

第25太陽活動期における太陽中性子の観測



名古屋大学宇宙地球環境研究所
松原豊

東京大学宇宙線研究所共同利用研究成果発表会
令和5年2月21日
宇宙線研究所

本共同研究課題の内容

乗鞍太陽中性子観測の終了。

認められた経費

旅費 21万円

観測の停止。

シンチレータ運び出し(またはその準備)

経費の使用内訳

旅費

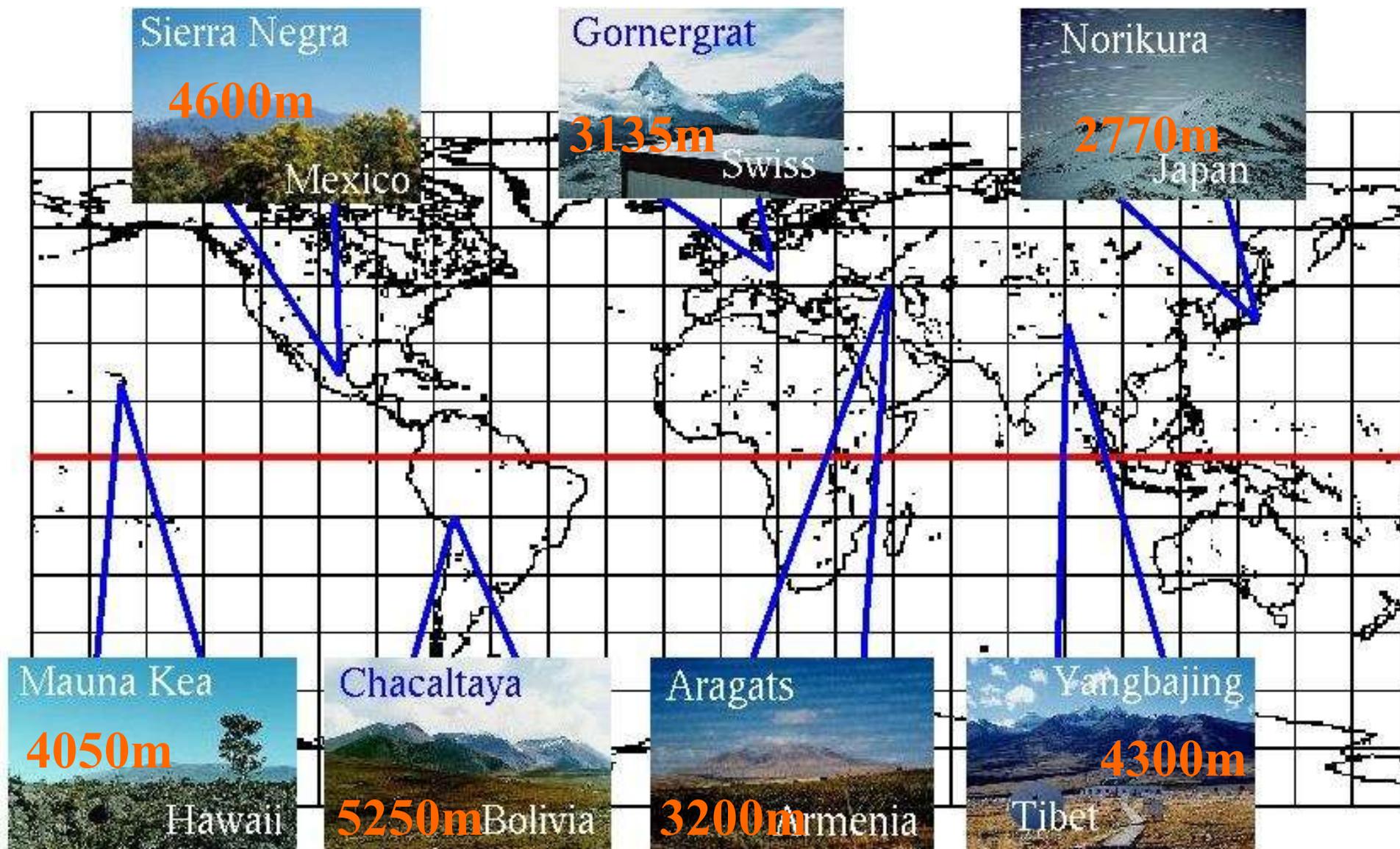
20万円強使用、残りは返却

観測の停止。

シンチレータ(50cm × 50cm × 10cm) 240枚搬出

→ アルパカ実験で使用予定

目的: 太陽高エネルギー粒子加速機構の解明を目指す



24 hour observing

operated since November 2003

Gornergrat (スイス)、Mauna Kea (ハワイ)は停止

わかってきたこと、わからないこと

太陽表面での粒子の加速機構は？

加速の効率は？

中性子の生成時間が電磁成分と同じ
と仮定すると、統計加速。

仮定なしでは ???

(Ajello et al. 2021, ApJS, Fermi LAT 45 solar gamma rays)

陽子の加速と電子の加速は異なるのか？

たとえば加速の継続時間は？

硬X線の生成時間と比べて中性子の
生成時間が長いケースが1回あった。

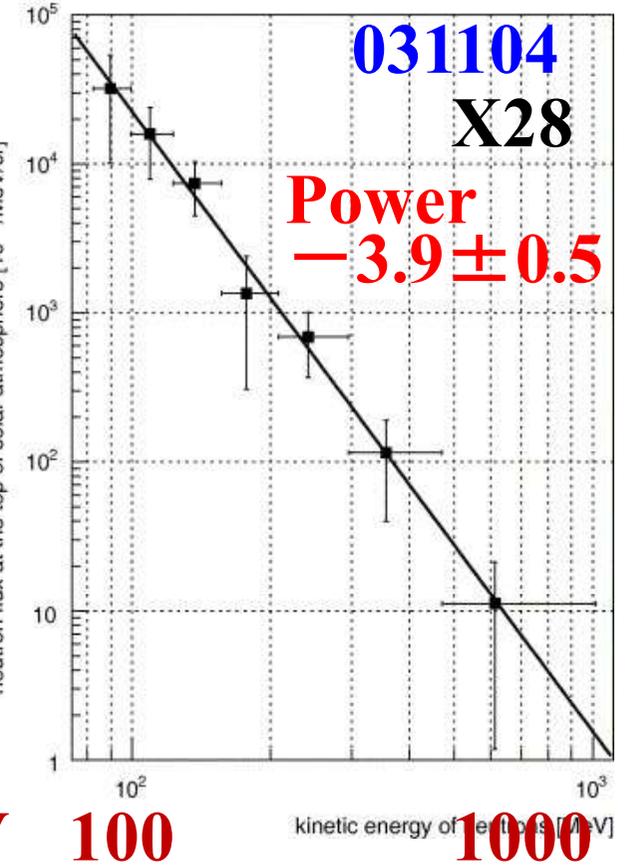
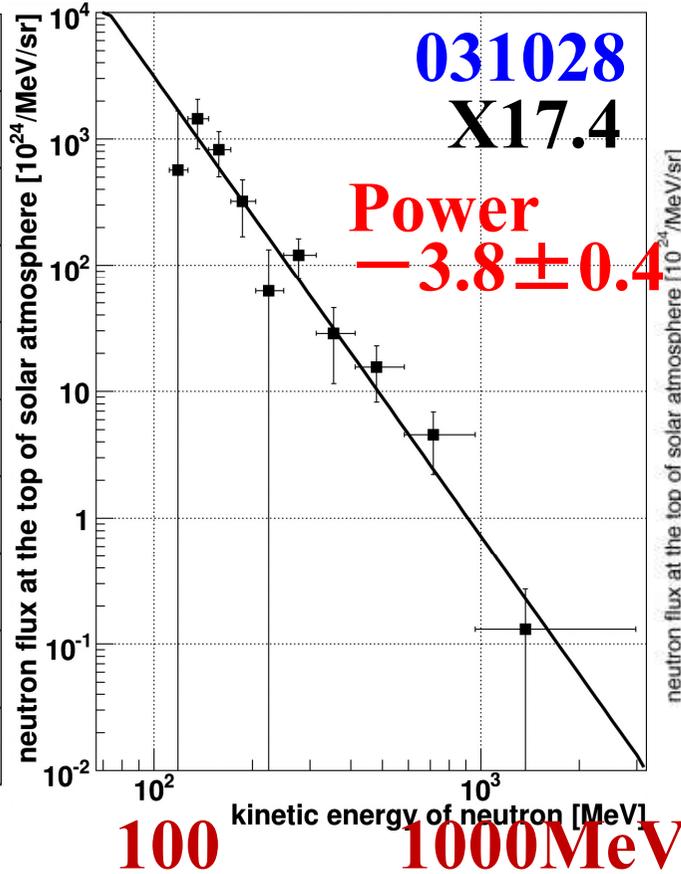
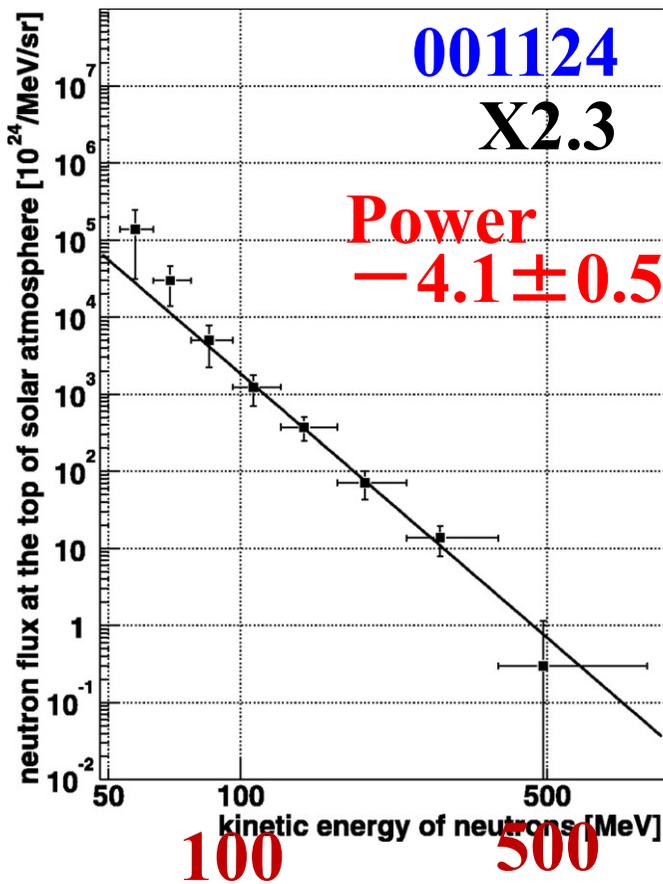
他は同時 ???

太陽フレアで中性子のもらうエネルギーは
軟X線の全エネルギーの 0.1 % 以下

Example of the energy spectrum of solar neutrons

$10^{24}/\text{MeV}/\text{sr}$

Neutrons at the Sun



Data from neutron monitor

Assumption: Neutrons are produced at the same time as electromagnetic radiations

figures from Watanabe et al.

Fermi の 45 solar gamma ray 論文の抜粋

“Emission due to **the decay of pions** (π^0, π^\pm) produced by **> 300 MeV protons and ions, with a power-law spectrum of index $\sim 4-5$ extending up to 10s of GeV,**” (主語)

produces a very good fit to **all** observed γ -rays.

The interaction producing pions is assumed to occur in the photosphere.

* **Bremsstrahlung radiation produced by electrons is unlikely** to produce observed gamma ray spectrum, because the electrons with around 100 MeV rapidly lose energies according to synchrotron radiation.

$$t_{\text{sync}} = 7.7 \times 10^8 (1/B^2) (m_e c^2 / E_e) \text{ sec} \quad (B \text{ in Gauss})$$

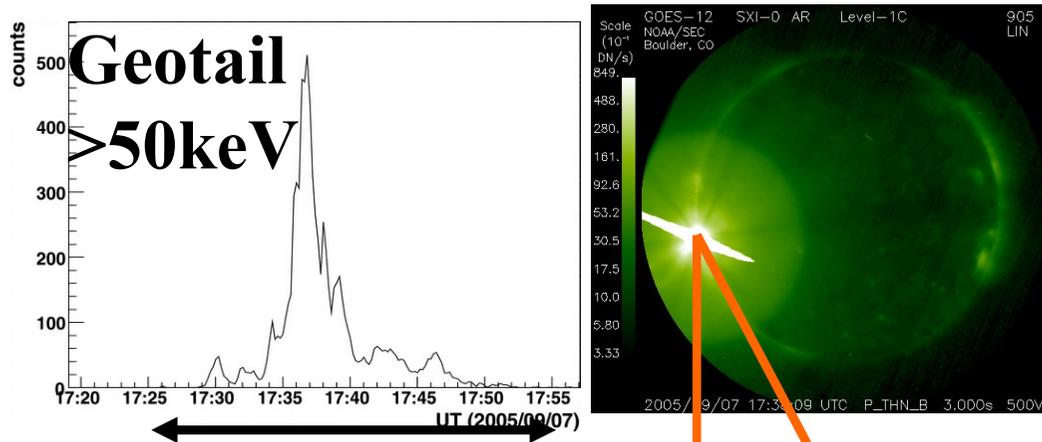
For $B = 3000$ (typical for the Sunspot), and $E_e = 100 \text{ MeV}$,

$$t_{\text{sync}} = 7.8 \times 10^2 / 9 \times 1/200 < 1 \text{ sec}$$

中性子の場合には、イオンから生成されるとわかっている。

September 7, 2005

異なるエネルギーでの
検出

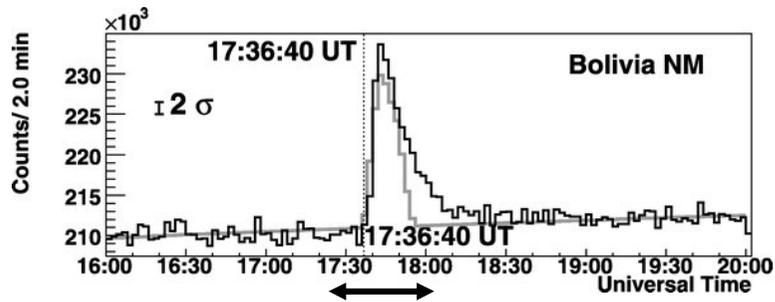


30min

中性子はX線よりも
長時間生成されていた

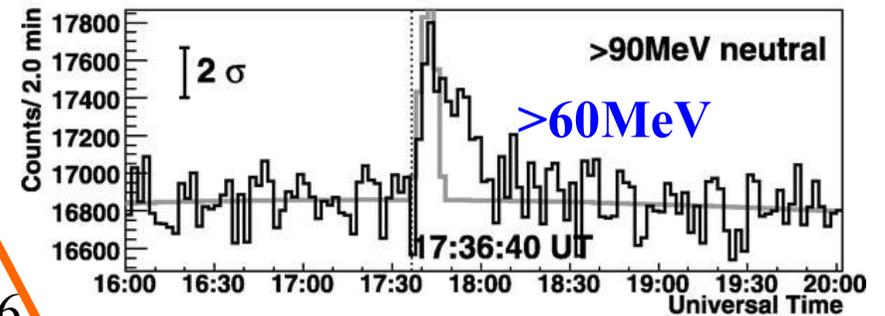
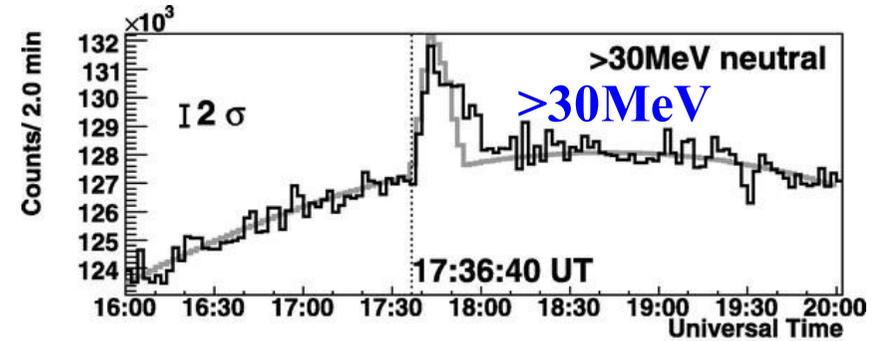
neutron

Sako et al., 2006



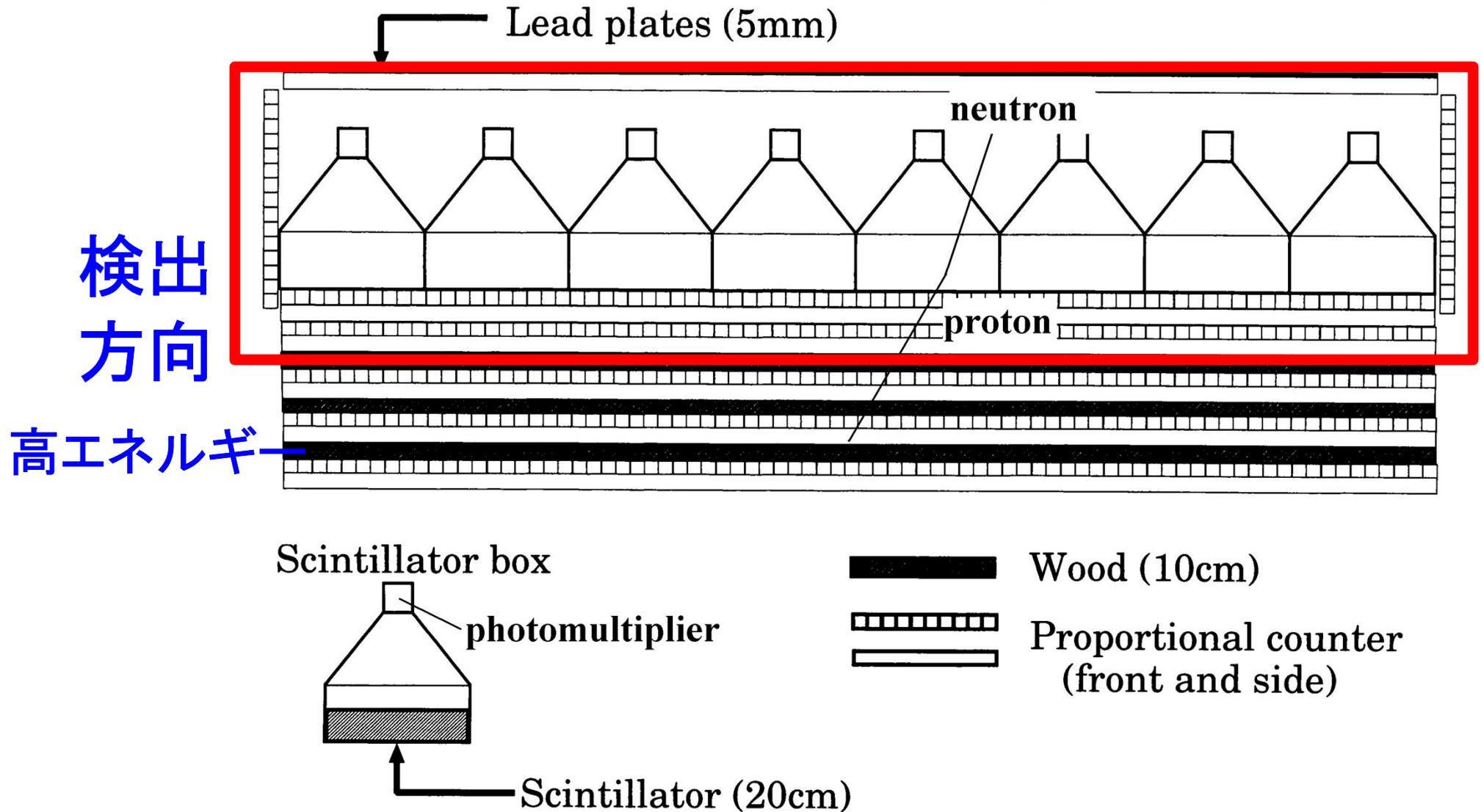
30min

Bolivia (SNT, NM)



Mexico (SNT, NM)

乗鞍太陽中性子望遠鏡



検出部・方向部に70Wの電力を自然エネルギーで供給
検出部では、反跳陽子のエネルギーに対応したしきい値での計数率を測定。
注) 1 GeV中性子で光より1分遅れ。100 MeVで11分遅れ(太陽-地球間)。

乗鞍自然エネルギー



10年くらい前の写真であるが、停止するまで、天気のいいときには発電していた。

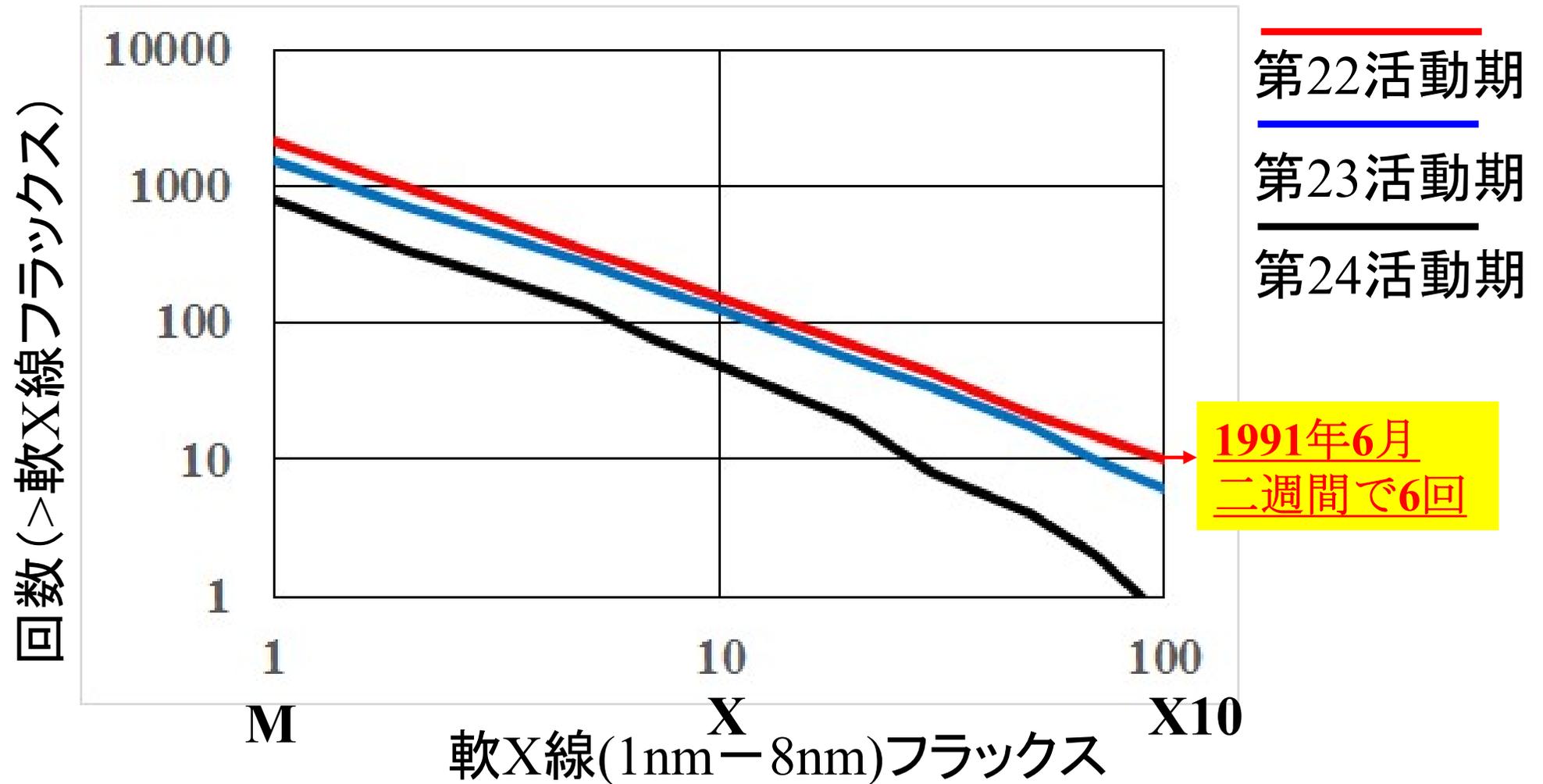
バッテリー 22台



太陽電池と、データ取得システムと接続されていた。全体の電圧が 11.6 V 以下になると、データ取得系への電力供給をやめていた。

乗鞍上空で大きなフレアがなかった

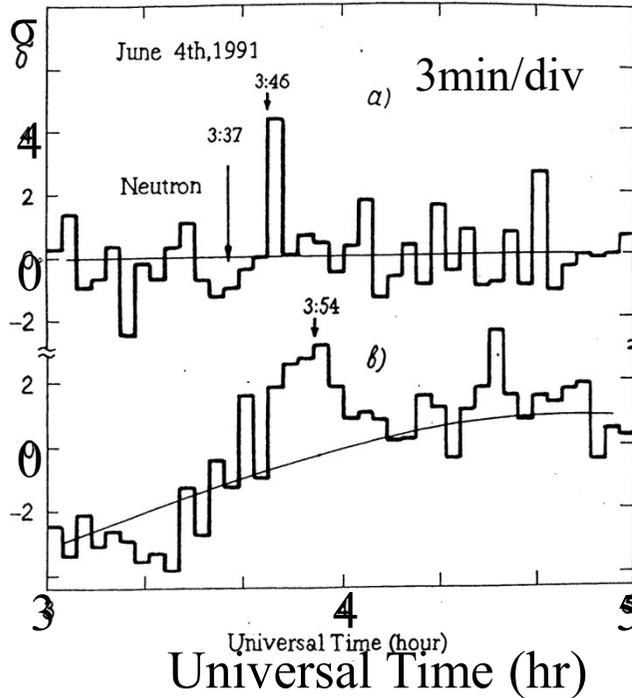
< 太陽フレアの規模の積分分布 >



Xclass: 10^{-4} Watts/m² at 35,800 km

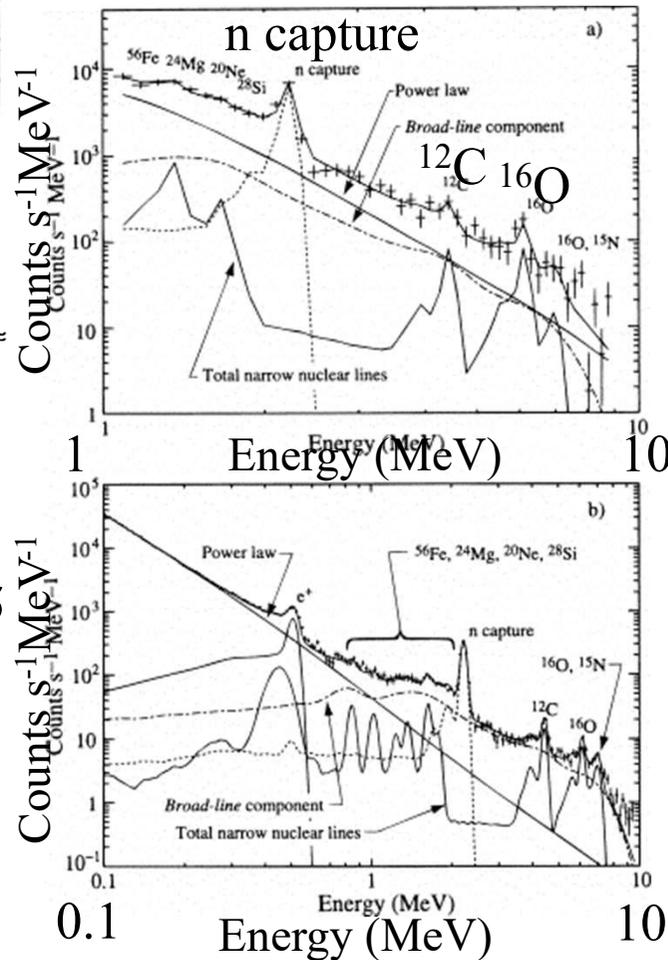
第22, 23, 24と太陽活動期が進むにつれ、大規模フレアが減少している。

1991年6月は特別 (また来るかも???)

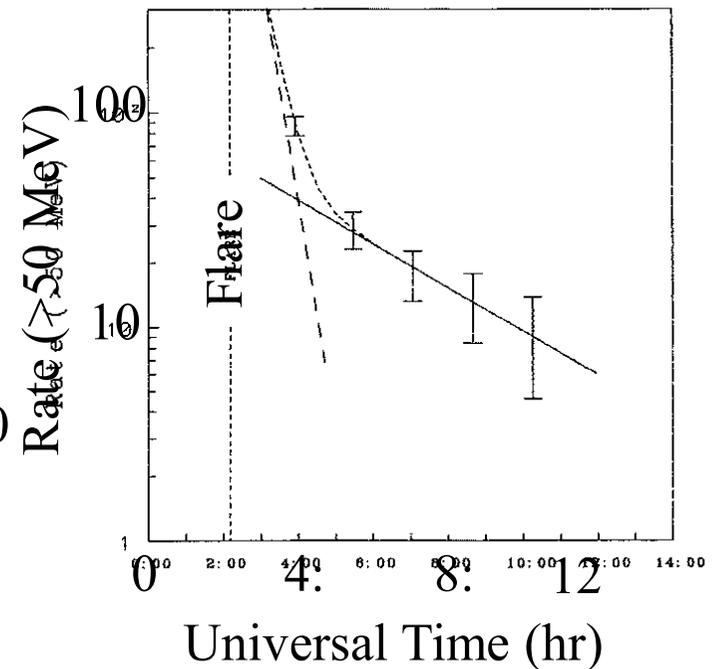


19910604:
 乗鞍での太陽中性子の検出
 (Muraki et al. 1992)

1991年6月1, 4,
 6, 9, 11, 15に
 $\geq X10$ フレア。
 たくさんの論文



19910604:
 CGRO-OSSE による
 核ガンマ線の検出
 (Murphy et al. 1997)
 これも長時間(OSSE)



19910611:
 CGRO-EGRET による
 長時間ガンマ線の検出
 (Kanbach et al. 1993)

長時間ガンマ線は
 Fermi でも複数観測されて
 いる。(Ajello et al. 2021)

最後になりますが

長きにわたる宇宙線研究所のサポートに感謝します。

乗鞍観測所のスタッフの皆様には、本当にお世話になりました。



これが一番新しい写真です。9年前。

Observatory for solar neutrons



Norikura

Chacaltaya

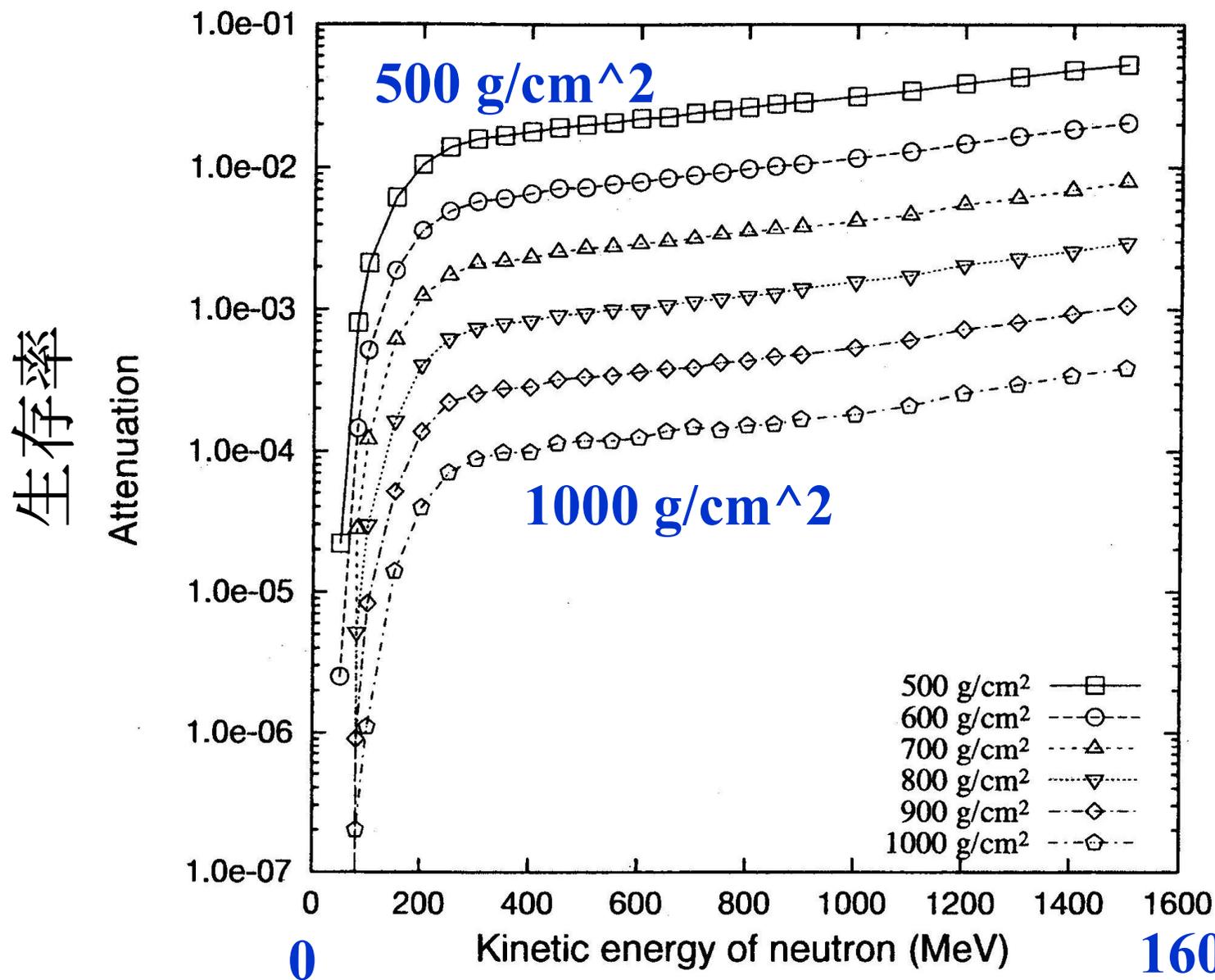
Sierra Negra



**Lowest, but most difficult
to access in winter**



中性子の大気中での減衰



by H. Tsuchiya

中性子は大気中で減衰する。地上観測は>100MeV。

メキシコ・シエラネグラ (4,600m)で2013年9月より運転



April , 2013



September , 2013

シンチレータバー 14,848
(各1.3cm × 2.5cm × 300 cm)

全体積 3m × 3m × 1.7m

輻射長 43 g/cm²

8XYを1ブロックとする8ブロック

SciCART (SciBar Cosmic Ray Telescope)

中性子8分の3とミューオンが稼働中

太陽中性子のエネルギースペクトルの決定

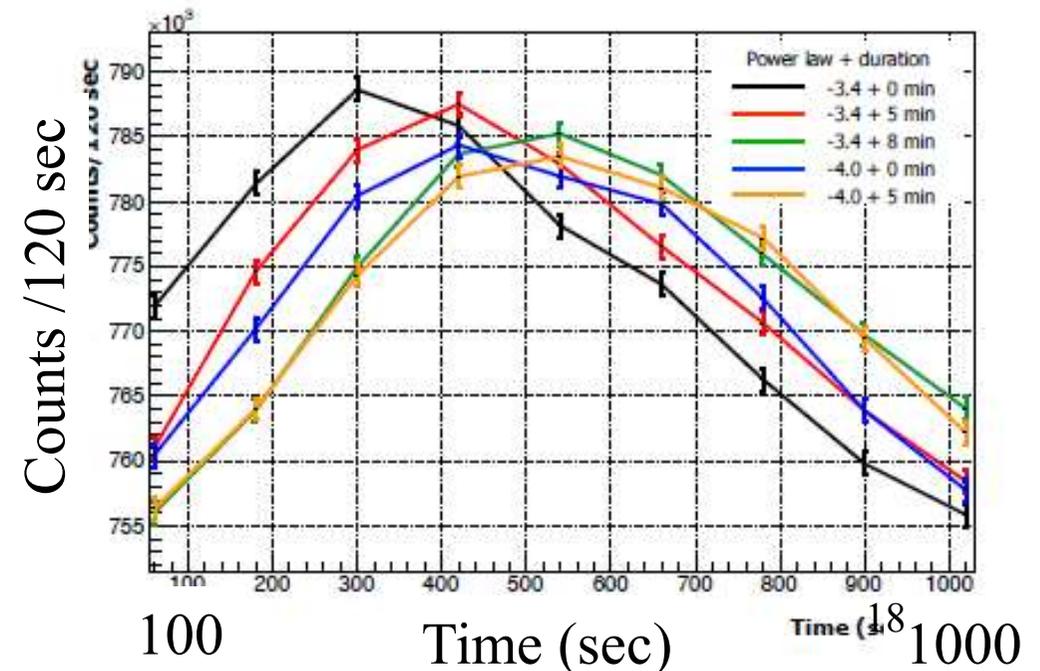
これまでで最も統計的に有意だった太陽中性子イベントと同規模のイベントが起こった時、SciCRTの観測で、生成時間とべきが同時に決定できるか、シミュレーションを行った。

⇒

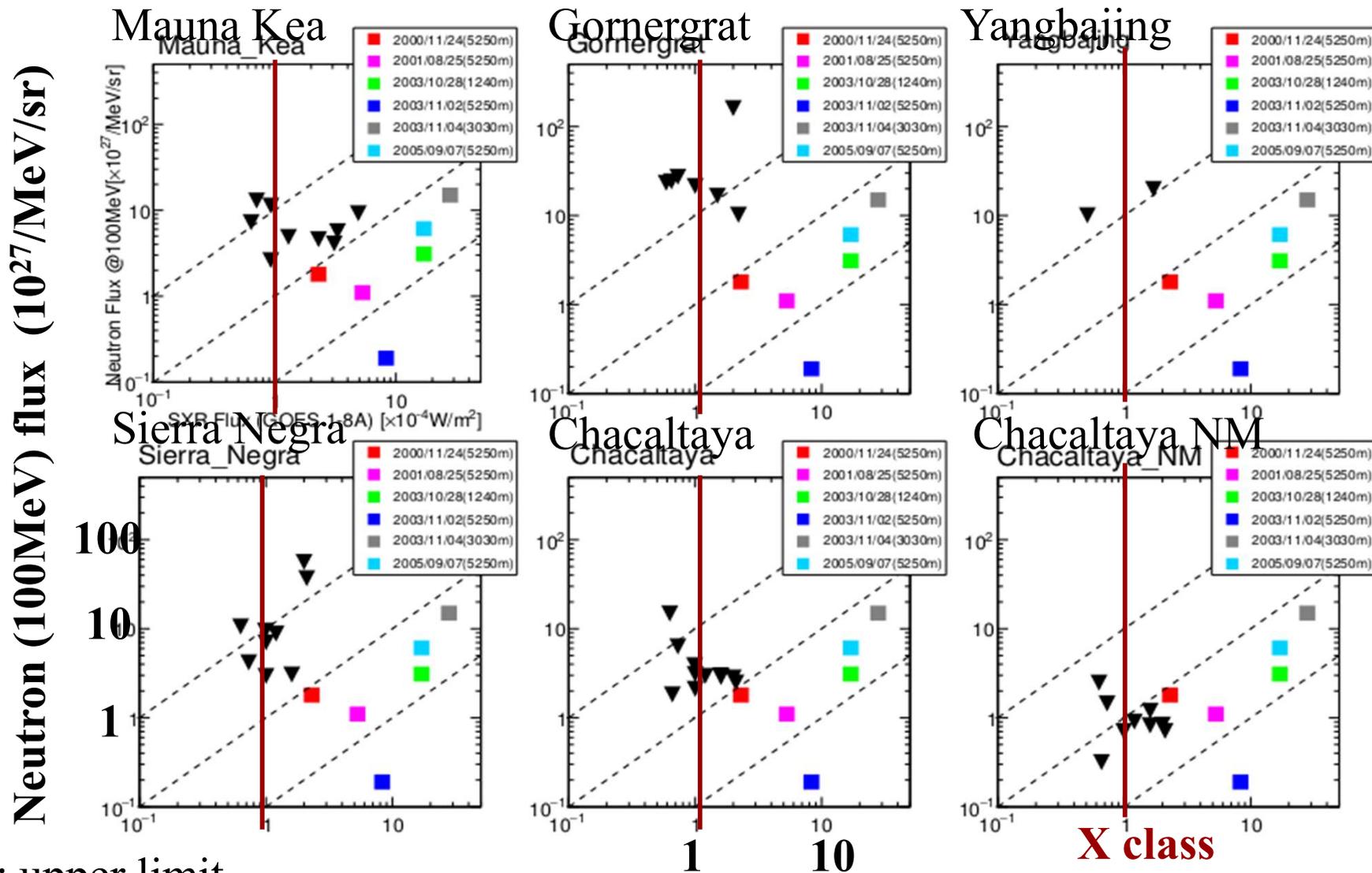
エネルギースペクトルのべきの決定精度を ± 0.5 としたとき、中性子の瞬間的な生成と5分以上の継続生成を区別できる。

(Y. Sasai, PhD thesis 2017, Y. Sasai et al., Proc. in the 35th ICRC)

シミュレーションの例。
生成時間とスペクトルを仮定した太陽中性子の SciCRT での測定。
Shibata model (大気中)
PHITS (バックグラウンド)
Particle and Heavy Ion Transport code
GEANT (検出器)



The upper limit versus soft X-ray flux



▼: upper limit,

□: flux

Soft X-ray flux (10^{-4} watts/m²)

太陽フレアで中性子の得るエネルギーは

軟X線の得る全エネルギーの 0.1% を超えない。 19