

CTAで見る Crab Flare

齋藤隆之^{A,B},

郡和範^C, 大平豊^D, 井岡邦仁^C, 内山泰伸^E, 広谷幸一^F, 木坂将大^F,
石尾一馬^X, 井上進^O, 奥村暁^{G,H}, 折戸玲子^I, 川中宣太^J, 櫛田淳子^K,
窪秀利^A, 小山志勇^L, 田中周太^F, 田中孝明^A, 寺田幸功^L, 当真賢二^M,
内藤統也^N, 長瀧重博^O, 中森健之^P, 花畑義隆^F, 馬場彩^D, 森浩二^Q, 山崎了^D,
吉田篤正^D, 李兆衡^R
他CTA-Japan Consortium

京大理^A, 京大白眉センター^B, KEK 素核研^C, 青学大理工^D, 立教大理^E,
東大宇宙線研^F, 名大 STE 研^G, レスター大^H, 徳島大総科^I, 東大理^J, 東海大理^K,
埼玉大理^L, 東北大理^M, 山梨学大^N, 理研^O, 山形大理^P, 宮崎大工^Q, JAXA^R, MPI^X

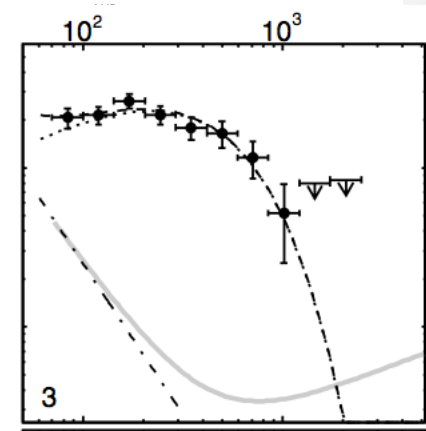
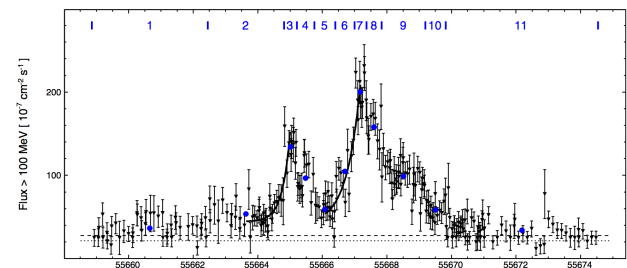
Crab Nebula GeV flare

- Crab Nebula はGeV領域でフレアを起こす(1回/年)。
- 「標準光源が変動した」という以上の驚き
 - 変動のタイムスケールが、Nebulaの大きさよりずっと小さい
 - シンクロトロン限界(160MeV)を超えた放射
~600MeVにピーク(2011年4月)

$$\eta Bc = 2\sigma_T c\gamma^2 U_B \quad (\text{加速率}=\text{損失率})$$

$$E_{sync} = \frac{3}{2} \hbar \omega_B \gamma^2 \leq \frac{9}{4} \frac{mc^2}{\alpha} \cong 160 \text{ MeV}$$

(e.g. de. Jager et al. 1996)

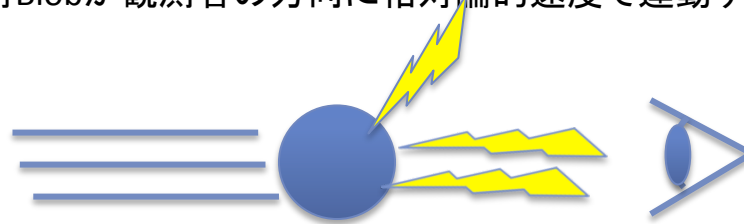


- これらを説明するのに、Doppler boostや磁気リコネクション等のモデルがある。
- 本講演ではDoppler boost モデルを仮定し、GeVフレアに付随するTeVフレアの観測可能性を議論する。
- Kohri, Ohiral, Ioka MNRAS 424, 2249, (2012) を元になっている。

Kohri, Ohira & Ioka モデル

Kohri, Ohira and Ioka, MNRAS 424, p2249, (2012)

放射Blobが観測者の方向に相対論的速度で運動する。



フレアの変動タイムスケール(数時間)は、Blobサイズで決まる(とする)。
Blob系で電子の最大エネルギーは

$$E'_{\max,e} = 790 \text{ TeV} \left(\frac{B'}{3 \text{ mG}} \right) \left(\frac{\delta}{10} \right) \left(\frac{\Delta t_{\text{obs}}}{8 \text{ h}} \right) \quad (1)$$

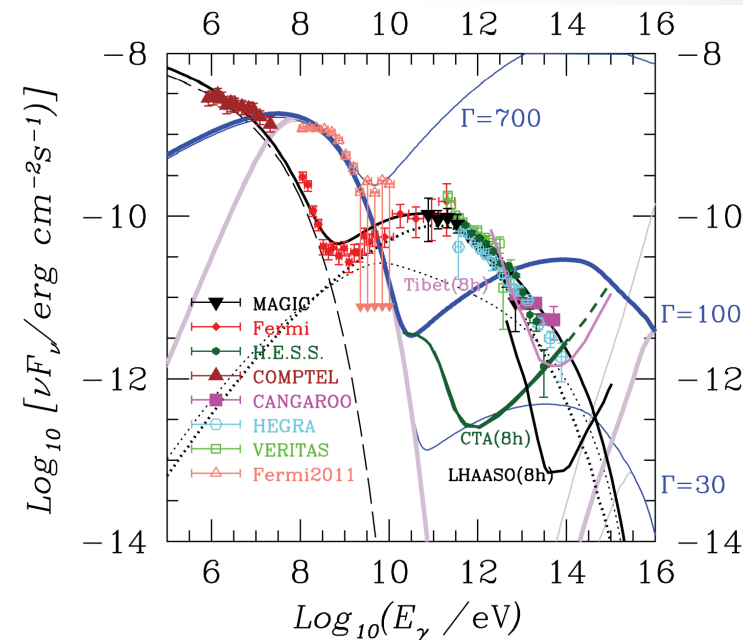
観測者系でシンクロトロン放射のエネルギーは

$$E_{\text{syn}} = 95 \text{ MeV} \left(\frac{\delta}{10} \right) \left(\frac{E'_{\max,e}}{500 \text{ TeV}} \right)^2 \left(\frac{B'}{3 \text{ mG}} \right) \quad (2)$$

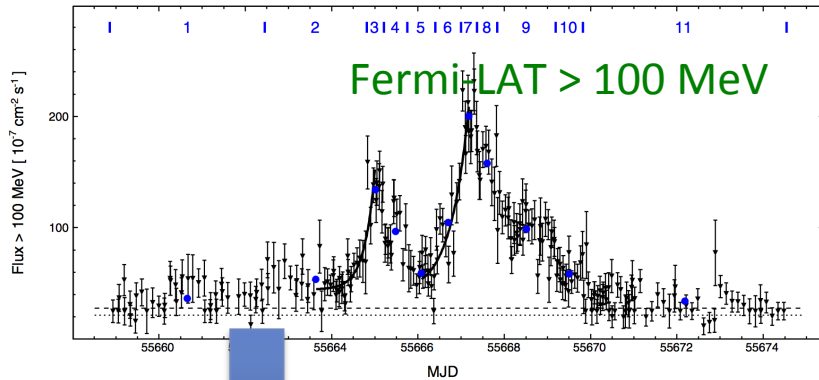
(1), (2)から

$$E'_{\max,e} = 480 \text{ TeV} \left(\frac{E_{\text{syn}}}{10^2 \text{ MeV}} \right)^{1/2} \left(\frac{\Delta t_{\text{obs}}}{8 \text{ h}} \right)^{1/3}$$

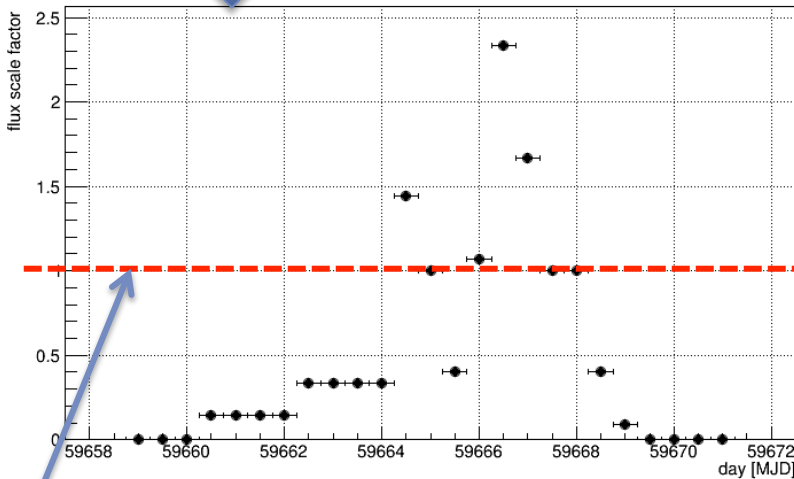
観測量(E_{syn} と Δt)だけから Blob系での電子の最大エネルギーが求まる。
同じ電子がCMBやSync光子を逆コンプトン散乱することでTeV-PeV放射が出る。
TeV-PeV放射観測して初めて、ブーストファクターや磁場強度が決まる。



2011年4月のフレアはCTAでどう見えたか



Simulated GeV Flare



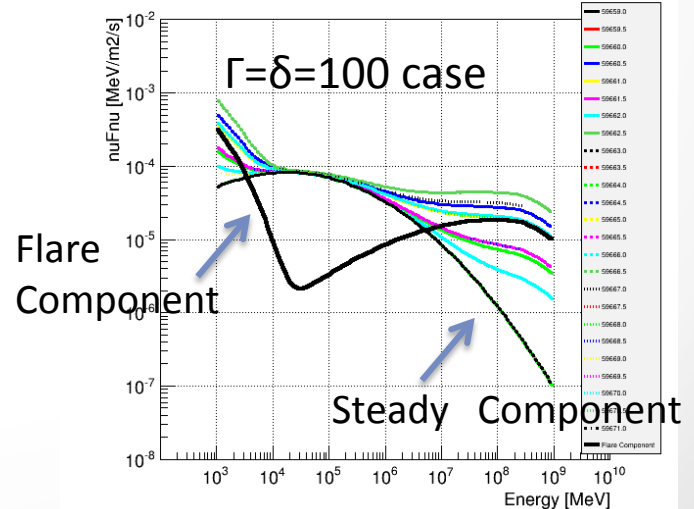
Average flux level

シミュレーションツールCTOOLを用いて
CTAでどのようにTeV-PeV放射が観測されるか
検証する

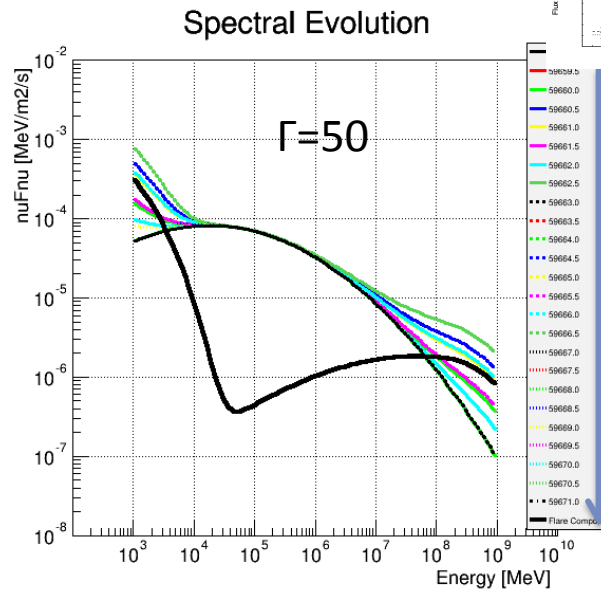
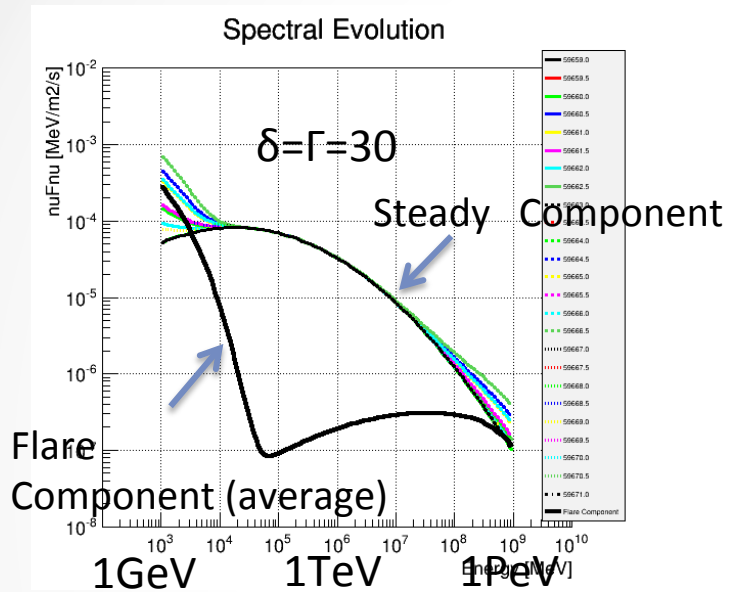
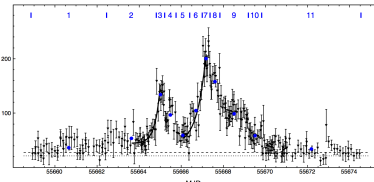
仮定

- フレア成分は半日ごとに変動する。
- フレア成分のスペクトラムは形を変えず、Normalizationだけが変わる。
- CTAは半日に一度3時間観測する
- KOIモデルに従ったTeV-PeV放射がでる

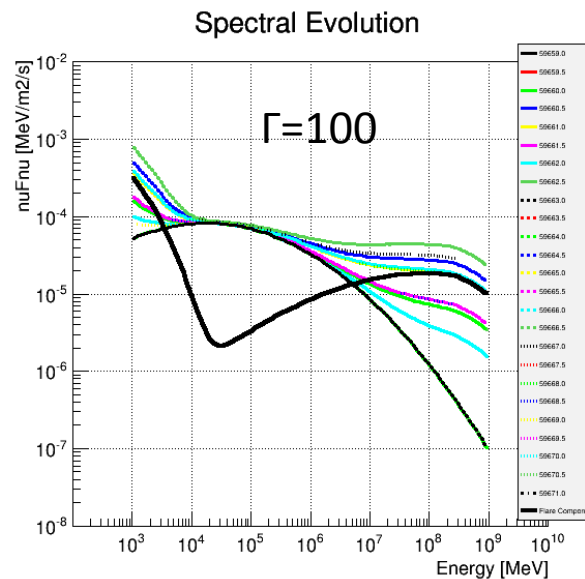
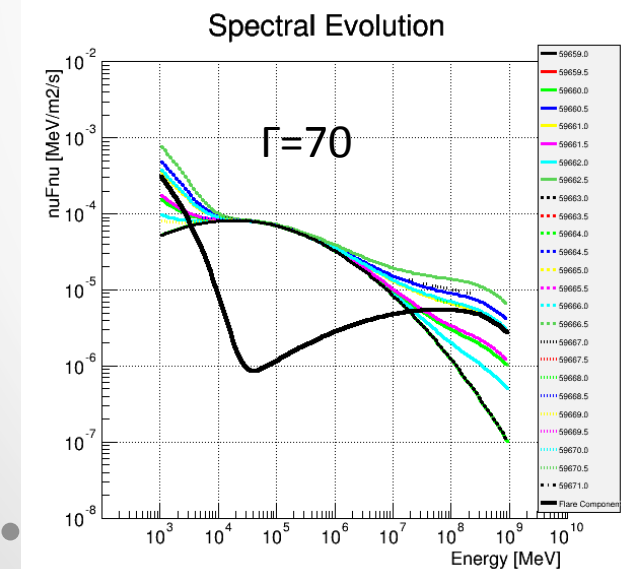
Spectral Evolution



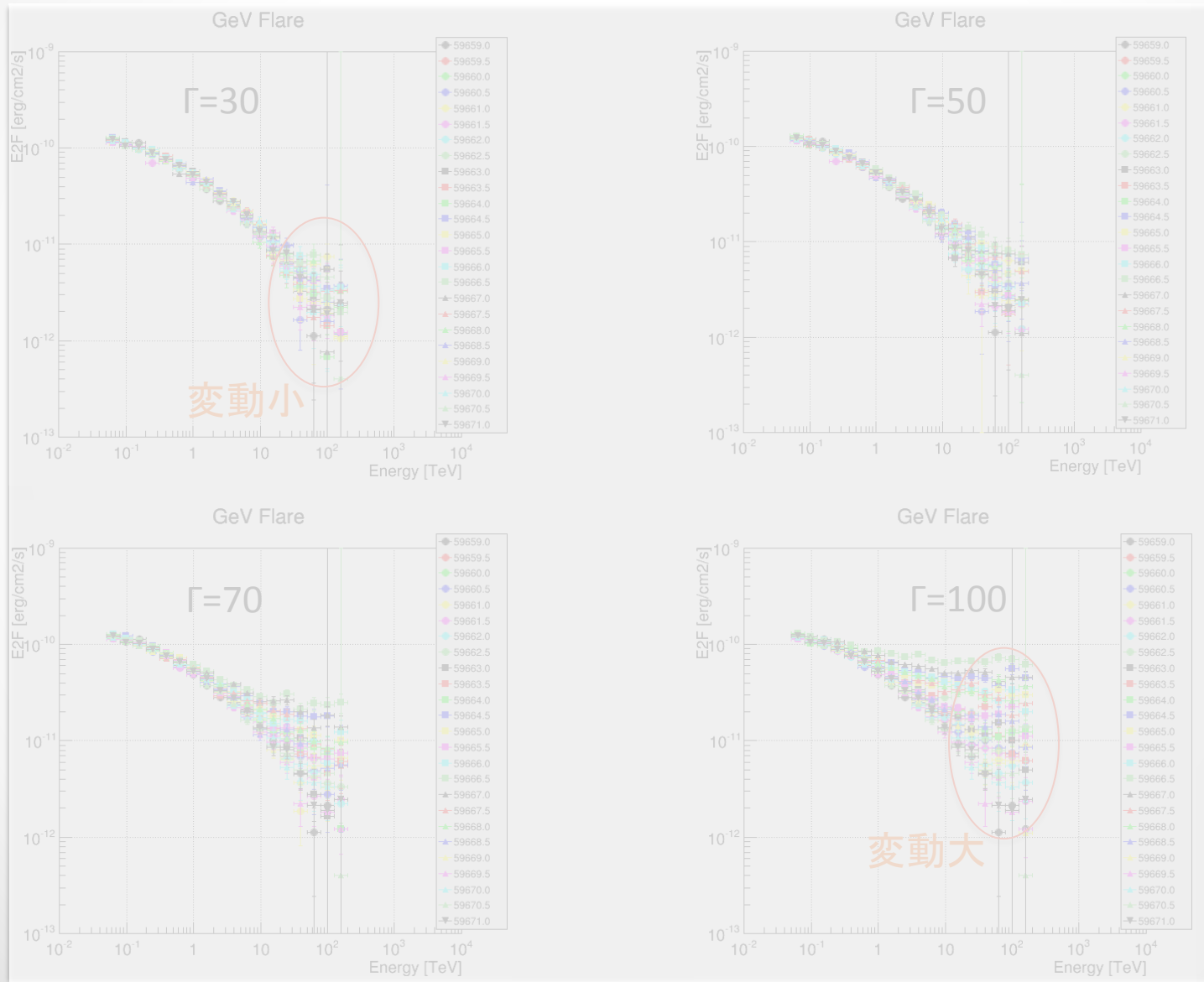
入カスペクトラム



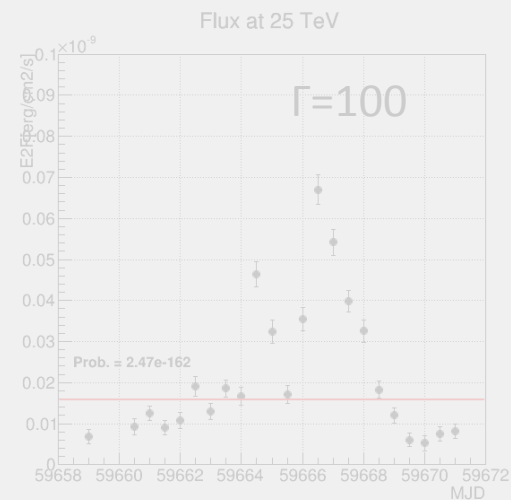
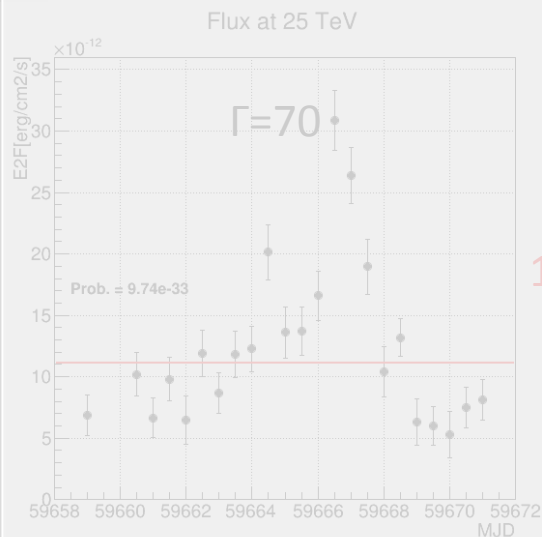
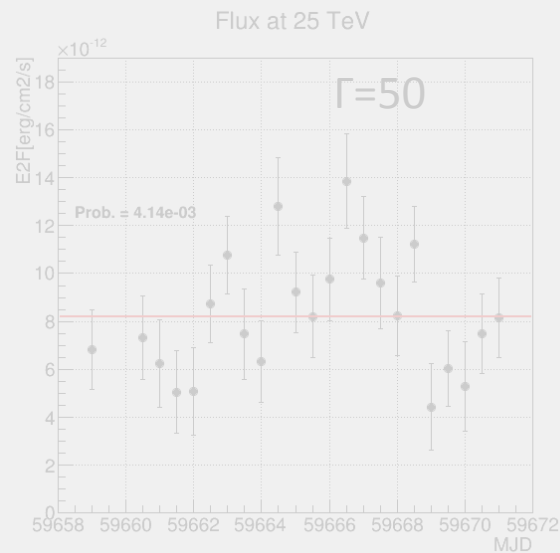
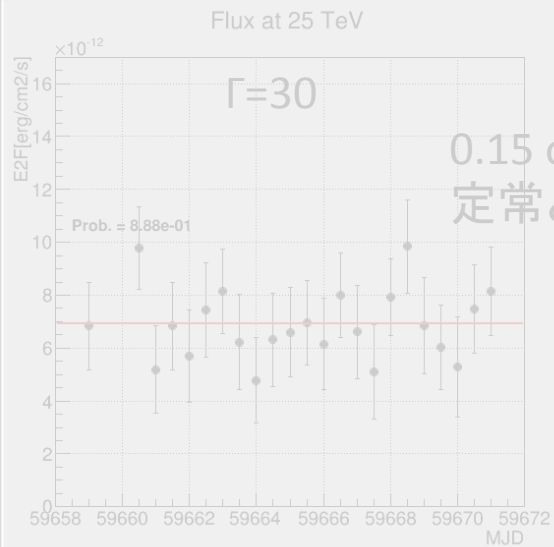
半日ごとの変動



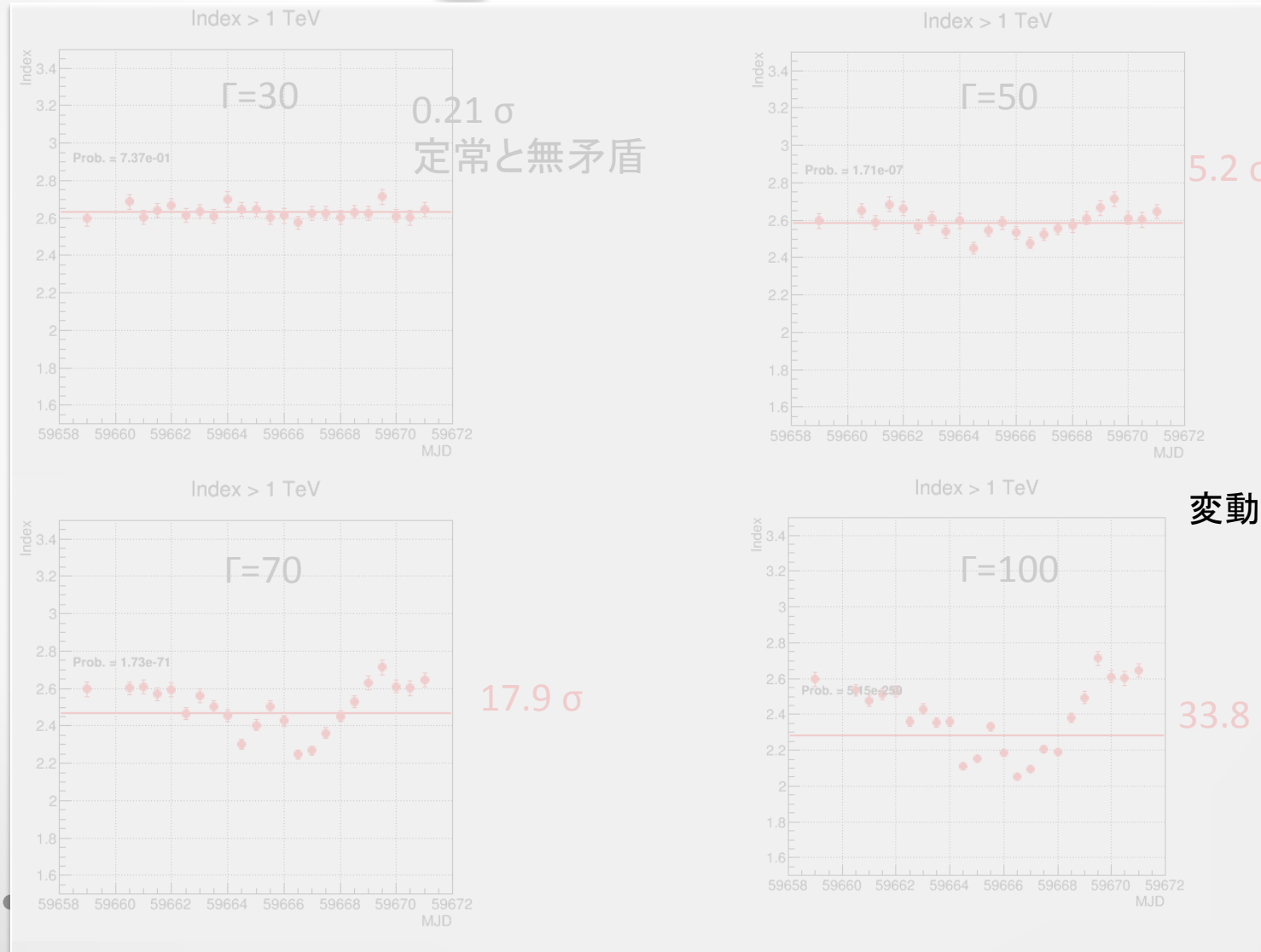
CTAで観測されるスペクトラム



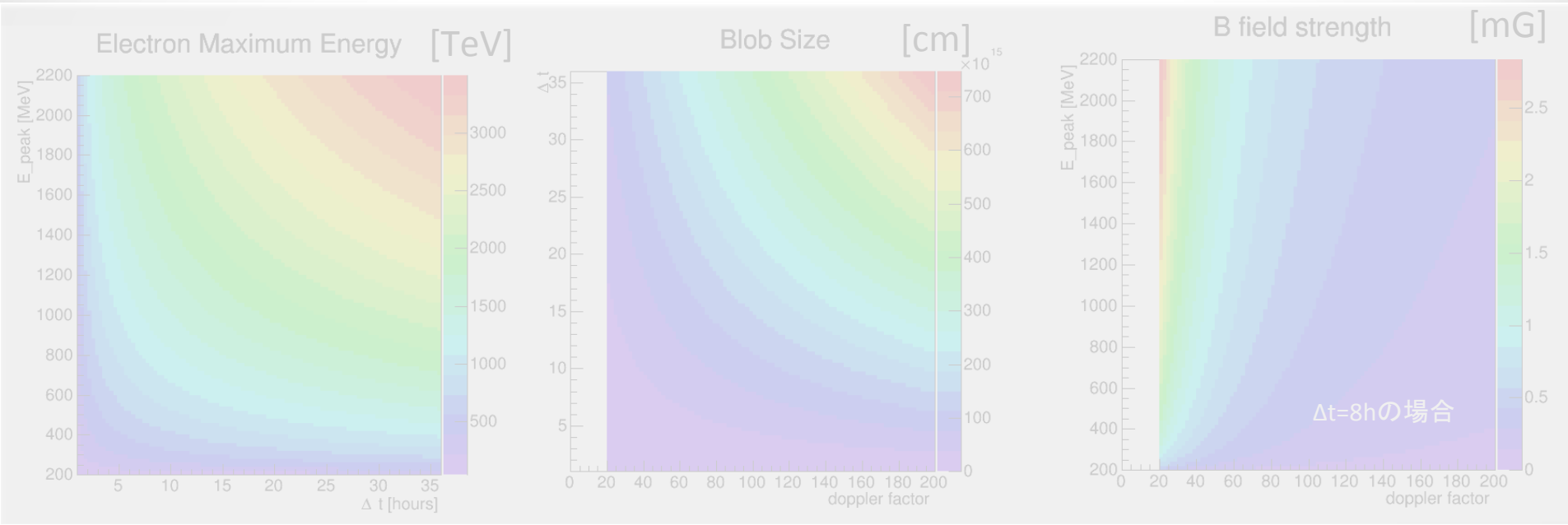
フラックス変動@ 25 TeV



Modulation of PL index @ 1-100 TeV



Blob パラメータ



Blob Size $\sim c \cdot \Delta t \cdot \delta$

$$B' = 2.2 \text{ mG} \left(\frac{E_{\text{syn}}}{10^2 \text{ MeV}} \right)^{1/3} \left(\frac{\delta}{10} \right)^{-1} \left(\frac{\Delta t_{\text{obs}}}{8 \text{ h}} \right)^{-2/3}$$

$$E'_{\text{max,e}} = 480 \text{ TeV} \left(\frac{E_{\text{syn}}}{10^2 \text{ MeV}} \right)^{1/2} \left(\frac{\Delta t_{\text{obs}}}{8 \text{ h}} \right)^{1/3}$$

$E_{\text{syn}} = 600 \text{ MeV}$, $\Delta t = 8 \text{ hour}$, $\Gamma = 50$ の場合

$E_{\text{max,e}} = 480 \text{ TeV}$,

blob サイズ = $4.3 \times 10^{16} \text{ cm}$ (0.01 pc),

$B = 810 \text{ uG}$

電子のエネルギー総量、
磁場のエネルギー総量などもきまる。

結論

- Γ が50以上であればCTAで検出できる
- TeVフラックスは Γ に非常に敏感。検出されれば高い精度で Γ が決まる
- 電子の最大エネルギー、blobのサイズ、磁場強度なども求まる
- たとえば、シンクロトロンピーク600 MeV, 変動のタイムスケールが8時間, $\Gamma=50$ の場合、電子の最大エネルギーは480 TeV, blobサイズは 4.3×10^{16} cm (0.01 pc), 磁場は810 μ Gとなる。