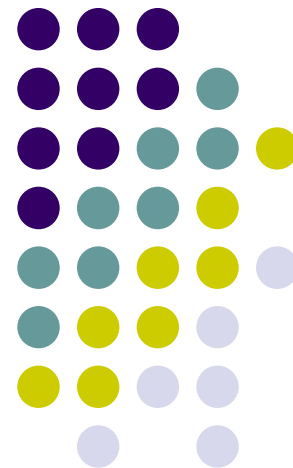




テレスコープアレイ実験

ICRR 櫻井信之
他TA共同研究者



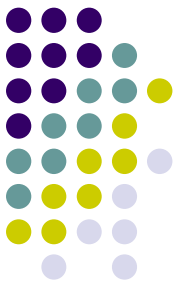
Telescope Array Collaboration



池田大輔, 大岡秀行, 大西宗博, 木次敦子, 木戸英治, 近藤好, 佐川宏行, 櫻井信之, 芝田達伸,
下平英明, 瀧田正人, 武多昭道, 竹田成宏, 得能久生, 鳥居禮子, 野中敏幸, 林田直明, 福島正巳,
山川敏枝, 山川雄一, 山本邦之, Fabrice Cohen, 吉井尚^A, 大嶋晃敏^B, 荻尾彰一^B, 奥田剛司^B,
川上三郎^B, 田中秀樹^B, 林嘉夫^B, 藤井俊博^B, 松山利夫^B, 南野真容子^B, 宮内仁^B, 有働慈治^C,
日比野欣也^C, 千川道幸^D, 鈴木聡^E, 田中真伸^E, 藤井啓文^E, 松田武^E, 山岡広^E, 中村亨^F, 井上直也^G,
川名進吾^G, 和田吉満^G, 河合秀幸^H, 吉田滋^H, 千葉順成^I, 小林健太郎^I, 宮田孝司^I, 東龍二^J, 垣本史雄^J,
多米田裕一郎^J, 常定芳基^J, 林健太郎^J, 福田崇徳^J, 田中公一^K, 内堀幸夫^L, 門多顕司^M, 本田建^N,
石井孝明^N, 富田孝幸^N, 岩本祥平^N, 露口勇輔^N, 鶴飼久^N, 小澤俊介^O, 笠原克昌^O, 手嶋政廣^P,
J.H.Kim^Q, S.Roh^Q, D.Ryu^Q, S.Nam^R, I.H.Park^R, J.Yang^R, B.G.Cheon^S, E.J.Cho^S, H.B.Kim^S,
J.Kim^S, H.Kang^T, J.H.Lim^T, D.R.Bergman^U, G.Hughes^U, D.Ivanov^U, L.Scott^U, S.Stratton^U,
G.B.Thomson^U, T.Abu-Zayyad^V, M.Allen^V, J.W.Belz^V, S.A.Blake^V, O.Brusova^V, R.Cady^V, Z.Cao^V,
P.Huentemeyer^V, C.C.H.Jui^V, K.Martens^V, J.N.Matthews^V, D.Rodriguez^V, P.Shah^V, J.D.Smith^V,
P.Sokolsky^V, R.W.Springer^V, J.R.Thomas^V, S.B.Thomas^V, L.R.Wiencke^V, I.S.Cho^W, W.R.Cho^W,
Y.J.Kwon^W, D.Gorbunov^X, O.Kalashev^X, V.Kuzmin^X, G.Rubstov^X, P.Tinyakov^X, I.Tkachev^X,
S.Troitsky^X

東大宇宙線研, 愛媛大理^A, 阪市大理^B, 神奈川大工^C, 近大理工^D, KEKE^E, 高知大理^F,
埼玉大理工^G, 千葉大理^H, 東理大理工^I, 東工大理^J, 広島市大^K, 放医研^L, 武蔵工大工^M,
山梨大^N, 早大^O, マックスプランク研^P, 忠南大^Q, 梨花女子大^R, 漢陽大^S, 釜山大^T, ラト
ガース大^U, ユタ大^V, 延世大^W, 露科学アカデミーINR研^X

日米独韓露 25研究機関 115名



□ 共同利用研究費

研究課題	配分額		
	研究費	旅費	合計
絶対光量測定による新型大気モニタ装置の開発	500,000	600,000	1,100,000
TA大気蛍光望遠鏡の標準光源YAPの温度特性の測定	600,000	800,000	1,400,000
宇宙線望遠鏡実験による超高エネルギー宇宙線の組成研究	200,000	300,000	500,000
小型電子加速器による空気シャワーエネルギーの絶対校正の研究	200,000	800,000	1,000,000
最高エネルギー宇宙線の電波的観測の研究	0	300,000	300,000
宇宙線望遠鏡による極高エネルギー宇宙線の研究	0	1,500,000	1,500,000



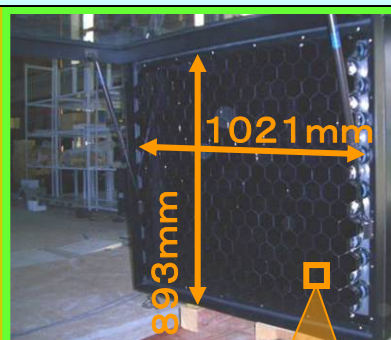
□ TA実験とは(1/2)

- 地表粒子検出器＋大気蛍光望遠鏡の複合検出器を用いた超高エネルギー宇宙線測定実験
 - 地表粒子検出器 (SD): プラスチックシンチレータ検出器
 - 地表における電子成分を主に検出
 - トリガー効率は $10^{18.5}\text{eV}$ で90%以上時期に依らずほぼ100%の時間を観測に使える。
AGASAと同様の対象を異なる検出器で観測できる。
 - 大気蛍光望遠鏡 (FD): 独自開発2基＋Hires-I移設1基
 - シャワーの電子成分の縦方向発達を観測
 - 二台以上の望遠鏡による同時観測により測定精度を向上する。Hires-I検出器との相互校正を直接行える。



TA用に新開発した望遠鏡 (BRM & LR)

12 telescopes/station



camera

60 mm Hex.,
256 PMTs

FOV: $3^\circ - 18^\circ \times 18^\circ$

遠鏡
出器



HiRes-1 を移設した望遠鏡 (MD station)

14 telescopes in this station



ミラード郡

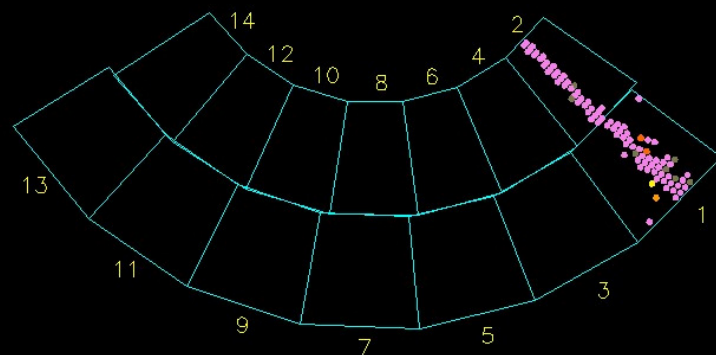
2.9°

a.s.l.

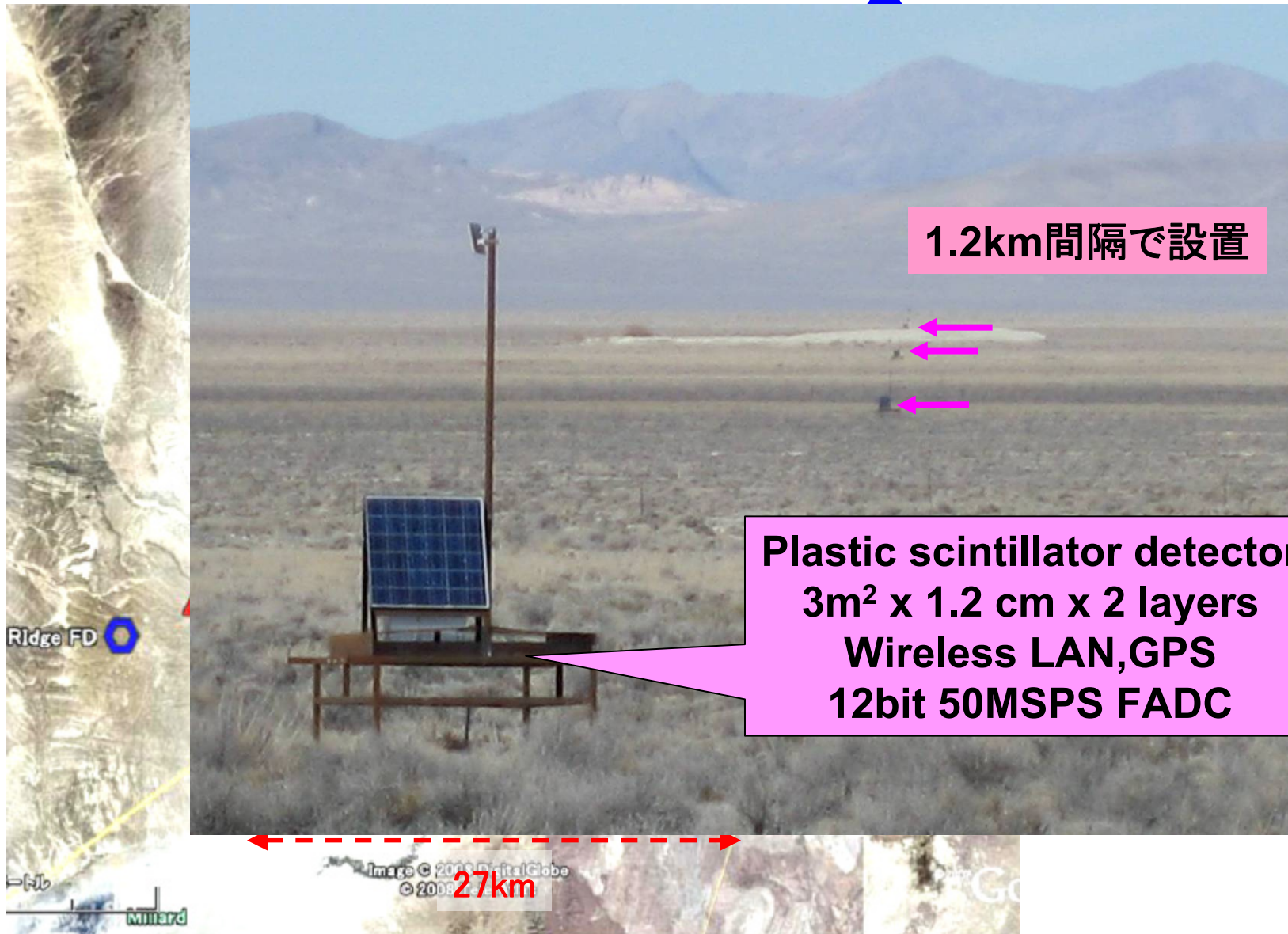
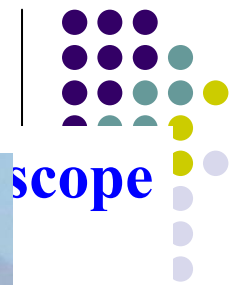
+ 507 SDs

Ridge FD

Long R



□TA観測装置 ~SD~



1.2km間隔で設置

Plastic scintillator detector
3m² x 1.2 cm x 2 layers
Wireless LAN,GPS
12bit 50MSPS FADC

ード郡

SDs

27km

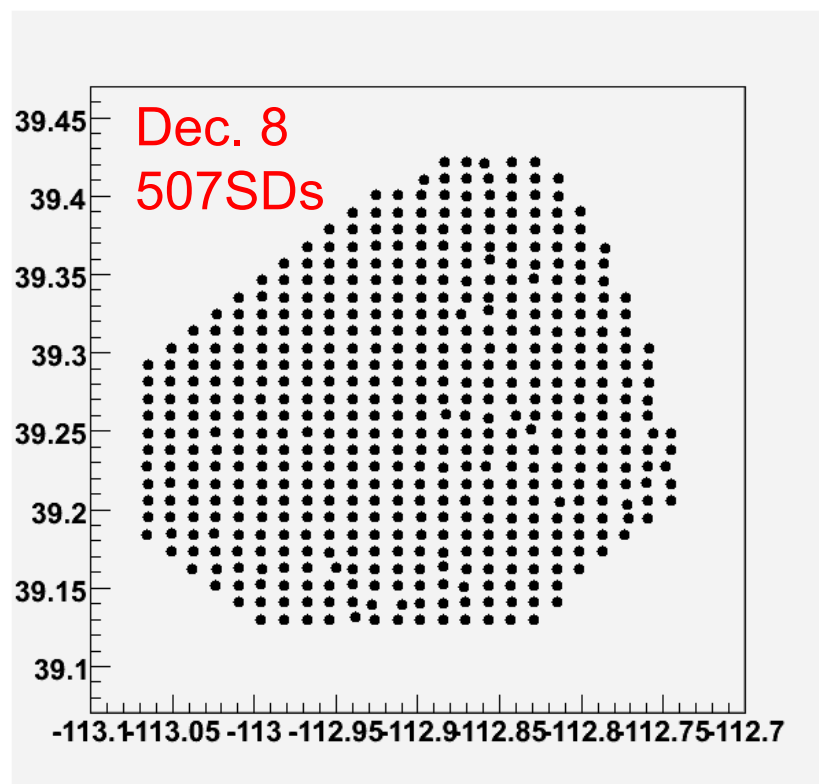
(Google earth)

SD全領域でのデータ収集開始

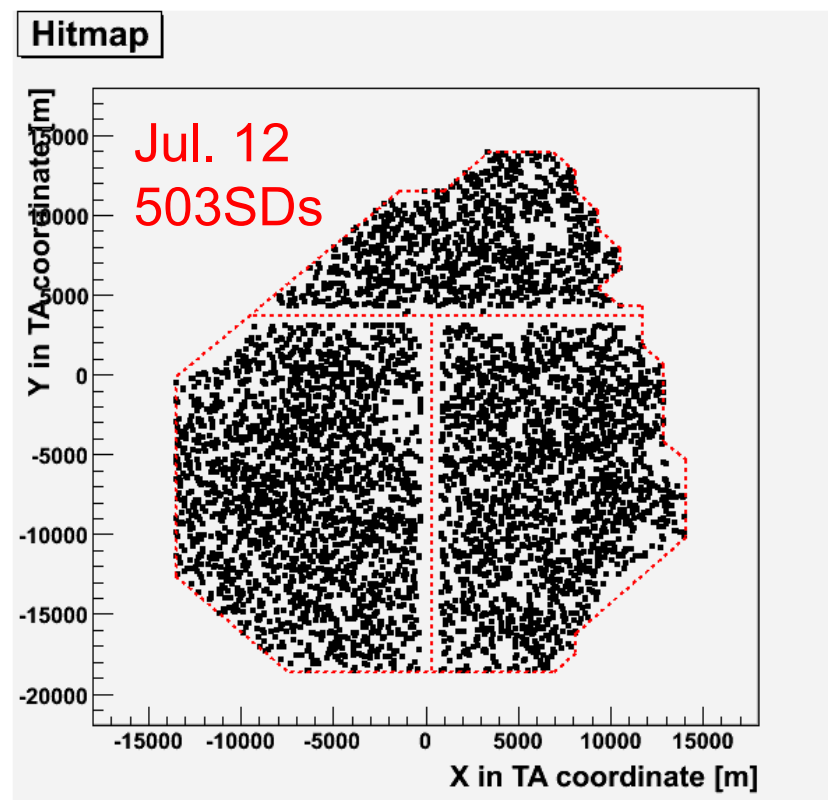


•2008年3月～11月: 503SDs、 11月以降: 507SDs

DAQシステムで実際に測定した
検出器位置 (位置精度=±50cm)



観測されたシャワーコア位置分布
(注:7/12~7/21:トリガー条件・SD数が現在と異なる)



SD境界トリガー導入

- 11月末より各サブアレイの境界を越える事象についてトリガーをかけられるようになった。

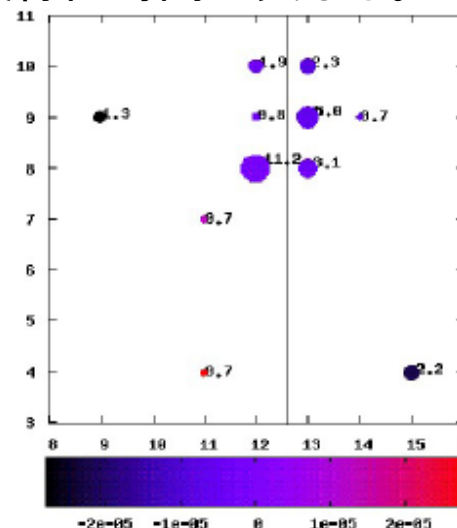
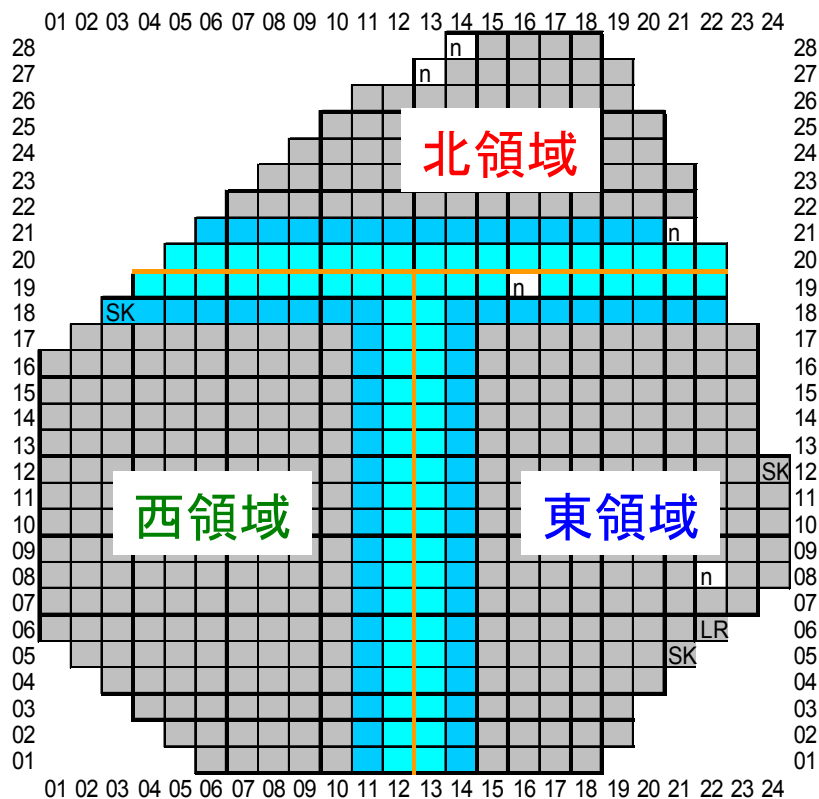


11/25~12/16のデータ

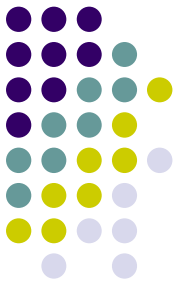
トリガー数 北を1とした単位面積あたりイベントレート

北 :	1650 イベント	1.0
西 :	3374 イベント	0.99
東 :	2994 イベント	0.96
境界 :	676 イベント	0.99

注: 各領域の実稼働時間が異なる。

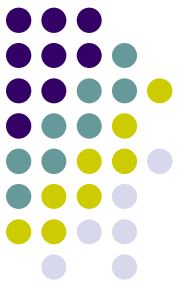


□SD1MIPピーク解析(1)

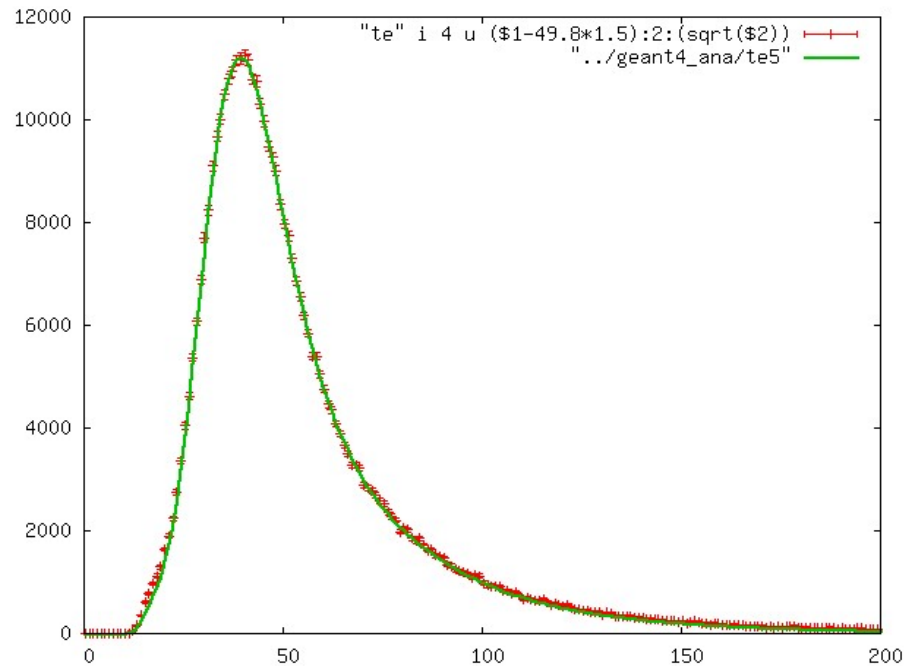


- 全てのPMTで10分毎にモニターしている1MIP分布から各SDのゲインおよびp.e.数を以下の手順で求めた。
 1. AMSの一次粒子スペクトル+COSMOS+dpmjetでTA高度における e, μ, γ のエネルギー分布を求める。
 2. これらの二次粒子をGEANT4で作成した検出器シミュレーションに入力しシャワー粒子に対する検出エネルギー分布を求める。
 3. 得られたエネルギー分布を用いて1MIP観測データをフィットする。
 - p.e.数、ゲイン、事象数をフリーパラメータとする。
 - その他、検出器の非一様性を7%と見積もった。(サンプル調査の結果)

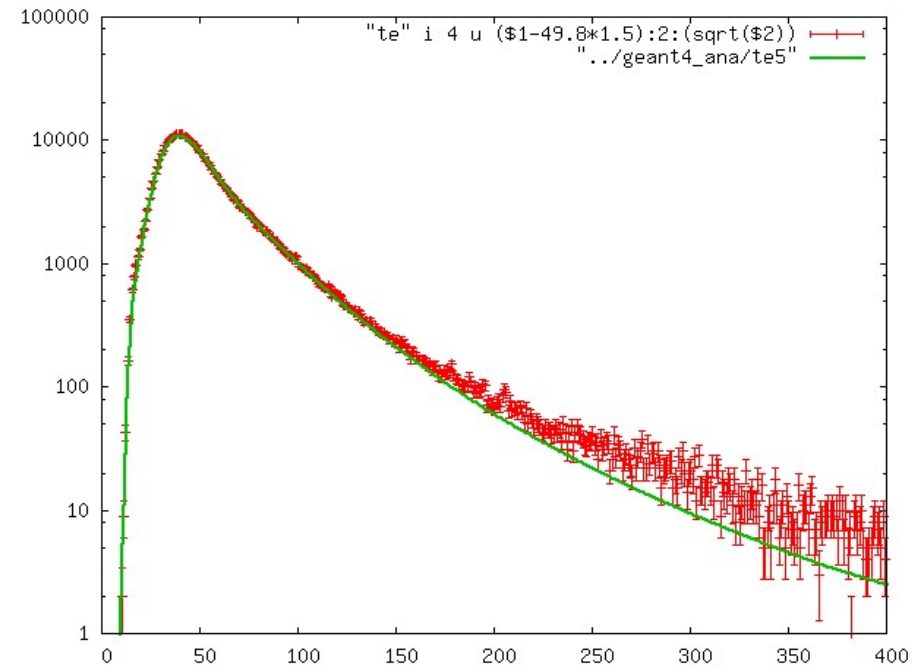
SD1MIPピーク解析(2)



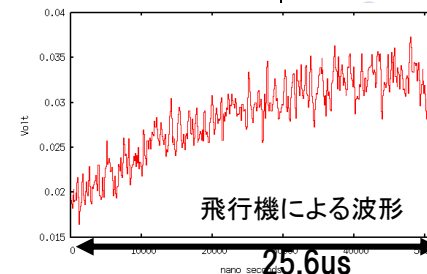
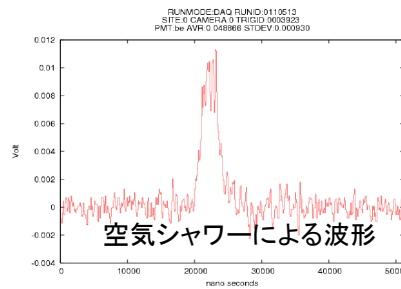
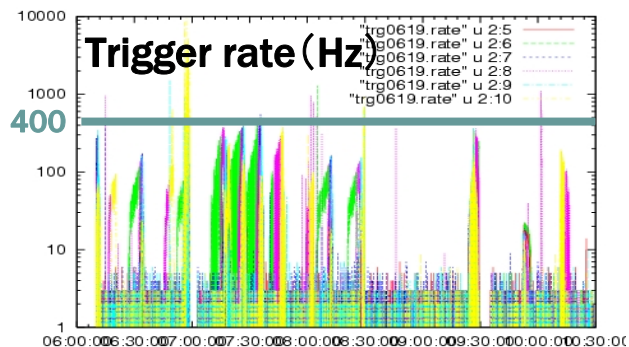
検出器シミュレーションで得られた 二次粒子のエネルギー損失分布



観測で得られた1MIP分布と フィットの結果

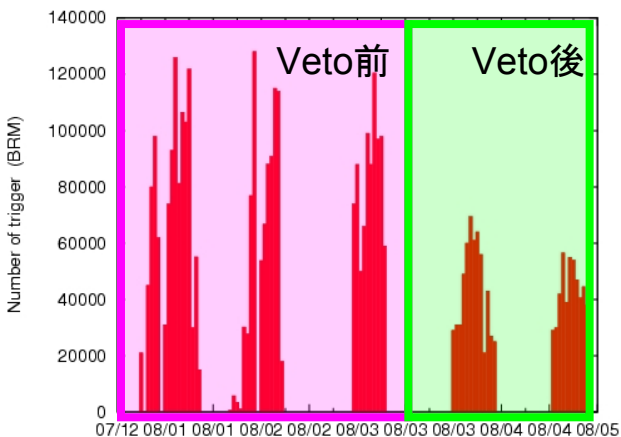


FD飛行機VETOトリガー導入

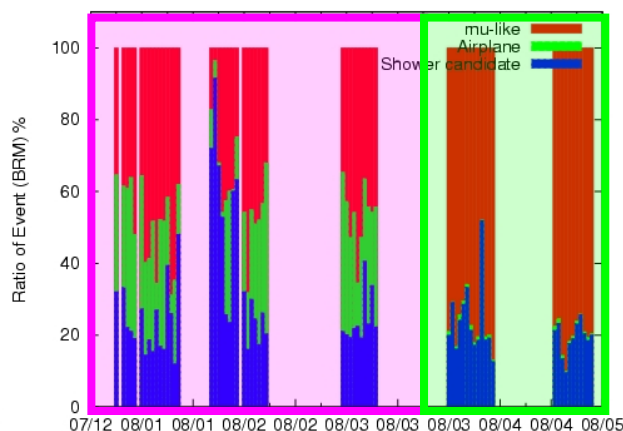


飛行機によるトリガーはおおよそ 400Hz
5ms 相当発光時間 : 400Hz x 12.8us (time frame)

トリガー数

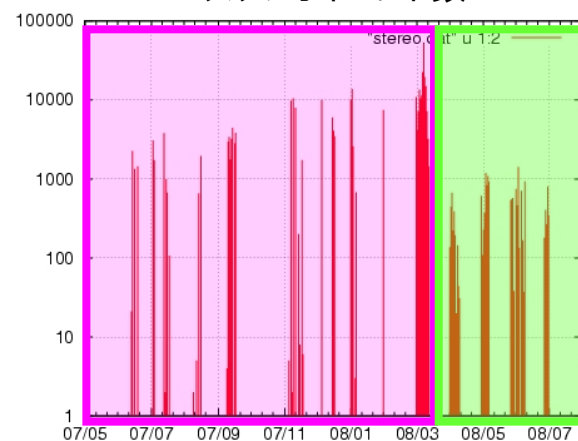


イベントの比率



■ ミューオン、チェレンコフ光
■ 飛行機
■ 他(空気シャワー候補)

時刻情報のみから見つけた
ステレオイベント数



□アレイ中央レーザー(CLF) (1)



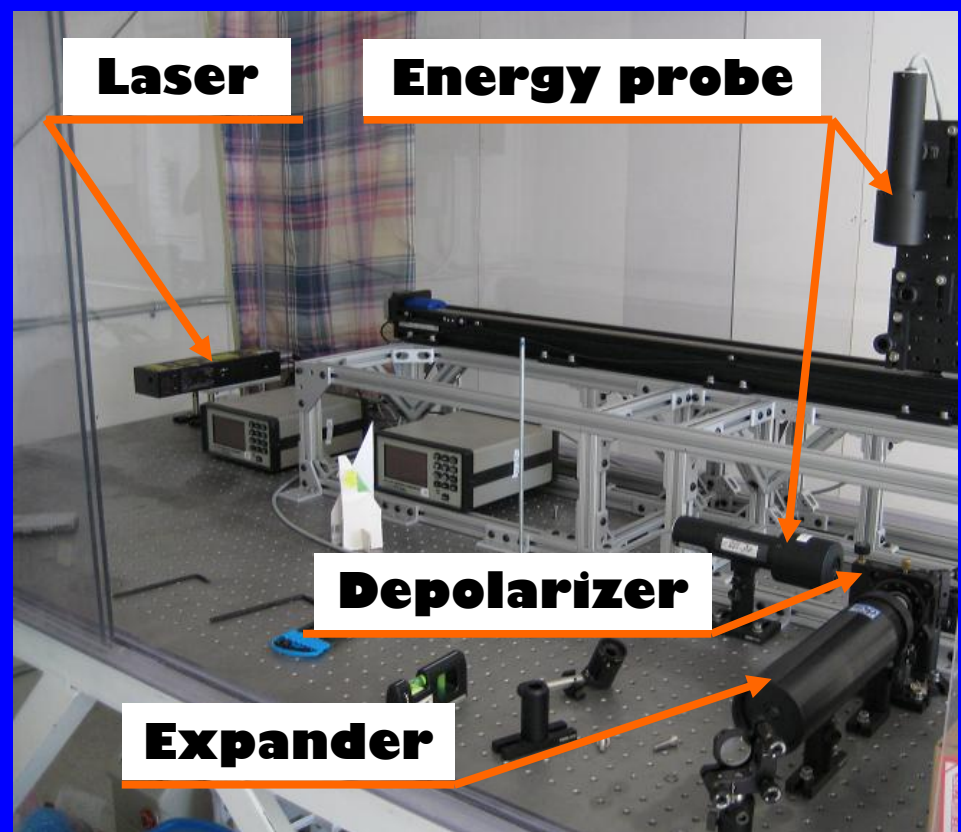
3FDの重心に置いたレーザーを鉛直方向に射出し、
その横方向散乱光をFDで観測する。
(Nd:YAG Laser 355nm)

5月にレーザー設置

3月にコンテナ設置

通信アンテナ

天候モニター



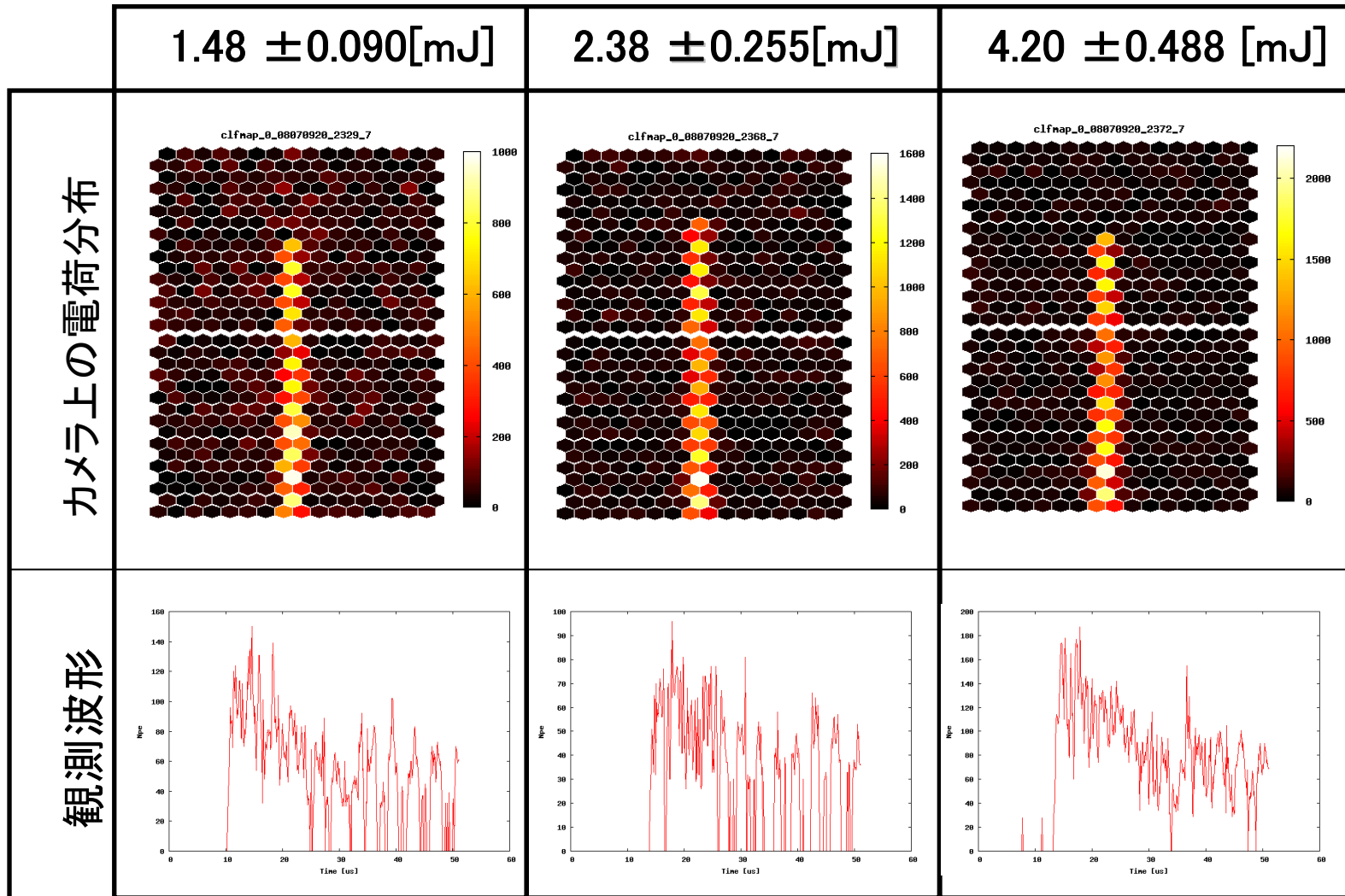
Laser

Energy probe

Depolarizer

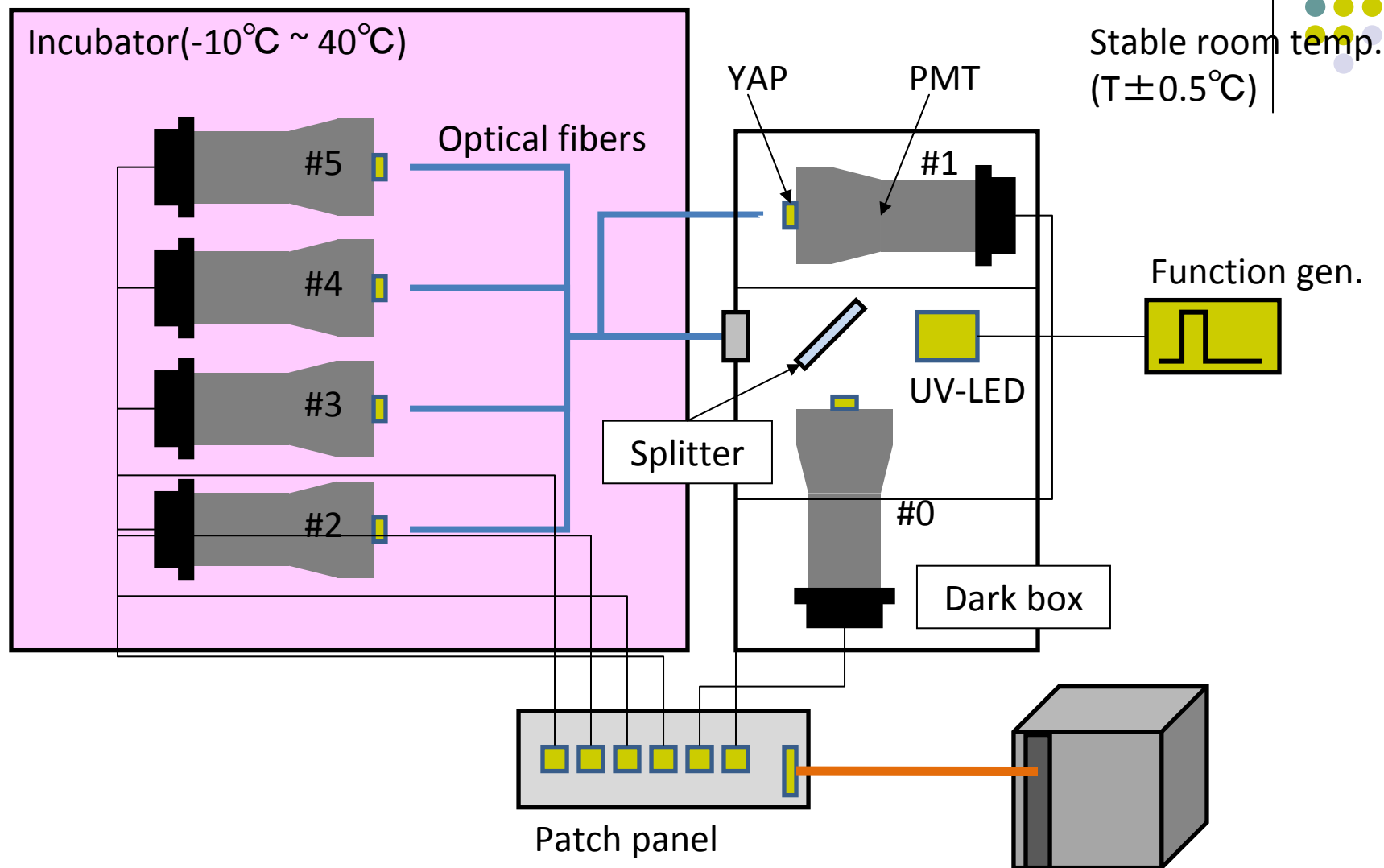
Expander

□アレイ中央レーザー(CLF) (2)





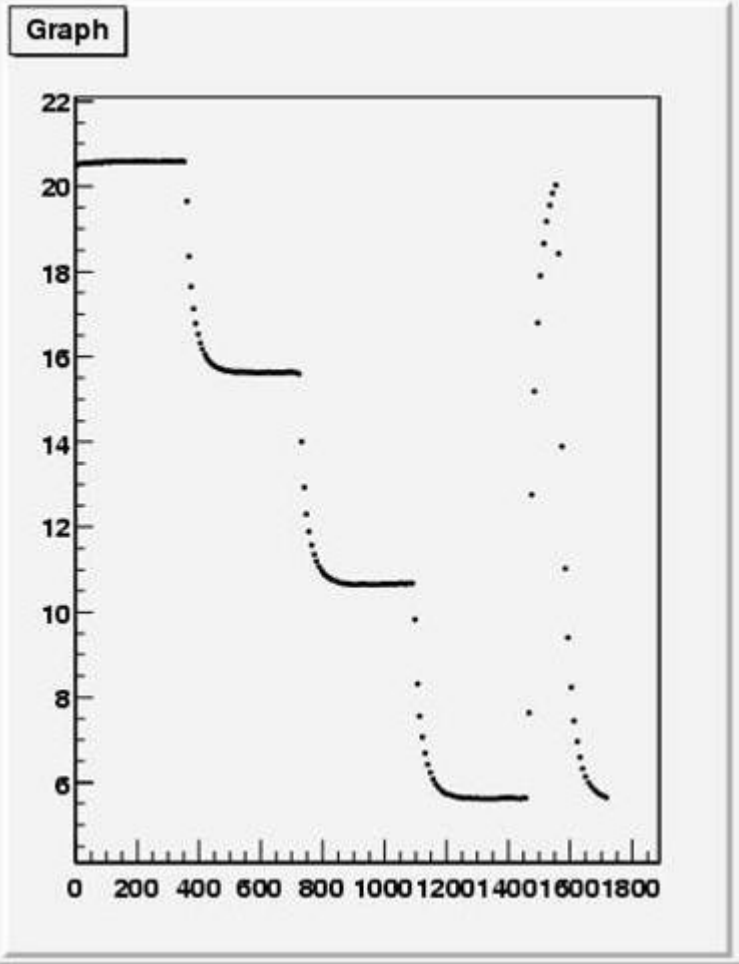
□ PMT、YAPの温度特性測定(1)



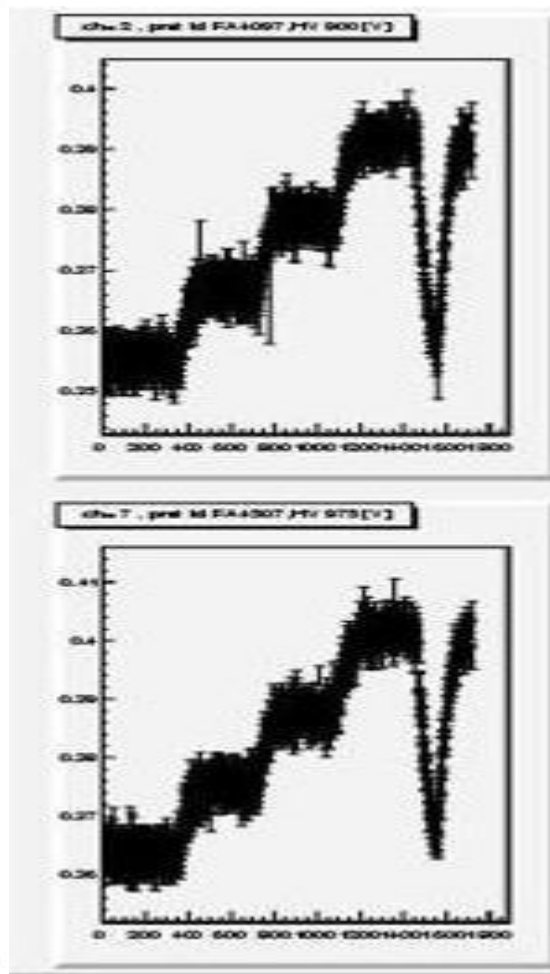


□PMT、YAPの温度特性測定(2)

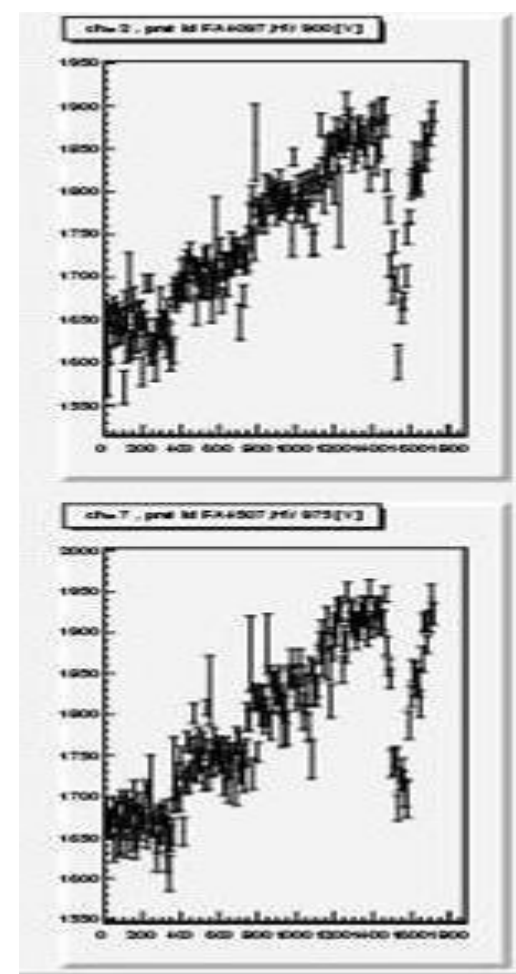
恒温槽内温度の時間変化



LED信号の時間変化

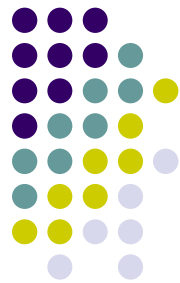


YAP信号の時間変化

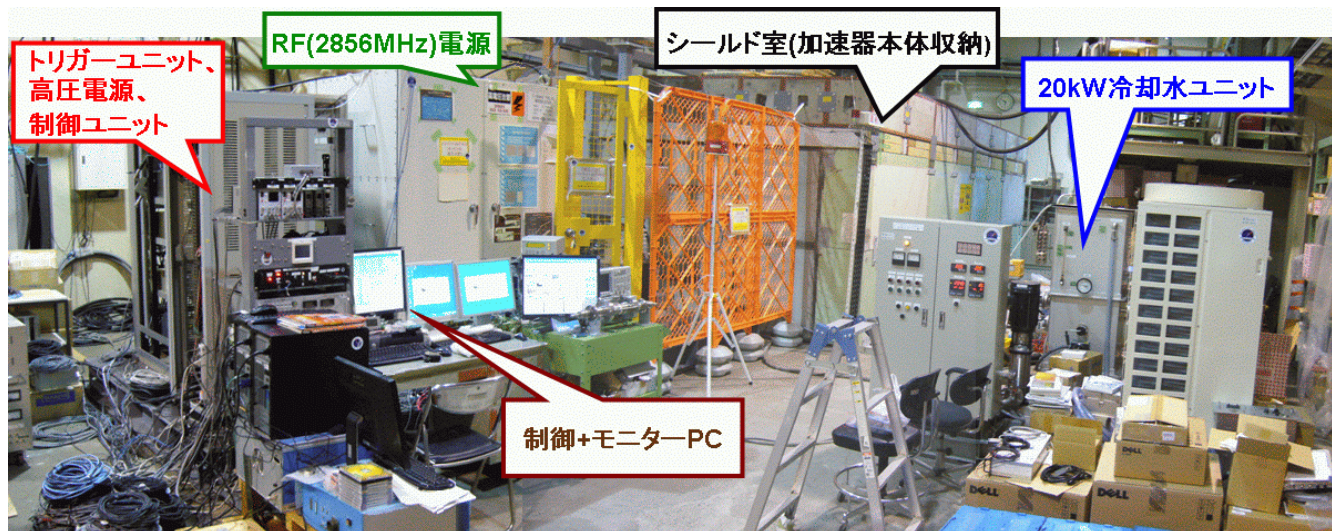


今後、詳細な解析を行い、PMT・YAPそれぞれの温度依存性を明らかにしていく

□ 小型線形加速器の開発について(1)



2008年1月KEKにて完成 → 2月よりビーム試験開始 (12月10日終了)
年度内中のアメリカ・ユタへの輸送完了に向けて準備中



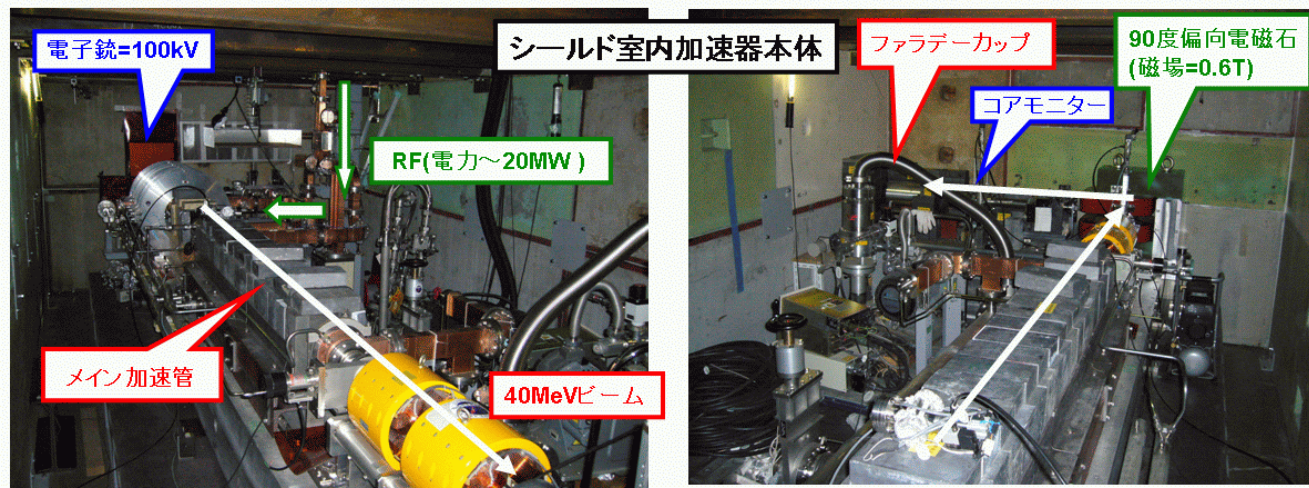
加速器スペック

エネルギー = 40MeV

電流値 = 0.16mA

パルス幅 = 1 μ sec

繰り返し = 1Hz (Max)

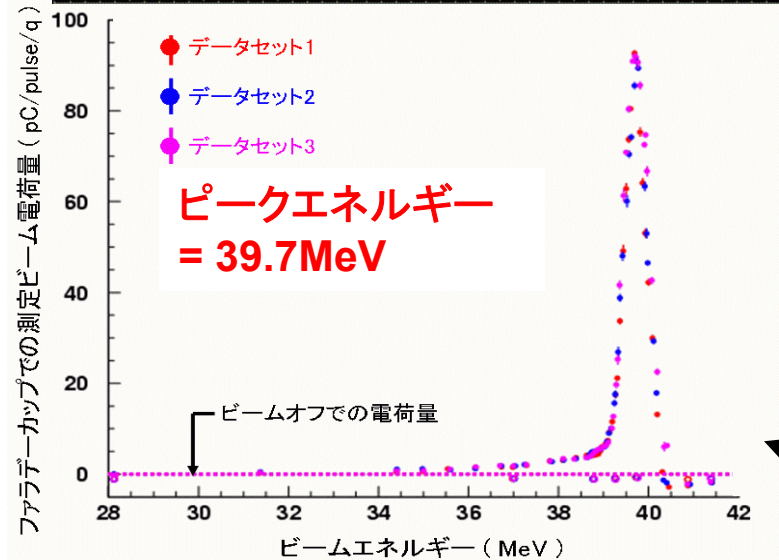
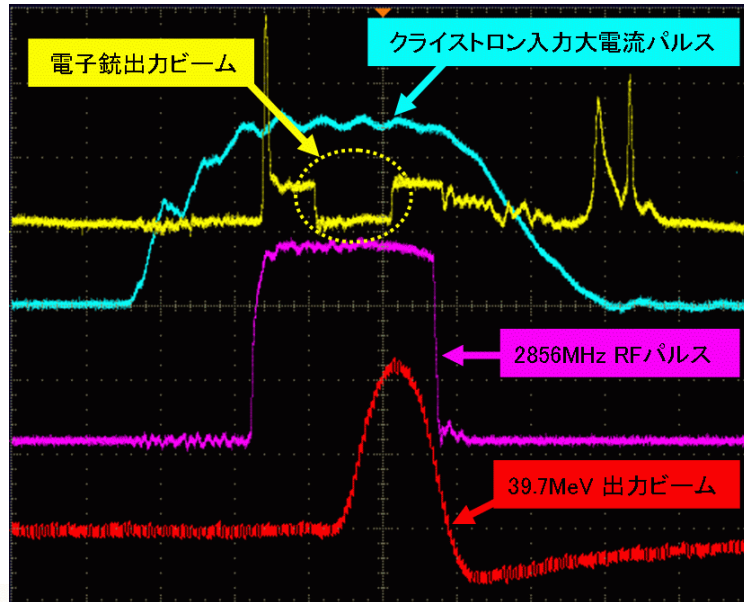


ビーム電流は
ファラデーカップで測定、
コアモニターでモニター

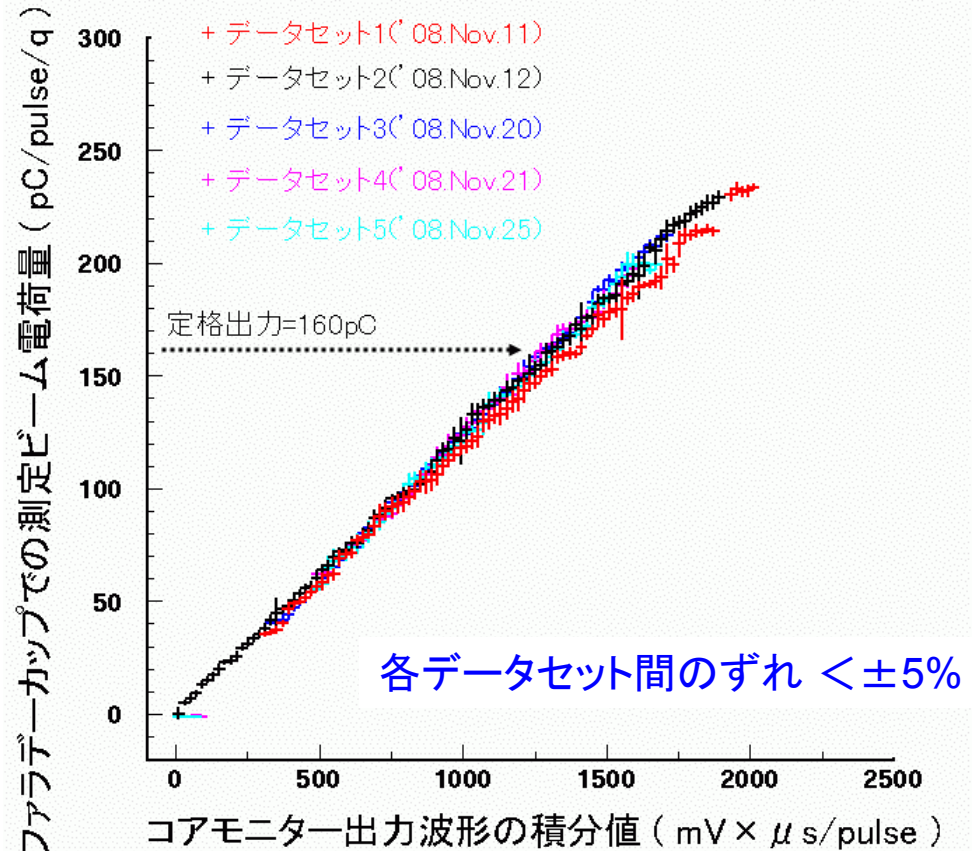
□ 小型線形加速器の開発について(2)



HV, RFパルス波形とコアモニターの出力波形



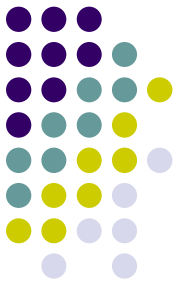
(データセットは11月11日～25日までの5日間)



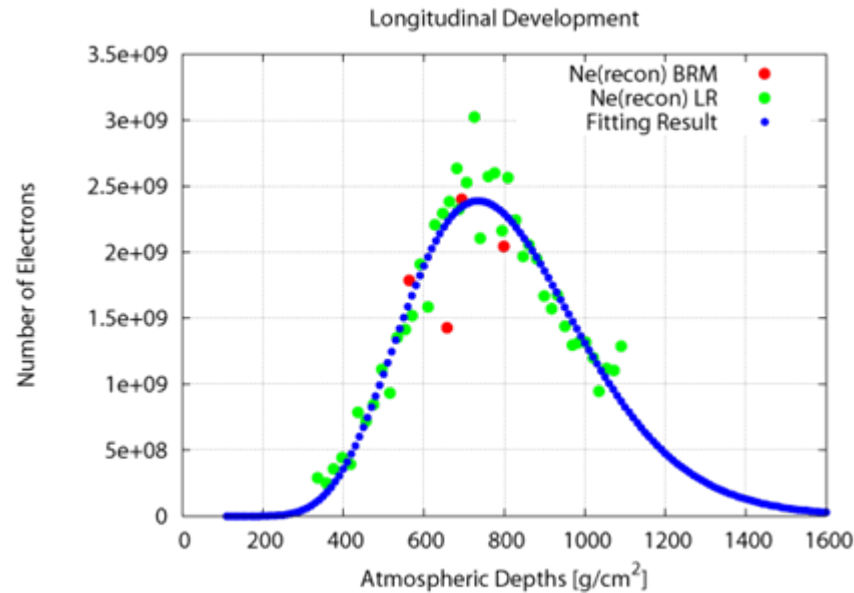
コアモニターの波形データとファラデーカップ
の測定電荷量の相関関係

エネルギースペクトル

□FDイベント解析



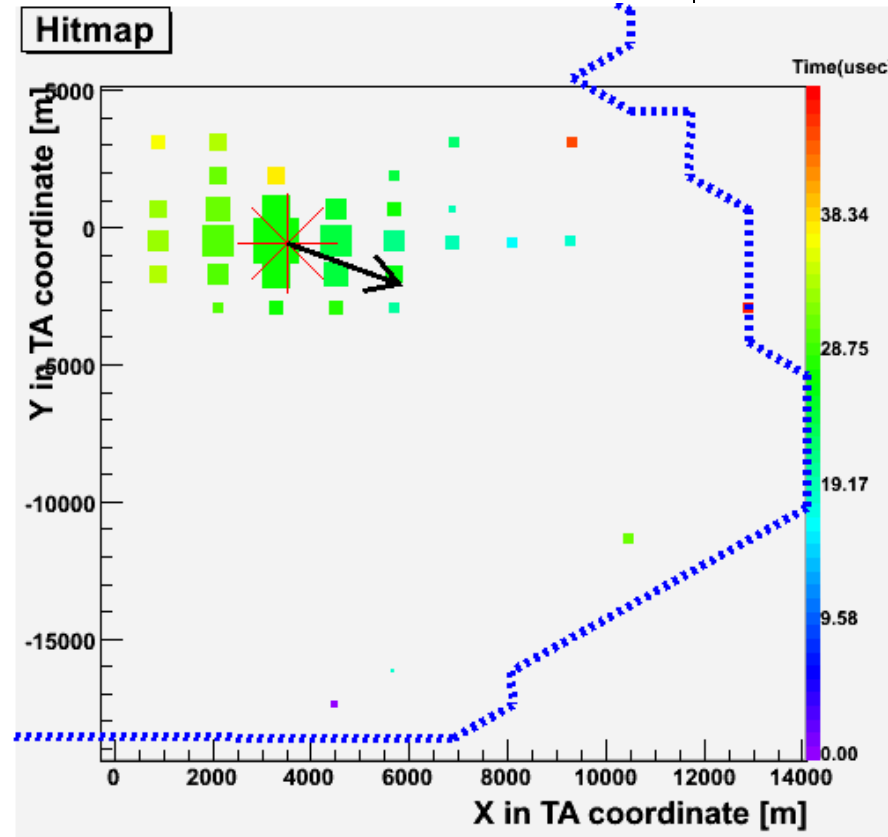
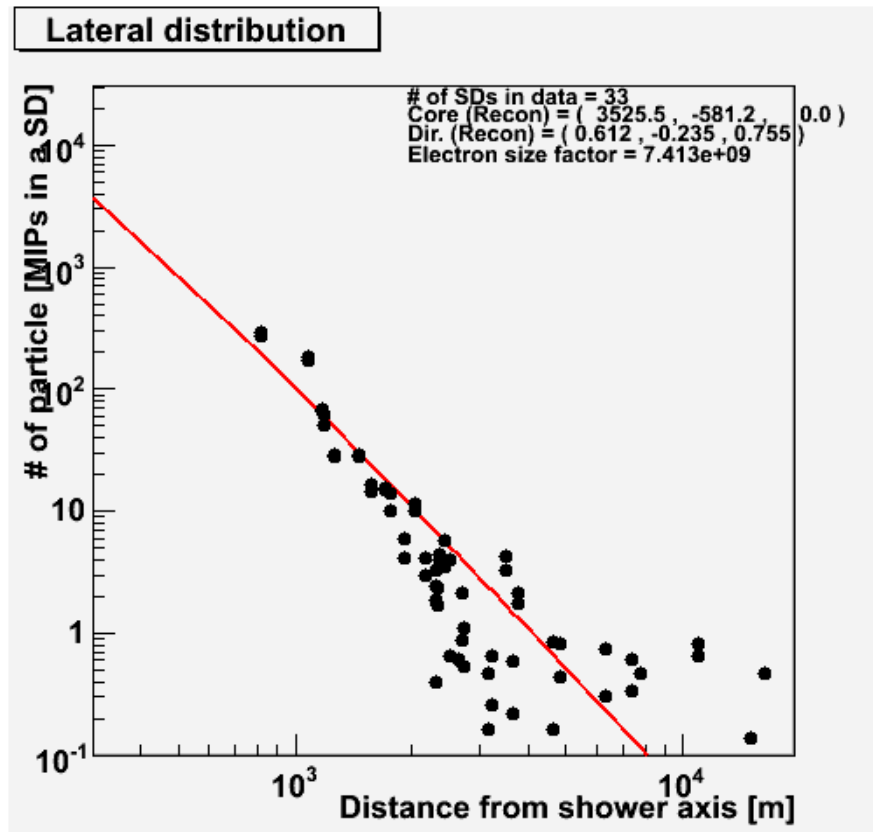
FDステレオイベント再構成の例



Xmax [g/cm^2]	N_{max}	E_0 [eV]
736	2.4×10^9	2.9×10^{18}

SDイベント解析

SDイベント再構成の例



FD,SD共に較正データのデータベース化はほぼ終了し、
解析に取り込むための準備を行っているところである

□ ハイブリッドイベント探索



ハイブリッドイベントの探索のための準備研究を開始した。
定義: FD・SDそれぞれのトリガーの時刻差 が200us以下

SD May/ 12/ 2008 – Sep/ 5/ 2008

FD June, July, Aug. (45days)

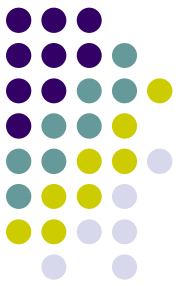
•SD + 1FD

# of event	total	SD東	SD西	SD北
BRM-FD	221	197	17	7
LR-FD	223	22	203	8

•SD + 2FDs

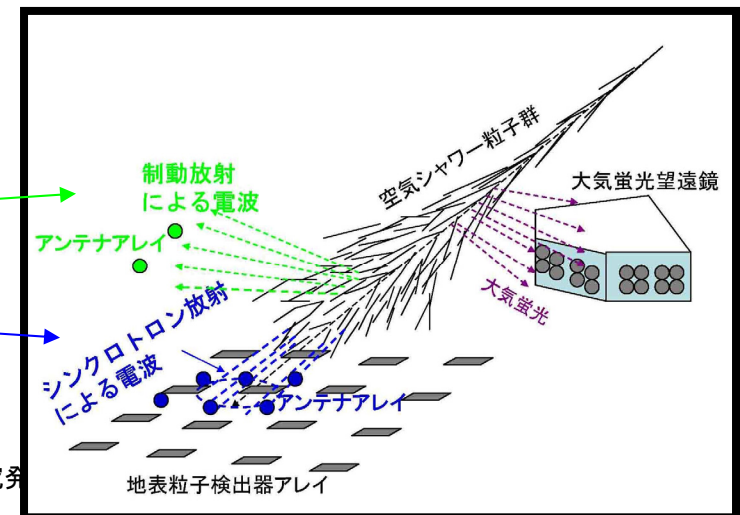
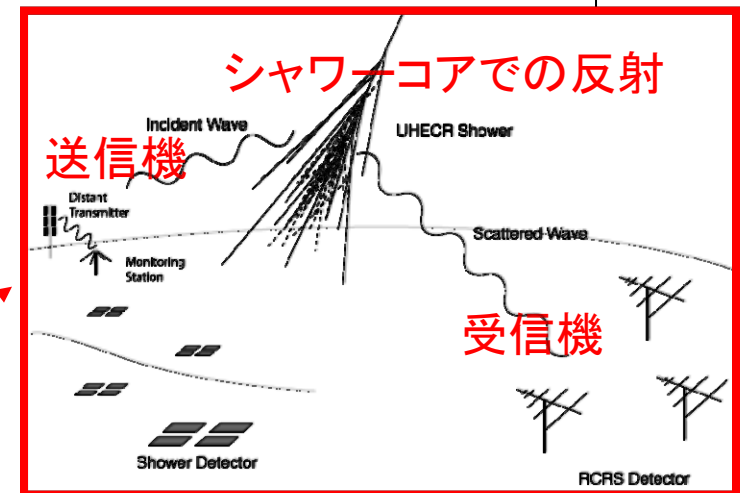
23 events

UHECRの電波的観測の研究

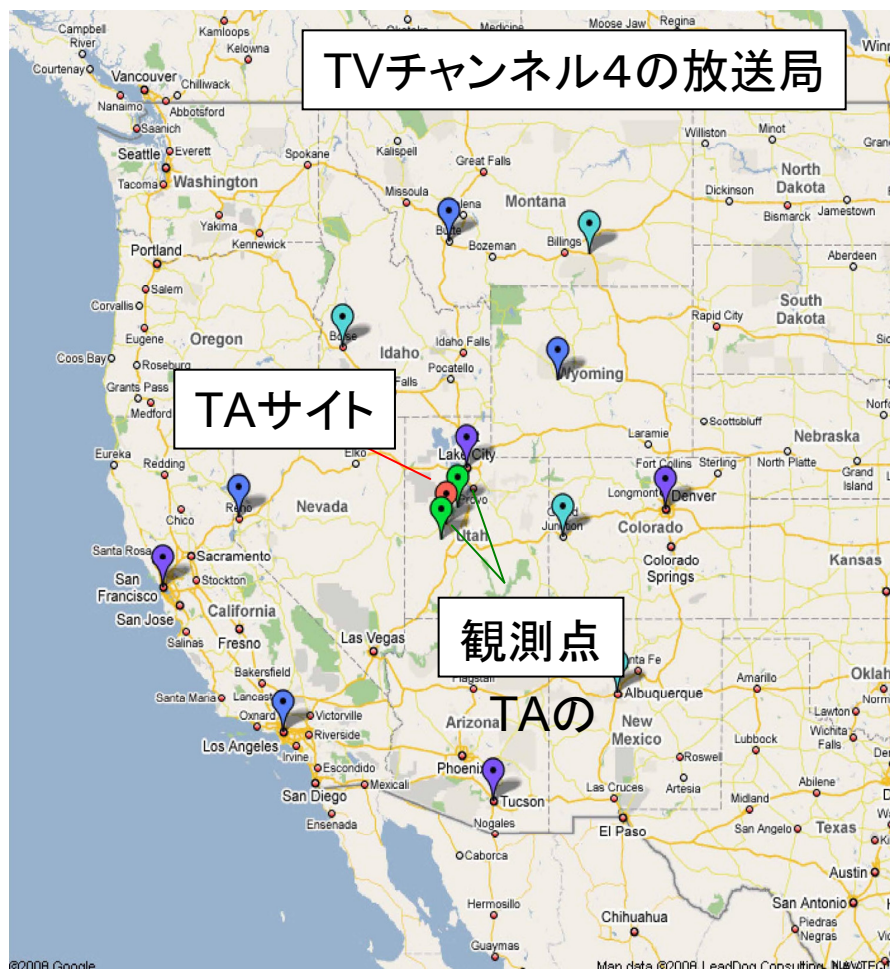


今回の結果

- 最高エネルギー宇宙線の起源の詳細探索のための地上における 10^5km^2 電波検出器の研究
 - 安価な電波(送)受信機アレイによる広領域観測装置
 - 24時間稼働
- 3つの観測方法
 - レーダー法
 - 制動放射観測法
 - 地磁気によるシンクロトロン放射観測法

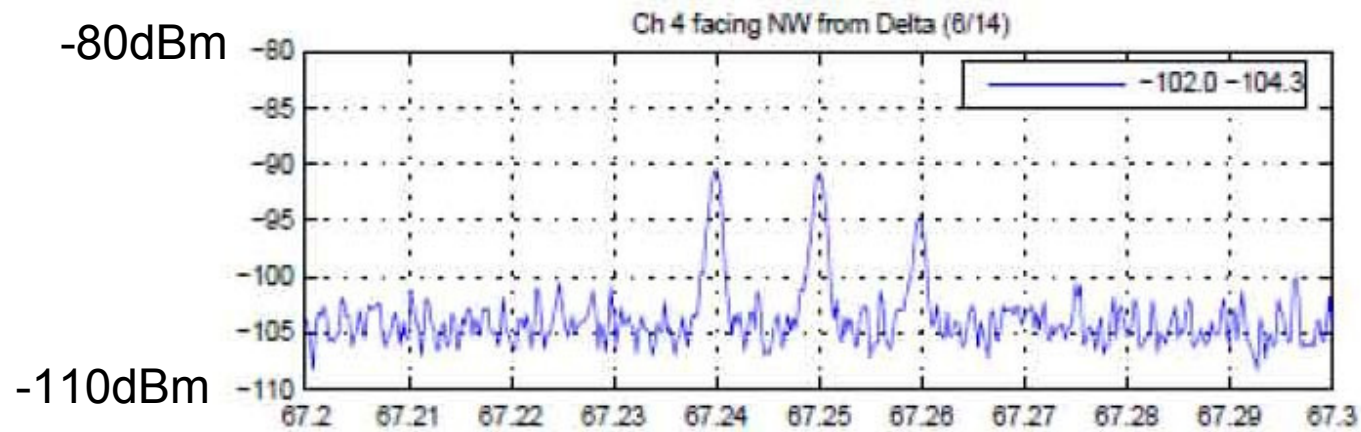
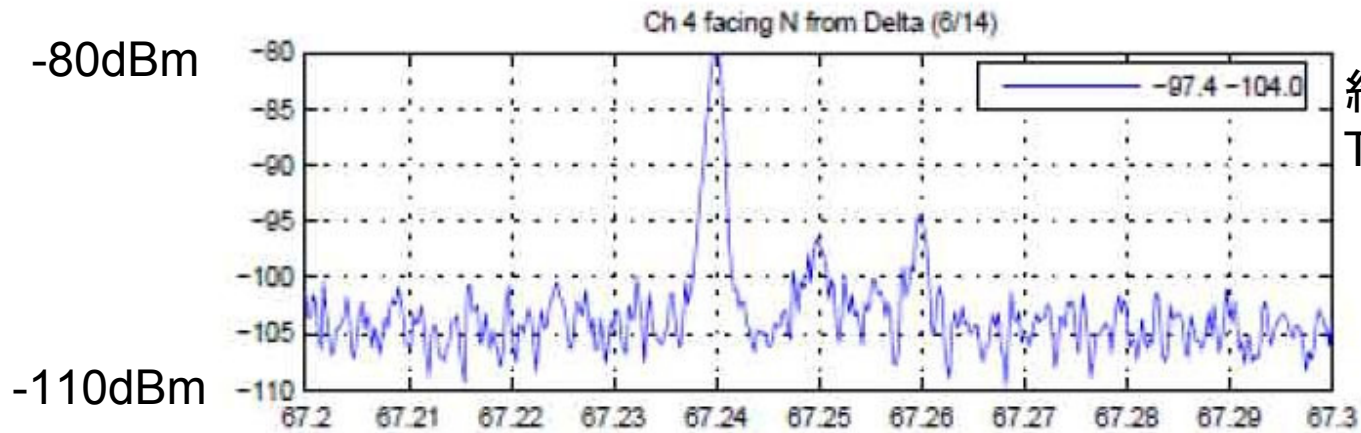


□TV電波を用いた試験観測(1)





□TV電波を用いた試験観測(2)

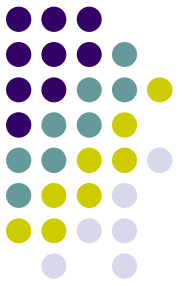


67.2MHz

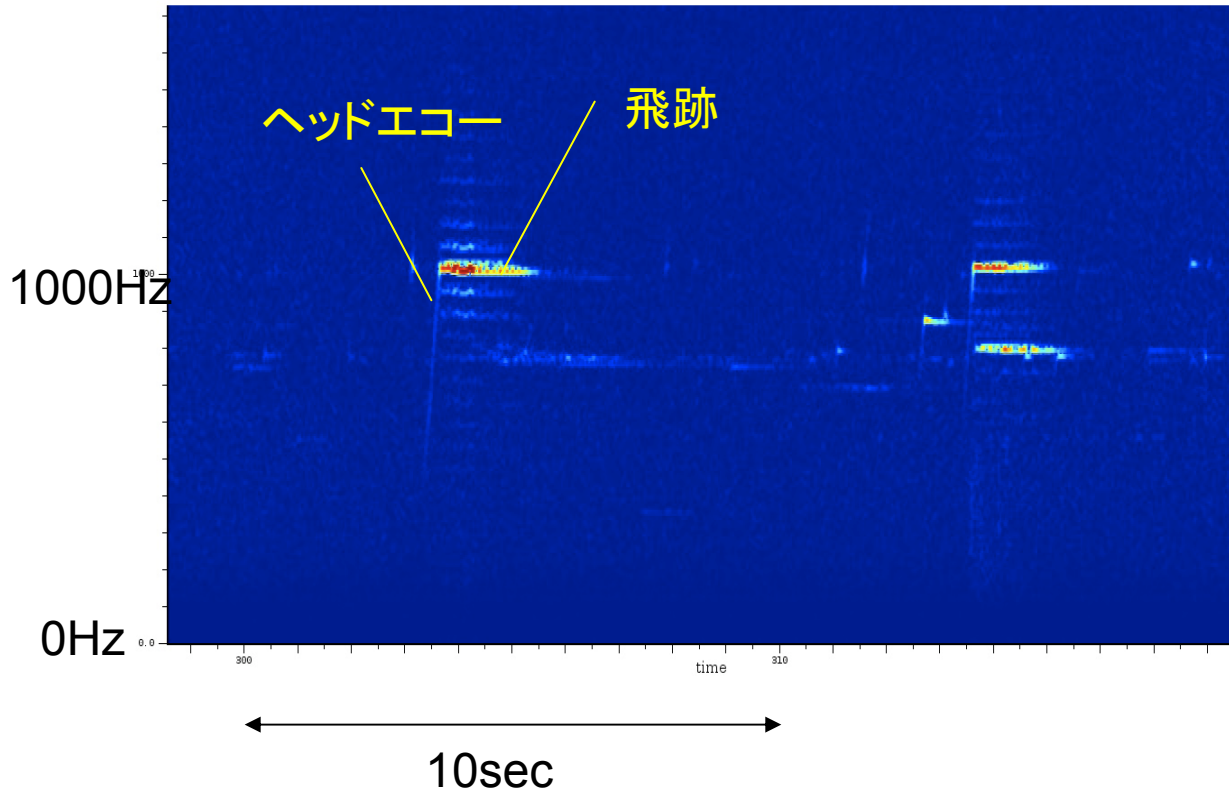
Figure 1 - Example Utah data

67.3MHz

ノイズレベルは低そう→今後ノイズレベルの定量的評価が必要



□TV電波を用いた試験観測(3)



ほとんどが流星であるが、今後は宇宙線と思われる時間幅が狭そうな例を探索する。

□まとめ

- 検出器の大規模設置および調整が終了し、本格観測がスタートした。
- SDは全領域でDAQの境界を越えたトリガーがかけられるようになっている。
- CLFの設置も終了し、自動運用の試験が始まっている。
- LINACの日本での試験が終了しユタへの移送が間近である。
- 各較正データのデータベース化はほぼ終了し、解析へのフィードバックの準備を行っている。
- 電波を用いたUHECRの観測の研究も現地でスタートした。

