

# 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(2008)

共同研究者リスト:

大阪市立大学理学研究科

伊藤信夫 大嶋晃敏 荻尾彰一 奥田剛司 川上三郎 田中秀樹

林嘉夫 藤井俊博 松山利夫 宮内仁 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

名古屋女子大 東大宇宙線研

小島浩司 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

# 報告内容

1: 実験の概要

2: 明野観測所 — GRAPES-3 での強度変動の同時観測

3: 本年度の活動

4: 明野観測所 — GRAPES-3 における太陽風と宇宙線  
強度変動の関連性

5: まとめ

# GRAPES3と明野ミュオン同時観測の目的

- 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

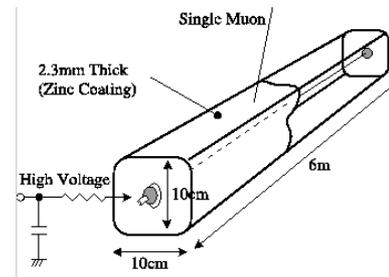
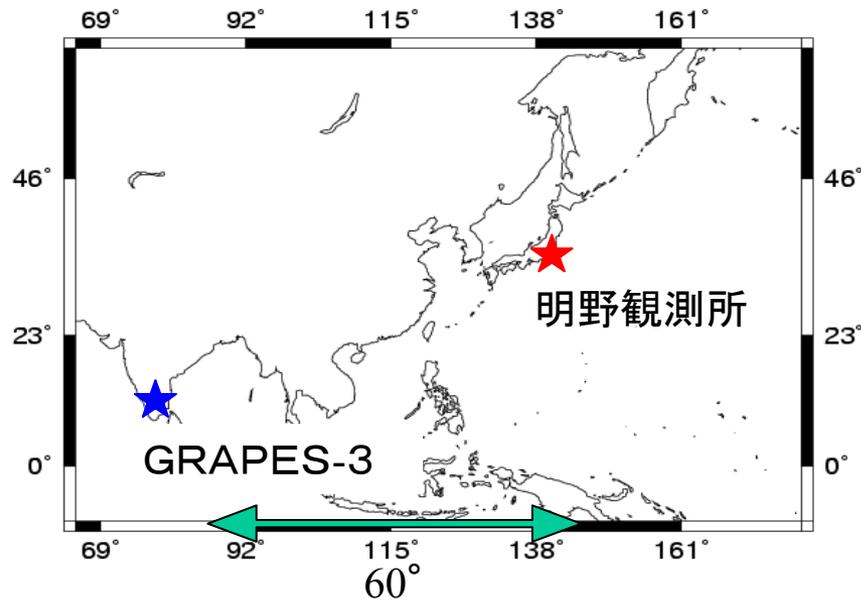
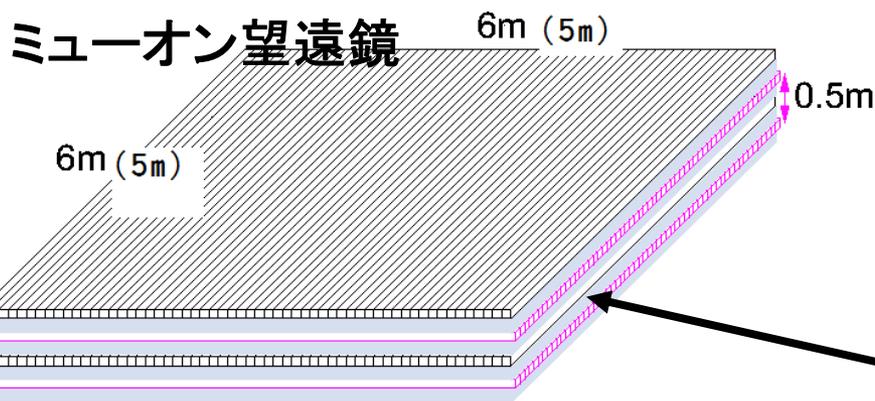


山梨県明野観測所(日本)とインドタミルナド州間で同時に種々の強度変動を同時観測する。

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。



## 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>

P10 Gas  
(Ar90%CH<sub>4</sub>10%)

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 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

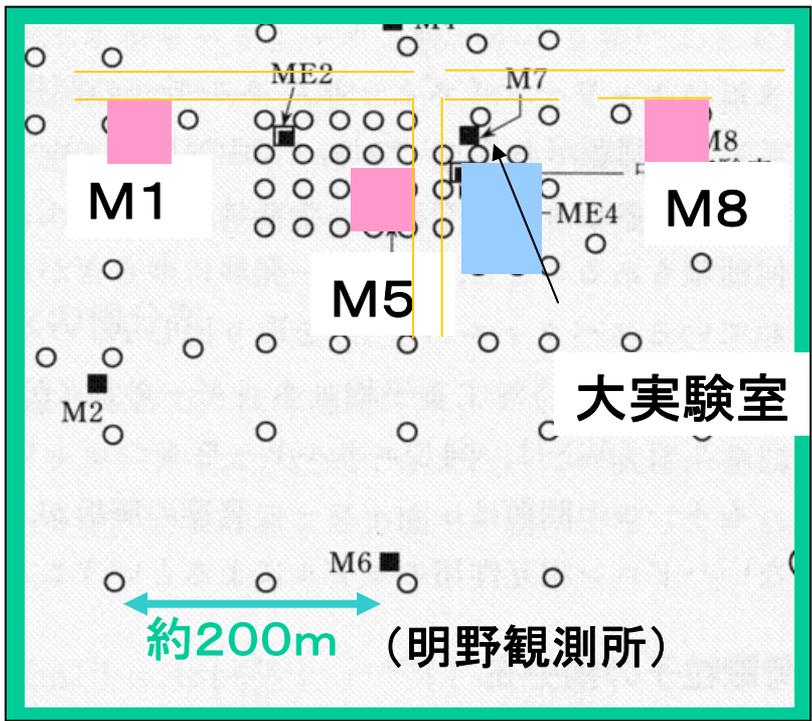
## その他

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°)



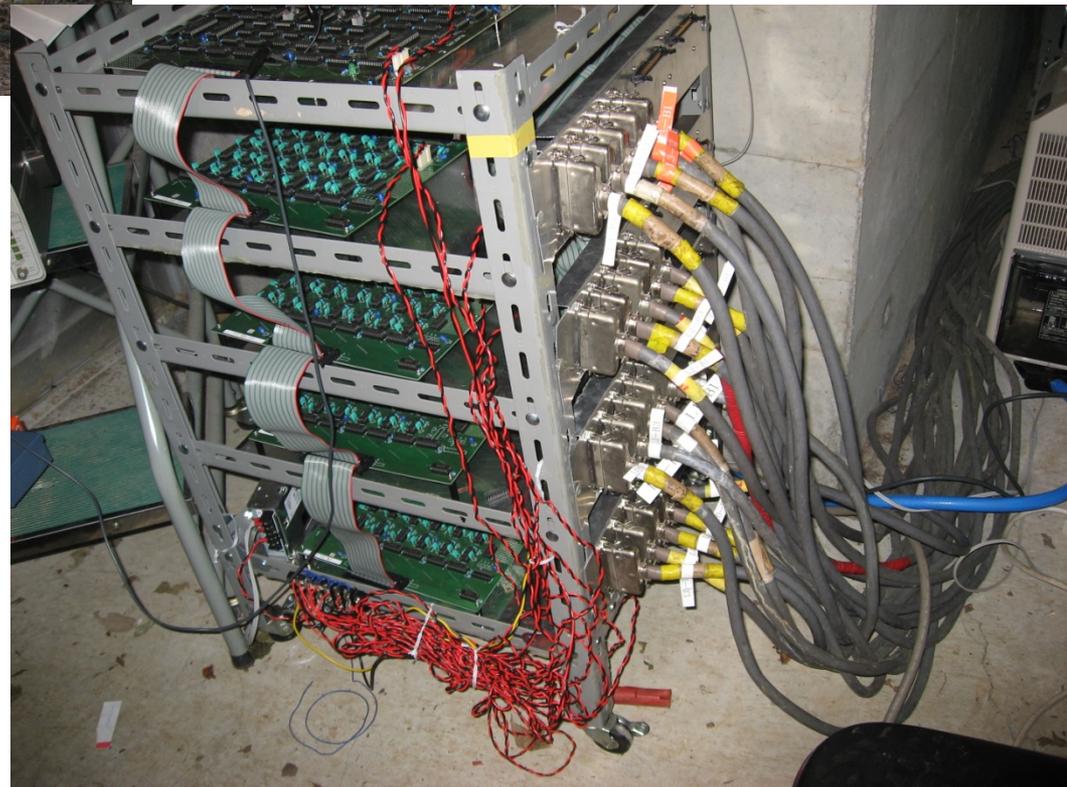
ミューステーション

- 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



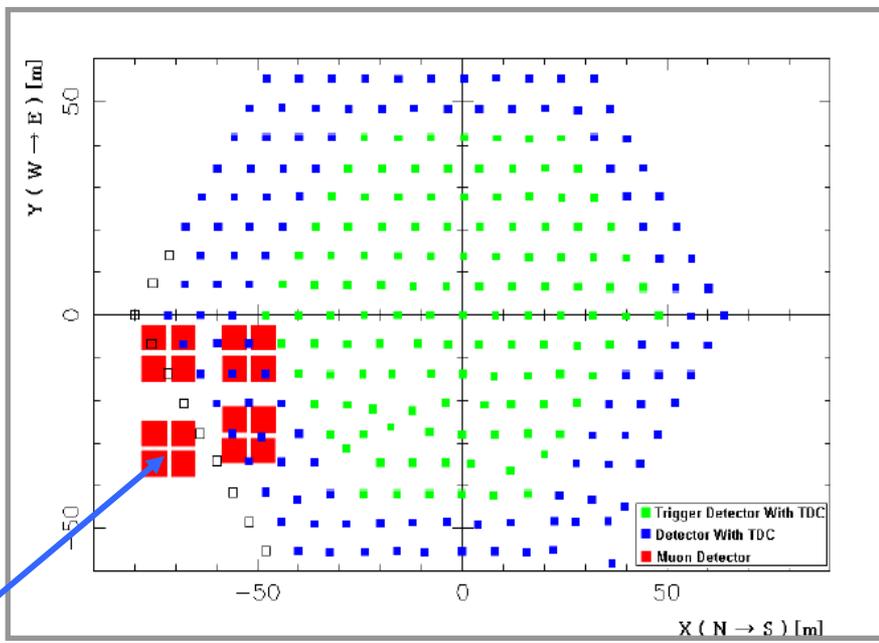
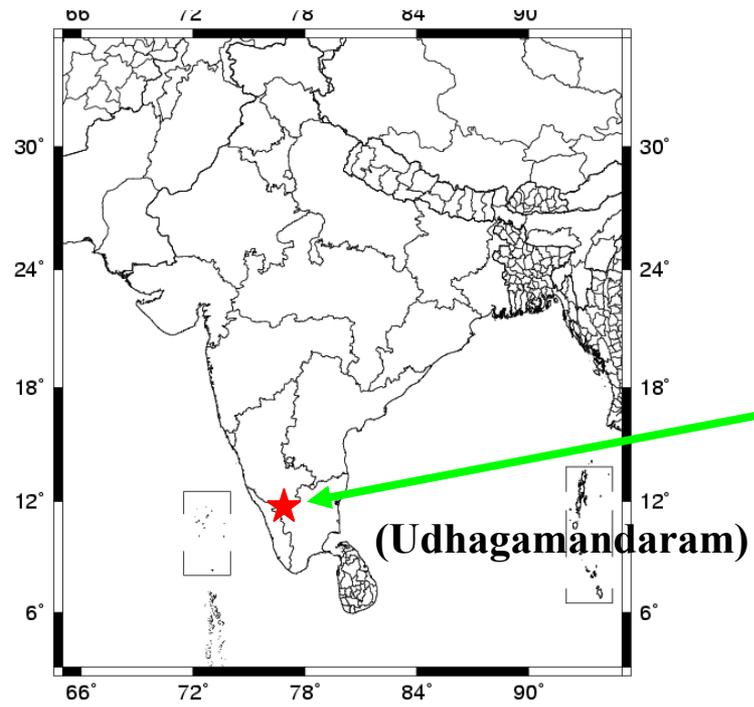
M1, M8 : 自動収集ADSL で大阪にデータ転送 (M5は宇宙線研のネットワークを使用)

M8



データ収集回路

# GRAPES-3実験:



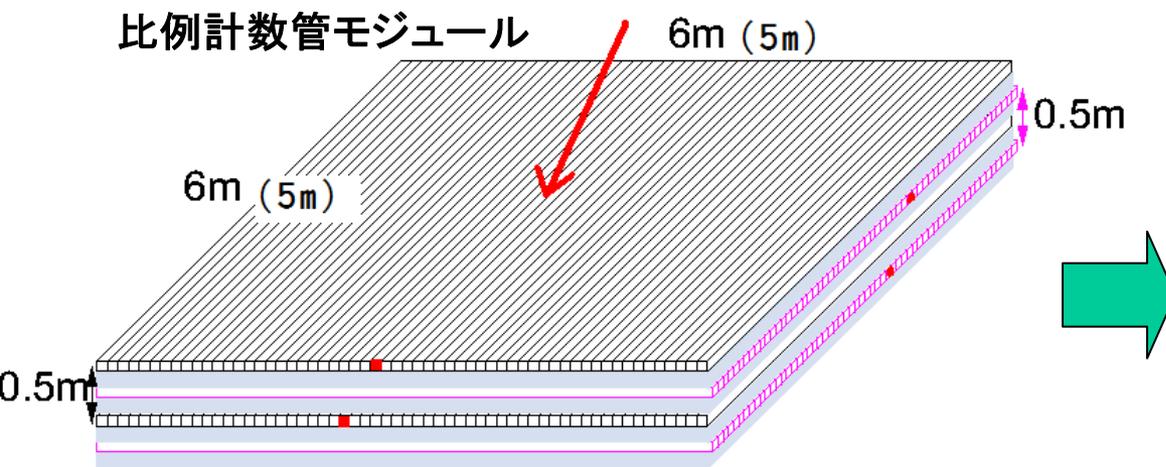
## GRAPES-3空気シャワーアレイ

(インド・タミルナド州E76.7° N11.4° 2200m asl)

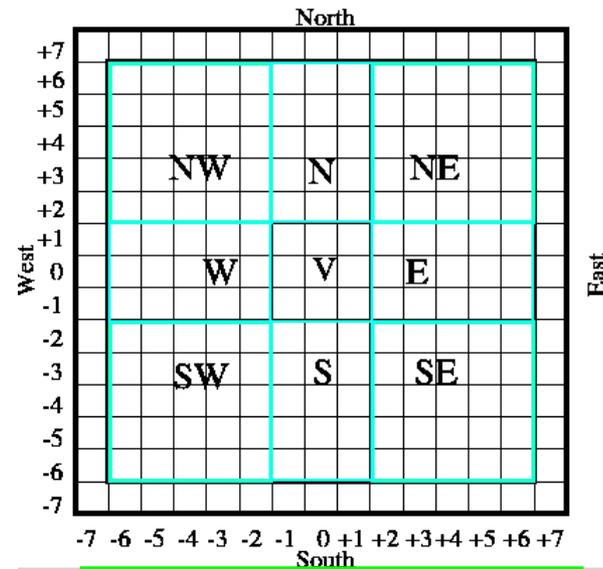
電磁成分 : 1m<sup>2</sup> SC 350台

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



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

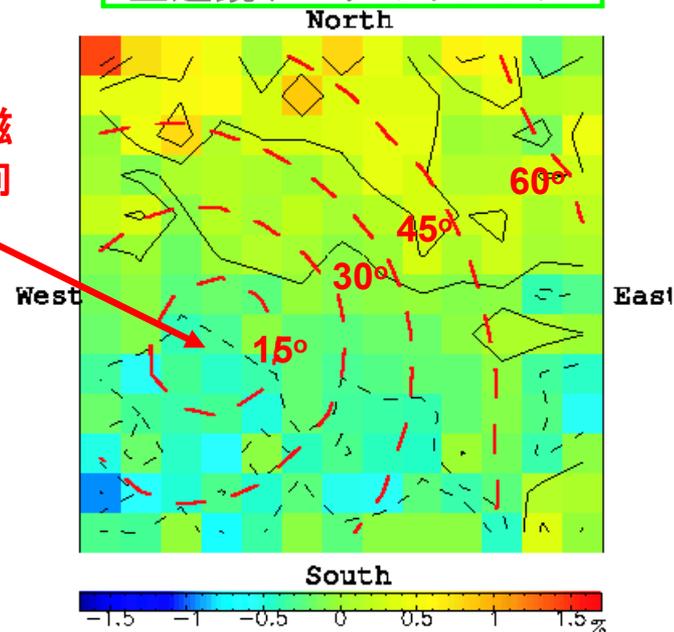
視野の端:  $0.3 \text{ \%}/\text{Hr} \cdot 16\text{modules}$

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):

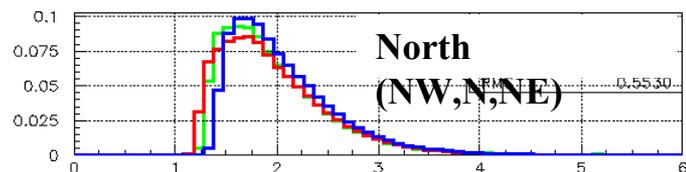
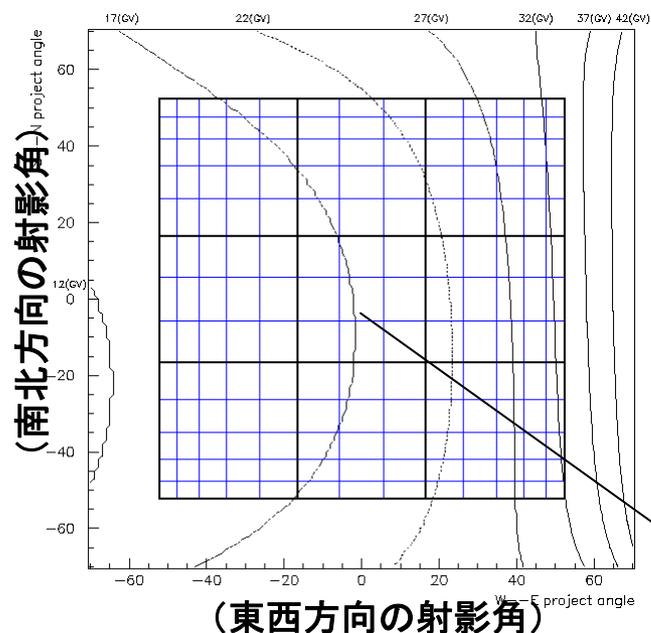
- 到来方向を射影角毎に (15 × 15通り) に分けて観測。

切断剛度: 12GV– 40GV  
(鉛直 17.2GV)

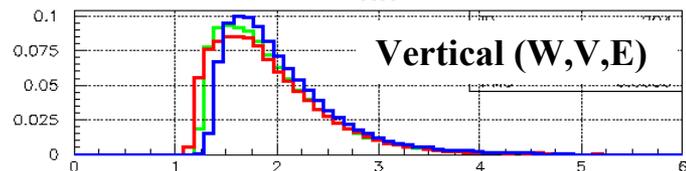
IGRF(2000)にて計算

median rigidity: ~65GV(垂直)

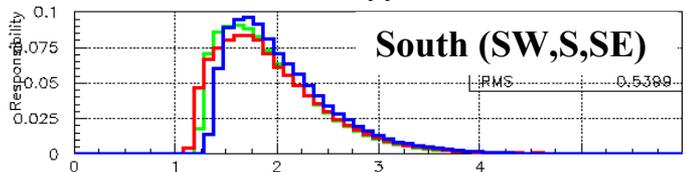
mode : ~30GV



NN

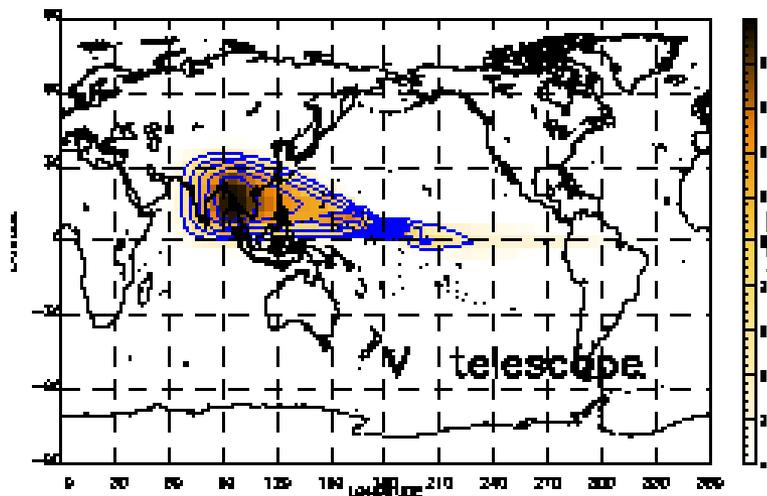


VV



SS

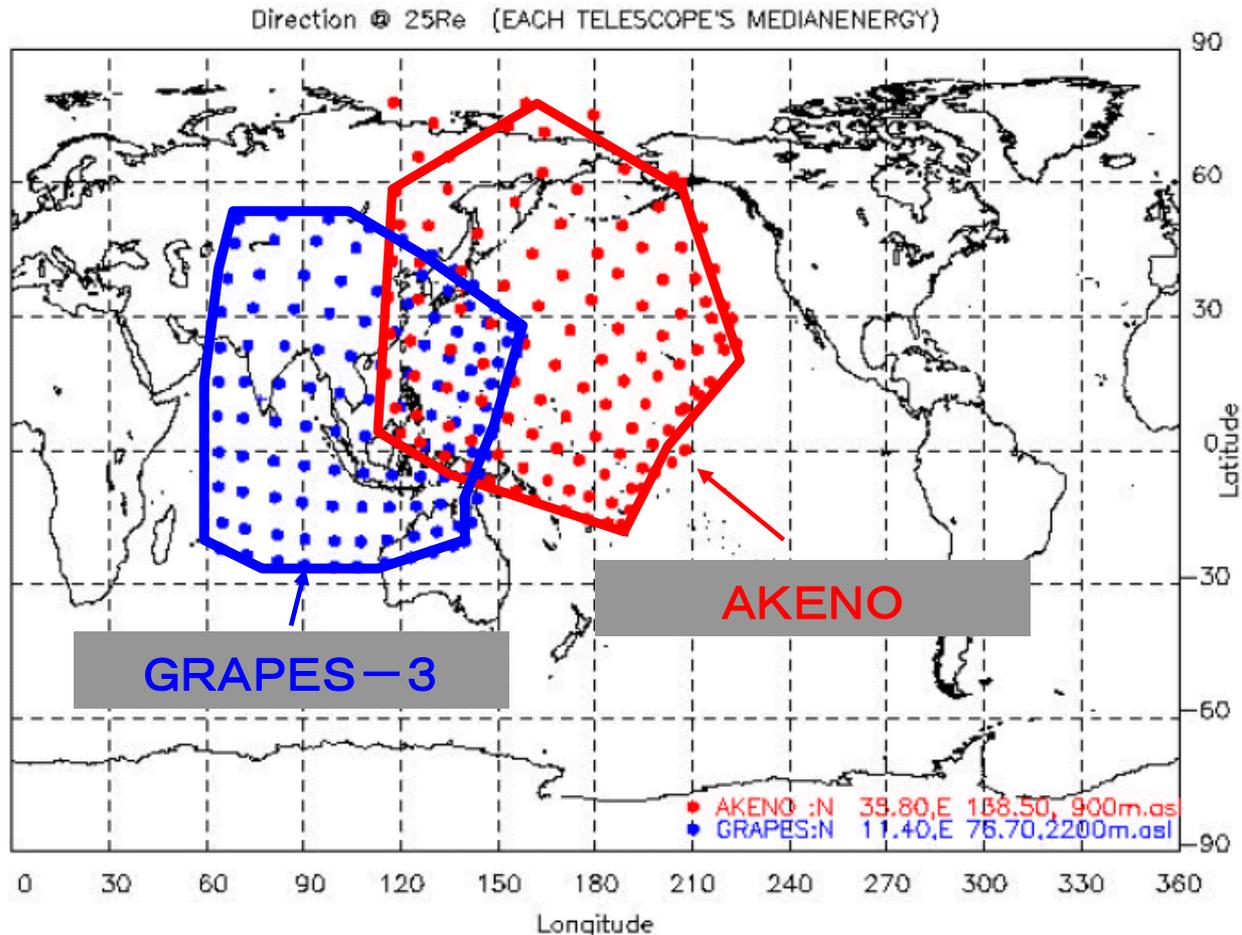
Log(E)



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。

# 昨年の報告

## 2007年の太陽活動

太陽黒点数: 極小期

太陽X線フレア: 6月4日に最大強度 M8.9

(6月に一連のフレア)

これ以外にM-class, X-class のフレアはなかった

FD: 1月～10月に 0.5%以上のFDはなかった。

2008年から増加に向かうことが予想される

# 2008年の太陽活動

太陽黒点数：極小期

増加を予想したが2007年に引き続き極小状態が維持されている。

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。

(2008年の明野観測所のミュオンテレスコープは後述する事情で観測データがとれなかったので不幸中の幸いか?)

2009年から増加に向かうことが予想される

# 本年度の活動

## 現状

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それを実施中。

M1ステーション

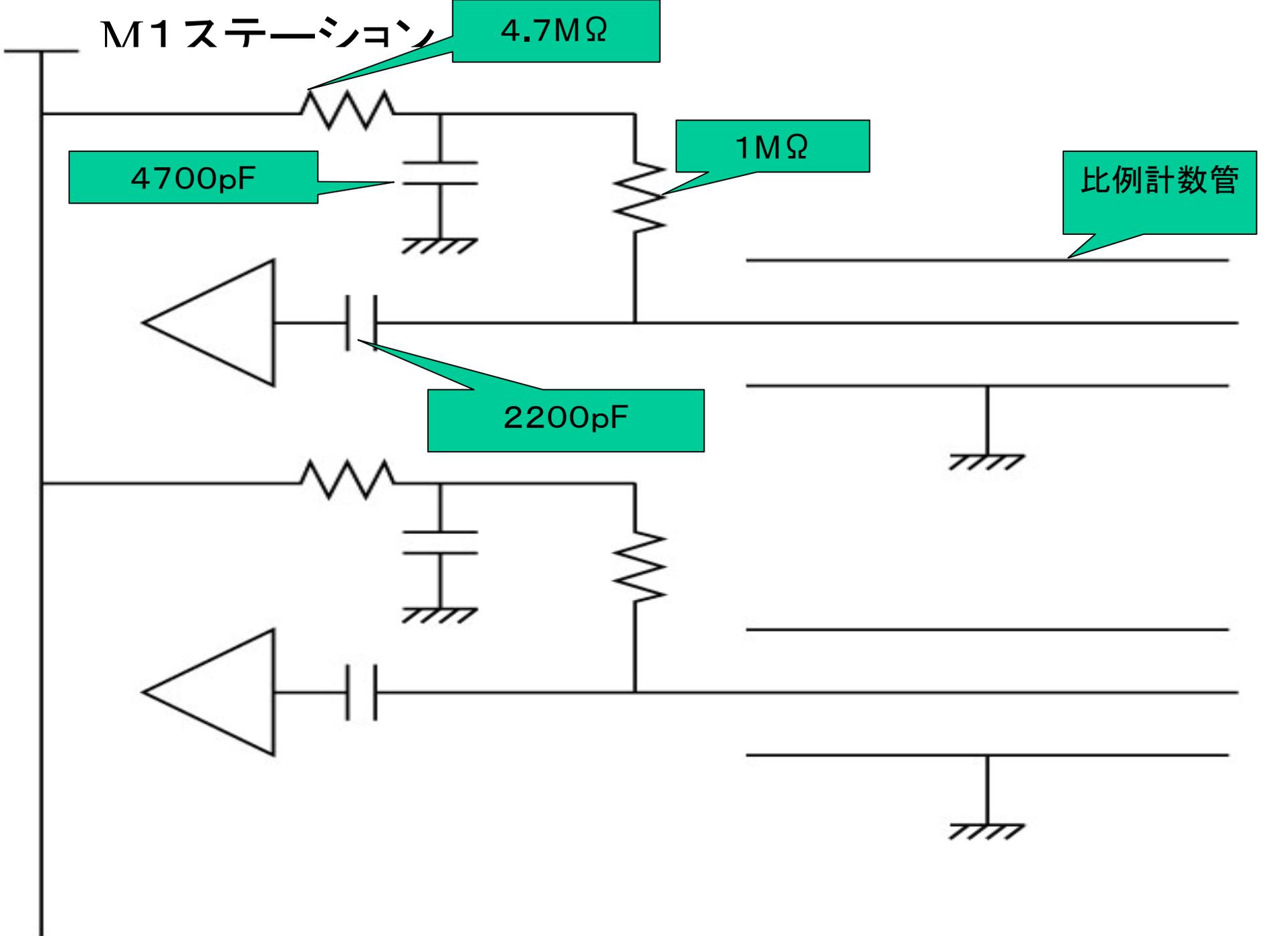
4.7M $\Omega$

4700pF

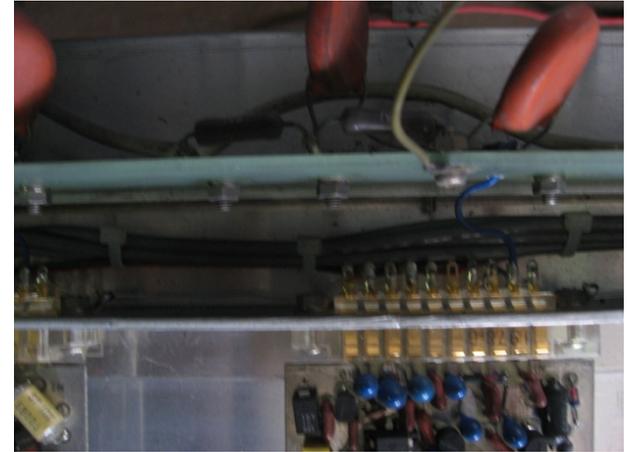
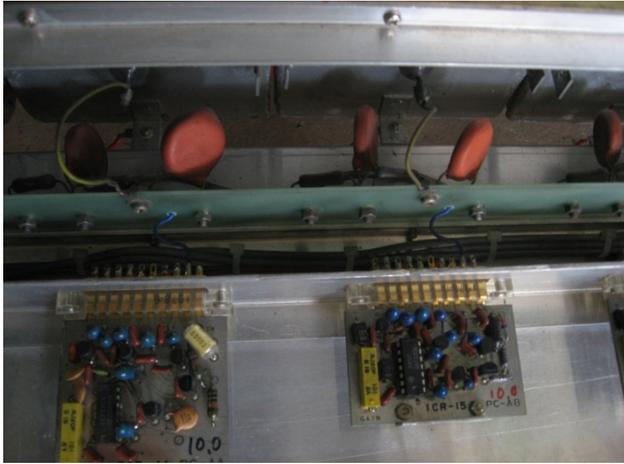
1M $\Omega$

比例計数管

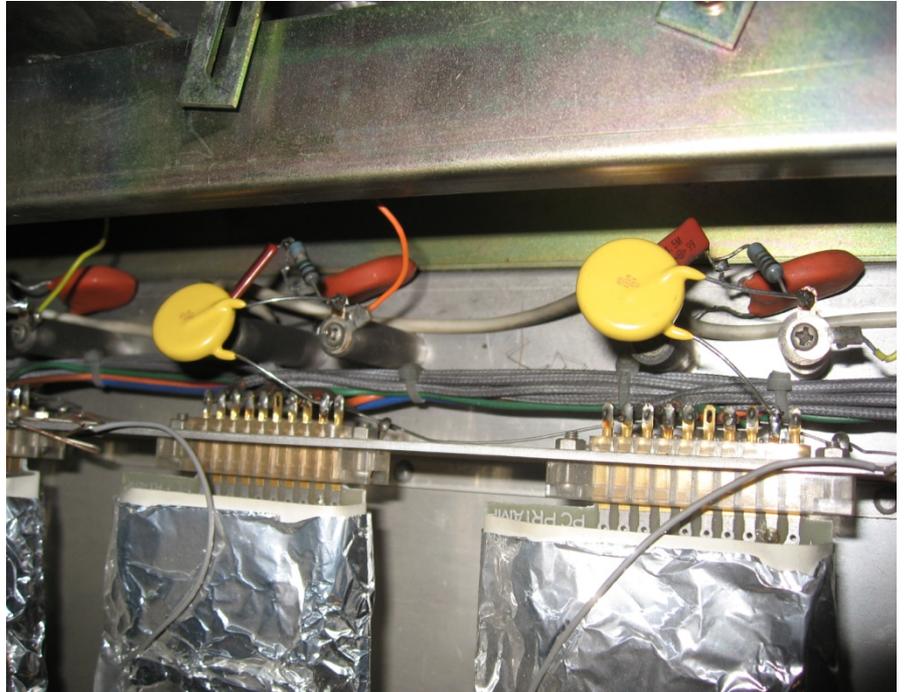
2200pF



# 交換前



# 交換後



# M5ステーション

検出系は比較的良好で稼働状態であったが、データ記録用PCシステムが落雷停電等により完全に破損していたので計測値が1年以上にわたり記録されていなかった(11月にPCを交換)。

データ転送について宇宙線研のネットワーク経由で実施していたが、M5ステーションと明野観測所研究棟を道路をまたいで結んでいた光ケーブルが完全撤去されたため、転送ができなくなっていた(想定外)。11月に研究棟とM5について無線LANを設置して接続の復活作業を行ったがまだ完全に動作せず。

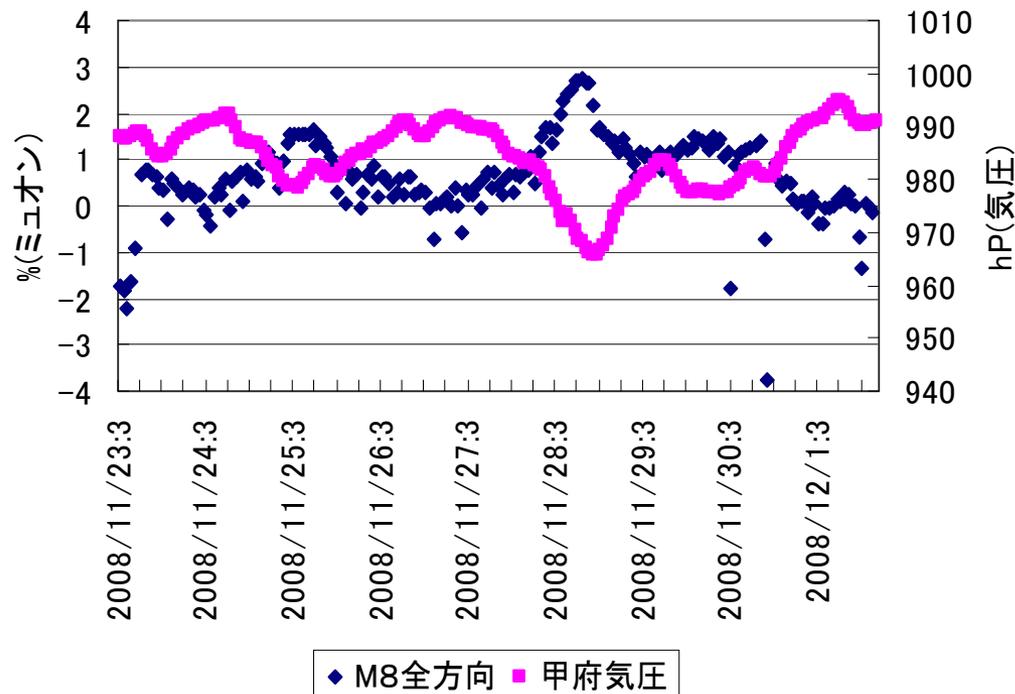
**M5側から外部のWebは見えるが、外部からM5のマシンにコネク特できない。**

# 作業中のスナップ

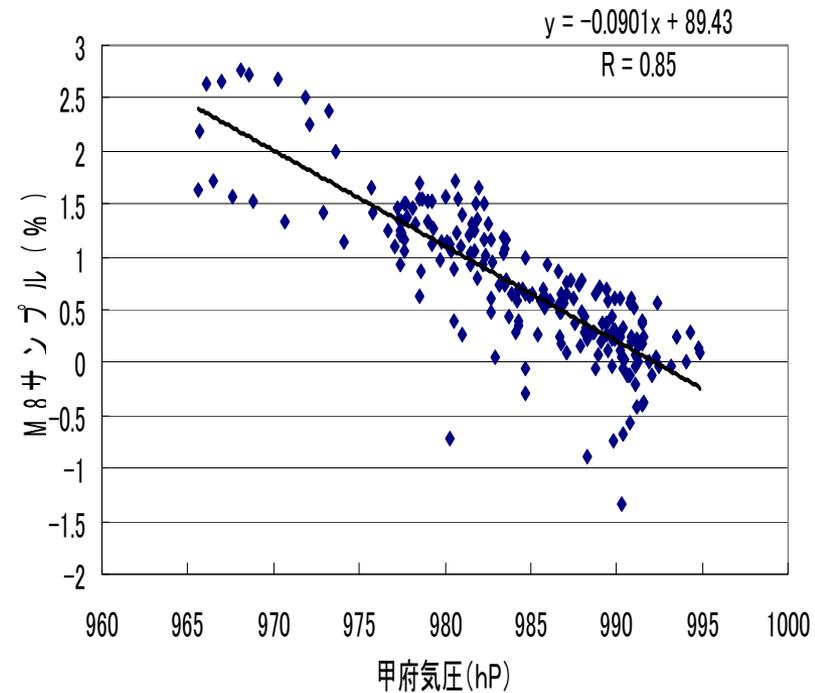


現在のところかなり不安定だがM8のみ検出系、記録系、転送系  
ともにシステムが稼働している。

M8試験サンプルデータ及び甲府気圧



M8 サンプルデータ % - 気圧



# 明野—GRAPES3の解析で目指すもの：GRAPES3と明野ミュオンを用いた 225方向データによる3次元異方性マッピング解析(シミュレーション)

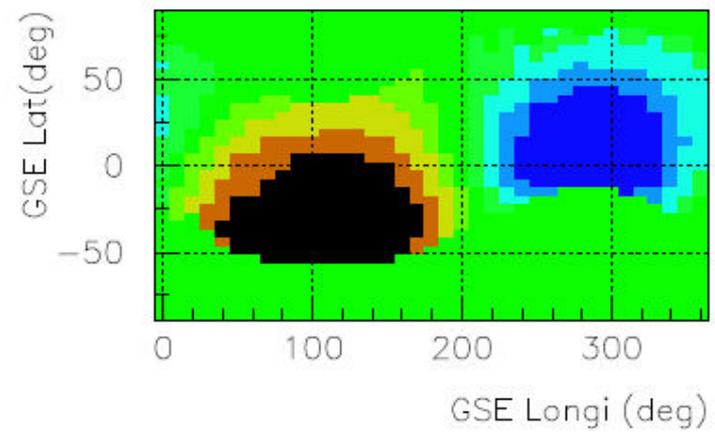


図 6.21: GSE 座標上に、射影された疑似観測データ

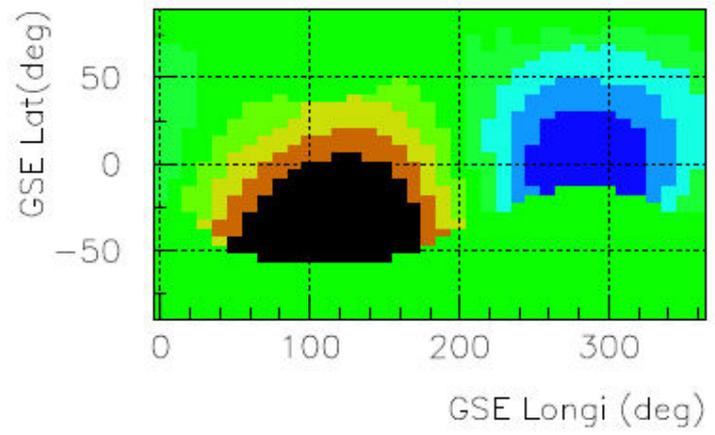


図 6.22: 疑似データに対して求めた球面調和関数

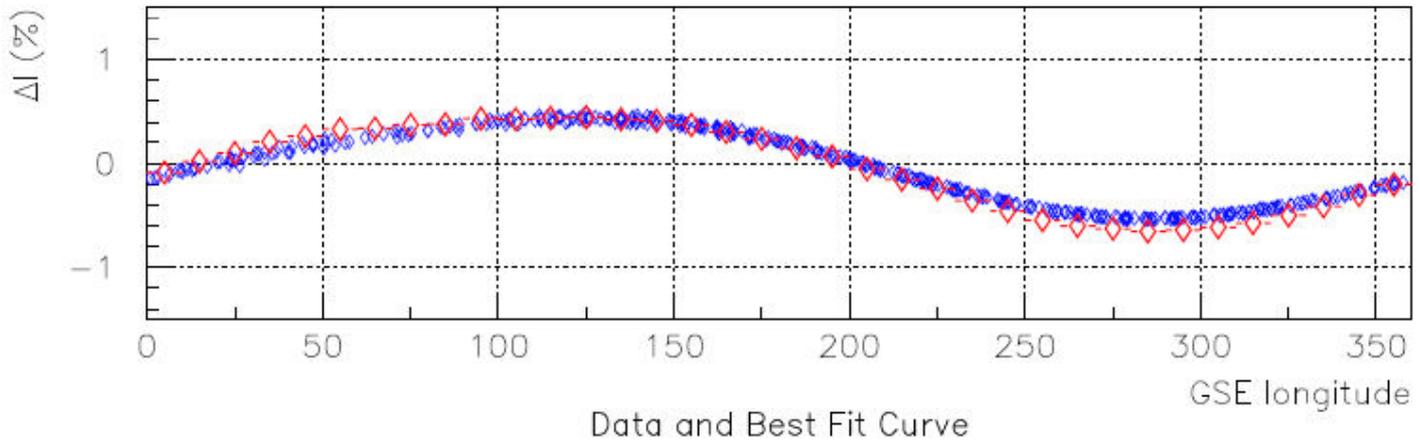


図 6.23: 緯度-10度 から +10度 までの範囲の疑似データと fit する球面調和関数 (GSE 座標上)

# 太陽時異方性の事例

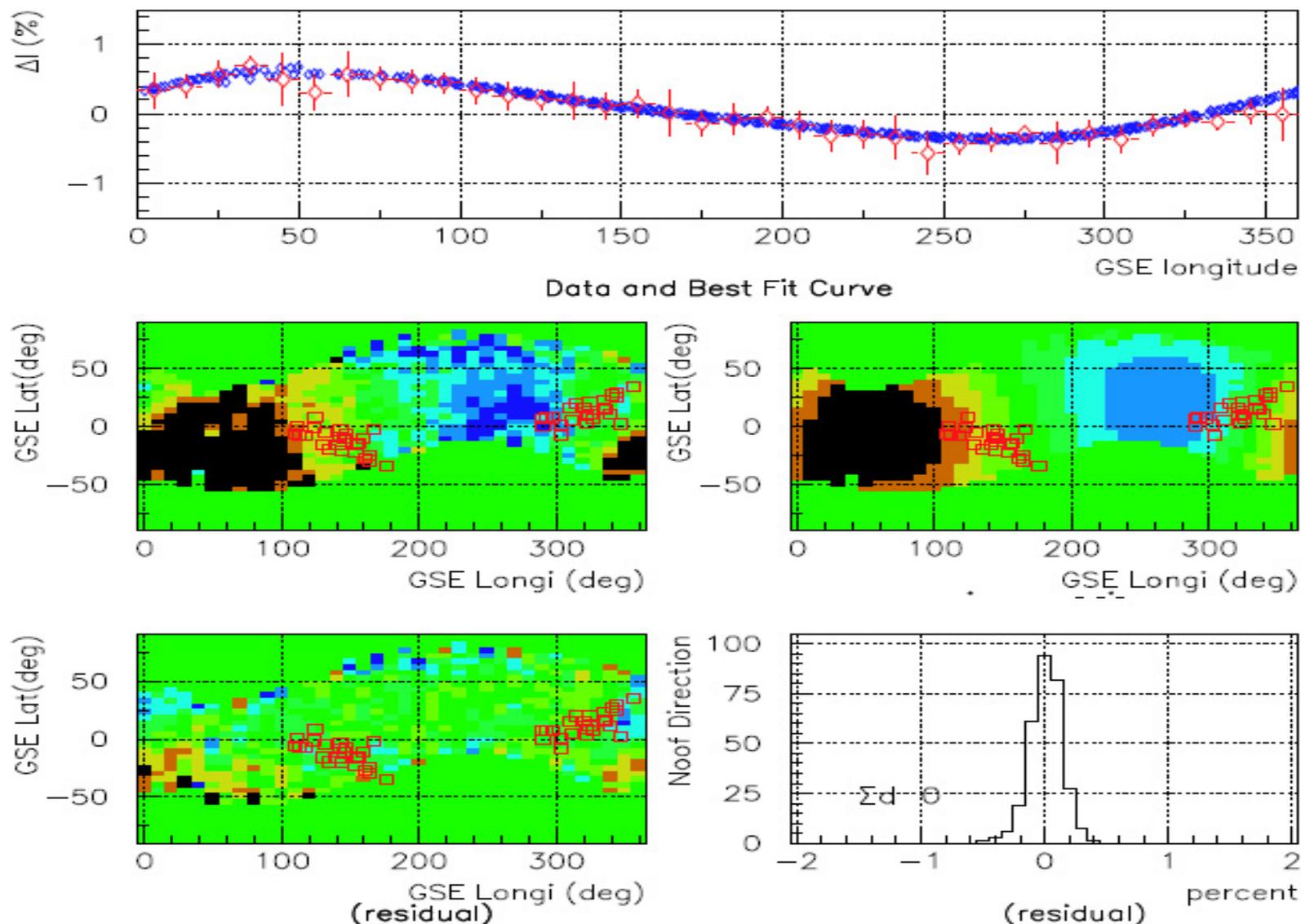


図 6.25: 実際に観測された 24 時間分のデータから再構成された、GSE 座標上へ射影された宇宙線強度とそれにたいする球関数近似と残差の分布

## GSE 座標系

GSE 座標 (図) とは、Geocentric Solar Ecliptic 座標の略である。地球から見て太陽方向をX軸とし、黄道面に垂直な方向をZ軸、公転方向と反対の向きにY軸(Ecliptic plane)を取る座標系である。この座標系を用いた場合、太陽は常にX軸上にあることになる。

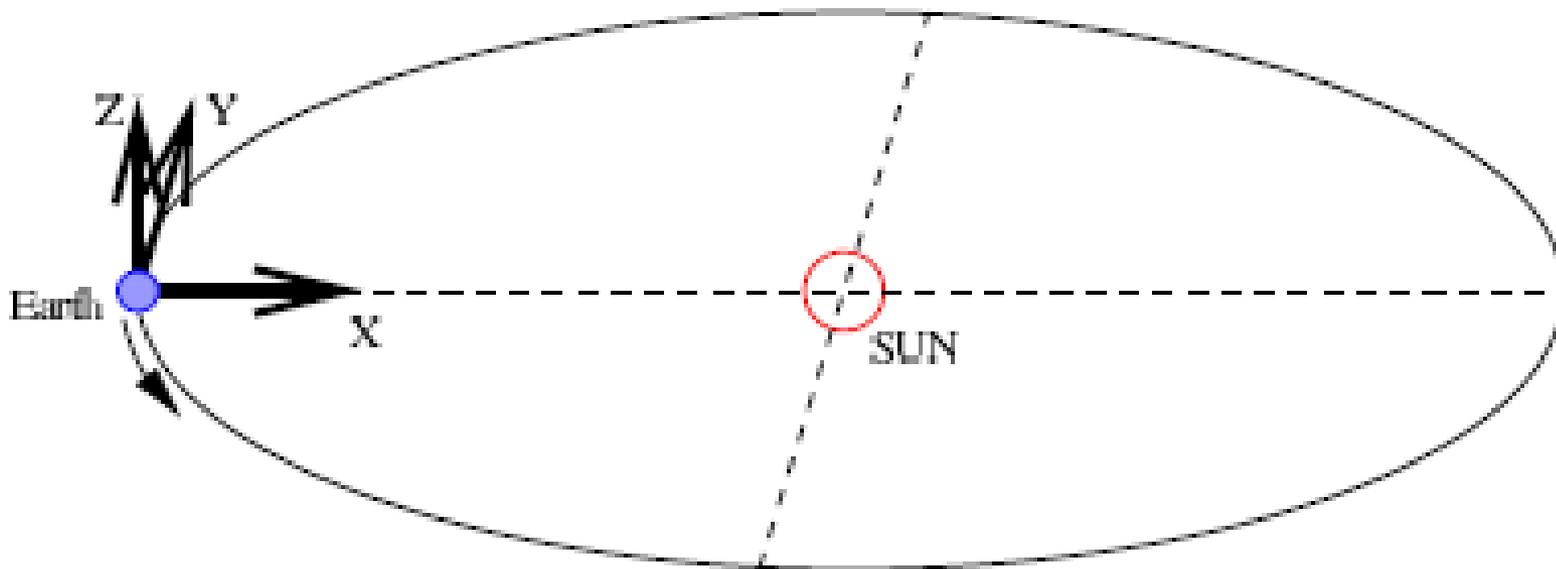


図 : GSE 座標系

この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。

最初に太陽風速度変動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。

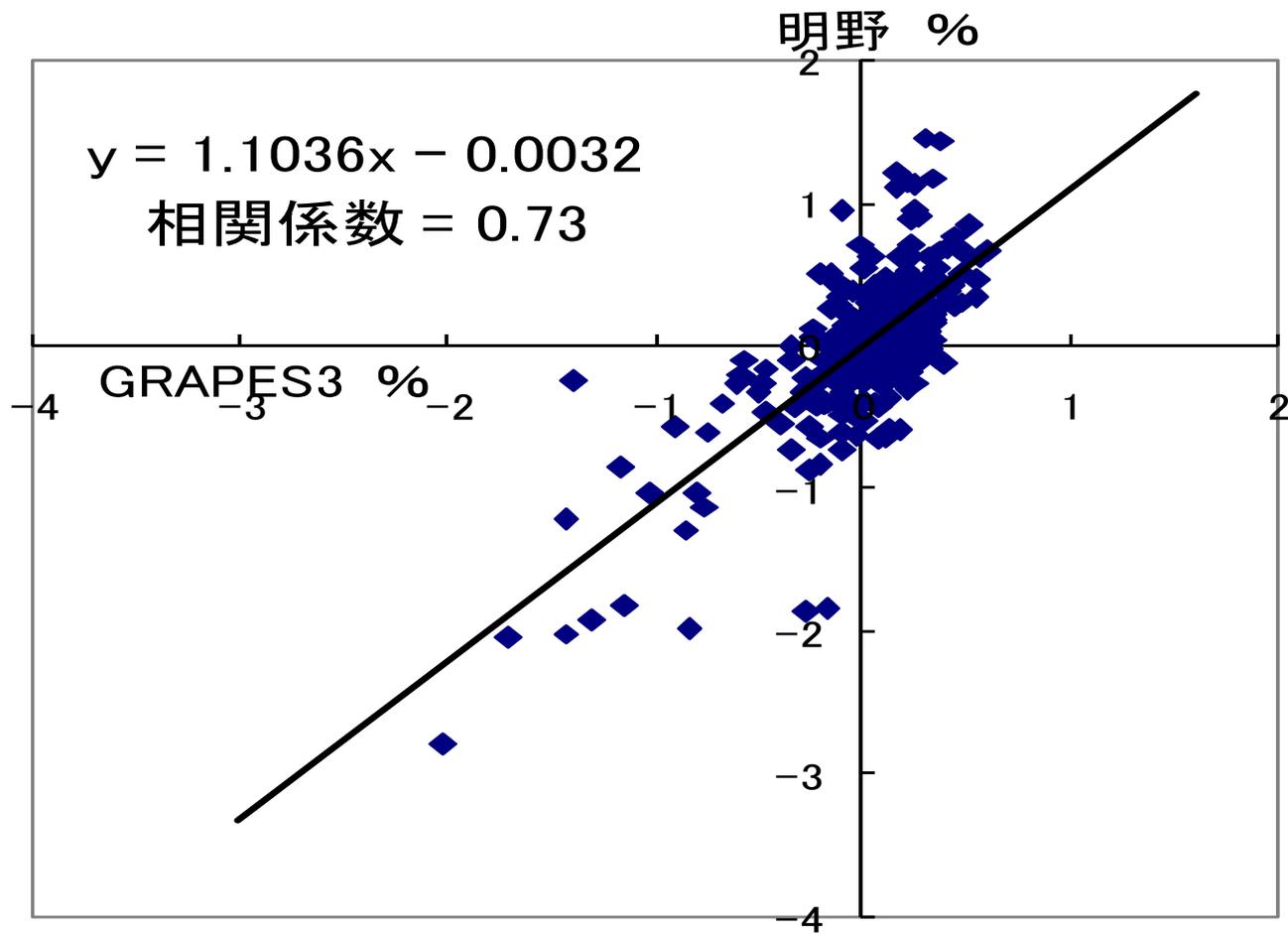
# 明野とGRAPES3とのミュオン強度変動及び 太陽風の効果との関係について

マッピング解析の準備として、明野、GRAPES3、太陽風の相互の関連性を見てみた。

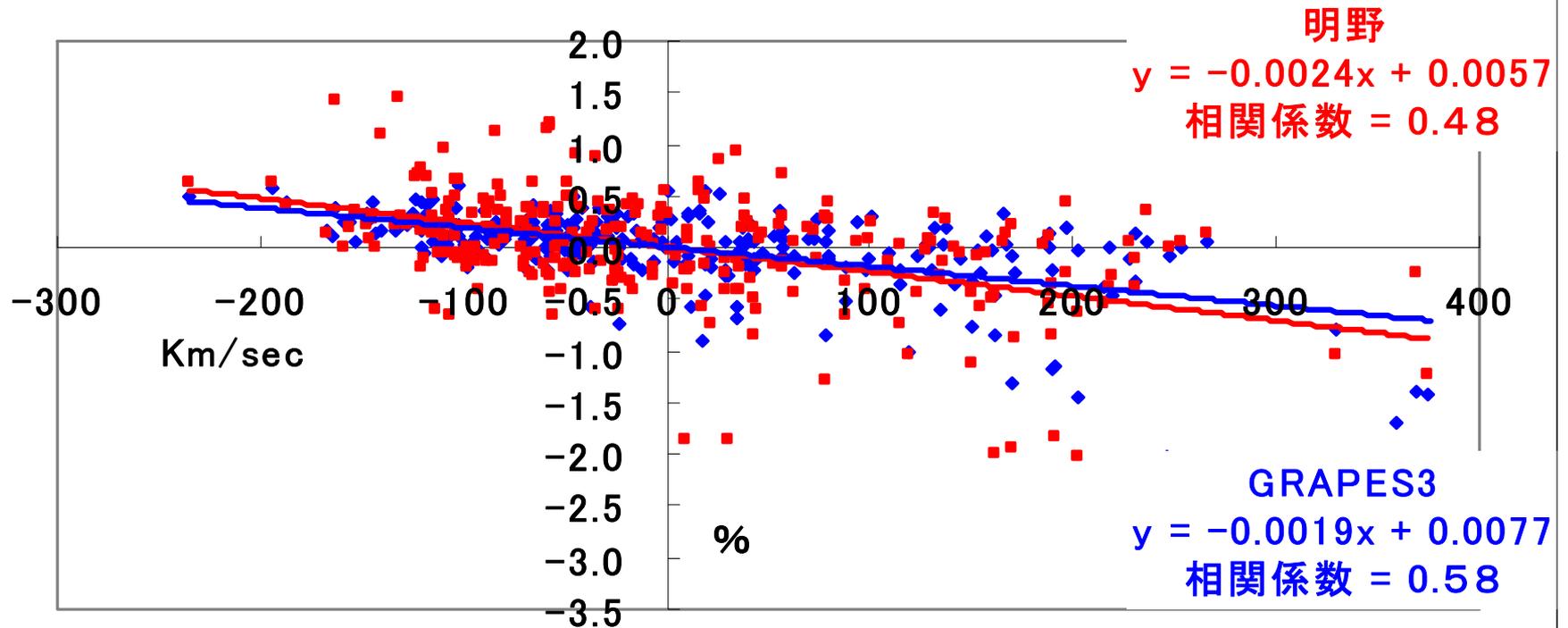
太陽風のデータはACE-L3のデータを使用：

このデータにおける太陽風等の計測値は惑星間空間のある特定の限られた点のものである（惑星間空間の広い領域を必ずしも反映していない）。

GRAPES3と明野のミュオン強度変動の関連性  
(全方向平均)

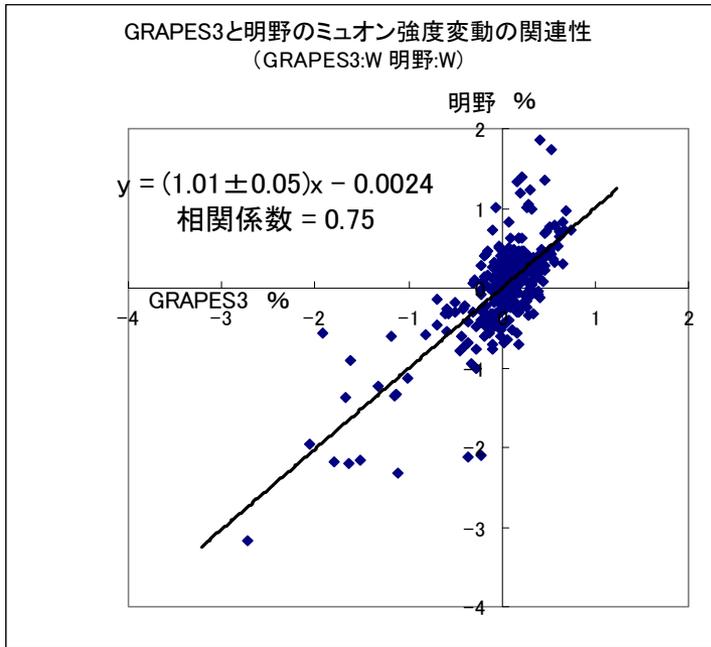


太陽風速度変動とミュオン強度変動の関連性  
(27日ハイパスフィルタリングデータ)

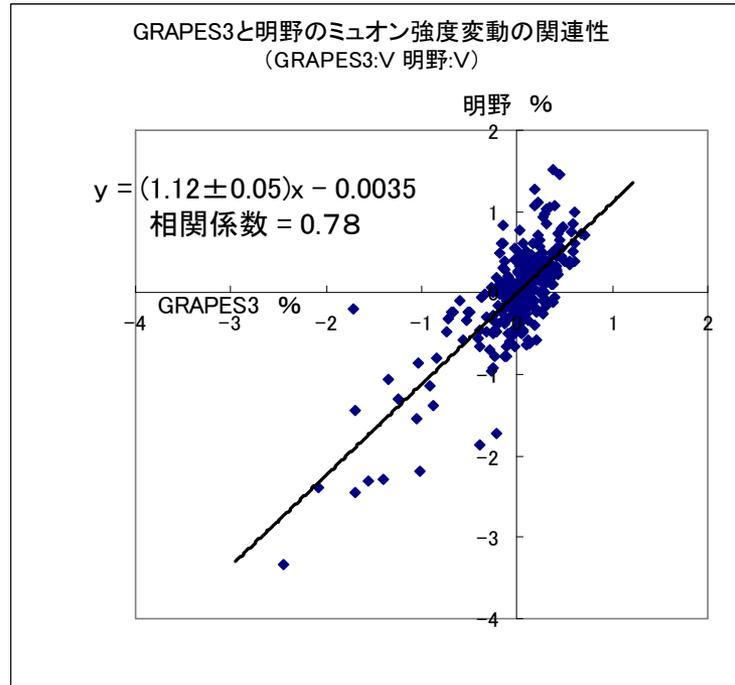


# GRAPES3—明野の強度変動の相互関係(横軸:GRAPES 3 縦軸:明野) %

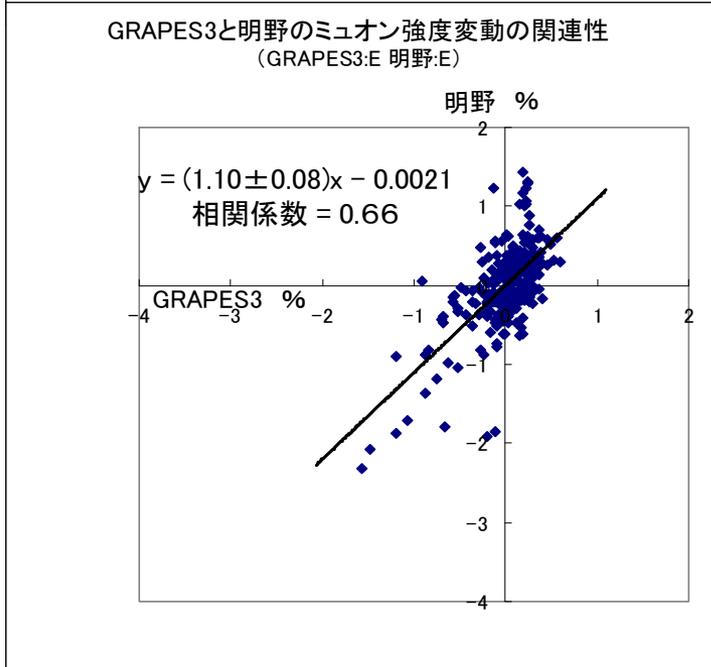
W



V



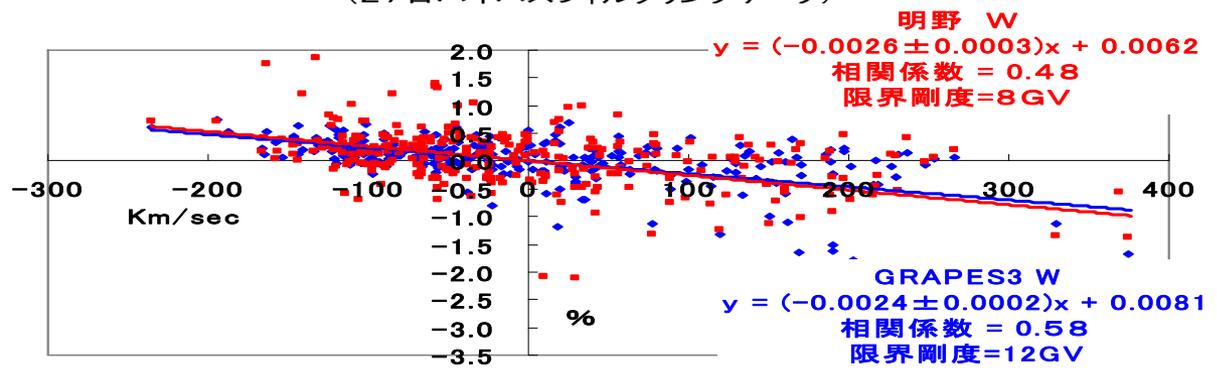
E



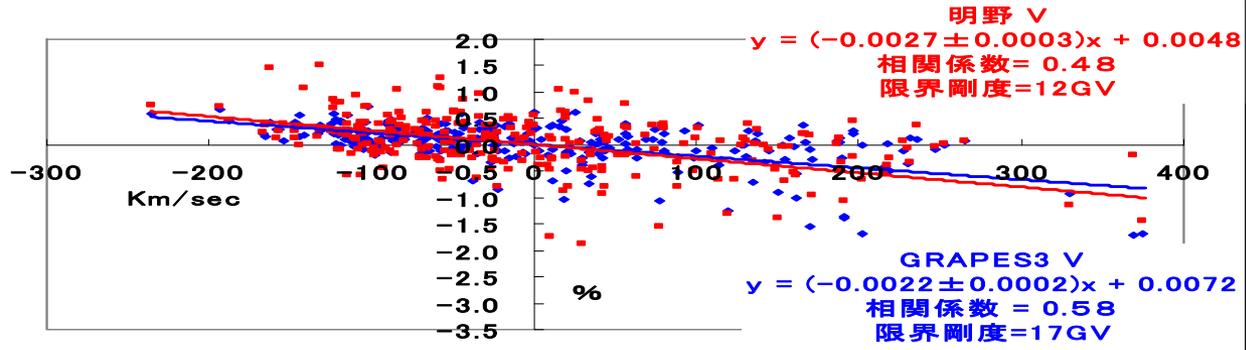
	限界剛度(GV)
明野W	約8GV
明野V	約12GV
明野E	約20GV
G-3 W	約12GV
G-3 V	約17GV
G-3 E	約25GV

# 太陽風速度変動による宇宙線強度変動(太陽風効果)とミュオン望遠鏡の視野方向とカットオフリジリティー

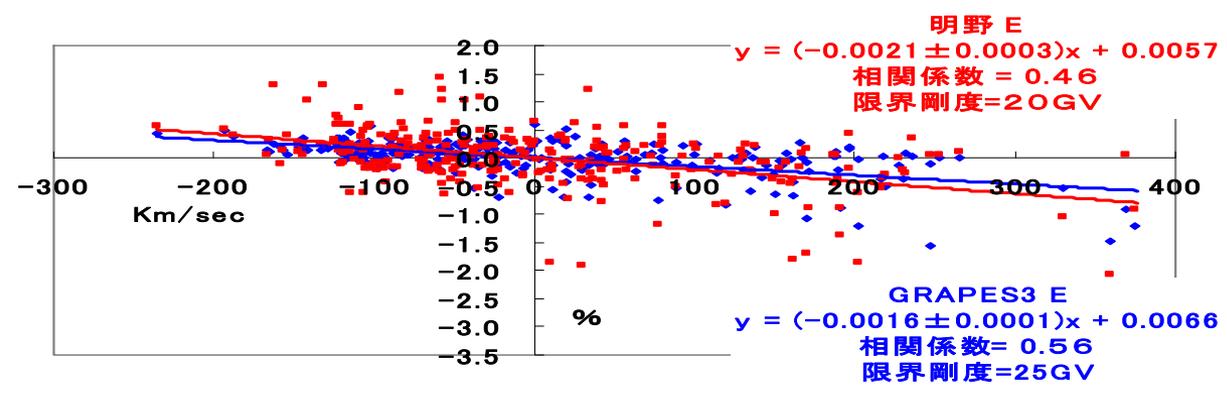
太陽風速度変動とミュオン強度変動の関連性  
(27日ハイパスフィルタリングデータ)



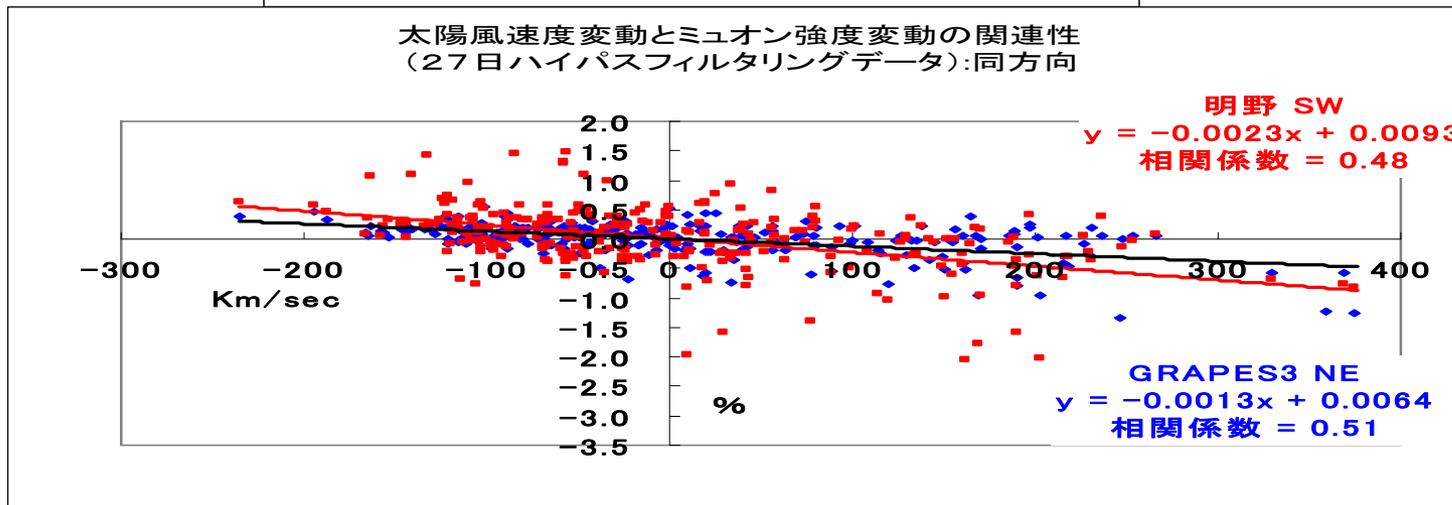
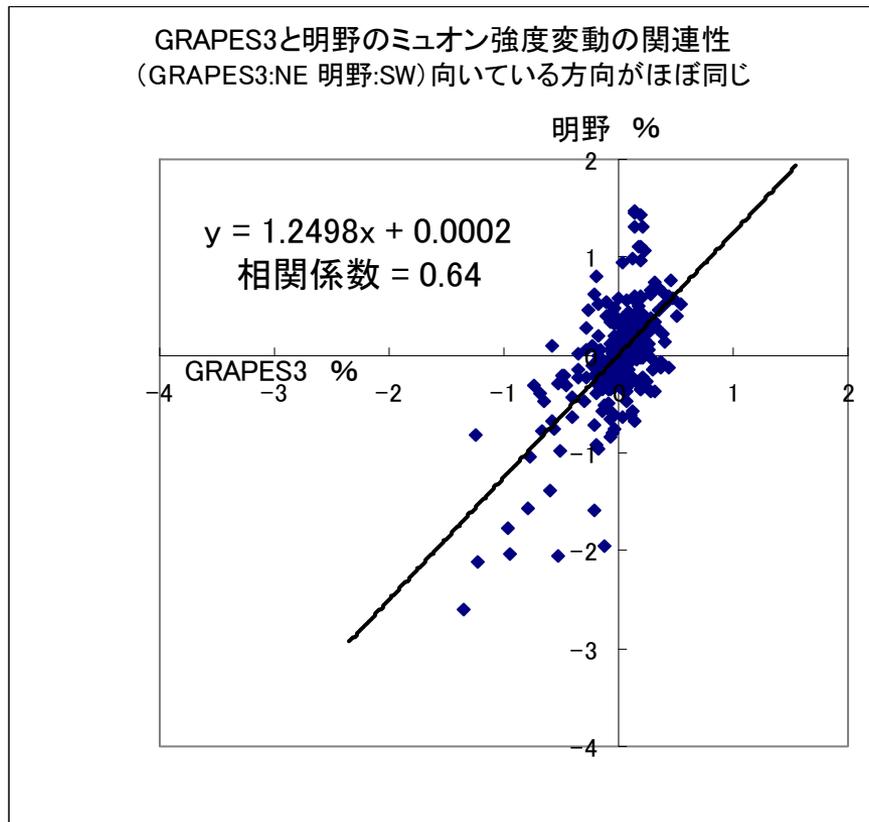
太陽風速度変動とミュオン強度変動の関連性  
(27日ハイパスフィルタリングデータ)



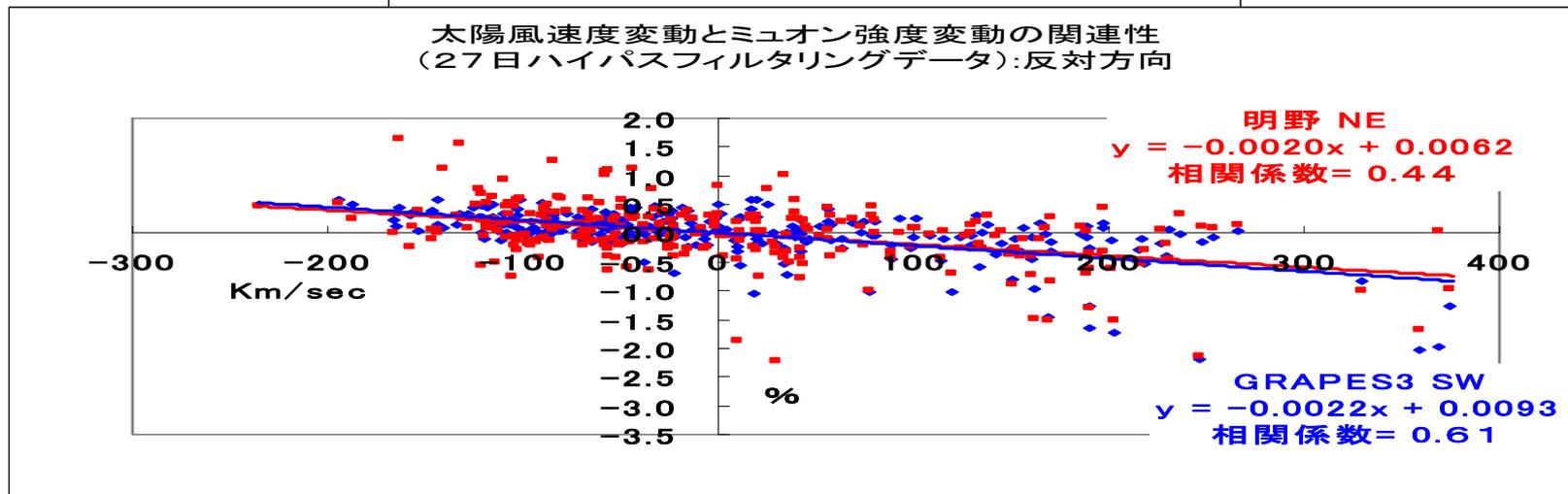
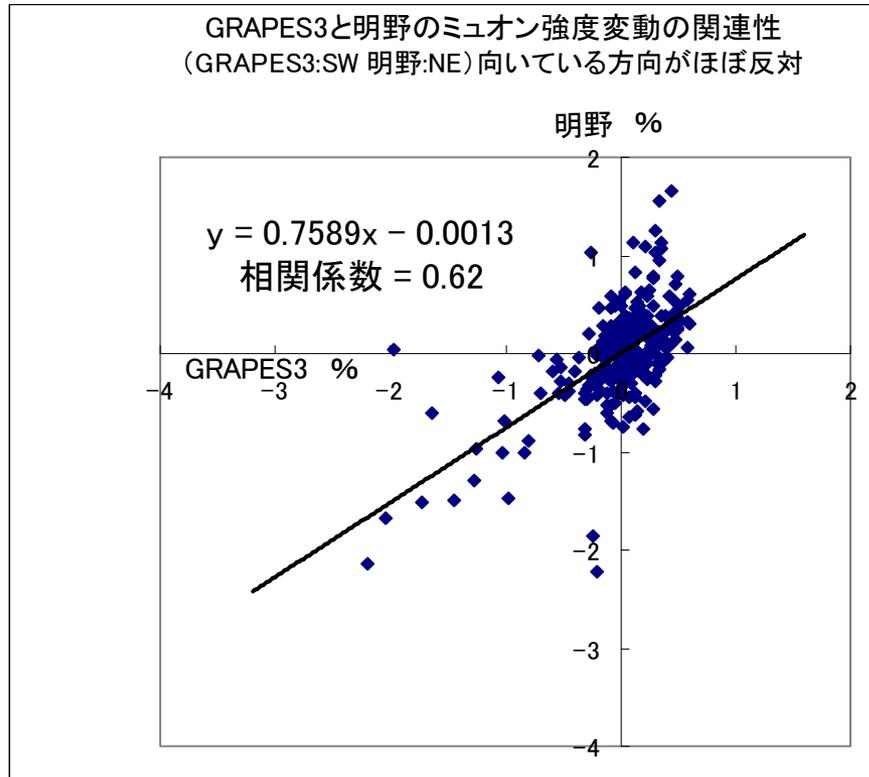
太陽風速度変動とミュオン強度変動の関連性  
(27日ハイパスフィルタリングデータ)



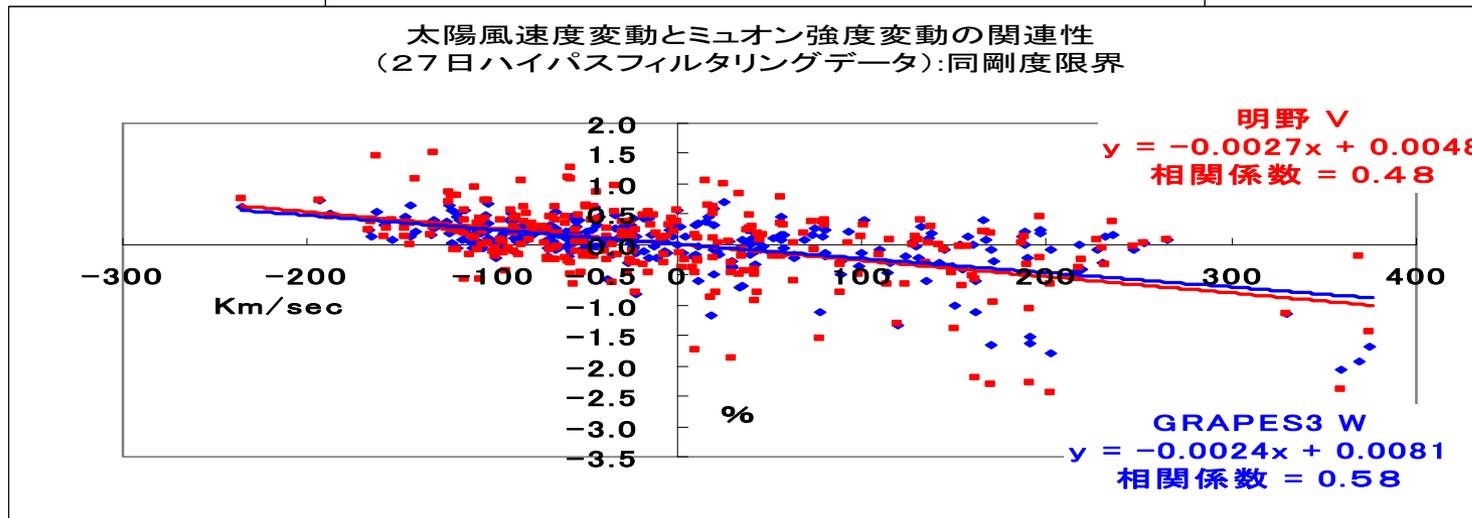
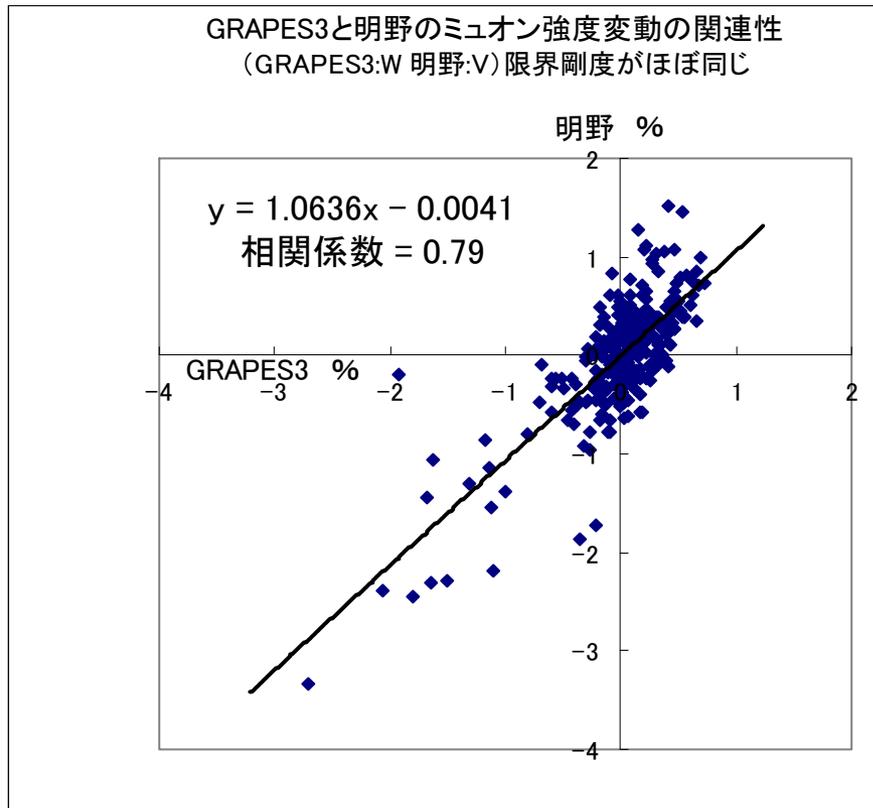
# 観測視野の重複領域方向の強度変動の相互関係と太陽風効果



# 観測視野が反対領域方向の強度変動の相互関係と太陽風効果



# カットオフリジティーがほぼ同じ方向の強度変動の相互関係と太陽風効果



## まとめ(太陽風と宇宙線強度変動の関連性)

GRAPES-3 - 明野観測所間で、種々の強度変動について比較した。

### キャリブレーション

太陽時異方性について視野の重複する領域のデータで比較

両望遠鏡において太陽時変動は殆ど同じ位相、振幅で観測される

→ 両望遠鏡を 視野の重複部分で規格化し用いることが可能。

### 両望遠鏡の観測視野及び剛度切断と強度変動及び太陽風の効果の関連性

重複視野及び非重複視野と同剛度切断及び異剛度切断条件データで比較

方向の組み合わせによる強度の共通変動と太陽風効果の同傾向性も見られたが、その要因が視野の重複によるものか剛度切断の大きさの関連性によるものかは明確に判定出来なかった。

→ 中性子モニターの観測も含めもう少し条件の異なった望遠鏡及び日平均より短い時間区分での解析が必要。

GRAPES -3と明野での観測から、今後IPS観測によるシミュレーションデータの利用も含め方位別の太陽風効果の構造及び変動を推定して、太陽圏内の宇宙線の伝搬(拡散・対流)構造を明らかにしたい。

今後さらに 観測と、定量的な解析を継続する。

# 比例計数管等検出系の保守

PWA data を使用して比例計数管の状態を診断

—————> 不十分

波形が長時間にわたる時間変化によって劣化する場合がある。

—————> 要ガス詰め替え

検出回路系の電子部品の劣化がかなり進行している。

—————> 回路のオーバーホールを順次実施する

## 本年の活動のまとめ:

- M1.M5.M8の3つの $\mu$ ステーションで観測を試みるも、2008年については落雷や電子部品の劣化等の影響でほとんど観測データが取得できなかった。

- 2007年に引き続き太陽活動が静穏時にあたっているためにたとえ装置が完全に稼動していたとしても、主たる目的のひとつである太陽活動起源の短期変動は観測されなかったと思われる(不幸中の幸い)。

- 観測装置のオーバーホール及び比例計数管の保守

検出系、記録系とも本年度中に完全稼動させる予定。また、昨年実施の予定であったが実施できなかった比例計数管のガス詰め替えは、今年度中に必ず行う(購入済のガスボンベを3月末までに業者に返却しなければならない)

2009年以後の太陽活動の上昇に備えたい。

- 明野－GRAPES-3における太陽風と宇宙線強度変動の関連性は日平均ベースでは両ステーションとも明確に見られる。今後2つのステーションによるマッピング解析を目指す。

共同研究者リスト:

大阪市立大学理学研究科

伊藤信夫 大嶋晃敏 荻尾彰一 奥田剛司 川上三郎 田中秀樹

林嘉夫 藤井俊博 松山利夫 宮内仁 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

名古屋女子大 東大宇宙線研

小島浩司 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

平成20年度の予算:

物品 19万円

旅費 25万円

---

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。