

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(2011)

*GRAPES3
(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

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 林田直明 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

田中秀樹 大嶋晃敏

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) 東日本大震災による節電要請による明野観測所ミュオン望遠鏡の観測停止

(2) 明野観測所及び GRAPES3ミュオン望遠鏡(比例計数管)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



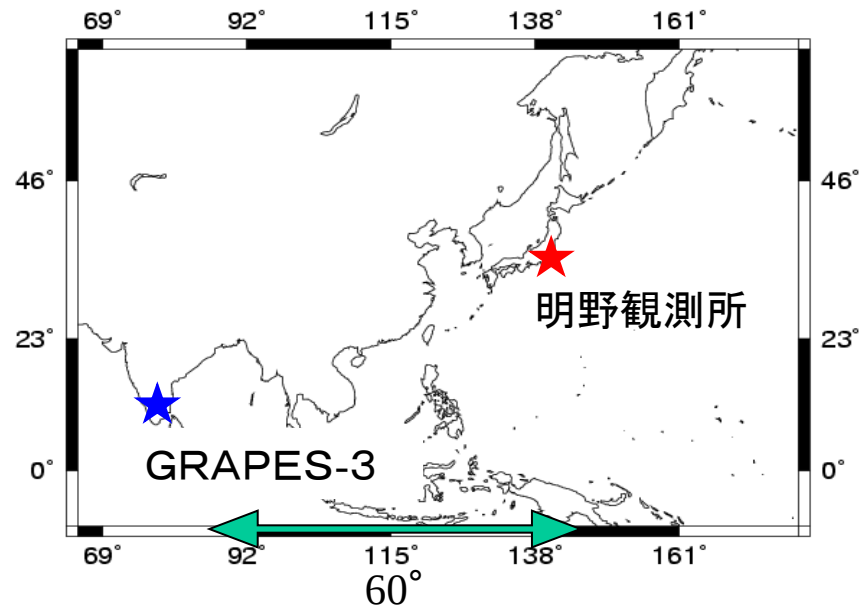
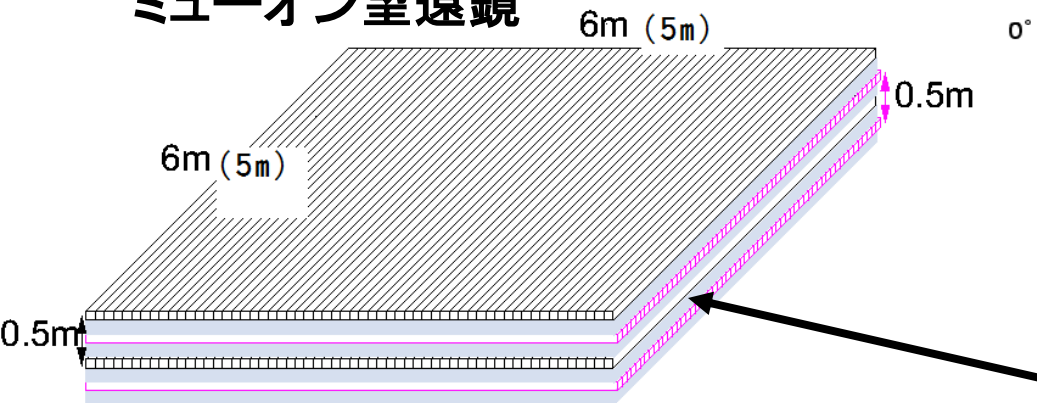
山梨県明野観測所(日本)とインドタミルナド州Ooty間で同時に種々の強度変動を同時観測する。

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。

GRAPES-3-明野ミュオン同時観測

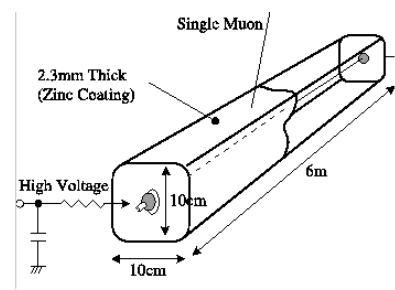
GRAPES-3空気シャワー実験
(N12 E77)と
明野観測所(N35E138)で
多方向ミュオン望遠鏡を用い宇宙
線強度をモニターする。

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 560m²
(1層49本 @明野) 3ステーション 75m²
本年度実動2ステーション 50m²



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 25m^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 m^2 4層構造の比例計数管ホドス
コープ

Kuwait Hermanus 等(GMDN 宗像他)

メキシコシェラネグラ山SciCR望遠鏡(建設中)

非ホドスコープ型

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

SaoMartinho Hobart (GMDN 宗像他)

明野での観測:

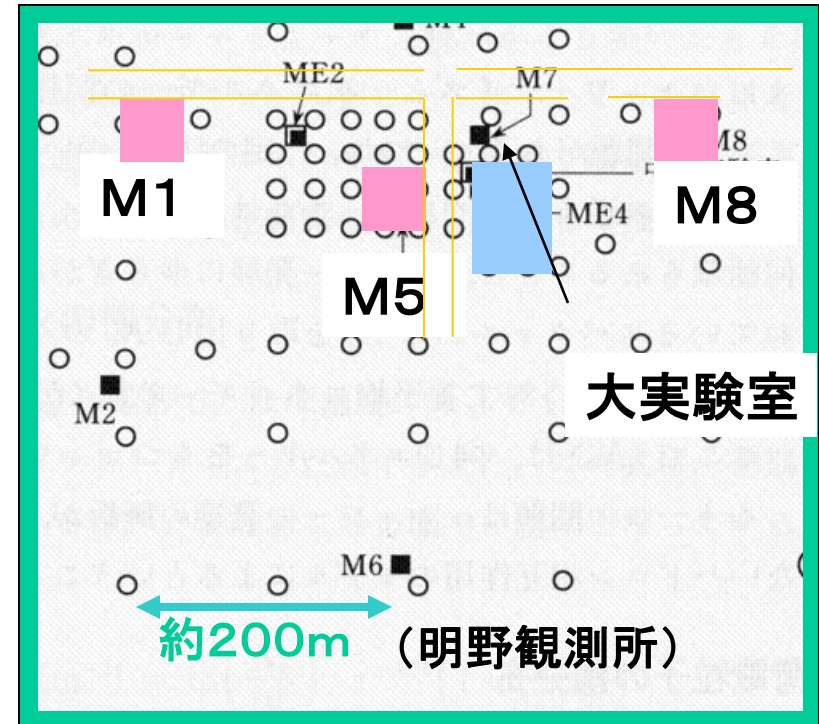
明野観測所にある空気シャワー実験等
に利用されている比例計数管(+アンプ
・ディスクリ)約600本をMUステーション内
に再配置して観測。

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)



ミューステーション



明野 (E138.5° N35.8°)

□ 10cm × 10cm × 500cmの比例計数管を使用。

□ 検出器面積 約 25m²/station

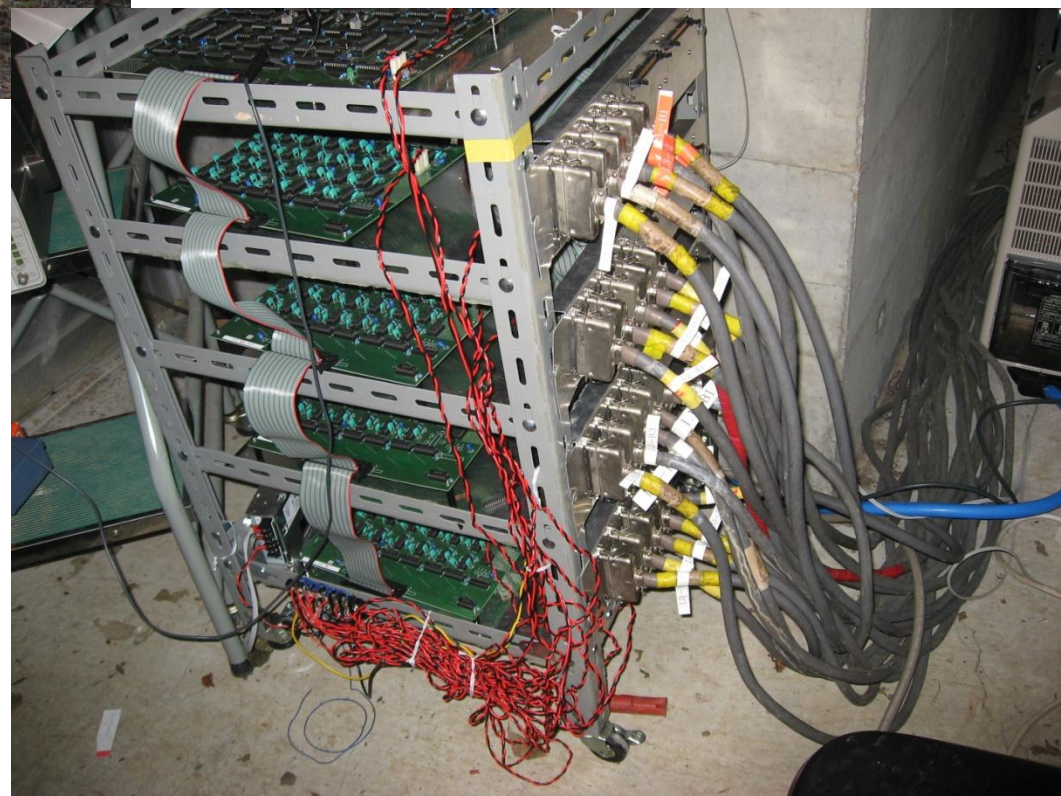
Muonの閾値エネルギー 1GeV



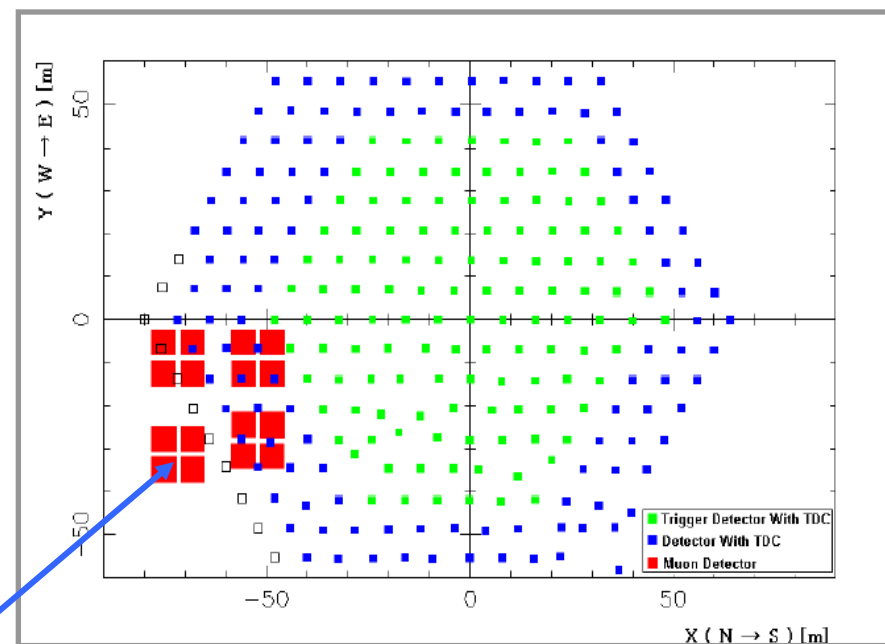
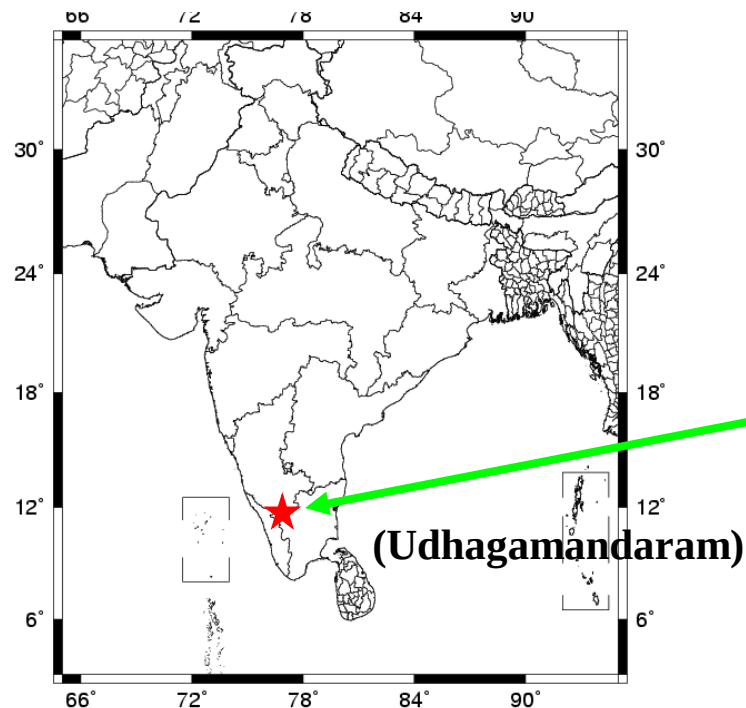
M1, M8 : 自動収集ADSL で大阪にデータ転送 (M5は宇宙線研のネットワークを使用)

M8

データ収集回路



GRAPES-3での観測



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)

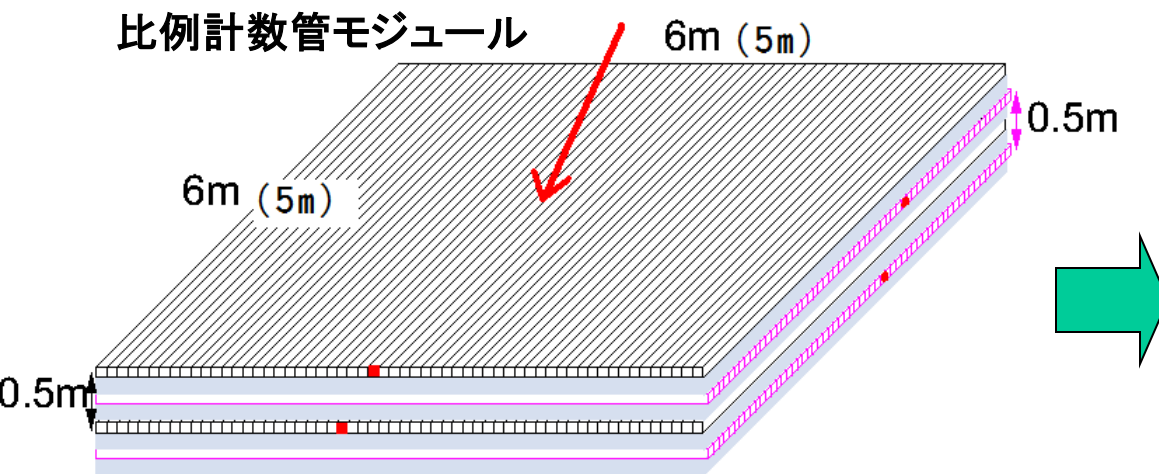
電磁成分 : 1m² SC 350台

Muon (>1GeV) : 35m² 16台 合計560m²

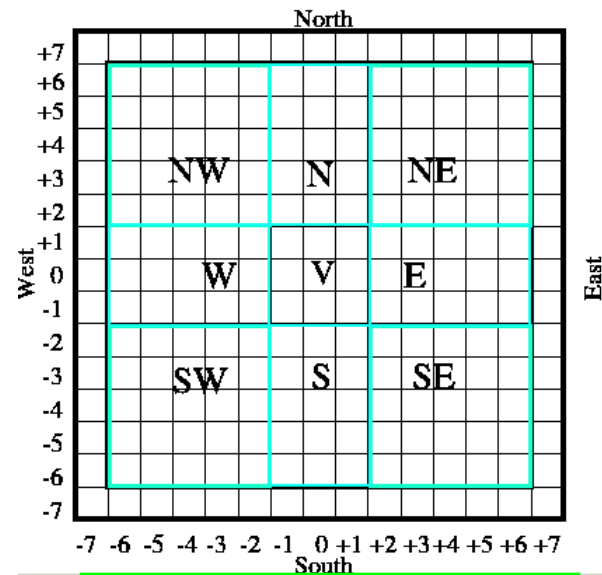
○超高エネルギーガンマ線

○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



ミューオンの到来方向を 10° 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: $0.05 \text{ \%}/\text{Hr} \cdot 16\text{modules}$

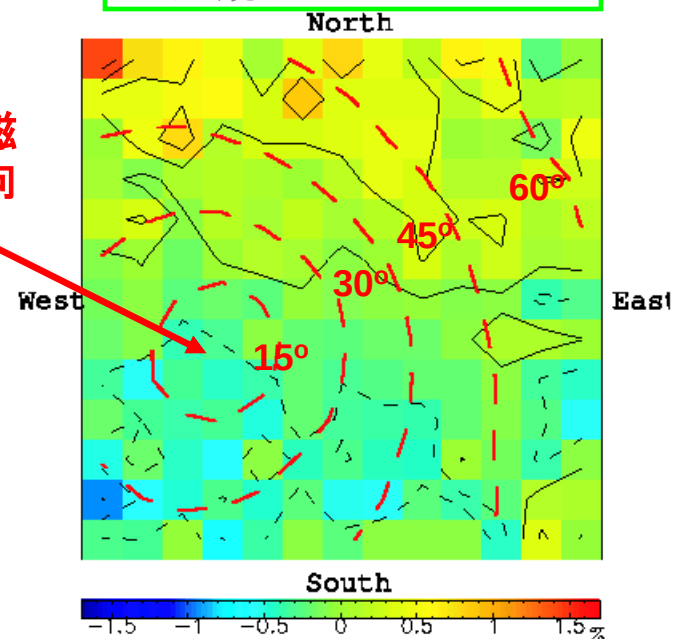
視野の端: $0.3 \text{ \%}/\text{Hr} \cdot 16\text{modules}$

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):

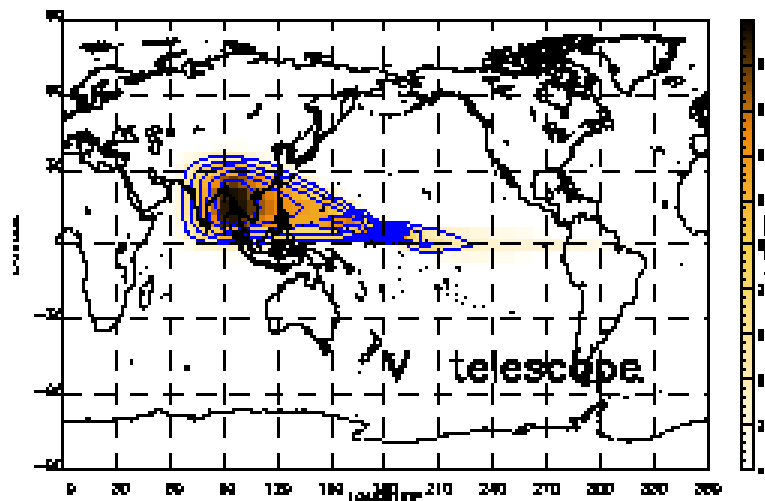
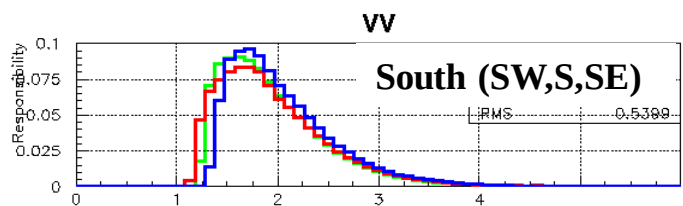
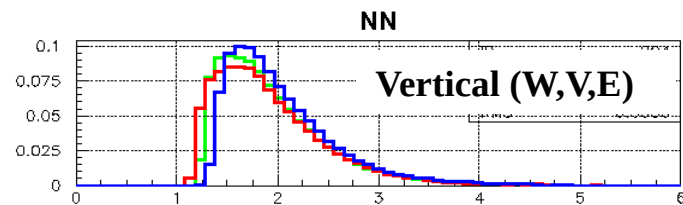
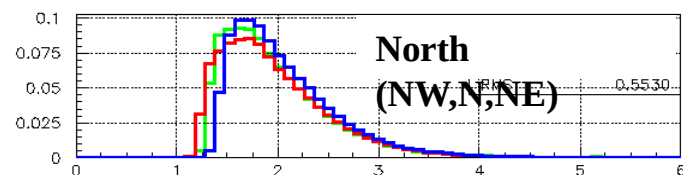
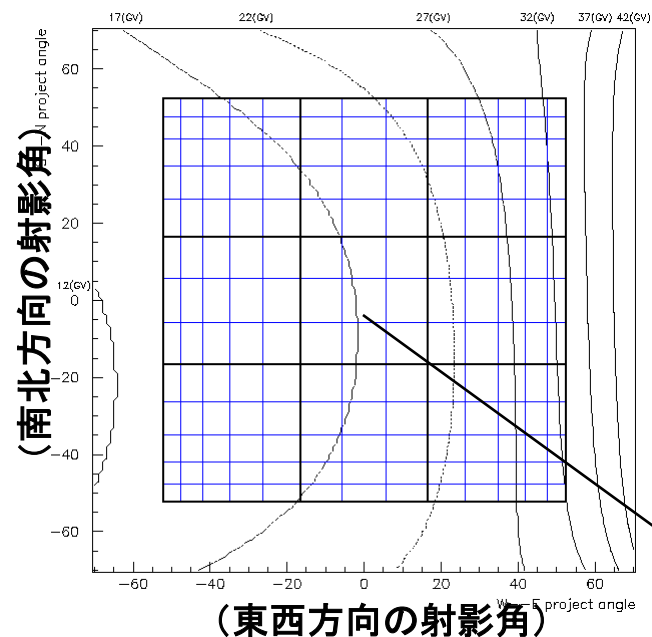
- 到来方向を射影角毎に
(15 × 15通り)に分けて観測。

切断剛度: 12GV– 40GV
(鉛直 17.2GV)

IGRF(2000)にて計算

median rigidity: ~65GV(垂直)

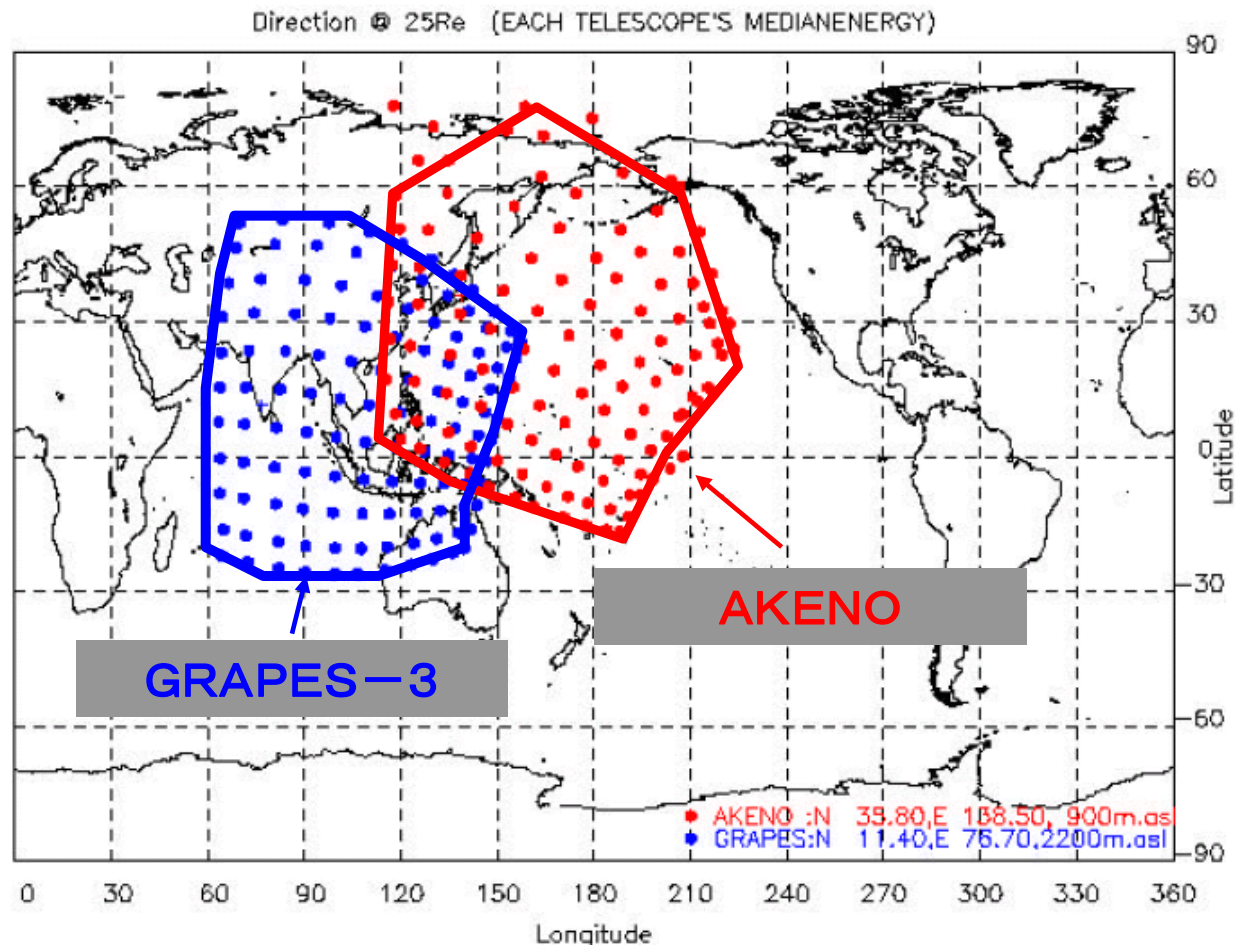
mode : ~30GV



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。

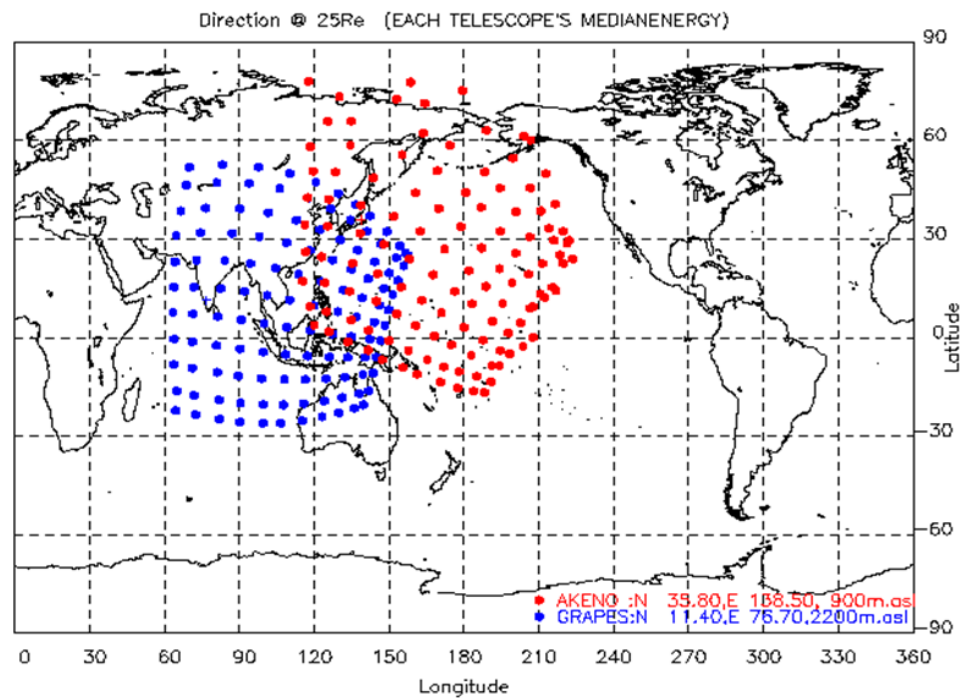
地磁気の影響で入射方向による宇宙線入射の剛度限界の違いによりFDや太陽風変動の効果が異なる可能性がある。

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。

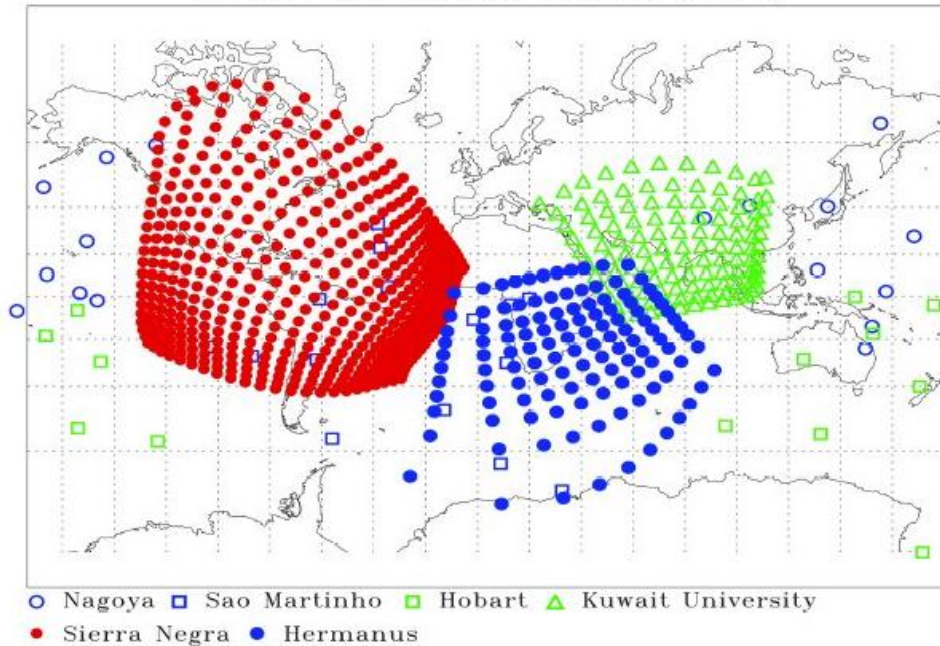
対策としては、経度・緯度の異なる複数の地点での多方向入射観測の可能なミュオン望遠鏡で相補的に観測を行い、各望遠鏡間の視野特性等のキャリブレーションを実施しておく。

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。

GRAPES-3+明野



Global Muon Detector Network (GMDN)



GMDN + SciCR

2011年の太陽活動

太陽黒点数：極小期を離脱し上昇中である

長期に渡った極小期もようやく終了し、若干急激に上昇しつつある、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。

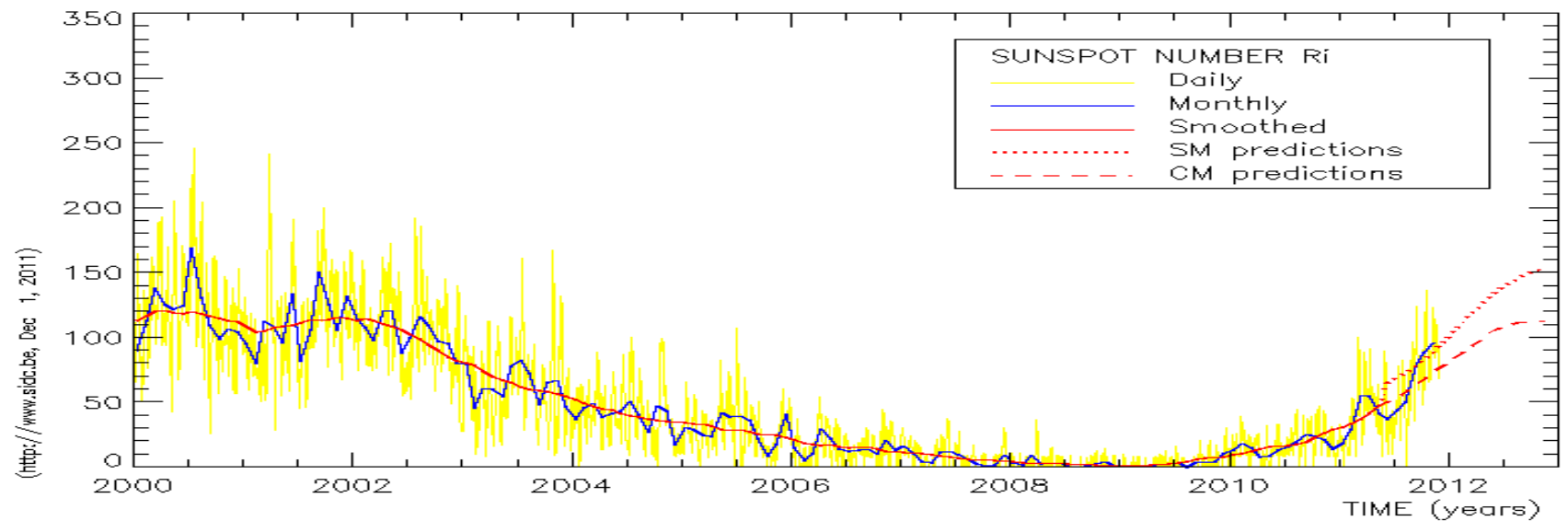
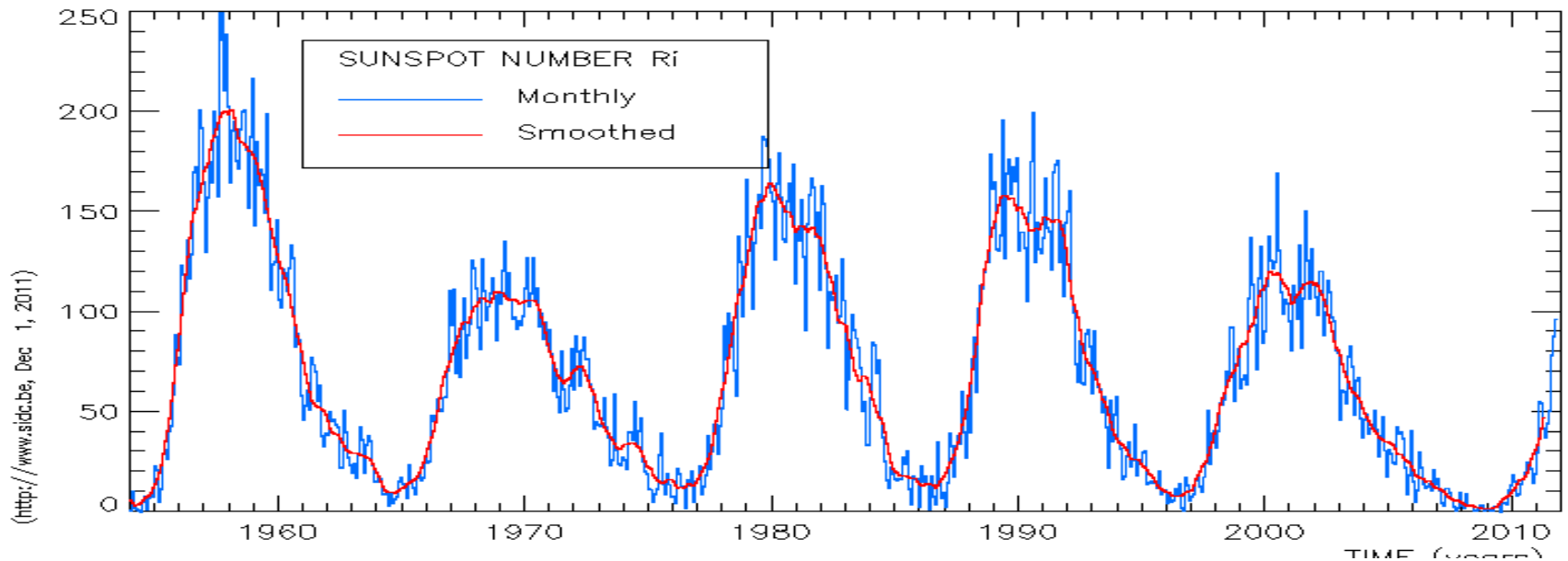
太陽X線フレア：M-classのものはかなり多く観測された。

X-class のフレアは3回程度観測された。

FD：Moscowの中性子モニターで2%程度以上減少のFDは10回程度起きた。

(2011年の明野観測所のミュオンテレスコープは節電協力等の事情で十分な観測データはとれなかった。：後程報告)

Sunspot index graphics



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

明野観測所における本年度の活動

現状（節電協力に加え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、漏電、停電等が発生して、「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いえない、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

- ・ 現在の状況

東日本大震災による節電要請に協力するために
9月1日まで全ステーションの電源をOff状態においた。

- － M5

- ・ 無線LANのリピート機能により無線接続中
 - ・ 再開後しばしば観測が中断したが、現在は正常に稼働中、外部からのアクセス可。

- － M1

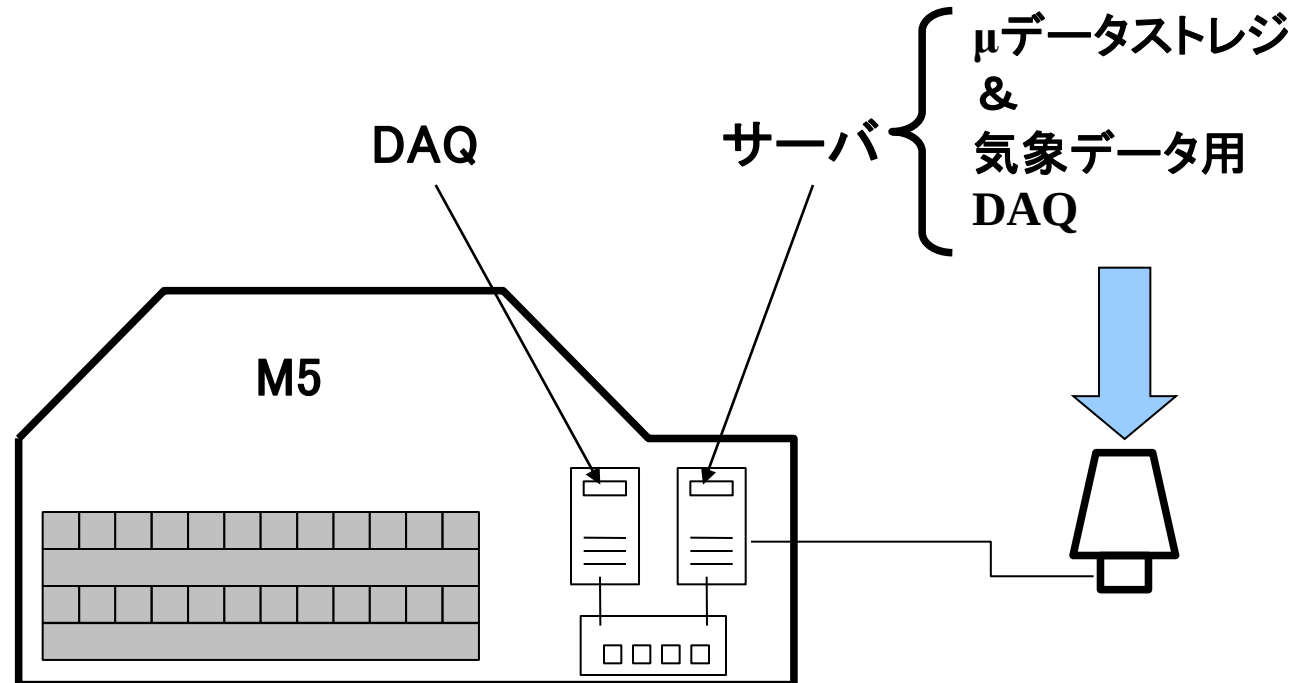
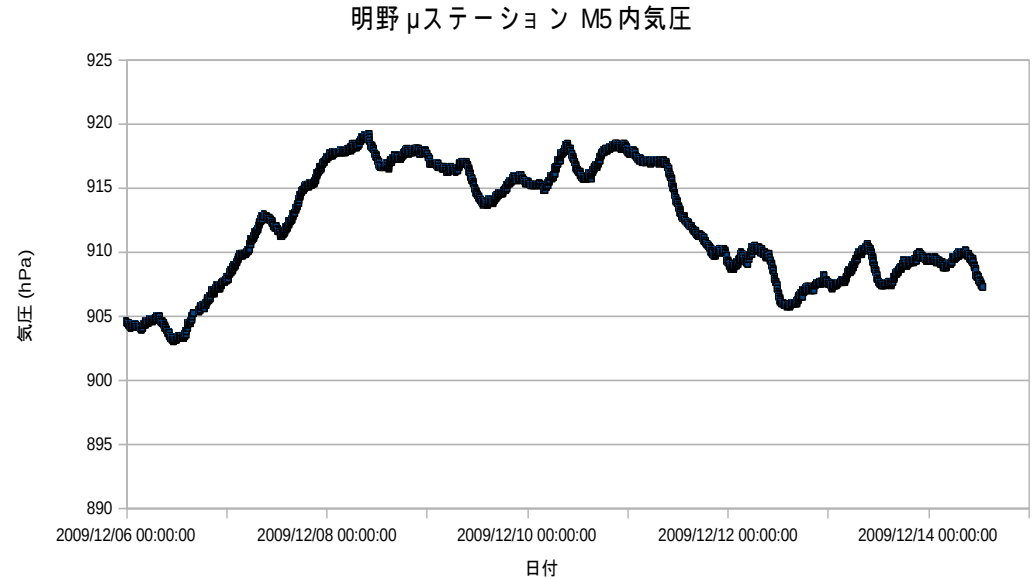
- ・ 現在機能停止中

- － M8

- ・ 再開後DAQ、サーバ共に正常稼働していたが本年10月上旬に突然、機能停止。再度リセットして再開、現在は正常に稼働中

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

2011年9月25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、現在は正常稼働。

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。一応、現在は正常稼働中。

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、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。

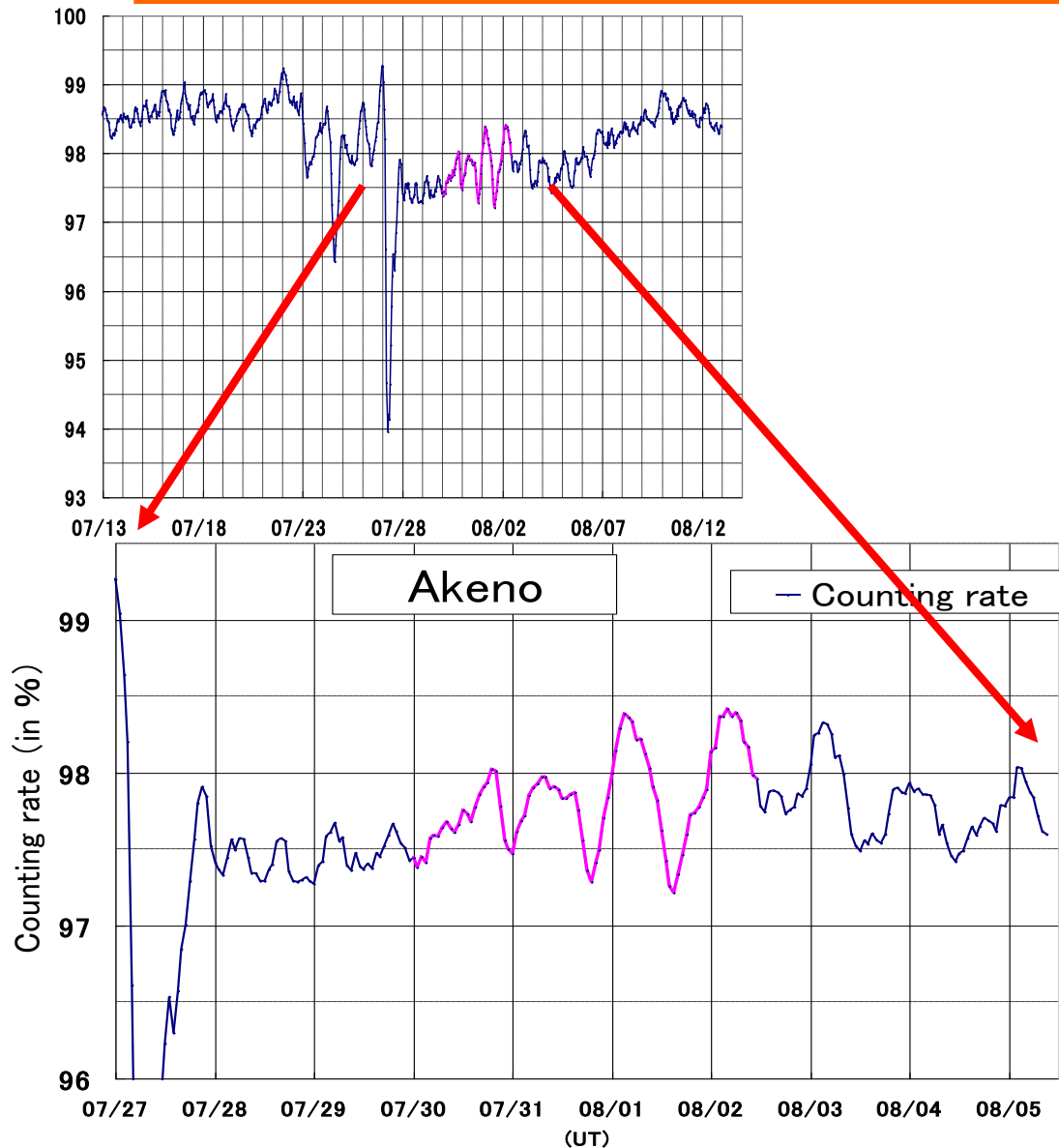
169方向入射のミュオン強度観測データを用いれば惑星間空間における宇宙線3次元の強度マッピングができる。

このような169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)

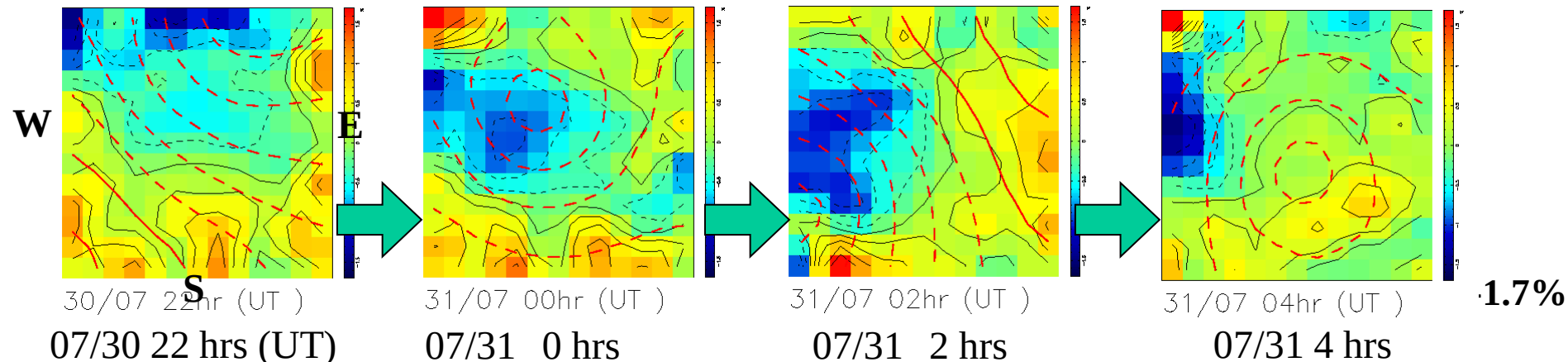


The amplitude of the daily variation of muons counting rate (primary cosmic rays) for 07/30 ~ 08/01 become somewhat big (~1%) four days after onset of big Forbush decrease.

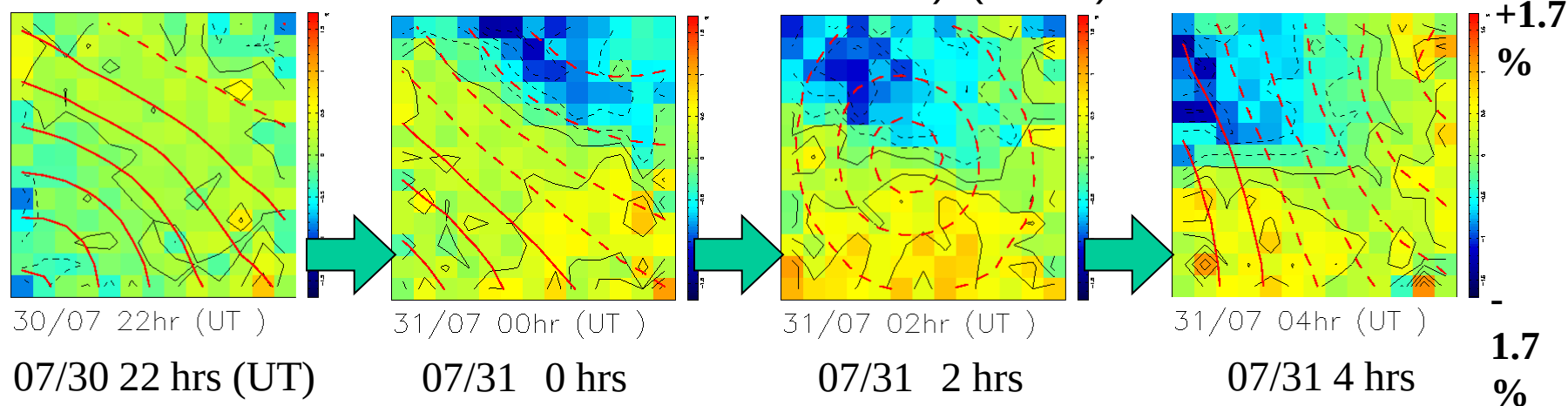
We analyzed the muon's directional data during this period with GRAPES and Akeno's and find unusual behavior.

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

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



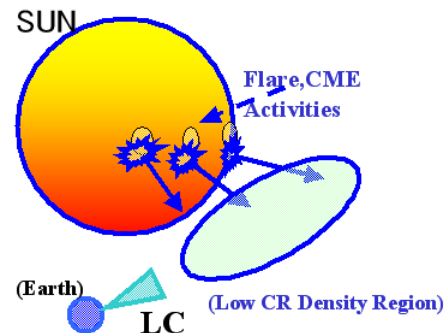
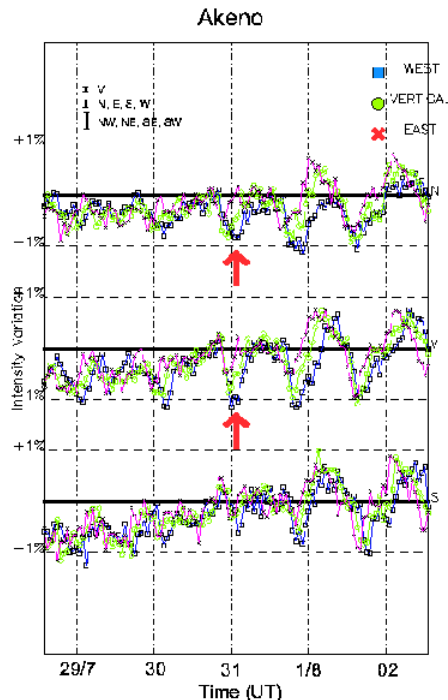
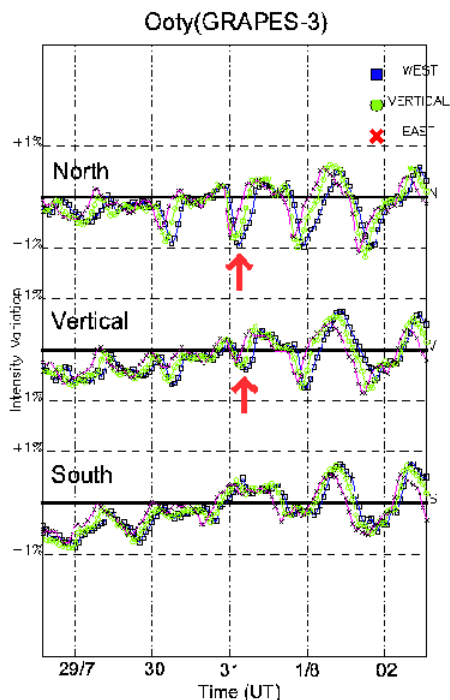
GRAPES-3 (E76.7 ° N11.4 °) (560m²)



○ anisotropy toward the Interplanetary Magnetic Field

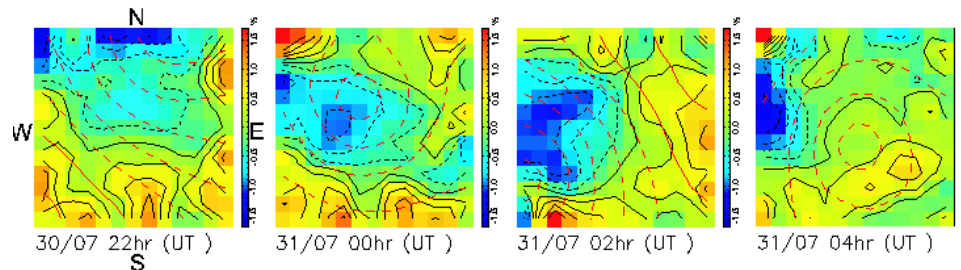
○ Anisotropy observed simultaneously by two distant telescope (6 hours)

過去の同時観測の事例： Loss-Cone型異方性

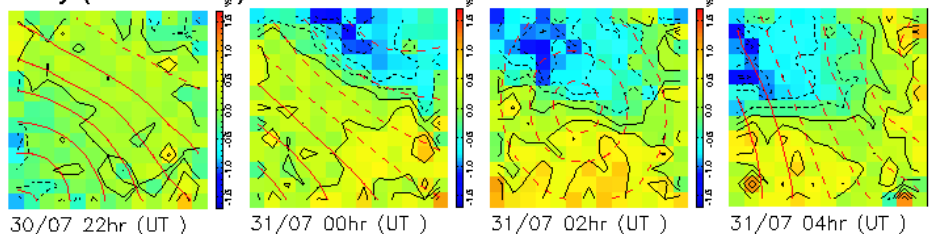


太陽の西にあった活動領域652がフレア+CMEを発生させながら西端付近へ。
→地球から離れた場所に宇宙線低密度領域
(衝撃波起源の地磁気嵐は発生するも、Forbush Decreaseは観測されず)

Akno (Smoothed)



Ooty (GRAPES-3)

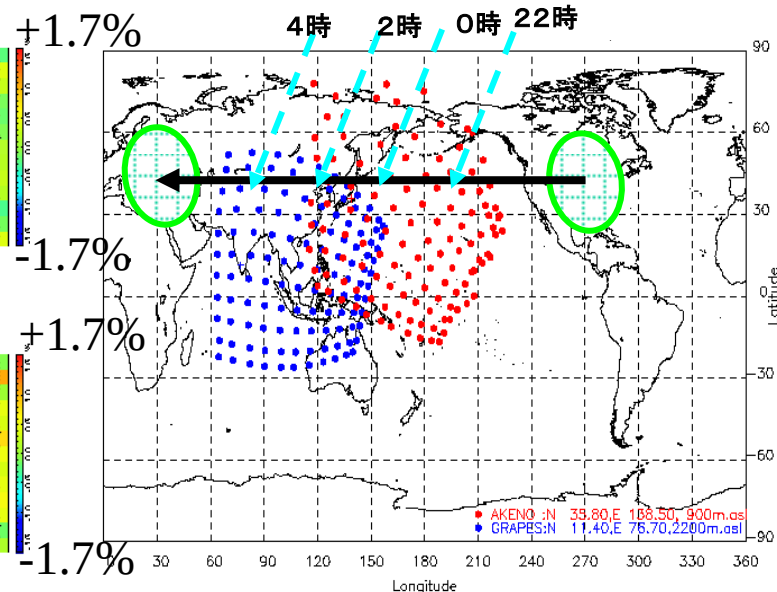


22時

0時

2時

4時



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。

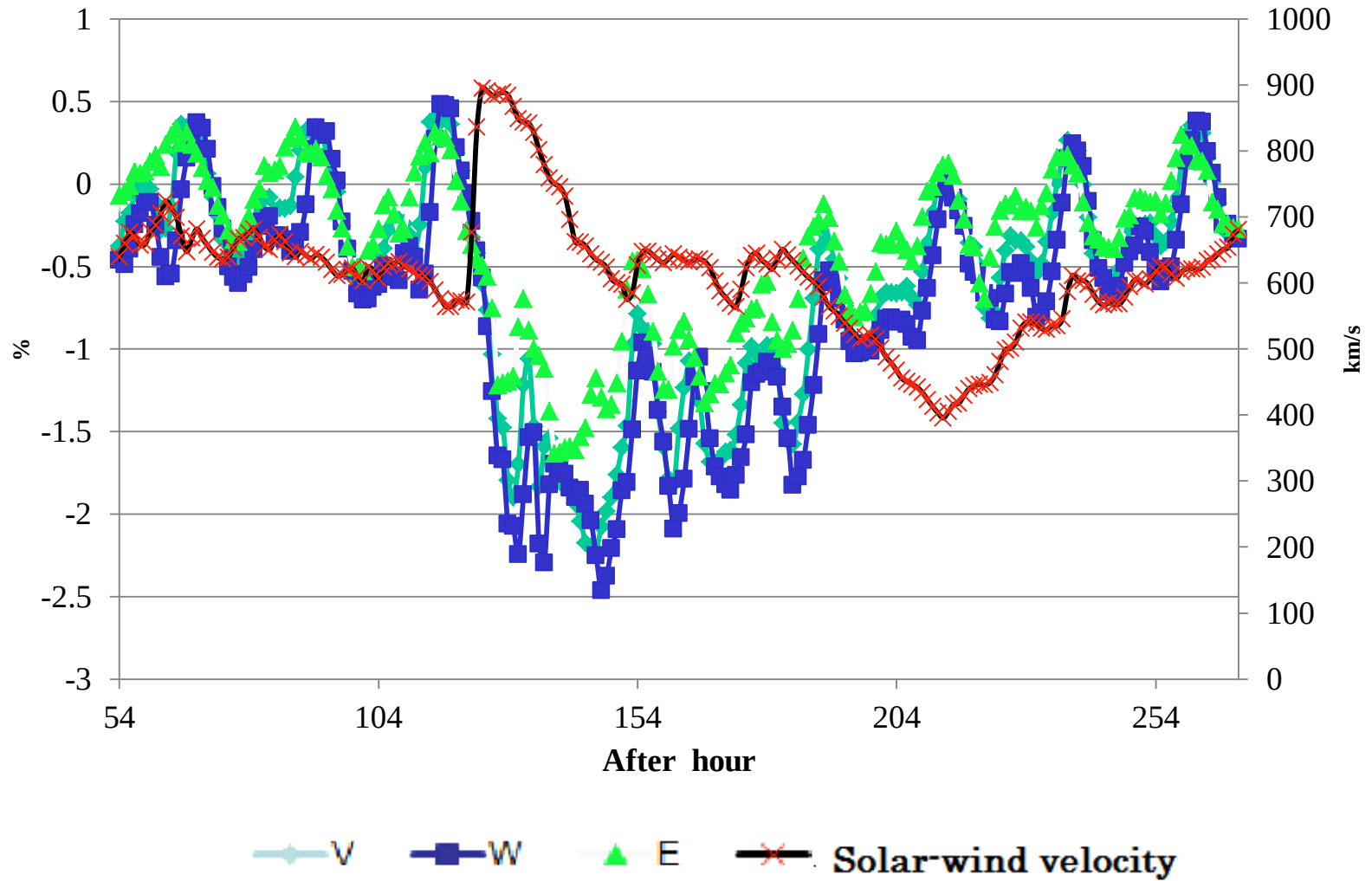
現在の太陽活動は2007年から3年にわたり極小状態で推移していたが、現在は上昇中。しかし極大状態は過去数回の極大期くらべ活動度は小と予測されている。

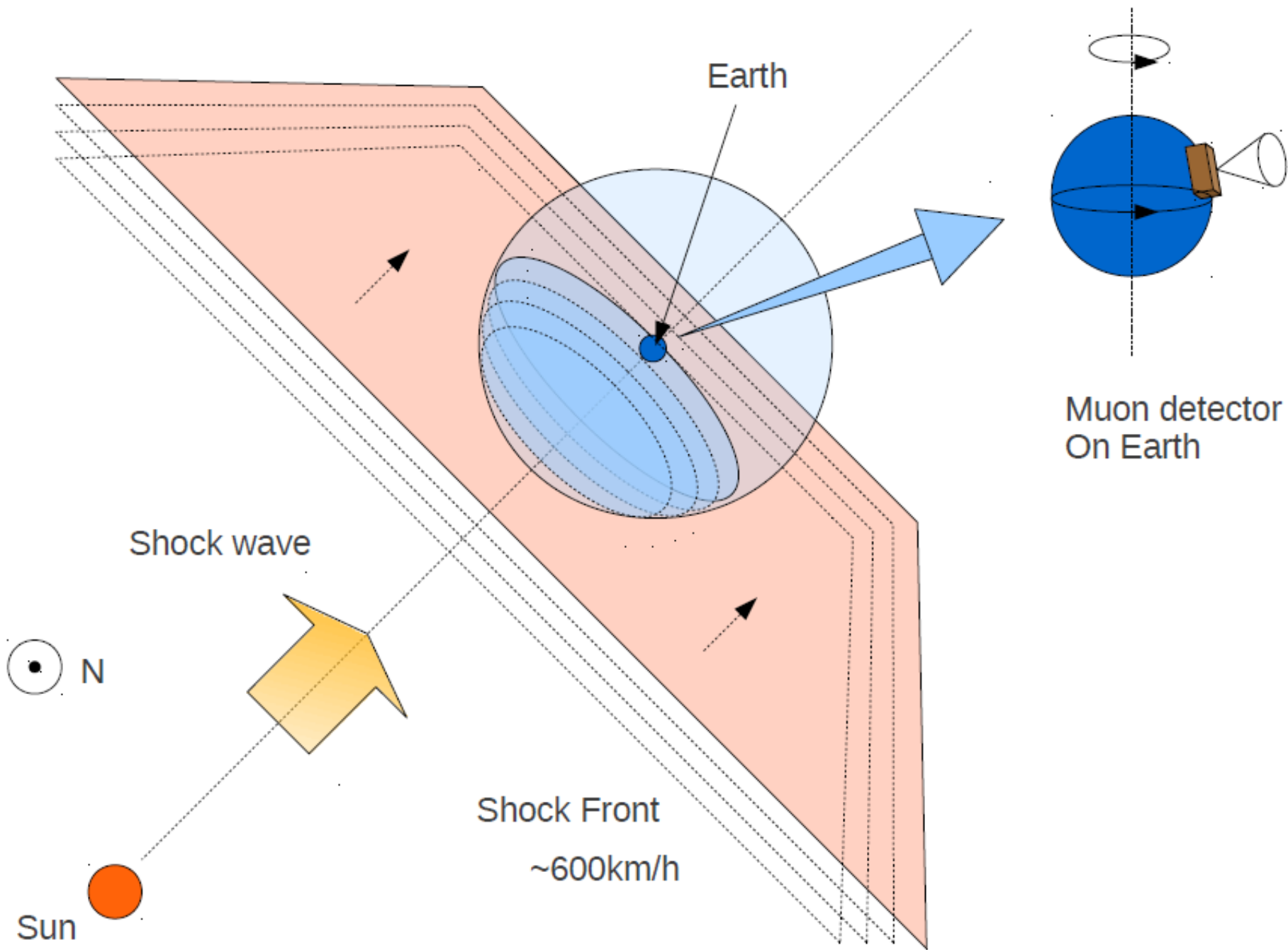
今後の活動が上昇がどの様に推移していくか、またどんなフレアが生ずるか、それらが宇宙線変動にどのような形で影響を与えるか、大変興味深い。

最後に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、どのような研究を目指しているかについて、過去に観測された事例に基づいて紹介する。

また今年観測された事例の一つを示す。

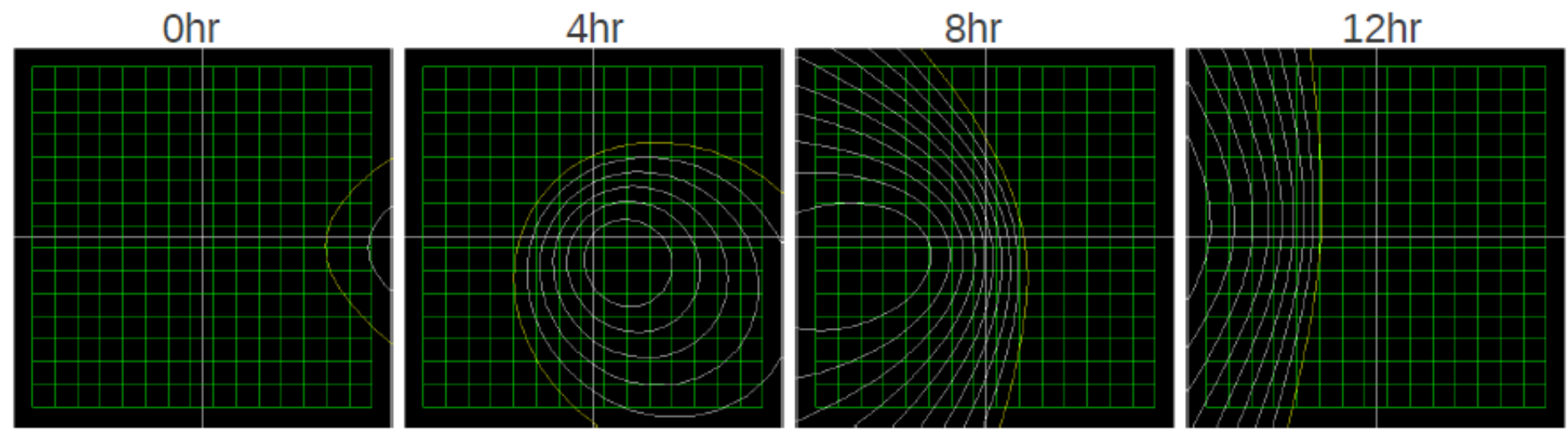
2006y12m10d0h(IST)~ :hourly value



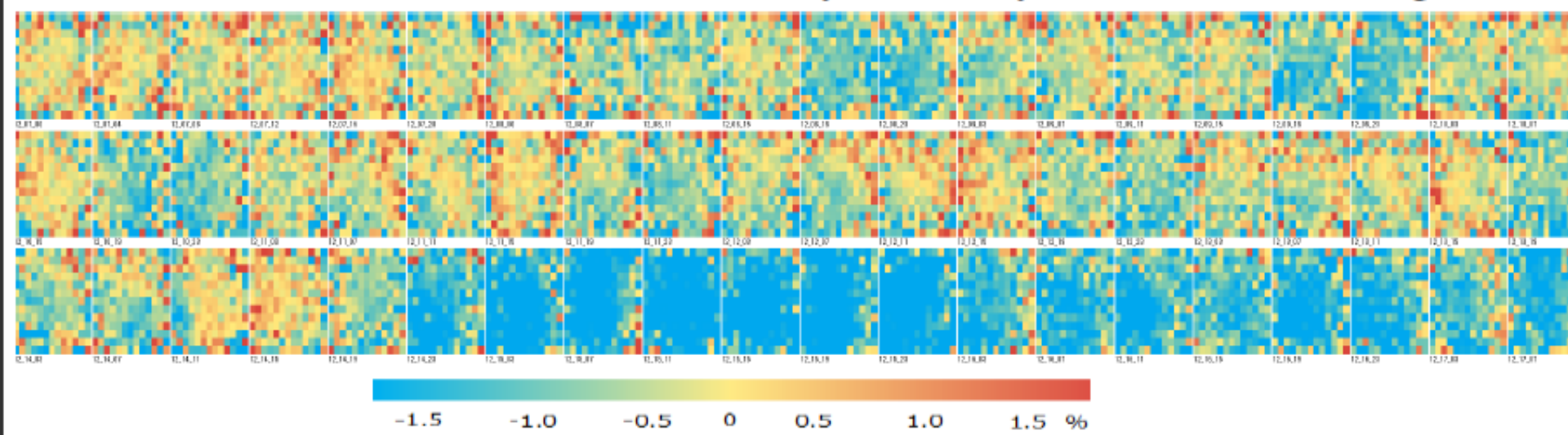


2D maps of multi-directional cosmic-ray intensity

Calculated Forbush decrease viewed by GRAPES-3 tracking muon detector



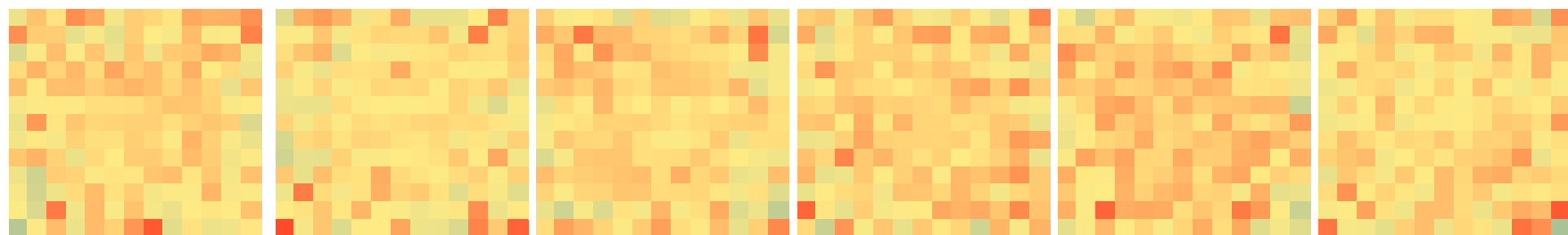
Forbush decrease(December 2006) - 7days intensity variation in 2D map



Cosmic rays variations(%).

<http://cr0.izmiran.rssi.ru/mosc/main.htm>

Σαῖοῡ.2011 - ἰεῖοῡ.2011



2011/9/28 0

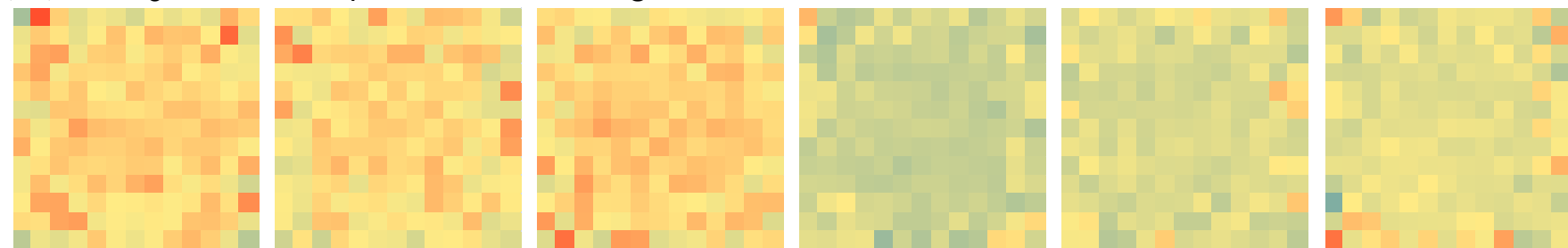
4

8

12

16

20



2011/9/29 0

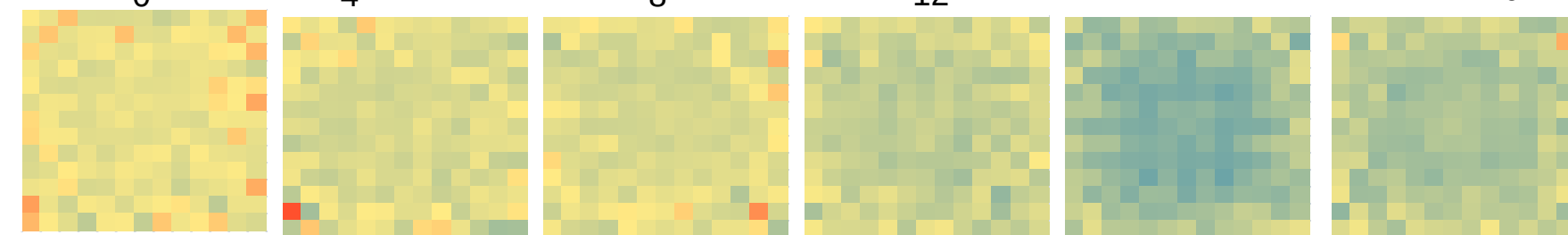
4

8

12

16

20



2011/9/30 0

4

8

12

16

20

共同研究者リスト:

大阪市立大学理科学研究科

伊藤信夫 荻尾彰一 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23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(43,660円執行済) 来年2~3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 + 宇宙線研究所と明野観測所の御協力

有難うございました。来年もどうかよろしくお願いします。