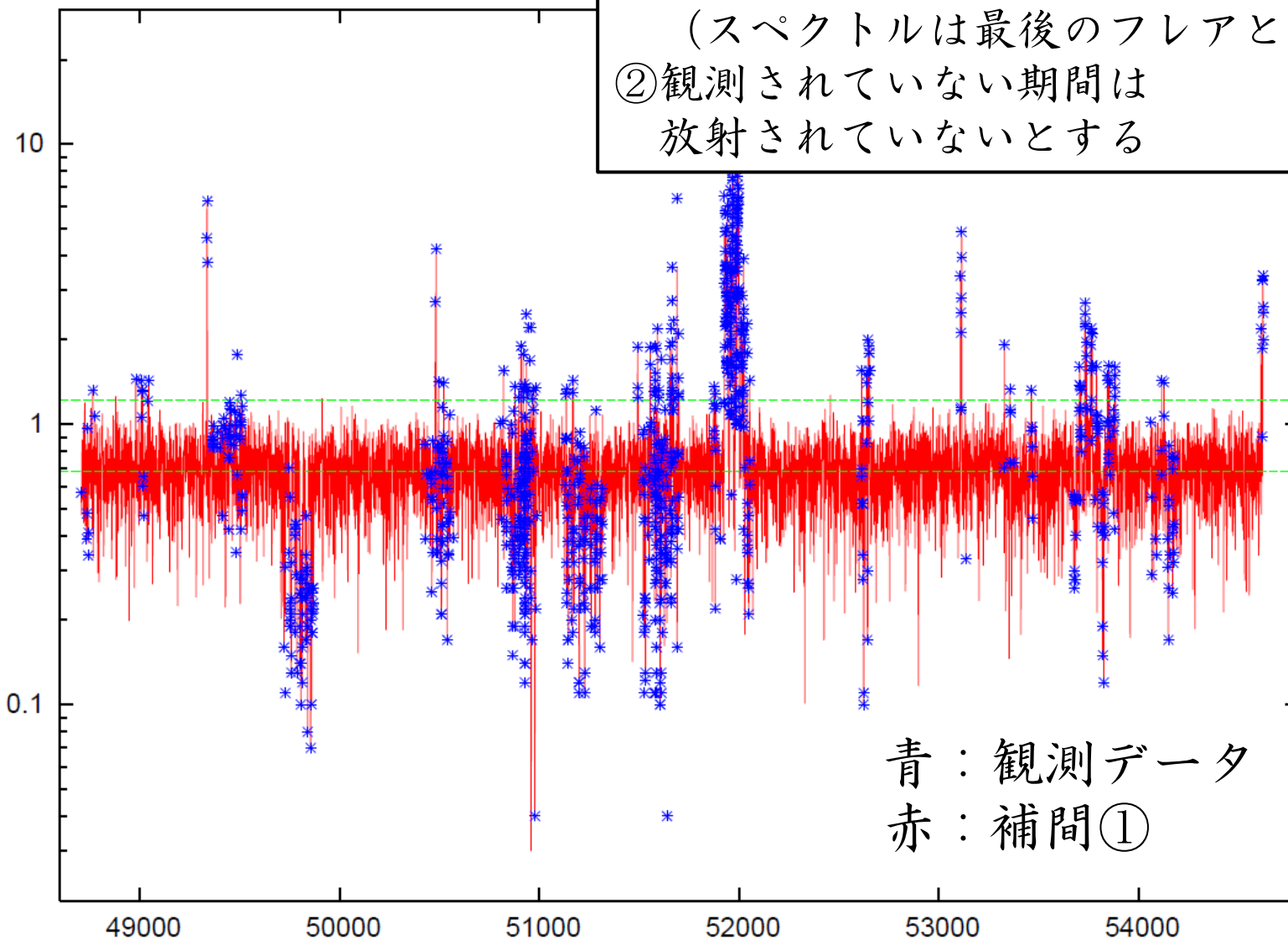




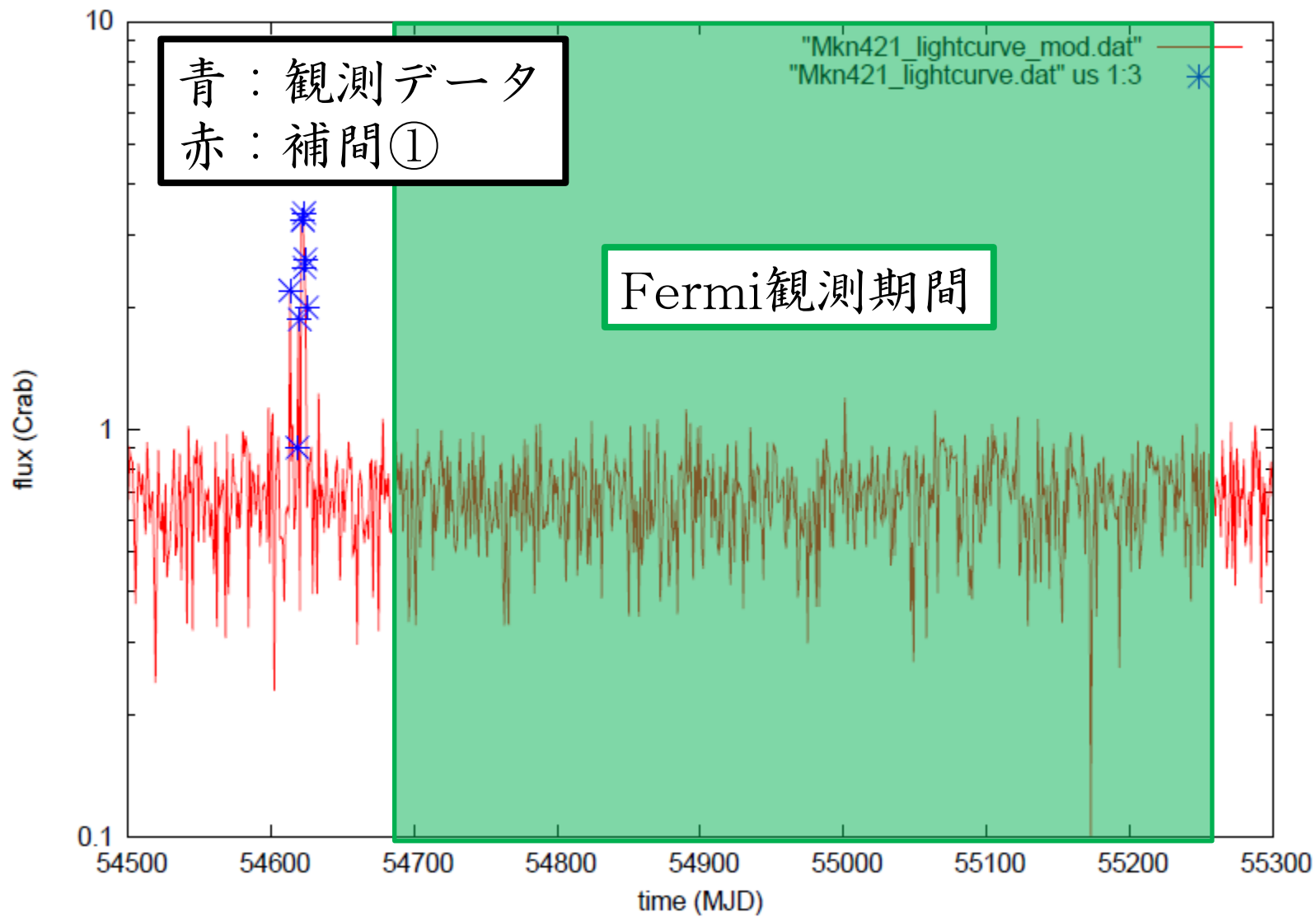
# 光度曲線の補間

pair echoには数年前のprimary放射も効いてくる。しかし観測データは断続的なので補間しなければならない。

- ①全観測期間のmedianを中心にガウス分布 (スペクトルは最後のフレアと同じと仮定)
- ②観測されていない期間は放射されていないとする

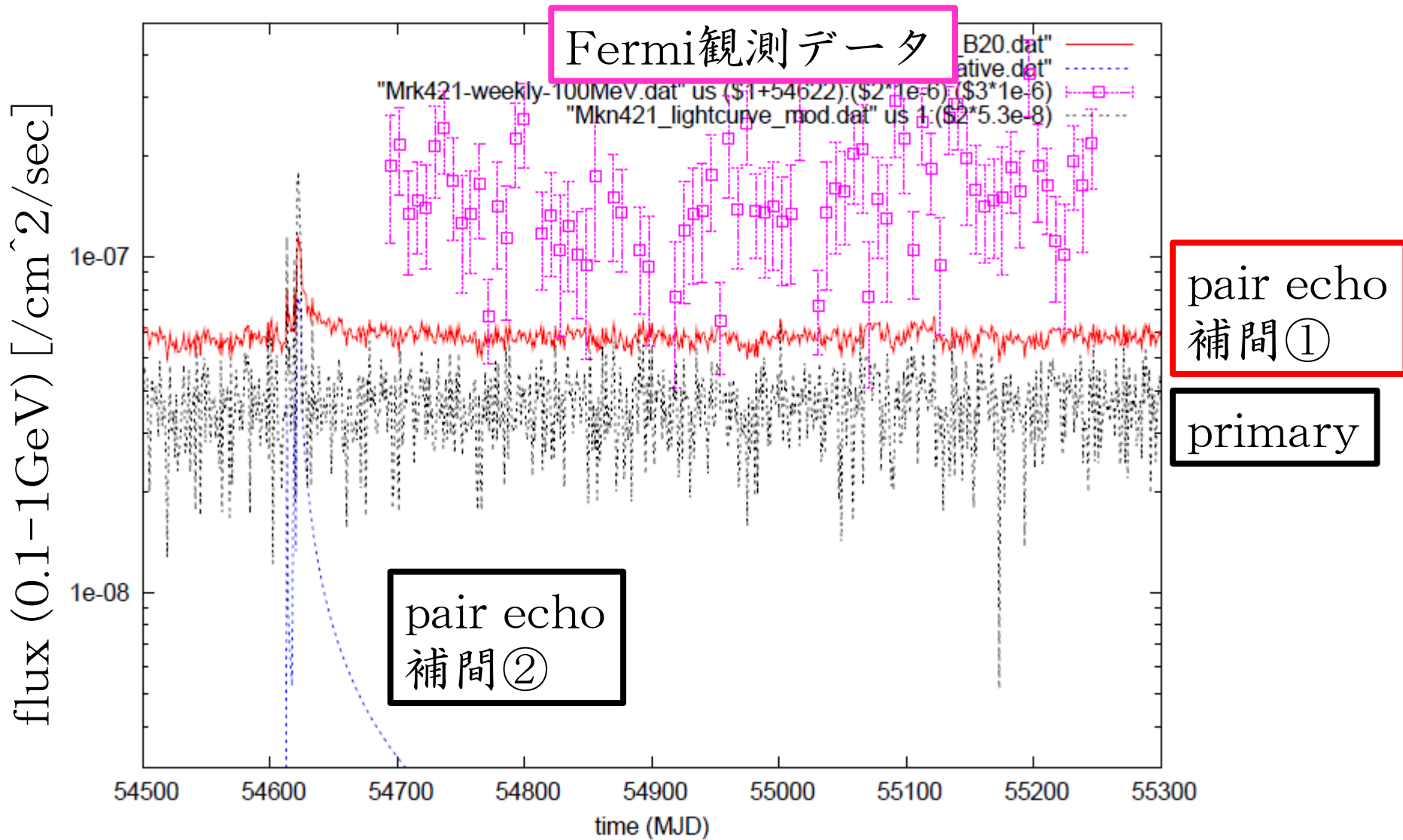


# 注目するフレア



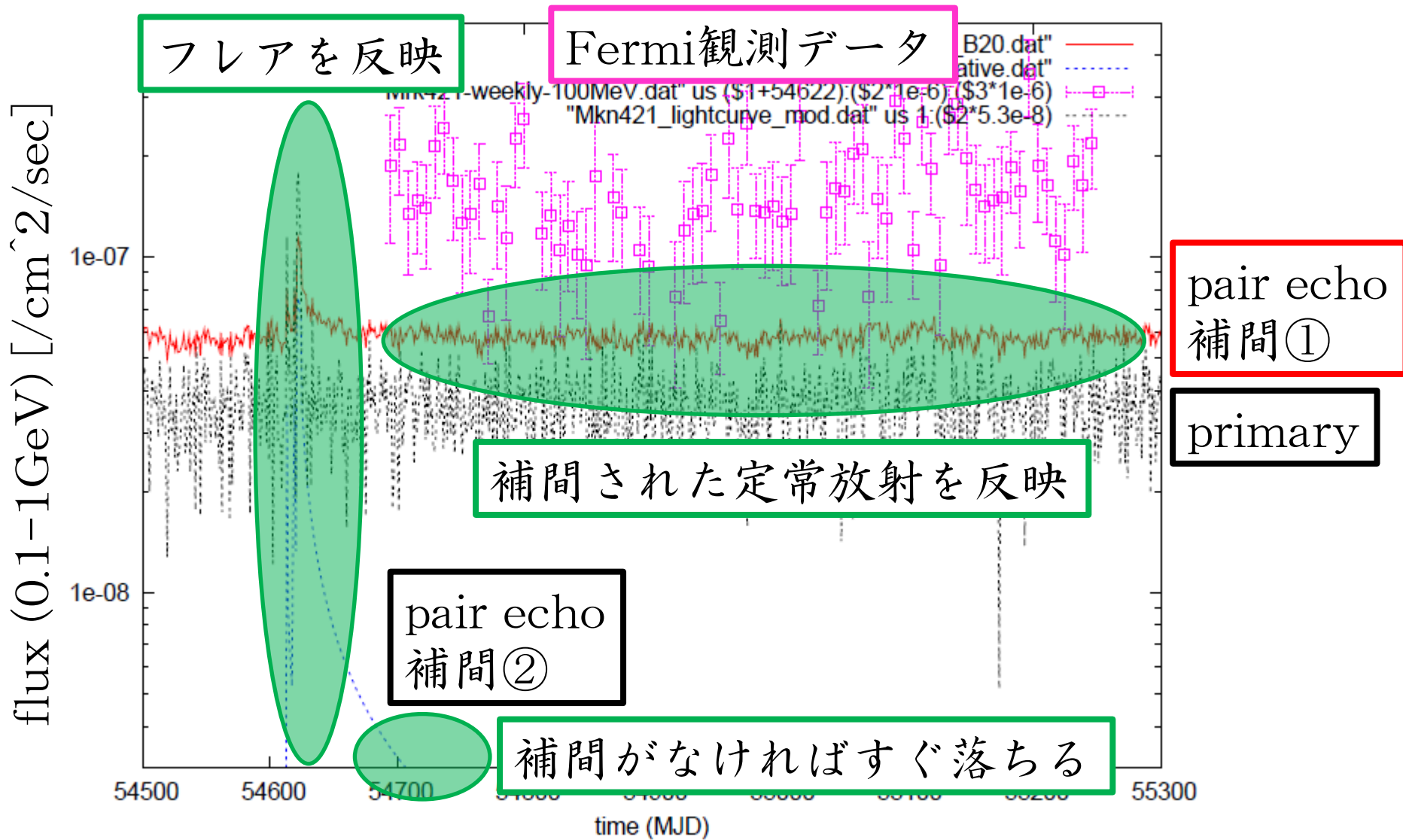
# 結果①

$B = 10^{-20}$  Gaussの場合



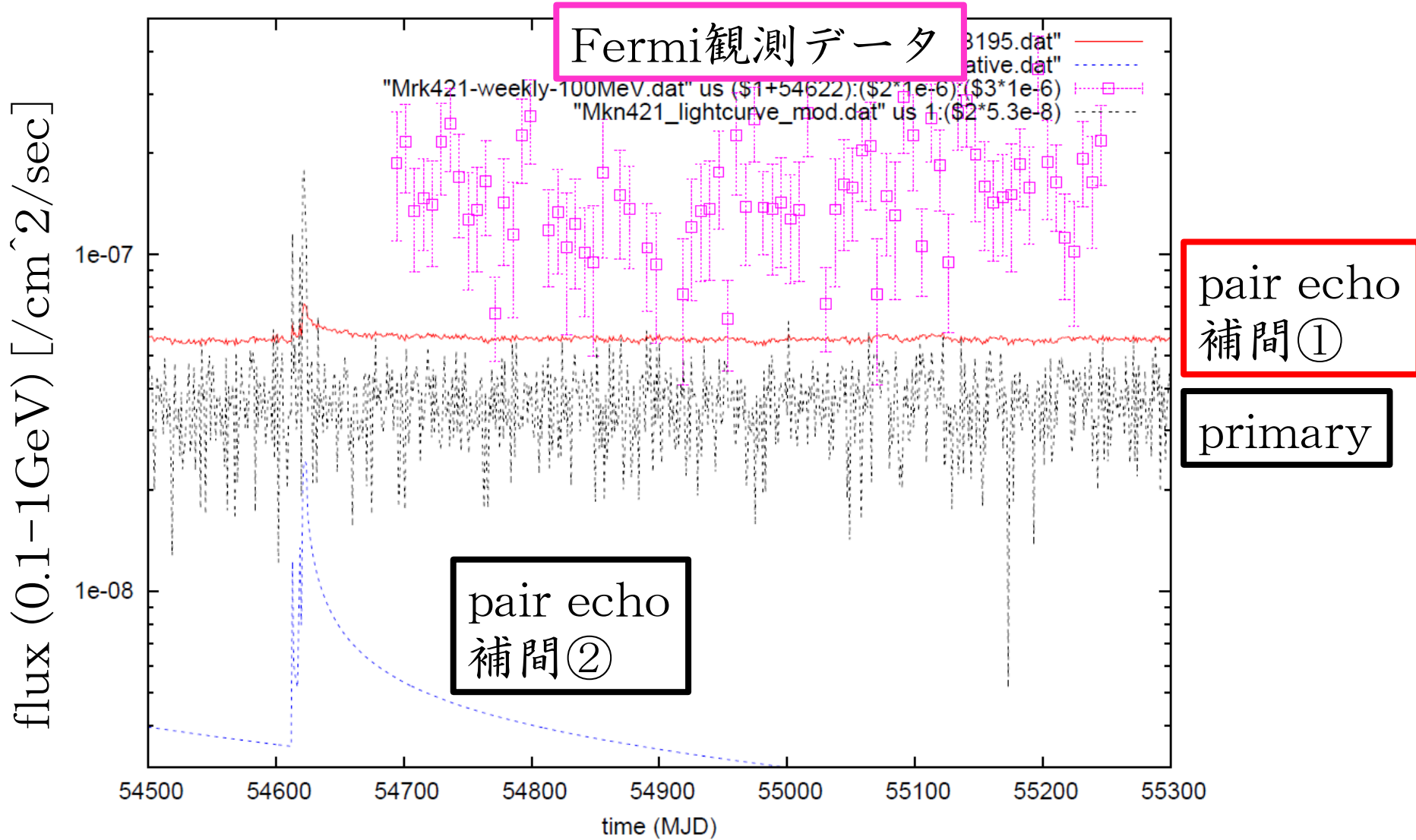
# 結果①

$B = 10^{-20}$  Gaussの場合



# 結果②

$B = 10^{-19.5}$  Gaussの場合

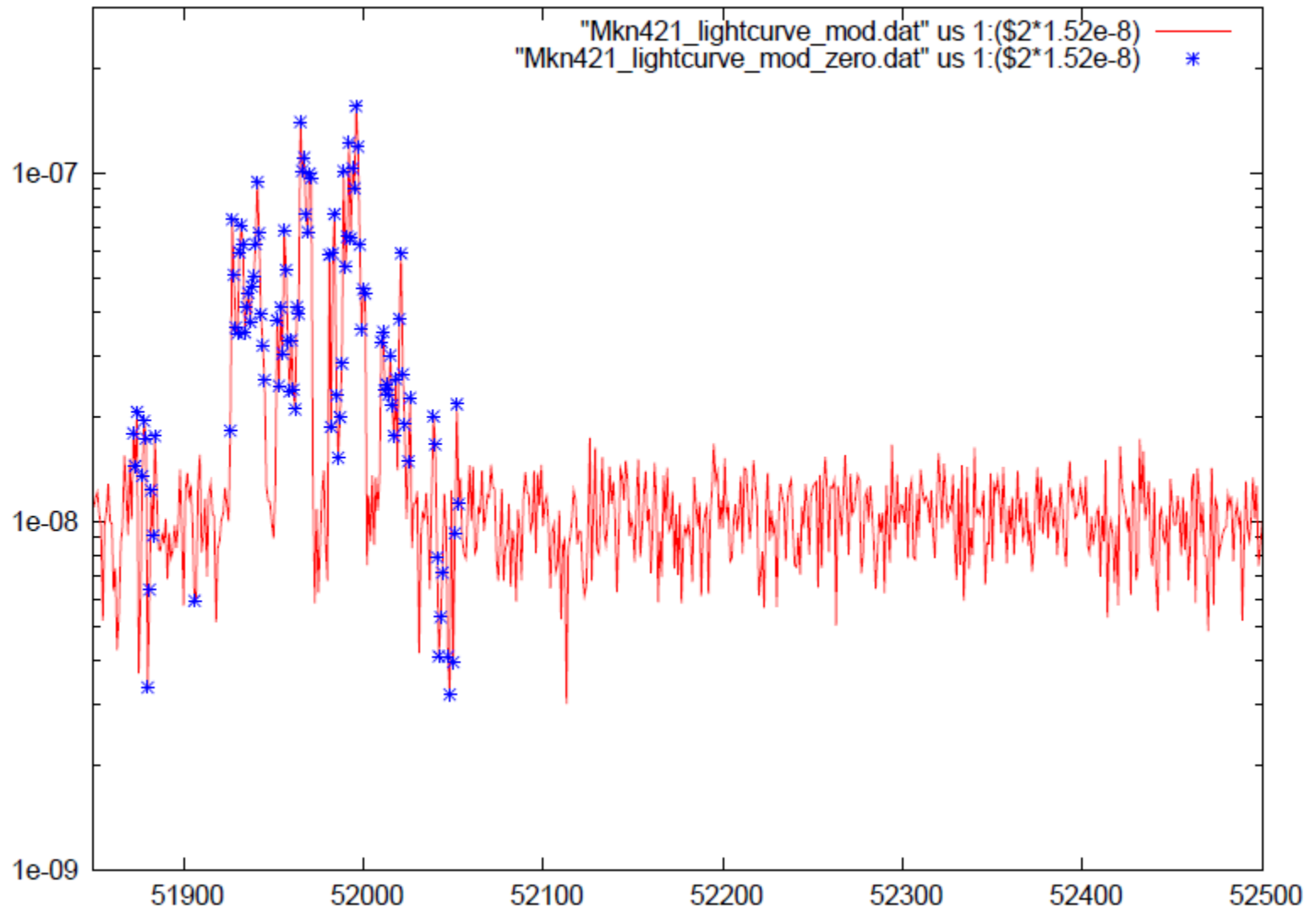


## 解釈

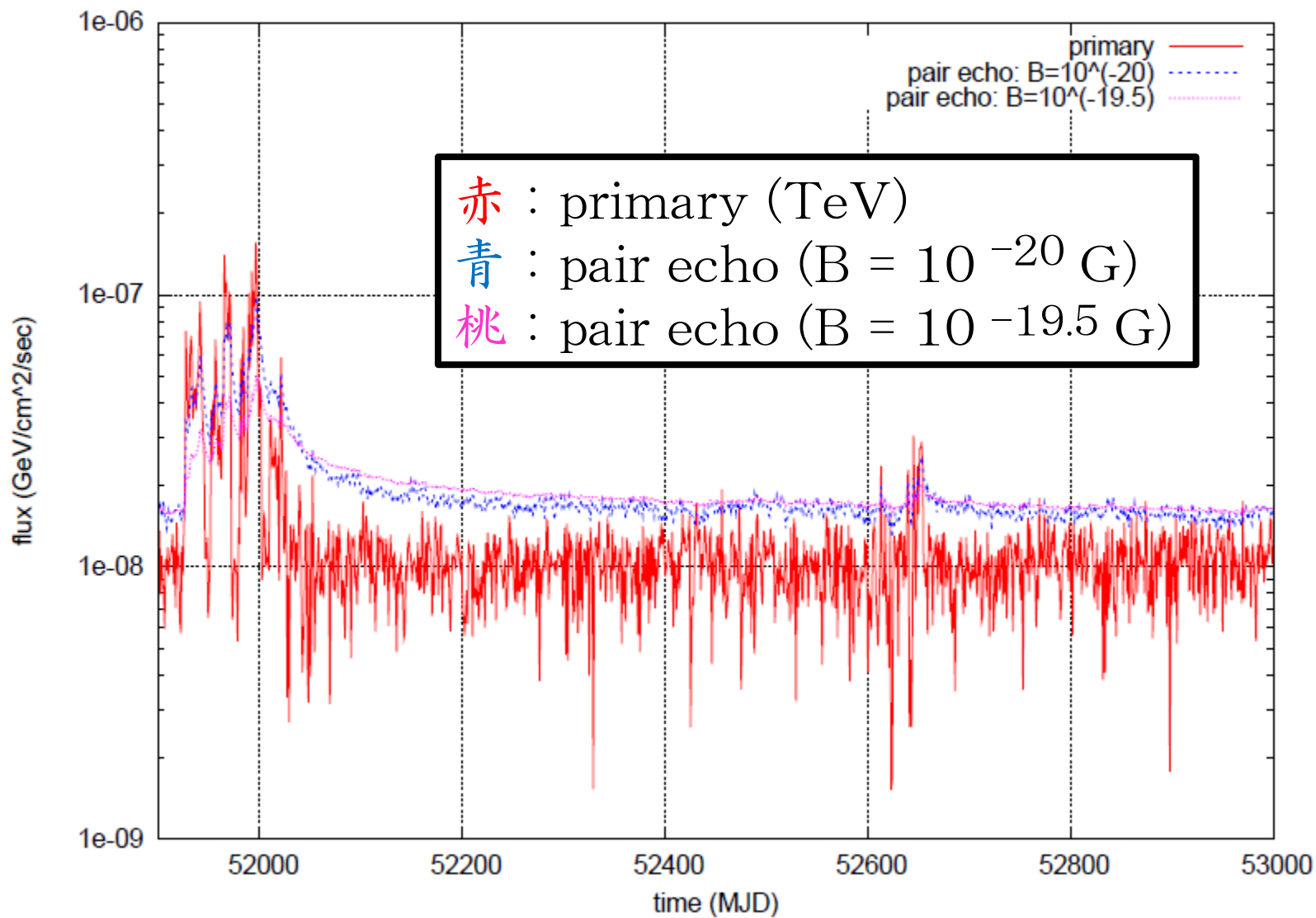
- Fermiはフレア直後から見ているわけではないし  
TeVもごく短い期間しか観測していないので  
何か確かなことを言うのは難しい
- primary、pair echo (補間①) それぞれでは  
観測データに足りない (補間②ではなお足りない)
- 足したらやや足りないがまあまあデータに合う  
→ pair echoを検出??
- 定常放射の期間、primaryは  
TeVでだいぶ暗くて (pair echoがほぼ無し)  
GeVでだいぶ明るい  
という可能性もある

長い間フレアが起こり、TeV・GeV共に  
観測されていないと確定的なことは言えない

# 将来への期待



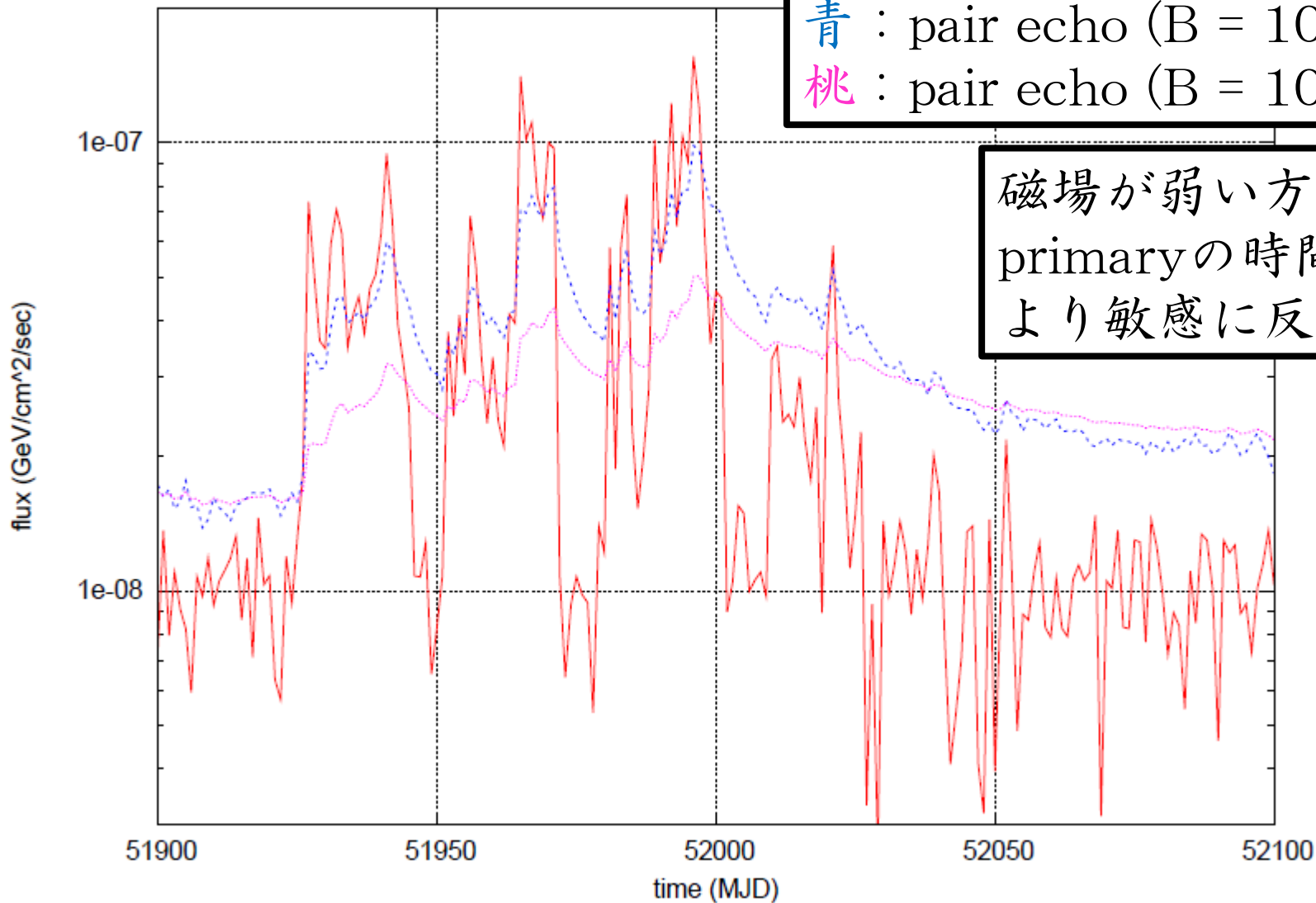
# 将来への期待





# 将来への期待

- 赤 : primary (TeV)
- 青 : pair echo ( $B = 10^{-20}$  G)
- 桃 : pair echo ( $B = 10^{-19.5}$  G)



磁場が弱い方が  
primaryの時間変化を  
より敏感に反映する

## まとめ

- pair echo : TeV天体からの2次ガンマ線を利用して微弱な宇宙磁場を観測する方法
- Mkn421に関するTeVの長期的データとFermiによるGeVのデータを合わせてpair echoが観測されているかどうか解析
- primaryの光度曲線やスペクトルに仮定があるので確定的なことは言えないが、pair echoが観測されているかもしれないという示唆が得られた
- 磁場に関しては今後の観測に期待