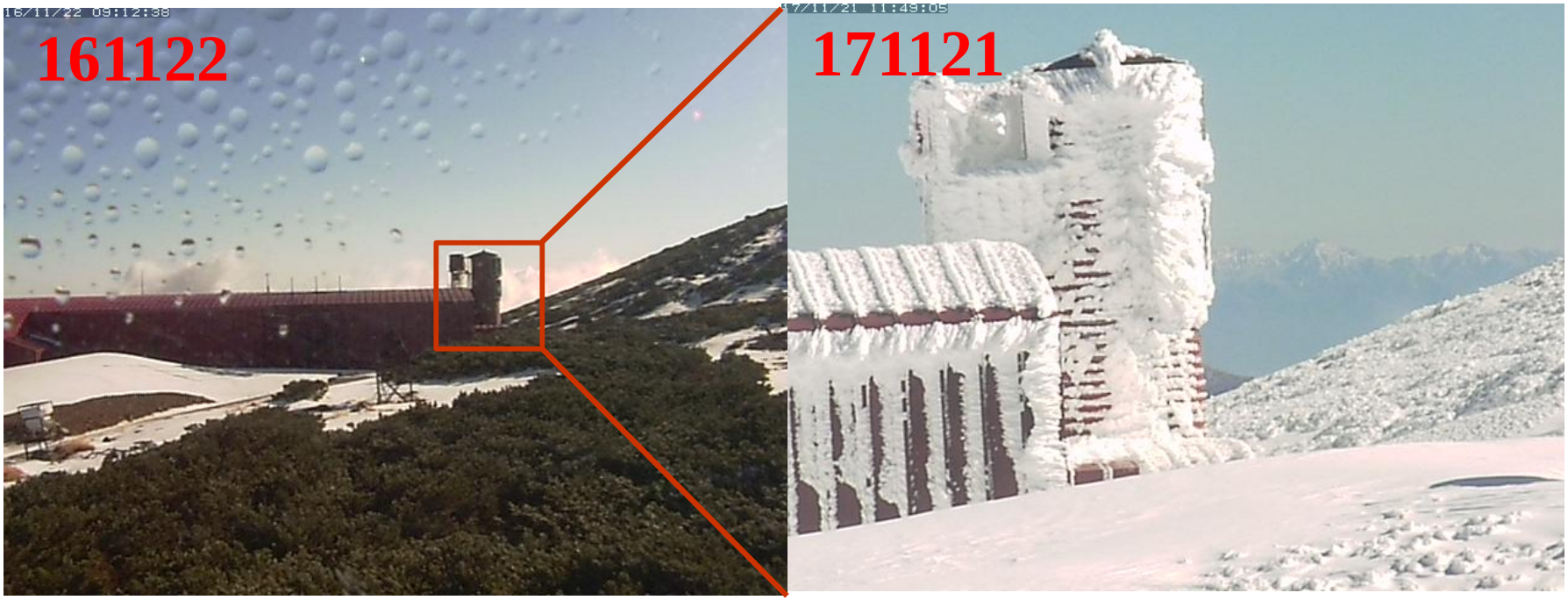
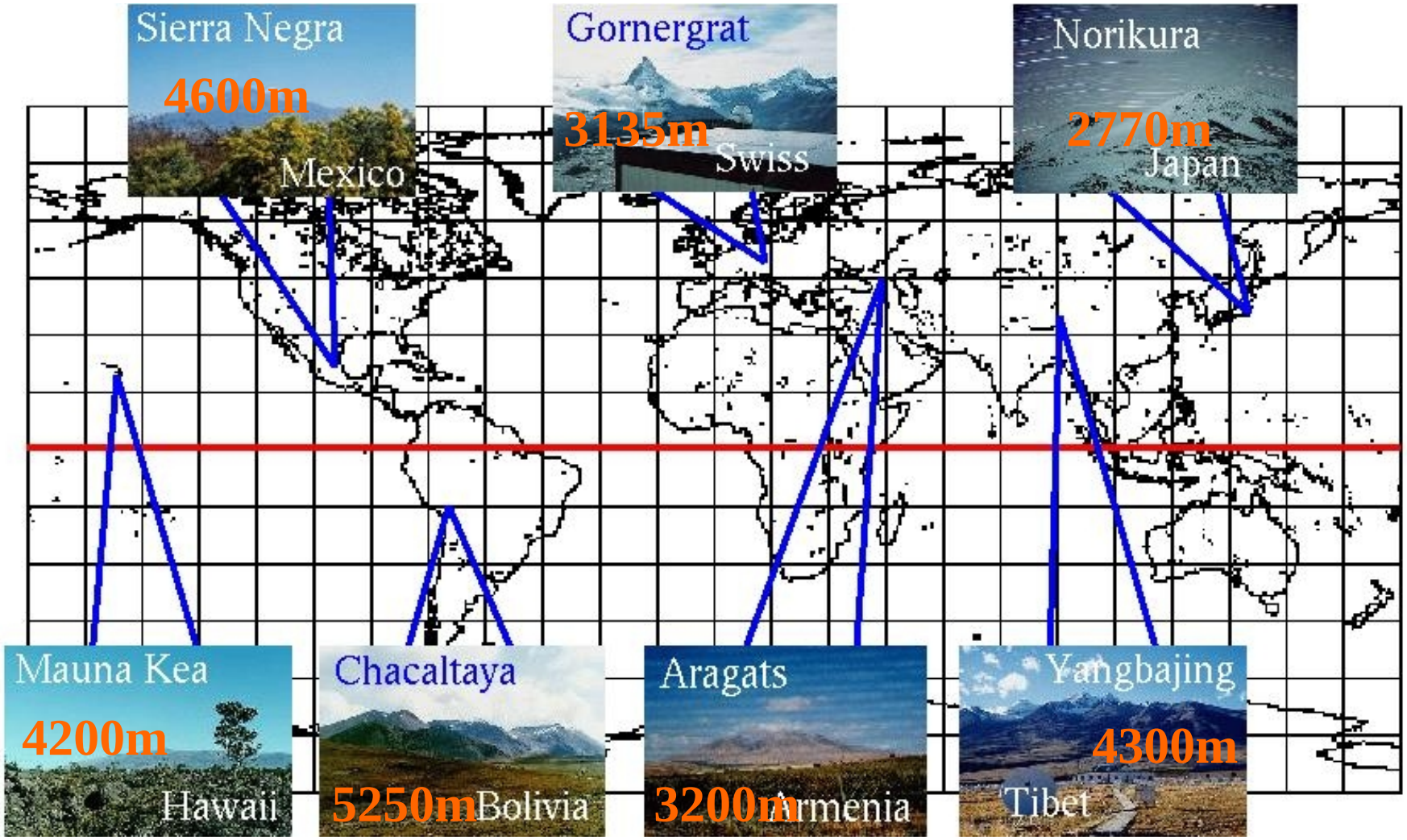
第24太陽活動期における太陽中性子の観測



名古屋大学宇宙地球環境研究所
松原豊

平成29年度共同利用研究成果発表研究会
平成29年12月8日
東京大学宇宙線研究所

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

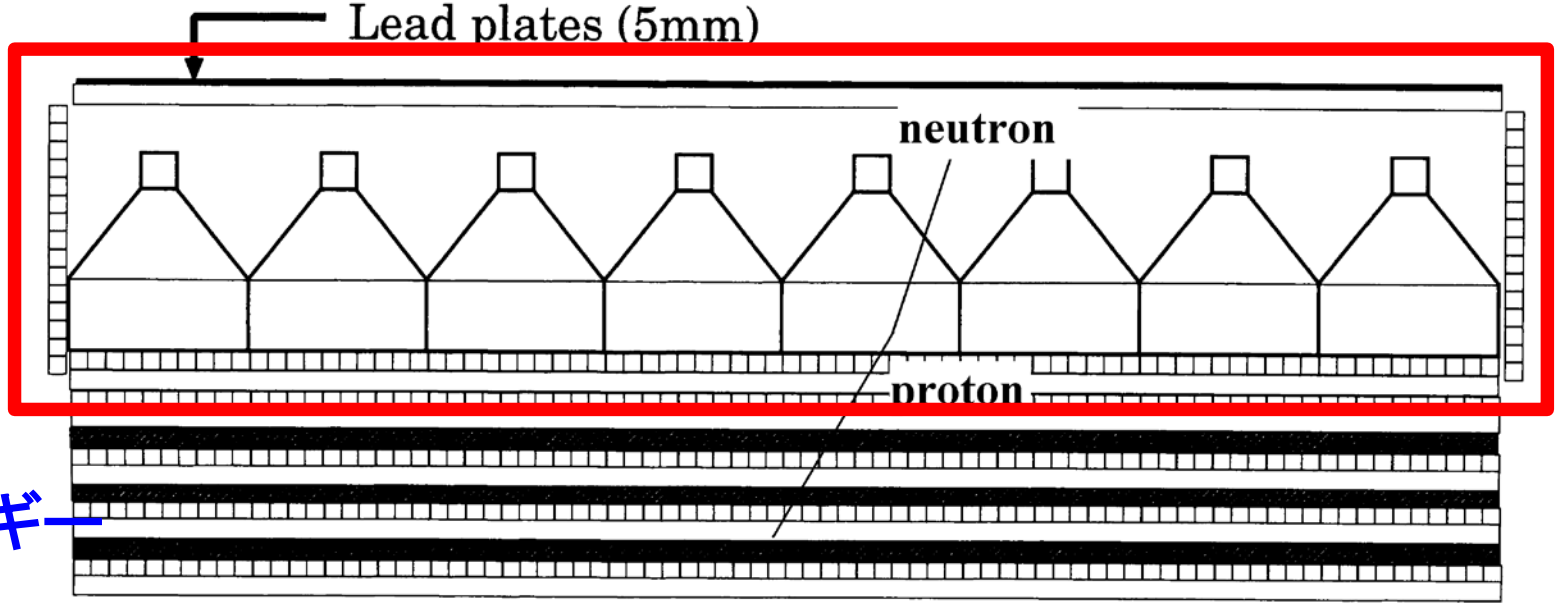
operated since November 2003

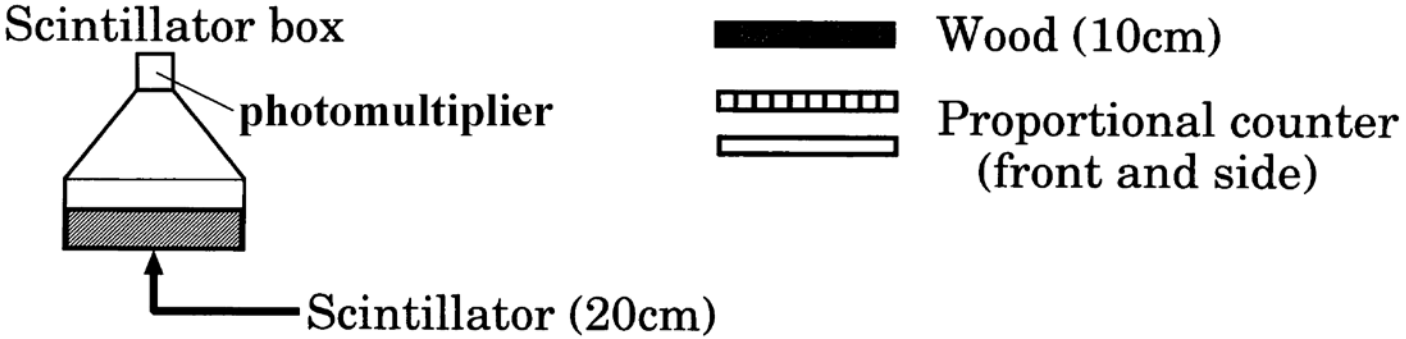
Gornergrat (スイス）は2017年5月10日で運転停止。

乗鞍太陽中性子望遠鏡

検出
方向

高エネルギー





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）。

本共同研究課題の内容

乗鞍太陽中性子望遠鏡の保守と安定したエネルギー供給

認められた経費

旅費　60万円

経費の使用内訳

旅費

バッテリー充電、検出器チェック等に関わる旅費

乗鞍観測所は、7月－9月に開所

昨年度まで、8月に～14日の休みがあったのが、

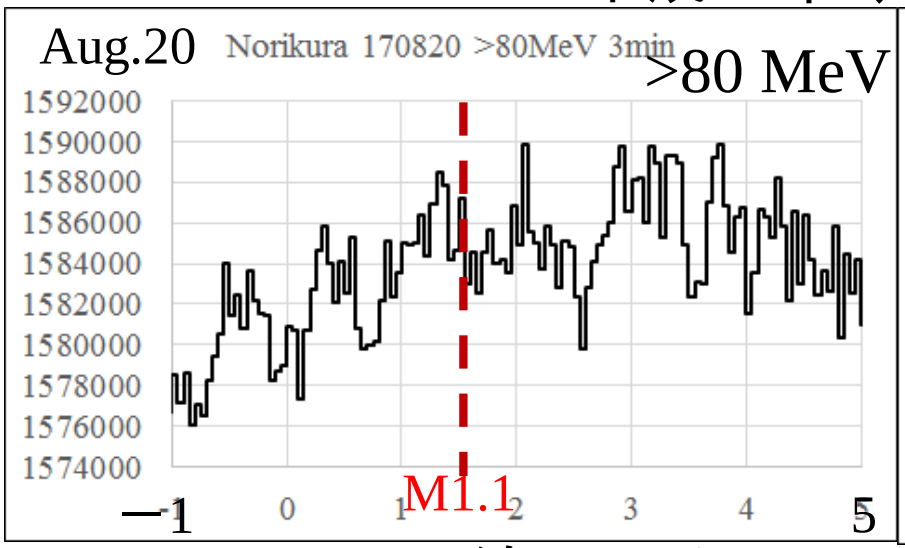
今年は、なかった（**ずっとAC100Vを利用できた！**）。

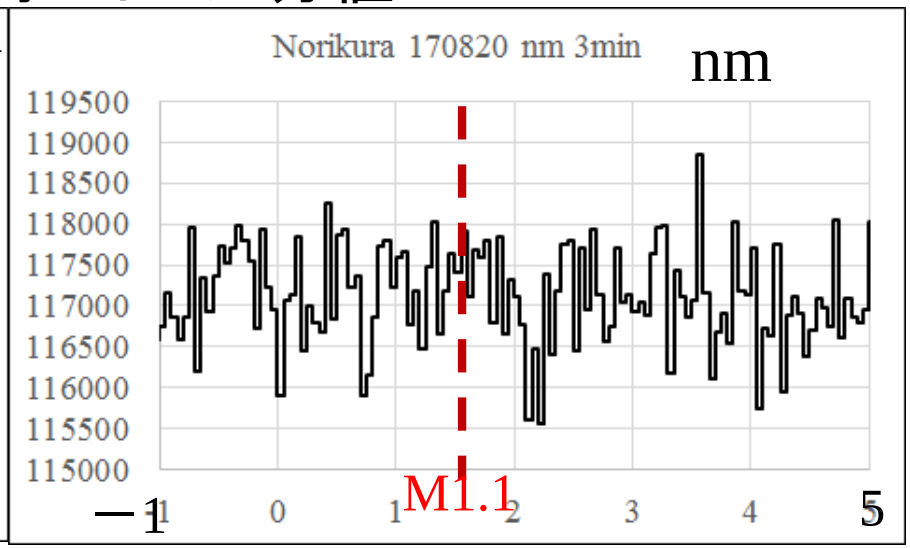
経費も、職員の方の尽力も

どうもありがとうございました！！！

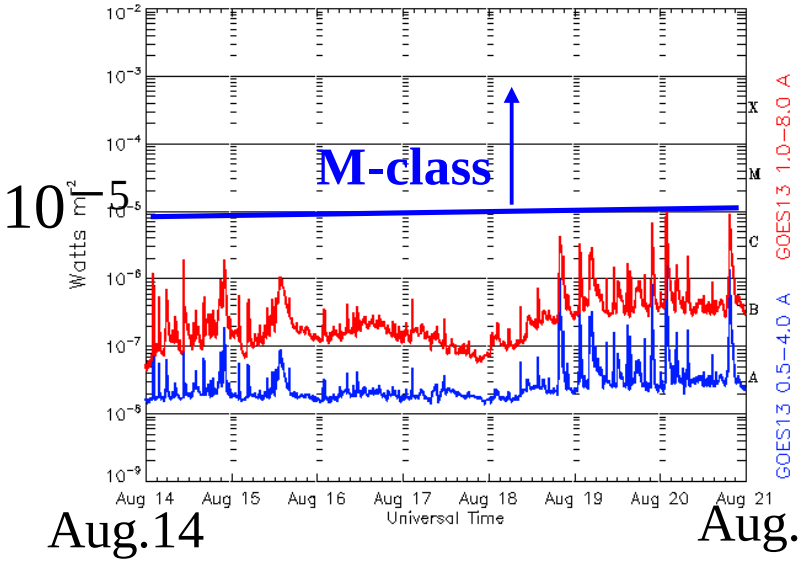
乗鞍64m²太陽中性子望遠鏡の稼働状況

平成29年8月20日の3分値





W/m² GOES X線フラックス



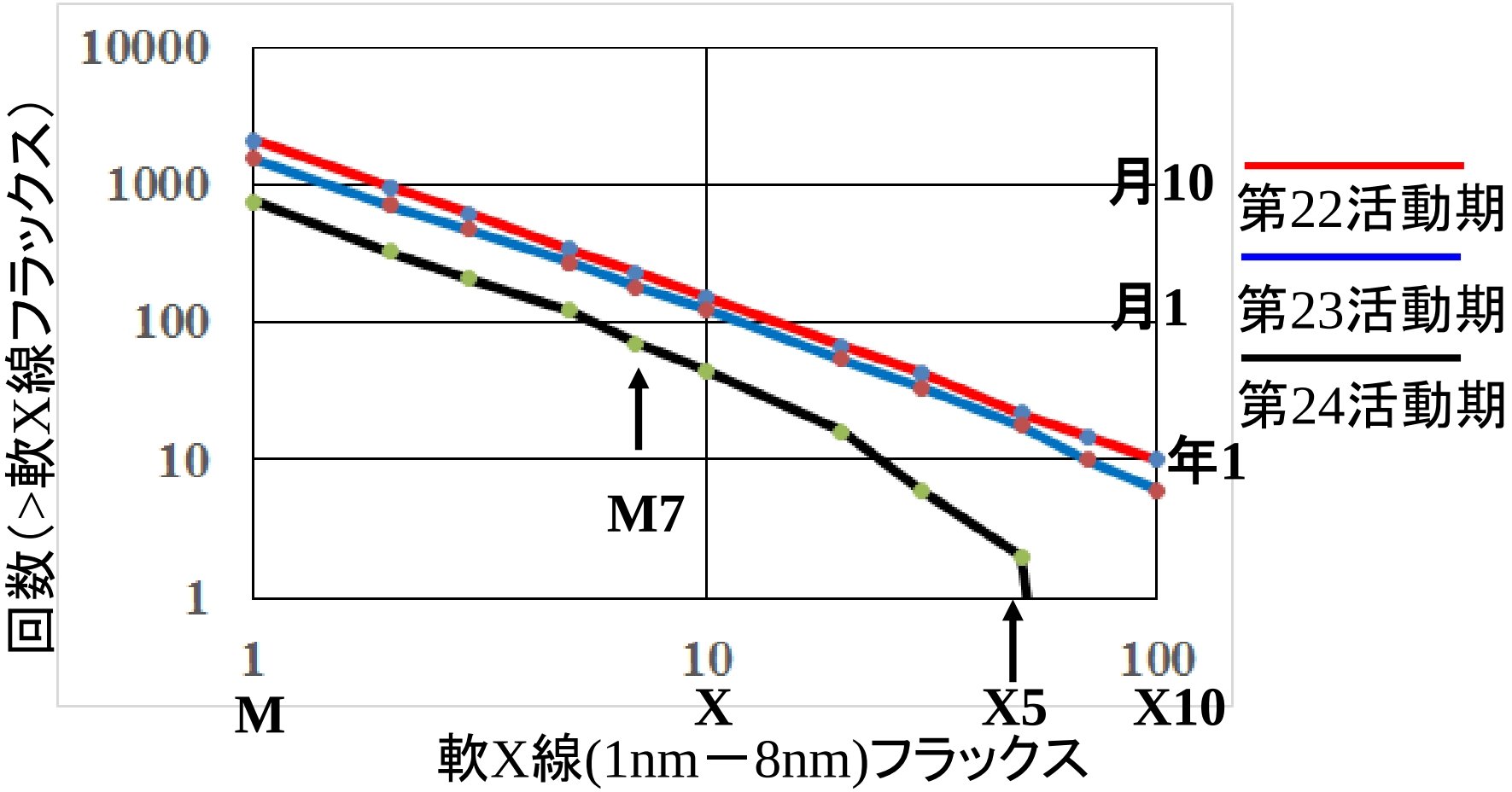
Time (UT)

バッテリー電圧が11.6V未満にならなければデータ収集を継続。
異なるエネルギーしきい値での計数値を10秒ごとに記録。
中性子モニターを含む。

2017年の>Mクラスフレアは11回（この時点で）。

第24太陽活動期は極小期？

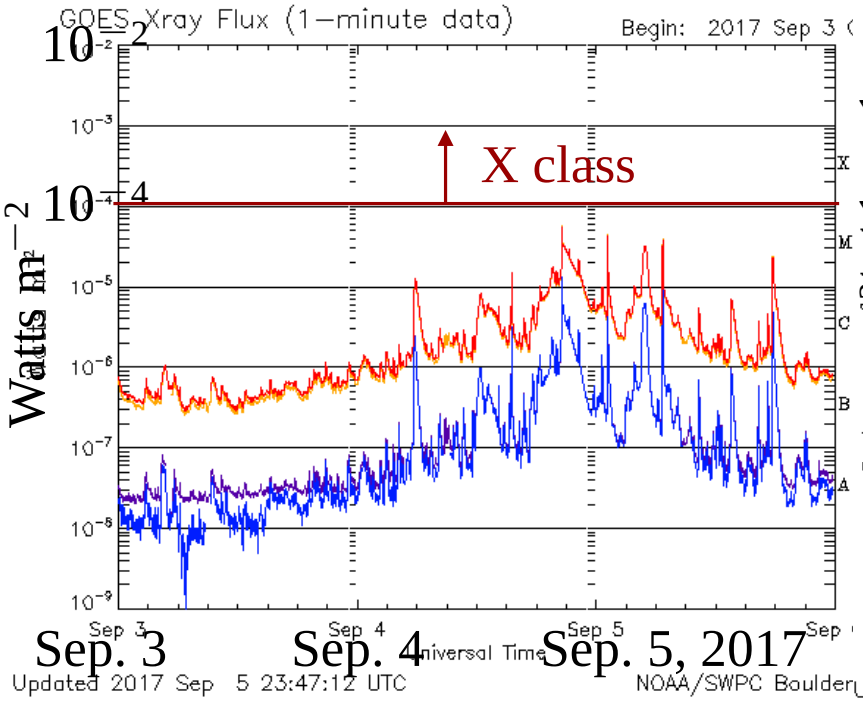
< 太陽フレアの規模の積分分布 >

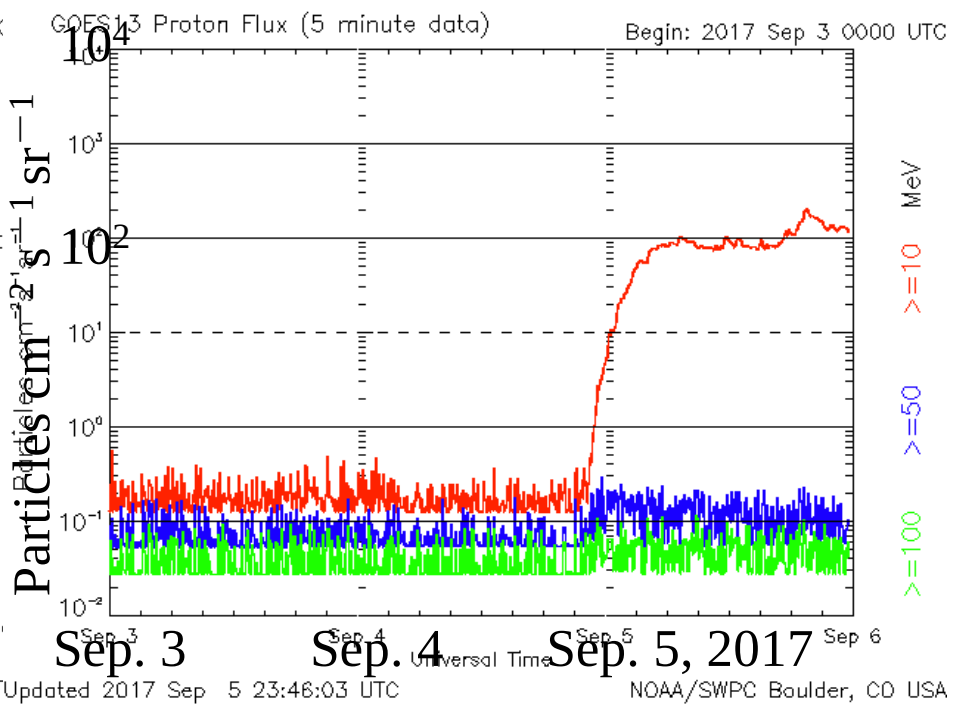


注: Xクラスは、10^{-4} Wm^{-2} at 35,800 km (GOES 衛星）
2017年8月までの統計。JPSM 用。前報告会でも同様の絵。

2017年1月－8月で、M以上は11回しかなかったが

こんな日も

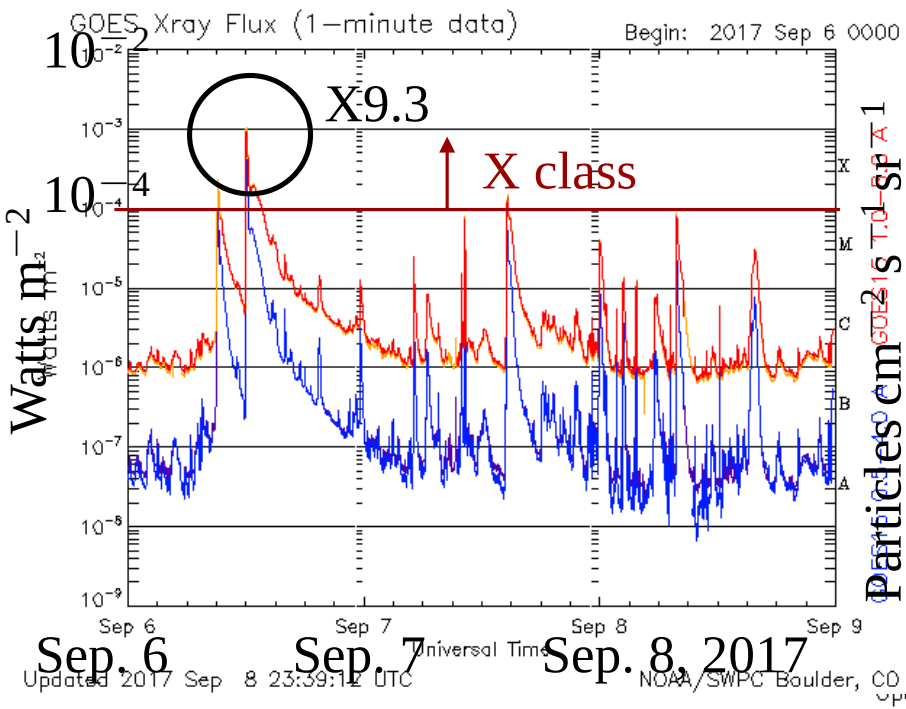




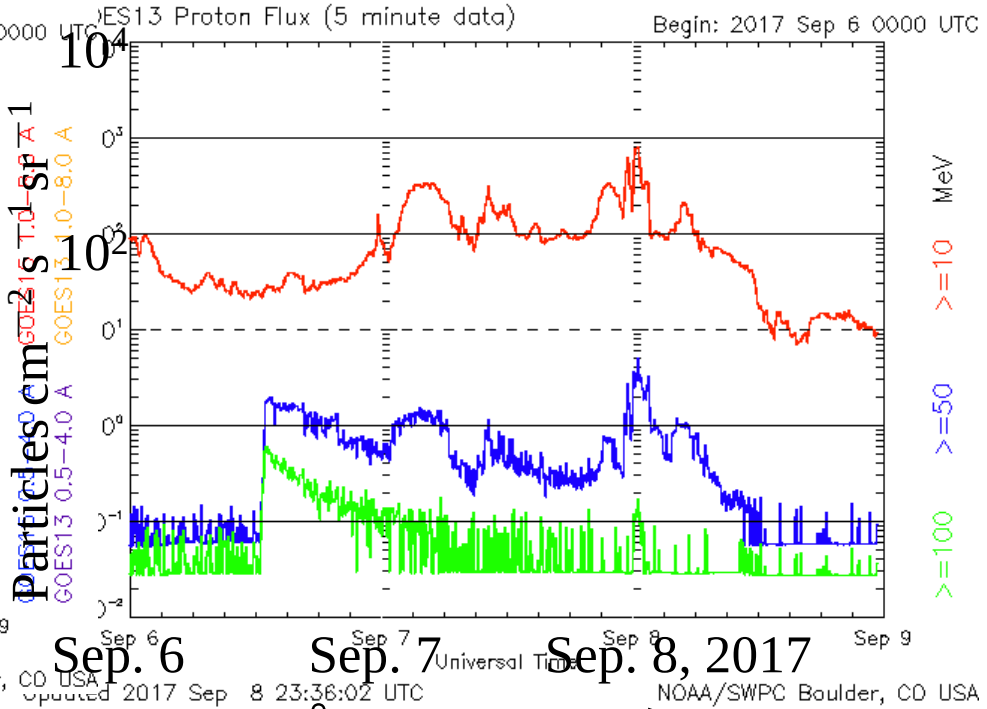
X線フラックス
1nm－8nm
0.5nm－4nm)

プロトンフラックス
> 10 MeV
> 50 MeV
> 100 MeV

その3日後には



Sep. 6　Sep. 7　Sep. 8, 2017



Sep. 6　Sep. 7　Sep. 8, 2017

X線フラックス

1nm－8nm

0.5nm－4nm)

プロトンフラックス

> 10 MeV

> 50 MeV

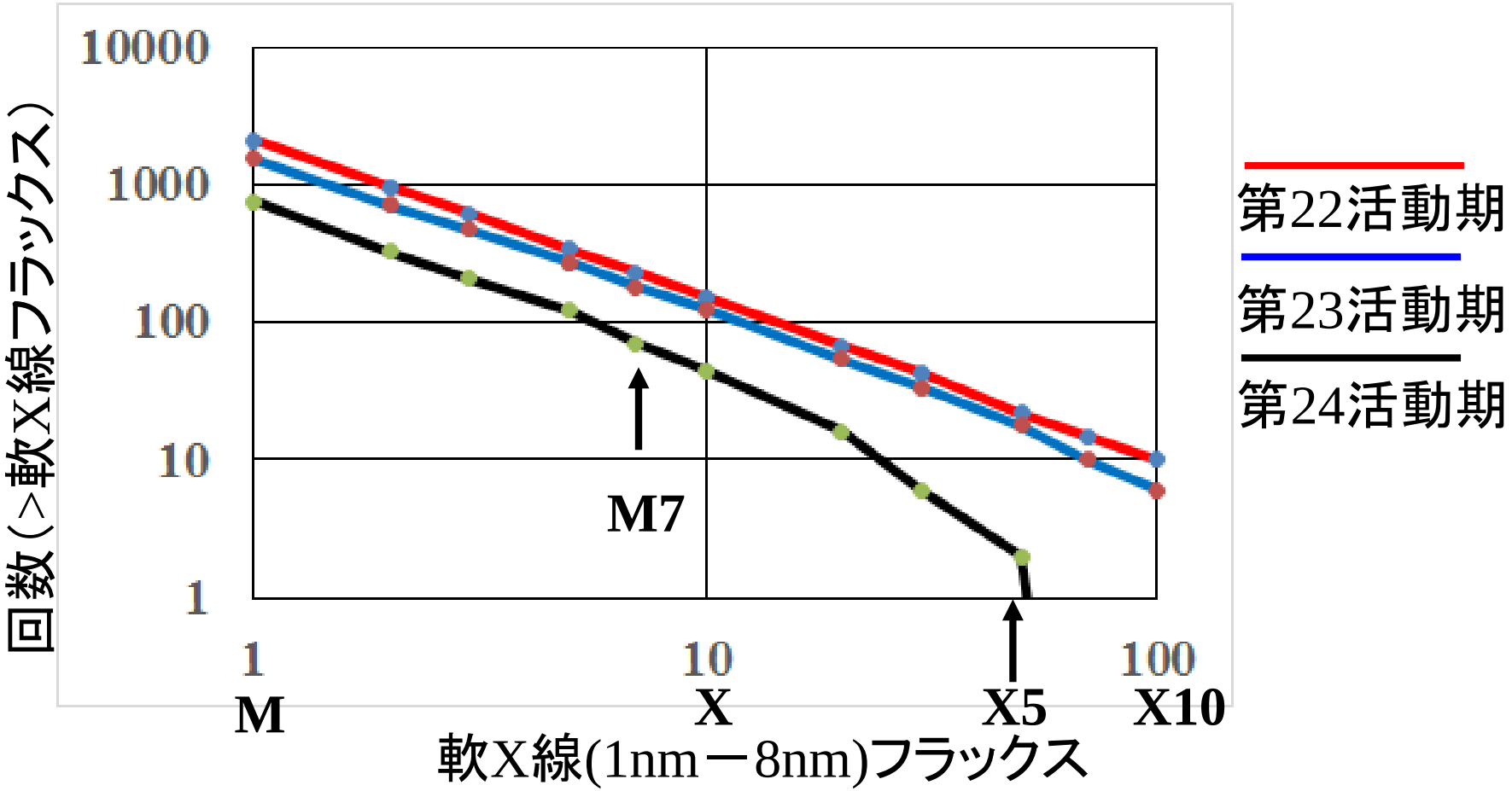
> 100 MeV

この **X9.3** のフレアは、

（止めてしまった）スイスでの観測に最適だった。

第24太陽活動期は極小期？

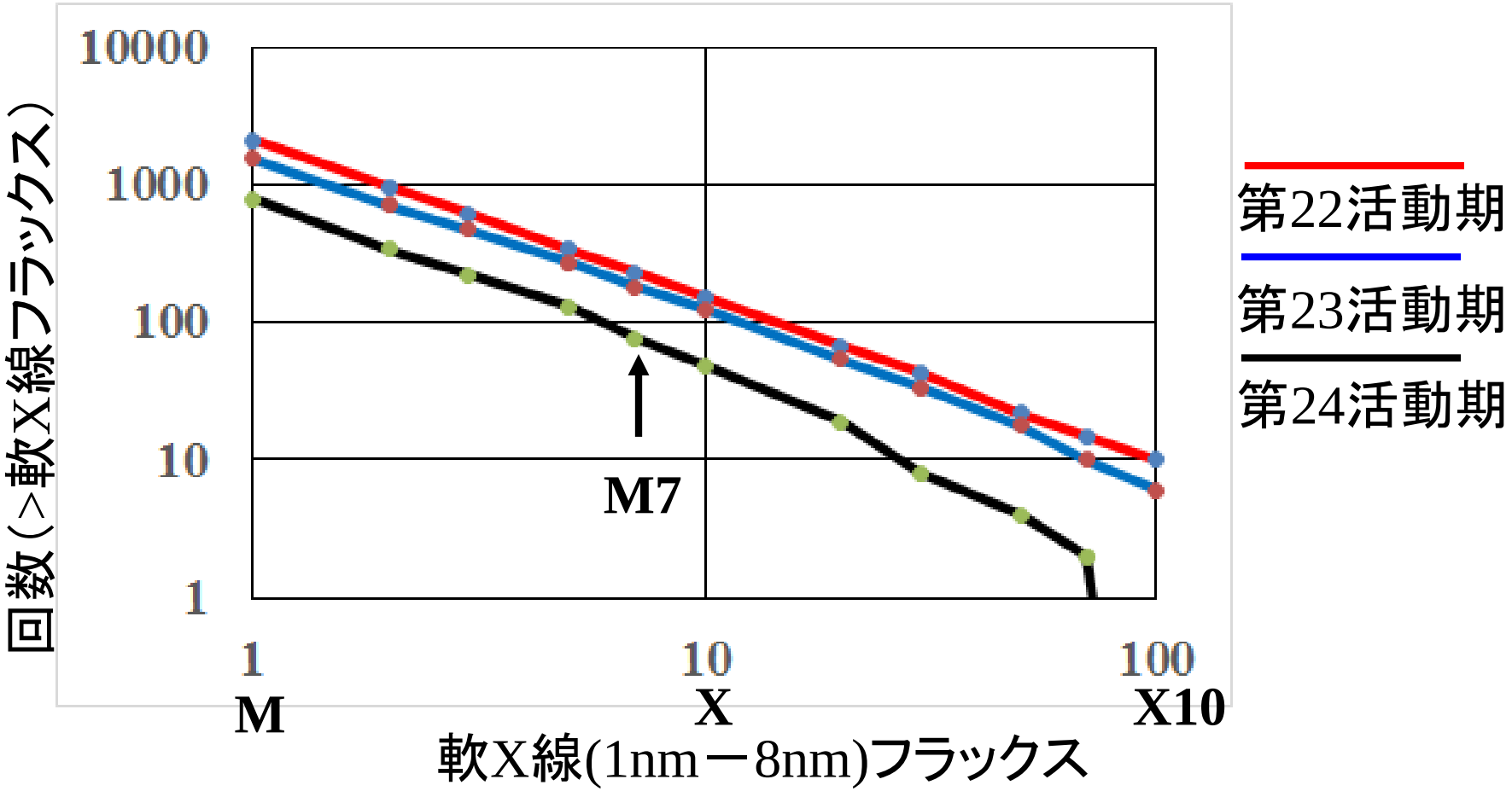
＜太陽フレアの規模の積分分布＞



2017年8月までの統計。JPSM 用。前報告会でも同様の絵、
にたいして、9月から11月までの統計を加えると、

第24太陽活動期は極小期？

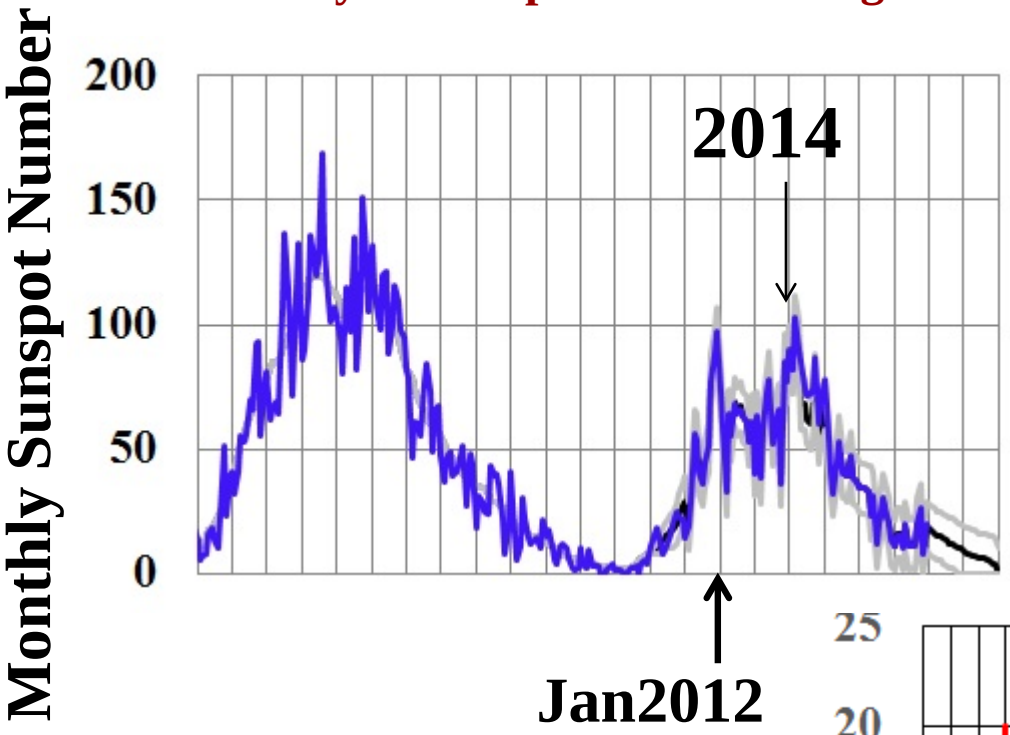
< 太陽フレアの規模の積分分布 >



太陽フレアの規模の積分分布のカットオフ？
がなくなってきた。

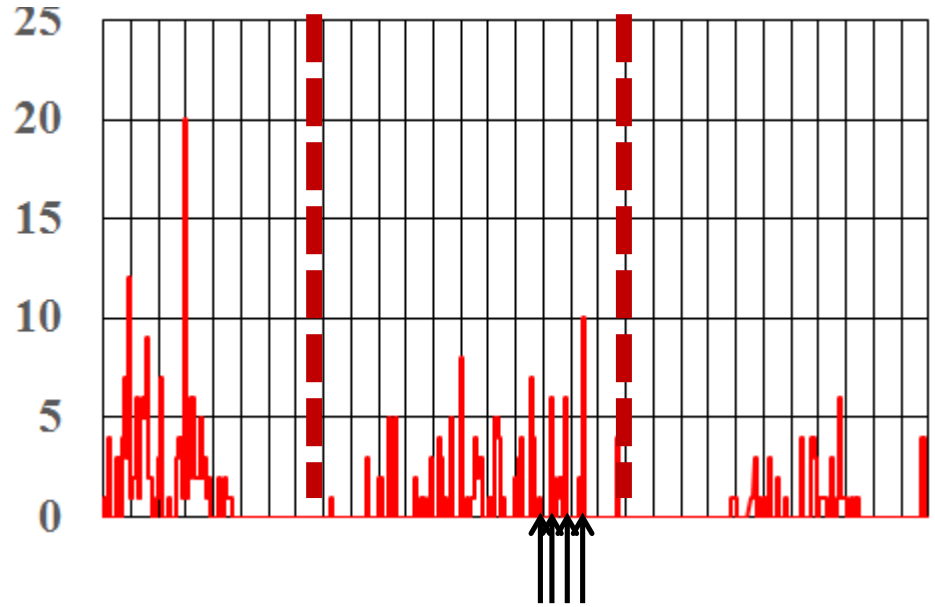
太陽活動は極大を過ぎた

ISES Solar Cycle Sunspot Number Progression



黒点数では
2014年2月が極大

Monthly X-class flares
for 30 years



しかしXクラスのフレアは
時々発生している

矢印は太陽中性子
イベント(2003-2005)

まとめ

本研究は、第24太陽活動期における太陽中性子観測拠点である乗鞍太陽中性子望遠鏡を維持するものである。

平成29年度は、60万円査定していただきました。おかげさまで、データ収集を継続できています。

第24太陽活動期は極大を過ぎたが、今後も観測を継続します。

夏休みなしで開所していただき、ありがとうございました。

来年度もよろしくお願いします！

平成29年9月には、極大時を
思わせる巨大フレアが頻発した。
残念ながら、この巨大フレア時に
我々の検出器で太陽中性子は
検出されていない。

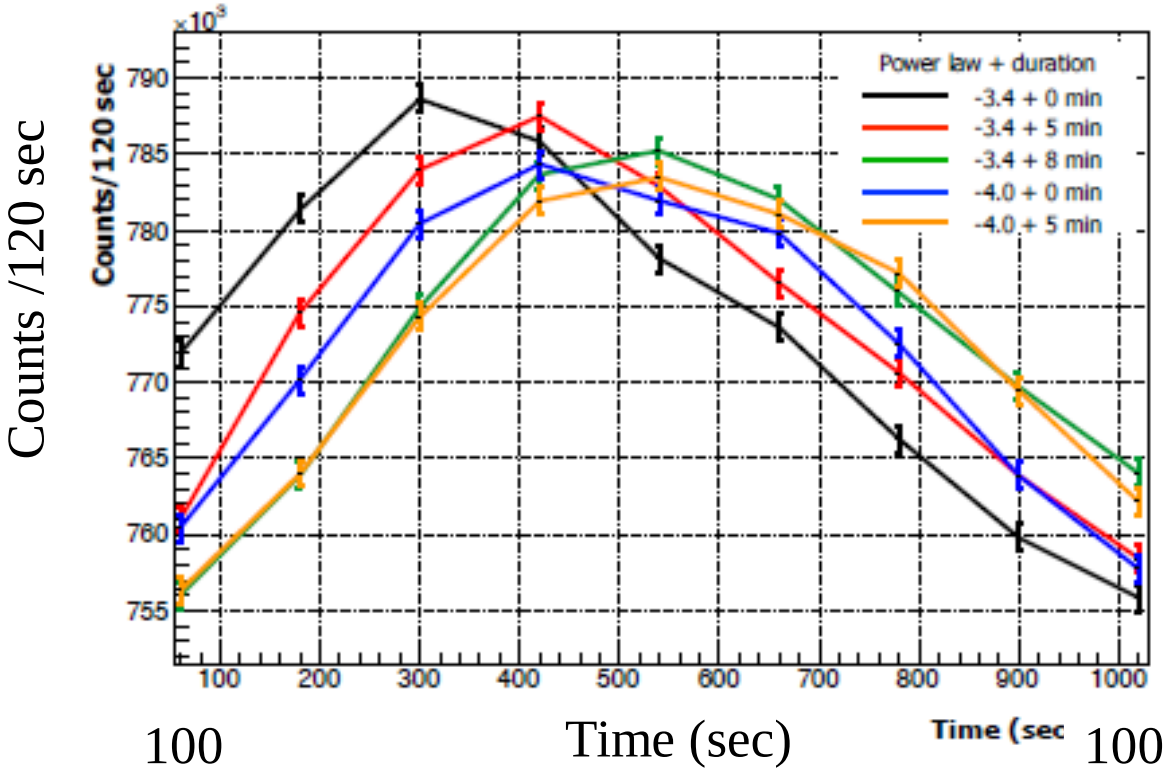
太陽中性子のスペクトルと生成時間

これまでに最も有意に検出された太陽中性子イベントのフラックスを仮定。
太陽表面での中性子のスペクトルと生成時間を変えて、地球で観測
される >7 MeV 中性子の時間分布を調べた。
メキシコに設置した SciBar を用いた検出器を仮定。

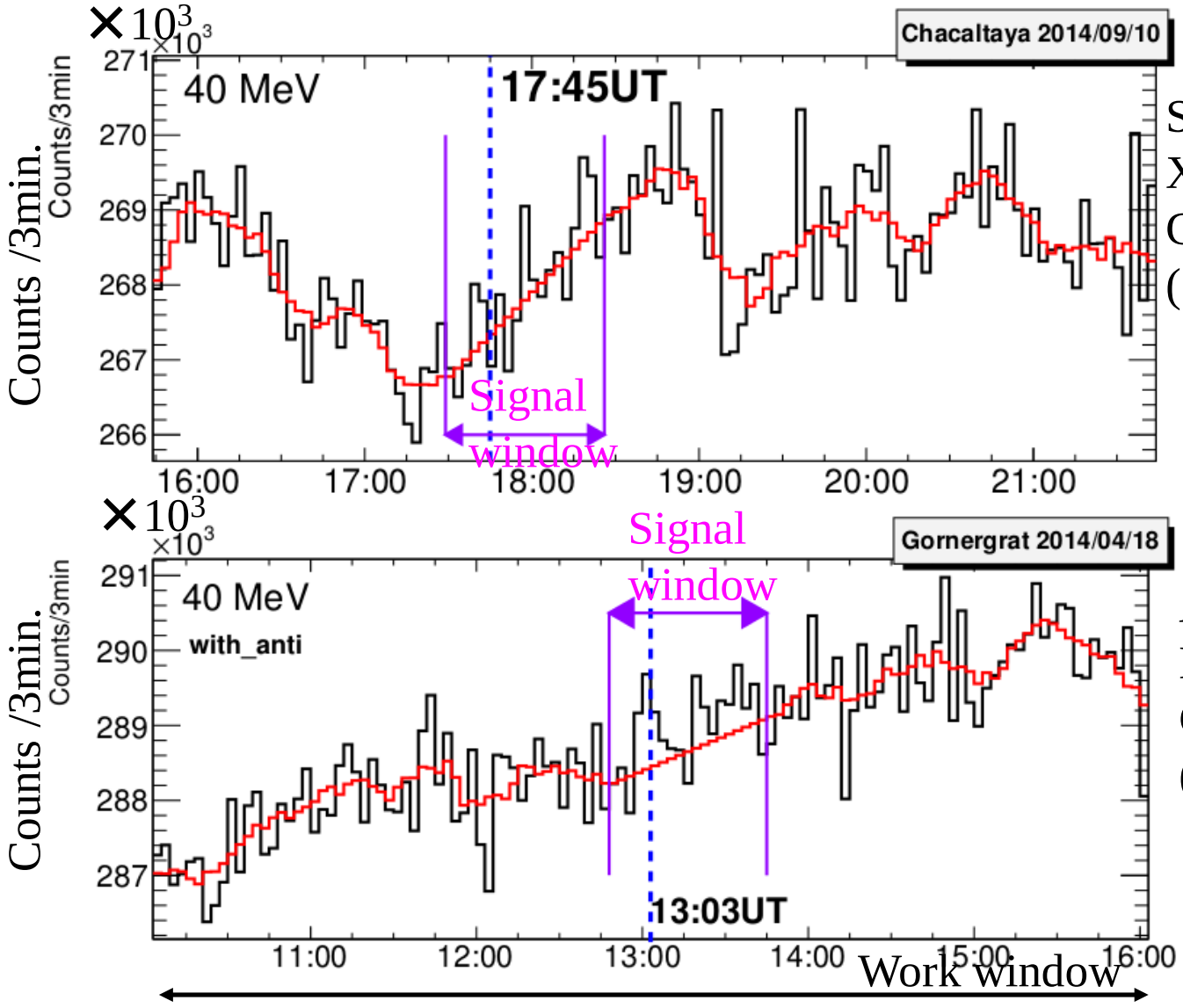
Shibata model （中性子の大気中での伝播）
PHITS = Particle and Heavy Ion Transport code （バックグラウンド）
GEANT （検出器）

$dN/dE = AE^{-\gamma}$
γ＝ 3.4, or 4.0
生成時間
0 min
5 min
8 min

の組み合わせを変え、
検出される中性子の
時間分布を比べた。



軟X線と同時に生成された太陽中性子の探索



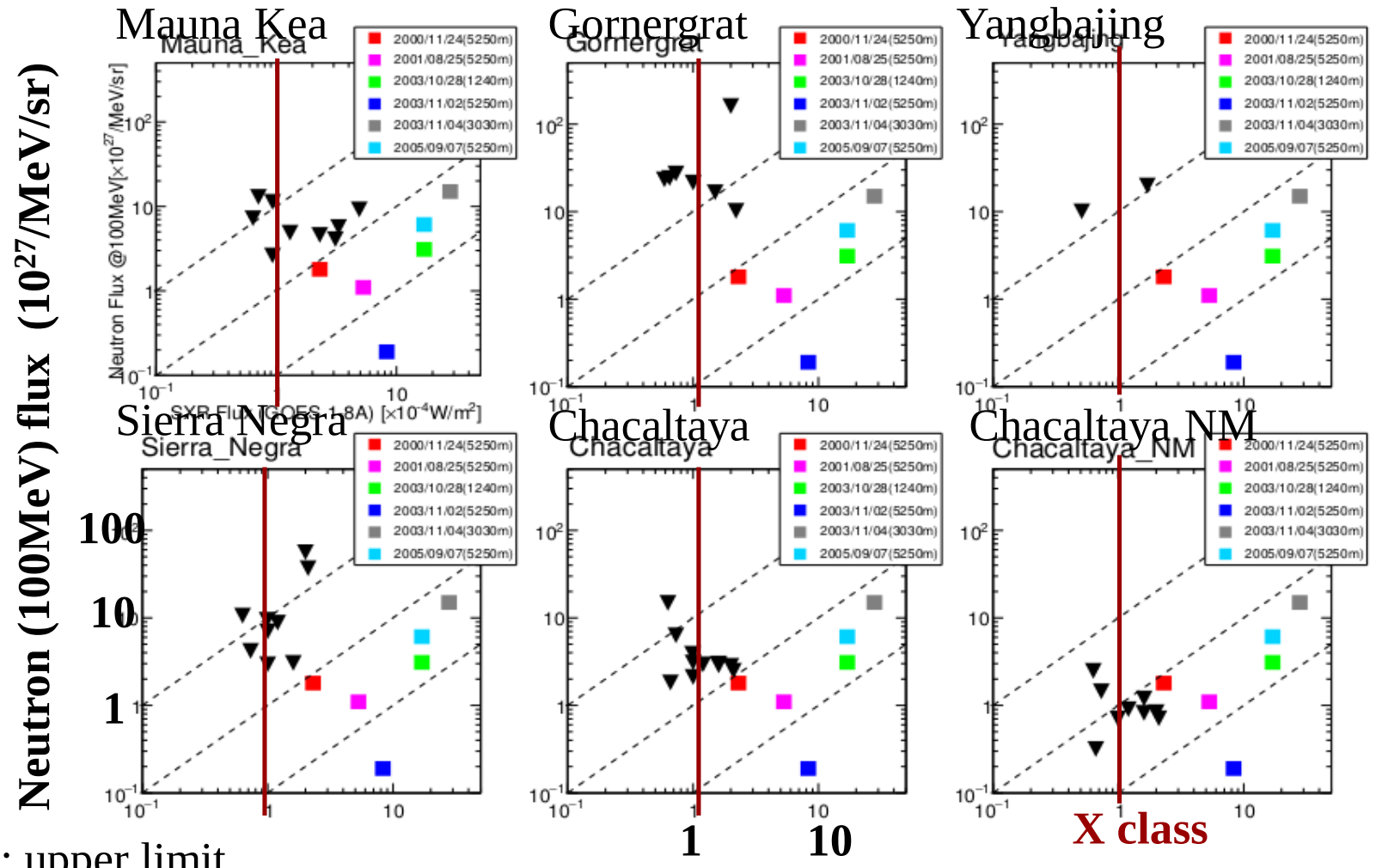
September 10, 2014
X1.6
Chacaltaya > 40 MeV
(570 g cm^{-2})

April 18, 2014
M7.3
Gornergrat > 40 MeV
(794 g cm^{-2})

Lopez, D. et al.
Astroparticle Physics
76, 2016

histogram: measured counts
red line: background estimated by the running average

The upper limit versus soft X-ray flux



▼: upper limit,

□: flux

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。

太陽中性子を用いて知りたいこと

太陽表面での粒子の加速機構は？

　加速の効率は？

　（エネルギースペクトルのべき）

　どのエネルギーまで加速されるのか？

陽子の加速と電子の加速は異なるのか？

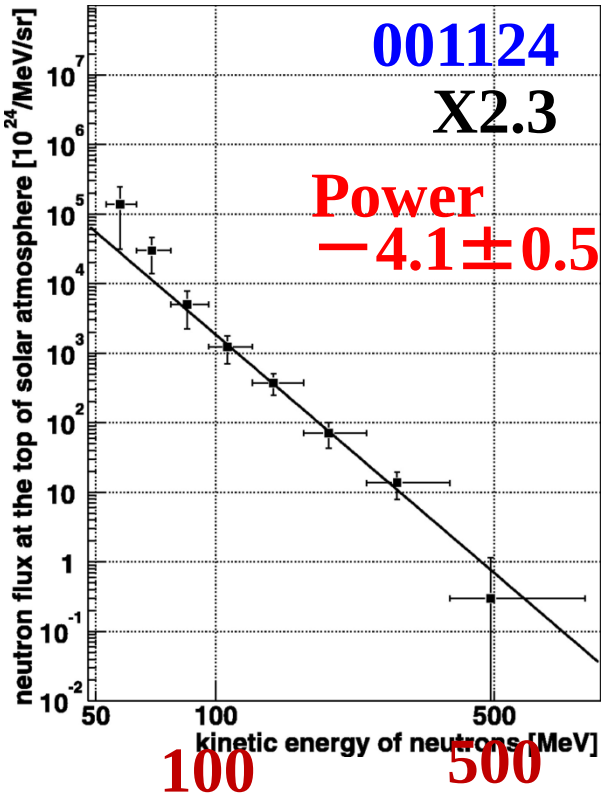
　たとえば加速の継続時間は？

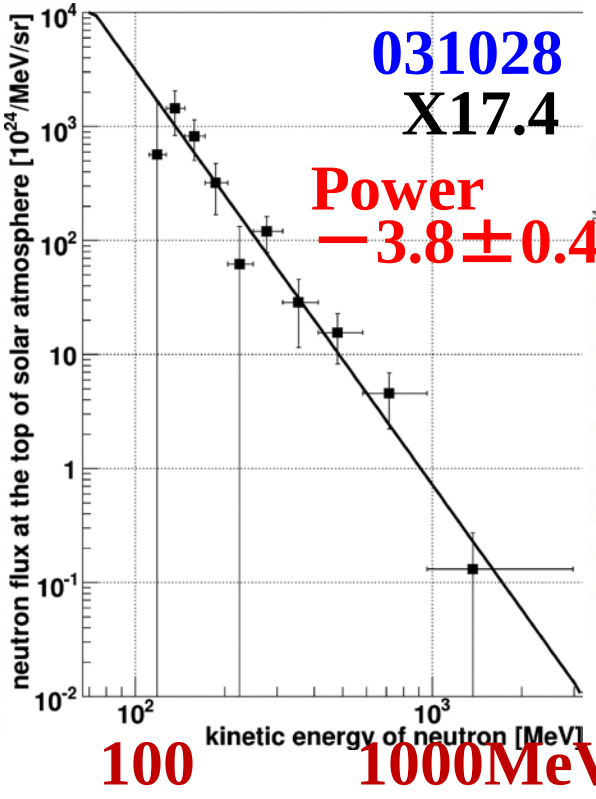
　エネルギー分配は？

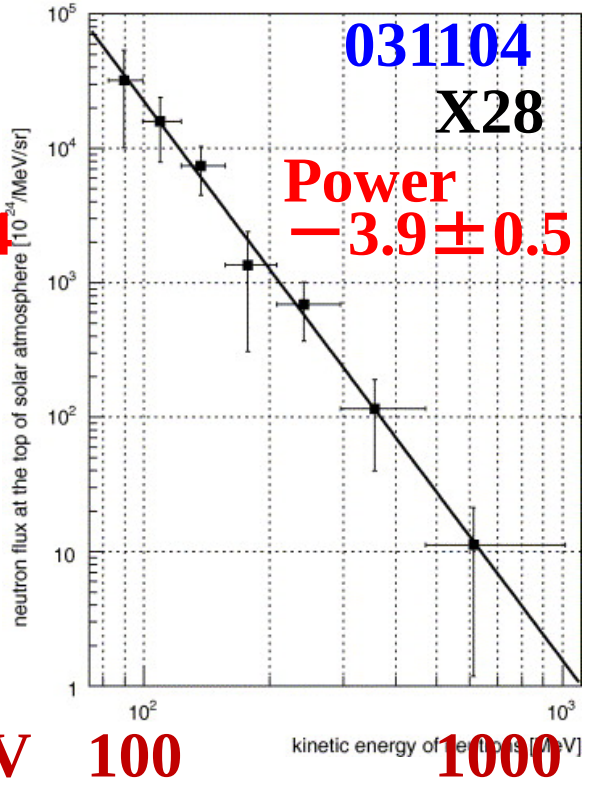
Example of the energy spectrum of solar neutrons

10^{24}/MeV/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.

共同研究グループ

名古屋大学宇宙地球環境研究所
中部大学工学部
東京大学宇宙線研究所
日本原子力研究開発機構
横浜国立大学工学部
大阪市立大学
国立天文台
防衛大学地球海洋学科
Physikalisches Institut, University of Bern, Switzerland
Yerevan Physics Institute, Armenia
Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Science
Instituto de Investigaciones Fisicas, UMSA, Bolivia
Instituto de Geofisica, UNAM, Mexico

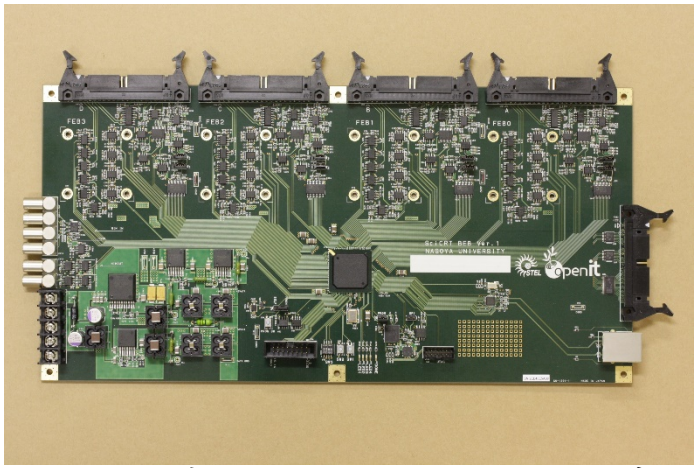
メキシコ･シェラネグラ (4,600m)で2013年9月より運転

April , 2013

September , 2013

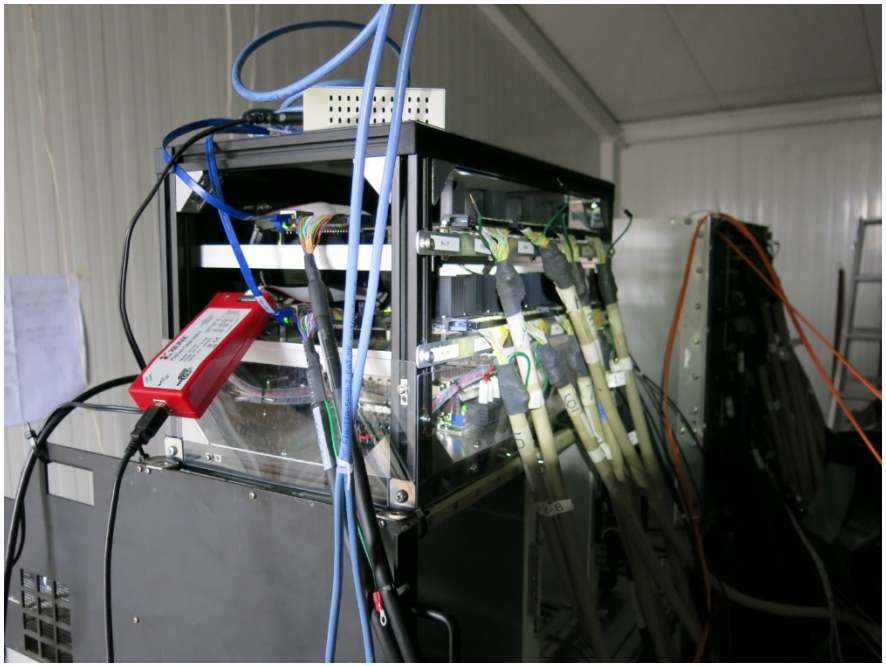
シンチレータバー 14,848
(各1.3cm×2.5cm×300 cm)
全体積　3m×3m×1.7m
輻射長 43 g/cm^2
8XYを1ブロックとする8ブロック
SciCRT (SciBar Cosmic Ray Telescope)
中性子8分の3とミューオンが稼働中

現在は8分の1で高速データ収集を実現



SiTCPに対応したバックエンドボード(BEB)

BEB4枚と電源からなるユニット



シェラネグラでケーブルをつなぎ、
運転開始直前の様子。

VMEではなくてSiTCPプロトコルを使用。
Open-It (Open Source Consortium of Instrument) のプロジェクトとして認められて進行中。

main contribution by Y. Sasai