

# 大型ミュオンテレスコープによる 銀河宇宙線強度の観測(2010)

Ooty

共同研究者リスト:  
大阪市立大学理学研究科  
伊藤信夫 萩尾彰一 奥田剛司 川上三郎 林嘉夫 藤井俊博 松山利夫  
山下祐 南野真容子

Tata 基礎研究所(インド)  
K.C.Ravindran A.Jain S.C.Tonwar S.K.Gupta P.K.Mohanty

愛知工業大学 東大宇宙線研  
小島浩司 福島正己 野中敏幸

信州大学理学部  
宗像一起 加藤千尋 安江新一 伏下 哲  
中部大学工学部 山梨大学工学部 朝日大学経営学部  
柴田祥一 本田 建 森下伊三男  
数物連携宇宙研究機構 国立天文台 神奈川大学  
田中秀樹 大嶋晃敏 林田直明

明野

# 報告内容

## 1: 実験の概要

## 2: GRAPES-3 — 明野観測所強度変動の同時観測の意義

## 3: 本年度の活動

(1) データ取得ネットワークシステムの復旧

(2) 明野観測所及び GRAPES3 ミュオン計数比例計数による  
連続観測の再開

## 4: まとめ

# GRAPES3と明野ミュオン同時観測の意義

- CMEなどによる惑星間空間衝撃波の到来予想
- 被加速粒子等による二次宇宙線増加の2次元把握
- 未知の宇宙線強度変動の探索
- 宇宙線異方性の時間変動の検出
- 太陽風速度変動等のIMFの変化に伴う宇宙線強度変化の空間分布の検出



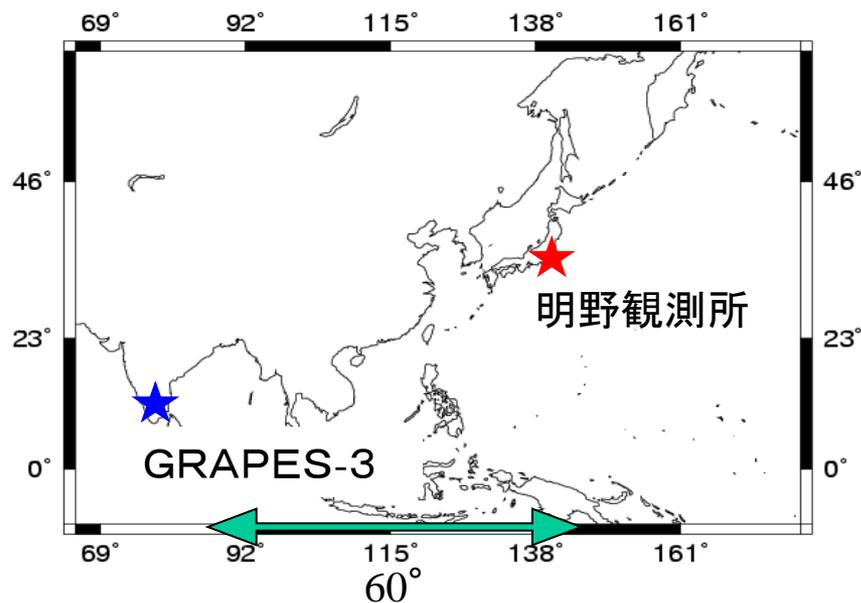
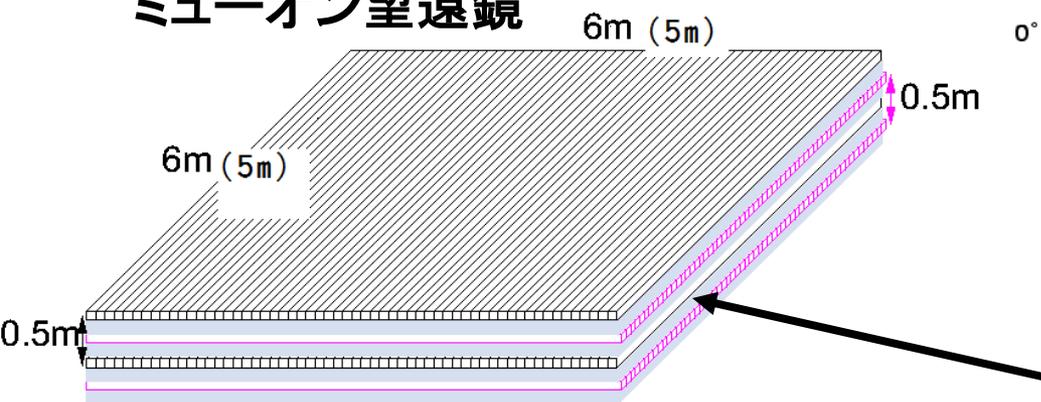
山梨県明野観測所(日本)とインドタミルナド州Ooty間で同時に種々の強度変動を同時観測する。

同時観測によって、同一視野領域を含む広い視野領域で強度変動を観測することが可能で、しかもマッピングも出来る。

# 実験

GRAPES-3空気シャワー実験  
(N12 E77)と  
明野観測所(N35E138)で  
多方向ミュオン望遠鏡を用い宇宙  
線強度をモニターする。

## ミュオン望遠鏡



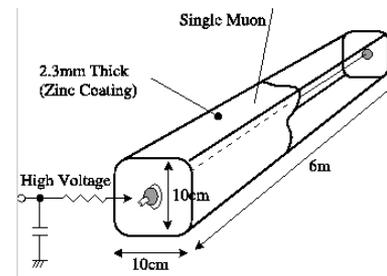
## 4層構造の比例計数管 ホドスコープ

(1層58本 @GRAPES)

4ステーション16モジュール 560m<sup>2</sup>

(1層49本 @明野) 3ステーション 75m<sup>2</sup>

本年度実動2ステーション 50m<sup>2</sup>



P10 Gas  
(Ar90%CH410%)

Applied Voltage:2930V

Disc Level 0.2particle

その他の大型ミュオンテレスコープ(入射方向観測が可能なもの)

## ホドスコープ型

宇宙線研究所乗鞍観測所に面積 $25\text{m}^2$  4層構造の比例計数管ホドスコープ

信州大学(松本)に面積  $\text{m}^2$  4層構造の比例計数管ホドスコープ

## 非ホドスコープ型

名古屋大学STE研究所に面積 $36\text{m}^2$  2層構造のシンチレータ・フォトマルの $1\text{m}^2$  のBOX 上下72台

その他

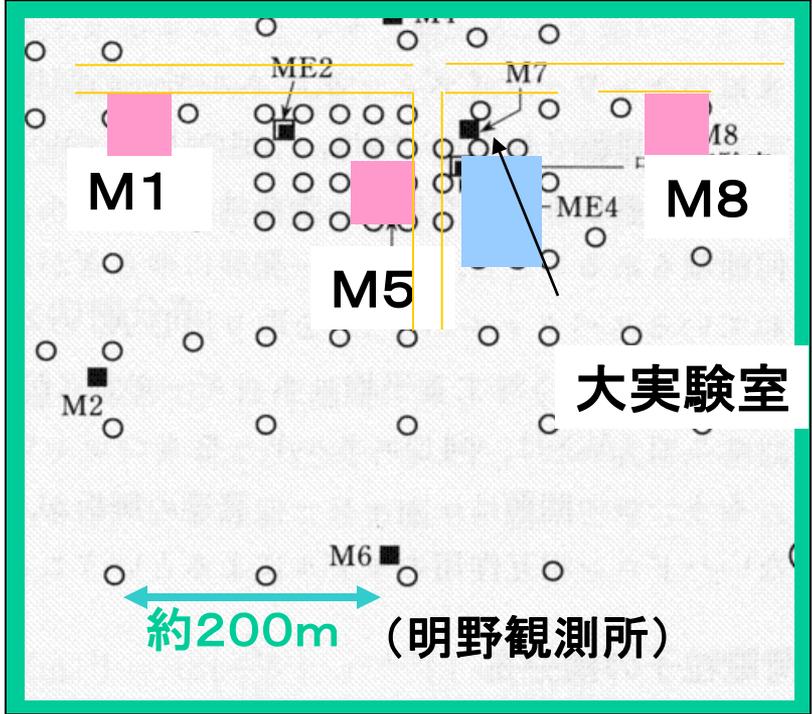
Hobart Kuwait SaoMartinho (宗像他)

# 明野での観測:

明野観測所にある空気シャワー実験等に利用されている比例計数管(+アンプ・ディスクリ)約600本をMUステーション内に再配置して観測。

データ収集システムは大部分GRAPES-3で開発した物を使用。

(M1、M5、M8 で観測)



明野 (E138.5° N35.8° )



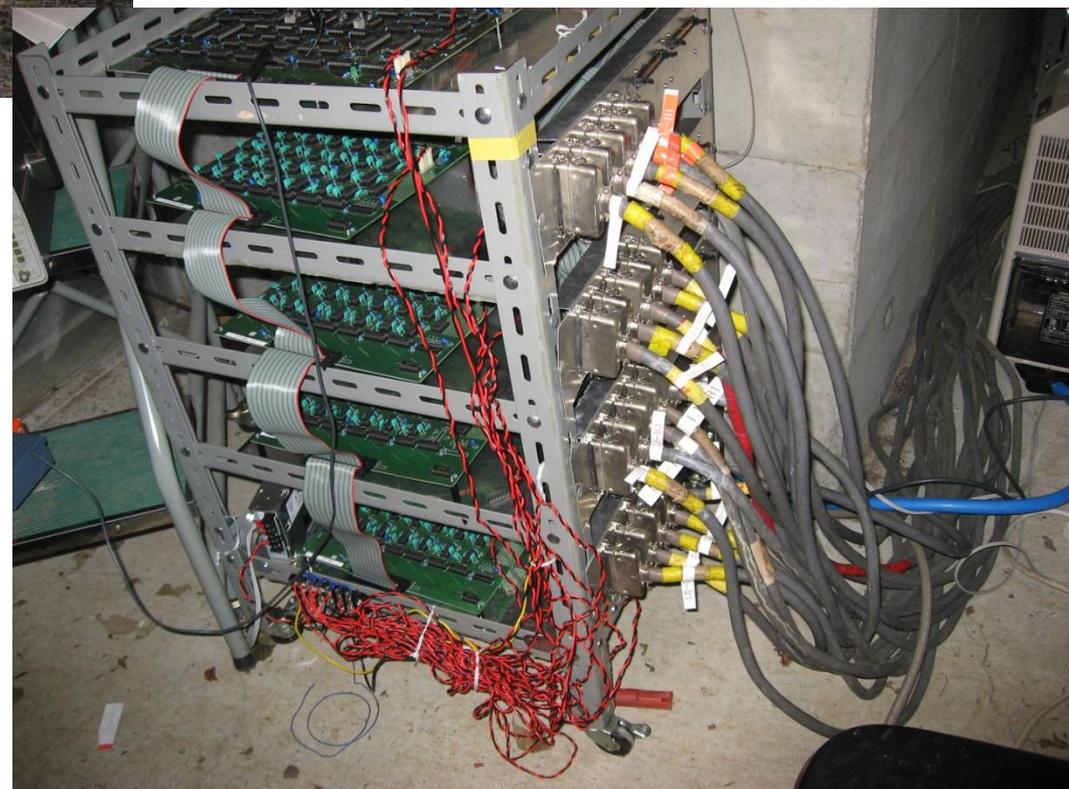
ミューステーション

- 10cm × 10cm × 500cmの比例計数管を使用。
- 検出器面積 約 25m<sup>2</sup>/station
- Muonの閾値エネルギー 1GeV



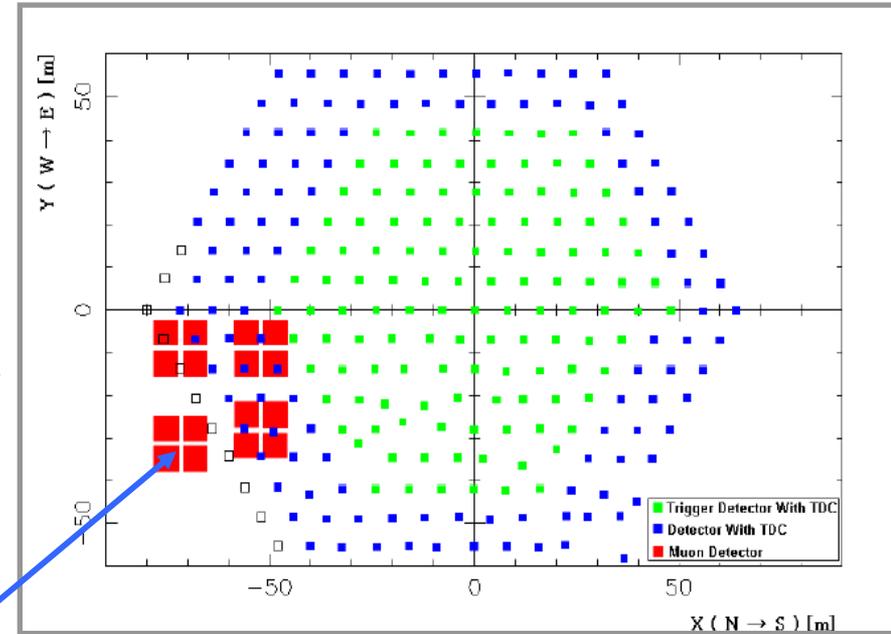
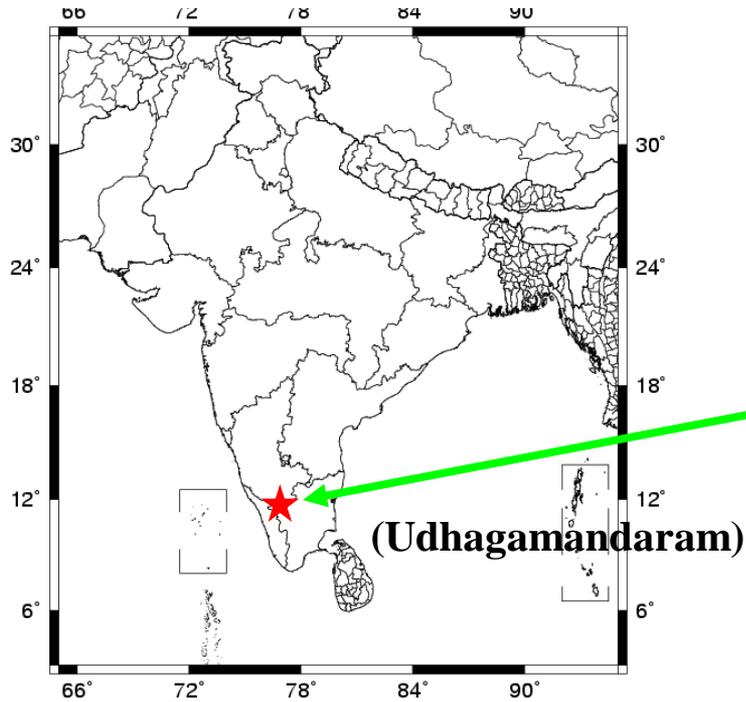
M1, M8 : 自動収集ADSL で大阪にデータ転送 (M5は宇宙線研のネットワークを使用)

M8



データ収集回路

# GRAPES-3実験:



## GRAPES-3空気シャワーアレイ

(インド・タミルナド州E76.7° N11.4° 2200m asl)

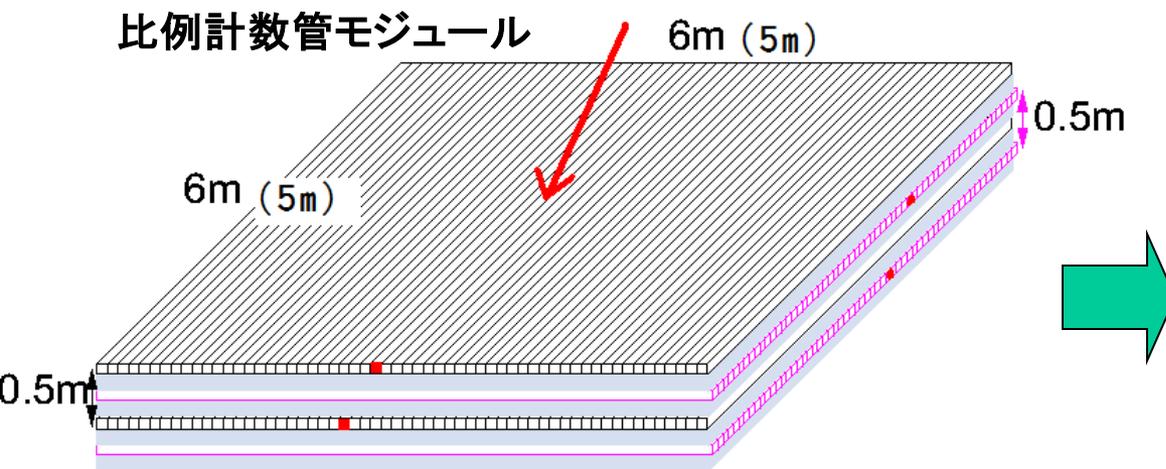
電磁成分 : 1m<sup>2</sup> SC 350台

Muon (>1GeV) : 35m<sup>2</sup> 16台 合計560m<sup>2</sup>

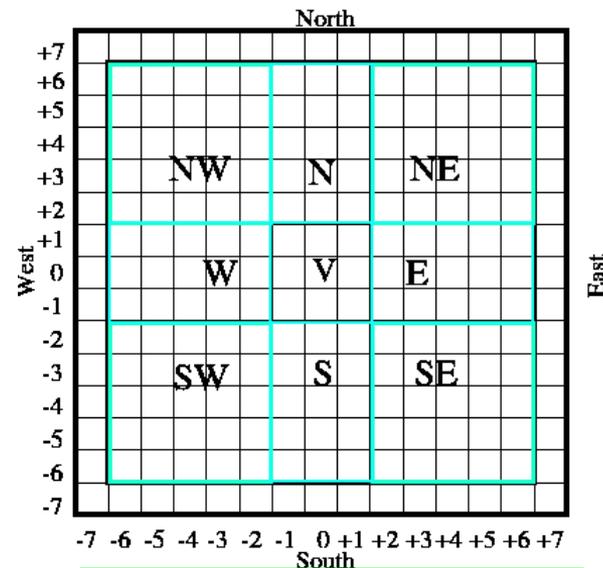
○超高エネルギーガンマ線

○宇宙線化学組成 (@knee)

○銀河宇宙線の時間変動



15x15 のセルで構成される視野



ミュオンの到来方向を $10^\circ$  以下の精度で決定  
強度変動をモニター。

望遠鏡データのサンプル

統計精度 (1時間値)

GRAPES-3

視野中央:  $0.05 \text{ \%}/\text{Hr} \cdot 16\text{modules}$

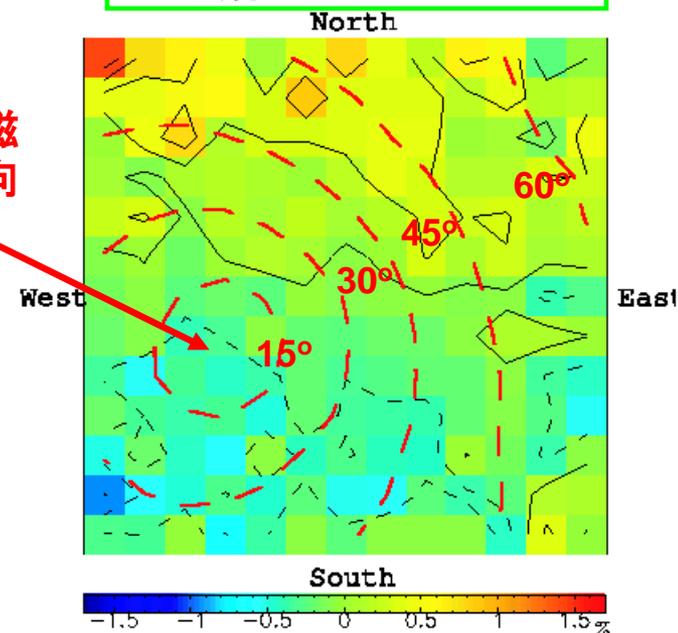
視野の端:  $0.3 \text{ \%}/\text{Hr} \cdot 16\text{modules}$

明野

視野中央:  $0.14 \text{ \%}/\text{Hr} \cdot 3\text{modules}$

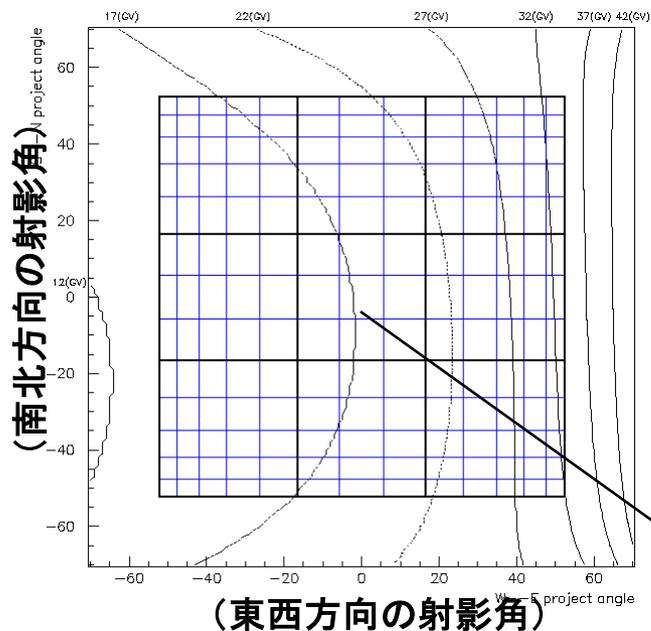
視野の端:  $0.9 \text{ \%}/\text{Hr} \cdot 3\text{modules}$

惑星間磁場の方向



# 望遠鏡のレスポンス (GRAPES-3):

- 到来方向を射影角毎に (15 × 15通り) に分けて観測。

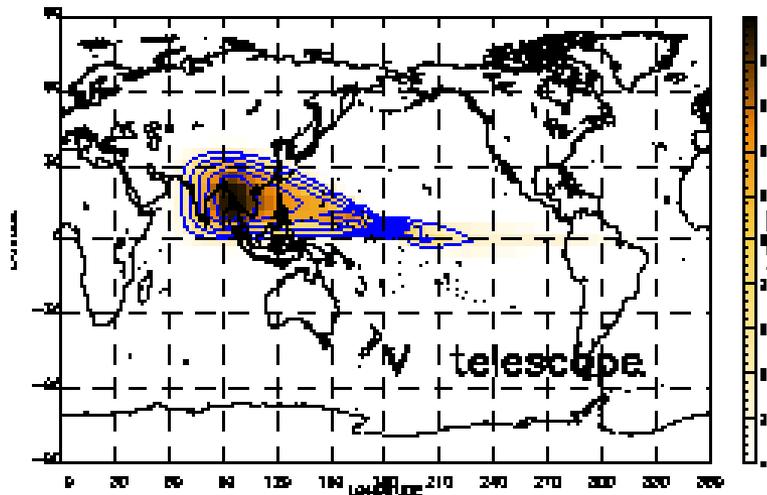
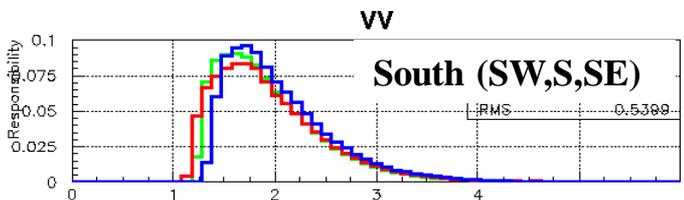
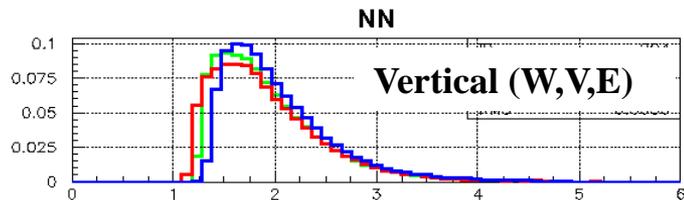
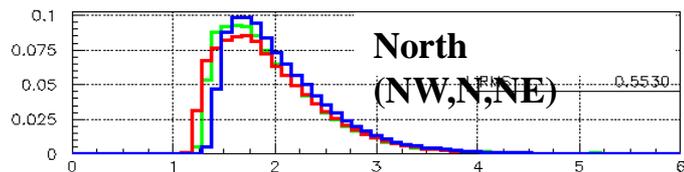


切断剛度: 12GV– 40GV  
(鉛直 17.2GV)

IGRF(2000)にて計算

median rigidity: ~65GV(垂直)

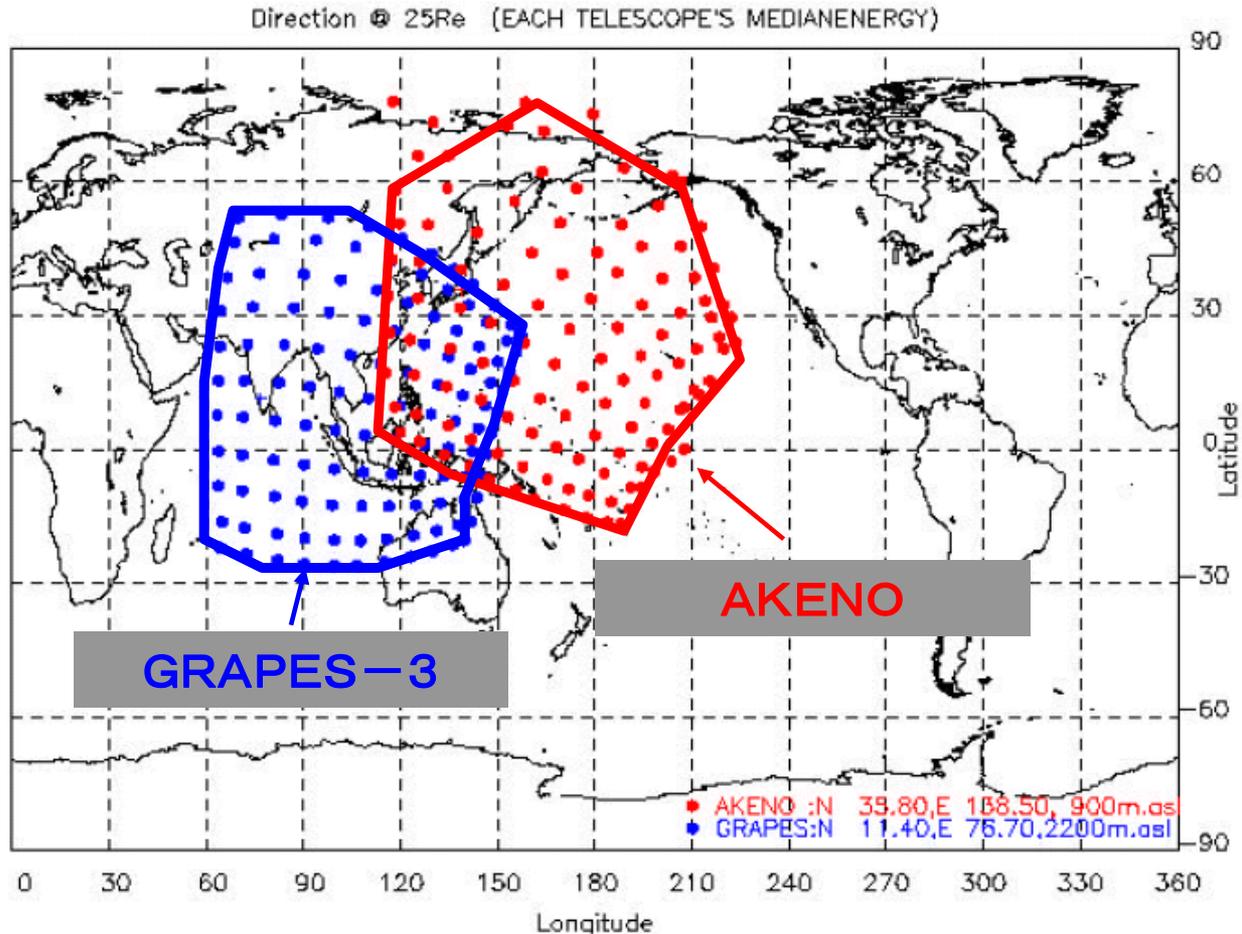
mode : ~30GV



一次宇宙線の25地球半径での到来方向分布

# 同時観測によって得られる観測視野

(地磁気による偏向を補正後)



視野の約1/4程が重複

# 緯度・経度の異なる地点での同時観測の意義

## 地上観測による宇宙線強度分布の空間マッピングを試みるに当たっての問題点

地球の自転により、観測する入射方向と惑星間空間における入射方向が時々刻々変化する。

FDや太陽風の時間的変動による強度変動と異方性による強度変動が入り混じる。

地磁気の影響で入射方向による宇宙線入射の剛度限界の違いによりFDや太陽風変動の効果が異なる可能性がある。

宇宙線強度の時間変動と空間変動の区別が明確に分離できない。

対策としては、経度・緯度の異なる複数の地点での多方向入射観測の可能なミュオン望遠鏡で相補的に観測を行い、各望遠鏡間の視野特性等のキャリブレーションを実施しておく。

世界各地に視野が重なるような条件でホドスコープ型のミュオンテレスコープを設置できれば理想的である。

# 昨年の報告

## 2009年の太陽活動

太陽黒点数：極小期

増加を予想したが2008年に引き続き極小状態が維持されている。しかも連続無黒点日が数十日も継続する（1910年以来過去100年間で最長）

太陽X線フレア：M-class, X-class のフレアは 0

FD：0.5%以上のFDはなかった。

（2009年も2008年の明野観測所のミュオンテレスコープは昨年と同様な事情で観測データがとれなかったのが不幸中の幸いか？一度あることは二度ある??）

2010年から増加に向かうことが期待される

# 2010年の太陽活動

## 太陽黒点数：極小期を離脱したと考えられる

長期に渡った極小期もようやく終了し徐々に増加しつつある、しかしその上昇カーブは前数サイクルと比較するとかなりゆるやかである。

太陽X線フレア：M-classのものが2～3回起きたが、  
X-class のフレアは 0

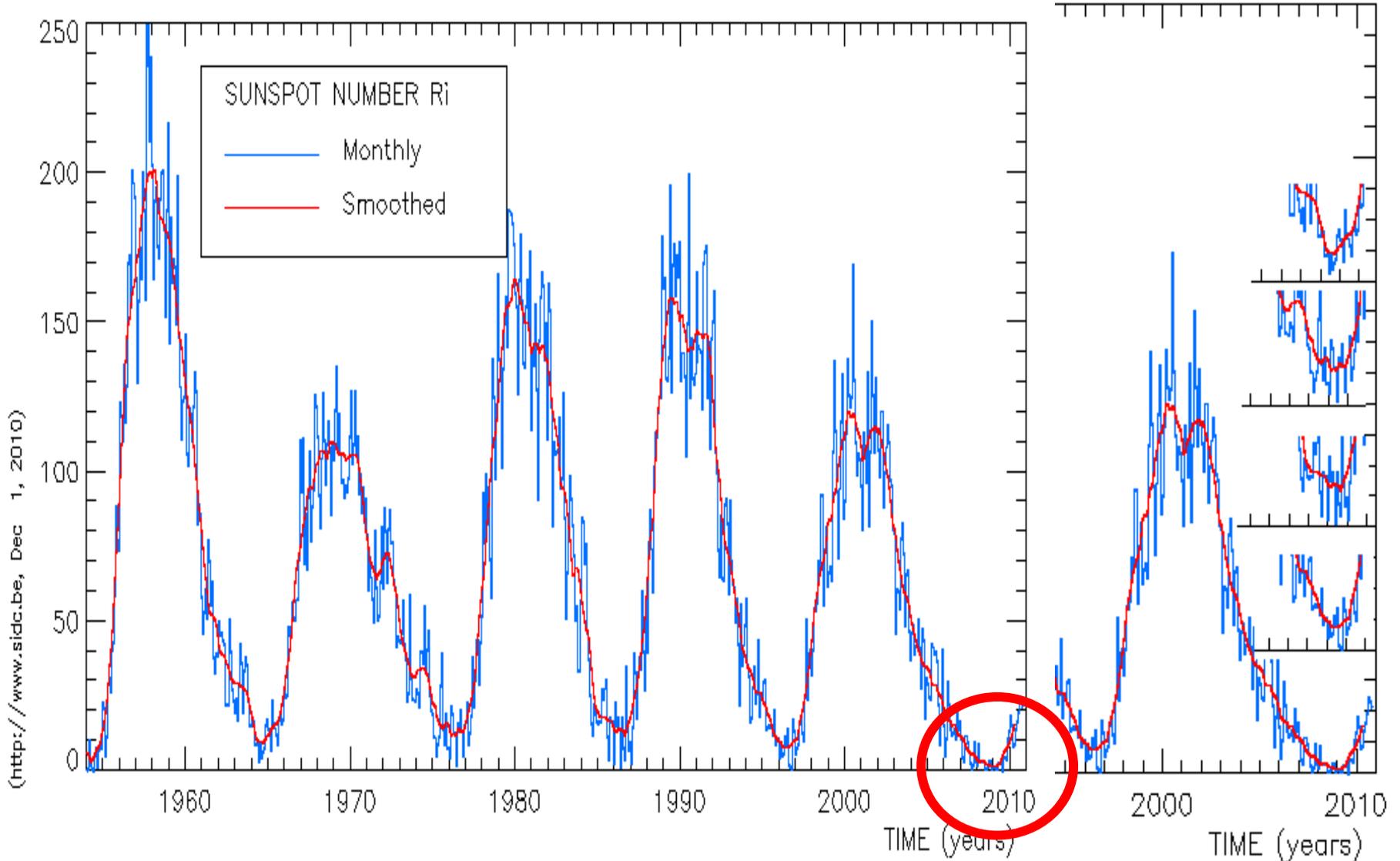
FD：～1%程度以上のFDはなかった。

(2010年の明野観測所のミュオンテレスコープは一昨年以来から事情で十分な観測データはとれなかった。：後程報告)

2011年以後急激な増加を期待する

# Sunspot index graphics

過去55年の太陽活動の極小付近



(<http://www.sidc.be>, Dec 1, 2010)

<http://sidc.oma.be/html/wolfmms.html>

# 本年度の活動

## 現状（昨年度に引き続き同じような問題に悩まされる）

観測に使用している比例計数管や電子回路は30年以上にわたり明野空気シャワー実験等に利用されたものである。

また、この数年間は観測所に常勤の職員・研究者が存在しない等のため、落雷等による漏電、停電が発生して、「コンピュータの再起動がスムーズに進まない」、「回路部品の広範囲な破損」等がかなり多く生じた。

上記の要因により、検出系（比例計数管、検出系電子回路等）のダメージがかなり大きかった。また記録系においても記録用ソフト・ハードシステムの破壊、ルーター等の不具合が著しかった。

## 対策

検出系機器、電子部品等についてはかなり大がかりなオーバーホールが必要。また記録系については、記録用PC（サーバ、データ記録用とも）の交換及びソフトのメンテナンスが必要であるので予算の可能な範囲で実施したが十分とは言い難い、引き続き実施に努力する。

# 明野観測所ミュオン検出器の現状 (ネットワーク篇)

- ・ 現在の状況

- M5

- ・ 無線LANのリピート機能により無線接続
    - ・ サーバーの設定変更により外部からのアクセス可能になった

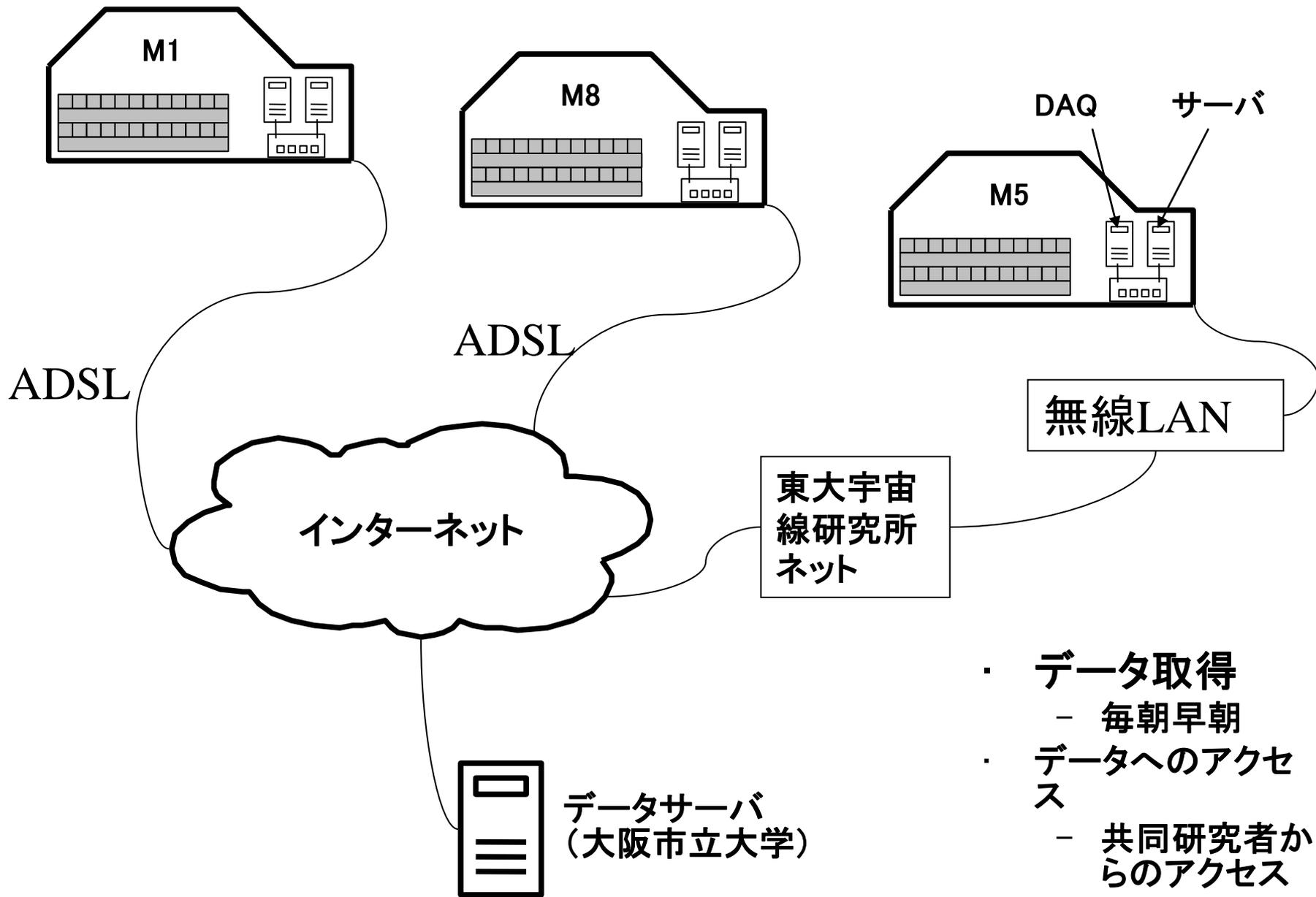
- M1

- ・ 現在機能停止中

- M8

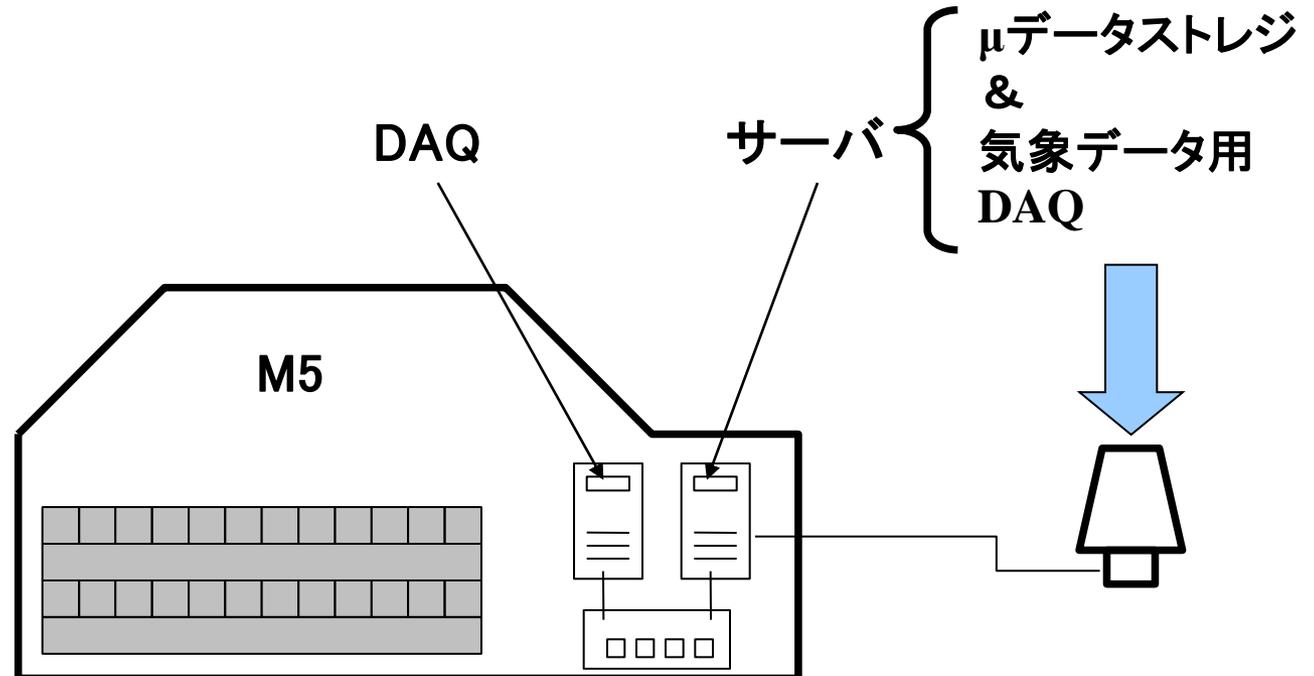
- ・ DAQ、サーバ共に稼働と停止を繰り返している。現状は12月1日から突然、停止状態となる。

# 明野ミュオン観測のデータ取得システム



# 明野環境データ

- 気象データ記録計
  - M5内に設置
  - 気温、湿度、気圧
  - データ保存毎5分



# 全ステーションによる連続観測の完全復旧をめざす

2009年12月7日にM5とM8のDAQ、データ記録サーバーのセッティングを一応完了し連続観測を再開したがそれ以後もたびたび停止。

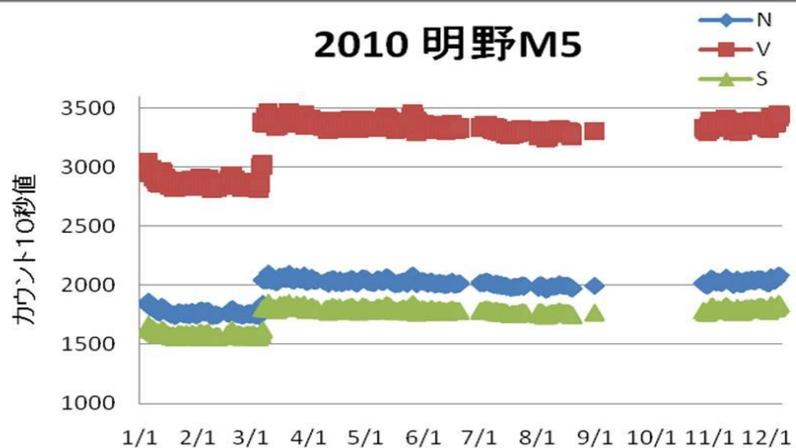
M8についてはDAQが停止したりして、安定的にデータ記録システムが稼働していない。現在も停止中。

記録系のコンピュータネットワークシステムのさらなる調整等が必要。

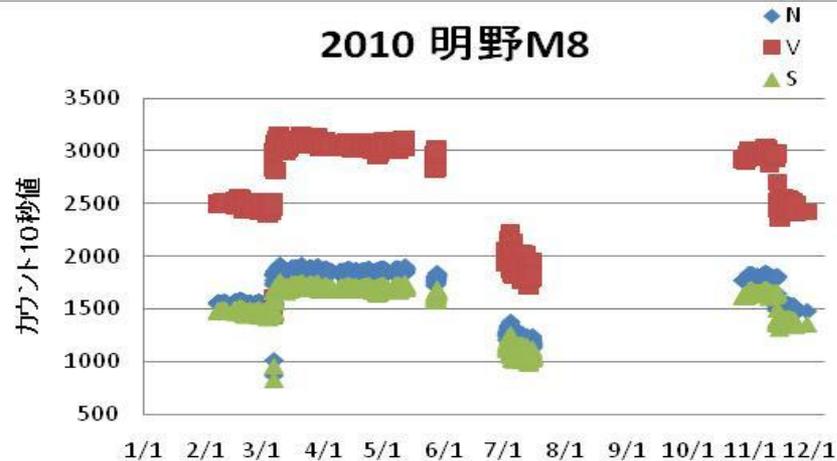
M1に関しては比例計数管用の高圧電源が故障して、まだ代替機の手当てがすすんでいない。

全体的にみて、かなり限定的ではあるが一応解析可能な観測データの取得はできている。

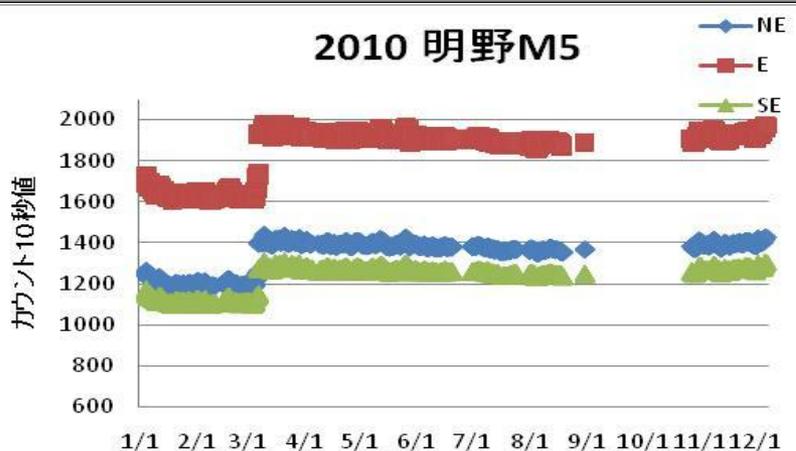
2010 明野M5



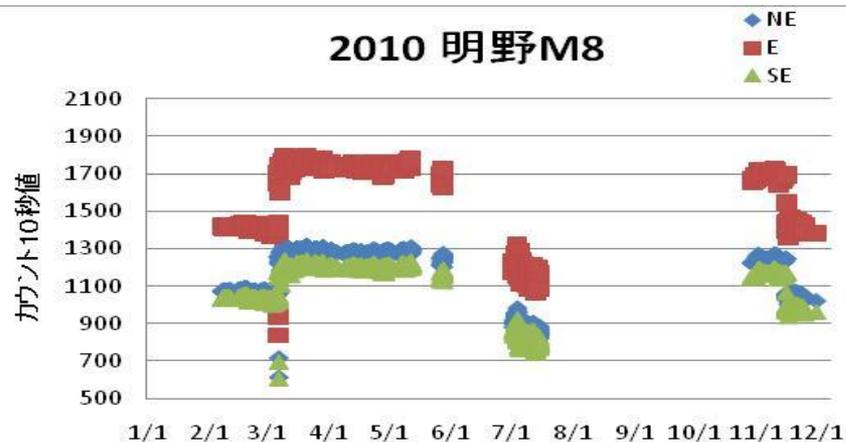
2010 明野M8



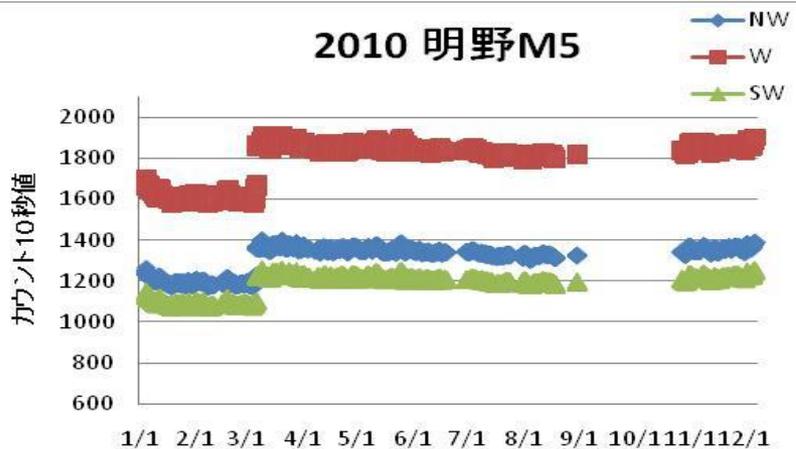
2010 明野M5



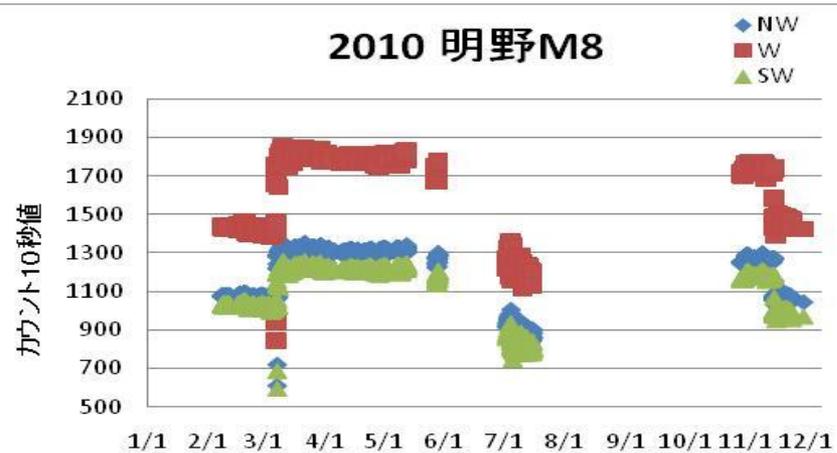
2010 明野M8



2010 明野M5



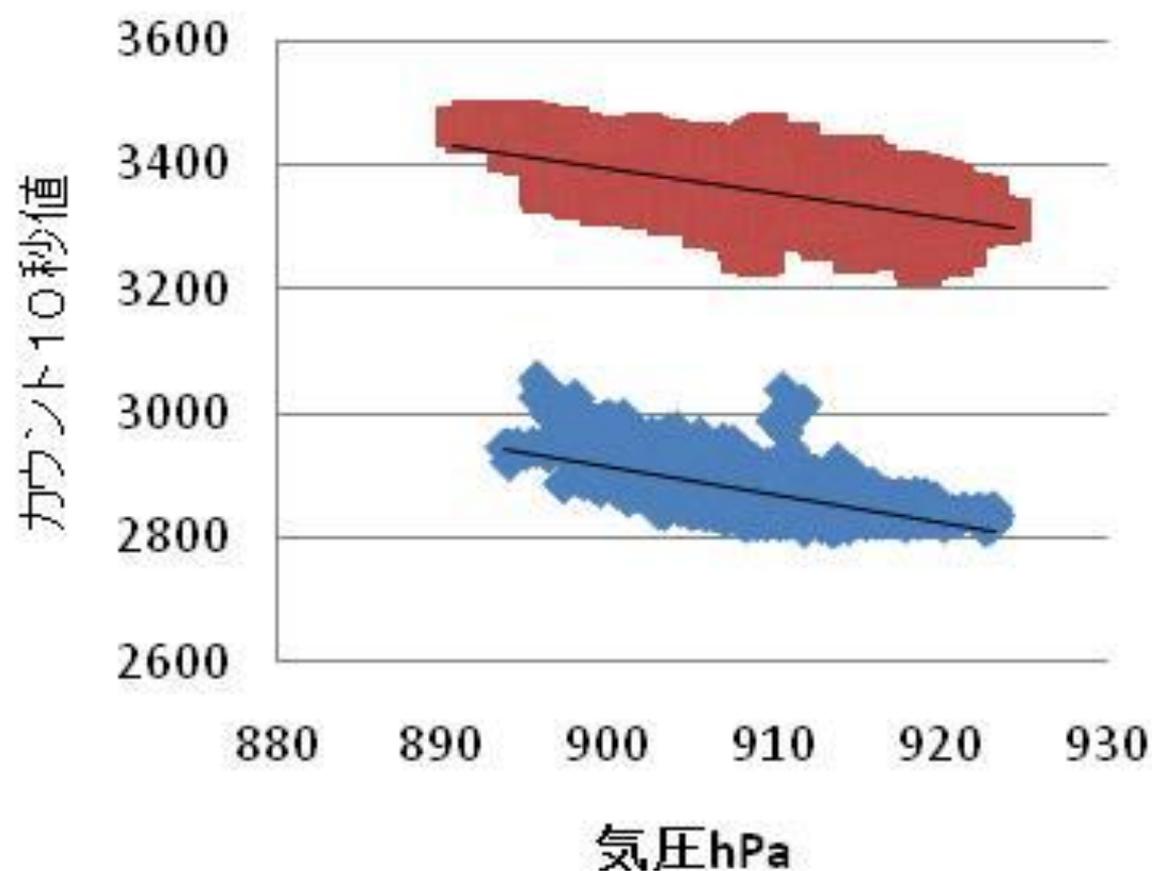
2010 明野M8



$$y = -4.4479x + 6918$$
$$R^2 = 0.4153$$

# M5 V-気圧

$$y = -4.0027x + 6997.5$$
$$R^2 = 0.3288$$



◆ レベルチェンジ前

■ レベルチェンジ後

— 線形 (レベルチェンジ前)

— 線形 (レベルチェンジ後)

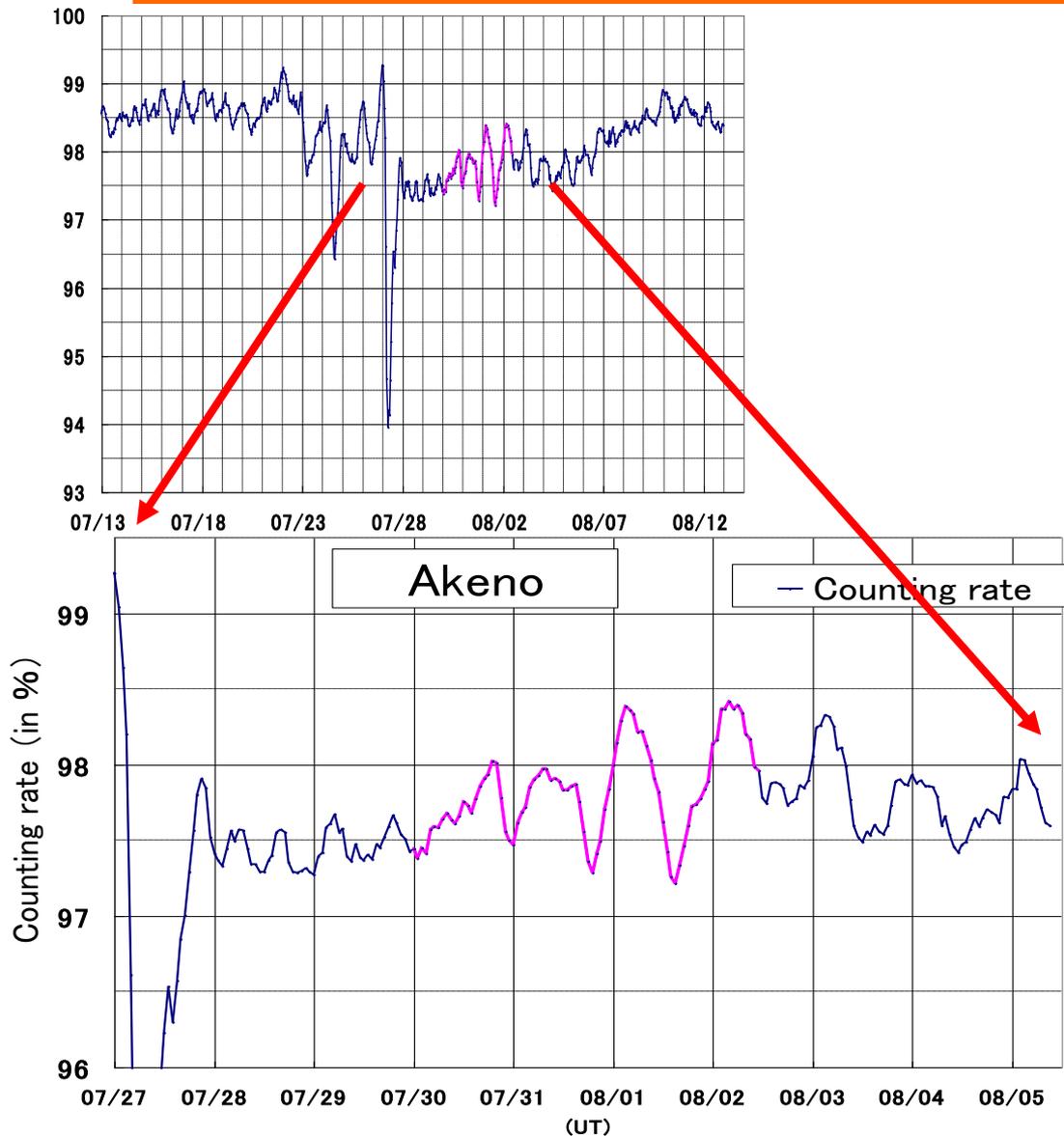
225方向入射のミュオン強度観測データを用いれば惑星間空間における宇宙線3次元の強度マッピングができる。

このような225方向ミュオン望遠鏡の能力を応用して内部太陽圏における、太陽風速度変動やIMFの変動と宇宙線強度変動の関連性を表す諸係数の空間的なマッピングを試みる。

その結果をふまえ、惑星間空間における宇宙線の拡散過程等の宇宙線伝播機構の空間的構造を明らかにしたい。

来年度以後の太陽活動の活発化により、多く生ずる事が期待される大規模フレアに伴う宇宙線強度変動の空間マッピング解析を試みたい。

# Unusual anisotropy of cosmic ray muons (observed on 07/31 and 8/01)

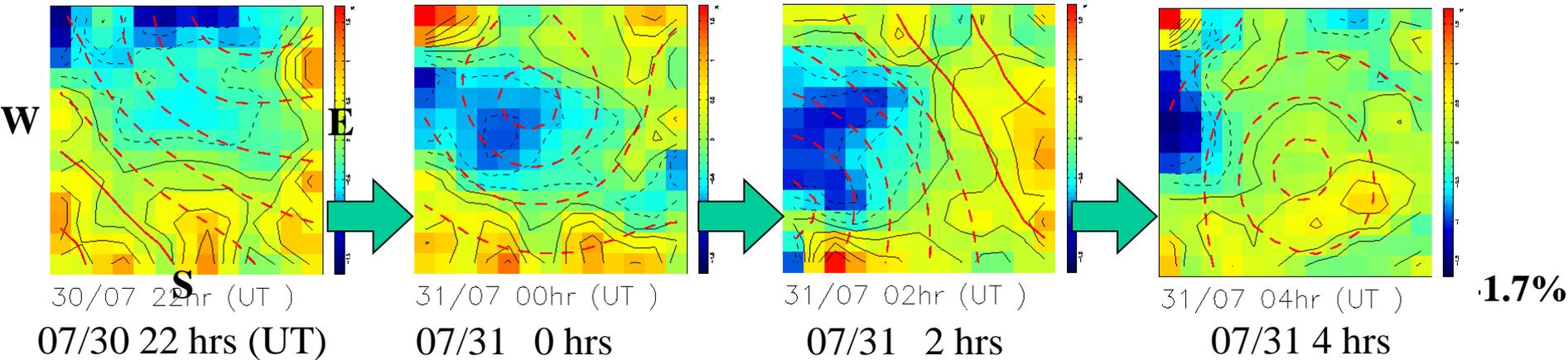


The amplitude of the daily variation of muons counting rate (primary cosmic rays) for 07/30 ~ 08/01 become somewhat big (~1%) four days after onset of big Forbush decrease.

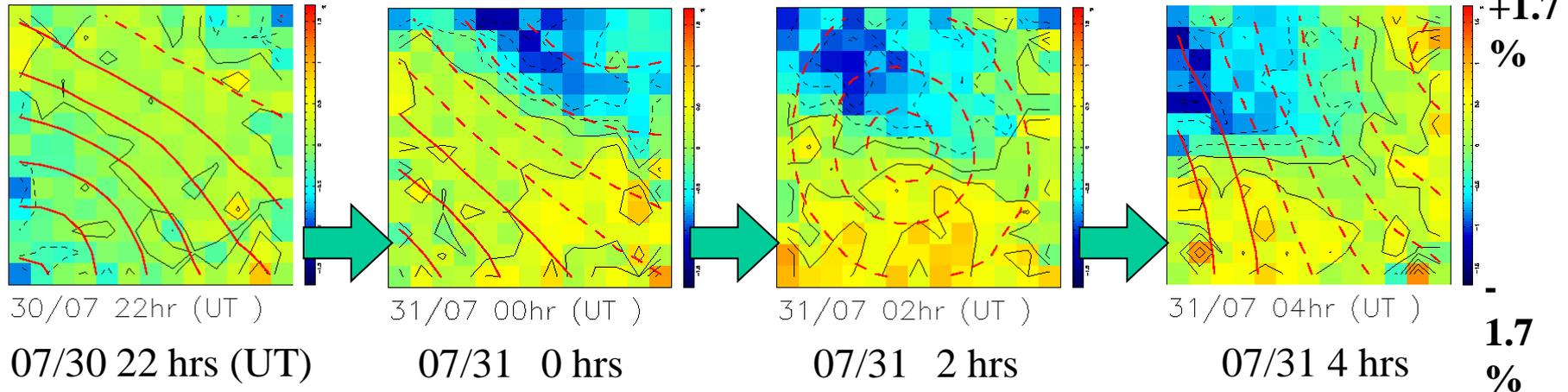
**We analyzed the muon's directional data during this period with GRAPES and Akeno's and find unusual behavior.**

# 2D map of Cosmic rays Intensity at Ooty and Akeno telescopes

**Akeno** ( E138.5 ° N35.8 ° ) (smoothed)

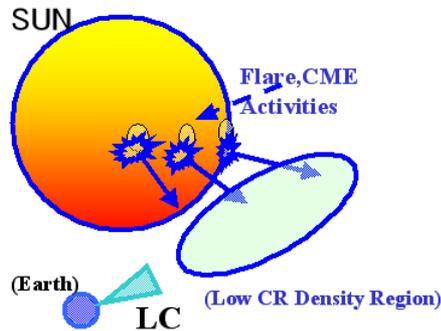
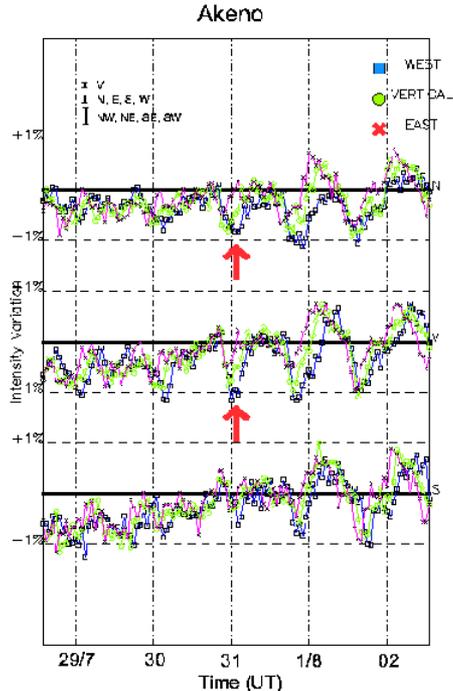
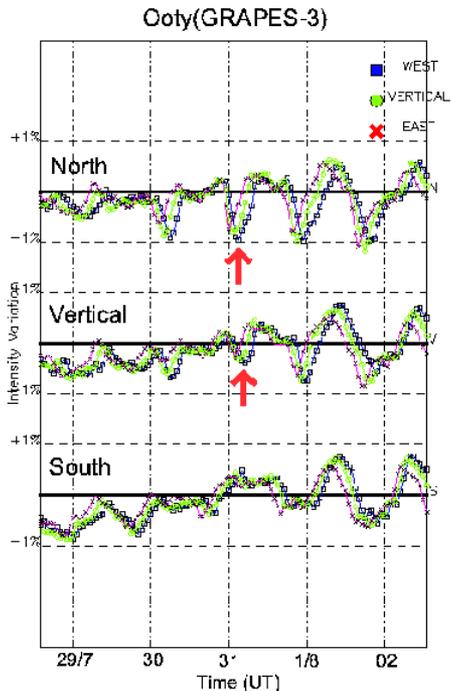


**GRAPES-3** ( E76.7 ° N11.4 ° ) (560m<sup>2</sup>)



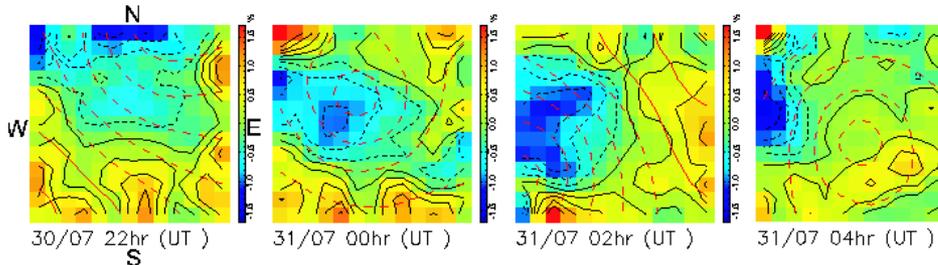
- anisotropy toward the Interplanetary Magnetic Field
- Anisotropy observed simultaneously by two distant telescope (6 hours)

# 過去の同時観測の事例： Loss-Cone型異方性

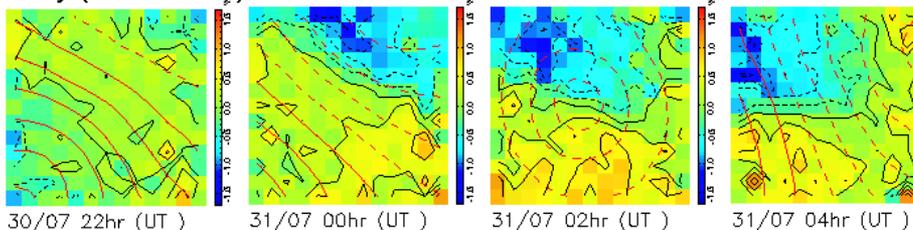


太陽の西にあった活動領域652がフレア+CMEを発生させながら西端付近へ。  
 →地球から離れた場所に宇宙線低密度領域  
 (衝撃波起源の地磁気嵐は発生するも、Forbush Decreaseは観測されず)

AKENO (Smoothed)



Ooty (GRAPES-3)

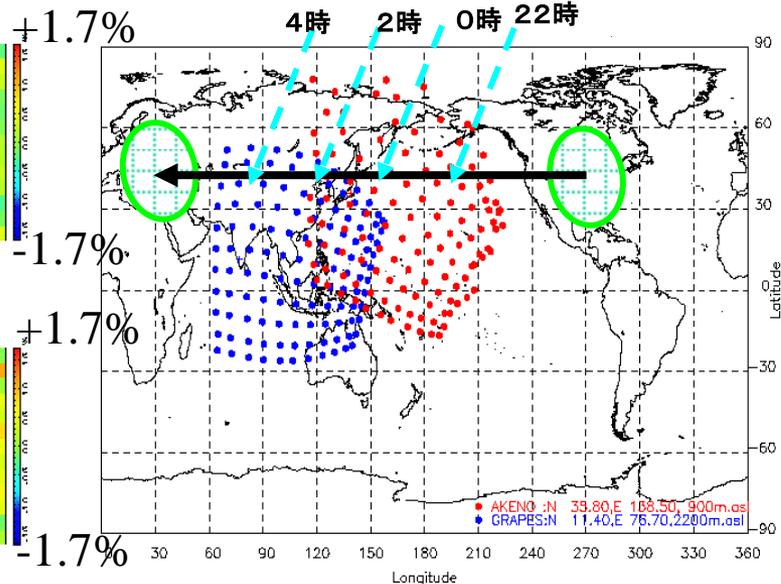


22時

0時

2時

4時



# まとめとして

## (問題点と今後やらなければいけない事項)

宇宙線検出、記録系、ネットワーク系機器の充実

予算の制約のためあちこちから中古機器を集めて  
手作りでシステムを組み上げているので、頻繁に故  
障や動作不良が生じる。

太陽活動の上昇に備え、なんとか予算を獲得し、  
耐久性の向上したシステムを構築したい。

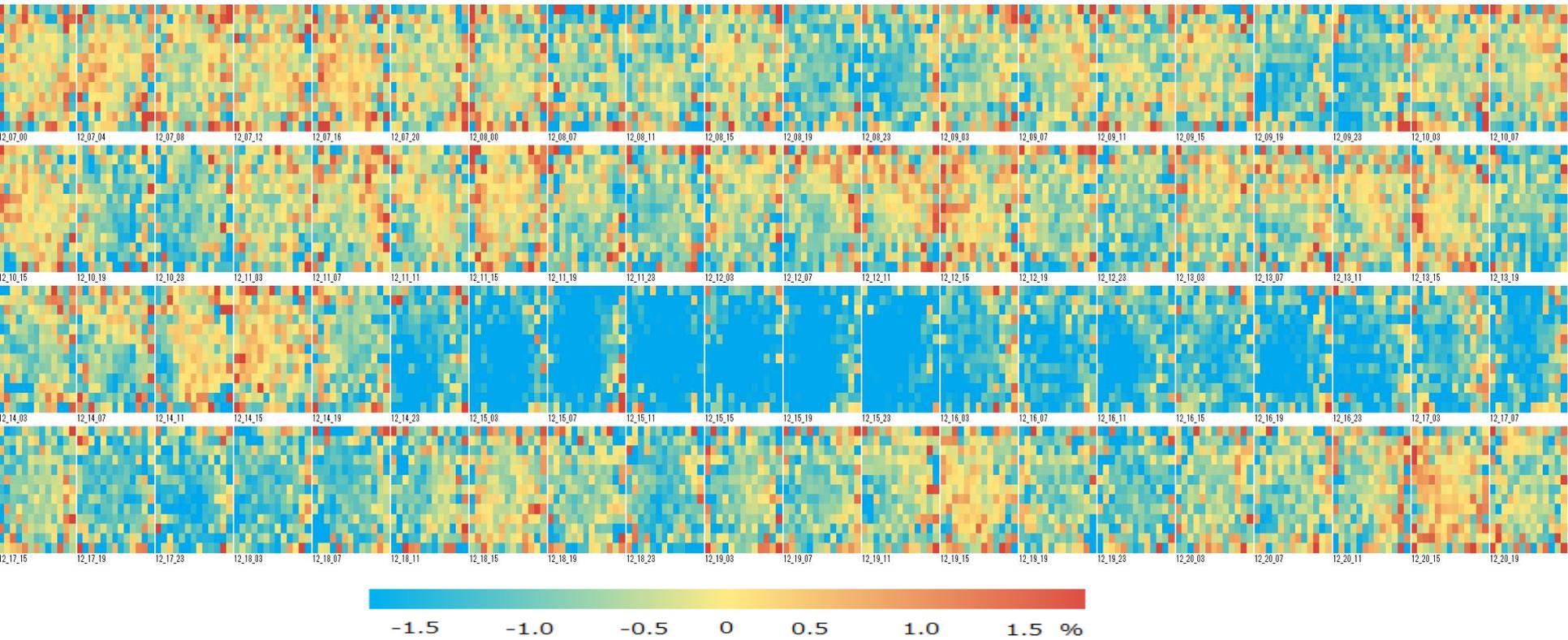
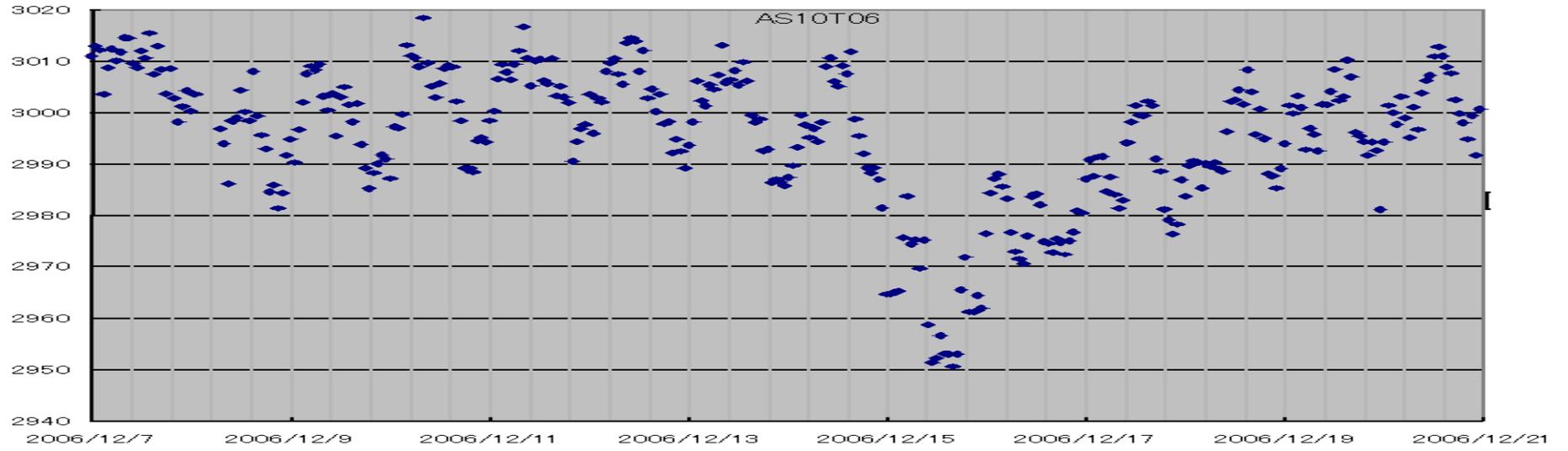
現在の太陽活動は2007年から3年にわたり極小  
状態で推移している(過去100年間ほとんど例が  
ない長期間)

これからどの様に活動が上昇していくか、またどん  
なフレアが生ずるか、それらが宇宙線変動にどの  
様な形で影響を与えるか、大変興味深い。

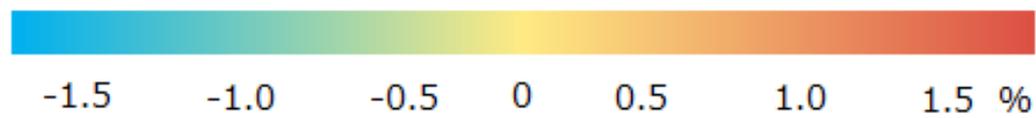
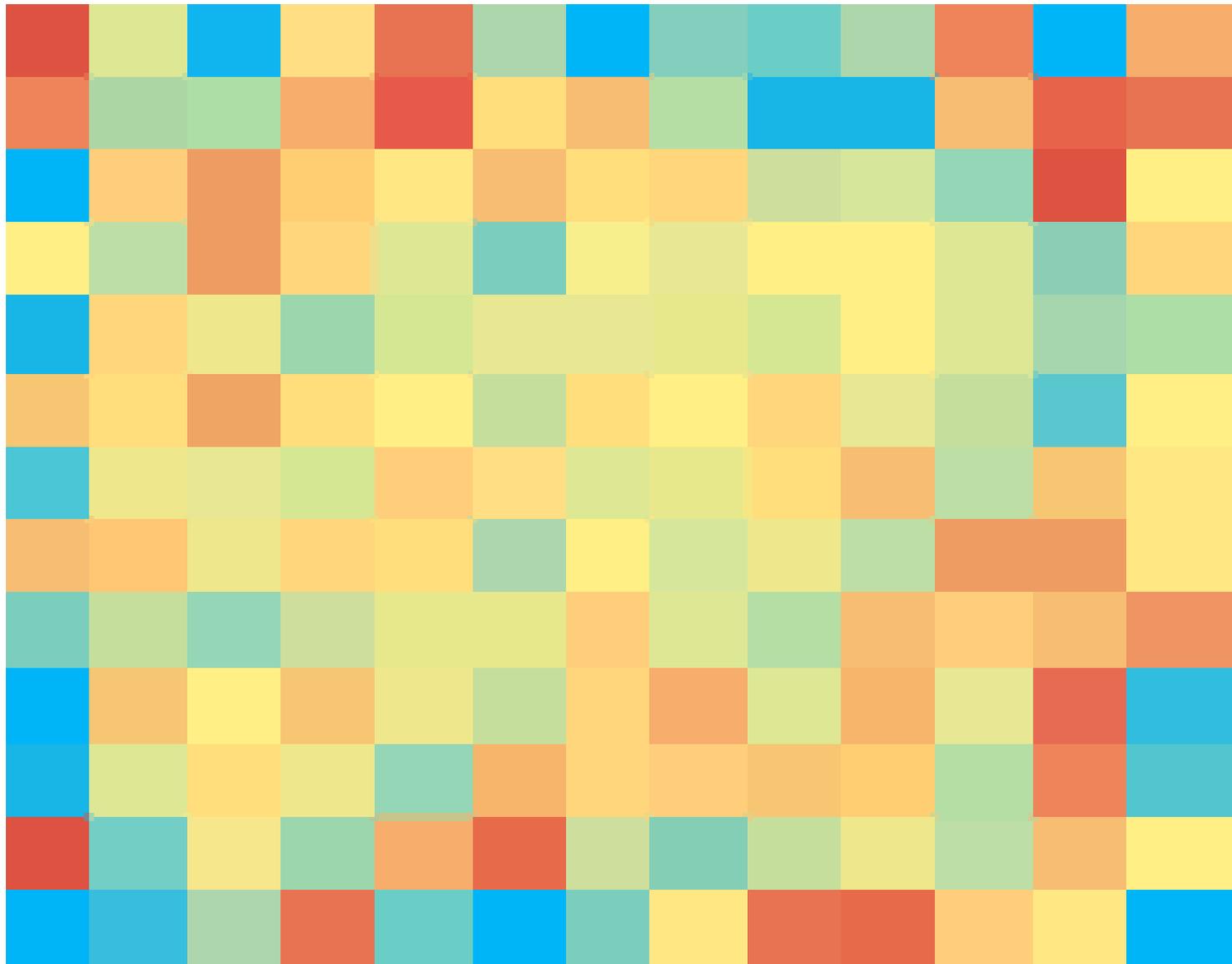
## 今後の展望

GRAPES3(Ooty)及び明野における大面積ホドスコープ型ミュオン望遠鏡により、次の太陽活動極大期に観測を目指している事象のについて、過去に観測された事例に基づいて紹介する。

# 2006年12月のフォルブッシュディクリーズ



# 動画再生



共同研究者リスト:

大阪市立大学理学研究科

伊藤信夫 荻尾彰一 奥田剛司 川上三郎 林嘉夫 藤井俊博 松山利夫

山下祐 南野真容子

Tata 基礎研究所(インド)

K.C.Ravindran A.Jain S.C.Tonwar S.K.Gupta P.K.Mohanty

愛知工業大学 東大宇宙線研

小島浩司 福島正己 野中敏幸

信州大学理学部

宗像一起 加藤千尋 安江新一 伏下 哲

中部大学工学部 山梨大学工学部 朝日大学経営学部

柴田祥一 本田 建 森下伊三男

数物連携宇宙研究機構 国立天文台 神奈川大学

田中秀樹 大嶋晃敏 林田直明

平成22年度の予算:

物品 19万円(4月~12月のADSL2回線分16万円程度支出の見込み、  
さらに1月~3月分5万4千円程度必要、旅費の予算から一部繰り入れる予定)

旅費 25万円(28,240円執行済) 来年2月ころ明野においてある程度の  
人数で集中的に作業を予定している。

合計 44万円 + 明野観測所の協力

**有難うございました。来年もどうかよろしく願います。**